TREC-10

The 10th Thailand Renewable Energy for Community Conference

การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10

พลังงานยุคเปลี่ยนผ่าน

เล่าขานวิถีพอเพียง หล่อเลี้ยงชุมชนยั่งยืน

New Era of Community Energy

ณ หอประชุมเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

ร่วมจัดโดย

TREC-10

The 10th Thailand Renewable Energy for Community Conference

การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10

พลังงานยุคเปลี่ยนผ่าน

เล่าขานวิถีพอเพียง หล่อเลี้ยงชุมชนยั่งยืน

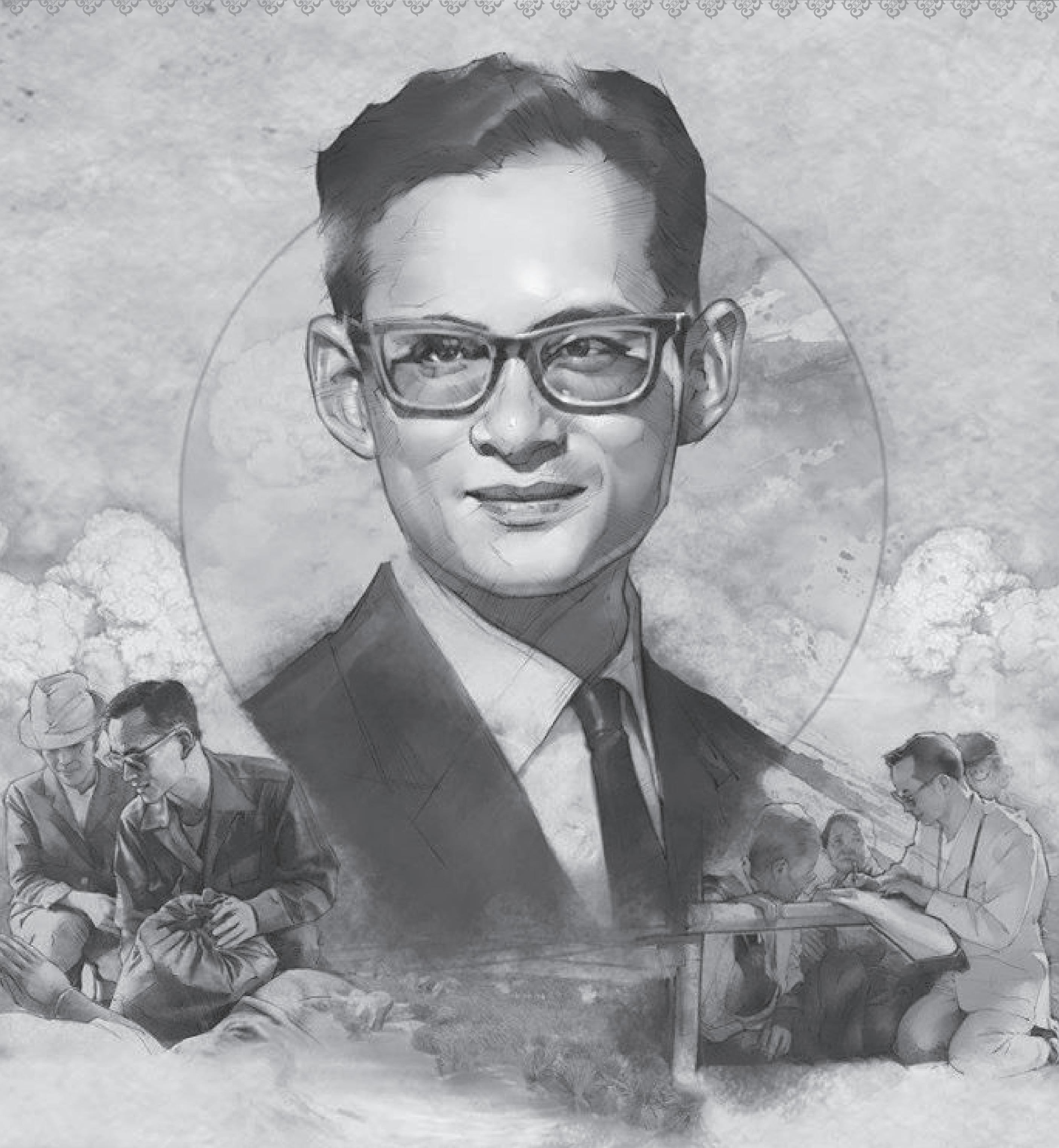
New Era of Community Energy

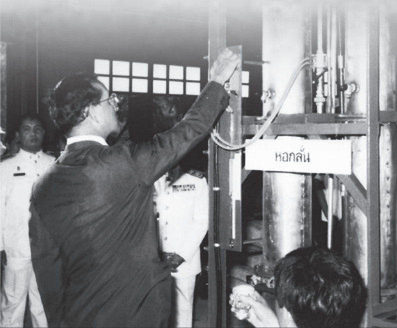
29-30 พฤศจิกายน - 1 ธันวาคม 2560

ณ หอประชุมเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

ร่วมจัดโดย

พระบิดาแห่งการพัฒนาพลังงานไทย ร.๙





สารจากอธิการบดี

ในนามคณะผู้บริหารและบุคลากรมหาวิทยาลัยทักษิณ รู้สึกเป็นเกียรติและภาคภูมิใจอย่างยิ่งที่ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพในการจัดการประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10 ประจำปี 2560 โดยมีนักวิชาการ และนักพลังงานชุมชน จากหลากหลายมหาวิทยาลัยและสถาบันทั่วประเทศเข้าร่วมในการนำเสนอผลงานทางวิชาการและวิจัย ซึ่งแสดงให้ประจักษ์ชัดแล้วว่า การพัฒนาประเทศชาติในด้านพลังงานทดแทน จำเป็นจะต้องมีการพัฒนาอย่างเป็นระบบ และมีความต่อเนื่อง เพื่อให้ทันกับโลกปัจจุบันมากขึ้น

การประชุมสัมมนาวิชาการในครั้งนี้จึงถือเป็นอีกก้าวสำคัญของมหาวิทยาลัยทักษิณที่จะเข้าไปมีบทบาทสำคัญในการสร้างงานวิจัย สิ่งประดิษฐ์ งานสร้างสรรค์และนวัตกรรมต่างๆ ของประเทศ ซึ่งเป็นไปตามพันธกิจหลักของมหาวิทยาลัย ที่จะสร้างสรรค์ผลงานการวิจัยและพัฒนา เพื่อการรับใช้และชี้นำการพัฒนาให้กับสังคม และพัฒนาตัวเองสู่การเป็นมหาวิทยาลัยวิจัยได้ในอนาคต นอกจากนี้ยังถือเป็นโอกาสสำคัญให้คณาจารย์ นักวิจัย นักพลังงานชุมชน นิสิต นักศึกษา ตลอดจนผู้สนใจทุกท่านได้มาพบปะกัน เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน และนำเอาองค์ความรู้และวิวัฒนาการทางด้านพลังงานทดแทนที่ทันสมัยไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประสิทธิผลได้อย่างแท้จริงในอนาคต

สุดท้ายนี้ มหาวิทยาลัยทักษิณ ขอขอบคุณหน่วยงานที่ให้เกียรติเป็นเจ้าภาพร่วม ผู้ให้การสนับสนุน ผู้นำเสนอผลงาน ผู้เข้าร่วมประชุม คณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมสัมมนาวิชาการ ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ทุกท่านจะประสบแต่ความสุขความเจริญ และดำเนินงานประชุมสัมมนาวิชาการครั้งนี้ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ชำนิ)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยทักษิณ

สารจากคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณมีความรู้สึกยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ได้รับเกียรติและความไว้วางใจจากเครือข่ายสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ให้เป็นเจ้าภาพร่วมในการจัดการประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10 ขึ้น

โดยพลังงานนับเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญยิ่ง ในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของชุมชนและเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศมาโดยตลอด การประชุมสัมมนาวิชาการฯ ร่วมกันของนักวิชาการ และนักพลังงานชุมชนในครั้งนี้ แสดงถึงความร่วมมือของทั้งสองภาคส่วน ที่มีความตระหนักและมุ่งมั่นในการที่จะพัฒนางานวิจัยทางด้านพลังงานให้มีคุณภาพที่สูงขึ้น ประกอบกับสามารถนำไปใช้งานเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนในชุมชนให้มีความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืนด้วยวิถีชีวิตที่พอเพียง

การจัดงานในครั้งนี้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ได้รับความร่วมมือจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านพลังงาน ในการตรวจอ่านและประเมินผลงานในลักษณะของ Peer Review ดังนั้นผลงานที่ตีพิมพ์ในเอกสารการประชุมสัมมนาวิชาการฯ นี้จึงเป็นงานวิจัยที่มีคุณภาพและผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้วทั้งสิ้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณหวังเป็นอย่างยิ่งการว่าจัดประชุมสัมมนาวิชาการฯ ในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เข้าร่วมประชุมและผู้ที่สนใจทุกท่าน ในการนำไปพัฒนางานวิจัยและนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อจะได้นำความรู้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อองค์กรและประเทศชาติต่อไป

(อาจารย์ ดร.นันทพันธ์ นภัทรานันทน์)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

สารจากคณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นต่อมนุษย์ทุกคน จากอดีตที่ผ่านมามนุษย์ใช้พลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินและน้ำมันเป็นหลัก ที่เรียกกันว่า เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งก่อให้เกิดปัญหามลพิษ ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม อีกทั้งเชื้อเพลิงดังกล่าวนับวันมีแต่จะลดจำนวนลง ซึ่งสวนทางกับปริมาณการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นตามการเติบโตของประชากรมนุษย์ และยังจะเห็นได้ว่าพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีแนวโน้มราคาที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาทางด้านเศรษฐกิจสำหรับชุมชนหรือบุคคลที่ต้องมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่สูงขึ้น ทางออกหนึ่งของปัญหาเหล่านี้คือการปรับเปลี่ยนมาใช้พลังงานทดแทน โดยเฉพาะในกลุ่มพลังงานหมุนเวียนที่เป็นพลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่มีแผนการพัฒนากลุ่มพลังงานทดแทนให้เพิ่มสัดส่วนการใช้ทดแทนพลังงานหลักที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิลอย่างจริงจัง โดยมุ่งเน้นการมีส่วนร่วมของภาคประชาสังคมและชุมชนในการจัดการด้านพลังงานในท้องถิ่นของตนเองด้วยการส่งเสริมทัศนคติในการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน

ในปี พ.ศ. 2560 นี้ นับเป็นวาระอันดีที่คณะวิทยาศาสตร์ร่วมกับคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ได้มีโอกาสเป็นเจ้าภาพในการจัดการประชุมสัมมนาวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10 (TREC 10) โดยได้ร่วมมือกับ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย งานประชุมวิชาการนี้จะเป็นเวทีให้นักวิชาการ นักวิจัย จากองค์กรภาครัฐและเอกชนรวมทั้งนักวิจัยในชุมชนที่เป็นเครือข่ายการทำงานด้านพลังงานชุมชนโดยเฉพาะภาคใต้ ได้มีโอกาสมาแลกเปลี่ยนแนวคิด องค์ความรู้ รวมทั้งนวัตกรรมใหม่ๆ ที่ถูกคิดค้นขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการพลังงานทดแทนในชุมชนของประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

สุดท้ายนี้ กระผมขอขอบคุณผู้ให้การสนับสนุน ชุมชนเครือข่ายพลังงาน สถาบันอุดมศึกษา ผู้ร่วมประชุมสัมมนาคณะบุคคลที่อยู่เบื้องหลังการทำงานและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ช่วยให้การจัดประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10 ครั้งนี้ได้เกิดขึ้นและดำเนินไปได้ด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่ากิจกรรมครั้งนี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยสร้างแรงผลักดันให้ประเทศไทยได้เดินก้าวหน้าไปเป็นประเทศที่มีความมั่นคงทางพลังงานอย่างยั่งยืนได้ในอนาคต

(อาจารย์ ดร.ธนพันธุ์ ปัทมานนท์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

สารจากนายกสมาคม
พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

ในนามของนายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยซึ่งได้ก่อตั้งขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษา วิจัย สนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนของประเทศ โดยเน้นการนำพลังงานและรูปแบบการจัดการพลังงาน เพื่อนำไปใช้ได้จริงอย่างเหมาะสมต่อชุมชนในประเทศไทย เพื่อให้เกิดผลได้อย่างแท้จริงจากการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานสะอาด ซึ่งรวมถึงการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ชีวมวล และพลังงานจากน้ำ ซึ่งเป็นพลังงานต้นกำเนิดที่มีอยู่ในชุมชนทุกที่

การจัดประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10 ภายใต้ชื่องาน พลังงานยุคเปลี่ยนผ่าน เล่าขานวิถีพอเพียง หล่อเลี้ยงชุมชนยั่งยืน (New Era of Community Energy) นี้เป็นการจัดงานในรูปแบบใหม่อีกครั้งหนึ่งของสมาคมฯ ซึ่งจะเป็นประโยชน์เป็นอย่างยิ่งต่อนักวิชาการ นักศึกษา และประชาชนทั่วไป ในการแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ในการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ในชุมชน โดยจะมีผลต่อการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศอย่างเหมาะสม จะทำให้เราอยู่ร่วมกับธรรมชาติและสามารถพึ่งพาตนเองได้ในอนาคต โดยสมาคมฯ จะเป็นศูนย์กลางในการดำเนินกิจกรรมที่ดีทางด้านพลังงานที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ความมั่นคง การบริหารจัดการที่เหมาะสม การสร้างรายได้ให้กับชุมชน อย่างยั่งยืนคู่กับประเทศไทยตลอดไป

ในฐานะตัวแทนของสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ขอโอกาสพิเศษนี้ใคร่ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยทักษิณ และผู้สนับสนุนทุกหน่วยงานในการร่วมกันเป็นเจ้าภาพในการจัดงานประชุมสัมมนาวิชาการในครั้งนี้ ขอบคุณท่านที่ปรึกษาของสมาคมฯ ทุกท่าน ร่วมถึงทีมงานในการจัดงานครั้งนี้

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการจัดงานประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10 ในครั้งนี้จะสำเร็จลุล่วงด้วยดี และเป็นประโยชน์ต่อองค์ความรู้โดยรวมของภาคชุมชนและงานด้านวิชาการ ด้านพลังงานทดแทนของประเทศไทยต่อไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรชัย โรยนรินทร์)

นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

คำนำ

ด้วยคณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ร่วมกับสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย กำหนดจัดงานประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10 **ภายใต้หัวข้อ "พลังงานยุคเปลี่ยนผ่าน เล่าขานวิถีพอเพียง หล่อเลี้ยงชุมชนยั่งยืน : New Era of Community Energy" ในระหว่างวันที่ 29 พฤศจิกายน – 1 ธันวาคม 2560 ณ หอประชุมเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง** โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้นักวิชาการ และนักพลังงานชุมชนได้มีพื้นที่ในการนำเสนอผลงานวิจัย เผยแพร่ผลงานวิชาการสู่สาธารณชนเพื่อสร้างประโยชน์ต่อชุมชนอย่างยั่งยืน ตลอดจนแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ และประสบการณ์ในการจัดการงานด้านพลังงานทดแทนสู่ชุมชน โดยตระหนักถึงการเชื่อมโยงทางเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และสิ่งแวดล้อมของชุมชนอย่างบูรณาการ การประชุมสัมมนาวิชาการฯ ครั้งนี้ ประกอบไปด้วยการบรรยายพิเศษ การเสวนา การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย และภาคโปสเตอร์จากนักวิชาการ และนักพลังงานชุมชน ตลอดจนการแสดงนิทรรศการผลงานวิจัยทางด้านพลังงานจากหน่วยงานต่าง ๆ

คณะผู้ดำเนินการจัดประชุมสัมมนาวิชาการฯ ใคร่ขอขอบพระคุณหน่วยงานเจ้าภาพร่วมที่ได้ให้การสนับสนุน และอำนวยความสะดวกในการจัดประชุม ขอขอบคุณวิทยากร ตลอดจนผู้นำเสนอผลงานวิจัย ผู้เข้าร่วมประชุมสัมมนาวิชาการฯ คณะทำงานจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ และคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบทางวิชาการ ที่มีส่วนร่วมสำคัญในการจัดประชุมสัมมนาวิชาการฯ ครั้งนี้ให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

พฤศจิกายน 2560

สารบัญ

สารจากอธิการบดี ก
สารจากคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ข
สารจากคณบดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ค
สารจากนายกสมาคม พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ง
คำนำ จ

การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย ORAL PRESENTATIONS

Session : ไฟฟ้าชุมชน

EC - 002 Pump-as-turbine testing system for Pico hydro power generation 3
Mr. Daniel Lodu Tartisyo Matthew
EC - 003 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการสลายลิกนินของผักตบชวา 10
นางสาวธัญวรัตม์ ประเดชบุญ

Session : เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน

FC - 001 การศึกษาอัตราการเติบโตของพืชพลังงานและความเหมาะสมของการนำไปประยุกต์ใช้ 19
นายสมชาย มณีวรรณ์
FC - 003 จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งปลาหมึกสด และปลาหมึกต้ม ด้วยการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนอินฟราเรด 28
นางสาวสุภิตา ไชยโป
FC - 004 ศักยภาพการใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งในประเทศไทย 35
นายฐิติพงษ์ ภูผาทอง
FC - 005 การอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเปลี่ยนเฟส 43
นายศุภชัย จินา
FC - 006 การผลิตถ่านจากใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังเพื่อพัฒนาเป็นถ่านอัดแท่ง 51
นางสาวภัทราณี นาคคงคำ
FC - 007 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาอบแบบรังสีอินฟาเรดระยะไกล และแบบดั้งเดิม 59
นายพิสิษฏ์ มณีโชติ
FC - 008 การศึกษาสมรรถนะเบื้องต้นของหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 64
นายจักราวุธ เมตตา
FC - 009 การผลิตถ่านอัดแท่งจากผักตบชวาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งชุมชน 72
นางสาวธัญวรัตม์ ประเดชบุญ
FC - 010 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางพาราสำหรับเป็นตัวประสานของถ่านอัดแท่ง 79
นางสาวหฤทัย บงแก้ว
FC - 012 การทดสอบหาสมรรถนะของเตาชีวมวลแบบไหลขวาง สำหรับรถยนต์ 86
นายภูนิพัต สายแก้ว
FC - 013 การประเมินความเป็นไปได้ของโรงงานผลิตไม้สับจากประเทศกัมพูชา 93
นายวัลลภ หลวงละ
FC - 014 การผลิตเชื้อเพลิงแข็ง (RDF-5) จากใบไม้ของต้นเต็งรัง เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนและลดปัญหาหมอกควัน 100

สารบัญ

FC - 015 **การสึกหรอของชิ้นงานที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพสังเคราะห์เปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม** 109
นางสาวรัชฎาภรณ์ อินเกิด

FC - 016 **การวิเคราะห์คุณสมบัติและต้นทุนการผลิตถ่านชีวภาพ โดยใช้กระบวนการไพโรไลซิส** 120
นางสาวประภัสสร รัตนไพบูลย์

FC - 017 **การศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลของสัตว์ด้วยแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน** 128
นางสาวศิริพร ศรีไตรัตน์

FC - 018 **สมรรถนะแก๊สซิไฟเออร์แบบฟลูอิไดซ์เบดเมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง** 134
นายพงศธร มณทิพย์

FC - 019 **การปรับปรุงเสถียรภาพของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบ** 143
นายณรงค์ อินทพรหม

FC - 020 **สมรรถนะเตาชีวมวลเมื่อใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร** 152
นางสาวโสภาภรณ์ รัตนะ

FC - 021 **การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชนด้วยอากาศร้อนแบบสลับทิศทางที่ผลิตจากเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง** 158
นายภาสพงศ์ภัสส์ บัญรัตน์

FC - 023 **การประเมินเศรษฐศาสตร์ของเตาชีวมวลไร้ควัน สำหรับการผลิตความร้อนในวิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์** 166
นายธนชาต มหาวัน

Session : สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

NC- 001 **การใช้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมสู่นวัตกรรม “การดูแลคุณภาพน้ำชุมชน” เพื่อการบริหารจัดการน้ำอย่างยั่งยืน** 174
นางสาวเตือนตา ร่าหมาน

NC- 002 **การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพจากระบบยูเอเอสบีขนาดเล็ก** 185
นายสุรเชษฐ์ กล้าณรงค์

NC- 003 **การศึกษาภาวะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ราบจังหวัดแพร่** 191
นายศุภชัย เพชรธาราวดี

NC- 004 **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อผลิตก๊าซมีเทน มุ่งสู่การจัดการสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่** 199
นางสาวรุ่งนภา เขียววิจิตร

NC- 005 **การพัฒนา และติดตั้งกรีนรูฟเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่ภายในบ้าน** 207
นายวรวัช พวงพรศรี

NC- 007 **กรรมวิธีการผลิตไฟเบอร์ซีเมนต์ด้วยผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าถ่านหินเพื่อเป็นวัสดุสำหรับอาคาร** 214
นายสันต์ เกื้อหนุน

NC- 008 **การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม** 221
นายเด่นศักดิ์ หอมหวล

NC- 009 **การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยการใช้แหล่งน้ำที่แตกต่างกัน** 228
นายณัฐวุฒิ ขาวสะอาด

สารบัญ

NC- 010 การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการธรรมชาติ ของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 234
นางสาวรุ่งอรุณ วรพฤติสกุล

NC- 011 การศึกษาคุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านตำบลในเมือง อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 241
นายณัฐรินันท์ คัญใหญ่

Session : นวัตกรรมพลังงานทดแทน

IE - 001 Heat Transfer Characteristics on Waste Heat Recovery of Combustion Stack Gas with Deionized Water in Helical Coiled Heat Exchanger 252
Mr. Rithy Kong

IE - 004 การประเมินศักยภาพลมเชิงสถิติตามฤดูมรสุมโดยสมการ Multiple Weibull Statistical analysis of seasonal wind power potential using Multiple-Weibull function 263
นางสาววิกันดา ศรีเดช

IE - 005 พลังงานไฟฟ้าจากรถสามล้อพ่วง นางสาวฤทัย 275
ประทุมทอง

IE - 006 ศึกษาการกระจายความดันบนพื้นผิวใบพัดของกังหันลมแนวแกนนอนในอุโมงค์ลม 281
นายติณณภพ แพงผม

IE - 007 จลนพลศาสตร์การอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุงด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด และการพาความร้อน 289
นางสาวหทัยชนก เนตรคำ

IE - 008 การศึกษาระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเพื่อประยุกต์ใช้ในตลาดสด วงศกร พลาซ่า 298
นายวงศกร วิเศษสัจจา

IE - 010 จลนพลศาสตร์การอบแห้งด้วยลมร้อนและไมโครเวฟและสัมประสิทธิ์ การแพร่ของกล้วยเล็บมือนาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชน 307
นางสาวจิราพร เผ่าเอี้ยง

IE - 012 ระบบเฝ้าตรวจวัดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลานิล 316
นางสาวศิริวรรณ ทำนุ

IE - 013 กำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการทำความเย็น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 324
นายณัฐพล เข็มเพ็ชร์

IE - 014 การประเมินค่ากำจัดขยะอุตสาหกรรมอันตรายประเภทของแข็ง ที่เหมาะสมกับโรงไฟฟ้า แบบแก๊สซิฟิเคชั่น อุณหภูมิสูง 330
นายสุรสิทธิ์ เฉลิมเจริญรัฐ

IE - 015 อิทธิผลของมุมของฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย 338
นายนัสรู ตีอ๊ะ

IE - 016 การศึกษาผลกระทบของโซลิดิตีต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ 347
นายมูฮำมัดคอยรี หะยีบากา

IE - 018 การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 354
นายณัฏฐวัฒน์ วิสัยพรม

สารบัญ

IE - 019 **เครื่องย่อยและอบสมุนไพร** 361
นายจักรพันธ์ กัณหา

IE - 020 **การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบ LED** 368
นางสาวญาณินท์ เอิบอาบ

IE - 021 **อิทธิพลของแคลเซียมและแบเรียมต่อตัวเร่งปฏิกิริยาแพลลาเดียมบนตัวรองรับซิลิกา ในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนเพื่อปรับปรุงความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไบโอดีเซล** 376
นางอาภาณี เหลืองนฤมิตชัย

IE - 022 **การอบแห้งรางจืดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อน แบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อม** 382
นายสุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี

IE - 028 **ตัวควบคุมพลังงานไฟฟ้าในรถแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อน** 391
นายศรายุทธ วงศ์สุนทร และอนันตชัย สงเสริม

Session : การจัดการพลังงานในชุมชน

ME - 001 **การศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นลดอุณหภูมิอากาศจากภายนอก ด้วยระบบน้ำหยดจากวัสดุในท้องถิ่น** 402
นางสาววิชชุดา ภาโสม

ME - 002 **กรณีศึกษาการประเมินศักยภาพพลังงานลมความเร็วต่ำที่อาคารสูง ในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์** 409
นายธนพัฒน์ อัครชัยพันธุ์

ME - 003 **หมู่บ้านจัดการตนเองด้วยพลังงานทดแทน** 417
นางสาวบงกช ประสิทธิ์

ME - 004 **รูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม** 431
นายชาติ ไชยสิทธิ์

ME - 005 **การเชื่อมร้อยและยกระดับเครือข่ายองค์กรเอกชนสนองต่อการขับเคลื่อน เรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อม** 441
นายชาติ ไชยสิทธิ์

ME - 007 **การประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลและการผลิตก๊าซชีวมวลในพื้นที่บ้านวังป้อง ตำบลเหมืองแก้ว อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่** 450
นายประภากร เลาเรือง

ME - 008 **ชุดคำสั่งสำเร็จ การวิเคราะห์สถานภาพพลังงานเพื่อวางแผนพลังงานระดับชุมชน** 457
นายปิยะวัฒน์ จิรเทียนธรรม

ME - 009 **การศึกษาการพยากรณ์การใช้พลังงานเพื่อการวางแผนพลังงานระดับท้องถิ่น** 466
นายปิยะวัฒน์ จิรเทียนธรรม

ME - 010 **การศึกษาเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกในกระบวนการผลิตของโครงการพัฒนาดอยตุง** 474
นางสาวสุจิตร เข็มมี

ME - 011 **การประเมินผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทางเลือกในโครงการพัฒนาดอยตุง** 484
นางสาวสุจิตร เข็มมี

สารบัญ

ME - 013 การจัดการพลังงานในชุมชนโดยใช้โรงเรียนเป็นฐาน 492
นางสาวอันธิกา เพชรี
ME - 015 ระบบแพปั๊มน้ำด้วยโซล่าเซลล์สำหรับโรงเรียนบ้านพุเข็ม จังหวัดเพชรบุรี 499
นายเอกรัตน์ นภกานต์
ME - 016 กังหันลมสำหรับสถานีชาร์จแบตเตอรี่ชุมชนบ้านพุเข็ม จังหวัดเพชรบุรี 507
นายเอกรัตน์ นภกานต์
ME - 017 การศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างปุ๋ยถ่านกับดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว 515
นางสาวชนมน ศรีพระจันทร์
ME - 018 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน 520
นายอนุพล อัคพิน

Session : บูรณาการพลังงาน

RE - 001 ออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนแบบต่อเนื่องในอุตสาหกรรมอาหาร 527
นายวุฒิพงศ์ ไชยแสง
RE - 002 ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานเพื่อบ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของการผลิตถุงมือยาง 535
นายพงศกร เกิดช้าง
RE - 003 การจำลองแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของโปรแกรมแมทแลป 544
นายเอกรินทร์ วาโย
RE - 004 การพัฒนาอุปกรณ์วัดและจัดเก็บข้อมูลพลังงานรังสีแสงอาทิตย์บนการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ 552
นายลัญฉกร นิลทรัตน์
RE - 005 การศึกษาช่องระบายอากาศที่เหมาะสมในการอบเห็ดนางฟ้าด้วยตู้อบแห้งสองระบบ 561
นางสาวนิชาภา อ่ำเพียร
RE - 006 การระบายความร้อนสะสมภายในห้องด้วยพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ 568
นายอรรถกร อาสนคำ
RE - 007 การศึกษาความแตกต่างของฉนวนความร้อนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพหม้อไอน้ำขนาดเล็ก 581
นายกิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์
RE - 008 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก 589
ร่วมกับผนังสุญญากาศ
นายสุรสิทธิ์ เที่ยงจันตา
RE - 009 Performance Investigation of Spark-Ignition Engine fueled with Gasoline, 597
LPG and Biogas for Electric Power Generetion
Mr. Medhane Embaye
RE - 010 แบบจำลองระบบ AC Microgrid สำหรับชุมชนขนาดเล็ก 607
นายมาโนชญ์ ตนสิงห์
RE - 011 การศึกษาและประเมินความเหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้า 615
แบบผสมผสานขนาดเล็กมากในถิ่นทุรกันดาร
นายฉัตรชัย งามสม
RE - 012 การวิเคราะห์และออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ 623
สำหรับการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ
นายจิรศักดิ์ ส่งบุญแก้ว

สารบัญ

RE - 013 การออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโซลาร์ฟาร์ม 631
นายกฤชนนท์ สวนจันทร์
RE - 014 อิทธิพลการไหลของความร้อนและเกรเดียนท์อุณหภูมิต่อหลังคายางพารา ผสมวัตถุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม 640
นายชัยนุสนธ์ เกษตรพงศ์ศาล
RE - 015 ผลกระทบจากการจัดการเรียนการสอนโดยการใช้สื่อการเรียนการสอนด้านพลังงานทดแทน 647
นายณัฐวุฒิ ขาวสะอาด

การนำเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ POSTER PRESENTATIONS

PE - 001 สารสกัดหยาบจากสาบเสือและไมยราบเพื่อกำจัดหอยเชอรี่ 655
นางกอบกุล นงนุช
PE - 003 ชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง 660
นายนพพร พัชรประกิติ
PE - 004 ตู้เพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลแบบอัตโนมัติ 676
นายอาภาพล มหาวีระ
PE - 006 ผลกระทบของใบสับปะรดต่อคุณสมบัติของแผ่นยิปซัม 683
นายสุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์
PE - 008 เกษตรอัจฉริยะอย่างง่ายสำหรับชุมชน 693
นายเริงวุฒิ ชูเมือง
PE - 009 ความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะมูลฝอยของผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมี 700
นางสาวคุลยา ศรีโยม
PE - 010 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 708
นางกันต์ธมน สุขกระจ่าง
PE - 011 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนสำหรับอาคาร ด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับขั้น (AHP) กรณีศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 715
นายธนะรัตน์ รัตนกูล
PE - 012 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของอิฐดินประสานผสมเม็ดโฟม 723
นายธวัฒน์ชัย เทพนวล
PE - 013 ผลของการใช้สารจับตัวน้ำยางธรรมชาติในชุมชน 731
นายกฤษฎา พัชรสิทธิ์
PE - 014 การศึกษาประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีตัวเก็บรังสีอาทิตย์รูปแบบต่างกัน 738
นางสาวสุมลรัตน์ ไชยโย
PE - 015 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะขนาด 1 kWp ภายใต้สภาวะภูมิอากาศของภาคใต้ 748
นางสาวธมลวรรณ คำอ่อน
PE - 017 การพัฒนาแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ด้วยเส้นใยหมากและยิปซัมเทียม 756
นายสันต์ เกื้อหนุน

วันพุธที่ 29 พฤศจิกายน 2560

<table>
<tr><th>เวลา</th><th colspan="4">รายละเอียด</th></tr>
<tr><td>08.00-09.00 น.</td><td colspan="4">ลงทะเบียน ณ หอประชุมเฉลิมพระเกียรติมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง มหาวิทยาลัยทักษิณ</td></tr>
<tr><td>09.00 น.</td><td colspan="4">ประธานในพิธีเดินทางมาถึงหอประชุมเฉลิมพระเกียรติมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง</td></tr>
<tr><td>09.00-09.10 น.</td><td colspan="4">กล่าวรายงานความเป็นมาของสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยและการจัดงาน TREC-10
โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรชัย โรยนรินทร์ นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย</td></tr>
<tr><td>09.10-9.20 น.</td><td colspan="4">พิธีเปิดการประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10
กล่าวเปิดโดย รองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ชำนิ อธิการบดีมหาวิทยาลัยทักษิณ และถ่ายภาพหมู่ร่วมกัน</td></tr>
<tr><td>09.20-10.30 น.</td><td colspan="4">เสวนาพิเศษเรื่อง "ระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน และแนวทางการสนับสนุน
และการใช้พลังงานทดแทนสู่ชุมชน"
จัดเสวนาโดย....สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย</td></tr>
<tr><td>10.30-10.45 น.</td><td colspan="4">พักรับประทานอาหารว่าง</td></tr>
<tr><td>10.45-12.00 น.</td><td colspan="4">เสวนาพิเศษเรื่อง "นวัตกรรมกับการพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืน"
ร่วมจัดเสวนาโดยตัวแทนจากสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (NIA) และ บริษัท ปตท. จำกัด</td></tr>
<tr><td>12.00-13.00 น.</td><td colspan="4">พักรับประทานอาหารกลางวัน</td></tr>
<tr><td rowspan="3"></td><td colspan="4">นำเสนอบทความวิจัย (ภาคบรรยาย) : นักวิจัยจากภาควิชาการ (Think and Talk)</td></tr>
<tr><td>TREC-X 1</td><td>TREC-X 2</td><td>TREC-X 3</td><td>TREC-X 4</td></tr>
<tr><td>Session
การจัดการพลังงานในชุมชน</td><td>Session
นวัตกรรมพลังงานทดแทน</td><td>Session
เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน</td><td>Session
บูรณาการพลังงาน</td></tr>
<tr><td rowspan="3">13.00-14.30</td><td colspan="4">Parallel session : นักวิจัยจากภาคชุมชน (Show and Share)</td></tr>
<tr><td colspan="4">TREC-X Hall</td></tr>
<tr><td colspan="4">การเสวนาพิเศษจากภาคชุมชน "ต้นแบบการพัฒนาอย่างยั่งยืน"
โดย นายโยธิน เขาไข่แก้ว เจ้าของกิจการล่องแก่งหนานมดแดง
นายอุทัย บุญดำ เครือข่ายการเรียนรู้สินธุ์แพรทอง
นายโกวิท ดอกไม้ เครือข่ายธนาคารน้ำใต้ดิน
นายชาตรี ศรีวิชาฐา เครือข่ายธนาคารน้ำใต้ดิน
ดำเนินรายการ โดย อาจารย์ ดร.ศิลป์ชัย สุวรรณมณี</td></tr>
<tr><td>14.30-14.45 น.</td><td colspan="4">พักรับประทานอาหารว่าง</td></tr>
<tr><td rowspan="2">14.45-17.00 น.</td><td colspan="2">TREC-X 5</td><td colspan="2">TREC-X Hall</td></tr>
<tr><td colspan="2">Show and Share :
- กฎหมายที่เกี่ยวข้องด้านพลังงานทดแทน
- พลังงานทดแทนกับการสร้างอาชีพ
- ตะบันน้ำและนวัตกรรมที่เกี่ยวข้อง</td><td colspan="2">Show and Share :
- ท้องถิ่นกับการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน
- ธนาคารน้ำใต้ดิน</td></tr>
<tr><td>17.00-17.30 น.</td><td colspan="4">เยี่ยมชมนิทรรศการ นวัตกรรมด้านพลังงานทดแทน และเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ผลงานชุมชน</td></tr>
<tr><td>18.00-18.30 น.</td><td colspan="4">เดินทางกลับที่พัก / รับประทานอาหารตามอัธยาศัย</td></tr>
</table>

วันพฤหัสบดีที่ 30 พฤศจิกายน 2560

เวลา	รายละเอียด			
8.30 -9.00 น.	ลงทะเบียน			
9.00 น.	พิธีการห้องประชุมใหญ่			
09.00-09.15 น.	กล่าวต้อนรับผู้เข้าร่วมงาน โดย **นายกู้เกียรติ วงศ์กระพันธุ์** ผู้ว่าราชการจังหวัดพัทลุง			
09.15-9.45 น.	พิธีมอบโล่สนับสนุนการจัดงาน และถ่ายภาพหมู่ร่วมกัน			
9.45-11.30 น.	ปาฐกถาพิเศษเรื่อง **“พลังงานยุคเปลี่ยนผ่าน เล่าขานวิถีพอเพียง หล่อเลี้ยงชุมชนยั่งยืน”** **โดย ดร.สุเมธ ตันติเวชกุล เลขาธิการมูลนิธิชัยพัฒนา**			
11.30-12.00 น.	เยี่ยมชมนิทรรศการ และแลกเปลี่ยนประสบการณ์			
12.00-13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน			
13.00-15.45 น.	นำเสนอบทความวิจัย (ภาคบรรยาย)			
	นักวิจัยจากภาควิชาการ (Think and Talk)			
	TREC-X 1	TREC-X 2	TREC-X 3	TREC-X 4
	Session สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน	Session ไฟฟ้าชุมชน	Session เชื้อเพลิง และความร้อนชุมชน	Session ไฟฟ้าชุมชน
13.00-15.45 น.	Parallel session : TREC-X Hall			
	การนำเสนอผลงานวิจัยจากเครือข่ายภาคชุมชน			
13.00-15.45 น.	นำเสนอบทความ (ภาคโปสเตอร์)			
	เยี่ยมชมนิทรรศการ นวัตกรรมด้านพลังงานทดแทน และเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ผลงานชุมชน			
16.30-17.00 น.	เดินทางกลับที่พัก จากหอประชุมเฉลิมพระเกียรติ ม.ทักษิณ-โรงแรมหนานมดแดง			
18.30-19.00 น.	พิธีมอบธง TREC / พิธีมอบรางวัลต่างๆ			
19.00-22.00 น.	รับประทานอาหารเย็น (งานเลี้ยงรับรอง)			

วันศุกร์ที่ 1 ธันวาคม 2560

เวลา	รายละเอียด	
08.00-8.45 น.	ลงทะเบียน กิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้/เตรียมเดินทาง ณ. รร.หนานมดแดง	
8.45 -12.00 น.	<u>เส้นทางที่ 1</u> เยี่ยมชม ศึกษาดูงาน ร่วมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ที่เครือข่ายสินธุ์แพรทอง ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง	<u>เส้นทางที่ 2</u> กิจกรรมล่องแก่ง ชมวิถีชีวิต และทัศนียภาพ ของล่องแก่ง ตำบลลานข่อย อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง (ภาคเช้า)
12.00-13.00น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน	
13.00-13.45 น.	เดินทางไปกลับไปยังโรงแรมหนานมดแดง	
13.45-16.00 น.	กิจกรรมล่องแก่ง ชมวิถีชีวิต และทัศนียภาพ ของล่องแก่ง ตำบลลานข่อย อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง (ภาคบ่าย)	
16.00 น. เป็นต้นไป	เดินทางกลับโดยสวัสดิภาพ	

หมายเหตุ เวลาและสถานที่อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงและปรับเพื่อความเหมาะสมโดยไม่ได้แจ้งให้ทราบล่วงหน้า สามารถสอบถามรายละเอียดได้ในวันที่จัดงาน

ลำดับการนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย
Oral Presentations

ห้อง TREC1

Session: การจัดการพลังงานในชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้นำเสนอ	หน่วยงาน
1	ME - 001	13:00-13:15 น.	การศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นลดอุณหภูมิอากาศจากภายนอกด้วยระบบน้ำหยดจากวัสดุในท้องถิ่น	นางสาววิชชุดา ภาโสม	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
2	ME - 002	13:15-13:30 น.	กรณีศึกษาการประเมินศักยภาพพลังงานลมความเร็วต่ำที่อาคารสูงในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	นายธนพัฒน์ อัครชัยพันธุ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
3	ME - 003	13:30-13:45 น.	หมู่บ้านจัดการตนเองด้วยพลังงานทดแทน	นางสาวบงกช ประสิทธิ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
4	ME - 004	13:45-14:00 น.	รูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม	นายชาติ ไชยสิทธิ์	สมาคมพัฒนาชุมชน พิษณุโลก
5	ME - 005	14:00-14:15 น.	การเชื่อมร้อยและยกระดับเครือข่ายองค์กรเอกชนสนองต่อการขับเคลื่อนเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อม	นายชาติ ไชยสิทธิ์	สมาคมพัฒนาชุมชน พิษณุโลก
6	ME - 006	14:15-14:30 น.	การประยุกต์ใช้ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แรงดันต่ำสำหรับน้ำประปาในบ้านพักอาศัย	นายธนิท เรืองรุ่งชัยกุล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
7	ME - 007	14:30-14:45 น.	การประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลและการผลิตก๊าซชีวมวลในพื้นที่บ้านวังป้อง ตำบลเหมืองแก้ว อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่	นายประภากร เลาเรือง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
8	ME - 008	14:45-15:00 น.	ชุดคำสั่งสำเร็จ การวิเคราะห์สถานภาพพลังงานเพื่อวางแผนพลังงานระดับชุมชน	นายปิยะวัฒน์ จิรเทียนธรรม	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
9	ME - 009	15:00-15:15 น.	การศึกษาการพยากรณ์การใช้พลังงานเพื่อการวางแผนพลังงานระดับท้องถิ่น	นายปิยะวัฒน์ จิรเทียนธรรม	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
10	ME - 010	15:15-15:30 น.	การศึกษาเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกในกระบวนการผลิตของโครงการพัฒนาดอยตุง	นางสาวสุจิตร เข็มมี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
11	ME - 011	15:30-15:45 น.	การประเมินผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทางเลือกในโครงการพัฒนาดอยตุง	นางสาวสุจิตร เข็มมี	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
12	ME - 012	15:45-16:00 น.	การส่งเสริมชุมชนเพื่อการเรียนรู้ผลกระทบระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร บ้านคำปากดาว ต.คำแคน อ.มัญจาคีรี จ.ขอนแก่น	นายศาตตรา ศิริแก้ว	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
13	ME - 013	16:00-16:15 น.	การจัดการพลังงานในชุมชนโดยใช้โรงเรียนเป็นฐาน	นางสาวอันธิกา เพชรี	มหาวิทยาลัยนเรศวร
14	ME - 014	16:15-16:30 น.	การศึกษาการบริหารจัดการใช้พลังงานสำหรับอาคารด้วยการตอบสนองด้านโหลด	นายเอกรัตน์ นภกานต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
15	ME - 015	16:30-16:45 น.	ระบบแพปั๊มน้ำด้วยโซล่าเซลล์สำหรับโรงเรียนบ้านพุเข็ม จังหวัดเพชรบุรี	นายเอกรัตน์ นภกานต์	มหาวิทยาลัยธนบุรี
16	ME - 016	16:45-17:00 น.	กังหันลมสำหรับสถานีชาร์จแบตเตอรี่ชุมชนบ้านพุเข็ม จังหวัดเพชรบุรี	นายเอกรัตน์ นภกานต์	มหาวิทยาลัยธนบุรี
17	ME - 017	17:00-17:15 น.	การศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างปุ๋ยถ่านกับดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว	นางสาวชนมน ศรีพระจันทร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
18	ME - 018	17:15-17:30 น.	การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน	นายอนุพล อัคพิน	ม.ราชภัฏพิบูลสงคราม

ห้อง TREC2

Session: นวัตกรรมพลังงานทดแทน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้นำเสนอ	หน่วยงาน
1	IE - 001	13:00-13:15 น.	Heat Transfer Characteristics on Waste Heat Recovery of Combustion Stack Gas with Deionized Water in Helical Coiled Heat Exchanger	Mr. Rithy Kong	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2	IE - 002	13:15-13:30 น.	การพัฒนาสถานีอัดประจุสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์	นายพลากร พรหมเมศร์	มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
3	IE - 003	13:30-13:45 น.	การพัฒนาระบบประหยัดพลังงานไฟฟ้าในฟาร์มเลี้ยงไก่แบบปิดโดยใช้กังหันลม	นายเสกสรร ชะนะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
4	IE - 004	13:45-14:00 น.	การประเมินศักยภาพลมเชิงสถิติตามฤดูมรสุมโดยสมการ Multiple Weibull Statistical analysis of seasonal wind power potential using Multiple-Weibull function	นางสาววิกันดา ศรีเดช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
5	IE - 005	14:00-14:15 น.	พลังงานไฟฟ้าจากรถสามล้อพ่วง	นางสาวฤทัย ประทุมทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา
6	IE - 006	14:15-14:30 น.	ศึกษาการกระจายความดันบนพื้นผิวใบพัดของกังหันลมแนวแกนนอนในอุโมงค์ลม	นายติณณภพ แพงผม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
7	IE - 007	14:30-14:45 น.	จลนพลศาสตร์การอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุงด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดและการพาความร้อน	นางสาวหทัยชนก เนตรคำ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
8	IE - 008	14:45-15:00 น.	การศึกษาระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเพื่อประยุกต์ใช้ในตลาดสด วงศกร พลาซ่า	นายวงศกร วิเศษสัจจา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
9	IE - 009	15:00-15:15 น.	การศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานกังหันลมและโซล่าเซลล์ขนาด 17 กิโลวัตต์ร่วมกับระบบแบตเตอรี่เข้าสู่ระบบสายส่งของชุมชน	นายวิรชัย โรยนรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
10	IE - 010	15:15-15:30 น.	จลนพลศาสตร์การอบแห้งด้วยลมร้อนและไมโครเวฟและสัมประสิทธิ์การแพร่ของกล้วยเล็บมือนาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชน	นางสาวจิราพร เผ่าเอี้ยง	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
11	IE - 011	15:30-15:45 น.	การกระจายของอัตราเร็วลมภายในอุโมงค์ลมแบบเปิด	นางสาวเสาวลักษณ์ ทองดี	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
12	IE - 012	15:45-16:00 น.	ระบบเฝ้าตรวจวัดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลานิล	นางสาวศิริวรรณ ทำนุ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
13	IE - 013	16:00-16:15 น.	กำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการทำความเย็น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์	นายณัฐพล เข็มเพ็ชร์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
14	IE - 014	16:15-16:30 น.	การประเมินค่ากำจัดขยะอุตสาหกรรมอันตรายประเภทของแข็ง ที่เหมาะสมกับโรงไฟฟ้าแบบแก๊สซิฟิเคชั่น อุณหภูมิสูง	นายสุรสิทธิ์ เฉลิมเจริญรัฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15	IE - 015	16:30-16:45 น.	อิทธิผลของมุมของฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย	นายนัสรู ตือจ๊ะ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
16	IE - 016	16:45-17:00 น.	การศึกษาผลกระทบของโซลิดิตีต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ	นายมูฮำมัดคอยรี หะยีบากา	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
17	IE - 017	17:00-17:15 น.	การศึกษาการอบแห้งกุ้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบเรือนกระจกร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำ	นายณัฏฐวัฒน์ วิสัยพรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
18	IE - 018	17:15-17:30 น.	การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	นายณัฏฐวัฒน์ วิสัยพรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ห้อง TREC3

Session: เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้นำเสนอ	หน่วยงาน
1	FC - 001	13:00-13:15 น.	การศึกษาอัตราการเติบโตของพืชพลังงานและความเหมาะสมของการนำไปประยุกต์ใช้	นายสมชาย มณีวรรณ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
2	FC - 002	13:15-13:30 น.	การประเมินสภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานเตานึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อน 1 กลับ, 2 กลับ และ 3 กลับ สำหรับกลุ่มอาชีพเพาะเห็ดแบบก้อนในจังหวัดลำปาง	นางสาววริภา ยงประยูร	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
3	FC - 003	13:30-13:45 น.	จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งปลาหมึกสด และปลาหมึกต้ม ด้วยการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนอินฟราเรด	นางสาวสุภิตา ไชยโป	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
4	FC - 004	13:45-14:00 น.	ศักยภาพการใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งในประเทศไทย	นายฐิติพงษ์ ภูผาทอง	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
5	FC - 005	14:00-14:15 น.	การอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเปลี่ยนเฟส	นายศุภชัย จินา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
6	FC - 006	14:15-14:30 น.	การผลิตถ่านจากใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังเพื่อพัฒนาเป็นถ่านอัดแท่ง	นางสาวภัทราณี นาคคงคำ	บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
7	FC - 007	14:30-14:45 น.	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาอบแบบรังสีอินฟาเรดระยะไกล และแบบดั้งเดิม	นายพิสิษฎ์ มณีโชติ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
8	FC - 008	14:45-15:00 น.	การศึกษาสมรรถนะเบื้องต้นของหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	นายจักราวุธ เมตตา	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก
9	FC - 009	15:00-15:15 น.	การผลิตถ่านอัดแท่งจากผักตบชวาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งชุมชน	นางสาวธัญวรัตม์ ประเดชบุญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
10	FC - 010	15:15-15:30 น.	การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางพาราสำหรับเป็นตัวประสานของถ่านอัดแท่ง	นางสาวหฤทัย บงแก้ว	มหาวิทยาลัยนเรศวร
11	FC - 011	15:30-15:45 น.	การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะม่วงมหาชนกอบแห้งโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาล โดยเทคนิคการอบแห้งแบบปรับลดอุณหภูมิลมร้อน	นายศรัณย์ ศักดิ์สุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
12	FC - 012	15:45-16:00 น.	การทดสอบหาสมรรถนะของเตาชีวมวลแบบไหลขวาง สำหรับรถยนต์	นายภูนิซัต สายแก้ว	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
13	FC - 013	16:00-16:15 น.	การประเมินความเป็นไปได้ของโรงงานผลิตไม้สับจากประเทศกัมพูชา	นายวัลลภ หลวงละ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14	FC - 014	16:15-16:30 น.	การผลิตเชื้อเพลิงแข็ง (RDF-5) จากใบไม้ของต้นเต็งรัง เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนและลดปัญหาหมอกควัน	นายวรพจน์ โพธาเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
15	FC - 015	16:30-16:45 น.	การสึกหรอของชิ้นงานที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพสังเคราะห์เปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม	นางสาวรัชฎาภรณ์ อินเกิด	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
16	FC - 016	16:45-17:00 น.	การวิเคราะห์คุณสมบัติและต้นทุนการผลิตถ่านชีวภาพ โดยใช้กระบวนการไพโรไลซิส	นางสาวประภัสสร รัตนไพบูลย์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
17	FC - 017	17:00-17:15 น.	การศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลของสัตว์ด้วยแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน	นางสาวศิริพร ศรีไตรัตน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
18	FC - 018	17:15-17:30 น.	สมรรถนะแก๊สซิไฟเออร์แบบฟลูอิไดซ์เบดเมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง	นายพงศธร มณฑิพย์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ห้อง TREC4

Session: บูรณาการพลังงาน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้นำเสนอ	หน่วยงาน
1	RE - 001	13:00-13:15 น.	ออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนแบบต่อเนื่องในอุตสาหกรรมอาหาร	นายวุฒิพงศ์ ไชยแสง	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2	RE - 002	13:15-13:30 น.	ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานเพื่อบ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของการผลิตถุงมือยาง	นายพงศกร เกิดช้าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
3	RE - 003	13:30-13:45 น.	การจำลองแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของโปรแกรมแมทแลป	นายเอกรินทร์ วาโย	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
4	RE - 004	13:45-14:00 น.	การพัฒนาอุปกรณ์วัดและจัดเก็บข้อมูลพลังงานรังสีแสงอาทิตย์บนการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ	นายลัญฉกร นิลทรัตน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
5	RE - 005	14:00-14:15 น.	การศึกษาช่องระบายอากาศที่เหมาะสมในการอบเห็ดนางฟ้าด้วยตู้อบแห้งสองระบบ	นางสาวนิชาภา อ่ำเพียร	วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก
6	RE - 006	14:15-14:30 น.	การระบายความร้อนสะสมภายในห้องด้วยพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์	นายอรรถกร อาสนคำ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
7	RE - 007	14:30-14:45 น.	การศึกษาความแตกต่างของฉนวนความร้อนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพหม้อไอน้ำขนาดเล็ก	นายกิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
8	RE - 008	14:45-15:00 น.	การทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับผนังสุญญากาศ	นายสุรสิทธิ์ เที่ยงจันตา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
9	RE - 009	15:00-15:15 น.	Performance Investigation of Spark-Ignition Engine fueled with Gasoline, LPG and Biogas for Electric Power Generetion	Mr. Medhane Embaye	มหาวิทยาลัยนเรศวร
10	RE - 010	15:15-15:30 น.	แบบจำลองระบบ AC Microgrid สำหรับชุมชนขนาดเล็ก	นายมาโนชญ์ ตนสิงห์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
11	RE - 011	15:30-15:45 น.	การศึกษาและประเมินความเหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานขนาดเล็กมากในถิ่นทุรกันดาร	นายฉัตรชัย งามสม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
12	RE - 012	15:45-16:00 น.	การวิเคราะห์และออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระสำหรับการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ	นายจิรศักดิ์ ส่งบุญแก้ว	มหาวิทยาลัยธนบุรี
13	RE - 013	16:00-16:15 น.	การออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโซลาร์ฟาร์ม	นายกฤชนนท์ สวนจันทร์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
14	RE - 014	16:15-16:30 น.	อิทธิพลการไหลของความร้อนและเกรเดียนท์อุณหภูมิต่อหลังคายางพาราผสมวัตถุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม	นายชัยนุสนธ์ เกษตรพงศ์ศาล	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
15	RE - 015	16:30-16:45 น.	ผลกระทบจากการจัดการเรียนการสอนโดยการใช้สื่อการเรียนการสอนด้านพลังงานทดแทน	นายณัฐวุฒิ ขาวสะอาด	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ลำดับการนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย
Oral Presentations

ห้อง TREC1

Session : สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้นำเสนอ	หน่วยงาน
1	NC- 001	13:00-13:15 น.	การใช้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมสู่นวัตกรรม “การดูแลคุณภาพน้ำชุมชน” เพื่อการบริหารจัดการน้ำอย่างยั่งยืน	นางสาวเดือนตา ร่าหมาน	มหาวิทยาลัยทักษิณ
2	NC- 002	13:15-13:30 น.	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพจากระบบยูเอเอสบีขนาดเล็ก	นายสุรเชษฐ์ กล้าณรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3	NC- 003	13:30-13:45 น.	การศึกษาภาวะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ราบจังหวัดแพร่	นายศุภชัย เพชรธาราวดี	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
4	NC- 004	13:45-14:00 น.	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อผลิตก๊าซมีเทน มุ่งสู่การจัดการสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	นางสาวรุ่งนภา เขียววิจิตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
5	NC- 005	14:00-14:15 น.	การพัฒนา และติดตั้งกรีนรูฟเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่ภายในบ้าน	นายวรวัช พวงพรศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
6	NC- 006	14:15-14:30 น.	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กโดยน้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลไก่เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ	นายธรณิช เมืองมูล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
7	NC- 007	14:30-14:45 น.	กรรมวิธีการผลิตไฟเบอร์ซีเมนต์ด้วยผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าถ่านหินเพื่อเป็นวัสดุสำหรับอาคาร	นายสันต์ เกื้อหนุน	มหาวิทยาลัยทักษิณ
8	NC- 008	14:45-15:00 น.	การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม	นายเด่นศักดิ์ หอมหวล	สถาบันวิทยาลัยชุมชน ตาก
9	NC- 009	15:00-15:15 น.	การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยการใช้แหล่งน้ำที่แตกต่างกัน	นายณัฐวุฒิ ขาวสะอาด	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
10	NC- 010	15:15-15:30 น.	การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการธรรมชาติของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม	นางสาวรุ่งอรุณ วรพฤติสกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
11	NC- 011	15:30-15:45 น.	การศึกษาคุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านตำบลในเมือง อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก	นายณัฐรินันท์ คัญใหญ่	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ห้อง TREC2

Session : นวัตกรรมพลังงานทดแทน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้นำเสนอ	หน่วยงาน
1	IE - 019	13:00-13:15 น.	เครื่องย่อยและอบสมุนไพร	นายจักรพันธ์ กัณหา	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
2	IE - 020	13:15-13:30 น.	การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบ LED	นางสาวญาณินท์ เอิบอาบ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
3	IE - 021	13:30-13:45 น.	อิทธิพลของแคลเซียมและแบเรียมต่อตัวเร่งปฏิกิริยาแพลลาเดียมบนตัวรองรับซิลิกาในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนเพื่อปรับปรุงความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไบโอดีเซล	นางอาภาณี เหลืองนฤมิตชัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4	IE - 022	13:45-14:00 น.	การอบแห้งรางจืดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อม	นายสุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
5	IE - 023	14:00-14:15 น.	จากงานวิจัยสู่การใช้ประโยชน์เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียและใช้งานก๊าซชีวภาพเพื่อลดต้นทุนการผลิตยางแผ่นรมควัน	นายสุเมธ ไชยประพัทธ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
6	IE - 024	14:15-14:30 น.	การคัดแยกยีสต์ทนร้อนเพื่อผลิตเอทานอลจากน้ำตาลเพนโตส	นายนวภัทร นวกะคาม	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
7	IE - 025	14:30-14:45 น.	สภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาของน้ำมันยางนาและเอทานอลในการผลิตไบโอดีเซล	นางสาวปรียา แก้วนารี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
8	IE - 026	14:45-15:00 น.	ผลของการกวนที่มีต่อการเจริญและการผลิตน้ำมันของสาหร่ายคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอล ภายใต้แสงจากสารกึ่งตัวนำเรืองแสงแอลอีดี (LED)	นางเพลินพิศ แจ้งโพธิ์นาค	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
9	IE - 027	15:00-15:15 น.	ผลของสมรรถนะที่กระทำต่อกังหันแบบแรงกระแทกของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ที่ต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์และแบบเดลต้าสำหรับเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กมาก	นายศรีธร อุปคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
10	IE - 028	15:15-15:30 น.	ตัวควบคุมพลังงานไฟฟ้าในรถแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อน	นายศรายุทธ วงศ์สุนทร และ อนันตชัย สงเสริม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

ห้อง TREC3

Session : เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้นำเสนอ	หน่วยงาน
1	FC - 019	13:00-13:15 น.	การปรับปรุงเสถียรภาพของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบ	นายณรงค์ อินทพรหม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2	FC - 020	13:15-13:30 น.	สมรรถนะเตาชีวมวลเมื่อใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร	นางสาวโสภาภรณ์ รัตนะ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
3	FC - 021	13:30-13:45 น.	การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชนด้วยอากาศร้อนแบบสลับทิศทางที่ผลิตจากเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง	นายภาสพงศ์ภัสส์ บัญรัตน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก
4	FC - 022	13:45-14:00 น.	การศึกษาสมรรถนะเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอบฆ่าเชื้อก้อนเห็ด	นายณัฐพล แสงทอง	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก
5	FC - 023	14:00-14:15 น.	การประเมินเศรษฐศาสตร์ของเตาชีวมวลไร้ควัน สำหรับการผลิตความร้อนในวิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์	นายธนชาต มหาวัน	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
6	FC - 024	14:15-14:30 น.	การศึกษาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับเตาชีวมวลแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่อง	นายพงศ์สถิตย์ ศรภักดี	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
7	FC - 025	14:30-14:45 น.	ผลกระทบของชนิดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษจากเตาแก๊สชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น	นายชิษณุพงศ์ จิตตคาม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก
8	FC - 026	14:45-15:00 น.	การศึกษาอิทธิพลขององศาการฉีดน้ำมันในเครื่องยนต์การเกษตรที่ใช้ไบโอดีเซลผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง	นายยุทธศักด์ แพเรือง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
9	FC - 027	15:00 - 15.15 น.	การประยุกต์ใช้ผลงานวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพก๊าซชีวภาพในระบบส่งจ่ายในชุมชนเพื่อความยั่งยืน กรณีศึกษา : ชุมชนบ้านเสาหิน หมู่ 9 ตำบลป่าแฝก อำเภองไกรลาศ จังหวัดสุโขทัย	นายปรีชา ศรีประภาคาร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

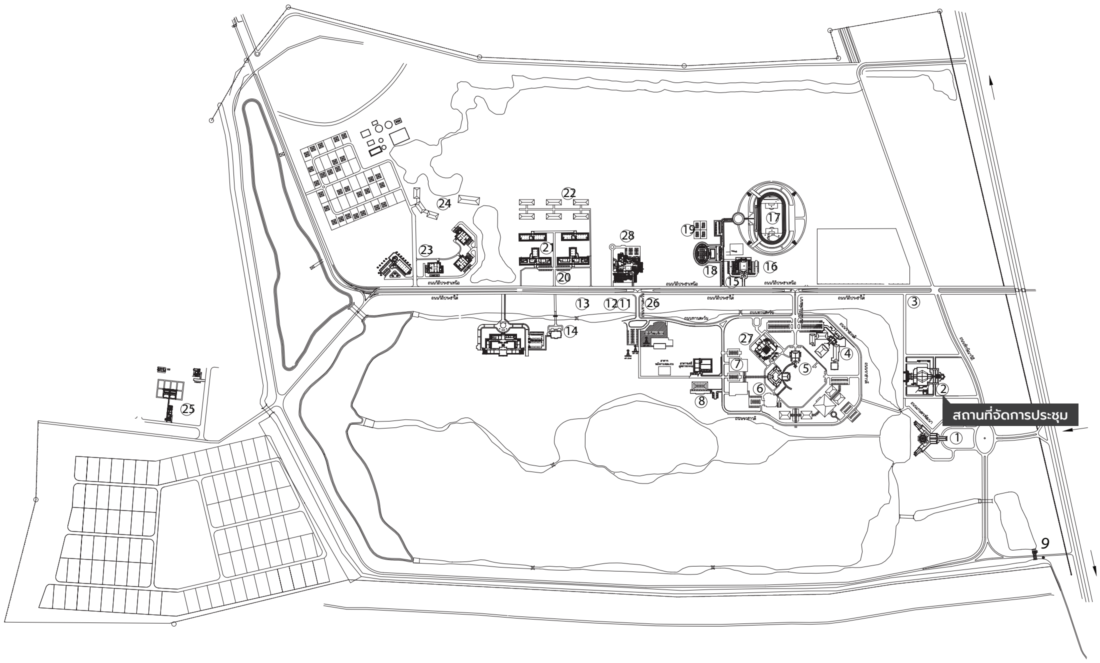
ห้อง TREC4

Session : ไฟฟ้าชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้นำเสนอ	หน่วยงาน
1	EC - 001	13:00-13:15 น.	การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบออนกริดเป็นแหล่งจ่ายไฟสาหรับชุมชน	นายสุเมตต์ เจริญราช	บริษัท โซล่าร์ โฮม เจริญราช จำกัด
2	EC - 002	13:15-13:30 น.	Pump-as-turbine testing system for Pico hydro power generation	. Daniel Lodu Tartisyo Matth	วิทยาลัยพลังงานทดแทน (SERT)
3	EC - 003	13:30-13:45 น.	การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการสลายลิกนินของผักตบชวา	นางสาวธัญวรัตม์ ประเดชบุญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
4	EC - 004	13:45-14:00 น.	การพัฒนาระบบจ่ายน้ำแปลงเกษตรอัตโนมัติตามความชื้นในดิน ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	นายภาณุพงศ์ ถนอมเกียรติ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
5	EC - 005	14:00-14:15 น.	การประเมินศักยภาพพลังงานลมในบริเวณภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทย	นางสาวลัทธวรรณ นิยมธรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6	EC - 006	14:15-14:30 น.	ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบผสมผสานเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายและเก็บสะสมพลังงาน: กรณีศึกษาติดตั้งบนหลังคามัสยิดตลาดใต้	นายพงษ์ศักดิ์ มะขามป้อม	มหาวิทยาลัยทักษิณ
7	EC - 007	14:30-14:45 น.	สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบกริดจากโปรแกรม PVSyst และติดตั้งจริงบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง จังหวัดพัทลุง	นายณฐกร สุวรรณโณ	มหาวิทยาลัยทักษิณ

ผังบริเวณมหาวิทยาลัยทักษิณ-วิทยาเขตพัทลุง

1. อาคารบริหารและสำนักงานกลาง
2. อาคารหอประชุมฯ
3. ธนาคารไทยพาณิชย์
4. อาคารคณะวิทยาการสุขภาพฯ
5. อาคารเรียนรวม
6. โรงอาหาร
7. กลุ่มอาคารคณะวิทยาศาสตร์
8. อาคารปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ
9. อาคารปฏิบัติการด้านพลังงานทดแทน
10. อาคารวิทยบริการ
11. ร้าน 7-ELEVEN
12. ศูนย์ส่งเสริมสุขภาพและบริการพยาบาล
13. บริเวณตลาดขายอาหาร
14. อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีอาหาร
15. อาคารศูนย์กิจกรรมนิสิต
16. บริเวณสนามบาสเก็ตบอลและเปตอง
17. สนามฟุตบอล
18. โรงฝึกพลศึกษา
19. สนามเทนนิส
20. หอพักพะยอม 1-2
21. หอพักพะยอม 3-4
22. หอพักอินทนิล 1-6
23. ที่พักบุคลากร 1-4
24. บ้านพักอธิการบดี/รองอธิการบดี
25. บริเวณฟาร์มคณะเทคโนฯ
26. บริเวณเวทีกลาง (ลานวัฒนธรรม)
27. อาคารศูนย์เครื่องมือกลาง
28. อาคารสัมมนาคาร



๑. คณะกรรมการอำนวยการ

๑. รองอธิการบดีวิทยาเขตพัทลุง	ที่ปรึกษา
๒. รองอธิการบดีฝ่ายวางแผนและกิจการสภามหาวิทยาลัย	ที่ปรึกษา
๓. รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย	ที่ปรึกษา
๔. รองอธิการบดีฝ่ายบริการวิชาการและวิเทศสัมพันธ์	ที่ปรึกษา
๕. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	ประธานกรรมการ
๖. คณบดีคณะวิทยาศาสตร์	ประธานกรรมการร่วม
๗. ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา	ประธานกรรมการร่วม
๘. ประธานหลักสูตรวิศวกรรมพลังงาน	กรรมการ
๙. ประธานหลักสูตรวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์	กรรมการ
๑๐. ประธานหลักสูตรวิศวกรรมยางและพอลิเมอร์	กรรมการ
๑๑. ประธานสาขาวิชาฟิสิกส์	กรรมการ
๑๒. หัวหน้าสำนักงานสถาบันวิจัยและพัฒนา	กรรมการ
๑๓. ผศ.ดร.จตุพร แก้วอ่อน	กรรมการและเลขานุการ
๑๔. หัวหน้าสำนักงานคณะวิศวกรรมศาสตร์	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ
๑๕. หัวหน้าสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

๒. คณะกรรมการฝ่ายเลขานุการ

๑. หัวหน้าสำนักงานคณะวิศวกรรมศาสตร์	ประธานกรรมการ
๒. หัวหน้าสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์	ประธานกรรมการร่วม
๓. หัวหน้าสำนักงานสถาบันวิจัยและพัฒนา	ประธานกรรมการร่วม
๔. อาจารย์ธารทิพย์ สิทธิรักษ์	กรรมการ
๕. อาจารย์ปาลิตา สัจจะบุตร	กรรมการ
๖. อาจารย์จีรวัฒน์ โสภาจารย์	กรรมการ
๗. นางสาวอรวรรณ หนูนุ่น	กรรมการ
๘. นางสาวอัจฉรา ขุนลึก	กรรมการ
๙. นายกฤศณพันธ์ จันทร์คง	กรรมการและเลขานุการ

๓. คณะกรรมการฝ่ายการเงินและพัสดุ

๑. อาจารย์ ดร.รวมพร นิคม	ประธานกรรมการ
๒. อาจารย์ธารทิพย์ สิทธิรักษ์	รองประธานกรรมการ
๓. นางสุมาลี จันทร์ผลึก	กรรมการ
๔. นางสาววิลาวัลย์ รัตนทอง	กรรมการ
๕. นางสาวอรวรรณ หนูนุ่น	กรรมการ
๖. นางสาวกัญชริกา พรหมแก้ว	กรรมการ
๗. นางสาวปราณี หนูทองแก้ว	กรรมการ
๘. หัวหน้าสำนักงานคณะวิศวกรรมศาสตร์	กรรมการ
๙. นายกฤศณพันธ์ จันทร์คง	กรรมการและเลขานุการ

๔. คณะกรรมการฝ่ายจัดหาผู้สนับสนุนการจัดการประชุมวิชาการ

๑. รศ.ดร.จอมภพ แววศักดิ์	ประธานกรรมการ
๒. ผศ.ดร.เริงวุฒิ ชูเมือง	รองประธานกรรมการ
๓. ผศ.ดร.จตุพร แก้วอ่อน	กรรมการ
๔. อาจารย์ ว่าที่ ร.ต. ดร.พลกฤษณ์ คล้ายวิตภัทร	กรรมการ
๕. อาจารย์ ดร.กฤษฎา พัชรสิทธิ์	กรรมการ
๖. อาจารย์ ดร.อภิเดช บูรณวงศ์	กรรมการ
๗. อาจารย์ ดร.รวมพร นิคม	กรรมการ
๘. นางสาวปราณี หนูทองแก้ว	กรรมการและเลขานุการ

๕. คณะกรรมการฝ่ายปฏิคม

๑. อาจารย์ ดร.กฤษฎา พัชรสิทธิ์	ประธานกรรมการ
๒. อาจารย์ ดร.ศุภลักษณ์ อำลอย	รองประธานกรรมการ
๓. อาจารย์ ดร.นิรมล จันทรชาติ	กรรมการ
๔. อาจารย์ ดร.กรกนก อุบลชลเขต	กรรมการ
๕. อาจารย์บัญญัติ ลีลาจริยกุล	กรรมการ
๖. อาจารย์ธารทิพย์ สิทธิรักษ์	กรรมการ
๗. อาจารย์ปาลิตา สัจจะบุตร	กรรมการ
๘. นางสาวพิมพ์ชนก แก้วอุดม	กรรมการ
๙. นางสาวพิมพ์ณดา มณีวงค์	กรรมการและเลขานุการ

๖. คณะกรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์

๑. อาจารย์ ดร.โชคชัย เหมือนมาศ	ประธานกรรมการ
๒. อาจารย์ ว่าที่ ร.ต. ดร.พลกฤษณ์ คล้ายวิตภัทร	รองประธานกรรมการ
๓. ผศ.ดร.จตุพร แก้วอ่อน	กรรมการ
๔. อาจารย์ ดร.อภิเดช บูรณวงศ์	กรรมการ
๕. อาจารย์ ดร.ศุภลักษณ์ อำลอย	กรรมการ
๖. อาจารย์ ดร.กฤษฎา พัชรสิทธิ์	กรรมการ
๗. อาจารย์บัญญัติ ลีลาจริยกุล	กรรมการ
๘. อาจารย์จีรวัฒน์ โสภาจารย์	กรรมการ
๙. นายสิทธิชัย บุญสนิท	กรรมการ
๑๐. นายกฤษดา สุวรรณการณ์	กรรมการ
๑๑. อาจารย์ ดร.เสาวณีย์ สิงห์สโรทัย	กรรมการและเลขานุการ

๗. คณะกรรมการฝ่ายพิธีการ

๑. อาจารย์ ดร.สุนิสา คงประสิทธิ์	ประธานกรรมการ
๒. อาจารย์ ดร.อนิดา เพ็ชรแก้ว	รองประธานกรรมการ
๓. รศ.ดร.จอมภพ แววศักดิ์	กรรมการ
๔. อาจารย์ ว่าที่ ร.ต. ดร.พลกฤษณ์ คล้ายวิตภัทร	กรรมการ
๕. อาจารย์ ดร.ศุภลักษณ์ อำลอย	กรรมการ
๖. อาจารย์ธารทิพย์ สิทธิรักษ์	กรรมการ
๗. นางวรญา ไชยบัณฑิต	กรรมการ
๘. นางสาวพิมพ์ณดา มณีวงค์	กรรมการ
๙. นางสาวกัญญณัชช์ เลียดรักษ์	กรรมการ
๑๐. นางสาวจินตนา รัตนบุรี	กรรมการ
๑๑. นางสาวขวัญใจ นิ่มดวง	กรรมการ
๑๒. นายชัยยุทธ มณีฉาย	กรรมการและเลขานุการ

๘. คณะกรรมการฝ่ายอาคารสถานที่

๑.	นายนิพนธ์ อินทร์ทอง	ประธานกรรมการ
๒.	อาจารย์ ดร.กฤษฎา พัชรสิทธิ์	รองประธานกรรมการ
๓.	อาจารย์ ว่าที่ ร.ต. ดร.พลกฤษณ์ คล้ายวิตภัทร	กรรมการ
๔.	อาจารย์บัญญัติ ลีลาจริยกุล	กรรมการ
๕.	นายสิทธิชัย บุญสนิท	กรรมการ
๖.	นายคทายุทธ์ คงมณี	กรรมการ
๗.	นายสุประดิษฐ์ ยวนทอง	กรรมการ
๘.	นายธีระเดช ใหญ่บก	กรรมการ
๙.	นายสุเจนต์ พรหมเหมือน	กรรมการ
๑๐.	นายอาณัฐ พริกเล็ก	กรรมการ
๑๑.	นายชนะ จันทร์ฉ่ำ	กรรมการ
๑๒.	นายสมพล ชีวมงคลกานต์	กรรมการ
๑๓.	ผศ.ดร.จตุพร แก้วอ่อน	กรรมการและเลขานุการ

๙. คณะกรรมการฝ่ายโสตทัศนูปกรณ์

๑.	อาจารย์จีรวัฒน์ โสภาจารย์	ประธานกรรมการ
๒.	นายคทายุทธ์ คงมณี	รองประธานกรรมการ
๓.	นายสุเจนต์ พรหมเหมือน	กรรมการ
๔.	นายอาณัฐ พริกเล็ก	กรรมการ
๕.	นายศุภกร กตธิการกุล	กรรมการ
๖.	นายกฤษดา สุวรรณการณ์	กรรมการ
๗.	นายสุประดิษฐ์ ยวนทอง	กรรมการ
๘.	นายสมพล ชีวมงคลกานต์	กรรมการ
๙.	นายฉัตรชัย สุนทะโก	กรรมการและเลขานุการ
๑๐.	นายธีรเดช ใหญ่บก	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

๑๐. คณะกรรมการฝ่ายอาหาร

๑.	อาจารย์ ดร.เสาวณีย์ สิงห์สโรทัย	ประธานกรรมการ
๒.	อาจารย์ ดร.กฤษฎา พัชรสิทธิ์	กรรมการ
๓.	อาจารย์จีรวัฒน์ โสภาจารย์	กรรมการ
๔.	อาจารย์ธารทิพย์ สิทธิรักษ์	กรรมการ
๕.	นายกฤศณพันธ์ จันทร์คง	กรรมการ
๖.	นางสาวกัญชริกา พรหมแก้ว	กรรมการ
๗.	นางสาวกัญญณัชช์ เลียดรักษ์	กรรมการ
๘.	อาจารย์ ดร.กรกนก อุบลชลเขต	กรรมการ
๙.	อาจารย์ ดร.รวมพร นิคม	กรรมการและเลขานุการ

๑๑. คณะกรรมการฝ่ายประเมินผล

๑.	อาจารย์ พีระ ทองมี	ประธานกรรมการ
๒.	นางสาวอรกมล ไกรวงศ์	กรรมการ
๓.	อาจารย์ธารทิพย์ สิทธิรักษ์	กรรมการ
๔.	นายพีระศักดิ์ พรหมเนตร	กรรมการ
๕.	นางสาวกัญชริกา พรหมแก้ว	กรรมการและเลขานุการ

๑๒. คณะกรรมการฝ่ายจัดทำรวมเล่มบทคัดย่อ และกำหนดการ

๑.	อาจารย์ ดร.อภิเดช บูรณวงศ์	ประธานกรรมการ
๒.	ผศ.ดร.จตุพร แก้วอ่อน	รองประธานกรรมการ
๓.	อาจารย์ ดร.นิรมล จันทรชาติ	กรรมการ
๔.	อาจารย์ ดร.รวมพร นิคม	กรรมการ
๕.	อาจารย์ ดร.เสาวณีย์ สิงห์สโรทัย	กรรมการ
๖.	อาจารย์ ดร.กฤษฎา พัชรสิทธิ์	กรรมการ
๗.	อาจารย์ ว่าที่ ร.ต. ดร.พลกฤษณ์ คล้ายวิตภัทร	กรรมการ
๘.	อาจารย์จีรวัฒน์ โสภาจารย์	กรรมการ
๙.	อาจารย์ธารทิพย์ สิทธิรักษ์	กรรมการ
๑๐.	นางสาวพิมพ์ณดา มณีวงค์	กรรมการ
๑๑.	นางสาวปราณี หนูทองแก้ว	กรรมการและเลขานุการ

๑๓. คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ

๑.	รศ.ดร.จอมภพ แววศักดิ์	ประธานกรรมการ
๒.	ผศ.ดร.เริงวุฒิ ชูเมือง	รองประธานกรรมการ
๓.	รศ.ดร.กนกพร สังขรักษ์	กรรมการ
๔.	ผศ.ดร.ชลทิศา สุขเกษม	กรรมการ
๕.	ผศ.ดร.จตุพร แก้วอ่อน	กรรมการ
๖.	ผศ.ดร.อุษา อ้นทอง	กรรมการ
๗.	ผศ.ดร.สมพงศ์ โอทอง	กรรมการ
๘.	ผศ.ดร.ธวัฒน์ชัย เทพนวล	กรรมการ
๙.	ผศ.สุวิทย์ เพชรห้วยลึก	กรรมการ
๑๐.	ผศ.มารีนา มะหนิ	กรรมการ
๑๑.	อาจารย์ ดร.สุนิสา คงประสิทธิ์	กรรมการ
๑๒.	อาจารย์ ดร.อาภรณ์ ส่งแสง	กรรมการ
๑๓.	อาจารย์ ดร.ชลธิรา แสงสุบัน	กรรมการ
๑๔.	อาจารย์ ดร.อัษฎาวุธ หิรัญรัตน์	กรรมการ
๑๕.	อาจารย์ ดร.พีรนาฏ คิดดี	กรรมการ
๑๖.	อาจารย์ ดร.พนิตา สุมานะตระกูล	กรรมการ
๑๗.	อาจารย์ ดร.อนิดา เพ็ชรแก้ว	กรรมการ
๑๘.	อาจารย์ ดร.นิรมล จันทรชาติ	กรรมการ
๑๙.	อาจารย์ ดร.รวมพร นิคม	กรรมการ
๒๐.	อาจารย์ ดร.โชคชัย เหมือนมาศ	กรรมการ
๒๑.	อาจารย์ ดร.เสาวณีย์ สิงห์สโรทัย	กรรมการ
๒๒.	อาจารย์ ว่าที่ ร.ต. ดร.พลกฤษณ์ คล้ายวิตภัทร	กรรมการ
๒๓.	อาจารย์ ดร.กฤษฎา พัชรสิทธิ์	กรรมการ
๒๔.	อาจารย์ ดร.กรกนก อุบลชลเขต	กรรมการ
๒๕.	อาจารย์ปรีดาภรณ์ กาญจนสำราญวงศ์	กรรมการ
๒๖.	อาจารย์ ดร.อภิเดช บูรณวงศ์	กรรมการและเลขานุการ

คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบทางวิชาการ

การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10

1	รองศาสตราจารย์ ดร. จอมภพ แววศักดิ์	ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
2	รองศาสตราจารย์ ดร.กนกพร สังขรักษ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
3	รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นาผล	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ
4	รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
5	รองศาสตราจารย์ ดร.วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดิ์	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
6	รองศาสตราจารย์ ดร.วรนุช แจ้งสว่าง	วิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
7	รองศาสตราจารย์ ดร.สมรัตน์ เกิดสุวรรณ	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
8	รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย เทพา	คณะพลังงานวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
9	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จตุพร แก้วอ่อน	วิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
10	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เริงวุฒิ ชูเมือง	วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยทักษิณ
11	ผู้ช่วยศาสตราจารย์มารีนา มะหนิ	ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
12	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ เพชรห้วยลึก	ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
13	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัฒน์ชัย เทพนวล	ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
14	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพันธ์ ด้วงทองสุข	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย
15	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ	วิศวกรรมพลังงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
16	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูรัตน์ ธารารักษ์	วิศวกรรมพลังงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
17	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐวุฒิ ดุษฎี	วิศวกรรมพลังงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
18	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ	ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
19	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิระ สายศร	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.ชุมพร
20	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรชัย โรยนรินทร์	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
21	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จารุวัฒน์ เจริญจิต	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
22	ผู้ช่วยศาสตราจารย์บัญญัติ นิยมวาส	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
23	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์	ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
24	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ นิลผึ้ง	วิทยาลัยอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
25	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติภูมิ ศุภลักษณ์ปัญญา	คณะอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
26	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัฒนะ รักความสุข	คณะพลังงานวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
27	อาจารย์ ดร.นันทพันธ์ นภัทรานันทน์	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
28	อาจารย์ ดร.พลกฤษณ์ คล้ายวิตภัทร	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
29	อาจารย์ ดร.รวมพร นิคม	วิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
30	อาจารย์ ดร.โชคชัย เหมือนมาศ	วิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
31	อาจารย์ ดร.อนิดา เพชรแก้ว	วิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
32	อาจารย์ ดร.เสาวณีย์ สิงห์สโรทัย	วิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
33	อาจารย์ ดร.กรกนก อุบลชลเขต	วิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
34	อาจารย์ ดร.กฤษฎา พัชรสิทธิ์	วิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
35	อาจารย์ ดร.พิสิษฏ์ มณีโชติ	วิทยาลัยพลังงาน มหาวิทยาลัยนเรศวร
36	อาจารย์ ดร.สมมาส แก้วล้วน	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ
37	อาจารย์เกียรติศักดิ์ เส้งช่วย	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
38	อาจารย์ ดร.อรรถพล โกละกะ	บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด
39	อาจารย์ ดร.ธวัชชัย วงศ์ช่าง	วิทยาลัยอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
40	อาจารย์ ดร.อาริษา โสภาจารย์	วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
41	อาจารย์ ดร.สายใจ แก้วอ่อน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
42	อาจารย์ ดร.วาริช วีระพันธ์	เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การนำเสนอผลงานวิจัย**ภาคบรรยาย**

Oral Presentations

การนำเสนอผลงานวิจัย**ภาคบรรยาย**
Oral Presentations

Session

ไฟฟ้าชุมชน

Pump-as-turbine testing system for Pico hydro power generation.

Daniel Lodu Tartisyo Matthew [1], Sakda Somkun [1,*], Sathit Banthuek [1], Kwanchai Kraitong [2]

[1] School of Renewable Energy Technology (SERT)

[2] Department of Mechanical Engineering

Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand.

E-mail: drex.ujphy@gmail.com

Abstract

This paper shows experimental investigation results of a centrifugal pump-as-turbine, running in reversed mode on a testing system facility designed for Pico hydro power generation. The PAT was operating at an average head, discharge capacity, static pressure drop, electrical power, hydraulic power and efficiency of 14 m, 45 m^3/h, 135 kPa, 0.6 kW, 1.5 kW and 30 % respectively. The results showed a low discharge capacity from booster pump, leading to insufficient output electric power from the turbine to supply the load demand. Therefore, it has not satisfied the full performance characteristic curve of a PAT operating system. It is recommended to develop better control techniques, to regulate the system operation by revising the design of the system to check for mismatch in the main components.

Key words: PAT, performance characteristics, Pico hydro power generation.

[*] Corresponding author: Tel. 085-2344991. E-mail address: sakdaso@nu.ac.th

Introduction

The development of any country depends mainly upon the prevalence of electrical energy and its expenditure per capita, that becomes a focal point for national standard of living in the current civilization. However, energy is regarded as the fundamental resource for any country to sustain its economy growth [1]. Hydropower is regarded as the most important, clean and reliable source of energy in the world, where water potential is in abundance. Therefore, it is undoubtedly one of the most mature technologies, with an electricity production of 16.6 % of the world's electricity, with 7.1 % from other renewable energy sources; but it is much smaller than that of the fossil fuel plants with 76.3 % [2]. There is great effort to develop these resources in response to the environmental concern, to contribute significantly in the reduction of the greenhouse gas (GHG) emissions [3-4].

Due to available waterfalls and streams in the country, there is much possibility of producing Pico hydroelectric power from the sources to electrify the remote areas where grid connection may not be accessible. Pico hydro refers to generation of hydroelectric power under 5 kW. Even though the operating cost of a Pico hydro power system is very low, its initial capital cost is very high. The payback period for PAT is very short when compared to the conventional turbines [1-5]. The high water potential and waterfalls in the region has led to the choice of the topic: "*Pump-as-turbine testing system for Pico hydro power generation*", for electrification of the remote areas far from the main grid line. Alternatively, when the location has bad topological structures making it inaccessible. The maximum efficiency can be achieved under normal circumstances, but there will be low efficiency when the flow is very low [6].

Based on the economic factor, the use of pump-as-turbine is more reliable than the other hydropower applications; since it costs less and is more convenient as its installation, operation and maintenance does not require technology that is more complicated. The PAT was selected based on the design as described by Arthur Williams on his book "Pumps as turbines", a user's guide. The operating point of the pump is to be closer to the best efficiency point at the design point. The results of this research provide the performance characteristics curves of the testing system, designed at the School of Renewable Energy Technology (SERT) laboratory.

Methodology

A driving pump with a variable speed drive (VSD) was used to emulate the water source. The controller regulates the operating frequency of the pump's rotor to maintain a constant rotational (rpm) speed of the turbine shaft at 1500. Having fixed the frequency of the driving pump to a specified value, the readings for the flow rate, head, rotational speed, the torque, excitation current and voltage were recorded. The system operating at no load test yielded a low voltage and current due to low value of capacitance on induction generator capacitor. In order to increase the voltage and current to a usable value to supply the load, set of excitation capacitors are used in series and connected in parallel to each other. And circuit breakers were used selectively in exciting the voltage and current. A three-phase self-excited induction generator (SEIG) was to supply a three-phase load through a star (Y) connection. The experiment was repeated for different values of capacitance and the results were recorded respectively.

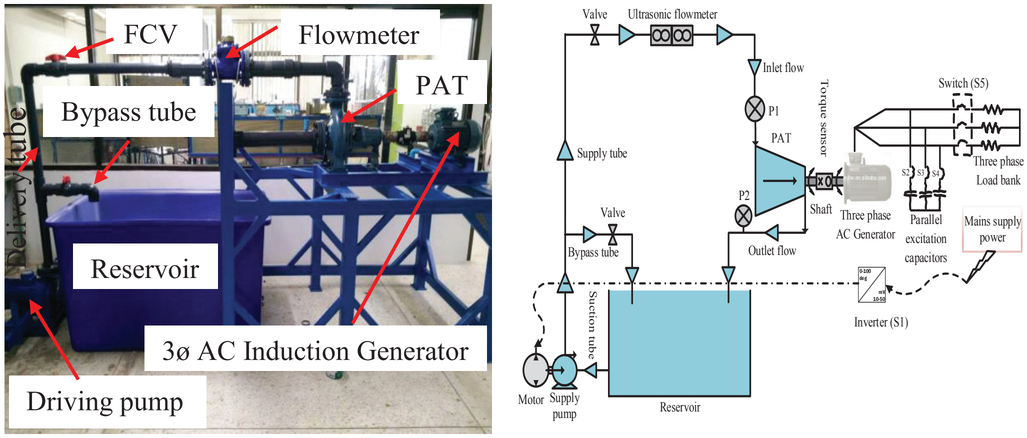
The differential pressure across the PAT is so small such that the total pressure head developed by the hydraulic system is nearly the same. Therefore, the input hydraulic power, output electric power and the efficiency were calculated as follows:

$$P_h = \gamma QH \quad (1)$$

$$P_e = \sqrt{3}.VI\cos\varphi \quad (2)$$

$$\eta_o = \frac{P_e}{P_h} \quad (3)$$

Where P_h, P_e and η_o are the hydraulic and electric powers and overall efficiency; γ, Q, H, V, I and φ are the specific weight of the fluid, discharge capacity, head, voltage, current and the phase angle respectively. From equation (1), the flow rate (Q) is measured using the ultrasonic flowmeter, while the head (H) developed by the pump is obtained as the ratio of pressure drop (Δp) across the PAT on the two pressure gauges to the fluid specific weight γ.



(a) **(b)**

Figure 1. (a) Photograph of the test rig (b) The schematic diagram of the designed testing system.

Table 1. Experimental tools.

S/N	Device	Quantity measured	Unit
1.	Ultrasonic flowmeter	Flow rate	m^3/s
2.	Pressure gauge	Pressure	N/m^2
3.	Torque sensor	Torque	N.m
4.	Laser Digital Tachometer (LDT)	Rotational speed	rpm
5.	Digital Multimeter (DMM)	Voltage	V
6.	Current sensor	Current	A

Results and discussion

The system was to operate by selecting an operating frequency for the pump and maintaining PAT rotational speed at 1500 rpm through the variable speed drive. When a capacitor of 36 μF was used, the excitation current and potential of 0.6 A and 291 V were observed at the output of the induction generator. Several capacitors were used at different frequencies, but that was not enough to produce sufficient power. The driving pump was not supplying enough discharge capacity to give maximum torque to the impeller. Thus, it is preferred to revise the selection design in choosing the PAT; as well, proper control techniques will be deployed to give the turbine runner maximum torque to rotate the shaft. In figure (2), the trend of head versus discharge capacity shows clear verification of Francis pump-as-turbine,

which operates at low head and high discharge. While the characteristic curve from plotting Efficiency of the system against discharge capacity is not fully developed, as the flow capacity is below 60 m^3/h. The efficiency increases with flow until the maximum efficiency point; it decreases further as the flow increases. It will be interesting to observe the characteristic curve beyond discharge capacity of 80 m^3/h to supply a power yield greater than 1 kW. In figures 3(a) and (b), when the discharge increases, the electric power increases; whereas, increase in capacitance yields increased voltage at the output of the generator until the limiting frequency value of the variable drive. This paper will study more performance characteristics as the research progresses in its experimentation. The output power and its components will likely be analyzed using the power harmonics analyzer, including other important and relevant parameters such as the power factor, Phase balancing, and effects of excitation capacitors.

Table 2. Experimental data.

S/N	Hz	µF	Rpm	m^3/h	kPa	H(m)	V(V)	I(A)	P_e(kW)	P_h(kW)	η(%)
1.	40.0	16	1498	29.10	140	14.27	4.29	0.003	$2x10^{-5}$	1.1316	00.00
2.	40.0	20	1500	28.49	140	14.27	3.94	0.003	$2x10^{-5}$	1.1078	00.00
3.	45.7	36	1503	41.10	140	14.27	291	0.661	0.3336	1.5983	20.87
4.	46.3	40	1499	40.79	140	14.27	323	0.692	0.3874	1.5862	24.42
5.	50.0	51	1501	50.80	135	13.76	413	0.806	0.5767	1.9050	30.27
6.	51.5	56	1500	49.14	135	13.76	430	0.835	0.6220	1.8427	33.76
7.	53.0	60	1501	52.86	135	13.76	444	0.855	0.6569	1.9822	33.14

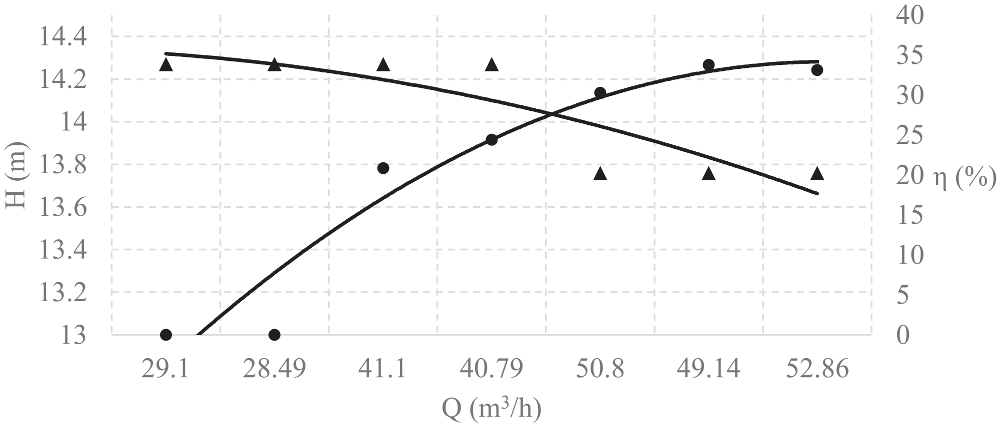


Figure 2. Head vs Discharge capacity (Vertical Left) and Efficiency vs Discharge capacity (Vertical right).

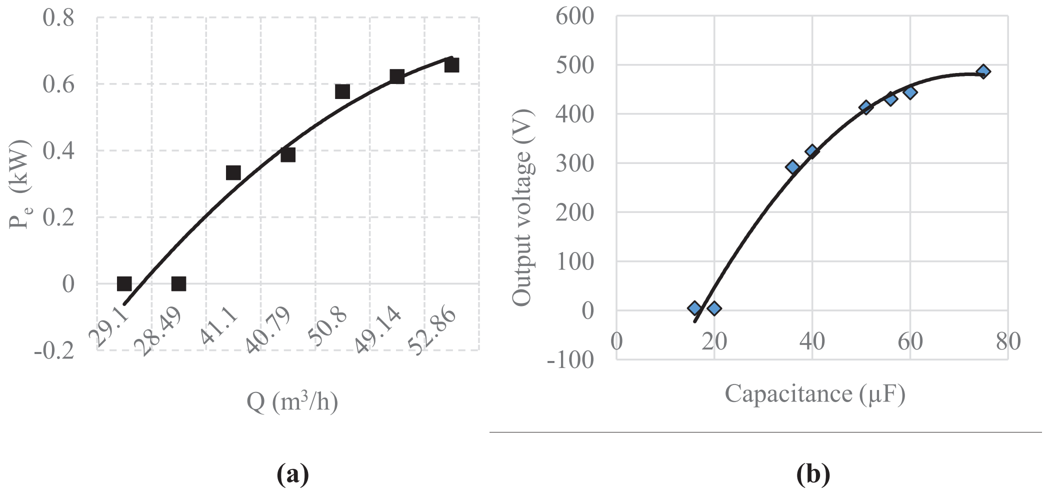


Figure 3. (a) Electric power vs Discharge capacity (b) Output voltage vs Excitation capacitance.

Conclusions

In order to achieve better performance characteristics of the system with sufficient output power, there is a need for some revision or modification in the system components to attain the required flow rate in the hydraulic circuit. The system currently operates at an average flow rate of 45 m^3/h, head of 14 m and an output electric power of 0.6 kW, which is insufficient to operate the full ballast load demand designed and an efficiency of about 30 %. Therefore, there is a desire to obtain the electric output power in the range of 1 kW to 1.5 kW, for efficient power to supply the ballast load.

Acknowledgements

This research project has been supported by National Research Council of Thailand (NRCT), under grant number R2560B002. I am very grateful to Thailand International Cooperation Agency (TICA), for having granted me the study scholarship on Master of Science at the School of Renewable Energy Technology (SERT), which is my pride of knowledge.

References

[1] Motwani, K.H, et al (2013). **Cost Analysis of Pump as Turbine for Pico Hydropower Plants – A Case Study**. Procedia Engineering. 51: p. 721-726

[2] **Global status reviews on energy,** retrieved on April 8th, 2017 from *http://www.ren21.net /wpcontent/uploads/2016/06/GSR_2016_full_report_pdf. pp 32, 53-55.*

[3] Patel, V.A, et al (2013). **Numerical Optimization of guide vanes and reducer in Pump running in Turbine mode.** Procedia Engineering. 51:721-6.

[4] Ardizzon G, Cavazzini G, Pavesi G (2014). **A new generation of small hydro and pumped-hydro power plants: Advances and future challenges**. Renewable and sustainable energy reviews. 31:746-61.

[5] Jain, S.V, et al (2015). **Effects of impeller diameter and rotational speed on performance of pump running in turbine mode**. Energy conversion and management. 89:808-24.

[6] K.c A, Lee, Y.H, Thapa B (2016). **CFD study on prediction of vortex shedding in draft tube of Francis turbine and vortex control techniques**. Renewable Energy. 86:1406-21.

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการสลายลิกนินของผักตบชวา

The effect of temperature on Lignolytic from *Eichhornia crassipes*

ธัญวรัตม์ ประเดชบุญ[1] ธนภรณ์ ภู่เสือ[1] วลัยพร ทองพา[1] และศิรินุช จินดารักษ์[2*]

[1] สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 65000

[2*] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 65000

บทคัดย่อ

ผักตบชวา มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมากไม่ว่าจะเป็น กีดขวางทางเดินน้ำ หรือไม่ว่าจะเป็น แหล่งสะสมของตระกอนทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก โดยผักตบชวานั้นมีศักยภาพเพียงพอในการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากลิกนินจะเป็นตัวขัดขวางกระบวนการ ทำให้การเกิดแก๊สชีวภาพให้เป็นไปอย่างล่าช้า ดังนั้นการนำผักตบชวาเป็นวัตถุดิบจึงต้องมีการปรับสภาพโดยการย่อยสลายลิกนินก่อน ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงได้มีการ ศึกษาผล กระทบ ของอุณหภูมิ ระยะเวลา และตัวทำละลาย ที่มีผลต่อการสลายลิกนินของผักตบชวา โดยเปรียบเทียบการย่อยสลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลาย กรดซัลฟูริก และน้ำ ที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 °C และการแช่น้ำทิ้งไว้กลางแจ้ง เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง และทำการเก็บข้อมูลการย่อยสลายลิกนิน ทุก ๆ 12 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาจะแปรผันตรงกับประมาณลิกนินที่ ย่อยสลายได้ โดยระยะเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณลิกนินที่ย่อยสลายจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของอุณหภูมิต่อการย่อยสลายลิกนิน พบว่า ในช่วงอุณหภูมิที่ทำการศึกษาไม่มีผลต่อการย่อยสลายลิกนิน นั่นคือ ปริมาณการย่อยสลายลิกนินในแต่ละอุณหภูมิจะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยสลายของตัวทำละลาย พบว่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถย่อยสลายลิกนินได้ดีที่สุด

คำสำคัญ: ผักตบชวา, ลิกนิน, การย่อยสลาย, อุณหภูมิ, ตัวทำละลาย

---

[*] Corresponding author: Tel.: 081-6806328, 055-963104. E-mail address: sirinuch_goi@yahoo.com

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาความต้องการพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งในด้านภาคอุตสาหกรรม ขนส่งและครัวเรือน ซึ่งในปัจจุบัน แก๊สปิโตรเลียมเหลวเริ่มมีปริมาณลดน้อยลงและอาจจะหมดไปในอนาคต จึงส่งผลให้ราคาแก๊สหุงต้มสูงขึ้นจึงจำเป็นต้องหาพลังงานจากแหล่งอื่นมาใช้ทดแทน แก๊สชีวภาพเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสามารถนำมาใช้แทนแก๊สหุงต้มได้ ซึ่งผักตบชวาเป็นวัตถุ ดิบหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาผลิตแก๊สชีวภาพเพื่อลดต้นทุนทางด้านเชื้อเพลิงและ สามารถ กำจัดผักตบชวาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากผักตบชวาเป็นพืชที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูง ทนทานต่อทุกสภาพแวดล้อม มีการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงทำให้มีการแพร่ระบาดอย่างรุน แรงก่อให้เกิดปัญหาตามแหล่งน้ำต่างๆ เช่น กีดขวางทางเดินน้ำ การจราจรทางน้ำ [1] และเป็นพืชที่มีปริมาณลิกนินสูงทำให้มีการย่อยสลายยาก ในการผลิตแก๊สชีวภาพซึ่งเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ในที่ไม่มีอากาศ ดังนั้นการนำผักตบชวามาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพจึงจำเ ป็นจะต้องมีการย่อยสลายลิกนินออกก่อน เนื่องจากลิกนินจะเป็นตัวขัดขวางกระบวนการหมักแก๊สชีวภาพให้เป็นไปอย่างล่าช้าและได้ปริมาณแก๊สชีวภาพลดลงสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีทางกายภาพ วิธีทางเคมี วิธีทางชีวภาพ เป็นต้น

การปรับสภาพวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดลิกนินซึ่งมีสมบัติไปห่อหุ้มหรือเคลือบโครงสร้างของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ลิกนินจึงเป็นเหมือนผนังป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์เ ข้าไปย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มขนาดรูพรุนของตัววัตถุดิบและลดการเกิดผลึกของเซลลูโลส ทำให้เอนไซม์สามารถเข้าถึงวัตถุดิบได้ง่ายขึ้น กระบวนการปรับสภาพวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสสามารถแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ 1.การปรับสภาพทางกายภาพ คือการหั่น สับและบด เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและลดขนาดอนุภาคของลิกโนเซลลูโลส นอกจากนี้ยังเป็นการลดผลึกของเซลลูโลสด้วย โดยทั่วไปควรลดขนาดวัตถุดิบให้มีขนาดประมาณ 1-3 เซนติเมตรหรือขนาด 0.2-2 มิลลิเมตร 2.การปรับสภาพทางกายภาพร่วมกับเคมี สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การระเบิดด้วยไอน้ำและการระเบิดด้วยแอมโมเนีย 3.การปรับสภาพทางเคมี 4.การปรับสภาพทางชีวภาพ เป็นการใช้จุลชีพในการย่อยสลายลิกนินและเฮมิเซลลูโลส เช่น brown-fungi, white-fungi และ soft-rotfungi เป็นต้น [2]

รัชพล พะวงศ์รัตน์ ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรไลเสทจากผักตบชวาโดยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเพื่อผลิตเอทานอล โดยวิธีทางกายภาพร่วมกับทางเคมีที่แตกต่างกัน 3 วิธี คือ 1.แช่น้ำเปล่า 2.แช่สารละลายกรด 3.แช่สารละลายด่าง แล้วทำการวิเคราะห์องค์ประกอบเส้นใย ปริมาณน้ำตาล และโครงสร้างวัสดุก่อนและหลังขั้นตอนก ารปรับสภาพ [3]

ชนกพร วงษ์วัน และอรทัย ชวาลฤทธิ์ ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของต้นข้าวโพดที่ปรับสภาพเบื้องต้นร่วมกับของเสียกลีเซอรอล โดยการปรับสภาพต้นข้าวโพดเบื้องต้นด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ การแช่ด้วยสารละลายด่าง (NaOH) การใช้ความร้อน แล้วทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ PH อุณหภูมิ ของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งระเหยง่าย (TVS) ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมทั้งหมด ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวัน ร้อยละการผลิตก๊าซมีเทน ซีโอดีทั้งหมด ซีโอดีละลาย กรดไขมันระเหยง่ายและสภาพความเป็นด่าง [4]

วิธีการวิจัย

1.เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1) ผักตบชวาสด หั่นตามขวาง 1-2 cm

2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NAOH) ความเข้มข้น 2 %โดยมวล

3) สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้น 2 %โดยมวล

4) สารละลาย Acid Detergent Fiber (ADF)

1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (oven) DIN 40050 – IP 20 บริษัท Memmert

2) เตาเผา (Muffle furnace) เป็นเตาเผาแบบปิด สามารถควบคุมอุณหภูมิและ ระยะเวลาในการเผาได้ ขดลวกสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 1,200

3) เตาไฟฟ้า (Hot plate) ใช้สำหรับต้มตัวอย่างในสารละลาย Acid Detergent Fiber (ADF)

2.วิธีการทดลอง

การศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการย่อยสลายลิกนินนั้นแบ่งเป็น 2 สภาวะ ได้แก่ 1.การย่อยสลายลิกนินด้วยน้ำเปล่า 2.การย่อยสลายลิกนิน ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายกรดซัลฟูริก โดยรายละเอียดมีดังนี้

สภาวะที่ 1 นำผักตบชวาแช่น้ำที่อัตราส่วน น้ำ :ผักตบชวา คือ 30:1 จากนั้นนำตัวอย่างเข้าตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่กำหนด คือ 45, 50, 55 และ60 °C และการแช่น้ำทิ้งไว้กลางแจ้ง ทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างล้างละลายด้วย น้ำแล้วจึงนำไป อบในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 103 °C นาน 72 ชั่วโมง บดให้ละเอียด และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณลิกนิน

สภาวะที่ 2 นำผักตบชวาแช่ในสารละลายที่อัตราส่วนของ สารละลาย :ผักตบชวา คือ 30:1 จากนั้นนำตัวอย่างเข้าตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่กำหนด คือ 45, 50, 55 และ60 °C ทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นนำตัวอย่างอบในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 103 °C นาน 72 ชั่วโมง บดให้ละเอียด และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณลิกนิน

3.การวิเคราะห์หาปริมาณลิกนิน

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างผักตบชวาที่บดละเอียด 1 กรัม จดบันทึกไว้ ใส่ถุง ADF มัดปากถุงให้เรียบร้อย นำตัวอย่างมาต้มที่อุณหภูมิ 100 °C ด้วยสารละลาย Acid Detergent ปริมาตร 100 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างมาล้างด้วยน้ำร้อนและแอซิโตนจนหมดฟอง นำตัวอย่างไปอบในตู้อบ ไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาย่อยด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 % โดยทำการย่อยในถาดน้ำเย็น เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วล้างตัวอย่างด้วยน้ำ ร้อนจนตัวอย่างมีสีน้ำตาลเข้มแล้วนำตัวอย่างไปอบในตู้อบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแล้วบันทึกไว้ จากนั้นนำตัวอย่างมาเผา ที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแล้วบันทึกไว้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณลิกนิน

$$\% \text{ Lignin} = \frac{W_1 - W_2}{W_3} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังการอบ

W_2 คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังการเผา

W_3 คือ น้ำหนักตัวอย่าง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1 ผลกระทบของระยะเวลาในการย่อยสลายลิกนิน

ในการศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการย่อยสลายลิกนินของผักตบชวา คือ 45, 50, 55 และ 60 °C โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายกรด ซัลฟูริก และน้ำ และแช่น้ำตากกลางแจ้ง โดยการเปรียบเทียบ ร้อยละการย่อยสลายลิกนินระหว่างการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟูริก และน้ำ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ร้อยละการย่อยสลายลิกนินของผักตบชวา

เวลา (hr)	ร้อยละการย่อยสลายลิกนิน												
	กลางแจ้ง	45 °C			50 °C			55 °C			60 °C		
		NaOH	H_2SO_4	H_2O	NaOH	H_2SO_4	H_2O	NaOH	H_2SO_4	H_2O	NaOH	H_2SO_4	H_2O
12	29.8	75.3	43.5	27.6	75.7	39.1	25.1	75.6	39.7	30.4	74.2	44.9	24.8
24	34.0	83.2	48.2	38.2	86.9	47.6	35.0	87.6	46.7	35.3	87.8	48.5	34.8
36	41.6	89.8	56.2	47.9	90.2	53.1	47.5	90.9	54.6	46.9	90.7	55.5	45.4
48	49.3	92.4	69.5	48.3	90.7	67.2	50.8	92.3	69.0	47.7	92.6	65.2	47.2
60	63.7	93.3	86.1	67.6	95.4	81.2	62.3	94.2	84.2	57.3	94.1	80.5	59.0
72	68.6	96.8	90.5	72.4	97.6	89.8	64.1	96.7	90.0	64.0	96.7	90.4	68.0

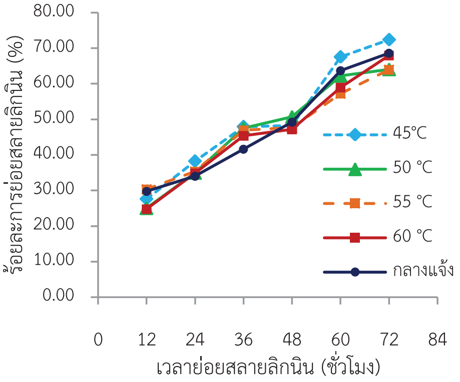
*ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เท่ากับ 2 %

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 การย่อยสลายลิกนินของผักตบชวาด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าในแต่ละอุณหภูมิที่ทำการศึกษานั้น ที่เวลา 12 ชั่วโมง สามารถย่อยสลายลิกนินได้มากที่สุด โดยมีอัตราการย่อยสลายลิกนินใกล้เคียงกันโดย เฉลี่ยเท่ากับ 6.27 %/hr ต่อจากนั้นสามารถย่อยสลา ยลิกนินได้เพิ่มขึ้นอีกประมาณร้อย ละ 20 เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 72 ชั่วโมง เช่นเดียวกันกับการย่อยสลายลิกนินของผักตบชวาด้วยกรดซัลฟูริก จะย่อยสลายได้ดีที่สุดในช่วง 12 ชั่วโมงแรก มีอัตราการย่อยสลายลิกนินเฉลี่ยเท่ากับ 3.49 %/hr เมื่อพิจารณาอัตราการย่อยสลายที่เวลา 72 ชั่วโมง มีอัตราการย่อยสลายเฉลี่ยลดลงเป็น 1.26 %/hr หากพิจารณาการย่อยสลายลิกนิน ของผักตบชวา ด้วยน้ำที่อุณหภูมิต่างๆพบว่า ที่

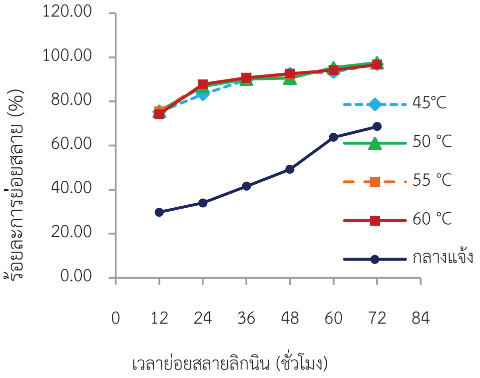
เวลา 12 ชั่วโมง สามารถย่อยสลายลิกนินได้มากที่สุดโดยมีอัตราการย่อยสลายเฉลี่ยเท่ากับ 2.53 %/hr จากข้อมูลเบื้องต้น สามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลามีผลต่อการย่อยสลายลิกนิน คือ เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น จะสามารถย่อยสลายลิกนินได้เพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาที่สามารถย่อยสลายได้ดีที่สุดคือ 12 ชั่วโมง

2. ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อการย่อยสลายลิกนิน

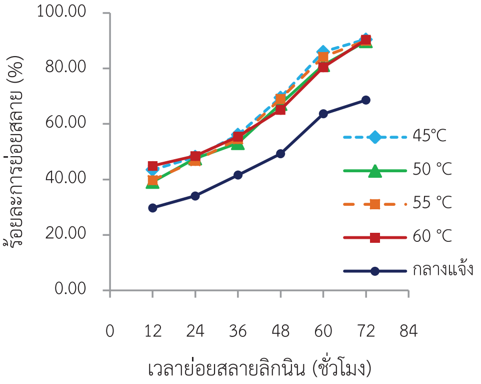
เมื่อพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อ การย่อยสลายลิกนิน ที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 °C และเปรียบเทียบกับการย่อยสลายที่สภาวะแวดล้อมปกติ พบว่า อุณหภูมิในช่วงที่ทำการศึกษามีผลต่อการย่อยสลายน้อยมาก แสดงดังรูปที่ 1 แต่เมื่อเทียบการย่อยสลายกับการย่อยสลายที่สภาวะแวดล้อมด้วยน้ำ พบว่า การย่อยสลายที่อุณหภูมิ 45, 50, 55 และ 60 สูงกว่าการย่อยสลายที่สภาวะแวดล้อมเล็กน้อย



ก.ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการย่อยสลายลิกนินด้วยน้ำ



ข.ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการย่อยสลายลิกนินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



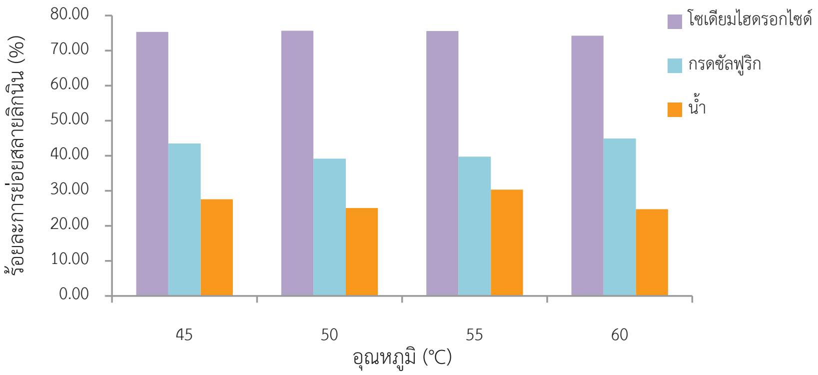
ค.ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการย่อยสลายลิกนินด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก

ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการย่อยสลายลิกนินของผักตบชวา

3. ผลกระทบของตัวทำละลายที่มีต่อการย่อยสลายลิกนิน

เมื่อพิจารณาร้อยละการย่อยสลายลิกนินด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายกร ดซัลฟูริก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และ น้ำ เปรียบเทียบการย่อ ยสลายที่เวลา 12 ชั่วโมง พบว่า การย่อยสลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีความสามารถในการย่อยสลายได้ดีที่สุด สามารถย่อยสลายได้ถึงร้อยละ 75 ในขณะที่สารละลายกรดซัลฟูริก และ น้ำ สามารถย่อยสลายได้ ร้อยละ 43 และ 26 ตามลำดับ การเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยสลายแสดงดังรูปที่ 2

การย่อยสลายลิกนินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถย่อยสลายลิกนินได้ดีกว่าการย่อยสลายลิกนินด้วยกรดซัลฟูริกนั้น เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของลิกนินเป็นโพลิแซคคาไรด์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยโว์โมเลกุลของออกซิจิเนคเตตเฟนนิลโรเปน (Oxygenated phenyl propane) สังเคราะห์จากอนุพันธ์ของแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ได้แก่ คูมาริล โคนิเฟอริล และไซนาพิล ซึ่งไม่ละลายในกรดแก่แต่จะละลายในสารละลายด่าง [6]



ภาพที่ 2 ร้อยละการย่อยสลายลิกนิน ณ อุณหภูมิต่างๆที่เวลา 12 ชั่วโมง

4. สมการความสัมพันธ์ของระยะเวลาการย่อยสลายกับร้อยละการย่อยสลายลิกนิน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิในช่วงที่ทำการศึกษานี้มีผลต่อการย่อยสลายลิกนินน้อยมาก ดังนั้นจึงได้มีการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการย่อยสลายกับเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายภายใต้ตัวทำลายกรด ด่าง และ น้ำ ได้สมการความสัมพันธ์ดังนี้

4.1 สมการความสัมพันธ์ของระยะเวลาการย่อยสลายกับร้อยละการย่อยสลายลิกนินด้วยน้ำ

รูปแบบสมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงของระยะเวลาในการย่อยสลายลิกนินต่อร้อยละการย่อยสลายลิกนินที่อุณหภูมิ จะมีรูปแบบสมการเป็นดังนี้

$$\%\ \text{Lignin} = 0.671t + 19.632 \qquad (2)$$

4.2 สมการความสัมพันธ์ของระยะเวลาการย่อยสลายกับร้อยละการย่อยสลายลิกนินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

จะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการลอกาลิทึม สำหรับการย่อยสลายลิกนินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังนี้

$$\% \text{ Lignin} = 11.435\ln(t) + 48.14 \quad (3)$$

4.3 สมการความสัมพันธ์ของระยะเวลาการย่อยสลายกับร้อยละการย่อยสลายลิกนินด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก

รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการย่อยสลายกับเวลาจะเป็นสมการโพลิโนเมียลกำลังสอง ดังนี้

$$\% \text{ Lignin} = 0.0048t^2 + 0.4568t + 3.4529 \quad (4)$$

เมื่อ %Lignin = ร้อยละการย่อยสลายลิกนิน (%)

t = เวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย (ชั่วโมง)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการสลายลิกนินของผักตบชวา โดยใช้ สารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ สารละลายกรดซัลฟูริก และน้ำ ด้วยวิธีทางกายภาพ โดยนำตัวอย่างผักตบชวาจากส่วนของใบและลำต้นมาศึกษาปริมาณลิกนินเริ่มต้น คิดเป็นร้อยละ 17.53 จากผลการทดลอง พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายลิกนินมีผลต่อปริมาณลิกนินที่เหลือ ซึ่งถ้าเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายลิกนินมากปริมาณลิกนินที่ถูกย่อยสลายไปจ ะยิ่งมากขึ้น แต่ผลของอุณหภูมิที่ทำการศึกษาไม่มีผลต่อการย่อยสลายลิกนิน เนื่องจากผลของอุณหภูมิต่อการย่อยสลายลิกนินไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่า การย่อยสลายลิกนินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถย่อยสลายลิกนินได้ดีที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของการแช่น้ำทิ้งไว้กลางแจ้งกับแช่น้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 45 °C ผลที่ได้ใกล้เคียงกันแต่ที่มีการควบคุมอุณหภูมิจะมีการย่อยสลายลิกนินได้ดีกว่าเล็กน้อย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาเคมีและคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทาน. **ชีววิทยาของผักตบชวาและโทษของผักตบชวา.** สืบค้นเมื่อ 28/8/2559.แหล่งที่มา http://wwww.irrigation.go.th.

[2] สุภาวดี ผลประเสริฐ (2557). การปรับสภาพวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสสำหรับการผลิตเอทานอล. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 22(5). 641-649

[3] รัชพล พะวงศ์ (2011). **การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมไฮโดรไลเสทผักตบชวาโดยหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูงเพื่อผลิตเอทานอล** . *งานวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้ผักตบชวาเพื่อการผลิตเอทานอลโดยใช้เชื้อตรึงรูปร่วมกับถังหมักชีวภาพแบบตั้ง* สาขาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปะศาสตร์และวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม.

[4] ชนกพร วงษ์วัน และอรทัย ชวาลภาฤทธิ์. การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของต้นข้าวโพดที่ปรับสภาพเบื้องต้นร่วมกับของเสียกลีเซอรอล . **การประชุมวิชาการแห่งชาติ ม หาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9**.

[5] รัชพล พะวงศ์รัตน์. (2558).กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลติเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้ง ทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส . **วารสารวิชาการ Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University**. 2(1). 143-157.

[6] ปิยนุช เปียคง. (2557). **การศึกษาการผลิตไซโลสจากการทะลายปาล์มเปล่า.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณ - ทิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลา.

การนำเสนอผลงานวิจัย**ภาคบรรยาย**
Oral Presentations

Session เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน

การศึกษาอัตราการเติบโตของพืชพลังงานและความเหมาะสมของการนำไปประยุกต์ใช้
Study on the Energy Crop Growth rate and appropriateness of the application.

ศิริรัตน์ สุลา ธวัชชัย กลมพุก <u>สมชาย มณีวรรณ์</u> และฉันทนา พันธุ์เหล็ก*
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นี้ทำการศึกษาขั้นตอน กระบวนการปลูก และระยะห่างระหว่างร่องปลูกพืชพลังงาน โดยทำการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชพลังงาน ที่มีช่วงระยะเวลาการปลูกพืชพลังงาน 3 4 และ 5 เดือน และที่ระยะร่องปลูก 1 1.25 และ 1.5 เมตร ผลการศึกจากการปลูกต้นพืชพลังงาน พบว่าการเจริญเติบโตของพืชพลังงานมีแนวโน้มของต้นพืชพลังงานไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 ช่วงอายุ โดยพบว่าในช่วงอายุ 45 วัน พืชพลังงานมีการเจริญเติบโตรวดเร็วมาก และจะเริ่มมีความสูงคงที่ในช่วงอายุ 6 เดือน เมื่อพิจารณาความสูงของต้นพืชพลังงาน พบว่า ช่วงอายุ 3 4 และ 5 เดือน พืชพลังงานมีความสูงเท่ากับ 286.66 334.50 และ 409.33 เซนติเมตร ตามลำดับ และที่ระยะร่องปลูก 1.25 และ 1.5 เมตร ต้นพืชพลังงานสามารถเจริญเติบโตได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับระยะ 1 เมตร เนื่องจากต้นพืชพลังงานมีระบบรากที่แข็งแรงและมีพื้นที่หาอาหารมาก จึงทำให้ระยะร่องที่ 1.25 และ 1.5 เมตร พืชพลังงานมีการเจริญเติบโตได้ดี โดยพืชพลังงานที่เหมาะสมสำหรับนำไปผลิตก๊าซชีวภาพ จะอยู่ในช่วงอายุ 40 – 45 วัน และในช่วงอายุไม่เกิน 4 เดือน เหมาะสำหรับนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็ง

คำสำคัญ: พืชพลังงาน การเจริญเติบโต เชื้อเพลิงอัดแข็ง

* Corresponding author: Tel: 055 963553, 055 963552 E-mail address: chantana80@gmail.com,

บทนำ

จากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579 (PDP2015) ที่จัดทำขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการใช้ไฟฟ้า โดยให้ความสำคัญในด้านความมั่นคงทางพลังงาน ด้านเศรษฐกิจ และด้านสิ่งแวดล้อม [1] เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยยังต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ซึ่งหากมองในมุมของปริมาณถือว่าประเทศไทยมีปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า แต่ยังไม่มีความมั่นคงทางด้านพลังงาน [2] โดยปัจจุบันพืชพลังงานถือเป็นพืชที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกปี ในการนำพืชพลังงานไปใช้ประโยชน์ในการนำมาพัฒนาเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันจากฟอสซิลมี 2 แนวทางที่น่าสนใจ ได้แก่ การนำมาผ่านกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ และการนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งเพื่อนำไปเผาไหม้ผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง อีกทั้งประเทศไทยยังมีความได้เปรียบในด้านภูมิศาสตร์ที่มีความพร้อมในการเพาะปลูกพืชพลังงาน และพืชพลังงานเป็นพืชที่สามารถปลูกเพียงหนึ่งครั้ง แต่เก็บเกี่ยวได้ตลอดทั้งปี หรือหากทำการดูแล รักษาแปลงปลูกอย่างดี จะทำให้สามารถเก็บเกี่ยวได้นานถึง 10 ปีอีกด้วย [3] เพราะฉะนั้นการปลูกพืชพลังงานเพื่อสร้างเชื้อเพลิงขึ้นเองภายในประเทศ เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจ ที่ตอบสนองต่อปริมาณความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น ตามอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและประชากร รวมถึงการกระจายสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นการลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศและต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า เพิ่มรายได้แก่เกษตรกร และช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

วิธีการวิจัย

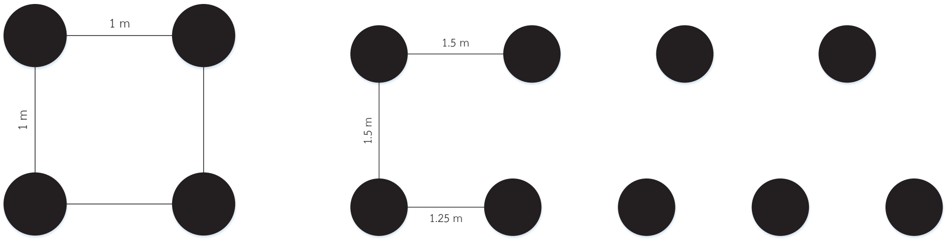
การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแข็งจากพืชพลังงานแบบครบวงจร โดยทำการศึกษาวิธีการปลูกพืชพลังงานรากแก้วและทำการทดลองปลูกพืชพลังงาน ในพื้นที่ หมู่ 7 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก เพื่อมุ่งเน้นการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชพลังงาน ความเหมาะสมของการนำไปประยุกต์ใช้ และแบ่งช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืชพลังงานออกเป็น 3 ช่วงอายุการปลูก

1. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย
    1.1 เตรียมพื้นที่ปลูกพืชพลังงาน
    1.2 เตรียมท่อนพันธุ์พืชพลังงานสำหรับการปลูกเพื่อทำการวิจัย
    1.3 เพาะชำพืชพลังงานเพื่อทำการสังเกตการณ์แตกหน่อ (ต้นอ่อนของพืชพลังงาน) ก่อนที่ ทำการปลูกจริง
    1.4 ทำการปลูกพืชพลังงาน แบ่งการปลูกพืชพลังงานออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ 3 4 และ 5 เดือน ตามลำดับ และทำการสังเกตการเจริญเติบโตของต้นพืชพลังงาน

2. การเลือกพื้นที่ปลูก,การปลูกและการดูแลต้นพืชพลังงาน

2.1 การเลือกพื้นที่ปลูก

การเลือกพื้นที่ปลูกควรเป็นที่ดอน พื้นที่ราบ น้ำไม่ท่วมที่มีหน้าดินลึกอย่างน้อย 5 เซนติเมตร ดินมีความอุดมสมบูรณ์ดีเพื่อให้สามารถเก็บเกี่ยวได้ตลอดทั้งปีและมีผลผลิตสูง เลือกปลูกในพื้นที่เขตชลประทานหรือมีแหล่งน้ำที่สามารถให้น้ำในช่วงฤดูแล้งหรือฝนทิ้งช่วง ในการทดลองนี้ใช้พื้นที่ทำการทดลองปลูกพืชพลังงาน 2.5 ตารางวา และได้ทำการปลูกพืชพลังงานโดยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังรูปที่ 1



(ก) (ข)

รูปที่ 1 (ก) ผังลักษณะการปลูกพืชพลังงานแบบเมตร×เมตร

(ข) ผังลักษณะการปลูกพืชพลังงานแบบใช้เครื่องจักร

2.2 การเตรียมดิน

การเตรียมดินก่อนปลูกให้ดีถูกต้องและเหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญมาก ช่วงระยะเวลาที่เหมาะกับการเตรียมดินคือช่วงปลายฝนต้นหนาวตั้งแต่ปลายเดือนตุลาคมถึงปลายเดือนพฤศจิกายน ดินยังมีความชื้นพอเหมาะง่ายกับการใช้อุปกรณ์การเตรียมดินและไม่เสี่ยงกับฝนตกในขณะปฏิบัติงาน การเตรียมดินก่อนปลูกถ้าฝนตกหนักจะไม่สามารถเตรียมดินปลูก ทำให้เสียเวลารอคอย ทำให้การปลูกมีเวลาจำกัด ในการเตรียมดิน มีดังนี้

1. ก่อนไถเตรียมดิน ได้มีการเก็บกรวด หิน ตอไม้ออกจากแปลงปลูกให้หมดเพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องจักรกลการเกษตรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ขณะเข้าทำงานในแปลง
2. การปรับหน้าดินแปลงปลูกให้ราบเรียบสม่ำเสมอ ช่วยให้พื้นที่มีการระบายน้ำได้ดีการเข้าทำงานในแปลงง่ายและสะดวกขึ้น ลดความเสียหายของเครื่องจักรกลการเกษตรและอุปกรณ์ต่าง ๆ แนวระนาบของพื้นดินช่วยให้สามารถตรวจสุขภาพของต้นหญ้าด้านความสูงเฉลี่ยเมื่อต้นหญ้าโตขึ้น
3. ถ้าดินชั้นล่างเป็นดินดานหรือหลังการรื้อตอเพื่อเตรียมดินปลูกใหม่ทุกครั้ง ต้องระเบิดดินดานก่อนเพื่อให้รากพืชสามารถหยั่งลึกลงไปหาอาหารและน้ำในดินชั้นล่างได้อย่างเต็มที่ รวมทั้งแตกราก และลดอัตราการตายของพืชพลังงานจากดินไม่อุ้มน้ำหรือฝนขาดช่วง

2.3 การเลือกท่อนพันธุ์พืชพลังงาน

ลักษณะโดยทั่วไปของท่อนพืชพลังงานที่นำมาใช้ในงานวิจัยมีความยาวประมาณ 20-25 เซนติเมตร เป็นท่อนที่มีความสดสมบูรณ์ไม่แห้งมากเกินไปและสามารถแตกต้นอ่อนขึ้นมาได้ ในการวิจัยได้ทดลองนำท่อนพืชพลังงานจำนวน 50 ท่อนมาเพาะชำก่อนลงปลูกในดิน เพื่อสังเกตดูการแตกต้นอ่อนของพืชพลังงาน

2.4 ขั้นตอนการเตรียมท่อนพันธุ์พืชพลังงาน

เลือกพันธุ์ที่มีลักษณะการเจริญเติบโตดี ให้ผลผลิตสูงและมีความสมบูรณ์สูงด้วย โดยพิจารณาจากสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

1. พันธุ์พืชพลังงานมีความสมบูรณ์ตรงตามพันธุ์ อายุประมาณ 45 วัน ควรเป็นพืชพลังงานปลูกใหม่ มีการเจริญเติบโตดีปราศจากโรคและแมลง
2. ตาพืชพลังงานต้องสมบูรณ์ ควรมีกาบใบหุ้มเพื่อป้องกันการชำรุดของตาและเมื่อจะปลูกจึงค่อยลอกออก
3. ขนาดท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูกควรมีตา 2-3 ตา หรือจะวางทั้งลำก็ได้

2.5 การชำท่อนพันธุ์พืชพลังงาน

การชำท่อนท่อนพันธุ์พืชพลังงานนั้น จะชำเพื่อสังเกตการณ์แตกต้นอ่อนของพืชพลังงาน โดยใช้ระยะเวลาในการชำ 1 เดือน ก่อนนำลงไปปลูกลงดินที่เตรียมไว้ ดังรูปที่ 2 (ก)

2.6 ขั้นตอนการปลูกและวิธีปลูกพืชพลังงาน

1. ทำการปลูกในที่ดอน น้ำไม่ขัง ดินร่วนซุย มีความอุดมสมบูรณ์ดี หน้าดินลึกอย่างน้อย 20 นิ้ว pH 5-7.7 แสงแดดจัด และมีการกระจายของฝนสม่ำเสมอหรือระบบชลประทานเข้าถึง
2. ทำการปรับระดับพื้นที่และแบ่งแปลงปลูกพืชพลังงาน เพื่อความสะดวกในการใช้ เครื่องจักรในการเตรียมดินปลูก และเก็บเกี่ยว ตลอดจนการระบายน้ำ
3. ทำการการไถอย่างน้อย 2 ครั้ง ความลึกอย่างน้อย 20 เซนติเมตร หรือ มากกว่า เพราะพืชพลังงานมีระบบรากยาว ประมาณ 2-3 เมตร และทำร่องปลูก จากนั้นทำการใส่ดินปุ๋ยสำหรับปลูกลงไปที่ก้นหลุม ดังรูปที่ 2 (ข)

2.7 วิธีการปลูก

ปลูกด้วยแรงคน หลังจากเตรียมดินยกร่อง ระยะระหว่างร่อง 1-1.5 เมตร แล้ว นำท่อนพันธุ์มาวางแบบเรียงเดี่ยว ดังรูปที่ 2 (ค) ทำการปลูกโดยวางต้นพืชพลังงานที่เพาะชำเป็นระยะเวลา 30 วัน ลงปลูกในร่อง เสร็จแล้วกลบดินให้หนาประมาณ 3-5 เซนติเมตร และรดน้ำ

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2 (ก) ต้นอ่อนพืชพลังงานอายุ 3 สัปดาห์
(ข) หลุมปลูกขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร ลึก 20 เซนติเมตร และใส่ดินปุ๋ยลงที่ก้นหลุมปลูก
(ค) ปลูกต้นพืชพลังงาน

2.8 การใส่ปุ๋ยต้นพืชพลังงาน

การใส่ปุ๋ยพืชพลังงานเป็นสิ่งจำเป็น ควรมีการใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสดร่วมกับปุ๋ยเคมี เพื่อปรับสภาพทางกายภาพของดิน ปริมาณปุ๋ยที่ใส่ควรดูตามสภาพความอุดมสมบูรณ์ของดิน และการเจริญเติบโตของพืชพลังงาน ปุ๋ยเคมีที่ใส่ควรมีธาตุอาหารครบทั้ง 3 อย่าง คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียม (N-P-K)

1. ใส่ปุ๋ยรองพื้น ใส่ก่อนปลูกหรือพร้อมปลูก ใช้ปุ๋ยที่มีธาตุอาหาร N-P-K สูตร 16-16-16
2. ใส่ปุ๋ยให้แก่ต้นพืชพลังงานทุกเดือน เดือนละ 1 ครั้ง ครั้งละ 1 กำมือต่อหลุม เป็นเวลา 4 เดือนเริ่มนับจากวันที่ปลูก ในการใส่ปุ๋ยเคมีทำการใส่โดยการโปรยที่โคนต้นพืชพลังงานให้กระจายไปรอบ ๆ โคนต้น

3. สังเกตลักษณะการเจริญเติบโตของต้นพืชพลังงาน

เมื่อทำการปลูกต้นพืชพลังงานเสร็จสิ้นแล้ว ได้ทำการสังเกตการเจริญเติบโต โดยการวัดขนาดและความสูงของต้นพืชพลังงาน โดยทำการวัด ทำการวัดทุก ๆ 7 วัน นับตั้งแต่วันที่เริ่มปลูกจนกระทั่งถึงระยะเวลา 5 เดือน ดังนี้

- วัดความยาวปล้องลำต้นพืชพลังงาน
- วัดความยาวของใบ
- วัดเส้นรอบวงของลำต้น
- วัดความยาวของลำต้นตั้งแต่โคนต้นถึงยอดใบ
- วัดความยาวของลำต้น
- การแตกกอของต้นพืชพลังงาน

(ก)

(ข)

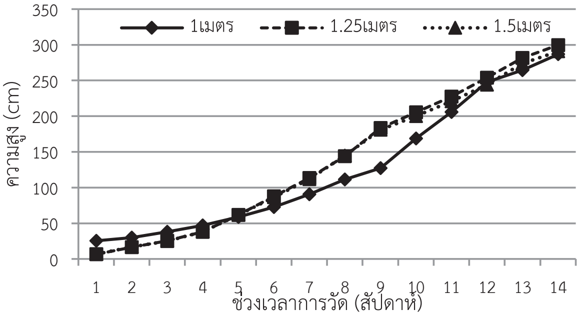
รูปที่ 3 (ก) วัดเส้นรอบวงของลำต้นพืชพลังงาน
(ข) การวัดความยาวของลำต้นตั้งแต่โคนต้นถึงยอดใบ

4. พิจารณาความเหมาะสมในการนำพืชพลังงานไปประยุกต์ใช้

เมื่อนำพืชพลังงานมาผ่านกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศเปลี่ยนเป็นพลังงานก๊าซชีวภาพ ที่มีค่าความร้อนเพียงพอต่อการเผาไหม้ ซึ่งสามารถให้ผลผลิตเป็นก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 175 ลิตรต่อกิโลกรัม [4] ซึ่งการนำพืชพลังงานไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพจะต้องพิจารณา ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในการหมัก ระยะเวลาในการหมัก ปริมาณก๊าซมีเทนและปริมาณก๊าซชีวภาพที่สามารถผลิตได้ จากการศึกษาของปวาริศ [5] ซึ่งรายงานว่า หญ้าเนเปียร์อายุ 1 เดือน จำนวน 1,000 ไร่ สามารถให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 57 และผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้ 1 เมกะวัตต์

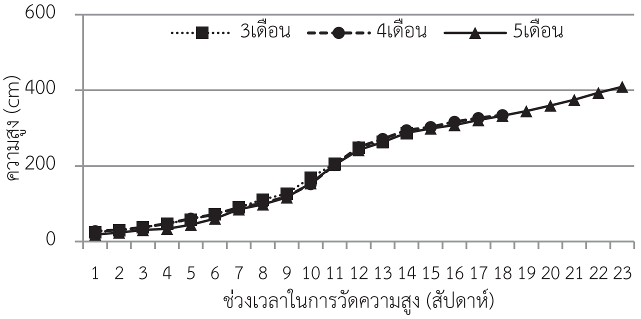
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษากระบวนการปลูก และดูแลพืชพลังงาน พบว่า การปลูกและดูแลพืชพลังงานนั้นมีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก ซึ่งพืชพลังงานสามารถปลูกได้ง่ายมีการเจริญเติบโตเร็วปลูกได้ทุกพื้นที่ในประเทศไทย เนื่องจากพืชพลังงานเป็นพืชประเภทพืชล้มลุก พืชที่ทนต่อสภาพแวดล้อมและสภาพอากาศในประเทศ อีกทั้งพืชพลังงานเป็นพืชที่มีความต้องการน้ำน้อย จึงไม่ต้องให้น้ำเป็นประจำก็สามารถให้ผลผลิตได้ดี



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ความสูงเฉลี่ยการเจริญเติบโตของต้นพืชพลังงานอายุ 3 เดือน โดยมีระยะระหว่างลำต้น 1 1.25 และ 1.5 เมตร ตามลำดับ

ในงานวิจัยนี้นี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองปลูกพืชพลังงานที่ หมู่ 7 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยใช้แปลงทำการทดลองประมาณ 140 ตารางวา ขนาดความกว้างของร่องปลูก 1 × 1 เมตร และระยะห่างร่องปลูก 1.25 และ 1.5 เมตร ในการปลูกพืชพลังงานเริ่มตั้งแต่วันที่ 22 มีนาคม 2558 ถึง วันที่ 22 สิงหาคม 2558 ซึ่งนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ความสูงเฉลี่ยการเจริญเติบโตของต้นพืชพลังงาน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบความสูงเฉลี่ยการเจริญเติบโตของต้นพืชพลังงานอายุ 3 4 และ 5 เดือน

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า กราฟความสัมพันธ์มีเส้นแนวโน้มของต้นพืชพลังงานไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 ช่วงอายุ และพบว่าสัปดาห์ที่ 8 ถึง สัปดาห์ที่ 15 เส้นกราฟมีความชัน เนื่องจากต้นพืชพลังงานมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วมากในช่วงนี้ หลังจากสัปดาห์ที่ 15 ต้นพืชพลังงานจะค่อยๆเจริญเติบโตไปเรื่อย ๆ และจะเริ่มมีความสูงคงที่ในช่วงอายุ 6 เดือน และจากตารางที่ 1 แสดงให้ทราบถึงลักษณะเบื้องต้นของต้นพืชพลังงานตามช่วงอายุของการปลูก

ตารางที่ 1 ข้อมูลลักษณะเบื้องต้นของต้นพืชพลังงาน

ช่วงอายุ	ความสูง (cm)	ความสูงลำต้น (cm)	ความยาวใบ (cm)	ความยาวปล้อง (cm)	เส้นรอบวง (cm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	น้ำหนักลำต้น (kg)	น้ำหนักใบ (kg)	จำนวนต้นในการแตกกอ (ต้น)
3 เดือน	286.66	108	93.4	8.96	7.3	2.8	1.1	0.23	13
4 เดือน	334.5	235	103	9	7.5	2.9	1.2	0.20	14
5 เดือน	403.5	275	117	11.5	7.5	2.9	1.2	0.25	13

สรุปผลการวิจัย

จากการปลูกต้นพืชพลังงาน สรุปได้ว่าการเจริญเติบโตของพืชพลังงานมีแนวโน้มของต้นพืชพลังงานไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 ช่วงอายุ และพบว่าเมื่อพืชพลังงานมีอายุ 45 วัน พืชพลังงานมีการเจริญเติบโตรวดเร็วมาก หลังจากพืชพลังงานมีอายุ 105 วัน ต้นพืชพลังงานจะค่อยๆเจริญเติบโตไปเรื่อย ๆ และจะเริ่มมีความสูงคงที่ในช่วงอายุ 6 เดือน เมื่อพิจารณาความสูงของต้นพืชพลังงาน พบว่า ช่วงอายุ 3 4 และ 5 เดือน พืชพลังงานมีความสูงเท่ากับ 286.66 เซนติเมตร, 334.50 เซนติเมตร และ 409.33 เซนติเมตร ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ สรุปได้ว่าที่ระยะห่างร่องปลูก 1.25 และ 1.5 เมตร ต้นพืชพลังงานสามารถเจริญเติบโตได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับระยะร่องปลูกที่ 1 เมตร เนื่องจากต้นพืชพลังงานมีระบบรากฝอยที่แข็งแรงและมีพื้นที่หาอาหารมาก จึงทำให้ระยะร่องที่ 1.25 และ 1.5 เมตร พืชพลังงานมีการเจริญเติบโตได้ดี

จากการศึกษาการเติบโตของพืชพลังงานทั้ง 3 ช่วงอายุ พบว่าในการนำพืชพลังงานไปใช้ผลิตเป็นก๊าซชีวภาพจะต้องเลือกพืชพลังงานที่มีช่วงอายุ 40 – 45 วัน เนื่องจากพืชพลังงานที่มีอายุมากเกินไปจะมีปริมาณกากใยสูง ทำให้ระยะเวลาในกระบวนการหมักย่อยสลายใช้เวลามากยิ่งขึ้น โดยพืชพลังงานอายุ 40 วัน จำนวน 1 ตันสด สามารถให้ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์ที่ 53.3 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ 101 ลูกบาศก์เมตร/ตันหญ้าสด และต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นอยู่ในช่วง 6.0-6.5 จึงจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี [6] และในการนำพืชพลังงานไปใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งเพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า จะต้องเลือกพืชพลังงานที่มีช่วงอายุไม่เกิน 4 เดือน โดยสามารถอัดแข็งร่วมกับตัวประสานหรือไม่มีตัวประสานก็ได้ ซึ่งจะต้องพิจารณาค่าความหนาแน่น ไม่น้อยกว่า 600 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ค่าความร้อน มากกว่า 4,000 แคลอรีต่อกรัม ปริมาณความชื้น ไม่เกินร้อยละ 10 ปริมาณเถ้า ไม่เกินร้อยละ 3 [7] และค่าต้านทานแรงกดสูง แต่พืชพลังงานที่มีช่วงอายุมากกว่า 4 เดือน จะมีปริมาณกากใยสูง ส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแข็งมีปริมาณเถ้าสูงตาม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน งบประมาณ 2558 แผนพลังงานทดแทน ด้านพลังงานชีวมวล สนับสนุนทางด้านงบประมาณในการศึกษาวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2559). แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579 (PDP2015) [ออนไลน์] ได้จาก: http://www.eppo.go.th/index.php/th/electricity/pdp

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย (มกราคม-เมษายน) [ออนไลน์] ได้จาก: http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/sit_58/jan_apr_58.pdf

[3] ธนสิทธิ์ เหล่าประเสริฐ. (2556). เนเปียร์ หญ้าสร้างอนาคต ใช้ทั้งเลี้ยงสัตว์ ได้ทั้งพลังงาน [ออนไลน์] ได้จาก: https://www.technologychaoban.com/news_detail.php?tnid=448

[4] ปวาริศ ภัทรสิทธิศร, 2555. แนวทางการกผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับประเทศไทย. สำนักงานจัดการ คุณภาพน้ำ, กรมควบคุมมลพิษ.

[5] จักรพันธ์ หมื่นจี้, 2553. การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มสุกรโดยย่อยสลายร่วมกับหญ้าเนเปียร์และเศษอาหารโดยถังปฏิกรณ์เอเอสบีอาร์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[6] Appels, L., Baeyens, J., Degreve, J. and Dewil, R., 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. Progress in Energy and Combustion Science, 34, 755–781.

[7] สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน. โครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอนาคต (รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร). กรมพลังงาน ทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. [ออนไลน์] ได้จาก: e-lib.dede.go.th/mm.../Bib15106_รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร.pdf

[8] Mckendry. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Biomass Technology

[9] American Society of Testing and Materials. (1991). ASTM D 3173: Standard Test Method of Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM.

[10] American Society of Testing and Materials. (1991). ASTM D 3174: Standard Test Method of Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM.

[11] American Society of Testing and Materials. (1991). ASTM D 75: Standard Test Method of Density in the Analysis Sample of Coal and Coke. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM.

จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งปลาหมึกสด และปลาหมึกต้ม ด้วยการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนอินฟราเรด

Drying Kinetics of Fresh Squid and Boiled Squid by Heat Convection and Infrared Heat Radiation

สุภิตา ไชยโป[1*] สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล[2] และยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล[1]
[1]ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีพลาสมาและพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมในการอบแห้งปลาหมึกสดและปลาหมึกต้ม และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งปลาหมึกทั้งสองรูปแบบ โดยทำการวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเปรียบเทียบทุกเงื่อนไขของการอบแห้ง โดยการทดลองจะทำการอบแห้งด้วยการถ่ายเทความร้อนแบบการพาจากขดลวดความร้อนไฟฟ้า และการแผ่รังสีความร้อนจากหลอดอินฟราเรด อุณหภูมิที่ใช้การอบแห้งอยู่ในช่วงระหว่าง 45–65°C และกำลังรังสีอินฟราเรด 1,000W โดยมีค่าความชื้นเริ่มต้นของปลาหมึกสดและปลาหมึกต้มเท่ากับ 564% และ 488% dry-basis (d.b.) ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นสอดคล้องกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่ลดลง และเมื่อนำผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่เวลาต่าง ๆ มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้นกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง การทำนายผลของจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งแสดงให้เห็นว่า ผลการทำนายด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่ใช้ทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งปลาหมึกสดด้วยลมร้อน และอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด คือ แบบจำลองของ Page และแบบจำลองของ Sharma ตามลำดับ ขณะที่ผลการทดลองอบแห้งปลาหมึกต้มด้วยลมร้อน และด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถอธิบายได้ดีที่สุดด้วยแบบจำลองของ Logarithmic และแบบจำลองของ Sharma ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ พบว่า การอบแห้งปลาหมึกสดและปลาหมึกต้มด้วยลมร้อนมีความสิ้นเปลืองพลังงานกว่ากรณีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด โดยการอบแห้งปลาหมึกต้มด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 65°C ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ 1.17 ชั่วโมง และมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำอยู่ในช่วง 1.99-3.34 MJ/kg-water evaporated

คำสำคัญ: จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง, การแผ่รังสีอินฟราเรด, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

[1]Corresponding author e-mail : 5810210530@psu.ac.th

Abstract

The objective of this research was to evaluation of suitable drying of fresh squid and boiled squid and to determine drying kinetics of both squid samples including to comparative study of specific energy consumption of all drying conditions. The experiments were carried out using electric heating convection and infrared heat radiation. The experiments of fresh squid and boiled squid, which have initial moisture content of 564% and 488% dry-basis (d.b.) , respectively, were carried out under the conditions of drying temperature between 45°C and 65°C and infrared radiation power of 1,000W. The experiment results showed that drying rate increased with increase of drying temperature corresponding to drying time deduction. The evolution of moisture transfer data was non-linear regression analyzed with drying time and mathematical modeling of drying kinetics stated that the simulated data using the Page's model and using Sharma's model was the best fitting to the exact data of the fresh squid drying with electrical heat convection and infrared heat radiation, respectively. In addition, the simulated data using Logarithmic's model and Sharma's model was the best suitable to the exact data of the boiled squid drying with electrical heat convection and infrared heat radiation. The conclusion from the experiments was that hot air drying for fresh and boiled squid was relatively high specific energy consumption compared to the infrared radiation. Drying boiled squid by infrared heat radiation with drying temperature 65°C is the suitable drying condition due to the lowest drying time of 1.17 h and the relatively low specific energy consumption ranging of 1.99-3.34 MJ/kg-water evaporated.

Keywords : Drying kinetics, Infrared radiation, Mathematical simulation

บทนำ

ปลาหมึก หรือหมึก (squid) เป็นสัตว์ทะเลมีรูปร่างยาวเรียว ลำตัวกลม ครีบเป็นรูปสามเหลี่ยม มีหนวด 4 คู่ พบมากบริเวณอ่าวไทย ประเทศไทยจึงสามารถจับปลาหมึกได้เป็นจำนวนมากในแต่ละปี แต่ปลาหมึกสดนั้นไม่สามารถเก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลานานและมีโอกาสเน่าเสียง่ายเพราะเป็นโปรตีนที่ย่อยสลายได้ง่ายด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ อย่างไรก็ดีด้วยเหตุที่หมึกเป็นแหล่งโปรตีนที่ย่อยง่ายและมีรสชาติเฉพาะ เป็นที่ต้องการของตลาด จึงมีการนำไปใช้บริโภคในรูปแบบต่างๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นการบริโภคสด การทำแห้งเป็นแผ่นบาง การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปรุงรส การดอง ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นกระบวนการยืดอายุการเก็บรักษาและจำหน่ายในช่วงที่มีปริมาณน้อย อย่างไรก็ดีการทำให้ความชื้นของเนื้อหมึกลดลง จะช่วยให้ลดการเน่าเสียได้เป็นอย่างดีและยังเก็บรักษาไว้ได้นาน ตลาดส่วนใหญ่จะเป็นตลาดเพื่อการบริโภคภายในประเทศประมาณร้อยละ 60-70 คิดเป็นปริมาณปีละ 4-5 พันตัน (ที่มา: รวบรวมโดยบริษัท ศูนย์วิจัย ไทยพาณิชย์ จำกัด) กระบวนการอบแห้งจัดว่าเป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์อีกรูปแบบหนึ่งที่ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญของผู้ประกอบการในการจัดการลดความชื้น โดยการนำปลาหมึกสดมาลดความชื้น ซึ่งปลาหมึกมีสัดส่วนการแปรรูปโดยการอบแห้งมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 24 ของปริมาณที่จับได้ทั้งหมด เดิมชาวประมงใช้วิธีการตากแดดเพื่อทำเป็นปลาหมึกแห้ง ซึ่งมักประสบปัญหา คือ ผลิตภัณฑ์ปลาหมึกแห้งมีการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง สิ่งสกปรก อาจเกิดการรบกวนจากสัตว์ และแมลง นอกจากนี้ยังพบว่า คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีความชื้นและแห้งที่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากระยะเวลาในการตากแห้งอาจไม่แน่นอนและปริมาณความร้อนจากแสงอาทิตย์ไม่คงที่ในแต่ละพื้นที่ [1] เมื่อ

เทคโนโลยีการอบแห้งได้มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นทางเลือกใช้แหล่งพลังงานที่เหมาะสมมาใช้ในกระบวนการอบแห้งสำหรับผู้ประกอบการ การรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์แห้งนั้น อาจใช้แหล่งพลังงานความร้อนได้หลายรูปแบบเช่น ขดลวดความร้อนไฟฟ้า แหล่งพลังงานจากแก็สเชื้อเพลิง แก๊สธรรมชาติหรือเชื้อเพลิงปิโตรเลียมน้ำมัน และกลุ่มพลังงานทดแทน เช่น เชื้อเพลิงชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น จะเห็นว่าเป็นการถ่ายเทความร้อนในลักษณะการพาความร้อนเป็นหลัก อย่างไรก็ดีในกรณีการทำแห้งยังสามารถใช้แหล่งพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อีก เช่น รังสีอินฟราเรด และไมโครเวฟ [2] ซึ่งอาศัยเทคนิคการแผ่รังสีความร้อน และมีงานวิจัยหลายผลงานที่นำเทคนิคนี้มาใช้จนเกิดประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งในภาคอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และอุตสาหกรรมขนาดกลาง สำหรับการอบแห้งด้านอาหารและเมล็ดพืชนั้นมีกลุ่มวิจัยทำมาพอสมควรในประเทศไทย แต่ยังไม่ได้มีงานวิจัยที่เน้นด้านผลิตภัณฑ์อาหารทะเลที่ใช้เทคนิคการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมากนัก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจประเด็นนี้เป็นพิเศษเพราะงานวิจัยของ Tirawanichakul et. al. [3-4] ก่อนหน้านี้ได้มีการนำมาใช้ในอาหารทะเล และพบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

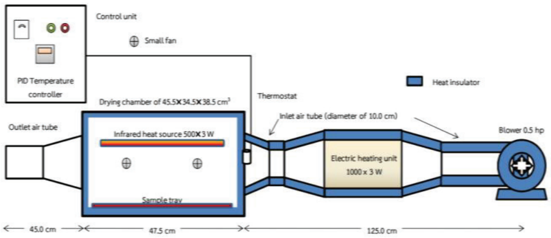
วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหากระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมของปลาหมึกสดและปลาหมึกต้มด้วยแหล่งพลังงานลมร้อนและรังสีอินฟราเรดผ่านกระบวนการถ่ายเทความร้อนแบบการแผ่รังสีและการพาความร้อน ตามลำดับ โดยการเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์จากปลาหมึกต้มและปลาหมึกสด ในด้านจลนพลศาสตร์ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์

วัตถุดิบปลาหมึก จะใช้ปลาหมึกกล้วยสดขนาด 15-20 ตัวต่อกิโลกรัม ที่หาซื้อได้ในตลาดสด อำเภอหาดใหญ่ จากนั้นจะนำมาทำความสะอาดปลาหมึก ตัดแต่งให้มีขนาดความกว้างและยาว 2.5×2.5 cm^2 ความหนาชิ้นละประมาณ 0.3 cm แบ่งปลาหมึกเป็น 2 ส่วน คือ วัตถุดิบที่เป็นปลาหมึกสด และปลาหมึกต้ม จากนั้นนำมาหาค่าความชื้น (ความชื้นเริ่มต้น, M_i) ของตัวอย่างปลาหมึกทั้งสองแบบตามมาตรฐานของ AOAC [4]

สำหรับเครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง มีลักษณะและองค์ประกอบต่าง ๆ ดังภาพที่ 1 ซึ่งมีแหล่งพลังงานความร้อนแบบการพา คือ ขดลวดความร้อนจากไฟฟ้า ขนาด 1000×3 W และเป่าเข้าห้องอบแห้งด้วยพัดลมใบพัดโค้งหน้า ขนาด 200 W 0.5 แรงม้า (DAICHI Co. Ltd.) และสำหรับการแผ่รังสีความร้อนในตู้อบแห้งแบบถาดที่มีขนาด 61×48×53 cm^3 จะใช้หลอดรังสีอินฟราเรดกำลัง 500W จำนวน 3 หลอด ตัวอย่างปลาหมึกจะถูกวางบนถาดอบแห้งขนาด 41.5×47.5 cm^2 และค่าพลังงานไฟฟ้าจะบันทึก จากวัตต์ฮาวมิเตอร์ (MITSUBISHI Co. Ltd.) ค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่ง ต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อม และ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศแวดล้อม โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ต่อไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณเวลา (Data logger) ซึ่งมีค่าความละเอียด ±0.5°C สำหรับมวลของวัสดุ ใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก (ยี่ห้อ Sartorius) ค่าความละเอียด ± 0.01 g



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อน และรังสีอินฟราเรด [3]

วิธีการวิจัย

1. นำปลาหมึกที่ผ่านการทำความสะอาดและการหั่น แบ่งเป็น 2 ส่วน นำส่วนหนึ่งของตัวอย่างปลาหมึกหั่นชิ้นจะนำไปต้มที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลาสามนาที จากนั้นจะสุ่มตัวอย่างปลาหมึกสดและปลามึกต้มไปหาค่าความชื้นเริ่มต้น
2. นำปลาหมึกทั้ง2ส่วนมาอบแห้งโดยแบ่งเป็นดังนี้
    a. อบแห้งปลาหมึกสดด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 45°C ,55°C และ 65°C ตามลำดับ
    b. อบแห้งปลาหมึกสดด้วยรังสีอินฟราเรด กำลัง 1,000W ที่อุณหภูมิ 45°C ,55°C และ 65°C ตามลำดับ
    c. อบแห้งปลาหมึกต้มด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 45°C ,55°C และ 65°C ตามลำดับ
    d. อบแห้งปลาหมึกต้มด้วยรังสีอินฟราเรด กำลัง 1,000W ที่อุณหภูมิ 45°C ,55°C และ 65°C ตามลำดับ

บันทึกผลการทดลอง ได้แก่ น้ำหนักกับเวลาอุณหภูมิกระเปาะเปียก ,อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในตู้อบแห้ง ในตอนเริ่มต้นการทดลองเก็บข้อมูลทุก 5 นาที หลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 30 นาที จากนั้นทำการเก็บข้อมูลทุก 10 นาที หลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 60 นาที จากนั้นทำการเก็บข้อมูลทุก 20 นาที กำหนดความชื้นสุดท้ายปลาหมึกแห้ง ในช่วง 18-22 % dry-basis (d.b.)

3. บันทึกปริมาณพลังงานที่ใช้ด้วย Watt-hour meter

จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงความชื้น

การคำนวณหาค่าจลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปลาหมึกแห้ง สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (1) ดังนี้ [1]

$$MR = \text{Moisture ratio} = (M_t - M_{eq})/(M_i - M_{eq}) \qquad (1)$$

โดยที่ MR คือ อัตราส่วนความชื้น, M_i, M_t, M_{eq} คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ ความชื้นที่เวลาใดๆ ของวัสดุ และความชื้นสมดุลของวัสดุ ตามลำดับ, (% dry-basis)

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งปลาหมึกสดและปลาหมึกต้มนี้จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมไพริเคิล เนื่องจากมีความเหมาะสมและสามรรถทำนายผลการทดลองได้ดี สะดวกและใช้เวลาน้อยกว่าการใช้สมการอบแห้งทางทฤษฎีและกึ่งทฤษฎีที่มีความยุ่งยากกว่า [1, 3] สำหรับสมการอบแห้งเอมไพริเคิลที่เหมาะสมที่สุดจะพิจารณาจากค่า Determination of coefficient (R^2) ที่มีค่าสูงสุด และค่า Root mean square error (RMSE) ที่ต่ำที่สุด [3-4]

การคำนวณหาอัตราการอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง

จากข้อมูลผลการทดลอง ได้แก่ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง ระยะเวลาอบแห้ง ปริมาณความชื้นที่นำออกจากเนื้อวัสดุ สามารถคำนวณหาอัตราการอบแห้งของปลาหมึกได้ โดยคิดเป็นอัตราส่วนของปริมาณความชื้นที่นำออกจากเนื้อวัสดุต่อระยะเวลาอบแห้ง (สมการที่ (2)) และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหย (MJ /kg of water evaporated) ที่ใช้ในการอบแห้งปลาหมึก คำนวณตามสมการที่ (3) ดังนี้ [3]

$$\text{Drying rate} = (M_i - M_f)\, W_d / t \quad (2)$$

$$\text{SEC} = 3.6E_p / (M_i - M_f)\, W_d \quad (3)$$

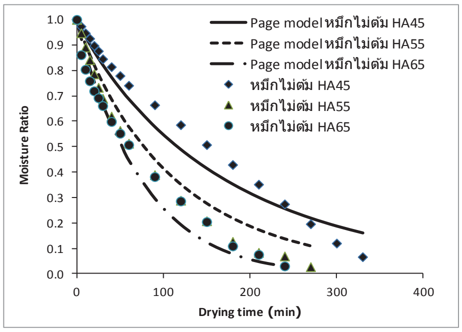
โดยที่ M_i, M_f คือ ความชื้นเริ่มต้นและสุดท้ายของวัสดุ ตามลำดับ (% dry basis),W_d คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg), t คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง(h), E_p คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (kW-h) และ 3.6 คือ ตัวเลขแปลงหน่วยของพลังงาน (MJ/kg of water evaporated) (1 kW-h= 3,600 kW-s หรือ 3,600 kJ)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

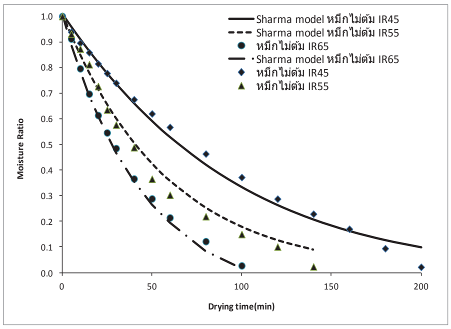
จากการทดลองเมื่อนำปลาหมึกที่ผ่านการต้มมาหาค่าพารามิเตอร์เบื้องต้น และนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานลมร้อนซึ่งมีความเร็วลมอยู่ที่ประมาณ 1.0-1.2 m/s และอบแห้งด้วยอินฟราเรดกำลัง 1,000 W โดยอุณหภูมิการอบแห้งอยู่ที่ 45 °C ,55 °C และ65 °C นำผลการทดลองศึกษา จลนศาสตร์การอบแห้งของปลาหมึก

1)การอบแห้งปลาหมึกไม่ต้ม(ปลาหมึกสด) ด้วยลมร้อนและรังสีอินฟราเรด

การอบแห้งปลาหมึกสดด้วยลมร้อน ที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 45°C ,55°C และ 65°C ใช้เวลาในการอบแห้ง 5.5 ,4.5 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 45°C ,55°C และ 65°C ใช้เวลา 3.33 ,2.33 และ 1.66 ชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งน้อยลง และการอบแห้งปลาหมึกสดด้วยรังสีอินฟราเรดใช้เวลาในการอบน้อยกว่าการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน แสดงดังภาพที่ 2



(ก) การอบแห้งปลาหมึกสดด้วยลมร้อน



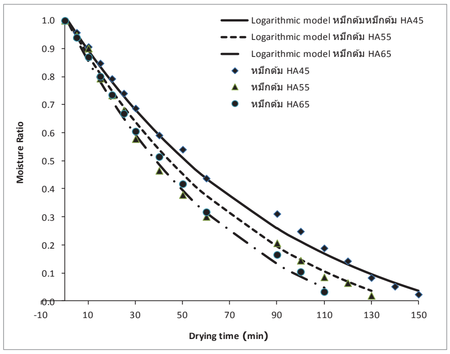
(ข) การอบแห้งปลาหมึกสดด้วยรังสีอินฟราเรด

ภาพที่ 2 (ก)อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปลาหมึกสดที่เวลาใดๆที่ได้จากการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยมีอุณหภูมิอบแห้ง 45-65°C (ข) อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปลาหมึกสดที่เวลาใดๆที่ได้จากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด โดยมีอุณหภูมิอบแห้ง 45-65°C

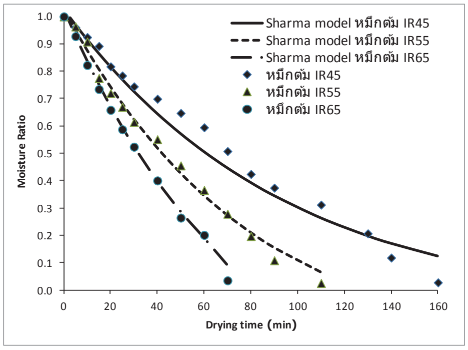
1)การอบแห้งปลาหมึกต้ม ด้วยลมร้อนและรังสีอินฟราเรด

การอบแห้งปลาหมึกต้มด้วยลมร้อนที่ความชื้นเริ่มต้น 488% dry-basis (d.b.) และมีความชื้นสุดท้าย 18-22 % dry-basis (d.b.) ที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 45°C ,55°C และ 65°C ใช้เวลาในการอบแห้ง 2.5 ,2.16 และ 1.83 ชั่วโมง ตามลำดับ และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 45°C ,55°C และ 65°C ใช้เวลา 2.67 ,1.83 และ 1.17 ชั่วโมง ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งน้อยลง และการอบแห้งปลาหมึกสดด้วยรังสีอินฟราเรดใช้เวลาในการอบน้อยกว่าการอบแห้งปลาหมึกสดโดยใช้ลมร้อน แสดงผลการทดลองดังภาพที่ 2

จากผลการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งปลาหมึกต้มด้วยอินฟราเรด 1.17 ชั่วโมง อุณหภูมิอบแห้งที่ 65°C เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการอบแห้งสั้นลง



(ก) การอบแห้งปลาหมึกต้มด้วยลมร้อน



(ข) การอบแห้งปลาหมึกต้มด้วยอินฟราเรด

ภาพที่ 3 (ก)อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปลาหมึกต้มที่เวลาใดๆที่ได้จากการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยมีอุณหภูมิอบแห้ง 45-65°C (ข) อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปลาหมึกต้มที่เวลาใดๆที่ได้จากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด โดยมีอุณหภูมิอบแห้ง 45-65°C

2) สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

จากผลการทดลองจลนพลศาสตร์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการถดถอยแบบไม่เชิงเส้นตามรูปแบบสมการอบแห้งที่เลือกใช้จำนวนทั้งสิ้น 10 แบบจำลอง พบว่า แบบจำลองทางค ณิตศาสตร์ของสมการอบแห้งแบบเอมพิริเคิลที่เหมาะสมที่สุดจะให้ค่า R^2 เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด และมีค่า RMSE ต่ำที่สุด ได้แก่สมการดังตารางที่ 1 และด้วยวิธีการดังกล่าวทำให้ได้ค่าคงตัวของสมการเอมพิริเคิล แสดงรายละเอียดในสดมภ์ที่ 2 ของตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และค่าคงตัวของสมการเอมพิริเคิล ของการอบแห้งปลาหมึกที่อุณหภูมิอบ 45-65°C

Name of empirical drying model	Arbitrary constant in each empirical drying model	R^2	RMSE
ปลาหมึกต้ม อบแห้งด้วยลมร้อน			
Logarithmic MR = a exp(-kt)+c	a = 1.230, z = 1.334, x = 1538.732, b = -0.214	0.9965	0.0277
ปลาหมึกต้ม อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด			
Sharma MR = a(exp(-kt))+b(exp(-gt))	a = 14.0150, z = 0.0277, x = 404.5196, b = -12.9886, g = 0.0075	0.9928	0.0358
ปลาหมึกสด อบแห้งด้วยลมร้อน			
Page MR = $\exp(-kt^n)$	z = 1880.210, x = 3918.548, n = 0.929	0.9838	0.0556
ปลาหมึกสด อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด			
Sharma MR = a(exp(-kt))+b(exp(-gt))	a = 4.308, z = 0.508, x = 1135.073, b = -3.296, g = 0.016	0.9957	0.0285

ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 1 พบว่า สมการอบแห้งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Logarithmic สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความชื้นของการอบแห้งปลาหมึกต้มด้วยลมร้อนได้ดี ขณะที่สมการอบแห้งจากแบบจำลอง

ทางคณิตศาสตร์ของ Sharma สามารถทำนายผลการทดลองได้ดีถึงสองการทดลอง คือ การอบแห้งปลาหมึกสดด้วยรังสีอินฟราเรด และการอบแห้งปลาหมึกต้มด้วยรังสีอินฟราเรด และสมการอบแห้งของ Page สามารถใช้อธิบายจลพลศาสตร์ของการอบแห้งปลาหมึกสดด้วยลมร้อนได้ดี

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองอบแห้งปลาหมึกที่ความชื้นเริ่มต้น 488-564 % dry-basis (d.b.) จนถาดแรกมีความชื้นสุดท้าย 18-22 % dry-basis (d.b.) มีความเร็วลม 1.0-1.2 m/s สรุปผลได้ดังว่า การอบแห้งปลาหมึกสดและปลาหมึกต้มด้วยรังสีอินฟราเรด จะมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่ากรณีการอบแห้งปลาหมึกสดและปลาหมึกต้มด้วยลมร้อนจากขดลวดไฟฟ้า ดังจะเห็นได้จากระยะเวลาอบแห้งที่ต่ำกว่า ซึ่งทำให้มีความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่าสอดคล้องไปด้วยกันทุกกรณี อาทิเช่น การอบแห้งปลาหมึกต้มด้วยรังสีอินฟราเรดและการอบแห้งปลาหมึกสดด้วยรังสีอินฟราเรด ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 1.17-2.67 ชั่วโมง และ 4.00-5.50 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 1.99-3.34 MJ/kg-water evaporated และ 2.04-2.86 MJ/kg-water evaporated ตามลำดับ และการทดลองอบแห้งปลาหมึกต้มด้วยลมร้อนและการอบแห้งปลาหมึกสดด้วยลมร้อน ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 1.83-2.50 ชั่วโมง และ 1.66-3.33 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของปลาหมึกต้มอบแห้งด้วยลมร้อนมีค่าต่ำกว่ากรณีอบแห้งปลาหมึกสดด้วยลมร้อน สำหรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ปลาหมึกแห้งนั้นในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของคณะผู้วิจัยได้มีการดำเนินการไว้ และพบว่าการหดตัวของปลาหมึกจะมีค่าสูงตามอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ขณะที่คุณภาพทางกายภาพด้านสีเหลือง ความสว่าง และความเป็นสีแดงก็ขึ้นกับอุณหภูมิอบแห้งเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมการเกษตร และสถานวิจัยเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1]. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). การอบแห้งเมล็ดธัญพืช, คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[2]. สำรวย ภูบาล และวลัยรัตน์ จันทรวงศ์.(2558). การอบแห้งปลาหมึกกะตอยโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนร่วม. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 :มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[3]. Tirawanichakul, Y., Kaseng, S. and Tirawanichakul, S. (2012). Infrared and Hot Air Drying of Mullet Fish: Drying Kinetics, Qualities and Energy Consumption. Thai Journal of Agricultural Science, 44(5), 384-390.

[4]. Tirawanichakul, S. and Tirawanichakul, Y. (2012). One and Two-Stages Drying of Shrimp using Hot Air and Infrared: Quality Aspect and Energy Consumption. Thai Journal of Agricultural Science, 44(5), 391-399.

[5]. AOAC. (2000). Official Methods of Analysis of AOAC, International, 16th edition, Washington DC: Association of Official Analytical Chemists.

ศักยภาพการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งในประเทศไทย
Potential of Using Biogas as Fuel in the Solid Oxide Fuel Cell System in Thailand

ชลธิดา พลเที่ยง ฐิติพงษ์ ภูผาทอง และอนุสรณ์ แสงประจักษ์*
หน่วยปฏิบัติการวิจัยพลังงาน สาขาวิชาพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพในการนำก๊าซชีวภาพจากแหล่งต่าง ๆ ในประเทศไทย ที่สำรวจไว้โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ณ ปี 2557 มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งในประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่าสถานภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของประเทศรวมเท่ากับ 1,405.58 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเซลล์เชื้อเพลิงได้เท่ากับ 303.48 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือร้อยละ 21.60 ของปริมาณการผลิตรวม ทำให้ได้กำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งเมื่อใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงเท่ากับ 139.95 MWp โดยมีศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 913×10^6 kWh/ปี โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยรูปแบบดังกล่าวนี้สามารถทำให้เกิดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงถึง 1.68×10^{11}-2.15×10^{11} กิโลกรัมต่อปี เมื่อเทียบกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพในระบบโรงไฟฟ้าความร้อน

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ, เซลล์เชื้อเพลิง, การผลิตไฟฟ้า

*Corresponding author: Tel.: 085-7497711. E-mail address: arnusorn.s@msu.ac.th

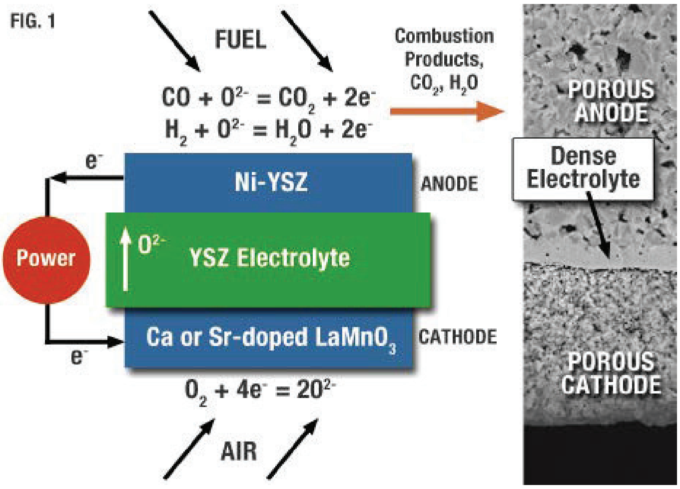
บทนำ

ในประเทศไทยมีของเสียซึ่งเกิดมาจากการใช้ชีวิตประจำวันเป็นจำนวนมาก ของเสียที่เกิดขึ้นสามารถเปลี่ยนให้เป็นก๊าซชีวภาพเพื่อจัดการสิ่งแวดล้อมและผลิตพลังงานได้ ก๊าซชีวภาพจึงยิ่งมีความสำคัญมากขึ้นในปัจจุบันเพราะเป็นการช่วยแก้ทั้งปัญหาสิ่งแวดล้อมและการขาดแคลนพลังงาน ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ด้วยแบคทีเรียชนิดไม่อาศัยออกซิเจน (Anaerobic) ทำให้เกิดกลุ่มก๊าซขึ้นขณะเกิดการย่อยสลาย กลุ่มก๊าซนี้เรียกว่า “ก๊าซชีวภาพ” ประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) ร้อยละ 60–70 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 30–40 ที่เหลือจะเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) [1] ซึ่งก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติติดไฟได้จึงสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิง ต่าง ๆ เช่น การหุงต้ม เชื้อเพลิงรถยนต์ เชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม

แนวคิดการใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง มีข้อดีคือ นอกเหนือจากการใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงแล้ว ยังสามารถใช้ก๊าซชีวภาพ (มีเทน) เป็นเชื้อเพลิงโดยได้อีกด้วย การใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งสามารถกจำแนกได้ 2 แนวทางตามรูปแบบของการเปลี่ยนรูป (Reforming) ก๊าซมีเทน ได้แก่ 1. การเปลี่ยนรูปก๊าซภายนอก (External reforming) คือการแยกมีเทนให้ได้เป็นไฮโดรเจน และคาร์บอนมอนนอกไซด์ เสียก่อนแล้วจึงนำก๊าซที่แยกได้ไปใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง และ 2. การเปลี่ยนรูปก๊าซแบบภายใน (Internal reforming) คือการจ่ายก๊าซมีเทนเข้าเป็นเชื้อเพลิงในเซลล์เชื้อเพลิงโดยตรง โดยการแยกมีเทนจะเกิดขึ้นภายในเซลล์เชื้อเพลิง ณ ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าแอโนด ซึ่งในการศึกษานี้ได้พิจารณาศึกษากรณีของเทคโนโลยีการเปลี่ยนรูปก๊าซแบบภายใน โดยมีรายละเอียดดังนี้

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็งชนิดการเปลี่ยนรูปก๊าซภายใน การใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งแบบการเปลี่ยนรูปก๊าซภายใน จะทำการเปลี่ยนมีเทนให้เป็นไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ ณ ตำแหน่งขั้วไฟฟ้าแอโนด โดยเกิดขึ้นที่สภาวะที่อุณหภูมิสูง ซึ่งสอดคล้องกันกับอุณหภูมิทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่อยู่ใน ช่วง 600 – 1000 $^{\circ}C$ [2] ทำให้การใช้งานเชื้อเพลิงในกลุ่มของไฮโดรคาร์บอน (รวมทั้งมีเทนในก๊าซชีวภาพ) กับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีความสะดวกกว่าการใช้เทคโนโลยีการเปลี่ยนรูปก๊าซภายนอก ซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อนของอุปกรณ์มากกว่า ในปี 2557 ประเทศไทยมีสถานภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพถึง 1,405.58 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี [1] การนำก๊าซชีวภาพมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีดังกล่าว เป็นรูปแบบการผลิตพลังงานอย่างหนึ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง

หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็งชนิดการเปลี่ยนรูปก๊าซภายใน แสดงไว้ในภาพที่ 1 โดยตัวเซลล์เชื้อเพลิงนั้นประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้าแอโนดที่ทำมาจาก โครงสร้างเซรามิคของนิเกิลผสมกับออกไซด์ของอิทเตรียและออกไซด์ของเซอร์โคเนียม (Ni-Y_2O_3-stabilized ZrO_2, NI-YSZ) ชั้นอิเล็กโตรไลต์ที่เป็นชั้นบาง ๆ ที่ทำมากจากออกไซด์ของอิทเตรียมและออกไซด์ของเซอร์โคเนียม (Y_2O_3-stabilized ZrO_2, YSZ) อัดแน่นผสมกัน และขั้วไฟฟ้าแคโทดที่ทำมาจากแคลเซียมหรือสตรอนเทียมผสมกับแลนทานัมแมงกาไนท์ (Ca or Sr-doped $LaMnO_3$) ในการทำงานนั้นเมื่ออากาศถูกจ่ายเข้ามาที่ขั้วไฟฟ้าแคโทดออกซิเจนรวมกับอิเล็กตรอนจะได้ออกซิเจนไอออน โดยออกซิเจนไอออนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ผ่านอิเล็กโตรไลต์ไปขั้วแอโนด และทำปฏิกิริยากับคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจนที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปมีเทนในก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิสูง ทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเกิดขึ้นตามลำดับ รวมทั้งได้อิเล็กตรอนและกำลังไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงนั่นเอง



ภาพที่ 1 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็งชนิดการเปลี่ยนรูปก๊าซภายใน “internal reforming” [2]

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพของประเทศไทยโดยศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพที่สอดรับกับปริมาณก๊าซมีเทนที่ใช้ในแต่ละขนาดเซลล์ชื้อเพลิง และยังได้หาศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งในประเทศไทย โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

1. **สำรวจข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย** ในการศึกษาได้อาศัยข้อมูลการสำรวจสถานภาพและศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของประเทศไทย ปี 2557 ที่ทำการศึกษาไว้โดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน มาใช้ในการพิจารณา โดยทำการจำแนกการผลิตก๊าซชีวภาพของประเทศไทยออกเป็น 6 ภาคได้แก่ คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันตก ภาคตะวันออก และภาคใต้

2. **เลือกระบบเซลล์เชื้อเพลิง** ในส่วนของการเลือกเซลล์เชื้อเพลิงทำการพิจารณาเลือกเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งแบบการเปลี่ยนรูปก๊าซแบบภายใน (Internal reforming) ซึ่งสามารถพิจารณานำมาใช้กับเชื้อเพลิงมีเทนจากก๊าซชีวภาพได้โดยตรง และมีข้อมูลทางเทคนิคและราคาให้ตรวจสอบได้ อัตราการใช้ก๊าซมีเทน (ζ_{CH_4}) ของเซลล์เชื้อเพลิงแต่ละขนาดประเมินได้จากสมการที่ 1 คือ

$$\zeta_{CH_4} = \frac{M_{CH_4}}{t} \qquad 1$$

โดย ζ_{CH_4} คือ อัตราการใช้ก๊าซมีเทน (kg/s) M_{CH_4} คือ ปริมาณก๊าซมีเทน (kg) ที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้า 1 kWh และ t คือ เวลา (s) ที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้ 1 kWh ซึ่งเวลา t ในสมการที่ 1 หาได้จาก

$$t = \frac{E}{P} \quad (2)$$

โดย E คือ พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง (kWh) t คือ เวลา (h) และ P คือ กำลังไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง (kW) เวลาที่ประเมินได้จากสมการดังกล่าวมีหน่วยเป็นชั่วโมง ในการนำไปใช้ในสมการที่ 1 ต้องแปลงหน่วยให้เป็นวินาที

ในส่วนของปริมาณก๊าซมีเทน (kg) ที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้า 1 kWh หรือ M_{CH_4} นั้น สามารถหาได้จากสมการ

$$M_{CH_4} = \frac{\dot{Q}}{\mathrm{LHV}} \quad (3)$$

โดย M_{CH_4} คือ ปริมาณก๊าซมีเทน (kg) $\dot{Q}$ คือ อัตราความร้อน (kJ) ที่ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงได้พลังงานไฟฟ้า 1 kWh ค่า LHV คือ ค่าความร้อนต่ำ (kJ/kg) โดยมีเทน 1 kg มีค่า LHV เท่ากับ 50,000 kJ

ค่าอัตราความร้อนเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือโรงไฟฟ้าที่แปลงเชื้อเพลิงเป็นความร้อนแล้วแปลงเป็นไฟฟ้า ซึ่งอัตราความร้อนคือปริมาณพลังงานความร้อนที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือโรงไฟฟ้าใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ซึ่งการหาค่าอัตราความร้อน ($\dot{Q}$) ที่ใช้ในสมการที่ 3 สามารถหาได้จาก สมการที่ 4 ดังนี้

$$\dot{Q} = \frac{BTU_{eqv}}{Eff_{FC}} \quad (4)$$

โดยที่ $\dot{Q}$ คือ ค่าอัตราความร้อน *(BTU)* BTU_{eqv} คือ ปริมาณพลังงานในหน่วย BTU ของก๊าซมีเทนเทียบเท่ากับ 1 kWh คือ 6,295 BTU และ Eff_{FC} คือ ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ค่าอัตราความร้อนที่ได้จากสมการ 4 จะอยู่ในหน่วยของ BTU ต้องทำการแปลงหน่วยให้เป็น kJ ก่อนนำไปใช้ในสมการที่ 3 เพื่อประเมินหาค่าปริมาณก๊าซมีเทน M_{CH_4} และอัตราการใช้ก๊าซมีเทน ζ_{CH_4} ตามลำดับ [3]

3. **เลือกขนาดของแหล่งผลิตก๊าซชีวภาพ** เนื่องจากในก๊าซชีวภาพจะมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนอยู่ร้อยละ 60 โดยปริมาตร ดังนั้นข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ปี 2557 จึงถูกนำมาวิเคราะห์ปริมาณมีเทนในก๊าซชีวภาพ แล้วจึงนำไปพิจารณาเลือกแหล่งผลิตก๊าซที่สามารถใช้ระบบเซลล์เชื้อเพลิง โดยพิจารณาจากปริมาณมีเทนในก๊าซชีวภาพที่คงเหลือของแต่ละแหล่งผลิตก๊าซที่ให้สอดรับกับปริมาณการความต้องการใช้ก๊าซมีเทนของเซลล์เชื้อเพลิงที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 หากปริมาณแก็สคงเหลือของแหล่งใดไม่สอดคล้องกันกับการจ่ายให้เซลล์เชื้อเพลิงก็จะตัดแหล่งนั้นออกไป คงให้เหลือเพียงแหล่งที่มีปริมาณที่สอดคล้องกัน และนำมาวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

4. กำหนดขนาดของระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง ในการกำหนดขนาดของระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งนั้น ได้ทำการพิจารณาขนาดของระบบเซลล์เชื้อเพลิงสำหรับแต่ละแหล่งผลิตก๊าซชีวภาพ โดยพิจารณาจำนวนชุดของระบบเซลล์เชื้อเพลิงที่สามารถเพิ่มได้สูงสุด โดยพิจารณาจากปริมาณก๊าซในแหล่งนั้น ๆ ที่สามารถจ่ายให้ระบบได้

5. ประเมินปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ เมื่อทราบจำนวนและขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งแล้ว ทำการประเมินการผลิตพลังงานไฟฟ้าในรอบ 1 ปี โดยกำหนดให้จำนวนวันในการเดินระบบเท่ากับ 333 วัน ทำการจำแนกการผลิตพลังงานไฟฟ้าออกเป็นรายภาค รวมทั้งพิจารณาข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยภาพรวมของประเทศ

6. **ประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์** ทำการประเมินหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของชุดเซลล์เชื้อเพลิงจำนวน 1 ชุด โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) และคำนวณระยะการคืนทุน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย ผลการศึกษา ข้อมูลการผลิตก๊าซชีวภาพของประเทศไทย โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ณ ปี 2557 แสดงให้เห็น ว่า สถานภาพการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งประเทศมีค่าเท่ากับ 1,405.58 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยที่ภาคเหนือมีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ 123.38 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเหนือมีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ 402.05 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ภาคกลางมีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ 102.63 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ภาคตะวันตกมีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ 259.12 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ภาคตะวันออกมีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ 233.14 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ภาคใต้มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ 285.23 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยปริมาณก๊าซชีวภาพดังกล่าวต้องถูกนำไปพิจารณาให้เป็นส่วนของก๊าซมีเทนเพียงร้อยละ 60 โดยปริมาตร [1] ก่อนนำไปเป็นเชื้อเพลิงในระบบเซลล์เชื้อเพลิง

ระบบเซลล์เชื้อเพลิง ระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง module ละ 50 kWp จากบริษัท Bloom Energy ถูกพิจารณาเลือกมาใช้ในการศึกษา โดยมี 2 รูปแบบ คือ 1) แบบ ES-5700 มี 5 modules กำลังไฟฟ้ารวม 250 kWp เมื่อคิดการสูญเสีย [4] จะได้ 200 kW และใช้ส่วนสำรองไฟฟ้า (UPM) รุ่น UPM-570 160 kW/200 kVA และ 2) แบบ ES-5710 เป็นรุ่นที่มี 6 modules กำลังไฟฟ้ารวม 300 kWp เมื่อคิดการสูญเสียแล้วจะได้ 250 kW ใช้กับ UPM รุ่น UPM-571 200 kW/250 kVA ทั้งสองรุ่นสามารถใช้กับเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพได้ เซลล์เชื้อเพลิง รุ่น ES-5700 และรุ่น ES-5710 มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 52-60% [5,6] โดยรายละเอียดของระบบเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 250 และ 300 kWp แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของเซลล์เชื้อเพลิงบริษัท Bloom Energy [5,6]

รุ่น:ขนาดของชุดเซลล์เชื้อเพลิง (kWp)	ปริมาณการใช้ก๊าซมีเทน (kg/s)	จำนวนเซลล์เชื้อเพลิงต่อ stack	จำนวน stack ต่อ Module	จำนวน Module ต่อระบบ
ES-5700:250	0.015374	40	50	5
ES-5710:300	0.018449	40	50	6

ขนาดของแหล่งผลิตก๊าซชีวภาพ จากการศึกษาพบว่า เมื่อคิดเฉพาะส่วนของมีเทนร้อยละ 60 โดยปริมาตรในก๊าซมีเทนแล้ว ปริมาณมีเทนในก๊าซชีวภาพจากแหล่งต่าง ๆ ทั่วประเทศ ที่สอดคล้องกันกับปริมาณการใช้ก๊าซของระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งในตารางที่ 1 มีค่าเท่ากับ 303.48 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยจำแนกเป็นปริมาณก๊าซมีเทนในชีวภาพสำหรับระบบเซลล์เชื้อเพลิงในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันตก ภาคตะวันออก และ ภาคใต้ มีค่าเท่ากับ 40.64 84.03 50.88 50.73 77.20 และ 36.38 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปีตามลำดับ

ขนาดของระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง ในกรณีที่ก๊าซชีวภาพมีปริมาณมาก ระบบเซลล์เชื้อเพลิงทั้งสองรูปแบบในตารางที่ 1 สามารถทำการเพิ่มขนาดได้ โดยการเพิ่มจำนวนชุดของเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งในการศึกษาทำการกำหนดจำนวนชุดของระบบโดยพิจารณาจากปริมาณมีเทนในก๊าซชีวภาพของแหล่งผลิตที่สอดคล้องกันกับปริมาณความต้องการใช้ก๊าซชีวภาพในระบบเซลล์เชื้อเพลิง ปริมาณมีเทนในก๊าซชีวภาพ 303.48 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปีข้างต้น สามารถนำไปพิจารณาใช้กับระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งขนาด 250 kWp และ 300 kWp ได้ทั้งสิ้นจำนวน 285 และ 229 ชุด ตามลำดับ คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ติดตั้งรวมเท่ากับ 139.95 MWp หรือ เมื่อคิดการสูญเสีย จะมีค่าเท่ากับ 114.25 MW

ผลประเมิน ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่ได้เซลล์เชื้อเพลิงขนาด 2 50 kWp 1 ชุด สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1,598,400 kWh/ปี ส่วนเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 300 kWp 1 ชุด สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1,998,000 kWh/ปี ปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวมจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งขนาด 250 kWp จำนวน 285 ชุด และ 300 kWp จำนวน 229 ชุด มีค่าเท่ากับ 913,086,000 kWh/ปี โดยจำแนกเป็น ภาคกลาง ภาคตะวันตก ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ และ ภาคเหนือ มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 142,257,600 126,273,600 216,982,800 225,374,400 90,709,200 และ 111,488,400 kWh/ปี ตามลำดับ

ผลประเมิน การลดปริมาณการปลดปล่อย CO_2 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งเท่ากับ 3.04×10^{8}-3.51×10^{8} kg/ปี [5,6] โดยปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการใช้ก๊าซชีวภาพในโรงไฟฟ้าความร้อน เท่ากับ 5.19×10^{8} kg/ปี (คิดที่อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 568.88 kg/MWh [7]) ทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง 1.68×10^{11}-2.15×10^{11} kg/ปี

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากระบบเซลล์เชื้อเพลิงนั้นสามารถเพิ่มจำนวนชุดได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของเซลล์เชื้อเพลิงขนาด 250 kWp และ 300 kWp จำนวนอย่างละ 1 ชุด เพื่อเป็นฐานในการพิจารณาติดตั้ง ในการประเมิน ราคาเซลล์เชื้อเพลิง 7,000 เหรียญดอลล่าร์สหรัฐต่อกิโลวัตต์ [8] ถูกนำไปประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนในแต่ละระบบ โดยทำการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 3.85 บาท/ kWh ซึ่งเป็นราคาค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน และคิดค่าพลังงานไฟฟ้า 5.30 บาท/kWh ซึ่งเป็นราคาค่าไฟฟ้าในอนาคต และทำการประเมินหาระยะเวลาคืนทุน ค่า IRR และค่า NPV ของระบบ ซึ่งจำแนกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 ขนาดเซลล์เชื้อเพลิง 200 kW 1 ชุด ในกรณีการคิดค่าไฟฟ้าที่ 3.85 บาท/kWh โดยมีการสนับสนุน adder เท่ากับ 5.8 บาท/kWh เป็นระยะเวลา 7 ปี ผลการศึกษาได้ระยะเวลาคืนทุน 6.25 ปี และได้ค่า IRR มีค่าเท่ากับ 11% และเมื่อไม่มีการสนับสนุน adder ได้ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 17.11 ปี โดยค่า IRR มีค่า 0.87% นอกจากนี้เมื่อประเมินโดยคิดค่าไฟฟ้าในอนาคต ที่ 5.30 บาท/ kWh และมีการสนับสนุน adder 5.8 บาท/kWh เป็นระยะเวลา 7 ปี ทำให้ได้ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 5.45 ปี ได้ค่า IRR มีค่าเท่ากับ 17.1 % ส่วนกรณีไม่สนับสนุน

adder ได้ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 10.89 ปี ค่า IRR มีค่า 8.80% กรณีที่ 2 ขนาดเซลล์เชื้อเพลิง 250 kW 1 ชุด ในกรณีการคิดค่าไฟฟ้าที่ 3.85 บาท/ kWh โดยมีการสนับสนุน adder เท่ากับ 5.8 บาท /kW เป็นระยะเวลา 7 ปี นั้น ทำให้ได้ระยะเวลาคืนทุน 6.25 ปี และได้ค่า IRR มีค่าเท่ากับ 11% ส่วนอีกหนึ่งกรณีคือ ไม่มีการสนับสนุน adder ได้ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 17.11 ปี โดยค่า IRR มีค่า 0.87% และเมื่อประเมินโดยคิดค่าไฟฟ้าในอนาคต ที่ 5.30 บาท/ kWh และมีการสนับสนุน adder 5.8 บาท/kWh เป็นระยะเวลา 7 ปี ทำให้ได้ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 5.45 ปี ได้ค่า IRR มีค่าเท่ากับ 17.1 % ส่วนกรณีไม่สนับสนุน adder ได้ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 10.89 ปี ค่า IRR มีค่า 8.80% โดยผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีที่ 2 มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับกรณีที่ 1

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าสถานภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของประเทศรวมเท่ากับ 1,405.58 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเซลล์เชื้อเพลิงได้เท่ากับ 303.48 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือร้อยละ 21.60 ของปริมาณการผลิตรวม ทำให้ได้กำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งเมื่อใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงเท่ากับ 139.95 MWp โดยมีศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 913×10^{6} kWh/ปี โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยรูปแบบดังกล่าวนี้มีศักยภาพในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 1.68×10^{11}-2.15×10^{11} กิโลกรัมต่อปี เมื่อเทียบกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพในระบบโรงไฟฟ้าความร้อน ในส่วนของการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า การลงทุนดำเนินการโครงการดังกล่าวจะมีความน่าสนใจเมื่อค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 5.30 บาท/ kWh และมีการสนับสนุน adder 5.8 บาท/kWh เป็นระยะเวลา 7 ปี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หน่วยปฏิบัติการวิจัยพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยดังกล่าวนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. (2557). **ระบบสารสนเทศและฐานข้อมูลเพื่อติดตามและประเมินผลการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย**. Access January 9, 2017, from web_biogas: http://biogas.dede.go.th/biogas/web_biogas/.

[2] National Aeronautics and Space Administration. **Solid oxide fuel cell and electrolysis membranes**. Access January 5, 2017, from https://www.grc.nasa.gov/WWW/StructuresMaterials/Ceramics/research_solid.html.

[3] U.S. Energy Information Administration. **What is the efficiency of different types of power plants**. Access April 25, 2017, from https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=107&t=3.

[4] Warren, J., Das, S., & Zhang, W. (2012). **Manufacturing Process Modeling of 100-400kWe Combined Heat and Power Stationary Fuel Cell Systems**. In ASME 10th International Fuel Cell Science, Engineering & Technology Conference, San Diego, CA.

[5] Bloom Energy Corporation. (2015). **Bloomenergy product datasheet ES-5700**. Access April 30, 2017, from http://c0688662.cdn.cloudfiles.rackspacecloud.com/downloads_pdf_Bloomenergy-_DataSheet_ES-5700.pdf.

[6] Bloom Energy Corporation. (2015). **Bloomenergy product datasheet ES-5710**. Access April 30, 2017, from http://c0688662.cdn.cloudfiles.rackspacecloud.com/downloads_pdf_Bloomenergy-_DataSheet_ES-5710.pdf.

[7] Lohsomboon, P. and Jirajariyavech, A. (2001). **Final Report for the Project on Life Cycle Assessment**. Business and Environmental Program. Thailand Environment Institute. Thailand.

[8] Battelle Memorial Institute. (2016). **Manufacturing Cost Analysis of 100 and 250 kW Fuel Cell Systems for Primary Power and Combined Heat and Power Applications**. U.S. Department of Energy Golden Field Office Golden, CO, DOE Contract No. DE-EE0005250.

การอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเปลี่ยนเฟส

Drying of Air Dried Sheet Rubber Using Hot Air and Solar Radiation Integrated Phase Change Materials

ศุภชัย จินา[1] ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล[2] และสุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล[3]*

[1]สาขาเทคโนโลยีพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110
[2]หน่วยปฏิบัติการวิจัยพลาสมาและเทคโนโลยีพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110
[3]สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อน และพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM) และเพื่อหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง โดยมีช่วงอุณหภูมิอบแห้งระหว่าง 40°C และ 60°C ความชื้นเริ่มต้นของยางแผ่นพาราอยู่ในช่วง 20-40% มาตรฐานแห้ง และความชื้นสุดท้ายของแผ่นยางแห้งอยู่ที่ 0.5 % มาตรฐานแห้ง เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยเทคนิคการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น พบว่า ทุกสภาวะการอบแห้ง ระยะเวลาในการอบแห้งจะประมาณ 2 วัน และการเปลี่ยนแปลงความชื้นของแผ่นยางจะลดลงเป็นฟังก์ชันแบบเอกซ์โพเนนเชียลกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งทุกสภาวะการอบแห้งคือแบบจำลองของ Modified Henderson and Pabis เมื่อพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการทดลอง พบว่า ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งยางแผ่นจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อทำการอบแห้งแบบสองและสามขั้นตอนเทียบกับการอบแห้งแบบขั้นตอนเดียว (อุณหภูมิอบแห้งคงที่ตลอดการอบแห้ง) และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าต่ำสุดเมื่อใช้กระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส (PCM)

คำสำคัญ: จลนพลศาสตร์, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: supawan.t@tsu.ac.th

Abstract

The objective of this research was to study the drying kinetics of rubber sheet by hot air and solar energy integrated with phase change material (PCM) and to evaluate the specific energy consumption (SEC) in each drying conditions. The experiments were carried out under the conditions of drying temperature ranges between 40°C and 60°C. An Initial moisture content of fresh rubber sheet was in range between 20 and 40% dry-basis while the desired final moisture content of the sheet was fixed at 0.5% dry-basis. The experiment results were statistical analyzed by non-linear regression analysis and the conclusion was that rubber sheet drying with various drying conditions consume only 2 days duration and the evolution of moisture content of the sheet rubber is a decreasing exponential function with drying time. The most suitable mathematical drying model to predict the drying kinetics of air dried sheet (ads) rubber was the Modified Henderson and Pabis model. At the fixed drying temperature the specific energy consumption of ads rubber drying was significantly reduced with two-stages and three-stages drying compared to the single-stage drying while the lowest specific energy consumption (SEC) was carried on by drying with combined hot air and solar radiation integrated phase change materials (PCM).

Keyword: Drying kinetics, Mathematical model, Specific energy consumption

บทนำ

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*, Mull.) เป็นพืชเศรษฐกิจอันดับต้นๆ ของประเทศไทยและภูมิภาคอาเซียน นอกจากนั้นพบว่าประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลกโดยแบ่งสัดส่วนการส่งออกวัตถุดิบยางเป็นประเภทต่าง ๆ ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางแท่งตามชั้นมาตรฐานของยางแผ่นไทย (Standard Thai rubber, STR) และอื่นๆ เป็นต้น ปัจจุบันปริมาณการส่งออกยางพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะการขยายตัวทางเศรษฐกิจของเอเชียตะวันออก ซึ่งช่วยให้มีเงินตราไหลเข้าประเทศมากขึ้น อย่างไรก็ดีปัจจัยสำคัญ ๆ ในการเพิ่มมูลค่า คือ การเตรียมวัตถุดิบยางที่ดี และมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของตลาดในแต่ละช่วงของปี โดยทั่วไปยางพาราแผ่นดิบที่เกษตรกรทำขึ้นจะนำยางแผ่นที่ได้ไปผึ่งไว้ในที่ร่มให้แห้ง หรือใช้การตากแดดประมาณสองวัน และตากในร่มให้ยางแผ่นแห้ง หลังจากนั้นจะเก็บไว้ในเพื่อรอการจำหน่ายต่อไป ปัญหาประการหนึ่งที่พบ คือ คุณภาพของยางแผ่นดิบที่ได้มีความแห้งและความสะอาดไม่สม่ำเสมอ จึงมักถูกกดราคาเป็นยางตกเกรดได้ง่าย อาทิเช่น ความใสเป็นเนื้อเดียว ความชื้นของแผ่นยางดิบ ขนาดความหนา และสิ่งสกปรกของเศษวัสดุต่าง ๆ ในเนื้อยางแผ่นผึ่งแห้ง ปัญหาเรื่องสิ่งเจือปนสามารถแก้ไขได้โดยง่ายคือการเตรียมน้ำยางดิบให้สะอาดในขั้นตอนก่อนการทำแผ่นยางดิบ แต่สำหรับปัญหาความชื้นไม่สม่ำเสมอที่เกิดการกระบวนการลดความชื้นนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางแผ่นผึ่งแห้งตกเกรด เพราะความชื้นส่งผลให้แผ่นยางเกิดเชื้อราและเป็นจุดดำ ๆ และเสียสมบัติยางที่ดี ดังนั้นถ้ามีการลดความชื้นด้วยวิธีการอบแห้งยางแผ่นที่เหมาะสมและใช้ต้นทุนในการจัดการถูก และสะดวก ก็จะทำให้เกษตรกรสามารถได้รับรายได้ที่ดีอย่างที่ควรจะเป็น พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่สะอาด โดยสภาพความเป็นจริงแล้วเกษตรกรชาวสวนยางมีการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานดังที่ได้กล่าวไปเบื้องต้น แต่มีข้อจำกัดที่ว่าความเข้มพลังงานจากแสงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่ไม่คงที่ตลอดวันและมีช่วงระยะเวลาที่จะนำมาใช้งานต่างกันตามฤดูกาลและพื้นที่

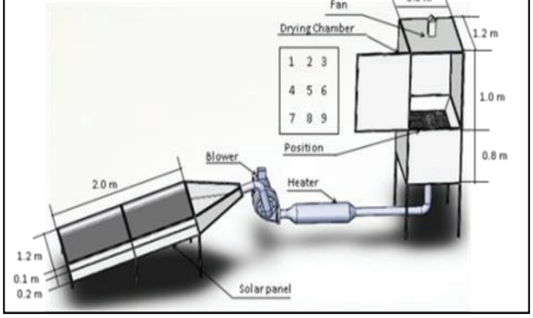
ภูมิภาค สำหรับงานวิจัยการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานในต่างประเทศได้มีการนำวัสดุกักเก็บความร้อนจากการเปลี่ยนสถานะมาใช้กักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์และสามารถให้คายความร้อนได้ในเวลาที่ปริมาณความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ไม่คงที่ หรือยืดระยะเวลาการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ [1] ได้มีการศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งเมล็ดองุ่นในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วยห้องอบแห้ง แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีวัสดุเปลี่ยนสถานะจำพวกแคลเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต พบว่า กระบวนการอบแห้งสามารถทำได้อย่างต่อเนื่องยาวนานขึ้นกว่าระยะเวลามีแดด นอกจากนี้ได้สร้างแบบจำลองอธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งองุ่น ได้ข้อสรุปว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Midilli et al. สามารถอธิบายผลการทดลองได้เหมาะสมที่สุด ทุก ๆ สภาวะของการอบแห้งเมล็ดองุ่น [2]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยลมร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับวัสดุเปลี่ยนสถานะหรือเฟส (Phase change material, PCM) และเพื่อศึกษาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งในแต่ละเงื่อนไขการทดลองเปรียบเทียบกัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วัสดุ

เครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นมาแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 1 โดยมีแหล่งพลังงานความร้อน คือ พลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อน พลังงานความร้อนจากแผงรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสีดำขนาด 1.2 x 2.0 x 0.3 m^3 ทำมุมเอียง 14° กับแนวระดับ ภายในแผงบรรจุด้วยท่อทั้งหมด 12 ท่อ ซึ่งภายในท่อบรรจุด้วยสาร Sodium carbonate decahydrate (Na_2CO_3 $10H_2O$) ห้องอบแห้งทรงเหลี่ยมขนาดความจุ 0.8 x 1.2 x 1.0 m^3 หุ้มกันการสูญเสียความร้อนด้วยฉนวนใยแก้วหนา 20 mm พัดลม (Blower) ขนาด 1 hp (ความเร็วลม 0.5-1.2 m/s) จำนวน 1 ตัวจะใช้ขับลมร้อนจากแผงรับรังสีความร้อนและขดลวดความร้อนไฟฟ้ากำลัง 1 kW จำนวน 2 ตัว ต่อท่อลมเข้าด้านล่างของห้องอบแห้งโดยด้านบนมีพัดลมระบายอากาศชื้น 1 ตัว ในกระบวนการเก็บข้อมูลและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ Digicon รุ่น DA-45 ความละเอียด ±0.01 m/s เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิต่อกับเทอร์โมคับเปิลชนิด K (Data logger, Yogokawa model FX100) เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ Acuweigh รุ่น Saw division ค่าความละเอียด ±5 g เครื่องวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ไพราโนมิเตอร์ (Kipp&Zonen M10) และตู้อบไฟฟ้า ยี่ห้อ Memmert ขนาดความจุ 500 L



ภาพที่ 1 รายละเอียดของเครื่องอบแห้งแบบพลังงานความร้อนร่วมระหว่างลมร้อนกับพลังงาแสงอาทิตย์ที่มีสารเปลี่ยนเฟส (PCM)

วิธีการวิจัย

เตรียมยางพาราแผ่นดิบขนาดกว้างยาวเท่ากับ 90×50 cm^2 จากนั้นนำยางพาราแผ่นดิบมาเข้าเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40°-60°C ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีสารเปลี่ยนเฟส (PCM) ขณะดำเนินการทดลองจะบันทึกน้ำหนักของยางแผ่นดิบทั้งยี่สิบแผ่นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิกระเปาะแห้งอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิทางเข้าและทางออกของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ความเข้มแสงอาทิตย์กับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จากพัดลมและขดลวดความร้อนไฟฟ้า โดยจะสิ้นสุดการทดลองแต่ละเงื่อนไขเมื่อค่าความชื้นสุดท้ายของยางแผ่นผึ่งแห้งมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 % มาตรฐานแห้ง

1) การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง

จากการทดลองอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งที่สภาวะต่างๆ ทำการบันทึกน้ำหนักของยางแผ่นตลอดเวลาการทดลอง สามารถคำนวณหาค่าอัตราส่วนความชื้นที่เวลาต่างๆ [3] ได้จากสมการที่ (1) ซึ่งผลการทดลองแสดงตามภาพที่ 2

$$\mathbf{MR = Moisture\ ratio = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} = \frac{M_t}{M_{in}}} \quad (1)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้นที่เวลาต่างๆ, M_{in}, M_t และ M_{eq} คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ ความชื้นที่เวลาใดๆ และความชื้นสมดุลของยางแผ่นผึ่งแห้ง (% dry-basis),

จากนั้นนำผลของค่าความชื้นยางแผ่นและเวลามาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการถดถอยไม่เชิงเส้นตามรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ของการอบแห้งชั้นแบบเอมพิริเคิลทั้งสิ้น 6 สมการ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบต่างๆที่ใช้ในการทดลอง [4]

Name of model	Equation	
Modified Henderson and Pabis	$MR = a\exp(-kt)+b\exp(-gt)+c\exp(-ht)$	(2)
Two-terms	$MR = a\exp(-k_1t)+b\exp(-k_2t)$	(3)
Verma *et al.*	$MR = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$	(4)
Midilli *et al.*	$MR = a\exp(-kt^n)+bt$	(5)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	(6)
Hii *et al.*	$MR = a\exp(-kt^n)+b\exp(-kt^n)$	(7)

การพิจารณาเลือกสมการอบแห้งที่เหมาะสมในตารางที่ 1 จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ที่สูงสุดซึ่งได้จากการคำนวณของโปรแกรม SPSS และค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root mean square error, RMSE) ที่ต่ำสุด [5] จากสมการที่ (8)

$$\mathbf{RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(MR_{ex,i} - MR_{pre,i})^2}} \quad (8)$$

เมื่อ $MR_{ex,i}$ และ $MR_{pre,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นจากผลการทดลองและผลจากการทำนายที่ค่า i ใดๆ ตามลำดับ

2) การวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้

จากผลการทดลองและบันทึกข้อมูลการอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งนำข้อมูลที่ได้คือ ความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสุดท้าย เวลาที่ใช้ในการอบแห้งและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ [6] ตามสมการที่ (9) และ (10) ตามลำดับ

$$\mathbf{Drying\ rate} = \frac{\mathbf{M_w}}{\mathbf{Drying\ time}} \tag{9}$$

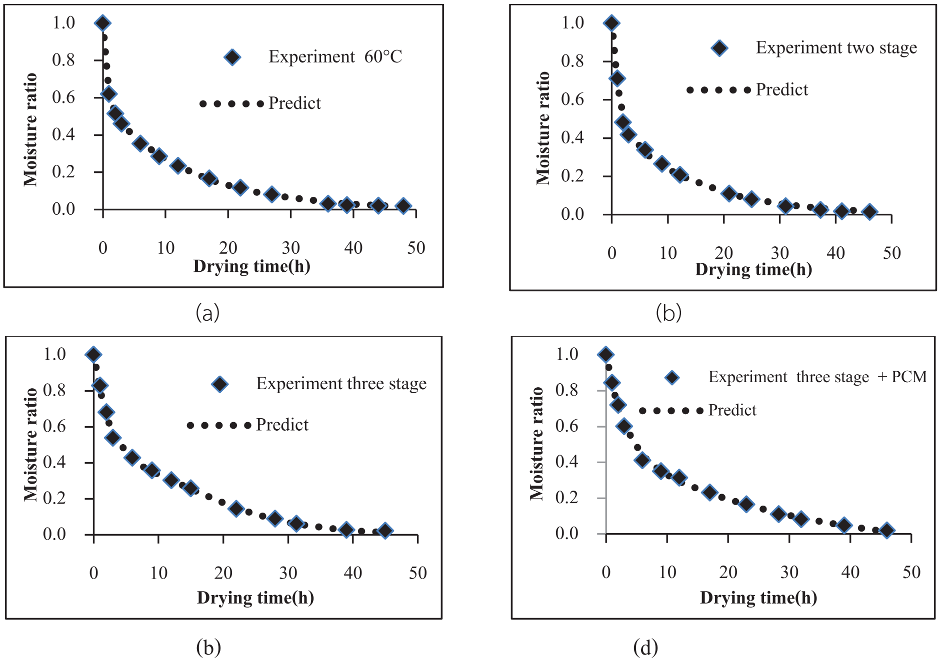
$$\mathbf{SEC} = \frac{\mathbf{3.6\ Ep}}{\mathbf{M_w}} \tag{10}$$

เมื่อ E_p คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง (kW-h), M_w คือ มวลของน้ำที่ระเหยออก, 3.6 คือ ตัวเลขการแปลงหน่วยของไฟฟ้า(1kWh = 3.6MJ)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เมื่อนำผลการทดลองมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นของแผ่นยางที่เปลี่ยนแปลงไปที่ระยะเวลาการอบแห้งต่าง ๆ ในช่วงอุณหภูมิ 40-60°C พบว่าเงื่อนไขอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเหมาะสมและน่าจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ จึงดำเนินการทดลองเงื่อนไขการอบแห้งแบบที่ใช้พลังงานความร้อนร่วมแบบหลายขั้นตอนเทียบกับขั้นตอนเดียว คือ การอบแห้งยางแผ่นดิบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิคงที่ 60°C การอบแห้งแบบสองขั้นตอนที่อุณหภูมิ 50°C และ 60°C และการอบแห้งแบบสามขั้นตอนด้วยอุณหภูมิ 40°C, 50°C และ 60°C และการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบสามขั้นตอนที่ 40°C, 50°C, 60°C ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส PCM แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 2

จากภาพที่ 2(a) ถึง 2(d) แสดงจลนพลศาสตร์การอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้ง โดยมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 20-40% dry-basis และความชื้นสุดท้ายหลังอบแห้งแต่ละกรณีคือ 0.5% dry-basis อัตราการไหลของอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 0.7 m/s จากกราฟทั้งสี่รูปย่อย จะเห็นได้ว่าทุกสภาวะของการอบแห้งใช้เวลาของการอบแห้งจนได้ความชื้นสุดท้ายของยางแผ่นผึ่งแห้งคือ 0.5 % dry-basis ที่ระยะเวลาใกล้เคียงกันคือประมาณ 2 วัน และความชื้นจะลดลงเป็นฟังก์ชันแบบเอกซ์โพเนนเชียลตลอดระยะเวลาที่ทำการอบแห้ง ช่วงแรกของการอบแห้งไม่ว่าจะใช้อุณหภูมิต่างกันแต่แนวโน้มของอัตราการลดลงของความชื้นใกล้เคียงกัน อาจจะเป็นเพราะว่าช่วงแรกของการอบแห้ง การระเหยของน้ำเกิดขึ้นที่ผิววัสดุเท่านั้น จึงทำให้ทราบว่าช่วงแรกของการอบแห้งยางพาราผึ่งแห้งไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้น ส่วนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทำนายทุกสภาวะการอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งได้ดีที่สุด คือแบบจำลองของ Modified Henderson and Pabis ดังสมการที่ (1)



ภาพที่ 2 อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยของยางแผ่นผึ่งแห้งกับระยะเวลาที่ใช้อบแห้ง เมื่อ (a) ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60°C (b) ลมร้อนแบบสองขั้นตอนที่อุณหภูมิ 50°C 60°C (c) ลมร้อนแบบสามขั้นตอน 40°C, 50°C และ 60°C (d) ลมร้อนแบบสามขั้นตอน 40°C, 50°C, 60°C ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส PCM.

การวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้

จากตารางที่ 2 แสดงอัตราการอบแห้งของสภาวะการอบแห้งแบบต่างๆ ซึ่งแต่ละสภาวะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และการใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งคำนวณจากการใช้พลังงานไฟฟ้าจากส่วนต่างๆ ของเครื่องอบแห้งเป็นหลัก เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความสิ้นเปลืองของพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งของแต่ละสภาวะที่ทำการอบแห้ง จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการอบแห้งที่อุณหภูมิความร้อนร่วมแบบสองขั้นตอนและสามขั้นตอนจะมีความแตกต่างกันในเรื่องของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบขั้นตอนเดียว และเมื่อเรานำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาช่วยพร้อมกับการติดวัสดุเปลี่ยนเฟส PCM พบว่าสามารถลดความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะได้ในระดับหนึ่ง และพบว่า การอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งแบบสามขั้นตอนด้วยลมร้อนจากไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส PCM มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่น ๆ ดังตารางที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุเปลี่ยนเฟสสามารถคายพลังงานความร้อนมาใช้ในการอบแห้งในช่วงที่ไม่มี

พลังงานแสงอาทิตย์ และขณะที่มีพลังงานแสงอาทิตย์ก็ให้ความสม่ำเสมอของความร้อนได้ดีกว่าการไม่ใช้วัสดุเปลี่ยนเฟสกักเก็บความร้อน ซึ่งเป็นผลดีต่อยางแผ่นที่ได้รับความร้อนค่อนข้างคงที่มากกว่าการไม่มีวัสดุเปลี่ยนเฟส

ตารางที่ 2 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ และเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในแต่ละสภาวะ

Condition	Drying Temperature (°C)	Drying time (h)	Drying rate (kg/h)	Ep (kWh)				SEC (MJ/kg of water evaporated)
				Blower	Heater	Fan	Total	
HA 60°C	60	48.00	0.481	9.40	66.51	0.50	76.41	121.7
HA two stage 50°C, 60°C	40	6	0.591	7.67	59.65	0.85	68.17	90.36
	60	40.1						
HA three stage 40°C, 50°C, 60°C	40	6	0.509	6.57	48.55	0.76	55.88	88.3
	50	6						
	60	33						
HA three stage 40°C, 50°C, 60°C +solar PCM	40	6	0.585	3.45	48.30	0.73	52.48	70.8
	50	6						
	60	34						

สรุปผลวิจัย

จากการศึกษาการอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง ที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ สามารถสรุปผลของงานวิจัยได้ว่าทุกสภาวะของการอบแห้งยางแผ่นผึ่งแห้ง จะใช้เวลาของการอบแห้งจนได้ความชื้นสุดท้ายของยางแผ่นผึ่งแห้งคือ 0.5 % dry-basis ที่ระยะเวลาใกล้เคียงกันคือประมาณ 2 วัน โดยในช่วงแรกของการอบแห้งไม่ว่าจะใช้อุณหภูมิอบแห้งในช่วง 40-60°C ต่างกัน แต่แนวโน้มของอัตราการลดลงของความชื้นใกล้เคียงกัน จึงไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงซึ่งจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้น ขณะที่การอบแห้งที่อุณหภูมิร่วมแบบสองและสามขั้นตอนพบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานลดลง โดยทั้งนี้เมื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้งและมีการใช้วัสดุเปลี่ยนเฟส PCM มีแนวโน้มที่สามารถลดความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่อการระเหยของน้ำมากกว่าการเลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์จากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนโครงการวิจัยมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ทุนวิจัยบัณฑิตศึกษา ทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดินที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย และขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กันยรัตน์ โหละสุต, ประสงค์ วงศ์วิชา, ถาวร ศรีชมภู, ทิพวรรณ์ ม่วงสำเภา, อาทิตย์ ไชยอำนาจ. (2551**). วัสดุเปลี่ยนเฟสเพื่อช่วยรักษาความร้อนในเครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์**. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.

[2] Gülsah C, Cengiz Y. (2011). **The drying kinetics of seeded grape in solar dryer with PCM-based solar integrated collector**. *Journal of Food and Bioproducts Processing, 89*, 103–108.

การผลิตถ่านจากใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังเพื่อพัฒนาเป็นถ่านอัดแท่ง

ภัทราณี นาคคงคำ[1] วิสูตร์ ยังพลขันต์[1] ถัน นวลแสง[2] คำ วงเวียน[2] ประยูร ศิริคุปต์[2] จันที ชัยสิทธิ์[3] วันดี มูลสัน[3]

[1] ส่วนพลังงานชุมชนฝ่ายกิจการเพื่อสังคม บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

[2] ตำบลท่ามะนาว อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

[3] ตำบลคำแคน อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น

บทคัดย่อ

ชุมชนตำบลท่ามะนาวและชุมชนตำบลคำแคน เป็นชุมชนที่เข้าร่วมโครงการงานวิจัยทางการตลาดและแปรรูปผลิตภัณฑ์จากถ่านของทางส่วนพลังงานชุมชน ฝ่ายกิจการเพื่อสังคม บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (ปตท.) งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดผลกระทบหมอกควันในชุมชนจากการเผาทำลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในชุมชน เนื่องจากมีเหลืออยู่เป็นจำนวนมากและยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านใดเลยนอกจากการเผาทำลาย จึงมีแนวคิดในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ใบอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง มาสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ถ่านในรูปแบบต่างๆ เพื่อพัฒนาให้ชุมชนสามารถพึ่งตนเองทางด้านพลังงานทดแทนได้ ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการผลิตถ่านจากใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของถ่านในการนำมาผลิตถ่านอัดแท่ง[1] วิธีการที่นำมาใช้ในการทดสอบคือ การทดสอบประสิทธิภาพเตาเผาถ่านโดยการคำนวณหาปริมาณร้อยละผลผลิตถ่านที่ได้ตามมาตรฐาน (ASTM D 1087) และการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของถ่าน โดยค่าที่ได้จากการทดสอบนี้ได้แก่ ค่าความชื้นตามมาตรฐาน (ASTM D 3173) และค่าความร้อนตามมาตรฐาน (ASTM D 5865) คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งที่ดีคือ มีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 และมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 5,000 แคลอรี่ต่อกรัม จากผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังมาทดลองเผาในเตาเผาถ่านของทั้ง 2 ชุมชน พบว่า เตาเผาถ่าน TMN1 TMN2 และ TMN3 ของตำบลท่ามะนาว และเตาเผาถ่าน KK1 และ KK2 ของตำบลคำแคน สามารถผลิตถ่านที่มีคุณภาพเป็นไปตามที่มาตรฐานการผลิตถ่านอัดแท่งชุมชนกำหนดได้

คำสำคัญ: ชีวมวล, เตาเผาถ่าน, ถ่านอัดแท่ง

[1]Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: anurak@tsu.ac.th

บทนำ

มนุษย์รู้จักวิธีการใช้พลังงานจากชีวมวลมาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์จนถึงปัจจุบันก็ยังมีการนำพลังงานจากชีวมวลมาใช้ประโยชน์ในสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนาอย่างประเทศไทย ซึ่งจะเห็นได้ว่าตามชุมชนชนบทยังมีการนำพลังงานจากชีวมวลมาใช้โดยการนำไม้ฟืนมาเผาสำหรับนำไปใช้ประโยชน์หุงต้มในครัวเรือน

ปัจจุบันประเทศไทยให้ความสำคัญกับการพัฒนาพลังงานทดแทนจากชีวมวล เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตรอยู่เป็นจำนวนมาก หากรู้จักนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานด้านอื่นๆ ได้เช่น พลังงานจากน้ำมัน ไฟฟ้า แก๊ส ถ่านหินฯลฯ ซึ่งนับว่าเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดการสูญเสียเงินตราของประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงดังกล่าวอีกด้วย ดังนั้นการคิดค้นและพัฒนาการนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ จึงเป็นการแสวงหาหนทางใหม่ในการใช้พลังงานเพื่ออนาคต ซึ่งในขณะเดียวกันก็ต้องพยายามลดความสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานด้วยเช่นกัน[2]

ตามที่บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (ปตท.) มีหน้าที่รับผิดชอบในฐานะองค์กรที่สร้างความมั่งคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศด้วยการส่งเสริมและพัฒนาชุมชนให้สามารถพึ่งตนเองด้านพลังงานทดแทน ตลอดจนขยายผลสู่ชุมชนและสังคมทั่วประเทศ โดยได้รับมอบหมายในการทำหน้าที่ส่งเสริมและพัฒนาชุมชนต้นแบบที่มีระบบการจัดการพลังงานโดยประชาชนมีส่วนร่วม ทั้งนี้ ปตท. ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาผลกระทบมลภาวะหมอกควันจากการเผาทำลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในชุมชน ซึ่งจากการศึกษาศักยภาพงานวิจัยด้านพลังงานชุมชนในแต่ละภูมิภาคพบว่าความต้องการใช้พลังงานจากชีวมวลมีความแตกต่างกันตามบริบทของชุมชน ที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการนำเศษวัสดุทางการเกษตร เช่น ใบอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เนื่องจากมีเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก และยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านใดเลยนอกจากการเผาทำลายมาสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ถ่านในรูปแบบต่างๆ

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองเผาใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังในเตาแต่ละรูปแบบที่สร้างขึ้นของแต่ละชุมชนโดยทำการทดสอบคุณสมบัติของถ่านที่ผลิตได้เพื่อดูแนวโน้มในการนำไปผลิตถ่านอัดแท่ง ซึ่งการทดสอบนี้เป็นการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของถ่านที่จะนำไปผลิตถ่านอัดแท่ง ได้แก่ ค่าร้อยละผลผลิตของถ่านที่ได้ ค่าความชื้นและค่าความร้อน

วัตถุประสงค์ในการดำเนินงานวิจัย

เพื่อลดผลกระทบหมอกควันในชุมชนจากการเผาทำลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และสร้างมูลค่าเพิ่มจากถ่านคุณภาพสูง

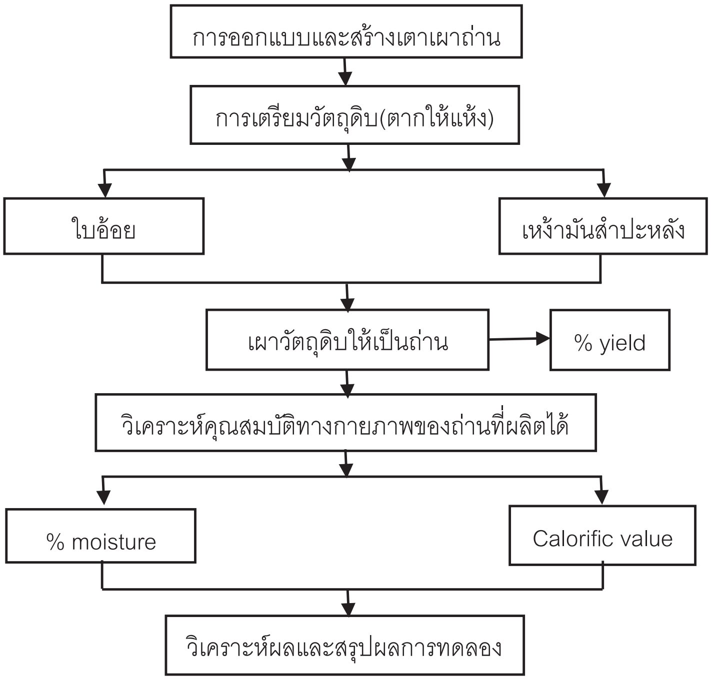
ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1.วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง คือ ใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง

2.การวิเคราะห์คุณสมบัติถ่าน เป็นการวิเคราะห์เพื่อดูแนวโน้มความเป็นไปได้ในการนำไปผลิตถ่านอัดแท่งเท่านั้น

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเตาเผาถ่านประสิทธิภาพสูงในรูปแบบต่างๆ การผลิตถ่าน และการตรวจสอบคุณสมบัติของถ่าน ซึ่งขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การออกแบบและก่อสร้างเตาเผาถ่าน [3]

ในขั้นตอนนี้ต้องการให้ชุมชนเข้ามามีส่วนร่วมในการดำเนินงานโดยจะคำนึงถึงบริบทของชุมชนเป็นหลัก ดังนั้น การออกแบบและก่อสร้างเตาเผาถ่านประสิทธิภาพสูงจะต้องมีขั้นตอนการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน เพื่อให้สามารถใช้งานได้และอยู่ในวิถีของชุมชนอย่างแท้จริง

การผลิตถ่าน

1.การเตรียมวัตถุดิบ

นำเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังมาตากแดดให้แห้งประมาณ 3 วัน

ภาพที่ 2 การเตรียมวัตถุดิบ

2.การคาร์บอไนซ์เซชั่น [4]

นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้มาเผาในเตาเผาถ่านที่สร้างขึ้นในแต่ละรูปแบบ พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักก่อนเผาและหลังเผา จากนั้นทำการคำนวณหาร้อยละของผลผลิตถ่านที่ได้ตามมาตรฐาน (ASTM D 1087) เพื่อให้ทราบถึงปริมาณถ่านที่ได้จากกระบวนการคาร์บอไนซ์เซชั่น ซึ่งหลักการทำงานของเตาเผาถ่านแบบตั้งและแบบนอน แสดงดังภาพที่ 3 และ 4

บรรจุวัตถุดิบ ลงในเตาเผาถ่าน | ก่อไฟหน้าเตาเพื่อไล่ความชื้น และเริ่มต้นการผลิตถ่าน | สังเกตควันที่ปากปล่องเปลี่ยนเป็นสีใสให้ทำการปิดหน้าเตา | ลักษณะของถ่านที่ผลิตได้ (ถ่านจากใบอ้อย)

ภาพที่ 3 ขั้นตอนการเผาถ่าน(เตาเผาถ่านแบบตั้ง)

บรรจุวัตถุดิบ ลงในเตาเผาถ่าน | ก่อไฟหน้าเตาเพื่อไล่ความชื้น และเริ่มต้นการผลิตถ่าน | สังเกตควันที่ปากปล่องเปลี่ยนเป็นสีใสให้ทำการปิดหน้าเตา | ลักษณะของถ่านที่ผลิตได้ (ถ่านจากเหง้ามันสำปะหลัง)

ภาพที่ 4 ขั้นตอนการเผาถ่าน(เตาเผาถ่านแบบนอน)

การตรวจสอบคุณสมบัติของถ่าน [5]

1.การศึกษาปริมาณความชื้น ตามมาตรฐาน (ASTM D 3173)

2.การศึกษาค่าความร้อน ตามมาตรฐาน (ASTM D 5865)

ผลการวิจัย

ในการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การออกแบบและสร้างเตาเผาถ่าน การผลิตถ่าน และการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของถ่าน เพื่อดูแนวโน้มความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การออกแบบและก่อสร้างเตาเผาถ่าน

1.ตำบลท่ามะนาว อำเภอชัยบาลดาล จังหวัดลพบุรี มี 3 แบบ ดังต่อไปนี้

เตาเผาถ่าน TMN1
(เตาหุ้มฉนวนดินวงปูน)

เตาเผาถ่าน TMN2
(เตาหุ้มฉนวนทรายวงปูน)

เตาเผาถ่าน TMN3
(เตาหุ้มฉนวนทรายวงเหล็ก)

รูปที่ 5 เตาเผาถ่านประสิทธิภาพสูงของตำบลท่ามะนาว

2.ตำบลคำแคน อำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น มี 2 แบบ ดังต่อไปนี้

เตาเผาถ่าน KK1
(เตานอนหุ้มฉนวนด้วยดิน)

เตาเผาถ่าน KK2
(เตาแบบย่าง)

รูปที่ 6 เตาเผาถ่านประสิทธิภาพสูงของตำบลคำแคน

การผลิตถ่าน

การวิเคราะห์ค่าความชื้น

จากการทดลองหาค่าความชื้นเริ่มต้น พบว่าใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังของตำบลท่ามะนาว มีค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 8.9 และ 8.9 ตามลำดับ ใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังของตำบลคำแคน มีค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 20 และ 14.1 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ค่าร้อยละเฉลี่ยของผลผลิตถ่าน

การผลิตถ่านจากใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบประสิทธิภาพเตาเผาถ่าน โดยวิเคราะห์ถึงผลกระทบชนิดของเตาที่มีผลต่อปริมาณถ่านที่ผลิตได้ในกรณีที่มีการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่แตกต่างกัน แสดงตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองเผาใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง ณ ตำบลท่ามะนาว

ประเภทเตาเผาถ่าน	ร้อยละเฉลี่ยของผลผลิตที่ได้ (% yield)	
	ใบอ้อย	เหง้ามันสำปะหลัง
เตา TMN1	12	14
เตา TMN2	11	10
เตา TMN3	10	10

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองเผาใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง ณ ตำบลคำแคน

ประเภทเตาเผาถ่าน	ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% yield)	
	ใบอ้อย	เหง้ามันสำปะหลัง
เตา KK1	23	13
เตา KK2	24	10

การทดสอบคุณสมบัติถ่าน

การวิเคราะห์ค่าความชื้นของถ่าน ณ ตำบลท่ามะนาว

ตารางที่ 4 แสดงค่าความชื้นของถ่านจากใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง ณ ตำบลท่ามะนาว

ประเภทเตาเผาถ่าน	ค่าความชื้น(%)	
	ใบอ้อย	เหง้ามันสำปะหลัง
เตา TMN1	5.5	6
เตา TMN2	7.1	5.2
เตา TMN3	7.2	6.1

จากตารางที่ 4 พบว่าค่าความชื้นของถ่านจากใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังที่เผาได้จากเตาเผาถ่านทั้ง 3 ประเภท ถ่านมีค่าความชื้นไม่แตกต่างกันมากนัก คือ มีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 5-7 และร้อยละ 5-6 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นความชื้นที่เป็นไปตามมาตรฐานต้องไม่เกินร้อยละ 8

การวิเคราะห์ค่าความชื้นของถ่าน ณ ตำบลคำแคน

ตารางที่ 5 แสดงค่าความชื้นของถ่านจากใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง ณ ตำบลคำแคน

ประเภทเตาเผาถ่าน	ค่าความชื้น(%)	
	ใบอ้อย	เหง้ามันสำปะหลัง
เตา KK1	6.7	6.2
เตา KK2	3.8	13

จากตารางที่ 5 พบว่าค่าความชื้นของถ่านจากใบอ้อยที่เผาได้จากเตาทั้ง 2 ชนิด ถ่านที่ได้มีค่าความชื้นเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด แต่จะเห็นได้ว่าถ่านจากเหง้ามันสำปะหลังที่เผาได้จากเตา KK2 นั้นมีค่าความชื้นเกินที่มาตรฐานกำหนดอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเตา KK2 เป็นเตาเผาถ่านที่เหมาะกับวัตถุดิบที่มีขนาดเล็กๆ ซึ่งเหง้ามันสำปะหลังนั้นมีขนาดใหญ่จึงไม่เหมาะสมที่จะนำเผาถ่านในเตาชนิดนี้ หรือถ้าจะนำมาเผาจะต้องทำการสับวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กก่อนจึงสามารถนำมาเผาในเตานี้ได้

การวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่าน

ในการวิเคราะห์ค่าความร้อนนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำถ่านที่ผ่านกระบวนการเผามาวิเคราะห์ค่าความร้อน เพื่อดูแนวโน้มของคุณสมบัติถ่านในการนำถ่านมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยจะทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนจากเครื่อง Bomb Calorimeter แสดงดังตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 แสดงค่าความร้อนของถ่านจากใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง ณ ตำบลท่ามะนาว

ประเภทเตาเผาถ่าน	ค่าความร้อน(cal/g)	
	ใบอ้อย	เหง้ามันสำปะหลัง
เตา TMN1	5,826	5,650
เตา TMN2	5,004	5,565
เตา TMN3	5,967	5,642

ตารางที่ 7 แสดงค่าความร้อนของถ่านจากใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลัง ณ ตำบลคำแคน

ประเภทเตาเผาถ่าน	ค่าความร้อน(cal/g)	
	ใบอ้อย	เหง้ามันสำปะหลัง
เตา KK1	5,652	6,118
เตา KK2	5,682	6,185

จากตารางที่ 6 และ 7 พบว่า ถ่านจากใบอ้อยและถ่านจากเหง้ามันสำปะหลังที่เผาได้จากเตาเผาถ่านของทั้ง 2 ตำบล นั้นมีค่าความร้อนที่สูงกว่าค่ามาตรฐานของถ่านอัดแท่งชุมชนกำหนด โดยมาตรฐานกำหนดไว้ต้องไม่น้อยกว่า 5,000 cal/g ซึ่งจากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตถ่านอัดแท่งนั้นพบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำใบอ้อย และเหง้ามันสำปะหลังมาผลิตถ่านอัดแท่ง

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำใบอ้อยและเหง้ามันสำปะหลังมาทดลองเผาในเตาเผาถ่านของทั้ง 2 ชุมชน พบว่า เตาเผาถ่าน TMN1 TMN2 และ TMN3 ของตำบลท่ามะนาว และเตาเผาถ่าน KK1 และ KK2 ของตำบลคำแคน สามารถผลิตถ่านที่มีคุณภาพเป็นไปตามที่มาตรฐานการผลิตถ่านอัดแท่งชุมชนกำหนดได้ ซึ่งทาง ปตท. จะทำการวิจัยเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพถ่านอัดแท่งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] ถ่านอัดแท่ง. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่งชุมชน,(มผช.238/2547)

[2] สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงานกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2554). คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน(พลังงานชีวมวลชุดที่4)

[3] ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี และคณะ. (2554). การผลิตพลังงานและเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร. รายงานฉบับสมบูรณ์. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 16-31

[4] มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (เชียงใหม่). เทคโนโลยีคาร์บอไนเซชั่น สืบค้นเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2560, จาก http://www.energy.mju.ac.th

[5] กองเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อุปโภค. (2560). รายงานผลการทดสอบคุณสมบัติถ่าน. กรมวิทยาศาสตร์บริการ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาอบแบบรังสีอินฟาเรดระยะไกล และแบบดั้งเดิม

Comparative Oven Performance of Far Infrared Radiation and Traditional

ชนม์นิภา การุณ[1] ปรีชา ศรีประภาคาร[2] และดร.พิสิษฏ์ มณีโชติ[1]
[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000
[2] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส LPG และลักษณะหลังการอบของคุ๊กกี้ธัญพืช จากศูนย์โอทอปคอมเพล็กซ์พุแค ตำบล พุแค อำเภอ เฉลิมพระเกียติ จังหวัด สระบุรี โดยทำการอบเทียบระหว่างระบบอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกลกับเครื่องอบแบบเดิมที่ใช้อยู่ ทำการอบโดยใช้คุ๊กกี้และเชื้อเพลิงชนิดเดียวกัน ผลการศึกษาพบว่าเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกลสามารถทำการอบแห้งคุ๊กกี้ได้ใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่า 33% และสามารถอบได้เพิ่มขึ้น 8 ถาด ซึ่งคุ๊กกี้ที่มีระดับความพึงพอใจมากและไม่มีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์เดิมที่อบด้วยเครื่องอบแบบเดิมทั้งสี กลิ่น และรสชาติ โดยใช้เวลาในการอบแห้งไกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: การอบแห้ง, เชื้อเพลิงแก๊ส LPG, แผ่นเซรามิก

บทนำ

ปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งที่จำเป็นมากในการตอบสนองความต้องการพื้นฐานของประชาชน อีกทั้งปัจจัยหนึ่งสำหรับภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจในการผลิตและการพัฒนาในด้านต่างๆเช่น เศรษฐกิจ การศึกษา การคมนาคม อุตสาหกรรมการเกษตร และอุตสาหกรรมอาหาร การใช้พลังงานในรูปแบบต่างจึงถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อความคุ้มค่าในการใช้พลังงาน ดังนั้นการจัดหาพลังงานให้เพียงพอและสอดคล้องกับการใช้งานจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะเรามีทรัพยากรสำหรับการผลิตพลังงานที่จำกัด

จากรายงานในเดือนกุมพาพันธ์พบว่าเศรษฐกิจมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง แม้การผลิตในภาคอุตสาหกรรมจะลดลงแต่ในด้านการใช้พลังงานพบว่า การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของเศรษฐกิจในด้านการขนส่งมีสัดส่วนการใช้ 39.8 ซึ่งสูงที่สุดและมีแนวโน้มจะสูงขึ้นในทุกๆปี รองลงมาคือ อุตสาหกรรม บ้านอยู่อาศัย ร้านค้า และการเกษตร ซึ่งในเดือนมกราคม-กุมพาพันธ์ของปี 2560 ประเทศไทยของเรามีการนำเข้าด้านพลังงานคิดเป็นมูลค่า 138,856 ล้านบาท มีการนำน้ำมันมากที่สุด เนื่องจากรัฐบาลออกนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยการลดสัดส่วนการใช้ Energy Intensity ซึ่งเป็นผลให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.1 จากช่วงเวลาเดียวกันกับปีก่อน แก๊สแอลพีจีเป็นอีกหนึ่งพลังงานที่มีแนวโน้มว่าราคาจะเพิ่มสูงขึ้น แต่ก็ยังคงมีความต้องการใช้อย่างต่อเนื่องและมากขึ้นด้วยทั้งในระบบขนส่งและอุตสาหกรรมการอาหาร

การทำแห้งเป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญในการแปรรูปอาหารต่างๆ ซึ่งมีการใช้พลังงานทั้งไฟฟ้าและแก๊สสูงอีกวิธีหนึ่งและเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด อีกทั้งเป็นวิธีที่มีมาตั้งแต่ดั้งเดิม ตั้งแต่การตากแห้งหรือการผึ่งแดด เป็นวิธีที่ง่ายและมีต้นทุนในการดำเนินงานต่ำเป็นที่นิยมใช้โดยทั่วไป แต่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้คงที่ได้ เนื่องมาจากปัจจัยในด้านสภาพภูมิอากาศ ฝุ่น และแมลง ซึ่งยังมีการอบแห้งอีกหลากหลายประเภทที่นิยมใช้กันทั่วไปนั้นใช้ไฟฟ้าและแก๊สแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง ในบทความนี้จึงมีความสนใจที่จะนำเสนอและเปรียบเทียบการใช้แก๊สแอลพีจีในการอบแห้งและแปรรูปอาหาร

วิธีการวิจัย

1. **ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

กระบวนการทางความร้อนในอุตสาหกรรมอาหารด้วยเทคนิคการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นความยาวมักถูกใช้ในรูปของตัวทำความร้อนความยาวคลื่นระหว่าง 2.5-3.0 ไมโครเมตร ความร้อนจะให้กะบอาหารโดยการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านทางอากาศและถูกดูดกลืนโดยอาหาร คุณลักษณะเด่นจากรังสีอินฟราเรดได้แก่ถ่ายเทความร้อนสู่อาหาร

เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกล

ภาพที่ 3 เครื่องอบแบบเดิม

เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกลแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งมีหลักการให้ความร้อนแก่ห้องอบแห้งเดียวกัน คือ ใช้แก๊ส LPG โดยจะแตกต่างกันที่เครื่องอบจะอาศัยแผ่นเซรามิกทำมาจากซิลิกอนคาไบด์เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนในการอบแห้งแผ่นเซรามิกจะได้รับแก๊ส LPG ซึ่งท่อนำแก๊สและหัวแก๊สจะเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่แผ่นเซรามิกทางด้านล่าง โดยในส่วนของห้องอบแห้งมีขนาด 176 x 200 x 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร นั้นประกอบด้วย ชั้นสำหรับวางถาดอบ 2 ชั้น มีระยะห่างชั้นละ 10 เซนติเมตร และมีช่องระบายอากาศที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีหลังคาเป็นทรงจั่ว กล่องควบคุมด้านบน

3. วิธีการทดลอง

ในบทความนี้จะนำเสนอการเปรียบเทียบการใช้พลังงานเชื้อเพลิง แก๊ส LPG, เวลา, ความแตกต่างทางกายภาพของคุ๊กกี้หลังทำการอบ ระหว่างเครื่องอบแห้งแบบเดิมและเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกล

เปรียบเทียบการใช้พลังงานเชื้อเพลิง แก๊ส LPG และ เวลา

1.ในการอบแห้งเริ่มนำคุ๊กกี้ที่เตรียมไว้เข้าเครื่องอบแห้งโดยให้ความร้อนจากแผ่นเซรามิก

2.ใช้ถาดที่มีขนาด 16 x 22 ตารางเซนติเมตร ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบเดิมใช้ 8 ถาดและเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกลอบแบบเต็มศักยภาพได้ 16 ถาด

3.ชั่งน้ำหนักแก๊สLPG ก่อนอบและหลังอบรวมถึงหลังจากอุ่นเครื่องอบเพื่อทำการอบแห้ง และจับเวลาขณะอบแห้ง

4.กำหนดเงื่อนไขในการอบแห้งคือ ความหนาของคุ๊กกี้ 1 เซนติเมตร

5.ทำการตรวจสอบคุณภาพหลังการอบโดยผู้จัดทำหน่าย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานเชื้อเพลิง แก๊ส LPG โดยปริมาณพลังงานที่ใช้คำนวณได้จาก

= ค่าความร้อนของแก๊สแอลพีจี × มวลของแก๊สเอลพีจีที่ใช้

โดยปริมาณพลังงานที่ใช้คิดจากปริมาณน้ำหนักแก๊สที่ใช้ในการอบแห้ง, ค่าความร้อนของแก๊สแอลพีจี เท่ากับ 26.6 เมกะจูลต่อลิตร

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานเชื้อเพลิง แก๊ส LPG โดยปริมาณพลังงานที่ใช้ คำนวณได้จาก

$$= \text{ค่าความร้อนของแก๊สแอลพีจี} \times \text{มวลของแก๊สเอลพีจีที่ใช้}$$

โดยปริมาณพลังงานที่ใช้คิดจากปริมาณน้ำหนักแก๊สที่ใช้ในการอบแห้ง, ค่าความร้อนของแก๊สแอลพีจี เท่ากับ 26.6 เมกะจูลต่อลิตร

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณแก๊ส ค่าพลังงาน และเวลาใน 1 รอบการอบแห้ง ของเครื่องอบแห้งแบบเดิมและเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกล

กิจกรรม	ระบบอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกล			ระบบอบแห้งแบบเดิม	
	ช่วงอุ่นเตา	อบ 8 ถาด	อบ 16 ถาด	ช่วงอุ่นเตา	อบ 8 ถาด
ปริมาณแก๊ส (กิโลกรัม)	0.5	0.7	0.8	0.4	0.6
เวลาในการอบแห้ง (min)	60	60	75	15	50

จากตารางแสดงปริมาณแก๊ส และเวลาใน 1 รอบการอบแห้ง ของเครื่องอบแห้งแบบเดิมและเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกล พบว่าใช้เวลาในช่วงอุ่นเตาให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการด้วยระบบอบแห้งแบบเดิม 15 นาที, ระบบอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 45 นาที และปริมาณแก๊สของระบบอบแห้งแบบเดิม 0.4 กิโลกรัม, ระบบอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 0.5 กิโลกรัม เนื่องจากขนาดที่ใหญ่กว่าของระบบอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจึงใช้เวลาในการอุ่นเตามากกว่า ในขณะที่ปริมาณแก๊สที่ใช้กลับน้อยกว่า โดยในการอบคุ๊กกี้ของระบบอบแห้งแบบเดิมอบสูงสุดเต็มศักยภาพคือ 8 ถาด ใช้ปริมาณแก๊ส 0.6 กิโลกรัม และใช้เวลา 50 นาที ระบบอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดอบสูงสุดเต็มศักยภาพคือ 16 ถาด ใช้ปริมาณแก๊ส 0.8 กิโลกรัม และใช้เวลา 75 นาที ซึ่งใน 1 ถาดใช้ปริมาณและขนาดคุ๊กกี้เท่ากัน

ตารางที่ 2 แสดง ค่าพลังงาน ใน 1 รอบของการอบแห้ง ของเครื่องอบแห้งแบบเดิมและเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกล

กิจกรรม	ระบบอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกล			ระบบอบแห้งแบบเดิม	
	ช่วงอุ่นเตา	อบ 8 ถาด	อบ 16 ถาด	ช่วงอุ่นเตา	อบ 8 ถาด
ค่าพลังงานทั้งหมด (เมกะจูล/รอบ)	24.62	34.47	39.40	19.70	29.55
ค่าพลังงาน (เมกะจูล/ถาด)	-	4.31	2.46	-	3.69

จากตารางแสดง ค่าพลังงาน ใน 1 รอบของการอบแห้ง ของเครื่องอบแห้งแบบเดิมและเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกล เมื่อคำนวณค่าพลังงาน พบว่าค่าพลังงานทั้งหมดในช่วงอุ่นเตาของระบบอบแห้งแบบเดิม 24.62 เมกะจูลต่อรอบ, ระบบอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 19.70 เมกะจูลต่อรอบ โดยในการอบคุกกี้ของระบบอบแห้งแบบเดิมอบสูงสุดเต็มศักยภาพคือ 8 ถาด ใช้ค่าพลังงาน 3.69 เมกะจูลต่อถาด ระบบอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดอบสูงสุดเต็มศักยภาพคือ 16 ถาด ใช้ค่าพลังงาน 2.46 เมกะจูลต่อถาด โดยระบบอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดอบสูงสุดเต็มศักยภาพคือ 16 ถาด ใช้พลังงานน้อยที่สุด ซึ่งใน 1 ถาดใช้ปริมาณและขนาดคุ๊กกี้เท่ากัน ซึ่งถ้าคิดในอัตราการผลิตวันละ 48 ถาด จะสามารถประหยัดแก๊สแอลพีจีไปได้ 1.2 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 25.38 บาท ดังนั้น ทำให้การใช้เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกลประหยัดค่าแก๊สแอลพีจี 7,919 บาทต่อปี

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่าเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกลสามารถทำการอบแห้งคุ๊กกี้ได้ใช้เชื้อเพลิงน้อยกว่าระบบอบแห้งแบบเดิม 33% เมื่ออบเต็มศักยภาพที่ 16 ถาด ใช้พลังงาน 39.40 เมกะจูลต่อรอบ โดยคุ๊กกี้ที่มีระดับความพึงพอใจมากและไม่มีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์เดิมที่อบด้วยเครื่องอบแบบเดิมทั้งสี กลิ่น และรสชาติ โดยใช้เวลาใกล้เคียงกัน ซึ่งถ้าคิดในอัตราการผลิตวันละ 48 ถาด จะสามารถประหยัดแก๊สแอลพีจีไปได้ 1.2 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 25.38 บาท

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.พิสิษฏ์ มณีโชติ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในกระบวนการทดลองและขอขอบคุณศูนย์โอทอปคอมเพล็กซ์พุแค ตำบล พุแค อำเภอ เฉลิมพระเกียติ จังหวัด สระบุรี ผู้สนับสนุนคุ๊กกี้และสถานที่ในการทดสอบจนเสร็จสิ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงส์ พิสิษฏ์ มณีโชติ วิกาณต์ วันสูงเนิน ภาคิน มณีโชติ. (2557). “การเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงก๊าซแอลพีจีของตู้อบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกลกับเตาอบเดิม” , ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 ประจำปี 2557**, วันที่ 12-14 พฤศจิกายน 2557 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคิรีขันธ์. : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

[2] กิ่งกานต์ พันธุวาณิชย์. (2552). **การศึกษาการแผ่รังสีอินฟาเรดระยะไกลของเซรามิกโดยใช้แก๊สชีวภาพเพื่อใช้ในการอบแห้ง**. วิทยานิพนธ์ วท. ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก

[3] **Department of Alternative Energy Development and Efficiency**, Ministry of Energy, Thailand (2004).*Statistic Data*, URL: http://www.dede.go.th, access on 24/04/2010.

[4] Spath, P.L. and Mann, M.K. (2002). ***Life Cycle Assessment of a Natural Gas Combined–Cycle PowerGeneration System***, NREL/TP-570-27715, National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA, URL: http://www.doe.gov, access on 24/04/2010.

[5] Kamile Savas and Arzu Basman. (2016). **Infrared drying: A promising technique for bulgur production**. Journal of Cereal Science 68. 31-37.

การศึกษาสมรรถนะเบื้องต้นของหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

A Preliminary Performance Study of Agricultural Residues biomass Pellet Burner

จักราวุธ เมตตา[1] ณัฐนนท์ วิมลสูตร์[1] ศรรักษ์ สันโดษ[1] พรพิพัฒน์ ตุ้มเรืองศรี[1] ทนงศักดิ์ พิมพรัตน์[1] และสมมาส แก้วล้วน[1*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก26120

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลพลอยได้นอกเหนือจากผลิตผลทางการเกษตรคือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ทางปาล์ม เหง้ามันสำปะหลัง เศษกิ่งไม้ เป็นต้น วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้มักมีสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ที่แตกต่างกัน เช่น ขนาด รูปร่าง ความหนาแน่นปรากฏ ความชื้น ปริมาณเถ้า เป็นต้น ทำให้เป็นอุปสรรคในการนำวัสดุเหล่านี้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยไม่สามารถควบคุมการเผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพสูงได้ เนื่องจากต้องใช้อากาศส่วนเกินในการเผาไหม้สูง มีมลพิษจากการเผาไหม้สูง และมีอุณหภูมิจากการเผาไหม้ต่ำ ตลอดจนมีฝุ่นเถ้าและฝุ่นคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ผสมออกมากับเปลวไฟ การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผ่านกระบวนการอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ด(Biomass Rotating Roller ZLSP-300B-R) ทำให้ได้เม็ดเชื้อเพลิงแข็งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 25 มิลลิเมตร มีความชื้นไม่เกิน 10% มีความหนาแน่นประมาณ 570 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำให้มีค่าความร้อนต่อน้ำหนักและค่าความร้อนต่อปริมาตรสูงขึ้นทำให้ง่ายในการควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงเข้าเตา และการควบคุมการเผาไหม้ให้ได้ประสิทธิภาพมากขึ้น

การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจึงเป็นแนวทางส่งเสริมการนำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมาใช้แทนหัวเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น หัวเผาแก๊สแอลพีจี หัวเผาแก๊สธรรมชาติ หัวเผาน้ำมันดีเซล หัวเผาน้ำมันเตา เป็นต้น โดยหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่พัฒนาขึ้นมีหลักการทำงานดังนี้ (1) การเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (2) การดักจับฝุ่น (3) การเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ซึ่งจากหลักการดังกล่าวจึงทำให้หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้นจากการทดลองศึกษาสมรรถนะของหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรพบว่าหัวเผาที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงมีมลพิษต่ำ

คำสำคัญ:เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เตาปฏิกรณ์ หัวเผา

[*]Corresponding author:Tel.: 089-7659091. E-mailaddress:sommas@g.swu.ac.th

บทนำ

จากสถานการณ์พลังงานในปัจจุบันที่ภาครัฐส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนทั้งพลังงานสะอาดและพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลในขณะที่ชุมชนมีความตระหนักรู้และร่วมปกป้องชุมชนจากปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล แม้แต่โรงไฟฟ้าหรือโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลก็ไม่อาจทำให้ชุมชนมั่นใจได้ว่าจะสามารถควบคุมมลพิษที่เกิดขึ้นได้ดีเพียงใด มีเทคโนโลยีการเผาไหม้เหมาะสมกับชนิดของเชื้อเพลิงชีวมวลเพียงใด ประโยชน์ที่ชุมชนได้รับจากการขายเชื้อเพลิงชีวมวลกับปัญหามลพิษที่อาจเกิดขึ้นกับชุมชนยังเป็นคำถามและข้อสงสัยที่ชุมชนรอคำตอบ

ผู้ผลิตพลังงานไฟฟ้ามีความพยายามลดต้นทุนการผลิตโดยการหาแหล่งเชื้อเพลิงที่มีราคาถูกและมองหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการแปลงพลังงานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงและเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำที่สุดและส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชน จึงมีความพยายามในการหาพลังงานรูปแบบต่างๆ มาใช้ทดแทนพลังงานจากฟอสซิล พลังงานทดแทนในอีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถนำมาใช้คือ พลังงานจากชีวมวลซึ่งเป็นพลังงานที่หลายประเทศให้การยอมรับและใช้งานอย่างแพร่หลาย และรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ได้สะดวกคือ แบบเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด หรือเรียกชื่ออื่นๆ เช่น เชื้อเพลิงแท่งตะเกียบ เชื้อเพลิงไม้อัดเม็ด เป็นต้น ซึ่งเป็นการนำเอาวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ก้อนเห็ดเก่า เหง้ามันสำปะหลัง ซังข้าวโพด ฟางข้าว เศษหญ้า เศษไม้เหลือใช้จากการตัดแต่งต้นไม้ ขี้เลื่อยที่ได้จากอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น มาผลิตเป็นชีวมวลอัดเม็ด ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างในรูปของพลังงานความร้อน ทั้งยังเป็นการใช้ทรัพยากรที่เหมาะสมและช่วยขจัดปัญหาเศษวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร และช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมให้แก่เกษตรกรได้

ตามนโยบายของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ต้องการให้คณะวิศวกรรมศาสตร์นั้นมีส่วนร่วมในการช่วยเหลือชุมชนและชาวบ้าน เนื่องจากในเขตพื้นที่จังหวัดนครนายกและสระบุรีบริเวณอำเภอองครักษ์ อำเภอบ้านนา และอำเภอใกล้เคียงมีเกษตรกรจำนวนมากทำการเกษตรเพาะปลูกเห็ด และพบปัญหาคือในกระบวนการผลิตก้อนวัสดุเพาะเห็ดและหลังจากเกษตรกรทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วจะมีวัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตรคือก้อนวัสดุเพาะเห็ดด้อยคุณภาพและก้อนเห็ดเก่าที่มีจำนวนมาก ดังนั้นการออกแบบและพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยเม็ดเชื้อเพลิงผลิตจากก้อนเห็ดที่ไม่ได้คุณภาพและก้อนเห็ดเก่าซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการลดปัญหาขยะจากเศษวัสดุทางการเกษตรที่หลงเหลือจากกระบวนการผลิตและการเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยการนำวัสดุเพาะเห็ดซึ่งเป็นขี้เลื่อยไม้ยางพาราจากก้อนเห็ดด้อยคุณภาพและก้อนเห็ดเก่าเข้าสู่กระบวนการอัดเม็ดเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดและนำเอาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ผลิตได้เป็นเชื้อเพลิงป้อนเข้าสู่หัวเผาเพื่อผลิตพลังงานความร้อน ซึ่งพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดสามารถนำไปใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ผลิตไอน้ำหรือน้ำมันร้อนใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าจากระบบหม้อต้มไอน้ำ (boiler) จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่เหลือทิ้งจากการเกษตร ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และช่วยลดรายจ่ายให้กับเกษตรกรอีกด้วย

วิธีการวิจัย

การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากก้อนวัสดุเพาะเห็ดด้วยคุณภาพและก้อนเห็ดเก่า โดยเริ่มจากการนำขี้เลื่อยไม้ยางพาราซึ่งเป็นวัสดุเพาะออกจากถุงพลาสติกและตากให้แห้งพอประมาณ วัดความชื้นให้ได้ประมาณ 18% แล้วนำวัสดุชีวมวลเข้าสู่กระบวนการอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบ Flat die รุ่น Biomass Rotating Roller ZLSP-300B-R ขนาด 22 kW ซึ่งจะได้เม็ดเชื้อเพลิงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาว 20-30 มิลลิเมตร มีความหนาแน่นมากกว่า 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าความร้อนทางต่ำ14.53 MJ/kg

ภาพที่ 1 การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากก้อนเห็ดด้อยคุณภาพและก้อนเห็ดเก่า

ตารางที่ 1องค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

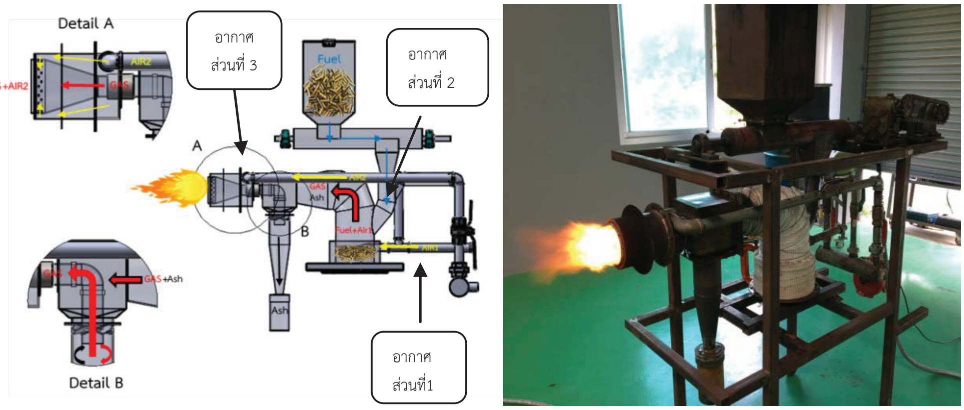
องค์ประกอบ	ปริมาณองค์ประกอบ	หน่วย
Fixed carbon	13.81	Mass % dry basis
Volatile Matter	84.34	Mass % dry basis
Ash	1.89	Mass % dry basis
Carbon : C	45.51	Mass % dry basis[1]
Hydrogen : H	5.64	Mass % dry basis[1]
Oxygen : O	46.81	Mass % dry basis[1]
Nitrogen : N	0.16	Mass % dry basis[1]
Sulfur : S	0.00	Mass % dry basis[1]
Moisture: M	9.95	Mass % as receive [2]
HHV_{ar}	15.90	MJ/kg as receive
LHV_{ar}	14.53	MJ/kg as receive
อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี (AFR_{th})	4.63	kg of dry air/ kg of biomass

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในสภาพแห้ง (Higher Heating Value: HHV_{db})สามารถหาได้จากสมการที่ (1) ของ Chaniwala and Parilk[3]ซึ่งได้จากผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในสภาพแห้งของขี้เลื่อยไม้ยางพาราที่ใช้เป็นวัสดุทำก้อนเห็ดและถูกนำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดและค่าความร้อนทางต่ำในสภาพที่มีความชื้น(Lower Heating Value: LHV_{ar})สามารถหาได้จากสมการที่ 1 [4]

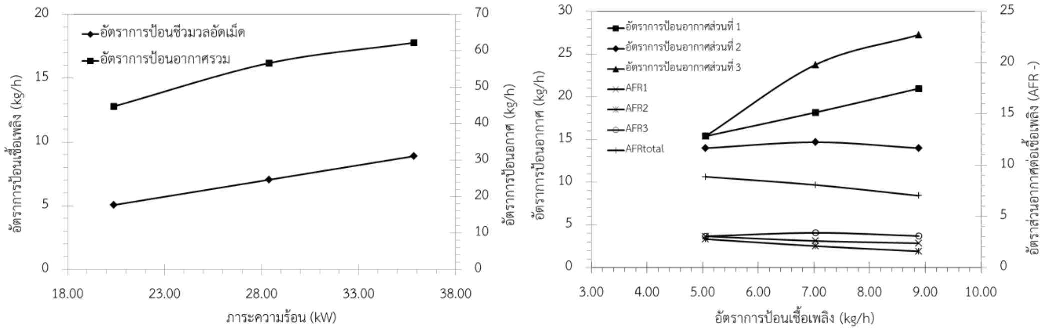
$$HHV_{db}=0.3491C+1.1783H-0.1034O-0.0151N+0.1005S-0.0211Ash \quad (1)$$

$$LHV_{ar}=HHV_{db} \times (1-M/100) \times 2{,}447*(9.01(H/100)(1-M/100)+(M/100)) \quad (2)$$

หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่พัฒนาขึ้นมีหลักการทำงานดังนี้ (1) การเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (2) การดักจับฝุ่น (3) การเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ โดยเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดถูกป้อนผ่านสกรูลำเลียงแบบปรับเปลี่ยนความเร็วรอบได้เข้าสู่ห้องปฏิกิริยาด้วยอัตรา 5-9 kg/h ในขณะที่อากาศส่วนที่ 1 ที่อัตราการไหลในช่วง 15-21 kg/h ถูกป้อนเข้าสู่ห้องปฏิกิริยา (1) เพื่อเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์เมื่อห้องปฏิกิริยามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ0.16148mป้อนอากาศส่วนที่ 2 ที่อัตราการไหลในช่วง 14-15 kg/h เพื่อป้องกันแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ย้อนออกผ่านสกรูลำเลียงเม็ดเชื้อเพลิง และอากาศส่วนนี้ยังมีส่วนช่วยลำเลียงเม็ดเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องปฏิกิริยาได้ดียิ่งขึ้นตลอดจนช่วยเผาทำลายฝุ่นคาร์บอนและน้ำมันดิน อีกทั้งยังช่วยรักษาเสถียรภาพในการติดไฟที่ชุดเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ จากนั้นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จะไหลผ่านชุดดักจับฝุ่นโดยฝุ่นและเถ้าจะถูกแยกออกจากแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์โดยใช้ไซโคลน หลังจากนั้นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จะไหลไปยังชุดหัวเผาแก๊ส ในขณะที่อากาศส่วนที่ 3 ก็ถูกป้อนเข้าสู่ชุดหัวเผาแก๊สที่อัตราการไหลในช่วง 15-27 kg/h การเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จึงเกิดขึ้นได้ดีโดยมีฝุ่นและเขม่าเกิดขึ้นน้อยมากแสดงดังภาพที่ 2 ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายโดยสามารถใช้ทดแทนหัวเผาเชื้อเพลิงเหลวหรือเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวได้



ภาพที่ 2 หัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด



ภาพที่ 3 อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศที่ภาระความร้อน 3 ระดับ (ก) และอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ

การวัดและวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สไอเสียโดยใช้เครื่อง TESTO 350XLFlue Gas Analyzer โดยเครื่องสามารถวัดองค์ประกอบของแก๊สดังนี้ 1. แก๊สออกซิเจน (O_2)ซึ่งมีช่วงการวัดระหว่าง 0-25 % โดยปริมาตร 2. แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2))ซึ่งมีช่วงการวัดระหว่าง 0-50 % โดยปริมาตร3. แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO))ซึ่งมีช่วงการวัดระหว่าง 0-10,000 ppm โดยปริมาตร 4. แก๊สไนตริกออกไซด์ (NO))ซึ่งมีช่วงการวัดระหว่าง 0-3,000 ppm 5. แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2))ซึ่งมีช่วงการวัดระหว่าง 0-500 ppm โดยปริมาตรและ6. แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งมีช่วงการวัดระหว่าง 0-5,000 ppm โดยปริมาตรในขณะที่ความเร็วลมและอัตราการไหลของอากาศวัดด้วยเครื่องมือวัดชนิดหลายพารามิเตอร์TESTO 480 เพื่อให้ได้มาซึ่งอัตราการป้อนอากาศจริงเข้าสู่หัวเผาและใช้ประเมินค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงจริง (AFR_A) ในขณะที่เถ้าจะถูกเก็บจากไซโคลนเพื่อนำไปวิเคราะห์หาสัดส่วนของคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้(x_{cr})โดยสมมุติให้เป็นค่าเดียวกับค่า Loss on Ignition (LOI) ซึ่งหาตามวิธี ASTM D7348-13[5-6] และสามารถนำไปหาค่าสัดส่วนของคาร์บอนที่ถูกเผาไหม้ (x_{cb}) แล้วนำผลที่ได้ไปประเมินประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอน (Carbon Conversion Efficiency: CCE)[7] เมื่อ y คือสัดส่วนโดยปริมาตรของแก๊สองค์ประกอบx คือสัดส่วนโดยมวลของธาตุ

$$y_{N_2} = 1 - y_{CO_2} - y_{O_2} - y_{CO} - y_{NO_x} - y_{SO_2} \tag{3}$$

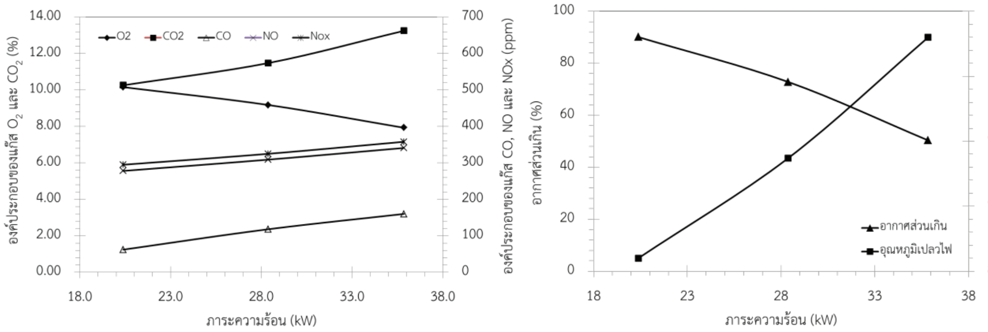
$$x_{cb} = x_{C,ar} - \frac{x_{Cr}x_{ash,ar}}{1 - x_{Cr}} \tag{4}$$

$$AFR_A = \frac{1}{0.767}\left(\frac{28x_{cb}yN_2}{12(y_{co} + y_{co_2})}\right) - x_{N,ar} \tag{5}$$

$$CCE = \frac{x_{cb}}{x_c} \tag{6}$$

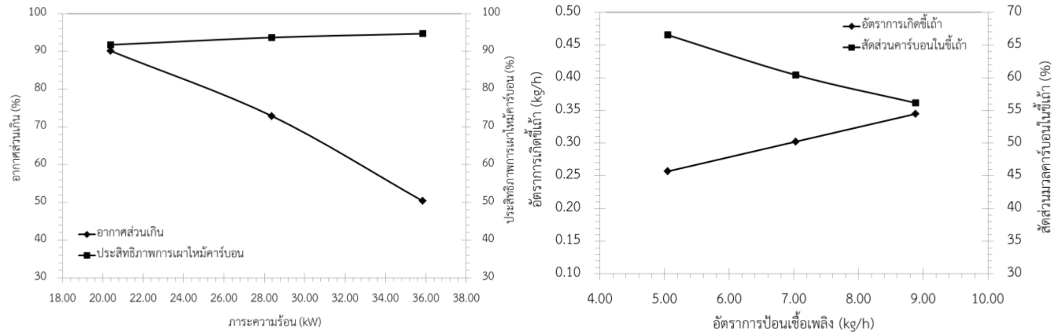
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดด้วยชุดหัวเผาที่พัฒนาขึ้นใหม่ โดยมีการป้อนชีวมวลอัดเม็ดเข้าสู่ห้องปฏิกิริยาที่อัตราการไหล 3 ระดับคือ5, 7 และ 9 kg/h ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณความร้อนของเชื้อเพลิงที่ 20, 28และ 36 kg/h และมีการป้อนอากาศเข้าชุดหัวเผาที่อัตราการไหลที่ 45 57และ 62 kg/h โดยอากาศถูกแยกเป็น 3 ส่วนเพื่อป้อนเข้าชุดหัวเผาในส่วนผลิตแก๊ส ส่วนเผาฝุ่นคาร์บอน และส่วนเผาแก๊สผลจากการทดลองพบว่าการเผาไหม้เกิดขึ้นได้ดีตลอดช่วงการป้อนเชื้อเพลิงโดยเปลวไฟที่ได้มีความเสถียร ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) มีค่าอยู่ในช่วง 10-13 % ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนส่วนเกินในไอเสียมีค่า 8-10 % และเมื่อทำการตรวจสอบแก๊สมลพิษพบว่ามีค่าแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในช่วง 62-160 ppm ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานควบคุมการปล่อยอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งกำหนดไว้ที่ 690 ppm[8]ไนโตรเจนออกไซด์ มีค่าอยู่ในช่วง 295 ถึง 358 ppm และอุณหภูมิเปลวไฟมีค่าอยู่ในช่วง 860 ถึง 1030 °Cซึ่งระดับอุณหภูมิของเปลวไฟมีแนวโน้มสูงขึ้นตามภาระความร้อนที่เพิ่มขึ้นและอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ลดลงมาเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี



ภาพที่ 4องค์ประกอบของแก๊สเผาไหม้ (ก) และอุณหภูมิเปลวไฟที่ภาระความร้อนและอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน (ข)

ประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอน (Carbon Conversion Efficiency) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 92% เป็น 95 % เมื่อภาระความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 20 kW เป็น 36 kW โดยปริมาณการป้อนอากาศส่วนเกินลดลงจาก 90% ลดลงเหลือ 50% ซึ่งปรากฏการดังกล่าวส่งผลให้อุณหภูมิเปลวไฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 860 °C – 1,030 °Cโดยผลการวัดและวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 5 ในขณะที่สัดส่วนขี้เถ้าที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมีค่าอยู่ในช่วง 3.9-5.1%ซึ่งมีค่ามากกว่าเถ้าจากการวิเคราะห์เชื้อเพลิงสภาพที่มีความชื้นซึ่งมีค่าสัดส่วนเถ้าที่ 1.7 % โดยส่วนต่างคือสัดส่วนของคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้



(ก) (ข)

ภาพที่ 5อุณหภูมิเปลวไฟ (ก) ประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอน (ข) ที่ภาระความร้อนและปริมาณอากาศส่วนเกินต่างๆ

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าที่ภาระการทำงานของหัวเผา 3 ระดับ (ภาระการทำงานต่ำ20 kW ปานกลาง28 kW และสูง36 kWที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด 5, 7 และ 9 kg/h ตามลำดับ)โดยเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนทางต่ำ 14.53 MJ/kg เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสามารถทำปฏิกิริยากับอากาศส่วนที่ 1 เพื่อแปลงเป็นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์และทำปฏิกิริยากับอากาศส่วนที่ 2 โดยช่วยเผาทำลายฝุ่นคาร์บอนและน้ำมันดิน อีกทั้งยังช่วยรักษาเสถียรภาพในการติดไฟที่ชุดเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ โดยเถ้าที่ไหลมากับแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ถูกแยกออกด้วยไซโคลน ก่อนที่แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์สะอาดทำปฏิกิริยากับอากาศส่วนที่ 3 ที่หัวเผาทำให้เกิดเปลวไฟที่มีอุณหภูมิสูงและมีเสถียรภาพ มีมลพิษต่ำ โดยมีอัตราการแปลงเชื้อเพลิงแข็งเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส (Specific Gasification Rate -SGR) ที่ห้องปฏิกิริยาที่ค่าอยู่ในช่วง247 - 434kg/h/m^2โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น มีอุณหภูมิการเผาไหม้สูงสุดที่ 1,030 $^{\circ}C$ และมีประสิทธิภาพการเผาไหม้คาร์บอนที่ 95% ที่ภาระความร้อนสูงสุดเมื่อปริมาณการป้อนอากาศส่วนเกินที่ 50% โดยทุกช่วงภาระการทำงานของหัวเผาเกิดมลพิษต่ำโดยคาร์บอนมอนนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 62-160 ppm โดยมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการป้อนอากาศส่วนเกินที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่แก๊สไนโตรเจนออกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง295-358 ppm โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณอากาศส่วนเกินที่ลดลงและอุณหภูมิการเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่มีอัตราการเกิดขี้เถ้าในช่วง 3.9-5.1% เมื่อเทียบกับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและมีค่าคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ในขี้เถ้าในช่วง 56-67% โดยมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณอากาศส่วนเกินที่ลดลง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่สนับสนุนการทำวิจัย นิสิตจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มศว

เอกสารอ้างอิง

[1] Kaewluan, S and Pipatmanomai, S. Preliminary Study of Rubber Wood Chips Gasification in a Bubbling Fluidised-Bed Reactor: Effect of Air to Fuel Ratio, PSU-UNS International Conference onEngineering and Environment - ICEE-2007, May10-11, 2007, Phuket, Thailand.

[2] ASTM E1358-97, Standard Test Method forDetermination of Moisture Content of Particulate Wood Fuels Using a Microwave Oven.ASTM International, 2006, West Conshohocken.

[3] Channiwala SA, Parikh PP. A unified correlation for estimating higher heating value of solid, liquid and gaseous fuels. Fuel 2002: 81: 1051-63.

[4] Calorific valueจาก https://www.ecn.nl/phyllis2/Home/Help

[5] ASTM D7348-13, Standard Test Methods for Loss on Ignition (LOI) of Solid Combustion Residues. ASTM International, 2011, West Conshohocken.

[6] Mohebbi, M. Rajabipour, F. Scheetz. B.E. (2015). Reliability of Loss on Ignition (LOI) Test for Determining the Unburned Carbon Content in Fly Ash. World of Coal Ash Conference (WOCA) Conference, Nashville, TN.

[7] สมชาติ ฉันทศิริวรรณ(2558). วิศวกรรมโรงไฟฟ้า, E-book,www.somchart.me.engr.tu.ac.th

[8] มาตรฐานควบคุมการปล่อยอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมกรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมแหล่งที่มาhttp://www.pcd.go.th ประกาศ ณ วันที่ 18/05/2549.

การผลิตถ่านอัดแท่งจากผักตบชวาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งชุมชน

Charcoal briquette from water hyacinth to meet community standard

ธัญวรัตม์ ประเดชบุญ[1] ณัฐจิรา อินมนต์[1] สุจิตรา รุ่งชื่น[1] และศิรินุช จินดารักษ์[2]*

[1] สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 65000

[2] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 65000

บทคัดย่อ

การผลิตถ่านในปัจจุบันโดยส่วนใหญ่ผลิตโดยการนำเศษไม้ กิ่งไม้ และการตัดต้นไม้มาเป็นวัตถุดิบ ซึ่งเป็นการตัดไม้ทำลายป่า และไม่มีการปลูกทดแทนด้วยจำนวนที่เพียงพอ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพและ ปัญหาความแห้งแล้ง เนื่องจากปัญหาผักตบชวาเป็นวัชพืชน้ำที่มีการเจริญเติบโตอย่างแน่นหนาตามแหล่งน้ำต่างๆ โดยมีการแพร่ขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว ทำให้เกิดปัญหาแก่แหล่งน้ำในท้องที่ อีกทั้งยังเป็นอุปสรรคทางการชลประทาน จากข้อมูลดังกล่าวจึงทำให้ผู้ศึกษาต้องการลดการตัดไม้ทำลายป่าและลดปริมาณของผักตบชวาที่เกิดขึ้นตามแหล่งน้ำในชุมชน จึงได้ศึกษากระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านผักตบชวาร่วมกับวัตถุดิบตัวที่ 2 ได้แก่ ถ่านไมยราบยักษ์ ถ่านไม้ และถ่านยูคาลิปตัสโดยและโมลาสเป็นตัวประสานในอัตราส่วน 7:0:3 6:1:3 5:2:3 และ 4:3:3 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบคุณภาพของถ่านอัดแท่งกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งชุมชน มผช. 238/2547 ซึ่งในการเผาถ่านจะใช้เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร (แบบตั้ง) และในการอัดแท่งถ่านจะใช้เครื่องอัดแท่งแบบเกลียว (อัดเย็น) จากการศึกษา พบว่า ถ่านอัดแท่งมีปริมาณความชื้นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกอัตราส่วน ปริมาณเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมของผักตบชวา ในขณะที่ค่าความร้อนจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของผักตบชวาเพิ่มมากขึ้น พบว่าถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากผงถ่านผักตบชวาร่วมกับผงถ่านไม้ยูคาลิปตัสและตัวประสานในอัตราส่วน 4:3:3 มีค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้นี้ มีค่าความชื้นร้อยละ 5.36 ปริมาณเถ้าร้อยละ 31.28 และ ค่าความร้อน 5,155.67 cal/g เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพ พบว่า มีสีดำสม่ำเสมอ ไม่มีกลิ่น ไม่มีควัน ไม่เปราะ ไม่มีสะเก็ดไฟเมื่อติดไฟ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งชุมชน มผช. 238/2547

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่ง ถ่านผักตบชวา ถ่านไม้ยูคาลิปตัส โมลาส

*Corresponding author: Tel.: 081-6806328, 055-963104. E-mail address: sirinuch_goi@yahoo.com

บทนำ

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำผักตบชวามาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง และทำการเพิ่มค่าความร้อน โดยการผสมร่วมกับ ถ่านชีวมวลชนิดอื่น โดยถ่านอัดแท่ง (Briquette Charcoal) เป็นการนำวัสดุทางการเกษตรตัวอย่างเช่น กะลามะพร้าว ไม้ยูคาลิปตัส ไม้ยางพารา ข้อไม้ไผ่ กะลาปาล์ม ซังข้าวโพด เศษไม้หรือผลไม้ต่าง ๆ เป็นต้น มาเผาให้เป็นถ่าน แล้วนำมาอัดให้เป็นก้อนหรือแท่งตามชนิดของเครื่องมือ ข้อดีของ ถ่านอัดแท่งคือ ใช้สะดวก ไม่มีควัน และเผาไหม้ได้นาน ถ่านอัดแท่ง จัดเป็นสินค้า OTOP และมีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) [1]

จากปัญหาการราคาของน้ำมันและพลังงานในปัจจุบันเพิ่มสูงขึ้น การหาพลังงานทดแทน จึงเป็นเรื่องที่สำคัญมากในขณะนี้ โดยพลังงานความร้อนที่ใช้ในชีวิตปัจจุบัน เช่น หุงต้ม ปิ้ง ย่าง หรือในธุรกิจอาหารต่างๆ ก็ยังใช้ถ่านอยู่เป็นจำนวนมาก การนำวัสดุที่เหลือใช้ หรือจากชีวมวลอื่นๆมาผ่านกระบวนการเพื่อให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์จึงเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาได้อีกทางหนึ่ง และอาจรวมไปถึงการลดปัญหาทางสังคมและสิ่งแวดล้อมได้ เนื่องจากผักตบชวาเป็นวัชพืชน้ำที่สามารถแพร่กระจายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วจึงก่อให้เกิดปัญหาทั้งในด้านของ สิ่งแวดล้อม เศรษ ฐกิจ สังคม รวมทั้งส่งผลกระทบในหลายๆภาคส่วนทั้งการชลประทาน การประมงและการคมนาคมทางน้ำ โดยเฉพาะประชาชน ที่ต้องอาศัยแหล่งน้ำโดยตรง [2] จึงมีการ จัดเก็บและกำจัดตามแหล่งน้ำต่างๆ ดังนั้นจึงได้ นำผักชวามาทำให้เกิดประ โยชน์ทางด้านพลัง งานโดยการนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง และเพิ่มคุณภาพของถ่านอัดแท่งด้วยการผสมกับ ถ่านไมยราบยักษ์ ถ่านไม้ และถ่านไม้ยูคาลิปตัส โดยสามารถ หาวัตถุดิบได้จากในชุมชน ทำให้สามารถ ลดค่าใช้จ่ายของต้นทุนการผลิต รวมไปถึงการเพิ่มมูลค่าและประโยชน์ให้กับวัสดุเหลือใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

บัญจรัตน์ โจลานันท์และคณะ (2554) ได้ท่าการศึกษามุ่งพัฒนาเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งและ รูปแบบการจัดการไมยราบยักษ์ด้านพลังงานทดแทนของชุมชนพบว่ากระบวนการคาร์บอนไนเซชันให้ปริมาณถ่านไมยราบยักษ์ประมาณร้อยละ 20 โดยมวล และการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงแข็งอัด แท่งส่งผลให้ค่าพลังงานความร้อนเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 15-36 ค่ากำมะถัน เถ้าความชื้น สารระเหย และคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไมยราบยักษ์ที่ทดสอบอยู่ในช่วงร้อยละ 0.170.20±0.01 6.8-20.1±0.61-1.01 7.0-8.6±0.52-0.84 27.3-32.8±0.71-1.21 และ44.553.5±0.82-1.27 ตามลำดับ เชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไมยราบยักษ์ผสมแป้งมั นที่ร้อยละ 6 เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมของการศึกษานี้โดยให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุด คือ 5,432±101.5 cal/g และ ประสิทธิผล การใช้งานเป็นไปตามมาตรฐานที่กำ หนด (มผช .238/2547) การศึกษาพบว่า อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนและระยะเวลาคืนทุนของการผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไม ยราบ ยักษ์เท่ากับ 5.5 และ1.2 ปี นอกจากกระบวนการจัดการไมยราบยักษ์ด้านพลังงานทดแทนที่ได้ น่าเสนอ ชุมชนยังให้ความตระหนักต่อมาตรการควบคุมมลพิษและมาตรการคืนกำไรสู่ชุมชนใน รูปแบบกองทุน [3]

วิธีการวิจัย

1.เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

1. ผักตบชวา เก็บผักตบชวาบริเวณคลองหนองเหล็กรอบมหาวิทยาลัยนเรศวร นำมาตากให้แห้งใช้ระยะเวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์ ให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 38 มาตรฐานเปียก

2. ถ่านชีวมวล ได้แก่ ลำต้นไมยราบยักษ์ ถ่านไม้ ไม้ยูคาลิปตัส

3. โมลาส หรือกากน้ำตาล ซื้อจากร้านขายวัตถุดิบทางการเกษตร โดยผสมกับน้ำใช้อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก

1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

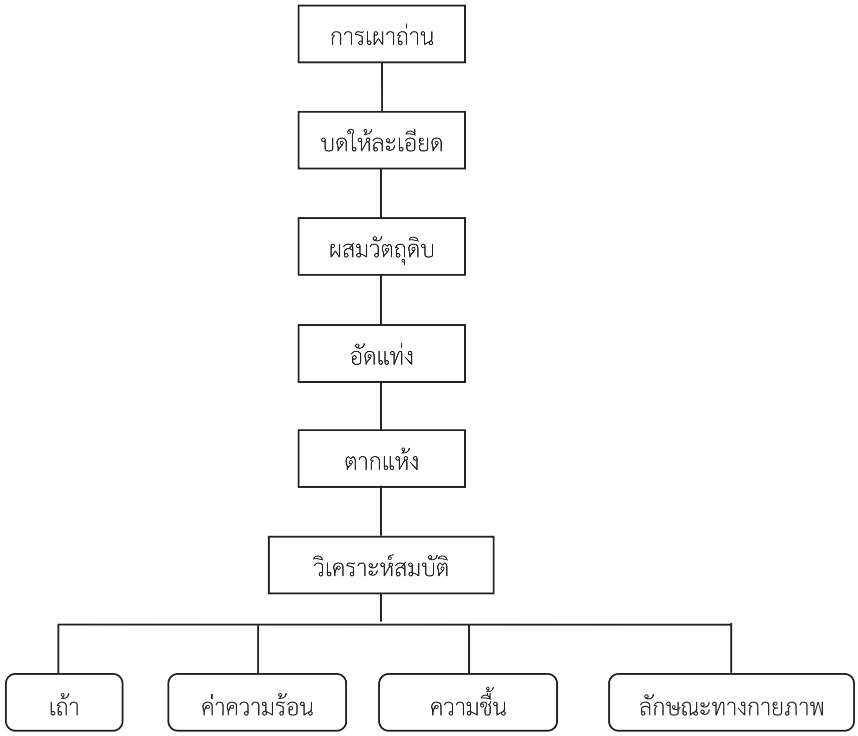
1. เตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร (แบบตั้ง) ขนาดประมาณ 75 × 89 cm^2

2. เครื่องอัดแท่งถ่าน (แบบอัดเย็น) เป็นแบบเกลียวไม่มีขดลวดความร้อน (แบบอัดเย็น) ทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า ถ่านอัดแท่งที่ได้จะมีลักษณะเป็นทรงหกเหลี่ยมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm รูกลวงตรงกลางมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm

3. เตาเผาอุณหภูมิสูง เป็นเตาเผาแบบปิด สามารถควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาในการเผาได้ ภายในเตามีขดลวดทนความร้อนได้สูงถึง 1,200 °c ใช้เผาตัวอย่างผงถ่านอัดแท่งที่ ได้เพื่อหาปริมาณเถ้า

4. เครื่อง Bomb Calorimeter เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

2.วิธีการทดลอง



ภาพที่ 1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วยผักตบชวา ไม้ไมยราบยักษ์ ถ่านไม้ และไม้ยูคาลิปตัส

2.2 การเผาถ่าน โดยนำผักตบชวา ลำต้นไมยราบยักษ์ ยูคาลิปตัส ที่ตากแห้งไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำใส่เตาเผาขนาด 200 ลิตร ตามลำดับ โดยใช้วิธีการเผาแบบอัดอากาศ เผา 7-8 ชั่วโมง จนเป็นถ่าน แล้วนำถ่านมาบดให้ละเอียด

2.3 การเตรียมส่วนผสมก่อนอัดแท่งถ่าน โดยวัตถุดิบที่ 1 คือถ่านผักตบชวา วัตถุดิบที่ 2 คือถ่านชีวมวล ได้แก่ถ่านลำต้นไมยราบยักษ์ ถ่านไม้ และถ่านไม้ยูคาลิปตัส อัตราส่วนในการผสมระหว่าง ถ่านผักตบชวา:ถ่านชีวมวล:โมลาส เป็น 7:0:3 6:1:3 5:2:3 4:3:3 โดยน้ำหนัก

2.4 การอัดแท่ง โดยนำวัตถุดิบที่ผสมด้วยอัตราส่วนต่างๆ มาอัดแท่งโดยใช้เครื่องอัดแท่งถ่านแบบเกลียว (อัดเย็น) นั้นนำถ่านที่ได้ไปตากแดดให้แห้ง

2.5 การวิเคราะห์ผล ในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์คุณภาพถ่านตามมาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน มผช.38/2547 โดยมีค่าความชื้นน้อยกว่า ร้อยละ 8 มาตรฐานเปียก ค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 cal/g และทดสอบลักษณะทางกายภาพ เปรียบเทียบกับถ่านไม้ทั่วไป ดังนี้ 1. มีสีดำสม่ำเสมอ 2. ไม่เปราะ อาจแตกหักได้บ้าง 3.ขนาดใกล้เคียงกัน 4.การใช้งาน เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น ไม่มีกลิ่น และไม่มีควัน โดยการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง [4] ด้วยวิธี โดยทำการศึกษาหาค่าปริมาณ ความชื้นมาตรฐานASTM D 3173 ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนมาตรฐาน ASTM D 5865

สมการการหาค่าปริมาณความชื้น

$$M_w = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_w คือ ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb)

w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของถ่านก่อนอบ (g)

d คือ น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหลังอบ (g)

สมการหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า}(\%) = \frac{A}{B} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักสุดท้ายของตัวอย่างหลังเผา (g)

B คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (g)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาได้แสดงถึงผลการวิเคราะห์ถ่านอัดแท่ง ผสมกับถ่านชีวภาพ ได้แก่ ถ่านไมยราบยักษ์ ถ่านไม้ และถ่านไม้ยูคาลิปตัส โดยมีโมลาสเป็นตัวประสาน แสดงผลการทดลองแสดงดังนี้

การวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้เทียบกับมาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์ถ่านอัดแท่งของถ่านผักตบชวา และถ่านไมยราบยักษ์ โดยมีโมลาสเป็นตัวประสาน

สมบัติถ่านอัดแท่ง	ถ่านผักตบชวา : ถ่านไมยราบยักษ์ : ตัวประสาน			
	7:0:3	6:1:3	5:2:3	4:3:3
ความชื้น (%wb)	3.39	2.90	3.21	2.96
เถ้า (%)	37.91	32.46	32.22	20.36
ค่าความร้อน (cal/g)	3,338.54	3,659.06	3,825.40	4,506.78

จากผลการวิเคราะห์ถ่านอัดแท่งจาก ถ่านผักตบชวา ผสมกับถ่านไมราบยักษ์ และใช้โมลาสเป็นตัวประสาน ในอัตราส่วน 7:0:3, 6:1:3, 5:2:3, 4:3:3 ตามตารางที่ 1 แสดงให้เห็น ถึงค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณส่วนผสมของถ่านไมยราบยักษ์เพิ่มขึ้น และความชื้นมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันทั้ง 4 อัตราส่วน ในส่วนของปริมาณเถ้านั้นมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณถ่านไม้ไมยราบยักษ์เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนที่มี ค่าความร้อนสูง ที่สุดคืออัตราส่วนของถ่านผักตบชวาผสมกับถ่านไมยราบและโมลาส ที่อัตราส่วน 4:3:3 ที่มีความชื้นเฉลี่ย ร้อยละ 2.96 มาตรฐานเปียก ปริมาณเถ้าร้อยละ 20.36 ความร้อนสูงสุดเฉลี่ย 4,506.78 cal/g จะเห็นว่าความชื้นของถ่านอัดแท่งนี้มีค่าความชื้นผ่าน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง โดยมีค่าความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 8 และค่าความร้อนน้อยกว่า 5,000 cal/g ทำให้ถ่านอัดแท่งโดยใช้ถ่านผักตบชวาผสมกับถ่านไมยราบยักษ์นี้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์ถ่านอัดแท่งของถ่านผักตบชวา และถ่านไม้ โดยมีโมลาสเป็นตัวประสาน

สมบัติถ่านอัดแท่ง	ถ่านผักตบชวา : ถ่านไม้: ตัวประสาน			
	7:0:3	6:1:3	5:2:3	4:3:3
ความชื้น (%wb)	2.99	3.27	2.82	3.11
เถ้า (%)	35.85	41.05	34.44	21.64
ค่าความร้อน (cal/g)	3,348.33	3,417.48	3,734.71	4,843.14

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ถ่านอัดแท่งจากถ่านผักตบชวา ผสมกับถ่าน ไม้ และโมลาส เป็นตัวประสานใน 4 อัตราส่วน 7:0:3, 6:1:3, 5:2:3, 4:3:3 แสดงให้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของถ่านไม้ที่เพิ่มขึ้นและถ่านผักตบชวาที่ลดลงทำให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งสูงขึ้นและปริมาณเถ้าลดลง สำหรับค่า ค่าความชื้นมีอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกันทั้ง 4 อัตราส่วน เช่นเดียวกันกับถ่านผักตบชวาผสมกับถ่านไมยราบยักษ์ โดยที่อัตราส่วน 4:3:3 มีค่าความชื้นร้อยละ 3.11 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 8 มาตรฐานเปียก ผ่านเกณฑ์มาตรฐานชุมชน ถ่านอัดแท่ง แต่มีค่าความร้อน 4,834.14 cal/g แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งเป็นค่าความร้อนมากที่สุดใน 4 อัตราส่วนแต่มีค่าความร้อนน้อยกว่า 5,000 cal/g ดังนั้นจึงไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานชุมชนถ่านอัดแท่ง เมื่อพิจารณาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งที่ได้จากส่วนผสมของถ่านไม้กับถ่านไมยราบยักษ์ พบว่า ถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมของถ่านไม้จะมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.5 เมื่อเทียบกับถ่านอัดแท่งที่มีส่วนผสมของถ่านไม้ไมยราบยักษ์ที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์ถ่านอัดแท่งของถ่านผักตบชวา และถ่านไม้ยูคาลิปตัส โดยมีโมลาสเป็นตัวประสาน

สมบัติถ่านอัดแท่ง	ถ่านผักตบชวา : ถ่านไม้ยูคาลิปตัส : ตัวประสาน			
	7:0:3	6:1:3	5:2:3	4:3:3
ความชื้น (%wb)	2.42	2.26	3.08	5.36
เถ้า (%)	33.82	49.07	36.45	31.38
ค่าความร้อน (cal/g)	3,294.56	3,692.79	4,417.77	5,155.67

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 3 ของถ่านผักตบชวาผสมกับถ่านไม้ยูคาลิปตัส และโมลาสเป็นตัวประสาน พบว่า ใน 4 อัตราส่วน 7:0:3, 6:1:3, 5:2:3, 4:3:3 พบว่า ที่อัตราส่วน 4:3:3 มีค่าความร้อนมากที่สุด โดยเฉลี่ยเท่ากับ 5,155.67 cal/g และมีค่าความชื้น ร้อยละ 5.36 และปริมาณเถ้ามีค่าน้อยที่สุดคือร้อยละ 31.38 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานชุมชนถ่านอัดแท่ง ที่ค่าความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 8 มาตรฐานเปียก และค่าความร้อนมากกว่า 5,000 cal/g นั่นคือ ถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้จากถ่านผักตบชวาผสมกับถ่านไม้ยูคาลิปตัสนี้ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยแนวโน้มของความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนคล้ายกันทั้ง 3 ชนิดของถ่านชีวมวลที่นำมาผสม

ลักษณะทางกายภาพ

ถ่านอัดแท่งจากผักตบชวาผสมกับวัตถุดิบตัวที่ 2 คือ ถ่านไมยราบยักษ์ ถ่านไม้ และถ่านยูคาลิปตัส โดยใช้โมลาสเป็นตัวประสานนั้น พบว่า มีลักษณะทางกายภาพที่ ได้จาก การทดลอง คือ มีสีดำ สม่ำเสมอ มีกลิ่นในขณะใช้งานเพียงเล็กน้อย ไม่มีควันระหว่างใช้งาน ไม่ เปราะแต่อาจแตกหัก ได้บ้าง เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งชุมชน (มผช. 238/2547) และเมื่อเทียบกับถ่านไม้ทั่วไป หรือตามท้องตลาด จะเห็นว่าลักษณะทาง

กายภาพ ใกล้เคียงกัน แต่จะแตกต่างกันที่ความเปราะของถ่านและสะเก็ดไฟเมื่อจุดติดไฟ ถ่านอัดแท่งจาก ผั กตบชวาผสมกับวัตถุดิบตัวที่ 2 จะไม่เปราะและไม่มีสะเก็ดไฟเมื่อจุดติดไฟ ถ่านไม้ทั่วไปจะมี ความเปราะและมีสะเก็ดไฟเมื่อจุดติดไฟ

จากผลการวิเคราะห์ถ่านอัดแท่งจาก ถ่านผักตบชวาผสมกับถ่านไม้ทั้ง 3 ชนิดโดยมีโมลาสเป็นตัวประสาน อัตราส่วนที่มีคุณสมบัติเป็นถ่านอัดแท่งที่ดีที่สุดคือ 4:3:3 ของถ่านผักตบชวาผสมกับถ่านไม้ยูคาลิปตัส โดยมีค่าความร้อนที่ 5,155.67 cal/g ผ่านเกณฑ์มาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน ในขณะที่ค่าความชื้นของทุกวัตถุดิบหลักนั้น ผ่านเกณฑ์มาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชนทั้งหมด และปริมาณเถ้านั้นมีแนวโน้มใกล้เคียงกันในทุกๆเงื่อนไข

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านพลังงานและค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากผักตบชวาผสมกับ ถ่าน 3 ชนิด ได้แก่ ถ่านไมยราบยักษ์ ถ่านไม้ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส และโมลาส ใน 4 อัตราส่วน 7:0:3, 6:1:3, 5:2:3, 4:3:3 ทุกเงื่อนไขแสดงให้ เห็นว่าถ่านอัดแท่งจากผักตบชวามีค่าความร้อนสูงขึ้นแปรผันตามอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ 2 ที่ถูกเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วน 4:3:3 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด จากการเพิ่มส่วนผสมที่ 2 โดยจะส่งผลให้มีค่าความร้อนที่สูงขึ้นและปริมาณเถ้าลดลง ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณภาพของถ่าน อัดแท่ง ทุกเงื่อนไขมีค่าความชื้นน้อยกว่า ร้อยละ 8 มาตรฐานเปียก ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 49.07 – 20.36 โดยถ่านอัดแท่งจากถ่านผักตบชวาผสมกับถ่านไม้ยูคาลิปตัสมี่ค่าความร้อนสูงสุด 5,155.67 cal/g ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน และมีลักษณะทางกายภาพคือ 1. มีสีดำสม่ำเสมอ 2. ไม่มีกลิ่น 3. ไม่มีควัน 4. ไม่เปราะ อาจแตกหักได้บ้าง 5. เมื่อติดไฟต้องไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น เหมือนกันทุกเงื่อนไข

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ และคุณเล็ก จันทร์ทองคำ หัวหน้าศูนย์การเรียนรู้สมาชิกสหกรณ์ฯกลุ่มคนเอาถ่านบ้านเขาปรังที่ให้คำปรึกษาเรื่องการเผาถ่าน ถ่านอัดแท่ง และอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] อรุณ คงแก้ว. (2558). การให้บริการทดสอบคุณภาพถ่านกัมมันต์และผลิตภัณฑ์จากถ่านมาตรฐาน. **กรมวิทยาศาสตร์บริการ.** 63 (2),34-35.

[2] บุญชัย งามวิทย์โรจน์ สมทรง เจริญภัณฑูรย์ ธีรเดช คุรุวุฒิ และพงพัฒน์ เสมอคำ. (ม.ป.ป). **การบริหารจัดการผักตบชวาในระบบลุ่มน้ำ**. สืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2560, จาก http://www.dwr.go.th.

[3] บัจรัตน์ โจลานันท์ อาทิตย์ พุทธรักชาติ และจันสุดา คำอุ้ย. (2554). พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งไมยราบยักษ์. **วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.** 16(1). 20-31.

[4] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (ม.ป.ป.). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง**. สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2560, จาก https://www.tisi.go.th.

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางพาราสำหรับเป็นตัวประสานของถ่านอัดแท่ง

The optimal latex ratio study as binders for charcoal briquette

หฤทัย บงแก้ว ศุภาพิชญ์ ทองดี และศิรินุช จินดารักษ์*
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 65000

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการผลิตและส่งออกยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลกและในปัจจุบันได้มีการสนับสนุนให้ใช้น้ำยางพาราผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายมากขึ้น โดยคุณสมบัติของน้ำยางพารา คือ เป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำนมและมีความหนืด เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวประสาน จึงนำน้ำยางพารามาใช้เป็นตัวประสานสำหรับถ่านอัดแท่งเพื่อใช้ในครัวเรือนและการส่งออก ซึ่งในการศึกษานี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางพาราสำหรับเป็นตัวประสานของถ่านอัดแท่ง โดยน้ำยางพาราที่ศึกษาในงานวิจัยนี้มีความเข้มข้นร้อยละ 15 30 45 และ 60 ทำการศึกษาอัตราส่วนผสมของน้ำยางพาราและผงถ่าน คือ 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5 เมื่อพิจารณาการขึ้นรูป พบว่า ที่อัตราส่วน 7:3 และความเข้มข้นของน้ำยางพาราร้อยละ 30 และ 15 สามารถขึ้นรูปได้ดี หลังจากนั้นวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านอัดแท่ง คือ ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าความร้อน เปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งชุมชน มผช. 238/2547 พบว่า ถ่านอัดแท่งอัตราส่วน 7:3 ความเข้มข้นของน้ำยางพาราร้อยละ 15 และ 30 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 1.94 และ 2.91 โดยมีค่าความร้อน 6,971.95 cal/kg และ 6,872.29 cal/kg ตามลำดับ ซึ่งค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งมากกว่า 5,000 cal/kg ที่เป็นมาตรฐาน มผช. และมีค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 มาตรฐานเปียก

คำสำคัญ: น้ำยางพารา ตัวประสาน ถ่านอัดแท่ง

บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศและมีบทบาทสำคัญต่อชีวิต และความเป็นอยู่ของเกษตรกรชาวสวนยาง เพราะยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ให้ประเทศสูงสุด และนับเป็นพืชที่สร้างอาชีพให้กับภาคเกษตรกรและภาคเอกชนได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยยังคงเป็นประเทศที่มีการผลิตยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลก รองลงมา คือ อินโดนีเซีย และมาเลเซีย นอกจากนั้นประเทศไทยยังมีการส่งออกยางมากที่สุดในโลก สำหรับสินค้ายางที่ส่งออก ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น เป็นต้น และยังมีการส่งออก ไม้ยางแปรรูป และเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางอีกด้วย จะเห็นได้ว่าแนวโน้มการใช้ยางเป็นไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้นตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของประชากร [1]

น้ำยางข้น คือ น้ำยางที่มีเนื้อยางแห้ง ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 เป็นสินค้าหลักอีกตัวหนึ่งขององค์การสวนยาง น้ำยางข้นประมาณร้อยละ 40 ถูกใช้ในอุตสาหกรรมยางยืด รองลงมาคือ อุตสาหกรรมถุงมือยาง ซึ่งน้ำยางข้นจัดอยู่ในตัวประสานชนิดแผ่นฟิล์ม เนื่องจากตัวประสานชนิดนี้จะอยู่ในรูปแบบของสารละลายในน้ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความแข็งแกร่งขึ้นมีการขับน้ำออกให้แห้งแล้วหลังจากการอัดแท่ง [2]

การผลิตถ่านอัดแท่งจะแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลักๆ คือ การอัดร้อนที่ใช้ความร้อนและแรงดันเพื่อให้เกิดการยึดเกาะและการอัดเย็นที่ใช้ตัวประสานทำให้เกิดการยึดเกาะ [3] ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งด้วยวิธีอัดเย็นโดยสมบัติของตัวประสานที่ดี ต้องมีความชื้น มีแรงยึดเหนี่ยวอนุภาคสูง และสามารถปกคลุมพื้นที่ผิวของถ่านได้ทั่วถึง ตัวประสานที่ดีควรมีราคาถูก มีแรงยึดเกาะที่ดี ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นขณะเผาไหม้

จากสมบัติของตัวประสานดังกล่าว พบว่า น้ำยางพารา มีสมบัติเบื้องต้นที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวประสานได้ ในงานวิจัยนี้จึงได้เกิดแนวความคิดในการผลิตถ่านอัดแท่งโดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ของน้ำยางพาราเพิ่มมากขึ้น และสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตถ่านอัดแท่งได้

จิตติพงษ์ ทัศนวงศ์ และวิบูลย์ อันพิมมา [4] ได้ศึกษาถ่านชีวภาพจากฟางข้าวโดยมีขั้นตอนการผลิตที่สำคัญอยู่ 2 วิธี คือ การผลิตถ่านจากฟางข้าว และการอัดแท่งถ่านจากฟางข้าวโดยใช้ตัวประสาน ซึ่งการผลิตถ่านจากฟางข้าวนั้นใช้ถัง 200 L เป็นเตาเผาและสังเกตจากสีควันและการลุกไหม้ ควันเปลี่ยนเป็นสีฟ้าเป็นการสิ้นสุดกระบวนการผลิตถ่าน สัดส่วนผลการผลิตถ่านเฉลี่ยร้อยละ 20.08 การอัดแท่งถ่านใช้เครื่องอัดแท่งแบบเกลียว โดยใช้มันสำปะหลังดิบบดละเอียดต่อน้ำ เท่ากับ 6:1:1 (โดยปริมาตร) ถ่านอัดฟางข้าวที่ได้คุณภาพใกล้เคียงกับถ่านไม้ยูคาลิปตัส สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มได้

กลยุทธ์ ดิษเจริญ และเนตรรัตน์ เนตรประเสริฐ [5] ได้ศึกษาวิจัยพบว่าเมื่อนำกากอ้อยมาทำการอัดแท่งแบบอัดเย็น โดยใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานอัตราส่วนผสมกากอ้อยต่อกากน้ำตาลเป็น 87.5:12.5 โดยปริมาตร จะให้ค่าความร้อนสูงที่สุด 3916.65 kcal/kg ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับฟืนไม้ยูคลิปตัสแต่ต่ำกว่าถ่านไม้ยูคาลิปตัส จากผลการศึกษาสรุปได้ว่ากากอ้อยมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง และผลงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนไม้ฟืนได้

วิธีการวิจัย

ในการศึกษางานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการปรับค่าความเข้มข้นของน้ำยางพาราให้มีความเข้มข้นร้อยละ 45 30 และ 15 โดยน้ำยางพาราที่นำมาใช้ในงานวิจัยมีความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. ขั้นตอนในการผลิตถ่านอัดแท่ง

1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านอัดแท่ง ใช้ถ่านไม้ที่ขายตามท้องตลาดทั่วไป นำมาบดให้เป็นผง น้ำยางพาราทีใช้จะเป็นชนิดน้ำยางข้น ซึ่งผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง เพื่อให้ได้น้ำยางข้นที่มีเนื้อยางประมาณร้อยละ 60 เนื่องจากว่าที่ความเข้มข้นนี้สามารถเก็บรักษาน้ำยางพาราได้ระยะเวลานาน

1.2 การเตรียมและการปรับความเข้มข้นของน้ำยางพารา

1) อัตราส่วนผสมของผงถ่านต่อน้ำยางพาราที่ทำการศึกษา คือ 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5 โดยทำการปรับความเข้มข้นของน้ำยางพาราเป็นร้อยละ 60 45 30 และ 15 ในแต่ละอัตราส่วน

<u>สูตรคำนวณหาความเข้มข้นของน้ำยาง</u>

$$M_1V_1 = M_2V_2 \quad (1)$$

เมื่อ M_1 = ความเข้มข้นของน้ำยางพาราที่ต้องการ (ml)

M_2 = ความเข้มข้นของน้ำยางพาราร้อยละ 60 (ml)

V_1 = ปริมาณน้ำยางพาราในความเข้มข้นที่ต้องการ (ml)

V_2 = ปริมาณน้ำยางพาราที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 (ml)

2) เตรียมน้ำยางพาราในบีกเกอร์ที่ใส่แท่งเหล็กกวนสารไว้ ครอบปากบีกเกอร์ด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ที่ตัดพร้อมเจาะรู เพื่อให้แอมโมเนียระเหยออกจากน้ำยาง และทำการไล่แอมโมเนีย ด้วยเครื่อง Magnetic Stirrer หลังจากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง จึงนำมาใช้งาน

1.3 การเตรียมผงถ่าน บดถ่านไม้เบญจพรรณให้ละเอียดโดยใช้ครกหิน ใช้ตะแกรงร่อนเพื่อให้ผงถ่านมีความละเอียดมากขึ้น ชั่งผงถ่านตามอัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5

1.4 การอัดแท่งถ่าน ทำการอัดแท่งด้วยวิธีการอัดเย็นโดยใช้เครื่องอัดแท่งแบบเกลียว ถ่านอัดแท่งที่ได้จะมีลักษณะเป็นแท่งรูปทรงหกเหลี่ยมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm รูกลวงตรงกลางมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ถ่านอัดแท่งที่ได้มีเนื้อเนียนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นจึงนำมาตัดให้มีความยาวของแท่งถ่านประมาณ 10 cm

1.5 การตากแห้ง เมื่อได้ถ่านอัดแท่งแล้วนำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปตากกลางแจ้ง จนกระทั่งได้ความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 8 มาตรฐานเปียก โดยตากแดดประมาณ 3-4 วัน

2. การวิเคราะห์สมบัติถ่านอัดแท่ง

ในการวิเคราะห์สมบัติถ่านอัดแท่งจะทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งชุมชน มผช. 238/2547 ซึ่งทำการวิเคราะห์ ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าความร้อน ดังนี้

1) การหาปริมาณความชื้น เตรียมตัวอย่างทดลอง โดยการบดให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างทดลอง 2 g อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำตัวอย่างทดลองออกจากตู้อบและทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น หลังจากนั้นนำมาชั่งคำนวณหาค่าความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM D3173

<u>สูตรคำนวณหาปริมาณความชื้น</u>

$$M_w = \frac{w - d}{w} \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อ M_w = ร้อยละของความชื้นมาตรฐานเปียก *(%wb)*

W = น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่างก่อนอบ (g)

d = น้ำหนักของตัวอย่างหลังอบ (g)

2) การหาปริมาณเถ้า เผาถ้วยทนไฟที่อุณหภูมิสูง 750 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยทนไฟ ชั่งตัวอย่างทดลอง 1 g ใส่ลงในถ้วยทนไฟที่ นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °C นานประมาณ 2 ชั่วโมง นำถ้วยทนไฟออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM D3174

<u>สูตรคำนวณหาปริมาณเถ้า</u>

$$Ash = \frac{(T - J) \times 100}{(U - J)} \qquad (3)$$

เมื่อ Aah = ร้อยละปริมาณเถ้า

T = น้ำหนักของเถ้าพร้อมถ้วยทนไฟ *(g)*

J = น้ำหนักของถ้วยทนไฟ *(g)*

U = น้ำหนักของถ้วยทนไฟ และตัวอย่างก่อนเผา *(g)*

3) การหาค่าความร้อน โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter รุ่น AC-500 Automatic. ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 5865-04 (Gross Calorific Value)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษานี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติการเป็นตัวประสานของน้ำยางพาราที่ความเข้มข้นร้อยละ 60 45 30 และ 15 ในการนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง โดยอัตราส่วนผงถ่านต่อน้ำยางพารา คือ 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5 ซึ่งในการศึกษานี้แบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน

1. การปรับความเข้มข้นของน้ำยางพารา
2. การทดสอบการเกาะตัวของตัวประสานในการผลิตถ่านอัดแท่ง 10 g
3. การวิเคราะห์ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

1. **การปรับความเข้มข้นของน้ำยางพารา**

การปรับความเข้มเข้นของน้ำยางพาราคำนวณจากสมการที่ (1) โดยน้ำยางพาราที่ใช้มีเนื้อยางประมาณร้อยละ 60 ซึ่งใช้น้ำในการปรับความเข้มข้นของน้ำยางพารา เมื่อทำการปรับค่าความเข้มข้นน้ำยางพาราด้วยน้ำตามความเข้มข้นที่กำหนด สามารถนำไปทดสอบการยึดเกาะระหว่างตัวประสานและผงถ่านในการผลิตถ่านอัดแท่งได้ แสดงในตารางที่ 1

ตาราง 1 การเตรียมวัตถุดิบและการปรับความเข้มข้นน้ำยางพาราสำหรับเป็นตัวประสานในการผลิตถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน* (m/v)	ปริมาณน้ำยางพารา (ml)							
	60%		45%		30%		15%	
	ผงถ่าน	น้ำยางพารา	ผงถ่าน	น้ำยางพารา**	ผงถ่าน	น้ำยางพารา**	ผงถ่าน	น้ำยางพารา**
9 : 1	9	1	9	0.75	9	0.5	9	0.25
8 : 2	8	2	8	1.5	8	1	8	0.5
7 : 3	7	3	7	2.25	7	1.5	7	0.75
6 : 4	6	4	6	1	6	2	6	3
5 : 5	5	5	5	3.75	5	2.5	5	1.25

* อัตราส่วนของผงถ่าน : ตัวประสาน (มวล/ปริมาตร, m/v)

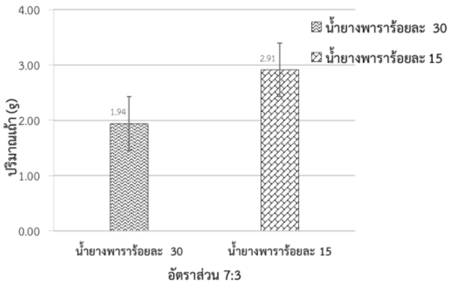
**คำนวณจากค่าน้ำยางพาราที่ร้อยละ 60 โดยการเติมน้ำเพิ่มเพื่อให้ได้ปริมาณตัวประสานในอัตราส่วนที่ต้องการ

3.2 การวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

เมื่อทำการอัดแท่งของถ่านแล้ว จะนำไปตากกลางแจ้ง 3 วัน นำไปวิเคราะห์หาค่าความร้อนจากเครื่อง Bomb Calorimeter พบว่า ค่าเฉลี่ยความร้อนที่อัตราส่วน 7:3 ความเข้มข้นน้ำยางพาราร้อยละ 30 และ 15 มีค่าความร้อน 6,971.95 cal/g และ 6,872.29 cal/g ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน 39.44 % และ 37.45 % ตามลำดับ ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความร้อน คือ ความเข้มข้นของน้ำยางพารา จะเห็นได้ว่า ค่าความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำยางพาราลดลง เมื่อพิจารณาสมบัติของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งชุมชนที่ระบุค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งว่าจะต้องมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 cal/g ดังภาพที่ 4 จากกราฟ พบว่า เมื่อค่าความเข้มข้นของน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งดีขึ้น

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่ง

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า พบว่า ปริมาณเถ้าของน้ำยางพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของน้ำยางพาราลดลง ดังภาพที่ 5 จะเห็นว่า การใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสานไม่มีผลทำให้ปริมาณเถ้าเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยของปริมาณเถ้าที่อัตราส่วน 7:3 ความเข้มข้นน้ำยางพาราร้อยละ 30 และ 15

3.4 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายของถ่านอัดแท่ง

เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 238/2547 และ ลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งด้านอื่นๆที่ได้จากการสังเกตเพิ่มเติม แสดงในตารางที่ 3

ตาราง 3 แสดงลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่ง

ลักษณะทางกายภาพระหว่างการใช้งาน	ถ่านไม้	ถ่านอัดแท่งที่ความเข้มข้นของน้ำยางพาราร้อยละ 30	ถ่านอัดเท่งที่ความเข้มข้นของน้ำยางพาราร้อยละ 15
1. สีดำสม่ำเสมอ	สีดำ	สีดำ	สีดำ
2. ไม่เปราะ อาจแตกหักได้บ้าง	เปราะ	ไม่เปราะ	ไม่เปราะ
3. การติดไฟ	ง่าย	ง่าย	ง่าย
4. เมื่อติดไฟไม่มีสะเก็ดไฟกระเด็น	มีสะเก็ดไฟมาก	มีสะเก็ดไฟเล็กน้อยขณะเริ่มติดไฟ	มีสะเก็ดไฟเล็กน้อยขณะเริ่มติดไฟ
5. การแตกประทุของถ่าน	มีการแตกประทุ	ไม่มีการแตกประทุ	ไม่มีการเตกประทุ
6. ควัน	มีควันเล็กน้อยตอนเริ่มติดไฟ	มีควันมากตอนเริ่มติดไฟ	มีควันมากตอนเริ่มติดไฟ
7. สีของควัน (ก่อนการจุดติดไฟ)	สีเทาเข้ม	สีเทาเข้ม	สีเทาเข้ม
สีของควัน (ขณะเริ่มติดไฟ)	สีเทาอ่อน	สีเทาอ่อน	สีเทาอ่อน
8. กลิ่น (ก่อนการจุดติดไฟ)	ไม่มีกลิ่น	มีกลิ่น	มีกลิ่น
กลิ่น (ขณะใช้งาน)	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น
9. การคงรูปของเถ้า	ร่วนปานกลาง	คงรูป	คงรูป

จากตารางที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งชุมชน มผช. 238/2547 พบว่า ถ่านอัดแท่งมีสีดำเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งแท่ง มีความแข็งไม่เปราะ สะดวกต่อการใช้งาน การขนส่งและการเก็บ มีสะเก็ดไฟเล็กน้อยขณะเริ่มติดไฟ มีควันมากตอนเริ่มติดไฟ เนื่องจากน้ำยางพาราที่ใช้เป็นตัวประสานมีผลทำให้เกิดควันตอนเริ่มติดไฟ และมีกลิ่นตอนเริ่มติดไฟ แต่ไม่มีกลิ่นขณะใช้งาน และลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งด้านอื่นๆ ที่ได้จากการสังเกตเพิ่มเติมจากตารางที่ 3 พบว่า ถ่านอัดแท่งติดไฟง่าย ไม่มีการแตกปะทุขณะใช้งาน ควันมีลักษณะสีเทาอ่อน ส่วนขณะใช้งานไม่มีควัน การคงรูปของเถ้ามีลักษณะคงรูปไม่ฟุ้งกระจาย

สรุปผลการวิจัย

ในการวิเคราะห์ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าความร้อน จากถ่านอัดแท่ง อัตราส่วน 7:3 ที่ความเข้มข้นของน้ำยางพาราร้อยละ 30 และ 15 สามารถสรุปได้ดังนี้

ตาราง 2 วิเคราะห์ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

อัตราส่วน 7:3	ตัวอย่างที่	ค่าความชื้น (%wd)		ปริมาณเถ้า(%)		ค่าความร้อน (cal/kg)
		ตัวอย่างที่	ค่าเฉลี่ย	ตัวอย่างที่	ค่าเฉลี่ย	
ความเข้มข้นน้ำยางพาราร้อยละ 30	1	6.97	6.81	1.96	1.94	6,971.95
	2	6.50		1.98		
	3	6.96		1.88		
ความเข้มข้นน้ำยางพาราร้อยละ 15	1	7.46	7.13	2.91	2.91	6,872.29
	2	7.00		2.86		
	3	6.93		2.97		

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง พบว่า ค่าความชื้น มีค่าความชื้นของถ่านอัดแท่งร้อยละ 6.81 และ 7.13 ตามลำดับ ซึ่งผ่านตามมาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน มผช. 238/2547 ซึ่งกำหนดให้ค่าความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 มาตรฐานเปียก มีค่าความร้อน 6,971.95 cal/g และ 6,872.29 cal/g จะเห็นได้ว่าค่าความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของน้ำยางพาราลดลง ดังนั้น ความเข้มข้นของน้ำยางพารามีผลต่อค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน มผช. 238/2547 ซึ่งระบุค่าความร้อนต้องมากกว่า 5,000 cal/g และปริมาณเถ้าของน้ำยางพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของน้ำยางพาราลดลง

จากการการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่งที่จะอ้างอิงตามมาตรฐานถ่านอัดแท่งชุมชน มผช. 238/2547 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งอัตราส่วน 7:3 ที่ความเข้มข้นของน้ำยางพาราร้อยละ 30 และ 15 ทั้งสองความเข้มข้นมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานชุมชน คือ มีสีดำสม่ำเสมอ ไม่มีกลิ่นขณะใช้งาน ไม่มีควันขณะใช้งาน เมื่อติดไฟมีสะเก็ดไฟเล็กน้อย ไม่เปราะ และไม่แตกหัก ถ่านอัดแท่งที่ผลิตขึ้นนี้จึงเหมาะสม สามารถนำไปใช้ทดแทนถ่านไม้ในครัวเรือนได้ และถ้าต้องการผลิตถ่านอัดแท่ง 1 kg ที่ความชื้นร้อยละ 7 โดยมีน้ำยางพาราเป็นตัวประสานใช้วัตถุดิบ คือ ผงถ่าน 850 g และน้ำยางพารา 150 g ซึ่งน้ำยางพาราที่ใช้เป็นน้ำยางที่กรีดจากต้นยางพารา การผลิตถ่านอัดแท่งโดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสานเป็นอีกทางเอกหนึ่งของเกษตรกรชาวสวนยาง และยังเป็นการส่งเสริมนโยบายของรัฐบาล คือ การเพิ่มสัดส่วนการใช้ยางพาราภายในประเทศให้มากขึ้น ลดการส่งออกให้น้อยลง เพื่อให้ราคายางพาราในประเทศมีเสถียรภาพมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื่ออุปกรณ์และสถานที่ และ ผศ. ดร.ชวยากรณ์ เพ็ชญไพศิษฏ์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี และ ดร.นุจิรา ดีแจ้ง อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความ กรุณาเป็นอย่างดียิ่งในการให้คำแนะนำ และขอขอบพระคุณ ศูนย์การเรียนรู้สมาชิกสหกรณ์ฯ กลุ่มคนเอาถ่านบ้านเขาปรัง อำเภอ พรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้งานเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง

เอกสารอ้างอิง

[1] มานะชัย สังข์วาทิน. (2553). คู่มือการทำสวนยางพารา.พิมพ์ครั้งที่ 4.กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เกษตรสยามบุ๊คส์จำกัด.

[2] องค์การสวนยางประเทศไทย. กระบวนการผลิตน้ำยางข้น 60 %. สืบค้นเมื่อ 19 กรกฎาคม 2558, จาก http://webcache.googleusercontent.com

[3] เดช วัฒนชัยยิ่งเจริญ. (2555). รายงานการวิจัยเรื่องโครงการศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิง เขียวจากใบยางพารา. ทุนวิจัยนวมินทร์ สำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. มหาวิทยาลัย นเรศวร พิษณุโลก.

[4] จิตติพงษ์ ทัศนวงศ์ และวิบูลย์ อันพิมมา. (2545). การผลิตถ่านชีวภาพจากฟางข้าว. รายงาน ปัญหาพิเศษ วทม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[5] กลยุทธ์ ดิษเจริญ และเนตรรัตน์ เนตรประเสริฐ. (2541). การน้ำกากอ้อยจากโรงงานน้ำตาลมาใช้ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ วท.ม, มหาวิทยาลัยนเรศวร

การทดสอบหาสมรรถนะของเตาชีวมวลแบบไหลขวาง สำหรับรถยนต์

Performance Testing a Cross Draft Gasifier for an Auto Mobile

ภูนิฑัต สายแก้ว* ชูรัตน์ ธารารักษ์

สาขาวิชาวิศวะกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหาสมรรถนะของเตาชีวมวลแบบไหลขวางสำหรับรถยนต์ โดยเตามีลักษณะการทำงานเป็นไหลขวาง (Cross Draft) มีขนาดความจุถังเชื้อเพลิง 20 kg ถ่านไม้ ขนาดปริมาตรห้องเผาไหม้ 0.03 m^3 ใช้ถ่านไม้ลำไยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm ยาว 30 mm เป็นเชื้อเพลิง ระบบการป้อนอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้สามารถปรับอัตราการป้อนได้ การทดสอบหาสมรรถนะได้ทำการทดสอบที่อัตราส่วนสมมูล (ER) 0.36 0.38 และ 0.39 ตามลำดับ พบว่าอัตราการเกิดแก๊สสูงสุด 16.12 18.12 และ 20.18 Nm^3/kg of biomass ตามลำดับ ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล 3.24 3.73 และ 3.93 MJ/Nm^3 ตามลำดับ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 49.50 60.13 และ 63.91 % ตามลำดับ และอัตราส่วนสมมูลที่เหมาะสมสำหรับเตาชีวมวลนี้คือ 0.39

คำสำคัญ: อัตราส่วนสมมูล แก๊สชีวมวล เตาแก๊สซิไฟเออร์ แก๊สซิฟิเคชั่น ถ่านไม้

Abstract

This research aims to test the performance of a cross-draft gasifier for automobile. The components of this cross-draft gasifier are the fuel tank of 20 kg of charcoal, 0.03 m^3 of the volume of combustion chamber and using longan wood charcoal size is 30 mm of diameter and 30 mm of length as fuel and the air intake for combustion system can adjustable the feed rate. Performance testing was tested at the equivalent ratio (ER) of 0.36, 0.38 and 0.39, respectively. It was found that the gas yield rates were 16.12, 18.12 and 20.18 Nm^3/kg of biomass, respectively. The biomass heating values were 3.24, 3.73 and 3.93 MJ/ Nm^3, respectively. Thermal efficiency was 49.50, 60.13 and 63.91 %, respectively. The equivalent ratio for this cross-draft gasifier suitable is 0.39.

Keyword: Equivalent ratio, Producer Gas, Gasifier, Gasification, Charcoal

บทนำ

การนำเทคโนโลยีเตาผลิตแก๊สชีวมวลมาใช้งานสามารถช่วยลดอัตราการปล่อยมลพิษทางอากาศ กระบวนการโดยสามรถใช้แก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification) เป็นการแปลงสภาพชีวมวลของแข็งโดยปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ที่อุณหภูมิสูงด้วยอากาศ ออกซิเจน หรือไอน้ำ ในช่วงอุณหภูมิ 800 – 1500 °C ทำให้เกิดการแตกตัวออกมาเป็นแก๊สชีวมวล (Producer Gas) ที่มีค่าความร้อนประมาณ 3- 10 MJ/m^3 แก๊สชีวมวลที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายใน เช่น รถยนต์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น[1]

เตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลขวาง (Cross Draft Gasifier) เป็นเตาที่มีการออกแบบที่ง่าย และมีขนาดเล็ก การทำงานป้อนอากาศเข้าทางด้านข้าง และจะได้แก๊สชีวมวลออกอีกด้านหนึ่งของเตา ซึ่งอากาศที่ป้อนเข้าไปจะผ่านโซนการเผาไหม้ (Combustion Zone) และ โซนรีดักชั่น (Reduction Zone) ตามลำดับ ข้อดีของเตาชนิดนี้คือ เมื่อมีการป้อนอากาศเข้าห้องเผาไหม้มากความเร็วในการเผาไหม้ และอุณหภูมิสูง ทำให้น้ำมันดินแตกตัวเป็นแก๊สก่อนออกสู่นอกเตา เป็นสาเหตุให้เตาประเภทนี้มีปริมาณน้ำมันดินที่ต่ำ อีกทิ้งโซนเชื้อเพลิงชีวมวลที่อยู่ในเตา เป็นเหมือนตัวป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของผนังเตาสูงเกินไป ซึ่งเตาชีวมวลแบบไหลขวางจะมีข้อเสียคือ มีสิ่งปนเปื้อนสูง จึงต้องมีไซโคลน เพื่อลดสิ่งปนเปื้อนในก๊าซชีวมวลมีการเกิดแก๊สชีวมวลได้เร็วสามารถตอบสนองกับความต้องการของเครื่องยนต์ได้ดี [2] ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและทดสอบเตาชีวมวลแบบไหลขวางเพื่อใช้กับรถยนต์

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับเตาชีวมวลแบบไหลขวางพบว่าได้มีผู้วิจัยศึกษาหลายท่านได้แก่ Nwakaire J.N. and Ugwuishiwu B.O. [3] ได้ทำการศึกษาเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลขวาง สำหรับการประยุกต์ใช้ในครัวเรือน และเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเตาโดยใช้แกลบอัดก้อน ปริมาณความชื้นของข้าวอัดก้อนเป็น 8.5% ความร้อนจากการเผาไหม้เป็น 15,641.4 kJ/ kg ประสิทธิภาพของเตาได้รับการทดสอบโดยใช้การทดสอบการต้มน้ำเดือด (WBT) ประสิทธิภาพเป็น 20.75 และ 21.47% สำหรับการทดสอบขณะที่อุณหภูมิเตาที่เย็นและอุณหภูมิเตาที่ร้อน ตามลำดับ ซึ่งเป็นขั้นต่ำและมีประสิทธิภาพสูงสุดของเตา ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของเตาเป็น 21.10% ทดสอบน้ำปริมาณ 1.5 kg เป็นเวลา 5.1 min สำหรับการทดสอบเริ่มเย็นและ 4.5 min สำหรับการทดสอบเริ่มร้อนอัตราการผลิตแก๊สชีวมวลที่ 8.95 -10.64 kW ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็น 6.5 g (CO_2) และ 5.1 g (CO) และ Saravanakumar A. And et al. [4] ได้ทำการศึกษาการใช้ไม้กับเตาชีวมวลแบบไหลขวาง ได้กำลังการผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลขวางมีขนาด 50 m^3/h เตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลขวางเป็นเตาที่มีน้ำมันดินน้อย ใช้พัดลมป้อนอากาศขนาด 180W อัตราการผลิตแก๊สชีวมวลที่ 10 kW อัตราการป้อนอากาศทดสอบที่ปริมาณ 20 -30 m^3/h อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ 9 และ 10 kg/h ทดสอบโดยใช้เวลา 5 h ประสิทธิภาพของการผลิตแก๊ส 79%.

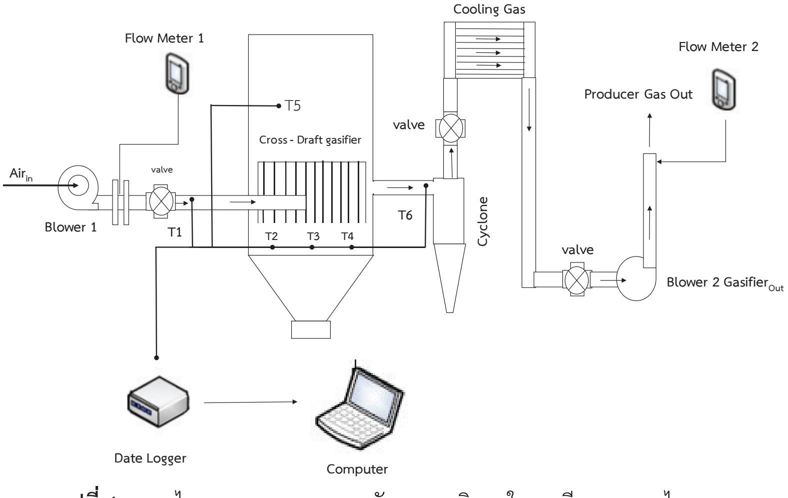
วิธีการวิจัย

วิธีการทดสอบเตาชีวมวลแบบไหลขวางขนาด 20 kg ของเชื้อเพลิงถ่านไม้ลำไย ขนาดปริมาตรห้องเผาไหม้ 0.03 m^3 ใช้ถ่านไม้ลำไยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm ยาว 30 mm เป็นเชื้อเพลิง ระบบการป้อนอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้สามารถปรับอัตราการป้อนได้ การทดสอบหาสมรรถนะได้ทำการทดสอบที่อัตราส่วนสมมูล (ER) 0.36 0.38 และ 0.39 ตามลำดับ

จากรูปที่ 1 แสดงการทดสอบหาสมรรถนะของเตาผลิตแก๊สชีวมวล วัดจากปริมาณอากาศที่เติมเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ทำการวัดค่าปริมาณป้อนอากาศเข้า (Flow Meter) เตาชีวมวลแบบไหลขวาง ทำการวัดอุณหภูมิ T2 (Reduction) T3 (Combustion) T4 (Pyrolysis) T5 (Drying) การเป็นวัดอุณหภูมิการเผาไหม้ในแต่ละช่วงของเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลขวางทำการวัดอัตรากาสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เมื่อจุดเตาจะทำการเปิดพัดลมเติมอากาศตัวที่ 1 (Blower 1) ทำการเติมเชื้อเพลิงลงในเตาชีวมวล 1 kg ทำการจุดไฟที่จุด T3 (Combustion) จากนั้นทำการเติมเชื้อเพลิงที่เหลือลงไปทำการปิดฝาเตาใช้เวลา 10 -20 min ภายในเตาจะเป็นตะแกรงที่ทำหน้าที่กำจัดขี้เถ้า เมื่อได้แก๊สที่ออกมาอาจมีขี้เถ้ารวมอยู่ในแก๊สชีวมวล จึงมีระบบทำความสะอาดแก๊สเป็นไซโคลน (Cyclone) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.6 cm ยาว 62.4 cm และชุดระบายความร้อนแก๊สแบบเป็นระบายความร้อนด้วยอากาศ (cooling Gas) เพื่อลดความร้อนแก๊สชีวมวล แสดงดังรูปที่ 1

การทดสอบหาสมรรถณะของเตาชีวมวลแบบไหลขวางมีวัตถุประสงค์

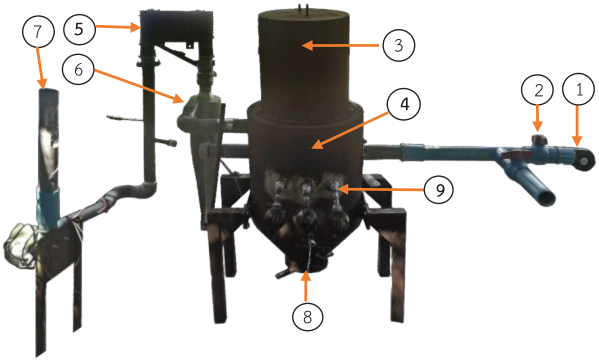
1. อุณหภูมิภายในเตาชีวมวลในแต่ละโซน
2. อัตราการเกิดแก๊สสูงสุด ของแก๊สชีวมวล
3. อัตราส่วนสมมูลที่เหมาะสม
4. หาองค์ประกอบและค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล
5. ประสิทธิภาพทางความร้อนของแก๊สชีวมวล
6. อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



รูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมการทดลองวัดอุณหภูมิภายในเตาชีวมวลแบบไหลขวาง

อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดสอบเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลขวางมี ดังนี้

1. เตาชีวมวลแบบไหลขวางและ อุปกรณ์เตา แสดงดังรูปที่ 2 เมื่อ 1. พัดลมป้อนอากาศเข้า 2. วาล์วเปิด-ปิดอากาศเข้า 3. ถังบรรจุเชื้อเพลิง 4. ห้องเผาไหม้แบบไหลขวาง 5. ที่ระบายความร้อนแก๊สชีวมวล 6. ไซโคลนดักขี้เถ้า 7. ท่อแก๊สชีวมวลออก 8. ทางออกขี้เถ้า 9. หัววัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ



รูปที่ 2 เตาแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลขวางที่ใช้ทดสอบ

2. อุปกรณ์เก็บข้อมูล ดังรูปที่ 3 (ก) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ และ (ข) ความเร็วอากาศเข้า

(ก)

(ข)

รูปที่ 3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ และความเร็วอากาศเข้า

3. อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแก๊สชีวมวล ดังรูปที่ 4 (ก) เครื่องดูดตัวอย่างแก๊สชีวมวลและ (ข) เก็บตัวอย่างแก๊สชีวมวล

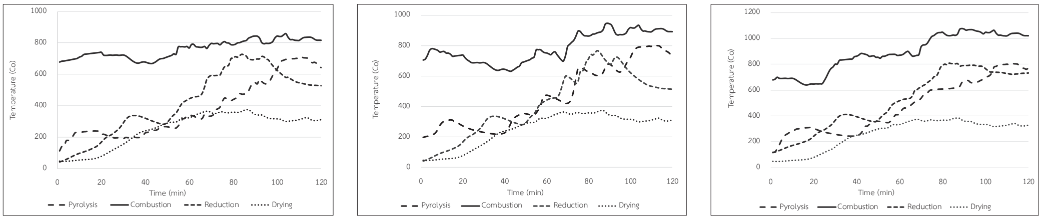
(ก)

(ข)

รูปที่ 4 เครื่องดูดและเก็บตัวอย่างแก๊สชีวมวล

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลของอุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลขวางที่อัตราส่วนสมมูล (ER) 0.36 0.38 0.39 แสดงดังตารางที่ 1 และรูปที่ 5 พบว่าที่อัตราส่วนวมมูล 0.39 มีอุณหภูมิสูงกว่าที่อัตราส่วนสมมูล 0.36และ 0.38 ทุกโซน แต่ถ้าอัตราส่วน ER มากกว่า 0.39 เชื้อเพลิงในเตาจะเกิดการลุกไหม้ และไม่เกิดการแบ่งโซน ทำให้ไม่เกิดแก๊สชีวมวล



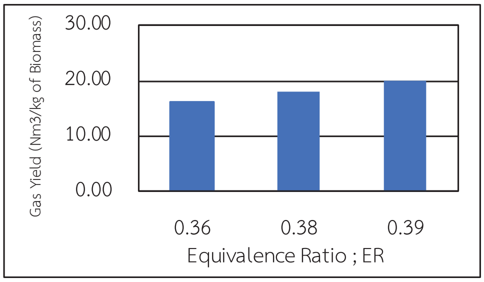
(ก) 0.36 (ข) 0.38 (ค) 0.39

รูปที่ 5 อุณหภูมิภายในเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลขวาง และ ER ต่าง ๆ

ตารางที่ 1 แสดงอุณหภูมิภายในเตาชีวมวลแบบไหลขวางที่โซนต่าง ๆ

อัตราส่วนสมมูล (ER)	Combustion Zone Temp (°C)	Reduction Zone Temp (°C)	Pyrolysis Zone Temp (°C)	Drying Zone Temp (°C)
0.36	600 – 800	400 – 700	300 – 700	100 – 300
0.38	600 – 900	500 – 800	200 – 700	100 – 300
0.39	800 – 1,100	600 – 800	300 – 800	100 – 400

ผลการทดสอบอัตราการเกิดแก๊สชีวมวลสูงสุด (Gas Yieid) ที่อัตราส่วนสมมูล 0.36 0.38 และ 0.39 อัตราเกิดแก๊สชีวมวลสูงสุด 16.12 18.12 และ 20.13 Nm^3/kg of biomass ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 6



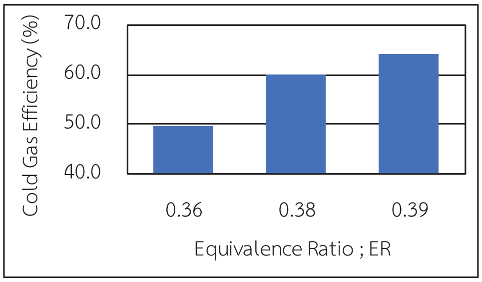
รูปที่ 6 อัตราการผลิตแก๊สชีวมวลสูงสุด

ผลการทดสอบองค์ประกอบของแก๊สชีวมวลจากเตาชีวมวลแบบไหลขวาง แสดงในตารางที่ 2 พบว่าที่อัตราส่วนสมมูล 0.36 0.38 และ 0.39 แก๊สชีวมวลมีองค์ประกอบแก๊สดังนี้ มีเทน (CH_4) เท่ากับ 0.3 0.31 และ 0.30 %Vol. ตามลำดับ คาร์บอนมอนอกไซค์ (CO) เท่ากับ 17.21 21.45 22.24 %Vol. ตามลำดับ และไฮโดรเจน (H_2) เท่ากับ 6.58 6.03 และ 6.77 %Vol ตามลำดับ และค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล 3.25 3.73 และ3.93 MJ/Nm^3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของแก๊สชีวมวล

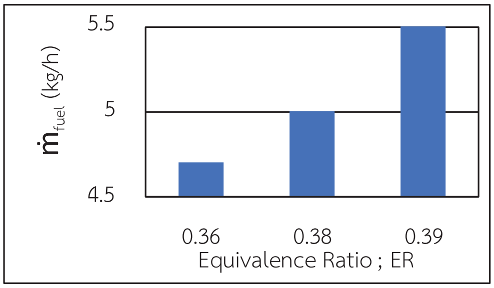
	อัตราส่วนสมมูล		
องค์ประกอบแก๊ส (%Vol)	0.39	0.38	0.36
Methane (CH_4)	0.30	0.31	0.30
Carbon monoxide (CO)	22.24	21.45	17.21
Hydrogen (H_2)	6.77	6.03	6.58
HV_{gas} (MJ/Nm^3)	3.93	3.73	3.25

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลแบบไหลขวาง พบว่าที่อัตราส่วนสมมูล 0.36 0.38 และ 0.39 มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 49.50 60.13 และ 63.91% แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลขวาง

ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเตาชีวมวลแบบไหลขวาง พบว่าที่อัตราส่วนสมมูล 0.36 0.38 และ 0.39 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ 4.7 5.0 และ 5.5 kg/h แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลขวาง

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบเตาแก๊สชีวมวลแบบไหลขวางโดยใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง ขนาดความจุถังเชื้อเพลิง 20 kg ถ่านไม้ขนาดปริมาตรห้องเผาไหม้ 0.03 m^3 ใช้ถ่านไม้ลำไยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm ยาว 30 mm เป็นเชื้อเพลิง ระบบการป้อนอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้สามารถปรับอัตราการป้อนได้ การทดสอบหาสมรรถนะได้ทำการทดสอบที่อัตราส่วนสมมูล 0.36 0.38 และ 0.39 ตามลำดับ พบว่ามีอัตราการเกิดแก๊สชีวมวลสูงสุด 16.12 18.12 และ 20.18 Nm^3/kg of biomass องค์ประกอบของแก๊สชีวมวลเฉลี่ยคือมีเทน 0.30 – 0.31 % ไฮโดรเจน 6.03 – 6.77 % และคาร์บอนมอนอกไซด์ 17.00 - 22.24 % มีค่าความร้อนของแก๊สชีวมวลที่ 3.25 3.73 และ 3.93 MJ/Nm^3 และค่าประสิทธิเชิงความร้อนของเตาผลิตแก๊สชีวมวลแบบไหลขวาง 49.50 60.13 และ 63.99 % และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 4.7 5.0 และ 5.5 kg/h พบว่าเมื่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ส่งผลทำให้อัตราการเกิดแก๊สเพิ่มขึ้นมากด้วยเช่นเดียวกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ผศ.ดร.ชูรัตน์ ธารารักษ์ ที่ได้รับเป็นประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้ความรู้คำแนะนำต่าง ๆ และคำปรึกษาตลอดจนให้ความดูแลและเอาใจใส่จนบทความฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงสำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้ทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ใน "โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา" ครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติกร สาสุจิตต์. (2556). **เทคโนโลยีพลังงานชีวมวล**. เอกสารประกอบการสอน สาขาวิชาพลังงานทดแทน. : วิทยาลัยพลังงานทดแทน. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. หน้า 7-1.

[2] นคร ทิพยาวงศ์. (2553). **เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงสภาพชีวมวล**, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), หน้า 256.

[3] Nwakaire J.N. and Ugwuishiwu B.O. (2015) **Development of a Natural Cross Draft Gasifier Stove for Application in Rural Communities in Sub-Saharan Africa.** Department of Agricultural and Bio Resources Engineering, University of Nigeria.

[4] Saravanakumar A., Haridasan T.M., and Thomas B. Reed. (2010). **Flaming pyrolysis model of the fixed bed cross draft long-stick wood gasifier.** Department of Bio-Energy, School of Energy Sciences, Madurai Kamaraj University.

การประเมินความเป็นไปได้ของโรงงานผลิตไม้สับจากประเทศกัมพูชา

Feasibility Study of Woodchip Factory in Cambodia

วัลลภ หลวงละ[1*] และ ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์[2]

[1] สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

บทคัดย่อ

การประเมินโครงการของโรงงานผลิตไม้สับจากประเทศกัมพูชา เป็นทางเลือกของการจัดหาเชื้อเพลิงชีวมวลให้กับโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีอยู่เดิมและเตรียมความพร้อมสำหรับการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนจากภาครัฐ ผู้วิจัยได้ศึกษาเบื้องต้นสำหรับการทำอุตสาหกรรมไม้สับขนาดกำลังการผลิต 60 ตันต่อชั่วโมงระยะทางขนส่ง 160 กิโลเมตรจากประเทศกัมพูชา โดยมีกลุ่มโรงไฟฟ้าชีวมวลจังหวัดบุรีรัมย์ขนาด 16 เมกะวัตต์ เป็นกลุ่มเป้าหมายผู้รับซื้อ ในการหาดัชนีชี้วัดทางการเงินจากแบบจำลองกระแสเงินสดคิดลด โดยใช้ต้นทุนทางการเงินถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก จะพบว่าโครงการให้อัตราผลตอบแทนทางการเงินอันได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ และ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน เป็นไปตามเงื่อนไขข้อกำหนดของการวิเคราะห์โครงการ และงานวิจัยฉบับนี้ได้คำนึงถึงความผันแปรของปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการลงทุนได้แก่ อัตราแลกเปลี่ยนค่าเงินบาท ค่าขนส่ง ค่าโสหุ้ย และราคาขาย เมื่อนำมาวิเคราะห์ความอ่อนไหว โดยกำหนดให้ทุกปัจจัยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง ผลการวิเคราะห์จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของราคาขายจะมีความอ่อนไหวต่อโครงการมากที่สุด โดยปัจจัยที่มีผลต่อโครงการน้อยที่สุดได้แก่ค่าโสหุ้ย ทำนองเดียวกันเมื่อนำเสนอข้อมูลโดยภาพฉาย จะทำให้มองเห็นอัตราผลตอบแทนและความเสี่ยงในหลายๆกรณีมากยิ่งขึ้น

การใช้ประโยชน์จากการศึกษานี้สามารถประยุกต์ใช้จัดหาชีวมวลจากประเทศเพื่อนบ้านอื่นๆ อาทิเช่น ประเทศพม่า ประเทศลาว ที่มีศักยภาพเชิงปริมาณและระยะทางขนส่งไม่ไกลจากกลุ่มผู้ประกอบการของประเทศไทย และสำหรับวัตถุดิบไม้สับมิได้จำกัดความต้องการเฉพาะกลุ่มโรงไฟฟ้าชีวมวลเท่านั้น แต่ยังคงเป็นที่ต้องการของตลาดอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่นการนำมาเป็นเชื้อเพลิงสร้างความร้อนให้กับกระบวนการผลิต หรือการสร้างมูลค่าเพิ่มขึ้นโดยการทำชีวมวลอัดเม็ด

คำสำคัญ: โรงงานผลิตไม้สับ, การวิเคราะห์โครงการ

[*]วัลลภ หลวงละ: Tel.: 02- 509 0034. E-mail : wallop_luangla@yahoo.com

บทนำ

จากเป้าหมายของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกพบว่าในปี 2557 ประเทศไทยมีสถานภาพกำลังการผลิตอยู่ที่ 2,451.82 เมกะวัตต์ และเป้าหมายใหม่สำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลที่ปี 2579 อยู่ที่ 5,570 เมกะวัตต์ หรือมีเป้าหมายเพิ่มขึ้นที่ 127% [8] สิ่งที่จำเป็นก็คือปริมาณและชนิดของวัตถุดิบชีวมวลที่จะนำมาใช้ในการผลิตพลังงานเพื่อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนดังกล่าว สำหรับปัญหา ณ ปัจจุบันของเชื้อเพลิงวัตถุดิบที่มีผลกระทบกับโรงไฟฟ้าชีวมวล ประกอบไปด้วยปริมาณชีวมวลที่มีอยู่ไม่แน่นอนเนื่องมาจากการปลูกตามฤดูกาล และการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เกษตรไปสู่สังคมเมือง ปริมาณชีวมวลมีอยู่แบบกระจายตัวและไม่เพียงพอต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า มีผู้รับซื้ออยู่หลายกลุ่มอุตสาหกรรม รวมถึงมีตลาดรับซื้อจากต่างประเทศ [2] ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินการศึกษาทางเลือกเบื้องต้นของการจัดหาชีวมวลจากประเทศกัมพูชา เนื่องจากมีความเป็นไปได้ทั้งทางด้านศักยภาพเชิงพื้นที่และปริมาณของชีวมวล [4]

วิธีการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงปริมาณ (Quantitative Research) เพื่อเป็นแนวทางของการจัดหาชีวมวลจากประเทศกัมพูชา โดยมีขั้นตอนของการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

1. เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อเลือกกลุ่มโรงไฟฟ้าชีวมวลเป้าหมาย [3] โดยทำการเก็บข้อมูลกำลังการผลิตติดตั้งเปรียบเทียบกับศักยภาพของชีวมวลเชิงพื้นที่เพื่อให้ได้ข้อมูลปริมาณความต้องการชีวมวลเบื้องต้น และทำการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของชีวมวลจากประเทศกัมพูชาเพื่อเลือกพื้นที่จัดตั้งโครงการผลิตไม้สับ [5]

2. รวบรวมข้อมูลของประเทศกัมพูชาด้านนโยบายส่งเสริมการลงทุน สิทธิประโยชน์ ข้อมูลด้านกฎหมาย เงื่อนไขข้อบังคับ กฎระเบียบ อัตราภาษีต่างๆ รวมถึงขั้นตอนการนำเข้า ส่งออก [6]

3. รวบรวมข้อมูลรายรับของโครงการ (Revenue) รายจ่ายของโครงการ (Cost) ค่าของตัวแปร (Variable) และต้นทุนทางการเงิน (Cost of Capital) เพื่อนำไปสู่กระบวนการวัดผล

4. ในการวัดผลจะใช้ตัวชี้วัดทางการเงินจากแบบจำลองกระแสเงินสดคิดลด (Discounted Cash Flow Model: DCF) เป็นดัชนีวิเคราะห์โครงการ [1] อันได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio: BCR) โดยการหาดัชนีดังกล่าวจะใช้ต้นทุนทางการเงินถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average Cost of Capital: WACC) เป็นส่วนประกอบของดัชนีวัดผล สำหรับเงื่อนไขของทางการเงิน มีดังต่อไปนี้

NPV>0 เป็นโครงการที่มีการสร้างมูลค่าเพิ่มหรือกระแสเงินสดมากกว่าต้นทุนของการลงทุน

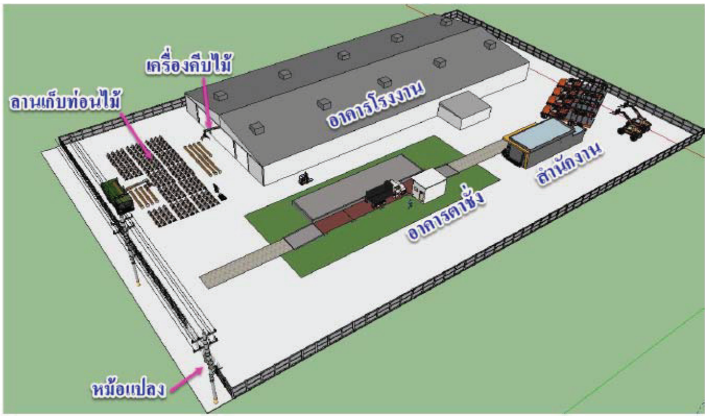
IRR>WACC เป็นโครงการที่อัตราผลตอบแทนของโครงการมีค่ามากกว่าต้นทุนทางการเงินที่จัดหามา

BCR>1 เป็นลักษณะของโครงการที่ให้อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนตลอดอายุโครงการมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนตลอดอายุโครงการ

5. ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) จากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงการโดยตรงและมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของผลตอบแทนการลงทุน

6. ทำการวิเคราะห์โดยภาพฉาย (Scenario Analysis) เพื่อหาค่าของกรณีปรกตริ (Base Case) กรณีที่ดีกว่าปรกตริ (Best Case) และกรณีที่ต่ำกว่าปรกตริ (Worst Case) ทั้งนี้เพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวในการลดความคาดหวังของโครงการ

7. ทำการสรุปและอภิปรายผลจากเครื่องมือผลตอบแทนของโครงการรวมถึงเสนอแนะข้อมูลอันเป็นประโยชน์

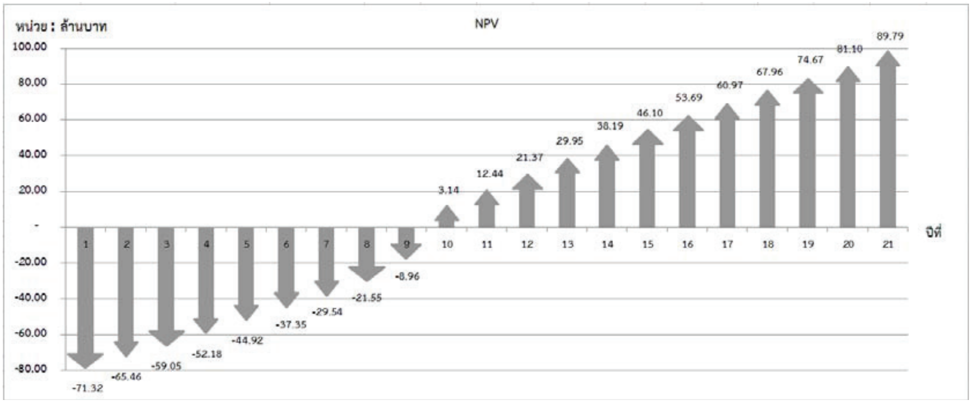


ภาพที่ 1 โรงงานผลิตไม้สับ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

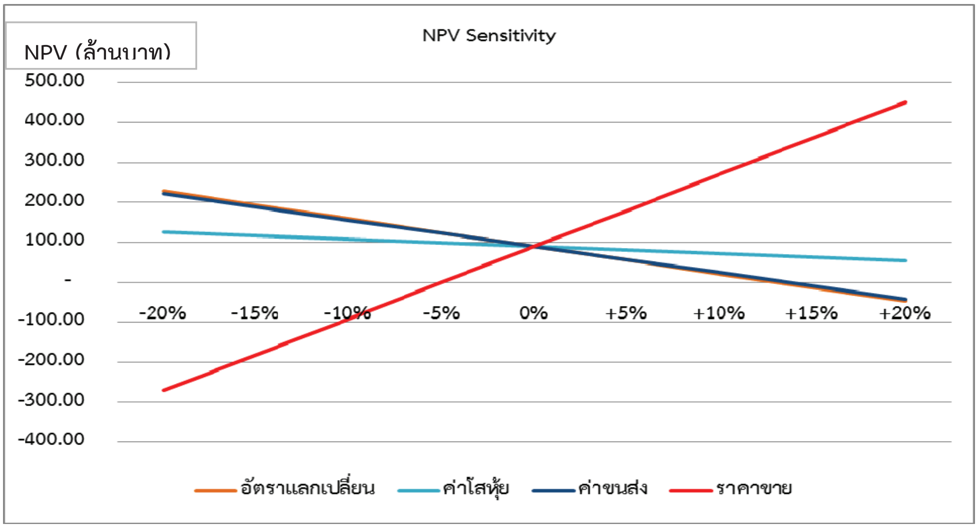
ในการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการผลิตไม้สับจากประเทศกัมพูชา [7] พบว่าข้อมูลที่สำคัญเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประกอบไปด้วย รายรับ (Revenue) 154,176,000 บาทต่อปี ต้นทุนในส่วนของเงินทุน (Capital Expenditure : CAPEX) 71,320,000 บาท ต้นทุนดำเนินการผลิต (Operating Expenditure : OPEX) 80,361,400 บาทต่อปี ค่าขนส่ง (Transportation Cost) 56,064,000 บาทต่อปี มีการกำหนดชำระหนี้เงินกู้ที่ 7 ปี โดยมีภาระอัตราดอกเบี้ย MLR 6.25% ตามประกาศของธนาคารกรุงเทพ เดือนพฤษภาคม 2560 ในการกำหนดค่าตัวแปร (Variable) ให้รายรับมีการปรับเพิ่มขึ้นอัตราเฉลี่ยปีละ 3% เงินลงทุนของโครงการมีอัตราส่วนหนี้สินต่อทุน (Debt-Equity Ratio : DE Ratio) อยู่ที่ 80 ต่อ 20 ต้นทุนวัตถุดิบ (Material Cost) มีอัตราปรับเพิ่มขึ้นปีละ 3% ต้นทุนค่าแรงงาน (Labor Cost) ปรับเพิ่มขึ้นปีละ 5% ค่าโสหุ้ย (Factory Overhead Cost : FOH) มีอัตราปรับเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 2%

ในการวิเคราะห์โครงการใช้ค่าต้นทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (WACC) ที่ 7.4% ทั้งนี้นโยบายส่งเสริมการลงทุนจากประเทศกัมพูชา (Cambodian Investment Board) [9] กำหนดให้โครงการปลอดภาษี 9 ปี โดยปีที่ 10 เป็นต้นไปเสียภาษีในอัตรา 20% การวิเคราะห์โครงการฉบับนี้กำหนดอายุโครงการ (Project Life) ที่ 20 ปี และคำนวณค่าเสื่อมราคา (Depreciation) แบบเส้นตรงเป็นเวลา 9 ปี โดยไม่นำมูลค่าซาก (Salvage) มาคำนวณผลประโยชน์หลังเสร็จสิ้นโครงการ จากการรวบรวมค่าที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์จะได้กระแสเงินสดสุทธิสะสมแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภูมิกระแสเงินสดสุทธิสะสม

ในการวิเคราะห์กราฟแผนภูมิกระแสเงินสดสุทธิสะสม ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของการลงทุนอาทิเช่น อัตราแลกเปลี่ยนค่าเงินบาท อัตราค่าบริการขนส่ง ค่าโสหุ้ยของโครงการ (FOH) และราคาขายไม้สับหน้าโรงไฟฟ้าชีวมวลเป้าหมาย โดยการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis) จะดำเนินการเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยดังกล่าวให้มีอัตราการปรับเพิ่มขึ้นและลดลงเพื่อเปรียบเทียบ NPV ของแต่ละกรณี โดยสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3 ซึ่งเป็นกราฟความอ่อนไหวรวมของโครงการ



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของค่าของ NPV

จากภาพที่ 3 เป็นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรที่มีผลกระทบกับโครงการ ดังแสดงในกราฟ โดยแกน X คือค่าของการเปลี่ยนแปลงและแกน Y คือค่าของ NPV ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าของแต่ละตัวแปร จะพบว่าปัจจัยทีมีความอ่อนไหวต่อ NPV มากที่สุด คือ ราคาขายไม้สับ รองลงมาคืออัตราแลกเปลี่ยนค่าเงินบาท อัตราค่าบริการขนส่ง และปัจจัยที่มีความอ่อนไหวน้อยที่สุดคือค่าโสหุ้ย (FOH)

สำหรับราคาขายไม้สับขนาด 1”x1” บริษัทกรณีศึกษาได้กำหนดไว้ที่ 1,100 บาทต่อตันที่ความชื้น 25% โดยที่ผู้ศึกษาไม่ได้ศึกษาถึงปัจจัยเรื่องความชื้นที่มีผลต่อราคาขาย เมื่อนำราคาขายมาวิเคราะห์เป็นภาพฉาย (Scenario Analysis) แบบตัวแปรเดียว จะได้ผลของการวิเคราะห์ในกรณีปรกตริ (Base Case) กรณีที่ดีกว่าปรกตริ (Best Case) และกรณีที่ต่ำกว่าปรกตริ (Worst Case) ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ภาพฉาย (Scenario) ของราคาขายต่อผลตอบแทน

ภาพฉาย (Scenario)	ราคาขาย (บาท)	NPV	IRR	BCR
กรณีปรกตริ (Base Case)	1,100	89,786,956	17%	2.26
กรณีที่ดีกว่าปรกตริ (Best Case)	1,210	270,666,638	37%	4.80
กรณีที่ต่ำกว่าปรกตริ (Worst Case)	990	(91,092,726)	(5%)	(0.28)

ตารางที่ 2 ภาพฉาย (Scenario) ของราคาและปริมาณการขายต่อ IRR

IRR				
ราคาขาย	การเปลี่ยนแปลงปริมาณการขาย			
	-10	-5	+5	+10
1,100	(5%)	7%	27%	37%
1,200	14%	24%	46%	57%
1,300	30%	41%	66%	78%

ตารางที่ 3 ภาพฉาย (Scenario) ของราคาและปริมาณการขายต่อ NPV

NPV				
ราคาขาย	การเปลี่ยนแปลงปริมาณการขาย			
	-10	-5	+5	+10
1100	(91,092k)	(652k)	180,226k	270,666
1200	56,899k	155,561k	352,884k	451,546k
1300	204,892	311,775k	525,542k	632,426k

ตารางที่ 4 ภาพฉาย (Scenario) ของราคาและปริมาณการขายต่อ BCR

BCR				
ราคาขาย	การเปลี่ยนแปลงปริมาณการขาย			
	-10	-5	+5	+10
1100	(0.28)	0.99	3.53	4.80
1200	1.80	3.18	5.95	7.33
1300	3.87	5.37	8.37	9.87

จากตารางที่ 2 ถึง 4 เป็นการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวแบบ 2 ตัวแปรอันได้แก่ราคาขายและปริมาณการจำหน่ายต่ออัตราผลตอบแทนโดยให้ข้อมูลมีการปรับเพิ่มขึ้นและลดลง จะส่งผลให้ NPV, IRR และ BCR ของโครงการมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางดังที่แสดง

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลรายรับ รายจ่าย ต้นทุนทางการเงิน และสิทธิประโยชน์ของโครงการลงทุนผลิตไม้สับจากประเทศกัมพูชาจะพบว่าโครงการให้อัตราผลตอบแทน NPV ที่ 89,786,956 บาท IRR ที่ 17% และ BCR ที่ 2.26 ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขข้อกำหนดของการตัดสินใจในการลงทุน จึงถือว่าโครงการดังกล่าวเป็นทางเลือกที่เหมาะสมของการลงทุนและเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการจัดหาชีวมวลชนิดไม้สับ (Wood Chip) เพื่อส่งให้กับผู้ประกอบการโรงไฟฟ้าชีวมวลใน จังหวัดบุรีรัมย์ ประเด็นความอ่อนไหว (Sensitivity) ของโครงการที่มีผลกระทบมากที่สุด ได้แก่ ราคาขายเพราะเป็นรายได้หลักของโครงการ เมื่อนำราคาขายมาวิเคราะห์ภาพฉาย (Scenario Analysis) ทั้งแบบตัวแปรเดียวและ 2 ตัวแปรจะทำให้พบค่าความอ่อนไหวในหลายกรณี

การศึกษานี้มีข้อเสนอแนะให้ศึกษาเงื่อนไขการให้สินเชื่อโครงการของแต่ละสถาบันการเงินเพราะถึงแม้ว่าโครงการจะให้อัตราผลตอบแทนเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด แต่สถาบันการเงินอาจกำหนดให้ลดอัตราส่วนหนี้สินต่อทุน (DE-Ratio) จากข้อมูลของผู้เชี่ยวชาญได้แนะนำอัตราส่วนหนี้สินต่อทุนที่เหมาะสมอยู่ที่ 60 ต่อ 40 หรือบางกรณีสถาบันการเงินจะเพิ่มค่าชดเชยความเสี่ยง (Risk Premium) ที่สูงกว่าโครงการทั่วไปในประเทศ ทำให้ภาระต้นทุนทางการเงินของโครงการเพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งข้อมูลต่างๆ ที่กล่าวอ้างอิงในงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งมีส่วนอย่างยิ่งในการสนับสนุนการวิเคราะห์โครงการทำให้ประเด็นต่างๆ ในการศึกษาครบถ้วน จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีตามความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้

เอกสารอ้างอิง

[1] เยาวดี รางชัยกุล. (2546). การประเมินโครงการ. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์.

[2] พุฒิชาติ คิดหาทอง, วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์ และ อัจฉริยา สุริยะวงศ์. (2557). การศึกษาศักยภาพเชิงพื้นที่ของชีวมวลสำหรับผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (มกราคม -มิถุนายน) 2557

[3] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดย คณะวิศวกรรมศาสตร์. (2557). สถานการณ์พลังงานจังหวัดบุรีรัมย์โครงการบูรณาการแผนยุทธศาสตร์พลังงานระดับกลุ่มจังหวัดตามยุทธศาสตร์ประเทศ.

[4] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2556). การศึกษาวิเคราะห์ศักยภาพการเกษตรของประเทศไทยเปรียบเทียบกับสมาชิกอาเซียนกรณีศึกษา กัมพูชา ลาว และเมียนมาร์.

[5] กระทรวงเกษตร, ป่าไม้และประมง. (2008). คู่มือสารชีวมวลเอเชีย.

[6] สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน. (2556). คู่มือการประกอบธุรกิจราชอาณาจักรกัมพูชา

[7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). โครงการศึกษาและจัดทำข้อมูลการลงทุนด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

[8] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579

[9] Cambodian Investment Board. Investing In Cambodia สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2560. จาก http://www.moc.gov.kh/Portals/0/Docs/OfficialDocs/H-20151028085854498.pdf

การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) จากใบไม้ของต้นเต็งรัง เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนและลดปัญหาหมอกควัน

Production of RDF-5 from *Shorea obtusa* Wall Leaves as Renewable Energy to Reduce Haze Issues

วรพจน์ โพธาเจริญ* รุ่งนภา จุลศักดิ์ และ วรจิตต์ เศรษฐพรรค์
วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 50300

บทคัดย่อ

การผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) จากใบไม้ของต้นเต็งรัง ในพื้นที่วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้ถ่าน และเพื่อการลดปัญหาหมอกควันในพื้นที่ จากการเผาขยะดังกล่าว ซึ่งจากการสำรวจปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในวิทยาลัยฯ ในปี 2559 ที่ผ่านมาพบว่า มีขยะประเภทใบไม้เกิดขึ้นเฉลี่ยมากถึง 1.5 ตัน/ปี โดยการกำจัดขยะใบไม้ส่วนใหญ่จะเลือกใช้วิธีการเผาซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุด แต่ทั้งนี้การเผาทำลายกลับส่งผลกระทบทางด้านมลพิษที่ตามมา

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการนำขยะประเภทใบไม้ของต้นเต็งรัง นำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้ถ่าน และเพื่อการลดการเผาขยะในพื้นที่โล่งแจ้ง ซึ่งในกระบวนการผลิตจะใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ได้แก่ เครื่องย่อยใบไม้ เครื่องผสม และเครื่องอัดแท่ง และมีการใช้แป้งมันเป็นตัวประสาน เพื่อช่วยให้มีการอัดขึ้นรูปได้ดียิ่งขึ้น จากผลการทดสอบพบว่าการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งRDF-5 จากใบไม้เต็งรัง โดยไม่ใช้ตัวประสาน จะไม่สามารถอัดแท่งหรือขึ้นรูปได้ จึงจำเป็นต้องมีการใช้แป้งมันที่สัดส่วน 2% โดยน้ำหนักเป็นต้นไป เพื่อช่วยในการประสานให้ดีขึ้น จากการทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(อาร์ ดี เอฟ5)ที่ใช้แป้งมันเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 2%โดยน้ำหนัก มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.86 kg/m^3 ซึ่งเป็นไปตามค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิง (RDF-5) และเมื่อนำมาทดสอบหาค่าความร้อนพบว่าเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนเท่ากับ 18.65 MJ/kg และมีค่าความชื้นเท่ากับ 8% ปริมาณเถ้า 14.336 % ตามลำดับ ซึ่งเชื้อเพลิงดังกล่าวสามารถนำไปใช้ทดแทนถ่านได้

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง,ถ่าน,หมอกควัน

*Corresponding author: Tel.: 053-885871. E-mail address: worrapod.pop@gmail.com

Abstract

As the production of RDF-5 from *Shorea obtusa* Wall Leaves in Asian Development Institute for Community Economy and Technology (adiCET), Chiang Mai Rajabhat University, RDF-5 is a useful substitute for renewable energy and reducing the haze from burning *Shorea obtusa* Wall Leaves in this area. According to the waste quantity report of the college in 2016, was found the 1.5 tons of leaf waste per year. As a large number of *Shorea obtusa* Wall Leaves, the selected waste disposal is incinerating. Burning is the convenient process to destroy the waste, but it creates the unforgiving impact, the pollution problem in the area.

The objectives of this research are to study the possibility of producing solid fuel (RDF-5) from *Shorea obtusa* Wall Leaves instead of using charcoal and to reduce the haze from burning in open space. During the production, there are tools and equipment used including Leaf shredder, mixer, and compactor. Moreover, the binder, flour, is needed for helping the extrusion of RDF-5. The result of RDF-5 without the use of binders was demonstrated uncompressed leave into the bars. Therefore, it is necessary to use 2% by weight of starch to help in coordination. As the result of the experiment, RDF 5 using 2% by weight, Density was 0.86 kg / m^3, which was in accordance with the RDF-5 standard. The HHV is 18.65 MJ/kg and the moisture was 8%, Ash 14.336 % respectively. which could be replaced the charcoal.

1. บทนำ

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ มีพื้น 500 ไร่ ลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ภูเขา และเป็นพื้นที่ป่าร้อยละ 80 ของพื้นที่ โดยไม้ส่วนใหญ่ในพื้นที่จะเป็นไม้เต็งรัง (Shorea obtusa Wall) สภาพพื้นที่ป่าจะเป็นป่าที่มีความแห้งแล้ง ในช่วงฤดูร้อนของแต่ละปีจะเกิดปัญหาไฟป่าเกิดขึ้น ซึ่งยากต่อการควบคุม อีกทั้งในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวยังมีขยะที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ เศษใบไม้ กิ่งไม้ขนาดเล็ก และวัชพืชจำนวนมาก ซึ่งหากกำจัดด้วยการเผาจะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม หรือหากต้องการปล่อยให้เกิดการย่อยสลายเองตามธรรมชาติอาจจะต้องใช้ระยะเวลานาน ดังนั้นการกำจัดขยะดังกล่าว จำเป็นต้องมีวิธีการและแนวทางในการกำจัดขยะให้ถูกต้องและเหมาะสม อีกทั้งต้องสามารถประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านพลังงานได้ [1] เช่น การแปรรูปเป็นถ่านไม้ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนฟืนหรือแก๊ซหุงต้ม หรือการผลิตเป็นปุ๋ยหมักเพื่อใช้ในทางเกษตร ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการหนึ่งในการจัดการขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ทางวิทยาลัยฯ ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการแปรรูปขยะประเภทชีวมวลให้สามารถประยุกต์ใช้ ในรูปแบบของพลังงานความร้อนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในภาคครัวเรือน จึงได้ให้ความสนใจในการผลิตการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)จากใบไม้ของต้นเต็งรัง เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนต่อไป

2. ทฤษฎี

2.1 Refuse - Derived Fuel (RDF)

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง หรือ RDF ที่ผลิตจากขยะ ต้องผ่านกระบวนการคัดแยกขยะที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ เช่น แก้วและโลหะต่าง ๆ ออก ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต ซึ่งจะเป็นการปรับปรุงและแปลงสภาพขยะมูลฝอย ให้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่มีคุณสมบัติในด้านค่าความร้อน (Heating Value) ความชื้น ขนาด และความหนาแน่น ที่เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนให้กับหม้อไอน้ำ หรือเตาเผา หรือในเตาแก๊สซิไฟร์ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าหรือความร้อนต่อไป [2]

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง RDF สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1 [3] ซึ่งแบ่งตามลักษณะของขยะเชื้อเพลิงและกระบวนการที่ใช้ในการจัดการขยะ

ตารางที่ 1 ชนิดและกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งRDF

ชนิด	กระบวนการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF 1MSW	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกด้วยมือ รวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่	Stoker
RDF 2 Coarse RDF	มีการบดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบๆ	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel Combustor
RDF 3 Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ออก เช่น โลหะ แก้วและอื่นๆ มีการบดหรือตัดจนทำให้ 95% ของขยะมูลฝอยที่ คัดแยกแล้ว มีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	Stoker
RDF 4	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้	Fluidized Bed Combustor,
Dust RDF	มาผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น	Pulverized Fuel Combustor
RDF 5 Densified RDF	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการ อัดแท่งโดยให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600 kg/m^3	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel Combustor
RDF 6 RDF Slurry	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการ ให้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงเหลวหรือ Slurry	Swirl Burner
RDF 7 RDF Syngas	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syngas ที่ใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงได้	Burner, Integrated Gasification-Combined Cycle (IGCC)

ที่มา มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2553)

2.2 การวิเคราะห์สมบัติด้านกายภาพของเชื้อเพลิง RDF-5

- การหาปริมาณความชื้น (Moisture Content)

การหาปริมาณความชื้น สามารถทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3173 โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์โดยให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (Drying Oven) ที่อุณหภูมิประมาณ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำระเหย ค่าความชื้น (M %) มาตรฐานเปียก ที่ได้สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$M = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \tag{2.1}$$

เมื่อ M = ค่าความชื้น (%)

A = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (g)

B = น้ำหนักตัวอย่างทดลองหลังอบ (g)

- การหาค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value)

ทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงตามมาตรฐาน ASTM D-240 ซึ่งสามารถวิเคราะห์โดยตรงทำได้โดยการนำตัวอย่างเชื้อเพลิงไปทดสอบหาค่าความร้อนจากเครื่อง Bomb Calorimeter โดยนำตัวอย่างเชื้อเพลิงมาเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในตัว Bomb ที่มีออกซิเจนอยู่ในปริมาณเกินพอ โดยกระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านฟิวส์ไปสัมผัสตัวอย่างเชื้อเพลิง เมื่อเกิดการเผาไหม้ตัวอย่างเชื้อเพลิงจนหมดเครื่อง Bomb Calorimeter จะอ่านค่าความร้อนผ่านสายไฟทั้งสองโดยมีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัม

- การทดสอบหาค่าความหนาแน่น (Density)

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์โดยนำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) จากใบเต็งรัง ไปชั่งน้ำหนัก และวัดความสูงของเชื้อเพลิง RDF-5 คำนวณจากสูตรหาปริมาตรทรงกระบอก แล้วจึงนำผลที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่นจากสูตร

$$D = \frac{M}{V} = \frac{4M}{\pi d^2 L} \tag{2.2}$$

เมื่อ D = ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)

d = ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 (m)

L = ค่าความสูงของขยะเชื้อเพลิง RDF-5 (m)

M = น้ำหนักตัวอย่างทดสอบก่อนอบ (g)

- การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อน สามารถคำนวณได้ดังนี้

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการทดสอบการเดือดของน้ำ (Water Boiling Test) เนื่องจากเป็นวิธีการทดสอบที่สภาวะคงตัว (Steady State) คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำคงที่และสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน และมีสภาวะการทดสอบที่ใกล้เคียงกับงานจริง

$$\eta = \frac{m_{wi}C_{pw}(T-T_i)+m_{w,evap}H_l}{m_fH_f} \qquad (2.3)$$

เมื่อ

m_{wi} = มวลของน้ำที่ใช้ในการต้ม (kg)

C_{pw} = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 4.186 kJ/kg. °C

$m_{w,evap}$ = มวลของน้ำที่ระเหย (kg)

m_f = มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้จริง (kg)

T = อุณหภูมิในการต้มน้ำ (°C)

T_i = อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (°C)

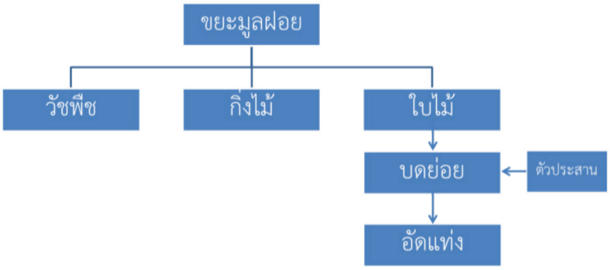
H_l = ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ เท่ากับ เท่ากับ 2,257 kJ/kg

H_f = ค่าความร้อนสูงสุดของตัวอย่างเชื้อเพลิง (kJ/kg)

3.วิธีการวิจัย

3.1วิธีการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)จากใบเต็งรัง

การบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจะเริ่มต้นจากการเก็บรวมรวมขยะจากแหล่งกำเนิดต่างๆ โดยคัดแยกชนิดของขยะออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ เศษวัชพืช เศษกิ่งไม้ และใบไม้ เป็นต้น และทำการนำใบไม้ที่รวบรวมและคัดแยกนำเข้าสู่กระบวนการ บดย่อย และอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งโดยแนวทางการบริหารจัดการขยะมูลฝอยแสดงในรูปที่ 1 และตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)จากใบเต็งรังที่ผลิตได้จะเข้าสู่กระบวนการทดสอบสมบัติทางกายภาพต่อไป



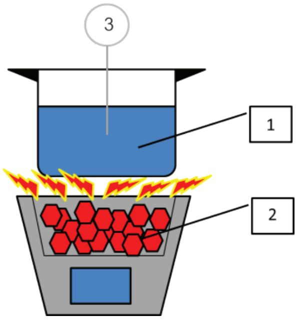
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการรวบรวม แยกขยะชีวมวล และผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

3.2 วิธีการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)จากใบเต็งรังที่ผลิตได้ จะถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงในการต้มน้ำที่มีน้ำหนัก 2 กิโลกรัม ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)จากใบเต็งรังตัวอย่างจำนวน 1 กิโลกรัม ซึ่งวิธีการทดสอบมีดังต่อไปนี้

1) ชั่งน้ำหนักของน้ำเปล่า ให้ได้ปริมาณ 2 กิโลกรัม (ตำแหน่งหมายเลข 1) ดังรูปที่ 2

2) ทำการชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ทำการทดสอบ ให้ได้ปริมาณ 1 กิโลกรัม (ตำแหน่งหมายเลข2)
3) ทำการจุดไฟให้กับเตาอังโล่ รอจนกว่าถ่านไม้ติดไฟ
4) ทำการตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำ(ตำแหน่งหมายเลข 3) ทุกๆ 1 นาที และทำการบันทึกข้อมูล
5) ทำการตรวจวัดอุณหภูมิความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)จากใบเต็งรังด้วยเครื่องมือทดสอบ ทุกๆ 1 นาที และทำการบันทึกข้อมูล
6) ทำการบันทึกข้อมูลจนกระทั่งน้ำในภาชนะเดือดจนถึงอุณหภูมิสูงที่สุด
7) นำข้อมูลมาวิเคราะห์และสรุปผลการดำเนินงาน
8) เปลี่ยนชนิดถ่านไม้ เป็นถ่านไม้ (ขายทั่วไปตามท้องตลาด) และเริ่มทดสอบตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งในการเก็บข้อมูลของเตาอังโล่

4.ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)

จากการทดสอบการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) จากใบไม้เต็งรัง โดยไม่ใช้ตัวประสาน พบว่าไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแท่งได้ จึงจำเป็นต้องมีการใช้แป้งมันเป็นตัวประสานที่ สัดส่วน 2% โดยน้ำหนักเป็นต้นไป ซึ่งผลการทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) จากใบเต็งรัง ได้ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพเชื้อเพลิง และเปรียบเทียบกับถ่านไม้ ดังตารางที่ 2 เนื่องจากชุมชนโดยทั่วไปยังคงมีการใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงหลักในหุงต้มอาหาร

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) จากใบไม้เต็งรัง เปรียบเทียบกับถ่านไม้

ตัวอย่าง	เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) จากใบเต็งรัง (ผสมแป้งมัน 2% โดยน้ำหนัก)	ถ่านไม้
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (MJ/kg)	18.65	23.93
ค่าความชื้น (%) มาตรฐานเปียก	8	6.18
ค่าความหนาแน่น (kg/cm^3)	0.86	0.67
ปริมาณเถ้า (%)	14.336	7.20

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)จากใบเต็งรัง เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านไม้ พบว่าค่าความร้อนเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าถ่านเป็น คิดเป็น 22% มีค่าความชื้นที่ 8% ซึ่งมีค่าความชื้นมากกว่าถ่านไม้ ส่วนค่าความหนาแน่น เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) มีค่าความหนาแน่นที่สูงกว่าถ่านไม้ และการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าที่เกิดขึ้นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) มีปริมาณที่สูง 14.336 % ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่เกินมาตราฐานเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานถ่านไม้

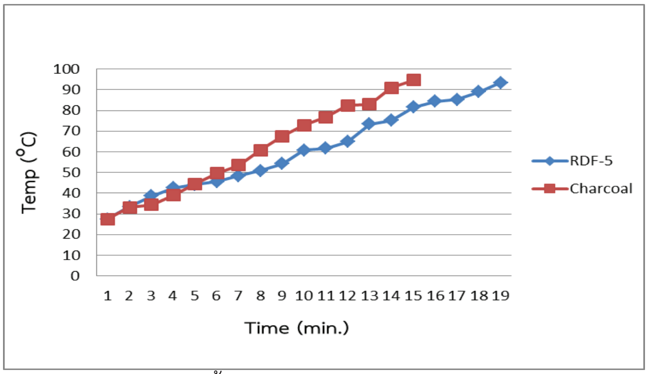
4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน แบบทดสอบการเดือดของน้ำ (Water Boiling Test) จากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)จากใบเต็งรัง ที่ผลิตได้กับเตาอังโล่

จากผลการดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพเตาอังโล่โดยวิธี Water Boiling Test โดยมีพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของเตาอังโล่

พารามิเตอร์	หน่วย kg
ปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)จากใบเต็งรัง ที่ใช้ทดสอบ	1
ปริมาณถ่านไม้ที่ใช้ทดสอบ	1
ปริมาณน้ำที่ใช้ทดสอบ	2

ผลการทดสอบโดยวัดค่า อุณหภูมิน้ำร้อน โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)จากใบเต็งรัง ในการต้มน้ำ เปรียบเทียบกับการใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงโดยทดสอบกับเตาอังโล่ผลการทดลองแสดงดังรูป 2 และตารางที่ 4



รูปที่ 2 ผลการทดสอบการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) จากใบเต็งรัง ในการต้มน้ำ เปรียบเทียบกับการใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงโดยทดสอบกับเตาอังโล่

จากรูปที่ 2 แสดงผลการทดสอบการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)จากใบเต็งรัง ในการต้มน้ำ เปรียบเทียบกับการใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงโดยทดสอบกับเตาอังโล่ พบว่าการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)จากใบเต็งรัง ใช้ระยะเวลาการต้มน้ำจนเดือดเป็นเวลา 18 นาที ซึ่งถือว่าใช้ระยะเวลาที่นานกว่าการใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง โดยถ่านไม้ใช้ระยะเวลา 14 นาที ทั้งนี้เนื่องจากเพลิงแข็ง (RDF-5) จากใบเต็งรัง มีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าถ่านไม้ จึงส่งผลให้ใช้ระยะเวลาที่ยาวนานกว่าการใช้ถ่านไม้อย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบเชื้อเพลิง (RDF-5)จากใบเต็งรัง และ ถ่านไม้ (ขายทั่วไปตามท้องตลาด) ด้วยวิธี Water Boiling Test

ชนิดเชื้อเพลิง	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิสุดท้าย (°C)	มวลน้ำเริ่มต้น(kg)	มวลน้ำสุดท้าย(kg)	มวลน้ำระเหย(kg)	เวลาที่ใช้ต้มน้ำ (นาที)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(%)
RDF-5	27.4	93.4	2	1.19	0.81	18	17.36
ถ่านไม้	27.5	94.6	2	1.30	0.70	14	14.60

จากข้อมูลในตารางที่ 4 พบว่า การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) จากใบเต็งรัง ทดสอบในเตาอังโล่ โดยใช้เชื้อเพลิงจำนวน 1 กิโลกรัม ทำการการต้มน้ำจำนวน 2 กิโลกรัม สามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้ที่ 93.4 °C และทำอุณหูมิสูงสุดได้ใกล้เคียงกับการใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง ที่ 94.6 °C ทั้งนี้การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) จากใบเต็งรังจะใช้ระยะเวลาต้มน้ำจนเดือด จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาที่นานกว่าการใช้ถ่านไม้ เป็นเวลา 4 นาที และมีปริมาณมวลน้ำระเหย ที่มากกว่าการใช้ถ่านคิดเป็น 13.58% และเมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเตาพบว่า เตาที่ ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) จากใบเต็งรัง มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 17.36% และเมื่อเปรียบเทียบกับเตาที่ ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิง มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 14.60% ตามลำดับ

5.สรุปผลการวิจัย

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5)จากใบเต็งรัง สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนถ่านได้ ทั้งนี้ในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องมีการใช้แป้งมันเป็นส่วนผสม จึงจะสามารถอัดขึ้นรูปได้ โดยลักษณะตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) จากใบเต็งรัง ที่มีสัดส่วนผสมของแป้งมัน 2% โดยน้ำหนัก มีสมบัติทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าถ่านไม้ โดยพบว่าค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าเท่ากับ 18.65 MJ/kg และมีค่าความชื้นเท่ากับ 8% ค่าความหนาแน่น 0.86 kg/cm^3 ปริมาณเถ้า 14.336 % ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง(RDF-5) ยังคงสามารถใช้ทดแทนถ่านได้ในระดับหนึ่ง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ไพสิฐ พาณิชย์กุล และเหมือนจิต แจ่มศิลป์ (2554), รายงานโครงการวิจัย เรื่อง การสาธิตการเปลี่ยนขยะในมหาวิทยาลัยเป็นพลังงานในรูปความร้อน, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน(2548)

[3] มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2552), http://www.efe.or.th

[4] Nithikul, J. (2007), Potential of Refuse Derived Fuel Production from Bangkok Municipal Solid Waste, School of Environment, Resources and Development, Asian Institute of Technology, Thailand

การสึกหรอของชิ้นงานที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพสังเคราะห์เปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม

The Comparison of Sample wear by using Synthetic Biolubricants and Petroleum Based Lubricants

รัชฎาภรณ์ อินเกิด[1*] ณัฐวุฒิ ดุษฎี[1] และศิรินุช จินดารักษ์[2]
[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2] คณะวิทยาสาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากน้ำมันพืช โดยการนำน้ำมันปาล์มโอเลอินและน้ำมันพืชใช้แล้ว มาผ่านการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่น ซึ่งจะใช้สารตัวเติมเอทาลีนไกลคอล ไตรเมทิลออลโพรเพรน และเพนตะอีริทริทอล ที่อัตราส่วนเชิงโมลเท่ากับ 3:0.8 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ 0.9% w/w ที่อุณหภูมิ 130°C ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง และใช้น้ำเย็นในการควบแน่นสารระเหยที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ที่ความดันบรรยากาศ จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ การสึกหรอและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน โดยเปรียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม (150-SN) จากการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม สามารถใช้งานได้ตามเกณฑ์ของน้ำมันเกรดเดี่ยว SAE 20 ผลการทดสอบการสึกหรอและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้ทำการทดสอบกับโลหะ 3 ชนิด (ทองเหลือง เหล็ก และอลูมิเนียม) ร่วมกับผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ พบว่าการสึกหรอไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบการใช้กับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม (150-SN) และมีค่าสัมประสิทธิ์ แรงเสียดทานอยู่ในช่วง 0.23-0.29 (ทองเหลือง) 0.26-0.27 (เหล็ก) 0.15-0.16 (อลูมิเนียม) ทั้งนี้ สามารถเติมสารเพิ่มคุณภาพเพื่อพัฒนาคุณสมบัติให้เหมาะสมต่อการใช้งานอื่นๆ ได้

คำสำคัญ: น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพ กระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชั่น พฤติกรรมการสึกหรอ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

[*]Corresponding author: Tel.: 082-3993517. E-mail address: Ratchadaporn.ik@gmail.com

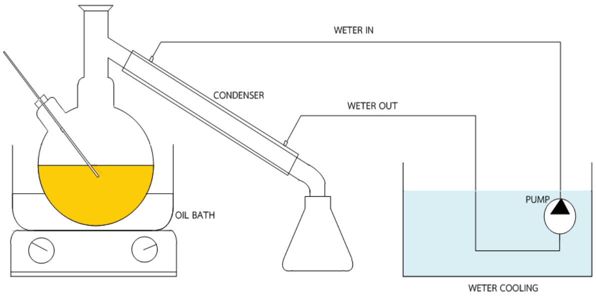
บทนำ

การหล่อลื่น (Lubrication) หมายถึงการหล่อลื่นในลักษณะเปียกที่ใช้หล่อลื่นเพลาต่างๆ ของเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรกลต่างๆ ไม่มีผิวหน้าของชิ้นงานใดที่สามารถทำให้เรียบอย่างแท้จริงได้ ถึงแม้ว่าจะมองดูด้วยตาเปล่าว่าเรียบแต่เมื่อนำไปส่องดูด้วยกล้องขยายจะพบว่าผิวหน้าของชิ้นงานยังมีรอยขรุขระอยู่ ถ้าชิ้นงานมีการเคลื่อนไหวเสียดสีกันจะทำให้เกิดความร้อนและเกิดการสึกหรอ ถ้ามีน้ำมันหล่อลื่นเป็นตัวกั้นอยู่ระหว่างผิวหน้าชิ้นงานทั้งสอง น้ำมันหล่อลื่นจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางป้องกันไม่ให้ผิวหน้าชิ้นงานกระทบกันโดยตรง และจะช่วยลดการสึกหรอ ความลื่นของน้ำมันจะช่วยให้ชิ้นงานทั้งสองเคลื่อนไหวผ่านไปได้สะดวก แผ่นบางๆ ของน้ำมันหล่อลื่นที่เคลือบผิวหน้าชิ้นงาน ทั้งสองเราเรียกว่า ฟิล์มน้ำมัน (Oil Film) [1] น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพ (Biolubricant) เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันพืช (Vegetable Oil) ที่มีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก (เช่น น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันคาโนลา, น้ำมันจากเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันปาล์ม) ซึ่งไตรกลีเซอไรด์เป็นสารประกอบจำพวกเอสเทอร์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันสามโมเลกุลรวมตัวกับกลีเซอรอลหนึ่งโมเลกุล โดยกรดไขมันจะประกอบไปด้วย กรดพาล์มมิติก, กรดโอเลอิก, และกรดลิโนเลนิก [2] เมื่อเปรียบเทียบน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันพืชกับน้ำมันหล่อลื่นที่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันพืชจะมีลักษณะเด่นทางด้านสิ่งแวดล้อม มีการระเหยที่ต่ำและค่าดัชนีความหนืดที่สูงกว่า เนื่องมาจากมีโครงสร้างทางเคมีที่ซับซ้อนและมวลโมเลกุลที่สูงของน้ำมันพืช รวมไปถึงไม่มีองค์ประกอบของโลหะหนัก ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติที่ดีของสารหล่อลื่น แต่น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันพืชจะมีข้อเสียคือ จะไม่มีประสิทธิภาพการใช้งานในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ และมีความคงทนต่อการออกซิเดชั่นที่ต่ำ เนื่องมาจากโครงสร้างทางธรรมชาติของน้ำมันพืชมีอัตราส่วนของกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันประเภทอิ่มตัวสูง และความเสถียรภาพทางความร้อนก็ต่ำด้วยเช่นกัน จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะทำการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากน้ำมันพืช เพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

วิธีการวิจัย

การสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพ

น้ำมันที่เลือกใช้สำหรับการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพเป็นวัตถุดิบที่ได้จากผลผลิตทางเกษตรและวัตถุดิบที่เหลือจากการใช้งานซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ น้ำมันจากปิโตรเลียม ที่มีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยน้ำมันที่นำมาใช้สำหรับการสังเคราะห์คือ น้ำมันปาล์มโอเลอิน และน้ำมันพืชใช้แล้ว ในการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจะใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่นเป็นกระบวนการในการสังเคราะห์ โดยมีขั้นตอนดังนี้ ชั่งน้ำมันที่ผ่านการเตรียมแล้วในปริมาณ 300 g เติมลงในขวดก้นกลม 2 คอ ที่ต่อกับชุดรีฟลักซ์คอนเดนเซอร์แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จากนั้นให้ความร้อนกับน้ำมันที่ตั้งอยู่ในอ่างน้ำมัน โดยใช้เครื่องให้ความร้อนและแท่งกวนแม่เหล็ก (Hotplate and Stirrer) ให้ถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เติมสารตัวเติมเพื่อเพิ่มคุณภาพ ได้แก่ เอทาลีนไกลคอล (Ethylene Glycol) ไตรเมทิลออลโพรเพรน (Trimethylolpropane) และเพนตะอีริทริทอล (Pentaerythritol) ในสัดส่วนโมล 3:0.8 เมื่ออุณหภูมิของสารละลายผสมเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิที่กำหนด เติมตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ในอัตราส่วน 0.9% w/w ลงในสารละลายผสมข้างต้น ควบคุมอุณหภูมิที่ 130 °C ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง โดยจะใช้ปั๊มน้ำเย็นในการควบแน่นสารระเหยที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออก เพื่อป้องกัน การเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เมื่อเกิดปฏิกิริยาครบตามกำหนดแล้ว นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาแยกชั้น และล้างน้ำกลั่นโดยใช้น้ำล้างครั้งละ 20% ของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้หรือมากกว่า หลังจากนั้นนำไปต้มไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 °C จนกว่าน้ำมันจะใส แล้วจึงนำตัวอย่างที่ได้ไปผ่านการกรอง ได้เป็นน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์

การทดสอบแรงเสียดทานการสึกหรอ

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) และการสึกหรอ จะทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงเสียดทานและการสึกหรอ (Wear Friction ตามมาตรฐาน ASTM G 133-95 อุปกรณ์ในการทดสอบแรงเสียดทานและการสึกหรอ คือเครื่อง Wear Friction Tribometer (Pin on Disk) รุ่น ISC-200

การทดสอบหาค่าการสึกหรอ (Pin On Disk) และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF) เป็นการทดสอบของตัวอย่างน้ำมันที่มีคุณสมบัติดีที่สุดของสารตัว ทั้ง 2 ชนิด เปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม Base Oil: 150-SN ในการใช้งานเคลือบผิวเพื่อหล่อลื่นชิ้นงาน 3 ประเภทคือ ทองเหลือง เหล็ก และอลูมิเนียม โดยจะใช้อักษรย่อแทนชื่อชิ้นงานและผลิตภัณฑ์ที่ใช้ดังนี้

BUO คือ ทดสอบการหล่อลื่นชิ้นงานทองเหลืองด้วยผลิตภัณฑ์หล่อลื่นสังเคราะห์จากน้ำมันพืชใช้แล้วกับไตรเมทิลออลโพรเพรน

BPO คือ ทดสอบการหล่อลื่นชิ้นงานทองเหลืองด้วยผลิตภัณฑ์หล่อลื่นสังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินกับเพนตะอีริทริทอล

BSD คือ ทดสอบการหล่อลื่นชิ้นงานทองเหลืองด้วยน้ำมันน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน Base Oil: 150-SN

IUO คือ ทดสอบการหล่อลื่นชิ้นงานเหล็กด้วยผลิตภัณฑ์หล่อลื่นสังเคราะห์จากน้ำมันพืชใช้แล้วกับไตรเมทิลออลโพรเพรน

IPO คือ ทดสอบการหล่อลื่นชิ้นงานเหล็กด้วยผลิตภัณฑ์หล่อลื่นสังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินกับเพนตะอีริทริทอล

ISD คือ ทดสอบการหล่อลื่นชิ้นงานเหล็กด้วยน้ำมันน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน Base Oil: 150-SN

AUO คือ ทดสอบการหล่อลื่นชิ้นงานอลูมิเนียมผลิตภัณฑ์หล่อลื่นสังเคราะห์จากน้ำมันพืชใช้แล้วกับไตรเมทิลออลโพรเพรน

APO คือ ทดสอบการหล่อลื่นชิ้นงานอลูมิเนียมผลิตภัณฑ์หล่อลื่นสังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินกับเพนตะอีริทริทอล

ASD คือ ทดสอบการหล่อลื่นชิ้นงานอลูมิเนียมน้ำมันน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน Base Oil: 150-SN

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หล่อลื่นชีวภาพที่สังเคราะห์ได้

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หล่อลื่นชีวภาพที่สังเคราะห์ได้โดยนำคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้มาเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์หล่อลื่นชีวภาพที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยอื่น และน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม (Base Oil:150-SN) ที่ยังไม่ได้มีการเติมสารเพิ่มคุณภาพจากบริษัท พี ไว จำกัด การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้กับผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยอื่นจะใช้ผลิตภัณฑ์หล่อลื่นชีวภาพที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดมาเปรียบกับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากงานวิจัยของ จิต โศภิน (2550) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากงานวิจัยของ Yunus และเปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ยังไม่มีการเพิ่มสารเติมแต่ง Base Oil: 150-SN โดยจะเปรียบเทียบค่าความหนืด ค่าดัชนีความหนืด จุดวาบไฟ และจุดไหลเท ซึ่งผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จะแสดงดังตารางที่ 1

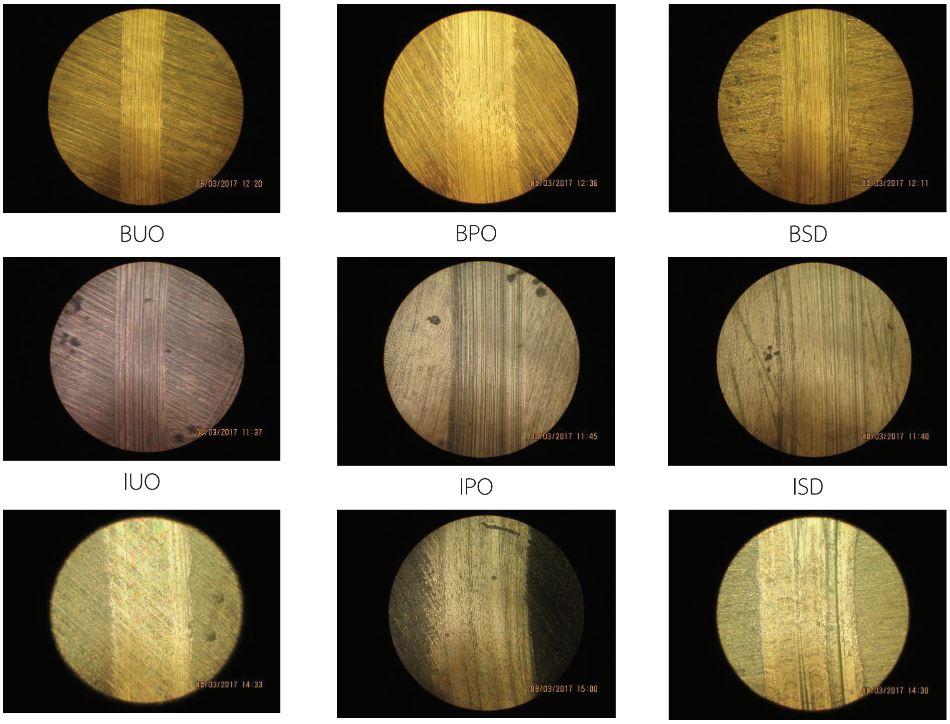
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้กับงานวิจัยอื่นและน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม

ผลิตภัณฑ์หล่อลื่นชีวภาพสังเคราะห์		ค่าความหนืด,cSt		ดัชนีความหนืด (VI)	จุดวาบไฟ (°C)	จุดไหลเท (°C)
วัตถุดิบ	**สารตัวเติม**	**40°C**	**100°C**			
น้ำมันปาล์มโอเลอิน	Ethylene glycol	34.13	7.00	173	255	7
	Trimethylolpropane	58.12	8.17	109	178	4
	Pentaerythritol	40.24	8.44	193	290	-2
น้ำมันพืชใช้แล้ว	Ethylene glycol	33.47	7.23	186	283	4
	Trimethylolpropane	41.10	8.71	198	287	-3
	Pentaerythritol	37.49	8.18	201	281	3
น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม (Base Oil: 150-SN) [3]		29.21	5.13	104	218	-9
งานวิจัยของจิตโศภิน [4]		24.28	6.30	217	246	6
งานวิจัยของ Yunus และคณะ [5]		49.70	9.80	187	304	-1

ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ทุกชนิดมีค่าความหนืดที่ 40 ℃ และ 100 ℃ อยู่ในช่วง 33.47-58.12 และ 7.00-8.71 cSt ค่าดัชนีความหนืดอยู่ในช่วง 109-201 ค่าจุดวาบไฟอยู่ในช่วง 178-290 และค่าจุดไหลเทต่ำสุดเท่ากับ -3 °C ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม (Base Oil: 150-SN) จัดอยู่ในเกณฑ์คุณสมบัติของน้ำมันเกรดเดี่ยว SAE 20 และไม่สามารถใช้งานในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ยังไม่ได้มีการเพิ่มสารคุณภาพในด้านต่างๆ ถ้ามีการเติมสารเพิ่มคุณภาพแล้วสามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานของน้ำมันหล่อลื่นได้ และผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติดีที่สุดของสารตัวเติมทั้ง 2 ชนิด คือ ผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันพืชใช้แล้วร่วมกับไตรเมทิลออลโพรเพรน และผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินร่วมกับเพนตะอีริทริทอล

ผลความต้านทานการสึกหรอและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

การสึกหรอและแรงเสียดทานของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติดีที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันพืชใช้แล้วร่วมกับไตรเมทิลออลโพรเพรน และผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินร่วมกับเพนตะอีริทริทอล เปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม Base Oil: 150-SN จะพบว่าน้ำมันที่สังเคราะห์ได้มีค่าของการสึกหรอชิ้นงาน ทองเหลือง เหล็ก และอลูมิเนียม ใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม แต่น้ำมันหล่อลื่นที่สังเคราะห์นั้นส่งผลต่อการ สึกหรอของชิ้นงาน สาเหตุอาจจะเนื่องมาจากการตกค้างของสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

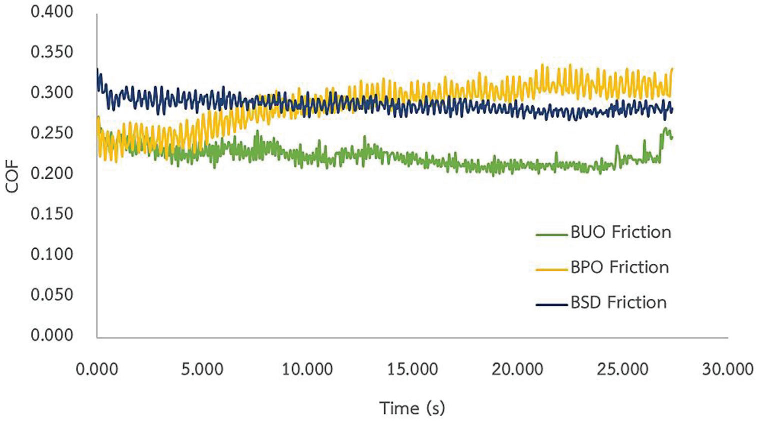


ภาพที่ 2 การเสียดทานของการหล่อลื่นในแต่ละชิ้นงาน

จากภาพที่ 2 แสดงการสึกหรอและแรงเสียดทานของผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันพืชใช้แล้วร่วมกับไตรเมทิลออลโพรเพรน และผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินร่วมกับเพนตะอีริทริทอล เปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม Base Oil: 150-SN จะพบว่าน้ำมันที่สังเคราะห์ได้มีค่าของการสึกหรอชิ้นงาน ทองเหลือง เหล็ก และอลูมิเนียม ใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม แต่น้ำมันหล่อลื่นที่สังเคราะห์นั้นส่งผลต่อการกัดกร่อนของชิ้นงาน สาเหตุอาจจะเนื่องมาจากการตกค้างของสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

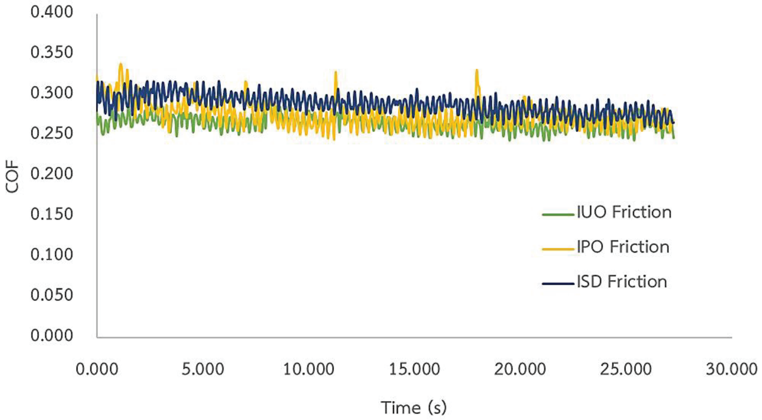
ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

ตัวอย่าง	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COF)
BUO	0.23
BPO	0.29
BSD	0.31
IUO	0.27
IPO	0.26
ISD	0.28
AUO	0.15
APO	0.16
ASD	0.20



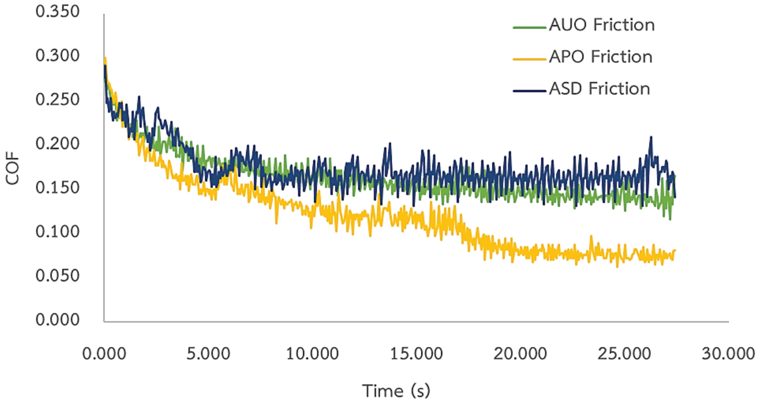
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับ
ระยะเวลาในการหล่อลื่นชิ้นงานจากทองเหลือง

จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับระยะเวลาในการหล่อลื่นชิ้นงานจากทองเหลือง โดยใช้ผลิตภัณฑ์ ทั้ง 3 ชนิด เป็นสารหล่อลื่นดังภาพที่ 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันใช้แล้วไตรเมทิลออลโพรเพรนมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำที่สุด รองลงมา คือน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม และผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินร่วมกับ เพนตะอีริทริทอล ตามลำดับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานมีค่าต่ำมากเท่าไรจะหมายความว่าผลิตภัณฑ์หล่อลื่นที่ใช้มีประสิทธิภาพในการลดแรงเสียดทานต่อวัตถุชิ้นนั้นได้ดี



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับ
ระยะเวลาในการหล่อลื่นชิ้นงานจากเหล็ก

จากภาพที่ 4 ค่าการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับระยะเวลาในการหล่อลื่นชิ้นงานจากเหล็ก โดยใช้ผลิตภัณฑ์ ทั้ง 3 ชนิด เป็นสารหล่อล่อลื่น จะเห็นได้ว่าลักษณะกราฟของสัมประสิทธ์แรงเสียดทานมีค่าค่อนข้างต่ำและสม่ำเสมอ สาเหตุเนื่องมาจากชิ้นงานเหล็กมีลักษณะค่อนข้างแข็งจึงทำให้เกิดการสึกกร่อนได้ยาก



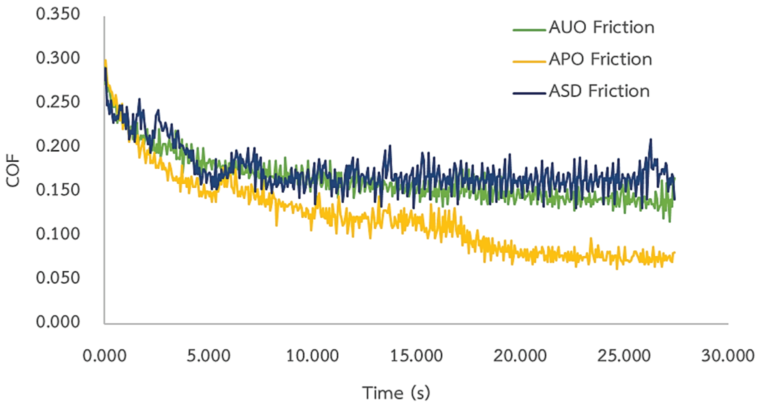
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับ
ระยะเวลาในการหล่อลื่นชิ้นงานจากอลูมิเนียม

จากภาพที่ 5 แสดงค่าการเปรียมเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับระยะเวลาในการหล่อลื่นชิ้นงานจากอะลูมิเนียม โดยใช้ผลิตภัณฑ์ ทั้ง 3 ชนิด เป็นสารหล่อลื่น พบว่าเมื่อระยะเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นรอยของการเสียดทานจะมีค่าลดต่ำลงเรื่อยๆ เนื่องมาจากอะลูมิเนียมมีพื้นผิวหน้าชิ้นงานที่อ่อนกว่าวัสดุชิ้นอื่น จึงทำให้น้ำมันหล่อลื่นเกิดการกัดกร่อนของชิ้นงานในช่วงแรก

จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับระยะเวลาในการหล่อลื่นชิ้นงานจากทองเหลือง เหล็ก และอลูมิเนียม โดยใช้ผลิตภัณฑ์ ทั้ง 3 ชนิด เป็นสารหล่อลื่นดังภาพที่ 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันใช้แล้วไตรเมทิลออลโพรเพรนมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำที่สุด รองลงมา คือน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม และผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินร่วมกับ เพนตะอีริทริทอล ตามลำดับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานมีค่าต่ำมากเท่าไรจะหมายความว่าผลิตภัณฑ์หล่อลื่นที่ใช้มีประสิทธิภาพในการลดแรงเสียดทานต่อวัตถุชิ้นนั้นได้ดี

สรุปผลการวิจัย

การสึกกร่อนและแรงเสียดทานของผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันพืชใช้แล้วร่วมกับไตรเมทิลออลโพรเพรน และผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินร่วมกับเพนตะอีริทริทอล เปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม Base Oil: 150-SN จะพบว่าน้ำมันที่สังเคราะห์ได้มีค่าของการสึกกร่อนชิ้นงาน ทองเหลือง เหล็ก และอลูมิเนียม ใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม เนื่องจากไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งสามารถยอมรับสมมติฐานได้ คือ ค่า P-value มีค่ามากกว่า α ที่กำหนด และค่า F ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า F-critical สำหรับ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COP) ยิ่งมีค่าน้อย แสดงว่าสามารถทนต่อการสึกกร่อนสูง ทนต่อแรงเสียดทานได้ดีโดยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่อชิ้นงานทองเหลือง เหล็ก และอลูมิเนียมมีค่าอยู่ในช่วง 0.23-0.29, 0.26-0.27 และ 0.15-0.16 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันพืชใช้แล้วร่วมกับไตรเมทิลออลโพรเพรน และผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินร่วมกับเพนตะอีริทริทอลมีค่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่อชิ้นงาน ทั้ง 3 ชนิด มีค่าที่ต่ำและใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม Base Oil: 150-SN



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับระยะเวลาในการหล่อลื่นชิ้นงานจากอลูมิเนียม

จากภาพที่ **5** แสดงค่าการเปรียมเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับระยะเวลาในการหล่อลื่นชิ้นงานจากอะลูมิเนียม โดยใช้ผลิตภัณฑ์ ทั้ง 3 ชนิด เป็นสารหล่อลื่น พบว่าเมื่อระยะเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นรอยของการเสียดทานจะมีค่าลดต่ำลงเรื่อยๆ เนื่องมาจากอะลูมิเนียมมีพื้นผิวหน้าชิ้นงานที่อ่อนกว่าวัสดุชิ้นอื่น จึงทำให้น้ำมันหล่อลื่นเกิดการกัดกร่อนของชิ้นงานในช่วงแรก

จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานกับระยะเวลาในการหล่อลื่นชิ้นงานจากทองเหลือง เหล็ก และอลูมิเนียม โดยใช้ผลิตภัณฑ์ ทั้ง 3 ชนิด เป็นสารหล่อลื่นดังภาพที่ 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันใช้แล้วไตรเมทิลออลโพรเพรนมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำที่สุด รองลงมา คือน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินร่วมกับ เพนตะอีริทริทอล ตามลำดับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานมีค่าต่ำมากเท่าไรจะหมายความว่าผลิตภัณฑ์หล่อลื่นที่ใช้มีประสิทธิภาพในการลดแรงเสียดทานต่อวัตถุชิ้นนั้นได้ดี

สรุปผลการวิจัย

การสึกกร่อนและแรงเสียดทานของผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันพืชใช้แล้วร่วมกับไตรเมทิลออลโพรเพรน และผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินร่วมกับเพนตะอีริทริทอล เปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม Base Oil: 150-SN จะพบว่าน้ำมันที่สังเคราะห์ได้มีค่าของการสึกกร่อนชิ้นงาน ทองเหลือง เหล็ก และอลูมิเนียม ใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม เนื่องจากไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งสามารถยอมรับสมมติฐานได้ คือ ค่า P-value มีค่ามากกว่า α ที่กำหนด และค่า F ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า F-critical สำหรับ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (COP) ยิ่งมีค่าน้อย แสดงว่าสามารถทนต่อการสึกกร่อนสูง ทนต่อแรงเสียดทานได้ดีโดยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่อชิ้นงานทองเหลือง เหล็ก และอลูมิเนียมมีค่าอยู่ในช่วง 0.23-0.29, 0.26-0.27 และ 0.15-0.16 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันพืชใช้แล้วร่วมกับไตรเมทิลออลโพรเพรน และผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์มโอเลอินร่วมกับเพนตะอีริทริทอลมีค่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่อชิ้นงาน ทั้ง 3 ชนิด มีค่าที่ต่ำและใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม Base Oil: 150-SN

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนในโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตศึกษาทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ และขอขอบคุณศูนย์บริการวิชาการที่ 7 จังหวัดเชียงใหม่ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน) ที่เอื้อเฟื้อวัสดุและอุปกรณ์ในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ประเสริฐ เทียนนิมิต ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์ และป่านเพชร ชินิทร. (2554). **หนังสือเชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[2] Madamkar, C. S., Dalai A. K. and Naik, S. N. (2013). Green synthesis of biolubricant base stock from canola oil. **Industrial Crops and Products**. 44, 139-144.

[3] บริษัท พี.ไว. จำกัด. (2551). **PRODUCT SPECIFICATIONBASE OIL** : 150-SN. กรุงเทพฯ: บริษัท พี.ไว. จำกัด.

[4] จิตโศภิน นิยมสกุล. (2548). **การสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นคุณภาพสูงจากกระบวนการ ทรานเอสเทอริฟิเคชั่นของสารประกอบเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มโดยใช้ไตรเมทิลออลโพรเพน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ.

[5] Yunus, R., Fakhru, A., Ooi, L., Iyuke E. and Idris, A. 2003. Development of optimum synthesis method for transesterification of palm oil methyl esters and trimethylolpropne to environmentally acceptable palm oil-based lubricant. **Journal of Oil Palm Research**, 15(2), 35-41.

การวิเคราะห์คุณสมบัติและต้นทุนการผลิตถ่านชีวภาพ โดยใช้กระบวนการไพโรไลซิส

Analysis of Properties and Costs of Biochar Production with Using Pyrolysis Process

ประภัสสร รัตนไพบูลย์, นิกราน หอมดวง[1] ณัฐวุฒิ ดุษฎี, ชูรัตน์ ธารารักษ์, อัครินทร์ อินทนิเวศน์

วิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงาทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติและต้นทุนการผลิตถ่านชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้แกลบ และซังข้าวโพด เป็นชีวมวล อุณหภูมิไพโรไลซิส คือ 300 และ 400 $^{\circ}$C ระยะเวลา 40 และ 60 min ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจน โดยใช้เตาฮีทเตอร์ในการผลิตถ่านชีวภาพ สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตถ่านจะใช้เครื่องผลิตถ่านชนิดให้ความร้อนด้วยก๊าซหุงต้ม พบว่าอุณหภูมิไพโรไลซิสเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลให้ถ่านชีวภาพมีคุณภาพเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การเพิ่มระยะเวลาส่งผลให้คุณภาพถ่านชีวภาพไม่แตกต่างกันนักที่อุณหภูมิเดียวกัน การเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิสจะทำถ่านชีวภาพมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงขึ้น โดยที่ถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดอุณหภูมิ 400 $^{\circ}$C ระยะเวลา 60 min มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุดคือ 51.88% และค่าความร้อนสูงคือ 23.95 MJ/kg นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิไพโรไลซิสสูงนี้ยังส่งผลให้มีอัตราการใช้พลังงานสูงคือ 37.06 kWh/kg โดยต้นทุนในการผลิตถ่านชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ 8.99 Baht/kg ที่การทดลอง 1 kg/ครั้ง ขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบการใช้ชีวมวลเป็นแหล่งความร้อนทดแทนก๊าซหุงต้มจะทำให้ลดต้นทุนในการผลิตถ่านลดลง 83-86%

คำสำคัญ: ชีวมวล ถ่านชีวภาพ ไพโรไลซิส ปริมาณคาร์บอนคงตัว อัตราการใช้พลังงาน

[1]Corresponding author: Tel.: 084-1773632 E-mail nigranghd@gmail.com

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม สามารถผลิตพืชอาหารเพื่อบริโภคทั้งภายในประเทศ และส่งออกภายนอกประเทศ ดินจึงเป็นปัจจัยความสำคัญอย่างยิ่งในการเพาะปลูก ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาดินเสื่อมคุณภาพเนื่องจากการทำเกษตรกรรมแบบต่อเนื่อง และขาดการปรับปรุงดินที่เป็นปัจจัยในการทำให้อัตราการย่อยสลายอินทรียวัตถุในดินมีปริมาณลดลง และทำให้สูญเสียอินทรียวัตถุจากองค์ประกอบของดิน [1] การใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงคุณภาพดินเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ถ่านชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแยกสลายทางความร้อนที่เรียกว่า ไพโรไลซิส เป็นกระบวนทางความร้อนในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยปราศจากอากาศหรือมีปริมาณอากาศอย่างจำกัด [2] ถ่านชีวภาพที่ได้จะมีคาร์บอนเป็นประกอบหลัก ซึ่งคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบของถ่านชีวภาพนี้จะมีความเสถียรสามารถกักเก็บไว้ในดินได้นาน เป็นแหล่งกักเก็บอาหารและความชื้น เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ที่ช่วยย่อยอาหารให้แก่พืชทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ [3] นอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในรูปแบบพลังงาน เพราะมีค่าความร้อนที่สูงกว่าถ่านไม้ทั่วไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจการนำวัสดุทางการเกษตรที่มีปัญหาในการเผาทำลายในเขตภาคเหนือ ได้แก่ แกลบ และซังข้าวโพด มาผลิตเป็นถ่านชีวภาพ เพื่อลดปัญหาทางด้านหมอกควันโดยศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ปริมาณคาร์บอนคงตัว อัตราการใช้พลังงานและต้นทุนในการผลิตถ่านชีวภาพ

วิธีการวิจัย

เครื่องมือในการผลิตถ่านชีวภาพ

ในการทดสอบผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนไพโรไลซิส เครื่องมือผลิตถ่านชีวภาพเพื่อการวิเคราะห์ผลกระทบจากอุณหภูมิและเวลาจะใช้เครื่องวิเคราะห์ระดับห้องปฏิบัติการ ส่วนการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตถ่านจะใช้เครื่องผลิตถ่านชนิดให้ความร้อนด้วยก๊าซหุงต้ม โดยทั้งสองเครื่องนี้เวลาทดสอบจะใช้ตัวแปรเดียวกัน เครื่องผลิตถ่านระดับห้องปฏิบัติการเป็นเตาเผาแบบใช้ความร้อนจากฮีทเตอร์ที่ใช้ขดลวดไฟฟ้าเป็นแหล่งความร้อน ใช้กำลังไฟฟ้าให้กับขดลวดฮีทเตอร์ 5,000 W แรงดันไฟฟ้า 220 V ที่ความถี่ 50 Hz สามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้ 1,500 °C ส่วนเตาผลิตถ่านชีวภาพสำหรับการทดสอบนำร่องครั้งละ 1 kg จะใช้ก๊าซหุงต้มเป็นแหล่งความร้อน ลักษณะของเตาเป็นทรงกระบอก สามารถจุชีวมวลในการผลิตครั้งละ 1 kg ส่วนประกอบทั่วไปของเตาประกอบไปด้วย ห้องเผาไหม้ หัวเตาก๊าซและชุดมอเตอร์และเกียร์ทดที่มีขนาด 1 HP (0.75 kW) มีอัตราการหมุนของห้องเผาไหม้คือ 0.15 rpm

วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ใช้ แกลบและซังข้าวโพดเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านชีวภาพ ชีวมวล 2 ชนิดนี้เป็นชีวมวลที่พบมากในเขตภาคเหนือการทดสอบเริ่มต้นจากการนำเอาชีวมวลทั้ง 2 ชนิด มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C ทำการบดย่อยให้ได้ขนาด 1 mm (16 mesh) นำไปทดสอบกับเครื่องมือผลิตถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิไพโรไลซิส คือ 300 และ 400 °C เป็นระยะเวลา 40 และ 60 min โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนไหลเวียนในกระบวนการ จากนั้นนำชีวมวลไปทดสอบและวิเคราะห์ผลทางเคมีโดยวิธีวิเคราะห์โดยประมาณ ส่วนการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ต้นทุน กระบวนการการเตรียมและการทดสอบจะเหมือนกับการทดสอบในระดับปฏิบัติการแตกต่างกันเพียงปริมาณชีวมวลที่ทดลองและเชื้อเพลิงที่ป้อนเป็นแหล่งพลังงานความร้อนเท่านั้น

การวิเคราะห์คุณสมบัติ

การวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านชีวภาพ ทำการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) ด้วยการหาค่าความชื้น โดยนำตัวอย่างมาอบที่อุณหภูมิ 105 ^{o}C ระยะเวลา 3 h ตามมาตรฐาน ASTM D2867-04 ปริมาณสารระเหย ทำการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 750 ^{o}C ระยะเวลา 7 min ตามมาตรฐาน ASTM D 5832-96 ปริมาณเถ้าตามมาตรฐาน ASTM D 2866-94 เผาที่อุณหภูมิ 650 ^{o}C ระยะเวลา 3 h [4] คำนวณหาปริมาณคาร์บอนคงตัวจากสมการที่ (1) [5] และวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงจากสมการที่ (2) [6] วิเคราะห์อัตราการใช้พลังงาน และต้นทุนในการผลิตถ่านชีวภาพ นอกจากนี้ทำการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ของชีวมวล ที่ห้องปฏิบัติการธรณี โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

$$FC\ (\%) = 100 - (MC + VM + Ash) \quad (1)$$

$$HHV\ (MJ/kg) = 0.3536FC + 0.1559VM - 0.0078Ash \quad (2)$$

เมื่อ FC คือ ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%), MC คือ ความชื้น (%), VM คือ ปริมาณสารระเหย (%) Ash คือ ปริมาณเถ้า (%) และ HHV คือ ค่าความร้อนสูง (MJ/kg)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลแกลบและซังข้าวโพด

การวิเคราะห์คุณสมบัติของแกลบและซังข้าวโพด ด้วยการวิเคราะห์โดยประมาณ พบว่าซังข้าวโพดมีค่ามากกว่าแกลบ ดังตารางที่ 1 ซึ่งเป็นผลมากจากซังข้าวโพดมีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบไปด้วย คาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), ออกซิเจน (O), ไนโตรเจน (N) และซัลเฟอร์ (S) ที่มากกว่าแกลบ คือ 46.39%, 6.05%, 40.67%, 0.04% และ 0.00% ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 ทำให้ซังข้าวโพดมีความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงกว่าแกลบ คือ 11.44±0.18%, 83.23±2.03%, 2.40±0.66% และ 2.93% ตามลำดับ การที่ซังข้าวโพดมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงส่งผลให้ค่าความร้อนสูงตามไปด้วย คือ 13.99 MJ/kg ในขณะที่แกลบมีค่าความร้อน 12.87 MJ/kg อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนกับงานวิจัยอื่น พบว่ามีปริมาณคาร์บอนคงตัวที่แตกต่างกัน เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ในขณะที่ค่าความร้อนจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนคงตัวของแกลบอยู่ในช่วง 13-15% และซังข้าวโพดอยู่ในช่วง 11-16% ในขณะที่ค่าความร้อนของแกลบอยู่ในช่วง 15-17 MJ/kg และ ซังข้าวโพดอยู่ในช่วง 15-18 MJ/kg [7-10]

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์โดยประมาณของชีวมวล

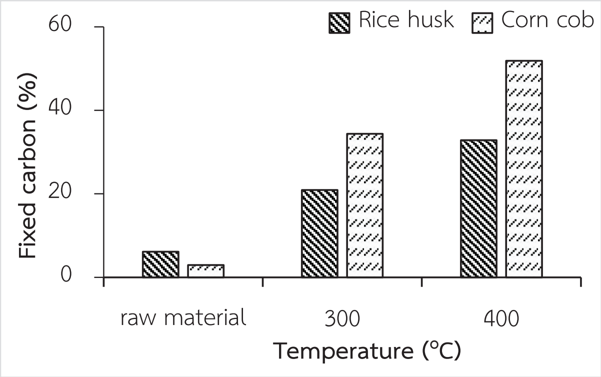
Biomass	MC (%)	VM (%)	Ash (%)	FC (%)	HHV (MJ/kg)
Rice husk	6.38±0.05	69.58±2.24	17.92±0.36	6.12	12.87
Corn cob	11.44±0.18	83.23±2.03	2.40±0.66	2.93	13.99

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของชีวมวล

Biomass	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)
Rice husk	39.51	5.31	34.81	0.4	0.00
Corn cob	46.39	6.05	40.67	0.5	0.01

ผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาต่อปริมาณคาร์บอนคงตัว

จากภาพที่ 1 ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนคงตัว พบว่าถ่านชีวภาพแกลบและซังข้าวโพดมีปริมาณคาร์บอนคงตัว 6.12% และ 2.93% เมื่อนำไปผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย การเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิสนี้ส่งผลให้มีการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้นและสารระเหยลดลง ทำให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มสูงขึ้น [11] โดยถ่านชีวภาพแกลบ ที่อุณหภูมิ 300 และ 400 ^{o}C ที่ระยะเวลา 60 min มีปริมาณคาร์บอนคงตัวคือ 20.95% และ 32.86% ตามลำดับ สำหรับถ่านชีวภาพซังข้าวโพด คือ 34.66% และ 51.88% ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของปริมาณคาร์บอนคงตัวนี้ส่งผลให้ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพแกลบและซังข้าวโพดที่ 400 ^{o}C มีค่าความร้อนสูงที่สุด คือ 16.10 และ 23.95 MJ/kg ตามลำดับ



ภาพที่ 1 ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนคงตัว

ผลกระทบของเวลาที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนคงตัว พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลากระบวนการไพโรไลซิสจะส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยถ่านชีวภาพแกลบที่ระยะเวลา 40 และ 60 min ที่อุณหภูมิ 400 ^{o}C มีปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มสูงขึ้นขึ้น คือ 31.23% และ 32.86% ตามลำดับ สำหรับถ่านชีวภาพซังข้าวโพดเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็น 50.97% และ 51.88% ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ปริมาณคาร์บอนคงตัวที่เพิ่มขึ้นนี้มีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากสารประกอบคาร์บอนซึ่งระเหยได้ยากจะคงเหลืออยู่ในถ่านชีวภาพหลังจากที่เผาสารระเหยออกไป และจะใช้ระยะเวลานานในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนคงตัว [12] การเพิ่มเวลาเพียงเล็กน้อยจึงส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนของถ่านชีวภาพทั้ง 2 ระยะเวลาไม่แตกต่างกัน โดยถ่านชีวภาพมีค่าความร้อนคือ 15.85 และ 16.03 MJ/kg ตามลำดับ สำหรับถ่านชีวภาพแกลบที่ระยะเวลา 40 และ 60 min และถ่านชีวภาพซังข้าวโพด คือ 23.78 และ 23.95 MJ/kg ตามลำดับ ดังภาพที่ 2

จากตารางที่ 3 จะสังเกตได้ว่าชีวมวลที่ได้ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อคาร์บอนคงตัว โดยที่อุณหภูมิในกระบวนการไพโรไลซิสเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก ในขณะที่เวลามีผลเพียงเล็กน้อยที่ทำให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งปริมาณคาร์บอนคงตัวที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดจากการลดลงของค่าความชื้น และสารระเหย อีกทั้งปริมาณคาร์บอนคงตัวที่เพิ่มขึ้นนี้จะส่งผลให้ค่าความร้อนสูงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [13]

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านชีวภาพ

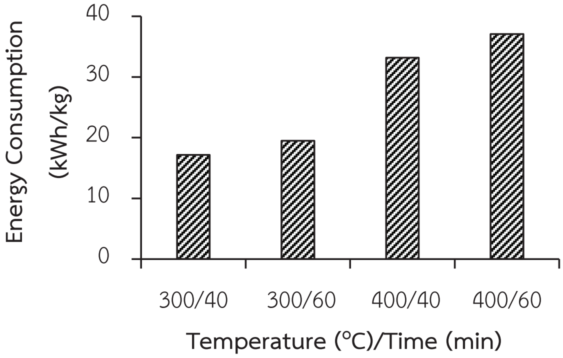
Biomass	Temperature (°C)	Time (min)	MC (%)	VM (%)	Ash (%)	FC (%)	HHV (MJ/kg)
Rice husk	300	40	0.29±0.11	57.48±0.52	22.84±0.14	19.39	15.64
		60	0.17±0.10	54.86±0.58	24.02±0.36	20.95	15.77
	400	40	0.25±0.26	32.21±1.47	36.31±0.24	31.23	15.78
		60	0.09±0.23	30.13±2.56	36.92±0.37	32.86	16.03
Corn cob	300	40	0.73±0.03	61.26±0.60	7.71±2.69	30.30	20.20
		60	0.32±0.13	57.4±1.23	7.53±1.06	34.66	21.16

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านชีวภาพ (ต่อ)

Biomass	Temperature (°C)	Time (min)	MC (%)	VM (%)	Ash (%)	FC (%)	HHV (MJ/kg)
Corn cob	400	40	0.88±0.13	37.44±1.92	10.71±0.60	50.97	23.78
		60	0.72±0.17	36.50±1.65	10.90±0.43	51.88	23.95

การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานในการผลิตถ่านชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการ

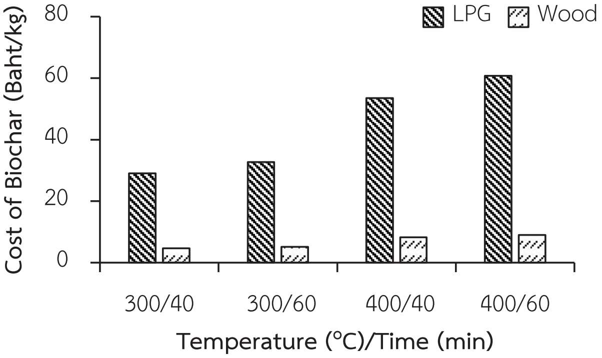
การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานในระดับห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ก๊าซหุงต้มเป็นแหล่งความร้อนในการผลิตถ่านชีวภาพ พบว่ามีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิส ในขณะเดียวกันการเพิ่มระยะเวลาในกระบวนการไพโรไลซิสทำให้อัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยที่อุณหภูมิ 400 °C ระยะเวลา 60 min (400/60), มีอัตราการใช้พลังงานมากที่สุดคือ 37.06 kWh/kg รองลงมาได้แก่ อุณหภูมิ 400 °C ระยะเวลา 40 min (400/40), อุณหภูมิ 300 °C ระยะเวลา 60 min (300/60) และ อุณหภูมิ 300 °C ระยะเวลา 40 min (300/40) คือ 33.20, 19.48 และ 17.16 kWh/kg เนื่องจากการทำอุณหภูมิไพโรไลซิสที่สูงนั้นจะต้องใช้เชื้อเพลิงในการเป็นแหล่งความร้อนที่มากทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการให้ความร้อน ในขณะเดียวกันหากเพิ่มระยะเวลาที่อุณหภูมิเท่ากันมีการเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงทำให้มีความสิ้นเปลืองทางด้านพลังงานไม่ต่างกันนัก ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานในระดับห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตถ่านชีวภาพเมื่อใช้ชีวมวลและก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน

การผลิตถ่านชีวภาพโดยใช้ก๊าซหุงต้มเป็นแหล่งความร้อนนั้นมีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง จึงได้มีการเปรียบเทียบดับต้นทุนการผลิตถ่านชีวภาพโดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเป็นแหล่งความร้อน พบว่าต้นทุนในการผลิตลดลง 83-86% ต้นทุนการผลิตถ่านชีวภาพจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มระยะเวลาที่อุณหภูมิเดียวกันมีต้นทุนในการผลิตไม่แตกต่างกันนัก โดยที่อุณหภูมิ 300 °C ระยะเวลา 40 min (300/40), อุณหภูมิ 300 °C ระยะเวลา 60 min (300/60), อุณหภูมิ 400 °C ระยะเวลา 40 min และอุณหภูมิ 400 °C ระยะเวลา 60 min (400/60) มีต้นทุนการผลิตคือ 29.05, 32.76, 53.49 และ 60.75 Baht/kg ตามลำดับ สำหรับก๊าซหุงต้ม ในขณะที่ใช้ชีวมวลมีต้นทุนคือ 4.66, 5.16, 8.24 และ 8.99 baht/kg ตามลำดับ อย่างไรก็ตามหากมีระบบการผลิตถ่านชีวภาพที่มีอัตราการผลิตที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ถ่านชีวภาพมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำลง ซึ่งอยู่ในช่วง 8-9 Baht/kg [14]



สรุปผลการวิจัย

อุณหภูมิและระยะเวลาในกระบวนการไพโรไลซิสมีผลต่อปริมาณคาร์บอนคงตัวที่เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของถ่านชีวภาพ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิสจะทำให้ได้ปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่การเพิ่มระยะเวลาในกระบวนการไพโรไลซิสมีปริมาณคาร์บอนคงตัวมีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันนัก โดยที่อุณหภูมิ 400 °C ระยะเลา 60 min แกลบและซังข้าวโพดที่ปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงที่สุดคือ 32.86% และ 51.88% ตามลำดับ อัตราการใช้พลังงานสูงสุดคือ 37.06 kWh/kg เมื่อใช้อุณหภูมิไพโรไลซิสสูงขึ้น ทำให้มีต้นทุนในการผลิตคือ 8.99 Baht/kg การใช้ชีวมวลจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับเป็นเชื้อเพลิงที่จะทำให้ลดต้นทุนในการผลิตถ่านชีวภาพเมื่อเทียบกับการใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเป็นแหล่งความร้อน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ วิทยาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือ และสถานที่ในการวิจัย ขอขอบคุณโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา และสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการไทย-จีน ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] นันทรัตน์ ศุภกำเนิด. 2558. **การจัดการดินและปุ๋ยสำหรับพืชสวน**. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร

[2] เบญจพร เครือทะนันไชย. 2557. **การวิเคราะห์พารามิเตอร์และต้นทุนการผลิตถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า**. วิศวกรรมมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[3] ทิวา ตันสถิตย์, สุธรรม โรจนเมฆา และรณกร เทพวงษ์. 2559. การผลิตไบโอชาร์จากตอซังและฟางข้าวเพื่อการอุ้มน้ำในดิน. **การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1**, 2559(401-410).

[4] ASTM INTERNATION. (2009). **ANNUALBOOK OF ASTM STANDARTS 2009**. Printed in Baltimore, MD, USA

[5] นคร ทิพยาวงศ์. 2553. **เทคโนโลยีการเปลี่ยนสภาพชีวมวล**. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[6] Jigisha Parikh, S.A. Channiwala, G.K. Ghosal. (2005) A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuel**s**, **Fuel**, 84, pp 487-494.

[7] Adilah Shariff, Nurhidayah Mohamed, Alexxander Lau and Muhammad Azwan Mohd Ali.2016. A Comparative Study on Biochar from Slow Pyrolysis of Corn Cob and Cassava Waste. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, 10, pp763-767.

[8] Jau-Jang Lu and Wei-Hsin Chen. 2014. Product Yeild and Characteristics of Corncob Waste under Various Torrefaction Atmospheres. **Eneries**, 7, pp 13-27.

[9] Noorhaza Alisa, Norazana Ibrahim, Mohd. Kamaruddin Abd. Hamid, Hasrinah Hasbullah, Roshafima Rasit Ali, Aziatul Niza Sadikin and Umi Aisah Asli. (2014). THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS OF RICE HUSK AND COCONUT PULP FOR POTENTIAL BIOFUEL PRODUCTION BY FLASH PYROLYSIS. **The Malaysian Journal of Analytical Sciences**, 18, pp 705-710.

[10] Savitri Garivait1, Ubonwan Chaiyo, Suthum Patumsawad and Jittawadee Deakhuntod. (2006). Physical and Chemical Properties of Thai Biomass Fuels from Agricultural Residues. **The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)"**,

[11] Xin Jiat Lee, Lai Yee Lee, Suyin Gan, Suchithra Thangalazhy-Gopakumar and Hoon Kiat-Ng. 2017. Biochar potential evaluation of palm oil wastes through slow pyrolysis: **Thermochemical characterization and pyrolytic kinetic studies. Bioresource Technology**, 2017(236), 155-163.

[12] นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล. (2557). การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรและครัวเรือน. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี),** 6(11), หน้าที่ 66-77.

[13] Praphatsorn Rattanaphaiboon, Nigran Homdoung*, Natthawud Dussadee, Churat Thararux and Rameshprabu Ramaraj. (2017). UPGRADING ENERGY OF AGRICULTURAL WASTE WITH TORREFACTION PROCESS. **Proceedings of the 24th Tri-University International Joint Seminar and Symposium 2017**,

[14] สถาบันพลังงาน มช. (2560). **โครงการพัฒนาแนวทางการผลิตและประยุกต์ถ่านชีวภาพจากวัสดุการเกษตรเพื่อเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านกิน**.

การศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลของสัตว์ด้วยแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน
The Investigation of biogas value from fermented feces of animals with other water.

ศิริพร ศรีไตรัตน์ อรพรรณ ธนะขว้าง[1*] ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ[1,2] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1,2] มลวิภา เมืองพระฝาง[1,2]
เฉลิมชัย สังโยคะ[1,2]

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

[2] โครงการจัดตั้งสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมูลสัตว์แต่ละชนิดกับปริมาณน้ำที่ส่งผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ และศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพระหว่างมูลสัตว์กับแหล่งน้ำต่างๆ การศึกษาในครั้งนี้จะทำการเก็บตัวอย่างของมูลโคสด มูลกระบือสด และมูลสุกรสด จากคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร และได้ติดตั้งระบบที่ใช้ในการทดลองการผลิตก๊าซชีวมวล ณ สถาบันเศรษฐกิจพอเพียง (โครงการจัดตั้ง) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลต่างๆ ตั้งแต่เดือนกันยายน – เดือนธันวาคม 2559 ซึ่งคณะผู้วิจัยเริ่มทำการศึกษาหาความชื้นในมูลสัตว์แต่ละชนิด เพื่อให้ทราบถึงปริมาณความชื้นในมูลสัตว์แต่ละชนิด จากการศึกษาพบว่าความชื้นของมูลโคสด มูลกระบือสด และมูลสุกรสด มีค่าเท่ากับ 10.0 10.3 และ 9.9 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นคณะผู้วิจัยทำการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมูลสัตว์กับปริมาณน้ำ และพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ 60:40

จากการศึกษาปริมาณของก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักมูลสัตว์ต่างชนิดกัน พบว่าการหมักมูลสุกรทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือมูลโค ส่วนมูลกระบือทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณน้อยที่สุด โดยมีค่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 290 216 และ 307 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนผลการศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพระหว่างมูลสัตว์กับแหล่งน้ำต่างๆ พบว่าการหมักมูลโค มูลกระบือ และมูลสุกรกับน้ำดีทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 297, 212 และ 324 มิลลิลิตร ตามลำดับ รองลงมาคือการหมักมูลโค มูลกระบือ และมูลสุกรด้วยน้ำเสีย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0, 0 และ 372 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการหมักมูลโค มูลกระบือ และมูลสุกรด้วยน้ำบาดาลไม่ทำให้มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น

คำสำคัญ: ของเสียที่เกิดจากสัตว์, น้ำ, การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์, ก๊าซชีวภาพ

บทนำ

การเพิ่มของจำนวนประชากรในชุมชน การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และสังคมอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะชุมชนขนาดใหญ่ ซึ่งมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามจัดเป็นชุมชนขนาดใหญ่ ที่มีโรงเลี้ยงสัตว์ขนาดใหญ่ และเลี้ยงสัตว์หลากหลายชนิด ซึ่งในแต่ละวันมีมูลสัตว์จำนวนมาก และถูกทิ้งโดยไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพิ่มเติม ซึ่งในทางตรงกันข้ามก็ยังสร้างความสกปรกอีกด้วย โดยมูลสัตว์ที่กองอยู่บนดินนอกจากจะส่งกลิ่นเหม็นแล้วยังเป็นที่อาศัยของแมลงวันและหนู ซึ่งเป็นแหล่งแพร่เชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ มูลสัตว์ที่หมักหมมกันโดยปกติแล้วเมื่อมีการย่อยสลาย หรือในขณะที่มีการหมักหมมทับถมกันนั้นจะทำให้มีก๊าซชีวภาพ เกิดขึ้นจากการศึกษาพบว่าเป็นก๊าซที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้และได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพนอกจากจะได้พลังงานแล้วยังสามารถลดปริมาณมูลสัตว์ได้อีกด้วยเชื้อเพลิงที่เรานำมาใช้ในการประกอบอาหารส่วนใหญ่ก็คือ ก๊าซหุงต้ม หรือก๊าซแอลพีจี โดยเป็นก๊าซที่ได้จากธรรมชาติ เป็นผลผลิตจากปิโตรเคมี ซึ่งในปัจจุบันจะพบว่ามีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยในปี 2556 มีราคาประมาณ 304.10 บาทต่อถัง ในปี 2557 มีราคาประมาณ 373.09 บาทต่อถัง ในปี 2558 มีราคาประมาณ 394.47 บาทต่อถัง และในปี 2559 มีราคาอยู่ที่ประมาณ363.17 บาทต่อถัง [1] จะเห็นได้ว่าราคาก๊าซแอลพีจีจะมีราคาที่สูงขึ้นในทุกปี ถึงแม้ว่าในปี 2559 ได้มีการปรับลดราคาลงแต่ราคาก็ยังคงสูงอยู่ ประเทศไทยจะมีแหล่งผลิตก๊าซธรรมชาติเพียงแค่สองแหล่งคือ ในอ่าวไทย และจังหวัดของแก่น ซึ่งมีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยในปัจจุบันได้มีการนำเข้าของก๊าซจากต่างประเทศ ซึ่งสภาวการณ์เช่นนี้ทำให้ ก๊าซชีวภาพเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจและควรถูกนำมาใช้กันอย่างจริงจัง เพราะสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหุงต้มแทนก๊าซแอลพีจีได้ โดยก๊าซชีวภาพที่ถูกผลิตขึ้นจากมูลสัตว์ สามารถใช้แก้ปัญหามูลสัตว์ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก และยังส่งกลิ่นเหม็น ซึ่งส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อม

ในปัจจุบันก๊าซธรรมชาติกำลังขาดแคลนและมีราคาสูงทำให้ก๊าซชีวภาพได้กลับมามีบทบาทสำคัญในการแก้ไขปัญหาในเรื่องพลังงานและที่สำคัญที่สุดเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพยังมีข้อดีที่ทุกคนสามารถทำขึ้นเพื่อใช้เองด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมูลสัตว์กับน้ำที่ส่งผลต่อปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ และศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพระหว่างมูลสัตว์กับแหล่งน้ำต่างๆ

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าความชื้นของตัวอย่างจุลินทรีย์

1. นำถ้วยครูซิเบิลไปอบที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. นำถ้วยครูซิเบิลออกจากตู้อบ แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในกล่องดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำถ้วย ครูซิเบิลไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกน้ำหนักของถ้วยครูซิเบิล (น้ำหนักถ้วยเปล่า)
3. นำมูลสัตว์ปริมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยครูซิเบิล และนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำตัวอย่างออกจากตู้อบทิ้งไว้ให้เย็นในกล่องดูดความชื้น เป็นเวลา 30
5. นำถ้วยครูซิเบิลที่ใส่ตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไป และนำค่าที่บันทึกไว้มา

คำนวณหาค่าความชื้น

ความชื้นของมูลสัตว์ (กรัม) = น้ำหนักของมูลเปียก (ก่อนอบ) – น้ำหนักของมูลแห้ง (หลังอบ)

การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ความชื้นของมูลสัตว์ (%) = น้ำหนักมูลก่อนอบ – น้ำหนักมูลหลังอบ / น้ำหนักมูลก่อนอบ และนำผลมาคูณ100 [3]

ขั้นตอนการหมัก

1. นำจุลินทรีย์และน้ำผสมกันในอัตราส่วน 50:50 60:40 70:30 80:20 40:60 30:70 และ 20:80 กรัมต่อมิลลิลิตร ของขนาดขวดแก้ว 1,000 มิลลิลิตร

2. ใช้มูลสัตว์ตามปริมาณที่เหมาะสมต่ออัตราส่วน (ปริมาณอัตราส่วนในการผลิตก๊าซชีวภาพระหว่างมูลสัตว์กับน้ำ) ร่วมกับน้ำตามปริมาณที่เหมาะสมต่ออัตราส่วน

3. เทผสมเข้าด้วยกัน

ขั้นตอนการเก็บก๊าซชีวภาพ

1. ทำการเก็บก๊าซชีวภาพโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ นำน้ำที่ได้ในแต่ละวันใส่กระบอกตวง จดบันทึกค่าทุกวัน (โดยทำการหมักทิ้งไว้ก่อน 5 วัน แล้วจึงเริ่มเก็บก๊าซชีวภาพ)

2. รวบรวมข้อมูล อภิปราย และสรุปผลการทดลอง

3. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล

สถิติและสูตรที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ค่าเฉลียเลขคณิตของข้อมูลที่ไม่ได้แจกแจงความถี่ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ $\bar{X}$ (เอ็กซ์บาร์) คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$\sum x$ คือ ผลบวกของข้อมูลทุกค่า

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2. ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลที่แจกแจงความถี่ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\bar{x} = \frac{\sum fx}{n}$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

f คือ ความถี่ของข้อมูล

x คือ ผลรวมความถี่ทั้งหมด หรือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

จุดกึ่งกลางของอันตรภาคชั้น

(ในกรณีการแจกแจงความถี่เป็นอันตรภาคชั้น) หาได้จาก

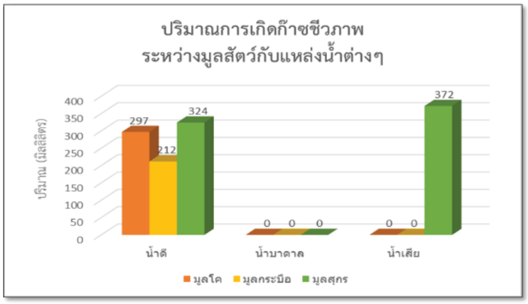
$$\frac{\text{ค่าสูงสุดของอันตรภาคชั้น} + \text{ค่าต่ำสุดของอันตรภาคชั้น}}{2}$$

n คือ ผลรวมความถี่ทั้งหมด หรือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาค่าความชื้นของมูลสัตว์แต่ละชนิด

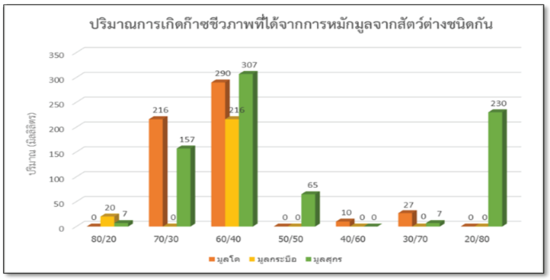
จากการเปรียบเทียบค่าความชื้นของมูลสัตว์แต่ละชนิด พบว่าค่าความชื้นของมูลกระบือมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 10.30 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือมูลโคมีค่าความชื้นเท่ากับ 10.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าความชื้นของมูลสุกรมีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 9.90 เปอร์เซ็นต์ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงค่าความชื้นของมูลสัตว์แต่ละชนิด

ผลการศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักมูลจากสัตว์ต่างชนิดกัน

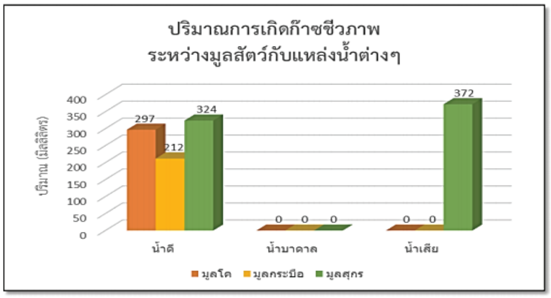
จากการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพทุกวันหลังจากทำการหมักได้ 5 วัน พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหมักก๊าซชีวภาพระหว่างมูลสัตว์กับน้ำมีค่าเท่ากับ 60:40 ซึ่งในช่วงแรกของการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจะพบก๊าซชีวภาพในปริมาณสูงเนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์อยู่มากทำให้เกิดการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ทำให้มีการผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีในช่วงแรก แต่หลังจากนั้นอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องจนไม่มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น เนื่องจากสารอินทรีย์มีปริมาณลดลงทำให้จุลินทรีย์ไม่มีสารอาหารในการเจริญเติบโตเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ จึงส่งผลให้ไม่เกิดการผลิตก๊าซชีวภาพ[4] จากผลการศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักมูลจากสัตว์ต่างชนิดกัน พบว่าการหมักมูลสุกรทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือมูลโค ส่วนมูลกระบือทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณน้อยที่สุด โดยมีค่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 290 216 และ 307 มิลลิลิตร ตามลำดับ แสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักมูลจากสัตว์ต่างชนิดกัน

ผลการเปรียบเทียบปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพระหว่างมูลสัตว์จากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักมูลสัตว์กับแหล่งน้ำที่แตกต่างกันโดยทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพทุกวันหลังจากทำการหมักได้ 5 วัน พบว่าการหมักมูลโค มูลกระบือ และมูลสุกรกับน้ำดีทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 297, 212 และ 324 มิลลิลิตร ตามลำดับ รองลงมาคือการหมักมูลโค มูลกระบือและมูลสุกรด้วยน้ำเสีย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0, 0 และ 372 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการหมักมูลโค มูลกระบือ และมูลสุกรด้วยน้ำบาดาลไม่ทำให้มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น ซึ่งในการทดลองมีความเป็นกรด-ด่างอยู่ในระดับด่างอ่อนๆหรือกรดอ่อนๆจึงทำให้มีความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดีทำให้การย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายในระบบมีประสิทธิภาพสูง [5] สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักมูลสัตว์จากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

ค่าความชื้นของมูลกระบือมีค่ามากที่สุด 10.30 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือค่าความชื้นของมูลโคมีค่า 10.00 เปอร์เซ็นต์ และค่าความชื้นของมูลสุกรมีค่าน้อยที่สุด 9.90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหมักก๊าซชีวภาพระหว่างมูลสัตว์กับน้ำมีค่าเท่ากับ 60:40

การหมักมูลสุกรทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณมากที่สุด รองลงมาคือมูลโค ส่วนมูลกระบือทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณน้อยที่สุด โดยมีค่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเท่ากับ 290 216 และ 307 มิลลิลิตร ตามลำดับ

การหมักมูลโค มูลกระบือ และมูลสุกรกับน้ำดีทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในปริมาณมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 297, 212 และ 324 มิลลิลิตร ตามลำดับ รองลงมาคือการหมักมูลโค มูลกระบือ และมูลสุกรด้วยน้ำเสีย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0, 0 และ 372 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการหมักมูลโค มูลกระบือ และมูลสุกรด้วยน้ำบาดาลไม่ทำให้มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยและพัฒนาการเรียนรู้ตามแนวพระราชดำริ ขอขอบพระคุณที่ปรึกษาโครงการวิจัย คณาจารย์และเจ้าหน้าที่วิจัยจากคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม สถาบันเศรษฐกิจพอเพียง (โครงการจัดตั้ง) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม หน่วยงานราชการและหน่วยงานเอกชนต่างๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำและข้อมูลสนับสนุนทำให้การดำเนินโครงการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ชั้นปีที่ 5 ดังรายชื่อต่อไปนี้ นางสาวกมลชนก ปลื้มบุญ นางสาวนฤมล คำรศ นางสาวสุทธินี มีบุญ นางสาวนิภาวรรณ สังข์แสง นางสาววนิดา เกตุสาคร นางสาววิชุอร ทองทา นางสาวสุกัญญา กกกนทา นางสาวสุทธินี มีบุญ นางสาวอพรรณ จันทรมณี

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). **ราคาสินค้าอุตสาหกรรมที่สำคัญ**. (ออนไลน์). สืบค้นวันที่ 17 มีนาคม 2560. เข้าถึงได้จากhttp://www2.bot.or.th/statistics/ReportPage.aspx?reportID=90&language=th.

[2] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2553). **คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิตการควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม.** สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย : กรม โรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[3] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), (ม.ป.ป.)

[4] ตระกูลศักดิ์ เสนานิคม วรายุทธ คัมภีราวัฒน์ และอาคม แก้วระวัง. (2554). **การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพ จากน้ำเสียจากกองขยะ.** ขอนแก่น : วิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[5] กลิ่นประทุม ปัญญาปิง. (2554). **ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพโดยจำแนกตามอัตราส่วนของน้ำจากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน.** เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่.

[6] กมลชนก ปลื้มบุญ และคณะ. (2560). **การศึกษาปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลของสัตว์**. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

สมรรถนะแก๊สซิไฟเออร์แบบฟลูอิไดซ์เบดเมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง

Performance of Fluidized bed gasifier with using corn cobs as fueled.

พงศธร มณทิพย์[1] นิกราน หอมดวง[1*] ณัฐวุฒิ ดุษฎี ชูรัตน์ ธารารักษ์[1] และเสริมสุข บัวเจริญ[1]

[1] สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบฟลูอิไดซ์เบด โดยใช้ซังข้าวโพดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง โดยมีการเลือกอัตราการป้อนอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 2.5-2.7 ซึ่งเป็นอัตราการป้อนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าอัตราการป้อนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎีประมาณ 25-60% ซึ่งค่า A/F ทางทฤษฎีของซังข้าวโพดโดยเฉลี่ยการทดลองนี้เท่ากับ 5.12:1 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อปรับอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 2.6 และ 2.5 อุณหภูมิน้ำเดือดที่ใช้ในทดสอบประสิทธิภาพความร้อนด้วยการต้มน้ำ (Boiling test) อยู่ที่ประมาณ 95-98 ^{o}C และเมื่อปรับอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 2.7 อุณหภูมิของน้ำไม่เกิดการเดือดโดยมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 85 ^{o}C การใช้อัตราการป้อนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 2.6 ส่งผลให้อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าต่ำสุดและมีประสิทธิภาพความร้อนสูงสุด โดยมีค่า 7.5 MJ/kWh และ 13.34% ตามลำดับ

คำสำคัญ: แก๊สซิไฟเออร์ ฟลูอิไดซ์เบด ซังข้าวโพด วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

[*]Corresponding author: Tel.: 084-177-3632. E-mail address: nigranghd@gmail.com

บทนำ

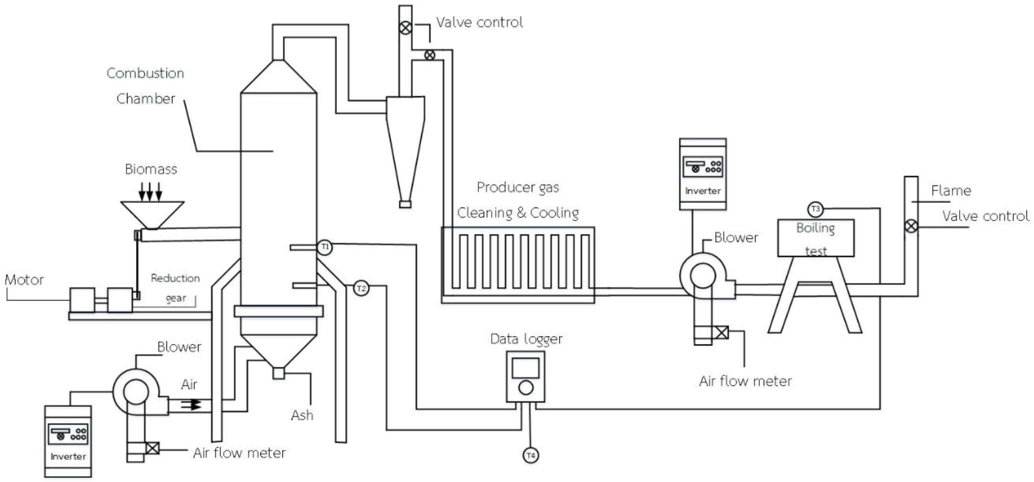
ในกระบวนการเปลี่ยนรูปทางเคมีความร้อน การเผาไหม้หรือการเปลี่ยนรูปด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการที่ให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงสุดเมื่อเทียบกับการเผาไหม้โดยตรง อย่างไรก็ตามเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในปริมาณสูง การนำเอาระบบเผาไหม้นี้ไปใช้ให้มีประสิทธิภาพความร้อนสูงสุด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีอยู่ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปชีวมวลให้เป็นแก๊สโดยใช้การเผาไหม้แบบจำกัดอากาศ ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงมีค่าอยู่ในช่วง 4-6 MJ/m^3 [1] องค์ประกอบแก๊สที่ได้ ประกอบด้วย CO, H_2, CH_4, N_2, CO_2 และ O_2 โดย CO, H_2 และ CH_4 เป็นแก๊สที่ติดไฟได้ ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน งานวิจัยนี้จึงสนใจในการศึกษา วิจัย และประเมินสมรรถนะของระบบผลิตแก๊สซิไฟเออร์แบบฟลูอิไดซ์เบดเมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง

วิธีการวิจัย

อุปกรณ์ วัสดุและเครื่องมือวัด

เตาแก๊สชีวมวล

การทดสอบเตาแก๊สชีวมวล ใช้หลักการเผาไหม้ด้วยเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชันแบบฟลูอิไดซ์เบด การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตาจะอาศัยตัวกลางหรือวัสดุเบด ซึ่งตัวกลางที่อยู่บริเวณด้านล่างของเตาแก๊สชีวมวลจะถูกทำให้ร้อน เมื่อป้อนชีวมวลเข้าไปในระบบ ชีวมวลจะเคลื่อนตัวชนกับตัวกลางที่ร้อนและเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจนเกิดการเผาไหม้และกลายเป็นก๊าซอย่างรวดเร็วซึ่งขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ ไพโรไลซิส และแก๊สซิฟิเคชัน จะเกิดในช่วงเดียวกันไม่มีการแบ่งแยกอย่างชัดเจน จึงทำให้มีน้ำมันดินเจือปนอยู่ในก๊าซเช่นเดียวกับระบบฟิกซ์เบดแบบไหลขึ้น [2] เตานี้เติมเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่องและใช้ทรายเป็นวัสดุเบด ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางห้องเผาไหม้ 25.4 cm ความยาว 100 cm ป้อนอากาศจากด้านล่างของเตาด้วยพัดลมผ่านตะแกรงละเอียดโดยใช้พัดลมเป่าอากาศ ของ VENZ รุ่น SB-30 มอเตอร์ ½ HP 3 phase ขนาดท่อลมออก 2 inch การควบคุมความเร็วลมใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความถี่กระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของ MITSUBISHI รุ่น FR-D700 1 phase 200 V ขนาด 4.2 A ด้านข้างมีช่องป้อนเชื้อเพลิง การป้อนชีวมวลใช้กระพ้อและสายพานลำเลียงนำชีวมวลเข้าสู่เตาแก๊สชีวมวล ด้านล่างของเตาออกแบบให้มีตะแกรงและชุดกำจัดขี้เถ้า ด้านบนออกแบบให้มีท่อลำเลียงโปรดิวเซอร์แก๊ส ขนาด 2 inch ชุดทำความสะอาดแก๊สประกอบด้วย ไซโคลนและเครื่องดักจับทาร์แบบใช้พื้นที่ผิวสัมผัส พร้อมชุดลดอุณหภูมิของโปรดิวเซอร์แก๊สและชุดทดสอบประสิทธิภาพความร้อนเตาแก๊สชีวมวล (Water boiling test) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ไดอะแกรมการทดสอบระบบผลิตแก๊ส

เครื่องมือวัดในการวิจัย

การวัดน้ำหนักเชื้อเพลิงก่อนป้อนให้กับระบบผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลของ DIGI รุ่น DS-530 ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 60 kg ต่ำสุด 0.4 kg และมีความละเอียด 0.01 g การวัดอัตราการไหลอากาศใช้เครื่องเครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัดใช้วัดความเร็วลมที่ป้อนเข้าห้องเผาไหม้ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของ BENETECH รุ่น GM8901 สามารถวัดความเร็วลมอยู่ในช่วง 0-45 m/s ความแม่นยำ ±3% ความ ละเอียด 0.1 m/s การวัดความร้อนเตาแก๊สชีวมวลใช้วิธีการวัดแบบไม่สัมผัส โดยใช้อุปกรณ์วัดแบบอินฟาเรดเทอร์โมมิเตอร์ของ CENTER รุ่น CENTER 350 วัดอุณหภูมิแบบใช้รังสีอินฟาเรดมีช่วงการวัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง -20-500 ^{o}C เครื่องบันทึกอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิแวดล้อมใช้ผลิตภัณฑ์ LITRON รุ่น TM-9478SD สามารถวัดอุณหภูมิได้พร้อมกัน 4 ช่อง ช่วงอุณหภูมิในการวัด 100-1700 ^{o}C ใช้คู่กับเทอร์โมคัปเปิลของ SPL รุ่น T_S/101 ชนิด TYPE K อุณหภูมิใช้งานสูงสุด 400 ^{o}C และเทอร์โมคัปเปิล รุ่น JB-35 อุณหภูมิใช้งานสูงสุด 800-1000 ^{o}C

วัสดุเชื้อเพลิงชีวมวลทดสอบ

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการวิจัยคือ ซังข้าวโพดที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปในการสีข้าวโพด โดยนำมาลดความชื้นด้วยการตากแห้งให้ความชื้นลดต่ำลงประมาณ 15% จากนั้นนำซังข้าวโพดมาลดขนาดโดยการบดหยาบด้วยเครื่องบดหยาบขนาดตะแกรง 10 mm และนำมาลดขนาดอีกครั้งโดยการบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียดขนาดตะแกรง 3 mm เพื่อให้ได้ซังข้าวโพดขนาดประมาณ 3 mm มาใช้ในการวิจัย ความหนาแน่นของซังข้าวโพดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 282 kg/m^3 [3] และมีค่าความร้อนอยู่ที่ประมาณ 18.04 MJ/kg [4] คุณสมบัติทางเคมีของซังข้าวโพดได้นำไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการวิจัยของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง [5] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลที่ใช้วิจัย

	Proximate Analysis (wt. %)				Ultimate Analysis (wt. %)					LHV (MJ/kg)
Corn	Moisture	Ash	VM	FC	C	H	N	O	S	14.26
cob	11.82	5.62	70.81	14.76	42.12	6.52	0.45	45.11	0.01	

วิธีการการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

การทดสอบสมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวล ใช้ซังข้าวโพดเป็นชีวมวล การทดสอบปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทั้งหมด 3 ค่า ได้แก่ 2.5 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ ระยะเวลาในการทดสอบโดยการป้อนชีวมวลอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยต่อครั้งประมาณ 90 min ใช้วิธีการต้มน้ำเป็นวิธีวัดประสิทธิภาพความร้อนเตาแก๊สชีวมวล โดยในช่วงเริ่มต้นทำการให้ความร้อนด้วยก๊าซ LPG พร้อมทั้งเปิดพัดลมป้อนอากาศปรับอัตราไหลอากาศเข้าสู่เตา ให้วัสดุเบดสัมผัสกับความร้อนเพื่อช่วยให้เกิดการเผาไหม้ได้ดีขึ้น แล้วทำการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาแก๊สชีวมวล เมื่อเตาแก๊สชีวมวลเกิดการติดไฟได้ดี จะทำการหยุดการให้ความร้อนด้วยก๊าซ LPG แล้วนำน้ำเข้ามาทดสอบการต้มน้ำ เริ่มจับเวลาและวัดอุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิผนังเตา อุณหภูมิเตา และอุณหภูมิแวดล้อม โดยทำการบันทึกค่าทุกๆ 5 min เป็นระยะเวลาประมาณ 60 min

การทดสอบระบบผลิตแก๊สชีวมวลแบบฟลูอิไดซ์เบดจะทำการทดสอบเพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงคืออัตราส่วนระหว่างชีวมวลที่ป้อนให้กับระบบเทียบกับเวลา [5] ซึ่งวิเคราะห์ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$FC_b = \frac{M_b}{T} \tag{4}$$

เมื่อ FC_b คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/h) M_b คือ มวลเชื้อเพลิงชีวมวล (kg) และ T คือ ระยะเวลาการใช้งานเตาแก๊สชีวมวล (h)

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ คืออัตราส่วนระหว่างอัตราการใช้พลังงานเทียบกับพลังงานที่ระบบแก๊สชีวมวลผลิตได้ [5] ซึ่งวิเคราะห์ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$SEC = \frac{E}{Q_u} \tag{5}$$

เมื่อ SEC คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kWh) E คือ อัตราการใช้พลังงาน (kJ/h) และ Q_u คือ พลังงานที่เตาแก๊สชีวมวลผลิตได้ (kW)

ประสิทธิภาพความร้อนเตาแก๊สชีวมวล คืออัตราส่วนของพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ (Q_{uesful}) เทียบกับพลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบผลิตแก๊สชีวมวล (Q_{input}) คำนวณได้จากการทดลองโดยการต้มน้ำ (Water boiling test) [5] และวิเคราะห์ได้จากสมการดังต่อไปนี้

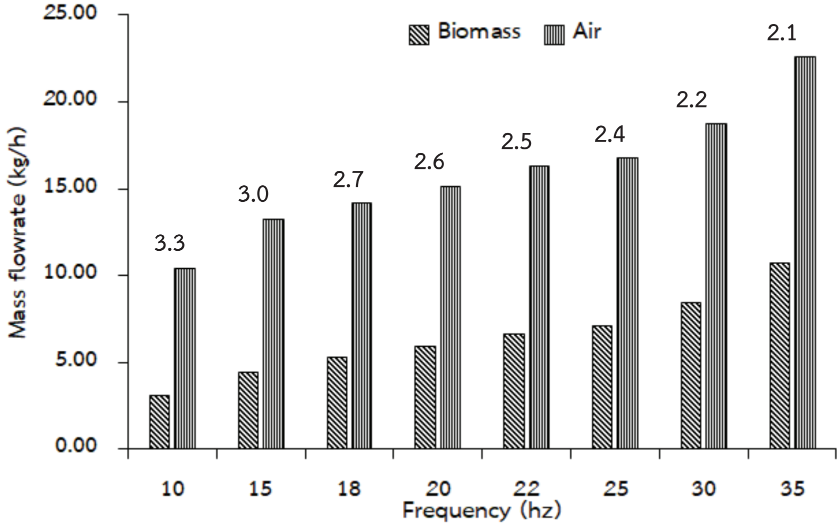
$$\eta_{G} = \frac{[m_{w,1} x C_{p,w} (T_{w.B} \quad T_{w,i})] + [m_{w,2} x h_{fg}]}{m_{fuel} x LHV_{U}} \qquad (6)$$

เมื่อ $m_{w,1}$ คือ มวลของน้ำหนักทั้งหมด (kg) $m_{w,2}$ คือ มวลของน้ำที่ระเหย (kg) $C_{p,w}$ คือ ความจุความร้อนจะเพาะของน้ำ (kJ/kg K) h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ (kJ/kg) $T_{w,B}$ คือ อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ (^{o}C) $T_{w,I}$ คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (^{o}C) m_{fuel} คือ มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด (kg) และ LHVคือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวล (kJ/kg)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์อัตราการป้อนอากาศต่อเชื้อเพลิง

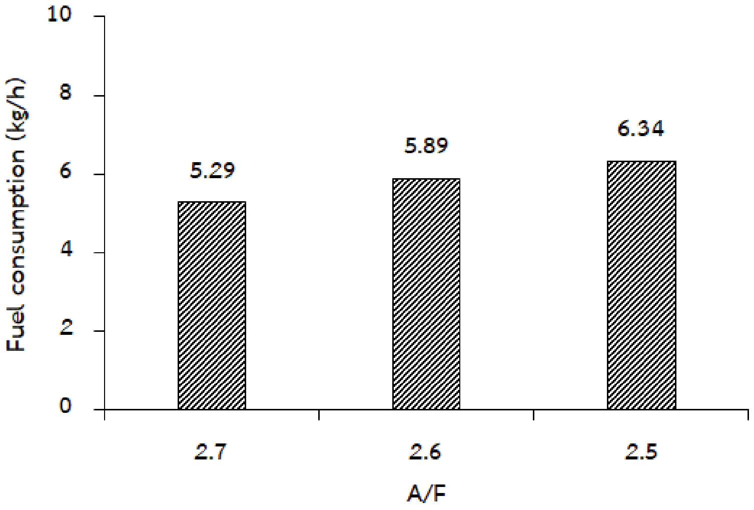
การวิเคราะห์อัตราการป้อนอากาศต่ออัตราการป้อนซังข้าวโพด การปรับความถี่กระแสฟ้าส่งผลให้อัตราการป้อนอากาศและอัตราการป้อนชีวมวลเพิ่มสูงขึ้น ที่ความถี่ 10-35 Hz ดังแสดงในรูปที่ 2 ค่า A/F Ratio เท่ากับ 3.3 3.0 2.7 2.6 2.5 2.4 2.2 และ 2.1 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในการเลือก A/F สำหรับการทดลองระบบผลิตแก๊สแบบฟลูอิไดซ์เบด ค่า A/F ที่เลือกจะต้องต่ำกว่าค่า A/F ทางทฤษฎี 25-60% [6] ซึ่ง A/F ทางทฤษฎีของซังข้าวโพดโดยเฉลี่ยการทดลองนี้เท่ากับ 5.12:1 [7] ดังนั้นในการเลือกค่าทดลองจึงเลือก A/F ที่ 2.5-2.7 เป็นตัวอย่างในการทดลองซึ่งเป็นค่าที่สอดคล้องกับทางทฤษฎี



รูปที่ 2 อัตราการป้อนอากาศต่อเชื้อเพลิง

2. **การวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวล**

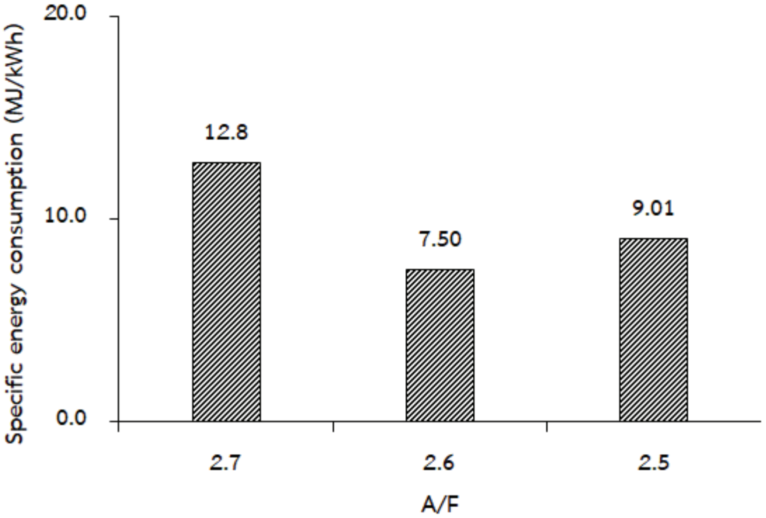
จากการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลเมื่อกำหนดอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ที่ 2.7 2.6 และ 2.5 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อปรับอัตราการป้อนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 2.5 ให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลมากที่สุดอยู่ที่ 6.34 kg/h เนื่องจากมีการเพิ่มปริมาณอากาศส่งผลให้ความเร็วของเปลวไฟและอัตราการเผาไหม้ชีวมวลเพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุให้เกิดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลมากที่สุด รองลงมาคือปรับอัตราการป้อนอากาศต่อชีวมวลที่ 2.6 และ 2.7 ให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวล 5.89 kg/h และ 5.29 kg/h ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 อัตราการสิ้นเปลืองชีวมวล

3. **การวิเคราะห์อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ**

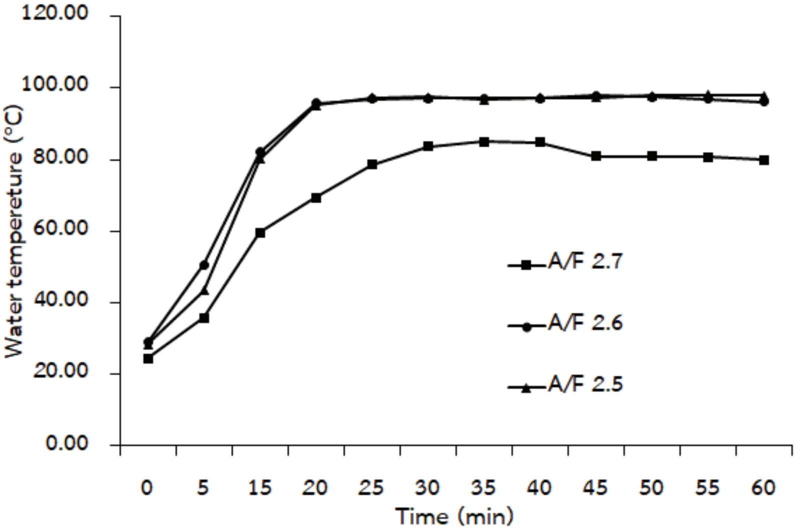
การใช้อัตราการป้อนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 2.6 ส่งผลให้อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุด การใช้ A/F ต่ำกว่า 2.6 หรือสูงกว่า 2.6 ส่งผลให้อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเกิดจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อหน่วยเพิ่มขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ลดลง [1] จึงส่งผลต่อค่าความร้อนของแก๊สที่ผลิตได้ อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงสุดและต่ำสุดของซังข้าวโพดที่ A/F 2.5-2.7 เฉลี่ย 7.5 และ 12.8 MJ/kWh ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

4. อุณหภูมิการเดือดของน้ำจากระบบผลิตแก๊สชีวมวล

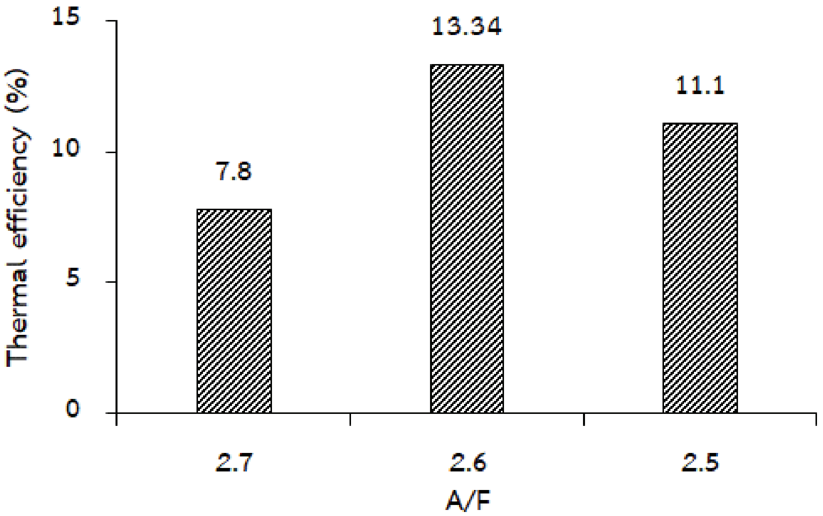
การพิจารณาอุณหภูมิการเดือดของน้ำในขณะที่ทำการทดสอบระบบผลิตแก๊สชีวมวล เมื่อกำหนดอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ที่ 2.7 2.6 และ 2.5 ดังแสดงในรูปที่ 5 ผลการศึกษาพบว่า การใช้อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 2.6 และ 2.5 อุณหภูมิน้ำเดือดอยู่ที่ประมาณ 95-98 ℃ ในขณะที่ปรับอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 2.7 อุณหภูมิของน้ำไม่เกิดการเดือดโดยมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 85 ℃ สาเหตุที่การปรับ A/F 2.7 ไม่เกิดการเดือดของน้ำ เกิดจากความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊สมีค่าต่ำเกินไป เมื่อนำไปใช้ในการต้มน้ำจึงส่งผลให้อุณหภูมิน้ำไม่เกิดการเดือด



รูปที่ 5 อุณหภูมิการเดือดของน้ำจากระบบผลิตแก๊สชีวมวล

5. ประสิทธิภาพความร้อนของระบบผลิตแก๊สชีวมวล

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพความร้อนของระบบผลิตแก๊สชีวมวล พบว่าการปรับอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 2.6 ให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงสุด 13.34% ถัดมาเป็น 2.5 และ 2.7 โดยมีประสิทธิภาพ 11.11% และ 7.8% ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6 อย่างไรก็ตามเนื่องจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพนี้เป็นการวิเคราะห์โดยการต้มน้ำ ดังนั้นประสิทธิภาพจึงเกิดจากเตาผลิตแก๊สชีวมวลกับหัวเตารวมกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามถ้าวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแก๊สซิไฟเออร์ ด้วยวิธีการ cold gasification ซึ่งเป็นการนำเอาโปรดิวเซอร์แก๊สไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแก๊สซิไฟเออร์จะอยู่ในช่วง 40-45% [8]



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพความร้อนของระบบผลิตแก๊สชีวมวล

สรุปผลการวิจัย

- อัตราการป้อนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ทำการทดลองคือ 2.7 2.6 และ 2.5 ซึ่งต่ำกว่าค่า A/F ทางทฤษฎี 25-60%
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 5-7 kg/h
- การใช้อัตราการป้อนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 2.6 ส่งผลให้อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าต่ำสุดและ มีประสิทธิภาพความร้อนสูงสุด โดยมีค่า 7.5 MJ/kWh และ 13.34% ตามลำดับ
- การปรับอัตราการป้อนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 2.6 และ 2.7 ให้อุณหภูมิน้ำเดือดที่ใช้ในทดสอบประสิทธิภาพความร้อนด้วยการต้มน้ำ (Boiling test) อยู่ที่ประมาณ 95-98 ^{o}C และเมื่อปรับอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 2.5 อุณหภูมิของน้ำไม่เกิดการเดือดโดยมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 85 ^{o}C

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการวิจัยความร่วมมือไทย-จีน ที่เอื้อเฟื้อเชื้อเพลิงชีวมวลพร้อมทั้งอุปกรณ์สำหรับการวิจัย และขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน และศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่ โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Food and Agriculture Organization (FAO). (1986). Wood gas as engine fuel. Mechanical Wood Products Branch Forest. Italy.

[2] Jhon Jairo Ramírez Behainne. (2014). Performance analysis of an air-blown pilot fluidized bed gasifier for rice husk. **Energy for Sustainable Development.** 18, 75–82.

[3] Yaning Zhang, A.E. Ghaly, Bingxi Li. (2012). Physical prorerties of corn residuues. **Journal of Biochemistry and Biotechnology.** 8(2), 44-53.

[4] วิสาขา ภู่จินดา. (2557). "ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและผลตอบแทนทางสังคมของการใช้พลังงานชีวมวลในระดับชุมชนและระดับครัวเรือน". กรุงเทพมหานคร: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

[5] นิกราน หอมดวงและคณะ (2560). "สมรรถนะเตาแก๊สชีวมวลแบบป้อนต่อเนื่องและป้อนเป็นช่วงเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง" , ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 ประจำปี 2560**, วันที่ 31 พฤศจิกายน - 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพลส จังหวัดเชียงใหม่.

[6] Reed, T.B. and A. Das. (1988). Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems. Superintendent of Documents U.S. Government Printing Office. Washington.

[7] Thanachat Mahawan, Nigran Homdoung et al. (2016). "Application of gasification technology for design household, smokeless biomass stove", **proceeding of 23rd Tri-U international Joint Seminar and Symposium**, 23-28 October 2016. Bogor Agricultural University, Indonesia

[8] นิกราน หอมดวงและคณะ (2554). "สมรรถนะเครื่องยนต์สูบน้ำการเกษตรเมื่อใช้พลังงานชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง" , ใน **การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงาน ความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 10 ประจำปี 2554**, วันที่ 11-12 มีนาคม 2554 ณ โรงแรมเชียงใหม่แกรนด์วิว จังหวัดเชียงใหม่.

การปรับปรุงเสถียรภาพของอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบ
Improving the stability of water-in-diesel emulsions using probe-type ultrasonic irradiation

ณรงค์ อินทพรหม, กฤช สมนึก* และกำพล ประทีปชัยกูร
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเสถียรภาพของอิมัลชันจากการผลิตด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบระหว่างดีเซลและน้ำ เพื่อให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (water in oil emulsion, W/O) เนื่องจากดีเซลและน้ำเป็นของเหลวที่ไม่ละลายเข้าด้วยกันจึงจำเป็นต้องใช้สารลดแรงตึงผิว (surfactant) คือ span 80 (sorbitan monooleate) ซึ่งมีค่า HLB (hydrophile-lipophile balance) เท่ากับ 4.3 จะสามารถทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน จากการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการผสมอิมัลชันด้วยวิธีการกวนผสม (stirrer) และด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบโดยศึกษาตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร คือ ปริมาณดีเซล (50-90 vol.%) น้ำ (5-15 vol.%) สารลดแรงตึงผิว (5-45 vol.%) และเวลาในการผสมเท่ากับ 60 s ทำการบันทึกภาพที่เวลาภายหลังการผสมเท่ากับ 2 min 30 min และ 60 min จากผลการทดลอง พบว่า การใช้วิธีผสมด้วยอัลตราโซนิกชนิดโพรบ ซึ่งมีความถี่เท่ากับ 18 kHz กำลังคลื่นเสียงเท่ากับ 1500 W สามารถผลิตเป็นอิมัลชันได้ดีกว่าแบบวิธีการกวนผสม ซึ่งสามารถเพิ่มระยะเวลาในการแยกชั้น 66.7% โดยที่เงื่อนไขที่แนะนำคือ อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่าง ดีเซล:น้ำ:สารลดแรงตึงผิว เท่ากับ 80:10:10 ตามลำดับ ลักษณะของอิมัลชันที่เกิดขึ้นมีลักษณะขาวขุ่นและมีการกระจายตัวของน้ำในดีเซลมาก ทำให้มีปริมาตรอิมัลชันภายหลังการผสมมีปริมาณมากกว่าอัตราส่วนอื่น ๆ

คำสำคัญ: อิมัลชัน, อัลตราโซนิก, น้ำในดีเซล, สารลดแรงตึงผิว, เสถียรภาพ

*Corresponding author: Tel.: 074-2877227. E-mail address: krit.s@psu.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันถึงแม้ว่าราคาน้ำมันในตลาดโลกจะลดลง แต่เพื่อสร้างองค์ความรู้ด้านการลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลด้วยการผลิตน้ำมันผสมหรืออิมัลชัน และอีกทั้งราคาน้ำมันดีเซลมีความไม่แน่นอนในปัญหาด้านการเมืองในบริเวณพื้นที่ประเทศตะวันออกกลาง ทำให้มีความกังวลเกี่ยวกับปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงฟอสซิลในอนาคต การลดการใช้น้ำมันดีเซลคาดว่าจะช่วยลดมลภาวะจากน้ำมันดีเซลที่ปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียมด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิลและเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เช่น ยานพาหนะและอุตสาหกรรม แต่การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ดีเซลทำให้เกิดการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และเขม่า จึงมีความพยายามจากทั่วโลกเพื่อพัฒนาและควบคุมมลพิษโดยใช้เชื้อเพลิงทดแทนดีเซลซึ่งไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ มีคุณสมบัติเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับดีเซล สามารถนำมาผสมกับดีเซลเพื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล [1-3] แต่การใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซลและไบโอดีเซล แม้จะสามารถช่วยลดมลพิษทางอากาศ เช่น CO และเขม่า แต่ได้ปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) สูงกว่าดีเซล [4] จึงมีการวิจัยเพื่อลดปริมาณ NO_x โดยใช้น้ำเข้ามาผสมกับดีเซลและไบโอดีเซล ซึ่งจะได้เชื้อเพลิง diesel-water-biodiesel [5-6] น้ำที่ผสมจะมีปริมาณน้อยกว่าดีเซลและไบโอดีเซล ดังนั้นในจำนวนมวลที่เท่ากันของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบ การผสมน้ำจะทำให้ได้โมลของก๊าซในห้องเผาไหม้สูงขึ้นซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (thermal efficiency) ของเครื่องยนต์ [7] และเนื่องจากน้ำที่ถูกฉีดเข้าไปไม่ปลดปล่อยความร้อนเมื่อเชื้อเพลิงเผาไหม้ และยังดูดความร้อนจากการเผาไหม้ด้วย จึงส่งผลให้อุณหภูมิสูงสุดของการเผาไหม้ลดต่ำลง ซึ่งช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซ NO_x ลงได้และช่วยให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น [5-7] อย่างไรก็ตาม การผสมน้ำเข้าไปในสัดส่วนที่มากเกินไป จะส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ลดลงได้ [8] เนื่องจากการลดลงของอุณหภูมิการเผาไหม้ที่มากเกินไป ดังนั้นควรมีการวิจัยเพื่อหาสัดส่วนการผสมระหว่าง diesel-water-biodiesel ในอัตราส่วนที่เหมาะสมและการใช้เทคโนโลยีเพื่อทำให้สารผสมที่ไม่เข้ากันอยู่ได้คงตัวหรือมีความเสถียรภาพในระยะเวลาที่นานขึ้นโดยทีมวิจัย Kentish et al. (2008) ได้รายงานว่าเทคโนโลยีคลื่นเสียงอัลตราโซนิกสามารถทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันได้มีความถี่ 20–24 kHz กำลังคลื่นเสียงเท่ากับ 400 W โดยใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวคือ tween 40 [9]

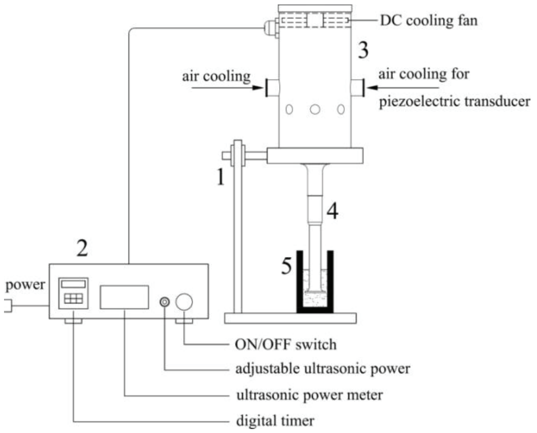
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผสมเพื่อให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันระหว่างดีเซลและน้ำ โดยเปรียบเทียบผลจากการวิธีการผสมระหว่างใช้วิธีการกวนผสม (stirrer) และการประยุกต์ใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบผลิตน้ำมันอิมัลชันและศึกษาปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิว เพื่อทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียรภาพมากขึ้นกว่าวิธีการกวนผสมวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ต้องการทราบถึงลักษณะการเกิดอิมัลชันและลักษณะการแยกชั้นโดยการแปรค่าตัวแปรอิสระคือ ปริมาณดีเซล ปริมาณน้ำ และปริมาณสารลดแรงตึงผิว ด้วยวิธีการกวนผสมและแบบคลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบ

วัตถุดิบและสารเคมี

ในการศึกษาผลกระทบจากการผลิตอิมัลชันจะใช้วัตถุดิบและสารเคมี 3 ชนิด คือ น้ำมันดีเซล (diesel) ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการทำอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน น้ำซึ่งผ่านเครื่องกรองน้ำ (model: ultra flow) และสารลดแรงตึงผิวคือ span 80 เป็นสารเคมีเกรดเชิงการค้า (commercial grade) มีลักษณะเป็นสีเหลืองใส ละลายได้ดีในน้ำมันมีค่า HLB เท่ากับ 4.3 ซึ่งสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB อยู่ในช่วง 3-6 เป็นสารที่ทำให้เกิดอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน [10]

อุปกรณ์

ในการผลิตอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันจะใช้เครื่องกวนสารละลาย (magnetic stirrer) ร่วมกับแท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic bar) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 7 mm และความยาวเท่ากับ 25 mm ใช้ในการผสมด้วยวิธีการกวนผสม (stirrer) และการผสมอิมัลชันด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิก ได้ใช้เครื่องปฏิกรณ์ ultrasonic homogenizer ชนิดโพรบซึ่งมีความถี่เท่ากับ 18 kHz กำลังคลื่นเสียงเท่ากับ 1500 W (model: AKHGZ-50420K) โดยได้แสดงในภาพที่ 1 [11]



ภาพที่ 1 เครื่องปฏิกรณ์อัลตราโซนิกชนิดโพรบแบบกะ
(1 คือ support stand with ring clamp, 2 คือ ultrasonic generator, 3 คือ ultrasonic homogenizer,
4 คือ ultrasonic horn และ 5 คือ glass reactor)

การออกแบบการทดลอง

การทดลองจะทำการแปรค่าตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปรคือ ปริมาณดีเซล ปริมาณน้ำ และปริมาณสารลดแรงตึงผิว โดยปริมาณดีเซลมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 50-90 vol.% ปริมาณน้ำมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5-15 vol.% และปริมาณสารลดแรงตึงผิวมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5-45 vol.% ซึ่งผลรวมปริมาตรของสารผสมจะมีค่าเท่ากับ 40 mL (100 vol.%) ได้แสดงเงื่อนไขการทดลองในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดลอง

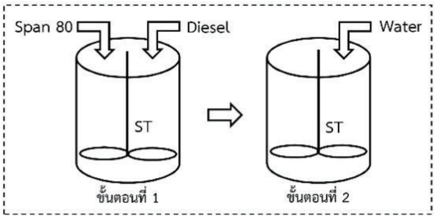
No.	Diesel (vol.%)	Water (vol.%)	Span 80 (vol.%)
1	90	5	5
2	80	5	15
3	80	10	10
4	80	15	5
5	70	5	25
6	70	10	20
7	70	15	15
8	60	5	35
9	60	10	30
10	60	15	25
11	50	5	45
12	50	10	40
13	50	15	35

ขั้นตอนการทดลองวิธีการผสมด้วยวิธีการกวนผสม

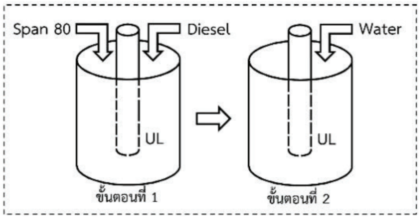
การทดลองวิธีการกวนผสมด้วยเครื่องกวนสารละลาย มีเงื่อนไขในการทดลอง 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ผสมดีเซลกับสารลดแรงตึงผิวตามเงื่อนไขที่กำหนด ใส่สารทั้งสองลงในบีกเกอร์ขนาด 50 mL หลังจากนั้นใส่แท่งแม่เหล็กกวนสาร ปิดบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟอยล์ ทำการกวนสารผสมด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็วรอบ เท่ากับ 500 rpm เวลา 60 s ในขั้นตอนที่ 2 เป็นการผสมน้ำเข้าไปในสารผสมจากขั้นตอนที่ 1 โดยการผสมน้ำตามเงื่อนไขที่กำหนดใส่ในบีกเกอร์เดียวกัน หลังจากนั้นทำการกวนผสมเช่นเดียวกับเงื่อนไขการผสมตามขั้นตอนที่ 1 เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดเก็บน้ำมันอิมัลชันใส่ขวดเก็บตัวอย่าง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30°C) เพื่อสังเกตการแยกชั้น โดยบันทึกภาพที่เวลา 2 min 30 min และ 60 min ซึ่งได้แสดงขั้นตอนการทดลองการผสมอิมัลชันด้วยวิธีการกวนผสมในภาพที่ 2(ก)

ขั้นตอนการทดลองวิธีการผสมด้วยอัลตราโซนิกชนิดโพรบ

การทดลองวิธีการผสมด้วยอัลตราโซนิกชนิดโพรบโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ ultrasonic homogenizer มีเงื่อนไขในการทดลองที่อัตราส่วนโดยปริมาตร โดยทำการผสม 2 ขั้นตอนคือขั้นตอนที่ 1 ผสมดีเซลกับสารลดแรงตึงผิวด้วยอัลตราโซนิกชนิดโพรบตามเงื่อนไขที่กำหนดใส่ในเครื่องปฏิกรณ์อัลตราโซนิก (ultrasonic reactor) ทำจากวัสดุ SUS316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34 mm ติดตั้งระยะห่างระหว่างปลายโพรบ (ultrasonic horn tip) กับผนังด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ SUS316 เท่ากับ 10 mm โดยปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกแบบต่อเนื่อง (continuous mode) เป็นระยะเวลา 60 s ต่อมาในขั้นตอนที่ 2 เป็นการผสมต่อจากขั้นตอนที่ 1 โดยการผสมน้ำตามเงื่อนไขที่กำหนดในเครื่องปฏิกรณ์เดียวกันจากนั้นทำการผสมด้วยอัลตราโซนิกชนิดโพรบตามเงื่อนไขที่กำหนดเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1 เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนด เก็บน้ำมันอิมัลชันใส่ขวดเก็บตัวอย่างเพื่อสังเกตการแยกชั้นโดยบันทึกภาพที่เวลา 2 min 30 min และ 60 min ซึ่งได้แสดงขั้นตอนการทดลองการผสมอิมัลชันด้วยวิธีอัลตราโซนิกชนิดโพรบในภาพที่ 2(ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทดลอง (ก) การผสมอิมัลชันด้วยวิธีการกวนผสม (ข) การผสมอิมัลชันด้วยวิธีอัลตราโซนิกชนิดโพรบ

ผลการทดลองและอภิปราย

จากผลการทดลองการผสมอิมัลชันตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดโดยบันทึกภาพที่เวลา 2 min 30 min และ 60 min เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการแยกชั้นและสีของอิมัลชันซึ่งอิมัลชันจะมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น และรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันเมื่อสังเกตด้วยสายตา ได้แสดงรูปการแยกชั้นของอิมัลชันน้ำในดีเซลด้วยวิธีการกวนผสมและการใช้คลื่นเสียงที่ปริมาณน้ำเท่ากับ 5 vol.% 10 vol.% และ 15 vol.% ในตารางที่ 2 ตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ตามลำดับ พบว่า ทุกเงื่อนไขของการใช้วิธีการกวนผสม การแยกชั้นของดีเซลและน้ำมีลักษณะการแยกชั้นกันอย่างรวดเร็ว ในระยะเวลาภายหลังหยุดการผสมประมาณ 60 s และมีการแยกชั้นที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ภายในระยะเวลาผสมจนถึงเวลาที่ 30 min และปริมาณการแยกชั้นไม่ค่อยมีเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ระยะเวลา 30 min ถึง 60 min เมื่อพิจารณาการใช้สารลดแรงตึงผิว (span 80) ที่เพิ่มขึ้น ในกรณีการใช้การกวนผสม พบว่า ไม่พบนัยสำคัญมากนักและเมื่อสังเกตทางกายภาพ เช่นที่ปริมาณน้ำเท่ากับ 5 vol.% โดยใช้ span 80 เท่ากับ S5, S15, S25, S35 และ S45 พบว่า เมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 60 min จะมีการแยกชั้นเป็น 2 และ 3 ชั้นอย่างเห็นได้ชัดถึงแม้ว่าจะเพิ่มปริมาณของ span 80 แต่เมื่อนำอัลตราโซนิกชนิดโพรบมาประยุกต์ใช้เพื่อผลิตอิมัลชันน้ำในดีเซล พบว่า ในกรณีการใช้วิธีอัลตราโซนิกทุกเงื่อนไขในระยะเวลาหลังจากการผสมประมาณ 180 s มีการแยกชั้นที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ภายในระยะเวลาหลังการผสม 3 min ถึง 30 min และจะมีการเปลี่ยนแปลงบริเวณการแยกชั้นลดลงภายหลังการผสมระยะเวลา 30 min ถึง 60 min เช่นเดียวกับการใช้วิธีการกวนผสม แต่สภาพการเป็นอิมัลชันน้ำในดีเซลเมื่อผลิตด้วยอัลตราโซนิกจะมีปริมาณอิมัลชันมากกว่า โดยเฉพาะกรณีการใช้น้ำที่ปริมาณ 10 vol.% และ 15 vol.% และเมื่อเพิ่มปริมาณ span 80 พบว่า ช่วงที่เหมาะสมคือ 10 ถึง 30 vol.% เนื่องจากเมื่อใช้ span 80 เท่ากับ 35 ถึง 45 vol.% จะเกิดการแยกชั้นตั้งแต่เวลา 2 min และจากที่ได้สังเกตความหนืดของอิมัลชันจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณ span 80 มากกว่า 40 vol.% ดังนั้นจากการทดลอง เงื่อนไขที่แนะนำคือ อัตราส่วนโดยปริมาตรของ ดีเซล/น้ำ/สารลดแรงตึงผิว เท่ากับ D80/W10/S10 ด้วยการใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกผสมอิมัลชัน โดยน้ำมันอิมัลชันจะมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นและมีการกระจายตัวของน้ำในดีเซลมากกว่าเงื่อนไขอื่น ๆ ส่งผลให้ปริมาตรภายหลังการผสมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 ตามภาพที่เวลาบันทึก 2 min 30 min และ 60 min

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเบื้องต้นของการผลิตอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันระหว่างดีเซลและน้ำ โดยใช้วิธีการผสมด้วยเครื่องกวนสารละลายและคลื่นเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบ ซึ่งใช้สารเคมี span 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว พบว่า วิธีการผสมด้วยเสียงอัลตราโซนิกชนิดโพรบ ที่ความถี่ 18 kHz กำลัง 1500 W เวลาในการผสมเท่ากับ 60 s ที่เงื่อนไขอัตราส่วนโดยปริมาตรของ ดีเซล:น้ำ:สารลดแรงตึงผิว เท่ากับ 80:10:10 มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นและมีการกระจายตัวของน้ำในดีเซลมากส่งผลทำให้ปริมาตรภายหลังการผสมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขอื่น ๆ ทำให้เกิดอิมัลชันมากกว่าวิธีการผสมด้วยเครื่องกวนสารละลายที่เงื่อนไขเดียวกัน แต่ใช้วิธีการกวนผสมคือ ความเร็วรอบ 500 rpm เวลาในการผสมเท่ากับ 60 s ภายหลังการผสมดีเซลกับน้ำจะแยกชั้นกันอย่างรวดเร็วและมีลักษณะไม่เป็นสีขาวขุ่น ดังนั้นการประยุกต์ใช้อัลตราโซนิกชนิดโพรบเพื่อผลิตอิมัลชันที่มีความเสถียรภาพมากกว่าการกวนผสมมีแนวโน้มที่ดี ซึ่งสามารถเพิ่มระยะเวลาในการแยกชั้น 66.7% แต่ยังต้องพิจารณาตัวแปรอิสระอื่น ๆ ที่อาจจะมีผลต่อการแยกเฟส เช่น ความถี่ ความเข้มของคลื่นต่อปริมาตรและระยะเวลาการผสม เชื้อเพลิงอิมัลชันด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสมจะได้นำไปทดสอบในเครื่องยนต์การเกษตรต่อไป

ตารางที่ 2 การแยกชั้นของอิมัลชันน้ำในดีเซลด้วยวิธีการกวนผสมและการใช้คลื่นเสียงที่ปริมาณน้ำเท่ากับ 5 vol.%

Method	Percentages of volumetric ratio (diesel/water/span 80)				
	D90/W5/S5	D80/W5/S15	D70/W5/S25	D60/W5/S35	D50/W5/S45
Picture at time = 2 min					
Stirrer					
Ultrasound					
Picture at time = 30 min					
Stirrer					
Ultrasound					
Picture at time = 60 min					
Stirrer					
Ultrasound					

Note: เวลาในการผสมเท่ากับ 60 s เวลาบันทึกภาพ ที่ 2 min 30 min และ 60 min

ตารางที่ 3 การแยกชั้นของอิมัลชันน้ำในดีเซลด้วยวิธีการกวนผสมและการใช้คลื่นเสียงที่ปริมาณน้ำเท่ากับ 10 vol.%

Method	Percentages of volumetric ratio (diesel/water/span 80)			
	D80/W10/S10	D70/W10/S20	D60/W10/S30	D50/W10/S40
Picture at time = 2 min				
Stirrer				
Ultrasound				
Picture at time = 30 min				
Stirrer				
Ultrasound				
Picture at time = 60 min				
Stirrer				
Ultrasound				

Note: เวลาในการผสมเท่ากับ 60 s เวลาบันทึกภาพ ที่ 2 min 30 min และ 60 min

ตารางที่ 4 การแยกชั้นของอิมัลชันน้ำในดีเซลด้วยวิธีการกวนผสมและการใช้คลื่นเสียงที่ปริมาณน้ำเท่ากับ 15 vol.%

Method	Percentages of volumetric ratio (diesel/water/span 80)			
	D80/W15/S5	D70/W15/S15	D60/W15/S25	D50/W15/S35
Picture at time = 2 min				
Stirrer				
Ultrasound				
Picture at time = 30 min				
Stirrer				
Ultrasound				
Picture at time = 60 min				
Stirrer				
Ultrasound				

Note: เวลาในการผสมเท่ากับ 60 s เวลาบันทึกภาพ ที่ 2 min 30 min และ 60 min

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการการพัฒนาพลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ ในชุมชนสีเขียว ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Murugesan, A. Umarani, C. Chinnusamy, T.R. Krishnan, M. Subramanian, R. and Neduzchezhain, N. (2009). Production and analysis of bio-diesel from non-edible oils-A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 13, 825–834.

[2] Tarigan, Elieser. Prateepchaikul, Gumpon. Yamsaengsung, Ram. Sirichote, Anchalee. andTekasakul, Perapong. (2007). Drying characteristics of unshelled kernels of candle nuts. **Journal of Food Engineering**. 79, 828–833.

[3] Leevijit, T. Tongurai, C. Prateepchaikul, G. and Wisutmethangoon, W. (2008). Performance test of a 6-stage continuous reactor for palm methyl ester production. **Bioresource Technology**. 99, 214–221.

[4] Sanjid, A. Masjuki, H.H. Kalam, M.A. Ashrafur Rahman, S.M. Abedin, M.J. and Palash, S.M. (2013). Impact of palm, mustard, waste cooking oil and Calophylluminophyllum biofuels on performance and emission of CI engine. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 27, 664–682.

[5] BulentKoc, A. and Abdullah, Mudhafar. (2013). Performance and NOx emissions of a diesel engine fueled with biodiesel-diesel-water nanoemulsions. **Fuel Processing Technology**. 109, 70–77.

[6] Kalam, M.A. and Masjuki, H.H. (2002). Biodiesel from palmoil-an analysis of its properties and potential. **Biomass and Bioenergy**. 23, 471–479.

[7] Khan, Mohammed Yahaya. Abdul Karim, Z. A. Hagos, FtwiYohaness. A. Aziz, A. Rashid. and Tan, Isa M. (2014). Current trends in water-in-diesel emulsion as a fuel.**The Scientific World Journal**.

[8] Khalife, Esmail. Kazerooni, Hanif. Mirsalim, Mostafa. Shojaei, TahaRoodbar. Mohammadi, Pouya. Salleh, AmranMohd. Najafi, Bahman. andTabatabaei, Meisam. (2017). Experimental investigation of low-level water in waste-oil produced biodiesel-diesel fuel blend. **Energy**. 121, 331–340.

[9] Kentish, S. Wooster, T.J. Ashokkumar, M. Balachandran, S. Mawson, R. and Simons, L. (2008). The use of ultrasonics for nanoemulsion preparation. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 9, 170–175.

[10] Lin, Bo-Jhih. Chen, Wei-Hsin. Budzianowski, Wojciech M. Hsieh, Cheng-Ting. and Lin, Pei-Hsun. (2016). Emulsification analysis of bio-oil and diesel under various combinations of emulsifiers. **Applied Energy**. 178, 746–757.

[11] Somnuk, K. and Prateepchaikul, G. (2014). Feasibility of using high-intensity ultrasound assisted biodiesel production from mixed crude palm oil in two-step process. **Advanced Materials Research**. 875-877, 1687–1692.

สมรรถนะเตาชีวมวลเมื่อใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

Performance of Biomass Stove with using Agricultural Pellets Fuel

โสภาภรณ์ รัตนะ[1], นิกราน หอมดวง[1,*], ณัฐวุฒิ ดุษฎี[1], นัฐพร ไชยญาติ[1] และ เสมอขวัญ ตันติกุล[2],

[1] สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[2] สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของเตาชีวมวลเมื่อใช้เชื้อเพลิงจากซังข้าวโพดอัดเม็ดและเศษไม้อัดเม็ดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เปรียบเทียบกับการใช้เศษไม้ลำไยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1 inch เตาชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบเป็นเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง ใช้การป้อนอากาศแบบธรรมชาติ (Natural Draft) โดยทดสอบและวิเคราะห์หาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน อุณหภูมิน้ำ ประสิทธิภาพความร้อนและต้นทุนการผลิตความร้อนของเตาชีวมวล ผลการศึกษาพบว่าการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจากซังข้าวโพดอัดเม็ด ให้สมรรถนะในการทำงานสูงสุด รองมาเป็นเศษไม้อัดเม็ดและเศษไม้ลำไยตามลำดับ ทั้งในด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ อุณหภูมิน้ำเดือด และประสิทธิภาพความร้อน โดยการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจากซังข้าวโพดอัดเม็ดมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าการใช้เชื้อเพลิงจากเศษไม้อัดเม็ด และเศษไม้ลำไยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.25% - 36% และ 7.6% - 32.8% ตามลำดับ ช่วงอุณหภูมิน้ำเดือดของการใช้เชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 91-98 $^{\circ}$C ประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวลเมื่อใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดมีค่าสูงสุด 21.27% ถัดมาเป็นเศษไม้อัดเม็ด 19.65% และเศษไม้ลำไย 13.2% ต้นทุนการผลิตความร้อนของเตาชีวมวลเมื่อใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดต่ำสุดเฉลี่ย 3-5 Baht/kWh ดังนั้นการใช้ชีวมวลอัดเม็ดกับเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงมีศักยภาพในการใช้งาน อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นจะต้องมีต้นทุนที่ต่ำหรือเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ไม่มีมูลค่าใดๆ

คำสำคัญ: เตาชีวมวล ชีวมวลอัดเม็ด วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ประสิทธิภาพความร้อน

---

[1]นิกราน หอมดวง: Tel.: 0-533-3194 Email address: nigranghd@gmail.com

การวิเคราะห์ข้อมูล

ประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวล หมายถึงอัตราส่วนของพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ (Q_{useful}) ต่อพลังงานที่ป้อนเข้าสู่เตาชีวมวล (Q_{input}) โดยทดสอบตามมาตรฐานการต้มน้ำ (WBT) โดยหาได้จากสมการที่ 1 [4]

$$\eta_B = \frac{[m_{w,1} \times c_{p,w}(T_{w,B} - T_{w,i})][m_{w,2} \times h_{fg}]}{m_{fuel} \times LHV} \quad (1)$$

เมื่อ	$m_{w,1}$	คือ	มวลน้ำเริ่มต้น (kg)
	$m_{w,2}$	คือ	มวลน้ำระเหย (kg)
	$C_{p,w}$	คือ	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่า 4.186 kJ/kg °C
	h_{fg}	คือ	ค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ 2,257 kJ/kg
	$T_{w,B}$	คือ	อุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ (°C)
	$T_{w,i}$	คือ	อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)
	m_{Fuel}	คือ	มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด (kg)
	LHV	คือ	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

อัตราการสิ้นเปลืองชีวมวลหมายถึง ปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ต่อระยะเวลาการใช้งานของเตาชีวมวล โดยหาได้จากสมการที่ 2

$$FC = \frac{M}{T} \quad (2)$$

เมื่อ	FC	คือ	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/h)
	M	คือ	มวลเชื้อเพลิงชีวมวล (kg)
	T	คือ	ระยะเวลาการใช้งานเตาชีวมวล (h)

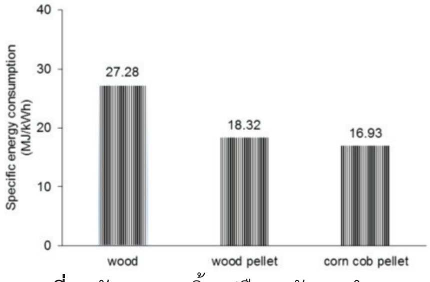
อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหมายถึง ค่าดัชนีของการใช้พลังงานต่อหน่วยการกำลังการผลิต สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาสมรรถนะของเตาชีวมวล โดยหาได้จากสมการที่ 3

$$SEC = \frac{E}{Q_u} \quad (3)$$

เมื่อ	SEC	คือ	อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kJ/kWh)
	E	คือ	อัตราการใช้พลังงาน (kJ/h)
	Q_u	คือ	พลังงานที่เตาชีวมวลผลิตได้ (kW)

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

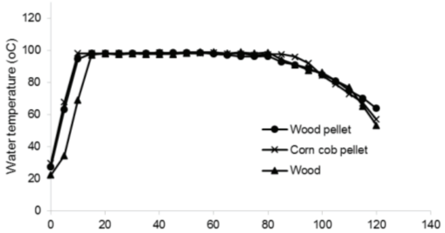
จากภาพที่ 4 เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงจากซังข้าวโพดอัดเม็ดมีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำ จึงส่งผลให้มีอัตราการสิ้นพลังงานจำเพาะต่ำเฉลี่ย 16.93 MJ/kWh ถัดมาเป็นเศษไม้อัดเม็ด 18.32 MJ/kWh และไม้ลำไยสูงสุด 27.28 MJ/kWh การลดลงของอัตราการสิ้นพลังงานจำเพาะที่ต่ำจะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตความร้อนของเตาชีวมวลให้ต่ำลง [6] ซึ่งจะเกิดผลดีเมื่อชุมชนนำไปใช้งาน อย่างไรก็ตามถ้าเปรียบเทียบด้านสมรรถนะการทำงานของเตาชีวมวลกับเตาแก๊สหุงต้มทั่วไป อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเตาชีวมวลจะต่ำกว่าเตาแก๊สหุงต้ม โดยเฉลี่ยประมาณ 7-8 เท่าของการใช้ชีวมวลทั่วไป [7]



ภาพที่ 4 อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

อุณหภูมิการเดือดของน้ำจากเตาชีวมวล

จากภาพที่ 5 การใช้เชื้อเพลิงจากซังข้าวโพดอัดเม็ดมีช่วงอุณหภูมิการเดือดของน้ำ ค่อนข้างเสถียรและมีความต่อเนื่องกว่าเศษไม้อัดเม็ดและไม้ลำไย โดยอุณหภูมิช่วงน้ำเดือดเฉลี่ยของเชื้อเพลิงทั้งสามชนิดอยู่ในช่วง 91-98 $^{\circ}$C การใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดทำให้น้ำเดือดเร็วกว่าการใช้เศษไม้ลำไยปกติ โดยจะเดือดเร็วกว่าเฉลี่ย 33.33% สาเหตุที่เชื้อเพลิงอัดเม็ดให้อุณหภูมิน้ำเดือดสูงกว่าและเร็วกว่า เกิดจากคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ดีกว่าทั้งในด้านความหนาแน่น ขนาดเชื้อเพลิงและความสมารถในการคลุกเคล้ากับกับอากาศดีกว่าในระหว่างการเผาไหม้



ภาพที่ 5 อุณหภูมิการเดือดของน้ำจากเตาชีวมวล

ประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวล

จากภาพที่ 6 การใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าการใช้เศษไม้ลำไย โดย การใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดมีประสิทธิภาพความร้อนสูงสุดเฉลี่ย 21.27% ถัดมาเป็นเศษไม้อัดเม็ด 19.65% และไม้ลำไย 13.2% ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 32.82 – 37.94% อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบการเผาไหม้กับแก๊สหุงต้ม (LPG) [8] พบว่าการใช้แก๊สหุงต้มให้ประสิทธิภาพสูงกว่า 57 - 61% โดยเฉลี่ยการเผาไหม้ด้วยแก๊สหุงต้มจะมีประสิทธิภาพความร้อนอยู่ในช่วง 50-55 % [5]

ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวล

ต้นทุนการผลิตความร้อนของเตาชีวมวล

ในการนำเตาชีวมวลไปใช้กับชุมชนสิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือราคาของเชื้อเพลิงต่อหน่วยการผลิตความร้อน จากภาพที่ 7 พบว่าการใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดมีต้นทุนการผลิตความร้อนต่ำสุด ถัดมาเป็นเศษไม้ลำไย และเศษไม้อัดเม็ดตามลำดับ โดยต้นทุนของการใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดต่ำสุด ซึ่งเกิดจากลักษณะของชีวมวลที่มีคุณสมบัติที่สูงกว่า ขณะที่การอัดเม็ดเชื้อเพลิงจากซังข้าวโพดก็ใช้พลังงานต่ำกว่าการอัดเม็ดเศษไม้และสุดท้ายคือส่วนของราคาซังข้าวโพดมีค่าต่ำกว่าเศษไม้ประมาณ 0.5 Baht/kg ดังนั้นต้นทุนการผลิตเศษไม้อัดเม็ดจึงสูงกว่าซังข้าวโพดอัดเม็ด อย่างไรก็ตามการส่งเสริมให้นำเอาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมาใช้ในชุมชนเพิ่มสูงขึ้น โดยวัสดุชีวมวลที่ใช้ในชุมชนควรเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ที่หาง่าย ต้นทุนต่ำหรือไม่มีค่าในการซื้อขาย จะทำให้ต้นทุนการผลิตความร้อนต่ำลง

ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวล

สรุปผลการทดลอง

- การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากซังข้าวโพด ส่งผลให้สมรรถนะการทำงานของเตาชีวมวลมีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งในด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ อุณหภูมิน้ำ และประสิทธิภาพความร้อน ถัดมาเป็นเศษไม้อัดเม็ด และไม้ตามลำดับ

- โดยการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ น้อยกว่าการใช้เชื้อเพลิงจากเศษไม้อัดเม็ดและไม้ลำไย เฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.25% - 36% และ 7.6% - 32.8% ตามลำดับ

- อุณหภูมิช่วงน้ำเดือดของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด เฉลี่ยอยู่ในช่วง 91-98 $^{\circ}C$

- ซังข้าวโพดอัดเม็ดให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงสุดเฉลี่ย 21.27% รองลงมาเป็นเศษไม้อัดเม็ด 19.65% และไม้ลำไย 13.2% ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงสุดเฉลี่ย 32.82 – 37.94%

- การใช้ซังข้าวโพดอัดเม็ดมีศักยภาพนำไปใช้กับชุมชนโดยมีต้นทุนการผลิตความร้อนต่ำสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 3.88 Baht/kWh และเศษไม้อัดเม็ดกับไม้ลำไยมีต้นทุนการผลิตความร้อนใกล้เคียงกันเฉลี่ยอยู่ที่ 5 Baht/kWh อย่างไรก็ตามการส่งเสริมให้นำเอาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมาใช้ในชุมชนเพิ่มสูงขึ้น โดยวัสดุชีวมวลที่ใช้ในชุมชนควรเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ที่หาง่าย ต้นทุนต่ำหรือไม่มีค่าในการซื้อขาย จะทำให้ต้นทุนการผลิตความร้อนต่ำลง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา และขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและศูนย์วิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานคณะกรรมการกลางว่าด้วยราคาสินค้าและการบริการ. (2560). **ราคาจำหน่ายปลีกแนะนำแก๊สปิโตรเลียมเหลวบรรจุถัง (แก๊สหุงต้ม)**. ฉบับที่ 9

[2] วราภรณ์ ทุมชาติ. (2557). **การผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สจากเตาแบบ Inverted Downdraft โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง**. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 7(1), 26-39.

[3] วรรณรัตน์ ชาญนุกูล. (2552). **นโยบายพลังงานของประเทศ**, กระทรวงพลังงาน

[4] นิกราน หอมดวง นฤมล ทิศใต้ กนกวรรณ ศรีคำวัง ธนชาติ มหาวัน กิตติกร สาสุจิตต์ และณัฐวุฒิ ดุษฎี. (2560). **สมรรถนะเตาแก๊สชีวมวลแบบป้อนต่อเนื่องและป้อนเป็นช่วงเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรเป็นเชื้อเพลิง**. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13. วันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่.

[5] สมมาส แก้วล้วน ดำรงศักดิ์ จันโทสี สุรชัย จันทร์ศรี และเวคิน ปิยรัตน์. (2013). **การทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลขนาด 20 kW**. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 8(1), 24-33.

[6] Radha Devi Bhattarai. (2014). **Household Fuel and Energy use for Rural Development in Nepal**. Doctoral Dissertation. Norwegian University.

[7] ธนชาต มหาวัน. (2560). **การพัฒนาเตาก๊าซชีวมวลไร้ควันสำหรับการผลิตความร้อนในวิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[8] ธนชาติ มหาวัน ชูรัตน์ ธารารักษ์ ณัฐวุฒิ ดุษฎี กิตติกร สาสุจิตต์ และนิกราน หอมดวง. (2559). **สมรรถนะเตาแก๊สชีวมวลไร้ควันเมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง**. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12. วันที่ 8-10 มิถุนายน 2559 ณ โรงแรมวังจันทร์ริเวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก. คณะวิทยาศาสตร์ ร่วมกับมหาวิทยาลัยแม่โจ้.

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชนด้วยอากาศร้อนแบบสลับทิศทางที่ผลิตจากเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง

Studying the Performance of the Direction Switch Air Dryer for Food Product Using Hot Air from the High Efficiency Biomass Gasifier Stove

ภาสพงศ์ภัสส์ บัญรัตน์[1] ภาคภูมิ ศรีรมรื่น[1] และสมมาส แก้วล้วน[1*]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก 26120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชนด้วยอากาศร้อนแบบสลับทิศทางที่ผลิตจากเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง เครื่องอบแห้งประกอบด้วยห้องอบจำนวน 4 ห้องแต่ละห้องสามารถบรรจุถาดวางผลิตภัณฑ์ได้จำนวน 5 ถาด แต่ละถาดมีขนาดกว้าง 50 เซนติเมตรยาว 56 เซนติเมตร และขอบถาดสูง 1.5 เซนติเมตร สามารถบรรจุกล้วยได้ถาดละ 300 กรัม ลมร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 60 ถึง 70 °C ถูกป้อนเข้าห้องอบผ่านวาล์วสลับทิศทางการไหลสู่ห้องอบที่ 1-2-3-4 และเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที ทิศทางการไหลของลมร้อนจะถูกสลับให้ไหลย้อนกลับจาก 4-3-2-1 ตามลำดับ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ในแต่ละห้องอบแห้งสม่ำเสมอกันโดยไม่ต้องเปิดตู้อบมาสลับตำแหน่งถาดวางผลิตภัณฑ์ ในการอบแห้งใช้เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงเป็นแหล่งผลิตความร้อนและถ่ายเทให้กับอากาศสำหรับอบแห้งผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขวางเพื่อให้ได้อุณหภูมิอากาศสำหรับการอบแห้งโดยสมรรถนะของเครื่องอบแห้งนี้จะถูกเปรียบเทียบระหว่างเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชนร่วมกับระบบผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวล และเตาแก๊สหุงต้ม (รุ่น KB-8)

จากการทดลองอบแห้งกล้วยหั่นแว่นหนา 2 ถึง 3 มิลลิเมตร ที่น้ำหนักกล้วยก่อนอบ 6,000 กรัมและมีความชื้นมาตรฐานเปียกก่อนอบที่ 72% ด้วยอุณหภูมิลมร้อน 60 ถึง 70 °C ที่อัตราการไหล 830 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงเป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดยใช้เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงที่มีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 200-300 กรัมทุกๆ 5 นาที รวมปริมาณเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวที่ใช้ตลอดช่วงการอบแห้งเท่ากับ 4.8 กิโลกรัม ผลจากการทดลองอบแห้งแบบสลับทิศทางการไหลของลมร้อนพบว่าน้ำหนักกล้วยแห้งมีค่า 1,813 กรัม ความชื้นสุดท้ายในห้องที่ 1-4 มีค่า 6.44, 7.93, 7.64 และ 7.36 % ตามลำดับ และมีอัตราการอบแห้ง 523 g/h ใกล้เคียงกันทั้ง 4 ห้อง ในขณะที่อบแห้งแบบไม่สลับทิศทางการไหลของลมร้อนพบว่าน้ำหนักกล้วยแห้งมีค่า 1,872 กรัม ความชื้นสุดท้ายในห้องที่ 1-4 มีค่า 5.85, 9.60, 12.21 และ 14.01 % ตามลำดับ และมีอัตราการอบแห้งที่อบแห้งที่ 1-4 เท่ากับ 527, 520, 511 และ 506 g/h ตามลำดับ โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ 1.15 kg/kg ของน้ำที่ระเหย มีอัตราการอบแห้งที่ 2.1 kg/h ซึ่งค่าใช้จ่ายในการอบแห้งกล้วยประมาณ 2.56 บาทต่อกิโลกรัมกล้วยแห้ง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งที่ใช้เชื้อเพลิง LPG ซึ่งมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานประมาณ 16.5 บาทต่อกิโลกรัมกล้วยแห้งซึ่งเครื่องอบแห้งสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ 14 บาทต่อกิโลกรัมกล้วยแห้ง

คำสำคัญ: การอบแห้ง, เตาแก๊สชีวมวล, ลมร้อนสลับทิศทาง, กล้วยหั่นแว่น

*Corresponding author: Tel.: 089-7659091. E-mail address: sommas@g.swu.ac.th

บทนำ

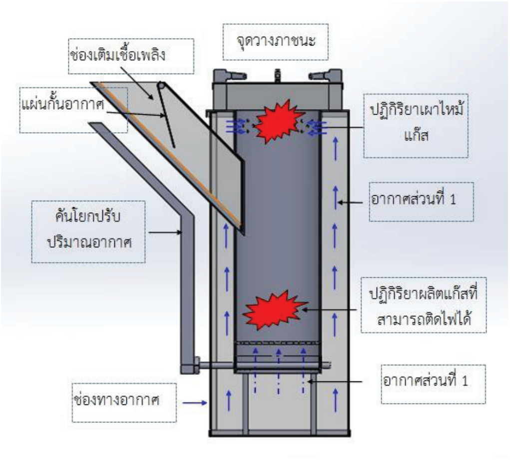
การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นโดยการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นภายใต้สภาวะที่ควบคุมเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยโดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหยซึ่งโดยปกติแล้วผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่นั้นมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยวทำให้เก็บรักษาได้ไม่นานการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาคุณภาพ ลดความสูญเสีย ลดปริมาตร ลดน้ำหนัก และยืดเวลาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร การอบแห้งนั้นถือเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนมาก แต่การวางแผนดำเนินการอบแห้ง (Drying strategy) ภายใต้สภาวะอากาศและเงื่อนไขที่กำหนดก็ถือเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเพื่อให้ได้วิธีการดำเนินการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้การพิจารณาแหล่งพลังงานสำหรับการอบแห้งก็ถือเป็นสิ่งที่จำเป็นเช่นกัน การวิจัยได้พัฒนานำเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน เพื่อสนองตอบต่อความต้องการของชุมชนในการลดต้นทุนด้านพลังงานซึ่งปัจจุบันมีการใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิงอีกทั้งยังช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้วิจัยและศึกษาข้อมูลเครื่องอบแห้งของชุมชน (การอบแห้งกล้วยหั่น) พบว่าการอบแห้งของชุมชนดังกล่าวใช้เชื้อเพลิง LPG ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีราคาสูงอีกทั้งยังมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นในอนาคตอันใกล้อีกทั้งลักษณะของเครื่องอบแห้งมีการกระจายลมที่ไม่สม่ำเสมอส่งผลให้การอบแห้งต้องมีการพลิกกลับผลิตภัณฑ์ในระหว่างอบ ซึ่งต้องทำการเปิดตู้อบเพื่อดำเนินการดังกล่าวจึงเป็นเหตุให้กระบวนการอบแห้งมีความยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลาและเกิดการสูญเสียพลังงานในระหว่างเปิดตู้อบดังกล่าวด้วยในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อนต้องคำนึงถึงความเร็วลมและช่วงเวลาการสลับลมที่เหมาะสม ในการอบแห้งของกล้วยจากความชื้นเริ่มต้น 68.67%(w.b.)จนเหลือความชื้นสุดท้าย 14.00 %(w.b.) ใช้ความเร็วลม 0.88 m/s โดยไม่ต้องสลับลมร้อน [1]

ในขณะที่ราคาก๊าซ LPGสำหรับภาคครัวเรือน และวิสาหกิจชุมชนเป็นราคาที่เบี่ยงเบนจากราคาที่แท้จริง เนื่องจากมาตรการพยุงราคาตามนโยบายของรัฐบาล อย่างไรก็ตามในปี ค.ศ. 2015 ซึ่งประเทศไทยจะเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน หรือAEC(AsianEconomic Community) ทำให้ประเทศไทยต้องปรับราคาก๊าซ LPG (วิชัย พรกีรติวัฒน์ 2555)ให้สะท้อนต้นทุนที่แท้จริงและใกล้เคียงกับประเทศในกลุ่มอาเซียน เพื่อหลีกเลี่ยงจากผลกระทบจากการปรับราคา LPG จึงมีการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการอบแห้งเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงโดยใช้เตาชีวมวลกำเนิดลมร้อนสำหรับการอบกล้วยขนาดบรรจุ 300 กิโลกรัมจากความชื้นเริ่มต้น 68.67%(w.b.)เหลือความชื้น 14.0 %(w.b.) ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 38 MJ/kg ของน้ำระเหย [2] และปรับปรุงสมรรถนะเครื่องอบแห้งโดยการใช้พลัง LPG รุ่น KB-8 อบแห้งกล้วยหั่นที่ความชื้นเริ่มต้น 68.67 %db ลดลงเหลือร้อยละ 14%db พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง16.42 MJ/kgH2Oevap พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 14% เป็น 19.8% และสามารถประหยัดเชื้อเพลิงชีวมวลในการอบแห้งได้ถึง 23% [3] เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและลดต้นทุนค่าใช้จ่ายจากการวิจัยจึงทำการศึกษาการอบแห้งและการใช้เตาชีวมวลซึ่งใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อน ร่วมกับการใช้ระบบจ่ายลมร้อนแบบสลับทิศทางการไหลในการสลับทิศทางการไหลของความร้อน ซึ่งการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง จะช่วยลดต้นทุนในการใช้เชื้อเพลิงได้เป็นอย่างมาก อีกทั้งระบบจ่ายลมร้อนแบบสลับทิศทางการไหลยังช่วยให้อบแห้งกล้วยแว่นได้ทั่วถึงยิ่งขึ้น โดยระบบจ่ายลมร้อนแบบสลับทิศทางการไหลจะทำหน้าที่สลับทิศทางการไหลของลมร้อน ลมร้อนจะทำหน้าที่ลดความชื้นจากผลิตผลทำให้ความชื้นระเหยออกมาและพัดออกไปอย่าง

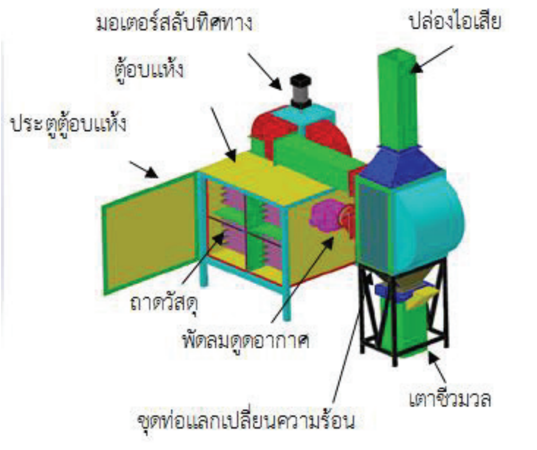
รวดเร็ว เนื่องจากระบบจ่ายลมร้อนแบบสลับทิศทางการไหลนั้นจะมีลมร้อนหมุนเวียนอยู่ในระบบตลอดเวลา นอกจากนี้สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร คือ กลิ่น สี และเนื้อของผลิตผล ซึ่งต้องเป็นไปตามความต้องการของตลาด ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตผลดังกล่าว ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง การผลิตลมร้อนสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยใช้ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบชุดกลุ่มท่อ (Tube bank)เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแหล่งผลิตความร้อนจากเตาเผาชีวมวลผสมกับอากาศ

เตาแก๊สชีวมวล [4]

เตาแก๊สชีวมวลคือเตาความร้อนที่มีการทำงานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนการแปรสภาพเชื้อเพลิงแข็งเป็นแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ และขั้นตอนการเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์เพื่อผลิตความร้อน แสดงดังภาพที่ 1 เตาแก๊สชีวมวลซึ่งเป็นเตาที่มีผนัง 2 ชั้น (ห้องปฏิกิริยาและช่องอุ่นอากาศ) มีห้องเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง ช่องขี้เถ้าออก และช่องสำหรับใส่ชีวมวล มีการเพิ่มวาล์วควบคุมการป้อนอากาศส่วนที่ 1 เพื่อสามารถควบคุมปฏิกิริยาการสันดาปให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยไม่อาศัยพัดลมเป่าอากาศ โดยวาล์วนี้เป็นวาล์วที่ควบคุมการป้อนอากาศส่วนที่ 1 เข้าสู่ห้องห้องปฏิกิริยา โดยสามารถหมุนปิดเปิดได้ในแนวแกนสามารถเร่งหรี่ความร้อนได้และมีช่องที่ใช้สำหรับเติมเชื้อเพลิงบริเวณด้านหน้าเตาที่สามารถเติมเชื้อเพลิงได้ง่ายและสามารถดูปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือในเตาได้ด้วย



ภาพที่ 1 เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง



ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อนด้วยพลังงานชีวมวล

เครื่องอบแห้ง

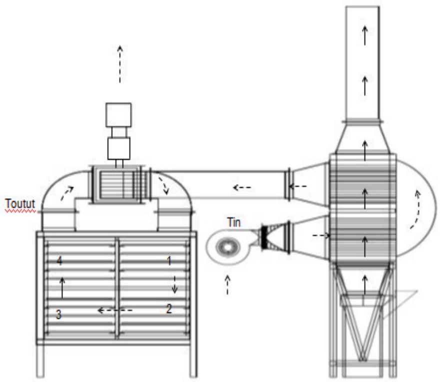
เครื่องอบแห้งมีการไหลเวียนลมร้อนจากแหล่งผลิตลมร้อนด้วยเตาชีวมวลซึ่งลมร้อนจะลอยขึ้นผ่านชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อนชุดที่หนึ่งและชุดที่สองต่อจากนั้นระบายออกสู่ภายนอกผ่านปล่องไอเสียในเวลาเดียวกันพัดลมดูดอากาศสำหรับอบแห้งเข้าไปรับความร้อนจากชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อนชุดที่หนึ่ง ต่อจากนั้นไหลวนกลับเข้าไปรับความร้อนเพิ่มด้วยชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อนชุดที่สอง และป้อนอากาศร้อนสำหรับอบแห้งเข้าสู่ห้องอบแห้งผ่านวาล์วสลับทิศทางการไหลเพื่อควบคุมอากาศร้อนเข้าสู่ห้องอบแห้งที่ 1-2-3-4 และระบายออกสู่ภายนอกผ่านช่องระบายอากาศด้านหลังตู้อบ ปรับวาล์วสลับทิศทางการไหลให้อากาศร้อนไหลย้อนกลับจากห้องอบแห้งที่ 4-3-2-1 และระบายออกสู่ภายนอกผ่านช่องระบายอากาศด้านหลังตู้อบตามลำดับ อากาศร้อนสำหรับอบแห้งมีการวัดอุณหภูมิทางเข้าและทางออกตู้อบแห้งตามภาพที่ 2

วิธีการวิจัย

การทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพิจารณาจากตัวแปรอัตราการอบแห้ง อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะโดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องอบแห้งที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลกับเชื้อเพลิง LPG โดยการปรับอุณหภูมิเข้าตู้อบในช่วงอุณหภูมิ 60-70 $^{\circ}$C ด้วยการปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิง

ทดลองอบแห้งกล้วยหั่นแว่นหนา 1 ถึง 2 มิลลิเมตร จำนวน 20 ถาดน้ำหนักรวมก่อนอบแห้ง 6,000 กรัมด้วยอุณหภูมิลมร้อน 60 ถึง 70 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหล 830 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง อากาศร้อนถูกป้อนเข้าสู่ห้องอบแห้งผ่านวาล์วสลับทิศทางการไหลเข้าสู่ห้องอบแห้ง 1-2-3-4 และระบายออกสู่ภายนอกผ่านช่องระบายอากาศด้านหลังตู้อบเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที ทิศทางการไหลของอากาศร้อนจะถูกสลับแบบอัตโนมัติโดยวาล์วสลับทิศทาง อากาศร้อนไหลย้อนกลับจากห้องอบแห้ง 4-3-2-1 และระบายออกสู่ภายนอกผ่านช่องระบายอากาศด้านหลังตู้อบตามลำดับ ในเวลาเดียวกันเชื้อเพลิงกะลามะพร้าวถูกป้อนเข้าเตาชีวมวลที่ 200-300 กรัมทุกๆ 5 นาที เพื่อเป็นแหล่งความร้อนให้อากาศร้อนซึ่งในแต่ละการทดลองใช้เวลาในการอบแห้ง 2 ชั่วโมง โดยตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลองจะทำการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 30 วินาที จนครบ 2 ชั่วโมง และมีการสุ่มตัวอย่างชิ้นกล้วยในแต่ละห้องอบมาทดสอบหาความชื้นทุก 5 นาที ตามมาตรฐาน ASTM E1358-97

.ในขณะที่การทดลองอบแห้งกล้วยหั่นแว่นแบบไม่สลับทิศทางการไหลของอากาศร้อนก็กระทำเช่นเดียวกันแต่จะใช้แหล่งความร้อนจากเตาแก๊สหุงต้มรุ่น KB-8 แทนเตาชีวมวล โดยเงื่อนไขอื่นๆ ยังคงเป็นเช่นเดิม

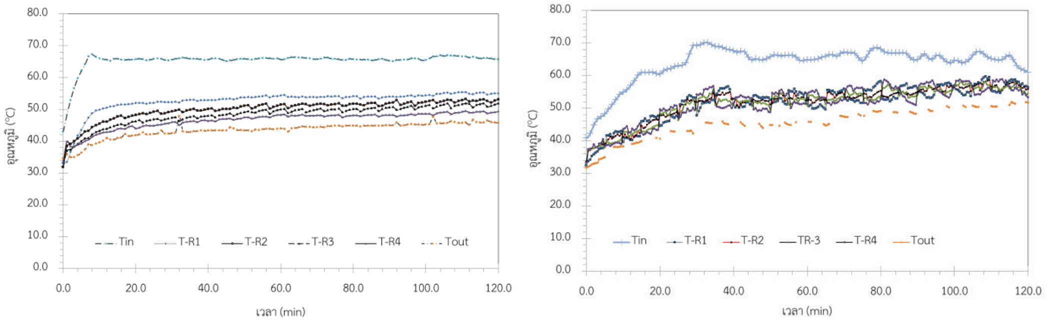


(ก) (ข)

ภาพที่ 3 แสดงทิศทางการไหลเวียนของลมร้อนในเครื่องอบแห้ง (ก) ลักษณะกล้วยหั่นแว่นก่อนอบแห้ง (ข)

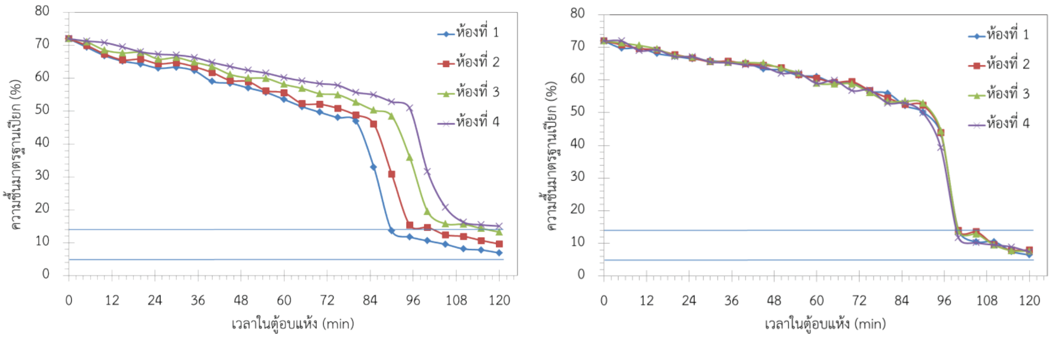
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้าหั่นแว่นด้วยอากาศร้อนที่ผลิตจากเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงซึ่งใช้กะลามะพร้าวเป็นเชื้อเพลิง โดยกะลามะพร้าวมีค่าความร้อนทางต่ำ 16.31 MJ/kg โดยการทดลองมีการสลับทิศทางการไหลของอากาศร้อนทุกๆ 5 นาที ผลการตรวจวัดอุณหภูมิเข้า-ออกห้องอบแห้ง และอุณหภูมิในห้องอบแห้งที่ 1-4 แสดงดังภาพที่ 4(ข) ซึ่งจากกราฟที่ได้ พบว่าอากาศร้อนที่ป้อนเข้าสู่ห้องอบแห้งมีอุณหภูมิประมาณ 65 $^{\circ}$C เริ่มต้นโดยไหลเข้าห้องอบแห้งที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ และไหลออกจากห้องอบแห้ง โดยอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งมีแนวโน้มลดลงตามทิศทางการไหลของอากาศร้อน ซึ่งอุณหภูมิในห้องอบแห้งที่ 4 จะต่ำสุด เมื่อครบเวลา 5 นาที ทิศทางการไหลของอากาศร้อนจะถูกสลับแบบอัตโนมัติ อากาศร้อนจะไหลย้อนทิศทางเดิมโดยจะไหลเข้าห้องอบแห้งที่ 4,3,2 และ 1 โดยอุณหภูมิอากาศร้อนที่ห้องอบที่ 4 จะมีระดับสูงสุด และในห้องอบแห้งที่ 1 ต่ำสุด ซึงมีความแตกต่างจากกรณีที่มีมีการสลับทิศทางการไหลของอากาศร้อน (ภาพที่ 4(ก)) อุณหภูมิในห้องอบที่ 1 จะสูงสุดเมื่อเทียบกับอีก 3 ห้องช่วงของการอบแห้ง และระดับอุณหภูมิลดลงตามลำดับในห้องอบแห้งที่ 2, 3 และ 4



ภาพที่ 4 อุณหภูมิในห้องอบแห้งที่ 1-4 เมื่อไม่มีการสลับทิศทางลมร้อน (ก) และมีการสลับทิศทางลมร้อน (ข)

จากภาพที่ 4(ก) แสดงให้เห็นการลดลงของอุณหภูมิเมื่อลมร้อนไหลผ่านห้องอบที่ 1-4 เมื่อไม่มีการสลับทิศทางการไหลของอากาศร้อนและอากาศร้อนไหลออกจากห้องอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำโดยเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในห้องอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากความชื้นในวัสดุมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่การอบแห้งแบบสลับทิศทางการไหลของอากาศร้อนร้อนพบว่าในช่วงแรกค่าอุณหภูมิในห้องอบแห้งที่ 1 สูง และค่อยลดหลั่นลงไปในห้องอบที่ 2, 3 และ 4 หลังเวลาเปลี่ยนไปทุกๆ 5 นาที วาล์วสลับทิศทางการไหลของลมร้อนทำงานทำให้ลมร้อนเข้าสู่ห้องอบที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ อุณหภูมิในห้องอบที่ 4 สูงสุดแล้วค่อยๆ ลดลงตามลำดับสู่ห้องอบแห้งที่ 3, 2 และ 1 การสลับทิศทางการไหลของลมร้อนทำให้อุณหภูมิของห้องอบที่ 1,2,3,4 และมีอุณหภูมิที่สม่ำเสมอกันทั้ง 4 ห้อง ทำให้กล้วยน้ำว้านั้นแห้งอย่างสม่ำเสมอ ส่วนการอบแห้งแบบไม่สลับทิศทางนั้น จากกราฟผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการอบแห้งแบบไม่สลับทิศทางค่าของอุณหภูมิที่ 1, 2, 3 และ 4 จะแตกต่างกัน การไม่สลับทิศทางการไหลของลมร้อนทำให้อุณหภูมิในห้องอบแตกต่างกันจึงทำให้กล้วยน้ำว้าแห้งอย่างไม่สม่ำเสมอ



(ก) (ข)

ภาพที่ 5 การลดลงของความชื้นวัสดุในห้องอบแห้งที่ 1-4 เมื่อไม่มีการสลับทิศทางลมร้อน (ก) และมีการสลับทิศทาง (ข)

จากผลการทดลองการอบแห้งแบบสลับทิศทางและการอบแห้งแบบไม่สลับทิศทาง นำผลความชื้นมาตรฐานเปียกมาเปรียบเทียบโดยพิจารณาจากค่าความชื้นเริ่มต้นของกล้วยน้ำหว้าก่อนอบแห้ง ระหว่างอบแห้ง และจุดสิ้นสุดการอบแห้ง โดยทำการวิเคราะห์หาค่าความชื้นทุกๆ 5 นาที จากตัวอย่างกล้วยน้ำว้าทั้ง 4 ห้อง จากกราฟผลการทดลอง (ภาพที่ 5) จะเห็นได้ว่าค่าความชื้นของกล้วยน้ำว้าจากการอบแห้งแบบสลับทิศทางการไหลของอากาศร้อนในเวลา 120 นาที มีแนวโน้มลดลงอย่างสม่ำเสมอทั้งสี่ห้องอบ โดยความชื้นที่จุดสิ้นสุดการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกันเพราะอุณหภูมิในแต่ละห้องมีความสม่ำเสมอจากภาพที่ 4 ส่วนการอบแห้งแบบไม่สลับทิศทางจะเห็นได้ว่าค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ในแต่ละห้องอบมีความแตกต่างกันทั้งสี่ห้องเนื่องจากอุณหภูมิในห้องอบทั้งสองห้องที่ไม่สม่ำเสมอกัน

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชนด้วยลมร้อนแบบสลับทิศทางที่ผลิตจากเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงสำหรับวัตถุดิบที่นำมาทดลอง คือ กล้วยน้ำว้าชนิดห่าม ส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ คือกะลามะพร้าว โดยศึกษาผลจากการสลับทิศทางการไหลของลมร้อนที่ส่งผลต่ออุณหภูมิลมร้อนภายในห้องอบแห้งทั้ง 4 ห้อง เพื่อหาอัตราการอบแห้ง อัตราการใช้เชื้อเพลิง และความสม่ำเสมอของค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากการทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้าที่อุณหภูมิ 60 $^{\circ}$C - 70 $^{\circ}$C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าโดยทำการทดลองอบแห้งเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งได้ทำการทดลองสองแบบคือการสลับทิศทางและไม่สลับทิศทางการไหลของลมร้อน ซึ่งผลที่ได้เมื่อทำการสลับทิศทางการไหลของลมร้อนทุกๆ 5 นาที คือวัสดุแห้งสม่ำเสมอในทุกห้องอบโดยมีค่าความชื้นสุดท้ายที่ 6.44-7.93% และกรณีไม่มีการสลับทิศทางการไหลของลมร้อนพบว่าความชื้นสุดท้ายในห้องที่ 1-4 มีค่า 5.85, 9.60, 12.21 และ 14.01 % ตามลำดับ ซึ่งถือว่าวัสดุแห้งไม่สม่ำเสมอ โดยทั้ง 2 กรณีมีค่าอัตราการอบแห้งเฉลี่ยไม่แตกต่างกันคือมีค่าประมาณ 2.064-2.093 kg/h

ในการทดลองครั้งนี้เมื่อเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงระหว่างชีวมวลกับ LPG พบว่า เตาชีวมวลใช้เชื้อเพลิงมากกว่าแก๊ส LPG ตลอดช่วงเวลาการอบแห้ง โดยเตาชีวมวลใช้เชื้อเพลิงทั้งหมด 4.8 kg สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าแห้ง 1.813 -1.872 kg ซึ่งเชื้อเพลิงมีราคากิโลกรัมละ 1 บาท คิดเป็นเงิน 4.8 บาท คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการอบแห้งประมาณ 2.56 บาท/kg (ผลิตภัณฑ์แห้ง) และการอบแห้งที่ใช้แก๊ส LPG นั้น ใช้เชื้อเพลิงแก๊สทั้งหมดประมาณ 1.54 kg (ราคาเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 20 บาทต่อกิโลกรัม) ซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการอบแห้งประมาณ 16.45 บาท/kg (ผลิตภัณฑ์) ดังนั้นการใช้เตาชีวมวลเป็นแหล่งความร้อนมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำกว่าการใช้แก๊ส LPG ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้ประมาณ 13.89 บาท/kg (ผลิตภัณฑ์แห้ง)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ทุนสนับสนุนเพื่อการนำเสนอผลงานปริญญานิพนธ์ ระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

เอกสารอ้างอิง

[1] สุนีย์รัตน์ ตุ้ยดา (2544) การอบแห้งลำไยแบบแกะเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[2] ปรีชา อานันท์รัตนกุล และคณะ (2558) ออกแบบและพัฒนาเตาชีวมวลกำเนิดลมร้อนสำหรับเครื่องอบแห้งกาแฟอาราบิกาแบบโรตารี. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.

[3] พิทักษ์ จันทร์เจริญ, การวิเคราะห์การทำแห้งหน่อไม้ไผ่ตรงโดยเครื่องอบแห้งชนิดถาดแบบลมร้อน, งานวิจัยโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏสวนดุสิต, 2546

[4] สมมาสแก้วล้วน ดำรง ศักดิ์จันโทสี, สุรชัย จันทร์ศรีและเวคิน ปิยรัตน์. (2558). "การทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลขนาด 20kW".*วิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*. 8(1): 24-33.

[5] ASTM E1358 (2006). Standard Test Method for Determination of Moisture Content of Particulate Wood Fuels Using a Microwave Oven. West Conshohocken, United States.

[6] จารุวรรณ กุลวิศว ,สมเกียรติ ปรัชญาวรากร และสมชาติ โสภณ รณฤทธิ์, ผลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสารระเหยง่าย และคุณภาพทางกายภาพในกล้วยแผ่น, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มจธ., 2550

การประเมินเศรษฐศาสตร์ของเตาชีวมวลไร้ควัน สำหรับการผลิตความร้อนในวิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์
Economic Evaluation of Smokeless Producer Gas Stove for Heat Production in Slaughterhouse Community Enterprises

ธนชาต มหาวัน[1*] นิกราน หอมดวง[1] ณัฐวุฒิ ดุษฎี[1] ชูรัตน์ ธารารักษ์[1] ศิรินุช จินดารักษ์[2] และจิราภรณ์ แก้วเดียว[1]
[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
[2]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการประเมินเศรษฐศาสตร์ของเตาชีวมวลไร้ควันสำหรับการผลิตความร้อนในวิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์ เตาชีวมวลไร้ควันที่ทำการศึกษาได้มีการพัฒนามาจากเตาชีวมวลแบบดั้งเดิม โดยเตาที่ออกแบบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm ห้องเผาไหม้สูง 60 cm ปรับอัตราการป้อนอากาศ สามารถใช้กับชีวมวลได้หลายประเภทและหลายขนาด ด้านล่างของเตาชีวมวลไร้ควันเป็นห้องกระจายลมและเก็บขี้เถ้าของเตา พัดลมสามารถป้อนและปรับอัตราการไหลของอากาศได้ เป็นพัดลมขนาด 2 inch มีอินเวเตอร์ควบคุมความเร็วรอบการหมุนของพัดลม ใช้ไฟ 1 phase ขนาดกำลังพัดลม 373 W สามารถป้อนอัตราการไหลของอากาศได้ 7.5-275 m^3/h โดยผนังของเตาใช้เหล็กแผ่นม้วนเป็นทรงกระบอก

ผลการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์การใช้เตาก๊าซชีวมวลสำหรับการผลิตความร้อนในวิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์ให้ผลประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปีเฉลี่ย 5,320.82, 6,442.22 และ 9,220.52 Baht/y เมื่อใช้ซังข้าวโพด เศษไม้และแกลบที่ราคาไม่เกิน 0.50 Baht/kg ตามลำดับ ระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ยของการใช้งานเตาก๊าซชีวมวลมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.34-2.33 year โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อประหยัดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาคืนทุนได้แก่ ราคาชีวมวล ราคาก๊าซหุงต้มและระยะเวลาการใช้งาน

คำสำคัญ: เตาก๊าซชีวมวลไร้ควัน เชื้อเพลิงชีวมวล วิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์

*Corresponding author: Tel.: 084-365-2551. E-mail address: taex2012@gmail.com

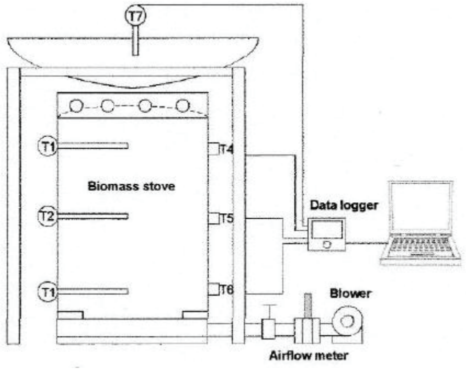
บทนำ

ปัจจุบันราคาเชื้อเพลิงจากพลังงานตามแบบ (Conventional energy) มีแนวโน้มที่สูงขึ้น ซึ่งได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน เป็นต้น ประเทศไทยในฐานะที่เป็นประเทศที่นำเข้าพลังงานสูงเกือบ 85% จึงได้รับผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556) อย่างไรก็ตามทางรัฐบาลก็มีการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนอื่น ๆ เช่น พลังงานชีวมวล พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานน้ำ เป็นต้น โดยกระทรวงพลังงานมีแผนพัฒนาพลังงานทดแทนระยะ 21 ปี ในปี พ.ศ. 2558-2579 ที่มีการมุ่งเน้นให้ใช้พลังงานทดแทน 30% ซึ่งในปี พ.ศ. 2558 มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศ 12% ดังภาพที่ 1 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2555) ซึ่งการเพิ่มของราคาเชื้อเพลิงในปัจจุบันที่มีผลกระทบกับชุมชนโดยตรงทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้น จากการศึกษาวิจัยการใช้พลังงานในชุมชน (ธเนศ, 2547) พบว่าชุมชนมีค่าใช้จ่ายทางพลังงานมากถึง 20% ของรายได้ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศทางด้านเกษตรกรรม วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีปริมาณค่อนข้างสูง และส่วนใหญ่กระจายอยู่ในชุมชนแต่ละท้องถิ่นก็สามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนสำหรับในชุมชนได้

การพัฒนาเตาก๊าซชีวมวลโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชั่นเพื่อนำเอาเชื้อเพลิงชีวมวลหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ด้านการผลิตพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในชุมชนเป็นอีกแนวทางที่มีความน่าสนใจในการลดการใช้แก๊สหุงต้มได้ ข้อดีของการใช้เทคโนโลยีนี้ คือ ต้นทุนเชื้อเพลิงมีราคาถูก หาได้ง่าย ควันน้อย ลดการเผาในที่โล่ง และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาโลกร้อน จากข้อดีของการใช้เทคโนโลยีงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการใช้เตาแก๊สชีวมวล โดยได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตความร้อน ระยะเวลาคืนทุน ผลที่ได้จากการศึกษาจะเป็นทางเลือกในการใช้พลังงานทดแทนในชุมชน ลดการใช้แก๊สหุงต้ม ลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนและรักษาสิ่งแวดล้อมในชุมชนได้ในอนาคต

วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเตาชีวมวลไร้ควัน สำหรับการผลิตความร้อนมาใช้ในงานของวิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์ ซึ่งได้มีการพัฒนามาจากเตาชีวมวลแบบดั้งเดิม เตาแบบเดิมมีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลได้เพียงชนิดเดียวคือ ซังข้าวโพด ส่งผลให้ระยะเวลาในการเผาไหม้เชื้อเพลิงสั้น และไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศได้ จึงมีการพัฒนาเตาชีวมวลไร้ควันที่สามารถใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลได้หลากหลายชนิด ทำให้ระยะเวลาในการเผาไหม้นั้นมีระยะเวลาที่ยาวนานกว่า และควบคุมอัตราการไหลของอากาศได้ โดยเตาที่ออกแบบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm ห้องเผาไหม้สูง 60 cm ปรับอัตราการป้อนอากาศ สามารถใช้กับชีวมวลได้หลายประเภทและหลายขนาด ด้านล่างของเตาชีวมวลไร้ควันเป็นห้องกระจายลมและเก็บขี้เถ้าของเตา พัดลมสามารถป้อนและปรับอัตราการไหลของอากาศได้ เป็นพัดลมขนาด 2 inch มีอินเวเตอร์ควมคุมความเร็วรอบการหมุนของพัดลม ใช้ไฟ 1 phase ขนาดกาลังพัดลม 373 W สามารถป้อนอัตราการไหลของอากาศได้ 7.5-275 m^3/h ผนังเตาใช้เหล็กแผ่นขนาด 3 mm ม้วนเป็นทรงกระบอกหัวเตาสร้างเป็นรูปกรวยเจาะเป็นรูขนาด 5 mm ดังแสดงในภาพที่ 1



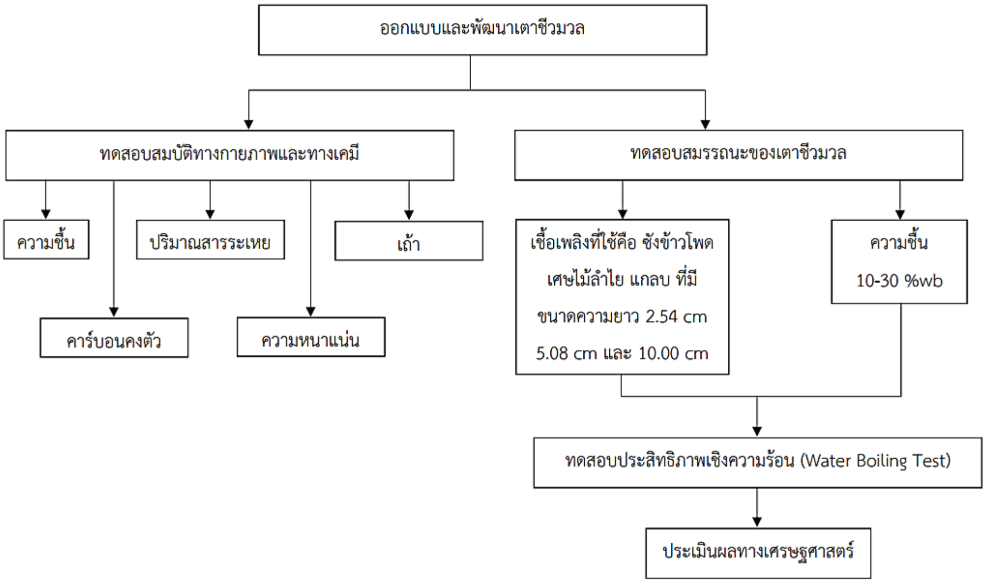
ภาพที่ 1 เตาชีวมวลไร้ควันสำหรับการผลิตความร้อนมาใช้ในงานของวิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์

วิธีการทดสอบเตาก๊าซชีวมวลไร้ควัน

ในการศึกษานี้จะทำการออกแบบและพัฒนาเตาชีวมวลไร้ควัน สาหรับวิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์ เพื่อใช้ทดแทนเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม ที่วิสาหกิจชุมชนใช้ในปัจจุบัน โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ ต่อไปนี้

1. การออกแบบและพัฒนาเพื่อปรับปรุงเตาชีวมวลแบบดั้งเดิม ให้สามารถปรับค่าอัตราการไหลของอากาศ มีระบบป้อนอากาศ และสามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้หลายชนิดและหลายขนาด
2. การทดสอบสมบัติเชื้อเพลิงที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาชีวมวลแบบไร้ควัน
3. ประเมินสมรรถนะเตาชีวมวลไร้ควัน
4. ประเมินความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

สามารถสรุปขั้นตอนการดาเนินการการศึกษา ได้ดังแผนภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของการพัฒนาเตาก๊าซชีวมวลไร้ควันสำหรับการผลิตความร้อนในวิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์นี้ จะทำการวิเคราะห์ถึงระยะเวลาคืนทุนและผลตอบแทนภายใน โดยระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับ ค่าเงินลงทุน ผลที่ได้รับจากการประเมินการลงทุนวิธีนี้จะทาให้ทราบว่าจะได้รับเงินทุนช้าหรือเร็วเท่าใด เพราะยิ่งถ้าคืนทุนเร็วโอกาสที่จะเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตก็จะน้อยลง สามารถคำนวณได้ จากสมการที่ 1

$$\text{Pay Back Period} = \frac{\text{Total Investment (Baht)}}{\text{Energy Cost Saving (Baht/y)}} \qquad (1)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เตาชีวมวลไร้ควันสำหรับการใช้งานในวิสาหกิจโรงฆ่าสัตว์

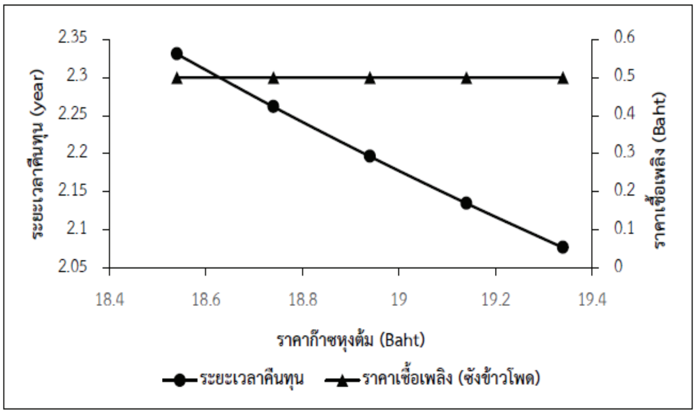
การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เตาก๊าซชีวมวลไร้ควันที่มีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลได้แก่ ซังข้าวโพด ไม้ลำไยและแกลบ โดยเปรียบเทียบกับการใช้งานก๊าซหุงต้มในการต้มน้ำของวิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์ผลการศึกษาพบว่า เตาชีวมวลไร้ควันเมื่อใช้ซังข้าวโพด ไม้ลำไยและแกลบเป็นเชื้อเพลิงจะมีค่าใช้จ่ายรวม 9,772.10 Baht/y, 12,406.05 Baht/y และ 5,872.40 Baht/y ตามลำดับ และในการประเมินราคาการผลิตเตาชีวมวลไร้ควันที่ราคา 12,400 Baht/unit ในการใช้เชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด ที่ระยะเวลาการใช้งานวันละ 4 ชั่วโมง จะมีระยะเวลาคืนทุน 2.3 year, 5.20 year และ 1.27 year ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พอจะเห็นได้ว่าตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตความร้อนของเตาชีวมวล เมื่อนำไปใช้งานกับวิสาหกิจชุมชนคือชนิดเชื้อเพลิงซึ่ง ถ้าราคาของเชื้อเพลิงแปรผันเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตและระยะเวลาการคืนทุนเพิ่มสูงขึ้น ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เตาก๊าซชีวมวลไร้ควันสำหรับการใช้งานวิสาหกิจโรงฆ่าสัตว์

ค่าใช้จ่าย	หน่วย	ซังขาวโพด	ไม้ลำไย	แกลบ
เตาก๊าซชีวมวลไร้ควัน	Baht	12,400	12,400	12,400
อายุการใช้งาน	year	5	5	5
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้	kg/times	11	29	8
ระยะเวลาการใช้เชื้อเพลิง	h/day	4	4	4
ระยะเวลาการใช้เชื้อเพลิง	day/year	315	315	315
ราคาเชื้อเพลิง	Baht/kg	0.5	0.75	0.5
ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง	Baht/year	9,242.1	12,406.05	5,342.4
ค่าไฟฟ้า	Baht/year	530	530	530
ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด	Baht/year	9,772.10	12,936.05	5,872.40
ระยะเวลาคืนทุน	year	2.3	5.20	1.27

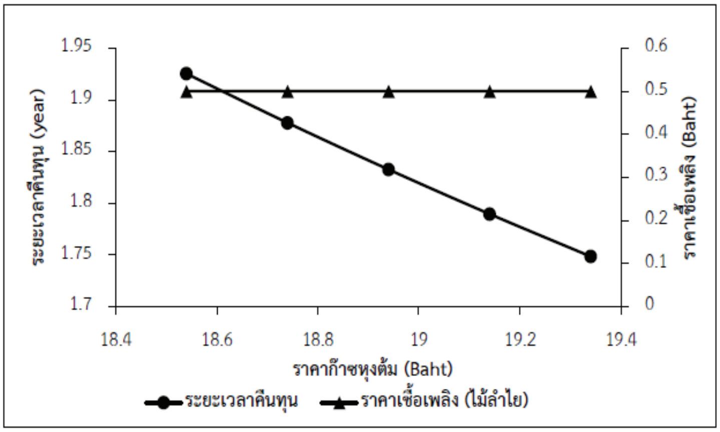
2. การวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงราคาของก๊าซหุงต้ม

ราคาก๊าซหุงต้มในปัจจุบันมีราคา 885 Baht/unit (48 kg/unit) ซึ่งจะมีราคากิโลกรัมละ 18.45 Baht/kg ถ้าในอนาคตก๊าซ ก๊าซหุงต้ม มีราคาผันผวน มีค่าเพิ่มขึ้นกิโลกรัมละ 0.20 Baht ซึ่งจะมีผลต่อระยะเวลาคืนทุนของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดดังภาพที่ 3 จากการวิเคราะห์กราฟแสดงให้เห็นว่าเมื่อราคาของเชื้อเพลิงชีวมวล (ซังข้าวโพด) มีราคาคงที่คือกิโลกรัมละ 0.50 Baht เมื่อเทียบกับราคาก๊าซหุงต้มในปัจจุบัน จะให้ผลตอบแทนในระยะเวลา 2.33 year ถ้าในอนาคตก๊าซหุงต้มมีราคาเปลี่ยนแปลงไปกิโลกรัมละ 0.20 Baht แต่ราคาของเชื้อเพลิงมีค่าคงที่จะให้ผลตอบแทนในระยะเวลาที่สั้นลง



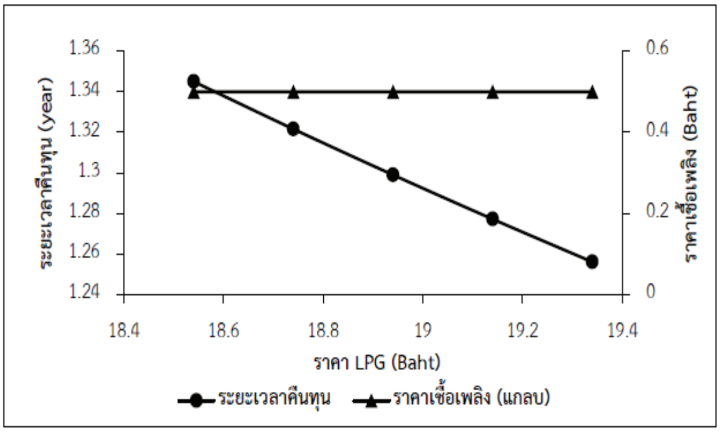
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงราคาก๊าซหุงต้มเทียบกับราคาซังข้าวโพดและระยะเวลาคืนทุน

ในส่วนของการใช้ไม้ลำไยเป็นเชื้อเพลิงแสดงในภาพที่ 4 จะเห็นว่าเมื่อราคาของไม้ลาไยมีราคากิโลกรัมละ 0.50 Baht เมื่อเทียบกับราคาก๊าซหุงต้มในปัจจุบันจะให้ผลตอบแทนในระยะเวลา 1.92 year ถ้าในอนาคตราคาก๊าซหุงต้มเปลี่ยนแปลงไปกิโลกรัมละ 0.20 Baht แต่ราคาของเชื้อเพลิงมีค่าคงที่จะให้ผลตอบแทนในระยะเวลาที่สั้นลงเช่นเดียวกับการใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงราคาก๊าซหุงต้มเทียบกับราคาไม้ลำไยและระยะเวลาคืนทุน

ในส่วนของการใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงจะเห็นว่าเมื่อราคาของแกลบมีราคามีกิโลกรัมละ 0.50 Baht เมื่อเทียบกับราคาก๊าซหุงต้มในปัจจุบันจะให้ผลตอบแทนในระยะเวลา 1.34 year ถ้าในอนาคต ก๊าซหุงต้มมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นกิโลกรัมละ 0.20 Baht ในขณะที่ราคาของชีวมวลแกลบมีค่าคงที่ จะให้ผลตอบแทนในระยะเวลาที่สั้นลงเหมือนกับการใช้ซังข้าวโพดและไม้ลำไยดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงราคาก๊าซหุงต้มเทียบกับราคาแกลบและระยะเวลาคืนทุน

สรุปผลการวิจัย

การประเมินเศรษฐศาสตร์การผลิตความร้อนของเตาชีวมวลไร้ควันให้กับวิสาหกิจชุมชนโรงฆ่าสัตว์เมื่อใช้ซังข้าวโพด ไม้ลำไยและแกลบเป็นเชื้อเพลิงจะมีค่าใช้จ่ายรวม 9,772.10 Baht/y, 12,406.05 Baht/y และ 5,872.40 Baht/y ตามลำดับ และในการประเมินราคาการผลิตเตาชีวมวลไร้ควันที่ราคา 12,400 baht/Unit ในการใช้เชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดที่ระยะเวลาการใช้งานวันละ 4 h จะมีระยะเวลาคืนทุน 2.3 year, 5.20 year และ 1.27 year ตามลำดับ โดยผลประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปีเฉลี่ย 5,320.82, 6,442.22 และ 9,220.52 Baht/y เมื่อใช้ซังข้าวโพด เศษไม้และแกลบที่ราคาไม่เกิน 0.50 Baht/kg ตามลาดับ ระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ยของการใช้งานเตาก๊าซชีวมวลมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.34-2.33 year ปัจจัยที่ส่งผลต่อประหยัดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาคืนทุนได้แก่ ราคาชีวมวล ราคาก๊าซหุงต้มและระยะเวลาการใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เขียนบทความวิจัย บทความวิชาการ ที่ได้ใช้อ้างอิงในครั้งนี้ และวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ให้คำแนะนำ และสนับสนุนอุปกรณ์ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน. (2559). **คู่มือฝึกอบรมภาคปฏิบัติด้านพลังงานทดแทนแก๊สซิฟิเคชั่นจากชีวมวล (ส่วนทฤษฎี)**. กระทรวงพลังงาน

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.). (2556). **ชีวมวล**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html (28 เมษายน 2560).

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). **สถิติพลังงานของประเทศไทย**. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา http://www4.dede.go.th/download/thailandenergystatistics 2013.pdf. (18 สิงหาคม 2557).

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2555. **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 10**. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.dede.go.th/dede/images/stories/dede_aedp_2012_2021.pdf (15 สิงหาคา 2557).

[5] จิตราภรณ์ วงศ์จีนา และอุศราวดี ชื่นทิม. (2555). **การพัฒนาและการเพิ่มประสิทธิภาพเตาชีวมวลเชื้อเพลิงแกลบสำหรับชุมชน รายงานการเรียนรู้อิสระ** มหาวิทยลัยแม่โจ้.

[6] ชนธกานต์ ใสยิ่ง. (2555). **การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพเตาชีวมวลสาหรับครัวเรือน**. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[7] ไชยวัฒน์ จวงทอง. (2553). **การออกแบบเตาปฏิกรณ์ผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากใบอ้อยโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[8] ฐิติกร บุญชูวงศ์. (2551). **การผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สโดยใช้เศษผักเป็นเชื้อเพลิงเพื่อนาความร้อนทิ้งจากการเผาของเสียทางเคมีไปใช้ผลิตเครื่องปั้นดินเผา.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[9] ณัฐวุฒิ ดุษฎี, อภิชาต สวนคากอง, ชูรัตน์ ธารารักษ์ และนิกราน หอมดวง. (2551). **รายงานการศึกษาการใช้ชีวมวลในภาคเศรษฐกิจต่างๆ และชีวมวลที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์ (ภาคเหนือ),** มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อมร่วมกับศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

[10] ธเนศ ไชยชนะ. (2547). **การวิเคราะห์พลังงานเพื่อการผลิตข้าวในภาคเหนือของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

การนำเสนอผลงานวิจัย**ภาคบรรยาย**
Oral Presentations

Session

สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

การใช้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมสู่นวัตกรรม “การดูแลคุณภาพน้ำชุมชน” เพื่อการบริหารจัดการน้ำอย่างยั่งยืน

Use Participatory Research (PAR) to innovation “Water quality monitoring in community” for Participatory Sustainable Water Management

เตือนตา ร่าหมาน[1*] ณัฐธยาน์ ฟาน เบม[1] อัตถพงษ์ เขียนแกร[2] อรศิริ ลีลายุทธชัย[2] เกษศิรินทร์ รัทจร[1]
และปรียาลักษณ์ โคหนองบัว[1]
[1] สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210
[2]สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์ มาวิทยาลัยทักษิณ สงขลา 90100

บทคัดย่อ

แผนการวิจัยเรื่องคุณภาพน้ำในคลองป่าพะยอมและคลองท่าแนะเพื่อการบริหารจัดการน้ำชุมชนแบบมีส่วนร่วมอย่างยั่งยืนของคลัสเตอร์สิ่งแวดล้อมชุมชนเป็นการพัฒนาการบริหารจัดการงานวิจัยของมหาวิทยาลัย ทักษิณเพื่อให้สอดคล้องกับปณิธานการเป็นมหาวิทยาลัยรับใช้สังคม แผนงานวิจัยนี้ดำเนินงานภายใต้โครงการการบริหารจัดการน้ำแบบมีส่วนร่วมเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตคนลุ่มน้ำอย่างยั่งยืนกรณีศึกษาคลองป่าพะยอม–คลองท่าแนะ จังหวัดพัทลุง วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัยเพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและชีวภาพในคลองท่าแนะและคลองป่าพะยอมโดยใช้กระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนเพื่อสร้างความยั่งยืนให้กับคนในจังหวัดพัทลุง และเพื่อศึกษารูปแบบการพัฒนานักวิจัยรับใช้สังคม งานวิจัยใช้วิธีการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Research (PAR) ทำการวิจัยในพื้นที่คลองท่าแนะและคลองป่าพะยอม ผลการวิจัยได้ข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำกับสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและแพลงก์ตอนสัตว์ และพัฒนาเป็นคู่มือการใช้ดัชนีชีวภาพในการประเมินคุณภาพน้ำ จากนั้น ได้นำผลการศึกษามาพัฒนาเป็น นวัตกรรม “การเฝ้าระวังคุณภาพน้ำชุมชน”

คำสำคัญ: การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) คุณภาพน้ำ คลองท่าแนะ คลองป่าพะยอม งานวิชาการรับใช้สังคม

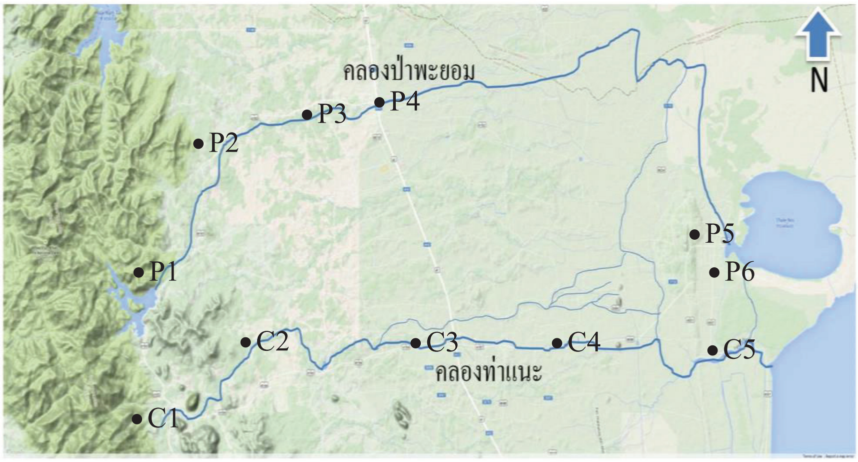
*Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: tuantar@yahoo.com

บทนำ

มหาวิทยาลัยทักษิณตั้งปณิธานเป็นมหาวิทยาลัยรับใช้สังคมไว้ในแผนยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2558-2562 โดยมหาวิทยาลัยมีวัตถุประสงค์ที่จะเพิ่มศักยภาพในระบบการบริหารงานวิจัยที่มีมาตรฐานและมีนักวิจัยเชี่ยวชาญ เพื่อจะผลิตองค์ความรู้ นวัตกรรม ผลงานวิชาการที่มีคุณภาพและรองรับความต้องการของสังคม อันจะส่งผลให้มีการขับเคลื่อนการพัฒนาชุมชนและสังคมในภาพกว้าง ด้วยเหตุนี้ มหาวิทยาลัยทักษิณจึงได้เลือกพื้นที่จังหวัดพัทลุงเป็นพื้นที่นำร่องในการดำเนินงานเพื่อให้เป็นไปตามปณิธานของมหาวิทยาลัยที่ตั้งไว้ ในการดำเนินงานนี้ มหาวิทยาลัยให้ความสำคัญกับโจทย์วิจัยที่มีความชัดเจนทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงประเด็น ในเชิงประเด็นจะให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการน้ำแบบมีส่วนร่วมเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตคนลุ่มน้ำ และเลือกพื้นที่ลุ่มน้ำคลองท่าแนะและคลองป่าพะยอม (ภาพที่ 1) เป็นพื้นที่ในการศึกษา เนื่องจากมีพลวัติการเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ดังกล่าวจนก่อให้ผลกระทบต่อชุมชน ความหลากหลายของสัตว์น้ำ สัตว์บก และพันธุ์พืช (เกษมและคณะ 2559) คลองท่าแนะและคลองป่าพะยอมเป็นลำน้ำสายหลักของลุ่มน้ำย่อยคลองท่าแนะและลุ่มน้ำย่อยคลองป่าพะยอม ลุ่มน้ำทั้งสองนี้เป็นส่วนหนึ่งของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ทั้งคลองท่าแนะและคลองป่าพะยอมมีต้นกำเนิดจากเทือกเขาบรรทัด คลองป่าพะยอมไหลจากอ่างเก็บน้ำป่าพะยอมผ่านพื้นที่ชุมชนหลักคือ ต. เกาะเต่า ต. บ้านพร้าว และ ต.ป่าพะยอม อ.ป่าพะยอม ส่วนปลายของคลองป่าพะยอมแยกออกเป็น 2 สาย คือ สายที่ 1 ไหลออกสู่บริเวณพรุควนเคร็ง จ. นครศรีธรรมราช และสายที่ 2 ไหลไปรวมกับคลองท่าแนะที่บ้านประดู่เรียง ต. พนางตุง อ.ควนขุน และไหลลงสู่ทะเลน้อยในที่สุด (เพ็ญใจ, 2549)

จากการสำรวจคลองท่าแนะและป่าพะยอมพบว่า ลำคลองส่วนใหญ่ไหลผ่านพื้นที่ชุมชนจึงมีการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำในด้านการเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ โดยในส่วนของพื้นที่ต้นน้ำนั้นเป็นที่ราบเชิงเขา มีการทำสวนยางและสวนผลไม้ นอกจากนี้ยังใช้ในการอุปโภคโดยการผันน้ำจากต้นน้ำมาทำเป็นประปาหมู่บ้าน จากกิจกรรมดังกล่าวทำให้เกิดน้ำทิ้งจากการทำการเกษตรและการอุปโภคไหลมาสู่พื้นที่กลางน้ำซึ่งเป็นชุนชนขนาดใหญ่หรือชุมชนเมือง การใช้น้ำในพื้นที่ส่วนนี้มีทั้งการทำการเกษตรและน้ำทิ้งจากบ้านเรือน น้ำทิ้งจากชุมชนกลางน้ำจะไหลไปยังชุมชนปลายน้ำ พื้นที่ชุมชนปลายน้ำมีการใช้น้ำทำการเกษตรและประมง จนในที่สุด น้ำจากทั้งสองคลองจะไหลลงไปรวมกันในพื้นที่ทะเลน้อย ด้วยเหตุนี้ ทำให้ทะเลน้อยประสบปัญหาในเรื่องของการเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อมและสภาวะยูโทรฟิเคชั่น ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากน้ำทิ้งจากชุมชนและจากการเกษตรที่ไหลลงสู่ทะเลน้อย เกิดผลกระทบทั้งการเพิ่มจำนวนของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายเป็นจำนวนมาก และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำกว่าปกติ (อ่อนจันทร์และคณะ 2553) ส่งผลให้คุณภาพน้ำของทะเลน้อยมีคุณภาพน้ำไม่ดีในบางช่วงฤดูกาล (กาญจนา 2558) น้ำจากทะเลน้อยไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาทางทิศตะวันออกบริเวณคลองนางเรียม คลองบ้านกลางและคลองยวน จากปัญหาที่กล่าวมานี้ถ้าไม่มีการแก้ไขจะส่งผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ เนื่องจากทะเลน้อยเป็นแหล่งน้ำที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของจังหวัดพัทลุงและชุมชนที่อยู่โดยรอบ มีประชาชนอาศัยอยู่โดยรอบ 6 หมู่บ้าน (ยงยุทธและวิชัย, 2539)

จากสถานการณ์ดังที่กล่าวมา ทำให้คณะนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยทักษิณร่วมกับชุมชนในพื้นที่ได้จัดทำงานวิจัยภายใต้โครงการวิจัย “การบริหารจัดการน้ำแบบมีส่วนร่วมเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตคนลุ่มน้ำอย่างยั่งยืน กรณีศึกษาคลองป่าพะยอม-คลองท่าแนะ จังหวัดพัทลุง” โดยมีโครงการวิจัยภายใต้โครงการนี้ 5 กลุ่มวิชาการ (Academic cluster) คลัสเตอร์สิ่งแวดล้อมชุมชนเป็นคลัสเตอร์หนึ่งของโครงการ มีงานวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย “คุณภาพน้ำในคลองป่าพะยอมและคลองท่าแนะเพื่อการบริหารจัดการน้ำชุมชนแบบมีส่วนร่วม” ภายใต้แผนงานวิจัยนี้มีโครงงานวิจัย 2 โครงการ คือ การใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินเพื่อติดตามการตรวจสอบคุณภาพน้ำคลองท่าแนะเพื่อการบริหารจัดการน้ำชุมชนแบบมีส่วนร่วมและการใช้แพลงก์ตอนสัตว์เพื่อเป็นดัชนีชีวภาพในการชี้วัดและเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในคลองป่าพะยอมเพื่อการจัดการน้ำแบบมีส่วนร่วมอย่างยั่งยืน มีวัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัยคือ 1) เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของคลองท่าแนะและคลองป่าพะยอม 2) เพื่อประเมินคุณภาพน้ำในคลองท่าแนะและคลองป่าพะยอมโดยใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและแพลงก์ตอนสัตว์เป็นดัชนีชีวภาพและพัฒนาเป็นคู่มือดัชนีชีวภาพสำหรับการประเมินคุณภาพน้ำ 3) เพื่อพัฒนารูปแบบการตรวจสอบและการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำด้วยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน 4) เพื่อศึกษารูปแบบการพัฒนานักวิจัยรับใช้สังคม



ภาพที่ 1 พื้นที่ในการวิจัยบริเวณคลองป่าพะยอมและคลองท่าแนะ จังหวัดพัทลุง
(จุดเก็บตัวอย่าง P1= ศูนย์ร้อยหวันพันธ์ป่า P2= คลองใหญ่ P3= หัวงาน P4= วังเรือ P5= ศูนย์วิจัยทะเลน้อย C1= คลองห้วยลอด C2= ชลประทาน C3= บ้านเพิง C4= คลองสะบ้าย้อย C5= ท่าช้าง และ C6= ศูนย์ศึกษาธรรมชาติและสัตว์ป่าทะเลน้อย)
ที่มา: www.google.co.th/maps/search

วิธีการวิจัย

ประเภทของงานวิจัย

ใช้การวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed method) ระหว่างการวิจัยเชิงปริมาณและการวิจัยเชิงคุณภาพ และการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research: PAR) มาใช้ในการออกแบบการวิจัย

ระยะเวลาการดำเนินงาน

การดำเนินการวิจัยเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2559 ถึงเดือนเมษายน 2560

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การคัดเลือกพื้นที่ดำเนินการและประชากรกลุ่มเป้าหมายเป็นแบบเฉพาะเจาะจง (purpose sampling) คือพื้นที่คลองท่าแนะและคลองป่าพะยอมและประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เป้าหมาย ส่วนกลุ่มตัวอย่างได้มาจากการประชุมเวทีชาวบ้าน ดำเนินการรับสมัครหน่วยงาน ชุมชนหรือชาวบ้านที่สนใจเข้าร่วมงาน โดยกลุ่มตัวอย่างจะต้องครอบคลุมพื้นที่ต้นน้ำ กลางน้ำและปลายน้ำของทั้งสองคลอง กลุ่มตัวอย่างได้แก่ เครือข่ายคนต้นน้ำเขาปู่ โรงเรียนบ้านเขาปู่ โรงเรียนบ้านไสประดู โรงเรียนเหรียงงาม โรงเรียนวัดหรั่งแคบ โรงเรียนวัดไทรโกบ โรงรียนพิกุลทอง เครือข่ายคลองสะบ้าย้อย โรงเรียนวัดไทรงาม พลเมืองเด็กทะเลน้อย โรงเรียนบ้านปากเหมือง ศูนย์ร้อยหวันพันธ์ป่า และโรงเรียนป่าพะยอมพิทยาคม

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมความพร้อมของนักวิจัยจากมหาวิทยาลัย เป็นการเตรียมทีมวิจัยจากมหาวิทยาลัย เพื่อให้มีความเข้าใจงานวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมและเข้าใจวัตถุประสงค์ของการวิจัย

2. ประชุมเพื่อพูดคุยและทราบถึงปัญหาที่เน้นเรื่องทรัพยากรน้ำในพื้นที่คลองป่าพะยอมและคลองท่าแนะ และกำหนดความต้องการ รวมถึงพัฒนาโจทย์ร่วมกันระหว่างทีมวิจัยของมหาวิทยาลัยทักษิณ นิสิตคณะวิทยาศาสตร์และนักวิจัยชุมชน

3. ลงพื้นที่ที่ทำการศึกษาร่วมกับชุมชน เพื่อสำรวจข้อมูลเบื้องต้น และวางแผนที่จะดำเนินกระบวนการ ตรวจสอบคุณภาพน้ำในคลองป่าพะยอมและคลองท่าแนะ โดยผลจากการลงพื้นที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 1

4. การตรวจคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ และการประเมินคุณภาพน้ำด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและแพลงก์ตอนสัตว์ การดำเนินการขั้นตอนต่างๆ เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยทักษิณและนักวิจัยชุมชน

4.1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำภาคสนามใช้เครื่องวัดคุณภาพน้ำแบบ Multi Parameter analyzer รุ่น 650 MDS (YSI) บันทึกค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) และค่าของแข็งแขวนลอยที่ละลายน้ำ (Total Dissolved Solid) การวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียใช้วิธี modified indophenol blue ปริมาณไนไตร์ ด้วยวิธี Diazotization method ปริมาณไนเตรตด้วยวิธี Cadmium reduction method และปริมาณฟอสเฟตด้วยวิธี Ascorbic acid method (Strickland and Parsons, 1972)

4.2 การเก็บตัวอย่างสัตว์เล็กน้ำจืดและการประเมินคุณภาพน้ำ

ทำการเก็บตัวอย่างสัตว์เล็กน้ำจืดและประเมินคุณภาพน้ำในทุกจุดการเก็บตัวอย่างในคลองท่าแนะ โดยใช้วิธีการตามคู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

4.3 การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์และการประเมินคุณภาพน้ำ

การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์ของลัดดาและโสภณ (2548) ในทุกจุดเก็บตัวอย่างในคลองป่าพะยอม หลังจากนั้น วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำกับแพลงก์ตอนสัตว์ด้วยการวิเคราะห์ด้วยสถิติหลายตัวแปร (Multi-variate analysis) Canonical Correspondence analysis (CCA)

5. การสรุปผลการดำเนินการวิจัย คืนข้อมูลสู่ชุมชนและการถอดบทเรียน

6. นำผลการวิจัยมาพัฒนาเป็นนวัตกรรมการดูแลคุณภาพน้ำชุมชน

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาบริบทชุมชนและกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน

ชุมชนทราบปัญหาคุณภาพในคลองท่าแนะและคลองป่าพะยอมและมีข้อมูลคุณภาพน้ำจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีโดยหน่วยงานของรัฐ แต่ยังมีอุปสรรคในเรื่องของวิธีการที่ยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูง แต่ชุมชนมีทุนในเรื่อง

ของทุนด้านทรัพยากรบุคคล นั่นคือมีกลุ่มคนที่สนใจทำงานด้านสิ่งแวดล้อมและมีหน่วยงานในพื้นที่บางหน่วยงานที่ให้ความสนใจและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี ในพื้นที่ต้นน้ำจะมีหน่วยงานที่เป็นภาคี คือ ผู้ใหญ่บ้าน ผู้อำนวยการโรงเรียนบ้านปากเหมือง คุณครูและนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 อบต.เขาปู่ เครือข่ายคนต้นน้ำเขาปู่ ส่วนพื้นที่กลางน้ำจะเป็นโรงเรียนป่าพะยอมพิทยาคม ในนามของทีมพี่น้ำน้องรักษ์น้ำ อบต. ป่าพะยอมและเทศบาลบ้านพร้าว เครือข่ายคลองสะบ้าย้อย และพื้นที่ปลายน้ำเป็นพลเมืองเด็กทะเลน้อย โดยได้มีการประชุมร่วมกันทุกภาคส่วน เพื่อพูดคุยและรับทราบปัญหาและความต้องการของคนในพื้นที่ มีการประชุมและอภิปรายในเวทีเสวนาจนกระทั่งได้ประเด็นที่มาของปัญหาและแนวทางการดำเนินงานวิจัย ภายใต้ชื่อแผนงานวิจัย "**คุณภาพน้ำในคลองป่าพะยอมและคลองท่าแนะเพื่อการบริหารจัดการน้ำชุมชนแบบมีส่วนร่วม**" หลังจากนั้น มีการลงพื้นที่และประชุมกลุ่มย่อยเพื่อกำหนดจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละพื้นที่ พูดคุยทำความเข้าใจกับผู้ร่วมวิจัยชุมชนให้เข้าใจว่าจะมีการทำงานร่วมกันอย่างไร และจัดตั้งบุคคลที่จะเป็นผู้ประสานงานในแต่ละพื้นที่เพื่อความสะดวกในการติดต่อประสานงาน เมื่อวางแผนการทำงานเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนของการดำเนินฝ่ายนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยทักษิณ ทั้งอาจารย์และนิสิตจะทำการสาธิตวิธีการตรวจวัดคุณภาพน้ำ การเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินให้แก่นักวิจัยชุมชน เปิดโอกาสให้นักวิจัยชุมชนได้ลงมือปฏิบัติในขั้นตอนต่างๆ เมื่อนักวิจัยชุมชนสามารถทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำและเก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินได้แล้วจะทำการเก็บตัวอย่างร่วมกันในทุกเดือน ร่วมกันวิเคราะห์ผลที่ได้ และพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับผลการศึกษาและร่วมสรุปผลการศึกษา

2. คุณภาพน้ำในคลองท่าแนะและคลองป่าพะยอม

คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในคลองท่าแนะมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ปกติ อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยมีค่า 24.46-32.65 °C ค่า pH อยู่ระหว่าง 7.43-8.04 ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 1.30-2.01 mg/L ค่าของแข็งละลายน้ำเฉลี่ย 0.84-1.30 mg/L ค่า DO ระหว่าง 3.60-6.32 mg/L ค่าแอมโมเนีย ค่าไนไตรท์ ค่าไนเตรท และปริมาณออโธฟอตเฟต มีค่าเฉลี่ย 0.05-0.26, 0.005-0.01, 0.003-0.11 และ 0.003±0.002 mg/L ตามลำดับ ส่วนคุณภาพน้ำทางเคมีและกายภาพในคลองป่าพะยอมอยู่ในเกณฑ์ปกติเช่นเดียวกัน ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 24.03±0.05 – 28.94±0.42 ºC ค่าการนำไฟฟ้าและ TDS ไม่มีความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ ($p>0.05$) ปัจจัยคุณภาพน้ำที่มีความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ คือ pH DO และปริมาณแอมโมเนีย นั่นคือ pH จะมีค่าสูงสุดที่บริเวณหัวงาน (8.48±0.19) ในขณะที่ pH ในบริเวณการเก็บตัวอย่างที่อื่นจะมีค่าใกล้เคียงกัน (7.65±0.05 –7.89±0.08) ส่วนระดับออกซิเจนละลายน้ำมีเฉลี่ยต่ำสุดที่บริเวณศูนย์วิจัยทะเลน้อย (5.27±0.80 mg/L) ในขณะที่บริเวณอื่นจะมีค่า DO ใกล้เคียงกัน (7.34±0.63-9.04±0.59 mg/L) ในขณะที่ระดับของแอมโมเนียกลับสูงที่สุดในบริเวณทะเลน้อย (2.14±0.92 mg/L) ส่วนบริเวณอื่นจะมีค่าแอมโมเนียใกล้เคียงกัน (1.09±0.0.34-1.26±0.64 mg/L)

3. ความสัมพันธ์ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและแพลงก์ตอนสัตว์กับคุณภาพน้ำ

จากการศึกษาสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในคลองท่าแนะ พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน จำนวน 4 ไฟลัม ได้แก่ อาร์โทรโพดา แอนเนลิดา มอลลัสกา และคอร์ดาตา โดยพื้นที่ต้นน้ำ (C1 และ C2) พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินกลุ่มที่ต้องการออกซิเจนสูงในการดำรงชีวิต เช่น แมลงชีปะขาว กุ้งน้ำตกและปูลำห้วย ประเมินคุณภาพน้ำจากสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินได้ว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ดี พื้นที่กลางน้ำ (C3 และ C4) พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินกลุ่มที่ต้องการใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตปานกลาง เช่น ตัวอ่อนแมลงปอและหอยฝาเดียว คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์พอใช้ถึงดี ส่วนพื้นที่ปลายน้ำ (C5 และ C6) พบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินกลุ่มที่ต้องการใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตน้อย และทนความสกปรกของน้ำได้ เช่น กุ้งฝอย ริ้นน้ำจืดแดง และไส้เดือนน้ำ คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์พอใช้ จากการศึกษาจะเห็นได้ว่า การแพร่กระจายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินจะมีการกระจายที่แตกต่างกันไปในแต่ละชนิด และมีแนวโน้มที่จะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำ โดยเฉพาะปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

ส่วนการศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์ในคลองป่าพะยอม พบแพลงก์ตอนสัตว์จำนวน 18 Taxa ใน 4 ไฟลัม คือ ไฟลัมไนดาเรียไฟลัมแอนนีลิดา ไฟลัมโรติเฟอรา และไฟลัมอาร์โทรโพดา ผลจากการวิเคราะห์ด้วย CCA พบว่า ปัจจัยคุณภาพน้ำแต่ละปัจจัยมีผลต่อความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์แตกต่างกันไป โดยแอมโมเนีย ไนไตร์ ฟอสเฟต BOD DO และ pH จะมีอิทธิพลต่อโรติเฟอร์ในสกุล *Philodina* sp., *Filinia* sp. และ *Branchiomus* sp. ส่วนค่าการนำไฟฟ้า และไนเตรตจะมีอิทธิพลต่อ โรติเฟอร์ในสกุล *Euchlanis* sp. *Lacane* sp. และ *Polyathra* sp. ในขณะที่ ค่าการนำไฟฟ้า ไนเตรตและ TDS มีผลต่อแพลงก์ตอนสัตว์พวกโคพีพอดกลุ่ม Cyclopoid และไรน้ำในสกุล *Alona* sp. จากการศึกษาครั้งนี้อาจจะกล่าวได้ว่า สามารถใช้แพลงก์ตอนสัตว์เป็นดัชนีชีวภาพในการบ่งบอกคุณภาพน้ำโดยเฉพาะในสภาวะที่มีสารอาหารสูง (Eutrophication) นั่นคือ กลุ่มโรติเฟอร์ เช่น สกุล *Philodina* sp., *Filinia* sp. และ *Branchiomus* sp อาจจะใช้เป็นดัชนีสำหรับการมีปริมาณแอมโมเนีย ไนไตรต์และฟอตเฟตสูง ส่วนแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มโรติเฟอร์ในสกุล *Euchlanis* sp. *Lacane* sp. และ *Polyathra* sp. อาจจะใช้สำหรับการเป็นดัชนีในกรณีที่มีปริมาณไนเตรทสูง

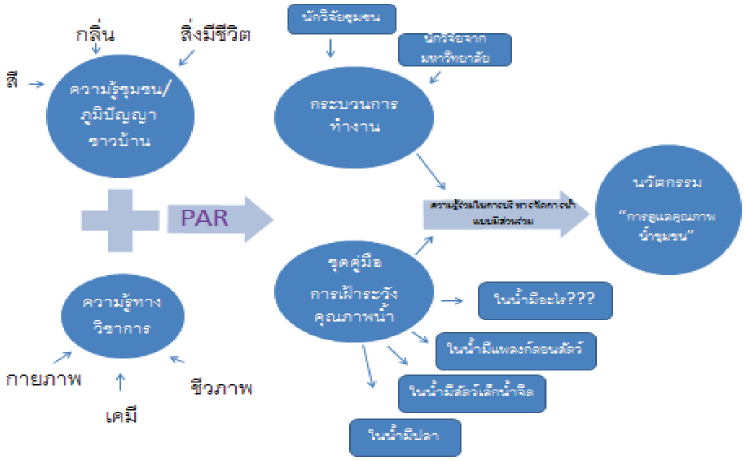
4. นวัตกรรมการดูแลคุณภาพน้ำชุมชน

นำผลการวิจัยในประเด็นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในคลองป่าพะยอมและคลองท่าแนะ การพัฒนาคู่มือการใช้ดัชนีชีวภาพเพื่อการประเมินคุณภาพน้ำและรูปแบบในการทำงานร่วมกับชุมชนมาพัฒนาเป็น นวัตกรรม “การดูแลคุณภาพน้ำชุมชน” (ภาพที่ 2) โดยนวัตกรรมการดูแลคุณภาพน้ำชุมชนประกอบด้วย 2 ส่วน คือ รูปแบบในการทำงานและชุดความรู้เกี่ยวกับการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 รูปแบบในการทำงานร่วมกับชุมชน

การทำงานร่วมกับชุมชนผ่านการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม โจทย์วิจัยเกิดจากปัญหาและความต้องการแก้ปัญหาในชุมชน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้เห็นคุณค่าของทรัพยากรในท้องถิ่น การใช้ประโยชน์และคุณค่าในการใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน ในการทำงานจะเน้นให้มีการสร้างคุณค่าร่วมกันของผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย กระบวนการทำงานเริ่มตั้งแต่การค้นหาผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (stakeholder) กำหนดบทบาทของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย สร้างการมีส่วนร่วมในขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่การค้นหาโจทย์วิจัยและการพัฒนาโจทย์วิจัย การดำเนินการวิจัยร่วมกัน การถอดบทเรียน การประเมินผลเพื่อการพัฒนา (ภาพที่ 3) โดยมีหลักคิดคือ “ร่วมคิด ร่วมทำ ร่วมรับผลประโยชน์”

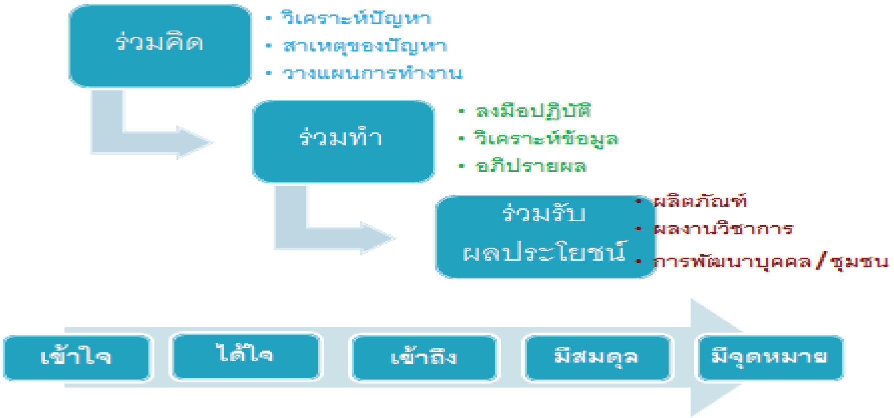
ในการร่วมงานของนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยกับนักวิจัยชุมชนเป็นการทำวิจัยในพื้นที่ โดยจะมีการกำหนดหน้าที่ของนักวิจัยแต่ละคนให้ชัดเจน มีการวางแผนงานร่วมกันและทำงานไปตามแผนที่ได้วางไว้ ถ้าเกิดมีปัญหาหรือไม่สามารถทำตามแผนงานที่วางไว้จะปรึกษาหารือเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นร่วมกัน นอกจากนี้ การสร้างคุณค่าร่วมกับชุมชน ทุกฝ่ายจะต้องมีการเข้าใจ เข้าถึง ใส่ใจและมีสมดุล เพื่อให้สิ่งที่ร่วมกันสร้างนั้น เกิดจากการร่วมมือ ร่วมใจและร่วมแรงของทุกฝ่าย การเข้าใจไม่ใช่เฉพาะการเข้าใจเรื่องงานวิจัยเพียงอย่างเดียว แต่จะต้องเข้าใจธรรมชาติของผู้ร่วมงานด้วย ต้องเข้าใจและยอมรับความแตกต่างระหว่างบุคคล เพราะผู้มีส่วนได้ส่วนเสียมีความแตกต่างกันหลายประการ ทั้งในเรื่องของความรู้ ภูมิหลัง อาชีพหรือวัย นอกจากนี้ ผู้ร่วมวิจัยต้องเข้าถึงข้อมูลต่างๆ ของงานวิจัย เพื่อเป็นการสร้างความเชื่อใจและความมั่นใจระหว่างกัน



ภาพที่ 2 นวัตกรรม “การดูแลคุณภาพน้ำชุมชน”

4.2 ชุดความรู้การเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ

TSU Co-Creation of Knowledge เป็นการสร้างความรู้ใหม่ที่เกิดจากการลงมือปฏิบัติงานวิจัยของนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยในรูปแบบของงานวิจัยรับใช้สังคม องค์ความรู้ที่นำมาใช้มาจากความรู้ 2 ส่วนด้วยกันคือ ความรู้ชุมชนหรือภูมิปัญญาชาวบ้านในเรื่องการบอกลักษณะของคุณภาพน้ำจากการดูลักษณะทางกายภาพและสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น น้ำที่มีสีผิดปกติไป (สีเขียวเข้ม สีดำหรือสีน้ำเปลี่ยนไปจากเดิมที่เป็นอยู่) หรือสังเกตจากกลิ่นของน้ำ (น้ำเสียจะมีกลิ่นเหม็น) รวมทั้งการดูพฤติกรรมของสัตว์น้ำ เช่น ถ้าน้ำเริ่มเสียปลาจะขึ้นมาฮุบอากาศบริเวณผิวน้ำ และถ้าน้ำเสียมากปลาจะตาย ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่ชาวบ้านสังเกตจะสอดคล้องกับความรู้ทางวิชาการ กล่าวคือ การที่น้ำมีกลิ่นอาจจะเกิดจากการย่อยสลายของสารอาหารในน้ำที่มีสารอาหารมากเกินไป และการที่ปลาขึ้นมาฮุบอากาศเป็นเพราะระดับออกซิเจนในน้ำลดน้อยลงจนเริ่มจะไม่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตของปลา การประสานความรู้ทั้งสองส่วนนี้เข้าด้วยกันผ่านกระบวนการทำงานวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) ระหว่างนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยและนักวิจัยชุมชน โดยมีกระบวนการวิจัยเป็นสื่อกลางทำให้สามารถยกระดับภูมิปัญญาชาวบ้านมาเป็นความรู้สากล (ความรู้ทางวิทยาสาสตร์) ก่อให้เกิดชุดความรู้ “การเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ” ประกอบด้วยหนังสือ 4 เล่ม คือ 1. ในน้ำมีอะไรเป็นชุดความรู้เกี่ยวกับการตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี 2. ในน้ำมีแพลงก์ตอน เป็นชุดความรู้เกี่ยวกับการใช้แพลงก์ตอนสัตว์เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ 3. นักสืบสายน้ำคลองท่าแนะ-คลองป่าพะยอม เป็นชุดความรู้เกี่ยวกับการใช้สัตว์เล็กน้ำจืดที่พบในพื้นที่เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ และ 4. ในน้ำมีปลา เป็นชุดความรู้เกี่ยวกับการใช้ปลาเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 3 รูปแบบการทำงานร่วมกันระหว่างนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยกับนักวิจัยชุมชน

ภาพที่ 4 ชุดความรู้ “การเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ”

5. รูปแบบการพัฒนานักวิจัยรับใช้สังคม

รูปแบบการพัฒนานักวิจัยหน้าใหม่เพื่องานวิจัยรับใช้สังคมจากการทำงานของคลัสเตอร์สิ่งแวดล้อมชุมชนแสดงดังภาพที่ 5 ในกระบวนการพัฒนานักวิจัยนี้จะมีการทำงานของนักวิจัยหน้าใหม่โดยมีนักวิจัยพี่เลี้ยงเป็นผู้คอยดูแลในทุกขั้นตอนของการทำงานวิจัย ในขณะเดียวกันจะให้นักวิจัยหน้าใหม่ได้ลงมือทำงานวิจัยด้วยตัวเองทุกขั้นตอนตั้งแต่การลงพื้นที่หาโจทย์วิจัยจนกระทั่งสรุปผลการวิจัยและการถอดบทเรียน สิ่งสำคัญของการพัฒนานักวิจัยคือ การได้ลงปฏิบัติการในพื้นที่ (social lab) และการได้รับการเข้าอบรมเกี่ยวกับงานวิจัยรับใช้สังคมที่จัดโดยสถาบันวิจัยของมหาวิทยาลัยทักษิณ สิ่งเหล่านี้จะช่วยให้นักวิจัยเข้าใจงานวิจัยรับใช้สังคมมากยิ่งขึ้น

ภาพที่ 5 รูปแบบในการพัฒนานักวิจัยรับใช้สังคม

6. การเปลี่ยนแปลงในชุมชนและการนำไปใช้ประโยชน์

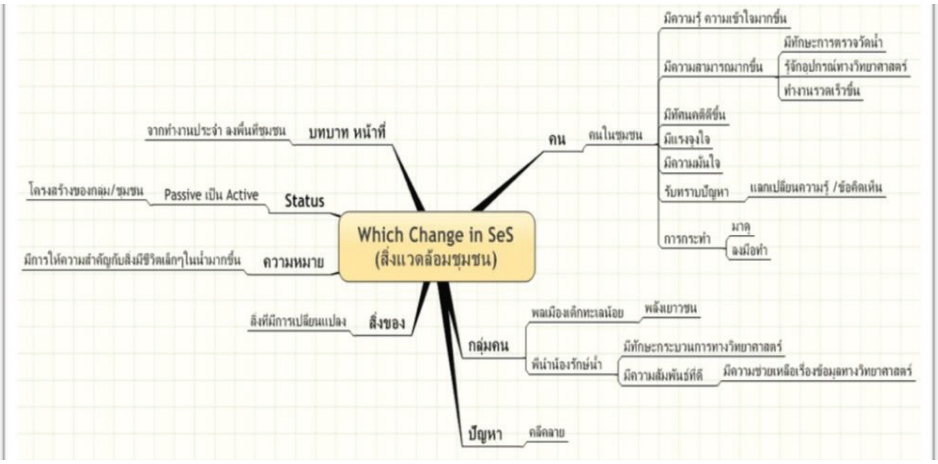
จากการทำงานวิจัยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นทั้งนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยและชุมชน (ภาพที่ 6) การเปลี่ยนแปลงของนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยมีหลายประการด้วยกัน เช่น มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการทำงานจากนักวิจัยที่ทำงานในห้องปฏิบัติการมาเป็นการทำงานที่ใช้ชุมชนเป็นห้องปฏิบัติการ (social lab) สามรถพัฒนางานวิจัยเชิงวิชาการมาเป็นงานวิจัยรับใช้สังคมได้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของชุมชนจะเห็นได้หลายประการเช่นเดียวกัน เช่น บุคคลมีความมั่นใจในตัวเองมากขึ้น เกิดการเรียนรู้การตรวจวัดคุณภาพน้ำ เห็นคุณค่าของทรัพยากรในท้องถิ่นและก่อให้เกิดจิตสำนึกรักษ์น้ำในพื้นที่ ดังจะเห็นได้จาก นักเรียนโรงเรียนบ้านปากเหมืองทำโครงงานวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับการใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ มีที่มาของโครงงานจากการประสบปัญหาน้ำเสียในบริเวณพื้นที่ต้นน้ำคลองป่าพะยอม

ผลจากการวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการเรียนการสอนของชุมชนทั้งในรูปแบบของกิจกรรมในโรงเรียนหรือการเรียนรู้ของชาวบ้านในชุมชนเอง เพื่อใช้ในการจัดการคุณภาพน้ำในชุมชน โดยชุมชนสามารถใช้ชุดคู่มือในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำ ทั้งทางกายภาพ เคมีและชีวภาพและสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับบริบทของชุมชนเอง ส่วนการนำไปใช้ประโยชน์ในทางวิชาการมีการนำผลงานวิจัยไปนำเสนอในงานประชุมวิชาการเรื่อง การใช้สัตว์เล็กน้ำจืดเป็นดัชนีชีวภาพเพื่อประเมินคุณภาพน้ำในคลองป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง (วาสนาและคณะ 2559) นอกจากนี้ ทางคณะผู้วิจัยได้รับการคัดเลือกให้ร่วมจัดนิทรรศการ ตลาดนัดเปิดโลกผลงานวิจัยและนวัตกรรม ครั้งที่ 2 วิจัยขายได้ จัดโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ร่วมกับเครือข่ายในระบบวิจัย ระหว่างวันที่ 23-24 กันยายน 2560 ณ อาคารศูนย์ไปรษณีย์กลางและศูนย์สร้างสรรค์การออกแบบ บางรัก กรุงเทพมหานคร และจัดนิทรรศการในโครงการ ประชุมเครือข่ายและสัมมนาวิชาการเพื่อความร่วมมือด้านการบริหารวิชาการภายใต้เครือข่ายบริการวิชาการสถาบันอุดมศึกษาไทย ครั้งที่ 3 ในวันที่ 2 พฤศจิกายน 2560 ณ วิทยาลัยภูมิปัญญาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

อภิปรายผลการวิจัย

การปฏิบัติการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญต่อการศึกษาวิจัยของประเทศไทย เนื่องจากเป็นการศึกษาที่สะท้อนปัญหาที่เกิดขึ้นในชุมชนและเน้นการมีส่วนร่วมของชุมชนมาร่วมในทุกขั้นตอนของการดำเนินการวิจัย งานวิจัยแบบนี้เข้ามามีบทบาทในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ โดยการประยุกต์ใช้หลักการและแนวคิดของชุมชน พร้อมทั้งมีการสอดแทรกความรู้ทางวิชาการจะทำให้สามารถพัฒนาสังคมได้ดี (Boonthanantapong, 2006) จากการศึกษาครั้งนี้ จะเห็นได้ว่า ชุมชนได้มีส่วนร่วมเป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตาม ยังคงมีบางชุมชนที่ไม่ให้ความร่วมมือหรือไม่เห็นถึงประโยชน์ของการทำงานร่วมกัน Hongwiwatch (1984) กล่าวว่า กระบวนการวิจัยจะต้องแสดงศักยภาพให้ชุมชนได้เห็นว่า ชุมชนได้รับผลประโยชน์อย่างไรเมื่อมีส่วนร่วม จะทำให้ได้รับความร่วมมือจากชุมชนดียิ่งขึ้น

จากผลการวิจัยนี้สามารถทำให้เกิดกระบวนการติดตามและเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในชุมชน ซึ่งเห็นได้จากการมีเยาวชนโรงเรียนบ้านปากเหมืองสนใจทำโครงงานเกี่ยวกับการดูแลแหล่งน้ำในชุมชน นอกจากนี้ มีการขยายกระบวนการไปสู่พื้นที่อื่น เช่นโรงเรียนเขาวัดทอง อ.ควนขนุนได้ขอบริการวิชาการให้ทางคณะวิจัยเข้าร่วมการจัดโครงการเยาวชนเขารักทองรักษ์น้ำคลองท่าแนะ ซึ่งสืบเนื่องจากได้ข้อมูลจากการจัดนิทรรศการในสัปดาห์วันวิทยาศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยทักษิณ และผู้อำนวยการโรงเรียนที่เคยเข้าร่วมโครงการเมื่อย้ายสถานศึกษาได้จัดกิจกรรมต่อเนื่อง เช่น กิจกรรมพอยสวยน้ำไส ที่โรงเรียนนาขยาดวิทยาคม เป็นต้น นอกจากนี้ มีการผลักดันกิจกรรมการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำให้เป็นแผนงานของหน่วยงานท้องถิ่นซึ่งกำลังดำเนินโครงการในปี 2560



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของนักวิจัยและชุมชนจากการทำงานวิจัย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ (สัญญาเลขที่ RDG59A0007) คุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำ แลกเปลี่ยนความคิดเห็น ติดตามความก้าวหน้าและการดำเนินงานตลอดโครงการ หน่วยงานและชุมชนในพื้นที่ที่เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยตลอดเวลาที่ดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

กาญจนา อ่อซ้าย. 2558. ความหมากหลายของแพลงก์ตอนพืชในคลองป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง. โครงงานวิจัยปริญญาตรี มหาวิทยาลัยทักษิณ. 109 หน้า.

กรมควบคุมมลพิษ. 2548. คู่มือการตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ. กรมควบคุมมลพิษ. 48 หน้า.

วาสนา มณีเศวต เตือนตา ร่าหมาน และวิชุดา กล้าเวช 2559 การใช้สัตว์เล็กน้ำจืดเป็นดัชนีชีวภาพเพื่อการประเมินคุณภาพน้ำในคลองป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง. ใน งานประชุมวิชาการระดับชาติลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ครั้งที่ 4 และพัทลุงศึกษา-ภูมิปัญญาชุมชน-ลุ่มน้ำทะเลสาบ ครั้งที่ 2, 30-31 สิงหาคม 2559.

เพ็ญใจ สมพงษ์ชัยกุล. 2548. โครงการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เล่มที่ 5 ทรัพยากรน้ำ. สงขลา : สามัญนีโอพอยท์.

ยงยุทธ ลิ่มพานิช และวิชัย กองรัตนโกศล. 2539. ชลชีววิทยาและทรัพยากรประมงในทะเลน้อยจังหวัดพัทลุง. เอกสารวิชาการ ฉบบที่ 1/2539. ศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืดปัตตานี สถานประมงน้ำจืดจังหวัดพัทลุง.กองประมงน้ำจืด กรมประมง.

ลัดดา วงศ์รัตน์และโสภณ บุญญาภิวัตน์. 2546. คู่มือการเก็บและวิเคราะห์แพลงก์ตอน. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสต์ 270 หน้า

อ่อนจันทร์ โคตรพงษ์อัศมน ลิ่มสกุล วุฒิชัย แพงแก้ว และบุญชอบ สุทธมนัสวงษ์ 2553 พลวัตรของธาตุอาหารพืช ยูโทรฟิเคชันและเมตาบอลิซึมของระบบนิเวศในพื้นที่ชุ่มน้ำทะเลน้อย. วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม. 6(2): 1-18.

Boonthanantapong, A. 2006. No easy as Participation Action Research (PAR). Prannakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology). 1: 19-26.

Hongwiwatch, T. 1984. Participation Action Research-PAR. Center for Health Policy Study, Mahido; University, Bangkok, Thailand. 101 pp.

Strickland, J.D.H. and Parson, T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Ottawa, Fisheries Research Board of Canada publisher, 167 pp.

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพจากระบบยูเอเอสบีขนาดเล็ก
CARBON FOOTPRINT ASSESSMENT OF ELECTRICITY GENERATION BY BIOGAS FUEL FROM SMALL UASB PLANT

สุรเชษฐ์ กล้าณรงค์ [1*] และสมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ [2]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต , สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

บทคัดย่อ

ปัจจุบันก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในปริมาณเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะระบบยูเอเอสบีขนาดเล็กในกลุ่มโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นกลุ่มที่ผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด อย่างไรก็ตามในขั้นตอนของการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตไฟฟ้าจะมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยจัดเก็บข้อมูลการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากร พลังงาน และสารเคมีต่างๆที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงการปลดปล่อยมลพิษและของเสียต่างๆที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยมีขอบเขตในการศึกษาแบบ Cradle to Gate (B2B) เริ่มต้นจากกระบวนการปรับอัตราการไหลและการตกตะกอนขั้นต้น การหมักกรด การหมักแบบไร้อากาศและสิ้นสุดที่การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ จากผลการศึกษาพบว่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ มีค่าเท่ากับ 0.544 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยกระบวนการที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือ กระบวนการหมักแบบไร้อากาศโดยมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 0.439 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าคิดเป็น 80.7% ของปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมด อย่างไรก็ตามยังมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่ำกว่ากระแสไฟฟ้าจากสายส่งซึ่งมีคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 0.609 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์ การประเมินวัฐจักรชีวิต ก๊าซชีวภาพ ระบบยูเอเอสบี การผลิตไฟฟ้า

[1]Corresponding author: Tel.: 044-224236. E-mail address: somsaksi@sut.ac.th

บทนำ

สถานการณ์การบริโภคพลังงานในปัจจุบันมีแนวโน้มมากกว่าในอดีตที่ผ่านมา โดยเฉพาะกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนาที่มีการขยายตัวด้านอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว เป็นสาเหตุให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ซึ่งสวนทางกับแหล่งพลังงานที่ลดลง ในปี พ.ศ. 2549 ประเทศไทย โดยกระทรวงพลังงานได้มีการกำหนด มาตรการและกลยุทธ์ การส่งเสริม การมุ่งเน้นการใช้พลังงานทดแทนและตั้งเป้าผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนต่างๆ ภายในประเทศ ไว้ใช้เอง เพื่อลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ซึ่งจากมาตรการและกลยุทธ์ดังกล่าว รัฐบาลได้มีการผลักดันให้มีการลงทุนก่อสร้างและติดตั้งระบบผลิตพลังงานทดแทนในรูปแบบโรงไฟฟ้า โดยเฉพาะโรงไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ ซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในกลุ่มอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง [1] ดังแสดงในตารางที่ 1

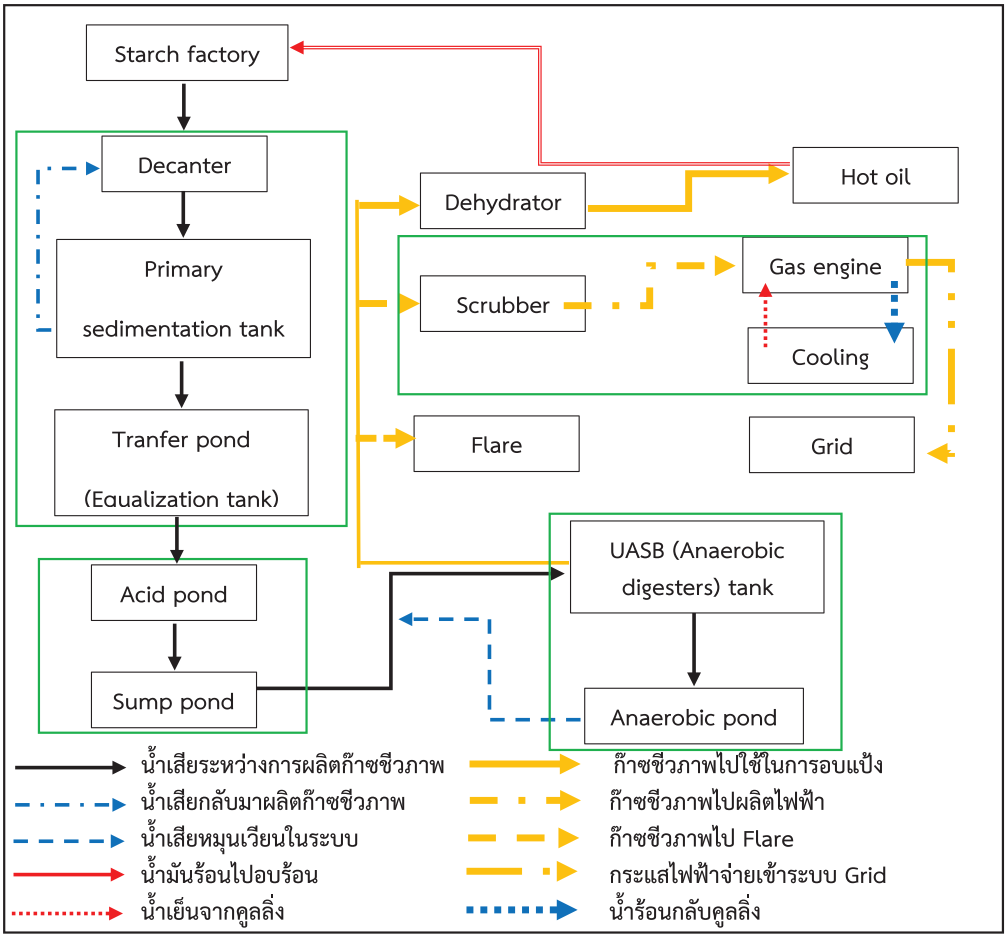
ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับแป้งมันสำปะหลังรายใหญ่ของโลก โดยมีจังหวัดนครราชสีมาเป็นฐานการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่ใหญ่ที่สุดของประเทศ และเป็นที่ตั้งของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมากกว่า 20 โรงงาน โดยระบบผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังของจังหวัดนครราชสีมาที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากที่สุด คือ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี (UASB) เพราะเป็นระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบอื่นๆ [1]

ตารางที่1 โรงงานอุตสาหกรรมที่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ประเภทโรงงาน	จำนวน (โรง)
1. โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์แป้ง	72
2. โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	35
3. โรงงานผลิตเอธานอล	16
4. โรงงานสุรา/เบียร์	16
5. โรงงานผลิตภัณฑ์อาหารเครื่องดื่ม/แปรรูปอาหาร/อาหารแช่งแข็ง	42
6. โรงฆ่าสัตว์	9
7. อื่นๆเช่น ผลิตน้ำยางข้น/เคมี/ใช้วัสดุเหลือทิ้งผลิตเป็นก๊าซชีวภาพและบ่อฝังกลบขยะ	24
รวมโรงงานที่มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ	214

ในปี พ.ศ. 2552 องค์การบริการจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน) ได้พัฒนาแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์ และจัดทำข้อกำหนดเฉพาะผลิตภัณฑ์สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขึ้น โดยอ้างอิงจากหลักการประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assesment : LCA) โดยพิจารณาตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ พลังงาน/ทรัพยากร การใช้งาน/การบริการ ตลอดจนการจัดการของเสียหรือซากจากการใช้งาน [2] ซึ่งคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ได้สามารถใช้บ่งชี้ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ในด้านการส่งผลต่อภาวะโลกร้อน โดยในประเทศไทยได้มีการศึกษาวิจัยและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ตามแนวทาง [3]- [5] อันเป็นการสร้างฐานข้อมูลอ้างอิงด้านการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อการพัฒนาด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ศึกษา ประเมินและวิเคราะห์ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ถูกปลดปล่อยในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ กำลังการผลิต 1.128 เมกกะวัตต์ ที่ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังปฏิกรณ์แบบตะกอนลอย (UASB) โดยกำหนดพิจารณาหน่วยหน้าที่ การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพต่อ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและการผลิตไบโอแก๊ส ซึ่งมีผู้ประเมินและศึกษาวิจัยอย่างจำกัด [6]- [10]



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยใช้แนวทางตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

1.1 เป้าหมายการศึกษา

- ศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ที่ได้จากระบบยูเอเอสบี

1.2 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพโดยใช้น้ำเสียจากโรงผลิตแป้งมันสำปะหลังและถังปฏิกรณ์หมักไร้อากาศแบบยูเอเอสบี (UASB : Upflow Anaerobic Sludge Blanket) โดยเป็นการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตามรูปแบบ Cradle ta Gate หรือ B2B โดยแบ่งวัฎจักรชีวิตออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วย

- การปรับอัตราการไหลและการตกตะกอนขั้นต้น

- การหมักกรด
- การหมักไร้อากาศ
- การผลิตไฟฟ้า

โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา คือ ชนิดและปริมาณการใช้ทรัพยากร ชนิดและปริมาณการใช้พลังงาน และปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือของเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ โดยศึกษาผลกระทบโดยตรงที่เกิดจากขั้นตอนการใช้ทรัพยากรในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเท่านั้น และหน่วยการทำงาน (Functional Unit) ต่อ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

2. การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม

การเก็บรวบรวมข้อมูลและปริมาณของการใช้วัตถุดิบ พลังงาน และการปลดปล่อยของเสียต่างๆ โดยเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม – ธันวาคม 2557 โดยเก็บข้อมูลของบริษัท บูลไฟรไบโอ จำกัด ซึ่งข้อมูลปฐมภูมิที่ได้เป็นการเก็บข้อมูลจริง จากการตรวจวัดหน้างาน สัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ บันทึกปริมาณการใช้วัตถุดิบและของเสียต่างๆ ใบสั่งซื้อ รวมถึงบิลค่าไฟฟ้า และข้อมูลทุติยภูมิรวบรวมจากเอกสารวิชาการและแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

3. การประเมินผลกระทบ

นำข้อมูลจากการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพแสดงผลให้อยู่ในรูปของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgco_{2\text{-}eq}$) ดังสมการ

$$Carbon\ Footprint = \frac{Activity\ Data}{Emission\ Factor} \quad (1)$$

4. การแปลผล

นำผลการคำนวณค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้รับมาแปลผลข้อมูลให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ โดยจะแปลผลในด้าน Global Warming (GW) หรือการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas : GHG)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพปี 2557 มีรายละเอียดดังนี้

1.1 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพตลอดวัฏจักร

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพตลอดวัฏจักรเท่ากับ 0.544 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยคำนวณแยกในแต่ละกระบวนการของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ พบว่ากระบวนการหมักแบบไร้อากาศมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด โดยมีปริมาณการปลดปล่อยเท่ากับ 0.439 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือคิดเป็นร้อยละ 80.7 ของการปลดปล่อยทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 2

1.2 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งในแต่ละวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

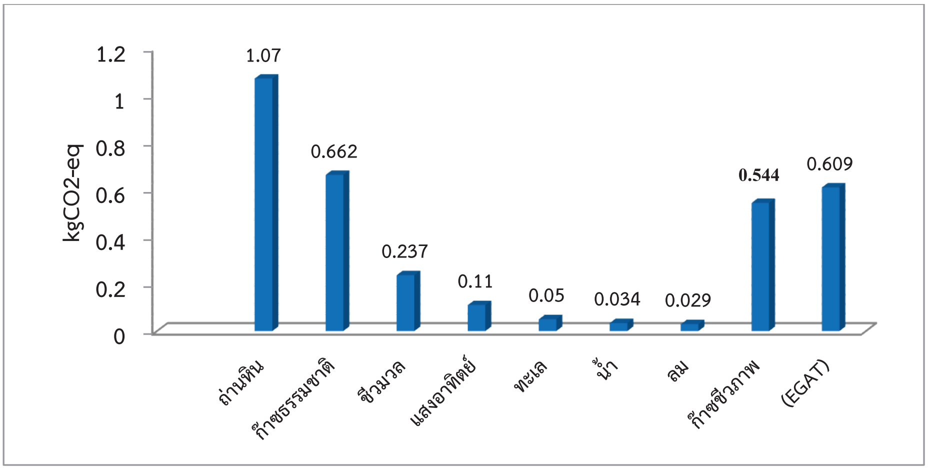
พบว่าการขนส่งในช่วงวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตไฟฟ้ามีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด มีปริมาณการปลดปล่อยเท่ากับ 1.22×10^{-4} กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเกิดจากการขนส่งวัสดุของใช้สิ้นเปลืองเพื่อการบำรุงรักษา และเดินเครื่อง อย่างไรก็ตาม ค่าผลรวมการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการปลดปล่อยจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบและกระบวนการผลิต

ตารางที่ 2 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพแยกย่อยตามกระบวนการ

ช่วงวัฏจักรชีวิต	การปล่อย GHG ของการได้มาและการใช้ประโยชน์ วัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร($kgCO_2$-eq)	การปล่อย GHG ของการขนส่งวัตถุดิบ พลังงาน และทรัพยากร($kgCO_2$-eq)	ผลรวม ($kgCO_2$-eq)	สัดส่วน
การปรับอัตราการไหลและตกตะกอนขั้นต้น	6.76×10^{-2}	0	6.76×10^{-2}	12.45%
การหมักกรด	2.79×10^{-5}	7.53×10^{-5}	3.53×10^{-5}	0.01%
การหมักแบบไร้อากาศ	4.39×10^{-1}	1.66×10^{-5}	4.39×10^{-1}	80.71%
การผลิตไฟฟ้า	3.70×10^{-2}	1.22×10^{-4}	3.70×10^{-2}	6.82%
	รวม		5.44×10^{-1}	100%

2. การเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ กับ การผลิตไฟฟ้าจากสายส่งในประเทศ และการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งอื่น

จากการเปรียบเทียบค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีต่างๆ [10] ซึ่งประกอบด้วยเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ อาทิเช่น ถ่านหิน, ก๊าซธรรมชาติ, ชีวมวล, แสงอาทิตย์, ทะเล, น้ำ, ลม, ก๊าซชีวภาพและการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินมีคาร์บอนฟุตพริ้นท์สูงที่สุด โดยมีค่า 1.070 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพมีค่าที่ต่ำกว่าการไฟฟ้า จากระบบสายส่งในประเทศไทย (EGAT) ซึ่งมีค่า 0.609 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง แนวทางการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ควรปรับเปลี่ยนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่เติมอากาศ (Anaerobic pond) เป็นแบบเติมอากาศ (Aerated lagoon) ทดแทน พร้อมทั้งควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตไฟฟ้าจากแต่ละเทคโนโลยี

สรุปผลการวิจัย

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ กรณีศึกษาระบบยูเอเอสบีขนาดเล็ก ของบริษัท บูลไฟ ไบโอ จำกัด โดยปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.544 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ต่อผลิตภัณฑ์ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยกระบวนการหมักไร้อากาศมีการปลดปล่อยมากที่สุด 0.439 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็น 80.7% ของปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งน้อยกว่าค่าคาร์บอนฟุตพรินท์ของไฟฟ้าจากระบบสายส่งที่ค่าเท่ากับ 0.609 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และกรรมการผู้จัดการ รวมถึง เจ้าหน้าที่ บริษัท บลูไฟร ไบโอ จำกัด ทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือ เอื้อเฟื้อข้อมูล และ อำนวยความสะดวกในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. **คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิต การควบคุมคุณภาพ และ การใช้ก๊าซชีวภาพ(Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม.**

[2] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์กรมหาชน). (2555). **แนวทางด้านการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้านบริการ**. ครั้งที่1.บริษัทวิสต้า อินเตอร์ปริ้นท์ จำกัด : กรุงเทพมหานคร.

[3] กรกมล ชูช่วย. (2553). **การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการเลือกใช้ก๊าซเรือนกระจกในการประเมินวัฏชีวิตผลิตภัณฑ์ : กรณีศึกษาในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[4] นุชนาท วรารักษ์ประจักษ์, ลำใย ณีรัตนพันธุ์ และ **คาร์บอนฟุต- พริ้นท์ของโรงงานสุรา**

[5] พรรณทิพย์ แตงอ่อน. (2557). **การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยางแผ่นรมควัน: กรณีศึกษาโรงงานสหกรณ์กองทุนสวนยาง จ.สงขลา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[6] อรกมล เห็นชอบดี, สุเทพ เขียวหอม และ ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ. (2549). **การประเมินวัฏจักรชีวิตการศึกษาระบบการผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วมกับระบบการผลิตก๊าซจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[7] William G. Mezzullo, Marcelle C. McManus, and Geoff P. Hammond. (2012). **Life cycle assessment of a small-scale anaerobic digestion plant from cattle waste.** Applied Energy. 102: 657-664

[8] S.M. Shafie, T.M.I. Mahlia, H.H. Masjuki, B.Rismanchi, and a*. (2012). **Life cycle assessment (LCA) of electricity generation from rice husk in Malaysia.** Energy Procedia. 14: 499-504

[9] S. Ishikawa, S. Hoshiba, T. Hinata, T. Hishinuma, S. Morita. (2006). **Evaluation of biogas plant from life cycle assessment (LCA).** International Congress Series. 1293: 230-233

[10] Stephanie Baldwin. (2006) . **Carbon footprint of electricity generation** Retrieved from http://www.parliament.uk/post

การศึกษาภาวะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ราบจังหวัดแพร่
Study on Greenhouse Gas Emissions from Maize Planting in Plain Area Phrae Province

ศุภชัย เพชรธาราวดี[1], ณัฐวุฒิ ดุษฎี[1], ชูรัตน์ ธารารักษ์[1], ประกิตต์ โก๊ะสูงเนิน[1], และธเนศ ไชยชนะ[1]*
[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ที่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

การศึกษาภาวะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ราบจังหวัดแพร่ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาบัญชีรายการของกระบวนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ราบจังหวัดแพร่ ปีเพาะปลูก 2559 ตามแนวทางการหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้เทคนิค Life Cycle Assessment (LCA) โดยรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรตัวอย่าง จำนวน 40 ราย ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีผลผลิตเฉลี่ย 653.62 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยเคมีเฉลี่ย 55.70 กิโลกรัมต่อไร่ สารกำจัดวัชพืชเฉลี่ย 1.32 ลิตรต่อไร่ สารกำจัดศัตรูพืชเฉลี่ย 0.54 ลิตรต่อไร่ น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 5.5 ลิตรต่อไร่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 กิโลกรัม เท่ากับ 0.2445 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า แบ่งเป็น จากก๊าซไนตรัสออกไซด์จากปุ๋ย คิดเป็นร้อยละ 45.89 รองลงมาคือการผลิตปุ๋ย คิดเป็นร้อยละ 26.50 จากการใช้ปัจจัยการผลิต คิดเป็นร้อยละ 16.68 จากการใช้เชื้อเพลิง คิดเป็นร้อยละ 10.51 และจากการขนส่งผลผลิต คิดเป็นร้อยละ 0.42 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

* Corresponding author: Tel.: 0815406768. E-mail address: tanatecha@hotmail.com

จังหวัดแพร่ เพื่อประเมินปริมาณการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดกระบวนการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตั้งแต่กระบวนการเตรียมพื้นที่ปลูกจนถึงกระบวนการขนส่งไปยังจุดรับซื้อ หรือโรงสีข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และเป็นข้อเสนอแนะแนวทางการลดภาวการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ นำไปสู่เศรษฐกิจคาร์บอนต่ำ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ

1.เก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลในการศึกษาได้มาจากแหล่งข้อมูล 2 แหล่ง ดังนี้

1.1 ข้อมูลปฐมภูมิ เป็นข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เกษตรกรครัวเรือนที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ราบจังหวัดแพร่ จากกลุ่มปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แปลงใหญ่ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 40 ราย

1.2 ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) เป็นข้อมูลที่รวบรวมจากเอกสาร รายงานการศึกษาบทความ วารสาร งานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนข้อมูลที่ได้จากหน่วยงานต่างๆทั้งภาครัฐบาลและเอกชนซึ่งข้อมูลที่ไม่สามารถรวบรวมตรวจวัด ได้จากกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง รวมทั้ง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่ซึ่งได้จากคู่มือของ Intergovernmental Panel on Climate Change 2006 (IPCC 2006) [4] ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก [5-6]

รายการ	หน่วย	ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก
การผลิตดีเซล	kgCO_2eq/kg	0.3282
การเผาไหม้ดีเซล	kg CO_2eq/L	2.7446
การผลิตเบนซิน	kg CO_2eq/kg	0.7069
การเผาไหม้เบนซิน	kg CO_2eq/L	2.2376
การผลิตปุ๋ยไนโตรเจน	kg CO_2eq/kg-N	2.6000
การผลิตปุ๋ยฟอสฟอรัส	kgCO_2eq/kg-P	0.2520
การผลิตปุ๋ยโพแทสเซียม	kg CO_2eq/kg-K	0.1600
การปล่อยก๊าซ N2O โดยตรงจากการใส่ปุ๋ย	kgCO_2eq/kg-N	0.0030
การปล่อยก๊าซ N2O โดยอ้อมจากการสูญเสียปุ๋ย N ในรูป NH_3+NO_x จากการใส่ปุ๋ยเคมี	kgN_2O-N/kg N	0.0100
สัดส่วนที่สูญเสียในรูป NH3+NOx	ไม่มีหน่วย	0.1000
รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตัน วิ่งแบบปกติ 100% Loading	kg CO_2 eq/ton-km	0.1402
รถกระบะบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตัน วิ่งเที่ยวกลับ 0% Loading	kg CO_2 eq/km	0.3111
เมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	kgCO_2eq/kg	0.1750
สารเคมีกำจัดวัชพืช	kgCO_2eq/L	10.2089
สารเคมีกำจัดศัตรูพืช	kgCO_2eq/L	16.5873

2.การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) การวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้สถิติพรรณนา (Descriptive Statistics) โดย วิเคราะห์สภาพทั่วๆ ไปของเกษตรกร พื้นที่และแปลงเพาะปลูก ทั้งนี้การวิเคราะห์อาจใช้ตารางค่าร้อยละ ค่าสัดส่วน ค่าผลรวม และค่าเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลต่างๆ ของกลุ่มตัวอย่าง

2.2 จัดทำบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจก ข้อมูลที่ใช้คำนวณการปล่อยก๊าซเรือน กระจกจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ สารเคมี พลังงาน ตลอดกระบวนการปลูก จนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต และสิ้นสุดที่การขนส่งจากไร่ข้าวโพดถึงจุดรับซื้อ หรือโรงสีข้าวโพด ประกอบด้วย ข้อมูลสารขาเข้า (Input Data) ได้แก่ ข้อมูลเมล็ดพันธุ์ ปัจจัยการผลิตต่างๆ การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และข้อมูลสารขาออก (Output Data) ได้แก่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปีเพาะปลูก 2559

2.3 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของสินค้า (Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions of Products : LCA-GHG ตามแนวทางของประเทศไทยและมาตรฐานนานาชาติ โดยใช้สมการดังต่อไปนี้ [6-8]

1. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนเชื้อเพลิง

= ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ทั้งหมด (กิโลกรัม) x ค่าสัมประสิทธิ์การผลิตดีเซล (kgCO_2eq/กิโลกรัม (1)

= ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ทั้งหมด (ลิตร) x ค่าสัมประสิทธิ์การเผาไหม้ดีเซล 1 ลิตร (kgCO_2eq/ลิตร) (2)

2. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตปุ๋ย

= {ปริมาณไนโตรเจน (กิโลกรัม) x ค่าสัมประสิทธิ์การผลิตปุ๋ยไนโตรเจน (kgCO_2eq/kg-N)} +
{ปริมาณฟอสฟอรัส (กิโลกรัม) x ค่าสัมประสิทธิ์การผลิตปุ๋ยฟอสฟอรัส (kgCO_2eq/kg-P)} + (3)
{ปริมาณโพแทสเซียม (กิโลกรัม) x ค่าสัมประสิทธิ์การผลิตปุ๋ยโพแทสเซียม (kgCO_2eq/kg-K)}

3. การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) จากการใช้ปุ๋ย

- การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์โดยตรงจากการใส่ปุ๋ย

= ปริมาณปุ๋ย N (กิโลกรัม) × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง (kgCO_2eq/kg-N) (4)
× 44/28 × 298

- การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์โดยอ้อมจากการสูญเสียปุ๋ย N ในรูป NH_3+NO_x จากการใส่ปุ๋ยเคมี

= ปริมาณปุ๋ย N (kg) × สัดส่วนที่สูญเสียในรูป NH_3+NO_x × ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (5)
(kgN_2O-N/kg N) × 44/28× 298

4. การขนส่งผลผลิตไปยังจุดรับซื้อหรือโรงสีข้าวโพด

$$EM_{Tra} = \sum \left[\left(EF_{Tra1,i} \times W_{Tra,i} \times T_{Tra,i} \right)_{Go\ trip} + \left(\frac{EF_{Tra2,i} \times W_{Tra,i} \times T_{Tra,i}}{W_{Maxoftruck}} \right)_{Returntrip} \right] \quad (6)$$

EM_{Tra}	= ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งปัจจัยการผลิต (kg CO_2 eq/ปี)
$EFT_{ra1,i}$	= ค่า Emission Factor ของการขนส่งปัจจัยการผลิต i เที่ยวไป (kg CO_2 eq/ton-km)
$EFT_{ra2,I}$	= ค่า Emission Factor ของการขนส่งปัจจัยการผลิต i เที่ยวกลับ (kg CO_2 eq/km)
$WT_{ra,i}$	= ปริมาณการขนส่งปัจจัยการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 กิโลกรัม (Ton)
$TT_{ra,i}$	= ระยะทางของการขนส่งปัจจัยการผลิต i (km)
$W_{max\ of\ truck}$	= น้ำหนักบรรทุกสูงสุดของรถ (Ton)

5. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปัจจัยการผลิต

= ปริมาณปัจจัยการผลิตที่ใช้ทั้งหมด (ลิตร) x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปัจจัยการผลิตแต่ละชนิด (CO_2eq/ลิตร) (7)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิง

การประเมินภาวการณ์ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของเชื้อเพลิงในรูปกิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า พบว่าในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงตลอดกระบวนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 16.9004 kg CO_2eq/ ไร่ และ 0.0257 kgCO_2eq /kg ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงในรูปกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ขั้นตอนที่	รายการ	ที่มา	ผลการประเมินข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (kg CO_2eq/ไร่)	ผลการประเมินข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (kgCO_2eq/ 1 kg ข้าวโพด)
	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ	สมการที่	A = ข้อมูลกิจกรรม x ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก	A/653.26
น้ำมันเชื้อเพลิง				
(1)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตดีเซล	สมการที่ 1	= 5.5 × 0.3282 = 1.8051	= 1.8051/653.26 = 0.0027
(2)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ของดีเซล	สมการที่ 2	= 5.5 × 2.7446 = 15.0953	= 15.0953/653.26 = 0.0231
(3)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงรวม		= 16.9004	= 0.0257

2. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการใช้ปุ๋ย และการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์โดยตรงจากการใส่ปุ๋ย

พบว่าในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนของการใช้ปุ๋ยเคมีทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสฟอรัส และปุ๋ยโปแทสเซียม มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมเท่ากับ 42.2928 kg CO_2eq/ ไร่ และ 0.0648 kgCO_2eq /kg และในส่วนของการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยตรงและจากการสูญเสียจากการใส่ปุ๋ย ตลอดกระบวนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 29.0149 kg CO_2eq/ ไร่ และ 0.1122 kgCO_2eq /kg ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตปุ๋ย และการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์โดยตรงจากการใส่ปุ๋ย ในรูปกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ขั้นตอนที่	รายการ	ที่มา	ผลการประเมินข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (kg CO_2eq/ไร่)	(kgCO_2eq/ 1 kg ข้าวโพด)
การผลิตปุ๋ย				
(1)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปุ๋ย N	สมการที่ 3	= 15.49 × 2.6000 = 40.2740	= 40.2740 /653.26 = 0.0617
(2)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปุ๋ย P	สมการที่ 3	= 4.90 × 0.2520 = 1.2348	= 1.2348/653.26 = 0.0019
(3)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปุ๋ย K	สมการที่ 3	= 4.90 × 0.1600 = 0.7840	= 0.7840/653.26 = 0.0012

ตารางที่ 3 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตปุ๋ย และการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์โดยตรงจากการใส่ปุ๋ย ในรูปกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ **(ต่อ)**

(4)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการใช้ปุ๋ยรวม		= 42.2928	= 0.0648
ก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการใช้ปุ๋ย				
(5)	การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยตรงจากการใส่ปุ๋ย	สมการที่ 4	= 15.49×0.0030 ×44/28×298 = 21.7612	= 21.7612/653.26 = 0.1011
(6)	การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ โดยอ้อมจากสูญเสียปุ๋ยไนโตรเจน ในรูป NH3+NOx การใส่ปุ๋ยเคมี	สมการที่ 5	= 15.49×0.1×0.01 ×44/28 ×298 = 7.2537	= 7.2537/653.26 = 0.0111
(7)	การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการใช้ปุ๋ยรวม		= 29.0149	= 0.1122

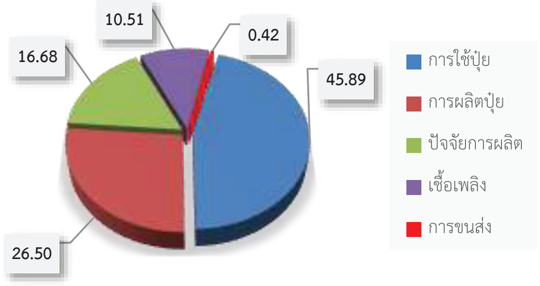
3. ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปัจจัยการผลิต และการขนส่ง

จากการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ปัจจัยการผลิต และขนส่ง พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เท่ากับ 0.5180 kg CO_2eq/ ไร่ และ 0.0079 kgCO_2eq /kg การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารเคมีกำจัดวัชพืช เท่ากับ 12.5569 kg CO_2eq/ ไร่ และ 0.0192 kgCO_2eq /kg การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เท่ากับ 8.9571 kg CO_2eq/ ไร่ และ 0.0137 kgCO_2eq /kg และการขนส่งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ไปยังจุดรับซื้อหรอโรงสี เท่ากับ 0.00104 kgCO_2eq /kg ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ปัจจัยการผลิต และขนส่งในรูปกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโลกรัมข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

ขั้นตอนที่	รายการ	ที่มา	ผลการประเมินข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (kg CO_2eq/ไร่)	(kgCO_2eq/ 1 kg ข้าวโพด)
การใช้ปัจจัยการผลิต				
(1)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	สมการที่ 7	= 2.96×0.1750 = 0.5180	= 0.5180/653.26 = 0.0079
(2)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารเคมีกำจัดวัชพืช	สมการที่ 7	= 1.23×10.2089 = 12.5569	= 12.556/653.26 = 0.0192
(3)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช	สมการที่ 7	= 0.54×16.5873 = 8.9571	= 8.9571/653.26 = 0.0137
(4)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ปัจจัยการผลิตรวม		= 22.0320	= 0.0408
การขนส่ง	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง	สมการที่ 6		=0.00104

อัตราส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 กิโลกรัม เท่ากับ 0.2445 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า พบว่าจากก๊าซไนตรัสออกไซด์จากปุ๋ยมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 45.89 รองลงมาคือการผลิตปุ๋ย คิดเป็นร้อยละ 26.50 จากการใช้ปัจจัยการผลิต คิดเป็นร้อยละ 16.68 จากการใช้เชื้อเพลิง คิดเป็นร้อยละ 10.51 และจากการขนส่งผลผลิต คิดเป็นร้อยละ 0.42 ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ราบ

จากอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ราบ เราสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการลดปริมาณการใส่ปุ๋ยเคมี และสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เนื่องจากปุ๋ยเคมี และสารเคมีกำจัดศัตรูพืช มีค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง จึงส่งผลให้กระบวนการดูแลรักษา การใส่ปุ๋ยเคมี และกำจัดศัตรูพืชมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงมาก ดังนั้นควรจะลดการใช้ปุ๋ยเคมี และสารเคมีกำจัดศัตรูพืช และใช้ปุ๋ยคอกปุ๋ยอินทรีย์ทดแทน หรือสารชีวภัณฑ์ สารสกัดสมุนไพรป้องกันแมลงศัตรูพืชจากธรรมชาติทดแทน ตัวอย่างเช่น เชื้อราไตรโคเดอร์ม่า เชื้อราบิวเวอร์เรีย น้ำหมักจากตะไคร้ และน้ำหมักสะเดา ฯลฯ ไม่เท่านั้นยังสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ ส่งผลให้สุขภาพดีขึ้น และรักษาสภาพแวดล้อมให้ดีขึ้นอีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

ศึกษาภาวการณ์ปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในพื้นที่ราบจังหวัดแพร่ ปีการเพาะปลูก 2559 โดยรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรตัวอย่าง จำนวน 40 ราย พบว่าเกษตรกรที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีผลผลิตเฉลี่ย 653.62 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยเคมีเฉลี่ย 55.70 กิโลกรัมต่อไร่ สารกำจัดวัชพืชเฉลี่ย 1.32 ลิตรต่อไร่ สารกำจัดศัตรูพืชเฉลี่ย 0.54 ลิตรต่อไร่ น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 5.5 ลิตรต่อไร่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดกระบวนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 1 กิโลกรัม เท่ากับ 0.2445 $kgCO_2eq$ พบว่าในส่วนการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการใช้ปุ๋ยมากที่สุด 0.1122 $kgCO_2eq$ รองงมาการผลิตและใช้ปุ๋ย N,P,K 0.0648 $kgCO_2eq$ การใช้ปัจจัยการผลิต 0.0408 $kgCO_2eq$ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง 0.0257 $kgCO_2eq$ และน้อยที่สุดคือกระบวนการขนส่ง 0.00104 $kgCO_2eq$ ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2555). ต้นทุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตข้าว.สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร.

[2] พิชยพิมพ์ คำเพียร. (2557). "การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ตำบลศิลา อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์"มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

[3] สำนักงานเศษรฐกิจการเกษตร.(2558).สถิติการเกษตรของประเทศไทยประจำปี 2558-2559 สืบค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2560 จาก https://www.oae.go.th

[4] IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In B. L. Eggleston H.S.. Japan: IGES [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html (วันที่สืบค้นข้อมูล : 20 กรกฎาคม 2560)

[5] Garivait. S. 2005. Monitoring and assessment of biomass open burning in agricultural areas/lands in Thailand. Pollution control department (PCD).

[6] Minami, K., Takata, K., Noike, T., Tilche, A. and Janaki, k. 1997. Atmospheric methane sources,sink, and strategies for reducing agricultural emission. Journal of Water Science and Technology. Vol.36. Pp. 509-516.

[7] ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์. (2546). การปลดปล่อยและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจาก นาข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[8] รัตนาวรรณ มั่งคั่ง และคณะ. (2553). การวิเคราะห์และจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าว สาหรับการติดฉลากคาร์บอน เพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจคาร์บอนต่ำในการบรรเทาภาวะโลกร้อน, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์.

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อผลิตก๊าซมีเทน มุ่งสู่การจัดการสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

Microalgae Cultivation for Methane Production Towards Sustainable Environmental Management in Piggery Farm: A Case Study of Chiang Mai Province

รุ่งนภา เขียววิจิตร[1*] และสุรสิทธิ์ เที่ยงจันตา[2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

บทคัดย่อ

การจัดการสิ่งแวดล้อมภายในฟาร์มสุกรโดยเฉพาะการป้องกันและลดมลพิษจากของเสียฟาร์มสุกร เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการจัดการฟาร์มสุกรให้ได้มาตรฐานและถูกสุขลักษณะ ด้วยเหตุนี้จึงนำไปสู่การพัฒนาการจัดการของเสียฟาร์มสุกรด้วยสาหร่ายขนาดเล็ก เนื่องจากเป็นวิธีที่ดำเนินการง่าย ไม่ซับซ้อน ใช้เงินลงทุนและมีค่าใช้จ่ายต่ำ นอกจากนั้นผลผลิตชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กยังจัดเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงในการผลิตเป็นก๊าซมีเทน ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมและความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กด้วยน้ำทิ้งที่ได้หลังจากกระบวนการหมักย่อยของเสียฟาร์มสุกรแบบไร้อากาศเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนต่อไป โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล ภายใต้กรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรมากที่สุดและเลือกใช้สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella sorokiniana* ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

จากการศึกษาพบว่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิสภาวะอากาศในแต่ละเดือน มีผลต่ออัตราผลผลิตของชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็ก พื้นที่ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กและปริมาณพลังงานทดแทนจากก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กอย่างมีนัยยะ นอกจากนั้นยังพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กด้วยน้ำทิ้งที่ได้หลังจากกระบวนการหมักย่อยของเสียฟาร์มสุกรแบบไร้อากาศ เป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้ในฟาร์มสุกรในช่วงเดือนมีนาคมถึงกรกฎาคม เพราะสามารถผลิตก๊าซมีเทนจากชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้สูงสุดอยู่ที่ 0.16-0.19 MJ/m^2/day โดยมีอัตราผลผลิตของชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กเท่ากับ 20.2-24.2 g-DW/m^2/day และต้องการใช้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเท่ากับ 4.8-5.5 m^2/pig ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการวางแผนและออกแบบระบบบำบัดของเสียฟาร์มสุกร เพื่อนำไปสู่การจัดการสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรอย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: ฟาร์มสุกร บำบัดของเสียฟาร์มสุกร สาหร่ายขนาดเล็ก ก๊าซมีเทนจากสาหร่ายขนาดเล็ก

[*]Corresponding author: Tel.: 053-921444 ext. 2455. E-mail address: rungnapha@rmutl.ac.th

บทนำ

ฟาร์มสุกรจัดเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและมีการแข่งขันกันทั่วโลก สำหรับในประเทศไทย การทำฟาร์มสุกรถือเป็นส่วนหนึ่งของรากฐานทางเศรษฐกิจของประเทศที่มีมาอย่างยาวนานและต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2558 มีการเลี้ยงสุกรทั้งหมดเกือบ 10 ล้านตัว และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี โดยจังหวัดเชียงใหม่มีจำนวนเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรมากที่สุดของประเทศไทย [1] แต่นอกเหนือจากผลผลิตสุกรที่เพิ่มมากขึ้นแล้ว ปัญหาอย่างหนึ่งที่เกิดตามมาก็คือ ของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงสุกรที่มีปริมาณสูงขึ้นตามไปด้วยและหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ รวมไปถึงทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็นและเกิดแหล่งพาหะนำโรคที่เกิดจากการเลี้ยงสุกรอีกด้วย [2]

โดยทั่วไปวิธีการบำบัดของเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งประกอบด้วยน้ำเสียฟาร์มสุกรที่เกิดจากการทำความสะอาดคอกและโรงเรือน ปัสสาวะสุกร รวมกับมูลสุกรที่นิยมใช้ก็คือ กระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถใช้ได้ตั้งแต่ฟาร์มสุกรขนาดเล็กจนไปถึงขนาดใหญ่ การเดินระบบง่าย ไม่ซับซ้อน และยังสามารถช่วยลดทั้งความขุ่น กลิ่น สี และสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นผลพลอยได้จากวิธีนี้คือ ก๊าซมีเทน (Methane gas) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนต่อไป [3-4] แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียของกระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศคือ ไม่สามารถกำจัดสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้น้ำทิ้งที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศยังมีการปนเปื้อนของสารอาหารในปริมาณค่อนข้างสูงทั้งสารไนโตรเจนและสารฟอสฟอรัส โดยเฉพาะปริมาณความเข้มข้นของสารไนโตรเจนรวม (TKN) ที่ยังมีค่าเกินมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มระบบบำบัดน้ำเสียอีกหนึ่งขั้นตอน วิธีที่นิยมใช้ ได้แก่ บ่อปรับเสถียรและบึงประดิษฐ์ ซึ่งเป็นวิธีที่มีการเดินระบบง่าย แต่ต้องทำการขุดลอกตะกอนออกเป็นประจำทุกปีและยังต้องหมั่นตักวัชพืชหรือตัดพืชที่ปลูกในบึงประดิษฐ์ออกอย่างสม่ำเสมอ [3] ดังนั้นจึงมีการทำวิจัยเพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำทิ้งที่ได้หลังจากกระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศ เช่น Biofilm membrane bioreactor และ Hybrid biofilters แต่ด้วยวิธีการเดินระบบที่ซับซ้อนและมีต้นทุนสูง จึงนำไปสู่การคิดค้นและพัฒนาระบบบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพและนำสารอาหารในน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ คือการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก ซึ่งเป็นวิธีที่ดำเนินการง่าย ใช้เงินลงทุนต่ำและมีค่าใช้จ่ายต่ำ นอกจากนั้นชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กยังจัดเป็นพืชที่มีศักยภาพสูงสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตก๊าซมีเทนและยังมีประโยชน์ในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ นำไปสู่การพัฒนาการจัดการสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรอย่างยั่งยืนต่อไป [5]

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารในน้ำทิ้งที่ได้หลังจากกระบวนการหมักย่อยของเสียฟาร์มสุกรแบบไร้อากาศ โดยใช้การทดลองระดับห้องปฏิบัติการ ทั้งในระบบปิดและระบบเปิด ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับสถานที่ สภาพอากาศในแต่ละเดือนและสายพันธุ์สาหร่ายที่ใช้ เช่น จากการศึกษาของ Cheunbarn และ Peerapornpisal (2010) พบว่าเมื่อใช้น้ำทิ้งที่ความเข้มข้น 10% สาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Spirulina platensis* มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่า NO_3^-, NH_4^+ และ PO_4^{3-} เท่ากับ 49%, 92% และ 67% ตามลำดับ [6] นอกจากนั้นการศึกษาของ Ji และคณะ (2013) พบว่าเมื่อใช้น้ำทิ้งที่ความเข้มข้น 40% สาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Scenedesmus obliquus* มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่า Total nitrogen (N) และ Total phosphorus (P) เท่ากับ 40% และ 73% ตามลำดับ และยังพบว่าชีวมวลสาหร่ายใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตลิพิด (Lipid) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Yen และคณะ (2014) ที่พบว่าสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella sp.* B5 สามารถลดค่า NH_4^+-N, TKN, PO_4^{3-}-P และ Total P ได้อย่างมีนัยยะ และยังพบว่ามีปริมาณลิพิด (Lipid) ในชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กเท่ากับ 28-30% ของปริมาณน้ำหนักแห้ง [8]

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมและความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กด้วยน้ำทิ้งที่ได้หลังจากกระบวนการหมักย่อยของเสียฟาร์มสุกรแบบไร้อากาศ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนต่อไป โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเลือกกรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีการเลี้ยงสุกรมากที่สุด

วิธีการวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในงานวิจัย และเพื่อนำผลวิจัยที่ได้ไปเป็นแนวทางสำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการของเสียจากฟาร์มสุกรได้อย่างยั่งยืนต่อไป คณะผู้วิจัยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1) กำหนดลักษณะของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อนำไปผลิตเป็นก๊าซมีเทน จะใช้แหล่งสารอาหารที่ยังปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการหมักย่อยของเสียฟาร์มสุกรแบบไร้อากาศ จากตัวอย่างฟาร์มสุกรขนาดใหญ่ (มีจำนวนสุกรเทียบเท่าสุกรขุน มากกว่า 5,000 ตัว) [3] ที่ตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่และเลี้ยงทั้งสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ สุกรขุน และสุกรอนุบาล ซึ่งหลังจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวอย่างน้ำทิ้งที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการหมักย่อยของเสียฟาร์มสุกรแบบไร้อากาศ พบว่ามีความเข้มข้นของผลรวมของไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น (TKN-Nitrogen) เท่ากับ 361±15 mg/L

2) กำหนดพื้นที่กรณีศึกษา

ในงานวิจัยนี้ ได้เลือกจังหวัดเชียงใหม่เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงในการเลี้ยงและผลิตสุกร ในตารางที่ 1 แสดงค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation intensity) และอุณหภูมิสภาวะอากาศเฉลี่ยต่อเดือนของจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งถือเป็นปัจจัยหลักที่ใช้กำหนดผลผลิตชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กและความต้องการใช้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก โดยนำข้อมูลสภาวะอากาศประเภท Typical Meteorological Years (TMY2) จากสถาบัน NSRDB [9] และความหนาแน่นการสังเคราะห์ด้วยแสงโฟตอนฟลักซ์ (PFD_{in}) เพื่อใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยความยาวคลื่นแสงที่ 400-700 nm และใช้อัตราการดูดกลืนพลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายขนาดเล็กที่ 43% ของปริมาณแสงอาทิตย์ทั้งหมด [10]

ตารางที่ 1 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันและค่าอุณหภูมิสภาวะอากาศเฉลี่ยต่อเดือน จากสถานีวัดจังหวัดเชียงใหม่

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (kW.h/m^2/day)	4.70	5.28	5.56	5.85	5.86	5.49	5.66	4.25	4.78	4.78	4.58	4.70
อุณหภูมิสภาวะอากาศ (°C)	21.55	23.83	26.87	28.74	27.98	27.07	27.14	26.58	25.70	25.84	23.70	21.90

3) การหาพื้นที่สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก

ทฤษฎีการหาผลผลิตชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซมีเทนและการหาพื้นที่สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) - (6) ดังต่อไปนี้ [10]

$$C_{X,N} = \frac{N_{in} - N_{eff}}{F_N} \quad (1)$$

เมื่อ $C_{X,N}$ คือ ความหนาแน่นเชิงชีวมวล โดยคำนวณจากสารไนโตรเจน (g-DW/m^3), N_{in} คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำก่อนเข้าระบบ (น้ำเสียก่อนบำบัดที่ความเข้มข้น 361 mg/L หรือ 361 g-N/m^3), N_{eff} คือ ความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำหลังผ่านระบบ (น้ำเสียหลังบำบัดที่ความเข้มข้น 120 mg/L หรือ 120 g-N/m^3) [3] และ F_N คือ สัดส่วนไนโตรเจนที่มีอยู่ในชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็ก (0.078 g-N/$g_{microalgae}$)

$$r_{E,X} = \frac{PFD_{in}}{L(C_{X,N})} \quad (2)$$

เมื่อ $r_{E,X}$ คือ ความเข้มของแสงจำเพาะ (mol-photons/g-DW/h), L คือ ความหนาของสาหร่ายขนาดเล็กที่แสงต้องเดินทางผ่าน (0.01 m) และ PFD_{in} คือ ความหนาแน่นการสังเคราะห์ด้วยแสงโฟตอนฟลักซ์ (mol-photons/m^2/h)

$$\mu_T = (r_{E,X} - m_{E,X})(Y_{X,E})(f_T) \quad (3)$$

เมื่อ μ_T คือ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายขนาดเล็กตามความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ หรือ f_T (1/h), $m_{E,X}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบำรุงรักษาชีวมวลของสาหร่ายขนาดเล็ก (mol-photons/g-DW/h) และ $Y_{X,E}$ คือ ปริมาณผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายขนาดเล็กที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสง (g-DW/mol-photons)

$$f_T = \left(\frac{T_{let} - T_W}{T_{let} - T_{opt}}\right)^{\beta} exp\left[-\beta\left(\frac{T_{let} - T_W}{T_{let} - T_{opt}} - 1\right)\right] \quad (4)$$

เมื่อ T_{let} คือ อุณหภูมิที่ทำให้สาหร่ายตาย ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันตามสายพันธุ์ของสาหร่ายขนาดเล็กที่ใช้ (°C), T_W คือ อุณหภูมิของน้ำที่ใช้บำบัด (°C) ซึ่งในงานวิจัยนี้ตั้งสมมุติฐานให้มีค่าเท่ากับอุณหภูมิสภาวะอากาศเฉลี่ย (ตารางที่ 1), T_{opt} คือ อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งแตกต่างกันตามสายพันธุ์ของสาหร่ายขนาดเล็กที่ใช้ (°C) และ β คือ ค่าคงที่ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 °C

$$P_{area} = (\mu_T)(C_{X,N})(L) \quad (5)$$

เมื่อ P_{area} คือ อัตราการผลิตของผลผลิตชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็ก (g-DW/m^2/h)

$$A = \frac{F_W}{L(\mu_T)} \quad (6)$$

เมื่อ A คือ ความต้องการการใช้พื้นที่สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กต่อหน่วยสุกรที่เลี้ยง (m^2/pig) และ F_W คือ อัตราการเกิดน้ำทิ้งที่ต้องบำบัด โดยเลือกใช้ค่าเฉลี่ยจากการเลี้ยงสุกรแบบผสมเท่ากับ 0.036 m^3/pig/day [3]

นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษากับสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella sorokiniana* เนื่องจากเป็นสายพันธุ์ของสาหร่ายขนาดเล็กสีเขียว ที่ได้การยอมรับอย่างกว้างขวางว่ามีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและสามารถกำจัดสารอาหารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงใช้ค่าตัวแปรสำหรับ $Y_{X,E}$, $m_{E,X}$, T_{opt}, T_{let} และ β เท่ากับ 0.933 g-DW/mol-photons, 0.0068 mol-photons/g-DW/h, 38.1 °C, 49.7 °C และ 1.6 ตามลำดับ [10]

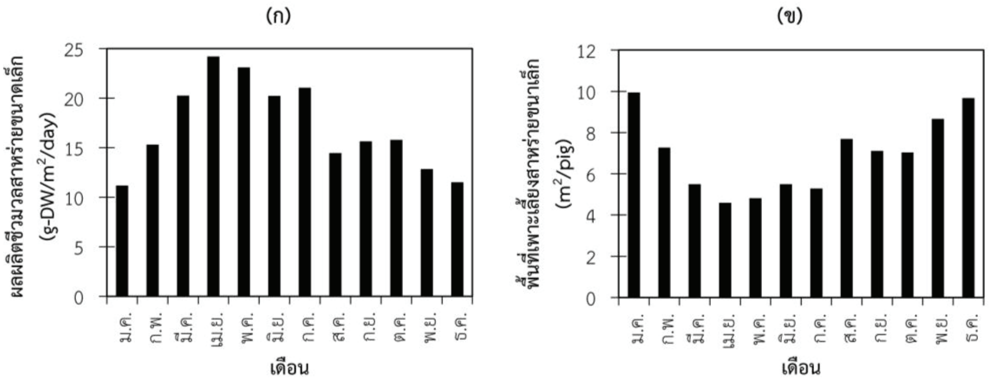
4) การหาปริมาณพลังงานทดแทนที่ผลิตได้จากสาหร่ายขนาดเล็ก

ชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กที่ผลิตได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการหมักย่อยของเสียฟาร์มสุกรแบบไร้อากาศ จะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการหมักย่อยแบบไร้อากาศเพื่อผลิตเป็นก๊าซมีเทนและใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนต่อไป โดยมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสาหร่ายขนาดเล็กเท่ากับ 90% ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด ส่งผลให้ปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนจากสาหร่ายขนาดเล็กเท่ากับ 0.236 m^3-CH_4/kg-DW [5] และค่าความร้อนจำเพาะเชิงปริมาตรของมีเทนเท่ากับ 33.44 MJ/m^3-CH_4 ซึ่งคิดจากค่าเฉลี่ยของค่าความร้อนจำเพาะเชิงมวลของมีเทนที่ 50-55.5 MJ/kg-CH_4 และค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 35 °C และความดัน 1 atm เท่ากับ 0.634 kg/m^3 [11]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยผลผลิตชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กและพื้นที่ที่ต้องการใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในแต่ละเดือน แสดงดังภาพที่ 1 พบว่าผลผลิตชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็ก มีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนมีนาคมถึงกรกฎาคม โดยเฉพาะในเดือนเมษายน มีค่าผลผลิตชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กสูงสุดเท่ากับ 24.2 g-DW/m^2/day ทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงฤดูร้อนของจังหวัดเชียงใหม่ จึงมีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันและอุณหภูมิสภาวะอากาศเฉลี่ยสูงที่สุด (ตารางที่ 1) และส่งผลทำให้ความต้องการใช้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในเดือนเมษายนมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 4.6 m^2/pig ในขณะที่ในเดือนมีนาคม พฤษภาคม มิถุนายนและกรกฎาคม มีค่าเท่ากับ 5.5, 4.8, 5.5 และ 5.3 m^2/pig ตามลำดับ สำหรับในช่วงฤดูหนาว โดยเฉพาะในเดือนพฤศจิกายนถึงมกราคม มีความต้องการใช้พื้นที่มากที่สุดเท่ากับ 8.7-9.9 m^2/pig

จากผลการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเลือกกรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กด้วยน้ำทิ้งที่ได้หลังจากกระบวนการหมักย่อยของเสียฟาร์มสุกรแบบไร้อากาศ เป็นทางเลือกในการจัดการสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรที่เหมาะสมสำหรับใช้ในช่วงเดือนมีนาคมถึงกรกฎาคม โดยการปรับเปลี่ยนบ่อปรับเสถียรหรือบึงประดิษฐ์ให้เป็นบ่อสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก ทั้งนี้เนื่องจากมีความต้องการใช้พื้นที่ในการบำบัดน้ำทิ้งใกล้เคียงกับการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นหลังจากการผลิตก๊าซมีเทนด้วยการใช้บ่อผึ่งแบบผสมเท่ากับ 4.5 m^2/pig (ฟาร์มชนิดผสมทั้งสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ สุกรขุนและสุกรอนุบาล) [3] แต่ผลดีของการใช้สาหร่ายขนาดเล็กคือ จะให้ผลผลิตชีวมวลที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทนต่อไป นอกจากนั้นจากการรายงานของกรมปศุสัตว์ [2] พบว่าน้ำเสียจากฟาร์มสุกรสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเลี้ยงไรแดงและใช้ปลูกพืชได้ เช่น มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน ข้าว ข้าวโพดและอ้อย แต่อย่างไรก็ตามการปลูกพืชดังกล่าวต้องใช้พื้นที่สำหรับสร้างบ่อเก็บกักน้ำเสียเพื่อใช้ในการเพาะปลูกสูง โดยเฉพาะการใช้สารอาหารในน้ำเสียฟาร์มสุกรแทนปุ๋ยเคมีเพื่อปลูกปาล์มน้ำมันและมันสำปะหลัง ซึ่งต้องใช้พื้นที่มากถึง 6 และ 12 m^2/pig ตามลำดับ [3] ส่งผลทำให้สาหร่ายขนาดเล็กกลายเป็นพืชที่น่าส่งเสริมเพื่อนำไปใช้อย่างยิ่งในฟาร์มสุกร



ภาพที่ 1 (ก) ผลผลิตของชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กในแต่ละเดือน และ (ข) พื้นที่ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในแต่ละเดือน กรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

จากผลการวิจัยปริมาณพลังงานทดแทนที่ผลิตได้ในแต่ละเดือนจากก๊าซมีเทนด้วยการใช้ชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กเป็นวัตถุดิบ แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าปริมาณพลังงานทดแทนที่ผลิตได้จากสาหร่ายขนาดเล็กมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับผลผลิตของชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็ก นั่นคือการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเป็นทางเลือกในการจัดการสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรที่เหมาะสมสำหรับใช้ในช่วงเดือนมีนาคมถึงกรกฎาคม ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานทดแทนจากก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กมีปริมาณสูงสุด เริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงกรกฎาคม ระหว่าง 0.16 ถึง 0.19 $MJ/m^2/day$ และสามารถหาสมการสหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิสภาวะอากาศที่มีผลต่อปริมาณพลังงานทดแทนจากก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.99 ดังต่อไปนี้

$$Energy_{methane} = (0.0379 I_{rad}) + (0.0079 T_{amb}) - 0.263 \quad (7)$$

เมื่อ $Energy_{methane}$ คือ พลังงานทดแทนจากก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็ก ($MJ/m^2/day$), I_{rad} คือ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ($kW.h/m^2/day$) และ T_{amb} คือ อุณหภูมิสภาวะอากาศ (°C)

ตารางที่ 2 ปริมาณพลังงานทดแทนจากก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็ก กรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
พลังงานทดแทนจากก๊าซมีเทน ($MJ/m^2/day$)	0.09	0.12	0.16	0.19	0.18	0.16	0.17	0.11	0.12	0.12	0.10	0.09

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเลือกกรณีศึกษาจังหวัดเชียงใหม่และเลือกใช้สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella sorokiniana* พบว่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิสภาวะอากาศในแต่ละเดือนมีผลต่อการใช้สารอาหารที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งอย่างมีนัยยะ และยังพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กด้วยน้ำทิ้งที่ได้หลังจากกระบวนการหมักย่อยของเสียฟาร์มสุกรแบบไร้อากาศเป็นระบบที่ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารไนโตรเจนสูง

จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรได้อย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในช่วงเดือนมีนาคมถึงกรกฎาคม ทั้งนี้เนื่องจากสามารถให้พลังงานทดแทนจากการผลิตก๊าซมีเทนจากชีวมวลสาหร่ายขนาดเล็กได้สูงสุดอยู่ที่ระหว่าง 0.16 ถึง 0.19 MJ/m^2/day และต้องการใช้พื้นที่ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเท่ากับ 4.8-5.5 m^2/pig

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการพัฒนาศักยภาพงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาบนฐานความร่วมมือกับสถานประกอบการภาคอุตสาหกรรมและนวัตกรรมท้องถิ่น และทางคณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมปศุสัตว์. (2558). **ข้อมูลจำนวนปศุสัตว์ ในประเทศไทย ปี 2558.** ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร.

[2] กรมปศุสัตว์. (2552). **คู่มือหลักปฏิบัติที่ดีในการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับฟาร์มสุกร.** กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[3] กรมควบคุมมลพิษ. (2554). **คู่มือสำหรับผู้ประกอบการในการจัดทำแนวทางการจัดการน้ำเสียและของเสียจากการประกอบกิจการเลี้ยงสุกร.** สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[4] วราพรรณ จันทแพน. (2557). **Covered Lagoon ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้ในฟาร์มสุกร.** กรมควบคุมมลพิษ.

[5] Collet, P., Hélias, A., Lardon, L., Ras, M., Goy, R-A. and Steyer, J-P. (2011). Life Cycle Assessment of Microalgae Culture Coupled to Biogas Production. **Bioresource Technology.** 102, 207-214.

[6] Cheunbarn, S. and Peerapornpisal, Y. (2010). Cultivation of *Spirulina platensis* Using Anaerobically Swine Wastewater Treatment Effluent. **International Journal of Agriculture & Biology.** 12, 586-590.

[7] Ji, M.K., Abou-Shanab, R.A.I., Hwang, J.H., Timmes, T.C., Kim, H.C., Oh, Y.K. and Jeon, B.H. (2013). Removal of Nitrogen and Phosphorus from Piggery Wastewater Effluent Using the Green Microalga *Scenedesmus obliquus*. **Journal of Environmental Engineering.** 139 (9), 1198-1205.

[8] Yen, D.T.T., Huan, D.N. and Nga., N.T. (2014). Culturing *Chlorella* in Anaerobically Digested Piggery Wastewater for Biodiesel Feedstock and Nutrient Removal. **Journal of Science & Technology.** 99, 005-009.

[9] William, M. and Urban, K. (1995). **User's Manual for TMY2's, Typical Meteorological Years.** Derived from the 1961-1990 National Solar Radiation Data Base.

[10] Khiewwijit, R. (2016). **New Wastewater Treatment Concepts Towards Energy Saving and Resource Recovery.** Ph.D. Dissertation. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

[11] Cengel, Y.A. and Boles, M.A. (2002). **Thermodynamics: An Engineering Approach.** McGraw-Hill NY.

ประวัติย่อผู้วิจัย

ดร.รุ่งนภา เขียววิจิตร (Rungnapha Khiewwijit, Ph.D.) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่, 128 ถนนห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง เชียงใหม่ 50300 โทรศัพท์ 053-921444 ต่อ 2455, E-mail: rungnapha@rmutl.ac.th

การพัฒนา และติดตั้งกรีนรูฟเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาสู่ภายในบ้าน

Developing and Installing Green Roof for reducing heat transfer from the rooftop to houses

วรวัช พวงพรศรี * และสมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์
วิศวกรรมการจัดการพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา

บทคัดย่อ

ปริมาณของพื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยคอนกรีตโดยเฉพาะในเมืองใหญ่เพิ่มขึ้นทุกปี ทำให้เกิดปัญหาความร้อนสะสมในเขตเมืองมีมาก เนื่องจากขาดพื้นที่ซับความร้อนที่เคยมี ดังนั้นการออกแบบและพัฒนาที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ซับความร้อนจึงมีความสำคัญ โดยการใช้พื้นที่หลังคา ด้วยการปลูกพืชบนหลังคาสร้างพื้นที่ซับความร้อน เรียกว่า “กรีนรูฟ” และงานวิจัยนี้เลือกประเภท Extensive Green roof เนื่องจากสร้างแบบไม่ซับซ้อน ราคาถูก และน้ำหนักเบา ซึ่งสามารถนำไปติดตั้งบนหลังคาเดิมได้ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกชนิดพืชที่เหมาะสมสำหรับนำมาปลูกบนหลังคาและเพื่อศึกษาความหนาดินที่เหมาะสม เพื่อใช้กรีนรูฟในการช่วยลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าภายในอาคารบ้านเรือน โดยทุกขั้นตอนมีการคำนึงถึงราคาที่เหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้เริ่มต้นโดยการหาความหนาดินที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ดินที่บางที่สุดและพืชสามารถดำรงอยู่ได้ จากการทดลองนี้ได้ความหนาดินที่ 3 เซนติเมตร ซึ่งเหมาะสมที่สุด ต่อมาจึงนำพืชมาปลูกซึ่งการทดลองนี้ใช้หญ้านวลน้อย และสังเกตการณ์การอยู่รอด ขั้นตอนสุดท้ายคือการวัดอุณหภูมิภายนอก และภายในห้องทดลอง เปรียบเทียบระหว่าง ห้องที่ติดตั้งกรีนรูฟ และไม่ติดตั้งกรีนรูฟ ผลที่ได้จากการทดลองนี้คือ มีอุณหภูมิที่แตกต่างกันพอสมควรโดยเฉพาะอุณหภูมิใต้หลังคาที่แตกต่างกันมากที่สุดถึง 14.2 องศาเซลเซียส นอกจากนี้กรีนรูฟยังมีความสามารถลดความร้อนเข้าห้องทดลองในช่วงเวลาที่ร้อนสุดของวันตั้งแต่เวลา 12:00 ถึง 16:00 น.โดยเฉลี่ยถึง 4.3 องศาเซลเซียส และ 1.5 องศาเซลเซียสเมื่อเฉลี่ยตลอดทั้งวัน

คำสำคัญ: กรีนรูฟ พื้นที่ซับความร้อนบนหลังคา การถ่ายเทความร้อน

---

*Corresponding author: Worawat Phuangpornsri Tel.:0967829451. E-mail address: oui.wph@gmail.com

บทนำ

ในช่วง 50 ปีที่ผ่านมาประชากรบนโลกมีการเพิ่มอย่างทวีคูณ ซึ่งปัจจุบันจำนวนประชากรพุ่งสูงถึง 7.4 พันล้านคน และทุก ๆ 8 วินาทีจะมีเด็กเกิดใหม่ขึ้นมาบนโลก (www.census.gov) แต่ในทางกลับกันแผ่นดินที่ใช้อยู่อาศัยบนโลกเท่าเดิม หรือน้อยลงในบางพื้นที่ใกล้แหล่งน้ำหรือทะเลอันเนื่องจากการกัดเซาะหรือระดับน้ำที่หนุนสูงขึ้น ประเทศไทยก็เช่นกัน เนื่องจากการเพิ่มของจำนวนประชากรทำให้มีการก่อสร้าง ขยายเมืองเพื่อรองรับคน และความเจริญที่เข้ามาทำให้พื้นที่ที่เคยเป็นดิน ต้นไม้ พื้นที่สีเขียวกว้างใหญ่ ถูกแทนที่ด้วย ถนนคอนกรีต บ้าน และตึกสูง ทำให้เกิดปรากฏการณ์ความร้อนที่เรียกว่า “โดมความร้อน หรือ เกาะความร้อน” (Urban Heat Island Effect) ซึ่งในเมืองใหญ่ๆที่มีคนอาศัยอยู่จำนวนมาก และพื้นที่ส่วนใหญ่ถูกคอนกรีตปกคลุมจะทำหน้าที่ดูดและแผ่ความร้อนจากแสงแดด ตัวอย่างเช่น กรุงเทพมหานคร พื้นที่ในตัวเมืองจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าพื้นที่ย่านชานเมืองถึง 6-7 องศาเซลเซียสในหน้าร้อน (Sigit D. Arifwidodo, Takahiro Tanaka; UHI in Bangkok 2015) ความร้อนที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อรายจ่ายที่มากขึ้นสำหรับค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเพิ่มความเย็นในอาคารบ้านเรือน การดำเนินมาตรการบางอย่าง อาทิ เช่น ทุบฟุตบาททำเป็นเนินหญ้า การปลูกต้นไม้ให้มากขึ้น หรือหยุดการก่อสร้างขยายเมือง การทำเช่นนี้อาจเป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุและดำเนินการได้ในบางพื้นที่เท่านั้น ดังนั้นเนื่องจากปัญหาหลักคือพื้นที่ดูดซับความร้อนในเมืองลดลง ทางออกที่ดีที่สุดจึงเป็นการเพิ่มพื้นที่ดูดซับความร้อนโดยมิให้ส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน “กรีนรูฟ” เป็นอีกหนึ่งวิธีใน Green design ที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ดูดซับความร้อนได้ ซึ่งในเมืองใหญ่มีพื้นที่บนหลังคาที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์จำนวนมาก

กรีนรูฟมีการตีความหมายออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ความหมายแรก กรีนรูฟถูกพูดถึงในแง่ของเทคโนโลยีด้านสถาปัตยกรรมการออกแบบ เป็นการออกแบบอาคาร เพื่อลดการใช้พลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยการนำวัสดุเทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่มาสร้างบ้านหรืออาคาร อีกความหมายของกรีนรูฟ หมายถึงการปลูกพืชพรรณในลักษณะพืชคลุมดิน หรือไม้เลื้อย ลงบนหลังคาโดยมีการจัดเตรียมให้เหมาะสม จุดประสงค์เพื่อสร้างสภาวะสบาย และลดการใช้พลังงานภายในอาคาร หรือบ้านเรือน กรีนรูฟถูกแบ่งออกเป็นสองประเภท Extensive Greenroof และ Intensive Greenroof; Extensive Greenroof คือการปลูกพืชชนิดรากสั้น มีดินรองรับขนาด 5- 15 เซนติเมตร ซึ่งมีน้ำหนักเบา ราคาถูก อีกประเภทคือ Intensive Greenroof สามารถปลูกพืชได้หลากหลายกว่าเพราะมีดินรองรับมากกว่า 15 เซนติเมตรขึ้นไป หรือบางครั้งกรีนรูฟ ประเภทนี้ถูกเรียกว่า สวนหลังคา Rooftop Garden ในปัจจุบันเยอรมนีถือเป็นประเทศที่ประสบผลสำเร็จในการติดตั้งกรีนรูฟอย่างมาก โดยเฉพาะประเภท Extensive ถูกนำมาติดตั้งกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ของกรีนรูฟทั้งหมด (Timothy Carter and Colleen Butler 2008)

การวิจัยนี้จะนำกรีนรูฟ ประเภท Extensive มาพัฒนาและทดลองให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย โดยมีขั้นตอนของการพัฒนากรีนรูฟดังนี้ 1.เพื่อค้นหาความหนาดินที่เหมาะสม 2. เพื่อค้นหาชนิดพืชที่เหมาะสมนำมาปลูกบนหลังคา 3. เพื่อใช้กรีนรูฟในการช่วยลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าภายในอาคารบ้านเรือน โดยทุกขั้นตอนมีการคำนึงถึงราคาที่เหมาะสมที่สุด.

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้พัฒนา และทดลอง กรีนรูฟ ประเภท Extensive Greenroof

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. metal sheet พับกล่องสีเหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50*50*10 เซนติเมตร จำนวน 16 กล่อง

2. ดินปลูก

3. ดินร่วน

4. หญ้านวลน้อย

5. อาคารทดลองขนาด 2*2*2 เมตร พร้อมโครงหลังคา และแผ่นหลังคา metal sheet จำนวน 2 ห้องทดลอง (1ห้องอ้างอิง 1 ห้องทดลอง)

6. เทอร์โมมิเตอร์ แบบแขวนผนัง 4 ชิ้น

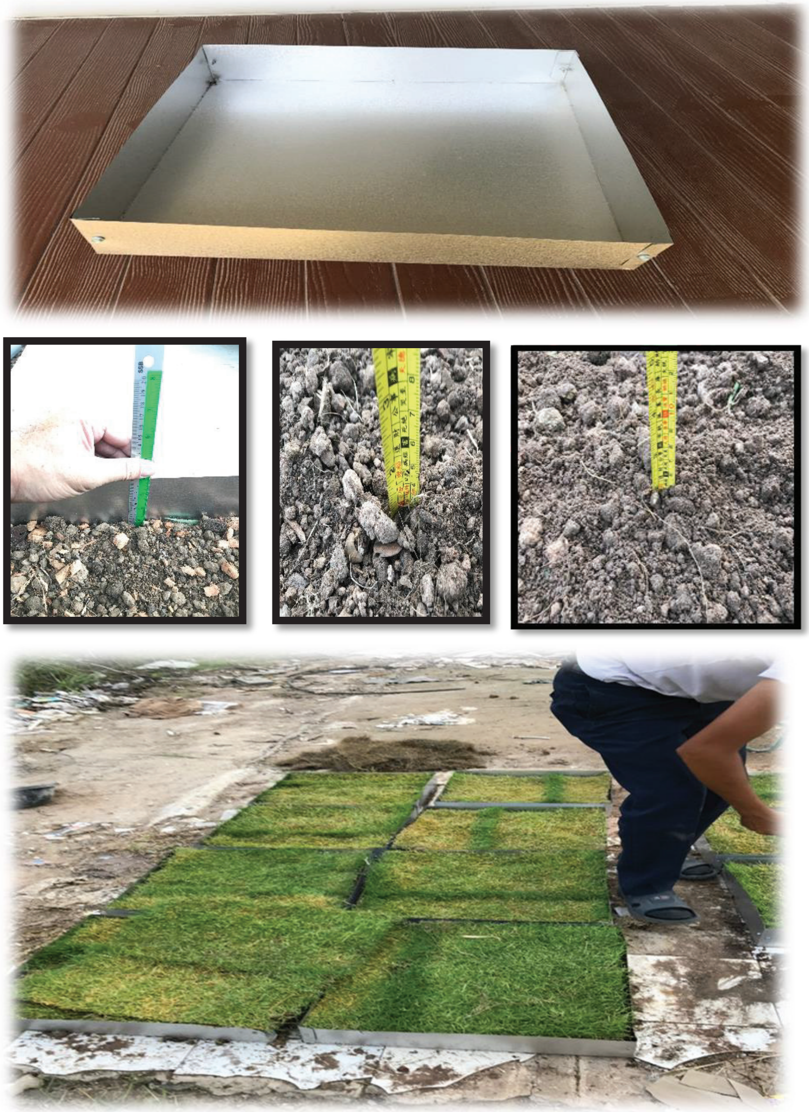
7. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิผิววัตถุ แบบอินฟราเรด

ขั้นตอนการทดลอง

สร้างห้องทดลอง 2 ห้อง ขนาด 2*2*2 เมตร (หนึ่งห้องใช้อ้างอิง และอีกหนึ่งห้องใช้ติดตั้งกรีนรูฟ) ก่ออิฐบล็อกพร้อมฉาบหนารวม 10 เซนติเมตร เชื่อมติดโครงหลังคาด้วยเหล็กกล่องขนาด 1 นิ้ว เป็นลักษณะเพิงหมาแหงนเอียงด้านเดียวไปทางทิศตะวันตก มุมเอียง 30 องศา ติดตั้งหลังคา metal sheet ติดประตูเป็นโครงเหล็กบุ metal sheet ในทิศตะวันออก และติดเทอร์โมมิเตอร์แบบแขวนวัดอุณหภูมิห้องละสองตัว ภายนอกและภายใน ดังภาพที่1

ภาพที่ 1 รูปแสดงห้องทดลองที่ติดตั้งกรีนรูฟ และไม่ติดตั้งกรีนรูฟ

1. สร้างถาดรองรับการปลูกซึ่งนำกล่อง metal sheet ขนาด 50*50 เซนติเมตร จำนวนทั้งหมด 16 กล่อง คาดคะเนความหนาชั้นดินที่พืชสามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ดังนี้
   - 1.1 ชุดที่ 1 ทดลองนำดินคลุกผสม (อัตราส่วน 1:1 ดินร่วนกับดินปลูก) ความหนาชั้นดินที่ 2 เซนติเมตร ลงบนถาด metal sheet และนำหญ้านวลน้อยปลูกทับและรดน้ำ สองเวลา เช้า-เย็น รวมปริมาณน้ำที่ให้ 1.5 ลิตรต่อวันต่อถาด (ภาพที่2)
   - 1.2 ชุดที่ 2 ทดลองนำดินคลุกผสม (อัตราส่วน 1:1 ดินร่วนกับดินปลูก) ความหนาชั้นดินที่ 3 เซนติเมตร ลงบนถาด metal sheet และนำหญ้านวลน้อยปลูกทับ รดน้ำ สองเวลา เช้า-เย็น รวมปริมาณน้ำที่ให้ 1.5 ลิตรต่อวันต่อถาด (ภาพที่2)
   - 1.3 ชุดที่ 3 ทดลองนำดินคลุกผสม (อัตราส่วน 1:1 ดินร่วนกับดินปลูก) ความหนาชั้นดินที่ 5 เซนติเมตร ลงบนถาด metal sheet และนำหญ้านวลน้อยปลูกทับ รดน้ำ สองเวลา เช้า-เย็น รวมปริมาณน้ำที่ให้ 1.5 ลิตรต่อวันต่อถาด (ภาพที่2)



ภาพที่ 2 กลุ่มภาพแสดงลักษณะถาด ความหนาดินที่ 2,3,5 เซนติเมตร และการปลูกหญ้าลงบนถาดทดลอง

2. นำกล่อง metal sheet ที่ปลูกหญ้าเรียบร้อยมาติดตั้งวางบนหลังคาห้องทดลอง เพื่อวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบกับอีกห้องที่ไม่ได้ติดตั้ง และยังคงรดน้ำ สองเวลา เช้า-เย็น รวมปริมาณน้ำที่ให้ 1.5 ลิตรต่อวันต่อถาด

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

พิจารณาที่ความหนาดินที่ 2 เซนติเมตร พบว่าหญ้าที่ปลูกแห้งตายทั้งหมด เมื่อทำติดตั้งบนหลังคาห้องทดลอง และความหนาที่ 3 และ 5 เซนติเมตร เมื่อนำขึ้นติดตั้งบนหลังคาหญ้าสามารถรอด และเจริญเติบโตได้ 100 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นสรุปได้ว่าการทดลองกรีนรูฟที่ใช้ครั้งนี้เราจะเลือกใช้ถาดทดลองที่ใส่ดินหนา 3 เซนติเมตร เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและสามารถปลูกหญ้าได้

เรื่องการวัดอุณหภูมิห้องทดลอง ภายนอก และภายใน ซึ่งอุณหภูมิภายในนี้จะวัดแยกเป็นทั้งหมด 5 จุด ดังนี้ 1. อากาศภายในห้อง 2. ผิวผนังห้องด้านทิศตะวันตก 3. ผิวผนังห้องด้านทิศเหนือ 4. ผิวใต้หลังคา 5. ผิวผนังห้องด้านทิศใต้ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่1 แสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้เปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ติดกรีนรูฟ และไม่ติดตั้งกรีนรูฟ วันที่ 27 กันยายน 2560

เวลา	ติดตั้ง กรีนรูฟ (องศาเซลเซียส)						ไม่ติดตั้งกรีนรูฟ (องศาเซลเซียส)					
	o	i	w	n	t	s	o	i	w	n	t	s
6:00	24	24	23.5	23.5	24	24	24	23.5	23.5	23.8	24.5	24
8:00	26	25	24.5	24.7	25	24	26	25	24.8	24.9	29.6	24
10:00	29	27.5	26.3	26.6	27	26	29	28.1	26.6	26.7	32.3	26.8
12:00	35	30	25	26.6	30	28	35	32.5	28.6	29.3	37.7	32.4
14:00	36	31	21.9	23.7	27	25	36	33.5	27.1	27.3	41.2	31.4
16:00	35	32	34	35.3	33	32	35	35	37.6	34.4	34.2	33.6
18:00	28	30.5	29	31.6	29	29	28	32	33.7	30.8	27.3	30.3

หมายเหตุ o = อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง, i = อุณหภูมิภายในห้องทดลอง, w = อุณหภูมิผิวผนังทิศตะวันตก, n = อุณหภูมิผิวผนังทิศเหนือ, t = อุณหภูมิผิวใต้หลังคาภายใน, s = อุณหภูมิผิวผนังทิศใต้

จากข้อมูลอุณหภูมิเราพบว่า ช่วงเวลา 12:00-16:00 น. เป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงที่สุดของวัน อุณหภูมิภายในของห้องที่ติดตั้งกรีนรูฟสามารถลดอุณหภูมิได้เฉลี่ย 4.3 องศาเซลเซียส ขณะที่ช่วงเวลาเดียวกันห้องที่ไม่ติดตั้งกรีนรูฟลดอุณหภูมิได้เพียง 1.7 องศาเซลเซียส ซึ่งลดได้เพียงประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของห้องที่มีกรีนรูฟ (แสดงค่าด้วย highlight สีแดงในตารางที่ 1) ผลที่น่าสนใจอีกผลหนึ่งคืออุณหภูมิใต้หลังคา ซึ่งมีตัวเลขที่ค่อนข้างสูงเพราะเป็นวัสดุมีพื้นที่สัมผัสที่ทำมุมตั้งฉากกับแสงแดดมากที่สุดและยังโดนแสงแดดตลอดวันจึงทำให้มีค่าอุณหภูมิวัดได้แตกต่างกันมากระหว่างห้องติดกรีนรูฟและไม่ติด โดย ณ เวลาที่ 14:00 ต่างกันมากถึง 14.2 องศาเซลเซียส (แสดงด้วย highlight สีเหลืองในตารางที่ 1) ดังนั้นจากค่าอุณหภูมิที่วัดได้ทั้งหมดในตารางข้างต้นเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิตลอดทั้งวันพบว่าห้องทดลองที่มีกรีนรูฟค่อนข้างรักษาผลต่างของอุณหภูมิภายในห้องระหว่างวันได้คงที่มากกว่าห้องที่ไม่ได้ติดตั้งกรีนรูฟ แต่ข้อสังเกตคือ การคายความร้อนของห้องไม่ติดกรีนรูฟสามารถทำได้เร็วกว่า

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ชั้นดินที่เหมาะสมที่สุดในการปลูกพืชชนิดหญ้านวลน้อย คือความหนาที่ 3 เซนติเมตรโดยการให้น้ำเป็น 2 ช่วงเวลา เช้าและเย็น นอกจากนี้เมื่อติดตั้งถาดทดลองบนหลังคา(กรีนรูฟ) จะสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องในช่วงบ่ายเฉลี่ยได้ถึง 4.3 องศาเซลเซียส

เอกสารอ้างอิง

[1] www.census.gov. (2017). ข้อมูลด้านจำนวนประชากร.ประเทศไทย.

[2] Sigit D. Arifwidodo, Takahiro Tanaka. (2015). **Urban Heat Island. Bangkok.**

[3] Timothy Carter and Colleen Butler. (2008). **Cities and the Environment.**

[4] Pablo La Roche, Umberto Berardi. (2014). **Comfort and energy saving with active green roofs.**

[5] อาจารย์ กนกวลี สุธีธร. (2548). **หลังคาเขียว:ทางเลือกเพื่อการจัดการน้ำฝน.**

กรรมวิธีการผลิตไฟเบอร์ซีเมนต์ด้วยผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าถ่านหินเพื่อเป็นวัสดุสำหรับอาคาร
Fiber cement manufacturing process with coal combustion residues for building materials

สันต์ เกื้อหนุน[1] และ กรกนก อุบลชลเขต[2]*
[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาคุณสมบัติของผนังเย็นผสมเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากหมาก ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรภายในประเทศ และยิปซัมเทียมที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้าถ่านหิน จังหวัดกระบี่ โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการนำไปใช้งานเป็นวัสดุสำหรับอาคารที่มีคุณสมบัติช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร และลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในอาคาร โดยมุ่งเน้นศึกษาผลของสัดส่วนผสมของยิปซัมเทียมที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางความร้อนของผนังเย็นตามมาตรฐาน ASTM และ JIS ซึ่งผลจากการศึกษาวิจัย พบว่า เมื่อใช้เส้นใยหมากที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วย NaOH ความเข้มข้น 10%wt เป็นเวลา 10 นาที ในปริมาณ 6 %wt มาผสมกับยิปซัมเทียมที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมี ด้วยความร้อน 200 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่ามีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเส้นใยหมาก

คำสำคัญ : ผนังเย็น ไฟเบอร์ซีเมนต์ ใยหมาก ยิปซัมเทียม

*Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: Kornkanok.ubon@yahoo.co.th

บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น ภาคการเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม การสื่อสาร การคมนาคม และการศึกษา เป็นต้น [1] โดยแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้ามาจาก ก๊าซธรรมชาติ ร้อยละ 69.22 ถ่านหินร้อยละ 19.10 พลังน้ำร้อยละ 8.65 และ พลังงานทดแทน ร้อยละ 3.02 [2] ซึ่งกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหินส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเถ้าลอย เป็นต้น โดยกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะมีผลพลอยได้จากกระบวนการดังกล่าวที่เรียกว่า ยิปซัมเทียม โดยยิปซัมเทียมที่ได้จากการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีปริมาณมาก และมีการนำไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย ดังนั้น โครงงานวิจัยนี้ได้นำเอายิปซัมเทียมซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นำมาใช้พัฒนาเป็นผนังเย็น (cool wall)

พื้นที่ประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นทำให้อาคารที่พักอาศัยมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ คิดเป็น 93.10 % รองลงมาคือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆคิดเป็น 5.00% และระบบแสงสว่างคิดเป็น 1.90% [3] ดังนั้นผนังเย็น(cool wall) เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่มีความสำคัญในการลดใช้พลังงาน เช่น อาคารที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ จำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุที่มีความสามารถในการลดการพลังงาน และลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารที่พักอาศัย เช่นกระเบื้องหลังคา ฝ้าเพดาน ผนังอาคาร และไม้ระแนง เป็นต้น อย่างไรก็ตามวัสดุดังกล่าวมีส่วนผสมของแร่ใยหิน (Asbestos) ซึ่งเป็นการเพิ่มความยืดหยุ่น และความแข็งแรงทนทานให้แก่วัสดุ และเมื่อผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลานาน เกิดการชำรุด หรือมีการแตกหักเกิดขึ้น เส้นใยดังกล่าวจะเกิดการฟุ้งกระจาย ปะปนอยู่ในอากาศเมื่อเข้าสู่ร่างกายผ่านระบบทางเดินหายใจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคที่มาจากแร่ใยหินได้แก่ โรค มะเร็งปอด (Lung cancer) และโรคในบริเวณอื่น ๆ [4] จึงทำให้ในปัจจุบันมีการพัฒนาวัสดุสำหรับอาคารที่หลีกเลี่ยงการใช้แร่ใยหินเป็นส่วนผสม และหันกลับมาใช้วัสดุทดแทนอื่นๆแทน ที่มาจากเส้นใยจากธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยจากพืช ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อการใช้งาน เช่น กระเบื้องปูนซีเมนต์ไร้แร่ใยหิน กระเบื้องเซรามิค และแผ่นฝ้าผสมเส้นใยสังเคราะห์ เป็นต้น

ด้านงานวิจัยในปัจจุบันมีการนำเส้นใยจากธรรมชาติ มาใช้งานแทนแร่ใยหิน เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ และเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่วัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตร โดยที่เส้นใยธรรมชาติมีศักยภาพในการนำมาพัฒนาต่อให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้งานได้ดี ในด้านการผลิตเป็นฉนวนกันความร้อน ผนัง ฝ้า และกระเบื้องหลังคา ในอนาคตเส้นใยธรรมชาติอาจถูกนำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุสำหรับอาคารแทนแร่ใยหิน สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งหมากในปัจจุบัน เป็นการปลูกในลักษณะผสมผสานร่วมกับพืชเศรษฐกิจอื่นๆเพื่อเสริมรายได้ แหล่งปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้และภาคกลาง พื้นที่ปลูกหมากของไทยมีประมาณ 116,756 ไร่ ผลผลิตรวม 437,010 ตันต่อปี โดยพื้นที่ทางภาคใต้โดยส่วนใหญ่มีการนำหมากมาแปรรูปเป็นหมากแห้ง ซึ่งสิ่งที่เหลือจะการแปรรูปคือ เปลือกหมาก จึงกลายเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม ซึ่งในโครงงานวิจัยนี้ ได้นำเอาเส้นใยหมากที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรมาพัฒนาผนังเย็น(cool wall) เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตต่ำ และเป็นการใช้วัสดุธรรมชาติทดแทนวัสดุสังเคราะห์เพื่อลดการใช้พลังงานและทรัพยากรในกระบวนการผลิต

ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาและพัฒนาสัดส่วนผสมของยิปซัมเทียมที่ได้จากกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และเส้นใยหมากที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมในอัตราส่วน 6 %wt มาใช้เป็นส่วนผสมในการพัฒนาผนังเย็น(cool wall) สำหรับอาคารที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางความร้อนของผนังเย็น(cool wall)

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษา และพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุสำหรับอาคารประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผนังเย็น(cool wall) สำหรับอาคาร เส้นใยที่ทำการศึกษาเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากหมาก และปริมาณมากในประเทศไทย และยิปซัมเทียมที่ได้จากกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าถ่านหิน มาพิจารณาเป็นสัดส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุสำหรับอาคารในการผลิตผนังเย็น (cool wall) และศึกษาคุณสมบัติต่างๆ โดยเน้นการพัฒนาคุณสมบัติทางความร้อนให้ดีขึ้นเพื่อช่วยในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่จะเข้าสู่ภายในอาคารอันส่งผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศ ดังแสดงภาระการปรับอากาศของอาคารพักอาศัยจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อนในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ภาระการปรับอากาศของอาคารพักอาศัยจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อน

ประเภทบ้าน	ผนังทึบ (%)	กระจก (%)	หลังคา (%)	พื้น (%)	การรั่วซึมของอากาศ (%)	อุปกรณ์ไฟฟ้า (%)	แสงสว่าง (%)	ผู้ใช้งาน (%)
บ้านขนาดเล็ก	18.9	12.5	24.0	9.5	24.3	5.0	4.0	1.5
บ้านขนาดกลาง	25.4	11.1	29.7	5.8	18.4	4.7	3.8	0.8
บ้านขนาดใหญ่	18.5	13.9	26.6	12.3	16.4	6.1	4.9	0.9
บ้านทั่วไป (เฉลี่ย)	21.2	12.4	26.8	8.9	19.9	5.2	4.2	1.1
ทาวน์เฮ้าส์ทั่วไป (เฉลี่ย)	20.4	10.9	29.3	4.4	14.4	3.0	1.7	6.2

ที่มา: Krapoochai, 2003; Chiewnantawong, 2004; Pusit Lertwattanaruk et al. (2015)

การเตรียมวัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการศึกษา และพัฒนาวัสดุสำหรับอาคาร ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 น้ำสะอาดทั่วไป เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากเปลือกหมาก ขนาดความยาว 5-10 มิลลิเมตร นำมาผ่านกระบวนการปรับสภาพผิวเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอก (NaOH) ความเข้มข้น 10%wt เป็นเวลา10นาที ล้างด้วยน้ำสะอาดและอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในส่วนของยิปซั่มเทียมซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้าถ่านหิน มาผ่านกระบวนการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 200 °C ปีนเวลา 24 ชั่วโมง โดยสัดส่วนผสมระหว่างยิปซัมเทียมและปูนซีเมนต์คือ 0 : 1 000, 200 : 800, 400 : 600, 600 : 400, 800 : 200 และ 1 000 : 0 กรัม และผสมเส้นใยหมากในอัตราส่วน 6 %wt ดังแสดงในตารางที่ 2 พร้อมนำวัสดุสำหรับอาคารมาขึ้นรูปเพื่อคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุสำหรับอาคารในการนำมาพัฒนาเป็นผนังเย็น

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุสำหรับอาคารผสมเส้นใยธรรมชาติ

กระบวนการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เป็นการศึกษาสัดส่วนผสมของยิปซัมเทียมในวัสดุสำหรับอาคาร ที่มีผลต่อความพรุน (Apparent Porosity) ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) และค่าความหนาแน่น (Bulk Density) ของวัสดุสำหรับอาคาร ตามมาตรฐาน ASTM C 20-00 [5-6] เพื่อนำไปพัฒนาเป็นผนังเย็น โดยขั้นตอนการทดสอบเริ่มจากการผสมตัวอย่างวัสดุสำหรับอาคารตามสัดส่วนที่จะศึกษา (ตารางที่ 2) แล้วนำไปขึ้นรูปตัวอย่างด้วยบล็อกขนาด 5 cm x 5 cm x 5 cm จำนวน 3 ตัวอย่างต่อสัดส่วนผสม ทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วจึงถอดแบบออก จากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วจากนั้นนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักในน้ำ ซึ่งจะได้น้ำหนักมวลถ่วงน้ำ และหลังจากนั้นใช้ผ้าซับน้ำบริเวณที่ผิวตัวอย่างให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนักจะได้เป็นน้ำหนักมวล แล้วนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ

105 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำตัวอย่างชั่งน้ำหนักอีกครั้งโดยจะได้เป็นน้ำหนักมวลแห้ง พร้อมนำผลที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาค่าปริมาณความพรุนปรากฏ ความสามารถในการดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมของวัสดุสำหรับอาคารผสมเส้นใยหมาก

สัดส่วนผสม	ยิปซัมเทียม (g)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (g)	ทราย (g)	เส้นใยหมาก (g)
M0 (BMC)	0	1000	1000	60
M2	200	800	1000	60
M4	400	600	1000	60
M6	600	400	1000	60
M8	800	200	1000	60
M10	1000	0	1000	60

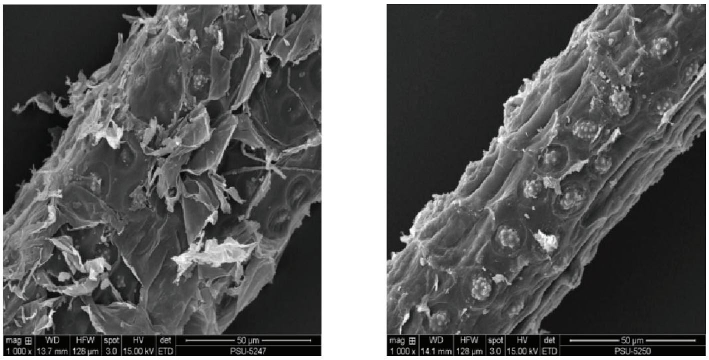
การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุสำหรับอาคารผสมเส้นใยธรรมชาติ

การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของสัดส่วนผสมของยิปซัมเทียมในวัสดุสำหรับอาคารผสมกับปูนซีเมนต์ และเส้นใยหมาก 6 %wt เป็นไปตามมาตรฐาน JIS R 2618 [6-7] ซึ่ง ใช้ตัวอย่างซีเมนต์ ขนาด 5 cm x 5 cm x 5 cm จำนวน 3 ตัวอย่างต่อสัดส่วนผสม เพื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของตัวอย่างแต่ละสัดส่วนผสม

ผลการศึกษา

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยหมาก

จากการศึกษาพบว่าลักษณะของเส้นใยหมากมีรงควัตถุที่เป็นมลทิน และขุยของเปลือกหมากเกาะติดจำนวนมาก จึงได้ทำการปรับสภาพเส้นใยหมากก่อนทำการขึ้นรูปแผ่นวัสดุสำหรับอาคารเพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตผนังเย็น(cool wall) จากกระบวนการปรับสภาพเส้นใยหมากมีโดยเส้นใยหมากที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอก (NaOH) ความเข้มข้น 10%wt เป็นเวลา10นาที พบว่าผิวของเส้นใยหมากจะมีความราบเรียบมากกว่าเนื่องจากมลทินที่เกาะตามเส้นใยละลายและหลุดออกจากผิวของเส้นใยหมาก และขนาดของเส้นใยหมากมีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับเส้นใยหมากที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ [8] ดังแสดงในรูปที่ 1

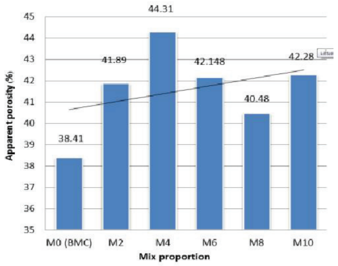


รูปที่ 1 ภาพ SEM ของเส้นใยหมากที่ผ่านการปรับสภาพโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) ที่ความเข้มข้น 10%wt เป็นเวลา10นาที ด้วยกำลังขยาย 1000 เท่า

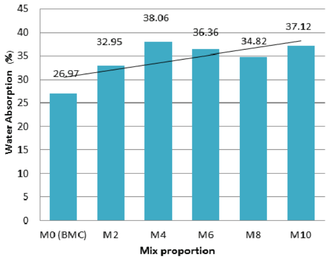
ซึ่งพบว่าผิวของเส้นใยมีลักษณะกลมมนนูน ขรุขระ และไม่สม่ำเสมอซึ่งแสดงให้เห็นถึงสิ่งเจือปนต่าง ๆ บน อนุภาคของเส้นใย และหลังผ่านการปรับสภาพสิ่งเจือปนต่าง ๆ บนเส้นใยจึงมีปริมาณลดลง เส้นใยจึงมีลักษณะผิวเรียบและสม่ำเสมอมากขึ้น ส่งผลให้เกิดช่องว่างภายในอนุภาคเพิ่มมากขึ้น และมีความหนา แน่นลดลง ซึ่งมีส่วนช่วยในการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับสัดส่วนผสมต่าง ๆ ของวัสดุสำหรับอาคารเพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตผนังเย็น

คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุสำหรับอาคารผสมเส้นใยหมากและยิปซัมเทียม

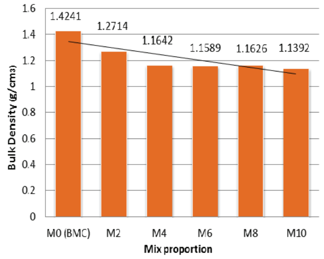
ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุสำหรับอาคารผสมเส้นใยหมาก 6 %wt และยิปซัมเทียม ตามมาตรฐาน ASTM C20-00 ได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 ถึง 4 ซึ่งพบว่า ตัวอย่างวัสดุสำหรับอาคารมีค่าความพรุน (apparent porosity) และความสามารถในการดูดซึมน้ำ (water absorption) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และมีค่าความหนาแน่น (bulk density) ลดลงเมื่อเปรียบ เทียบกับตัวอย่างวัสดุสำหรับอาคารควบคุมที่ไม่ได้รับการผสมยิปซัมเทียม เนื่องจากการเพิ่มขึ้น และลดลงของปริมาณยิปซัมเทียม และปูนซีเมนต์ในแต่ละสัดส่วนผสม ซึ่งส่งผลให้ปริมาณรูพรุน และความพรุนขอวัสดุสำหรับอาคารมีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของตัวอย่างวัสดุสำหรับอาคารลดลง และความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่ม มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของงานวิจัยอื่น [6,9-11]



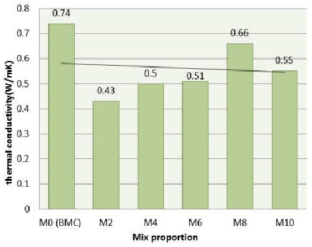
รูปที่ 2 ค่าความพรุน (Apparent Porosity)



รูปที่ 3 ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 4 ค่าความหนาแน่น (Bulk Density)



รูปที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity)

คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุสำหรับอาคารผสมเส้นใยหมาก และยิปซัมเทียม

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของตัวอย่างวัสดุสำหรับอาคารผสมเส้นใยหมาก 6 %wt และยิปซัมเทียม ตามมาตรฐาน JIS R 2618 [7]ดังในรูปที่ 5 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของยิปซัมเทียมในแต่ละสัดส่วนผสมค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (thermal conductivity) มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดในสัดส่วนผสมระหว่างยิปซัมเทียมและปูนซีเมนต์ M2 (200 g : 800 g) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึงสัดส่วนผสม M8 (800 g : 200 g) จนกระทั่งลดลงอีกครั้งในสัดส่วนผสม M10 (1 000 g : 200 g) ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การนำความแบบเชิงเส้นของตัวอย่างวัสดุสำหรับอาคารมีแนวโน้มลดต่ำลงตามอัตราการเพิ่มขึ้นของยิปซัมเทียม เนื่องจากค่าความพรุนของตัวอย่างวัสดุสำหรับอาคารที่มีค่าสูงขึ้น และอีกทั้งเส้นใยหมากยังมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับคุณสมบัติทางกายภาพของซีเมนต์เพสต์ โดยเฉพาะค่าความหนาแน่นที่แปรผัน ตรงกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และสอดคล้องกับผลจากงานวิจัยอื่น [6,9-11] สำหรับนำมาพัฒนาวัสดุสำหรับอาคารเพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตผนังเย็น

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของสัดส่วนผสมของยิปซัมเทียมที่มีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุสำหรับอาคารผสมเส้นใยหมาก เพื่อพัฒนาเป็นผนังเย็นโดยผ่านการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM และ JIS ให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานสถาปัตยกรรม และภาคอุตสาหกรรมการก่อสร้าง พบว่าปริมาณยิปซัมเทียมเพิ่มขึ้นส่งผลให้แผ่นวัสดุสำหรับอาคารมีความพรุน และความสามารถในการดูดซึมน้ำเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ลดลง สามารถบ่งบอกได้ว่าแผ่นวัสดุสำหรับอาคารมีความแข็งแรงลดลง และยังส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดต่ำลง โดยสัดส่วนผสมมีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาพัฒนาเป็นผนังเย็นที่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ เข้าสู่ภายในอาคารได้ดีสำหรับอาคารที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศคือ M2 (200 g : 800 g) รองลงมาคือสัดส่วนผสม M4 (400 g : 600 g) และ M6 (600 g : 400 g) ตามลำดับ ดังนั้นการใช้เส้นใยที่ได้จากธรรมชาติที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตร และยิปซัมเทียมที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากโรงไฟฟ้าถ่านหิน มาเป็นส่วนผสมของวัสดุสำหรับอาคารในปริมาณที่เหมาะสมทำให้สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ หรือวัสดุสำหรับอาคารให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผนังเย็น ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน และช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร อันเนื่องจากการพัฒนาให้มีค่าความหนาแน่นลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดต่ำลง

กิตกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง และ ดร. กรกนก อุบลชลเขต อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัยที่คอยให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัย และคำแนะนำในการแก้ปัญหาในต่าง ๆ ตลอดจน ที่คอยอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. **พลังงานนิวเคลียร์** สืบค้นเมื่อ 2 สิงหาคม 2560 , จาก http://www.nst.or.th)

[2] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.**อัตราการใช้กระแสไฟฟ้า** สืบค้นเมื่อ 2 สิงหาคม 2560, จาก https://www.egat.co.th

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน.**อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศ**. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2559, จาก http://www.dede.go.th/main.php?filename=ebook

[4] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม.**แร่ใยหินภัยใกล้ตัวที่ต้องระวัง**. สืบค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2559, จาก http://www.coshem.mahidol.ac.th/downloads/asbestos.pdf

[5] American Society of Testing and Material [ASTM]. (2006a). ASTM C20-00 Standard test methods for apparent porosity, water absorption, apparent specific gravity, and bulk density of burned refractory brick and shapes by boiling water. Philadelphia: Author.

การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม
Waste Management in School by Appropriate Technology Used

เด่นศักดิ์ หอมหวล* ปิยรัตน์ เกิดแสง[1] และสมศักดิ์ บุญเย็นธรรมชาติ[2]
[1,2] วิทยาลัยชุมชนตาก สถาบันวิทยาลัยชุมชน ตาก 63000

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษา 2) เพื่อถ่ายทอดการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษา 3) เพื่อติดตามผลการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม กลุ่มเป้าหมายคือ นักเรียนโรงเรียนบ้านท่าเล่ ระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาตาก เขต 1 จำนวน 45 คน ผู้บริหาร จำนวน 1 คน ครู จำนวน 5 คน เก็บรวบรวมข้อมูลโดยการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการโดยใช้สถานศึกษาเป็นฐาน เครื่องมือที่ใช้คือ แผนการจัดกิจกรรมโดยใช้สถานศึกษาเป็นฐาน แบบวัดความรู้การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษา แบบสังเกต แบบสัมภาษณ์ แบบประเมินกิจกรรมการบริหารจัดการขยะผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม ประเด็นการถอดบทเรียนการบริหารจัดการขยะ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ คือ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์เนื้อหาโดยพรรณนาเป็นความเรียง

ผลการศึกษา

1) การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม พบว่ามีความเหมาะสม ต่อการนำไปใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ในสถานศึกษา อยู่ในระดับมากที่สุด 2) การถ่ายทอดการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม พบว่า นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษา เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ผู้บริหารมีความเห็นว่าการจัดกิจกรรมมีประโยชน์ต่อการสร้างองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับบริบทของสถานศึกษา สร้างความตระหนักในการนำขยะไปใช้ประโยชน์มากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นกิจกรรมลดเวลาเรียน เพิ่มเวลารู้ในสถานศึกษา สอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลได้เป็นอย่างดี โดยครู มีความเห็นว่ากิจกรรมดังกล่าว มีความสำคัญต่อการเรียนรู้ของนักเรียนมีประโยชน์ต่อการสร้างจิตสำนักในวัยเรียนที่มีความเหมาะสมเป็นกิจกรรมที่นักเรียนได้มีโอกาสแสดงออก การลงมือปฏิบัติเป็นกลุ่ม ความรับผิดชอบ การทำงานเป็นทีม การมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมการคิดวิเคราะห์ 3) การติดตามผลการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม พบว่า สถานศึกษายังคงนำองค์ความรู้การนำขยะโดยใช้หลัก 3 Rs ไปใช้ประโยชนอย่างต่อเนื่อง เช่น การทำน้ำหมักชีวภาพ ปุ๋ยชีวภาพอัดแท่ง การเลี้ยงไส้เดือน การนำกระดาษเป็นสื่อสร้างสรรค์ หรือศิลปะประดิษฐ์

คำสำคัญ: การจัดการขยะ เทคโนโลยีเหมาะสม พลังงานทดแทน

*Corresponding author: Tel.: 0896378462 . E-mail. Address: densakhomhual@gmail.com

บทนำ

ปัญหาขยะมูลฝอยมีแนวโน้มจะทวีความรุนแรงมากขึ้นตามปริมาณการขยายตัวของประชากรและสังคม ปัญหาดังกล่าวถ้าไม่ดำเนินการแก้ไขอย่างถูกวิธี จะก่อให้เกิดภาวะวิกฤตอย่างรุนแรงต่อชุมชน สังคมโดยรวม ซึ่งรัฐบาลเล็งเห็นความสำคัญการจัดการสิ่งแวดล้อม สร้างสังคมสีเขียว จึงกำหนดการบริหารจัดการขยะลงใน แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560-2564) ได้กล่าวถึงการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม เป้าหมายที่ 3 สร้างคุณภาพสิ่งแดล้อมที่ดี กำหนดให้ขยะมูลฝอยในชุมชนได้รับการจัดการอย่างถูกต้องและนำไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะการทำแผนการบริหารจัดการขยะ ลดปริมาณการผลิตขยะ และส่งเสริมการจัดการขยะที่ครบวงจรตั้งแต่ต้นทาง จนถึงปลายทาง ส่งเสริมกลไกการคัดแยกขยะเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ให้มากที่สุด ส่งเสริมการแปรรูปขยะมูลฝอยและวัตถุดิบที่เหลือจากการผลิตเป็นพลังงานโดยใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีที่เหมาะสม[1]

การบริหารจัดการขยะโดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม (Appropriate Technology) กับสภาพแวดล้อมและวัฒนธรรมของสังคมเพื่อสร้างจิตสำนึกและความตระหนักในการบริหารจัดการขยะ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบัน โดยเฉพาะนักเรียนในสถานศึกษาซึ่งมีบทบาทในการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์โดยกระทรวงศึกษาธิการได้นำปัญหาของขยะมาใช้ในการบริหารจัดการขยะอย่างมีระบบ เช่นสอดแทรกเนื้อหาหรือกิจกรรมเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมเพื่อให้ผู้เรียน เกิดความรู้ ความเข้าใจ เจตคติ จิตสำนึก และความตระหนักต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะ โดยเฉพาะ “ขยะ”ในสถานศึกษา บุคลากรในสถานศึกษาและนักเรียนควรมีส่วนร่วมในกิจกรรมการจัดการปัญหาขยะ เพราะสถานศึกษามีบทบาทในการกระตุ้นสร้างจิตสำนึกที่ดี สร้างแรงกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจนำขยะมาใช้ประโยชน์โดยเฉพาะการนำไปใช้ให้เกิดเป็นพลังงาน เช่น การทำก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร จากผัก ผลไม้ เป็นต้น สถานศึกษาจึงต้องเร่งปลูกฝังนักเรียนโดยการปลูกจิตสานึกและสอดแทรกการจัดกิจกรรม การเรียนการสอนให้นักเรียนได้มีความรู้ ความตระหนักและปฏิบัติงานเชิงสร้างสรรค์ที่เป็นประโยชน์ต่อ ตนเองและสังคม อีกทั้งสอดคล้องกับเนื้อหาสาระในการเรียนรู้ การปฏิบัติกิจกรรมรณรงค์เสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจการลดปริมาณขยะ การคัดแยกขยะ และนำขยะกลับมาใช้ประโยชน์โดยใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีที่เหมาะสม [2] ดังนั้นการเลือกใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีที่เหมาะสมต้องพิจารณาขยะในสถานศึกษา ปริมาณขยะในแต่ละวัน [3] จากการสัมภาษณ์กับผู้บริหารและคณะครู โรงเรียนบ้านท่าเล่ พบว่า เป็นสถานขนาดเล็กยังขาดองค์ความรู้ในการบริหารจัดการขยะที่ดี แม้ว่าจะมีการพัฒนาครูให้สามารถดำเนินกิจกรรมแต่ยังขาดองค์ความรู้ที่หลากหลาย โดยเฉพาะเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการขยะ ที่สามารถสร้างประโยชน์ให้สถานศึกษาตลอดจนองค์ความรู้การบริหารจัดการขยะที่ดี [4]

จากหลักการและเหตุผลของการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมมีความจำเป็นต่อการนำไปใช้ในสถานศึกษาที่มีความสนใจองค์ความรู้โดยสอดคล้องกับความต้องการชุมชน โดยกำหนดวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังนี้ 1) เพื่อออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษา 2) เพื่อถ่ายทอดการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษา 3) เพื่อติดตามผลการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) โดยใช้สถานศึกษาเป็นฐาน (School Based Management: SBM) กลุ่มเป้าหมายคือ ผู้บริหาร จำนวน 1 คน ครู จำนวน 5 คน นักเรียน จำนวน 45 คน สถานที่ คือ โรงเรียนบ้านท่าเล่ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาตาก เขต 1

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) แผนการจัดกิจกรรมโดยใช้สถานศึกษาเป็นฐาน 2) แบบวัดความรู้การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษา 3) แบบสังเกต 4) แบบสัมภาษณ์ 5) แบบประเมินผลการบริหารจัดการขยะผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม 6) ประเด็นการถอดบทเรียนการบริหารจัดการขยะ

วิธีดำเนินการเก็บข้อมูล

กระบวนการเก็บข้อมูลผู้วิจัยและคณะได้ดำเนินการเก็บข้อมูลในชุมชน ออกเป็น 4 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 การวางแผน (Plan: P)

1. ประชาสัมพันธ์เชิญชวนสถานศึกษาในพื้นที่บริการของวิทยาลัยชุมชนตาก โดยมีคุณสมบัติเบื้องต้นดังนี้

1.1 เป็นสถานศึกษาขนาดเล็กที่มีความสนใจการบริหารจัดการขยะ

1.2 สถานตั้งไม่ไกลและสามารถเดินทางบริหารโครงการในระยะยาวได้สะดวก

1.3 ผู้บริหาร กรรมการสถานศึกษา ครู ยินดีให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูล

1.4 สามารถนำองค์ความรู้ไปใช้อย่างต่อเนื่องหลังจากกิจกรรมจะเสร็จสิ้น

2. ประชุมวางแผนการจัดกิจกรรมร่วมกับสถานศึกษา เพื่อร่วมกันกำหนดแนวทางการจัดกิจกรรม การเรียนรู้ถ่ายทอดการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาโดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม ผ่านกระบวนการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ แบ่งเป็นฐานการเรียนรู้ จำนวน 6 ฐาน ประกอบด้วย ฐานการเรียนรู้การทำปุ๋ยหมักชีวภาพอัดแท่งสำหรับแปลงผักอาหารกลางวัน ฐานการเรียนรู้น้ำหมักชีวภาพ สำหรับกำจัดศัตรูพืชในแปลงเกษตร ฐานการเรียนรู้การเลี้ยงไส้เดือนดินกำจัดขยะสำหรับเลี้ยงปลาสร้างอาชีพ ฐานการเรียนรู้ การทำเตาแก๊สชีวมวลกระป๋อง ฐานการเรียนรู้ที่ การผลิตก๊าซชีวภาพและไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ในสถานศึกษา ฐานการเรียนรู้ ศิลปะจากเศษกระดาษในสถานศึกษา และกระบวนการวัดและประเมินผลกับกลุ่มเป้าหมาย ประกอบด้วย ผู้บริหารสถานศึกษา ครู และนักเรียน

3. ออกแบบการจัดกิจกรรมแบบฐานการเรียนรู้ โดยใช้สถานศึกษาเป็นฐานร่วมกับสถานศึกษาและวิทยากรประจำฐาน เพื่อจัดเตรียมกิจกรรมให้เหมาะสมกับกลุ่มผู้เรียนและประสิทธิผลของกิจกรรม

ระยะที่ 2 การปฏิบัติการ (Act: A)

1. ดำเนินการจัดกิจกรรมเป็นฐานการเรียนรู้ จำนวน 6 ฐานการเรียนรู้ ดังนี้

1.1 ฐานการเรียนรู้การทำปุ๋ยหมักชีวภาพอัดแท่งสำหรับแปลงผักอาหารกลางวัน

1.2 ฐานการเรียนรู้น้ำหมักชีวภาพ สำหรับกำจัดศัตรูพืชในแปลงเกษตร

1.3 ฐานการเรียนรู้การเลี้ยงไส้เดือนดินกำจัดขยะสำหรับเลี้ยงปลาสร้างอาชีพ

1.4 ฐานการเรียนรู้การทำเตาแก๊สชีวมวลกระป๋อง

1.5 ฐานการเรียนรู้ที่ การผลิตก๊าซชีวภาพและไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้

1.6 ฐานการเรียนรู้ ศิลปะจากเศษกระดาษ

ระยะที่ 3 การตรวจสอบ (Observe : O)

1. ชี้แจงทำความเข้าใจกระบวนการวัดและประเมินกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 3 กลุ่ม ดังนี้

1.1 ทดสอบวัดความรู้การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษา กลุ่มเป้าหมายคือ นักเรียนโรงเรียนบ้านท่าเล่ระดับชั้นปีที่ 1-6 จำนวน 45 คน แบบทดสอบมีลักษณะเป็นแบบปรนัย จำนวน 15 ข้อ

1.2 ประเมินผลการจัดกิจกรรมการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาโดยใช้แบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ แบ่งออกเป็น 4 ด้าน ประกอบด้วย 1) ด้านกระบวนการ 2) ด้านฐานการเรียนรู้ 3) ด้านวิทยากร 4) ด้านประสิทธิผลการอบรม และสังเกตการณ์ร่วมกิจกรรม การสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ

1.3 สัมภาษณ์ผู้บริหารสถานศึกษา ประเด็นสัมภาษณ์ เรื่อง การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษากับการพัฒนาคุณลักษณ์ผู้เรียน

1.4 สัมภาษณ์ครู ประเด็นการสัมภาษณ์ เรื่อง การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษากับกิจกรรมการเรียนรู้

2. สรุปบทเรียนจากการจัดกิจกรรมถ่ายทอดการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม โดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอองค์ความรู้จากฐานการเรียนรู้เพื่อนำมาแลกเปลี่ยนกับเพื่อนนักเรียนก่อนเสร็จสิ้นกิจกรรม

ระยะที่ 4 การสะท้อนผล (Reflection: R)

ติดตามผลการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม หลังเสร็จสิ้นการจัดกิจกรรม เป็นระยะเวลา 1 เดือน เพื่อติดตามผลการใช้ประโยชน์จากโครงการและร่วมถอดบทเรียนกับคณะครูและนักเรียน จากการนำองค์ความรู้ที่ไปจัดทำชุดความรู้และขยายผลไปยังสถานศึกษาใกล้เคียง

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ใช้สถิติขั้นพื้นฐาน ค่าร้อยละ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) และพรรณนาเป็นความเรียง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษา พบว่า ผู้ทรงคุณวุฒิมีความคิดเห็นที่มีต่อแผนจัดกิจกรรมการเรียนรู้การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษา อยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X} = 4.54$) ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากผู้วิจัยมีการเก็บข้อมูลก่อนการทำกิจกรรม เช่น การศึกษาภาคสนาม การสัมภาษณ์ การสังเกต และร่วมประชุมวางแผนกับสถานศึกษาเพื่อหาข้อสรุปแนวทางการจัดกิจกรรมที่มีผลผลิตชัดเจน นอกจากนี้ออกแบบกิจกรรมที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญเพื่อให้กิจกรรมมีความน่าสนใจและให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมและลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง โดยมีครูคอยให้คำแนะนำ สอดคล้องกับ [5] กล่าวว่า แผนการจัดการเรียนรู้ที่ดีจะต้องมีองค์ประกอบที่ครบถ้วนที่สำคัญ จะต้องให้ผู้เรียนมีส่วนในการปฏิบัติมากที่สุดทุกขั้นตอน ทุกกระบวนการต้องลงสู่ผู้เรียน ผู้เรียนได้พัฒนาความรู้ความสามารถอย่างเต็มศักยภาพ โดยมีผู้สอนชี้นำ ส่งเสริม หรือกระตุ้น ตลอดจนเปิดโอกาสให้ผู้เรียนหาคำตอบหรือทำสำเร็จด้วยตนเอง

2. ผลการถ่ายทอดการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษา พบว่า ภายหลังจากกิจกรรม นักเรียนทำการทดสอบความรู้ ความเข้าใจการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาโดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม นักเรียนผ่านเกณฑ์ ร้อยละ 82 เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องจาก ผู้วิจัยและสถานศึกษาร่วมกันออกแบบกิจกรรมโดยใช้สถานศึกษาเป็นฐานที่มีความเหมาะสมกับบริบทสถานศึกษาและความสนใจของนักเรียนและครู แต่ละฐานการเรียนรู้ ประกอบด้วย (1) การทำปุ๋ยหมักชีวภาพอัดแท่งสำหรับแปลงผักอาหารกลางวัน (2) น้ำหมักชีวภาพ สำหรับกำจัดศัตรูพืชในแปลงเกษตร (3) การเลี้ยงไส้เดือนดินกำจัดขยะสำหรับเลี้ยงปลาสร้างอาชีพ (4) การทำเตาแก๊สชีวมวลกระป๋อง (5) การผลิตก๊าซชีวภาพและไบโอดีเซลจากน้ำมันเหลือใช้ (6) ฐานการเรียนรู้ ศิลปะจากเศษกระดาษ ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติในกิจกรรมแต่ละฐานการเรียนรู้ โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับบริบทของสถานศึกษาเพื่อนำขยะไปใช้ประโยชน์ให้เกิดประสิทธิผลและเป็นแหล่งเรียนรู้ของสถานศึกษา และสามารถบริหารจัดการขยะตนเองอย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องเป้าหมายแผนการศึกษาแห่งชาติ ยุทธศาสตร์ที่ 5 การจัดการศึกษาเพื่อสร้างเสริมคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม คนทุกช่วงวัย มิจิตสำนึกรักษ์สิ่งแวดล้อม มีแหล่งเรียนรู้และสื่อการเรียนรู้ที่ส่งเสริมคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [6] การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมต้องพิจารณาขยะในพื้นที่ ปริมาณขยะในแต่ละวันความต้องการของชุมชนในเทศบาล ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [3] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลรายด้านการประเมินกิจกรรมการบริหารจัดการขยะ

รายการประเมิน	N=45		แปลผล
	$\bar{X}$	S.D.	
ด้านกระบวนการ	4.46	0.72	มาก
ด้านฐานการเรียนรู้	4.66	0.57	มากที่สุด
ด้านวิทยากร	4.60	0.65	มากที่สุด
ด้านประสิทธิผลการอบรม	4.71	0.54	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	**4.61**	**0.62**	**มากที่สุด**

โดยผลการประเมินกิจกรรมการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษา พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.61, S.D. = 0.62$) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่าการดำเนินงานเกิดกิจกรรมที่มีส่วนร่วมระหว่างผู้บริหารสถานศึกษากับชุมชน ทำให้มีกิจกรรม ระหว่างครู นักเรียน ได้มีส่วนร่วมการจัดการศึกษาในชุมชนของตนเอง สอดคล้องกับ [7] การบริหารงานโดยใช้โรงเรียนเป็นฐาน พบว่าเงื่อนไขของความสำเร็จ ผู้บริหารต้อง มีความเป็นผู้นำ มีวิสัยทัศน์ และบริหารจัดการได้ดี นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ใช้ออกแบบเครื่องมือวัดการเรียนรู้แบบง่ายๆและมีความหลากหลาย เช่น การสังเกต การสัมภาษณ์ การร่วมกิจกรรม เหมาะสมกับวัยผู้เรียน พบว่า นักเรียนมีความสุขกับการเรียนรู้ มีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ เนื่องจากได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองแต่ละฐานการเรียนรู้ [8] การจัดการเรียนรู้ตามสภาพจริง (Authentic Learning) เป็นการเรียนรู้ที่เน้นกระบวนการเรียนรู้ การทำงาน ปฏิบัติงานและผลผลิตการวัดและประเมินผลต้องเป็นการรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพจากกระบวนการเรียนรู้ การทำงาน การปฏิบัติ โดยใช้เรื่องราว เหตุการณ์ สภาพจริง หรือคล้ายจริงแล้วนำข้อมูลมาตีค่าหรือประเมินค่า และเมื่อเสร็จสิ้นการจัดกิจกรรมได้จัดเวทีสรุปบทเรียนของแต่ละกลุ่มทำเกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ เกิดทักษะการสื่อสารระหว่างบุคคล ทำให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีความสุข ดังภาพที่ 1-3

ภาพที่ 1 ศิลปะจากเศษกระดาษ

ภาพที่ 2 เตาแก๊สชีวมวลกระป๋อง

ภาพที่ 3 ปุ๋ยหมักชีวภาพอัดแท่ง

3. ผลการติดตามผลการบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม พบว่า หลังเสร็จสิ้นการฝึกอบรมถ่ายทอดการบริหารจัดการขยะ เป็นระยะเวลา 1 เดือน ผู้วิจัยได้ติดตามผลการนำไปใช้โดยการถอดบทเรียนร่วมกันระหว่างครู นักเรียน ตลอดจนการสังเกตภาคสนาม พบว่า นำองค์ความรู้ไปใช้บริหารจัดการขยะอย่างต่อเนื่อง เช่น การทำปุ๋ยหมักชีวภาพอัดแท่ง โดยนำขยะเช่นใบไม้ ใบหญ้า และมูลโคเนื้อในชุมชนมาทำปุ๋ยเพื่อใช้บำรุงดิน สำหรับแปลงผักของโครงการอาหารกลางวัน การทำน้ำหมักชีวภาพจากผักในโรงครัวมาผสมกับกากน้ำตาล สำหรับกำจัดศัตรูพืชในแปลงเกษตร และใช้ในงานอื่นๆที่เหมาะสม การเลี้ยงไส้เดือนดินกำจัดขยะสำหรับเลี้ยงปลาดุก ปลานิล และนำไปใช้เลี้ยงไก่เนื้อ ไก่ไข่ตลอดจนเป็นแหล่งเรียนรู้การจัดการขยะในสถานศึกษาและเป็นสถานที่ศึกษาดูงานของสถานศึกษาใกล้เคียง ดังภาพที่ 4-6

ภาพที่ 4 การเลี้ยงไส้เดือน	ภาพที่ 5 ปุ๋ยหมักชีวภาพอัดแท่ง	ภาพที่ 6 การร่วมสรุปบทเรียน

สรุปผลการวิจัย

การบริหารจัดการขยะในสถานศึกษาผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม พบว่าการออกแบบกิจกรรมมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ถ่ายทอดโดยการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ โดยแบ่งเป็นฐานการเรียนรู้ให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ลงมือปฏิบัติโดยตรง หลังเสร็จสิ้นการฝึกอบรมได้มีการทดสอบวัดความรู้โดยใช้เครื่องมือที่หลากหลายพบว่าเป็นไปตามเกณฑ์ที่วางไว้ การติดตามผลหลังเสร็จสิ้นการอบรม เป็นระยะเวลา 1 เดือน สถานศึกษายังคงนำองค์ความรู้การบริหารจัดการขยะผ่านการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมไปใช้อย่างต่อเนื่องในแปลงผักเกษตร การเลี้ยงสัตว์ปีก เลี้ยงหมู เลี้ยงปลาสำหรับโครงการอาหารกลางวันของสถานศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.สุรเสน ทั่งทอง ผู้อำนวยการ ดร.รัตนา เจริญศรี รองผู้อำนวยการวิทยาลัยชุมชนตาก ที่ให้คำแนะนำการดำเนินงานเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณ ผู้บริหาร คณะครู และนักเรียน โรงเรียนบ้านท่าเล่ พื้นที่สนามการวิจัย ตลอดจนการติดตามประเมินผลโครงการอย่างต่อเนื่อง และขอขอบคุณวิทยากรเครือข่าย จากมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม สมาคมพัฒนาชุมชน สำหรับการถ่ายทอดองค์ความรู้ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (2560-2564). (2559, 30 ธันวาคม). **ราชกิจจานุเบกษา**. เล่ม 133 ตอนที่ 115 ก. หน้า 108-112.

[2] สพฐ.หนุนวาระแห่งชาติกำจัดขยะ. **ข่าวสดรายวัน.** วันที่ 19 เมษายน 2559 ปีที่ 26 ฉบับที่ 9274, สืบค้น เมื่อ 1 ตุลาคม 2560, จาก http://daily.khaosod.co.th/view_news.php?newsid=TURObFpIVXdOREU1TURRMU9RPT0=&sectionid=TURNeE5RPT0=&day=TWpBeE5pMHdOQzB4T1E9PQ==.

[3] ชนิดา เพชรทองคำและคณะ. (2553). **การบริหารจัดการขยะและเทคโนโลยีที่เหมาะสมโดยการมีส่วนร่วมของชุมชน: กรณีศึกษา อบต.ไร่ส้ม จ.เพชรบุรี.** รายงานวิจัย. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.

[4] เกรียงไกร อ่อนยิ้ม. (2560). **การจัดการขยะในสถานศึกษา.** สัมภาษณ์เมื่อ 17 กันยายน 2560.

[5] สำลี รักสุทธี. (2553). **คู่มือการจัดทำสื่อ นวัตกรรม และแผนฯ ประกอบสื่อ นวัตกรรม.** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เพิ่มทรัพย์การพิมพ์.

[6] สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2560). **แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579**. กรุงเทพฯ. บริษัทพริกหวานกราฟฟิค จำกัด.

[7] สุธรรม ธรรมทัศนานนท์. (2559). รูปแบบการบริหารโดยใช้โรงเรียนเป็นฐานในการพัฒนาท้องถิ่นสำหรับโรงเรียนในสังกัดองค์การบริหารส่วนจังหวัดขอนแก่น. **วารสารศึกษาศาสตร์.** 27(3).หน้า 33-43.

[8] พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์และพเยาว์ ยินดีสุข. (2558). **การจัดการเรียนรู้ในสตวรรษที่ 21**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นข้าว โดยการใช้แหล่งน้ำที่แตกต่างกัน

The study on growth of Rice from using difference water

รุ่งอรุณ วรพฤติสกุล[1] ณัฐรินันท์ คัญใหญ่[1] ชนมน ศรีพระจันทร์[1] ศิริพร ศรีไตรรัตน์[1] มลวิภา เมืองพระฝาง[1,2*]
ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ[1,2] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1,2] อรพรรณ ธนขว้าง[1,2] และ เฉลิมชัย สังโยคะ[1,2]
[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000
[2] โครงการจัดตั้งสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาธาตุอาหารจากน้ำผิวดิน น้ำประปา น้ำบาดาลและน้ำเสียที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 โดยทำการศึกษาผลของธาตุอาหารในแหล่งน้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 จากผลการศึกษาพบว่า ข้าวหล่อเลี้ยงต้นข้าวด้วยน้ำเสีย มีค่าเฉลี่ยสีของใบข้าว และค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นข้าวมากที่สุด อีกทั้งยังพบว่าข้าวหล่อเลี้ยงต้นข้าวด้วยน้ำผิวดินมีค่าเฉลี่ยความสูงของต้นข้าวและค่าเฉลี่ยจำนวนต้นข้าวมากที่สุดตามลำดับ

คำสำคัญ: ธาตุอาหาร น้ำผิวดิน น้ำประปา น้ำบาดาล น้ำเสีย ข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2

*Corresponding author: Tel.: 098-1042377. E-mail address: monwipha.21@gmail.com

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็น มนุษย์ พืช และสัตว์ ล้วนแล้วมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ส่วนหนึ่ง น้ำเป็นส่วนสำคัญในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ เนื่องจากน้ำมีประโยชน์หลายสถาน โดยในปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยได้เพิ่มมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นภาวะอากาศเป็นพิษ ภาวะน้ำเสียหรือเสื่อมคุณภาพ ทั้งนี้เนื่องจากทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดและการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในเขตชุมชนเมืองขนาดใหญ่ที่มีจำนวนประชากรและอุตสาหกรรมมาก ฉะนั้นปัญหาสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะปัญหาน้ำเสียที่เกิดขึ้นในชุมชนเมืองขนาดใหญ่ก็จะเกิดขึ้นมากกว่าชุมชนที่มีขนาดเล็ก ด้วยสาเหตุดังกล่าวทำให้น้ำเสียมีปริมาณมากและสร้างความเดือดร้อนต่อประชาชนโดยทั่วไป[1]

การศึกษาเรื่องคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำจึงจำเป็นอย่างยิ่ง ก่อนที่จะนำน้ำมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการเกษตร ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาจากงานวิจัยพบว่าน้ำเสียทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูงและการแตกกอ และคณะผู้วิจัยได้ใช้พันธุ์ข้าวพิษณุโลก 2 เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่มีลักษณะเด่นคือ รูปแบบต้นดี กอตั้ง ใบเขียวเข้ม ต้นแข็งแรงไม่ล้มง่าย มีความสูง 85-104 เซนติเมตร มีอายุเฉลี่ย 97 วันในฤดูนาปลัง อีกทั้งยังต้านทาน เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาวและเพลี้ยจักจั่นสีเขียว เหมาะสมสำหรับที่จะใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยจึงลงความเห็นว่าต้องการที่จะศึกษาการเจริญเติบโตของต้นข้าว จากการใช้แหล่งน้ำที่แตกต่างกันในจังหวัดพิษณุโลก

วิธีการวิจัย

1. การวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCBD) จำนวน 5 ซ้ำ แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลองตามความแตกต่างของน้ำจาก แหล่งที่มา คือ น้ำประปา น้ำบาดาล น้ำเสีย และน้ำผิวดิน

2. การเตรียมกล้าเพื่อใช้ในการทดลอง

2.1 นำเมล็ดพันธุ์ข้าวมาแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมงและนำไปหุ้มด้วยผ้าชื้นทิ้งไว้ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอกจนมีรากโผล่ออกมาจึงนำเมล็ดข้าวมาปลูกลงในถาดเพาะกล้าที่เตรียมดินไว้โดยปลูกข้าว 1 เมล็ดต่อ 1 หลุม

2.2 ควบคุมระดับน้ำไม่ให้น้ำท่วมเมล็ดข้าวเป็นเวลา 2-4 วัน เมื่อต้นกล้าเริ่มงอก จึงค่อยเพิ่มระดับน้ำเป็น 3-5 เซนติเมตร เมื่อต้นกล้าแข็งแรงมีอายุครบ 30 วันจึงถอนกล้าเพื่อเตรียมลงกระถางปลูกข้าว

3. การเตรียมดินเพื่อนำมาใช้ในการปลูกข้าว

3.1 ขุดดินขึ้นมาเก็บเศษหินและวัสดุต่างๆรวมทั้งชิ้นส่วนพืชที่ปะปนมาออกให้มากที่สุด เพื่อจะนำไปตากแห้งใช้เวลา 10 วัน เมื่อดินแห้งแล้ว ก็ใช้จอบและค้อนทุบดินให้มีขนาดเป็นก้อนเล็กๆ

3.2 นำดินที่ทุบจนมีขนาดเป็นก้อนเล็กๆ มาใส่ในเครื่องบดดิน บดจนละเอียดเหมาะแก่การนำมาใช้ในการปลูกข้าว

4. การปลูกข้าว

4.1 เมื่อต้นกล้าอายุ 30 วัน จากนั้นย้ายที่ปลูกในกระถางที่บรรจุดิน 10 กิโลกรัม จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง นำดินใส่ลงในกระถางพลาสติกก้นปิด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร หมักในน้ำจนเกิดการอิ่มตัว

4.2 นำดินโคลนที่เตรียมไว้ใส่ลงในกระถางปลูกข้าว โดยดินโคลนที่ใส่ลงไปในกระถางจะมีระดับต่ำกว่าขอบกระถางลงมาประมาณ 20 เซนติเมตร ปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 อายุ 30 วัน จำนวน 1 ต้นต่อกระถาง ขังน้ำที่ระดับ 5 เซนติเมตร

4.3 คัดเลือกต้นกล้าที่สมบูรณ์จากในถาดเพาะกล้าที่เตรียมไว้ โดยคัดเลือกมาทั้งหมด 20 ต้น นำมาปลูกในกระถางที่มีดินโคลนในอัตราส่วนของต้นกล้า 1 ต้น ต่อ 1 กระถาง จากนั้นสังเกตการและบันทึกการเจริญเติบโตของข้าว โดยเก็บข้อมูล 11 ครั้ง คือระยะ 37, 44, 51, 58, 65, 72, 79, 86, 93, 100 และ 107 วัน หลังการปักดำ

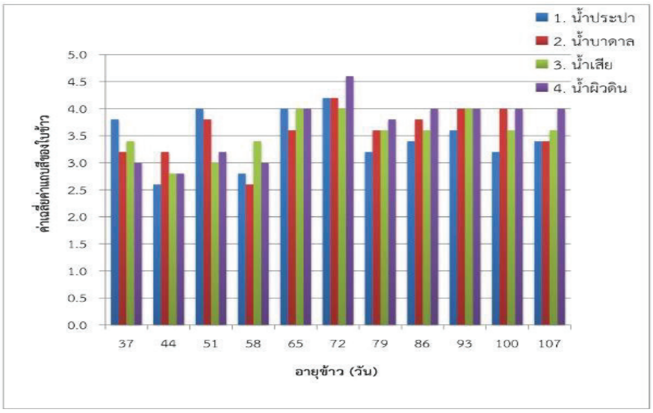
5. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำทั้ง 4 แหล่ง

คุณสมบัติของน้ำ	วิธีวิเคราะห์
1. พีเอช (pH)	pH meter
2. ไนเตรต (Nitrate)	Hydrazine method
3. ฟลูออไรด์ (Fluoride)	SPANDS method
4. คลอไรด์ (Chloride)	Mercuric Nitrate method
5. ซัลเฟต (SULFATE)	TUBIDIMETRIC METHOD
6. ฟอสฟอรัสรวม (TOTAL PHOSPHORUS)	SULFURIC ACID-NITRIC ACID DIGESTION/ASCORBIC ACID METHOD
7. สังกะสี (ZN), เหล็ก (FE), แคดเมียม (CD), ตะกั่ว (PB), สารหนู (AS), ปรอท (HG), แมกนีเซียม (MG), โซเดียม (NA), แคลเซียม (CA)	AAS

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาค่าแถบสีของใบข้าว

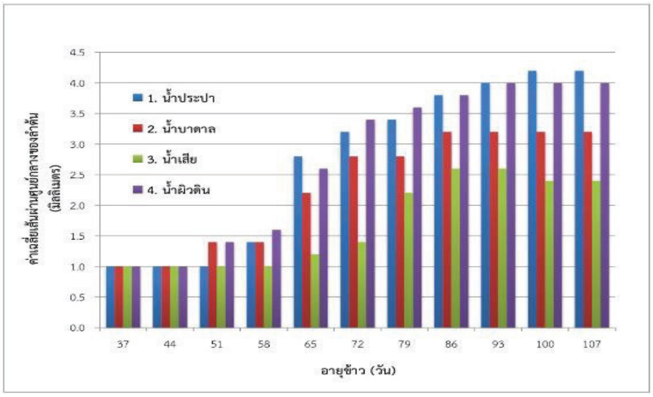
จากการศึกษาสีของใบข้าวทั้ง 4 ชุด พบว่ามีค่าเฉลี่ยค่าแถบสีของใบข้าวสูงสุดในวันที่ข้าวมีอายุ 72 วัน และค่าเฉลี่ยของค่าแถบสีใบข้าวมีค่าลดลง เนื่องจากในระยะที่ข้าวมีอายุ 72-79 วัน เกิดเหตุการณ์พายุฤดูร้อนลมกรรโชกแรงในเขตพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกซึ่งส่งผล ให้โรงเรือน (Green house) พังเสียหาย คณะผู้วิจัยจึงดำเนินการย้ายกระถางเพาะปลูกข้าวทั้ง 4 ชุดการทดลองมาไว้บริเวณที่มีโครงสร้างของหลังคาที่แสงไม่สามารถส่องผ่านลงมาได้โดยตรงและพบว่ามีแสงผ่านมาได้ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ในเวลาเช้าและเย็น ดังนั้นกระถางแถวด้านข้างบางชุดการทดลองเท่านั้นที่จะมีโอกาสได้รับแสงจึงมีผลให้แถบสีของใบข้าวมีค่าลดลง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยค่าแถบสีของใบข้าวกับอายุข้าว

ผลการศึกษาเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นข้าว

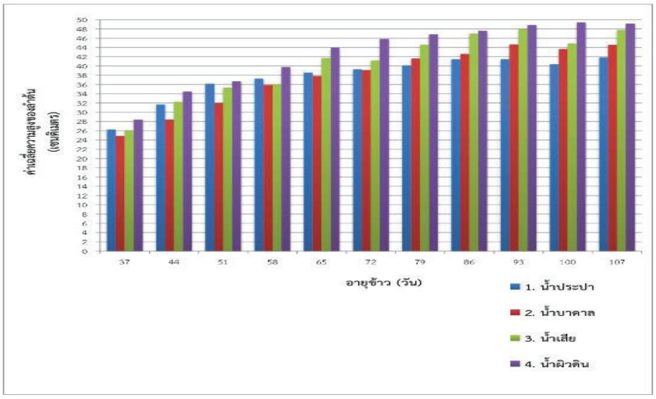
จากผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นข้าวพบว่า ข้าวที่หล่อเลี้ยงด้วย น้ำเสียมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของล้าต้นข้าว เท่ากับ 8.0985 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่ามากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียมีธาตุฟอสฟอรัสเท่ากับ 2 mg/L ธาตุแมกนีเซียมเท่ากับ 15.5 mg/L และธาตุซัลเฟต เท่ากับ 34.7 mg/L ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารสำรองที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตในระยะตั้งท้องของข้าวเป็นอย่างมาก สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นข้าวกับอายุข้าว

ผลการศึกษาความสูงของข้าว

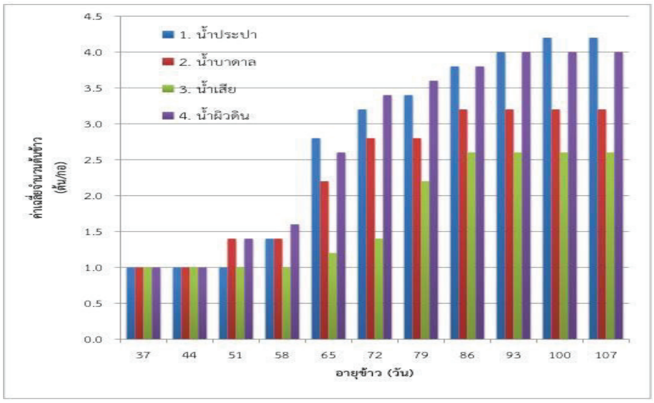
จากการศึกษาความสูงของข้าวผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสูงของข้าวพบว่า ข้าวที่หล่อเลี้ยงด้วยน้ำผิวดินมีค่าเฉลี่ยความสูง ของข้าวเท่ากับ 42.845 เซนติเมตรซึ่งมีค่ามากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากน้ำผิวดินมีธาตุไนโตรเจนที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว มากกว่าน้ำทั้ง 3 ชนิด สามารถแสดงการเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความสูงของลำต้นข้าวกับอายุข้าว

ผลการศึกษาจำนวนต้นข้าว

จากผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจำนวนต้นข้าวพบว่า ข้าวที่หล่อเลี้ยงด้วยน้ำผิวดินมีค่าเฉลี่ยจำนวนต้นข้าว เท่ากับ 2.8 ต้น/กอ มีค่ามากที่สุด และข้าวที่หล่อเลี้ยงด้วยน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยจ้านวนต้นข้าวเท่ากับ 1.7 ต้น/กอ ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากน้ำผิวดินมีธาตุไนโตรเจนเท่ากับ 1.91 mg/L ธาตุ แมกนีเซียมเท่ากับ 15.5 mg/L และธาตุคลอไรด์ เท่ากับ 24.5 mg/L ซึ่งจัดเป็นธาตุอาหารหลักและ ธาตุอาหารสำรอง มากกว่าน้ำประปา น้ำบาดาล และน้ำเสีย ธาตุทั้งสามชนิดนี้เป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการแตกกอ การเจริญเติบโตของต้นข้าวเป็นอย่างมากสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยจำนวนต้นข้าวกับอายุข้าว

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาน้ำทั้ง 4 แหล่ง โดยปลูกข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 หล่อเลี้ยงต้นข้าวด้วยน้ำจาก แหล่งน้ำที่แตกต่างกัน คือ น้ำประปา น้ำบาดาล น้ำเสีย และน้ำผิวดิน ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าข้าวที่ปลูกแล้วหล่อเลี้ยงต้นข้าวด้วยน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยสีของใบข้าวและค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง ของล้าต้นข้าวมากที่สุด เนื่องจากน้ำเสียมีแร่ธาตุฟอสฟอรัสมากถึง 2 mg/L ทั้งนี้เนื่องจากแร่ธาตุ ฟอสฟอรัสจะส่งผลต่อระบบรากทำให้รากแข็งแรง กระตุ้นการพัฒนาการทางด้านลำต้นในช่วงเริ่มต้นส่งผลต่อการแตกกอของข้าว ส่วนข้าวที่ปลูกแล้วหล่อเลี้ยงต้นข้าวด้วยน้ำผิวดินมีค่าเฉลี่ยความสูงของต้นข้าวและค่าเฉลี่ยจำนวนต้นข้าวมากที่สุด เนื่องจากน้ำผิวดินมีแร่ธาตุไนโตรเจนมากถึง 1.91 mg/L โดยธาตุไนโตรเจนจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้น การแตกกอ การขยายขนาดของใบ การออกรวงและการติดเมล็ด ดังนั้นจากผลการศึกษาจึงอาจกล่าวได้ว่าน้ำเสียและน้ำผิวดินเหมาะ สำหรับนำมาใช้ในการเพาะปลูกมากที่สุดเนื่องจากมีแร่ธาตุ N P K ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของข้าวเป็นจำนวนมาก

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยและพัฒนาการเรียนรู้ตามแนวพระราชดำริ ขอขอบพระคุณที่ปรึกษาโครงการวิจัย คณาจารย์และเจ้าหน้าที่วิจัยจากคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม สถาบันเศรษฐกิจพอเพียง (โครงการจัดตั้ง) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร หน่วยงานราชการและหน่วยงานเอกชนต่างๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำและข้อมูลสนับสนุนทำให้การดำเนินโครงการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] เกศรา เจริญจิตร. (2543). **การนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานผลิตสุราจากกากน้ำตาลไปใช้เพื่อการปลูกข้าว**. สายวิชาการจัดการทรัพยากร. คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

[2] สุรีย์ บุญญานุพงศ์. (2544). **แนวทางนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ในประเทศไทย**. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.

[3] สำนักวิจัยและพัฒนา. (2550). **คู่มือการวิเคราะห์คุณภาพน้ำกลุ่มงานวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์**. กลุ่มงานเคมี สำนักวิจัยและพัฒนากรมชลประทาน.

[4] สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ. (2543). **ความสัมพันธ์ของวิธีการปลูกข้าวและการจัดการน้ำต่อการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากนาข้าว**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี : กรุงเทพฯ.

การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการธรรมชาติ ของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

To studying about the feasibility of wastewater by natural way from Pibulsongkram Rajabhat University demmonstation school

รุ่งอรุณ วรพฤติสกุล[1] มลวิภา เมืองพระฝาง[1,2*] ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ[1,2] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1,2]
อรพรรณ ธนขว้าง[1,2] และ เฉลิมชัย สังโยคะ[1,2]

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

[2] โครงการจัดตั้งสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบระบบบำบัดน้ำเสียและออกแบบแผนผังระบบการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติในโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม มีผลการศึกษาดังนี้ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามมีจำนวนบุคคลากรและนักเรียนทั้งหมด 824 คน และมีการใช้น้ำโดยเฉลี่ย 80 ลิตรต่อคนต่อวัน ปริมาณการใช้น้ำของทุกคนในเวลา 1 วันเฉลี่ย 65,920 ลิตร และจากการที่นำน้ำเสียไปตรวจสอบ พบว่า มีค่า pH = 7.27, ค่า BOD = 15.5, ค่า COD = 165, ค่าของแข็งแขวนลอย = 29.0, ค่าของแข็งทั้งหมด = 376.5, ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด = 347.5, ค่าของแข็งตะกอนตกตะกอนได้ ตรวจสอบแล้วไม่พบ , ไขมันและน้ำมัน = 15.7 , ค่าซัลไฟด์ ตรวจสอบแล้วไม่พบ , เจดาลห์ไนโตรเจน = 14.2 , ไนโตรเจนรวม = 14.2 ซึ่งค่าที่ได้ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของคุณภาพน้ำตามกรมควบคุมมลพิษที่ได้กำหนดไว้ จากผลที่ตรวจสอบได้ทำให้สามารถออกแบบบ่อบำบัดน้ำเสียได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 บ่อตกตะกอน บ่อนี้เป็นการบำบัดเพื่อแยกทราย กรวด และของแข็งขนาดใหญ่ออกจากของเหลวหรือน้ำเสีย

ส่วนที่ 2 เป็นระบบบึงประดิษฐ์แบบ Free Water Surface Wetland (FWS) ประกอบด้วย บ่อ 3 โดยบ่อที่ 1 ปลูกพืชที่มีลักษณะสูงโผล่พ้นน้ำและรากเกาะดินปลูกไว้ได้แก่ธูปฤาษี เพื่อลดค่า pH, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, สามารถนำพืชไปเพิ่มรายได้โดยการทำจักสาน บ่อที่ 2 เป็นบ่อที่มีพืชชนิดลอยอยู่บนผิวน้ำจึงได้ปลูกสาหร่ายหางกระรอก เพื่อกำจัดตะกอนสกปรกในน้ำ บ่อที่ 3 ปลูกพืชที่มีลักษณะสูงโผล่พ้นน้ำและรากเกาะดินปลูกไว้เช่นเดียวกับบ่อที่ 1 จึงได้ปลูกต้นกกกลม เพื่อกรองสารแขวนลอยและลดสารอาหาร(ไนโตรเจน)

ส่วนที่ 3 บ่อปรับสภาพ เป็นบ่อบำบัดแบบใช้อากาศ ทำหน้าที่ปรับแต่งปรับสภาพ เพื่อกำจัดสาหร่าย น้ำที่พ้นบ่อนี้ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ปลอดภัย

คำสำคัญ: ความเป็นไปได้, การบำบัดน้ำเสีย,โดยวิธีการธรรมชาติ

[*]Corresponding author: Tel.: 098-1042377. E-mail address: monwipha.21@gmail.c0m

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี เกิดขึ้นสืบเนื่องจากพระมหากรุณาธิคุณแห่งองค์พระบาทสมเด็จ พระเจ้าอยู่หัว ที่ทรงมีพระราชดำริด้านปัญหาขยะและน้ำเสีย มีวัตถุประสงค์หลัก คือ การศึกษาวิจัยหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาน้ำเสียและขยะชุมชนที่ประหยัด สะดวก ทำได้ง่าย และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นๆ ในประเทศได้อย่างกว้างขวาง เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่เรียบง่ายและใช้ธรรมชาตินี้ แบ่งออกเป็น 4 ระบบ คือ 1) ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย ระบบนี้ใช้วิธีการพึ่งพาธรรมชาติ ให้สาหร่ายสังเคราะห์แสงเพื่อเติมออกซิเจนให้จุลินทรีย์หายใจและย่อยสลายสารอินทรีย์ (organic matter) ในน้ำเสีย ซึ่งบ่อบำบัดมีทั้งหมด 5 บ่อ ประกอบไปด้วย บ่อตกตะกอน 1 บ่อ บ่อผึ่ง 3 บ่อ และบ่อปรับสภาพ 1 บ่อ 2) ระบบพืชและหญ้ากรองน้ำเสีย คือการกรอง ซึ่งแปลงหรือบ่อจะเก็บกักน้ำเสีย และปลูกธูปฤาษี กกกลม และหญ้าแฝกอินโดนีเซีย หรือปลูกหญ้าอาหารสัตว์ พืชเหล่านี้มีคุณสมบัติกรองและดูดซับของเสียที่อยู่ในน้ำ สองระบบสุดท้าย เป็นระบบที่อาศัยธรรมชาติในการบำบัด หรือใช้พืชในการบำบัดทั้งสิ้น 3) ระบบพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม ระบบบำบัดแบบนี้เป็นการจำลองพื้นที่ทางธรรมชาติ จึงเป็นว่าพื้นที่ที่เปียกชุ่ม หรือพื้นที่ที่มีน้ำขัง การบำบัดน้ำเสียแบบนี้ใช้วิธีการปล่อยน้ำเสียผ่านบ่อดินตื้นๆ ที่ภายในปลูกพืชประเภทกก รากของพืชเหล่านี้จะช่วยดูดซับสารพิษ (toxin) และอินทรีย์สารให้ลดน้อยลง และย่อยสลายให้หมดไปในที่สุด 4) ระบบแปลงพืชป่าชายเลน ระบบนี้ใช้หลักการบำบัดจากการเจือจางระหว่างน้ำทะเลกับน้ำ

เนื่องจากโรงเรียนสาธิตมีการใช้ทรัพยากรน้ำใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆ ภายในโรงเรียนอาทิเช่น กิจกรรมจากโรงอาหาร ห้องน้ำ ซึ่งทำให้เกิดน้ำเสีย ทางโรงเรียนมีระบบการระบายน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมเหล่านี้อยู่แล้ว แต่ยังไม่มีการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ ซึ่งจากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยและคณะจึงคิดนำหลักการของโครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ฯ มาเป็นแนวทางในการสร้างผังการบำบัดนำเสียโดยวิธีการธรรมชาติซึ่ง คาดว่าผังการบำบัดนำเสียโดยวิธีการธรรมชาติที่สร้างขึ้นนี้จะช่วยบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นในโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น สามารถนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วนำไปใช้ประโยชน์ อาทิเช่น การนำไปรดต้นไม้ภายในโรงเรียน สามารถจัดทำแหล่งการเรียนรู้เรื่องการบำบัดน้ำเสียให้กับนักเรียนที่สนใจศึกษา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบระบบบำบัดน้ำเสีย
2. เพื่อออกแบบแผนผังระบบการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติในโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ขอบเขตของโครงการ

ศึกษาน้ำเสียบริเวณบ้านพักครู โรงอาหาร และห้องน้ำ ภายในโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ซึ่งวัดค่าดัชนีคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ได้ทั้งสิ้น 11 ดัชนี ได้แก่ ค่า pH, ค่า BOD, ค่าCOD, ค่าของแข็งแขวนลอย, ค่าของแข็งทั้งหมด, ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ค่าของแข็งตกตะกอนได้, ไขมันและน้ำมัน, ค่าซัลไฟด์, เจดาลห์ไนโตรเจน และค่าไนโตรเจนรวม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบแผนผังในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติภายในโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการระบบน้ำเสียภายในสถานศึกษาต่อไป

2. สามารถนำน้ำที่ได้รับการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ในการลดน้ำต้นไม้ภายโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

3. สามารถเป็นแหล่งเรียนรู้ภายในโรงเรียน ภายใต้โครงการแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชฯ

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีธรรมชาติและสำรวจพื้นที่ในการออกแบบแผนผังระบบน้ำเสีย

2. เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพด้วยวิธีการแบบจ้วง ที่จุดน้ำเข้าระบบ ปริมาณ 3 ลิตร จำนวน 1 ตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่า pH, ค่า BOD, ค่าCOD, ค่าของแข็งแขวนลอย, ค่าของแข็งทั้งหมด, ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ค่าของแข็งตกตะกอนได้, ไขมันและน้ำมัน, ค่าซัลไฟด์, เจดาลห์ไนโตรเจน และค่าไนโตรเจนรวม

3. หลังจากเก็บตัวอย่างน้ำเรียบร้อยแล้ว นำไปวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทันที

4. นำผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ และศึกษาพืชที่มีศักยภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดี พร้อมออกแบบแผนผังในการจัดระบบบำบัดน้ำเสียภายในพื้นที่ที่ได้สำรวจไปในข้างต้น

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติร้อยละในการคำนวณหาข้อมูลปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ใช้ในละวันของประชากรโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามจากสูตรค่าเฉลี่ย (Mean)

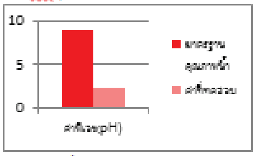
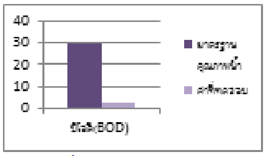
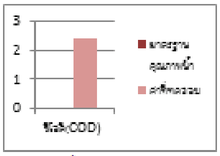
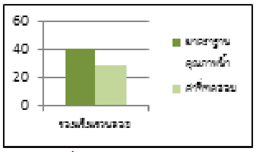
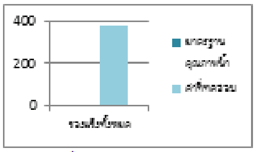
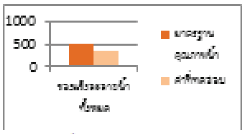
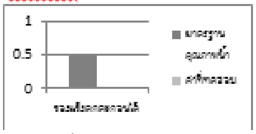
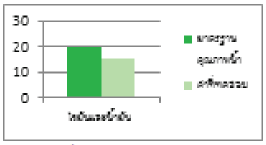
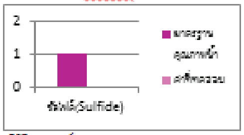
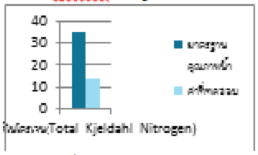
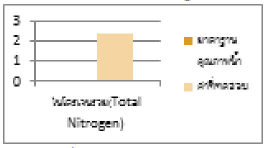
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาปัญหาน้ำเสียภายในโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ตารางที่ 1 ตารางคาดการณ์ปริมาณการใช้น้ำในแต่ละวันของนักเรียนและบุคลากรทั้งหมด จำนวน 824 คน โดยอ้างอิงจากตาราง Typical Westewater Flows From : Institational Sources

จำนวนประชากร	ปริมาณการใช้น้ำ/คน/ลิตร/วัน	ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด (ลิตร)
824 คน	80 ลิตร/คน/วัน	65,920 ลิตร

ตารางที่ 2 กราฟรายงานผลการทดสอบคุณภาพน้ำ

1) พีเอช (pH) = 7.27  *วิธีวิเคราะห์ pH meter **หน่วย -	2) BOD (Biochemical Oxygen Demand) - 15.5  *วิธีวิเคราะห์ 5 – day BOD Test **หน่วย mg/L	3) COD (Chemical Oxygen Demand) - 165  *วิธีวิเคราะห์ Open Reflux method **หน่วย mg/L	4) ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) - 29.0  *วิธีวิเคราะห์ Total SS Dried at 103-105˚C **หน่วย mg/L
5) ของแข็งทั้งหมด (Total solids) - 376.5  *วิธีวิเคราะห์ Total TS Dried at 103-105˚C **หน่วย mg/L	6) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved solids) - 347.5  *วิธีวิเคราะห์Total TDS Dried at 103-105˚C **หน่วย mg/L	7) ของแข็งตกตะกอนได้ (Settleable solids) - ไม่พบ  *วิธีวิเคราะห์ Imhoff cone. **หน่วย mg/L	8) ไขมันและน้ำมัน (Oil and Grease) - 15.7  *วิธีวิเคราะห์ Soxhlet Extraction method **หน่วย mg/L
9) ค่าซัลไฟด์ (Sunfide) - ไม่พบ  *วิธีวิเคราะห์ Iodometric method **หน่วย mg/L	10) เจลดาห์ลไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen) -14.2  *วิธีวิเคราะห์ Kjeldahl method **หน่วย mg/L	11) ไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen) - 14.2  *วิธีวิเคราะห์ นำค่า TKN รวมกับ NO_2 และ NO_3 โดย TKN หาโดย Kjeldahl method NO_2 และ NO_3 หาโดย Hydrazine method **หน่วย mg/L	

1. **ศึกษารูปแบบระบบบำบัดน้ำเสีย**

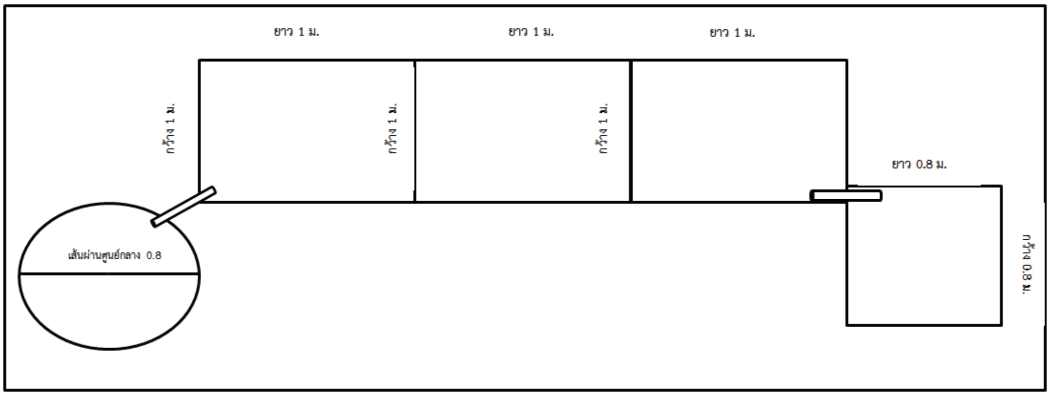
ระบบบ่อบำบัดน้ำเสีย สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบ ดังนี้

ส่วนที่ 1 บ่อตกตะกอน บ่อนี้เป็นการบำบัดเพื่อแยกทราย กรวด และของแข็งขนาดใหญ่ออกจากของเหลวหรือน้ำเสีย

ส่วนที่ 2 เป็นระบบบึงประดิษฐ์แบบ Free Water Surface Wetland (FWS) ประกอบด้วย บ่อ 3 โดยบ่อที่ 1 ปลูกพืชที่มีลักษณะสูงโผล่พ้นน้ำและรากเกาะดินปลูกไว้ได้แก่ธูปฤาษี เพื่อลดค่า pH, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, สามารถนำพืชไปเพิ่มรายได้โดยการทำจักสาน บ่อที่ 2 เป็นบ่อที่มีพืชชนิดลอยอยู่บนผิวน้ำจึงได้ปลูกสาหร่ายหางกระรอก เพื่อกำจัดตะกอนสกปรกในน้ำ บ่อที่ 3 ปลูกพืชที่มีลักษณะสูงโผล่พ้นน้ำและรากเกาะดินปลูกไว้เช่นเดียวกับบ่อที่ 1 จึงได้ปลูกต้นกกกลม เพื่อกรองสารแขวนลอยและลดสารอาหาร(ไนโตรเจน)

ส่วนที่ 3 บ่อปรับสภาพ เป็นบ่อบำบัดแบบใช้อากาศ ทำหน้าที่ปรับแต่งปรับสภาพ เพื่อกำจัดสาหร่าย น้ำที่พ้นบ่อนี้ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ปลอดภัย

2. **แบบแผนผังระบบการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติในโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**



รูปที่ 1 แผนผังระบบการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีธรรมชาติ

อภิปราย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการธรรมชาติของโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม สามารถออกแบบแผนผังเพื่อบำบัดน้ำเสียได้ ซึ่งน้ำที่ได้จากการบำบัดแล้วนั้นสามารถนำมาใช้รดต้นไม้หรือรดสนามหญ้า แทนการใช้น้ำประปาได้ เพราะในน้ำเสียที่บำบัดแล้วนั้นยังมีธาตุไนโตรเจนที่เป็นธาตุอาหารให้แก่พืช ทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ และการใช้น้ำที่บำบัดแล้วยังเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้น้ำประปา อีกทั้งยังประหยัดงบประมาณในเรื่องการใช้จ่าย ซึ่งการออกแบบบ่อบำบัดน้ำเสียนั้นสามารถทำได้ทั้งหมด 3 ส่วนคือส่วนที่ 1 บ่อตกตะกอน บ่อนี้จะเป็นการบำบัดเพื่อแยกกรวด ทราย และของแข็งขนาดใหญ่ออกจากของเหลวหรือน้ำเสีย ส่วนที่ 2 เป็นระบบบึงประดิษฐ์แบบ Free Water Surface Wetland (FWS) ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย 3 บ่อ คือ บ่อที่ 1 จะปลูกพืชที่มีลักษณะสูงพ้นน้ำและรากเกาะดิน ได้แก่ธูปฤาษี เพราะธูปฤาษีสามารถลดค่า pH, ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้ บ่อที่ 2 จะปลูกพืชชนิดที่ลอยอยู่บนผิวน้ำ ได้แก่สาหร่ายหางกระรอก เพราะสาหร่ายหางกระรอกสามารถกำจัดตะกอนสกปรกในน้ำ บ่อที่ 3 จะปลูกพืชลักษณะเดียวกับบ่อที่ 1 โดยปลูกต้น กกกลม เพื่อกรองสารแขวนลอยและลดสารอาหารอีกครั้ง และส่วนที่ 3 บ่อปรับสภาพ จะเป็นบ่อบำบัดแบบใช้อากาศ เพื่อทำหน้าที่ปรับแต่งปรับสภาพ เพื่อกำจัดสาหร่าย จากนั้นน้ำที่พ้นจากบ่อนี้จะสามารถปล่อยลงสู่แหล่งธรรมชาติได้และน้ำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษา พบว่า ผลการตรวจสอบน้ำเสียในโรงเรียนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ และสามารถใช้ธูปฤาษีมาบำบัดน้ำเสียได้ เนื่องจากธูปฤษีมีคุณสมบัติในการช่วยลดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ และยังช่วยลดค่าของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสซึ่งได้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ สุภาพร จันรุ่งเรือง และ พิสบุษ์ จัตวาพรวนิช และใช้สาหร่าย ซึ่งพืชชนิดนี้ มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนสกปรกในน้ำ นอกจากนี้ยังใช้ต้นกกกลม เพราะต้นกกกลมจะเป็นตัวกรองน้ำเสียได้ดังวิจัยของ ภาร์สุระ ลิมปิสวัสดิ์ และสามารถออกแบบเป็นแผนผังได้ดังบทที่ 4 ได้ทั้งหมด 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 บ่อตกตะกอน ส่วนที่ 2 เป็นระบบบึงประดิษฐ์แบบ Free Water Surface Wetland (FWS) และส่วนที่ 3 บ่อปรับสภาพ จากนั้นจึงนำน้ำที่ได้บำบัดแล้วไปใช้รดต้นไม้และสนามหญ้า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยและพัฒนาการเรียนรู้ตามแนวพระราชดำริจากงบประมาณรายได้ประจำปี 2559 มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม โครงการจัดตั้งสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ชั้นปีที่ 5 ดังรายชื่อต่อไปนี้ นางสาวนราพร ดงงาม นางสาวนัทฐา มิ่งทุม นางสาวนิศารัตน์ เจ๊กชำนาญ นางสาวเพ็ญพิชญา จันทร์กระจ่าง นางสาววรรณิกา สีหะวงษ์ นางสาวอารยา ทองเชื้อ และนางสาวอุษา เลื่อมใส ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กลอยกาญจน์ เก่าเนตรสุวรรณ. (2544). **การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดิน** กรุงเทพมหานคร : ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทย.

[2] ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์. (2550). **การศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ชุดแบบจำลองขนาดเล็ก**. วารสารรามคำแหง. ฉบับวิศวกรรมศาสตร์ ฉบับที่ 2.

[3] ภาร์สุระ ลิมปิสวัสดิ์. (2545). **การศึกษาประสิทธิภาพและคุณภาพน้ำใต้ดินในแปลงทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยการใช้หญ้ากรองบริเวณแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี.** เพชรบุรี : วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] ศุวศา กานตวนิชกูร. (2544). **การกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียมูลสุกรโดยบึงประดิษฐ์ ที่มีการไหลใต้ผิวดินในแนวดิ่งและถังกรองทรายที่มีการไหลในแนวนอน.** เชียงใหม่ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[5] ศุวศา กานตวนิชกูร. (2557). **การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์ด้วยระบบบึงประดิษฐ์.** เชียงใหม่ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[6] สุภาพร พงศ์ธรพฤกษ์. (2552). **การศึกษาทดลองบำบัดน้ำเสียในมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์โดยใช้น้ำสกัดชีวภาพ.** กรุงเทพมหานคร : ฐานข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานภาครัฐด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

[7] สกล ขุขันธน. (2553). **การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์.** กรุงเทพมหานคร : ปริญญานิพนธ์, มหาวิทยาลัยศรีนครินวิโรฒ.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล นางสาวมลวิภา เมืองพระฝาง

วัน-เดือน-ปี เกิด 21 มีนาคม 2535

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 142 หมู่ 8 ถนนพหลโยธิน ตำบลเนินเพิ่ม อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65120

ประวัติการศึกษา

2547 ระดับประถมศึกษา โรงเรียนนครไทยวิทยาคม จังหวัดพิษณุโลก

2553 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนครไทย จังหวัดพิษณุโลก

2557 ระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

2559 ระดับปริญญาโท คณะครุศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ปัจจุบัน คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

การศึกษาคุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านตำบลในเมือง อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก

The quality water of the Nan river in the city at NaiMuang subdistrict MuangDistrict, Phitsanulok Province.

ณัฐรินันท์ คัญใหญ่ อรพรรณ ธนะขว้าง[1*] ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ[1,2] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1,2] มลวิภา เมืองพระฝาง[1,2]
เฉลิมชัย สังโยคะ[1,2]

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

[2] โครงการจัดตั้งสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

บทความวิจัยในครั้งนี้ได้นำเสนอผลการศึกษาตรวจสอบและเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านตำบลในเมือง อำเภอเมืองพิษณุโลกจังหวัดพิษณุโลกตามจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่กำหนดไว้ 3 ช่วงช่วงละ 4 กิโลเมตร ได้แก่ พื้นที่บริเวณต้นน้ำ คือ บริเวณสำนักงานประมง (ท่าวังจันทน์) ถึงบริเวณสะพานนเรศวร พื้นที่บริเวณกลางน้ำ คือ พื้นที่บริเวณสะพานพระนเรศวรถึงพื้นที่บริเวณสะพานพระสุพรรณกัลยา และพื้นที่บริเวณปลายน้ำ คือ บริเวณวัดจันทร์ตะวันออกถึง สะพานท่าทอง(ศูนย์ออกกำลังกายพิษณุโลกยูไนเต็ด) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก และทำการกำหนดดัชนีคุณภาพน้ำทั้งด้านกายภาพและด้านเคมีที่สำคัญต่อการบ่งชี้สถานภาพคุณภาพน้ำในการศึกษาจำนวน 5 ดัชนี ได้แก่ สีของน้ำ กลิ่นของน้ำ ความขุ่นของน้ำ อุณหภูมิของน้ำ และค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านพื้นที่ตำบลในเมืองพิษณุโลก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลกลุ่มตัวอย่างน้ำที่ใช้สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ตามวิธีของทาโร่ ยามาเน่ (Yamane) โดยเก็บตัวอย่างน้ำช่วงละ 70 จุดทั้งหมด 3 ช่วง ในแต่ละช่วงได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ด้านซึ่งประกอบด้วยด้านคุณภาพของน้ำในแม่น้ำน่านแต่ละช่วง และด้านการเปรียบเทียบความแตกต่างคุณภาพน้ำทั้งพื้นที่บริเวณต้นน้ำ บริเวณกลางน้ำ และบริเวณปลายน้ำ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวนทางเดียว (One–Way ANOVA)

จากผลการศึกษาพบว่าคุณภาพของน้ำในแม่น้ำน่านทั้งพื้นที่บริเวณต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำที่ไหลผ่านตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก พบว่า สี กลิ่น ค่าความขุ่นของน้ำทั้ง3ช่วงมีคุณภาพอยู่ในระดับปานกลาง อุณหภูมิของน้ำทั้ง 3 ช่วงมีคุณภาพอยู่ในระดับดี และค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในพื้นที่บริเวณต้นน้ำและปลายน้ำมีคุณภาพน้ำอยู่ในระดับแย่ ส่วนพื้นที่บริเวณกลางน้ำมีคุณภาพน้ำอยู่ในระดับแย่มาก

คำสำคัญ: น้ำ, ความขุ่น, อุณหภูมิ, สี, กลิ่น

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความจำเป็นต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ สิ่งมีชีวิตต่างๆ และเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจพื้นฐาน เช่น การประมง การเกษตร การคมนาคม การอุตสาหกรรม และพลังงาน ตลอดจนเป็นแหล่งรองรับของเสียต่างๆจากกิจกรรมของมนุษย์ในปัจจุบัน ประชากรได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการนำเอาทรัพยากรต่างๆมาใช้อย่างมากทำให้เพิ่มผลผลิตและการจัดการ สาธารณูปโภคต่างๆ ตลอดถึงพลังงาน ทำให้ระบบวัฏจักรของน้ำเสียสมดุลธรรมชาติมากขึ้น ซึ่งคุณภาพน้ำจะเป็นตัวบ่งชี้พฤติกรรมการใช้ชีวิตของชุมชนบริเวณแหล่งน้ำได้ [1]

แม่น้ำน่าน มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาในจังหวัดน่าน ไหลผ่านอุตรดิตถ์ พิษณุโลก พิจิตร ไปบรรจบกันกับแม่น้ำปิง วัง ยม น่าน บริเวณปากน้ำโพ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ มีความยาวประมาณ 721 กิโลเมตร เป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นแหล่งน้ำที่มีความสำคัญทั้งด้านอุปโภค บริโภค ของประชาชนทั่วไปตลอดลำน้ำปัจจุบันได้มีการขยายของชุมชน อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม สองฝั่งลำน้ำน่าน ก่อให้การระบายน้ำเสียจากชุมชนการปศุสัตว์ อุตสาหกรรม เกษตรกรรม รวมถึงชะล้างหน้าดิน สารเคมี และโลหะบางอย่างลงสู่แม่น้ำน่าน ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่ถูกหลักสุขาภิบาลประชาชนทิ้งขยะมูลฝอยลงสู่แม่น้ำน่าน ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ส่งผลให้ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมระบบนิเวศน์ สุขภาพอนามัยของประชาชนมีปัญหาในอนาคตได้ กิจกรรมหลายอย่างของมนุษย์มีความจำเป็นต้องใช้น้ำในปริมาณและคุณภาพที่เหมาสมทั้งทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ ถ้าหากน้ำมีปริมาณและคุณภาพไม่เหมาะสมแล้ว อาจส่งผลกระทบต่อการนำไปใช้ประโยชน์ [2]

เนื่องจากรายวิชาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการวิจัย ได้มอบหมายกิจกรรมให้นักศึกษาคณะครุศาสตร์สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับปัญหาทางสิ่งแวดล้อมเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามส่วนวังจันทน์เป็นสถาบันการศึกษาในระดับอุดมศึกษาที่สำคัญสถาบันหนึ่งในเขตภาคเหนือตอนล่าง ซึ่งตั้งอยู่ใกล้บริเวณริมแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลกได้พบว่าปัจจุบันจังหวัดพิษณุโลกมีการเจริญเติบโตและขยายตัวทางเศรษฐกิจค่อนข้างมาก จึงมีประชาชนพื้นที่ข้างเคียงจำนวนไม่น้อยอพยพเข้ามาทำงานส่งผลให้จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายด้านทั้งการใช้ทรัพยากรและกิจกรรมในการดำเนินชีวิต [3] เมื่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้ความต้องการน้ำของมนุษย์ย่อมเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งจะต้องเป็นน้ำที่มีคุณภาพดีและมีปริมาณที่เพียงพอ ในขณะเดียวกันก็มีการระบายของเสียและสิ่งปฏิกูลลงสู่แหล่งน้ำมีจำนวนเพิ่มขึ้นด้วยจึงส่งผลให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำที่มีคุณภาพดีและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ การดำรงชีวิตและคุณภาพชีวิตของมนุษย์ [2] จากอดีตจนถึงปัจจุบันของเสียและน้ำทิ้งนับวันจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และทำให้คุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านมีสมบัติทางกายภาพและเคมีเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทำให้แม่น้ำน่านเกิดความสกปรกจนทำให้การใช้ประโยชน์จากแหล่งธรรมชาติเปลี่ยนแปลงไป

ด้วยเหตุนี้คณะผู้จัดทำจึงศึกษาการตรวจสอบคุณภาพน้ำในแม่น้ำน่านในตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก เพื่อให้ทราบถึงระดับของคุณภาพน้ำในแม่น้ำ และนำผลที่ได้จากการวิจัยไปใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนากิจกรรมการเรียนการสอนของนักศึกษาเพื่อเสริมสร้างความรู้ และพัฒนาความตระหนักการมีส่วนร่วมในการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษของแม่น้ำน่าน เพื่อให้แม่น้ำน่านที่ไหลผ่านตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลกคงอยู่เป็นแม่น้ำสายสำคัญที่หล่อเลี้ยงประชากรบริเวณสองฝั่งแม่น้ำให้สามารถดำรงชีวิตอย่างมีคุณภาพตลอดไป

วิธีการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษารวบรวมข้อมูล

การศึกษาการตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยกำหนดพื้นที่สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 3 จุด ซึ่งเป็นการเก็บในระยะกึ่งกลางแม่น้ำน่านที่สามารถบอกคุณภาพของน้ำที่ไหลผ่านตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำที่ในบริเวณพื้นที่ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ ซึ่งสามารถบอกคุณภาพของน้ำในแต่ละช่วงว่า มีความเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใดโดยเฉพาะพื้นที่บริเวณกลางเมืองซึ่งเป็นแหล่งรองรับของเสียจากชุมชน อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม โดยระยะห่างในแต่ละช่วงจะมีช่วงความยาว 4 กิโลเมตร จากการเก็บตัวอย่างจะใช้ตารางกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างของทาโร ยามาเน่ (Yamane)

ตอนที่ 2 วางแผนการเก็บข้อมูล

เก็บตัวอย่างเพื่อตรวจวิเคราะห์หาค่าคุณภาพในน้ำดังบริเวณต่อไปนี้

1. พื้นที่บริเวณต้นน้ำ คือ บริเวณสำนักงานประมง (ท่าวังจันทร์) ถึง บริเวณสะพานนเรศวร
2. พื้นที่บริเวณกลางน้ำ คือ บริเวณสะพานพระนเรศวร ถึงบริเวณสะพานพระสุพรรณกัลยา
3. พื้นที่บริเวณปลายน้ำ คือ บริเวณวัดจันทร์ตะวันออก ถึงสะพานท่าทอง (ศูนย์ออกกำลังกายพิษณุโลกยูไนเต็ด)

รวมระยะทางที่ศึกษา12 กิโลเมตร มีระยะห่างช่วงละ 4 กิโลเมตร ซึ่งจะทำการเก็บช่วงละ 70 จุด มีวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้ถังตักน้ำลึกลงไปในน้ำประมาณ30เซนติเมตรจากนั้นแบ่งน้ำที่ตักใส่บีกเกอร์เพื่อสังเกตสี ส่วนการวิเคราะห์กลิ่นของน้ำนั้นสามารถทำได้โดยการใช้มือโบกกลิ่นให้โชยเข้าจมูก การวิเคราะห์ค่าความขุ่นทำได้โดยการจุ่มจานวัดความโปร่งใส (Secchi Disk) ลงในแม่น้ำโดยกำหนดตำแหน่งความลึกไว้ที่เชือกจากนั้นนำตลับเมตรวัดความลึกจากจานวัดความโปร่งใสจนถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้บนเชือก ส่วนการวิเคราะห์อุณหภูมิของน้ำจะทำได้โดยจุ่มเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะลงไปในน้ำอย่างรวดเร็วจากนั้นอ่านค่าอุณหภูมิเมื่อของเหลวหยุดนิ่งคงที่ สำหรับการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำสามารถทำได้โดยจุ่มกระดาษอินดิเคเตอร์ลงในบีกเกอร์ประมาณ 1 นาทีจากนั้นนำกระดาษอินดิเคเตอร์มาเปรียบเทียบกับตารางเทียบค่าความเป็นกรดด่างเพื่อดูค่าความเป็นกรด-ด่าง สำหรับวิธีการแปลผลการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำในด้านสี กลิ่น ค่าความขุ่น อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีรายละเอียดในตารางที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 1 ตารางแสดงวิธีการแปลผลการวิเคราะห์สีของน้ำ [4]

สีที่ปรากฏ	สาเหตุที่ทำให้เกิด	ระดับคุรภาพน้ำ	คะแนนระดับคุณภาพน้ำ
ไม่มีสี	ยังไม่ควรสรุปว่าน้ำสะอาดเพราะอาจมีสิ่งเจือปนอยู่	ดี	2.36 - 3
สีเขียว	แพลงค์ตอนพืช		
สีเหลืองหรือสีน้ำตาลหรือสีชาใส	มีซากพืชย่อยสลาย	ปานกลาง	1.68 – 2.35
สีแดงหรือสีเหลืองหรือสีมะฮอกกานี	เป็นสีของสาหร่ายอีกจำพวกหนึ่ง		
สีน้ำตาลขุ่นหรือสีแดง	มีตะกอนดินเจือปนอาจเกิดจากการกัดเซาะหน้าดิน หรือชายฝั่ง		
สีรุ้ง	มีคราบน้ำมันที่ผิวหน้า	เสีย	1.00 – 1.67
สีเทาหรือสีดำ	น้ำเน่าจากสิ่งปฏิกูล หรืออาจมีแร่ธาตุจากธรรมชาติ		

ตารางที่ 2 ตารางแสดงวิธีการแปลผลการวิเคราะห์กลิ่นของน้ำ [4]

ประเภทของกลิ่น	ที่มาของกลิ่น	ระดับคุณภาพน้ำ	คะแนนระดับคุณภาพน้ำ
กลิ่นหอม	กลิ่นผลไม้ กลิ่นกระเทียม กลิ่นน้ำหอมต่างๆ	ดีมาก	4.21 – 5.00
กลิ่นต้นไม้	กลิ่นสาหร่าย กลิ่นหญ้า กลิ่นต้นไม้ กลิ่นแพลงก์ตอนต่างๆ	ดี	3.41 – 4.20
กลิ่นดินและเชื้อรา	กลิ่นดิน กลิ่นโคลน กลิ่นเชื้อราต่างๆ	ปานกลาง	2.61 – 3.40
กลิ่นคาว	กลิ่นคาวปลา กลิ่นน้ำมันตับปลา กลิ่นหอย	แย่	1.81– 2.60
กลิ่นเน่า	กลิ่นของสดเน่า กลิ่นขยะ กลิ่นน้ำทิ้ง กลิ่นมูลสัตว์	แย่มาก	1.00 - 1.80

ตารางที่ 3 ตารางแสดงวิธีการแปลผลการวิเคราะห์ค่าความขุ่นของน้ำ [4]

ค่าความขุ่น (FNU)	**ระดับความขุ่น**	**ระดับคุณภาพน้ำ**
25 ≤	ใส	ดี
25-100	ขุ่นปานกลาง	ปานกลาง
100 >	ขุ่นมาก	แย่
20,000 >	ขุ่นที่เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ	แย่มาก

ตารางที่ 4 ตารางแสดงวิธีการแปลผลการวิเคราะห์อุณหภูมิของน้ำ [4]

อุณหภูมิ (องศา)	**ระดับคุณภาพน้ำ**
28 - 32	ดี
33 - 36	ปานกลาง
37 - 40	แย่

ตารางที่ 5 ตารางแสดงวิธีการแปลผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ [5]

ความเป็นกรด-ด่าง	**ระดับคุณภาพน้ำ**
5 – 5.8	ดีมาก
5.9 – 6.6	ดี
6.7 – 7.4	ปานกลาง
7.5 – 8.2	แย่
8.3 – 9.0	แย่มาก

ตอนที่ 3 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำตามวิธีการวิเคราะห์ของค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินตามประกาศ คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่8 (พ.ศ.2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริม และกรมควบคุมมลพิษ(พ.ศ.2547) วิธีการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางแสดงดัชนีชี้วัดที่ทำการศึกษาและวิธีการวิเคราะห์

ช่วงของแม่น้ำ	**ค่าเฉลี่ยสี**	**คุณภาพน้ำ**
พื้นที่บริเวณต้นน้ำ	2.03	ปานกลาง
พื้นที่บริเวณกลางน้ำ	2.00	ปานกลาง
พื้นที่บริเวณปลายน้ำ	2.00	ปานกลาง

2. เปรียบเทียบ คุณภาพน้ำของ 3 บริเวณด้วยการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้สถิติ Analysis of Variance: ANOVA และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของดัชนีชี้วัดคุณภาพกับเกณฑ์มาตรฐานโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้
   1) สถิติ Analysis of Variance: ANOVA ใช้เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำในด้านอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง ค่าความโปร่งแสง และกลิ่นของตัวอย่างน้ำในแต่ละช่วงที่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
   2) ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean) ใช้ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของดัชนีชี้วัดคุณภาพกับเกณฑ์มาตรฐานเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำกับเกณฑ์มาตรฐานว่าคุณภาพน้ำอยู่ในระดับใด คำนวณได้จากสมการ [6]

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (1)$$

เมื่อ $\overline{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมดในกลุ่ม

N คือ จำนวนคะแนนในกลุ่ม

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำน่าน จำนวน 5 ตัวชี้วัด มีรายละเอียดในตารางที่ 7, 8, 9, 10 และ 11 ตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 7 ตารางแสดงดัชนีชี้วัดคุณภาพแม่น้ำด้านสีเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

ช่วงของแม่น้ำ	ค่าเฉลี่ยสี	คุณภาพน้ำ
บริเวณต้นน้ำ	2.03	ปานกลาง
บริเวณกลางน้ำ	2.00	ปานกลาง
บริเวณปลายน้ำ	2.00	ปานกลาง

จากผลการวิจัย พบว่า สีของน้ำบริเวณพื้นที่ต้นน้ำมีค่าเฉลี่ยสีเท่ากับ 2.03 บริเวณพื้นที่กลางน้ำมีค่าเท่ากับ 2.00 และบริเวณพื้นที่ปลายน้ำมีค่าเท่ากับ 2.00 จึงสรุปได้ว่าคุณภาพน้ำทั้ง 3 ช่วงมีคุณภาพสีของน้ำอยู่ในระดับปานกลางทั้งนี้อาจเนื่องมาจากช่วงที่ทำการศึกษาตรวจสอบคุณภาพน้ำเป็นช่วงที่มีฝนตกชุกทำให้เกิดการชะล้างหน้าดิน และไหลลงสู่แม่น้ำจึงทำให้แม่น้ำมีสีน้ำตาลขุ่น และเนื่องจากน้ำในแม่น้ำมีการไหลตลอดเวลาจึงทำให้สีของน้ำไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละจุด

ตารางที่ 8 ตารางแสดงดัชนีชี้วัดคุณภาพแม่น้ำด้านกลิ่นเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

ช่วงของแม่น้ำ	ค่าเฉลี่ยกลิ่น	คุณภาพน้ำ
บริเวณต้นน้ำ	2.80	ปานกลาง
บริเวณกลางน้ำ	2.51	ปานกลาง
บริเวณปลายน้ำ	2.57	ปานกลาง

จากผลการวิจัย พบว่า กลิ่นของน้ำในแม่น้ำน่านในบริเวณพื้นที่ต้นน้ำกับบริเวณกลางน้ำมีกลิ่นแตกต่างกัน โดยพื้นที่บริเวณต้นน้ำมีคุณภาพกลิ่นดีกว่าบริเวณกลาง เนื่องจากพื้นที่บริเวณกลางน้ำมีการทิ้งขยะและสิ่งปฏิกูลจากแหล่งชุมชน ได้แก่ อาคาร บ้านเรือน สำนักงาน อาคารพาณิชย์ โรงแรม ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการซักล้างและจะมีในปริมาณมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับฐานะและอุปนิสัยของผู้คน โดยน้ำที่เกิดจากการซักล้างมักมีผงซักฟอกปะปนอยู่ในปริมาณมากซึ่งในผงซักฟอกมีสารฟอสเฟตเป็นส่วนผสมอยู่ ส่วนแหล่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรมตั้งแต่ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ กระบวนการผลิต จนถึงการทำความสะอาดโรงงานรวมทั้งน้ำเสียที่ยังไม่ได้รับการบำบัดหรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วแต่ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่มีสารอินทรีย์พวกโปรตีน คาร์โบไฮเดรตปะปนอยู่ในปริมาณมาก เมื่อสารอินทรีย์เหล่านั้นถูกปล่อยออกมากับน้ำทิ้งนี้ก็จะถูกย่อยสลายทำให้เกิดผลเช่นเดียวกับน้ำทิ้งที่ถูกปล่อยจากชุมชน นอกจากนี้อาจมีสารพิษชนิดอื่นปะปนอยู่ด้วย ขึ้นอยู่กับประเภทและขนาดของโรงงาน (Pollution Thai)

ตารางที่ 9 ตารางแสดงดัชนีชี้วัดคุณภาพแม่น้ำด้านค่าความขุ่นของน้ำ

ช่วงของแม่น้ำ	ค่าเฉลี่ยความขุ่นของน้ำ	คุณภาพน้ำ
บริเวณต้นน้ำ	17.50	ดี
บริเวณกลางน้ำ	15.30	ดี
บริเวณปลายน้ำ	16.33	ดี

จากผลการวิจัย พบว่าค่าความขุ่นของแม่น้ำน่านในพื้นที่บริเวณต้นน้ำกับกลางน้ำ พื้นที่บริเวณต้นน้ำกับปลายน้ำ และพื้นที่บริเวณกลางน้ำกับปลายน้ำมีค่าดัชนีชี้วัดคุณภาพแม่น้ำน่านด้านค่าความขุ่นแตกต่างกัน โดยพื้นที่บริเวณต้นน้ำมีค่าความขุ่นมากกว่าบริเวณกลางน้ำ และบริเวณพื้นที่ต้นน้ำมีค่าความขุ่นมากกว่าบริเวณปลาย และบริเวณพื้นที่ปลายน้ำมีค่าความขุ่นมากกว่าบริเวณกลางน้ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากช่วงที่ทำการศึกษาตรวจสอบคุณภาพน้ำเป็นช่วงที่มีฝนตกชุกทำให้เกิดการชะล้างหน้าดินและไหลลงสู่แม่น้ำจึงทำให้แม่น้ำมีสีน้ำตาลขุ่นในบริเวณพื้นที่ต้นน้ำ แต่บริเวณกลางน้ำมีการปล่อยน้ำออกจากท่อระบายน้ำเป็นจำนวนมากซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำประปาที่มีส่วนผสมของสารส้มเหลวที่นำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมทำให้สารแขวนลอยขนาดเล็กรวมตัวเป็นอนุภาคตกตะกอนทำให้ปริมาณสารแขวนลอยลดน้อยลง นอกจากการตกตะกอนสารแขวนลอยแล้ว สารส้มยังสามารถนำมาใช้ในการตกตะกอนของสารโลหะหนักได้อีกด้วย [7]

ตารางที่ 10 ตารางแสดงดัชนีชี้วัดคุณภาพแม่น้ำด้านอุณหภูมิเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

ช่วงของแม่น้ำ	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ	คุณภาพน้ำ
บริเวณต้นน้ำ	30.66	ดี
บริเวณกลางน้ำ	30.99	ดี
บริเวณปลายน้ำ	30.69	ดี

จากผลการวิจัย พบว่า ค่าอุณหภูมิของพื้นที่บริเวณต้นน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.66°C พื้นที่บริเวณกลางน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.99°C และพื้นที่บริเวณปลายน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.69°C ซึ่งค่าอุณหภูมิของแม่น้ำในแต่ละช่วงจะมีคุณภาพดีซึ่งจะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิแต่ล่ะช่วงจะไม่มีความแตกต่างกันกันมาก ซึ่งค่าอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติจะแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงจากดวงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก และปริมาณสารแขวนลอย หรือความขุ่นของแหล่งน้ำด้วย ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะแปรผกผันกับอุณหภูมิของน้ำเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะลดลง [8]

ตารางที่ 11 ตารางแสดงดัชนีชี้วัดคุณภาพแม่น้ำด้านความเป็นกรด-ด่างเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน

ช่วงของแม่น้ำ	ค่าเฉลี่ยค่าความเป็นกรด-ด่าง	คุณภาพน้ำ
บริเวณต้นน้ำ	8.21	แย่
บริเวณกลางน้ำ	9.24	แย่มาก
บริเวณปลายน้ำ	7.64	แย่

จากผลการวิจัย พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างของแม่น้ำน่านพื้นที่บริเวณต้นน้ำกับกลางน้ำ และพื้นที่บริเวณกลางน้ำกับปลายน้ำมีความแตกต่างกัน โดยพื้นที่บริเวณต้นน้ำมีคุณภาพน้ำดีกว่าบริเวณกลางน้ำ และพื้นที่บริเวณกลางน้ำมีคุณภาพน้ำแย่กว่าบริเวณปลายน้ำ จากผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งสามช่วงอยู่ในเกณฑ์แย่มาก ซึ่งจะเห็นได้จากพื้นที่บริเวณต้นน้ำถึงบริเวณกลางน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นทั้งนี้อาจเนื่องมาจากท่อระบายน้ำที่มีมากในบริเวณชุมชนเมืองซึ่งน้ำที่ไหลมาจากท่อระบายน้ำประกอบด้วยน้ำเสียที่มีส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดซึ่งประกอบด้วยสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น โซดาไฟ (sodium hydroxide) โซดาโปแตช (potassium hydroxide) แอมโมเนีย หรือไตรเอทานอลามีน (Triethanolamine) [9] และจะค่อยๆลดลงเมื่อเข้าสู่ปลายน้ำทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเจือจางของน้ำจากท่อระบายน้ำและน้ำในแม่น้ำทำให้ความเป็นด่างถูกเจือจางลงจนกระทั่งมีค่าเป็นกลาง

สรุปผลการวิจัย

จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำโดยใช้ดัชนีชี้วัดทางกายภาพโดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน พบว่าสีของน้ำในพื้นที่บริเวณต้นน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.03 พื้นที่บริเวณกลางน้ำและปลายน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าค่าสีของน้ำทั้ง3ช่วงมีคุณภาพอยู่ในระดับปานกลาง

กลิ่นของน้ำในพื้นที่บริเวณต้นน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.80 พื้นที่บริเวณกลางน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 และบริเวณปลายน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.57 จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าค่ากลิ่นของน้ำทั้ง3ช่วงมีคุณภาพอยู่ในระดับปานกลาง

ค่าความขุ่นของน้ำในพื้นที่บริเวณพื้นที่ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ มีค่าดัชนีชี้วัดคุณภาพแม่น้ำน่านด้านค่าความขุ่นแตกต่างกัน โดยพื้นที่บริเวณต้นน้ำมีค่าความขุ่นเฉลี่ยเท่ากับ 17.50 พื้นที่บริเวณกลางน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.30 และบริเวณปลายน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.33 จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าค่าความขุ่นของน้ำทั้ง3ช่วงมีคุณภาพอยู่ในระดับปานกลาง

ค่าอุณหภูมิของน้ำในพื้นที่บริเวณต้นน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.66°C พื้นที่บริเวณกลางน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.99°C และบริเวณปลายน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.69°C จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิของน้ำทั้ง3ช่วงมีคุณภาพอยู่ในระดับดี

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในพื้นที่บริเวณต้นน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.21 พื้นที่บริเวณกลางน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.24 และบริเวณปลายน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.64 จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในพื้นที่บริเวณต้นน้ำและปลายน้ำมีคุณภาพน้ำอยู่ในระดับแย่ ส่วนพื้นที่บริเวณกลางน้ำมีคุณภาพน้ำอยู่ในระดับแย่มาก

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยและพัฒนาการเรียนรู้ตามแนวพระราชดำริ ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม โครงการจัดตั้งสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และ นักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ชั้นปีที่ 5 ดังรายชื่อต่อไปนี้ นางสาวกิตติยา ทาริยะอินทร์ นางสาวรัตนาภรณ์ พิมพา นางสาววัลลภา พงษ์สกุล นางสาววิภารัตน์ อินสอน นายกฤษดา จาดพุ่ม นายธรรมรัตน์ ธรรมชัย นายสร้างศิลป์ คุณทะวงษ์ ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ประกรณ์ เลิศสุวรรณไพศาล. (2545). **ประสิทธิภาพการบ้าบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์โดยใช้พืชท้องถิ่น.** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม : มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก.

[2] ปรารถนา ธีระกุล, จำลอง ใจอิ่มศิล, และวรรณภา อิ่มใจ. (2546). **การศึกษาเชิงวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อประเมินสถานภาพของแม่น้ำน่าน ปี พ.ศ. 2546.** พิษณุโลก : สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 3 (พิษณุโลก).

[3] วรางค์ลักษณ์ ซ่อนกลิ่น, ชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง. (2542). **การศึกษาประเมินผลกระทบเบื้องต้นของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์พื้นที่ต่อคุณภาพน้ำในลำน้ำน่านที่ไหลผ่านจังหวัดพิษณุโลก.** พิษณุโลก : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[4] กัลยา ศรีสุวรรณ. (2543). **วิศวกรรมการบำบัดน้ำเสียและมลพิษทางอากาศ**. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.

[5] กรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2547). **คู่มือการดำเนินการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินส่วนแหล่งน้ำจืด สำนักจัดการคุณภาพน้ำ**. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม : สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ.

[6] บุญชม ศรีสะอาด. (2543). **การวิจัยเบื้องต้นฉบับปรับปรุงใหม่**. ภาควิชาพื้นฐานการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ มหาสารคาม.

[7] สยามเคมี.คอม. (2558). **แหล่งความรู้สารเคมี และผลิตภัณฑ์เคมี.** [ออนไลน์] ได้จาก : http://www.siamchemi.com

[8] ไมตรี ดวงสวัสดิ์ จารุวรรณสมศิริ. (2560). **คุณภาพน้ำของลุ่มน้ำ.** [ออนไลน์] ได้จาก : http://www.dnp.go.th/Research/watershade/qullity.html

[9] David G. U. (2013).**How to Formulate Industrial Detergent.** Boston: McGrawHill

การนำเสนอผลงานวิจัย**ภาคบรรยาย**

Oral Presentations

Session

นวัตกรรมพลังงานทดแทน

Heat Transfer Characteristics on Waste Heat Recovery of Combustion Stack Gas with Deionized Water in Helical Coiled Heat Exchanger

Rithy Kong[1], Thoranis Deethayat[2*], Tanongkiat Kiatsiriroat[2]

[1]Energy Engineering Program, Faculty of Engineering and Graduate School, Chiang Mai University

[2]Thermal System Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

Abstract

Helical coiled heat exchanger with deionized water was considered to recover waste heat of combustion stack gas. Four helical coils with various sizes were tested and found out the overall heat transfer coefficient including the heat exchanger effectiveness, ε, for each single unit at various operating conditions. The total heat exchanger effectiveness for each connecting in series was evaluated and presented as a set of $\varepsilon^* - \mathrm{NTU}^*_{\mathrm{min}}$ performance curves. The coil with bigger tube diameter seemed to have higher value of overall heat transfer coefficient when the water Reynolds number was over 3,500 and its performance was poorer at low water Reynolds number. The coil pitch did not give strong effect on the heat transfer characteristics while the smaller coil diameter gave better performance significantly for the low water side Reynolds number. From the overall effectiveness of heat exchanger combination in series, the hot water temperature at the outlet could also be determined from the performance curve.

Keywords: Waste Heat Recovery, Helical Coil, Deionized Water, Heat Exchanger Effectiveness.

*Corresponding author: Tel.: 089-433-9130 E-mail address: thoranisdee@gmail.com

Introduction

Waste heat recovery is a technique to convert waste heat at low temperature (<230°C), medium temperature (230-650°C), and high temperature (>650°C), into electrical power or useful heat in other thermal processes [1]. In case of small boiler or incinerator, to recover waste heat from stack, helical coiled heat exchanger seems to be appropriate due to its simple configuration and compactness (large surface per unit volume) [2], low gas side pressure drop and it provides better inside heat transfer coefficient than the straight tube because a secondary vortex flow is generated at the inside coil surface which reduces the thermal resistance [3].

There are some studies on the heat transfer of fluid flow in a helical coil. Janssen and Hoogendoorn [4] showed heat transfer correlation of a fully developed laminar convection heat transfer for water/glycerol mixture flowing in helical coiled tubes under the condition of constant wall heat flux with various ratios of tube diameter to coil diameter and Reynolds numbers. Schmidt [5,6] also gave correlations of average Nusselt number with specific ranges of Reynolds number, Prandtl number and coil characteristics for three working fluids which were oil, water, and air flowing in helical coil under constant wall heat flux boundary condition. Xin and Ebadian [7] gave a correlation showing the effects of Prandtl number and different geometric parameters such as the number of coil turns on local and average convective heat transfer coefficients for air, water, and ethylene glycol flowing in helical coils under the constant wall heat flux condition.

However, most of the studies were carried out with the electrical heat source and very few information on the study of heat exchanger effectiveness between the waste hot gas and the useful fluid was found. In the present study, various vertical helical coiled heat exchanger designs with deionized water flowing insider were installed in a stack to extract heat from hot combustion gas from a LPG gas burner. The overall heat transfer coefficients were determined by the countercurrent flow LMTD method including the heat exchanger effectiveness. In addition, the overall effectiveness of heat exchanger connecting in series and the generated outlet hot water temperature were presented.

Experimental Set-up

Four copper helical coils of which the description was shown in Figure 1 and the details in Table 1, were tested. Each unit was installed in a stack having a combustion gas from a LPG burner as shown in Figure 2. A set of calibrated nine K-type thermocouples was installed to measure temperatures at three cross-sectional levels (Figure 1), bottom, middle, and top of the helical coil. Each sectional level has three thermocouples for measuring the temperature of hot gas in the stack (T_o), the surface coil temperature (T_s) and the temperature of water inside the coil (T_i). The stack was well-insulated.

Table 1 Description of experimental sections.

Items	Characteristics						
Coil	di (m)	do (m)	D (m)	p/di -	N -	L (m)	H (m)
1	0.014675	0.015875	0.245	2	14.5	11.67	0.65
2	0.0115	0.0127	0.245	2.5	14	10.5	0.63
3	0.0115	0.0127	0.245	4	14.5	11.02	0.82
4	0.0115	0.0127	0.19	4	14.5	9.38	0.82

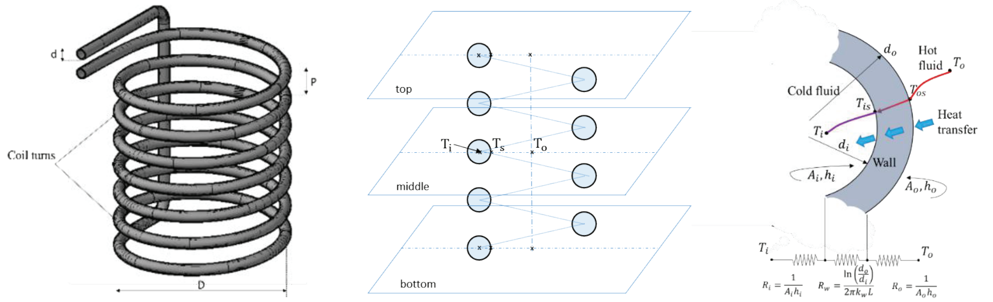


Figure 1 Helical coil schematic sketch and heat transfer resistance.

The hot gas temperature was controlled to be around 200°C of which the gas velocity in the stack was 0.66 m/s. The volume flow rate of water varied in a range of 0.25-2 l/min corresponding to the Reynolds number of 500-7,000.

The heat transfer rate was determined from

$$\dot{Q} = \dot{m}.\ c_p.(T_{wo} - T_{wi}). \quad (1)$$

$$\dot{Q} = (UA)_s.\Delta T_{Lm}. \quad (2)$$

Where $(UA)_s$ is the total overall heat transfer coefficient and ΔT_{Lm} represents the overall log-mean temperature difference between two fluids.

The accuracies of the experimental instrumentation were described in Table 2.

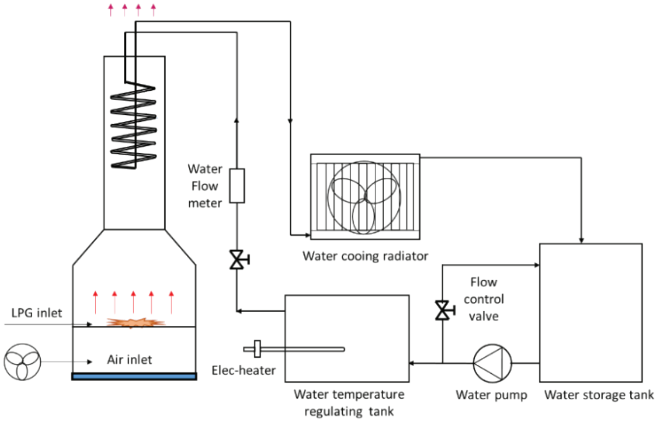


Figure 2. Experimental setup.

Table 2. Accuracy of the experimental measuring instruments.

Tools	Characteristics	Accuracy
Data-logger S220-T8	Measuring the temperatures of fluids, coil surface, and ambient temperature.	±0.05°C
Thermocouple type K	Range: −200 to 350 °C	±0.5°C
Flow meter	Measure water flow rate Range: 0-2 l/min	±1%
Water pump	QPM60 pompa, SUMOTO Measuring water flow rate Range: 5-40 l/min	±2%
Air blower	Model: SB-30 Blowing air into system to generate hot gas Range: 1-7 m^3/min	±5%

The uncertainties of heat transfer rate $\delta\dot{Q}_{uncert}$ and overall convective heat transfer coefficient $U_{s,uncert}$ could be found from uncertainty standard equation as

$$\delta\dot{Q}_{uncert} = \sqrt{\left(\frac{\partial\dot{Q}}{\partial\dot{m}}.\delta\dot{m}\right)^2 + \left(\frac{\partial\dot{Q}}{\partial C_p}.\delta C_p\right)^2 + \left(\frac{\partial\dot{Q}}{\partial\Delta T}.\delta\Delta T\right)^2}. \quad (3)$$

$$\delta U_{uncert} = \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial\dot{Q}}.\delta\dot{Q}\right)^2 + \left(\frac{\partial\dot{Q}}{\partial A_s}.\delta A_s\right)^2 + \left(\frac{\partial\dot{Q}}{\partial\Delta T_{Lm}}.\delta\Delta T_{Lm}\right)^2}. \quad (4)$$

The results of the uncertainties were calculated and listed in Table 2. The maximum values were around 10 %.

Table 2. Uncertainty of important parameters, heat transfer rate and overall heat transfer coefficient.

δA_s (m^2)	$\delta\rho$ (kg/m^3)	δC_p ($J/kg.k$)	$\delta\dot{V}$ (m^3/s)	$\delta\dot{m}$ (kg/s)	δT (°C)	$\delta\Delta T$ (°C)	$\delta\Delta T_{Lm}$ (°C)	**$\delta\dot{Q}$ (W)**	**δU (W/m2.K)**
0.017 (3.8%)	5 (0.51%)	1 (0.024%)	1.67e-7 (1%)	1.84e-4 (0.99%)	0.7 (1.56%)	0.99 (5.8%)	1.06 (0.83%)	**88.17 (10.82)**	**1.59 (9.96%)**

Heat exchanger effectiveness

From the experimental data, the heat exchanger effectiveness of the heat exchange between the combustion gas and the water in the helical coiled heat exchanger could be estimated by

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{(\dot{m}C_p)_{min}.(T_{gi}-T_{wi})}. \quad (5)$$

When the heat exchanger units were connected in series for countercurrent flow arrangement as shown in Figure 3, the overall heat exchanger effectiveness, $\boldsymbol{\varepsilon}^*$, could be calculated by [8].

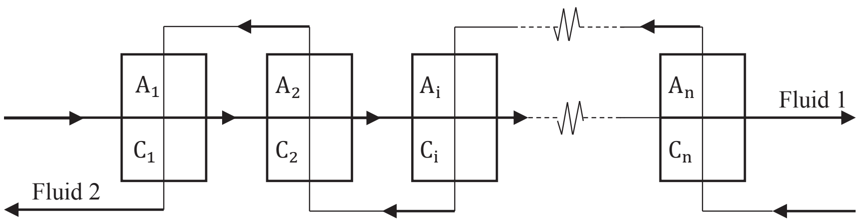


Figure 3. Heat exchanger combination in series with countercurrent flow of fluids.

$$\varepsilon^* = \frac{\prod_{i=1}^{n}(1-\varepsilon_{Ai}.C_{Ai})-\prod_{i=1}^{n}(1-\varepsilon_{A_i})}{\prod_{i=1}^{n}(1-\varepsilon_{Ai}.C_{Ai})-C_{Ai}\prod_{i=1}^{n}(1-\varepsilon_{A_i})}. \quad (6)$$

$$C^* = C_{A_i}, i = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$NTU^*_{min} = \sum_{i=1}^{n} NTU_{min,A_i}. \quad (8)$$

If each unit has the same value of heat exchanger effectiveness ($\varepsilon_{A_i} = \varepsilon, \quad i = 1,2, \dots, n$), Eq. (6) could be rewritten as:

$$\varepsilon^* = \frac{[(1-\varepsilon C^*)/(1-\varepsilon)]^n-1}{[(1-\varepsilon C^*)/(1-\varepsilon)]^n-C^*}. \quad (9)$$

With the overall effectiveness of heat exchanger combination, the outlet temperature of the working fluid (DI water) could be evaluated by

$$T_{wo} = \frac{\varepsilon^*.(\dot{m}C_p)_{min}.(T_{gi}-T_{wi})}{(\dot{m}C_p)_w} + T_{wi}. \quad (10)$$

Results and discussion

Overall heat transfer coefficient

From experimental data and with countercurrent flow LMTD method, the overall heat transfer coefficients from the hot gas to the water in the helical coil, were determined and presented in Fig. 4.

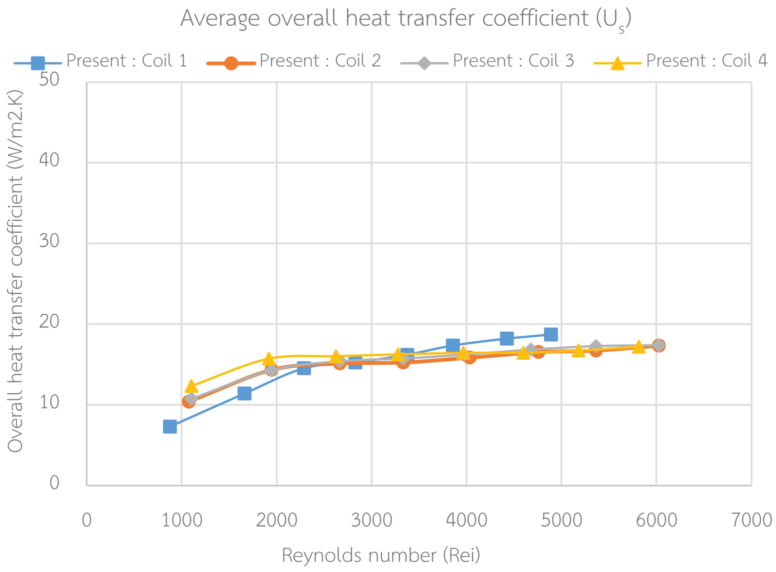
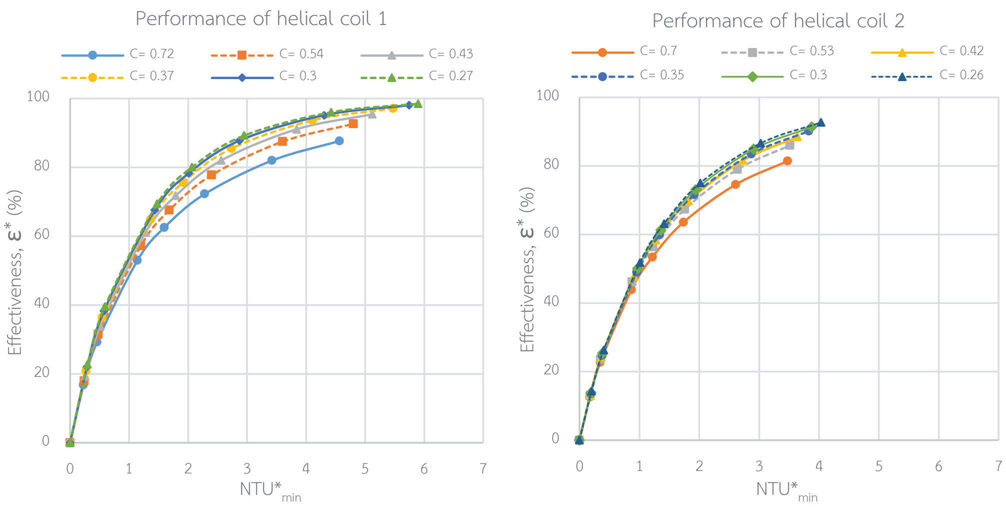


Figure 4. Average overall heat transfer coefficients with water Reynolds number.

The gas side heat transfer coefficient controlled the overall heat transfer coefficient of the heat exchangers therefore at high water-side Reynolds number (Re_i) ≥3,500 even the water side velocity or the Re_i increased, the overall heat transfer coefficient increased only slightly. At low Re_i (Re_i ≤3,500, the water-side heat transfer coefficient was also low thus increase of Re_i also gave better overall heat transfer coefficient. The unit with a bigger coil diameter (coil 1) compared to a smaller coil diameter (coil 2) having similar pitch gave higher gas-side heat transfer coefficient due to its higher exposed heat transfer surface to the hot gas which reduced thermal boundary layer thickness around the tube. This phenomenon was similar to a flow over tube bundle and the gas-side heat transfer coefficient increased with the smaller pitch/diameter ratio [9,10]. However, when Reynolds number was less than 3,500, opposite results were found since the water heat transfer coefficient was also lower due to the lower water velocity thus the overall heat transfer coefficient was poorer than that of the smaller diameter.

The effect of coil pitch on the overall heat transfer coefficient was not significant (coil 2 vs. coil 3) while the small coil diameter showed significant advantage when the water Reynolds number was less than 3,500 (coil 3 vs. coil 4). For the latter case, the smaller coil diameter unit was installed closer to the center of the stack thus the gas velocity passing over the coil was higher than that of the unit installed close to the stack wall then the overall heat transfer coefficient of coil 4 was higher than that of coil 3. This meant that installation of helical coil around the stack axis was better than that around the stack wall surface.

From experimental data, the unit heat exchanger effectiveness could be calculated from Eq. (5) and then the overall heat exchanger effectiveness of the units in series connection was predicted by Eq. (9) and presented with the number of transfer unit, $NTU_{min} = U_sA_s/(\dot{m}C_p)_{min}$, the heat capacity ratio, $c = (\dot{m}C_p)_{min}/(\dot{m}C_p)_{max} = (\dot{m}C_p)_{gas}/(\dot{m}C_p)_{water}$, and the results are shown in Figure 5.



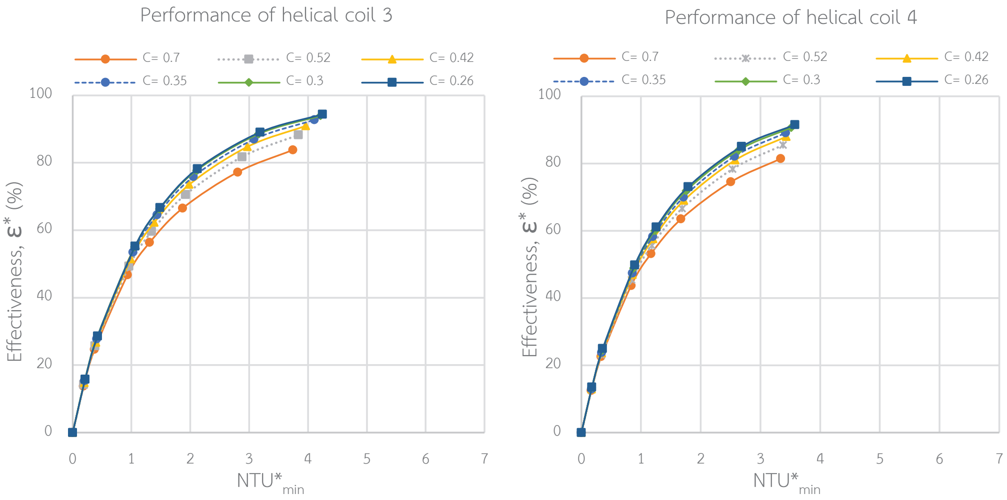


Figure 5. Overall heat exchanger effectiveness for helical coiled heat exchangers in series connection.

The simulations showed that the overall effectiveness of the heat exchangers in series connection at each specific heat capacity ratio increases steadily for the greater values of number of transfer unit $(\mathrm{NTU}^*_{\mathrm{min}})$ due to the heat transfer surface area expansion. Since the gas velocity was rather constant then high C value means low water mass flow rate or low Re_i. It could be seen that coil 1 gave a good trend of higher heat exchanger effectiveness at low C value (high Re_i) due to its high overall heat transfer coefficient at high Re_i. For high C value (low Re_i), the heat exchanger effective performance for each coil dimension was nearly the same.

Coil 1 was selected to consider the outlet water temperature of the extracted heat. The value when the similar units were allocated in series connection was presented in Figure 6. The temperature increased with the number of the coil unit. It could be noted that for high water mass flow rate ($m \geq 1.5$ L/min) when the unit number was over 7, the outlet hot water temperature slightly increased.

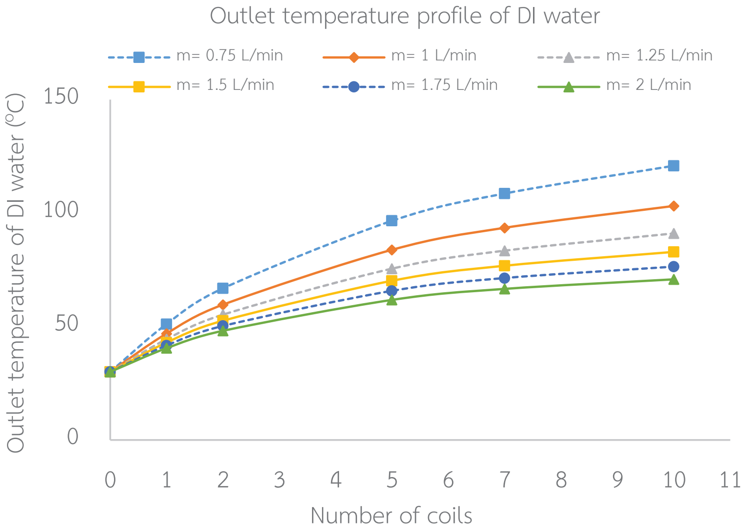


Figure 6. The water outlet temperature profiles of coil 1 in series connection.

Conclusion

In this research papers, the experiments of four copper helical coiled heat exchangers, listed in Table 1, were conducted under the conditions of fully developed laminar flow of deionized water during the heat recovering from the hot stack gas at around 200°C. The results on the heat transfer characteristics of the heat recovery could be noted as

1. The overall heat transfer coefficients of helical coils increased with water flow rate or water Reynolds number Re_i. The value increased slightly when Re_i was over 3,500.
2. The unit with a bigger coil diameter (coil 1) gave better overall heat transfer coefficient when Re_i was over 3,500 and the results were vice versa when water Reynolds number was below 3,500. The effect of coil pitch on the overall heat transfer coefficient was not significant while the small coil diameter showed significant advantage when the water Reynolds number was less than 3,500 which meant that installation of helical coil around the stack axis was better that around the stack wall surface.
3. Hot water temperature could be increased with the increase of coil number. When the number was over 7 the temperature increased slightly for high water mass flow rate.

Acknowledgement

The authors are thankful to Graduate School; Thermal System Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering; and Center of Excellence for Renewable Energy, Chiang Mai University for supporting testing facilities and financial support.

Nomenclature

C	heat capacity ratio
Cp	specific heat
d	coiled tube diameter
D	coil diameter
h	convective heat transfer coefficient
LMTD	log-mean temperature difference
$\dot{m}$	mass flow rate
N	number of coil turn
NTU	number of transfer unit
Nu	Nusselt number
p	coil pitch
Pr	Prandtl number
$\dot{Q}$	heat transfer rate
R	thermal resistance
Re	Reynolds number
T	temperature
U	overall heat transfer coefficient

Greek symbols

ε	heat exchanger effectiveness

Subscripts

i	inside or inlet
o	outside or outlet
s	wall surface
w	wall

References

[1] Zhou, N., Wang, X., Chen, Z. and Wang, Z. (2013) Experimental study on Organic Rankine Cycle for waste heat recovery from low-temperature flue gas. Energy, **55**, 216–25.

[2] Ali, M.E. (1994) Experimental investigation of natural convection from vertical helical coiled tubes. International Journal of Heat and Mass Transfer, **37**, 665–71.

[3] Tayde, M., Wankhade, J. and Channapattana, S. (2014) Heat Transfer Analysis of a Helically Coiled Heat Exchanger. International Journal of Innovative Research and Development || ISSN 2278 – 0211, **3**.

[4] Janssen, L.A.M. and Hoogendoorn, C.J. (1978) Laminar convective heat transfer in helical coiled tubes. International Journal of Heat and Mass Transfer, **21**, 1197–206.

[5] Hardik, B.K., Baburajan, P.K. and Prabhu, S.V. (2015) Local heat transfer coefficient in helical coils with single phase flow. International Journal of Heat and Mass Transfer, **89**, 522–38.

[6] Pimenta, T.A. and Campos, J.B.L.M. (2013) Heat transfer coefficients from Newtonian and non-Newtonian fluids flowing in laminar regime in a helical coil. International Journal of Heat and Mass Transfer, **58**, 676–90.

[7] Xin, R.C. and Ebadian, M.A. (1997) The Effects of Prandtl Numbers on Local and Average Convective Heat Transfer Characteristics in Helical Pipes. Journal of Heat Transfer, American Society of Mechanical Engineers. **119**, 467.

[8] R. K. Shah and A. C. Mueller, (1985) Heat Exchangers in Handbook of Heat Transfer Applications, edited by W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett and E. N. Ganic, McGraw-Hill.

[9] Khan, W.A., Culham, J.R. and Yovanovich, M.M. (2006) Convection heat transfer from tube banks in crossflow: Analytical approach. International Journal of Heat and Mass Transfer, **49**, 4831–8.

[10] Safwat Wilson, A. and Khalil Bassiouny, M. (2000) Modeling of heat transfer for flow across tube banks. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, **39**, 1–14.

การประเมินศักยภาพลมเชิงสถิติตามฤดูมรสุมโดยสมการ Multiple Weibull

Statistical analysis of seasonal wind power potential using Multiple-Weibull function

วิกันดา ศรีเดช[1*] และ ทวิช จิตรสมบูรณ์[2]

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลังวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

* ติดต่อ: wikanda.s@cit.kmutnb.ac.th โทรศัพท์: 02-555-2000 ต่อ 6427

บทคัดย่อ

การวัดและวิเคราะห์ศักยภาพลมเชิงสถิติมีความสำคัญต่อการออกแบบกังหันลมให้ได้ประสิทธิภาพ และได้งานรายปีสูงสุด ซึ่งระบบทางสถิติลมที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ การแจกแจงแบบไวบูลล์ (Weibull probability distribution) หลักการคือ การประมาณความน่าจะเป็นของข้อมูลลมตรวจวัดตลอดทั้งปี ด้วยเส้นกราฟทางทฤษฎีเพียงหนึ่งเส้น โดยมิได้คำนึงถึงอิทธิพลของลมมรสุมที่มีผล กระทบต่อความผันผวนของความเร็วลมในแต่ละช่วงของปี ทำให้การประเมินศักยภาพพลังงานลมรายปีมีความคลาดเคลื่อนจากที่ควรจะเป็นอย่างมาก จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่มีจุดประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพพลังงานลมเชิงสถิติ โดยวิเคราะห์ผลกระทบจากฤดูมรสุมร่วมด้วย โดยสถิติลมที่ใช้ในการศึกษาวิจัยได้มาจากสถานีวัดลม 3 สถานี คือ สถานีลำตะคอง จ.นครราชสีมา, สถานี อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์ และ สถานี ต.หน้าสตน จ.นครศรีธรรมราช พบว่าพลังงานลมรายปีเมื่อคิดผลกระทบจากฤดูมรสุมมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 30-40% เมื่อเทียบกับพลังงานลมรายปีที่ประเมินด้วยสมการ ความน่าจะเป็นแบบไวบูลล์เพียงชุดเดียวตลอดทั้งปี นอกจากนี้หลักการการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) ถูกนำมาใช้เพื่อยืนยันว่าข้อมูลลมตรวจวัดและเส้นกราฟเชิงทางสถิติแบบไวบูลล์มีความสัมพันธ์สอดคล้องกันเป็นอย่างดี

คำหลัก: กังหันลม, ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ, งานรายปี, สถิติจำเพาะพื้นที่, กำลังงานสูงสุด

Abstract

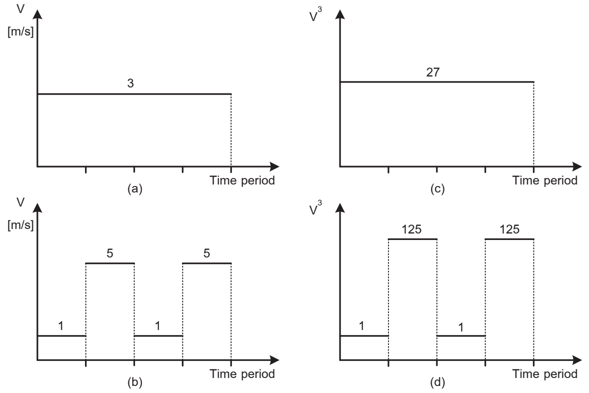
Wind statistic measurement and analysis are design keys to maximize wind turbine efficiency and annual yield. Generally, annual wind speed frequency would be represented by a single-Weibull's distribution curve. The matter of fact is, Thailand located in a monsoon climate zone, so there will be windy periods and calm periods in a year. Therefore the objective of this study was to evaluate the differences between the single-Weibull representation all year long and the multiple-Weibull including monsoon effect in a year. Moreover the credibility of the Weibull's statistical curve in representing the measure wind data was analyzed by Regression analysis as well. The wind statistic was employed in the program where measured at Lamtakhong dam in Nakhon Ratchasima, Khaokoh district in Phetchaboon and Nahsaton district in Nakhonsithammarat. As much as 30-40% increasing in annual energy yield was observed.

Keywords*:* wind turbine, statistical error, annual power yield, local wind statistic, optimum power output

1. บทนำ

ประเทศไทยมิได้อยู่ในภูมิภาคที่มีกระแสลมแรง ดังเช่นประเทศอื่น ๆ ในทวีปยุโรป หากแต่ประเทศไทยอยู่ในภูมิภาคที่มีลมมรสุมพัดผ่าน กล่าวคือ ลมมรสุมตกวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ประกอบกับมีลมฝ่ายใต้พัดเสริมในช่วงฤดูร้อน ดังแสดงในรูปที่ 1 ทำให้ประเทศไทยมีช่วงลมแรงถึงแรงมาก และช่วงลมสงบ [1] การประเมินศักยภาพพลังงานลมตลอดทั้งปีด้วยเส้นกราฟเชิงสถิติเพียงเส้นกราฟเดียว จึงเป็นหลักการที่ ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินพลังงานลมตลอดทั้งปีจากที่ควรจะเป็นไปอย่างมาก หากพิจารณาจากรูปที่ 2 อธิบายโดยคร่าวให้เห็นถึง ความแตกต่างระหว่างการประเมินศักยภาพพลังงานลมด้วยเส้นกราฟสถิติเดียว (รูปที่ 2a)ความเร็วลมเฉลี่ยเดียวตลอดทั้งปี) กับการประเมินศักยภาพพลัง งานลมด้วยเส้นกราฟสถิติตามฤดูมรสุม (รูปที่ 2b ความเร็วลมเฉลี่ยตามช่วงฤดูมรสุม) สำหรับรูปที่ 2c และ 2d เป็นกราฟ V^3 ซึ่งเป็นตัวแทนของพลังงานลมที่คำนวณได้จากความเร็วลมเฉลี่ย พบว่าช่วง เวลาที่มีลมแรงในรูปที่ 2d คำนวณพลังงานออกมาได้สูงกว่า พลังงานลมจากสถิติลมเดียวในรูปที่ 2c เกือบ 5 เท่า เนื่องจากผลของกำลังสามของความเร็ว และพลังงานรวมตลอดทั้งปี ที่สูงกว่าถึง 2 เท่า จึงเป็นที่มาของแนวคิดการนำสถิติลมแบบไวบูลล์หลายชุด (Multiple Weibull statistic) มาใช้ในการประเมินศักยภาพพลังงานลมที่ถูกต้องและเหมาะสมอย่างแท้จริง ซึ่งหลักการนี้จะนำไปสู่การออกแบบกังหันลมที่ดีที่สุดของแต่ละพื้นที่ต่อไป [2-5]

รูปที่ 1 รูปแบบของลมมรสุมในประเทศไทย



รูปที่ 2 แผนภูมิเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลมด้วยสถิติลมเดียว กับสถิติลมตามฤดูมรสุม 2a) ความเร็วลมเฉลี่ยเดียวตลอดทั้งปี 2b) ความเร็วลมเฉลี่ยตามช่วงฤดูมรสุม 2c) สัดส่วนกำลังลมจากความเร็วลมเฉลี่ยตลอดทั้งปี 2d) สัดส่วนกำลังลมจากความเร็วลมเฉลี่ยตามฤดูมรสุม

2. การประเมินศักยภาพพลังงานลมเชิงสถิติ

ข้อมูลลมตรวจวัดในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลลมจากสถานีวัดลมของกรมอุตุนิยมวิทยา 3 สถานี คือ สถานีเขื่อนลำตะคอง จ.นครราชสีมา, สถานี อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์ และ สถานี ต.หน้าสตน จ.นครศรีธรรมราช ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลลมอยู่ระหว่างปี พ.ศ.2549 – พ.ศ.2551 ซึ่งข้อมูลทั้งหมดได้รับการสนับสนุนจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและกรมอุตุนิยมวิทยา

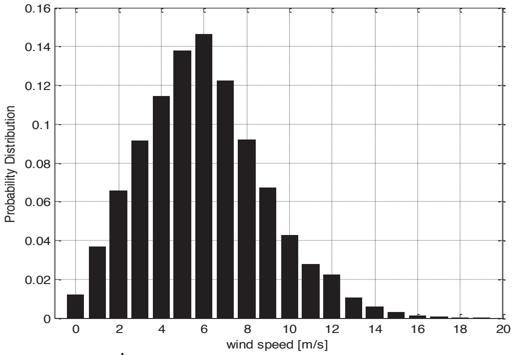
2.1 การแจกแจงความเร็วลมตามจริง

การแจกแจงความถี่ของความเร็วลมตรวจวัด นิยมแสดงผลในรูปแผนภูมิแท่ง ที่มีความกว้างของช่วงความเร็วลม (Bin width) เท่ากับ 1 m/s [6] สำหรับความถี่ของความเร็วลมในแต่ละช่วงคำนวณได้จากสมการ

$$f_H(v) = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_{I_k}(V_i)}{n.W}, \quad v \in I_k \tag{1}$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลลมเฉลี่ยรายชั่วโมงทั้งหมด, W คือ ความกว้างของช่วงความเร็วลม , $A_{I_k}(v)$ คือ ค่าดัชนีในช่วงความเร็วลม I_k หากความเร็วลม v อยู่ในช่วง I_k จะทำให้ A_{I_k} = 1 หาก v อยู่ในช่วง I_k แล้ว A_{I_k} = 0

เมื่อคำนวณหาความถี่ของความเร็วลมตรวจวัดในแต่ละช่วงความเร็วลม จากสมการ (1) จะได้แผนภูมิแท่งของการแจกแจงความถี่ของความเร็วลม ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 3 [7]



รูปที่ 3 การแจกแจงความถี่ของความเร็วลมตรวจวัดในรูปแบบแผนภูมิแท่ง

2.2 การแจกแจงแบบไวบูลล์

โดยปกติการแจกแจงความถี่ความเร็วลมตรวจวัดจะสอดคล้ององกับการแจกแจงความถี่แบบไวบูลล์ เนื่องจากตัวสมการมีความยืดหยุ่นภายใต้สองตัวแปร [7] ซึ่งคำนวณจากสมการ (2)

$$f(V) = \frac{k}{c}\left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^{k}\right] \quad (2)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วลมใด ๆ, k คือ พารามิเตอร์รูปร่าง และ c คือ พารามิเตอร์ระดับ [m/s] คำนวณได้จาก

ความสัมพันธ์ดังนี้ คือ $\mathrm{k} = \left(\frac{\sigma_{\mathrm{V}}}{\overline{\mathrm{V}}}\right)^{-1.086}$, $\mathrm{c} = \frac{\overline{\mathrm{V}}}{\Gamma(1+1/\mathrm{k})}$

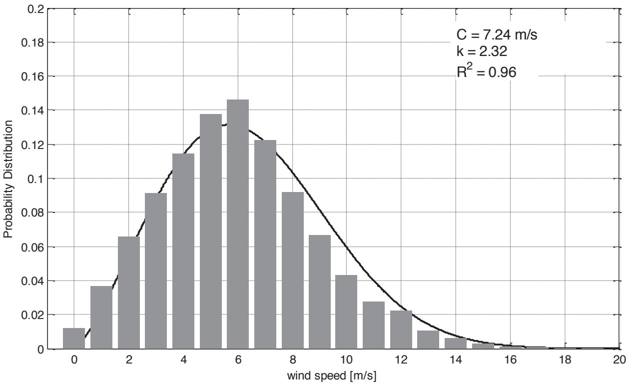
โดยที่ $\overline{V}$ คือ ความเร็วลมเฉลี่ยคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$\overline{\mathrm{V}} = \mathrm{c}\Gamma(1+1/\mathrm{k}),\ \Gamma(\mathrm{x}) = \int_0^{\infty} \mathrm{e}^{-\mathrm{t}}\mathrm{t}^{\mathrm{x}-1}\mathrm{dt} \quad (3)$$

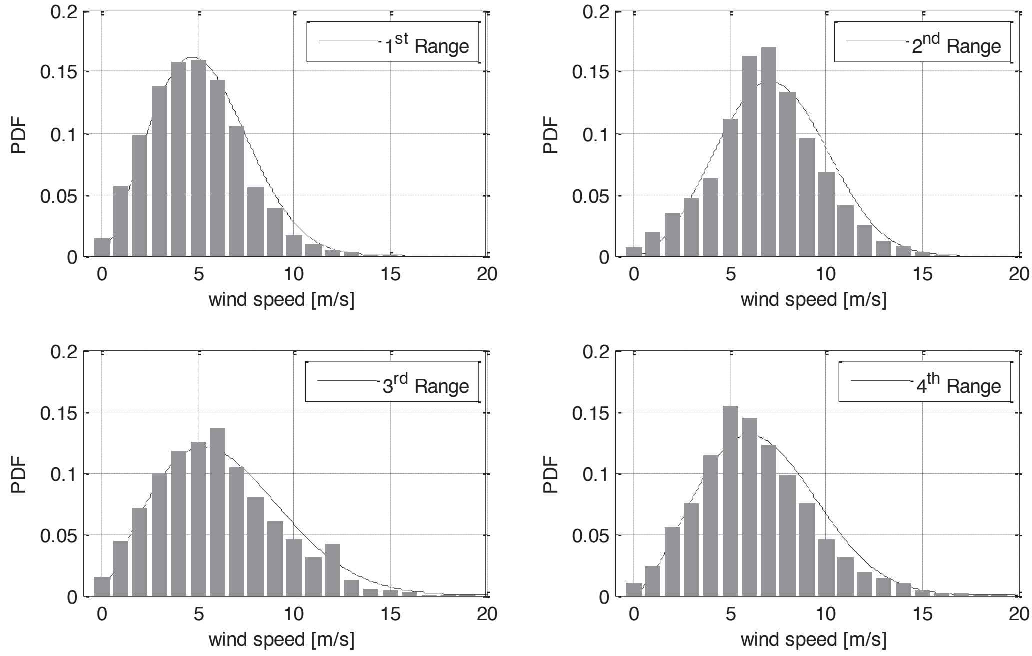
สำหรับงานลมรายปี คำนวณได้จากสมการ (4)

$$E_{annual} = 8760\int_{v} P_w(V) \times f(V)dV \quad (4)$$

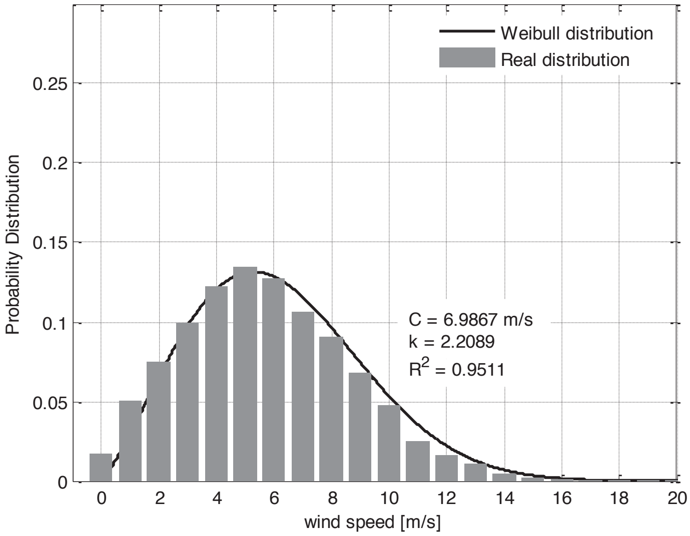
โดยที่ กำลังงานลมที่ความเร็วลมใดๆ คำนวณได้จากความสัมพันธ์ $P_w = \frac{1}{2}\rho V^3$



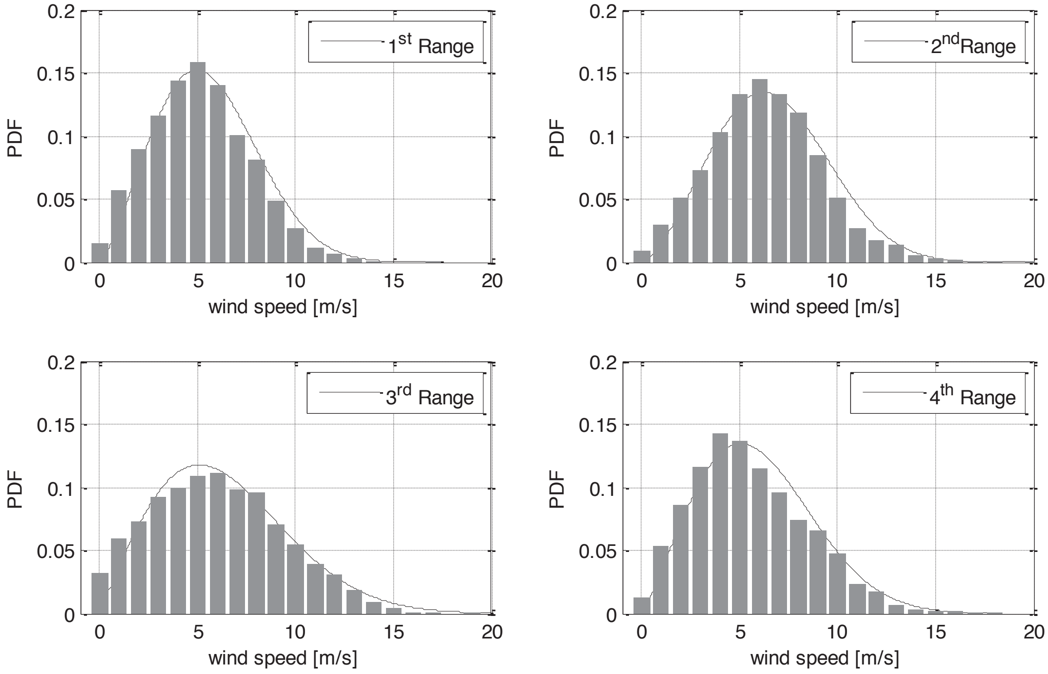
รูปที่ 4 การแจกแจงความถี่แบบของไวบูลล์ และการการแจกแจงความถี่ของความเร็วลมตรวจวัด ณ สถานีวัดลม เขื่อนลำตะคอง จ.นครราชสีมา



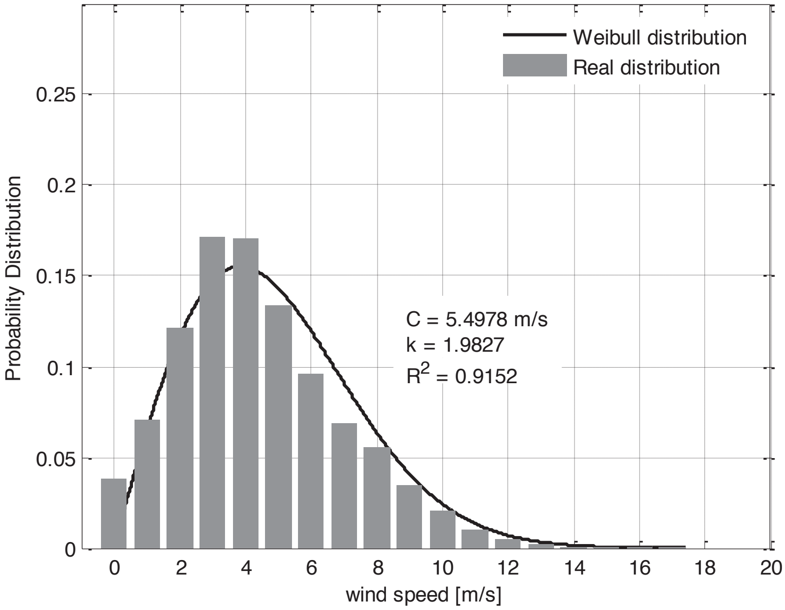
รูปที่ 5 การแจกแจงความถี่แบบของไวบูลล์ และการการแจกแจงความถี่ของความเร็วลมตรวจวัด โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงตามฤดูมรสุม ณ สถานีวัดลม เขื่อนลำตะคอง จ.นครราชสีมา



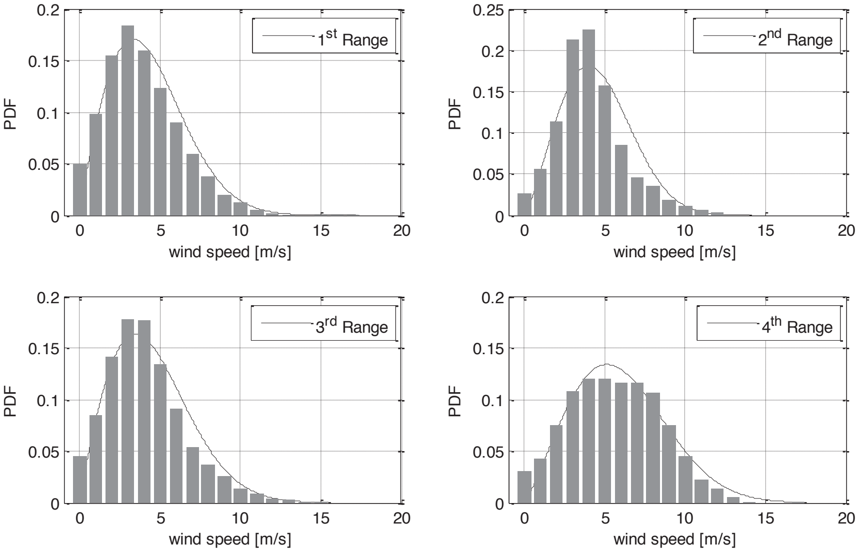
รูปที่ 6 การแจกแจงความถี่แบบไวบูลล์ และการการแจกแจงความถี่ของความเร็วลมตรวจวัด ณ สถานีวัดลม อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์



รูปที่ 7 การแจกแจงความถี่แบบของไวบูลล์ และการการแจกแจงความถี่ของความเร็วลมตรวจวัด โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงตามฤดูมรสุม ณ สถานีวัดลม อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์



รูปที่ 8 การแจกแจงความถี่แบบไวบูลล์ และการการแจกแจงความถี่ของความเร็วลมตรวจวัด ณ สถานีวัดลม ต.หน้าสตน จ.นครศรีธรรมราช



รูปที่ 9 การแจกแจงความถี่แบบของไวบูลล์ และการการแจกแจงความถี่ของความเร็วลมตรวจวัด โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงตามฤดูมรสุม ณ สถานีวัดลม ต.หน้าสตน จ.นครศรีธรรมราช

3. การวิเคราะห์ความสอดคล้องของข้อมูลลมกับเส้นเส้นกราฟเชิงสถิติแบบไวบูลล์

โดยส่วนใหญ่ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ซึ่งในงานวิจัยนี้คือ ข้อมูลลมตรวจวัดกับค่าความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จากสมการไวบูลล์ จะถูกประเมินจากหลักการวิเคราะห์ความถดถอย โดยมีสัม ปะสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เป็นตัวแปรบ่งชี้ถึงระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าว ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(p_i - \hat{p}_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(p_i - \bar{p})^2} \qquad (5)$$

เมื่อ p_i คือ ความน่าจะเป็น ซึ่งได้จากการตรวจวัด

$\hat{p}_i$ คือ ความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จากสมการการแจกแจงแบบไวบูลล์

$\bar{p}$ คือ ค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นจากการตรวจวัดทั้งหมด

จากผลการคำนวณในตารางที่ 1 – ตารางที่ 3 พบว่าค่า R^2 ตามหลักการวิเคราะห์การถดถอย มีค่าเข้าใกล้ 1 ในทุกกรณี ซึ่งบ่งบอกได้ว่า เส้นกราฟเชิงสถิติที่ได้จากสมการการแจกแจงแบบไวบูลล์สามารถทำนายความน่าจะเป็นที่แต่ละความเร็วลมได้ อย่างต่ำ 84% และอย่างมา 96% และจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของความเร็วลมจริงเทียบต่อความน่าจะเป็นของความความที่คำนวณจากสมกา รเชิงสถิติ ในรูปที่ 4 – รูปที่ 9 พบว่าข้อมูลทั้งสองชุดสอดคลอดกันเป็นอย่างดี จึงสรุปได้ว่าเส้นกราฟ เชิงสถิติมีความน่าเชื่อถือ เหมาะสมที่จะนำไปใช้ทำนายความน่าจะเป็นของความเร็วลมตรวจวัดที่ได้จากสถานีวัดลมทั้งสามที่กล่าวมาข้างต้น

ตารางที่ 1 ตัวแปรเชิงสถิติจากสมการไวบูลล์ชุดเดียว และ สมการแบบไวบูลล์ 4 ชุดตามฤดูมรสุม จากข้อมูลลมสถานีวัดลมลำตะคอง จ.นครราชสีมา

	Year-round	1st Range	2nd Range	3rd Range	4th Range
c [m/s]	7.24	5.97	8.18	7.29	7.54
k	2.32	2.36	2.96	2.08	2.43
Variance	8.64	5.67	7.21	10.62	8.64
Mean [m/s]	6.42	5.29	7.30	6.49	6.69
$\sqrt[3]{(V^3)}$ [m/s]	9.47	7.74	9.74	10.08	9.66
R^2	0.96	0.93	0.88	0.96	0.93

ตารางที่ 2 ตัวแปรเชิงสถิติจากสมการไวบูลล์ชุดเดียว และ สมการแบบไวบูลล์ 4 ชุดตามฤดูมรสุม จากข้อมูลลม สถานีวัดเข้าค้อ จ.เพชรบูรณ์

	Year-round	1st Range	2nd Range	3rd Range	4th Range
c [m/s]	6.99	6.30	7.60	7.27	6.75
k	2.21	2.34	2.55	1.99	2.17
Variance	8.75	6.44	8.08	11.43	8.41
Mean [m/s]	6.19	5.59	6.75	6.44	5.98
$\sqrt[3]{(V^3)}$ [m/s]	9.35	8.21	9.55	10.31	9.11
R^2	0.95	0.94	0.94	0.92	0.96

ตารางที่ 3 ตัวแปรเชิงสถิติจากสมการไวบูลล์ชุดเดียว และ สมการแบบไวบูลล์ 4 ชุดตามฤดูมรสุม จากข้อมูลลม สถานีวัดลม ต.หน้าสตน จ.นครศรีธรมมราช

	Year-round	1st Range	2nd Range	3rd Range	4th Range
c [m/s]	5.50	4.89	5.18	5.11	6.82
k	1.98	1.92	2.26	1.91	2.19
Variance	6.59	5.53	4.60	6.07	8.47
Mean [m/s]	4.87	4.34	4.59	4.53	6.04
$\sqrt[3]{(V^3)}$ [m/s]	7.82	7.09	6.85	7.42	9.17
R^2	0.92	0.93	0.84	0.89	0.89

4. ผลลัพธ์และการวิจารณ์

จากผลการคำนวณงานรายปีที่ได้จากข้อมูลลมทั้งสามตำแหน่ง คือ สถานี เขื่อนลำตะคอง จ .นครราชสีมา, สถานี อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์ และ สถานี ต.หน้าสตน จ.นครศรีธรรมราช พบว่า งานรายปีที่คำนวณจากสมการเชิงสถิติแบบไวบูลล์ ด้วยไวบูลล์พารามิเตอร์หนึ่งชุด มี่คาเท่ากับ 7.45 6 .95 และ 3.75 MWh/year ตามลำดับ ส่วนงานรายปีที่คำนวณจากสมการเชิงสถิติด้วยไวบูลล์พารามิเตอร์สี่ชุดที่สอดคล้องกับฤดูมรสุมสี่ช่วงตลอดทั้งปี มีค่าเท่ากับ 10.77 9.78 และ 5.00 MWh/year ตามลำดับ พบว่า เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากฤดูมรสุมจำทำให้งานรายปีที่คำนวณได้มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก หากคิดเป็นร้อยละของงานรายปีที่เพิ่ มขึ้น จะมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 44.54 40 .7 และ 33.32 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณพลังงานที่หายไปจากการประเมิน ศักยภาพพลังงานลมโดยไม่คำนึงถึงช่วงลมแรงและลมสงบในหนึ่งปีนั้นมีค่าที่สูงมาก

การประเมินศักยภาพพลังงานลมที่ต่ำเกินไป ส่งผลโดยตรงต่อการออกแบบกังหันลม เนื่องจากตัว แปรที่เกี่ยวข้องกับสถิติลม เช่น ความเร็วลม เฉลี่ย ความเบ้ของเส้นกราฟสถิติ (ค่า c และ k) ล้วนมีผลต่อการออกแบบรูปทรงและมุมเผินที่เหมาะสม ของใบกังหันเพื่อให้ได้งานรายปี และรายได้สูงสุด [8] เพราะแทนที่จะได้กังหันลมที่สามารถสกัดพลังงานลมมา แปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้สู งสุดเท่าที่จะทำได้ กลับสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปอย่างน่าเสียดาย

ตารางที่ 4 ตัวแปรเชิงสถิติจากสมการไวบูลล์ชุดเดียว และ สมการแบบไวบูลล์ 4 ชุดตามฤดูมรสุม

	ลำตะคอง จ.นครราชสีมา	เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์	หน้าสตน จ.นครศรีธรรมราช
งานรายปีจากสถิติลมเดียว [MWh/year]	7.45	6.95	3.75
งานรายปีเมื่อวิเคราะห์ผลจากฤดูมรสุม [MWh/year]	10.77	9.78	5.00
% งานรายปีที่เพิ่มขึ้น	44.54	40.7	33.32

5. สรุป

ในภาพรวมของการประเมินศักยภาพพลังงานลมด้วยสมการเชิงสถิตินั้นมีความแม่นยำอยู่ในระดับที่น่าเชื่อถือ เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 ด้วยหลักการการวิเคราะห์ความถดถอย และสำหรับการประเมินพลังงานลมรายปีด้วยสมการเชิงสถิติ เดียวตลอดทั้งปี เทียบกับการประเมินพลังงานลมรายปีด้วยสมการเชิงสถิติตามฤดูมรสุม พบว่าการประเมินด้วยสถิติลมตามช่วงฤดูมรสุมได้พลังงานรายปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 30-40 ผลที่ตามมาคือ กังหัน ลมที่ถูกออกแบบอย่างเหมาะสมภายใต้ “สถิติลมเดียวตลอดทั้งปีกับสถิติลมสี่ชุดตามช่วงฤดูมรสุม ” จะผลิตพลังงานรายปีที่แตกต่างกันอย่างมาก เพียงเพราะปัจจัยที่เพิ่มขึ้นมาเพียงเดียวคือ ฤดูมรสุม ซึ่งเป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Sridech W. and Chitsomboon T., Optimal stall-regulated wind turbines in unique local wind statistic. The 7th Conference on Energy Network of Thailand 3-5 May 2011, Phuket, Thailan

[2] วิกันดา ศรีเดช และ ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2551). การออกแบบกังหันลมให้สอดคล้องกับสถิติ ลมจำเพาะพื้นที่, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี

[3] วิกันดา ศรีเดช และ ทวิช จิตรสมบูรณ์ , มุมเผินที่ดีที่สุดของใบกังหันลมสำหรับสถิติลมจำเพาะพื้นที่ , *การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4*, มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

[4] วิกันดา ศรีเดช และ ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2556). การออกแบบใบกังหันชนิดความเร็วรอบคงที่เพื่อให้ได้งานรายปีสูงสุดภายใต้สถิติลมจำเพาะพื้นที่ , การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแ ห่งประเทศไทยครั้งที่ 27, พัทยา จังหวัดชลบุรี

[5] Sridech W. and Chitsomboon T., Optimal stall-regulated wind turbines in unique local wind statistic. The 22nd Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, Bangkok, 2008.

[6] J. Cartar, P. Ramirez and S. Velazquez, Influence of the level of fit of a density probability function to wind-speed data on the WECS mean power output estimation. Energy Conversion and Management 2008, 49: 2647-2655

[7] Sridech W. and Chitsomboon T., The Design of Stall-Regulated Wind Turbine Blade for a Maximum Annual Energy Output and Minimum Cost of Energy Based on a Specific Wind Statistic. Journal of Power and Energy Engineering, Vol.2 No.6. 9 June 2014.

[8] Thumtae C. and Chitsomboon T., The effect of wind speed and wind statistics skewed on the commercial wind turbine in Thailand. The 26 th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, Chengrai, 2012.

พลังงานไฟฟ้าจากรถสามล้อพ่วง

Electricicity power from tricycle

ฤทัย ประทุมทอง[1*] สุจริต สิงหพันธุ์[1] และนวัตกรณ์ เซ่งจิ้ว[2]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000
[2] สาขางานยานยนต์ วิทยาลัยสารพัดช่างสงขลา สงขลา 90000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากรถสามล้อพ่วง วิธีการดำเนินงาน คือ นำมอเตอร์พลังงานแม่เหล็กถาวร(Permanent Magnet Motor) ของเครื่องซักผ้าแบบ Direct Drive มาประยุกต์ใช้โดยการดัดแปลงเป็นไดนาโมอาศัยพลังงานกลจากการหมุนของวงล้อโดยสนามแม่เหล็กหมุนตัดกับขดลวดทองแดงที่อยู่ภายในล้อทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ หลังจากนั้นนำกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเข้าวงจรเรียงกระแสเพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ผ่านวงจรควบคุมแรงดันเพื่อนำไปชาร์จประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่เพื่อเก็บไฟไว้ใช้ ซึ่งไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะใช้ตัวแปลง Inverter 500 watt แปลงไฟ 12 V_{DC} เป็น 220 V_{AC} เพื่อไว้ใช้กับอุปกรณ์ที่ต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 220 โวลต์ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ความเร็วของรถสามล้อพ่วงที่เหมาะสมในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและชาร์จประจุไฟฟ้าลงบนแบตเตอรี่ คือ ความเร็วรถ 40 กม./ชม. และ 50 กม./ชม. เพราะสามารถใช้ในการการชาร์จประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ได้จริง

คำสำคัญ: พลังงานไฟฟ้า รถสามล้อพ่วง

[*]Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: anurak@tsu.ac.th

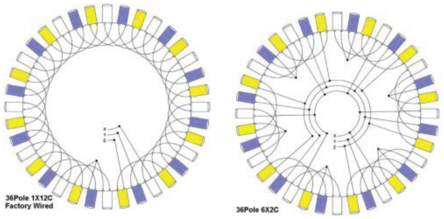
บทนำ

มอเตอร์ไซด์จะนิยมใช้เป็นยานพาหนะสำหรับการเดินทาง นอกจากนั้นแล้วก็ยังมีการดัดแปลงคือใส่ล้อรถพ่วงข้าง เพื่อใช้ในการบรรทุกสินค้า หรือใช้เพื่อเป็นร้านค้า ที่มักพบตามแหล่งชุมชนและแหล่งท่องเที่ยวต่าง ๆ แต่การค้าขายก็มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อช่วยในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ เช่น หลอดไฟ พัดลม เครื่องปั่นน้ำผลไม้ เป็นต้น โดยส่วนใหญ่พ่อค้า แม่ค้า จะใช้แหล่งจ่ายจากแบตเตอรี่ ซึ่งต้องมีการชาร์จประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ จากการสอบถามผู้ประกอบอาชีพค้าขายที่ใช้มอเตอร์ไซด์สามล้อพ่วงเป็นพาหนะ พบว่าจะต้องมีการชาร์จประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ทุก ๆ 2 วัน โดยการชาร์จประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่แต่ละครั้งใช้เวลาในการชาร์จหลายชั่วโมง ทำให้เสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายอีกด้วย

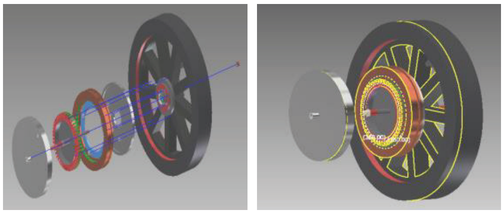
จากหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อาศัยการเคลื่อนทีของตัวนำตัดผ่านขดลวด โดยการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า จึงมีแนวคิดในการเปลี่ยนพลังงานกลจากรถสามล้อพ่วงเป็นพลังงานไฟฟ้าไฟฟ้า โดยการนำมอเตอร์พลังงานแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Motor) ของเครื่องซักผ้าแบบ Direct Drive มาดัดแปลงเป็นไดนาโม ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถนำไฟฟ้าที่ได้ไปเข้าวงจรเรียงกระแสเพื่อแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแล้ว เข้าวงจรควบคุมการชาร์จลงแบตเตอรี่ 12 V เพื่อจะช่วยลดค่าใช้จ่ายและลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่สามารถนำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ โดยการแปลงกระแสไฟฟ้าด้วยตัวแปลง Inverter จาก 12 VDC เป็น 220 VAC ทำให้การใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและไม่สิ้นเปลือง

วิธีการวิจัย

พลังงานไฟฟ้าจากรถสามล้อพ่วง จะประกอบไปด้วยชุดล้อผลิตพลังไฟฟ้า วงจรควบคุม ส่วนของชุดล้อผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือตัวเจนเนอเรเตอร์ จะใช้มอเตอร์เครื่องซักผ้าชนิด Direct Drive มีขดลวด 36 ขด จากเดิมต่อแบบอนุกรม กระแสที่ได้ประมาณ 0.20 – 0.30 แอมป์แปร์ ซึ่งเป็นกระแสที่น้อยมาก จึงแบ่งชุดขดลวดใหม่จากเดิมต่ออนุกรมมาต่อเป็นแบบขนาน โดยแบ่งชุดขดลวดใหม่จากขดลวดทั้งหมดมี 36 ขด แบ่งเป็น 3 ชุด ชุดละ 12 ขดแล้วนำมาต่อขนานกันจะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ได้ออกมาประมาณ 1 – 2 แอมป์แปร์ แสดงดังภาพที่ 1 และทำการออกแบบโครงสร้างเพื่อยึดเข้ากับล้อรถจักรยานยนต์ขนาด 17 นิ้ว ดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3



ภาพที่ 1 การแบ่งชุดขดลวดของมอเตอร์ชนิด Direct Drive



ภาพที่ 2 โครงสร้างของเจนเนอเรเตอร์

ขดลวดเจนเนอเรเตอร์เพื่อป้องกันฝุ่นละออง น้ำ และสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ ที่จะเกิดความเสียหายแก่ชุดขดลวดได้ หลังจากนั้นนำล้อรถจักรยานยนต์ไปยึดติดกับพ่วงข้าง ดังแสดงในภาพที่ 5

ภาพที่ 5 รถจักรยานยนต์สามล้อพ่วงพร้อมใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า

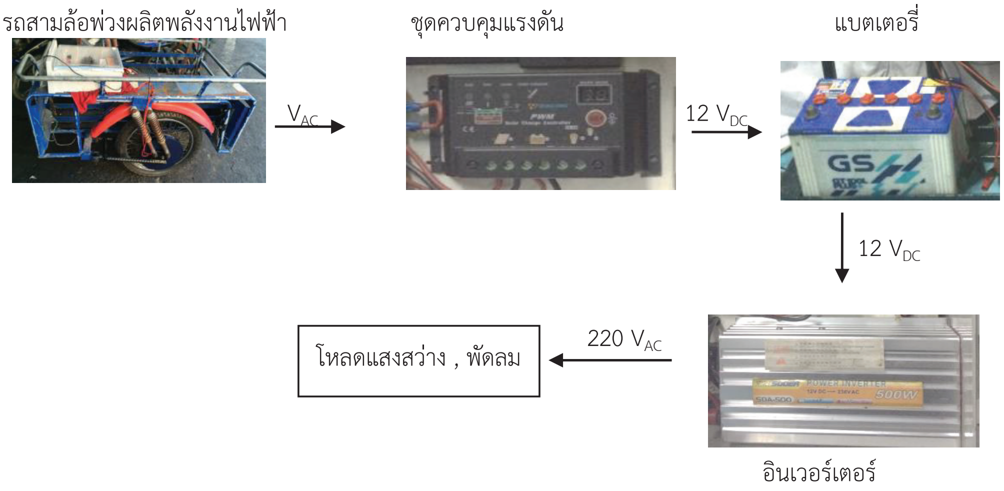
การออกแบบวงจรควบคุม จะทำการประกอบวงจรเรียงกระแส (Rectifier) วงจรควบคุมแรงดัน และหน้าจอแสดงผลแรงดัน กระแส และความเร็วรอบในการหมุน แสดงดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6 ชุดวงจรควบคุม

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากรถสามล้อพ่วง

จากการดำเนินงานในหัวข้อวิธีการวิจัย สามารถแสดงผลองค์ประกอบของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากรถสามล้อพ่วง ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากรถสามล้อพ่วง

2. ผลการทดลองรถสามล้อพ่วงผลิตพลังงานไฟฟ้าขณะไม่ต่อกับแบตเตอรี่

ตารางที่ 1 ผลการทดลองรถสามล้อพ่วงผลิตพลังงานไฟฟ้าขณะไม่ต่อกับแบตเตอรี่

ความเร็วรถ (กม./ชม.)	ความเร็วรอบการหมุนของล้อ (รอบ/นาที)	แรงดัน (V_{AC})
10	163	10.25
20	242	15.07
30	347	21.79
40	460	28.90
50	574	37.58

จากตารางที่ 1 ความเร็วรถที่ใช้ในการทดลองมี 5 ระดับคือ ความเร็วรถ 10 กม./ชม. มีความเร็วรอบการหมุนของล้อ 163 รอบ/นาที แรงดันที่ได้จากรถสามล้อพ่วง 10.25 โวลต์ ความเร็วรถ 20 กม./ชม. มีความเร็วรอบการหมุนของล้อ 242 รอบ/นาที แรงดันที่ได้จากรถสามล้อพ่วง 15.07 โวลต์ ที่ความเร็วรถ 30 กม./ชม. มีความเร็วรอบการหมุนของล้อ 347 รอบ/นาที แรงดันที่ได้จากรถสามล้อพ่วง 21.79 โวลต์ ที่ความเร็วรถ 40 กม./ชม. มีความเร็วรอบการหมุนของล้อ 460 รอบ/นาที แรงดันที่ได้จากรถสามล้อพ่วง 28.90 โวลต์ และที่ความเร็วรถ 50 กม./ชม. มีความเร็วรอบการหมุนของล้อ 574 รอบ/นาที แรงดันที่ได้จากรถสามล้อพ่วง 37.58 โวลต์

3. ผลการทดลองรถสามล้อพ่วงผลิตพลังงานไฟฟ้าขณะต่อกับแบตเตอรี่

ตารางที่ 2 ผลการทดลองรถสามล้อพ่วงผลิตพลังงานไฟฟ้าขณะต่อกับแบตเตอรี่

ความเร็วรถ (กม./ชม.)	ความเร็วรอบการหมุนของล้อ (รอบ/นาที)	แรงดัน (V_{DC})	กระแส (A)
10	163	4.20	0.92
20	242	6.60	1.54
30	347	9.30	2.57
40	460	12.50	3.73
50	574	17.00	4.63

จากตารางที่ 2 ความเร็วรถที่ 10 กม./ชม. มีความเร็วรอบการหมุนของล้อ 163 รอบ/นาที แรงดันที่ได้จะวงจรควบคุมแรงดันเมื่อต่อกับแบตเตอรี่ 4.20 V และมีกระแส 0.92 A ที่ความเร็วรถที่ 20 กม./ชม. มีความเร็วรอบการหมุนของล้อ 242 รอบ/นาที แรงดันที่ได้จะวงจรควบคุมแรงดันเมื่อต่อกับแบตเตอรี่ 6.60 V และมีกระแส 1.54 A ที่ความเร็วรถที่ 30 กม./ชม. มีความเร็วรอบการหมุนของล้อ 347 รอบ/นาที แรงดันที่ได้จะวงจรควบคุมแรงดันเมื่อต่อกับแบตเตอรี่ 9.30 V และมีกระแส 2.57 A ที่ความเร็วรถที่ 40 กม./ชม. มีความเร็วรอบการหมุนของล้อ 460 รอบ/นาที แรงดันที่ได้จะวงจรควบคุมแรงดันเมื่อต่อกับแบตเตอรี่ 12.50 V และมีกระแส 3.73 A และที่ความเร็วรถที่ 50 กม./ชม. มีความเร็วรอบการหมุนของล้อ 574 รอบ/นาที แรงดันที่ได้จะวงจรควบคุมแรงดันเมื่อต่อกับแบตเตอรี่ 17.00 V และมีกระแส 4.63 A

4. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของรถสามล้อพ่วงผลิตพลังงานไฟฟ้าชาร์จลงแบตเตอรี่ขนาด 75 A 12 V

ตารางที่ 3 ระยะเวลาที่ใช้ในการชาร์จประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่

ความเร็วรถ (กม./ชม.)	แรงดันที่ใช้ในการชาร์จ (VDC)	กระแสที่ใช้ในการชาร์จ (A)	แรงดันเริ่มต้นของแบตเตอรี่ (V)	แรงดันของแบตเตอรี่ (V)/เวลาที่ใช้ในการชาร์จ				
				5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	25 นาที
40	12.50	3.73	3.34	4.67	6.01	7.34	8.67	10.00
50	17.00	4.63	3.34	5.45	7.46	9.68	11.80	12.20

จากตารางที่ 3 ที่ความเร็วรถ 40 กม./ชม. แรงดันที่ใช้ในการชาร์จ 12.50 V กรแสที่ใช้ในการชาร์จ 3.73 A และแรงดันเริ่มต้นของแบตเตอรี่ 3.34 V เมื่อผ่านไป 5 นาที แรงดันของแบตเตอรี่ 4.67 V เมื่อผ่านไป 10 นาที แรงดันของแบตเตอรี่ 6.01 V เมื่อผ่านไป 15 นาที แรงดันของแบตเตอรี่ 7.34 V เมื่อผ่านไป 20 นาที แรงดันของแบตเตอรี่ 8.67 V เมื่อผ่านไป 25 นาที แรงดันของแบตเตอรี่ 10.00 V และที่ความเร็วรถ 50 กม./ชม. แรงดันที่ใช้ในการชาร์จ 17.00 V กรแสที่ใช้ในการชาร์จ 4.63 A แรงดันเริ่มต้นของแบตเตอรี่ 3.34 V เมื่อผ่านไป 5 นาที แรงดันของแบตเตอรี่ 5.45 V เมื่อผ่านไป 10 นาที แรงดันของแบตเตอรี่ 7.46 V เมื่อผ่านไป 15 นาที แรงดันของแบตเตอรี่ 9.68 V เมื่อผ่านไป 20 นาที แรงดันของแบตเตอรี่ 11.80 V เมื่อผ่านไป 25 นาที แรงดันของแบตเตอรี่ 12.20 V

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากรถสามล้อพ่วงแล้วนำไปประจุแบตเตอรี่ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้ 1) ศึกษาข้อมูล 2) ออกแบบโครงสร้าง 3) จัดหาอุปกรณ์ 4) ออกแบบวงจรควบคุม 5) ทดสอบ 6) ปรับปรุงแก้ไข หลังจากนั้นทำการทดลองโดยขับรถสามล้อพ่วงที่ความเร็วต่าง ๆ เพื่อดูความเร็วรอบและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้ในทุก ๆ ความเร็ว สรุปได้ว่า

1. รถสามล้อพ่วงผลิตพลังงานไฟฟ้าขณะไม่ต่อกับแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ค่าที่ได้จะแปรผันตรงกับความเร็วรอบการหมุนของล้อรถสามล้อพ่วง คือ เมื่อความเร็วรอบการหมุนของล้อเพิ่มขึ้นแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็มีค่ามากขึ้นเช่นกัน

2. รถสามล้อพ่วงผลิตพลังงานไฟฟ้าขณะต่อกับแบตเตอรี่ แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากความเร็วรอบการหมุนของล้อรถจะผ่านชุดควบคุมแรงดันก่อนที่จะชาร์จประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ ซึ่งคุณสมบัติของชุดควบคุมแรงดันสามารถรับแรงดันการชาร์จไม่เกิน 24 V กระแสชาร์จไม่เกิน 20 A จากการทดลอง ความเร็วรอบการหมุนของล้อที่สามารถผลิตพลังงานผ่านชุดควบคุมแรงดัน คือ ความเร็วรถที่ 10 กม./ชม. - 50 กม./ชม.

3. การชาร์จประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ขนาด 75 A 12 V จากการทดลอง ความเร็วของรถสามล้อพ่วงที่เหมาะสมในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและชาร์จประจุไฟฟ้าลงบนแบตเตอรี่ คือ ความเร็วรถ 40 กม./ชม. และ 50 กม./ชม. เพราะสามารถใช้ในการการชาร์จประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ได้จริง

ข้อเสนอแนะการวิจัย

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลควรคิดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถเปรียบเทียบระหว่างรถสามล้อพ่วงที่ติดเครื่องผลิตไฟฟ้ากับรถสามล้อพ่วงแบบไม่ติดเครื่องผลิตไฟฟ้า เพื่อดูความคุ้มค่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] นาย สุรักษ์ จันทร์บาง, นาย สุทธิ ตั้งแสวงพรกุล. (2554). **คอมเพรสเซอร์ผลิตไฟฟ้า (Electricity from extractor of air-conditioning compressor)** ภาควิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

[2] **คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศเรื่องพลังงานทดแทน** (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก http://www.scimath.org/ (วันที่ค้นข้อมูล: 2 มกราคม 2557)

[3] นาย อนุรัตน์ เทวตา. (2550). **เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันน้ำ (Water Wheel Generator)**. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

[4] นาย อนุชา ริกากรณ์. (2554). **การพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมความเร็วรอบสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Prototype Power Generator)** ภาควิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[5] นาย โกวิท แก้วเสมา. (2536). **เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสำหรับชนบท (InductionGenerator for Rural Area)** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[6] นางสาว วาลินี แสบงบาล , นางสาวปิยวรรณ พรรณพิบูลย์. (2550). **การพัฒนาระบบการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยอัลเทอร์เนเตอร์โดยใช้พลังงานกลจากการปั่นจักรยาน (The Development of Battery Electric Charge System with Alternator by Mechanical Energy from bicycle spin)** ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

ศึกษาการกระจายความดันบนพื้นผิวใบพัดของกังหันลมแนวแกนนอนในอุโมงค์ลม

Study on a Pressure Distribution on the blade surface of HAWT in a Wind Tunnel

ติณณภพ แพงผม[1*] ชานนท์ บุญมีพิพิธ[1] และวิทยา แก้วสุริยวงค์[1]
[1]วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑลสาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมลฑล จังหวัดนครปฐม 73170

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีความพยายามในการศึกษาผลกระทบและลักษณะของการกระจายความดันบนผิวของใบพัดกังหันลมแนวแกนนอนในขณะที่ใบพัดหมุน ใบพัดต้นแบบที่นำมาทดสอบมีรัศมีของโรเตอร์ 1.2 เมตรจำนวน 3 ใบ โดยใบพัดแต่ละใบมีลักษณะบิดและเรียวปลายเหมือนใบพัดกังหันลมในเชิงพานิชย์ รายละเอียดของความดันบนผิวของใบพัดจะถูกวัดด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันภายในอุโมงค์ลม การวัดการกระจายความดันจะถูกวัดด้วย 32 เซ็นเซอร์ขณะใบพัดหมุนในสภาวะความเร็วปลายใบที่ให้สัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุด ผลการศึกษาของงานวิจัยนี้พบว่าผลกระทบของการหมุนมีมากอย่างชัดเจนบริเวณโคนใบพัด ผลกระทบของการหมุนทำให้รูปแบบการกระจายความดันบนพื้นผิวใบพัดเปลี่ยนไป, เกิดการล้าช้าของจุดหยุดนิ่ง, และเพิ่มแรงยกมากขึ้นเมื่อเทียบกับการกระจายความดันบนพื้นผิวใบพัดแบบใบพัดไม่มีการหมุน

คำสำคัญ: กังหันลมแนวแกนนอน, การกระจายความดัน, เซ็นเซอร์ตรวจวัดความดัน, แรงทางอากาศพลศาสตร์

[*]Corresponding author: Tel.: 094-5734464. E-mail address: Tinnapob.phe@rmutr.ac.th

Abstract

This research attempted to study the effect and characteristic of pressure distribution of the horizontal axis wind turbine (HAWT) near the blade surface during rotating condition. The test wind turbine had a radius of 1.2 m with three blades. Each blade shape is twisted and tapered as same as commercial wind turbine blades. Detailed pressure measurements on the blade surface were measured in a wind tunnel by the pressure sensor in a wind tunnel. The pressure distributions on blade surface were measured using 32 pressure sensors for the rotating condition in the optimum tip speed ratio. The results showed that the rotational effects appear obviously on the inboard and seem the rotational effect seem changes the pressure distribution pattern, delays transition point, and increases sectional lift force when comparing with non-rotating condition.

Keywords: Horizontal axis wind turbine, Pressure distribution, Pressure censor, Aerodynamic forces

บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และเป็นตัวขับเคลื่อนเศรษฐกิจตัวหนึ่ง ปัจจุบันประเทศไทยของเรามีความตื่นตัวทางด้านการใช้พลังงานและมีการนำพลังงานทดแทนมาใช้อย่างเป็นรูปธรรมโดยมีการสนับสนุนจากรัฐบาล [1] รัฐบาลได้มีนโยบายทั้งทางด้านการรณรงค์ให้มีการประหยัดพลังงานรวมทั้งมีการสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานทดแทนตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี พ.ศ. 2551-2565 ซึ่งมีเป้าหมายการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายโดยการเพิ่มพลังงานทดแทนให้ถึง 20% ภายในปี พ.ศ. 2565 โดยมีเป้าหมายของการผลิตพลังงานทดแทนดังนี้เรียงตามสำดับความสำคัญ [2] 1.) ชีวมวล 3,700 เมกะวัตต์ 2.) กังหันลม 800 เมกะวัตต์ 3.) แสงอาทิตย์ 500 เมกกะวัตต์ 4.) ไฮโดร 324 เมกะวัตต์ 5.) MSW 160 เมกกะวัตต์ 6.) ก๊าซชีวภาพ 120 เมกะวัตต์และอื่น ๆ 3.5 เมกะวัตต์ งานวิจัยนี้ตระหนักถึงความสำคัญในแผนพลังงานทดแทนของชาติและมีความสนใจในการพัฒนาพลังงานทดแทนทางด้านพลังงานลม โดยมีความคิดที่จะพัฒนารูปร่างใบพัดกังหันลมแนวแกนนอนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยใบพัดที่ออกแบบสามารถมีสัมประสิทธิ์กำลังงานใกล้เคียงกับทฤษฎีในสภาวะความเร็วลมต่ำได้

ในปัจจุบันพลังงานลมได้มีนักวิจัยศึกษาแพร่หลายทั่วโลก สำหรับในประเทศไทยได้มีการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานลมอย่างจริงจังโดยเฉพาะศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีของ ผศ. ดร.วิรชัย โรยนรินทร์ ซึ่งงานวิจัยที่โดดเด่น เช่น ในปี พ.ศ. 2551 ได้ทำการวิจัย “โครงการศึกษา วิจัยพัฒนา สาธิตต้นแบบเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วต่ำ” ผลการศึกษาวิจัยในครั้งนั้นทำให้ประเทศไทยได้ต้นแบบกังหันลมแนวแกนนอนในการผลิตไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์ที่เหมาะสมกับการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3-4 เมตรต่อวินาที [3] และในปี พ.ศ. 2552 ได้ทำการวิจัย “โครงการวิจัยเพื่อพัฒนากังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบขนาด 50 กิโลวัตต์” โดยมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบกังหันลมให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่มีความเร็วลมเหมาะสมกับความเร็วลมในประเทศไทย การทดสอบกังหันลมสามารถเริ่มผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาทีและได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 50 กิโลวัตต์ที่ความเร็วลม 10.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะได้กังหันลมที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดสำหรับลมเฉลี่ยในเมืองไทย [4]

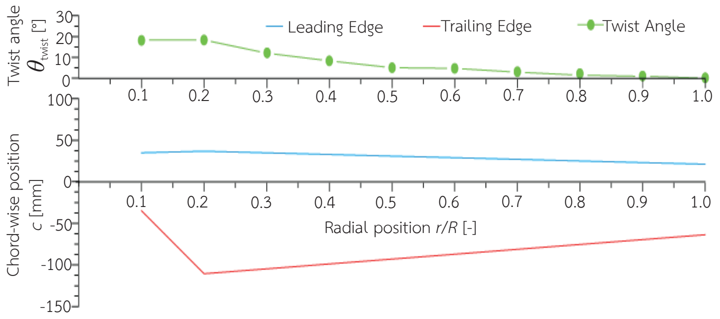
สำหรับในต่างประเทศมีงานวิจัยที่โดดเด่นในการศึกษากังหันลมดังนี้ Rosten, G. ได้รายงานเกี่ยวกับการศึกษาการกระจายความดันบนผิวของใบพัดกังหันลมแนวแกนนอนในอุโมงค์ลม โดยศึกษาการกระจายความดันทั้งในขณะที่ใบพัดหมุนและใบพัดไม่หมุน ผลการทดสอบพบว่าผลกระทบของการหมุนทำให้เกิดการล่าช้าของการเกิดปรากฏการณ์ป้อ (Stall) และเกิดการเพิ่มแรงยกของใบพัดใกล้โคนใบ (Lift enhancement) ในขณะที่ใบพัดหมุน [5] Schreck, S. และคณะ ศึกษาความดันบนผิวใบพัดกังหันลมแนวแกนนอนของ NREL UAE Phase VI และตั้งข้อสังเกตว่าการเพิ่มระดับการหมุนของใบพัด (Rotational augmentation) มีผลต่อการไล่ระดับความดันในแต่ละระยะรัศมีบนพื้นผิวใบพัด [6] Sicot, C. และคณะ ศึกษาการกระจายความดันบนผิวใบพัดกังหันลมแนวแกนนอนขนาดเล็กโดยศึกษาในขณะที่ใบพัดหมุนและใบพัดไม่มีการหมุน โดยผลการศึกษาพบว่าขณะที่ใบพัดหมุนเกิดขึ้นบริเวณใกล้โคนใบพัดพบว่ามีแรงยกเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามไม่พบหลักฐานในการเกิดความล่าช้าของปรากฏการณ์ป้อ [7]

สำหรับจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนนอนในอนาคตโดยต้องการพัฒนารูปร่างของใบพัด ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงมีความคิดที่จะศึกษาการกระจายความดันบนผิวใบพัดให้ลึกซึ้ง จะได้นำไปปรับปรุงรูปร่างของใบพัดต่อไปในอนาคตให้ได้ใบพัดที่มีสัมประสิทธิ์กำลังงานที่สูงในสภาวะความเร็วลมต่ำ

อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

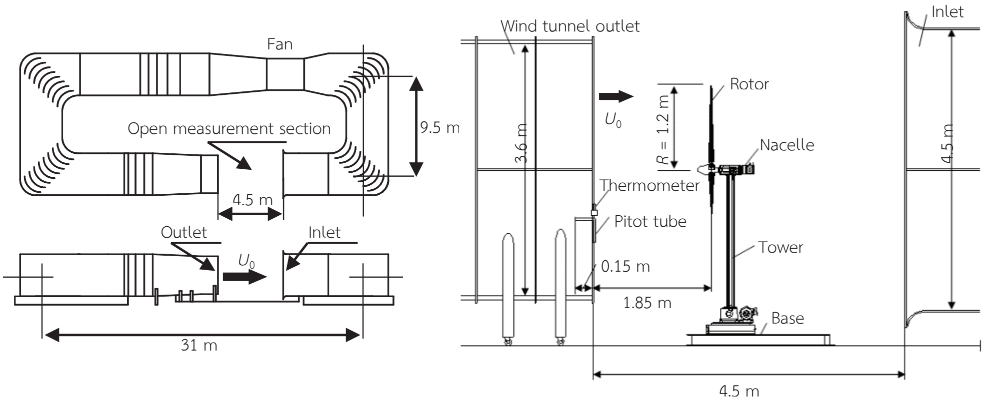
ในการทดสอบมุ่งเน้นศึกษาลักษณะของการกระจายความดันบนผิวใบพัดกังหันลมแนวแกนนอนชนิดใบพัด 3 ใบ ในขณะที่ใบพัดหมุนในสภาวะความเร็วปลายใบให้สัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุด (Optimum tip speed ratio = 5.2) ใบพัดต้นแบบสร้างจากพลาสติกชนิดเทอร์โมเซ็ต “โพลียูรีเทน” (Polyurethane) ใบพัดมีลักษณะบิดและเรียวปลายเหมือนกับใบพัดที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ ใบพัดมีลักษณะแพนอากาศหนาในบริเวณโคนใบพัดและมีลักษณะแพนอากาศบางในบริเวณปลายใบพัด การเลือกลักษณะรูปร่างของแพนอากาศ, ความยาวคอร์ด, และมุมบิดใช้ทฤษฎี Blade Element Momentum Theory (BEMT) รูปร่างของแพนอากาศที่ใช้ในการสร้างใบพัดต้นแบบมี 4 ชนิดซึ่งมีรูปร่างแตกต่างกันประกอบไปด้วย DU91-W2-250, DU93-W-210, NACA63-618, และ NACA63-215 ตำแหน่งของแพนอากาศแต่ละชนิดจัดเรียงในแต่ละระยะรัศมี (*r/R*) ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งของชายปีกหน้า (Leading edge), ชายปีกหลัง (Trailing edge), และมุมบิด (Twisted angle) ของแพนอากาศที่จัดเรียงภายในใบพัด ระยะจากชายปีกหน้าถึงชายปีกหลังเป็นความยาวคอร์ด เส้นสีน้ำเงินแสดงตำแหน่งของชายปีกหน้าและสีแดงแสดงตำแหน่งของชายปีกหลังในแต่ละระยะรัศมี เส้นสีเขียว

แสดงมุมบิดของแพนอากาศซึ่งมีค่าสูงสุดที่ θ_{twist} = 18.33 องศาที่ระยะรัศมี *r/R* = 0.2 และมุมบิดค่อยๆลดลงจนกระทั่งมีค่าเท่ากับ 0 องศาที่ระยะรัศมี *r/R* = 1.0



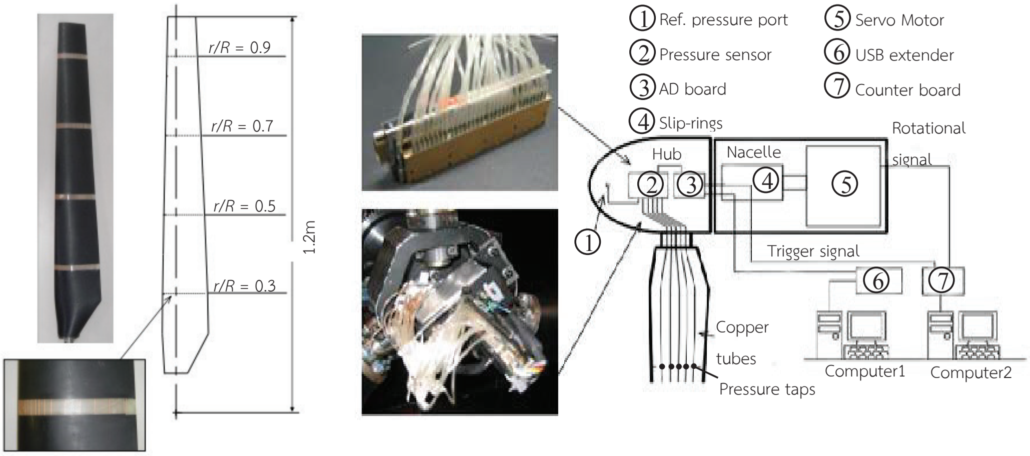
ภาพที่ 1 การกระจายระยะคอร์ดและมุมบิดในใบพัดต้นแบบ

ภาพที่ 2 แสดงแผนผังของการจัดวางกังหันลมในอุโมงค์ลม อุโมงค์ลมที่ใช้เป็นแบบ Circular wind tunnel บริเวณพื้นที่ใช้ในการทดสอบในอุโมงค์ลมเป็นลักษณะเปิดโล่ง (Opened section) ซึ่งมีขนาดกว้าง 3.6 เมตรและยาว 4.5 เมตร ระยะห่างจากระนาบของโรเตอร์ถึงช่องลมออก (Air outlet) 1.85 เมตร กระแสลมหลัก (Mainstream flow) ที่สร้างจากโบเวอร์ขนาด 400 กิโลวัตต์ ท่อปิโตต์และเทอร์โมมิเตอร์ ใช้ในการวัดการไหลและอุณหภูมิของกระแสลมหลัก ความเร็วสูงสุดของกระแสลมหลักที่อุโมงค์ลมนี้ทำได้คือ 30 เมตรต่อวินาที สำหรับในการทดสอบกังหันลมได้ใช้ความเร็วลมของกระแสลมหลักคงที่ 7 เมตรต่อวินาที ค่าความรุนแรงความปั่นป่วน (Turbulence intensity, *TI*) มีค่าน้อยกว่า 0.5 % การหมุนของใบพัดควบคุมด้วยเซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) พลังงานกลของกังหันลมขณะที่หมุนสามารถทำการวัดด้วยเครื่องวัดแรงบิด (Torque meter) และเซ็นเซอร์ความเร็ว (Rotational speed sensor)



ภาพที่ 2 แผนผังของการจัดวางกังหันลมต้นแบบในอุโมงค์ลม

การวัดความดันบนผิวใบพัดใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดความดัน (Pressure sensors) ในการวัดความดันบนผิวใบพัดขณะที่ใบพัดหมุน ภาพที่ 3 แสดงตำแหน่งที่วัดความดันในทิศทางกางใบพัด (Spanwise direction) และระบบการตรวจวัดความดัน เซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแบบเซมิคอนดักเตอร์ (Semiconductor) โดยมี 32 port และ 1 port ที่ใช้อ้างอิง เซ็นเซอร์ที่ใช้มี rated pressure ในช่วง 7.65 กิโลปาสคาล คอมพิวเตอร์ประมวลผลสำหรับข้อมูลความดันเป็นข้อมูลเฉลี่ยจากทุกๆ 100 รอบของใบพัดที่หมุน



ภาพที่ 3 ตำแหน่งที่วัดความดันในทิศทางกางใบพัดและระบบการตรวจวัดความดัน

การวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การกระจายความดันบนผิวใบพัดบริเวณใกล้โคนใบพัด (r/R = 0.3) และใกล้ปลายใบพัด (r/R = 0.7) ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบด้วยการใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันและการคำนวณด้วยตัวเลขด้วยโปรแกรม Xfoil ในรูปแบบค่าสัมประสิทธิ์ความดัน (Pressure coefficient) ความดันบนผิวใบพัดในขณะที่หมุนขึ้นอยู่กับความเร็วสัมพัทธ์ของกระแสอากาศ, มุมปะทะ, และรูปร่างของพื้นผิวใบพัด สำหรับในงานวิจัยนี้การกระจายของค่าสัมประสิทธิ์ความดันบนผิวใบพัดนำเสนอในรูปแบบของตัวแปรไร้มิติในช่วงระยะคอร์ด y/c = 0.0 ถึง y/c = 1.0 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความดันจากการทดสอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดความดัน (Pressure coefficient, C_{p_tap}) สามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความดันที่วัดได้บนผิวใบพัดกับความดันพลศาสตร์ (Dynamic pressure)

$$C_{\mathrm{p_tap}} = \frac{(p_{\mathrm{i}} - p_0)}{p_{\mathrm{d}}} \quad (1)$$

เมื่อ p_i คือ ความดันสถิตในแต่ละ pressure tap [Pa]

p_0 คือ ความดันสถิตอ้างอิงจาก pressure tap [Pa]

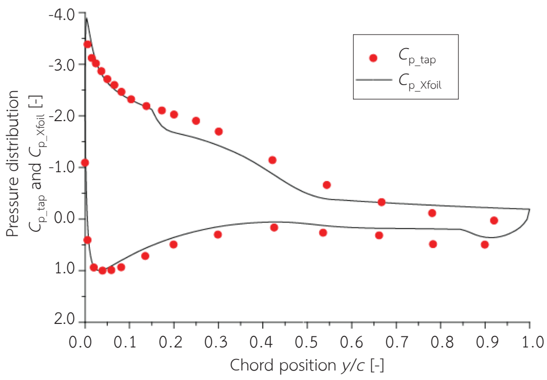
p_d คือ ความดันพลศาสตร์ของความเร็วสัมพัทธ์ของกระแสอากาศที่กระทำต่อพื้นผิวใบพัด [Pa]

ภาพที่ 4 (1) และ ภาพที่ 4 (2) แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความดันบนผิวใบพัดระหว่างการวัดค่าด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดความดัน C_{p_tap} และการคำนวณทางตัวเลขด้วยโปรแกรม Xfoil C_{p_Xfoil} ที่ระยะรัศมี r/R = 0.3 และ r/R = 0.7

พฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_tap} ทั้งภาพที่ 4 (1) และ ภาพที่ 4 (2) จะมีค่าเท่ากับ 1.0 ที่บริเวณใกล้ชายปีกหน้าของพื้นผิวด้านล่าง (Pressure Surface) ความเร็วสัมพัทธ์จะกระทบกับผิวใบพัด ณ จุดนี้ก่อนที่จะไหลไปตามรูปร่างของใบพัดซึ่งจุดนี้เรียกว่าจุดหยุดนิ่ง (Stagnation point) หลังจากที่กระแสอากาศไหลไปตามรูปร่างของใบพัด ค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_tap} จะมีค่าลดลงตลอดพื้นผิวด้านล่าง (Pressure surface) ส่วนบริเวณพื้นที่ผิวด้านบน (Suction surface) แสดงค่าต่ำสุดใกล้เคียงกับชายปีกหน้าแล้วมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าใกล้ชายปีกหลัง

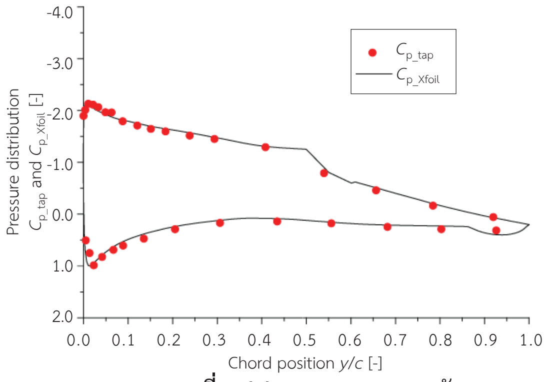
จากภาพที่ 4 (1) แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความดันที่ระยะรัศมี r/R = 0.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_Xfoil} แสดงค่าแตกต่างจากค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_tap} ค่อนข้างชัดเจน เหตุผลที่สำคัญข้อหนึ่งก็คือค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_tap} ได้ทำการวัดค่าในขณะที่ใบพัดหมุนที่ความเร็วปลายในสภาวะที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุด ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_Xfoil} พยากรณ์ค่าสัมประสิทธิ์ความดันในเงื่อนไขที่ใบพัดไม่มีการหมุน ลักษณะการกระจายความดันของค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_Xfoil} พยากรณ์จุดหยุดนิ่งใกล้ระยะคอร์ด y/c = 0.15 ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_tap} ล่าช้ากว่าและแสดงจุดหยุดนิ่งใกล้ระยะคอร์ด y/c = 0.3 นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_Xfoil} แสดงการไหลแยกชั้น (Separated flow) แต่ค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_tap} ไม่แสดงการไหลแยกชั้น

จากภาพที่ 4 (2) แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความดันที่ระยะรัศมี r/R = 0.7 ค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_tap} และค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_Xfoil} ค่อนข้างจะใกล้เคียงกันมากซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าผลกระทบของการหมุนค่อนข้างจะไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความดันบริเวณใกล้ปลายใบ สำหรับระยะคอร์ดในช่วง $0.4 < y/c < 0.5$ มีค่าค่อนข้างเท่ากันซึ่งเหมือนจะเกิดการก่อตัวของ laminar separation bubble ในระยะคอร์ด y/c = 0.5 แสดงจุดหยุดนิ่งของทั้งค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_tap} และค่าสัมประสิทธิ์ความดัน C_{p_Xfoil} หลังจากนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความดันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าใกล้ชายปีกหลัง



ภาพที่ 4 (1) การกระจายความดัน

(r/R = 0.3, λ = 5.2)



ภาพที่ 4 (2) การกระจายความดัน

(r/R = 0.7, λ = 5.2)

สำหรับวิธีการคำนวณแรงยกในแต่ละระยะรัศมีสามารถคำนวณได้จากการรวมความดันในแต่ละ pressure tap ที่ทำการวัด

$$L = \sum_{i=1}^{32} \left[(p_i - p_0) \sin(\gamma_i + \alpha) s_i \right] \tag{2}$$

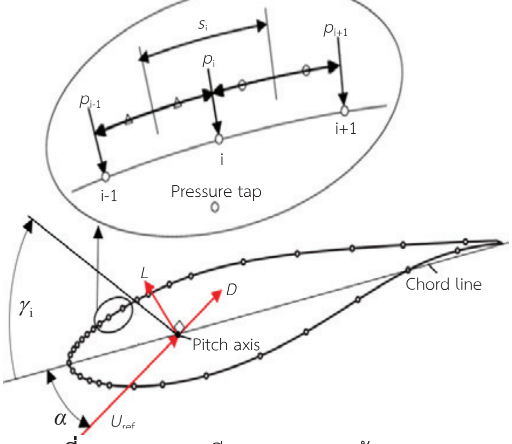
เมื่อ L คือ แรงยกในแต่ละส่วนของพื้นผิวใบพัด (Sectional lift force) [N]

s_i คือ ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของ pressure tap ที่ใกล้เคียงกัน [m]

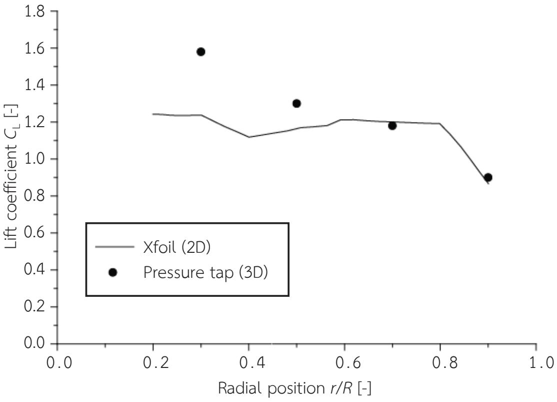
γ_i คือ มุมเอียงระหว่าง pressure tap [°]

α คือ มุมปะทะ [°]

ภาพที่ 5 (1) แสดงถึงภาคตัดขวางของใบพัดกับรายละเอียดชองตัวแปรของแรงทางด้านอากาศพลศาสตร์ ซึ่งแรงยกจะตั้งฉากกับความเร็วสัมพัทธ์ (U_{ref}) ขณะที่แรงต้านจะขนานกับความเร็วสัมพัทธ์ ภาพที่ 5 (2) แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงยก C_L จากการทดสอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันและการพยากรณ์ด้วยโปรแกรม Xfoil ค่าสัมประสิทธิ์แรงยกจากการทดสอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันได้ทำการวัดค่าที่ระยะรัศมี r/R = 0.3, 0.5, 0.7, และ 0.9 สัมประสิทธิ์แรงยกจากการพยากรณ์ด้วยโปรแกรม Xfoil ได้พยากรณ์จากระยะรัศมี r/R = 0.2 ถึง r/R = 0.9 จากการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงยกจากการทดสอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์ในช่วงระยะรัศมีใกล้โคนใบพัดถึงกลางใบพัด เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ก็คือบริเวณใกล้โคนใบพัดมีการเกิดผลกระทบที่ซับซ้อนของการไหลของอากาศและผลกระทบที่เกิดจากการหมุน แต่อย่างไรก็ตามบริเวณปลายใบพัดค่าสัมประสิทธิ์แรงยกจากการทดสอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดความดันมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าที่ได้จากการพยากรณ์ในบริเวณใกล้ปลายใบพัด เนื่องจากในบริเวณใกล้ปลายใบพัดไม่มีการเพิ่มแรงยกเนื่องผลกระทบของการหมุน (Lift enhancement) นอกจากนี้ยังมีข้อสังเกตอีกอย่างในระยะรัศมี r/R = 0.8 ถึง 0.9 มีค่าสัมประสิทธิ์แรงยกลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการเกิดการก่อตัวของกระแสอากาศวนที่ปลายใบพัด (Tip vortex)



ภาพที่ 5 (1) รายละเอียดของแรงทางด้านอากาศพลศาสตร์



ภาพที่ 5 (2) สัมประสิทธิ์แรงยก (λ = 5.2)

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบในครั้งนี้มีความพยายามที่จะศึกษาผลกระทบและลักษณะของการกระจายความดันบนผิวใบพัดของกังหันลมแนวแกนนอน โดยการศึกษาได้มีการเปรียบเทียบการกระจายความดันบนผิวใบพัดทั้งทางการทดสอบในอุโมงค์ลมร่วมกับเซ็นต์เซอร์ความดันเพื่อศึกษาการกระจายความดันในขณะที่ใบพัดหมุนปฏิบัติงานในสภาวะความเร็วปลายใบให้สัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุดและการคำนวณทางตัวเลขโดยใช้โปรแกรม Xfoil จากการศึกษาพบว่าผลกระทบของการหมุนของใบพัดมีผลกระต่อลักษณะการกระจายความดันรอบๆรูปร่างใบพัดใกล้โคนใบพัดอย่างมาก การกระจายความดันรอบๆ พื้นผิวใบพัดที่ระยะรัศมี r/R = 0.3 พบว่าเกิดการล้าช้าของจุดหยุดนิ่ง (Delay transition point) และทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงยก (Lift enhancement) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณา ลักษณะการกระจายความดันรอบๆรูปร่างของใบพัดใกล้ปลายใบพัดที่ระยะรัศมี r/R = 0.7 พบว่าผลกระทบของการหมุนของใบพัดแทบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของการกระจายความดัน, จุดหยุดนิ่ง, และแรงยก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ขอแสดงความขอบคุณ Prof. Dr. Takao Maeda หัวหน้าห้องวิจัย Fluid Engineering for Energy and Environment Laboratory แห่ง Mie University เป็นอย่างสูงที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิจัยนี้ และขอแสดงความขอบคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ของทางห้องวิจัยที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). **สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม – มีนาคม 2560.** กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551 - 25565).** กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

[3] วิรชัย โรยนรินทร์ (2551). **รายงานการศึกษาวิจัยพัฒนาสาธิตต้นแบบเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วต่ำ.** คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธัญบุรี

[4] วิรชัย โรยนรินทร์ (2552). **รายงานโครงการวิจัยเพื่อพัฒนากังหันลมผลิตไฟฟ้าต้นแบบขนาด 50 กิโลวัตต์.** คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธัญบุรี

[5] Ronsten, G. (1992). Static pressure measurements on a rotating and a non-rotating 2.375 m wind turbine blade. Comparison with 2D calculations. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.** 39 (1), 105–118.

[6] Schreck, S. and Robinson, M. (2002). Rotational augmentation of horizontal axis wind turbine blade aerodynamic response. **Wind Energy.** 5(1), 133–150.

[7] Sicot, C., Devinant, P., Loyer, S. and Hureau, J. (2008). Rotational and turbulence effects on a wind turbine blade. Investigation of the stall mechanisms. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.** 96 (2), 1320–1331.

จลนพลศาสตร์การอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุงด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด และการพาความร้อน

Drying Kinetics of Germinated Chiang Phatthalung Paddy by Infrared Radiation and Convection

หทัยชนก เนตรคำ[1*] ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล[2] และสุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล[3]
[1] สาขาวิชาการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110
[2] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110
[3] ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุง ด้วยรังสีอินฟราเรดและลมร้อน ซึ่งจะพิจารณาจลนพลศาสตร์การอบแห้ง การทดลองอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 60-100°C กำลังรังสีอินฟราเรด 1000 W ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกงอกอยู่ในช่วง 47-55% มาตรฐานแห้ง นำมาอบแห้งให้มีความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 20-25% มาตรฐานแห้ง หลังจากนั้นนำไปตากลมที่สภาพแวดล้อมจนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 13-15% มาตรฐานแห้ง จากผลการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิที่ใช้ในอบแห้ง และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีอัตราการอบแห้งที่เร็วกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน สำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งของข้าวเปลือกงงอกเฉี้ยงพัทลุง ผลการอบแห้งจะนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการเอมไพริเคิลจำนวน 9 สมการ ผลการทดลองพบว่า แบบ Approximation of Diffusion สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมการอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุง ด้วยรังสีอินฟราเรดและลมร้อนมีค่าใกล้เคียงผลการทดลองมากที่สุด

คำสำคัญ: การแผ่รังสีอินฟราเรด ข้าวเปลือกงอก

*Corresponding author: Tel.: 091-8393558. E-mail address: hathaichanok_6.1@hotmail.com

Abstract

The objective of this research was to study drying of Germinated Chiang Phatthalung Paddy by infrared radiation (IR) and hot air (HA). Determination of drying kinetics was presented. The experiments were carried out under the conditions of drying temperature ranging of 60-100°C and infrared radiation power value of 1,000 W. The initial moisture content of germinated paddy was in range between 47 and 55% dry-basis. After drying the final moisture content of dried between 20 and 25% dry-basis and then drying by aeration until dried final moisture content was 13-15% dry-basis. The results showed that drying rate increased with increase of drying temperature and drying by infrared radiation faster than drying by hot air. For determination of thin-layer drying kinetics, the data was analyzed by various drying empirical models. The results showed that using Approximation of Diffusion model have a good relation to the experimental.

Keyword: Infrared radiation, Germinated paddy

บทนำ

ข้าวเฉี้ยงพัทลุง (Chiang Phatthalung) เป็นข้าวเจ้าสายพันธุ์หนึ่งที่มีความสามารถในการปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมได้ดี และปลูกได้ในหลายท้องที่ทุกจังหวัดในภาคใต้ มีอายุการเก็บเกี่ยวปานกลาง โดยจะให้ผลผลิตค่อนข้างสูงและสม่ำเสมอ คุณภาพการสีดี และคุณภาพการหุงต้มดีทั้งข้าวเก่าและข้าวใหม่ ข้าวใหม่สามารถบริโภคได้ทันที สำหรับคุณภาพข้าวสุกแล้ว ร่วนแข็งและหอม[1]

กรรมวิธีการผลิตข้าวกล้องงอก แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนด้วยกัน ได้แก่ การเพาะงอก การนึ่ง และการอบแห้ง ซึ่งในการเพาะงอกนั้นใช้ ข้าวกล้องหรือข้าวเปลือกแช่น้ำเพาะจนงอกมีความยาวประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตร แล้วนำไปผ่านความร้อน (นึ่ง อบ หรือต้ม) และลดความชื้นเพื่อทำให้แห้ง ความชื้นสุดท้ายของข้าวกล้องงอกประมาณ 14% มาตรฐานแห้ง [2] ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีใหม่เข้ามาใช้ในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น เช่น อนุสรา นาดี และคณะ [3] ศึกษาแนวทางการอบแห้งใบเตยเพื่อใช้ทำชาด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยพิจารณาจลนพลศาสตร์การอบแห้ง คุณภาพของใบเตยหลังการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง ได้ทำการทดลองอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 45-65°C กำลังรังสีอินฟราเรด 500 และ 1,000 W ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของใบเตยอยู่ในช่วง 400-600% มาตรฐานแห้ง และ 8-12% มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นขณะที่ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งการทำนายผลของจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่ใช้ทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 1,000 W ร่วมกับลมร้อนและการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว คือ แบบจำลอง Logarithmic ส่วนแบบจำลองที่ใช้ทำนายการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 500 W ร่วมกับลมร้อน คือ แบบจำลองของ Page และ ศักชัย จงจำ และคณะ [4] ศึกษาการอบแห้งหญ้าปักกิ่งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด และหาสมการการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งหญ้าปักกิ่ง โดยได้ทำการ

ทดลองอบแห้งที่ความดันสมบรูณ์ 5, 10 และ 15 kPa และอุณหภูมิอบแห้ง 40, 50 และ 60°C ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งและลดความดันสมบรูณ์ มีผลทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์สมการอบแห้งชั้นบาง พบว่าสมการของ Modified Henderson and Pabis สามารถทำนายผลการอบแห้งหญ้าปักกิ่งด้วยสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดได้ดีที่สุด เป็นต้น

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการอบแห้งของข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุง และหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งที่เหมาะสม สำหรับทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุงด้วยรังสีอินฟราเรดและลมร้อน

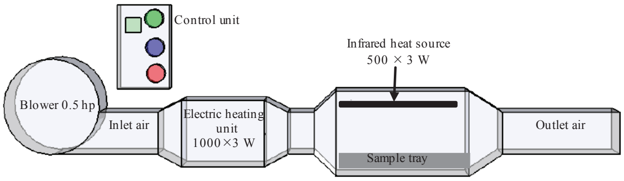
วิธีการวิจัย

วัตถุดิบ

ข้าวเปลือกสายพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง เก็บเกี่ยวในฤดูเพาะปลูกข้าวในปี 2553 จากศูนย์วิจัยพันธุ์ข้าวพัทลุง จังหวัดพัทลุง

อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง มีรายละเอียดดังภาพที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบถาดพลังงานความร้อน

ขนาดของห้องอบแห้ง 61x48x53 cm^3 ภายในห้องอบแห้งมีหลอดรังสีอินฟราเรดขนาด 500 W 3 หลอด ใช้สาย Thermocouple ชนิด K สำหรับวัดอุณหภูมิ ที่บริเวณ ด้านซ้าย ด้านขวา ด้านบน ด้านหลัง บริเวณขาเข้า และบริเวณขาออก ของห้องอบแห้ง ได้ต่อสายเข้ากับเครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) ยี่ห้อ YOGOGAWA อ่านค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ด้วยเครื่อง Watt-Hour Meter ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ A&D รุ่น GF 3000 ค่าความละเอียด ± 0.1 เตาแก๊ส LPG ขนาด 15 kg และหม้อนึ่ง

วิธีการทดลองและวิเคราะห์

1 การเตรียมวัสดุ

1) เตรียมข้าวเปลือกสายพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงล้างทำความสะอาด คัดเมล็ดที่ลอยน้ำออกนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปลี่ยนถ่ายน้ำทุก ๆ 4 ชั่วโมง นำข้าวเปลือกไปห่อผ้าขาวบางและพรมน้ำทุก ๆ 4 ชั่วโมง จนรากงอกยาวประมาณ 0.5-1 มิลลิเมตร [5]

2) นำข้าวเปลือกงอกไปนึ่งด้วยไอน้ำเป็นเวลา 30 นาที [6] และนำมาเก็บที่สภาวะอับอากาศเป็นเวลา 30 นาที [7]

3) นำข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการนึ่งมาตั้งให้เย็นที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

2 การทดลองการอบแห้ง

1) หาความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกงอกก่อนการทดลองโดยใช้วิธีการ AOAC 2000 [8]

2) ทำการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิการอบแห้ง 60, 80 และ 100°C และรังสีอินฟราเรดที่กำลังรังสีอินฟราเรด 1,000 W ที่อุณหภูมิการอบแห้ง 60, 80 และ 100°C

3) กำหนดความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกงอกอยู่ในช่วง 20-25% มาตรฐานแห้ง [9]

4) นำข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการอบแห้งไปเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปตากที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายเป็น 13-15% มาตรฐานแห้ง [2]

3 จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง

การวิเคราะห์หาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมของข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุง ทำได้โดยการนำค่าความชื้นจากการทดลองมาเปรียบเทียบกับสมการการอบแห้งชั้นบางที่ใช้สำหรับทำนายค่าความชื้น ซึ่งอยู่ในรูปสมการการอบแห้งเอมไพริเคิล โดยเป็นรูปแบบสมการเฉลยอย่างง่าย รูปแบบสมการพื้นฐานที่ใช้ทำนายการอบแห้งชั้นบางแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง [10-13]

Name of model	Model equation	
Newton	MR=exp(-kt)	1
Page	$MR = exp(-k(t^n))$	2
Henderson and Pabis	MR = aexp(-kt)	3
Logarithmic	MR = aexp(-kt) + b	4
Two-Term Exponential	MR = aexp(-kt) + (1-a)exp(-kat)	5
Appoximation of Diffusion	MR = aexp(-kt) + (1-a)exp(-kbt)	6
Verma et al.	MR = aexp(-kt) + (1-b) exp(-ct)	7
Midilli et al.	$MR = aexp(-k (t^n)) + bt$	8
Logistic	MR = a / (1+exp(kt))	9

Note: a, b, c, k and n mean arbitrary constant in simulated drying equation and k was also represented in linear function of drying temperature (in °C)

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกงอก โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear regression) สำหรับดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการทำนายของสมการ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ดังสมการที่ 10 และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) สามารถคำนวณได้จากสมการ 11 [14-15]

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Data_{(exp,i)} - Data_{(pred,i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Data_{(exp,i)} - \overline{Data}_{(exp,i)}\right)^2} \tag{10}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Data_{(exp,i)} - Data_{(pred,i)}\right)^2} \tag{11}$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด, $Data_{(exp,i)}$คือ ค่าความชื้นสมดุลจากผลการทดลอง (% มาตรฐานแห้ง) $Data_{(pred,i)}$ คือ ค่าความชื้นสมดุลจากผลการทำนาย (% มาตรฐานแห้ง)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุง โดยใช้สภาวะการอบแห้งต่างๆ และคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นที่เวลาต่างๆ ดังสมการที่ 12

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \tag{12}$$

เมื่อ M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ (%มาตรฐานแห้ง), M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ ของวัสดุ (% มาตรฐานแห้ง), M_{eq} คือ ความชื้น สมดุล (%มาตรฐานแห้ง)

การคำนวณอัตราส่วนความชื้นสำหรับในงานวิจัยนี้ เป็นการคำนวณหาค่าโดยประมาณ คือไม่คิดค่าความชื้นสมดุล โดยตั้งสมมุติฐานว่า ความชื้นสมดุลมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าความชื้นเริ่มต้นและความชื้นที่เวลาใด [10-11,16-17] ดังนั้นจากสมการที่ 12 สามารถเขียนเป็นสมการใหม่ได้เป็นดังสมการที่ 13

$$MR = \frac{M_t}{M_{in}} \tag{13}$$

สำหรับผลการอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุงด้วยรังสีอินฟราเรด 1,000 W และอบแห้งด้วยลมร้อน ที่สภาวะต่างๆ นำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมไพริเคิล โดยเลือกใช้สมการเอมไพริเคิล 9 สมการ ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติต่างๆ ได้แสดงค่าคงตัวของสมการเอมไพริเคิลต่างๆ ดังตารางที่ 2

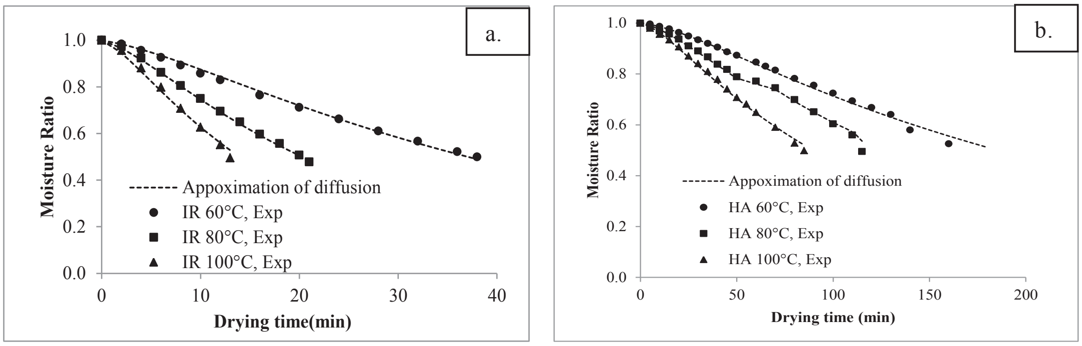
จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาค่า R^2 และค่า RMSE เพื่อเปรียบเทียบหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับอธิบายจลพลศาสตร์ของการอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุง พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Appoximation of Diffusion จะมีค่า R^2 ที่มากที่สุดคือ 0.9315 และ0.9946 สำหรับค่า RMSE ที่น้อยที่สุดคือ 0.0410 และ 0.0104 ของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด และ อบแห้งด้วยลมร้อน ตามลำดับ จึงเหมาะสำหรับการทำนายสมการการอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุงด้วยรังสีอินฟราเรดและลมร้อนมากที่สุด

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของสมการการอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุงภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ

Energy source	Name of model	Constant	R^2	RMSE
Hot air (HA)	Newton	K=-0.0022+0.00009T	0.9128	0.0463
	Page	k=-0.0013+0.00004T, n=1.2414	0.9309	0.0412
	Henderson and Pabis	k=-0.0023+0.00010T, a=1.0341	0.9249	0.0430
	Logarithmic	k=-0.0003+0.00002T, a=4.73226, b=-3.7160	0.9304	0.0414
	Two-Term Exponential	k=-180.486+7.610T, a=1.22×10^{-5}	0.9127	0.0463
	Appoximation of Diffusion	k=-0.0266+0.00118T, a=-0.0849, b=0.0943	0.9315	0.0410
	Verma et al.	k=-0.0021+0.00009T, a=0.54641,b=-0.00232, c= 0.00009	0.9127	0.0462
	Midilli et al.	k=-0.0015+0.00004T, a=1.0075, b= -0.0001, n=1.1938	0.9311	0.0411
	Logistic	k=-0.0037+0.0002T, a=2.0398	0.9300	0.0414
Infrared (IR)	Newton	k=-0.0259+0.0007T	0.9794	0.0249
	Page	k=-0.0196+0.0005T, n=1.2356	0.9954	0.0117
	Henderson and Pabis	k=-0.0276+0.0007T, a=1.0338	0.9886	0.0184
	Logarithmic	k=0.0380+1232T, a=4.549, b=-3.535	0.9949	0.0124
	Two-Term Exponential	k=-4602.02+127.93T, a=5.62×10^{-6}	0.9793	0.0112
	Appoximation of Diffusion	k=-0.2111+0.0059T, a=-0.1273, b=0.1536	0.9964	0.0104
	Verma et al.	k=0.0330-0.0005T, a=-243.745, b=0.0328, c=-0.0005	0.9965	0.0103
	Midilli et al.	k=-0.0693+0.0007T, a=1.0069, b=-0.0363, n= 0.8547	0.9939	0.0135
	Logistic	k=-0.0452+0.0013T, a=2.0372	0.9948	0.0124

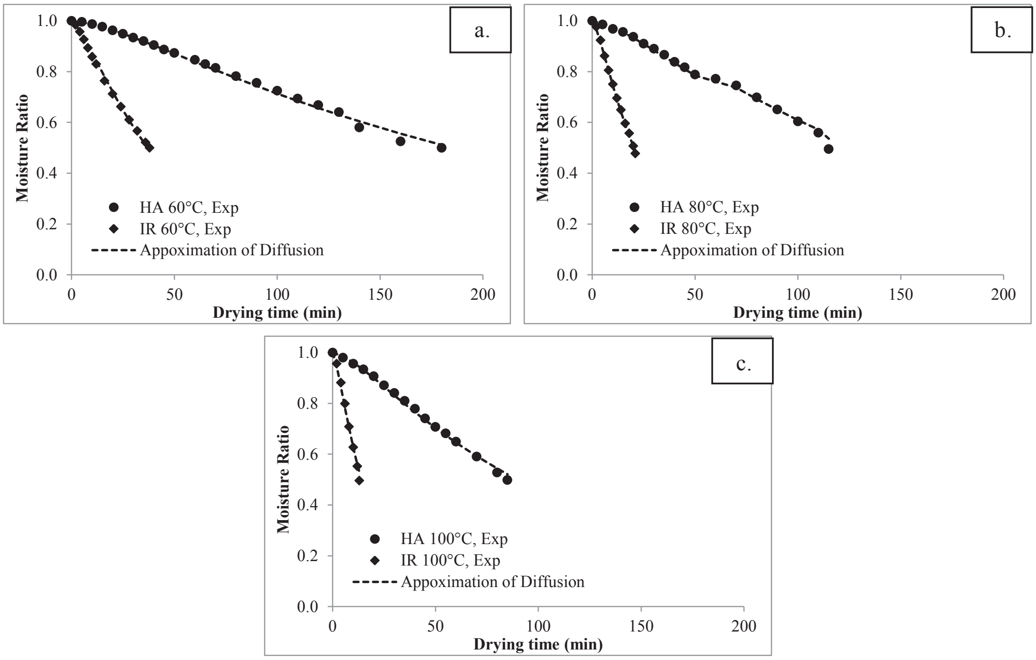
Note: a, b, c, k and n mean arbitrary constant in simulated drying equation and k was also represented in linear function of drying temperature (in °C)

จากภาพที่ 2 a. และ b. แสดงจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุงด้วยรังสีอินฟราเรด และลมร้อนตามลำดับ โดยมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 47-55 % มาตรฐานแห้ง และความชื้นสุดท้ายหลังอบแห้งอยู่ในช่วง 20-25 % มาตรฐานแห้ง จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มมากขึ้นเกรเดียนท์ของอุณหภูมิระหว่างแหล่งพลังงานและวัสดุจะเพิ่มมากขึ้น อัตราการถ่ายโอนความชื้นยิ่งสูงมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งส่งผลทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น



ภาพที่ 2 แสดงจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุง a. อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด b. อบแห้งด้วยลมร้อน

จากการเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยสภาวะการอบแห้งในช่วงของอุณหภูมิ 60-100°C ทั้งนี้ในกรณีของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 1,000 W และลมร้อน ที่สภาวะต่างๆของการทดลอง พบว่าปัจจัยของแหล่งพลังงานความร้อนมีผลต่ออัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยพบว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดใช้เวลาในการอบแห้งเร็วกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนซึ่งแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Umesh Hebbar, H. et al. และ Tirawanichakul, S. et al. [18-19]



ภาพที่ 3 อัตราส่วนความชื้นของข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุงที่เวลาอบแห้งต่างๆ ของการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด และลมร้อน ที่อุณหภูมิอบแห้งในช่วง 60°C (a) 80°C (b) และ 100°C เปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยแบบจำลองเอมไพริเคิลของ Appoximation of Diffusion

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของปัจจัยของการอบแห้งด้วยแหล่ง พลังงานต่างๆ ต่อผลิตภัณฑ์ข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุง ที่ได้ สามารถสรุปโดยภาพรวม ของงานวิจัยนี้ออกเป็นข้อๆ ดังนี้ 1. เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น และระยะเวลาในการอบแห้งลดลง 2. การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าอัตราการอบแห้งด้วยลมร้อน 3. อัตราส่วนความชื้นจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาและอุณหภูมิการอบแห้งเพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาวิเคราะห์รูปแบบสมการที่เหมาะสม พบว่าแบบจำลอง Appoximation of Diffusion สามารถทำนายพฤติกรรมการอบแห้งข้าวเปลือกงอกเฉี้ยงพัทลุงด้วยรังสีอินฟราเรด 1,000 W และลมร้อน ได้มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ คณะบัณฑิตวิทยาลัย และคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือและทุนวิจัยเพื่อใช้ในการทำโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ฐานข้อมูลพันธุ์ข้าวรับรองของไทย (ม.ป.ป.). ข้าวเฉี้ยงพัทลุง สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2559, จาก http://www.brrd.in.th/rvdb

[2] มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 4004-2555. (2555). **ข้าวกล้องงอก** สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2559, จาก www.acfs.go.th/standard/download/RICE-1.pdf

[3] อนุสรา นาดี ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล และสุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล. (2555). จลนพลศาสตร์การอบแห้งใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนและลมร้อน. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา.** 17 (2), 130-138.

[4] ศักชัย จงจำ และอำไพศักดิ์ ที่บุญมา. (2553). การอบแห้งหญ้าปักกิ่งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.** 12 (3), 75-85.

[5] ศุรัฐนันท์ คงวรรณ, กมลวรรณ แจ้งชัด และพัชรี ตั้งตระกูล. (2554). **ผลของสภาพการงอกต่อสมบัติความหนืดและปริมาณ GABA ของแป้ง ข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวกล้อง**. รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 (สาขาอุตสาหกรรม เกษตร). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 210-217.

[6] Komatsuzaki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N., and Kimura, T. (2007). Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. **Journal of Food Engineering**. 78 (2), 556–560.

[7] Srisang, N., Prachayawarakorn, S., Varanyanond, W., and Soponronnarit, S. (2010). Germinated brown rice drying by hot air fluidization technique. **Journal of Drying Technology**. 29 (1), 55–63.

[8] AOAC. 2000. Official Method of Analysis, 16th Ed, The Association of Official Analytical Chemists. Inc. Arling-ton, Virginia, USA.

[9] Kaewyot, K. and Taechapairoj, C. (2012). Effect of Drying on Antioxidant Activity of Germinated Paddy Using Fluidization Technique. **Journal Sci Technol MSU**. 32 (4), 449-455.

[10] Nuthong, P., Achariyaviriya, A., Namsanguan, K., and Achariyaviriya, S. (2011). Kinetics and modeling of whole longan with combined infrared and hot air. **Journal of Food Engineering**. 102 (3), 233-239.

[11] Ponkham, K., Meeso, N., Soponronnarit, S., and Siriamornpun, S. (2012). Modeling of combined far-infrared radiation and air drying of a ring shaped-pineapple with/without shrinkage. **Food and Bioproducts Processing.** 90 (2), 155-164.

[12] Shen, F., Peng, L., Zhang, Y., Wu, J., Zhang, X., Yang, G., Peng, H., Qi, H. and Deng, S. (2011). Thin-layer drying kinetics and quality changes of sweet sorghum stalk for ethanol production as affected by drying temperature**. Industrial Crops and Products.** 34 (3), 1558-1594.

[13] Tirawanichakul, S., Linpo, P. and Tirawanichakul, T. (2009). Influence of infrared and heat convection on drying kinetics of shrimp and quality. **Thai Journal of Physics**. 4, 116-120.

[14] Doymaz, I. (2010). Effect of citric acid and blanching pre-treatments on drying and rehydration of Amasya red apples. **Food and Bioproducts Processing**. 88 (2–3), 124-132.

[15] Usub, T., Lertsatitthankorn, C., Poomsa-ad, N., Wiset, L., Siriamornpun, S. and Soponronnarit, S. Thin layer solar drying characteristics of silkworm pupae. **Food and Bioproducts Processing**. 88, 149-160.

การศึกษาระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเพื่อประยุกต์ใช้ใน ตลาดสด วงศกร พลาซ่า
Feasibility Study of On-Grid Solar-Wind Hybrid System at Wongsakorn Plaza Market

วงศกร วิเศษสัจจา[1] วิรชัย โรยนรินทร์[2] และเดชา อินทร์โท่โล่[3]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
Email: [1]wongsakorn_w@mail.rmutt.ac.th, [2]wirachai_r@rmutt.ac.th, [3]decha_i@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของตลาดวงศกร พลาซ่า ให้ได้ร้อยละ 10 ระบบพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้า สมการเชิงทฤษฎีของกังหันลมและพลังงานแสงอาทิตย์ใช้ในการคำนวณในงานวิจัยนี้ การผลิตระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานทั้งหมดเท่ากับ 539 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน ทำให้ลดการใช้ไฟฟ้าลง ร้อยละ 16.8 ค่าใช้จ่ายของโครงการนี้อยู่ที่ประมาณ 8,000,000 บาท ซึ่งรายได้จากการประหยัดไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 970,000 บาทต่อปี ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนประมาณ 8 ปี

Abstract

This paper is to investigate the reduction of electricity consumption of Wongsakorn Plaza market, Saimai district, Bangkok by 10 percent. The total hybrid system production was 539 kWh/day, therefore, it reduces the electricity consumption by 16.8 percent. The costs of this project were estimated to be around $240,000 USD which the income from electricity saving was around $29,510.25 USD, Therefore, the turnover period was approximately 8 years.

คำสำคัญ: พลังงานแบบผสมผสาน, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานลม

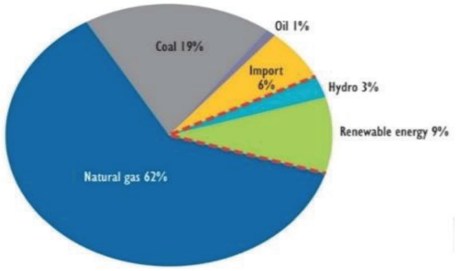
Key Words: Hybrid system, Solar photovoltaic, Wind turbine

1.0 บทนำ

การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลโดยกิจกรรมของมนุษย์เช่นการขนส่งการผลิตกระแสไฟฟ้าและกิจกรรมทางอุตสาหกรรมได้ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศซึ่งทำให้เกิดภาวะโลกร้อน[1] ดังนั้นแหล่งพลังงานทดแทนเช่นแสงอาทิตย์ ลมและน้ำ ได้ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งผลิตพลังงานทางเลือก เทคโนโลยีเหล่านี้มีทรัพยากรที่ไม่จำกัด เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและประหยัด ตามรายงานสถานการณ์โลกหมุนเวียนฉบับปี พ.ศ. 2560 ได้มีการติดตั้งพลังงานทดแทนจากทั่วโลก ในรูปที่ 1 พลังงานทดแทนในประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าถึงร้อยละ 9 ของกำลังผลิตทั้งหมดประมาณ 4,712 เมกะวัตต์ในปี พ.ศ. 2558

รูปที่ 1. ส่วนแบ่งการผลิตไฟฟ้าจากหลายแหล่งในประเทศไทย

ระบบไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนได้รับการติดตั้งอย่างกว้างขวางในครัวเรือนสำนักงานและสิ่งอำนวยความสะดวกโดยใช้แผงหลังคาพลังงานแสงอาทิตย์ กังหันลมระบบไฟฟ้า พลังน้ำและชีวมวล ในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบเหล่านี้

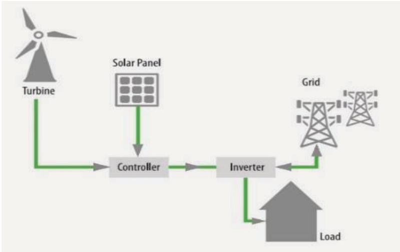


สามารถใช้งานได้กับการเชื่อมต่อสายส่ง(On-Grid) และแบบไม่เชื่อมต่อกับสายส่ง(Off-Grid) นอกจากนี้ระบบผสมผสานได้รับการติดตั้งเพื่อเพิ่มการผลิตพลังงานอย่างต่อเนื่องเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จุดอ่อนของแต่ละระบบสามารถนำมาใช้โดยข้อดีจากระบบอื่นๆ ระบบเหล่านี้สามารถติดตั้งได้ทั้งระบบเชื่อมต่อแบบไม่เชื่อมต่อกับสายส่ง ระบบผสมผสานให้ความน่าเชื่อถือและประหยัดค่าใช้จ่ายมากขึ้นสำหรับการผลิตพลังงานหมุนเวียนโดยเฉพาะการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในครัวเรือน ในบทความนี้จะมีการวิเคราะห์ระบบผสมผสาน แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในตลาดประมาณร้อยละ 10

2.0 แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบผสมผสาน (Hybrid System)

ระบบพลังงานผสมผสานเป็นระบบที่รวมเอาทรัพยากรพลังงานทดแทนเช่นแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมดังแสดงในรูปที่ 2 เทคโนโลยีนี้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้โดยการชดเชยข้อจำกัด ของทรัพยากรแต่ละตัวเช่นกังหันลมยังสามารถสร้างพลังงานได้ในขณะไม่มีแสงแดด นอกจากนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและสภาพอากาศในแต่ละพื้นที่ ระบบนี้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและประหยัดมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงการเชื่อมต่อกับสายส่งให้ดียิ่งขึ้น



โดยได้รับการสนับสนุนเป็นอินเวอร์เตอร์และคอนโทรลเลอร์อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงช่วยเพิ่มเสถียรภาพของระบบ

รูปที่ 2. ระบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ – ลม แบบเชื่อมต่อสายส่ง

2.2 พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Power)

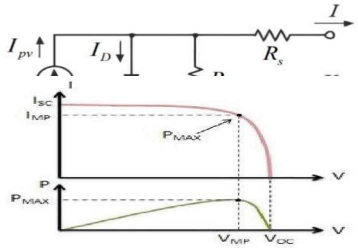
พลังงานแสงอาทิตย์สามารถแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ รังสีจากดวงอาทิตย์ประกอบด้วยอนุภาคของแสงซึ่งเมื่ออนุภาคของแสงส่งผลกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์อาจจะมีการดูดกลืนหรือสะท้อนของรังสี ดังนั้นอนุภาคของแสงที่ดูดซับจะผลิตพลังงานเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ 18.2 MJ/m^2 และมีปริมาณแสงแดดมากที่สุดในช่วงเดือนเมษายนและพฤษภาคม

แนวแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากที่เชื่อมต่ออยู่ในชุดหรือแบบขนานเพื่อเข้าถึงกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ รูปแบบแผงโซลาร์เซลล์คล้ายกับ diode ที่มีจุดเชื่อมต่อ p-n และประกอบด้วยdiode หนึ่งตัวและตัวต้านทานสองตัว ดังที่แสดงในรูปที่ 3 กระบวนการเริ่มต้นเมื่อดวงอาทิตย์ถูกดูดซับโดยจุดเชื่อมต่อที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าโดยผลกระทบของเซลล์สุริยะ (photovoltaic effect)[16] กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากกราฟลักษณะ (I - V) และ (P - V) แสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 3. วงจรเทียบเท่าของแผงโซลาร์เซลล์

รูปที่ 4. ลักษณะเฉพาะของแนวแผงโซลาร์เซลล์

ดังนั้นสมการกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเขียนได้ดังนี้



$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V+IR_S)}{Akt}\right) - 1\right] - \left(\frac{V+IR_S}{R_{sh}}\right) \quad (1)$$

2.2 พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Power)

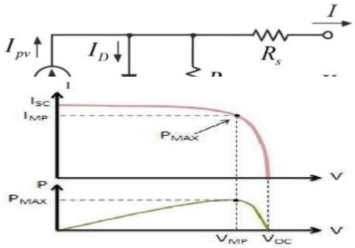
พลังงานแสงอาทิตย์สามารถแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ รังสีจากดวงอาทิตย์ประกอบด้วยอนุภาคของแสงซึ่งเมื่ออนุภาคของแสงส่งผลกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์อาจจะมีการดูดกลืนหรือสะท้อนของรังสี ดังนั้นอนุภาคของแสงที่ดูดซับจะผลิตพลังงานเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ 18.2 MJ/m^2 และมีปริมาณแสงแดดมากที่สุดในช่วงเดือนเมษายนและพฤษภาคม

แนวแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากที่เชื่อมต่ออยู่ในชุดหรือแบบขนานเพื่อเข้าถึงกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ รูปแบบแผงโซลาร์เซลล์คล้ายกับ diode ที่มีจุดเชื่อมต่อ p-n และประกอบด้วยdiode หนึ่งตัวและตัวต้านทานสองตัว ดังที่แสดงในรูปที่ 3 กระบวนการเริ่มต้นเมื่อดวงอาทิตย์ถูกดูดซับโดยจุดเชื่อมต่อที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าโดยผลกระทบของเซลล์สุริยะ (photovoltaic effect)[16] กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากกราฟลักษณะ (I - V) และ (P - V) แสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 3. วงจรเทียบเท่าของแผงโซลาร์เซลล์

รูปที่ 4. ลักษณะเฉพาะของแนวแผงโซลาร์เซลล์

ดังนั้นสมการกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเขียนได้ดังนี้



$$I = I_{ph} - I_0\left[\exp\left(\frac{q(V+IR_S)}{Akt}\right) - 1\right] - (\frac{V+IR_S}{R_{sh}}) \quad (1)$$

เมื่อ I_{ph} = กระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (A), I_0 = กระแสอิ่มตัวกลับ diode (A), I = กระแสไฟฟ้าของเซลล์ (A), V = แรงดันไฟฟ้าของเซลล์ (V), R_s = ตัวต้านทาน (Ω), R_{sh} = ตัวต้านทานชันท์ (Ω), q = ค่าไฟฟ้า (1.602 x 10^{-19} C), k = ค่าคงที่ Boltzmann (1.38 x 10^{-23} J/K), A = ideality factor, T = อุณหภูมิ (K)

ค่าพลังงานสูงสุด (P_{peak}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้:

$$P_{peak} = \frac{E_{load} \times I_{STC}}{E_{glob} \times Q} \quad (2)$$

เมื่อ: P_{peak} = กำลังไฟฟ้าสูงสุดของ PV ภายใต้เงื่อนไข STC [kWp], E_{load} = ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของระบบต่อวันหรือปี [kWh/d (a)], I_{STC} = การแผ่รังสีมาบนพื้นผิวโลกภายใต้เงื่อนไข STC [1 kW/m^2], E_{glob} = การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งโลกต่อวันหรือปี [kWh/m^2/d (a)], Q = คุณภาพของระบบ

Component/System	Q
PV module (Crystalline)	0.85-0.95
PV array	0.80-0.90
PV system (Grid-connected)	0.60-0.75
PV system (Stand-alone)	0.10-0.40
Hybrid system (PV/Diesel)	0.40-0.60

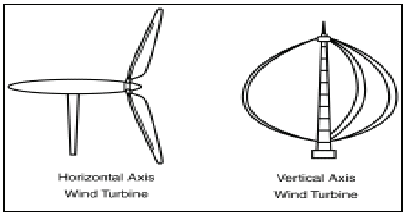
ตารางที่ 1. ค่าคุณภาพของระบบไฟฟ้าตามชนิดของระบบที่ใช้

2.3 พลังงานลม (Wind Power)

พลังงานลมสามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้โดยใช้กังหันลมเพื่อแปลงพลังงานจลน์ของลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ลมพัดผ่านใบพัดสร้างแรงยกซึ่งทำให้ใบพัดหมุน ใบพัดเชื่อมต่อกับเพลาขับซึ่งจะเปลี่ยนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จุดตั้งฟาร์มกังหันลมที่ดีที่สุดอยู่ที่ยอดเนินเรียบภูเขากลมชายฝั่งและช่องว่างภูเขาที่เปรียบเสมือนอุโมงค์ลม ความเร็วลมเฉลี่ยของประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 4-5 เมตรต่อวินาที โดยมีความเร็วเริ่มต้นในการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 3-4 เมตรต่อวินาทีและกำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดที่ 12 เมตรต่อวินาที ซึ่งเหมาะสำหรับกังหันลมขนาดเล็ก

กังหันลมผลิตพลังงานโดยใช้ใบพัดเพื่อเปลี่ยนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นพลังงานจลน์เป็นพลังงานไฟฟ้า กังหันลมมี 2 ประเภท ได้แก่ กังหันลมแนวนอน (Horizontal Axis Wind Turbines) และกังหันลมแกนแนวตั้ง (Vertical Axis Wind Turbines) ดังแสดงในรูปที่ 6 การใช้งานที่อยู่อาศัยต้องใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 400 วัตต์ ถึง 100 กิโลวัตต์ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ด้านไฟฟ้า

รูปที่ 6. ประเภทกังหันลม



สมการของกำลังในการผลิตของพลังงานลมสามารถอธิบายได้ดังนี้:

$$P_w = \frac{1}{2}\rho A V^3 C_p \quad (3)$$

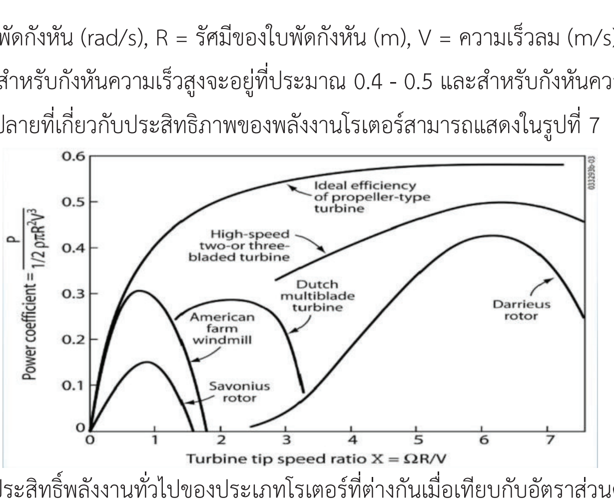
เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (1.225 kg/m^3), A = พื้นที่กวาด (m^2)ม V = ความเร็วลม (m/s), C_p = สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

สมการ Tip speed ratio (TSR) สามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้

$$TSR = \lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (4)$$

เมื่อ ω = ความเร็วของใบพัดกังหัน (rad/s), R = รัศมีของใบพัดกังหัน (m), V = ความเร็วลม (m/s)

ค่าเฉลี่ยของ C_p สำหรับกังหันความเร็วสูงจะอยู่ที่ประมาณ 0.4 - 0.5 และสำหรับกังหันความเร็วต่ำอยู่ที่ 0.2 - 0.4 ค่าของอัตราส่วนความเร็วปลายที่เกี่ยวกับประสิทธิภาพของพลังงานโรเตอร์สามารถแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7. ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานทั่วไปของประเภทโรเตอร์ที่ต่างกันเมื่อเทียบกับอัตราส่วนความเร็วปลาย

2.4 ตัวควบคุม (Controller)

หน้าที่หลักของตัวควบคุมค่าใช้จ่ายคือการตรวจสอบพลังงานแสงอาทิตย์และลมเพื่อชาร์จแบตเตอรี่หรือปล่อยให้โหลดไฟฟ้า ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบจะถูกสังเกตโดยตัวควบคุมเพื่อปล่อยแหล่งพลังงานที่เหมาะสมเข้าสู่โหลด นอกจากนี้ยังสามารถสกัดไฟฟ้าได้จากสายส่งเมื่อระบบผสมผสานใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอ ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นการป้องกันไฟเกิน, การลัดวงจร, ป้องกันขั้วลบและการถ่ายโอนข้อมูลอัตโนมัติ

3.0 วิธีการวิจัย

3.1 สถานที่

สถานที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณตลาดสด วงศกร พลาซ่า เขตสายไหม กรุงเทพ ดังแสดงในรูปที่ 8 เขตนี้ตั้งอยู่ที่เขตแดนของกรุงเทพฯดังนั้นจึงไม่ได้รับผลกระทบจากสิ่งกีดขวางใหญ่ เช่น อาคารใหญ่ การบริโภคไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นของใช้ในครัวเรือน เช่นแสงสว่างและเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 8. แผนที่ตลาด วงศกร พลาซ่า เขตสายไหม กรุงเทพ

3.2 ข้อมูล

ตารางต่อไปนี้แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน ข้อมูลความเร็วลมและข้อมูลการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ตามลำดับ ในเขตสายไหม กรุงเทพ ข้อมูลจาก นาซ่าและกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานแห่งประเทศไทย

Month	Electricity Consumption (kWh)	Ave. Solar Radiation (kWh/m^2/day)	Ave. Wind Speed (m/s)
January	103,000	5.07	3.9
February	97,000	5.62	4.4
March	90,000	5.99	4.7
April	68,000	6.23	4.6
May	99,000	5.37	4.6
June	101,000	4.93	4.7
July	97,000	4.82	4.7
August	92,000	4.81	4.7
September	104,000	4.73	4.5
October	100,000	4.49	3.9
November	104,000	4.74	4.0
December	98,000	4.86	3.9
Average	**5.14**	**5.14**	**4.4**

ตารางที่ 2. การใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยรังสีแสงอาทิตย์ ความเร็วลมเฉลี่ย ที่ ตลาด วงศกร พลาซ่า

แผงพลังงานแสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นที่ 1.65 ตารางเมตร ต่อพื้นที่ สำหรับกำลังผลิตไฟฟ้า 270 Wp และพื้นที่สูงสุดของหลังคาเท่ากับ 1,700 ตารางเมตร ต้องการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 190 กิโลวัตต์

ดังนั้น, พื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$\frac{190{,}000\,W \times 1.65\,m^2}{270\,W} = 1161\,m^2$$

กำลังไฟฟ้าสูงสุดสามารถคำนวณได้จาก (2):

$$P_{peak} = \frac{190 \times 1}{5.14 \times 0.4} = 92.4\,kW$$

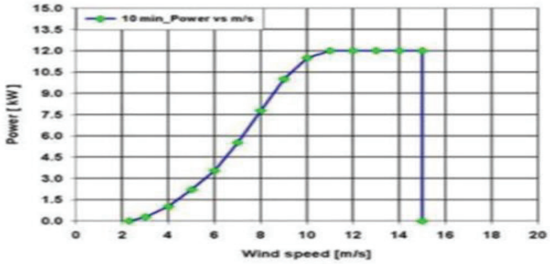
เมื่อ: E_{load} = 100 kWh/d, I_{STC} = 1 kW/m^2, E_{glob} = 5.14 kWh/m^2/d, Q = คุณภาพของระบบ จาก ตารางที่ 1 = 0.4

ผลผลิตพลังงานสูงสุดต่อวันสามารถคำนวณได้ด้วยพลังงานสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์คูณด้วย 5.5 ซึ่งเป็นปัจจัยในการดูดซับชั่วโมงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการสูญเสียพลังงานดังนั้นจึงแสดงดังต่อไปนี้:

$$P_{solar} = 92.4\,kW \times 5.5 = 508.2\,kWh/day$$

กังหันลม

กังหันลมขนาด 10 กิโลวัตต์เลือกให้ใช้ในโครงการนี้ เส้นโค้งแสดงให้เห็นว่ากังหันลมกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าที่ความเร็ว 4.4 เมตรต่อวินาทีและผลิตไฟฟ้าได้ 2.7 กิโลวัตต์ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9. เส้นโค้งพลังงานลมของ FT-10 กิโลวัตต์

สมการพลังงานลมจาก (3) ดังนั้น

$$P_w = \frac{1}{2} \times 1.225 \times 55.4 \times 4.4^3 \times 0.45 = 1300\,W$$

เมื่อ ρ = 1.225 kg/m^3, A = 55.4 m, V = 4.4 m/s, C_p = จากรูปที่ 7 = 0.45

สามารถคำนวณการผลิตพลังงานลมต่อวันได้:

$$P_{wind} = 1300\,W \times 24\,hours = 31.2\,kWh/day$$

การผลิตกระแสไฟฟ้าทั้งหมดคือ

$$P_{solar} + P_{wind} = P_{hybrid} = 508.2 + 31.2 = 539.4\,kWh/day$$

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนคือ 96,000 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ดังนั้นการใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ยต่อวันคือ $96{,}000 \div 30 = 3{,}200\,kWh/day$

การลดการใช้ไฟฟ้าสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$539\ kWh\ \div 3{,}200\ kWh = 0.168 = 16.8\%$$

ต้นทุนเฉลี่ยของระบบผสมผสาน แสงอาทิตย์และลม เป็นสมมติฐานว่าอยู่ที่ประมาณ 40 บาท ต่อ 1 วัตต์ของระบบ ราคานี้มีอุปกรณ์ ดังนี้ กังหันลม แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ ตัวควบคุม และ ค่าติดตั้ง

$$200{,}000\ W\ \times 40\ THB = 8{,}000{,}000\ THB$$

ราคาไฟฟ้าสำหรับ 1 ยูนิตคือ 5 บาท

$$539\ \frac{kWh}{day}\ \times 5\ THB \times 365\ = 983{,}675\ THB\ per\ year$$

ดังนั้นระยะเวลาการคุ้มทุนสามารถคำนวณได้

$$\frac{8{,}000{,}000\ THB}{983{,}675\ THB} = 8.1\ years$$

4.0 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยแสดงให้เห็นถึงการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของตลาดวงศกร ร้อยละ 10 โดยระบบผสมผสานพลังงานสงอาทิตย์และลม จากผลการทดลองพบว่ายอดการผลิตพลังงานสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิต 190 กิโลวัตต์ เท่ากับ 92.4 กิโลวัตต์ มีปัจจัยบางอย่างที่ต้องพิจารณาเนื่องจากแสงแดดไม่ส่องแสงตลอดเวลาดังนั้นปัจจัยที่ 5.5 ชั่วโมง ได้รับการนำมาใช้เป็นสถานการณ์จริงที่การดูดซึมและปัจจัยการสูญเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์จะอยู่ที่ 508.2 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน กังหันลมขนาด 10 กิโลวัตต์เลือกติดตั้งสำหรับโครงการนี้ การผลิตไฟฟ้ากังหันลมมีกำลัง 1300 W. และการผลิตพลังงานลมต่อวันเท่ากับ 31.2 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ดังนั้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานลมจากแสงอาทิตย์ทั้งหมดเท่ากับ 539 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน

5.0 สรุปผลการวิจัย

พลังงานหมุนเวียนติดตั้งอย่างกว้างขวางสำหรับสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใช้ในครัวเรือนและสำนักงานเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบผสมผสานมีการนำมาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและความประหยัดให้กับผู้บริโภค ระบบผสมผสานพลังงาน แสงอาทิตย์และลมได้รับการตรวจสอบเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของตลาดวงศกร ให้ได้ ร้อยละ 10 ผลการทดลองพบว่าระบบผสมผสานได้รับการผลิตประมาณ 539 kWh / day และลดการผลิตไฟฟ้าลง 16.8% นอกจากนี้โครงการนี้คาดว่าจะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 8,000,000 บาท ซึ่งสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าประมาณ 983,675 บาท ต่อปีดังนั้นระยะเวลาคืนทุนคือ 8 ปี ข้อจำกัดของบทความนี้คือข้อมูลการแผ่รังสีดวงอาทิตย์และความเร็วลมอาจส่งผลต่อผลลัพธ์ นอกจากนี้ปัจจัยสมมติฐานอาจไม่ถูกต้อง ข้อเสนอแนะในอนาคตของโครงการนี้คือเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์และลมอย่างแม่นยำโดยการใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือมากขึ้น

6.0 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช) ในการสนับสนุนงบประมาณ นอกจากนี้ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และ ทีมงาน ในการจัดหาห้องปฏิบัติการและข้อมูลต่างๆ

7.0 เอกสารอ้างอิง

[1] EPA, United States Environmental Protection Agency, 2012. Global Emissions, [online] Available at: <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global.html>. [Accessed 20 July 2017].J. U. Duncombe, “Infrared navigation—Part I: An assessment of feasibility,” IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-11, pp. 34-39, Jan. 1959.

[2] Lehr, J. H. and Keeley, J. W, 2016. Alternative Energy and Shale Gas Encyclopedia. New Jersey, Wiley.

[3] Major, S., Commins, T. and Noppharatana, A., 2008. Potential of wind power for Thailand [pdf] Available at: <http://www.mijst.mju.ac.th/vol2/255-266.pdf> [Accessed 29 July 2017].

[4] International Energy Agency (IEA), 2016. Thailand Electricity Security Assessment 2016. [pdf] Available at: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Partner_Country_Series_Thailand_Electricity_Security_2016_.pdf> [Accessed 30 July 2017].

[5] Wind Energy Development Programmatic EIS, 2000. Wind Energy Basics, [online] Available at: <http://windeis.anl.gov/guide/basics/index.cfm> [Accessed 11 August 2017].

จลนพลศาสตร์การอบแห้งด้วยลมร้อนและไมโครเวฟและสัมประสิทธิ์การแพร่ของกล้วยเล็บมือนาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชน

Hot Air and Microwave Drying Kinetics and Diffusion Coefficient of Musa sapientum Linn Banana for Enhance Drying Efficiency of Community Product

จิราพร เผ่าเอี้ยง[1], สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล[2]* และยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล[3]
[1]สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90110
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90110
[3]ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม และความร้อนร่วมระหว่างไมโครเวฟ (MW 700 W, 90 sec) กับก๊าซหุงต้ม ที่อุณหภูมิอบแห้งในช่วง 60-80°C โดยความชื้นเริ่มต้นของกล้วยเล็บมือนางอยู่ในช่วง 200-260% มาตรฐานแห้ง อบแห้งกล้วยเล็บมือนางจนมีค่าความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 20-26% มาตรฐานแห้ง ผลการทดลอง พบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นของกล้วยเล็บมือนางขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการอบแห้งและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ผลจากการอบแห้งด้วยความร้อนจากก๊าซหุงต้มเปรียบเทียบกับการใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้ม พบว่า ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มมีค่าสูงกว่าการอบแห้งแบบแหล่งพลังงานความร้อนร่วม สำหรับการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของกล้วยเล็บมือนาง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง โดยการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้มมีค่าประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของกล้วยเล็บมือนางสูงกว่าการอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มเพียงอย่างเดียว และในส่วนสุดท้ายของงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการอธิบายจลนพลศาสตร์การอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง พบว่า ผลการทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลอง Logarithmic มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองทุกสภาวะการทดลอง มากที่สุด

คำสำคัญ: จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง ก๊าซหุงต้ม ไมโครเวฟ กล้วยเล็บมือนาง

*Corresponding author: E-mail address: supawan.t@psu.ac.th

Abstract

The objective of this research was to study the drying kinetics of Musa sapientum Linn (Lebmunang) banana using Liquefied Petroleum Gas (LPG) heat source and combined heat sources of microwave (MW 700 W, 90 sec) and LPG. The experiment was carried on drying temperature of 60-80°C. The initial moisture content of the banana samples was varied between 200 and 260% dry-basis (d.b.) and the final moisture content was fixed of 20-26% d.b. The results showed that the evolution of moisture content ratio was dependent on the drying time and the drying temperature. Due to determine the specific energy consumption (SEC), the experimental results showed that the SEC value of drying with LPG was slightly higher than the drying using the combined heat sources. For evaluation of effective diffusion coefficient (D_{eff}) of the banana sample, the results showed that the D_{eff} value depended on the drying temperature and energy sources while the drying with combined heat sources of microwave and LPG has relatively high D_{eff} value compared to the drying with LPG source. Finally, the predicted results using the mathematical drying model of Logarithmic model was the best fitting to the experimental results

Keywords: Kinetics, drying, Liquefied Petroleum Gas (LPG), microwave, Lebmunang banana

บทนำ

กล้วยเล็บมือนาง ชื่อวิทยาศาสตร์ : Musa (AA group) *"Kluai Leb Mu Nang"* เป็นกล้วยประจำท้องถิ่นของทางภาคใต้ นิยมปลูกกันมากในจังหวัดชุมพรและสุราษฎร์ธานี ปริมาณการเพราะปลูกใน 9 จังหวัดของภาคใต้ในปี 2558 พบว่ามีจำนวน 7,412 ไร่ ประมาณ 13,074,806 kg [1] โดยกล้วยเล็บมือนางเป็นกล้วยที่ได้รับความนิยมสูงเนื่องจากมีลักษณะที่เรียวเล็ก ทานได้ง่าย มีผลสีเหลืองทอง เนื้อนุ่ม มีรสหวานและมีกลิ่นหอม ประโยชน์ของกล้วยเล็บมือนาง คือ ช่วยชะลอความแก่ บำรุงผิวพรรณ ช่วยรักษาโรคโลหิตจาง บำรุงสมอง ป้องกันโรคความดันโลหิตสูง เนื่องจากมีธาตุอาหารจำพวกฟอสฟอรัส วิตามินเอ วิตามินซี วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 วิตามินบี 5 วิตามินบี 6 และวิตามินบี 9 มีแคลเซียม แมกนีเซียม คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน ไฟเบอร์ และกลูโคส เป็นต้น กล้วยที่สุกแล้วไม่สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานเพราะกล้วยสุกจะเสื่อมสภาพเร็ว เสียได้ง่าย จากปริมาณการเพราะปลูกที่สูงส่งผลให้เกษตรกรจำหน่ายไม่ทัน ทำให้สูญเสียผลิตเป็นจำนวนมาก หรืออาจขายได้ในราคาที่ต่ำ เนื่องจากมีระยะเวลาในการจำหน่ายที่สั้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะหาวิธีการที่เหมาะสมในการเก็บรักษากล้วยให้มีอายุการบริโภคที่นานขึ้น เพื่อให้กล้วยมีมูลค่าสูงขึ้น การอบแห้งเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ได้รับความนิยม เป็นวิธีการลดความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อวัตถุดิบ ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เป็นการไล่ความชื้นออกโดยการระเหย [2] ทำให้สามารถเก็บรักษาวัตถุดิบไว้ได้นาน ช่วยรักษาคุณภาพและยืดระยะเวลาเก็บผลิตภัณฑ์ได้ อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาตรและน้ำหนักของวัตถุดิบ เป็นการลดพื้นที่ในการเก็บรักษาและลดต้นทุนในการขนส่ง โดยเทคโนโลยีที่ใช้ในการอบแห้งจะแบ่งพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งออกเป็น 2 ส่วน คือ ความร้อนที่ทำให้อากาศร้อนและพลังงานกลที่ใช้ในการขับเคลื่อนพัดลมสำหรับเป่าอากาศร้อนเข้าตู้อบ ส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นพลังงานจากไฟฟ้า ส่วนความร้อนที่ทำให้อากาศร้อนได้แก่ ความร้อนจากรังสีอินฟราเรด ขดลวดความร้อน คลื่นไมโครเวฟ โดยการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ (Microwave) [3] เป็นอีกหนึ่งวิธีที่กำลังได้รับความนิยม ซึ่งไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมากถึง 2,450 MHz ระบบการ

ทำงานของเตาไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟจะพุ่งเข้าสู่อาหารจากทุกทิศทุกทางโดยรอบของผนังเตาด้านในแล้วแผ่กระจายไปสูอาหาร เมื่อคลื่นไปกระทบอาหาร ทำให้โมเลกุลของอาหารเกิดการสั่น และเสียดสีกันเกิดเป็นพลังงานความร้อนทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังมีการใช้เชื้อจากก๊าซหุงต้มให้ความร้อนในการอบแห้ง ก๊าซหุงต้มหรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas, LPG) [4] เป็นก๊าซที่ประกอบด้วยโพรเพนและ บิวเทนผสมกัน โดยมีสถานะเป็นก๊าซเป็นก๊าซที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด นิยมใช้เป็นแหล่งให้ความร้อนในการประกอบอาหาร และใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาผลของการใช้แหล่งเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม และแหล่งพลังงานความร้อนร่วมระหว่างไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้มที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการอธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนาง และคำนวณค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่ใช้ก๊าซ LPG และการอบแห้งที่ใช้แหล่งพลังงานความร้อนร่วมระหว่างไมโครเวฟและก๊าซ LPG รวมทั้งการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ยังผลของกล้วยเล็บมือนาง

วิธีดำเนินการวิจัย

กล้วยเล็บมือนางสุกในการทดลองจะซื้อจากตลาดศรีตรัง ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีลักษณะสีเหลือง ความยาว 6-7 cm น้ำหนักต่อลูกประมาณ 30-35 g ในหนึ่งตัวอย่างการทดลองใช้กล้วยเล็บมือนาง 1,000-1,500 g

เครื่องอบแห้งประกอบด้วย ห้องอบแห้ง ห้องจ่ายความร้อน (ห้องเผาไหม้) และพัดลม โดยห้องอบแห้งมีขนาด 75 $\times$53$\times$29 cm^3 ห้องเผาไหม้มีขนาด 35$\times$35$\times$35 cm^3 พัดลมสำหรับเป่าลมร้อนเข้าห้องเผาไหม้ขนาด 500 W, 0.5 hp วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ได้แก่ ในตู้อบแห้ง ในเนื้อวัตถุดิบ สิ่งแวดล้อม และกระเปาะเปียกของอากาศแวดล้อม โดยใช้เทอร์โมคับเปิลชนิด K ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) โดยมีรายละเอียดในดังนี้

1. หาความชื้นเริ่มต้นของกล้วยเล็บมือนางด้วยวิธี AOAC (AOAC, 1995)
2. อบแห้งกล้วยเล็บมือนางโดยใช้ความร้อนจากการใช้ก๊าซหุงต้มเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 60-80 $^{\circ}$C และใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้ม โดยใช้ไมโครเวฟอบกล้วย เป็นเวลา 90 min จากนั้นทำการอบด้วยก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิเดียวกัน จนมีความชื้นสุดท้าย 20-26% d.b. บันทึกน้ำหนักของกล้วย อุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ที่ระยะเวลาใดๆ เก็บข้อมูลทุก 15 min, 25 min และทุก 1 h จนสิ้นสุดการทดลอง เมื่อความชื้นสุดท้ายตัวอย่างอยู่ในช่วง 20-26% d.b.
3. วิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงความชื้น

จลนพลศาสตร์การเปลี่ยนแปลงความชื้น [5] ของกล้วยเล็บมือนาง คำนวณได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

$$MR = (M_t-M_{eq})/(M_{in}-M_{eq}) \quad (1)$$

เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio), ไร้หน่วย; M_t , M_i และ M_{eq} หมายถึงความชื้นที่เวลาใดๆ ความชื้นเริ่มต้น และความชื้นสมดุลของกล้วยเล็บมือนาง ตามลำดับ (% dry-basis)

4. คำนวณการใช้พลังงานในการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

การคำนวณหาอัตราการอบแห้งของกล้วยเล็บมือนาง เป็นอัตราส่วนของความชื้นที่ระเหยออกจากเนื้อวัสดุต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง แสดงดังสมการที่ 2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ คำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงพลังงานเป็นการใช้ไฟฟ้าให้อยู่ในหน่วยเมกะจูลต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหย (MJ/kg of water evaporated) โดยการคำนวณแยกสมการตามแหล่งพลังงานที่ต่างกัน ได้แก่ การคำนวณพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งจากแหล่งพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ในเตาอบไมโครเวฟ และแหล่งพลังงานจากก๊าซหุงต้ม แสดงดังสมการที่ 3 และสมการที่ 4 ตามลำดับ [6]

$$\text{Drying rate} = (M_i\text{-}M_f)W_d/t \quad (2)$$

$$SEC = 3.6E_P/(M_i\text{-}M_f)W_d \quad (3)$$

$$SEC = 50.22E_L+3.6E_p\ /(M_i\text{-}M_f)W_d \quad (4)$$

เมื่อ M_i, M_f หมายถึง ความชื้นเริ่มต้นและสุดท้ายของกล้วย ตามลำดับ (% d.b.); W_d คือ มวลแห้งของกล้วย, (kg); และ t คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง (h); E_P คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kW-h); 3.6 คือ แฟกเตอร์แปลงหน่วยของไฟฟ้า (1 kW-h = 3.6 MJ); E_L คือ ปริมาณก๊าซหุงต้ม (LPG) ที่ใช้ (kg), 50.22 คือ แฟกเตอร์แปลงหน่วยของก๊าซหุงต้ม (1 kg = 50.22 MJ)

5. วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [7] ที่เหมาะสมสำหรับอธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง โดยทั้งสิ้น 10 สมการ ได้แก่ สมการของ Page, Newton, Logistic, Two Term Exponential, Verma et al., Wang and Singh, Approximation of Diffusion, Henderson and Pabis, Logarithmic และ Modified Page โดยนำผลจากการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น และดูความสัมพันธ์ของอัตราการส่วนความชื้นกับเวลา และอุณหภูมิของการอบแห้ง และเพื่อเลือกพิจารณาสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการอบแห้งที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) และค่าน้อยที่สุดของค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root mean square error, RMSE)

6. การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นยังผล (Effective moisture diffusion coefficient, D_{eff})

การอบแห้งกล้วยเล็บมือนางมีลักษณะการลดลงของปริมาณน้ำ(หรือความชื้นในเนื้อวัสดุ)ตามเวลาและความหนาแน่นของปริมาณน้ำที่อยู่ในเนื้อวัสดุ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่เกิดขึ้นในระหว่างการถ่ายเทมวลและความชื้นจากการอบแห้งได้เช่นเดียวกับการเคลื่อนที่ของของไหลด้วยกฎการแพร่ของสารละลายของ Fick [8] ซึ่งในสมการกฎการแพร่ของ Fick นั้น ค่าความเข้มข้นของสารละลายจะแพร่จากบริเวณที่มีความเข้มสูงไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นตำกว่า โดยเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ เวลา และชนิดของตัวกลางที่แพร่ไป หรือเป็นพารามิเตอร์ที่บอกความสามารถในการแพร่ที่เรียกว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล (Effective diffusion coefficient, D_{eff}) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธผลนี้จะขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม โดยสมมติการแพร่ของความชื้นจากกล้วยเล็บมือนางเกิดจากเกรเดียนท์ความเข้มข้นของความชื้น Crank [9] และภายใต้เงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขตที่พิจารณาว่า กล้วยมีค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากันและกระจายความชื้นอย่างสม่ำเสมอ และที่ปลายขอบเขตของกาแพร่ซึ่งก็คือระยะทางตามความยาวของกล้วยเล็บมือนางมีค่าความชื้นคงที่ และเมื่อทำการแก้สมการอนุพันธ์ด้วยเทคนิคทางคณิตศาสตร์ จะหาผลเฉลยของสมการได้ดังสมการที่ 5

$$MR = \left(\frac{8}{\pi^2}\right)\sum_{m=0}^{\infty}\frac{4}{\lambda_m^2}\exp\left(-\frac{\lambda_m^2 D_{eff} t}{r_0^2}\right)\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\exp\left(-\frac{\pi^2(2n+1)^2 D_{eff} t}{4l^2}\right) \quad (5)$$

เมื่อ N_{Fi} คือ Fick number (D_{eff} t/r_0^2) และ N_{Fo} คือ Fourier number (D_{eff} t/l^2) และ r_0 คือรัศมีของกล้วยเล็บมือนาง (m) และ l คือ ครึ่งหนึ่งของความยาวของกล้วยเล็บมือนาง (m) ค่า λ_m คือ รากที่ n ของเบสเซลฟังก์ชันอันดับที่ศูนย์, λ_1 = 2.4048 โดยพจน์ท้ายๆ จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับพจน์แรก ดังนั้นจึงพิจารณาพจน์แรกเพียงพจน์เดียวและสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\ln(MR) = \ln(0.561)-[(5.78/r_0^2)+(2.46/l^2)] \quad (6)$$

จากสมการที่ 6 พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นสามารถคำนวณได้โดยวิธีหาความชัน จากกราฟ ln(MR) โดยใช้สมการที่ 7

$$D_{eff}= -slope/[(5.78/r_0^2)+(2.46/l^2)] \quad (7)$$

เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของกล้วยเล็บมือนางมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอบแห้ง เป็นไปตามสมการของ Arrhenius ดังสมการที่ 8

$$D_{eff}= D_0\exp(-E_a/RT) \quad (8)$$

เมื่อ D_0 คือ ค่าคงที่ (m^2/min), E_0 คือ พลังงานกระตุ้น (kJ/M), T คืออุณหภูมิ (K) และ R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (kJ/mol•K)

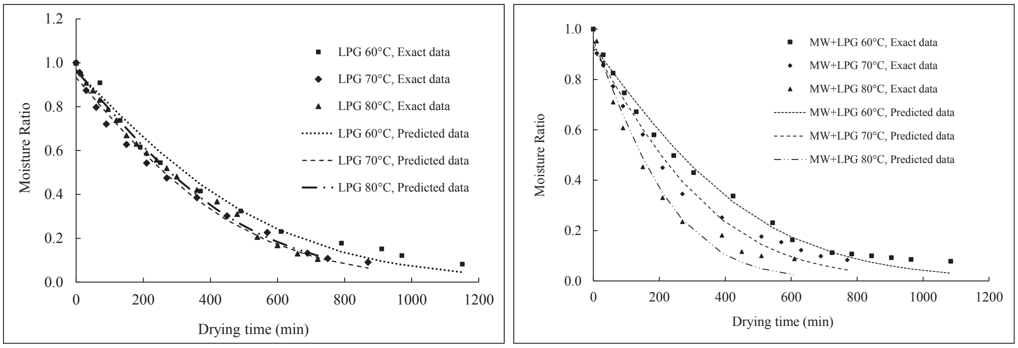
7. วิเคราะห์คุณภาพหลังการอบแห้ง

การทดสอบคุณภาพสี [10] วัดได้จากเครื่องวัดสีอาหาร Hunter Lab รุ่น Color Flex ค่าของสีที่ได้จะใช้หน่วยระบบสี CIE (L*, a* และ b*) โดยที่ L* คือ ค่าความสว่าง (Lightness), a* คือ ค่าความเป็นสีแดง (Redness) แล b* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง (Yellowness)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

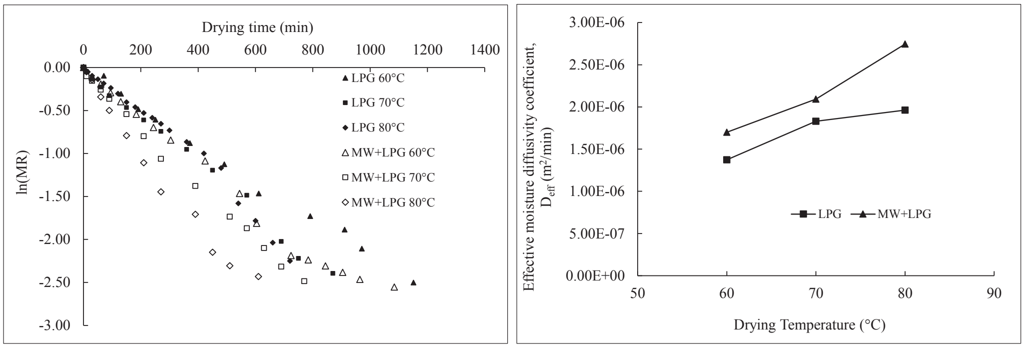
- จลนพลศาสตร์การอบแห้งของกล้วยเล็บมือนาง

ผลของการอบกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิการอบแห้ง 60-80°C จากแหล่งพลังงานจากไมโครเวฟ และก๊าซหุงต้มมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 250-300% d.b. และมีความชื้นสุดท้ายหลังการอบอยู่ในช่วง 20-26% dry-basis จากผลการทดลองพบว่าที่ระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นความชื้นของกล้วยเล็บมือนางมีปริมาณลดลง การเปลี่ยนแปลงความชื้นจากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้มมีค่าสูงกว่าการอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มเพียงอย่างเดียว แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของกล้วยเล็บมือนางจากการอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้ม และไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้ม

- สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของกล้วยเล็บมือนาง



(a) (b)

ภาพที่ 2 ln(MR) กับระยะเวลาในการอบแห้ง (a), สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของกล้วยเล็บมือนางด้วยแหล่งพลังงานจากก๊าซหุงต้ม และไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้ม ที่อุณหภูมิ 60-80°C

เมื่อพิจารณาความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของอัตราส่วนความชื้นกับเวลาการอบแห้งดังภาพที่ 2(a) สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่เงื่อนไขอบแห้งต่างๆ ได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ 9 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้มมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นสูงกว่าการอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มเพียงอย่างเดียว โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นอยู่ในช่วง 1.37×10^{-6}-1.96×10^{-6} m^2/min (ก๊าซหุงต้ม) และ 1.70×10^{-6}-2.75×10^{-6} m^2/min (ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้ม)

- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการอบแห้ง

ผลการคำนวณสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า การให้เชื้อเพลิงจากก๊าซหุงต้มที่อุณหภูมิ 60-80°C มีผลการทดลองใกล้เคียงกับแบบจำลองของ Logarithmic มากที่สุด ในการใช้ไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้ม พบว่ามีผลการทดลองใกล้เคียงกับแบบจำลองของ Logarithmic มากที่สุดเช่นกัน โดยแบบจำลองที่ใกล้เคียงจากผลการทดลองพิจารณาจาก ค่า R^2 สูงที่สุด และ RMSE ที่ต่ำที่สุด ซึ่งแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ของสมการอบแห้งของกล้วยเล็บมือนางภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งในสภาวะต่างๆ

Energy source	Model Name	Arbitrary Constant				R^2	RMSE
		k	a	b	c		
LPG 60°C	Newton	0.1375				0.9943	0.0230
	Logistic	0.1943	1.9252			0.9824	0.0402
	Henderson and Pabis	0.1391	1.0089			0.9944	0.0227
	Logarithmic	0.1572	0.9779		0.0460	0.9960	0.0192
LPG 70°C	Newton	0.1710				0.9923	0.0271
	Logistic	0.2297	1.8639			0.9881	0.0337
	Henderson and Pabis	0.1624	0.9642			0.9957	0.0201
	Logarithmic	0.1623	0.9645		-0.0004	0.9957	0.0201
LPG 80°C	Newton	0.1559				0.9917	0.0253
	Logistic	0.2256	1.9325			0.9949	0.0199
	Henderson and Pabis	0.1564	1.0022			0.9917	0.0253
	Logarithmic	0.1068	1.2116		-0.2339	0.9972	0.0148
Microwave+ LPG 60°C	Newton	0.1692				0.9966	0.0182
	Logistic	0.2266	1.8653			0.9902	0.0311
	Henderson and Pabis	0.1643	0.9777			0.9975	0.0158
	Logarithmic	0.1736	0.9649		0.0192	0.9978	0.0148
Microwave+ LPG 70°C	Newton	0.2195				0.9926	0.0275
	Logistic	0.2904	1.8483			0.9868	0.0367
	Henderson and Pabis	0.2067	0.9574			0.9966	0.0185
	Logarithmic	0.2322	0.9261		0.0413	0.9978	0.0151
Microwave+ LPG 80°C	Newton	0.3061				0.9949	0.0236
	Logistic	0.4289	1.9140			0.9828	0.0434
	Henderson and Pabis	0.3014	0.9893			0.9951	0.0231
	Logarithmic	0.3608	0.9430		0.0632	0.9988	0.0114

- ค่าสีของกล้วยหลังการอบแห้ง

ผลการวัดค่าสีพบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น จะมีความสว่าง (L*) ความเป็นสีแดง (a*) ความเป็นสีเหลือง (b*) มีค่าใกล้เคียงกัน ความร้อนจากแก๊สหุงต้มที่อุณหภูมิอบแห้ง 70°C จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE^*) สูงที่สุด โดยค่าสีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งที่สภาวะต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสีของกล้วยเล็บมือนางอบแห้งที่สภาวะการอบแห้งจากแหล่งเชื้อเพลิง 2 ชนิด

Energy source	Color ness in CIE unit			ΔE*
	L*	a*	b*	
LPG 60°C	30.59 ± 0.602^{b}	6.34 ± 0.473^{ab}	13.50 ± 0.788^{ab}	5.38 ± 1.465^{ab}
LPG 70°C	31.97 ± 2.351^{ab}	5.70 ± 1.025^{bc}	13.29 ± 2.818^{ab}	5.55 ± 1.242^{ab}
LPG 80°C	28.53 ± 0.813^{de}	6.07 ± 0.574^{ab}	10.77 ± 1.006^{de}	3.15 ± 1.290^{b}
Microwave + LPG 60°C	28.09 ± 1.484^{e}	6.56 ± 0.695^{b}	10.97 ± 1.361^{de}	3.63 ± 1.167^{b}
Microwave + LPG 70°C	30.11 ± 0.626^{cd}	6.99 ± 1.015^{a}	11.09 ± 1.246^{cde}	3.75 ± 1.189^{b}
Microwave + LPG 80°C	27.99 ± 1.164^{e}	6.44 ± 0.695^{ab}	10.56 ± 1.881^{de}	4.11 ± 2.209^{b}

- ระยะเวลาในการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

จากการใช้แหล่งพลังงานในการทำให้อากาศร้อนจากเชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม และไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้ม พบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานที่ต่างกัน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระยะเวลาในการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

Energy source	Drying time (min)	Drying rate (kg/h)	SEC (MJ/kg of water evap.)
LPG 60°C	1151	2.7422	2.5013
LPG 70°C	870	4.3381	1.8682
LPG 80°C	720	6.8670	1.4505
Microwave + LPG 60°C	964	2.8132	2.4702
Microwave + LPG 70°C	770	5.0760	1.7345
Microwave + LPG 80°C	611.5	7.0696	1.8331

จากการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางที่อุณหภูมิ 60-80°C พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงตามไปด้วย การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้มใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง และมีความสิ้นเปลืองการใช้พลังงานจำเพาะต่ำกว่าการอบแห้งจากก๊าซหุงต้มเพียงอย่างเดียว

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิการอบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้ง โดยอุณหภูมิการอบแห้งสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งลดลง ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้มมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นสูงกว่าการอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มเพียงอย่างเดียว โดยการอบแห้งจากไมโครเวฟร่วมกับก๊าซหุงต้มมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าการอบแห้งด้วยก๊าซหุงต้มเพียงอย่างเดียว และพบว่าสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Logarithmic ใกล้เคียงกับผลการทดลองจากทุกสภาวะมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย และขอขอบคุณทุนงบประมาณแผ่นดิน 2558 ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1]. กุหลาบ หมายสุขกลาง. (ม.ป.ป.). **กล้วยเล็บมือนาง** สืบค้นเมื่อวันที่ 4 สิงหาคม 2560, จาก http://production.doae.go.th.

[2]. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.

[3]. สุชาดา พรมสุวรรณ์. (2559). **คลื่นไมโครเวฟกับงานด้านเภสัชศาสตร์.** กรุงเทพฯ: วารสารองค์การเภสัชกรรม.

[4]. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. 2551. ก๊าซ LPG พลังงานสำหรับการหุงต้ม. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2560, จาก http://www.eppo.go.th.

[5]. สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล, สากีนา ลาแมปะ และยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล. (2555). การอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟ และลมร้อน : จลนพลศาสตร์ คุณภาพและการทดสอบประสาทสัมผัส. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา.** 17 (1) : 117-129.

[6]. Tirawanichakul, Y. and Tirawanichakul, S. (2008). Mathematical model of fixed-bed drying and strategies for crumb rubber producing STR20. **Drying Technology**, 26, 1388-1395.

[7]. Hii, L., Law, L. and Cloke, M. (2009). Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. **Journal of Food Engineering**, 90, 191-198.

[8]. Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S. and Soponronnarit, S. (2008). Drying character-ristics and qua lity of banana foam mat, **Journal of Food Engineering**, Vol. 86, pp.573–583.

[9]. Kar, A. and Gupta, K. (2003). Air drying of osmosed button mushroom. **Journal of Food Science and Technology**. 40, 23-27.

[10]. ภัคนัย ทองทิอัมพร. (2550). **การมองเห็นและการวัดสี** สืบค้นเมื่อวันที่ 4 สิงหาคม 2560, จาก http://www.dss.go.th.

ระบบเฝ้าตรวจวัดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลานิล
Dissolved Oxygen Monitoring System in Nile Tilapia Fish Pond

ศิริวรรณ ทำนุ[1] ,ชวโรจน์ ใจสิน[1*] ,ธงชัย มณีชูเกตุ[1] และนรินทร์ ปิ่นแก้ว[1]
[1, 1*]สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบเฝ้าตรวจวัดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลานิล แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก คือ การออกแบบทุ่นตรวจวัดออกซิเจนลอยน้ำ ส่วนที่สอง คือ ระบบตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ทุ่นตรวจวัดออซิเจน มีขนาดกว้าง 98 cm ยาว 110 cm และสูง 18 cm ออกแบบสำหรับวางโครงสร้างทั้งหมดของระบบ ส่วนระบบตรวจวัดออกซิเจนสามารถส่งข้อมูลหรือผลการตรวจวัดผ่านระบบสื่อสารแบบไร้สาย โดยแสดงค่าปริมาณ DO บนเวปคลาวด์ของ Anto.io ที่ www.anto.io ผลวิจัยประกอบด้วยการทดสอบวัดค่า DO ที่อุณหภูมิ 20 ˚C 23 ˚C และ 26 ˚C ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยค่า DO ทดสอบคือ 2 3 4 5 6 7 และ 8 mgL^{-1} พบว่า มีค่าที่ได้ค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าของเครื่องมือวัดอ้างอิง โดยมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการวัดอุณหภูมิที่ 20 ˚C 23 ˚C และ 26 ˚C มีค่าความผิดพลาด 2.87% 1.71% และ 2.17 % ซึ่งถือว่าสามารถยอมรับได้ ขณะที่การส่งข้อมูลและอ่านค่า DO ที่วัดได้ผ่านเวปคลาวด์สามารถให้ผลตอบสนองได้ทันเวลา

คำสำคัญ: ทุ่นตรวจวัดออกซิเจนลอยน้ำ, เวปคลาวด์, ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

[*]Corresponding author: Tel.: 089-1536823. E-mail address: chawaroj@mju.ac.th, njaisin@hotmail.com

บทนำ

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen : DO) คือ ตัวแปรบ่งบอกถึงคุณภาพน้ำที่สำคัญอย่างหนึ่งในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในรอบวัน โดยทั่วไปสาเหตุที่ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำของบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำมีปริมาณลดลง [1] เนื่องจากสภาพแวดล้อมทางภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิของน้ำที่สูงขึ้น ช่วงเวลากลางคืนจนถึงรุ่งสาง วันที่ฟ้ามืดครึ้มไม่มีแสงแดด วันที่ไม่มีลมพัดผ่าน หรือมีการให้อาหารหรือการเติมสารเคมีบางชนิดลงไปในน้ำ เป็นต้น เมื่อปริมาณออกซิเจนในน้ำมีระดับที่ลดลงเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจะใช้วิธีการสังเกตจากสีของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปหรือพฤติกรรมของสัตว์น้ำที่แสดงออกมา เช่น การกินอาหารลดลง และการลอยตัวขึ้นมาอยู่ที่บริเวณผิวน้ำเพื่อรับออกซิเจน [2] ถ้าสังเกตพบความผิดปกติดังกล่าวจำเป็นต้องดำเนินการแก้ไขด้วยการเปิดเครื่องเติมอากาศในน้ำให้ทำงานในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือเปิดตลอดเวลาจนกว่าจะไม่พบความผิดปกติและระดับปริมาณออกซิเจนในน้ำเข้าสู่สภาสะปกติปกติ โดยปกติการเติมออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำนิยมใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ [3,4] วิเคราะห์ปริมาณออกซิเจน หรือสารต่างๆ เน้นประสิทธิภาพของการวัดและอำนวยความสะดวกต่อการใช้งาน [5] ข้อดีของเซ็นเซอร์วัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ คือ สามารถวัดปริมาณออกซิเจนในตัวอย่างน้ำโดยไม่ทำลายหรือทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไป และสามารถนำตัวอย่างน้ำนี้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบ หรือดัชนีคุณภาพอื่นต่อไปได้เหมาะสำหรับเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในแม่น้ำ ลำธาร และในแหล่งน้ำอื่นๆ

จากที่กล่าวมานั้น การเฝ้าสังเกตการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะๆ ตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลากลางคืนนั้น ทำได้ไม่สะดวก หรือไม่สามารถทำได้นั้นอาจทำให้การแก้ไขปัญหาล่าช้าจนเกินไป ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยงไว้ [2] การนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยจึงเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา และเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะเลี้ยงปลาของเกษตรกรได้

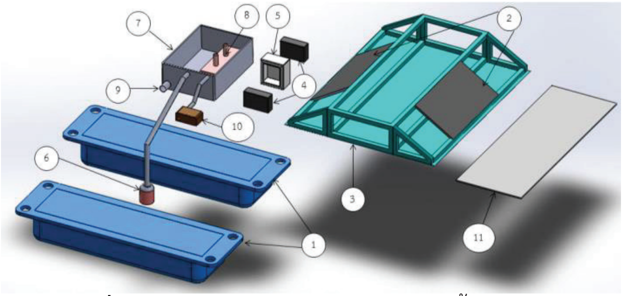
งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอ ระบบเฝ้าตรวจวัดออกซิเจนในบ่อปลานิล ที่สามารถรายงานผลได้แบบอัตโนมัติ โดยได้ออกแบบเป็นทุ่นลอยน้ำ ที่มีทั้งระบบตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำและแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซล่าเซลล์ พร้อมกับมีระบบส่งข้อมูลหรือผลการตรวจวัดผ่านระบบสื่อสารแบบไร้สาย เพื่อทำหน้าที่ช่วยให้เกษตรกรสามารถติดตามระดับออกซิเจนในน้ำได้ตลอดเวลา ระบบตรวจออกซิเจนสามารถเปิดตามช่วงเวลาที่ผู้ใช้กำหนดได้ และยังสามารถวางแผนรับมือกับสภาวะการขาดออกซิเจนได้ รวมทั้งลดการใช้พลังงานและลดภาระค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าลงได้อีกทาง

วิธีการวิจัย

ระบบเฝ้าตรวจวัดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลานิล แบ่งวิธีการดำเนินการออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) การออกแบบทุ่นตรวจวัดออกซิเจนลอยน้ำ 2) การออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 3) การออกแบบระบบตรวจวัดและแสดงผลข้อมูลผ่านระบบ Internet of Thing (IoT)

1. การออกแบบทุ่นตรวจวัดออกซิเจนลอยน้ำ

การออกแบบทุ่นลอยน้ำ ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างดังภาพที่ 1 ถูกออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ย้ายได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องมีความสามารถลอยในน้ำหรือบ่อเลี้ยงปลานิลได้ ประกอบด้วย (1) ทุ่นลอยน้ำไฟเบอร์ ทำหน้าที่เป็นฐานสำหรับลอยน้ำ ถูกยึดติดกับแท่นวางโครงสร้างของระบบทั้งหมด (3) มีขนาดกว้าง 98 cm ยาว 110 cm และสูง 18 cm ด้านข้างของโครงสร้างถูกทำให้เป็นสโลปเอียง เพื่อให้สามารถติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ (2) ขนาด 10 วัตต์ จำนวน 4 แผง ซึ่งจะใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบ โดยพลังงานไฟฟ้าจะถูกชาร์จและเก็บไว้ในแบตเตอรี่ (4) เพื่อใช้เป็นพลังงานสำหรับป้อนใช้กับระบบทั้งหมด การควบคุมระบบตรวจวัดเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328p ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผล โดยวงจรควบคุมถูกติดตั้งไว้ในกล่องควบคุม (5) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมทั้งการตรวจวัด การส่งข้อมูลแบบระยะไกลของระบบตรวจวัดออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ การทำงานของส่วนควบคุมเริ่มต้นด้วยการสั่งการให้ปั๊มน้ำ (6) สูบน้ำจากบ่อเลี้ยงปลาขึ้นมาเก็บไว้ในถังพัก (7) จนกระทั่งถึงระดับของตัวตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำ (8) ปั๊มน้ำก็จะหยุดทำงาน ระบบจึงทำการอ่านค่าจากตัวตรวจวัด และประมวลผลการวัด จากนั้นจึงส่งค่าที่ตรวจวัดได้ไปเก็บไว้ยังระบบ Cloud server ด้วยชิพ ESP8266 ขณะที่น้ำภายในถังจะถูกปล่อยออกมาทางรูระบายขนาดเล็ก (9) เพื่อลดระดับน้ำลงมาจนกระทั่งต่ำกว่าจุดต่ำสุดของหัววัด เมื่อตัวตรวจวัด DO ลอยอยู่เหนือระดับน้ำแล้ว ระบบชำระล้าง (10) จะเริ่มทำงานโดยการฉีดน้ำไปยังตัวตรวจวัด เพื่อล้างคราบและสิ่งสกปรกให้ออกจากตัวตรวจวัด ซึ่งระบบจะมีการทำงานเป็นแบบช่วงเวลาขึ้นอยู่กับเวลาที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ และหมายเลขที่ 11 เป็นฝาครอบอะคริลิกออกแบบไว้สำหรับป้องกันฝุ่นละออง ซึ่งจะวางครอบปิดบนฐานโครงสร้าง (3)



ภาพที่ 1 โครงสร้างทุ่นตรวจวัดออกซิเจนลอยน้ำ

2. การออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

2.1 การสอบเทียบค่าหัววัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบนี้ได้แก่ หัววัดออกซิเจน ที่แผ่นเมนเบรม มีคุณสมบัติให้ออกซิเจนซึมผ่านได้ง่ายไม่ทำปฏิกิริยากับออกออกซิเจนอิออนอื่นๆ โมเลกุลของน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ที่สำคัญต้องทำปฏิกิริยาหรือมีผลอื่นๆใดกับสารละลายที่ต้องการวัดและมีความแข็งแรงคงทน [6]

ในงานวิจัยนี้ใช้หัววัดออกซิเจนของ Atlas scientific ต่อเข้ากับวงจรขยายสัญญาณ เพื่อปรับขนาดสัญญาณให้เหมาะสม เนื่องจากผลการตอบสนองค่าแรงดันไฟฟ้าต่อปริมาณ DO ของหัววัด DO ต่อหนึ่งระดับมีค่าเพียง 40 mV ทำการสอบเทียบด้วยเครื่องมือวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำยี่ห้อ Lutron WA-2017SD ซึ่งแสดงได้ทั้งค่าอุณหภูมิและปริมาณ DO เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุตจากหัววัดกับค่า DO กรณีที่อุณหภูมิต่างกัน โดยในการทดสอบได้ตั้งสมมติฐานของการวัดในบ่อน้ำไว้ คือ อุณหภูมิ 20-26 $^{\circ}$C และปริมาณออกซิเจนในน้ำอยู่ระหว่าง 2-8 mgL^{-1}

2.2 การสร้างวงจรขยายสัญญาณ

ในวิจัยนี้ได้มีการออกแบบและสร้างวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Non-inverting amplifier) เพื่อใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณอินพุตของค่า DO ให้มีขนาดที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน การออกแบบวงจรวงจรขยายดังแสดงภาพที่ 2 (ก) อัตราการขยายภาคเอาท์พุตเป็น 22 เท่า ได้ผลการตอบสนองของปริมาณ DO ต่อแรงดันไฟฟ้าที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-26 $^{\circ}$C ดังแสดงในภาพที่ 2 (ข) ซึ่งเมื่อนำไปหาความสัมพันธ์เพื่อสร้างสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ พบว่า ได้ความสัมพันธ์ของปริมาณ DO ต่อแรงดันไฟฟ้าเป็นแบบโพลิโนเมียลที่มีค่า R^2 ของเท่ากับ 1 ดังนี้

$$DO = -n2*(Voltage^{2}) + (n1* Voltage)-n0 \qquad (1)$$

เมื่อ DO คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ มีหน่วยเป็น mgL^{-1}

Voltage คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วย เป็น V

ขณะที่ n2, n1 และ n0 หาได้จากสมการ

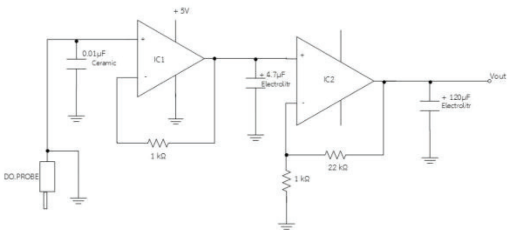
$$n2 = 0.0137*(temp2) – (0.6834* temp) +8.7794 \qquad (2)$$

$$n1= 0.0386*(temp2) –1.9471* temp) +28.867 \qquad (3)$$

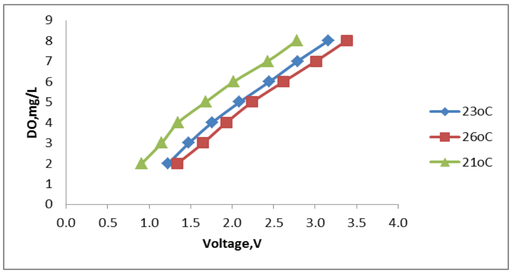
$$n0= -0.02*(temp^{2}) + (1.0833*temp) -11.331 \qquad (4)$$

เมื่อ Temp คือ อุณหภูมิ มีหน่วยเป็น $^{\circ}$C

จากการหาความสัมพันธ์ของปริมาณค่า DO ต่อแรงดันไฟฟ้าที่กล่าวมาในข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้โปรแกรม Excel ในการทดสอบ กำหนดขอบเขตของการทดสอบการวัดปริมาณค่า DO ที่อุณหภูมิ 20 $^{\circ}$C 23 $^{\circ}$C และ 26 $^{\circ}$C และปริมาณค่า DO จะอยู่ในช่วง 2 3 4 5 6 7 และ 8 mgL^{-1}



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (ก) และเอาท์พุต (ข)
ของสัญญาณหัววัดปริมาณ DO ที่ผ่านการขยายสัญญาณ

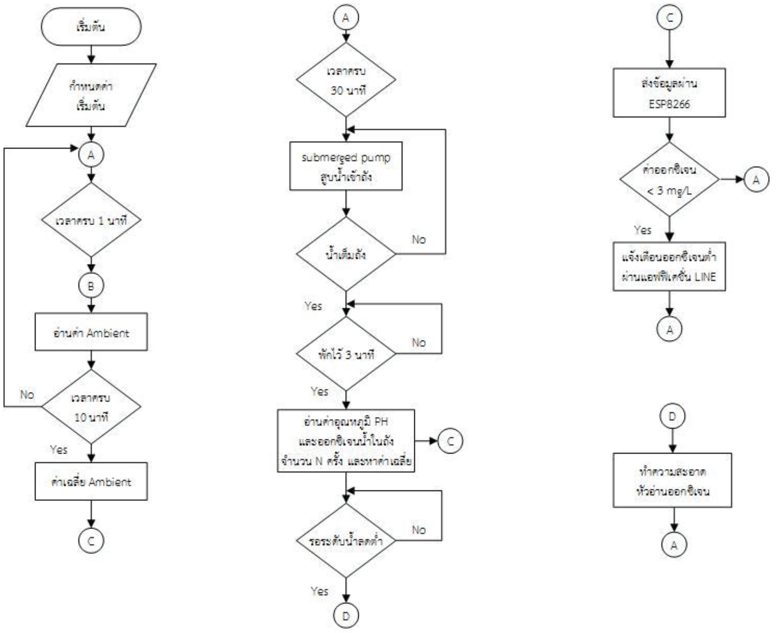
3. การออกแบบระบบตรวจวัดและแสดงผลข้อมูลผ่านระบบ Internet of Thing (IoT)

การทำงานของระบบเริ่มต้นด้วยการกำหนดตัวแปร เช่น อุณหภูมิและความชื้นแวดล้อม (Ambient air) ค่าปริมาณ DO และอุณหภูมิในน้ำโดยตัวแปรทุกตัวจะทำงานตามระบบฐานเวลาที่ได้สร้างขึ้น แบ่งออกดังนี้

การอ่านค่า Ambient air จะอ่านค่าทุกๆ 1 นาที จำนวน 10 นาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อส่งข้อมูลผ่านโมดูล ESP8266 ขึ้นไปเก็บไว้ยัง Cloud Server ในงานวิจัยใช้ Anto.io สำหรับแสดงผลมูลแบบ Real time

การอ่านค่าปริมาณ DO และอุณหภูมิในน้ำจะเกิดขึ้นทุกๆ 30 นาที ภายหลังมีการสูบจากบ่อขึ้นมาเก็บไว้ในถังพักน้ำ เมื่อน้ำอยู่ในระดับที่ต้องการแล้วจะมีการปล่อยให้พักตัว 3 นาที จากนั้นจึงเริ่มทำการวัดค่าทุกๆ 10 วินาที เป็นเวลา 2 นาที แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยก่อนส่งข้อมูลผ่านโมดูล ESP8266 ขึ้นไปเก็บไว้ยัง Cloud Server จากนั้นจะรอระดับน้ำลดต่ำลง จึงจะมีการสั่งงานให้ Spray pump ทำการสเปร์ยน้ำเพื่อชำระล้างหัววัด

หากปริมาณค่า DO ที่ทำการวัดมีค่าต่ำกว่า 3 mgL^{-1} ระบบจะมีการตรวจสอบและทำการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลผ่านแอฟลิเคชั่น Line ซึ่งการทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 3

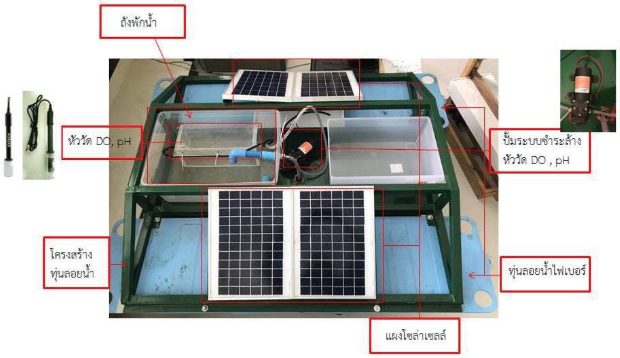


ภาพที่ 3 โฟว์ชาร์ตการทำงานของระบบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการสร้างต้นแบบโครงสร้างทุ่นตรวจวัดออกซิเจนลอยน้ำ

ต้นแบบโครงสร้างทุ่นตรวจวัดออกซิเจนลอยน้ำ สำหรับวางโครงสร้างของระบบทั้งหมด ซึ่งมีขนาดกว้าง 98 cm ยาว 110 cm และสูง 18 cm ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ต้นแบบโครงสร้างทุน**ตรวจวัดออกซิเจนลอยน้ำ**

2. ผลการออกแบบระบบตรวจวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้น โดยกำหนดขอบเขตของการทดสอบการวัดค่า DO ที่อุณหภูมิ 20°C 23°C และ 26°C และขณะที่ช่วงของค่า DO จะอยู่ในช่วง 2 3 4 5 6 7 และ 8 mgL^{-1} ได้ผลของค่า DO ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าปริมาณ DO ที่ทดสอบด้วยสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์และค่าความผิดพลาด

ค่า DO (mgL^{-1}) อ้างอิง	ค่า DO ที่ทดสอบสมการด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์					
	อุณหภูมิ 20 $^{\circ}$C		อุณหภูมิ 23 $^{\circ}$C		อุณหภูมิ 26 $^{\circ}$C	
	ค่าวัดได้	%ผิดพลาด	ค่าวัดได้	%ผิดพลาด	ค่าวัดได้	%ผิดพลาด
2	2.06	2.87	2.07	3.36	2.01	0.33
3	3.05	1.75	2.98	0.54	3.10	3.28
4	4.13	3.19	3.96	0.88	4.04	0.99
5	5.24	4.85	5.06	1.18	5.06	1.26
6	6.27	4.43	6.12	1.93	6018	2.95
7	7.21	3.00	7.16	2.25	7.24	3.48
8	8.01	0.11	8.14	1.80	8.23	2.89
เฉลี่ยค่าผิดพลาด		**2.87**		**1.71**		**2.17**

จากการทดสอบผลทางสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น พบว่า มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงที่ได้กำหนด โดยมีค่าความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 20°C 23°C และ 26 $^{\circ}$C เฉลี่ยเป็น 2.87% 1.71% และ 2.17% ตามลำดับ ซึ่งถือว่าสามารถยอมรับได้ และเมื่อนำไปใช้ในการวัดค่า DO จริงซึ่งจะถูกวัดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้โปรแกรมสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ลงไปแล้วนั้น พบว่า มีความผิดพลาดเกิดขึ้น ส่วนหนึ่งเกิดจากระดับแรงดันไฟเลี้ยงวงจรไม่นิ่ง และอีกส่วนหนึ่ง คือ ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิการตรวจวัดให้คงที่ได้จึงส่งผลให้ค่าปริมาณ DO ที่วัดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มีความผิดพลาดอยู่บ้าง

3. ผลการออกแบบการแสดงผลข้อมูลผ่าน Cloud Server

การแสดงผลของระบบตรวจวัดเป็นการแสดงผลแบบ Real Time ประกอบด้วยการแสดงผลค่าอุณหภูมิ (1) แสดงผลปริมาณค่า DO (2) การปิด-เปิด ปั๊มสูบน้ำให้กับระบบ (3) การปิด-เปิด สเปรย์ฉีดชำระล้างหัววัด (4) สถานะปิด-เปิด ปั๊มสูบน้ำ (5) และการแสดงผลสถานะปิด-เปิด สเปรย์ฉีดชำระล้างหัววัด (6) ซึ่งการแสดงผลทั้งหมดจะถูกนำไปแสดงที่ Anto.io [7] ซึ่งเป็น Free Cloud Server ดังแสดงในภาพที่ 5

ภาพที่ 5 หน้าต่างแสดงผลการตรวจวัดบน Anto.io

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบวัดปริมาณค่า DO ที่อุณหภูมิ 20˚C 23˚C และ 26 ˚C ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยค่าปริมาณ DO ทดสอบที่ 2 3 4 5 6 7 และ 8 mgL^{-1} พบว่า มีค่าที่ได้ค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าของเครื่องมือวัดอ้างอิง โดยมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจากการวัดอุณหภูมิที่ 20°C 23°C และ 26°C มีค่าความผิดพลาด 2.87% 1.71% และ 2.17% ซึ่งถือว่าสามารถยอมรับได้ และการส่งข้อมูลและอ่านค่า DO ที่วัดได้ผ่านเวปคลาวด์ www.Anto.io สามารถแสดงผลตอบสนองได้ทันเวลา

แนวทางการพัฒนาต่อไป คือ ทำการทำสอบเพิ่มเติมที่ค่าอุณหภูมิอื่นๆ เพื่อปรับปรุงแก้ไขให้ระบบตรวจวัดค่า DO ได้ถูกต้องยิ่งขึ้นแล้วนำไปทดสอบใช้งานจริงในบ่อเลี้ยงปลา การติดตั้งระบบควบคุมการเติมอากาศแบบอัตโนมัติในบ่อเลี้ยงปลา และระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมทั้งระบบส่งข้อมูลหรือผลการตรวจวัดผ่านระบบสื่อสารแบบไร้สายเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบทั้งหมด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2559 และขอขอบคุณโครงการชุมชนต้นแบบเลี้ยงปลาอัจฉริยะสีเขียว เพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล กรณีศึกษาชุมชนบ้านทุ่งยาว อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

[1] ธรรมพันธุ์ ภาสบุตร, ปฐมาภรณ์ ศรีผดุงธรรม. 2557. **ระบบเพิ่มออกซิเจนในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์**. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] เฉิดฉัน อมาตยกุล, วัฒนะ ลีลาภัทร, สุรางค์ สุมโนจิตรา ภรณ์. 2538. **การเลี้ยงสัตว์น้ำ**. กองประมงน้ำจืด. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

[3] Mohd Adam Mohd Noor, Nora’zah Abd Rashid, Khairom Nizam Atan ,Dr. Gunnawan Witjaksono, Dr.Suhairi Saharudin. 2015. **Characterization of Optical Fiber Dissolved Oxygen Sensor for aquaculture sensing and monitoring**. Procedia Chemistry 20(2016) 8-11.

[4] ชนิศนันท์ สุงาม และอัจจนา วงศ์ชัยสุวัฒน์. 2557. **เซ็นเซอร์สำหรับวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ.** วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

[5] Choi, M. F. M. & D. Xiao. (1999). **Single standard calibration for an optical oxygen sensor based on luminescence quenching of a ruthenium complex**. Analytica Chimica Act, 403, 57–65

[6] ประพนธ์ ฟักอินทร์. 2548. **ระบบเตือนภัยการขาดออกซิเจนที่ละลายในน้ำโดยใช้งานจากเซลล์แสงอาทิตย์**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ.

[7] Anto (ม.ป.ป.). **Anto.** (Online), แหล่งที่มา: http://www.Anto.io. (20 สิงหาคม 2560).

กำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการทำความเย็น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Effect of Electrical Power to Thermoelectric Cooling Plate for Solar Panel Efficiency Improvement

ณัฐพล เข็มเพ็ชร์[1] และอัครินทร์ อินทนิเวศน์[1*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อได้รับไฟฟ้ากระแสตรงจะสามารถผลิตความร้อน และความเย็นได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบหากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมกับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกรุ่น TEC1-12706 ที่ต่อขนานกัน 5 panel สำหรับทำความเย็นให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะติดอยู่กับแผ่นอลูมิเนียม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนผลึกเดี่ยว พื้นที่รับแสง 0.098 m^2 กำลังการผลิตไฟฟ้า 10 W เปรียบเทียบกับแผงเปล่าที่ไม่ติดแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะใช้น้ำในการระบายความร้อนปริมาตร 5 L ซึ่งจะทดสอบหาสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP) และการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (Q_{Cool}) ขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่ใช้งาน โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ 2 V และปรับกระแสไฟฟ้า 4 ค่า คือ 0.5, 1, 1.5 และ 2 A ทดสอบเป็นเวลา 2 hr ที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมปกติ พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ 1.5 A ให้อุณหภูมิด้านร้อน 31.8 °C และด้านเย็น 24.9 °C สามารถให้ค่า COP และ Q_{Cool} ที่เหมาะสมอยู่ที่ 4.2 และ 12.6 W ตามลำดับ เมื่อนำกระแสไฟฟ้า 1.5 A กำลังไฟฟ้า 3 W มาจ่ายให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับทำความเย็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะใช้งาน พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อเทียบกับแผงเปล่า สามารถลดอุณหภูมิลงได้เฉลี่ย 6 °C ทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 10.3%

คำสำคัญ: แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น

[*]Corresponding author: Tel.: 088-2687904. E-mail address: a.intaniwet@hotmail.co.th

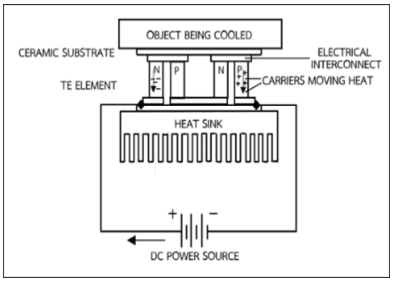
บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดจากธรรมชาติ ที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทางเลือกได้อย่างไม่หมดสิ้น ซึ่งปริมาณรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อปีของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 18.2 $MJ/m^2 \cdot day$ [1] ถือได้ว่าเป็นศักยภาพทางพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก ซึ่งปกติแล้วแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดตามมาตรฐานที่กำหนดไว้คือที่ความเข้มแสง 1,000 W/m^2 และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ 25 °C [2] แต่เมื่อนำมาใช้งานจริงแล้ว แสงจากดวงอาทิตย์จะทำให้เกิดความร้อนสะสมที่ผิวรับแสง และส่วนประกอบต่างๆ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นระหว่างการใช้งาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนจะพบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 1 °C จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงประมาณ 0.5% [3] ทำให้มีงานวิจัยต่างๆ ที่จะพยายามลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะใช้งานให้มีอุณหภูมิที่ต่ำลงเพื่อเป็นการป้องกันการสูญเสียกำลังไฟฟ้า และต้องการให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุดขณะใช้งาน ซึ่งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีคุณสมบัติในการผลิตความเย็น โดยความเย็นที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ในการลดอุณหภูมิให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะใช้งานได้ [4]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยทำการติดแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่แผ่นอลูมิเนียมหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการทดสอบจะพิจารณากระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก รวมทั้งความเย็นที่ผลิตได้ และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง โดยจะใช้น้ำในการระบายความร้อนด้านร้อนให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับเป็นแนวทางคล้ายกับการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบของฟาร์มโซลาเซลล์ลอยน้ำในอนาคต

วิธีการวิจัย

แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกคืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก จะทำให้เกิดการดูดกลืนความร้อนที่ด้านเย็น (Heat absorbed at cold side) และในขณะเดียวกันก็จะเกิดการคายความร้อนที่ด้านร้อน (Heat rejected at hot side) ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์ของเพลเทียร์ (Peltier effect) [5] ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถหาได้จากสมการที่ 1 และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นสามารถหาได้จากสมการที่ 2 ส่วนประสิทธิภาพสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดต่อค่าความเข้มแสงคูณกับพื้นที่รับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังสมการที่ 3



ภาพที่ 1 หลักการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

$$Q_{cool} = (\alpha_{sb} I T_{Cool} - \frac{1}{2} I^2 R - K\Delta T) \quad (1)$$

$$COP = \frac{Q_{Cool}}{P} \quad (2)$$

เมื่อ Q_{Cool} คือ การทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

α_{sb} คือ สัมประสิทธิ์ของซีเบก มีค่าเท่ากับ 0.051 (V/K^{-1}) [6]

R คือ ความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก เท่ากับ 1.956 (Ω) [6]

K คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก เท่ากับ 0.518 (WK^{-1}) [6]

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

T_{Cool} คือ อุณหภูมิด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อน และอุณหภูมิด้านเย็น (K)

COP คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น

P คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

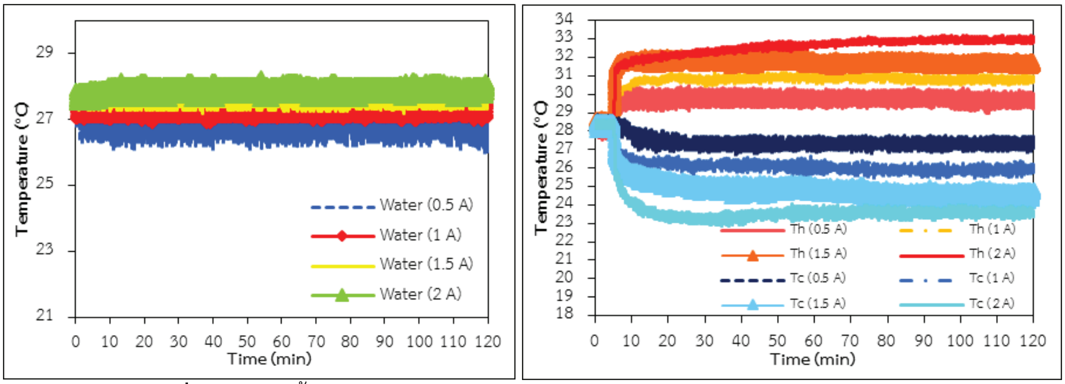
โดยการศึกษากำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการทำความเย็น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 ทดสอบหาการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (Q_{Cool}) และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (COP) ซึ่งทดสอบโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่ติดกับแผ่นอลูมิเนียมใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์คงที่เท่ากับ 2 V โดยปรับกระแสไฟฟ้า 4 ค่าตั้งแต่ 0.5, 1, 1.5 และ 2 A โดยไม่ใช้แสงจากหลอดไฟ Halogen tungsten เมื่อทดสอบแล้วนำค่าที่ได้จากการบันทึกมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อคำนวณหาค่า Q_{Cool} และ COP แล้วนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟเปรียบเทียบสำหรับการพิจารณาผลของกำลังไฟฟ้า เพื่อนำไปทดสอบในส่วนที่ 2 ต่อไป

ส่วนที่ 2 ทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างแผงเปล่ากับแผงที่ติดแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก โดยหลังจากที่ทำการทดสอบหาค่า Q_{Cool} และ COP เรียบร้อยแล้ว จะนำค่ากำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด จากการทดสอบในส่วนที่ 1 มาใช้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการทำความเย็นให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ เปรียบเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปล่า สำหรับทดสอบหาประสิทธิภาพจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว โดยใช้แสงจากหลอดไฟ Halogen tungsten กำหนดความเข้มแสง 1,000 W/m^2

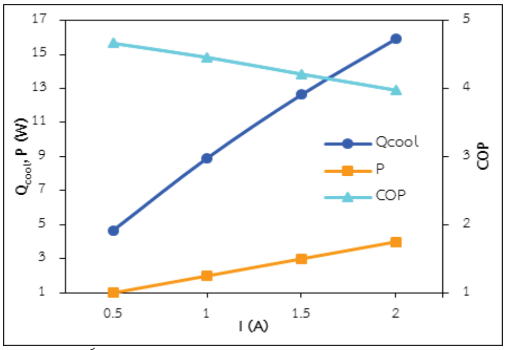
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลของการทำความเย็นที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก และสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการวิเคราะห์อุณหภูมิน้ำที่ได้รับความร้อนจากด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก รวมถึงอุณหภูมิด้านร้อน และด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก จากการจ่ายแรงดันไฟฟ้า 2 V ที่ปรับกระแสไฟฟ้า 4 ค่าตั้งแต่ 0.5, 1, 1.5 และ 2 A สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาได้ดังนี้



ภาพที่ 2 อุณหภูมิน้ำ (ซ้าย), อุณหภูมิด้านร้อน และด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (ขวา)

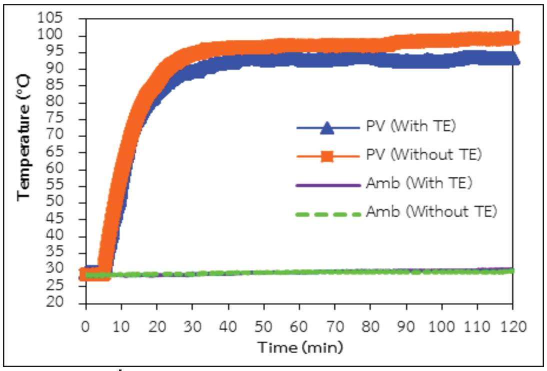
จากการทดสอบแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่การจ่ายแรงดัน 2 V ปรับกระแสไฟฟ้า 4 ค่าตั้งแต่ 0.5, 1, 1.5 และ 2 A พบว่าระบบจะเริ่มเข้าสู่ภาวะคงตัวเมื่อเวลาผ่านไป 10 min ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิน้ำในแต่ละค่าของกระแสไฟฟ้าจะแตกต่างกันไม่ถึง 1 °C ซึ่งที่กระแสไฟฟ้า 0.5 A และ 2 A อุณหภูมิน้ำจะแตกต่างกันสูงสุดเพียง 0.8 °C เนื่องจากน้ำได้รับความร้อนจากด้านร้อนของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกไม่มากนัก จึงเกิดการคายความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมประมาณ 28 °C ได้อย่างคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 2 (ซ้าย) และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิด้านร้อน และด้านเย็นจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ต่างกัน พบว่าด้านร้อน และด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในภาพที่ 2 (ขวา) ซึ่งที่กระแสไฟฟ้า 0.5 A อุณหภูมิด้านร้อนจะเพิ่มขึ้นมา 1.7 °C ส่วนอุณหภูมิด้านเย็นลดลง 0.6 °C ส่วนที่กระแสไฟฟ้า 1 A อุณหภูมิด้านร้อนจะเพิ่มขึ้น 2.8 °C อุณหภูมิด้านเย็นจะลดลง 1.9 °C สำหรับกระแสไฟฟ้า 1.5 A อุณหภูมิด้านร้อนจะเพิ่มขึ้น 3.8 °C เป็น 31.8 °C อุณหภูมิด้านเย็นจะลดลงได้ 3.1 °C เป็น 24.9 °C และที่กระแสไฟฟ้า 2 A อุณหภูมิด้านร้อนจะเพิ่มขึ้น 4.6 °C อุณหภูมิด้านเย็นจะลดลง 4.4 °C และเมื่อพิจารณาผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นสำหรับกระแสไฟฟ้าทั้ง 4 ค่า พบว่ามีผลต่างของอุณหภูมิประมาณ 6 °C ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ 2 V แต่มีการปรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็น 0.5, 1, 1.5 และ 2 A ในการทำความเย็นให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่อมีการเพิ่มกระแสไฟฟ้าจะทำให้ด้านร้อนเกิดความร้อนมากขึ้น และในขณะเดียวกันด้านเย็นก็สามารถทำความเย็นได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน

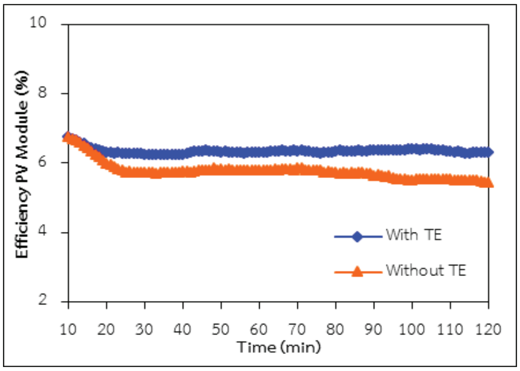


ภาพที่ 3 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น และการทำความเย็นที่ด้านเย็น
ของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อเปลี่ยนแปลงการจ่ายกระแสไฟฟ้า

ภาพที่ 3 เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ต่างกันจะเห็นได้ว่าที่กระแสไฟฟ้า 0.5, 1, 1.5 และ 2A จะให้ค่า COP สูงสุดประมาณ 4.7, 4.5, 4.2, 4.0 ตามลำดับ ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่มีค่าน้อยจะส่งผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ ยิ่งใช้กำลังไฟฟ้าน้อย ก็จะยิ่งทำให้ได้ค่า COP มาก แต่ในส่วนของ Q_{Cool} พบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ยิ่งใช้กำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมากเท่าไร ก็จะยิ่งทำให้ได้ค่า Q_{Cool} มากขึ้น โดยที่กระแสไฟฟ้า 0.5, 1, 1.5 และ 2A จะให้ค่า Q_{Cool} สูงสุดประมาณ 4.7, 8.9, 12.6 และ 15.9 W ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่กระแสไฟฟ้า 2 A จะให้ค่า Q_{Cool} สูงสุด แต่กลับทำให้ค่า COP น้อยลง ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ทำให้ได้ค่า COP และ Q_{Cool} เหมาะสมดีที่สุดคือกระแสไฟฟ้า 1.5 A

2. ผลของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างแผงเปล่ากับแผงที่ติดแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก จากการวิเคราะห์อุณหภูมิ และประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกที่แรงดัน 2 V กระแสไฟฟ้า 1.5 A สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาได้ดังนี้





ภาพที่ 4 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสภาพแวดล้อม (ซ้าย), ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ขวา)

ภาพที่ 4 (ซ้าย) ขณะที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมอยู่ที่ประมาณ 28 °C เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้า 1.5 A มาทดสอบการทำความเย็นให้กับแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก สำหรับลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปล่ามีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 20 – 120 min ประมาณ 96 °C ส่วนอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าสูงสุดประมาณ 90 °C ซึ่งมีความแตกต่างกัน 6 °C ส่วนภาพที่ 4 (ขวา) เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าตั้งแต่ช่วงเวลา 0 – 10 min จะมีค่าประสิทธิภาพไม่ต่างกัน ซึ่งค่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลา

20 – 120 min จากสมการที่ 3 พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปล่ามีค่าอยู่ที่ 5.8% ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่า 6.4%

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษากำลังไฟฟ้าที่มีผลต่อแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการทำความเย็น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่ากำลังไฟฟ้า 3 W ที่กระแสไฟฟ้า 1.5 A สามารถให้ค่า COP และ Q_{Cool} เหมาะสมที่จะนำมาทดสอบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหาประสิทธิภาพอยู่ที่ 4.2 และ 12.6 W และเมื่อนำมาทดสอบหาประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์เทียบกับแผงเปล่า พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 10.3%

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้การสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการผลิต และพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา และทุนวิจัยจากสำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน (สนพ.) อีกทั้งบ้านพักข้าราชการกองพันทหารปืนใหญ่ที่ 104 ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการทำวิจัยจนเป็นผลสำเร็จในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กลุ่มสถิติข้อมูลพลังงาน. (2558). สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย. กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพฯ.

[2] ประภาพิทย์ บุญหล้า และนุชิดา สุวแพทย์. (2556). “การระบายความร้อนด้วยน้ำที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดผลึกเดี่ยว และชนิดอะมอร์ฟัส” , ใน **วารสารวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามตามวิจัย ครั้งที่ 9 ประจำปี 2556**, จังหวัดมหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[3] Wei, p. Yu, L. Shiquan, s. Xin, G. (2014). Empirical study on thermal performance through separating impacts from a hybrid PV/TE system design integrating heat sink. **International Communications in Heat and Mass Transfer.** 60, 9 – 12.

[4] เจริญพร เลิศสถิตธนกร และวิชาญ ศรีสุวรรณ์. (2547). “การศึกษาเชิงทดลองของฝ้าเพดานทาความเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กตริก” , ใน **วารสารวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18 ประจำปี 2547**, วันที่ 18-20 ตุลาคม 2547. ขอนแก่น

[5] Astrain, D. vian, J.G. Albizua, J. (2005). Computational model for refrigerators based on peltier effect application. **Applied Thermal Engineering.** 25, 3149 – 3162.

[6] Shen, L. Tu, Z. Hu, Q. Tao, C. chen, H. (2016). The optimization design and parametric study of thermoelectric radiant cooling and heating panel. **Applied Thermal Engineering.** 112, 688 – 697.

การประเมินค่ากำจัดขยะอุตสาหกรรมอันตรายประเภทของแข็ง ที่เหมาะสม กับโรงไฟฟ้าแบบแก๊สซิฟิเคชั่น อุณหภูมิสูง

APPROPRIATE HAZARDOUS INDUSTRIAL SOLID WASTE TIPPING FEE FOR HIGH THERMAL GASIFICATION POWER PLANT

สุรสิทธิ์ เฉลิมเจริญรัฐ[1*] และ ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์[2]

[1]สหสาขาวิชาการเทคโนโลยีและจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10330
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10330

บทคัดย่อ

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถจะนำพลังงานหมุนเวียนที่สะสมในรูปไฮโดรคาร์บอน นำกลับมาใช้ใหม่ผ่านกระบวนการจัดการด้วยความร้อน ผลพลอยได้คือพลังงานความร้อนและไฟฟ้า และประโยชน์โดยตรงคือการลดมวลและสารพิษซองขยะซึ่งเป็นปัญหาใหญ่ต่อสิ่งแวดล้อม ขยะอุตสาหกรรมในประเทศไทยปัจจุบันมีความรุนแรงของปัญหามากตามกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นของอุตสาหกรรมในประเทศ อีกทั้งยังมีปัญหาการลักลอบทิ้งกากของเสียจากอุตสาหกรรมประเภทอันตรายออกสู่สภาพแวดล้อมโดยตรง วิธีแบบดั้งเดิมในบำบัดสารพิษ โดยการปรับความเสถียรซองกากของเสียแล้วนำไปฝังกลบในดิน การใช้วิธีดังกล่าวในระยะยาวจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การ. การศึกษาเทคโนโลยีเตาเผาขยะอุตสาหกรรมแบบแก๊สซิฟิเคชั่นที่ใช้ความร้อนสูง(High Thermal Gasification Power Plant)ซึ่งได้การรับรองพิสูจน์แล้วว่าสามารถทำลาย ขยะอุตสาหกรรมอันตรายประเภทของแข็ง H-ISW(Hazardous Industrial Solid Waste)ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพื้นที่การศึกษาอยู่ในภาคตะวันออกของประเทศไทยซึ่งมีปริมาณขยะอุตสาหกรรมมากที่สุดในประเทศไทย โดยการศึกษาได้ทำการประเมินการลงทุนผ่านแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ โดยแบบจำลองอัตราคิดลด DCF Model(Discounted Cash Flow Model) และแบบจำลองประเมินค่าความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) จากการศึกษาประเมินหาค่าขยะอุตสาหกรรมแบบอันตราย H-ISW(Industrial Solid Waste Tipping Fee)ที่เหมาะสมกับการลงทุนในโรงไฟฟ้าคือที่ประมาณไม่ต่ำกว่า 9,595 บาทต่อตัน จะทำให้โครงการลงทุนระบบโรงไฟฟ้าดังกล่าวไม่ขาดทุน

*สุรสิทธิ์ เฉลิมเจริญรัฐ: Tel.: 081-3319686. E-mail address: surasit.ifpower45@gmail.com

บทนำ

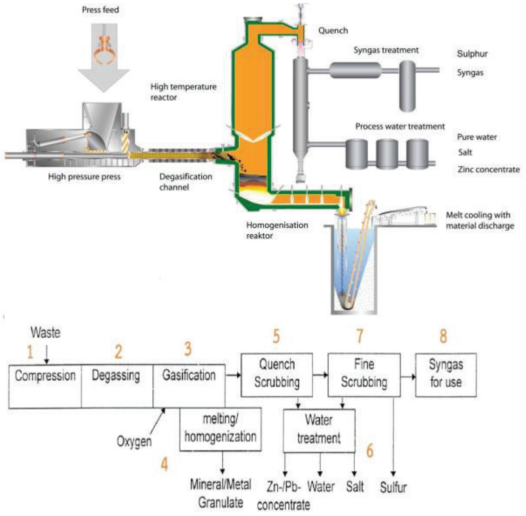
การศึกษามุ่งศึกษาเทคโนโลยีเตาเผาขยะอุตสาหกรรมแบบแก๊สซิฟิเคชั่นที่ใช้ความร้อนสูงซึ่งได้การรับรองพิสูจน์แล้วว่าสามารถทำลายขยะอุตสาหกรรมอันตรายประเภทของแข็งH-ISW(Hazardous Industrial Solid Waste) [1]ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพื้นที่การศึกษาอยู่ในภาคตะวันออกของประเทศไทยซึ่งมีปริมาณขยะอุตสาหกรรมมากที่สุดในประเทศไทย โดยการประเมินการลงทุนผ่านแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ทำการหา ค่าขยะอุตสาหกรรมแบบอันตราย(Hazardous Industrial Solid Waste Tipping Fee)ที่เหมาะสมกับการลงทุนในโรงไฟฟ้าแบบแก๊สซิฟิเคชั่นที่ใช้ความร้อนสูง(High Thermal Gasification Power Plant) [2] ดังกล่าว.

คำสำคัญ: เตาเผาขยะอุตสาหกรรมแบบแก๊สซิฟิเคชั่นที่ใช้ความร้อนสูง,ค่ากำจัดขยะอุตสาหกรรมอันตรายประเภทของแข็ง
: High Thermal Gasification Power Plant **,** H-ISW(Hazardous Industrial Solid Waste)

วิธีการวิจัย

การศึกษาเทคโนโลยีเตาขยะอุตสาหกรรมที่สามารถทำลายขยะอุตสาหกรรมอันตรายและผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ โดยดำเนินการเปรียญเทียบเทคโนโลยีการทำลายขยะฯด้วนกระบวนการทางความร้อนประเภทต่างๆผลสรุปคือ ระบบเตาแบบแบบแก๊สซิฟิเคชั่นที่ใช้ความร้อนสูง เทคโนโลยี ThermoSelect[3]ซึ่งเป็นระบบเตาเผาแบบแก๊สซิฟิเคชั่นอุณหภูมิสูง เป็นที่พิสูจน์ทางด้านวิศวกรรมและการพัฒนาทางการตลาด มาเป็นกรณีศึกษาซึ่งระบบดังกล่าวที่สามารถทำลายขยะอุตสาหกรรมอันตรายได้โดยที่ค่ามลพิษจากกระบวนการเผาของเทคโนโลยีดังกล่าว มีค่าการปลดปล่อยมลภาวะต่ำกว่ากฎหมายของประเทศไทย อีกทั้งยังได้นำกรณีศึกษาเงินลงทุนCAPEX(Capital Expenditure)และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการOPEX(Operation Expense)ของเทคโนโลยีดังกล่าวเป็นตัวแปรหนึ่งในการลงทุน เพื่อศึกษาอัตราค่ากำจัดขยะอันตรายประเภทของแข็ง และประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน ผ่านแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้วิธี 1. การประเมินต้นทุนถัวเฉลี่ยน้ำหนัก WACC(Weighted Average Cost of Capital), 2. การประเมินต้นทุนทางการเงินส่วนทุน (Capital)โดย CAPM(Capital Asset Pricing Model), 3.การประเมินแบบจำลองอัตราคิดลด DCF(Discounted Cash Flow Model), 4.การประเมินกระแสเงินสดสุทธิ NPV(Net Present Value), อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ IRR(Internal Rate of Return), ผลตอบแทนส่วนผู้ถือหุ้น ROE(Return on Equity), 5.อัตราผลตอบแทนจากการลุงทุน ROI(Return on Investment)และ 6.ระยะเวลาในการคืนทุน PB(Payback Period) และนำค่าต่างๆมา 7.ประเมินค่าความอ่อนไหว(Sensitivity Analysis)

กระบวนการเทคโนโลยี ThermoSelect[3]แบ่งออกเป็น8ขั้นตอนดังนี้คือ 1.กระบวนการบีบอัดขยะ (Compression) 2.กระบวนการทำให้เกิดแก๊ส(Degassing) 3.กระบวนการ Gasification 4.กระบวนการคืนรูปและหลอมละลาย(Melting & Homogenization) 5.กระบวนการ Quench Scrubbing 6.กระบวนการ Water Treatment 7.กระบวนการ Fine Scrubbing 8.กระบวนการการ เกิด แก๊สสังเคราะห์(Syngas)[4] ระบบเตาเผาขยะอุตสาหกรรมนี้สามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 20.09 เมกกะวัตต์[5] ต่อ ชั่วโมง โดยใน1ปีจะผลิตไฟฟ้าได้ 150,675 เมกกะวัตต์ ต่อชั่วโมง ต่อปี มีรายได้จากอัตราการขายไฟฟ้าที่ 3.66 บาทต่อหน่วย[8]ประมาณ 551,470,500 บาทต่อปีแสดงในภาพที่ 1.



ภาพที่ 1 แสดงการทำงานของระบบเตา Gasification โดยเทคโนโลยี ThermoSelect[4]

ระบบ ThemoSelectปัจจุบันมีการ ดำเนินการในประเทศญี่ปุ่นอยู่ 7 โรงงานดำเนินการโดย JFE Engineering(Kawasaki Steel และNKK)[5] และในประเทศเกาหลี โดย Daewoo Engineering[7] เป็นรูปแบบเตาแบบ Gasification แบบหนึ่งที่ประสบความสำเร็จแบบหนึ่งของโลก ระบบดังกล่าวสามารถจัดการขยะอุตสาหกรรมอันตราย ปริมาณ 500 ตันต่อวันและที่ค่าความร้อนต่ำ(Low Heating Value) =17.57 MJ/kg ระบบสามารถผลิต ก๊าซสังเคราะห์ Synthetic Gas ได้ประมาณ 34,284 Nm3 /ชั่วโมง จากนั้นนำก๊าซสังเคราะห์ Synthetic Gas ไปผลิตพลังงานไฟฟ้าผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันแก๊ส(Gas Turbine Generator) แสดงในตารางที่ 1.

ตารางที่ 1 ThermoSelect Power Plant Specification[5]

รายการ	หน่วย	ค่าการบริโภค
1 Waste Capacity per Day	ตันต่อวัน	500(H-ISW)
2. Operation Availability	ชั่วโมง	7,500
3. Low Heating Value Avg.	MJ/kg	17.57(H-ISW)
4. Synthetic Gas Product	Nm3/ชั่วโมง	34,284
5. Gas Turbine & Steam Turbine	ชั่วโมงต่อปี	7,500
6. Efficiency of Power Plant	%	40
7. Power Production	kW	32,090
8. Power Production net on Sales	kW	20,090

เทคโนโลยี ThermoSelect มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน[6] CAPEX (Capital Expenditure) ประมาณ 9,322,800,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 92 ของเงินลงทุน อายุโครงการทั้งหมด 20 ปี และระยะเวลาก่อสร้างระบบอาคาร EPC(Engineering Procurement Construction) ประมาณ 3 ปี แสดงในตารางที่ 2.

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน CAPEX (Capital Expenditure) ระบบ ThermoSelect[6]

รายการ CAPEX	เงินลงทุน(บาท)	หมายเหตุ
1.ค่าที่ดินเนื้อที่ดิน ประมาณ 30 ไร่	-	ไม่รวมค่าที่ดิน
2.ค่าก่อสร้างอาคาร	49,950,000	EPC 3Years
3.ระบบ เตาปฏิกรณ์ Gasification Unit	6,756,944,768	500t/d;H-ISW
4.ส่วนโรงไฟฟ้า Power Plant	1,899,205,798	
5.ค่าอะไหล่ Spare Part	157,020,952	
6.ค่าขนส่ง	97,530,591	
7.ค่าที่ปรึกษาโครงการ	50,000,000	
8.ค่าธรรมเนียมต่าง	112,147,891	
9.เงินสำรองฉุกเฉิน	50,000,000	
10.เงินทุนหมุนเวียน	150,000,000	
รวมทั้งสิ้น	**9,322,800,000**	

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ OPEX เท่ากับ 771,140,000 บาท ของระบบโรงไฟฟ้า แบบ Gasification เทคโนโลยี ThermoSelect คิดเป็นร้อยละ 8 ของเงินลงทุน แสดงในตารางที่ 3.

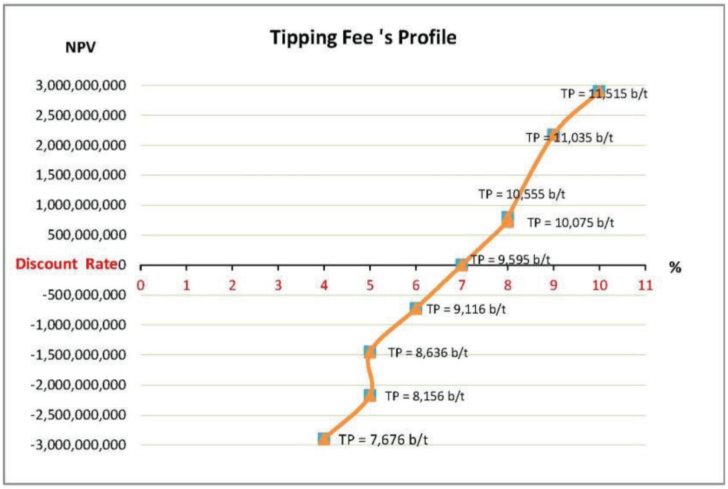
ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ OPEX (Operating Expense) ระบบ ThermoSelect[6]

รายการOPEX	เงินลงทุน(บาท)	หมายเหตุ
1.ค่าสาธารณูปโภคบำรุงรักษาระบบ	211,000,000	
2.ค่าดูแลการเก็บ Feedstock	39,000,000	H-ISW
3. ค่าเงินเดือนเจ้าหน้าที่	50,000,000	

4.ค่าใช้จ่ายทางธุรการ	35,000,000	
5.เสื่อมราคาของระบบ	466,140,000	ระยะเวลา20ปี
6.ค่ากองทุนสิ่งแวดล้อมรอบโรงไฟฟ้า	15,000,000	
รวมทั้งสิ้น	771,140,000	เพิ่ม 3%/ปี

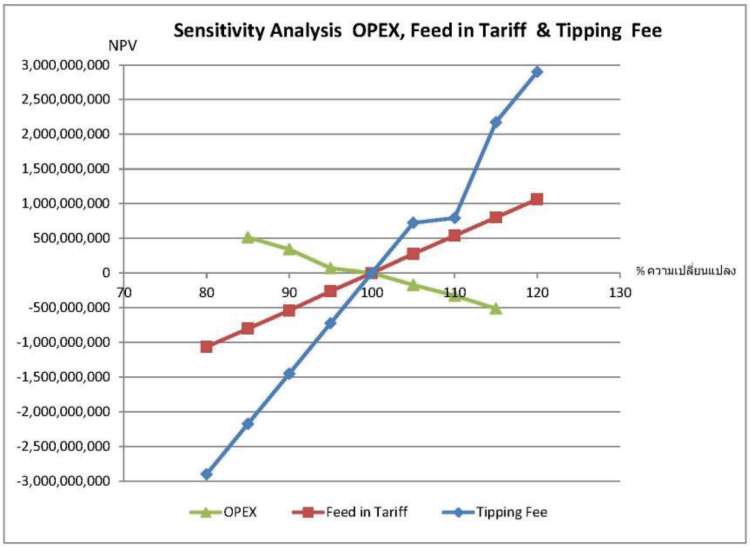
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยจากการแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ อันตราค่ากำจัดขยะอุตสาหกรรมอันตราย H-ISW(Hazardous Industrial Solid Waste Tipping Fee) ที่เหมาะสมทำให้โครงการลงทุนเตาเผาขยะอุตสาหกรรม ที่เท่าทุนคือ 9,595 บาทต่อตัน โดยมีค่าคงที่ใช้คือ 1.การขายไฟฟ้าแบบ FIT(Feed in Tariff) ที่อัตรา 3.66 บาทต่อหน่วยมีสัญญาขายไฟฟ้า 20 ปี[8] 2.ค่าใช้จ่ายในการลงทุน CAPEX (Capital Expenditure) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ OPEX (Operating Expenses) 3.อายุโครงการลงทุนทั้งสิ้น 20 ปี 4. ต้นทุนถัวเฉลี่ย WACC(Weighted Average Cost of Capital)ค่าร้อยละ 7 5.อัตราส่วนการลงทุน จำนวนการกู้(Loan) ต่อ จำนวนทุน(Capital) ที่ร้อยละ 70 ต่อ 30 6.ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าคงที่ ที่ร้อยละ 40[5] สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 20.09 เมกกะวัตต์ต่อชั่วโมง(ผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 150,675,000 หน่วยไฟฟ้าต่อปี) 7.ระยะเวลาในการชำระดอกเบี้ยเงินกู้ที่ประมาณ 13 ปี 8. โครงการได้รับการส่งเสริมการลงทุนจาก BOI เวลา 8 ปี โดยการประมวลค่าที่ได้ NPV(Net Present Value) และ Discount Rate แสดงในภาพที่ 2.



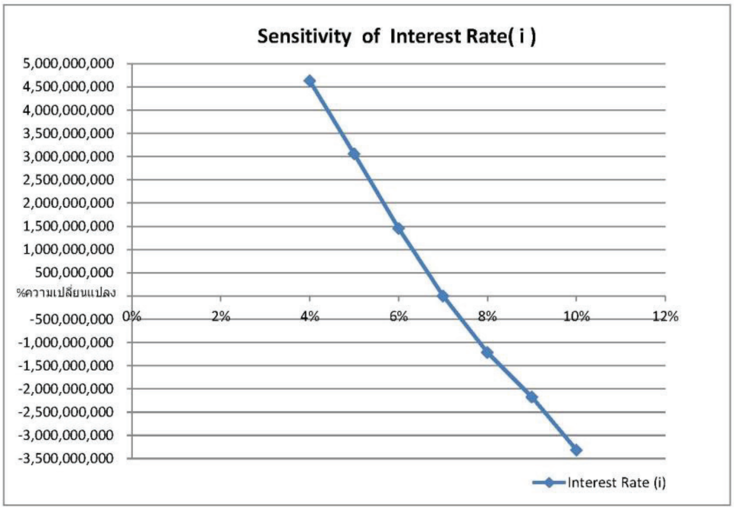
ภาพที่ 2 .การประเมินแบบจำลองอัตราคิดลด DCF แสดงผลอัตราค่ากำจัดขยะ ต่อกระแสเงินสุทธิโครงการNPV

ผลจากการประเมินค่าความอ่อนไหวทั้งสามค่าคือ 1.ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ OPEX (Operating Expense) 2.อัตราค่าไฟฟ้าแบบ FIT(Feed in Tariff) และ 3.อัตราค่ากำจัดขยะอุตสาหกรรมอันตรายประเภทของแข็งH-ISW(Hazardous Industrial Solid Waste Tipping Fee) โดยค่าที่ความอ่อนไหวต่อการลงทุนในโครงการดังกล่าวมากที่สุดคือค่าของ อัตราค่าทำลายขยะอุตสาหกรรมอันตรายนั่นเอง, รองลงมาคืออัตราค่าดอกเบี้ยเงินกู้ , รองลงมาคืออัตราค่าขายไฟฟ้าแบบ FIT(Feed in Tariff) และสุดท้ายคือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ OPEX การประเมิน ค่ากำจัดขยะอุตสาหกรรมอันตรายประเภทของแข็งจากแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์นี้ คืออัตราที่ 9,595 บาทต่อตัน ; คำนวณจากต้นทุนถัวเฉลี่ยน้ำหนัก WACC ที่ร้อยละ 7 จะทำให้โครงการลงทุน ระบบโรงไฟฟ้าที่ใช้ขยะอุตสาหกรรมอันตรายประเภทของแข็งเป็นเชื่อเพลิงไม่ขาดทุน แสดงในภาพที่ 3.



ภาพที่ 3 แสดงผลค่าความอ่อนไหว Sensitivity Analysis OPEX,อัตราขายไฟฟ้า FIT, อัตราค่ากำจัดขยะTipping Fee

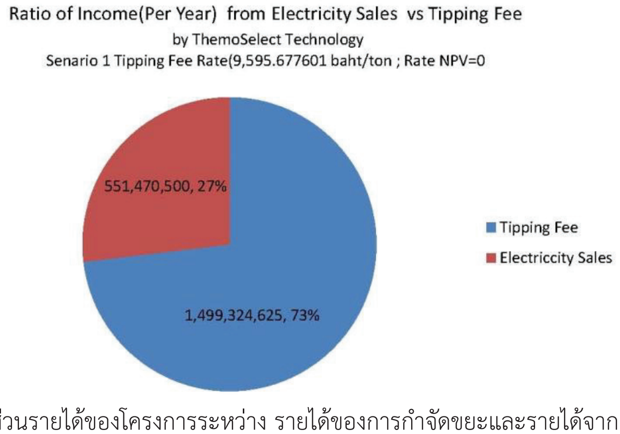
นำข้อมูลดังกล่าวมาประเมินค่าความอ่อนไหวในการลงทุนโครงการดังกล่าวกับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของโครงการโดยอัตราดอกเบี้ยโครงการที่ใช้เป็นค่าฐานอยู่ที่ร้อยละ7ต่อปี ถ้าอัตราเงินกู้ต่ำกว่าค่าฐาน โครงการจะสามารถมีผลกำไรมากขึ้นแสดงใน ภาพที่ 4.



ภาพที่ 4 แสดงผล ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง Sensitivity Analysis อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของโครงการ

สรุปผลการวิจัย

ผลของค่าความอ่อนไหวที่ส่งผลต่อรายได้ ในการลงทุนโรงไฟฟ้ากำจัดขยะอุตสาหกรรมอันตรายของแข็ง แบบแก๊สซิฟิเคชั่น อุณหภูมิสูง คือค่ากำจัดขยะ(Tipping Fee) แสดงให้เห็นว่า รายได้ทั้งหมดของโครงการคือรายได้จากค่ากำจัดขยะอุตสาหกรรมต่อรายได้จากการขายไฟฟ้า อยู่ที่สัดส่วนถึง ร้อยละ 73 ต่อ 27 ทำให้ ค่าจัดขยะ(Tipping Fee)ปัจจัยที่มีความอ่อนไหวต่อมากที่สุดในโครงการนี้ จากผลการศึกษาอัตราค่ากำจัดขยะที่เหมาะสมกับโครงการดังกล่าวต้องมากกว่า 9,595 บาทต่อตันจึงจะทำให้โครงการนี้ไม่ขาดทุนแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 สัดส่วนรายได้ของโครงการระหว่าง รายได้ของการกำจัดขยะและรายได้จากการขายไฟฟ้า

สรุปการศึกษาเสนอแนะอัตราค่ากำจัดขยะที่ 10,075 บาทต่อตันจะทำให้กระเงินสดสุทธิของโครงการ NPV(Net Present Value) มีค่าเท่ากับ 724,186,576 บาท ผลตอบแทนภายในโครงการ IRR(Internal Rate of Return) เท่ากับร้อยละ 8 , ผลตอบแทนส่วนผู้ถือหุ้น ROE(Return on Equity)เท่ากับร้อยละ 26 และอัตราผลตอบแทนจากการลุงทุน ROI(Return on Investment)เท่ากับร้อยละ 8 ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 13 ปีตามข้อมูลที่การศึกษาเสนอมา ณ ที่นี้.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเป็นอย่างสูง ต่อคณาจารย์ที่ปรึกษา สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและ ผู้ที่มีส่วนในงานวิจัยนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ในการศึกษานี้.

เอกสารอ้างอิง

[1] ณัฐธิดา ตันติสังวรากูร(2555).การศึกษามลพิษจากการเผาขยะมูลฝอยชุมชนเป็นพลังงาน.วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[2] เริงชัย เรืองพยุงศักดิ์(2552). ปัจจัยที่ทำให้เตาเผาขยะอันตรายสามารถกำจัดมลสารได้ตามมาตรฐานสากล กรณีศึกษาศูนย์บริหารจัดการวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ.สารนิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

[3] VIVERA CORPORATION Lawenasstrasse 57FL-9495 Triesen จาก http://www.viveracorp.com

[4] Continuous in-line gasification/vitrification process for thermal waste treatment: process technology and current status of projects Bernd Calaminus*, R. StahlbergThermoselect Engineering S.r.l., LocalitaÁ Piano Grande, Via dell'Industria 25, 28924 Verbania-Fondotoce, Italy

[5] Yamada Sumio, Shimizu Masuto, Miyoshi Fumihiro.(2004 Thermoselect Waste Gasification and Reforming Process. JFE TECHNICAL REPORT No. 3

[6] Frank Campbell.(2008) An Overview of The History and Capability of The Thermoselect Technology. Interstate Waste Technologies Inc. จาก http://www.swananys.org

[7] ThermoSelect Gasification Technologies Counsil จาก http://www.gasification-syngas.org

[8] อัตรารับซื้อไฟฟ้าจากขยะชุมชน ในรูปแบบ FIT(Feed in Tariff)(2560). สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก SPP คณะกรรมการนโยบายพลังงาน แห่งชาติ ครั้งที่2/2560(ครั้งที่12)

อิทธิผลของมุมของฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูต่อสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย

Effects of Angle of Trapezoid Shape a Weir to Discharge Coefficient the flow of water

นัสรู ตือง๊ะ[1] รจพรรณ นิรัญศิลป์[1] ชูรัตน์ ธารารักษ์[1] และธเนศ ไชยชนะ[1*]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ที่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาอิทธิผลของมุมฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่ส่งผลต่อลักษณะการไหลของน้ำและค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านฝาย ทั้งนี้ เป็นฝายแบบสันกว้าง โดยทำการศึกษาในอุโมงค์น้ำแบบทางน้ำไหลแบบเปิด ในระหว่างการทดลองได้ทำการตรวจวัดค่า อัตราการไหล ความสูงของน้ำเหนือฝาย ระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย มุมการบีบอัดของน้ำ และทำการคำนวณอัตราการไหลจากสมการเชิงทฤษฎีและจากากรทดลอง จากนั้นทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล ผลการศึกษาพบว่า องศาของมุมมากขึ้น เมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น ระยะจุดตกของน้ำหลังฝายจะมีค่ามากขึ้น องศาการบีบอัดการตกของน้ำสาหรับฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมีค่าอยู่ในช่วง 92-94 องศา และ 98-120 องศา ตามลาดับ และองศาของมุมที่ A= 0 5 10 และ 15 องศา ส่งต่อค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่เปิดวาล์วที่ 100 % เท่ากับ 0.8933 0.8507 0.7394 และ 0.6443 ตามลำดับ สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีมุมน้อยที่สุด (A=0 degree) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.8933 และสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีมุมมากที่สุด (A=15 degree) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.6443

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์อัตราการไหล ฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู พื้นที่หน้าตัด

* Corresponding author: Tel.: 0815406768. E-mail address: tanatecha@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันพลังงานทดแทนเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นพลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนทิ้ง พลังงานชีวมวล และพลังงานชีวภาพ ซึ่งพลังงานทดแทนถูกคิดค้นขึ้นมา ในการใช้พลังงานต่าง ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง พลังงานน้ำเป็นพลังงานทดแทนที่อยู่ในแผนการ พัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 ของประเทศไทย (AEDP2015) โดยมีเป้าหมายในการพัฒนาการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานขนาดเล็กต้องการเพิ่ม 142.01 MW [1] เมื่อได้สิ้นสุดแผน

ในการประเมินศักยภาพของพลังงานน้ำต้องทราบอิทธิผลของค่าคุณลักษณะต่างๆของกระแสการไหลของน้ำในทางน้ำไหล เช่น พื้นที่หน้าตัดการไหล อัตราเร็วของกระแสการไหล อุณหภูมิ ความลาดชั้นของทางน้ำไหล ความสูงของหัวน้ำ เป็นต้น ทั้งนี้ปริมาณดังกล่าวจะต้องถูกสำรวจเพื่อนำมาใช้ในการ ประเมินปริมาณพลังงานของน้ำในทางน้ำไหลนั้นนั้น สาหรับ ทางน้ำไหลแบบเปิดที่มีขนาดใหญ่ การวัดอัตราการไหลจะดำเนินการได้ยาก ต้องมีเครื่องมือวัดค่าต่างๆ ที่เหมาะสม ทั้งนี้ ในหลักการของการชลประทานที่มีการติดตั้งฝายน้ำล้น สามารถทาการคำนวณอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นได้ โดยตรวจวัดค่าลักษณะการไหลต่างๆ เช่น ความกว้างของสันฝาย ความสูงของน้ำเหนือฝาย เป็นต้น ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะสะดวก ในการประเมินอัตราการไหลของงน้ำแต่ก็ยังมีค่าที่คลาดเคลื่อนจากค่าจริง ดังนั้นในการที่จะทำการคำนวณอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านฝายน้ำล้นได้ โดยตรวจวัดค่าลักษณะการไหลต่างๆ ต้องทำการพิจารณาหาค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลเพื่อนำมาใช้ในการปรับแก้ค่าจากการคำนวณให้มีค่าที่แม่นยำมากขึ้น โดยค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลจะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะทางกายภาพของฝายน้ำล้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษา อิทธิผลของมุมที่ไหลผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่ส่งผลต่อลักษณะการไหลและสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่เป็นฝายแบบสันกว้าง โดยทางการศึกษาในอุโมงค์น้ำแบบเปิด

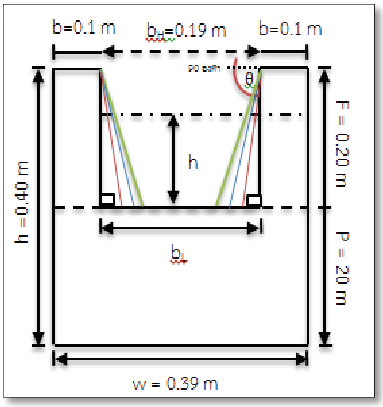
วิธีการวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

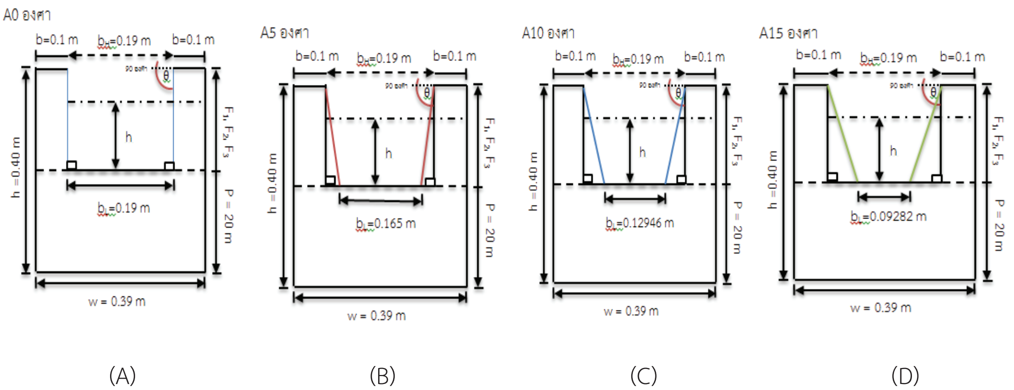
1. ออกแบบและสร้างฝายน้ำล้นรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและ สี่เหลี่ยมคางหมูดังแสดงในภาพที่ 1 โดยสร้างจากแผ่น อะคริลิคใสหนา 0.5 cm แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คำอธิบายสัญลักษณ์และขนาดของการออกแบบฝายน้ำล้น

คำอธิบายและสัญลักษณ์	ขนาดและหน่วย
ความกว้างของฝายที่ต่ำ (W_L)	0.39 m
ความสูงของฝาย (H)	0.40 m
ความสูงของสันฝาย (p)	0.20 m
ความสูงเหนือสันฝาย (F)	0.20 m
ทำการเปลี่ยนมุมของหน้าตัดของฝาย แกน x คือ ความสูงของสันฝาย (F) และ แกน y คือ ความสูงเหนือสันฝาย (b_H) มี 4 ค่า	คือ 0,5,10 และ 15 องศา
ความกว้างของสันฝายที่ต่ำ (b_L) มี 4 ค่า	0.115 m 0.095 m 0.075 m



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะฝายรวมของฝายน้ำล้นที่ A ใดๆ



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะองศาของฝายน้ำล้นที่ (A) 0 องศา (B) 5 องศา (C) 10 องศา (D) 15 องศา

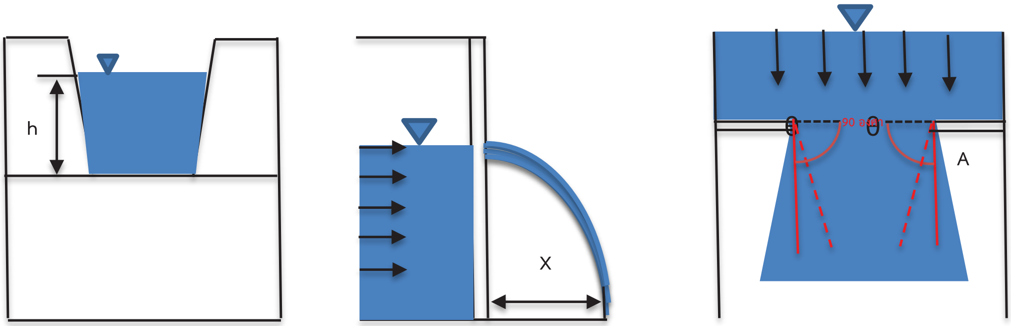
2. ติดตั้งฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีองศาการทำมุมที่แตกต่างกันของแต่ละฝายในอุโมงค์น้ำ (สร้างจริง) เพื่อทำการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 3

(A) (B) (C)

ภาพที่ 3 (A) อุโมงค์น้ำแบบเปิด (B) มุมมองด้านข้าง (C) มุมมองด้านหน้า (มุมมองของฝายติดตั้งกับอุโมงค์น้ำแบบเปิด)

3. ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้น ดังแสดงดังภาพที่ 4 ประกอบด้วย

- ความสูงของน้ำเหนือฝาย (h)
- ระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย (x)
- องศาการบีบอัดการตกของน้ำ (A)



(A) (B) (C)

ภาพที่ 4 ค่าลักษณะการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้น (A) ด้านหน้า (B) ด้านข้าง (C) ด้านบน

4. วิเคราะห์สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าลักษณะการ ไหลกับค่าอัตราการไหล

5. วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล C_d โดยอาศัย สมการที่ 1-3 [2]

$$Q_{experiment} = C_d Q_{theoretical} \tag{1}$$

โดยที่

$$Q_{theoretical} = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} \left(h^{\frac{3}{2}} \right) \tag{2}$$

สมการสำหรับฝายน้ำล้นรูปแบบสีเหลี่ยมผื่นผ้า

$$Q_{theoretical} = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} \left(h^{\frac{3}{2}} \right) + \frac{8}{15} C_d \left(h^{\frac{5}{2}} \right) \sqrt{2g \tan^{\frac{A}{2}}} \quad (3)$$

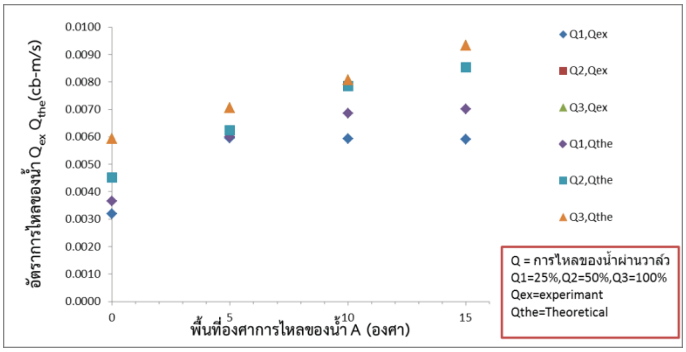
สมการสำหรับฝายน้ำล้นรูปแบบสีเหลี่ยมคางหมู

เมือ b คือ ความกว้างของหน้าฝาย (m) h คือ ความสูงของน้ำเหนือฝาย (m) A คือ มุมของฝาย (องศา)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1.อัตราการไหลของน้ำ

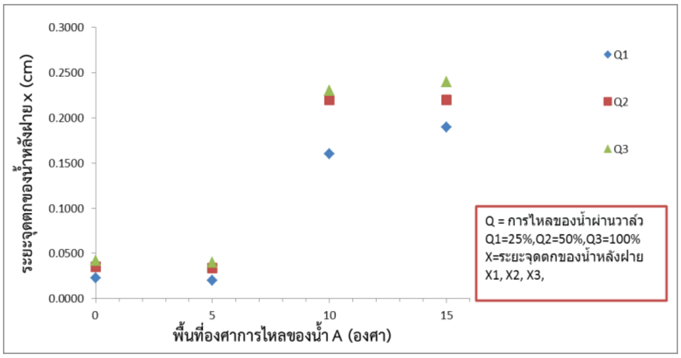
อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นทำให้ความสูงของน้ำเหนือฝายมีค่าสูงขึ้นในทุกรูปแบบของฝาย โดยอัตราการไหลสูงขึ้นของน้ำเหนือฝายเมื่อเทียบกับพื้นที่หน้าตักของสันฝายที่ทำมุมองศาที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นทำให้พื้นที่หน้าตักของสันฝายลดลง จะเห็นได้ว่า พื้นที่ตักที่มุมองศามากขึ้นจะทำให้อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วยดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของน้ำ $Q_{experiment}$ กับ $Q_{theoretical}$กับพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำ A

2.ระยะจุดตกของน้ำหลังฝาย

เมื่อพื้นที่หน้าตัดของสันฝายที่ทำมุมองศาเพิ่มขึ้น ที่ทุกรูปแบบของฝาย ระยะจุดตกของน้ำหลังฝ่ายจะมีค่ามากขึ้นโดยฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูจะอัตราการเพิ่มขึ้นของระยะตกที่มากกว่าฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเนื่องจากรูปทรงฝายที่ความกว้างสันฝายด้านล่างน้อยกว่าด้านบนจึงเกิดลักษณะของการบีบอัดน้ำ ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะจุดตกของน้ำกับพื้นที่หน้าตัดของสันฝายแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะจุดตกของน้ำหลังสันฝาย X กับพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำ A

3.การบีบอัดการตกของน้ำ

องศาการบีบอัดการตกของน้าสาหรับฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (A=0 degree) มีค่าอยู่ในช่วง 92-94 องศา ส่วนกรณีของฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (A= 5 10 15 degree) มีค่าอยู่ในช่วง 98-120 องศา ทั้งนี้องศาการบีบอัดการตกของน้ามีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้าผ่านฝายเพิ่มขึ้น แต่เป็นการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ

นำค่าอัตราการไหลเชิงคำนวณ สมการที่ 2 ใช้ในกรณีฝายรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า (A=0 degree) และสมการที่ 3 ใช้ในกรณีฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (A= 5 10 15 degree) ค่าอัตราการไหลจากการทดลอง มาทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝายทั้ง 2 รูปแบบ พบว่า สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายที่ทำมุมน้อยที่สุด A= 0 องศา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.7989 (กรณีเปิดวาล์ว 100%) และสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่ A= 5 10 15 องศา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.8507 0.7394 0.6443 (กรณีเปิดวาล์ว 100%) ดังแสดงค่าในตารางที่ 2 ทั้งนี้จากค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายทั้ง 2 รูปแบบมีค่าต่างนั้นแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณมีค่าแตกต่างจากค่าที่ได้จากการตรวจวัดการทดสอบ โดยใช้สมการอัตราการไหลจากการทดสอบ ดังสมการที่ (4) เป็นสมการอัตราการไหลกรณีรูปสีเหลี่ยมพื้นผ้า และสมการที่ (5) เป็นสมการอัตราการไหลกรณีฝายรูปสี่เหลี่ยมคาง

$$Q_{experiment} = 0.00134 + (0.10948\,h) - \left(0.00579\,\frac{h}{p}\right) \quad (4)$$

และ

$$Q_{experiment} = \left(0.001818\,\frac{h}{p}\right) + \left(0.0013918\,\frac{b}{w}\right) - 0.00505 \quad (5)$$

4.สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ

นำค่าอัตราการไหลเชิงคำนวณ สมการที่ 2 ใช้ในกรณีฝายรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า (A=0 degree) และสมการที่ 3 ใช้ในกรณีฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (A= 5 10 15 degree) ค่าอัตราการไหลจากการทดลอง มาทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของฝายทั้ง 2 รูปแบบ พบว่า สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายที่ทำมุมน้อยที่สุด A= 0 องศา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.7989 (กรณีเปิดวาล์ว 100%) และสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ที่ A= 5 10 15 องศา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.8507 0.7394 0.6443 (กรณีเปิดวาล์ว 100%) ดังแสดงค่าในตารางที่ 2 ทั้งนี้จากค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายทั้ง 2 รูปแบบมีค่าต่างนั้นแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณมีค่าแตกต่างจากค่าที่ได้จากการตรวจวัดการทดสอบ โดยใช้สมการอัตราการไหลจากการทดสอบ ดังสมการที่ (4) เป็นสมการอัตราการไหลกรณีรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า และสมการที่ (5) เป็นสมการอัตราการไหลกรณีฝายรูปสี่เหลี่ยมคาง

$$Q_{experiment} = 0.00134 + (0.10948\,h) - \left(0.00579\,\frac{h}{p}\right) \tag{4}$$

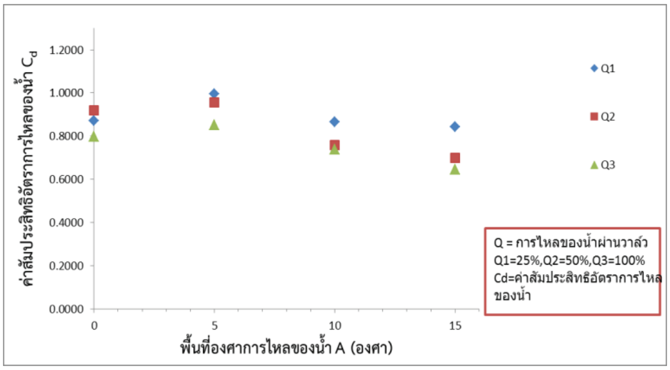
และ

$$Q_{experiment} = \left(0.001818\,\frac{h}{p}\right) + \left(0.0013918\,\frac{b}{w}\right) - 0.00505 \tag{5}$$

ตารางที่ 2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล

$Q_{เปิดวาล์ว}$ %	A (องศา)	$Q_{experiment}$	$Q_{theoretical}$	Cd
Q1 เปิด 25%	0	0.0032	0.00366	0.8719
	5	0.0060	0.00599	0.9945
	10	0.0059	0.00685	0.8643
	15	0.0059	0.00700	0.8425
Q2 เปิด 50%	0	0.0045	0.00452	0.9195
	5	0.0062	0.00625	0.9548
	10	0.0079	0.00786	0.7587
	15	0.0085	0.00853	0.7004
Q3 เปิด 100%	0	0.0059	0.00594	0.7989
	5	0.0070	0.00705	0.8507
	10	0.0081	0.00807	0.7394
	15	0.0093	0.00933	0.6443

เมือทราบค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ C_d จะนำค่ามาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกับค่าพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำ A จะเห็นได้ว่า เมือค่าอัตราการไหลของน้ำ (Q) และพื้นที่หน้าตัด(A)เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ Cd ลดลงตามไปด้วย แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำ C_d กับพื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำ A

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิผลของมุมที่ไหลผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูที่ส่งผลต่อลักษณะการไหลและสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำที่เป็นฝายแบบสันกว้าง สามารถสรุปได้ดังนี้

1.มุมเพิ่มขึ้นทำให้ความสูงของน้ำเหนือฝายมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

2. ที่ทุกรูปแบบมุมของฝาย ระยะตกของน้ำหลังฝายจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น โดยฝายรูปมุมของฝายองศามาก (ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู) จะทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของระยะตกที่มากกว่า ฝายที่ทำมุมน้อยกว่า (ฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู)

3. องศาการบีบอัดการตกของน้ำสาหรับฝายที่ทำมุม A= 0 องศา มีค่าอยู่ในช่วง 92-94 องศา ส่วนกรณีของฝายที่ทำมุม A= 5 10 15 องศา มีค่าอยู่ในช่วง 98-120 องศา

4. สัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (A=0 degree) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.7989 และสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (A=5 10 15 degree) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.6443

ข้อเสนอแนะ

เนื่องด้วยสมการที่ใช้เป็นฝายสันคม แต่ในงานวิจัยนี้ฝายเป็นแบบสันหนาค่าที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อน อีกทั้งในปัจจุบันยังไม่มีสมการสำหรับการคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายที่เป็นสันหนา ซึ่งจะต้องทาการพัฒนาสมการต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

- โครงการอุโมงค์น้ำแบบเปิด สำหรับการทดสอบทางด้านชลศาสตร์พลังงานน้ำและค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้น ที่สนับสนุนอุโมงค์น้ำสำหรับในการทดลอง
- วิทยาลัยพลังงานทดแทน ที่สนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัยแก่นักศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานฯ“**แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579**” (Alternative Energy Development Plan : AEDP2015) วันที่ 28 ก.ค. 2559 (วันที่สืบค้น 1 กรกฎาคม 2560)

[2] ปราโมท พลพณะนาวี และคณะ, “**หลักการคำนวณปริมาณน้ำผ่านอาคารชลประทาน**”, การจัดการความรู้ตามแผนการจัดการความรู้เพื่อสนับสนุนประเด็นยุทธศาสตร์กรมชลประทานประจาปีงบประมาณ พ.ศ. 2554, 2554

[3] ผศ.ดร.ปรียาพร โกษา, “**สถิตยศาสตร์วิศวกรรม**”, ชลศาสตร์ (Hydraulics)

[4] Gharahjeh S, Aydin, Altan-Sakarya A.B. **Weir velocity formulation for sharp-crested rectangular weirs**. (2015), Flow Measurement and Instrumentation 41, pp 50–56.

[5] Farzaneh N, Davood F, Mohammad A. Discharge. **coefficient for trapezoidal side weir**. (2015), Alexandria Engineering Journal 54, pp 595–605.

[6] Hamid Saadatnejadgharahassanlou A, Amin Gharehbaghi B, Saeid Mehdizadeh C, **Experimental investigation of discharge coefficient over novel kind of sharp- crested V-notch weir.** (2017), Birol Kayad,Javad Behmaneshe,C 236–242.

[7] Siamak Gharahjeh , IsmailAydin. **Application of video imagery techniques for low cost measurement of water surface velocity in open channels**. (2016), Civil Engineering Department, Flow Measurement and Instrumentation 51, 79–94.

การศึกษาผลกระทบของโซลิดิตีต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ
Effected Study of Solidity on Performance of Undershot Water Wheel

มูฮำมัดคอยรี หะยีบากา[1] รจพรรณ นิรัญศิลป์[1] ชูรัตน์ ธารารักษ์[1] และธเนศ ไชยชนะ[1*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

พลังงานน้ำขนาดเล็กเปนหนึ่งในแหลงพลังงานทดแทนที่สำคัญตามแผน AEDP 2015 โดยกังหันน้ำที่ได้รับความนิยมในการผลิตกระแสไฟฟ้าก็คือ กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ (Undershot Water Wheel) เพราะสามารถเอาพลังงานจากการไหลของน้ำมาใช้งานโดยตรง โดยที่ไม่ต้องกักเก็บน้ำ และไม่เป็นการทำลายระบบนิเวศน์เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของโซลิดิตีต่อสมรรถนะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำใบพายแบบแผ่นเรียบที่ผลิตจากแผ่นอะคริลิกใส ขนาดใบพายยาว 30 cm สูง 6 cm และหนา 3 mm รัศมีจากศูนย์กลางเพลาหมุนถึงปลายใบพาย 25 cm และมีจำนวนใบพาย 4 ค่า ประกอบด้วย 8 12 14 และ 16 ใบพาย ทำการทดสอบในอุโมงค์น้ำแบบเปิดที่ระดับการจมน้ำ 100% ของความสูงใบพาย โดยมีค่าอัตราการไหลของน้ำ 3 ค่า คือ 0.0027 0.0025 และ 0.0018 sq-m/s จากการศึกษาพบว่า ค่าโซลิดิตีที่ต่ำจะให้ค่ารอบการหมุนสูงและจะให้ค่าแรงบิดต่ำ โดยรอบการหมุนของกังหันน้ำสูงสุดมีค่า 7.69 RPM ที่ค่าโซลิดิตี 0.46 และแรงบิดของกังหันน้ำสูงสุดมีค่า 0.021 N-m ที่ค่าโซลิดิตี 0.52 ทั้งนี้ประสิทธิภาพเชิงกลเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 18.07% โดยประสิทธิภาพเชิงกลสูงสุดมีค่า 27.21% ที่ค่าโซลิดิตี 0.46

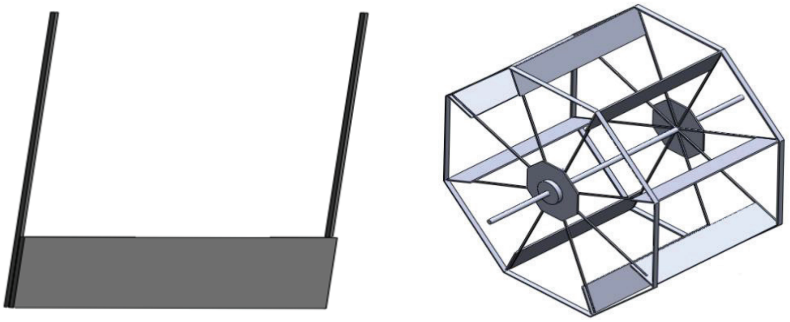
คำสำคัญ: สมรรถนะ กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ โซลิดิตี

[*]Corresponding author: Tel.: 081-5306768. E-mail address: Tanatecha@hotmail.com

บทนำ

ประเทศไทยมีการส่งเสริมและพัฒนาด้านพลังงานมาอย่างต่อเนื่อง เป็นประเทศที่มีพื้นที่แหล่งทรัพยากรธรรมชาติอุดมสมบูรณ์ จึงมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานงานทดแทน เพื่อลดการใช้พลังงานจากฟอสซิล โดยมีกระทรวงพลังงานเป็นผู้ขับเคลื่อนนโยบาย กระทรวงพลังงานจึงได้ทบทวนการจัดทำแผนพลังงาน 5 แผนหลัก ได้แก่ แผนการจัดหาก๊าซธรรมชาติของไทย แผนอนุรักษ์พลังงาน แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก และแผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง โดยในการจัดทำแผนจะให้ความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานความมั่นคงทางด้านพลังงาน คุ้มค่าในทางด้านเศรษฐศาสตร์ และการพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อผลประโยชน์ในด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจากแผนเป้าหมายที่ตรงตามวัตถุประสงค์จะมีอยู่ 3 แผน ในกรอบแผนบูรณาการพลังงานแห่งชาติ และหนึ่งในนั้น ได้แก่ แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan : AEDP2015)

จากสถานการณ์พลังงานในปัจจุบัน ประเทศไทยต้องหาพลังงานทดแทนมาใช้อีกเท่าตัว ตามเป้าหมายในปี 2579 ของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก AEDP2015 ทั้งนี้เมื่อกลับมาดูทรัพยากรธรรมชาติของประเทศประเทศไทยมีแหล่งน้ำมากพอที่จะเป็นต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็ก โดยเป้าหมายในการพัฒนาพลังงานทดแทนจากพลังงานทดแทนขนาดเล็กให้ได้ในปริมาณ 376 MW ในปี 2579 [2] สำหรับรูปแบบของกังหันน้ำที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน คือ กังหันน้ำแบบหลุกต่ำ เพราะสามารถเอาพลังงานจากการไหลของน้ำมาใช้งานโดยตรง โดยที่ไม่ต้องกักเก็บน้ำ อีกทั้งพืชและสัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้ และไม่เป็นการทำลายระบบนิเวศน์ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่จะศึกษาผลกระทบของโซลิดิตีต่อคุณลักษณะการทำงานและประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ ให้เหมาะสมกับแหล่งน้ำ



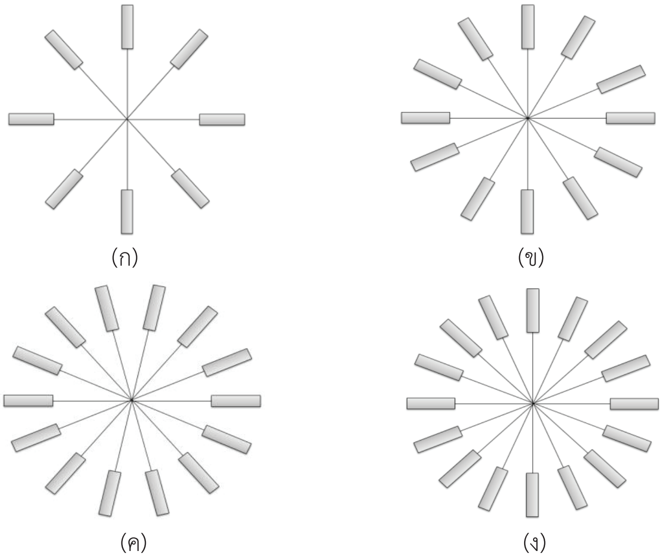
(ก) (ข)

ภาพที่ 1 (ก) ลักษณะใบพายแบบแผ่นเรียบ (ข) ลักษณะของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ (กรณี 8 ใบพาย)

วิธีการวิจัย

1. ออกแบบ และสร้างกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ

- ออกแบบกังหันน้ำแบบหลุกต่ำใบพายแบบแผ่นเรียบ ผลิตจากแผ่นอะคริลิกใสที่มีขนาดใบพายยาว 30 cm สูง 6 cm และหนา 3 mm ดังแสดงในภาพที่ 1
- จำนวนใบพายของกังหันน้ำจำนวน 4 ค่า ประกอบด้วย 8 12 14 และ 16 ใบพาย ดังแสดงในภาพที่ 2
- รัศมีจากศูนย์กลางเพลาหมุนถึงปลายใบพาย 25 cm



ภาพที่ 2 ลักษณะจำนวนใบพายต่างๆ

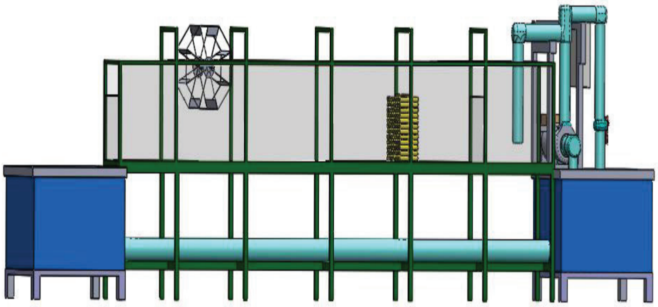
(ก) 8 ใบพาย (ข) 12 ใบพาย (ค) 14 ใบพาย (ง) 16 ใบพาย

2. วิธีการดำเนินการทดลอง

ทำการติดตั้งกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ และอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ ประกอบด้วย

- ติดตั้งกังหันน้ำแบบหลุกต่ำในอุโมงค์น้ำแบบเปิด ทีมีขนาดทางน้ำกว้าง 40 cm สูง 40 cm และยาว 480 cm ดังแสดงในภาพที่ 3
- ติดตั้งชุดควบคุมอัตราการไหลของน้ำแบบฝายน้ำล้น
- ติดตั้งชุดวัดแรงบิด
- ติดตั้งเครื่องวัดอัตราเร็วรอบ โดยทำการวัดที่เพลาของกังหัน

(ก)



(ข)

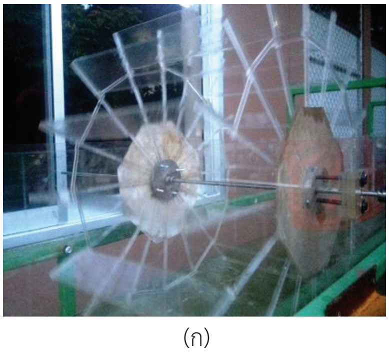
ภาพที่ 3 (ก) อุโมงค์น้ำแบบเปิด (ข) การติดตั้งกังหันน้ำแบบหลุกต่ำในอุโมงค์น้ำแบบเปิด

3. การตรวจวัดค่าต่างๆ

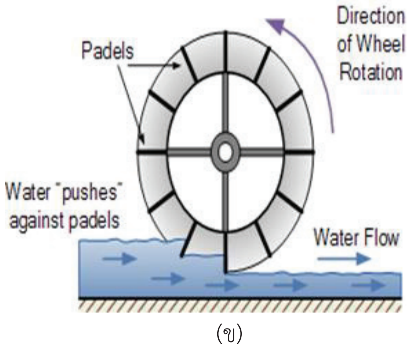
- อัตราเร็วรอบของกังหัน
- อัตราการไหลของน้ำ
- ผลต่างของแรงที่กระทำต่อเพลากังหัน

4. การทดสอบกังหันน้ำ

- ทำการทดสอบที่จำนวนใบพายจำนวน 4 ค่า ได้แก่ 8 12 14 และ 16 ใบพาย ดังแสดงในภาพที่ 4
- ทำการทดสอบที่ระดับการจมน้ำของใบพาย 100% ของความสูงใบพาย
- ทำการทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 3 ค่า คือ 0.0027 0.0025 และ 0.0018 sq-m/s ในระหว่างการทดสอบ ทำการตรวจวัดค่าต่างๆประกอบด้วย ตรวจวัดอัตราเร็วของน้ำผ่านกังหัน และตรวจวัดอัตราเร็วรอบการหมุน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 (ก) การทดสอบกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ (ข) ลักษณะการไหลของน้ำผ่านกังหัน [3]

5. การคำนวณและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ทำการคำนวณหาค่าโซลิดิตีจากสมการที่ 1 และวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างโซลิดีตีกับค่าต่างๆ ได้แก่ แรงบิดที่เพลา พลังงานของน้ำที่เข้าสู่กังหัน พลังงานที่เกิดที่เพลา และประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันน้ำ

$$\text{Solidity} = \frac{a}{A} \tag{1}$$

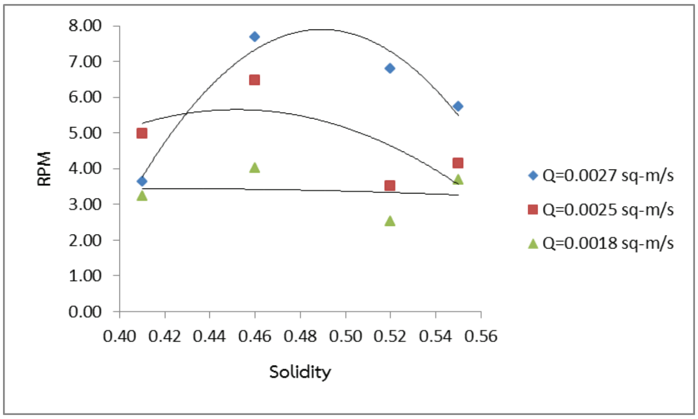
เมื่อ a คือ พื้นที่ของใบพาย (cm^2) A คือ พื้นที่ของใบพายทั้งหมด (cm^2)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองที่ค่าอัตราการไหลของน้ำ 3 ค่า คือ 0.00270 0.00250 และ 0.00180 m^3/s สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิดิตีกับค่าต่างๆ ดังนี้

1. รอบการหมุนของกังหันน้ำ

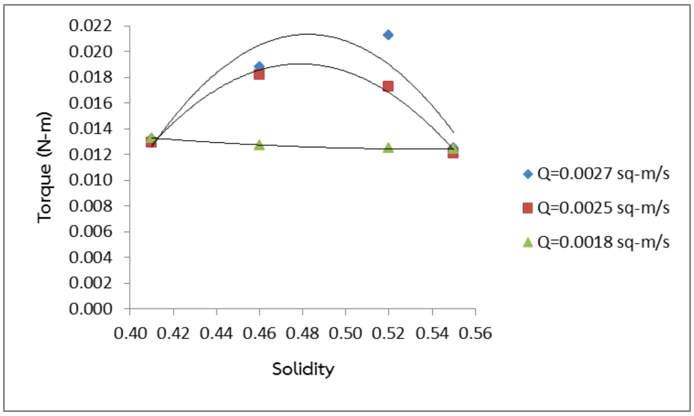
จากผลการวิเคราะห์ รอบการหมุนของกังหันน้ำ พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำสูงขึ้นรอบการหมุนจะสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้ค่าโซลิดิตีที่เหมาะสมต่อรอบการหมุนจะอยู่ในช่วง 0.46-0.55 เมื่อวิเคราะห์รอบการหมุนในช่วงดังกล่าวแล้วพบว่า ค่าโซลิดิตีเพิ่มขึ้นทำให้รอบการหมุนลดลง โดยรอบการหมุนของกังหันน้ำสูงสุดมีค่า 7.69 RPM ที่ค่าโซลิดิตี 0.46 ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิดิตีกับรอบการหมุนในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิดิตีกับรอบการหมุน

2. แรงบิดของกังหันน้ำ

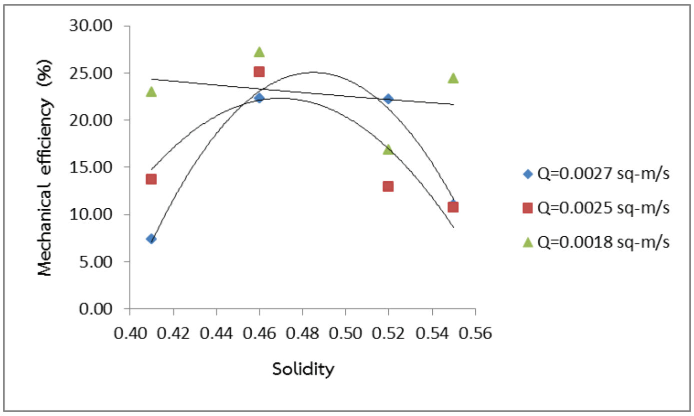
จากผลการวิเคราะห์แรงบิดของกังหันน้ำ พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำลดลงแรงบิดของกังหันน้ำ จะมีค่าสม่ำเสมอมากขึ้น ทั้งนี้ค่าโซลิดิตีที่เหมาะสมต่อแรงบิดจะอยู่ในช่วง 0.46-0.52 เมื่อวิเคราะห์แรงบิดในช่วงดังกล่าวแล้วพบว่า ค่าโซลิดิตีเพิ่มขึ้นทำให้แรงบิดเพิ่มขึ้นด้วย โดยแรงบิดของกังหันน้ำสูงสุดมีค่า 0.021 N-m ที่ค่าโซลิดิตี 0.52 ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิดิตีกับแรงบิดในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิดิตีกับแรงบิด

3. ประสิทธิภาพเชิงกล

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงกลโดยพิจารณาที่เพลาของกังหันพบว่า ค่าประสิทธิภาพเชิงกลจะอยู่ในช่วง 7.39-27.21% และมีค่าประสิทธิภาพเชิงกลเฉลี่ย 18.07% โดยประสิทธิภาพเชิงกลสูงสุดมีค่า 27.21% ที่ค่าโซลิดิตี 0.46 ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิดิตีกับประสิทธิภาพเชิงกลในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโซลิดิตีกับประสิทธิภาพเชิงกล

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลกระทบของโซลิดิตีต่อคุณลักษณะการทำงานและประสิทธิภาพเชิงกลของกังหันน้ำแบบหลุกต่ำ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าโซลิดิตีที่ต่ำจะให้ค่ารอบการหมุนสูงและจะให้ค่าแรงบิดต่ำ
2. รอบการหมุนของกังหันน้ำสูงสุดมีค่า 7.69 RPM ที่ค่าโซลิดิตี 0.46
3. แรงบิดของกังหันน้ำสูงสุดมีค่า 0.021 N-m ที่ค่าโซลิดิตี 0.52
4. ประสิทธิภาพเชิงกลเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 18.07% โดยประสิทธิภาพเชิงกลสูงสุดมีค่า 27.21% ที่ค่าโซลิดิตี 0.46

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการอุโมงค์น้ำแบบเปิดสำหรับการทดสอบทางด้านชลศาสตร์และพลังงานและสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายน้ำล้นที่สนับสนุนอุโมงค์น้ำสำหรับการทดลอง และทุนอุดหนุนการศึกษา โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2559

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). **สถานการณ์พลังงานของประเทศ ไตรมาส 1/2559**. กระทรวงพลังงาน

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2559 (AEDP2015).** กระทรวงพลังงาน.

[3] Alternative energy tutorials. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อวันที่ 11 กรกฎาคม 2560, แหล่งที่มาจาก http://www.alternative-energy-tutorials.com/hydro-energy/waterwheel-design.html.

[4] สัมพันธ์ ไชยเทพ และธเนศ ไชยชนะ. (2551). **ระบบพลังงานทางเลือก เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในพื้นที่โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดาริ (ลม และน้ำ)**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[5] อัศวิน ปศุศฤทธากร. (2552). **การประเมินสมรรถนะของกังหันน้ำขนาดเล็กแบบหลุกต่ำเพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[6] นิกร มังกรทอง. (2549). **การผลิตไฟฟ้าโดยใช้กังหันน้ำ**. ภาควิชาฟิสิกส์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[7] Anurat Tevataa and Chainarong Inprasita. (2011). **The Effect of Paddle Number and Immersed Radius Ratio on Water Wheel Performance.** Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak.

[8] Abhijit date, ashwin date and aliakbar akbarzadeh. (2013). **Investigating the potential for using a simple water reaction turbine for power production from low head hydro resources.** Energy Conversion and Management 66, 2013, 257–270.

การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

The study of increase the efficiency of solar water heater systems

สุเชาร์ ปานนิล[1] ณัฏฐวัฒน์ วิสัยพรม[2*] และ ศิริชัย เทพา[2]

1 นักศึกษา สายวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

2 ห้องปฏิบัติการพลังงานแสงอาทิตย์ในงานเกษตร สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบที่ใช้ในการศึกษาเป็นระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดที่ใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนประกอบด้วย แผงรับแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นราบจำนวน 8 แผง ขนาดแผงละ 2 ตารางเมตร ถังสะสมความร้อนขนาด 2,000 ลิตร และระบบความร้อนเสริมใช้เครื่องทำน้ำอุ่นขนาด 3.5 kW จำนวน 2 ชุด ติดตั้งเครื่องวัดแสงอาทิตย์ อุณหภูมิและเวลาการทำงานของปั๊ม และสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Trnsys version 16 ศึกษาการทำงานของระบบเทียบกับผลการทดลอง พบว่าผลการศึกษาสอดคล้องยอมรับได้ และได้นำแบบจำลองมาศึกษาหาอัตราการไหลที่เหมาะสมที่ 0.03 $kg/s.m^2$ และพบว่าพฤติกรรมของการใช้น้ำร้อนในช่วงเวลากลางวันและใช้ในอัตราที่สม่ำเสมออย่างเช่นโรงงานอุตสาหกรรมจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูง

คำสำคัญ: ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ Trnsys รีสอร์ท

*Corresponding author: Tel: 0956402537. Email address: natthawat.wis@mail.kmutt.ac.th

Abstract

This research objective to study the optimization of solar water heater system. The system used in this study is a solar water heater with rotary water pump 2 flat plate solar panels, 2 square meters, 2,000 Litter heat storage tanks and 2 additional solar water heaters using 3.5 kW solar water heater. Pump temperature and time Modeling using Trnsys version 16. Study of system performance versus experiment results. The results are consistent the model was used to find the optimum flow rate at 0.03 kg / m^2s. It was found that the behavior of hot water during daytime and at constant rate such as the industrial efficiency of solar water heater is high.

คำสำคัญ : ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, โปรแกรม Trnsys, รีสอร์ท

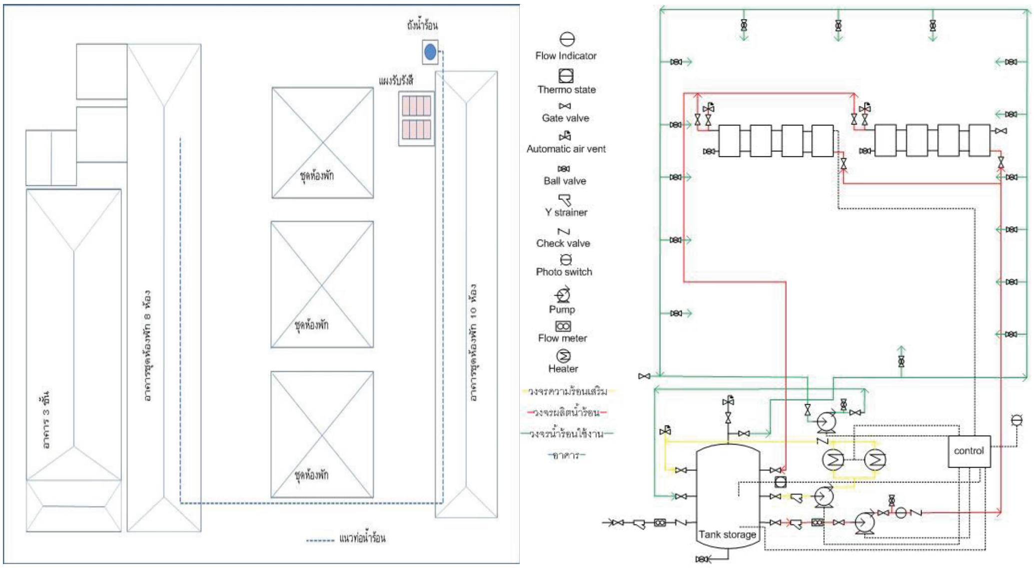
Keywords : solar water heater systems, Program Trnsys, Resort

บทนำ

จากปัญหาการขาดแคลนพลังงานและพลังงานมีราคาสูง การประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนเป็นสิ่งจำเป็น จึงควรมีการศึกษาและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำน้ำร้อนด้วยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ ซึ่งเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เมื่อนำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาทำน้ำร้อน ไม่มีต้นทุนด้านพลังงานเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณมหาศาลและได้มาฟรี หาได้ทั่วไป ในปัจจุบันได้มีการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์กันอย่างแพร่หลายมากขึ้นกว่าในอดีต ไม่ว่าจะเป็นบ้านเรือนที่พักอาศัย โรงแรม โฮมสเตย์ รีสอร์ท ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพและการนำไปประยุกต์ใช้ของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการวิจัย

ในการศึกษาจะใช้รีสอร์ทขนาดเล็กตั้งอยู่ในเขตปริมณฑล มีห้องพักทั้งหมด 29 ห้อง โดยติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีอาทิตย์ เพื่อใช้กับห้องพัก โดยมีระบบแสดงได้ดังภาพที่ 1



(ก) **(ข)**

ภาพที่ 1 (ก) ตำแหน่งการวางท่อน้ำร้อน (ข)ไดอะแกรมระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

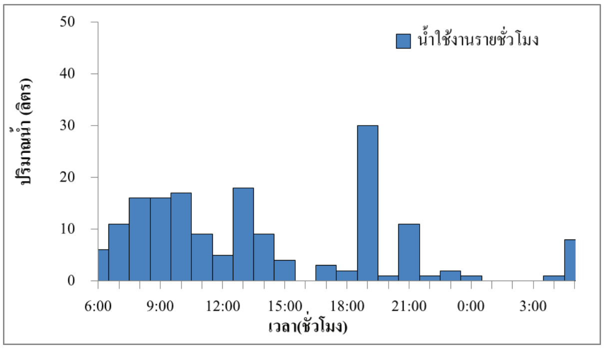
ในการศึกษาได้ติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ เพื่อทำการบันทึกตัวแปร ดังนี้

บันทึกเวลาการทำงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำหมุนเวียนแผงรับแสงอาทิตย์ เวลาการทำงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำหมุนเวียนการจ่ายไปใช้งาน เวลาการทำงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำเครื่องทำความร้อนเสริม เวลาการทำงานเครื่องทำความร้อนเสริม ปริมาณการผลิตน้ำร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ ปริมาณน้ำร้อนที่นำไปใช้งาน อุณหภูมิน้ำรวมทางเข้าและทางออกของแผงรับแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อนที่ระดับบน กลาง และล่าง ของถังน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำร้อนที่นำไปใช้งานอุณหภูมิน้ำประปาที่เติมเข้าถังน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกเครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้า อุณหภูมิน้ำที่หมุนเวียนกลับจากการจ่ายไปใช้งาน อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม พลังงานแสงอาทิตย์ (W/m^2)

จากข้อมูลที่ได้นำไปศึกษาเพื่อหาพฤติกรรมการใช้น้ำร้อน การทำงานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ การสร้างแบบจำลองการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม Trnsys version 16 จากแบบจำลองที่ได้จากการศึกษานำมาหาอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม และหาประสิทธิภาพของระบบที่มีพฤติกรรมการใช้น้ำร้อนในลักษณะต่างๆ

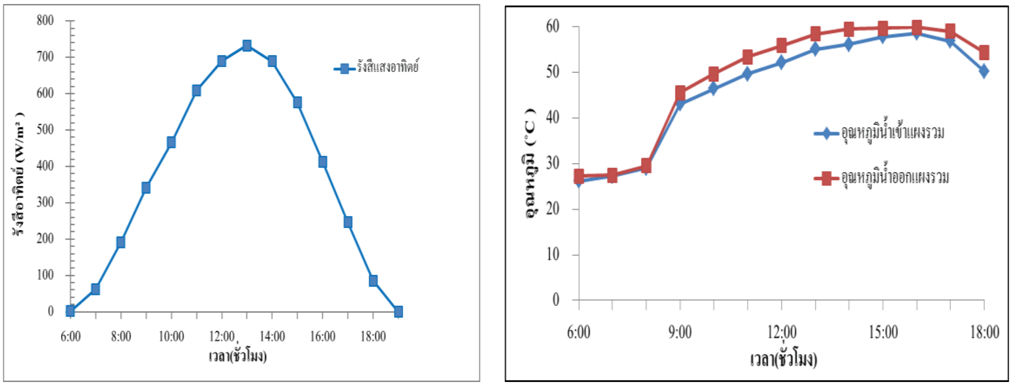
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

พฤติกรรมการใช้น้ำร้อนของรีสอร์ท จากข้อมูลการใช้งานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ นำมาวิเคราะห์ข้อมูลการใช้น้ำรายชั่วโมงเป็นเวลา 1 เดือน และนำมาเฉลี่ยรายชั่วโมง จะเห็นได้ว่า การใช้น้ำของรีสอร์ทแห่งนี้จะมีการใช้น้ำตั้งแต่เช้าถึงบ่ายสามโมงและหยุดและเริ่มใช้ในช่วงเย็น และหลัง 24.00 น. ถึง 05.00 น. จะหยุดใช้งาน และหลังจากนั้นจะเริ่มมีการใช้งาน เนื่องจากเป็นรีสอร์ทที่คนพักเป็นพ่อค้าที่มาพักเพื่อซื้อของที่ตลาดซึ่งเป็นศูนย์รวมเพื่อนำไปขายต่ออีกที่หนึ่ง ข้าราชการและผู้ปฏิบัติธรรมที่มีผู้มาอย่างต่อเนื่องเพราะมีวัดที่มีผู้เลื่อมใสจำนวนมาก จึงทำให้มีการเข้าออกและมีการใช้น้ำร้อนอย่างต่อเนื่อง การที่มีผู้ใช้น้ำในเวลากลางวันจะมีผลให้อุณหภูมิของน้ำในถังไม่สูงมากนัก ดังนั้นจะมีผลให้ตัวรับแสงอาทิตย์รับพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้มีประสิทธิภาพของระบบสูง



ภาพที่ 2 พฤติกรรมการใช้น้ำร้อนในแต่ละช่วงเวลาของวัน

การทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์



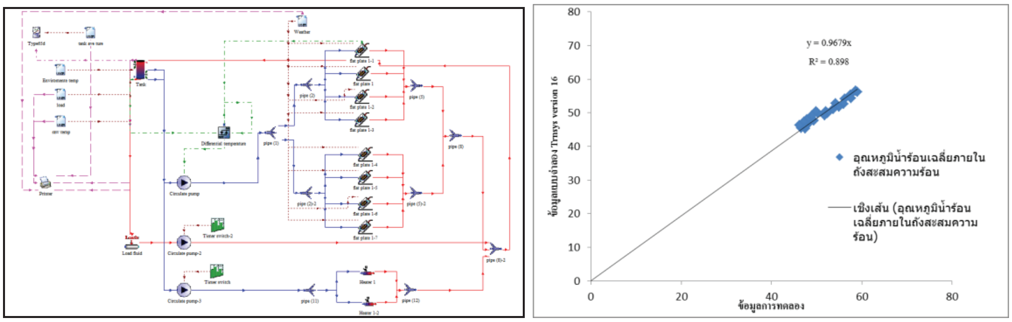
(ก) (ข)

ภาพที่ 3 ปริมาณรังสีอาทิตย์(ก) และ (ข) อุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกแผงรวม ณ. เดือน พฤษภาคม

จากภาพที่ 3 (ก) และ (ข) เป็นรังสีอาทิตย์ในวันที่ทดลองและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่เข้าและออกของแผงรับแสงอาทิตย์ทั้ง 8 แผง แสดงให้เห็นการทำงานของระบบอย่างต่อเนื่อง โดยระบบเริ่มทำงานตั้งแต่เวลา 08.00 น. จนกระทั่งเวลา 16.00 น. ระบบหยุดทำงาน ซึ่งการทำงานของระบบดังกล่าวจะมีผลให้ระบบรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี เพราะผลิตน้ำร้อนไปและนำไปใช้อย่างต่อเนื่อง

ผลการจำลอง Trnsys version 16 ของระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์

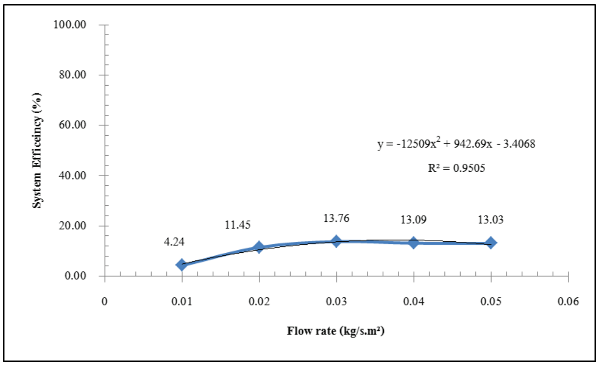
สร้างแบบจำลองระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Trnsys version 16 โดยพิจารณาผลของตัวแปร คือ อัตราการไหลของน้ำผ่านตัวรับแสงอาทิตย์ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิน้ำภายในถังสะสมความร้อน เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างโปรแกรมสำเร็จรูป Trnsys version 16 กับผลการทดลองจริง ว่ามีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด



(ก) (ข)

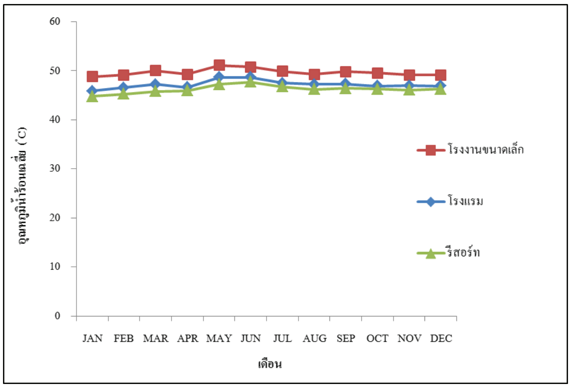
ภาพที่ 4 (ก) แบบจำลองระบบฯ โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Trnsys version 16
(ข) อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยในถังสะสมความร้อนระหว่างผลการจำลองแบบการทำงานของระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์กับการทดลองจริง

จากผลการศึกษาแบบจำลองเทียบกับผลการทดลองพบว่ามีความสอดคล้องดังภาพที่ 4 (ข) ดังนั้นได้นำแบบจำลองของระบบที่ได้ศึกษาหาอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบมีค่าสูงที่สุด



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์กับประสิทธิภาพของระบบน้ำร้อน

จากภาพที่ 5 พบว่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ที่ 0.03 kg/s.m^2 ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด ในที่นี้มีค่า 13.76 เปอร์เซ็นต์ เพราะความเร็วดังกล่าวมีผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์สู่น้ำภายในท่อมีค่าสูง เมื่อเทียบกับความเร็วค่าอื่น จากภาพที่ 6 ได้นำแบบจำลองการทำงานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้มาทำการศึกษาโดยการใช้น้ำร้อนที่ระบบผลิตได้จำนวน 1000 ลิตร เท่ากันแต่ใช้น้ำร้อนในช่วงเวลาของวันตามพฤติกรรมของกิจกรรมของรีสอร์ท โรงแรม โรงงานขนาดเล็ก และ ค่าตัวแปรต่างๆเหมือนกันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้น้ำร้อนของ โรงงานขนาดเล็ก โรงแรม รีสอร์ทกับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บสะสมน้ำร้อน

ดังภาพเมื่อพฤติกรรมการใช้น้ำร้อนที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะ พบว่า พฤติกรรมการใช้น้ำร้อนของโรงงานขนาดเล็กที่ใช้ปริมาณน้ำต่อเนื่องและคงที่ โดยใช้น้ำร้อนตั้งแต่เวลา 8.00 น. – 17.00 น.จำนวน 1000 ลิตร คือ ใช้น้ำร้อนชั่วโมงละ 100 ลิตร ทุกๆชั่วโมง พฤติกรรมการใช้น้ำร้อนของรีสอร์ทที่ใช้ปริมาณน้ำต่อเนื่องแต่ไม่คงที่ โดยใช้น้ำร้อนตั้งแต่เวลา 8.00 น. – 17.00 น.จำนวน 1000 ลิตร คือ ใช้น้ำร้อนแต่ชั่วโมงไม่เท่ากันใช้น้ำร้อนน้อยสลับกับใช้ร้อนมากสลับกัน พฤติกรรมการใช้น้ำร้อนของโรงแรมที่ใช้ปริมาณน้ำร้อนไม่ต่อเนื่องแต่คงที่ โดยใช้น้ำร้อนตั้งแต่เวลา 8.00 น. – 17.00 น. จำนวน 1000 ลิตร คือ ใช้น้ำร้อนช่วง 8.00 น. – 10.00 น. จำนวน 500 ลิตร และใช้น้ำร้อนช่วง 15.00 น. – 17.00 น. จำนวน 500 ลิตร พบว่า การใช้น้ำร้อนเท่าๆกันทุกชั่วโมงประมาณ 10 % ของทั้งวัน พบว่ามีผลทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อนภายในถังมีอุณหภูมิสูง

สรุปผลการวิจัย

ในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านตัวรับแสงอาทิตย์ที่ 0.03 kg/s.m^2 และยังขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการนำน้ำร้อนไปใช้งาน ซึ่งการใช้น้ำร้อนปริมาณ 10 % เท่าๆกันอย่างต่อเนื่อง ในเวลากลางวันจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้นกว่าการนำน้ำร้อนไปใช้เฉพาะในช่วงเวลาเช้าและเวลาเย็น ตามพฤติกรรมการใช้น้ำร้อนของโรงแรม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยและห้องปฏิบัติการ Solar and Wind Energy Research Laboratory มหาวิทยาลัยทักษิณ สำหรับการสนับสนุนเอื้อเฟื้อในการใช้โปรแกรม TRNSYS Simulation Studio version 16

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน, 2554, **โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ราคาประหยัด (ปีที่2)**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 4-1 – 4-75.

2. .Duffie, A. and Beckman, W.A., 1997, **Solar Engineering of Thermal Processes**, New York, McGraw-Hill, 2nd edition, pp. 1-430.

3. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2537, **การออกแบบระบบพลังงานความร้อน**, พิมพ์ครั้งที่ 2, คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 113-125.

4. มานะศิลป์ พิมพ์สาร, 2533, **ระบบน้ำร้อนในอาคาร**, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัทเอ็มแอนด์อี, หน้า 71, 160 – 166.

5. ประวิทย์ ถีถะแก้ว, 2525, **สมรรถภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ที่ใช้ชุดรับรังสีแผ่นราบกระจกสองชั้น**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

6. เนตร ภู่ประสม, 2556, **การออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ราคาประหยัด สำหรับรีสอร์ทใน เขตปริมณฑล**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

7. รุ่งทวี ผดากาล, 2551, **การศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำกับความเข้มของแสงที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อน**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

8. Hobbi, A. and Siddiqui, K., 2009, “Optimal Design of a Forced Circulation Solar Water Heating System for a Residential Unit in Cold Climate TRNSYS”, Solar Energy, Vol 83, pp.700-714.

9. Jie, Ji., Wang, Y., Yuan, W., Sun, W., He, W., and Guo, C., 2014, "Experimental Comparison of Two Pv Direct-Coupled Solar Water Heating Systems with the Traditional System", **Applied Energy**, Vol. 136, pp. 110-118.

10. Hammad, M.A., 1994, "Experimental Study of the Performance of a Solar Thermal-Photovoltaic Integrated System", **Renewable Energy**, Vol. 4, No. 8, pp. 897-905.

11. L.M. Ayompe, A. Duffy, 2013 Analysis of the thermal performance of a solar water heating system with flat plate collectors in a temperate climate, Applied Thermal Engineering Vol. 58 (2013) pp. 447-454.

12. ทนงค์ศักดิ์ เต๊ะสมัน, 2549, การเลือกขนาดระบบทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ในที่พักแบบโฮมสเตย์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เครื่องย่อยและอบสมุนไพร
MACHINE SPLIT AND BAKED OF HERBS

จักรพันธ์ กัณหา[1*] **วิเชียร มหาวัน**[2] **ทีปกร คุณาพรวิวัฒน์**[3]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
[2]สาขาเทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บทคัดย่อ

ที่มาของโครงการเครื่องย่อยและอบสมุนไพรคือ กลุ่มแม่บ้านศูนย์สมุนไพรทุ่งทรายทอง อำเภอตะพานหิน จังหวัดพิจิตร ได้ทำการผลิตสินค้าOTOP (One Tam Bon One Product) ออกมาจำหน่าย โดยมีส่วนผสมหลักคือ ตะไคร้และใบเตย ปัจจัยที่เป็นอุปสรรคต่อความสามารถในการรับคำสั่งซื้อของลูกค้าจากต่างประเทศ คือ การหั่นตะไคร้และใบเตยที่ต้องใช้แรงงานท้องถิ่นในช่วงเวลาเก็บเกี่ยวและวิธีการลดความชื้นด้วยวิธีการตากแดด วัตถุประสงค์ของโครงการ ที่จะนำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยและอบสมุนไพรซึ่งมีแนวคิดจากลักษณะการผลิตลูกประคบของศูนย์สมุนไพรทุ่งทรายทอง เพื่อใช้เครื่องย่อยสมุนไพรในการย่อยตะไคร้และใบเตย เพื่อลดระยะเวลาการผลิต ลดต้นทุนค่าแรงงาน เพื่อให้ได้ตะไคร้และใบเตยที่มีความละเอียดและสม่ำเสมอ และใช้เครื่องอบสมุนไพรลดความชื้นสมุนไพรทดแทนขั้นตอนการตากแดด

คำสำคัญ: สมุนไพร, เครื่องหั่น, เครื่องอบ

Abstract

The origin of the sub-projects, and dried herbs. Women's groups Tung Saai Tong. Taphanhin district. Phichit Province. Into production the product. OTOP (One Tam A Good Product) Circulate. The main ingredient is Lemongrass and pandanus. Factors that hinder the ability of customer orders from abroad is to cut the Lemongrass and pandanus to local labor during harvest time, How to reduce humidity with How to sunshine. This thesis purpose to present the design and construction machine split and baked of herbs. The concept of the production warm herbal compress of the Center herbal Tung Saai Tong. To use of machine split of herbs in the lemon grass and pandanus. To shorten the production time. Reduce labor costs. Lemon grass and pandanus to get the resolution and regularly. And use Fumigator of herbs reduces moisture herbs substitute’s sunshine procedures.

Keywords: Herb, Machine Split, Fumigator

1. บทนำ

กลุ่มแม่บ้านศูนย์สมุนไพรทุ่งทรายทอง อำเภอตะพานหิน จังหวัดพิจิตร ได้ทำผลิตภัณฑ์สินค้า OTOP (One Tam Bon One Product) ออกมาจำหน่ายเพื่อส่งเสริมให้ชุมชนมีรายได้ผลิตภัณฑ์มีการส่งออกจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์นั้นประกอบไปด้วย ตระไคร้ ไพร ใบเตย ใบมะขาม ส่วนประกอบส่วนใหญ่ใช้เครื่องในการย่อย แต่เครื่องนั้นทำการย่อยได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งทางกลุ่มแม่บ้านจึงยังต้องใช้มือในการหั่นสมุนไพร จึงทำให้เกิดปัญหาจากการจ้างแรงงานคน รวมถึงความเสี่ยงต่อการได้รับบาดเจ็บ จากการใช้เครื่องมือได้ จึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้น และใช้ระยะเวลาการผลิตที่ไม่แน่นอนเพราะต้องขึ้นกับจำนวนแรงงานคน ทำให้เกิดความล่าช้าในการส่งมอบ เพื่อเป็นการลดปัญหาต่างๆจึงได้มีการคิดสร้างเครื่องย่อยสมุนไพร เพื่อนำมาใช้ในโครงการศูนย์สมุนไพรเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดและตอบสนองความต้องการของกลุ่มแม่บ้าน จึงเป็นที่ของโครงการในครั้งนี้

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องย่อยและอบตะไคร้และใบเตย
2. เพื่อลดระยะเวลาการผลิตและลดต้นทุนการผลิต

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มปริมาณการผลิต
2. ลดระยะเวลาในการผลิต
3. ลดค่าแรงงาน
4. ผลผลิตมีคุณภาพสม่ำเสมอ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลตะไคร้

ตะไคร้ (Lemongrass) ชื่อวิทยาศาสตร์ Cymbopogon citratus (DC) เป็นพืชล้มลุก ความสูงประมาณ 4-6 ฟุต ใบยาวเรียว ปลายใบมีขนหนาม ลำต้นรวมกันเป็นกอ มีกลิ่นหอม ดอกออกเป็นช่อยาวมีดอกเล็กฝอยเป็นจำนวนมาก ตะไคร้เป็นพืชที่สามารถนำส่วนต้นหัวไปประกอบอาหาร และจัดเป็นพืชสมุนไพร

2.2 ข้อมูลใบเตย

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Pandanus amaryllifolius Roxb. ชื่อสามัญ : PandanusPalm, Fragrant Pandan, Pandom wangi.ชื่อวงศ์ : Pandanaceae

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ : เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวลักษณะแตกกอเป็นพุ่มขนาดเล็ก ลำต้นเป็นข้อ ใบออกเป็นพุ่มบริเวณปลายยอด เมื่อโตจะมีรากค้ำจุนช่วยพยุงลำต้นไว้ ใบเป็นใบเดี่ยวเรียงสลับเวียนเป็นเกลียวขึ้นไปจนถึงยอด ลักษณะใบยาวเรียวคล้ายใบหอก ปลายใบแหลม ขอบใบเรียบ ผิวใบเป็นมัน เส้นกลางใบเว้าลึกเป็นแอ่ง ถ้าดูด้านท้องใบจะเห็นเป็นรูปคล้ายกระดูกงูเรือ ใบมีกลิ่นหอม

2.3 ฮีทเตอร์ (HEATER)

ฮีทเตอร์ (Heater) เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรม ที่มีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อน ดังนั้น ลวดที่ใช้ผลิตฮีทเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนอุณหภูมิได้สูง สำหรับลวดฮีทเตอร์ของเราเป็นลวด Khantal (นิกเกิล : โครเมียม / 80 : 20) จากประเทศสวีเดน ทนอุณหภูมิได้ถึง 1250 °C เป็นลวดผลิตฮีทเตอร์ที่ดีที่สุดในโลก

2.4 มอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้า คือ อุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ มอเตอร์กระแสตรง และมอเตอร์กระแสสลับ

2.5 ผลการทดลองหาแรงตัดเฉือนของตะไคร้และใบเตย

ตารางที่ 1 ตารางการหาแรงตัดเฉือนของสมุนไพร

ลำดับที่	**แรงตัดเฉือน (kgf)**	
	ตะไคร้	**ใบเตย**
1	1.9	0.3
2	1.8	0.4
3	1.8	0.4
4	2.0	0.3
5	1.7	0.3
6	1.9	0.4
7	1.8	0.5
8	1.6	0.3
9	2.1	0.4
10	1.8	0.4
ค่าเฉลี่ย	<u>1.84</u>	<u>0.37</u>

2.7 การคำนวณหากำลังมอเตอร์

จากผลการคำนวณเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้า (374 วัตต์) 1 เฟส 50 เฮิร์ตซ์ Induction Motor 220 โวลต์, 0.85 แอมป์, 1450 รอบต่อนาที (Rate Rpm)

2.8 **การคำนวณหาขนาดของฮีทเตอร์ (Heater) ให้กับถังอบ**

ความร้อนที่ใช้ ขนาดของถังอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 400 mm. หนา 4 mm. ยาว 600 mm. ดังนั้น โครงงานนี้จะใช้ตัวให้ความร้อน (Heater) ขนาด 800 W เป็นฮีทเตอร์แบบแผ่นซึ่งมีขนาดที่เล็กที่สุดในท้องตลาด

2.9 ผลการทดสอบ

2.9.1.การทดสอบการหั่นตะไคร้และใบเตยแบบดั้งเดิม

ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 การทดสอบหั่นตะไคร้ 1 กิโลกรัม

น้ำหนัก	คุณภาพ	
	A	B
1 กิโลกรัม	0.96 กิโลกรัม	0 กิโลกรัม
เปอร์เซ็นต์ที่ได้	100 %	0 %
เวลาที่ใช้	162 นาที	

A = ลักษณะการตัดที่สมบูรณ์ B = ลักษณะการตัดที่ไม่สมบูรณ์

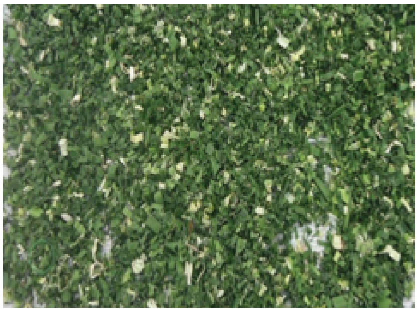
ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของตะไคร้ที่ได้ทำการหั่นด้วยมือ

ตารางที่ 3 การทดสอบหั่นใบเตยที่ 1 กิโลกรัม

น้ำหนัก	คุณภาพ	
	A	B
1 กิโลกรัม	0.95 กิโลกรัม	0 กิโลกรัม
เปอร์เซ็นต์ที่ได้	100 %	0 %
เวลาที่ใช้	156 นาที	

น้ำหนัก (กิโลกรัม)		คุณภาพ	
ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	A	B
1/1	0.90/0.90	0.83/0.86	0.03/0.04
เปอร์เซ็นต์ที่ได้		96.5/ 95.5 %	3.5/ 4.5 %
เวลาที่ใช้		4.8/5 นาที	

A = ลักษณะการตัดที่สมบูรณ์ B = ลักษณะการตัดที่ไม่สมบูรณ์



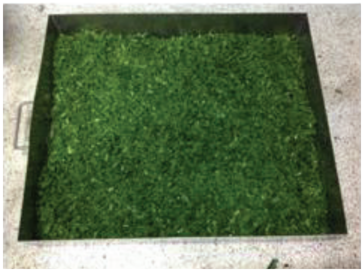
ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของใบเตยที่ได้ทำการหั่นด้วยมือ

จากการทดลองจะเห็นว่าการหั่นตะไคร้และใบเตยด้วยวิธีดั้งเดิมนั้น จะสามารถหั่นได้คุณภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่จะใช้เวลาในการหั่นนานมาก โดยตะไคร้ใช้เวลาเฉลี่ย 166 นาที/กิโลกรัมและใบเตยใช้เวลาเฉลี่ย 158 นาที/กิโลกรัม และใช้เวลาในการตากแดด 3 วัน สามารถลดความชื้นทำให้น้ำหนักตะไคร้และใบเตยเหลือเพียง 30 เปอร์เซ็นต์

2.9.2 การทดสอบการหั่นตะไคร้และใบเตยโดยใช้เครื่อง

ผลการทดลอง

ภาพที่ 3 ลักษณะตะไคร้ที่สมบูรณ์โดยใช้เครื่องย่อยสมุนไพร



ภาพที่ 4 ลักษณะใบเตยที่สมบูรณ์โดยใช้เครื่องย่อยสมุนไพร

2.10 การทดสอบการอบตะไคร้และใบเตย

ผลการทดลอง

ตารางที่ 4 การทดสอบการอบตะไคร้โดยใช้เครื่องอบสมุนไพร ที่อุณหภูมิ 60 °C

ที่อุณหภูมิ 60 °C			
ครั้งที่	น้ำหนักก่อนการทดสอบ	เวลาที่ใช้	น้ำหนักหลังการทดสอบ
1	1 กิโลกรัม	20 นาที	0.9 กิโลกรัม
2	1 กิโลกรัม	40 นาที	0.7 กิโลกรัม
3	1 กิโลกรัม	60 นาที	0.5 กิโลกรัม

A = ลักษณะการตัดที่สมบูรณ์ B = ลักษณะการตัดที่ไม่สมบูรณ์

ภาพที่ 5 ลักษณะตะไคร้และใบเตยที่อบโดยใช้เครื่องอบสมุนไพร

3.**สรุปผลการทดลอง**

จากการทดลองและประเมินผลพบว่า เครื่องย่อยและอบสมุนไพร มีอัตราการผลิตสูงสุด 90 กิโลกรัมต่อวัน (ใช้เครื่องย่อยอย่างเดียว) และ 30 กิโลกรัมต่อวัน (ใช้เครื่องย่อยและอบสมุนไพร)โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 91 เปอร์เซ็นต์ สามารถบรรจุตะไคร้และใบเตยได้ครั้งละ 5 กิโลกรัม โดยอบตะไคร้ที่อุณหภูมิ 70 องศา และอบใบเตยที่อุณหภูมิ 60 ℃ โดยใช้เวลาอบที่ 60 นาที

จะเห็นได้ว่าจากการเปรียบเทียบด้านคุณภาพและประสิทธิภาพการทำงานแล้ว เป็นที่น่าพอใจเป็นอย่างมาก อีกทั้งกรณีเปรียบเทียบด้านเวลาและการใช้แรงงานก็แตกต่างกันมาก

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตร และสหกรณ์ เอกสารวิชาการ เครื่องจักรกลการเกษตรฉลองสิริราชสมบัติครบ 50 ปี, 2539
[2] ชาญ ถนัดงาน, 2523 “กลศาสตร์วัสดุ” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[3] ปณาลี เสมเถื่อน, ตะไคร้ สมุนไพรข้างครัว – กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมการเรียนรู้เทคโนโลยีการเกษตร, 2554
[4] มณฑา ลิมปิยประพันธ์, การผลิตพืชสมุนไพร – กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2554
[5] มนัส อนุศิริ “การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก” พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น, 2549

การพัฒนาระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบ LED
Development the Tubular Photo-bioreactor by using LED Lighting Source

ญาณินท์ เอิบอาบ[1] ชวโรจน์ ใจสิน[1*] ธงชัย มณีชูเกตุ[1] สุรศักดิ์ กุยมาลี[2] และนรินทร์ ปิ่นแก้ว[1]
[1] สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2] สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ปัจจุบันได้มีการนำสาหร่ายมาเพาะเลี้ยงเพื่อผลิตเป็นพลังงานทางเลือก อีกทั้งยังสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศได้อีกทางซึ่งการเลี้ยงสาหร่ายมีทั้งระบบเปิดและระบบปิด โดยในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบเครื่องเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสงที่เป็นระบบปิดโดยใช้แสงแอลอีดี (LED) เป็นแหล่งกำเนิดแสง ได้แก่ สีแดงต่อสีน้ำเงินที่อัตราส่วน 1:1 1:3 และ 3:1 โดยระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งเป็นโครงสร้างของระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง จะใช้ท่อยางใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ″ พันรอบโครงเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.5 cm เป็นวงกลมซ้อนกัน ต้นกำลังใช้ปั๊มสูบน้ำขนาด 1 แรงม้า 3 เฟส สามารถปรับรอบด้วยอินเวอร์เตอร์เป็นตัวส่งน้ำจากถังพักขนาด 25 L ที่ติดอยู่ด้านล่างของระบบเพาะเลี้ยงขึ้นไปยังระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสงในทิศทางการไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน และส่วนที่สองคือแหล่งกำเนิดแสงแบบ LED โดยนำหลอด LED แบบเส้นที่มีขนาดความยาว 5 m พันเข้ากับแผ่นสังกะสีแบบแผ่นเรียบทรงกระบอกที่มีขนาดความยาว 80 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 cm พร้อมติดตั้งชุดควบคุมความเข้มแสงและปรับสี แบบ RGB ที่ชุดให้แสงถูกติดตั้งไว้ตรงกลางของระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง จากการทดลองพบว่า ระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แบบแสงมีอัตราการไหลอยู่ระหว่าง 9.83 ถึง 100 L/min โดยความยาวคลื่นจะถูกวัดโดยใช้แอพลิเคชัน MJUSPEC มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-660 nm ขณะที่ความเข้มแสงเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 10 $\mu mol/m^2 \cdot s$ ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นและความเข้มแสงที่มีการตอบสนองการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กได้

คำสำคัญ: สาหร่ายขนาดเล็ก ท่อปฏิกรณ์แสง หลอดแอลอีดี ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

[*]Corresponding author: Tel.: 089-1536823. E-mail address: chawaroj@mju.ac.th, njaisin@hotmail.com

บทนำ

แนวทางในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 4 วิธีเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนออกสู่ชั้นบรรยากาศคือ การดูดซึมทางเคมี การดูดซับโดยตัวกลางของแข็ง การใช้เทคโนโลยีเมมเบรน และการแยกโดยกระบวนการคริโอจีนิค (cryogenic) [1] ในปัจจุบันมีอีกทางเลือกหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยม คือ การนำศักยภาพของสาหร่ายขนาดเล็กมาใช้ประโยชน์ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยสาหร่ายขนาดเล็กสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และยังสามารถนำสาหร่ายขนาดเล็กมาใช้ประโยชน์ทั้งในด้านผลิตเป็นพลังงานทางเลือก อาหาร และด้านพาณิชย์ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็น รูปแบบของการเพาะเลี้ยง เช่นการเลี้ยงบ่อเปิด และเลี้ยงในระบบปฏิกรณ์ต่างๆ อาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง และแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งระบบการเลี้ยงแบบปฏิกรณ์ต่างๆจะมีผลที่ดีกว่า คือ สามารถควบคุมอุณหภูมิ สิ่งเจือปน ค่าพีเอช แสง ในการเพาะเลี้ยงในระบบปฏิกรณ์มีหลายลักษณะ เช่น แบบแนวราบ แนวตั้ง และทรงกระบอก ซึ่งเป็นการวิธีการเลี้ยงสาหร่ายที่เหมาะสม เพื่อประหยัดพื้นที่ในการผลิตได้มากขึ้น ดังงานวิจัยของ ศิราภรณ์ ชื่นบาล [2] ได้ทำการศึกษาการเลี้ยงจุลสาหร่าย (*Chlorella vulgaris*) ในถังปฏิกรณ์ 2 แบบ คือ ปฏิกรณ์ไหลแบบท่อ และถังปฏิกรณ์ไหลวนแบบจังหวะ ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 5 วันแบบกะ ที่อัตราการไหล 15 L/min ในสภาวะการให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 20% จากการศึกษาพบว่าจุลสาหร่ายที่เลี้ยงในถังปฏิกรณ์ไหลแบบท่อให้ผลผลิตสูงกว่าที่เลี้ยงในถังปฏิกรณ์ไหลวนแบบจังหวะ วิทวัส แจ้งเอี่ยม [3] ได้สร้างเครื่อง Tubular photobioreactor ขนาด 50 L และทำการเลี้ยงจุลสาหร่าย เพื่อเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มมวลชีวภาพกับการเลี้ยงจุลสาหร่ายด้วยขวดขนาด 350 mL พบว่าอัตราการเพิ่มมวลชีวภาพของจุลสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยเครื่อง Tubular photobioreactor 50 L และขวดขนาด 350 mL ในวันที่ 3 มีปริมาณใกล้เคียงกันคือ 0.1887 และ 0.1919 g/L ดังนั้นถือได้ว่าเครื่อง Tubular photobioreactor 50 L มีประสิทธิภาพดี ในการผลิตชีวมวลเมื่อเทียบกับขวดขนาด 350 mL แต่หลังจากวันที่ 3 อัตราการเพิ่มมวลชีวภาพของจุลสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยเครื่อง Tubular photobioreactor มีอัตราการเพิ่มมวลชีวภาพน้อยลง ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงเกินไป เพราะเครื่อง Tubular photobioreactor ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงและทำให้เกิดการสะสมความร้อนภายในกล่องดำ ทำให้จุลสาหร่ายเกิดการปรับตัวได้ไม่ดี Robert n.d. [4] แสงสีแดงเป็นแสงที่ทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงสูงสุดในสาหร่าย *Chlorella sp*. ซึ่งแสงสีแดงจะมีความยาวคลื่น 650-680 nm แต่อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลงอย่างมาก เมื่อให้แสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 685 nm Chul- Woong et al [5] ได้ทำการทดลองเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว *Haematococcus pluvialis* โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงสีต่างๆกัน (Red, Green and Daylight) ทำการวัดอัตราการสังเคราะห์แสงผ่านกระบวนการปลดปล่อยออกซิเจน พบว่าการให้แสงสีแดงมีประสิทธิภาพต่อสาหร่ายมากกว่าแสงสีเขียว และ Daylight โดยในสาหร่ายสีเขียวมีรงควัตถุ คือ คลอโรฟิลล์ เอ ที่สามารถดูดซับแสงสีแดงได้เป็นอย่างดี เพราะครอบคลุมความยาวคลื่นในช่วง Photo synthetically Active Radiation (PAR, 650 nm) ซึ่งสีหรือความยาวคลื่นดังกล่าวสามารถใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงได้

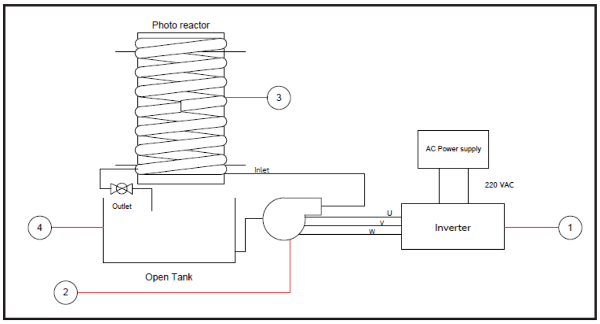
ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและผลิตระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง โดยใช้LED เป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเป็นการประยุกต์เอาข้อดีของระบบการเพาะเลี้ยงแบบปิดและคุณสมบัติของแสงจากLED รวมเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อเป็นต้นแบบในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กต่อไป

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการทำวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. การออกแบบระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง

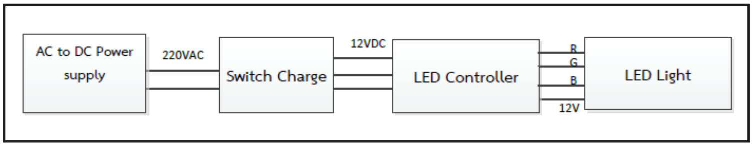
อาศัยอินเวอร์เตอร์ (1) รุ่น WK-9000 มีอินพุตขนาด 220V ทำหน้าที่ปรับรอบความถี่ของปั๊มน้ำ (2) ขนาด 1 แรงม้า 3 เฟส เพื่อทำหน้าที่สูบน้ำจากถังพัก (4) ผ่านชุดเพาะเลี้ยงแบบท่อใสซึ่งพันอยู่กับโครงเหล็ก (3) ในลักษณะวงกลม โดยมีทิศทางการไหลจากด้านล่างขึ้นบน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมการออกแบบระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง

2. การออกแบบระบบให้แสงแบบLED สำหรับระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง

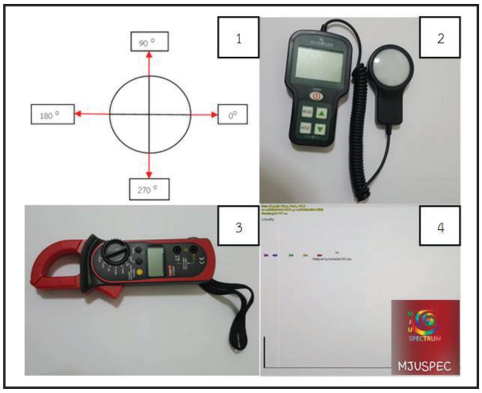
การออกแบบระบบให้แสง ดังภาพที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วยพาวเวอร์สวิตซิ่ง ยี่ห้อ neo ขนาด 12VDC 45A ทำหน้าที่แปลงไฟจาก 220 VAC เป็น 12 VDC เพื่อจ่ายให้ชุดควบคุมแอลอีดีขนาดกำลังขับเอาท์พุตสูงสุด 14 A ใช้ขับระบบให้แสงแบบ LED รุ่น SMD 5050 ชนิด 3 สี RGB โดยชุดควบคุมLED สามารถปรับสีตามที่สาหร่ายขนาดเล็กต้องการได้ ซึ่งสาหร่ายสามารถดูดกลืนแสงได้มากเป็นพิเศษที่ 2 ช่วง [6] คือความยาวคลื่นแสงระหว่าง 400-500 nm ในช่วงความยาวคลื่นแสงนี้จะประกอบไปด้วยแสงสีม่วง แสงสีน้ำเงิน และแสงสีเขียว กับความยาวคลื่นแสงระหว่าง 600-800 nm ดังนั้นในการออกแบบระบบให้แสงจึงเลือกช่วงความยาวคลื่นแสงที่สาหร่ายขนาดเล็กต้องการคือ สีแดง:สีน้ำเงิน ที่อัตราส่วน 1:1 1:3 และ 3:1 ซึ่งในการปรับความยาวคลื่นแสง นั้นจะใช้ชุดควบคุมข้างต้น และวัดความเข้มแสงโดยใช้พาร์มิเตอร์ ขณะที่การวัดความยาวคลื่นแสงจะใช้แอพลิเคชันวัดแสง MJUSPEC ซึ่งเป็นแอพลิเคชันที่การทำงานด้วยการรับภาพของแสงที่เปล่งออกมาจากระบบให้แสง ผ่านกล้องถ่ายรูปบนสมาร์ทโฟน เพื่อหาค่าสี RGB ในแต่ละพิกเซล จากนั้นจะคำนวณค่า Tristimulus X Y Z [7] เพื่อนำไปเทียบกับ Chromatic diagram CIE [8] และจะได้ค่าความยาวคลื่นแสง โดยมีหน่วยเป็น นาโนเมตร (nm)



ภาพที่ 2 ไดอะแกรมการออกแบบระบบให้แสงแบบLED

3. การทดสอบสมรรถนะระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสงและระบบให้แสงLED

การทดสอบสมรรถนะของระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนแรกเป็นการทดสอบการวัดความเข้มแสง การวัดความยาวคลื่นแสง และการวัดอัตราการใช้พลังงาน ที่ใช้หลอดLED โดยมีรายละเอียดการวัดตาม หมายเลข 1 กำหนดจุดวัด 12 จุด แบ่งเป็น ส่วนบน กลาง และล่าง ในมุม 0 90 180 และ 270 องศา ทดลองวัดจำนวน 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย หมายเลข 2 เป็นการทดสอบความเข้มแสงโดยอาศัยพาร์มิเตอร์หรือ Photosynethicaclly Active Radiation (PAR) meters รุ่น quantum PAR meter เป็นเครื่องมือวัด หมายเลข 3 การวัดอัตราการใช้พลังงานอาศัยแคลมป์มิเตอร์ ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT200A เป็นเครื่องมือวัด โดยมีการแบ่งอัตราการใช้พลังงานตามความยาวคลื่นแสงคือ แสงสีน้ำเงินต่อสีแดงที่อัตราส่วน 1:1 3:1 และ 1:3 และหมายเลข 4 เป็นการวัดช่วงความยาวคลื่นแสงอาศัยแอพลิเคชั่น MJUSPEC [7] ที่ติดตั้งลงบนโทรศัพท์ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ยี่ห้อ Motorola รุ่น G5 plus ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชั่น 7.11 เป็นเครื่องมือมือทดสอบ โดยมีการปรับความยาวคลื่นแสงตั้งแต่ความยาวคลื่นแสงที่ต่ำกว่าสีน้ำเงินจนไปถึงความยาวคลื่นแสงที่สูงกว่าสีแดง จุดวัดและจำนวนครั้งเทียบเท่ากับขั้นตอนก่อนหน้า ดังภาพที่ 3

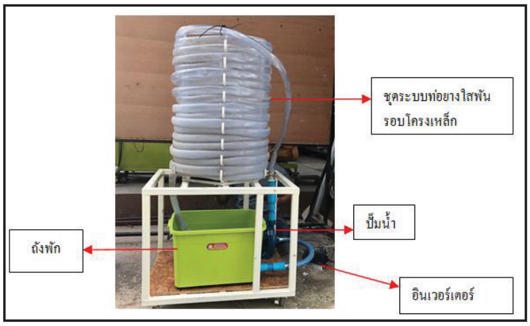


ภาพที่ 3 จุดที่ใช้วัดความเข้มแสง อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการวัดความเข้มแสง อัตราการใช้พลังงาน และความยาวคลื่นแสง

ส่วนที่สองเป็นการทดสอบอัตราการไหลของระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง โดยการปรับรอบอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้อัตราการไหลที่ต่ำสุด วัดอัตราการไหลด้วยวิธีการตวง จากนั้นปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์เพื่อเพิ่มอัตราการไหลของระบบเพาะเลี้ยงให้ได้อัตราการไหลที่สูงที่สุด ทั้งหมดเพื่อหาช่วงอัตราการไหลของระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสงที่สามารถปรับเปลี่ยนได้

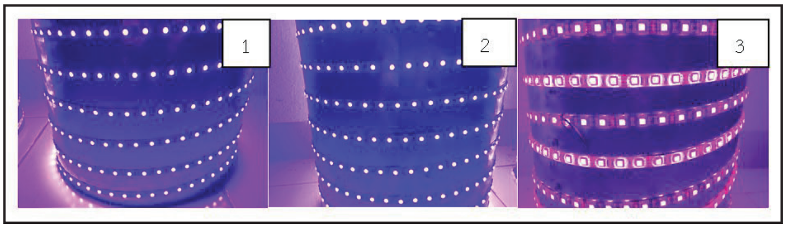
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสงข้างต้น ดังภาพที่ 4 ประกอบด้วย ชุดระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง ซึ่งใช้ท่อยางใสพันรอบโครงเหล็ก ปั๊มน้ำ เพื่อสูบน้ำจากถังพักเข้าสู่ระบบเพาะเลี้ยง โดยมีอินเวอร์เตอร์เป็นตัวปรับรอบความถี่ของปั๊ม และถังพักน้ำ สำหรับให้ปั๊มสูบน้ำขึ้นระบบ และน้ำสาหร่ายที่ออกจากระบบ



ภาพที่ 4 ระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง

2. ผลการออกแบบระบบให้แสงแบบLED สำหรับระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง ซึ่งใช้อัตราส่วนสีแดงต่อสีน้ำเงิน หมายเลข 1 เป็นอัตราส่วน 1:1 เห็นได้ว่าสีแดงจะมีความสว่างมากกว่าสีน้ำเงิน หมายเลข 2 อัตราส่วน 1:3 ในอัตราส่วนนี้จะเห็นสีน้ำเงินได้ชัดเจนมากขึ้น และหมายเลข 3 อัตราส่วน 3:1 สีแดงมีมากกว่าสีน้ำเงินทำให้สีที่ได้ เป็นสีม่วงแกมแดง ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 สีของแต่ละอัตราส่วน

3. ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง ซึ่งประกอบไปด้วย การวัดความเข้มแสง การการวัดความยาวคลื่นแสง การวัดอัตราการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ และการวัดอัตราการไหล โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง

ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง				
อัตราส่วน (สีแดง:สีน้ำเงิน)	ความเข้มแสง (μmol/m^2·s)	ความยาวคลื่นแสง (nm)	อัตราการใช้พลังงาน (Watt)	Standard deviation of Light Intensity
1:1	24.37	400	0.36	4.42
1:3	22.09	380	0.42	3.07
3:1	17.85	460	0.40	2.92
หลอดฟลูออเรสเซนต์	32.81	520	0.49	10.75

- ความยาวคลื่นของแสงLED ในระบบ โดยใช้แอพลิเคชัน MJUSPEC บนมือถือสมาร์ทโฟน พบว่า ความยาวคลื่นแสงของระบบให้แสงที่มีค่าอยู่ระหว่าง 400-660 nm ขณะที่การผสมสีระหว่างสีแดงและสีน้ำเงินในอัตราส่วน 1:1 1:3 และ 3:1 มีความยาวคลื่นแสงอยู่ในช่วงประมาณ 380-460 nm หรืออยู่ในย่านความยาวคลื่นของสีน้ำเงิน ซึ่งผลการทดลองความยาวคลื่นของแสงLED ในระบบอยู่ในย่านความยาวคลื่นแสงที่สาหร่ายต้องการในการดูดกลืนแสงได้ดีที่แสงสีน้ำเงินและสีแดงที่ช่วงความยาวคลื่นแสง 400-480 nm และ 630-680 nm ซึ่งช่วงสีอื่นไม่มีความจำเป็น แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์แสง [9]
- ความเข้มแสง จากการทดสอบด้วยการวัด 12 จุด โดยทำการวัด 3 ซ้ำ บริเวณส่วนบน กลาง และล่าง รอบๆตัวเครื่องท่อปฏิกรณ์แสงจะพบได้ว่า ด้านบน และกลางของเครื่องจะมีความเข้มแสงมากสุด เนื่องจากมีท่อยางใสบังการกระจายแสงจึงทำให้เกิดการกระจายแสงน้อยลง บริเวณส่วนล่าง จะมีความเข้มแสงน้อยสุด เนื่องจากตัววางโครงเล็กเป็นช่องว่างเพื่อให้มีแสงส่องไปยังถังพัก ทำให้เกิดการกระจายแสงมากขึ้น จึงทำให้มีความเข้มแสงน้อยสุด โดยที่อัตราส่วน 1:1 1:3 และ 3:1 มีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยคือ 24.37 22.09 และ 17.85 μmol/m^2·s โดยอยู่ในช่วงความเข้มแสงเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 10 μmol/m^2·s ซึ่งเป็นค่าความเข้มแสงที่สามารถเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กได้ [10]

- อัตราการไหลโดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับรอบความถี่ พบว่าอัตราการไหลที่ปั๊มสามารถทำได้สูงสุดอยู่ที่ 100 L/min ซึ่งจะมีรอบความถี่สูงสุดอยู่ที่ 50 Hz ซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการอัตราการไหลที่ 15 L/min [2] โดยอยู่ที่รอบความถี่ 19 Hz ซึ่งระบบสามารถทำได้โดยอัตราการไหลต่ำสุดอยู่ที่ 9.83 L/min รอบความถี่อยู่ที่ 15 Hz ซึ่งถ้าอัตราการไหลน้อยเกินไปจะทำให้ท่อยางใสเกิดการบีบตัวเนื่องจากมีอากาศเข้าไปมากกว่าปริมาณน้ำและอาจเกิดการน้ำตกท้องช้าง ถ้าใช้ที่อัตราการไหลมาก ก็จะไม่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสาหร่ายได้ซึ่งอัตราการไหลที่ใช้เลี้ยงนั้นจะต้องไหลไม่ช้าไม่เร็วเกินไป เพื่อให้สาหร่ายสามารถรับแสงได้ทั่วถึงและสม่ำเสมอ
- ผลอัตราการใช้พลังงานของระบบให้แสงLED เมื่อเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยทำให้อยู่หน่วยต่อวัตต์ไฟฟ้า คือหน่วย ไมโครโมลต่อตารางเมตรวินาทีต่อวัตต์ (μmol/m^2·s /W) จากการคำนวณอัตราการใช้พลังงานของอัตราส่วน 1:1 1:3 และ 3:1 พบว่าจะมีค่าอัตราการใช้พลังงานอยู่ที่ 0.36 0.42 และ 0.40 μmol/m^2·s /W โดยมีค่าปริมาณอัตราการใช้พลังงานเมื่อเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีอัตราการใช้พลังงานอยู่ที่ 0.49 μmol/m^2·s /W ซึ่งดูเหมือนว่าอัตราการใช้พลังงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่า LED แต่อย่างไรก็ตาม หลอดฟลูออเรสเซนต์จะให้มีความยาวคลื่นอยู่ที่ 520 nm หรือเป็นช่วงความยาวคลื่นแสงของสีเขียว ซึ่งเป็นช่วงที่พืชต้องการน้อย [9]

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบสมรรถนะของระบบเพราะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสง พบว่า ในการทดสอบความยาวคลื่นแสงที่วัดแต่ละสีมีค่าความยาวคลื่นแสงอยู่ในช่วง 380-460 nm ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก ความเข้มแสงที่ระบบสามารถทำได้เฉลี่ยมากกว่า 10 μmol/m^2·s /W ในส่วนของอัตราการไหลโดยใช้อินเวอร์เตอร์ในการปรับรอบ สามารถทำรอบได้ต่ำสุดอยู่ที่ 15 Hz จะมีอัตราการไหลอยู่ที่ 9.83 L/min โดยงานวิจัยนี้ต้องการอัตราการไหลที่ 15 L/min ซึ่งถือว่าระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายในท่อปฏิกรณ์แสงสามารถทำได้ โดยอัตราการการใช้พลังงานจากการใช้หลอดLED เทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ พบว่า หลอดLED สีแดงต่อน้ำเงินที่อัตราส่วน 1:1 1:3 และ 3:1 มีปริมาณอัตราการใช้พลังงานใกล้เคียงกับการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ แต่สามารถกำหนดช่วงความคลื่นแสงที่พืชต้องการได้ดีกว่าการใช้หลอดLED

แนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ จะสร้างระบบป้อนคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเป็นอาหารให้สาหร่ายและการตรวจวัดค่าพีเอชแบบอัตโนมัติ โดยใช้สาหร่าย *Chlorella sp.* เพื่อให้สะดวกแค่การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบมากยิ่งขึ้นและเพื่อต่อยอดการเพาะเลี้ยงสาหร่ายให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนการศึกษา โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2559

เอกสารอ้างอิง

[1] นุชนาถ แช่มช้อย. (2557). สาหร่ายขนาดเล็กการเพาะเลี้ยงและการนำมาใช้ประโยชน์. **วารสาร มฉก.วิชาการ.** 17 (34), 169-183.

[2] ศิราภรณ์ ชื่นบาลและฐูปน ชื่นบาล. (2558). การเปรียบเทียบผลผลิตจุลสาหร่าย (*Chlorella vulgaris*) ที่เพาะเลี้ยงในถังปฏิกรณ์ไหลแบบท่อและถังปฏิกรณ์ไหลวนแบบจังหวะ. **รายงานการประชุมวิชาการประจำปี 2558**. วันที่ 8-9 ธันวาคม 2558 ณ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[3] วิทวัส แจ้งเอี่ยม. (2555). **โครงการสร้างเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้แสงที่เหมาะสมต่อการผลิตไฮโดรเจนของจุลสาหร่าย.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

[4] Robert E., (n.d.). **The Emerson Effect**. สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2560, จาก http://growlightsource.com/the-emersoneffect.

[5] Jeon, Y.-C., C.-W. Cho, and Y.-S. Yun. (2005). Measurement of microalgal photosynthetic activity depending on light intensity and quality. **Biochemical Engineering Journal**. 27(2): p. 127-131.

[6] เกษตรกรไฮเทค. **แสงแดดเทียม (PLANT GROW LIGHT).** สืบค้นเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2560, จาก http://kasettakonhitech.blogspot.com

[7] วันวิสา วงษา และชวโรจน์ ใจสิน. (2559). ออกแบบและพัฒนาระบบให้แสงแอลอีดี แบบปรับความยาวคลื่นแสงได้สำหรับเลี้ยงสาหร่าย. **การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 38**. วันที่ 19-20 กุมภาพันธ์ ณ ณ อาคารเอกาทศรถ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[8] Sung, W.J., Hogewoning, S.W.& Ieperen, W.V. (2014). Adventitious rooting of Jatropha curcas L. is stimulated by phloroglucinol and by red LED light. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. 49, 183-190.

[9] Gacomelli, G.A., (1998), Greenhouse Glazing and Solar Radiation Transmission Workshop, October @CCEA, **Center for Controlled Environment Agriculture**, Rutgers University, Cook College, AZ, 85721, USA.

[10] สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, ศักดิ์ชัย ชูโชติ, ปวีณา ทวีกิจ และ มณฑล แก่นมณี. (2555). **การคัดเลือกสายพันธุ์และการเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่มีไขมันสูงแบบมหมวล เพื่อความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ.** คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อิทธิพลของแคลเซียมและแบเรียมต่อตัวเร่งปฏิกิริยาแพลลาเดียมบนตัวรองรับซิลิกาในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนเพื่อปรับปรุงความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไบโอดีเซล

ชัชชญา ธัญรัชตานน[1,2] อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย[1,2,3*]

[1] The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, Bangkok 10330

[2] Center of Excellence on Petrochemical and Materials Technology, Bangkok 10330

[3] Center of Excellence on Catalysis for Bioenergy and Renewable Chemicals (CBRC), Chulalongkorn University, Bangkok 10330

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลลาเดียมบนตัวรองรับซิลิกา (Pd/SiO_2) และตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/SiO_2 ที่ถูกปรับปรุงโดยใส่โลหะอัลคาไลน์เอิร์ทชนิดแคลเซียม (Ca) และแบเรียม (Ba) ในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนของไบโอดีเซลซึ่งผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง (FAMEs) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative stability) การศึกษาความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ได้กระทำภายใต้ระบบปิดที่ควบคุมความดันแก๊สไฮโดรเจนไว้ที่ 4 บาร์และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Pd-Ba/SiO_2 สามารถลดปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลกรดไขมันในไบโอดีเซลได้มากที่สุด ส่งผลให้ค่าความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นได้รับการปรับปรุงดีที่สุดเช่นเดียวกัน ขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd-Ca/SiO_2 สามารถลดปริมาณพันธะคู่ได้ในปริมาณน้อยที่สุดซึ่งอาจกล่าวได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้มีความว่องไวต่ำที่สุดในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วน ความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ นั้นแปรผกผันกับความหนาแน่นของปริมาณเบส (basic site density) หากปริมาณเบสที่เพิ่มลงไปบนตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/SiO_2 นั้นมีความเหมาะสมก็สามารถเพิ่มโอกาสและอัตราการเกิดปฏิกิริยาของพันธะคู่ในกรดไขมันได้ ดังที่แสดงโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd-Ba/SiO_2 อย่างไรก็ตามหากปริมาณเบสมีมากเกินไปจะส่งผลกระทบในแง่ลบต่อการเข้าทำปฏิกิริยาของพันธะคู่ในกรดไขมันบนพื้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นสาเหตุให้ความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นลดลง (Pd-Ca/SiO_2) ค่าความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นประมาณ 2-5 เท่าขึ้นอยู่กับความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ โดยผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันบางส่วน

คำสำคัญ: ไบโอดีเซล ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลลาเดียม ความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

*Corresponding author: Tel.: 022184148. E-mail address: apanee.l@chula.ac.th

บทนำ

ไบโอดีเซลถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการด้วยกัน เช่นไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ไม่เป็นพิษต่อชั้นบรรยากาศและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังสามารถผลิตได้ง่ายจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) [1]

ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชส่วนใหญ่มักพบปัญหาค่าความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำซึ่งส่งผลต่อระยะเวลาในการกักเก็บและการขนส่ง ความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นแปรผกผันกับปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว หากไบโอดีเซลนั้นประกอบด้วยปริมาณกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวหรือมีพันธะคู่อยู่มาก ความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะต่ำ ในทางตรงกันข้ามคุณสมบัติการไหลเท (cold flow properties) ของน้ำมันจะดี จากปัญหาข้างต้นปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วน (partial hydrogenation) จึงถูกนำมาศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์คือการลดปริมาณพันธะคู่ที่มีอยู่หลายตำแหน่งในกรดไขมันให้เหลือเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น เพื่อรักษาคุณสมบัติทั้งสองให้อยู่ในเกณฑ์ดีและได้มาตรฐาน [2-3]

ตัวเร่งปฏิกิริยาแพลลาเดียมเป็นที่นิยมใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันอย่างแพร่หลายเนื่องจากความสามารถในการดูดซับและการแยกไฮโดรเจนออกจากกันได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆ ซึ่งส่งผลให้ปฏิกิริยาสามารถดำเนินไปได้อย่างว่องไว [4] อย่างไรก็ตามการศึกษาและการพัฒนาความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยานี้ยังคงดำเนินอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อให้ได้ค่าความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไบโอดีเซลที่ดียิ่งขึ้น ในปี 2560 Liu และทีมวิจัย [5] ได้รายงานการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดแพลลาเดียมและโลหะเงินโดยการใส่แมกนีเซียม (Mg) และไทเทเนียม (Ti) ลงไปในสัดส่วนที่แตกต่างกัน และพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยานั้นๆ สามารถเพิ่มความว่องไวของปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันได้ อย่างไรก็ตามความว่องไวนั้นได้ลดลงในเวลาต่อมา

จากที่กล่าวมาข้างต้น ในงานวิจัยนี้ได้มุ่งไปยังการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/SiO_2 โดยการใส่โลหะอัลคาไลน์เอิร์ทชนิดแคลเซียม (Ca) และแบเรียม (Ba) เพื่อนำไปศึกษาในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ได้นำไปตรวจคุณลักษณะและคุณสมบัติทั่วไปก่อนนำไปทดสอบความสามารถการทดลองได้กระทำในระบบปิดที่ความดันคงที่ๆ 4 บาร์และอุณหภูมิคงที่ๆ 80 องศาเซลเซียส ไบโอดีเซลหลังผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันบางส่วนจะถูกนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติ ได้แก่ค่าความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันและจุดขุ่น (cloud point)

วิธีการวิจัย

ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/SiO_2 ถูกเตรียมโดยวิธี incipient wetness impregnation นำตัวรองรับซิลิกา (SiO_2) อบทิ้งไว้ข้ามคืนก่อนการใส่สารละลายแพลลาเดียมลงไป (1 ร้อยละโดยมวลของตัวรองรับ SiO_2) หลังจากนั้น 24 ชั่วโมง ขจัดน้ำออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ตู้อบความร้อนแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ตัวเร่งปฏิกิริยาถูกนำไปเผาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสภายใต้แก๊สออกซิเจนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปเผาต่อภายใต้แก๊สไฮโดรเจนอีก 2 ชั่วโมง

ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd-Ca/SiO_2 และ Pd-Ba/SiO_2 ถูกเตรียมด้วยวิธีข้างต้นเช่นกัน (4 ร้อยละโดยมวลของ Pd/SiO_2) โดยตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/SiO_2 ที่ได้หลังจากการเผาภายใต้แก๊สออกซิเจนจะถูกนำมาใส่สารละลายโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทหลังจากนั้นได้ทำการขจัดน้ำโดยวิธีข้างต้น ต่อด้วยการเผาภายใต้แก๊สออกซิเจนที่ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการเผาภายใต้แก๊สไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาอีก 2 ชั่วโมง

ตัวเร่งปฏิกิริยาถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่อง surface area analyzer รวมถึงการวิเคราะห์ความหนาแน่นของปริมาณเบสบนตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย temperature programmed desorption ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2-TPD)

การศึกษาความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนถูกทำขึ้นใน semi-batch reactor ที่ทำการควบคุมความดันให้คงที่ๆ 4 บาร์และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยา (1 ร้อยละโดยมวลของไบโอดีเซล) ถูกใส่ลงไปยัง reactor ที่บรรจุไบโอดีเซลไว้อยู่แล้ว ทำการไล่อากาศที่เหลืออยู่ภายใน reactor ด้วยแก๊สไนโตรเจน จากนั้นจึงปล่อยแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปยัง reactor และทำการควบคุมความดันและอุณหภูมิให้ได้ตามที่กำหนดไว้แล้วจึงทำการเปิดเครื่องกวนให้ไบโอดีเซล ตัวเร่งปฏิกิริยาและแก๊สไฮโดรเจนเข้ากัน ทำการเก็บตัวอย่างไบโอดีเซลตัวแรกเมื่อความดันและอุณหภูมิถึงจุดที่ตั้งไว้ จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างตัวต่อไปในทุกๆ ครึ่งชั่วโมงจนครบ 4 ชั่วโมง ตัวอย่างไบโอดีเซลที่ได้รับจะถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบโดยเครื่อง gas chromatography ไบโอดีเซลตั้งต้นรวมถึงตัวอย่างไบโอดีเซลที่ชั่วโมงที่ 4 จะถูกนำไปวิเคราะห์ค่าความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยวิธี Rancimat tester และวิเคราะห์จุดขุ่นด้วยเครื่อง cold flow tester อีกด้วย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/SiO_2 Pd-Ca/SiO_2 และPd-Ba/SiO_2 ได้ถูกวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและค่าความหนาแน่นของปริมาณเบสบนตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนนำไปทดสอบความสามารถในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนของไบโอดีเซล ซึ่งข้อมูลข้างต้นนั้นได้แสดงในตารางที่ 1

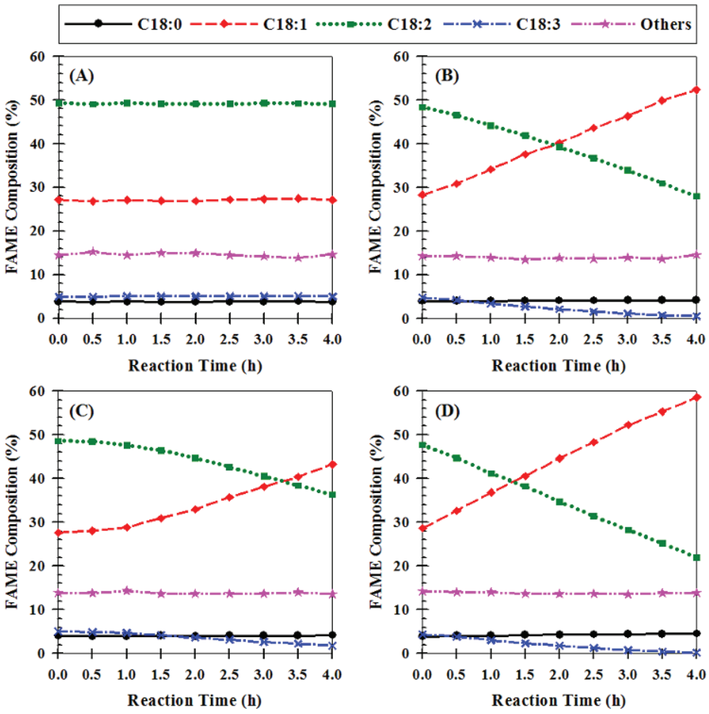
ตารางที่ 1 คุณลักษณะพื้นผิวและความหนาแน่นของปริมาณเบส

ตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)	ปริมาตรรูพรุน (มิลลิลิตรต่อกรัม)	ขนาดรูพรุน (นาโนเมตร)	ความหนาแน่นของปริมาณเบส (มิลลิโมลต่อกรัม)
SiO_2	106	1.3	47.5	–
Pd/SiO_2	104	1.2	46.5	0.43
Pd-Ca/SiO_2	90	1.1	48.1	0.82
Pd-Ba/SiO_2	105	1.2	45.3	0.54

จากผลในตารางข้างต้นจะสังเกตได้ว่าลักษณะพื้นผิว คือพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนและขนาดรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิดนั้นมีค่าน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะของตัวรองรับ SiO_2 ซึ่งเกิดจากการที่แพลลาเดียมและโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทได้เกาะติดอยู่ทั้งบนพื้นผิวและในรูพรุนของตัวรองรับ SiO_2 อย่างไรก็ตามคุณลักษณะดังกล่าวนั้นมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าคุณลักษณะพื้นผิวนั้นอาจส่งผลต่อความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยานี้น้อยมากหรือแทบจะไม่ส่งผลใดๆ ขณะเดียวกันค่าความหนาแน่นของปริมาณเบสนั้นมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดย Pd-Ca/SiO_2 มีความหนาแน่นของปริมาณเบสบนพื้นผิวมากที่สุดโดยมีค่าประมาณ 0.82 มิลลิโมลต่อกรัม และ Pd/SiO_2 แสดงค่าคุณสมบัตินี้น้อยที่สุดเพียง 0.43 มิลลิโมลต่อกรัมเท่านั้น เนื่องจากไม่ได้ถูกปรับปรุงพื้นที่ผิวด้วยโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นเบส ดังเช่นแคลเซียมและแบเรียม จากค่าข้างต้นสามารถบ่งชี้ได้ว่าคุณสมบัตินี้อาจเป็นปัจจัยหลักที่ส่งอิทธิพลต่อความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งตัวรองรับ SiO_2 และตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/SiO_2, Pd-Ca/SiO_2 และ Pd-Ba/SiO_2 ได้ถูกนำไปทดสอบความสามารถในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนของไบโอดีเซล องค์ประกอบของไบโอดีเซลตลอดระยะเวลา 4 ชั่วโมงของปฏิกิริยานี้ได้ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 1

ภาพข้างล่างแสดงถึงองค์ประกอบในไบโอดีเซลตลอดระยะเวลา 4 ชั่วโมงของปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วน ซึ่งองค์ประกอบที่สนใจนั้นแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว (C18:0) กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่อยู่หนึ่งตำแหน่ง (C18:1) กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่อยู่สองตำแหน่ง (C18:2) กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่อยู่สามตำแหน่ง (C18:3) และกรดไขมันชนิดอื่นๆ จากภาพทั้ง 4 ข้างต้น เป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณกรดไขมันชนิดอื่นๆ นั้นแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลา 4 ชั่วโมง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะสนใจกรดไขมันที่ประกอบไปด้วยคาร์บอน 18 ตำแหน่งเท่านั้น (C18)

องค์ประกอบของไบโอดีเซลที่ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนโดยใช้ตัวรองรับ SiO_2 นั้นไม่มีความเปลี่ยนแปลงใดๆ (แสดงในภาพที่ 1A) ทำให้สามารถสรุปได้จากผลข้างต้นว่าตัวรองรับ SiO_2 นั้นไม่ได้มีอิทธิพลใดๆ ต่อปฏิกิริยานี้ ดังนั้นความสามารถที่แตกต่างกันไปของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 1B–D จึงไม่ได้เกี่ยวข้องกับตัวรองรับ SiO_2 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ชัดว่า Pd-Ca/SiO_2 (ภาพที่ 1C) มีความสามารถในการลดปริมาณ C18:3 และ C18:2 ได้น้อยกว่าที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/SiO_2 และ Pd-Ba/SiO_2 ขณะเดียวกัน Pd-Ba/SiO_2 นั้นสามารถลดปริมาณพันธะคู่ในกรดไขมันได้มากที่สุด (ภาพที่ 1D) จากตรงนี้จะเห็นได้ว่าการใส่โลหะอัลคาไลน์เอิร์ทเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการส่งผ่านอิเลคตรอนจากโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทสู่โลหะแพลลาเดียมนั้นมีอิทธิพลทั้งในเชิงบวกและเชิงลบต่อปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนของไบโอดีเซล



ภาพที่ 1 องค์ประกอบในไบโอดีเซลระหว่างปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนโดยใช้ SiO_2 (A), Pd/SiO_2 (B), Pd-Ca/SiO_2 (C) และ Pd-Ba/SiO_2 (D)

โดยปกติแล้วการเข้าทำปฏิกิริยาของกรดไขมันบนพื้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่บริเวณพันธะคู่ ซึ่งการใส่โลหะอัลคาไลน์เอิร์ทลงไปในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยสนับสนุนการแยกกรดไขมันที่ทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันเรียบร้อยแล้วออกจากพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้เกิดพื้นที่ว่างหรือโอกาสสำหรับการเข้าทำปฏิกิริยาของกรดไขมันตัวอื่นๆ มากขึ้นด้วย ดังแสดงให้เห็นโดยตัวเร่งปฏิกิริยา Pd-Ba/SiO_2 อย่างไรก็ตามหากปริมาณโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทที่ใส่ลงบนพื้นผิวของ Pd/SiO_2 นั้นมีมากจนเกินไป (Pd-Ca/SiO_2) จะส่งผลให้ความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยานั้นถดถอยลง เนื่องจากอิเลคตรอนที่ถูกส่งผ่านไปยังโลหะแพลลาเดียมนั้นมีมากจนเกินไป ทำให้การลงมาทำปฏิกิริยาของพันธะคู่ในกรดไขมันบนแพลลาเดียมนั้นถูกขัดขวางจนไม่สามารถลงมาทำปฏิกิริยาได้สำเร็จ นอกเหนือจากการศึกษาองค์ประกอบของไบโอดีเซลหลังผ่านปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนซึ่งทำให้เห็นแนวโน้มความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว คุณสมบัติของไบโอดีเซล ได้แก่ค่าความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันและจุดขุ่นยังได้รับการวิเคราะห์เช่นเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันและจุดขุ่นของไบโอดีเซล

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ไบโอดีเซลที่ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วน	
	ความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ชั่วโมง)	จุดขุ่น (องศาเซลเซียส)
ไบโอดีเซลตั้งต้น	2.2	4.0
ตัวรองรับ SiO_2	2.2	4.3
Pd/SiO_2	8.5	4.7
Pd-Ca/SiO_2	6.7	4.7
Pd-Ba/SiO_2	11.8	5.3

ในตอนต้น ไบโอดีเซลมีค่าความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันเพียง 2.2 ชั่วโมงเท่านั้นเนื่องจากมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ระบุไว้ใน European Standard (EN 14214:2012) ว่าความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นควรมีค่าอย่างน้อย 8 ชั่วโมง [6] ทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองนี้ไม่ผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตาม คุณสมบัติดังกล่าวสามารถปรับปรุงได้โดยกระบวนการไฮโดรจีเนชันบางส่วน ค่าความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นเพิ่มขึ้นตามความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดย Pd-Ba/SiO_2 สามารถปรับปรุงค่าความเสถียรนี้ได้สูงสุดถึง 11 ชั่วโมง

การเติมสารต้านออกซิเดชันซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีข้อเสียอยู่หลายประการด้วยกัน เช่น สารต้านออกซิเดชันแต่ละชนิดนั้นมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทำให้การปรับปรุงค่าความเสถียรของไบโอดีเซลนั้นจำเป็นต้องเติมสารต้านมากกว่า 2 ชนิดเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามมาตรฐานหรือตามต้องการ ซึ่งทำให้การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง นอกจากนั้นการเติมสารต้านออกซิเดชันบางชนิดยังก่อให้เกิดความเป็นกรดของน้ำมันสูงขึ้นและไม่สามารถย่อยสลายเองได้ตามธรรมชาติอีกด้วย หากเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงค่าความเสถียรด้วยวิธีไฮโดรจีเนชันบางส่วนกับวิธีไฮโดรดีออกซิจีเนชันซึ่งเป็นอีกหนึ่งวิธีที่เป็นที่นิยม จะพบว่าปฏิกิริยาไฮโดรดีออกซิจีเนชันนั้นให้ค่าความเสถียรที่ค่อนข้างสูง แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยานี้จำเป็นต้องกระทำภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่สูงกว่าปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนมากซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปจากข้อมูลข้างต้นได้ว่าปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนนั้นมีความสามารถในการปรับปรุงค่าความเสถียรที่ดีอีกทั้งยังสามารถปฏิบัติภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่ไม่สูงมากอีกด้วย [7] หากสังเกตคุณสมบัติอีกประการของไบโอดีเซลจะเห็นได้ว่าจุดขุ่นนั้นแย่ลงเมื่อค่าความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นสูงขึ้น โดย Pd-Ba/SiO_2 นั้นมีอุณหภูมิที่ทำให้ไบโอดีเซลเริ่มขุ่นอยู่ที่ประมาณ 5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ได้จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาข้างต้นอาจไม่ส่งผลเสียหากใช้ในประเทศเขตร้อน เช่น ประเทศไทย เป็นต้น

จากผลการวิจัยข้างต้นพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาแพลลาเดียมบนตัวรองรับซิลิกาทั้งตัวที่ไม่ได้เติมและที่เติมโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทสามารถปรับปรุงค่าความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ นอกจากนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (heterogeneous catalysts) ทำให้สามารถแยกออกจากไบโอดีเซลได้หลังจากปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งเป็นข้อดีในการศึกษาเรื่องการนำกลับมาใช้ใหม่ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แล้วในโอกาสต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/SiO_2 ด้วยโลหะอัลคาไลน์เอิร์ทชนิดแคลเซียม (Pd-Ca/SiO_2) และแบเรียม (Pd-Ba/SiO_2) เพื่อใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วนนั้นส่งผลต่อความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันออกไป โดยตัวเร่งปฏิกิริยา Pd-Ba/SiO_2 สามารถเพิ่มความสามารถในการลดกรดไขมันไม่อิ่มตัวในไบโอดีเซลได้ ในทางกลับกัน การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd-Ca/SiO_2 นั้นกลับไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งการแสดงความสามารถที่ต่างกันนี้เกิดจากความหนาแน่นของปริมาณเบสบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยา Pd-Ba/SiO_2 มีปริมาณเบสเพิ่มขึ้นมาเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา Pd/SiO_2 ส่งผลในเกิดการสนับสนุนการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา Pd-Ca/SiO_2 นั้นมีปริมาณเบสมากกว่า Pd/SiO_2 เกือบเท่าตัวจึงส่งผลให้เกิดการขัดขวางการเข้าทำปฏิกิริยาของกรดไขมันไม่อิ่มตัวบนแพลลาเดียมทั้งในด้านการเพิ่มขึ้นของอิเลคตรอนและความเกะกะของโมเลกุลแคลเซียม อย่างไรก็ตามค่าความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นสามารถปรับปรุงได้ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชันบางส่วน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทางด้านการเงินจากองค์กรดังต่อไปนี้ 1.กองทุน PPC ปีที่ 24 สำหรับปริญญาดุษฎีบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2.กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 3.ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีปิโตรเคมีและวัสดุ และ 4.ทุนงบประมาณแผ่นดิน (GRB_APS_49_59_63_08).

เอกสารอ้างอิง

[1] Hamdan, S.H., Chong, W.W.F., Ng, J.-H., Ghazali, M.J. and Wood, R.J.K. (2017). Influence of fatty acid methyl ester composition on tribological properties of vegetable oils and duck fat derived biodiesel. **Tribology International.** 113, 76-82.

[2] Kumar, N. (2017). Oxidative stability of biodiesel: Causes, effects and prevention. **Fuel** 190, 328-350.

[3] Lanjekar, R.D. and Deshmukh, D. (2016). A review of the effect of the composition of biodiesel on NO_x emission, oxidative stability and cold flow properties. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** 54, 1401-1411.

[4] McArdle, S., Girish, S., Leahy, J.J. and Curtin, T. (2011). Selective hydrogenation of sunflower oil over noble metal catalysts. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical.** 351, 179-187.

[5] Liu, Y., Zhao, J., He, Y., Feng, J., Wu, T. and Li, D. (2017). Highly efficient PdAg catalyst using a reducible Mg-Ti mixed oxide for selective hydrogenation of acetylene: Role of acidic and basic sites. **Journal of Catalysis.** 348, 135-145.

[6] Serrano, M., Oliveros, R., Sánchez, M., Moraschini, A., Martínez, M. and Aracil, J. (2014). Influence of blending vegetable oil methyl esters on biodiesel fuel properties: Oxidative stability and cold flow properties. **Energy** 65, 109-115.

[7] Sousa, L.S., Moura, C.V.R., Oliveira, J.E. and Moura, E.M. (2014). Use of natural antioxidants in soybean biodiesel. **Fuel** 134, 420-428.

การอบแห้งรางจืดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อม

Thunbergia laurifolia Lindl. Drying through Indirect Forced Convection Cabinet Solar Dryer

สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี[1*], พัทยา แจ่มมณี[2], พิพัฒน์พงษ์ พัฒนภูมิชัย[2], วาสนา สีชุม[2],
ชวรงค์ แก้วมูลสุข[2], มัทติญา ล้านภูเขียว[2] และ สมมาส แก้วล้วน[3]
[1*]วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[2] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ชัยภูมิ 36000
[3]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก 26120

บทคัดย่อ

การศึกษาการลดความชื้นของรางจืด (*Thunbergia laurifolia Lindl.*) ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อม ประกอบด้วย ตู้อ บมีพื้นที่หน้าตัด 0.09 m^2 แผงรับรังสีดวงอาทิตย์พื้นที่ 3.95 m^2 และเครื่องเป่าลมชนิดพกพาขนาด 600 W การศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อให้ลมไหลผ่านแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ในเวลากลางวันที่อัตราการไหล 4.18 m^3/min ทำให้ได้อุณหภูมิเฉลี่ยของลมร้อนมีค่าสูงกว่า 50°C เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิของลมร้อนที่เหมาะสมต่อการอบแห้งใบพืชสมุนไพร จากนั้นจึงศึกษาการอบแห้งรางจืด ผลการทดลองพบว่าที่อัตราการไหลของลมดังกล่าว ทำให้รางจืดมีความชื้นลดลงจาก 461.80 เหลือ 6.18 %มาตรฐานแห้ง ภายในเวลา 9 hr ซึ่งเป็นความชื้นที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: สมุนไพรแห้ง (มผช. 480/2547)

คำสำคัญ: การลดความชื้น, ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, รางจืด

*Corresponding author: Tel.: 09-2292-6254. E-mail address: jansrisnar@gmail.com

บทนำ

รางจืดเป็นไม้เลื้อยหรือไม้เถา เถามีลักษณะกลม สีเขียว และมีข้อปล้องชัดเจน ใบรางจืดเป็นใบเดี่ยวผิวเกลี้ยง ออกตรงข้ามกันเป็นคู่ๆ โคนใบมีขนาดใหญ่และเรียวเล็กลงจนถึงปลายใบ ดอกมีลักษณะเป็นกรวยตื้นๆ สีม่วง มักออกเป็นช่อช่อละ 3-4 ดอกตามง่ามใบ รางจืดเป็นสมุนไพรที่มีรสเย็นจึงใช้ปรุงเป็นยาเขียวถอนพิษไข้ และแก้ร้อนในกระหายน้ำ นอกจากนั้นยังสามารถใช้เป็นสมุนไพรแก้เบื่อเมา แก้ประจำเดือนไม่ปกติ ปวดบวม อักเ สบ ใช้ถอนพิษ และใช้รักษาผู้ที่ได้รับสารเคมีที่มีพิษร้ายแรง [1]

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและเภสัชวิทยาของรางจืดแสดงให้เห็นว่า สารเคมีที่พบในรางจืดส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่ม Flavonoid phenolic, Apigenin cosmosin, Delphinidin-3,5-di-O-**β**-D-glucoside, Clorogenic acid, Caffeic acid [1] แม้การสกัดรางจืดด้วยการต้มเป็นวิธีการที่เหมาะสมเพราะทำให้ได ปริมาณสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต านอนุมูลอิสระสูงสุด แต่พบว่ามีความยุ่งยากจึงได้มีการนำรางจืดแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แห้งแทน เนื่องจากง่ายต่อการเก็บรักษา และการใช้ประโยชน์ และเพื่อให้เกิดประโยชน์ทางการค้าได้มีผลิตรางจืดแห้งออกมาในรูปของแคปซูล ยาเม็ด หรือยาชงสมุนไพร [2]

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตศูนย์สูตรจึงทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปี ในปี 2556 ทั่วประเทศได้รับความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีมากถึง 17.4 $MJ/m^2/day$ เป็นเหตุให้การผลิตสมุนไพรแห้งของประเทศไทยยังคงใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก วิธีการตากแดดตามธรรมชาติเป็นวิธีการนิยมมากที่สุด เพราะมีความสะดวก และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย แต่ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีคุณภาพต่ำทั้งการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรก การถูกทำลายด้วยสัตว์ และความชื้นของอากาศอาจจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดเชื้อราได้ง่ายขึ้น [3]

การทำแห้งด้วยวิธีการข้างต้นจึงได้รับพัฒนามาเป็นการอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air drying) โดยผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำให้แห้งต้องนำมาใส่ตู้อบแห้งแทนการวางไว้กับพื้น แล้วให้ลมร้อนไหลผ่านตู้อบแห้ ง ความชื้นของผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งจะระเหยออกมาพร้อมกับลมร้อน โดยลมร้อนจะถูกระบายออกทางช่องระบายลม [3] ปัจจุบันมีเครื่องอบแห้งหลายประเภทที่พัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ต่างๆ ของการอบแห้งวัสดุในท้องถิ่นต่างๆ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีศักยภาพและได้ รับความนิยม ได้แก่ เครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติ เครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับแสงรังสีอาทิตย์โดยอ้อม เครื่องอบแห้งแบบเรือนกระจก และเครื่องอบแห้งชนิดอุโมงค์อบแห้งรังสีอาทิตย์ เป็นต้น [4] การเลือกใช้เทคโนโลยีอบแห้งขึ้นอยู่กับความต้องกา รของผู้ใช้งาน โดยต้องคำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ ระยะเวลาการอบแห้ง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิต [5]

การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาเฉพาะเงื่อนไขที่เหมาะสม ต่อการอบแห้งรางจืดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อม เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้ที่สนใจที่จะนำเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตสมุนไพรแห้ง

หลักการอบแห้ง

การอบแห้ง (Drying) โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นการไล่ความชื้นออกจากวัสดุโดยการถ่ายเทความร้อนให้วัสดุด้วยวิธีการพาความร้อนด้วยอากาศ (Convection) หรือการแผ่รังสี (Radiation) เพื่อทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้น แล้วทำให้ความชื้นในวัสดุนั้นระเหยออกไปสู่บรรยากาศรอบข้าง จนถึงจุดวิกฤติความชื้น (Critical moisture content) ทำให้สามารถเก็บรักษาวัสดุได้ยาวนานขึ้น ความสามารถของอากาศในการทำให้เกิดการระเหยของน้ำจากวัสดุ (Drying potential) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ รวมถึงความเร็วลมที่นำพาความร้อน ซึ่งการอบแห้งเป็นเพียงการระเหยน้ำที่อยู่ในผ ลิตภัณฑ์ออกไปให้เหลือปริมาณที่เหมาะสม จึงทำให้ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีค่าความชื้นสุดท้ายไม่เท่ากัน [4,7-8] ความชื้นของวัสดุอบแห้งสามารถบอกได้ในรูปของความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) และความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) [7,9] ดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$M_W = \frac{m_W}{m_W + m_S} \quad (1)$$

$$M_d = \frac{m_W}{m_S} \quad (2)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (kg/kg)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (kg/kg)

m_w คือ มวลของน้ำในวัสดุอบแห้ง (kg)

m_d คือ มวลของของแข็งในวัสดุอบแห้ง (kg)

วิธีการวิจัย

1. วัตถุดิบ

การศึกษาครั้งนี้ต้องการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการอบแห้งเฉพาะใบรางจืด ในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้ใบรางจืดสดที่เก็บจากชุมชนในตำบลนาฝาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิหนัก 120 g ก่อนการทดสอบแต่ละครั้งต้องทำความสะอาดใบรางจืดด้วยน้ำปริมาณ 2 L และผึ่งลมเป็นเวลา 10 นาที

2. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อม

เครื่องอบแห้งที่นำมาใช้ในครั้งนี้เป็นการนำเฉพาะส่วนที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล [10] ดังแสดงในภาพที่ 1 มาประยุกต์ใช้อบแห้งใบรางจืด ประกอบด้วย แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (1) พื้นที่ 3.95 m^2 วางทำมุม 25.93° กับแนวระดับในทิศเหนือใต้ [11-12] และตู้อบ (2) มีพื้นที่หน้าตัด 0.09 m^2 ส่วยปลายของท่อระบายอากาศจะติดตั้งเครื่องเป่าลมแบบพกพา (3) ขนาด 600 W

ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อม

3. วิธีการทดลอง

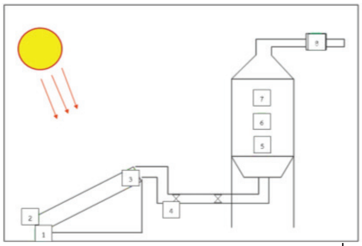
3.1. การทดสอบหาความชื้นของรางจืด

การทดสอบหาความชื้นเริ่มจากการนำใบรางจืดสดที่เตรียมไว้แบ่งใส่ตะแกรงมุ้งลวดจำนวน 4 ตะแกรงตะแกรงละ 30 g อบด้วยตู้อบแห้งไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105°C ชั่งทุกๆ 1 hr จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วคำนวณหาค่าความชื้นของใบรางจืด [13]

3.2. การทดสอบความเร็วลมที่เหมาะสม

แม้มีการทดสอบความเร็วลมและอุณหภูมิที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลัง าน แสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวลแล้ว [10] แต่ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการใช้ความร้อนในการอบแห้งที่เกิดจากแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ และได้มีการติดตั้งเครื่องเป่าลมแบบพกพาในตำแหน่งที่ใกล้กับตู้อบมากขึ้น จึงจำเป็นที่ต้องทดสอบหาอัตราการไหลของลมที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ลมร้อนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบแห้งใบสมุนไพร (ประมาณ 50-60°C) อีกครั้ง [14]

ในการทดสอบหาอุณหภูมิลมร้อนที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่อัตราการไหลของลม 6 ระดับ โดยแต่ละดับของอัตราการไหลของลมถูกทดสอบตั้งแต่เวลา 08.00 - 17.00 น. ของแต่ละวัน รวมทั้งสิ้น 9 ชั่วโมง ในแต่ละชั่วโมงได้มีการวัดความเร็วลม (ตำแหน่งที่ 4) อุณหภูมิ (ตำแหน่งที่ 1 - 8) และความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตำแหน่งวัดความเร็วลมและอุณหภูมิของเครื่องเครื่องอบแห้ง
ชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อม

3.3. การทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อลดความชื้นของใบรางจืด

เมื่อทดสอบหาอัตราการไหลของลมที่ทำให้ได้ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อมแล้ว นำใบราง จืดสดจัดเรียงใส่ลงในตะแกรงมุ้งลวดจำนวน 4 ตะแกรง ตะแกรงละ 30 g ดังแสดงในภาพที่ 3 และทุกๆ ชั่วโมงมีการวัดความเร็วลม อุณหภูมิ และความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ พร้อมกับสลับตำแหน่งตะแกรง และมีการเก็บตัวอย่างใบรางจืดในแต่ละถาดทุกๆ ชั่วโมงที่ 4 และ 9 ของแต่ละวันเป็นเวลา 3 วัน แล้วนำใบรางจืดที่ได้ไปทดสอบหาความชื้นที่เหลือในใบรางจืด

ภาพที่ 3 การจัดเรียงใบรางจืด

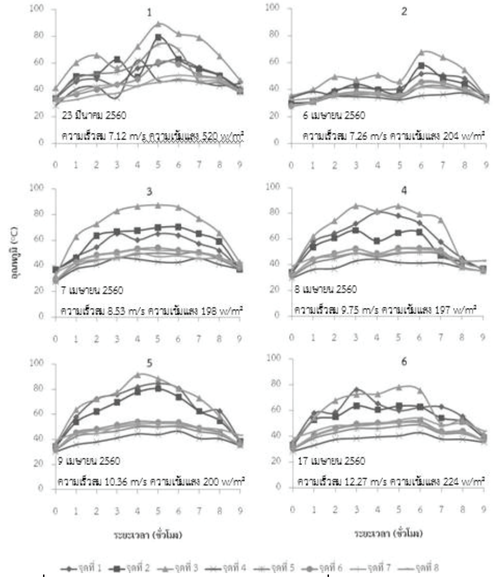
ระหว่างศึกษาการอบแห้งใบรางจืดด้วยเครื่องอบแห้งดังกล่าว ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบกับทำรางจืดแห้งด้วยวิธีการตากแดดตามธรรมชาติ และการอบแห้งด้วยเครื่องไฟฟ้า โดยมี ดำเนินการเช่นเดียวกับการอบแห้งใบรางจืดด้วยเครื่องอบแห้ง พร้อมคำนวณหาความชื้นของใบรางจืดที่เหลือหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการอบแห้งใบรางจืดที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 461.80 %มาตรฐานแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อม ภายใต้ความเร็วลม อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม เทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไฟฟ้า และการตากแดดตามธรรมชาติ

1. ความเร็วลมที่เหมาะสมต่อการอบแห้งรางจืด

การทดสอบหาอุณหภูมิลมร้อนที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่อัตราการไหลของลมแตกต่างกัน 6 ระดับเพื่อให้ได้อุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งส่วนใบของสมุนไพรโดยใช้เครื่องเป่าลมแบบพกพาที่สามารถปรับอัตราการไหลของลมได้ 6 ระดับซึ่งระดับที่ 1-6 มีอัตราการไหลดังนี้ 3.49, 3.56, 4.18, 4.78, 5.08 และ 6.01 m^3/min จากน้อยไปมากตามลำดับ



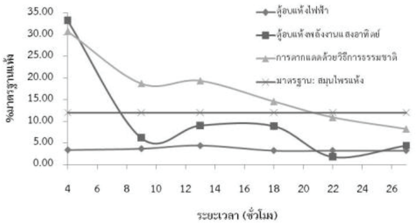
ภาพที่ 4 อุณหภูมิลมร้อนที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ที่อัตราการไหลของลมแตกต่างกัน 6 ระดับ

การศึกษาพบว่าที่อัตราการไหลของลมร้อนที่ 4.18 m^3/min เป็นอัตราการไหลของลมที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถทำให้อุณหภูมิลมร้อนที่ออกจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยสูงกว่า 65°C เป็นเวลา 7 hr นอกจากนั้นที่อัตราการไหลของลมดังกล่าวส่งผลให้ตู้อบแห้งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันทั่วทั้งตู้ภายในเวลา 3 hr และตู้อบแห้งมีอุณหภูมิสูงกว่า 50°C เป็นเวลานานถึง 6 ชั่วโมง ดังนั้นที่อัตราการไหลของลมที่ 4.18 m^3/min จึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้ทดสอบอบแห้งใ บรางจืดในลำดับต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 4

2. ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการอบแห้งรางจืด

การอบแห้งใบรางจืด ด้วยเครื่องอบแห้งเครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อมได้ดำเนินการภายใต้ความเร็วลมที่เหมาะสม ในวันที่ 25 เมษายน 2560 ตั้งแต่เวลา 8.00 น. - 17.00 น. ซึ่งในวันดังกล่าวมีความเข้มแสงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย 544 w/m^2 ผลการอบแห้ง พบว่า รางจืดความชื้นลดลงจาก 461.80 %มาตรฐานแห้ง เหลือ 6.18 % มาตรฐานแห้งภายในเวลา 9 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่าการอบแห้งรางจืดด้วยเ ครื่องอบแห้งไฟฟ้าประมาณ 3 ชั่วโมง แม้อุณหภูมิที่ภายในตู้อบแห้งของเครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อมต่ำกว่าตู้อบแห้งไฟฟ้าถึง 10°C และมีการเปิดตู้อบเพื่อสลับถาดอบแห้งเป็นระยะซึ่งส่งผลให้ตู้อบแห้งมีอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอเหมือนตู้อบแห้งไฟ ฟ้า แต่อย่างไรก็ตามการใช้ อัตราการไหลของลม เพื่อระบายความชื้นที่มากกว่าจึงทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งไม่แตกต่างต่างกัน สำหรับการทำรางจืดแห้งด้วยวิธีการตากแดดตามธรรมชาติที่ศึกษาใ นวันและเวลาเดียวกันกับการอบแห้ง ด้วยเครื่องอบแห้ง ทั้ง 2 แบบนั้นมีค่าเท่ากับ 18.71 %มาตรฐานแห้ง ซึ่งไม่สามารถลดความชื้นในใบรางจืดได้ ถ้าต้องการลดความชื้นใบรางจืดด้วยการตากแดดตามธรรมชาติให้สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: สมุนไพรแห้ง [15] ต้องใช้เวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 5

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งชนิดพาความ ร้อนแบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อมสามารถนำไปใช้ในการอบแห้งใบรางจืดแทนการอบแห้งด้วยตู้อบไฟฟ้าได้



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบระยะเวลาและความชื้นจากการอบแห้งแต่ละวิธี
เทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: สมุนไพรแห้ง

สรุปผลการวิจัย

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบบังคับที่รับแสงอาทิตย์โดยอ้อมสามารถลดความชื้นใบรางจืดจาก 461.80 เหลือ 6.18 %มาตรฐานแห้ง ภายในเวลา 9 hr ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 50°C ภายใต้อัตราการไหลของลมที่ 4.18 m^3/min

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏชัย ภูมิที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษารายวิชา 1056452 หัวข้อพิเศษทางวิทยาศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2559

เอกสารอ้างอิง

[1] วิระวรรณ วิสิฐพงศ์พันธ์, วีระวรรณ เรืองยุทธิการณ์, อำไพ ปั๋มทอง, อุษณีย์ วินิจเขตคำนวณ, นิรัชร์ เลิศประเสริฐสุข และ ไชยยง รุจจนเวช (2546). การทดสอบความเป็นพิษของน้ำสกัดใบรางจืด (*Thunbergia laurifolia Lindl.*) ในหนูขาว, **วารสารสมุนไพร**, 10 (2), 23-36.

[2] กรมพัฒนาการแพทยแผนไทยและการแพทยทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข (2557). **คู่มือสมุนไพรล้างพิษสำหรับประชาชน**, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์คณะรัฐมนตรีและราชกิจจานุเบกษา.

[3] ณรงค์ ศรีจันทร์, อนุวัฒน์ อานัน และ อัมรินทร์ สีสนิท (2556). การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งด้วยระบบน้ำร้อนแสงอาทิตย์, ปริญญานิพนธ์ อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

[4] จารุวัฒน์ เจริญจิต (2555). เทคโนโลยี การอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ และแนวทางการพัฒนา . **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 17 (1), 110-124.

[5] อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และศักชัย จงจำ (2553). การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด . **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**. 15 (2), 76-86.

[7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุ รักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2547). **รายงานวิจัยการพัฒนา สาธิตและเผยแพร่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตผลทางการเกษตร**, 1-238

[8] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2555). **ทฤษฎีพลังงาน** สืบค้นเมื่อ 14 กันยายน 2560, จาก www.thailandenergyeducation.com.

[9] ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์, เทิดทวี อ้วนสี, นิพนธ์ มหาพรหม และนันทวัฒน์ พลายเมือง (2550). “การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งพริกแบบต่อเนื่องโดยใช้กระบวนการอบแห้งตามเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด ”, ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 ประจำปี 2550**, 218-225. วันที่ 17-19 ตาคม 2559 ณ โรงแรมแวลคัม จอมเทียน บีช จังหวัดชลบุรี. ชลบุรี : โรงเรียนนายเรืออากาศ.

[10] สุรชัย จันทร์ศรี, จีราภรณ์ จันทร์เขียน, นฤมล ภูสิงห์, ปารณีย์ ชมพูพระ, ดุษฎีพร หิรัญ และประภัสสรา ระกิติ (2559). “การออกแบบและทดสอบเครื่องอบแ ห้งพริกโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล ”. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติเครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ ครั้งที่ 11 ประจำปี 2559**, 102-110. วันที่ 19-20 ธันวาคม 2559 ณ อาคารสุรพัฒน์ 2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา . นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[11] Hassanain, A.A. (2009). Simple solar drying system for banana fruit, **World journal of agricultural sciences**, 5 (4), 446-455.

[12] Zomirodian, A. and Zamanian, M. (2012). Designing and evaluating an innovative solar air collector with transpired absorber and cover**. ISRN renewable energy**, 1-5.

[13] นฤดี พงศ์กิจวิทูร, สุวิช ศิริวัฒนโยธิน, สายลม สัมพันธ์เวชโสภา และทิพาพร อยู่วิทยา (2544). ปัจจัยการผลิตกล้วยหอมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจย.** 24 (1), 69-84.

[14] สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล , จุฑารัตน์ ทะสะระ , จุไรรัตน์ สุริยงค์, ปิยาภรณ์ ปานกำเนิด และยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล. (2556). "การอบแห้งใบเตยและตะไคร้เพื่อผลิตเป็นชาชงสมุนไพรด้วยแหล่งพลังงานความร้อนหลายรูปแบบ ". ใน**การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติครั้งที่ 6 ประจำปี 2556**, 570-577. วันที่ 1-4 เมษายน 2556 ณ โรงแรมหัวหินแกรนด์ แอนด์พลาซ่า จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. ประจวบคีรีขันธ์ : สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย.

[15] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ อุตสาหกรรม (2547). **มาตรฐานผลิตภัณฑ ชุมชนสมุนไพรแห ง (มผช.480/2547)**, สืบค้นเมื่อ 14 กันยายน 2560, จาก www.agriman.doae.go.th.

ตัวควบคุมพลังงานไฟฟ้าในรถแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อน

Power Controller in Solar Vehicles for Efficient Driving

ศรายุทธ วงศ์สุนทร[1*] อนันตชัย สงเสริม[2] และ ธีรพงษ์ ฉิมเพชร[3]

Sarayut Wongsuntron[1] Anantachai Songserm[2] and Teerapong Chimphet[3]

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาตัวควบคุมพลังงานไฟฟ้าในรถแสงอาทิตย์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนซึ่งได้แก่ การทำให้รถแสงอาทิตย์วิ่งได้ระยะทางไกลขึ้นและช่วยลดปัญหาการสูญเสียพลังงานที่ผลิตได้จากแผ่นโซล่าเซลล์ ทำการออกแบบและสร้างรถแสงอาทิตย์ขนาด 1 ที่นั่งมีกำลังการผลิตไฟฟ้าเพื่อการขับเคลื่อนขนาด 350 วัตต์ ตัวควบคุมอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 เป็นตัวประมวลผลกลาง โดยรับค่าจากเซนเซอร์ซึ่งประกอบไปด้วย ตัววัดแรงดัน ตัววัดอุณหภูมิของแผ่นโซล่าเซลล์ ตัววัดความเร็ว และตัววัดกระแส ตัวควบคุมจะทำงานตามเงื่อนไขและบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าของตัวรถให้มีประสิทธิภาพอย่างสูงสุด ทำการทดลองการทำงานของรถแสงอาทิตย์ที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในขณะไร้ตัวควบคุมและมีตัวควบคุม ผลการทดลองพบว่าขณะรถแสงอาทิตย์วิ่งแบบไร้ตัวควบคุมพลังงานจะทำให้วิ่งได้ระยะทาง 37.5 กิโลเมตร และเมื่อติดตั้งตัวควบคุมพลังงานรถแสงอาทิตย์จะวิ่งได้ระยะทางเพิ่มขึ้น 46.8 กิโลเมตร ซึ่งคิดเป็นค่าประสิทธิภาพในการทำงานที่เพิ่มขึ้น 24.68 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าตัวควบคุมพลังงานไฟฟ้าในรถแสงอาทิตย์สามารถเพิ่มระยะทางในการวิ่งได้เพิ่มขึ้น ลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผ่นโซล่าเซลล์จนเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: ตัวควบคุมพลังงาน รถแสงอาทิตย์ โซล่าเซลล์

[1,2] นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

[3] อาจารย์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

* Corresponding author: Tel.: 089-4701442. E-mail address: ch_teerapong@hotmail.com

Abstract

The research paper presents the design and development of an electric power controller in solar vehicles. The objective of the research was to maximize driving efficiency by making a solar vehicle run for a longer distance and help reduce the loss of electric energy produced by a solar cell panel. A solar vehicle was designed with one seat, equipped with a 350- watt electric generator. A power controller based on a microcontroller Aduino UNO R3 was used as a Processor. The Processor received values from a sensor which consisted of a voltage sensor, a temperature gauge of solar cell, a speed meter, and a current meter. The controller worked under preset conditions and maximized electric power in a vehicle. The solar vehicle with and without power controller installation was experimented at a speed of 20 kilometers per hour. The result indicated that the solar vehicle without a power controller could run for 37.5 kilometers whereas the solar vehicle with a power controller could run for 46.8 kilometers or 24.68% of increased driving efficiency. Therefore, it can be concluded that an electric power controller in a solar vehicle could increase a driving distance and reduce the loss of electric energy produced by a solar cell panel and that it could help maximize a driving efficiency.

Key words: Power controller, Solar Vehicles, solar cell

บทนำ

ปัจจุบันยานพาหนะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ซึ่งยานพาหนะส่วนใหญ่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้ได้กำลังงานในการขับเคลื่อน การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในหลายด้านอีกทั้งยังมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสูงมากในปัจจุบันส่งผลให้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงของโลกลดน้อยลง ดังนั้นจึงมีความพยายามในการหาพลังงานทางเลือกมาใช้กับยานพาหนะเพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงและเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมไปด้วย ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เวลานี้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลกเป็นพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูงสามารถนำมาใช้อย่างไม่หมดสิ้น จนหน่วยงานทั่วโลกได้มีการพัฒนารถพลังงานไฟฟ้าที่อาศัยพลังงานจากแผ่นโซล่าเซลล์มาใช้ในการขับเคลื่อนและพัฒนาเป็นพาหนะในชีวิตประจำวันเป็นจำนวนมาก ตัวอย่างรถพลังงานไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 1 โดยเป็นรถที่ติดตั้งแผ่นโซล่าเซลล์ไว้ส่วนบนของหลังคา เป็นรถที่สามารถใช้วิ่งได้จริงบนถนนปกติภายในตัวรถสามารถนั่งได้เพียงคนเดียว

ภาพที่ 1 ตัวอย่างการพัฒนารถพลังงานไฟฟ้า [1]

จากการศึกษาพบว่าระบบการขับเคลื่อนรถแสงอาทิตย์จะประกอบด้วย แหล่งกำเนิดพลังงาน อุปกรณ์ตรวจวัด อุปกรณ์ประจุพลังงานในแบตเตอรี่ อุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์และมอเตอร์ไฟฟ้าที่เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน เห็นได้ว่าระบบภายในดังกล่าวเป็นระบบขับเคลื่อนแบบพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ต่ำขาดการบริหารจัดการพลังงานที่ผลิตได้ให้มีความคุ่มค่า การขับเคลื่อนรถแสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีตัวควบคุมที่ทำหน้าที่ในการบริหารจัดการพลังงานที่ผลิตได้จากแผ่นโซล่าเซลล์ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของตัวรถเช่น ช่วยเพิ่มระยะการวิ่งให้มีระยะทางไกลขึ้น ช่วยควบคุมการประจุพลังงานในแบตเตอรี่ ช่วยควบคุมความเร็วและแรงบิดในการหมุนของมอเตอร์เป็นต้น หากทำการออกแบบตัวควบคุมพลังงานให้มีความสามารถดังกล่าวข้างต้นก็จะเป็นการช่วยให้รถแสงอาทิตย์ใช้พลังงานที่ผลิตได้อย่างคุ้มค่าและลดกำลังสูญเสียในการขับเคลื่อนได้เป็นอย่างดี

ด้วยปัญหาข้างต้นนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาตัวควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผ่นโซล่าเซลล์มาใช้ในรถแสงอาทิตย์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจัดทำตัวควบคุมพลังงานในแสงอาทิตย์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อน ซึ่งมุ่งเน้นประสิทธิภาพด้านระยะทางในการเคลื่อนเป็นสำคัญโดยทำการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ความเร็วในการเคลื่อนที่ และพลังงานภายในแบตเตอรี่มาบริหารจัดการให้มีความคุ้มค่าต่อการทำงานมากที่สุดโดยอาศัยตัวประมวลผลขนาดเล็กต้นทุนในการผลิตที่ต่ำมาเป็นตัวประมวลผลตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้งานได้สร้างขึ้น อีกทั้งผู้ขับขี่รถแสงอาทิตย์สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของรถได้ง่ายเช่นเดิม

วิธีการวิจัย

ผู้วิจัยทำการออกแบบโครงสร้างรถแสงอาทิตย์ประกอบด้วยโครงสร้างที่เชื่อมขึ้นรูปจากท่อโลหะแข็งขนาด 1/2 นิ้ว โดยขนาดโครงสร้างหลังจากขึ้นรูปจะมีขนาด ความยาว 1.65 เมตร ความกว้าง 0.6 เมตรและความสูง 0.25 เมตร มีพื้นที่ภายในที่รองรับผู้โดยสารได้เพียงแค่หนึ่งที่นั่ง องค์ประกอบภายนอกของรถแสงอาทิตย์ ประกอบจากไฟเบอร์กลาสที่มีความแข็งแรงทำให้รถแสงอาทิตย์มีขนาดภายนอกคือ ความยาว 3 เมตร ความกว้าง 1.4 เมตร และความสูง 1 เมตร ซึ่งด้านบนของโครงสร้างภายนอกจะประกอบด้วยชุดเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากการนำแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์มาเชื่อมต่อกันเป็นแถวเพื่อให้สามารถรับพลังงานจากแสงแดดได้ดีที่สุด รถแสงอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 2

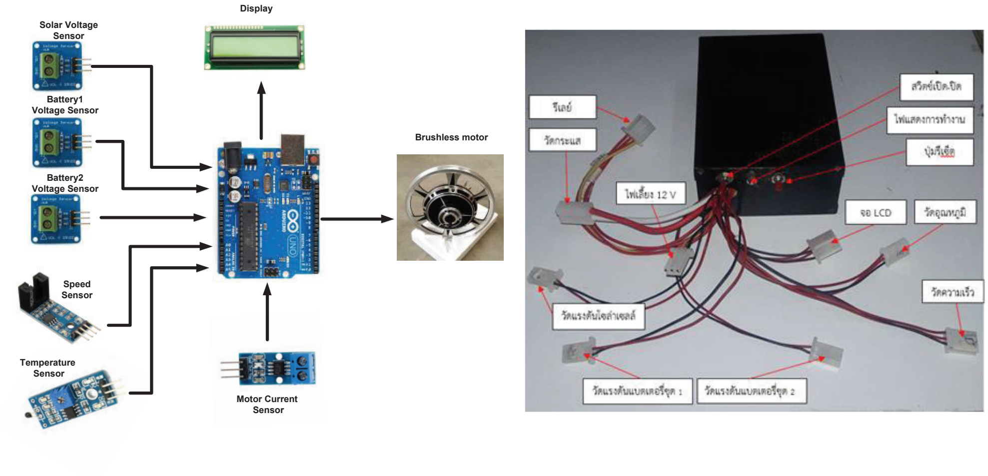
ภาพที่ 2 รถแสงอาทิตย์

โดยคุณสมบัติด้านไฟฟ้าของรถแสงอาทิตย์ที่ผู้วิจัยกำหนดประกอบไปด้วย แผ่นโซล่าเซลล์ชนิด Mono Crystalline มีลักษณะทางกายภาพเท่ากับ 6x6 นิ้วมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร พิกัดกำลังเท่ากับ 3.62 วัตต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 7.24 แอมแปร์และผลิตแรงดันไฟฟ้าได้สูงุด 0.6 โวลต์ต่อหนึ่งแผ่นเซลล์ นำแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์มาประกอบเป็นชุดเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการเชื่อมต่อแต่ละแผ่นเข้าด้วยกันในลักษณะการต่ออนุกรมเพื่อให้สามารถผลิตแรงดันได้เท่ากับ 36 โวลต์แล้วติดตั้งชุดเซลล์แต่ละชุดบนโครงสร้างด้านบนของตัวรถ

แบตเตอรี่ จะแบ่งออกเป็น 2 ชุด โดยแต่ละชุดผู้วิจัยเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาดแรงดัน 12 โวลต์ 20 แอมแปร์-ชั่วโมง ต่ออนุกรมกัน 3 ลูก เพื่อให้ได้แรงดัน 36 V ตามที่มอเตอร์ต้องการ

ต้นกำลังในการขับเคลื่อนจะอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้รถแสงอาทิตย์เคลื่อนที่ได้แค่สองทิศทาง โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน Brushless DC motor พิกัดกำลังเอาต์พุต 350 วัตต์ แรงดันทำงานเท่ากับ 36 โวลต์ มีความเร็วรอบสูงสุด 266 รอบต่อนาที

ผู้วิจัยทำการออกแบบตัวควบคุมพลังงานในรถแสงอาทิตย์ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดแรงดัน เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เซนเซอร์วัดความเร็ว เซนเซอร์วัดกระแส โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 เป็นตัวประมวลผลกลางซึ่ง การต่อใช้งานและต้นแบบตัวควบคุมแสดงดังภาพที่ 3

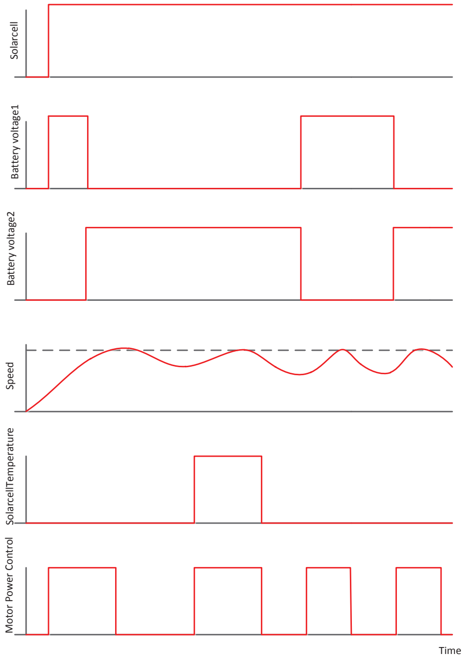


ภาพที่ 3 การต่อใช้งานและต้นแบบตัวควบคุม

การทำงานของตัวควบคุมพลังงานในรถแสงอาทิตย์สามารถอธิบายในแต่ละภาคส่วนได้ดังต่อไปนี้ 1) ตัวตรวจวัดแรงดันโซล่าเซลล์มีหน้าที่ในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าที่แผ่นโซล่าเซลล์ผลิตได้และส่งค่าที่ตรวจวัดได้ไปยังตัวประมวลผลเพื่อการควบคุมการประจุไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ 2) ตัวตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่ประกอบด้วยสองส่วนคือ แต่ละส่วนจะแยกการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่แต่ละชุด โดยแบตเตอรี่จะสลับการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับต้นกำลังตามเปอร์เซ็นต์ของแรงดันไฟฟ้าที่คงเหลืออยู่ภายในแบตเตอรี่ซึ่งขึ้นอยู่กับการตัดสินใจตามเงื่อนไขของไมโครคอนโทรลเลอร์ 3) ตัวตรวจวัดอุณหภูมิมีหน้าที่ในการตรวจวัดอุณหภูมิที่แผ่นโซล่าเซลล์เพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าเกินจนทำให้มีอุณหภูมิที่สูง 4) ตัวตรวจวัดความเร็วของรถแสงอาทิตย์มีหน้าที่ในการตรวจวัดความเร็วในการเคลื่อนที่เพื่อใช้ในการบริหารจัดการกับพลังงานที่เหลืออยู่ให้คุ้มค่าที่สุด 5) ตัวตรวจวัดกระแสมีหน้าที่ในการตรวจวัดกระแสของต้นกำลังในขณะใช้งานของรถเพื่อให้ผู้ใช้งานรถแสงอาทิตย์ทราบถึงเปอร์เซ็นต์โหลดของต้นกำลัง

ผู้วิจัยได้ออกแบบเงื่อนไขโปรแกรมในการประมวลผลและตัดสินใจให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้รถแสงอาทิตย์ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพแสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งสามารถอธิบายเงื่อนไขการทำงานได้ดังนี้ เมื่อเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนสตาร์ทตัวควบคุมพลังงานจะทำการวัดแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ทั้ง 2 ชุด หากแรงดันที่แบตเตอรี่ชุดใดชุดหนึ่งมีแรงดันสูงตัวควบคุมจะสั่งการให้แบตเตอรี่ชุดนั้นจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับต้นกำลังเพื่อให้เกิดการออกตัวของตัวรถ แม้ตัวรถแสงอาทิตย์จะจอดในที่ร่มเพราะขณะออกตัวมอเตอร์ไฟฟ้าจะดึงกระแสไฟฟ้าสูง และเมื่อแผงโซล่าเซลล์ได้รับพลังงานจาก

แสงแดดตัวควบคุมจะทำการประจุไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่อีกชุดที่ไม่ได้ใช้งาน และเมื่อรถแสงอาทิตย์ออกตัวไปได้ซักระยะตัวรถจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่งที่ผู้วิจัยได้ตั้งค่าไว้ตัวควบคุมพลังงานจะควบคุมให้ตัดพลังงานไฟฟ้าออกจากต้นกำลังเพื่อให้รถแสงอาทิตย์วิ่งต่อไปด้วยแรงเฉื่อย จนเมื่อความเร็วลดลงถึงค่าต่ำสุดที่มีการกำหนดไว้ก็สั่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ต้นกำลังอีกครั้งเป็นลักษณะนี้ไปตลอดการเคลื่อนที่ หากอุณหภูมิที่แผ่นโซล่าเซลล์มีค่าสูงเกิน ตัวควบคุมจะสั่งการให้หยุดการประจุพลังงานให้กับแบตเตอรี่ทันที และรถแสงอาทิตย์จะวิ่งต่อด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว จนเมื่อรถวิ่งไปได้ระระทางไกลแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ขณะนั้นจะมีค่าลดลง ตัวควบคุมพลังงานจะสลับการใช้งานชุดแบตเตอรี่ที่มีแรงดันสูงกว่าแทนทันที



ภาพที่ 4 เงื่อนไขการในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์

หลังจากที่ได้ทำการประกอบทุกอย่างเข้าด้วยกันแล้ว ก็สามารถนำไปติดตั้งภายในรถแสงอาทิตย์และนำรถออกไปขับบนถนนได้ซึ่งแสดงภาพที่ 5

ภาพที่ 5 การนำรถแสงอาทิตย์ไปขับบนถนน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบโครงงานนี้เป็นการทดสอบ โดยการนำตัวควบคุมพลังงานในรถแสงอาทิตย์มาทำการทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้า การทดสอบการขับเคลื่อนด้านไฟฟ้า การทดสอบประสิทธิภาพการขับเคลื่อนในการใช้งาน การทดสอบประสิทธิภาพการวัดความเร็ว ผลการทดสอบสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

การทดสอบประสิทธิภาพการวัดแรงดันไฟฟ้า

ทำการทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าที่แผ่นโซล่าเซลล์และทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการวัดแรงดันไฟฟ้า

ตำแหน่งที่ทดสอบ	แรงดัน (V)
แผ่นโซล่าเซลล์	36.0
แบตเตอรี่ชุดที่ 1	37.0
แบตเตอรี่ชุดที่ 2	33.0

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าตัวควบคุมพลังงานในรถแสงอาทิตย์สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้ทั้ง 3 ตำแหน่ง และผลการทดลองจากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมจะให้รถแสงอาทิตย์ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ชุดที่ 1 และให้แบตเตอรี่ชุดที่ 2 ทำการประจุพลังงานจากแผ่นโซล่าเซลล์

การทดสอบการขับเคลื่อนด้านไฟฟ้า

ทำการทดสอบวัดแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้า ขณะรถแสงอาทิตย์เริ่มออกตัวและขณะรถแสงอาทิตย์วิ่งด้วยความเร็ว 10 , 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทำการทดสอบจนกระทั่งรถแสงอาทิตย์ไม่สามารถวิ่งได้
ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการขับเคลื่อนด้านไฟฟ้า

ลักษณะการทดสอบ	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
ขณะออกตัว	37.7	14.49	546.2
วิ่งด้วยความเร็ว 10km/h	37.8	13.03	492.5
วิ่งด้วยความเร็ว 20km/h	38.0	9.07	344.6
ไม่สามารถวิ่งได้	35.0	0	0

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่ารถแสงอาทิตย์จะใช้พลังงานมากในช่วงขณะออกตัวโดยจะมีอัตราการใช้พลังงานน้อยลงเมื่อรถแสงอาทิตย์ออกตัวไปได้ระยะทางหนึ่ง และจะใช้พลังงานน้อยที่สุดในขณะที่วิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานจากแบตเตอรี่หรือพลังงานที่ผลิตได้จากโซล่าเซลล์ผู้ใช้งานควรขับเคลื่อนให้รถแสงอาทิตย์วิ่งด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อทำให้รถแสงอาทิตย์ใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพการขับเคลื่อนในการใช้งาน

ทำการทดสอบวัดความเร็ว วัดระยะทางที่รถแสงอาทิตย์วิ่งได้ต่อเนื่องในกรณีที่ไม่มีแสงแดด โดยทำการทดสอบในบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4

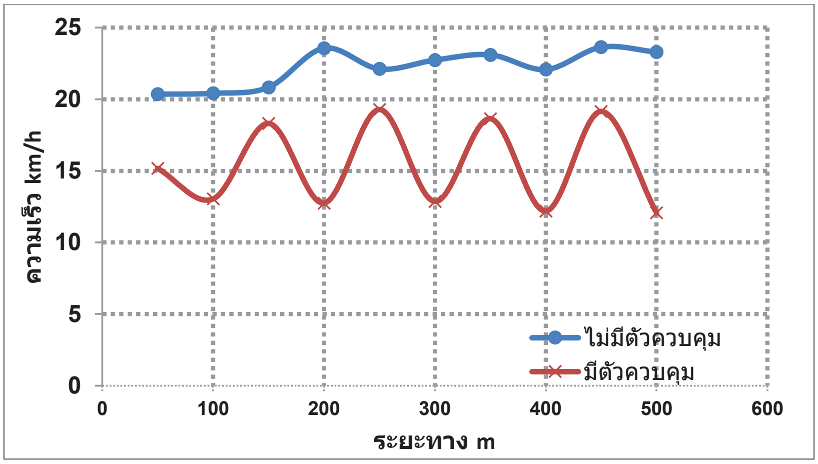
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งาน

ลักษณะการทดสอบ	ผลการทดสอบ	
	ไม่มีตัวควบคุม	มีตัวควบคุม
ความเร็วเฉลี่ย (km/h)	22.20	15.80
ความเร็วสูงสุด (km/h)	23.63	19.28
ระยะทางที่วิ่งได้ (km)	37.50	46.80

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าความเร็วของรถแสงอาทิตย์ในขณะที่ไม่มีตัวควบคุมจะสูงกว่าความเร็วของรถแสงอาทิตย์ในขณะมีตัวควบคุม เพราะผู้วิจัยได้จำกัดความเร็วของรถแสงอาทิตย์ที่มีตัวควบคุมไว้ไม่เกิน 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

การทดสอบประสิทธิภาพการวัดความเร็ว

ทำการทดสอบโดยการนำรถแสงอาทิตย์ไปขับ 2 ครั้ง โดยครั้งแรกขับรถแสงอาทิตย์โดยไม่มีตัวควบคุมและครั้งที่สองขับรถแสงอาทิตย์โดยมีตัวควบคุมเป็นระยะทางตรง 500 เมตรเท่ากันทั้งสองครั้ง ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพด้านการวัดความเร็ว

จากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าความเร็วของรถแสงอาทิตย์ในขณะไม่มีตัวควบคุมจะมีลักษณะค่อนข้างคงที่ ส่วนความเร็วของรถแสงอาทิตย์ในขณะมีตัวควบคุมจะมีลักษณะค่อนข้างไม่คงที่ ดังภาพที่ 5 เพราะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบให้รถแสงอาทิตย์ที่มีตัวควบคุมวิ่งด้วยแรงเฉื่อยเพื่อประหยัดพลังงานของแบตเตอรี่และผู้วิจัยยังออกแบบให้รถแสงอาทิตย์วิ่งในความเร็วไม่เกิน 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

สรุปผลการวิจัย

ผลที่ได้จากการทดสอบตัวควบคุมพลังงานในรถแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อน โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino UNO R3) เป็นตัวประมวลผลกลาง พบว่าประสิทธิภาพของการประจุแบตเตอรี่แม้ในขณะที่มีแสงแดดน้อยๆก็ยังสามารถประจุเข้ากับแบตเตอรี่ได้ โดยการแบ่งแบตเตอรี่ออกเป็น 2 ชุด โดยแยกการใช้งานและการประจุสลับกัน ผลที่ได้คือสามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้ใช้งานได้นานขึ้น และในส่วนของระยะทางที่วิ่งได้ต่อเนื่องจากผลการทดสอบโครงงานรุ่นก่อนโดยไม่มีตัวควบคุมพลังงานในรถแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนพบว่าสามารถวิ่งได้ระยะทางทั้งหมด 37.55 กิโลเมตร และผลจากการทดสอบหลังรถแสงอาทิตย์มีตัวควบคุมพลังงานในรถแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนพบว่าสามารถวิ่งได้ระยะทางทั้งหมด 46.80 กิโลเมตร จากการทดสอบพบว่าระยะทางที่รถแสงอาทิตย์วิ่งได้เพิ่มขึ้นจากเดิม 24.68 เปอร์เซ็นต์

เอกสารอ้างอิง

[1] Zach. Solar Car That Seats 4 สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2560, จาก http://solarlove.org/solar-car-that-seats-4/

[2] Nasser Alnunu. "***Design of Qatar University's first solar car for Shell Eco-marathon competition***", 2012 First International Conference on Renewable Energies and Vehicular Technology. Conference & Exposition, 2012, pp. 49 - 54.

[3] Raghu Mangu. "***Design, Development and Optimization of Highly Efficient Solar Cars: Gato del Sol I-IV***", 2010 IEEE Green Technologies Conference, 2010 IEEE 2010, pp. 1 - 6.

[4] Ahmet Fenercıoğlu. "***Design of PV Panel For a Solar Car***", Electrical, Electronics and Computer Engineering (ELECO), 2010 National Conference on, 2010, pp. 37 - 40.

[5] Engin Yesil. "***Strategy optimization of a solar car for a long-distance race using Big Bang — Big Crunch optimization***", Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 2013 IEEE 14th International Symposium on, 2013, pp. 521 - 526.

[6] Vineeth V. Vincent. "***Advanced Hybrid System for Solar Car***", Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC), 2013 International Conference on, 2013, pp. 21 - 27.

[7] Laurianne Ménard. "***Modeling of an hybrid solar car with a lithium-ion battery***", 2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2010, pp. 1 - 6.

การนำเสนอผลงานวิจัย**ภาคบรรยาย**
Oral Presentations

Session

การจัดการพลังงานในชุมชน

บทความสำหรับการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10

Manuscript Preparation Guidelines for TREC-10

การศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นลดอุณหภูมิอากาศจากภายนอกด้วยระบบน้ำหยดจากวัสดุในท้องถิ่น (EFFICACY OF PLATES REDUCE THE OUTSIDE AIR TEMPERATURE WITH THE WATER DRIPPING SYSTEM FROM LOCAL MATERIALS)

วิชชุดา ภาโสม[1*] **ธนพนธ์ อมรสิน**[1] **ไกรษร เทพกัน**[1]

[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

บทคัดย่อ

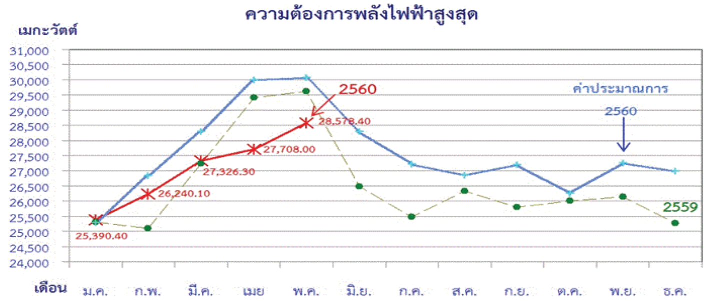
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นลดอุณหภูมิอากาศจากภายนอกด้วยระบบน้ำหยดจากกระสอบป่าน ในระบบทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยทำการทดสอบแผ่นลดอุณหภูมิขนาด 90x70x1 เซนติเมตร มาติดตั้งไว้ที่ด้านหลังห่างจากคอนเดนเซอร์ 5 เซนติเมตร จากผลการทดลองพบว่า แผ่นลดอุณหภูมิที่หนา 3 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพถึง 76.52 % ปริมาณกระแสที่ลดได้ 2.98 แอมแปร์ อัตราการระเหย -0.27 kg/s และปริมาณความชื้น 8.98 % มีประสิทธิภาพดีกว่าแผ่นที่มีความหนา 1 เซนติเมตร ที่มีประสิทธิภาพ 61.67% ปริมาณกระแสที่ลดได้ 0.22 แอมแปร์ อัตราการระเหย -0.56 kg/s และปริมาณความชื้น 10.95 % และที่มีความหนา 2 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพ 40.48% ปริมาณกระแสที่ลดได้ 0.35 แอมแปร์ อัตราการระเหย -0.34 kg/s และมีปริมาณความชื้น 14.01 % ที่อุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ 25 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วลมอัตโนมัติจะเห็นได้ว่าแผ่นลดอุณหภูมิที่ประดิษฐ์ขึ้นมีประสิทธิภาพในการช่วยลดอุณหภูมิอากาศจากภายนอกก่อนเข้าสู่ระบบทำความเย็นได้เป็นอย่างดีและยังช่วยให้ลดพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศได้อีกด้วย

คำสำคัญ: การระบายอากาศ การลดพลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน แผ่นลดอุณหภูมิอากาศ

*Corresponding author: Tel.: 0878119624. E-mail address: witchuda@snru.ac.th

บทนำ

จากการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี และมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด เข้าใกล้ปริมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าสำรองที่ประเทศสามารถผลิตได้เข้าไปทุกที่ ในปีปัจจุบัน พ.ศ. 2559 การใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด สูงถึง 29,618.80 เมกะวัตต์ ซึ่งมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมากกว่าที่รัฐบาลค่าประมาณการไว้ และเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากจากปีที่ผ่าน พ.ศ. 2558 ดังที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทย พ.ศ. 2559

(ที่มา: http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=348&Itemid=116) วันที่ 13/07/60

จากการค้นคว้าผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการลดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในสัดส่วนที่สูงมากในภาพรวมของทั้งประเทศ และสามารถทำได้โดยวิธีการหลักๆ อยู่ 2 ประเภท คือ

1) การเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้า 2) การใช้เทคนิคและอุปกรณ์เสริม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เช่น การออกแบบอาคารเพื่อลดการได้รับรังสีความร้อน การจัดการระบบน้ำระบายความร้อน และผู้วิจัยมีความสนใจการใช้แผ่นลดอุณหภูมิอากาศร้อนก่อนเข้าห้องปรับอากาศ

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบและการสร้างแผ่นลดอุณหภูมิอากาศจากภายนอกด้วยระบบน้ำหยดจากกระสอบป่าน โดยจะออกแบบและสร้างแผ่นลดอุณหภูมิจากกระสอบป่านที่มีขนาด 90×70×1 เซนติเมตร แล้วนำไปติดตั้งในระบบทำความเย็น โดยเพิ่มครั้งละ 1 แผ่น บันทึกกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปและอุณหภูมิที่ลดได้ ในขณะที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศได้ พบว่าจำนวน 3 แผ่น สามารถลดอุณหภูมิได้มากที่สุดจึงนำไปทดสอบการใช้งานจริงเป็นเวลา 14 วัน จากนั้นนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพกาทำความเย็นของแผ่นลดอุณหภูมิอากาศจากภายนอกด้วยระบบน้ำหยดจากกระสอบป่าน

รูปที่ 2 การติดตั้งแผ่นลดอุณหภูมิอากาศ

สมการการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นลดอุณหภูมิอากาศร้อนจากภายนอกด้วยวัสดุในท้องถิ่น

สมการหาค่าประสิทธิภาพของแผ่นลดอุณหภูมิ $\eta = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_c} \times 100$ (1)

โดยที่ η = ประสิทธิภาพแผ่นลดอุณหภูมิ (%)

T_{in} = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนผ่านแผ่นลดอุณหภูมิ ($°C$)

T_{out} = อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังผ่านแผ่นลดอุณหภูมิ ($°C$)

T_c = อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศหลังผ่านแผ่นลดอุณหภูมิ ($°C$)

สมการการหาเปอร์เซ็นความแตกต่างของแผ่นลดอุณหภูมิ $H = \frac{H_{in} - H_{out}}{H_{in}} \times 100$ (2)

โดยที่ H = ความชื้นของแผ่นลดอุณหภูมิ (%)

H_{in} = ความชื้นของแผ่นลดอุณหภูมิก่อนทดลอง

H_{out} = ความชื้นของแผ่นลดอุณหภูมิหลังทดลอง

สมการการหาอัตราการระเหยของน้ำที่แผ่นลดอุณหภูมิ $E = \rho AV(\omega_2 - \omega_1)$ (3)

โดยที่ E = อัตราการระเหยโดยมวลของน้ำ (kg / s)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg / m^3)

A = พื้นที่หน้าตัดของแผ่นลดอุณหภูมิที่อากาศไหลผ่าน (m^2)

V = ความเร็วลมที่ระบบระเหย (m / s)

ω_1 = อัตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนผ่านระบบการระเหย (kg น้ำ/ kg อากาศแห้ง)

ω_2 = อัตราส่วนความชื้นของอากาศหลังผ่านระบบการระเหย (kg น้ำ/ kg อากาศแห้ง)

สมการการหากระแสไฟฟ้าที่ลดได้หลังใส่แผ่นลดอุณหภูมิ $I = I_{in} - I_{out}$ (4)

โดยที่ I = กระแสไฟฟ้าที่ลดได้หลังใส่แผ่นลดอุณหภูมิ (A)

I_{in} = กระแสไฟฟ้าก่อนใส่แผ่นลดอุณหภูมิ

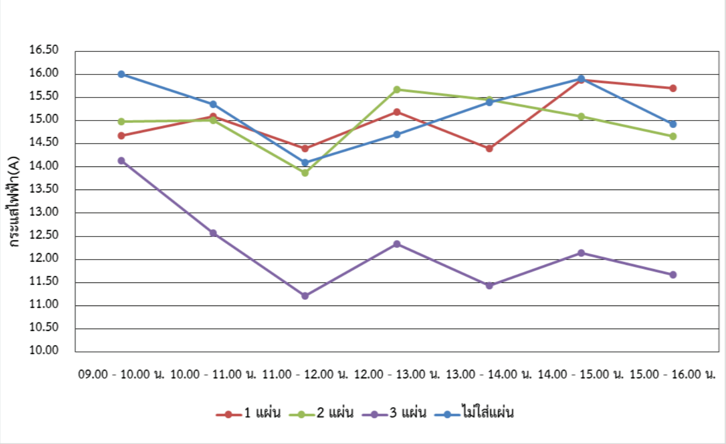
I_{out} = กระแสไฟฟ้าหลังใส่แผ่นลดอุณหภูมิ

ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพแผ่นลดอุณหภูมิ

ตัวแปรที่วิเคราะห์	1 แผ่น	2 แผ่น	3 แผ่น
η (%)	40.48	52.75	76.52
H (%)	10.95	14.01	8.98
$E\,(kg/s)$	-0.56	-0.34	-0.27
$I\,(A)$	0.22	0.35	3.19

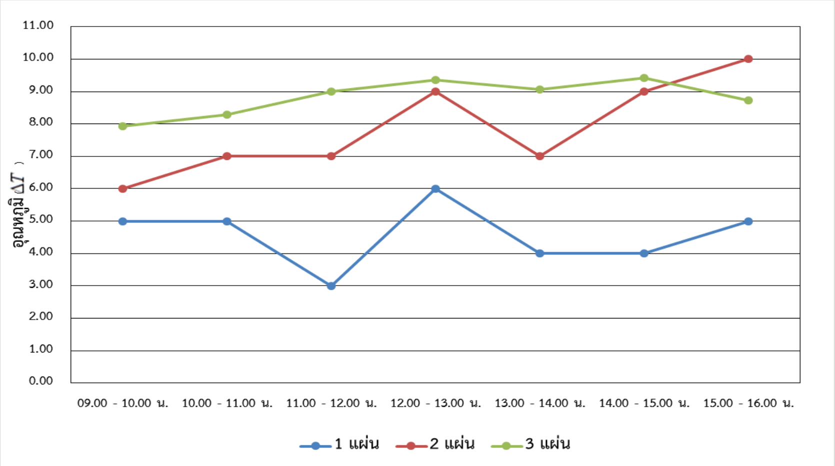
จากผลการทดลองแผ่นลดอุณหภูมิอากาศจากภายนอกด้วยระบบน้ำหยดจากกระสอบป่าน เพื่อจะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้า อุณหภูมิที่ลดได้และปริมาณความชื้นที่สะสมในแผ่นเพื่อช่วยในการระบายความร้อนจากอากาศภายนอกก่อนที่จะเข้าสู่ระบบปรับอากาศ



รูปที่ 3 กราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังใส่แผ่นลดอุณหภูมิอากาศร้อนจากภายนอก

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงปริมาณกระแสไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ของการเพิ่มแผ่นลดอุณหภูมิในแต่ละแผ่น จะเห็นได้ว่าการใช้กระแสไฟฟ้าจะลดลงหรือเพิ่มขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนของแผ่นลดอุณหภูมิ จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อไม่ใส่แผ่นลดอุณหภูมิจะใช้กระแสไฟฟ้ามากเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่แผ่นลดอุณหภูมิ 1 แผ่น 2 แผ่น และ 3 แผ่น ซึ่งจะใช้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยตามลำดับ 15.20A, 15.05A , 14.96A และ 12.22A ใช้กระแสไฟฟ้าน้อยที่สุด คือใส่แผ่นลดอุณหภูมิจำนวน 3 แผ่น เพราะเมื่อเพิ่มจำนวนแผ่นลดอุณหภูมิเข้าไปเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการเก็บสะสมความชื้นและเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสทำให้อากาศร้อนจากภายนอกมีเวลาในการแลกเปลี่ยนและคายความร้อนให้กับน้ำเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้อุณหภูมิที่ผ่านออกมามีค่าลดลงมาก ก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ จึงเป็นการลดภาระการทำงานให้กับคอนเดนเซอร์ ส่งผลให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานไฟฟ้า

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในแต่ละช่วงเวลาของการเพิ่มแผ่นลดอุณหภูมิในแต่ละแผ่นจะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเราเพิ่มจำนวนแผ่นลดอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าจำนวน1 แผ่น จะมีปริมาณความชื้นสะสมในแผ่นน้อยและรักษาความชื้นได้ไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวน 2 แผ่น และ 3 แผ่น ซึ่งจะมีปริมาณความชื้นสะสมมากขึ้นเฉลี่ยตามลำดับคือ 56.49%, 63.16% และ 72.13% จำนวน 3 แผ่น จะมีปริมาณความชื้นสะสมในแผ่นมากที่สุดตามความหนาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างพื้นที่เปียกและอากาศที่ไหลผ่าน



รูปที่ 4 อุณหภูมิที่ลดได้แต่ละช่วงเวลาที่ใส่แผ่นลดอุณหภูมิอากาศร้อนจากภายนอก

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิที่ลดได้ในแต่ละช่วงเวลา จากการเพิ่มจำนวนแผ่นลดอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิจะเพิ่มหรือลดลงขึ้นอยู่กับจำนวนแผ่นลดอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าจำนวน 1 แผ่น ลดอุณหภูมิได้น้อยสุดเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวน 2 แผ่น และ 3 แผ่น ซึ่งจะมีอุณหภูมิลดลงเฉลี่ยตามลำดับคือ 4.57℃ , 7.57℃ และ 8.83℃ และจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟที่สูงที่สุดคือเส้นกราฟสีแดงจำนวน 2 แผ่น ในช่วงเวลา 15.00 น. – 16.00 น. ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวมีฝนตกจึงทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มสูงจึงทำให้ลดอุณหภูมิได้สูงขึ้น แต่เส้นกราฟเขียวจำนวน 3 แผ่น จะลดอุณหภูมิได้มากและสม่ำเสมอ เพราะเมื่อเพิ่มจำนวนแผ่นลดอุณหภูมิก็จะทำให้น้ำและอากาศร้อนมีเวลาในการแลกเปลี่ยนและคายความร้อนเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้อุณหภูมิของอากาศร้อนมีค่าลดลงได้มากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของแผ่นลดอุณหภูมิอากาศจากภายนอกด้วยระบบน้ำหยดจากกระสอบป่าน พบว่าแผ่นลดอุณหภูมิขนาด 3 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพถึง 76.52 % ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ลดได้ 3.12 แอมแปร์ อัตราการละเหย -0.27 kg/s ความชื้น 8.98 % มีประสิทธิภาพสูงกว่าขนาด 1 เซนติเมตร ที่มีประสิทธิภาพ 61.67% ปริมาณกระแสที่ลดได้ 0.22 แอมแปร์ อัตราการละเหย -0.56 kg/s ความชื้น 10.95 % และที่ขนาดแผ่น 2 เซนติเมตร ที่มีประสิทธิภาพ 40.48% ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ลดได้ 0.35 แอมแปร์ อัตราการละเหย -0.34 kg/s ความชื้น 14.01 % ระหว่างการทดสอบปรับตั้งอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และปรับความเร็วลมเป็นแบบอัตโนมัติ และจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ลดได้และต้นทุน 1,600 บาท ในการผลิตแผ่นลดอุณหภูมิอากาศสามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้ 1 ปี 7 เดือน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร และสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) . (พ.ศ. 2553). ระบบปรับอากาศ (Air Conditioning System) . กรุงเทพมหานคร.

[2] การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) พฤศจิกายน 4, 2015/in Energy Conservation, Refrigeration & Air Condition, พลังงานไฟฟ้า http://ienergyguru.com/2015/11/energy-conservation-split-type / (26/10/2559)

[3] หลักการทำงานระบบปรับอากาศแบบวิธีการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling) http://tag.co.th/evaporative-cooling/ (26/10/2559)

[4] อนุมัติ ศิริเจริญพานิชย์, สัมพันธ์ ฤทธิเดชและบพิธ บุปผโชติ การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศโดยใช้ท่อความร้อนชนิดสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ,วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 33, 3 (พ.ค.-มิ.ย. 2557) 294-299.

[5] ธีรพงศ์ บริรักษ์ และพงษ์สวัสดิ์ คชภูมิ, การลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอนเดนเซอร์เพื่อเพิ่มสมรรถนะ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนด้วยการใช้ PVC Filling, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย พ.ศ. 2556

[6] ถวิกา ผาติดำรงกุล และ จตุวัฒน์ วโรดมพันธ์, ประสิทธิภาพการใช้งานจริงของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ, สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาตร์รังสิต พ.ศ. 2553

[7] ธงไชย เดิมดาและนุภาพ แย้มไตรพัฒน การศึกษาสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งแผ่นลดอุณหภูมิร่วมกับอินเวอร์เตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2553

[8] Abdollah Malli et al. (24 March 2011). Investigating the performance of cellulosic evaporative cooling pads. Energy Conversion and Management, 2598–2603.

[9] Mahsa Barzegar et al. (4 November 2011). Experimental evaluation of the performances of cellulosic pads made. Energy Conversion and Management, 24–29.

ME
002

กรณีศึกษาการประเมินศักยภาพพลังงานลมความเร็วต่ำที่อาคารสูงในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Case Study of Potential Assessment of Low Speed Wind Energy of High Building in Prince of Songkla University (Hatyai campus)

ธนพัฒน์ อัครชัยพันธุ์[1*] สันตวรรษ จิสมบูรณ์[2] สถิติเลื่อนแก้ว[2] และยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล[2]

[1]*สาขาเทคโนโลยีพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

[2]ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีพลาสมาและพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อประเมินศักยภาพพลังงานลมที่อัตราเร็วลมต่ำ ที่อาคารปฏิบัติการพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ ในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ความสูง 32 เมตร โดยใช้ข้อมูลการวัดช่วงระยะเวลา 1 ปี ของข้อมูลอากาศของสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาสงขลา กลุ่มงานเกษตรคอหงส์ เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงที่อาคาร ทั้งนี้เพื่อหาแนวทางการพัฒนาพลังงานลมสำหรับชุมชนในพื้นที่ที่มีอัตราเร็วลมต่ำ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการวัดจริงในพื้นที่และข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยามาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อสร้างผังลมหาอัตราเร็วลมเฉลี่ย ความหนาแน่นกำลังลมเฉลี่ย รวมถึงพารามิเตอร์ไวบูลล์ สรุปได้ว่า ค่าอัตราเร็วลมเฉลี่ย 3.4 m/s จัดเป็นลมเฉื่อยมีความรุนแรงไม่มากตามมาตราโบฟอร์ด ความหนาแน่นกำลังเฉลี่ย 50 W/m^2 พารามิเตอร์รูปร่างมีค่าเท่ากับ 1.46 (k factor) โดยทิศทางของลมส่วนใหญ่มาจากทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศเหนือ และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยา พบว่า บริเวณที่ศึกษามีค่าอัตราเร็วลมเฉลี่ย ใกล้เคียงกับค่าอัตราเร็วลมเฉลี่ยที่ได้จริง โดยมีค่าความหนาแน่นกำลังลมเฉลี่ยเท่ากับ 49 W/m^2 และค่าพารามิเตอร์รูปร่างเท่ากับ 1.49 โดยทิศทางลมส่วนใหญ่มาจากทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันออก โดยคาดว่าทดลองในงานนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาพลังงานลมอัตราเร็วต่ำสำหรับชุมชนต่อไป

คำสำคัญ : การประเมินศักยภาพพลังงานลม, การวัดพลังงานระดับจุลภาค, อัตราเร็วลมต่ำ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Abstract

The purpose of this research is to assessment of low speed wind potential at 32 meter above the ground of the Basic Science Center (BSC) Building Prince of Songkla University (Hatyai campus). Due to strategic study of low speed wind energy development for community, the 1 year measured data acquisition of the KhorHong Agro-meteorological station (Songkhla) comparing to the local measured data was statistical analyzed for determination of wind rose, average wind power density including to the Weibul's shape parameter. the results showed that an average of wind speed was about of 3.4 m/s (so-called breeze wind according to Beaufort scale) and average wind power density was 50 W/m^2 while the shape parameter (k) was 1.46. The annual wind direction mostly comes from North-East (NE) and North (N) direction. Meanwhile comparison between the agro-meteorological data and local exact measured data revealed that an average of wind speed was the same average wind speed range by annual wind power density of 49 W/m^2 and the shape parameter was 1.49. Moreover, due to wind rose pattern, the result showed that the wind direction mostly comes from North-East and East direction. So the expected outcome of this work might be useful for the development of low speed wind energy for community.

Keywords: Energy evaluation, Micro siting, Low speed wind, Wind potential assessment

บทนำ

พลังงานถือเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ และความต้องการพลังงานก็มีมากขึ้นเรื่อยๆ โดยมนุษย์ใช้พลังงานจากหลายๆแหล่งพลังงานด้วยกันอาทิ เช่น พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานหมุนเวียน เป็นต้น โดยในประเทศไทยนั้นสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนนั้นยังมีน้อยเมื่อเทียบกับพลังงานจากถ่านหิน ซึ่งตามแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 ได้มีแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกให้มีการใช้พลังงานดังกล่าวในการผลิตไฟฟ้า เช่น จากพลังงานลมเดิม 224.5 MW ให้เพิ่มเป็น 3002 MW ภายในปี 2579 [6]

ดังนั้น พลังงานลม ซึ่งเป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกจึงถูกนำมาศึกษา โดยลมสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นพลังงานที่ใช้ได้ไม่มีวันหมดและยังไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม แต่ก่อนจะนำมาใช้ จะต้องทำการประเมินศักยภาพประสิทธิภาพของลม เพื่อให้ได้พื้นที่ที่มีศักยภาพเพียงพอต่อการตั้งกังหันลมเพื่อใช้งาน ซึ่งข้อมูลที่จะต้องทราบก็มี อัตราเร็วลม ทิศทางลม ลักษณะของลม และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ที่จะติดตั้ง โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเหล่านี้จะตัวบ่งชี้ว่าพื้นที่นั้นสามารถตั้งกังหันลมได้หรือไม่ ดังนั้น จุดประสงค์หลักในการศึกษาครั้งนี้ จึงเป็นการศึกษาเพื่อประเมินศักยภาพของพลังงานลมในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยจะศึกษาที่คุณลักษณะของลมและลักษณะทางกายภาพภายในพื้นที่ที่ผลต่อลม

วิธีการวิจัย

เริ่มต้นด้วยการสำรวจพื้นที่ศึกษา โดยตัวอาคารมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 32.02 เมตร และมีพิกัดทางภูมิศาสตร์ ละติจูดที่ 7° 0'22.98" องศาเหนือ ลองติจูด 100°29'58.79" องศา

การเก็บข้อมูลจะเริ่มด้วยการเก็บข้อมูลลม โดยจะเก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์วัดที่ใช้วัดทิศทางลม (Wind vane) โดยอ่านค่าทิศทางลมจากเข็มทิศ จะได้ค่าเป็นหน่วยองศาเมื่อเทียบกับทิศเหนือ ต่อมาทำการวัดอัตราเร็วลมด้วย ANEMOMETER-2001AS โดยค่าที่ได้จะนำไปทำการบันทึกค่าทิศทางและความเร็วลงในโปรแกรม Microsoft Excel 2016 และทำการแปลงไฟล์เป็น text เพื่อวิเคราะห์ต่อไป

ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์จะมาจากการตรวจทุกวัดๆ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นก็นำข้อมูลที่ได้มาทำการแปลงให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ทางสถิติ และทำการวิเคราะห์ต่อเพื่อแสดงผลในรูปของอัตราเร็วลม ทิศทางลม และความหนาแน่นกำลังงาน โดยการวิเคราะห์จะเริ่มด้วยการวิเคราะห์วัดอัตราเร็วลมด้วยอุปกรณ์ ทำการรวบรวมข้อมูล และสร้างแผนภาพ contour ของความสูง ทิศทางลม อัตราเร็วลม และความหนาแน่นของกำลังลม โดยโปรแกรม WAsP® ทำการประมวลผลโดยใช้หลักการทางสถิติที่เรียกว่า "การแจกแจงไวบูลล์"

ตัวอย่างการคำนวณ ที่อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา เดือนตุลาคม จากสมการการแจกแจงไวบูลล์ ซึ่งเป็นฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น(Probability Density Function) แบบหนึ่ง ที่สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม

$$F(v) = 1 - \exp - \left(\frac{v}{c}\right)^k$$
$$y = mx + I$$
$$y = \ln[-\ln(1 - F(v))]$$
$$m = k$$
$$x = \ln v$$
$$I = -k \ln c$$

อาศัยการเปรียบความสัมพันธ์กับสมการเส้นตรงเราจะได้สมการ

$$Y = kX + k \ln c$$

และเมื่ออาศัยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรจะค่าของ k และ c ออกมาดังนี้

$$k = \frac{n\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i}{n\sum_{i=1}^{n} X_i^2 - (\sum_{i=1}^{n} X_i)^2} = \frac{13(16.67) - (20.69)(1.03)}{13(43.30) - (20.69)^2} = 1.44$$

และ

$$c = \exp[-\frac{\sum_{i=1}^{n} X_i^2 \sum_{i=1}^{n} Y_i - \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} X_i Y_i}{n\sum_{i=1}^{n} X_i Y_i - \sum_{i=1}^{n} X_i \sum_{i=1}^{n} Y_i}] = \exp[-\frac{(43.30)(1.03) - (20.69)(16.67)}{13(16.67) - (20.69)(1.03)}] = 4.6$$

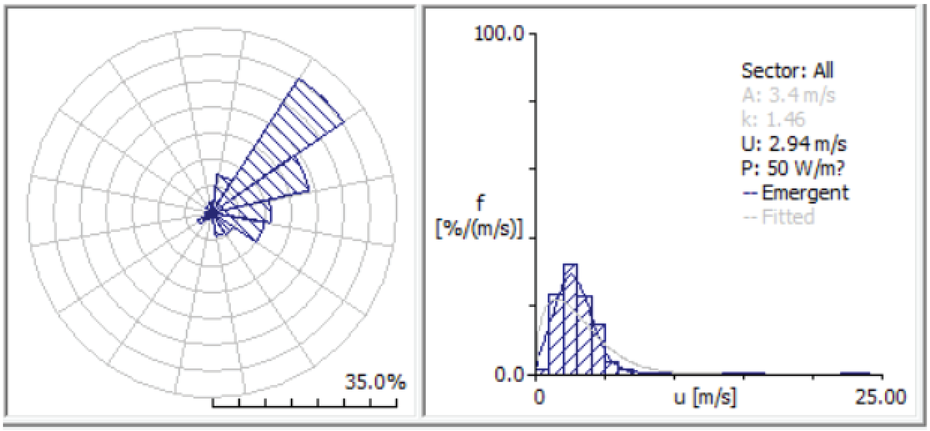
จากข้อมูลตัวอย่าง ที่อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา เดือนตุลาคม ซึ่งถ้าทำการเปรียบเทียบค่าที่คิดจากโปรแกรม WAsP® ที่มีค่า k และ c เท่ากับ 1.87 และ 4.6 ตามลำดับ นับว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการและโปรแกรมมีค่าไปในทางเดียวกัน หรือสามารถบอกได้ว่า เราใช้โปรแกรม WAsP® ในการหาค่า Parameter ของการแจกแจงแบบไวบูลล์ได้

ผลการวิจัยและอภิปรายงานวิจัย

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม WAsP®

ผังลมที่ได้จากการวัดข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลม โดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป WAsP® ผลการวิเคราะห์จะอยู่ในรูปของภูมิอากาศลม (OWC) ข้อมูลภูมิอากาศลมจะประกอบด้วย ผังลม (Wind Rose) และกราฟแห่งการแจกแจงอัตราเร็วลมและแสดงค่าพารามิเตอร์ไวบูลล์ ค่าอัตราเร็วเฉลี่ย (m/s) ค่าความหนาแน่นกำลังลม (W/m^2) โดยผังลมจะเป็นผังลมที่แสดงด้วยการไม่รวมค่าของอัตราเร็วลมที่ลมสงบ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความแม่นยำของข้อมูล ซึ่งข้อมูลสถิติที่ได้จะเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดตั้งแต่ช่วง 15 มีนาคม – 24 เมษายน



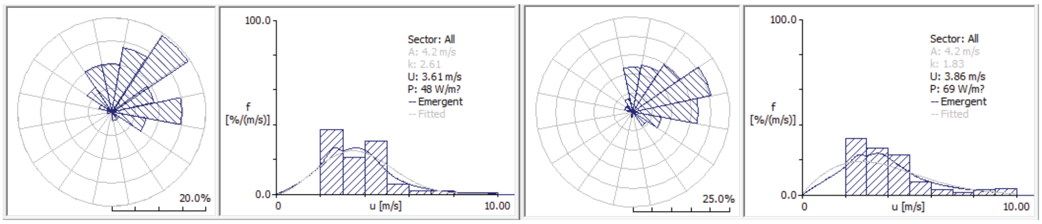
ภาพที่ 1 ผังลมเฉลี่ยช่วง 15 มีนาคม – 24 เมษายน 2559

จากรูป ภาพวงกลม(ซ้าย) คือผังลมที่แสดงทิศทางลม จะเห็นว่า ทิศทางลมเฉลี่ยรายเดือนที่ระดับความสูง 32 m ส่วนใหญ่มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และกราฟฮิสโตแกรม(ขวา) คือการกระจายตัวของอัตราเร็วลม แสดงค่าพารามิเตอร์ไวบูลล์สถิติลม โดยจะเห็นว่า

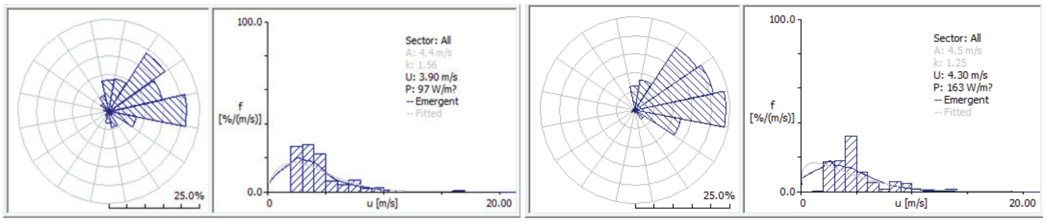
ค่าพารามิเตอร์ระดับ (A หรือ c) 3.4 m/s ค่าพารามิเตอร์รูปร่าง (k) 1.46 อัตราเร็วลมเฉลี่ย (U) 2.94 m/s และความหนาแน่นกำลังลมเฉลี่ย (P) 50 W/m^2

ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

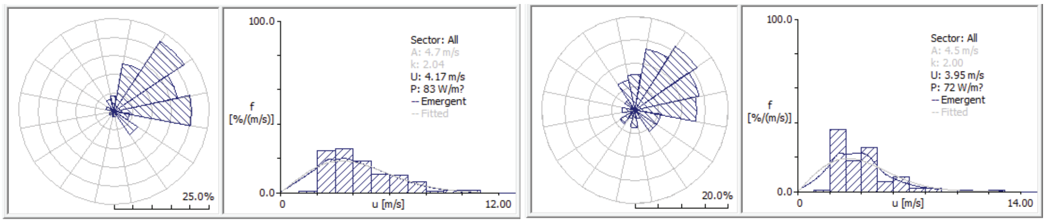
จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย WAsP® จะได้ผังลมและกราฟการแจกแจงอัตราเร็วลมออกมา โดยผังลมที่แสดงจะเป็นผังลมที่ไม่รวมค่าอัตราเร็วลมของลมสงบ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความแม่นยำของข้อมูล



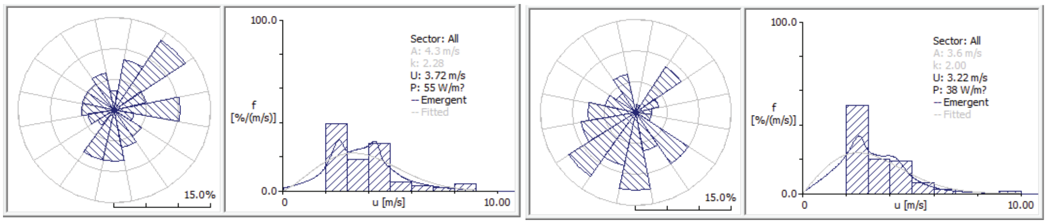
ภาพที่ 2 (ซ้าย)ผังลม เดือน พฤศจิกายน 2558 (ขวา)ผังลม เดือน ธันวาคม 2558



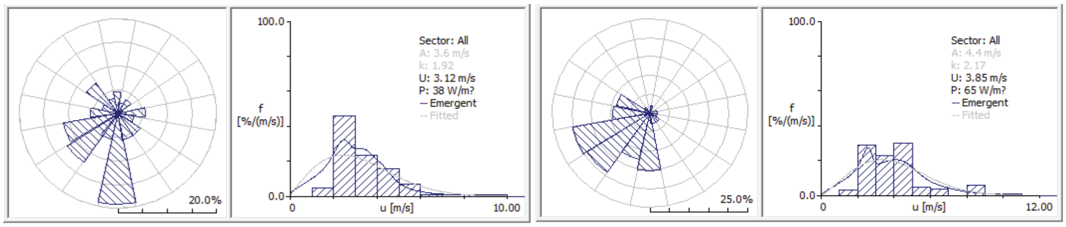
ภาพที่ 3 (ซ้าย)ผังลม เดือน มกราคม 2559 (ขวา)ผังลม เดือน กุมภาพันธ์ 2559



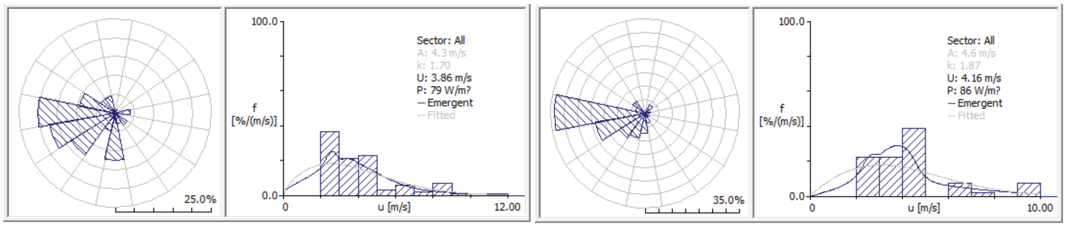
ภาพที่ 4 (ซ้าย)ผังลม เดือน มีนาคม 2559 (ขวา)ผังลม เดือน เมษายน 2559



ภาพที่ 5 (ซ้าย)ผังลม เดือน พฤษภาคม 2559 (ขวา)ผังลม เดือน มิถุนายน 2559



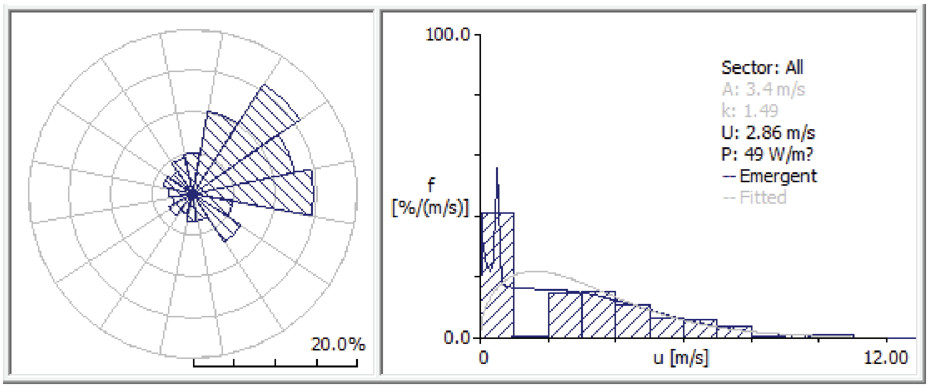
ภาพที่ 7 (ซ้าย)ผังลม เดือน กรกฎาคม 2559 (ขวา)ผังลม เดือน สิงหาคม 2559



ภาพที่ 8 (ซ้าย)ผังลม เดือน กันยายน 2559 (ขวา)ผังลม เดือน ตุลาคม 2559

เปรียบเทียบผังลมจากค่าที่วัดได้จริงกับข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

นำข้อมูลที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาลัยสงขลา กลุ่มงานเกษตรคอหงส์ รหัสสถานี 48571 วัดที่ความสูง 32 เมตร ความถี่ของการเก็บข้อมูล 3 ชั่วโมง มาหาค่าเฉลี่ยของทั้งเดือนจะได้ว่า มีอัตราเร็วลมเฉลี่ย 3.505 m/s และมีกำลังลมเฉลี่ย 49.55 W/m^2 และเมื่อนำข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยามาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป WAsP® จะได้ผลดังนี้



รูปที่ 9 ผังลมเฉลี่ยช่วงเดือน มีนาคม – เมษายน 2559

เมื่อพิจารณาผังลมพบว่าทิศทางลม ที่ระดับความสูง 32 m ทิศทางลมส่วนใหญ่มาจากทิศตะวันออก และทิศตะวันออกเฉียงเหนือใกล้เคียงกับข้อมูลที่วัดได้จริง โดยมี ค่าพารามิเตอร์ระดับ (A หรือ c) 3.4 m/s ค่าพารามิเตอร์รูปร่าง (k) 1.49 อัตราเร็วลมเฉลี่ย(U) 2.86 m/s และความหนาแน่นกำลังลมเฉลี่ย (P) 49 W/m^2

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในการประเมินศักยภาพของพลังงานลมในพื้นที่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ การวัดข้อมูลจริงและเปรียบเทียบโดยใช้ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยา ซึ่งอาศัยโปรแกรม WAsP® ใจ เพื่อวิเคราะห์ค่าของพารามิเตอร์ไวบูลล์ อัตราเร็วเฉลี่ย และกำลังเฉลี่ย ผลการศึกษาพบว่า อัตราเร็วลมตั้งแต่วันที่ 15 มีนาคม -24 เมษายน จัดอยู่ในชนิดลมเฉื่อยซึ่งเป็นลมที่ไม่รุนแรงมากนักตามมาตราโบฟอร์ด ค่าพารามิเตอร์รูปร่าง(k) 1.46 อัตราเร็วเฉลี่ย (U) 3.4 m/s และความหนาแน่นกำลังลมเฉลี่ย (P) 50 W/m^2 และมีทิศมาจากทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยจากข้อมูลกรมอุตุวิยาในเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน ได้ค่าพารามิเตอร์รูปร่าง (k) 1.49 อัตราเร็วลมเฉลี่ย (U) 3.4m/s และความหนาแน่นกำลังลมเฉลี่ย (P) 49 W/m^2 และมีทิศมาจากทางตะวันออก และตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งอัตราเร็วเฉลี่ยนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำมาก พารามิเตอร์รูปร่าง (k) มีความคลาดเคลื่อน 2.01% และความหนาแน่นกำลังลมเฉลี่ย (P) มีความคลาดเคลื่อน 2%

เอกสารอ้างอิง

[1] มารีนา มะหนิม, จอมภพ แววศักดิ์, นพนันท์ นานคงแนบ, สุภวรรณ ฎีระวณิชย์กุล, ฐานันดร์ศักดิ์ เทพญา, นิรัดร มาแทน, และยุทธนา ฎีระวณิชย์กุล. (2552). **การประเมินศักยภาพพลังงานลมเฉพาะพื้นที่ตามแนวชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศ**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

[2] ธนัญชัย ลีภักดิ์ปรีดา, ศรัทธา อาภรณ์รัตน์, อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง, พฤทธิพงษ์ ไทยแช่ม, ศุภชาติ จงไพบูลย์พัฒนะ, บัณฑิต ลิ้มโชคชัย. (2553). **การศึกษาศักยภาพพลังงานลมสำหรับการผลิตไฟฟ้าในเขตภาคกลางของประเทศไทย**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

[3] จอมภพ แววศักดิ์. **เทคโนโลยีพลังงานลม**.พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2558.

[4] สถาบันวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. **ฐานข้อมูลGIS**. สืบค้นเมื่อ 5 มีนาคม 2560, จาก http://www.rsgis.psu.ac.th/

[5] กระทรวงพลังงาน. **นโยบายการพัฒนาพลังงานลมของประเทศ**. (2558). สืบค้นเมื่อ 6 มีนาคม 2560, จาก http://energy.go.th/

[6] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. **แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579 (PDP2015)**. (2559). สืบค้นเมื่อ 6 มีนาคม 2560. จาก http://www.eppo.go.th/

[7] Werapun, W., Tirawanichakul, Y., Kongnakorn, W. and Waewsak, J. **An Assessment of Offshore Wind Energy Potential on Phangan Island by in Southern Thailand**, Thailand, 2014

[8] Janajreh, I., Su, L. and Alan**,** F. **Wind energy assessment**: Masdar City case study, United Arab Emirates, 2013.

หมู่บ้านจัดการตนเองด้วยพลังงานทดแทน

Self-Management of Village by Renewable Energy

พิสิษฎ์ มณีโชติ[1] ประพิธาริ์ ธนารักษ์[1] บงกช ประสิทธิ์[1*] กิ่งกานต์ พันธุวาณิชย์[1] และอนุพล อัคพิน[2]
[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000
[2] โครงการจัดตั้งสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีพลังงานชีวภาพ เป็นการเปลี่ยนพลังงานในรูปของก๊าซชีวภาพ ช่วยลดปัญหามลภาวะและสภาพแวดล้อม และกากที่ผ่านการย่อยสลายแล้วสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพปุ๋ยน้ำและปุ๋ยแห้ง เพื่อการปรับปรุงบำรุงดินได้ดีอีกด้วย ดังนั้นสถานที่ปรึกษาเพื่อการพัฒนาพลังงานทดแทนฯ จึงร่วมกับ บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ร่วมกันจัดโครงการหมู่บ้านจัดการตนเองด้านพลังงานทดแทน ระยะที่ 2 โดยนำองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไปทำการก่อสร้างระบบผลิตกาซชีวภาพจากมูลสัตว์ที่ได้ทำการสำรวจศักยภาพและออกแบบไว้ในโครงการ ระยะที่ 1 ในพื้นที่หมู่บ้านหนองมะเกาะ หมู่ที่ 3 ตำบลหนองหลวง อำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร ที่ได้คัดเลือกไว้จากการประชุมในโครงการระยะที่ 1 ซึ่งจากการสำรวจศักยภาพ พบว่า หมู่บ้านหนองมะเกาะมีจำนวนทั้งหมด 126 ครัวเรือน และมี 16 ครัวเรือน ที่เลี้ยงสัตว์และเข้าร่วมโครงการ โดยมีสุกร จำนวน 483 ตัว และวัวจำนวน 57 ตัว โดยให้การดำเนินงานของโครงการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพควบคู่กับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของชุมชน โดยมีเป้าหมายในการนำวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมไปใช้เพื่อการพัฒนาและเผยแพร่การก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพในรูปแบบชุมชน เพื่อนำของเสียจากการเลี้ยงสุกรและวัวมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ แทน LPG เพื่อนำกลับมาใช้ในชุมชน ช่วยลดรายจ่ายการใช้ LPG และสนับสนุนให้หมู่บ้านตระหนักในแนวคิดของการลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งภายนอกเน้นการพึ่งพาแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในชุมชน ลดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากมูลสัตว์อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นรบกวนภายในชุมชน โดยใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: การจัดการตนเองด้วยพลังงานทดแทน ระบบก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน

[*]Corresponding author: Tel.: 083-6259396. E-mail address: bongkotprasit19@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานส่งผลกระทบโดยตรงต่อชุมชน สังคมอย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนบริบทและการจัดการเพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่าและยั่งยืน จากการสำรวจข้อมูลการเลี้ยงสัตว์ในหมู่บ้าน และชุมชนในเขตพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร พบว่า มีการเลี้ยงวัวไก่ และสุกรหลายแห่ง ซึ่งปัจจุบันได้ประสบปัญหาจากกลิ่น และแมลงวัน ประกอบกับในพื้นที่มีความใส่ใจสิ่งแวดล้อม และต้องการหาวิธีในการบริหารจัดการมูลสัตว์และของเสียที่เกิดขึ้นในพื้นที่ของชุมชน จึงได้เล็งเห็นถึงเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพที่เป็นแนวทางประยุกต์ใช้เพื่อจัดสรรทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพ ลดต้นทุน เพิ่มกำไร ตลอดจนสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในพื้นที่ของชุมชน และส่งกระจายไปยังครัวเรือนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียงเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนก๊าซหุงต้มในครัวเรือนได้ เป็นการสร้างความมั่นคงและยั่งยืนด้านพลังงานให้กับชุมชนได้ ดังนั้น ผู้จัดทำจึงได้เล็งเห็นถึงการบริหารจัดการเพื่อความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับจังหวัดกำแพงเพชร และยังเป็นการสร้างความยั่งยืนให้กับชุมชนให้สามารถพึ่งพาตนเองด้านพลังงานในครัวเรือนได้ และสร้างเป็นชุมชนที่มีสุขลักษณะที่ดี และเป็นการสร้างภูมิคุ้มกันด้านพลังงานได้อย่างยั่งยืน ด้วยการนำของเสียจากการเลี้ยงสัตว์สู่กระบวนการจัดการด้วยเทคโนโลยีพลังงานชีวภาพ และการบริหารจัดการพลังงานก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการผลิตจากบ่อหมักให้มีความสมดุลและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและความเป็นอยู่ของชุมชน ทั้งนี้ เทคโนโลยีพลังงานชีวภาพ ยังให้พลังงานในรูปของก๊าซชีวภาพ ช่วยลดปัญหามลภาวะและสภาพแวดล้อม และกากที่ผ่านการย่อยสลายแล้วสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพปุ๋ยน้ำและปุ๋ยแห้ง เพื่อการปรับปรุงบำรุงดินได้ดีอีกด้วย ดังนั้นสถานที่ปรึกษาเพื่อการพัฒนาพลังงานทดแทนฯ จึงร่วมกับ บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ร่วมกันจัดโครงการหมู่บ้านจัดการตนเองด้านพลังงานทดแทน ระยะที่ 2 โดยนำองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไปทำการก่อสร้างระบบผลิตกาซชีวภาพจากมูลสัตว์ที่ได้ทำการสำรวจศักยภาพและออกแบบไว้ในโครงการ ระยะที่ 1 ในพื้นที่หมู่บ้านหนองมะเกาะ หมู่ที่ 3 ตำบลหนองหลวง อำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร ที่ได้คัดเลือกไว้จากการประชุมในโครงการระยะที่ 1 ซึ่งจากการสำรวจศักยภาพ พบว่า หมู่บ้านหนองมะเกาะมีจำนวนทั้งหมด 126 ครัวเรือน และมี 16 ครัวเรือน ที่เลี้ยงสัตว์และเข้าร่วมโครงการ โดยมีสุกร จำนวน 483 ตัว และวัวจำนวน 57 ตัว โดยให้การดำเนินงานของโครงการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพควบคู่กับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของชุมชนโดยมีเป้าหมายในการนำวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมไปใช้เพื่อ การพัฒนาและเผยแพร่การก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพในรูปแบบชุมชน (แบบโอ่ง) เพื่อนำของเสียจากการเลี้ยงสุกรและวัวมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ แทน LPG เพื่อนำกลับมาใช้ในชุมชน ช่วยลดรายจ่ายการใช้ LPG และสนับสนุนให้หมู่บ้านตระหนักในแนวคิดของการลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งภายนอกเน้นการพึ่งพาแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในชุมชน ลดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากมูลสัตว์อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นรบกวนภายในชุมชน โดยใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาและเผยแพร่การก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพในรูปแบบชุมชน

2. เพื่อนำของเสียจากการเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่มาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพแทน LPG ที่ใช้เป็นพลังงานในการหุงต้มที่ใช้ในชุมชนปัจจุบัน

เป้าหมายของโครงการ

เป้าหมายการดำเนินงาน

- บ่อหมักก๊าซจากมูลสัตว์ ขนาด 36 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 1 ระบบ
- ลดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากมูลสัตว์อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นรบกวนภายในชุมชน
- นำของเสียจากการเลี้ยงสุกร ไก่ และวัวมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพแทน LPG
- พัฒนาฐานอาชีพการสร้างบ่อหมักก๊าซให้กับชุมชน

กิจกรรม/เนื้อหาที่ดำเนินการ

- สร้างบ่อหมักก๊าซจากมูลสัตว์ ขนาด 36 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 1 ระบบ

วิธีการวิจัย

สถานที่ในการดำเนินโครงการ

หมู่บ้านหนองมะเกาะ หมู่ที่ 3 ตำบลหนองหลวง อำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

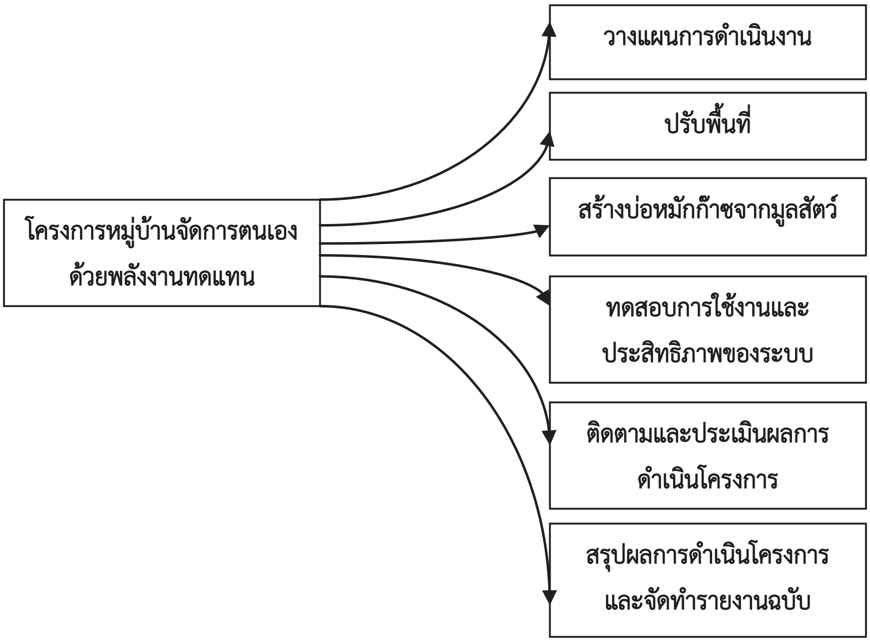
1. ภาพลักษณ์ของบริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ในการสนับสนุนพลังงานทดแทน

2. เป็นการสร้างอาชีพให้กับชุมชนในด้านพลังงานทดแทน

3. สามารถพัฒนาและเผยแพร่การก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพในรูปแบบชุมชน เพื่อนำของเสียจากการเลี้ยงสุกร ไก่ และวัวมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพแทน LPG และสามารถนำกลับมาใช้ในชุมชนเพื่อช่วยลดรายจ่ายการใช้ LPG

4. สนับสนุนให้หมู่บ้านชุมชนในพื้นที่ตระหนักในแนวคิดของการลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งภายนอก เน้นการพึ่งพาแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในชุมชน

5. ช่วยลดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากมูลสัตว์อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นรบกวนภายในชุมชน โดยใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 1 กระบวนการดำเนินการวิจัยสู่เป้าหมายในระดับชุมชน

ปัทมาวดี สิทธิวรเดช และ รัชพล สันติวรากร [1] การประเมินศักยภาพพลังงานในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและมูลสัตว์ในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประเมินศักยภาพพลังงานในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและมูลสัตว์ในมหาวิทยาลัย ขอนแก่นโดยได้ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลปริมาณเศษอาหารและมูลสัตว์ และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น จากการศึกษาพบว่า มหาวิทยาลัยขอนแก่นมีปริมาณเศษอาหารและมูลสัตว์โดยเฉลี่ยวันละ 989.88 และ 1,716.57 กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อพิจารณาขนาดบ่อหมักที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจะได้บ่อหมักขนาด 500 ลูกบาศก์เมตร จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า จะต้องใช้เงินลงทุนในการสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 1,598,800 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 2 ปี 3 เดือน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเท่ากับ 8,605.81 บาท ค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C ratio) มีค่าเท่ากับ 1 และค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) เท่ากับ 16.42% ซึ่งพบว่าโครงการนี้มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และคุ้มค่าต่อการลงทุน

กฤตภาส สิงคิบุตร, วิชชากร จารุศิริ และปฐมทัศน์ จิระเดชะ [2] การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารที่มีความแตกต่างกันของกรณีตัวอย่าง คือ ระบบ CSTR แบบแห้ง ระบบ CSTR แบบ1- ขั้นตอนและระบบ CSTR แบบ AMP ซึ่งทั้ง 3 ระบบ มีขนาดการรองรับเศษอาหารใกล้เคียงกันคือประมาณ 200 กิโลกรัมเศษอาหารต่อวัน โดยศึกษาเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมและมีความคุ้มค่าเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางด้านการเงินและการลงทุน การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน มีเกณฑ์การตัดสินใจลงทุน คือ อัตราผลตอบแทน ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษา ค่ากลิ่น อีกทั้งเป็นการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมพร้อมยังเป็นการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในขนาด 200 กิโลกรัมเศษอาหารต่อวัน เดินระบบ 365 วัน/ปี อายุของโครงการ 15 ปี ให้แก๊สชีวภาพโดยเฉลี่ย 4,147 กิโลกรัม (แก๊ส)/ปี มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการลงทุน

ทรงวุฒิ นิรัญศิลป์, กฤตภาส คงคาพิสุทธิ์, และวิรงรอง มานิตยกุล [3] การปรับปรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ขนาด 2.5 ลูกบาศก์เมตร ในบทความนี้เป็นการอิบายวิธีการปรับปรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ขนาด 2.5 ลูกบาศก์เมตร ของกรมการพลังงานทหาร ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มศักยภาพการใช้งานก๊าซชีวภาพให้สูงมากยิ่งขึ้น ด้วยวิธีการติดตั้งถังกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์ (CO_2) ถังดักน้ำออกจากท่อส่งก๊าซและถังเก็บก๊าซชีวภาพเพิ่มเติม โดยความดันก๊าซชีวภาพสูงสุดที่บรรจุเท่ากับ 3 บาร์ ซึ่งสูงกว่าความดันที่ถังหมักก๊าซชีวภาพประมาณ 20 เท่า ผลที่ได้จากการปรับปรุง คือ ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้นและสามารถบรรจุแบบสะสมลงในถังเก็บจนถึงระดับความดันสูงสุดภายในระยะเวลา 3 วัน เมื่อนำก๊าซชีวภาพจากถังเก็บไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการประกอบอาหาร พบว่า สามารถใช้ได้อย่างต่อเนื่องที่อัตราการไหลเฉลี่ย 16 ลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลานาน 120 นาที หรือมีระยะเวลาการใช้เพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 6 เท่า และความดันที่สูงขึ้นยังส่งผลให้พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สูงขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถประกอบอาหารได้หลากหลายประเภทมากยิ่งขึ้นอีกด้วยโดยปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สามารถทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้ม LPG ได้ประมาณเดือนละ 8.83 กิโลกรัม

นิตินัย ปัญญ์บุศยกุล, กฤษฎา บุญศิริ, กรรณิกา พรโสภิณ, ธีรวัฒน์ อุดตะโมท, จารุวัตร เจริญสุข และ สุมิตรา จรสโรจน์กุล [4] การศึกษาอัตราการไหลสารละลาย NaOH และความดันทางเข้าของก๊าซชีวภาพต่อการดูดซับ CO_2 ของกระบวนการผลิตไฮโดรเจนสำหรับระบบ SOFC โดยก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงไฮโดรเจนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงออกไซค์ของแข็ง (SOFC) โดยกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงจะต้องมีระบบดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์ (CO_2) ระบบดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และระบบปฏิรูปมีเทน (CH_4) เป็นก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ระบบดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์จะเป็นกระบวนการแรกของระบบ จากการศึกษาพบว่าก๊าซชีวภาพประกอบด้วยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์ประมาณ 40 – 50% vol. และก๊าซมีเทน 50 - 60% vol. ซึ่งการออกแบบระบบเพื่อกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์จำเป็นต้องมีการศึกษาปัจจัยต่างๆ โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอัตรการไหลของสารละลาย NaOH และผลกระทบของความดันทางเข้าของก๊าซชีวภาพต่อการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์ จากการทดลองพบว่าช่วงระยะเวลาประสิทธิผลในการดูดซับก๊าซคาร์บอนได ออกไซค์ที่ 100% ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อปรับอัตราการไหลของสารละลาย NaOH ในช่วง 5 ถึง 10 ลิตรต่อนาที และระยะเวลาประสิทธิผลในการดูดซับก๊าซก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์ที่ 100% จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความดันโดยผลการทดลองที่ได้จะเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาระบบป้อนเชื้อเพลิงไฮโดรเจนสำหรับการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงออกไซค์ของแข็งขนาด 1 kW

ทศพร บัวดิก, โพชฌงค์ จันทรศิริ, สรวุฒิ นิจสุนกิจ, จักรพงษ์ สาละพรรดิ์ และเอกพร แจ่มกระจ่าง. [5] ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบประดู่อังสนาร่วมกับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาห กรรม ซึ่งพลังงานทดแทนจากก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อประเทศไทยทั้งในปัจจุบันและอนาคต เพราะนอกจากจะสามารถใช้ทดแทนพลังงานที่นำเข้าสู่ประเทศไทยได้แล้วยังสามารถลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้โดยการเปลี่ยนของเสียไปเป็นก๊าซชีวภาพได้อีกด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจากใบประดู่อังสนาร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำผลไม้ของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งได้แก่ ร้อยละของปริมาณของแข็งทั้งหมด (% TS) ในชีวมวล การใช้สารปรับสภาพ รวมทั้งวิธีที่ใช้ในการปรับสภาพชีวมวลก่อนเข้าสู่กระบวนการหมัก ซึ่งดำเนินการภายในชุดการทดลองแบบกะขนาด 1 ลิตร จากผลการทดลองพบว่าในกรณีที่ไม่มีการปรับสภาพชีวมวลนั้น การใช้ค่าปริมาณของแข็งในใบประดู่เป็น 10% TS ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นมากที่สุด อย่างไรก็ตามเมื่อมีการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีความเข้มข้น 2 wt% เป็นสารปรับสภาพใบประดู่ก่อนเข้าสู่กระบวนการหมัก กลับพบว่าการใช้ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดของใบประดู่ที่ 5% TS ทำให้มีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นมากที่สุด ซึ่งมีปริมาณเกิดขึ้นมากกว่ากรณีที่ไม่มีการปรับสภาพ (ที่ 5% TS) ถึง 10 เท่า และเมื่อพิจารณาถึงสภาวะที่ใช้ในการปรัสภาพชีวมวลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปริมาณของประดู่ที่ 5% TS พบว่าการผสมใบประดู่ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพร่วมกับน้ำเสียและเอนไซม์เซลลูเลสนั้นให้ก๊าซชีวภาพในปริมาณมากที่สุด

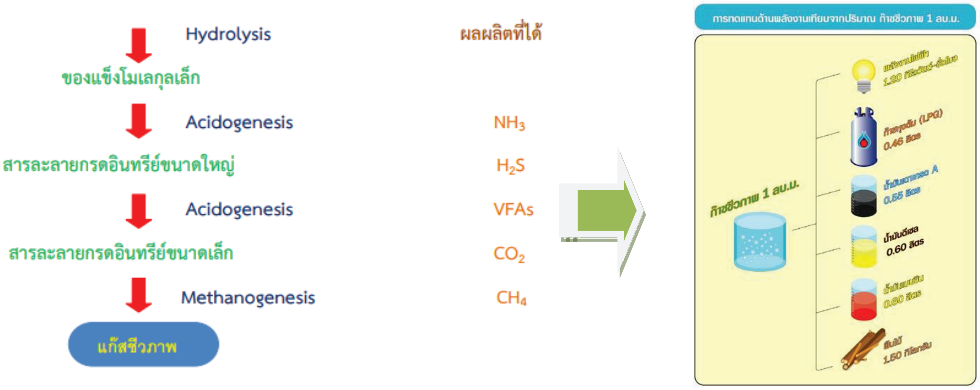
ณัฏฐาพันธุ์ สวัสดี, สหัถยา ทองสาร และนิพนธ์ พิสุทธิ์ไพศาล [6] การผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ เนื่องจากหญ้าเนเปียร์นั้นเป็นพืชที่ให้ผลผลิตสูงถึง 9 ตัน/ไร่/ปี และยังสามารถทนอยู่ในสภาพที่แห้งแล้งได้อีกด้วย หญ้าเนเปียร์มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 30.19% (น้ำหนักแห้ง) โปรตีนรวม 27% (น้ำหนักแห้ง) พลังงานรวม 313.45 kcal 100 g^{-1} (น้ำหนักแห้ง) และยังมีปริมาณเซลลูโลสในปริมาณที่สูง ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซชีวภาพได้ดี ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำหญ้าเนเปียร์มาผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีวิธีการศึกษาดังนี้ ในขั้นแรกจะทำการปรับสภาพ (pre-treatment) หญ้าเนเปียร์ทางกายภาพ ซึ่งการปรับสภาพนั้นจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายหญ้าเนเปียร์เป็นก๊าซชีวภาพได้ดียิ่งขึ้น การปรับสภาพทางกายภาพนั้นทำโดยการบดให้มีขนาด 0.5-1 มิลลิเมตร จากนั้นนำหญ้าที่ผ่านการปรับสภาพ หมักในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน โดยการหมักนั้นจะกำหนดปริมาณของแข็งรวมทั้งหมดของหญ้าที่ 5% 10% และ 15% ผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งกำหนดค่า F/M ที่ 3.1 หมักที่อุณหภูมิ 37.0 $^{\circ}C$ ทำการติดตามวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหย ค่าพีเอช ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณของแข็งระเหยได้ทั้งหมด ปริมาณก๊าซรวม ปริมาณมีเทนสะสม และเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณผลผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักหญ้าเนเปียร์ จากผลการทดสอบการนำหญ้าเนเปียร์มาผลิตก๊าซชีวภาพนั้น พบว่า ที่ปริมาณของแข็ง 5% นั้นได้ก๊าซมีเทน 53% ปริมาณของแข็ง 10% นั้นได้ก๊าซมีเทน 43% และปริมาณของแข็ง 15% นั้นได้ก๊าซมีเทน 26.22% จากการทดสอบพบว่าหญ้าเนเปียร์นั้นเป็นพืชที่น่าสนใจและสามารถนำมาใช้เป็นพืชพลังงานอีกตัวหนึ่ง

การจัดการตนเองพลังงานทดแทนเพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่าและยั่งยืน โครงการจัดการตนเองด้วยพลังงานทดแทน ที่มีความจำเป็นที่จะต้องรีบดำเนินการอย่างเร่งด่วนเพื่อการพัฒนาและเผยแพร่การก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพในรูปแบบชุมชน เพื่อนำของเสียจากการเลี้ยงสุกรและวัวมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ แทน LPG เพื่อนำกลับมาใช้ใน

ชุมชน ช่วยลดรายจ่ายการใช้ LPG และสนับสนุนให้หมู่บ้านตระหนักในแนวคิดของการลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งภายนอกเน้นการพึ่งพาแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในชุมชน ลดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากมูลสัตว์อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นรบกวนภายในชุมชน โดยใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

ภาพที่ 2 การติดตั้งระบบผลิตแก๊สชีวภาพสำหรับชุมชน

ภาพที่ 3 พื้นที่ศึกษาของโครงการหมู่บ้านหนองมะเกาะ หมู่ที่ 3 ตำบลหนองหลวง อำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการเกิดแก๊สชีวภาพและเทียบเท่าเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ตารางที่ 1 ปริมาณมูลสดของสัตว์ชนิดต่างๆ

ชนิดสัตว์	มูลสด (กิโลกรัม/วัน)
โค - กระบือ	8
สุกร	4
แกะ	4
ไก่	0.03

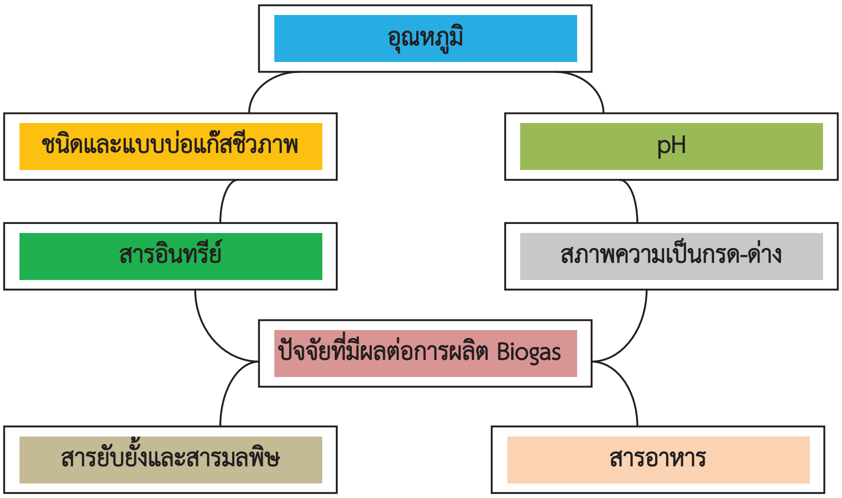
ตารางที่ 2 ปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากมูลสดของสัตว์ชนิดต่างๆ

ชนิดสัตว์	ปริมาณก๊าซ (ลูกบาศก์เมตร) ต่อ	
	กก. ของมูล	ตัว/วัน
สุกร	0.4 - 0.5	0.18
โค	0.1 - 0.3	0.16
ไก่	0.3 - 0.6	0.014
คน & ของเสียจากห้องครัว	0.3 - 0.7	0.028

คุณสมบัติของแก๊สชีวภาพ

ค่าความร้อนประมาณ	21	เมกกะจูล/ลบ.ม. (ที่ปริมาณมีเทน 60 %)
ความเร็วเปลวไฟ	25	ซม./วินาที
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650	°ซ
อุณหภูมิจุดติดไฟ (CH_4)	600	°ซ
ค่าความจุความร้อน	1.6	กิโลจูล/ลบ.ม.- °ซ
ความหนาแน่น (pressure,P)	1.15	กิโลกรัม/ลบ.ม.

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย



ภาพที่ 5 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ

- **อุณหภูมิในการเดินระบบ (operating temperature)** เมทาโนเจน ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ต่ำมากหรือสูงมากได้ ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 10 °Cแบคทีเรียจะหยุดทำงาน

อุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งเป็นสองระดับตามสปีชีส์ของเมทาโนเจน ได้แก่เมโซฟิลิก (Mesophilic) และเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic)

อุณหภูมิที่เหมาะที่เมโซฟิลิก ทำงานได้ดีคือประมาณ 20 °C – 45 °C แต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ช่วง 37 °C – 41 °C โดยในช่วงอุณหภูมิระดับนี้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังหมักจะเป็นเมโซฟิลิก

เทอร์โมฟิลิก ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือประมาณ 50 °C – 52 °C แต่ก็สามารถทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปถึง 70 °C

แบคทีเรีย เมโซฟิลิกนั้นมีจำนวนสปีชีส์มากกว่าเทอร์โมฟิลิก นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิกอีกด้วย ทำให้ระบบหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้เมโซฟิลิก เสถียรกว่า แต่ขณะเดียวกันอุณหภูมิซึ่งสูงกว่าในระบบที่ใช้เทอร์โมฟิลิกก็เป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซสูงกว่า ข้อเสียอีกข้อของระบบเทอร์โมฟิลิก คือการที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกมาเพิ่มความร้อนให้ระบบ ทำให้อาจได้พลังงานสุทธิที่ต่ำกว่า

- **ความเป็นกรด-ด่าง (pH Value)** ค่าpH ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพคือระหว่าง 7.0 – 7.2 ค่าpH

ในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่าpHลดลง ซึ่งถ้าหากpHลดลงต่ำกว่า5ก็จะหยุดกระบวนการย่อยและหมักทั้งหมดหรืออีกนัยหนึ่งก็คือแบคทีเรียตาย Methanogen นั้นอ่อนไหวต่อความเป็นกรดด่างมาก และจะไม่เจริญเติบโตหากpHต่ำกว่า6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของ NH4 จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าpHเพิ่มโดยอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียร pH จะอยู่ระหว่าง 6.8 – 8

- **อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน(C/N Ratio)** อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่

สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพคือตั้งแต่ 8– 30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพคือประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สูงมาก ไนโตรเจนจะถูกMethanogenนำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซน้อย แต่ถ้าหากC/N Ratio ต่ำมากๆ ก็จะทำให้ไนโตรเจนมีมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่าpHซึ่งถ้าหากค่าpHสูงถึง8.5ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรียทำให้จำนวนMethanogen ลดลง นอกจากนี้หากC/N ratio อยู่นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่นๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น

มูลสัตว์โดยเฉพาะวัวควายมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมที่สุด รองลงมาก็ได้แก่พวกดอกจอกผักตบและเศษอาหาร ขณะที่ฟางมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ค่อนข้างจะสูง อย่างไรก็ตามสามารถนำวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาผสมกับวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำได้ เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต้องการ

- **ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ(Loading)** ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบคือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เราเติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน ซึ่งถ้าหากว่าปริมาณที่เราเติมนั้นมากเกินไป ก็จะส่งผลให้ค่า pH ลดลงมากเกินไป(เนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการคือ acidogenesis กรดจะถูกผลิตขึ้นมา)จนทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจาก methanogen ตายหมด ซึ่งหากสิ่งนี้เกิดขึ้นจริงก็จะต้องเริ่มต้นระบบใหม่หมด แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยก๊าซที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย เท่ากับว่าไม่ได้เดินระบบเต็มตามกำลังการผลิต ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่เกินไปโดยไม่จำเป็น
- **ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time)** ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป รวมถึงรูปแบบของระบบ/ถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะไม่พอสำหรับแบคทีเรียที่จะผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่าpHในถังหมักลดลงขึ้น ขณะเดียวกัน การที่ระยะเวลากักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14- 60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ค่าTSC อุณหภูมิขนาดและประเภทของdigesterและปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไหร่โดยไม่มีการเติมอาหาร เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บนั้นหมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อไหร่ก็ตามที่แบคทีเรียยังย่อยอาหารไม่หมดก็หมายความว่าแบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร

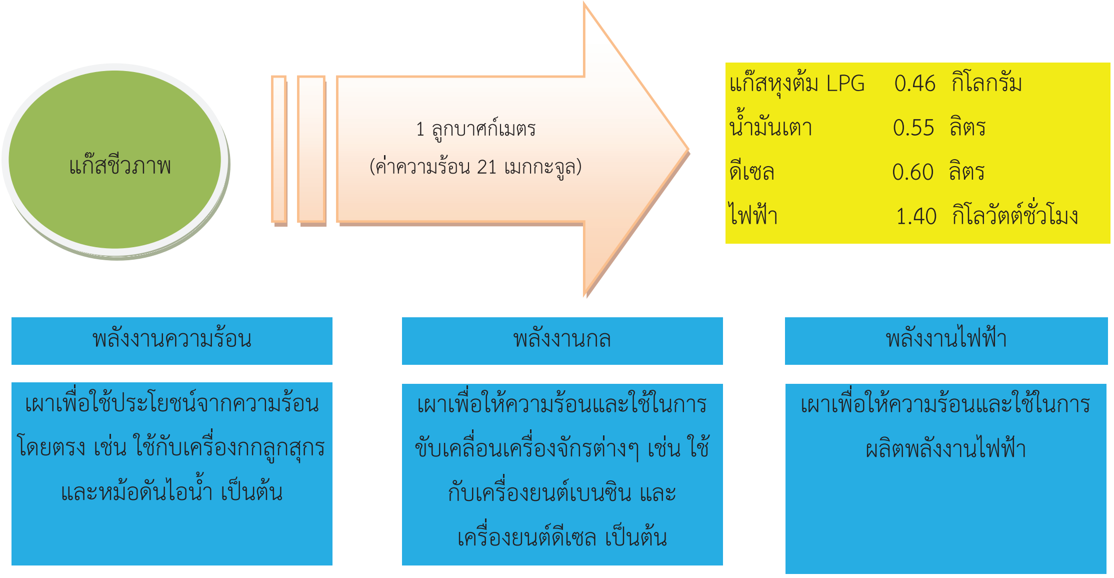
- **ปริมาณของแข็ง (Total Solid Content, TSC)**
  - Solid content ของสารอินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบ่งเป็นสองระดับคือ
  - High-solid (ปริมาณของแข็งสูง) TSC สูงกว่า ~ 20%
  - Low-solid (ปริมาณของแข็งต่ำ) TSC ต่ำกว่า ~ 15%

ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมสารอินทรีย์ high solid จะต้องใช้พลังงานมากกว่าในการสูบน้ำตะกอน (slurry) แต่เนื่องจากในระบบhigh solid ความเข้มข้นของน้ำในถังหมักสูงกว่า พื้นที่ที่ใช้ก็จะน้อยกว่า ในทางกลับกัน ถังหมัก Low solid สามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปที่ใช้พลังงานน้อยกว่าสูบน้ำตะกอน แต่ก็ต้องใช้พื้นที่มากกว่าเนื่องจากปริมาตรต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปสูงขึ้น กระนั้นก็ดี การที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็ทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของของแบคทีเรียและสารอินทรีย์ดีขึ้นและการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่วถึงก็ช่วยให้การย่อยและการผลิตก๊าซเร็วขึ้น

- **การคลุกเคล้า (Mixing)** การคลุกเคล้าตะกอน น้ำ และ สารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนเพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การเกิดก๊าซเร็วขึ้นและมากขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย(Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง
- **สารอาหาร (nutrient)** สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโต นอกเหนือไปจากคาร์บอนและไฮโดรเจนแล้ว ยังมีไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม นอกจากนี้ก็มีธาตุที่จำเป็นในปริมาณน้อยมากๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส ลิบดินัม สังกะสี โคบอลต์ ซิลิเนียม ทังเสตน และนิเกิลเป็นต้น แต่ขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับที่สมดุลพอเพียง เพราะฉะนั้น ในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใดๆ ลงไป
- **สารยับยั้งและสารพิษ (inhibiting and Toxic Materials)** เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจน หรือแอมโมเนีย รวมถึงธาตุไอออน,สารพิษ, โลหะหนัก, สารทำความสะอาดต่างๆ เช่นสบู่ น้ำยาล้างต่างๆ และยาปฏิชีวนะสามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตก๊าซของแบคทีเรียได้

ธาตุไอออนในปริมาณน้อย (เช่น โซเดียม, โปแตสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, ซัลเฟอร์, แอมโมเนียม) สามารถช่วยกระตุ้นการเติบโตของแบคทีเรียเช่นกัน แต่ถ้าหากปริมาณนั้นมากก็จะส่งผลเป็นพิษได้ ยกตัวอย่างเช่น แอมโมเนียในปริมาณ 50-200 มิลิกรัมต่อลิตรจะเป็นผลดี ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อใดที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 1,500 มิลิกรัมต่อลิตรก็จะเริ่มส่งผลเสีย ในทางเดียวกัน โลหะหนักบางประเภท(เช่น ทองแดง, นิเกิล, โครเมียม, สังกะสี, ตะกั่ว และอื่นๆ) ในปริมาณที่น้อยๆ ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นสูงก็จะเป็นพิษ

สรุปผลการวิจัย



จากการสำรวจศักยภาพ พบว่า หมู่บ้านหนองมะเกาะ มีจำนวนทั้งหมด 126 ครัวเรือน และมี 16 ครัวเรือน ที่เลี้ยงสัตว์และเข้าร่วมโครงการ โดยมีสุกร จำนวน 483 ตัว และวัว จำนวน 57 ตัว โดยให้การดำเนินงานของโครงการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพควบคู่กับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของชุมชน โดยมีเป้าหมายในการนำวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมไปใช้เพื่อการพัฒนาและเผยแพร่การก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพในรูปแบบชุมชน เพื่อนำของเสียจากการเลี้ยงสุกรและวัวมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ แทน LPG เพื่อนำกลับมาใช้ในชุมชน ช่วยลดรายจ่ายการใช้ LPG และสนับสนุนให้หมู่บ้านตระหนักในแนวคิดของการลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งภายนอกเน้นการพึ่งพาแหล่งพลังงานที่มีศักย ภาพในชุมชน ลดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากมูลสัตว์อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นรบกวนภายในชุมชน โดยใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณบริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนเงินทุนในการดำเนินงานโครงการและโครงการหมู่บ้านจัดการตนเองด้านพลังงานทดแทน ในพื้นที่หมู่บ้านหนองมะเกาะ หมู่ที่ 3 ตำบลหนองหลวง อำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร และทีมงานที่ร่วมดำเนินการโครงการให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

เอกสารอ้างอิง

[1] ปัทมาวดี สิทธิวรเดช และ รัชพล สันติวรากร. (2554). การประเมินศักยภาพพลังงานในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารและมูลสัตว์ในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น. **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย**. 3-5 พฤษภาคม 2554, โรงแรม Phuket Orchid Resort and Spa หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต.

[2] กฤตภาส สิงคิบุตร, วิชชากร จารุศิริ และ ปฐมทัศน์ จิระเดชะ. (2554). การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารในมหาวิทยาลัย. **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย**. 3-5 พฤษภาคม 2554, โรงแรม Phuket Orchid Resort and Spa หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต.

[3] ทรงวุฒิ นิรัญศิลป์, กฤตภาส คงคาพิสุทธิ์, และวิรงรอง มานิตยกุล. (2554). การปรับปรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ขนาด 2.5 ลูกบาศก์เมตร. **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย**. 3-5 พฤษภาคม 2554, โรงแรม Phuket Orchid Resort and Spa หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต.

[4] นิตินัย ปัญญ์บุศยกุล, กฤษฎา บุญศิริ, กรรณิกา พรโสภิณ, ธีรวัฒน์ อุดตะโมท, จารุวัตร เจริญสุข และ สุมิตรา จรสโรจน์กุลใ (2554). การศึกษาอัตราการไหลสารละลาย NaOH และความดันทางเข้าของก๊าซชีวภาพต่อการดูดซับ CO_2 ของกระบวนการผลิตไฮโดรเจนสำหรับระบบ SOFC. **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย**. 3-5 พฤษภาคม 2554, โรงแรม Phuket Orchid Resort and Spa หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต.

[5] ทศพร บัวดิก, โพชณงค์ จันทรศิริ, สรวุฒิ นิจสุนกิจ, จักรพงษ์ สาละพรรดิ์ และเอกพร แจ่ม
กระจ่าง. (2554). ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากใบประดู่อังสนาร่วมกับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม. **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย**. 3-5 พฤษภาคม 2554, โรงแรม Phuket Orchid Resort and Spa หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต.

[6] ณัฏฐาพันธุ์ สวัสดี, สหัฐยา ทองสาร และนิพนธ์ พิสุทธิ์ไพศาล. (2554). การผลิตก๊าซชีวภาพ
จากหญ้าเนเปียร์. **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย**. 3 – 5 พฤษภาคม 2554, โรงแรม Phuket Orchid Resort and Spa หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต.

ME
004

รูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม

The Development of a Waste Management Model Based on the Philosophy of Sufficiency Economy: A Case Study of Chiang Yuen District, Maha Sarakham Province

วิชญาพัลส์ ไชยสมบัติ[1],ชาติ ไชยสิทธิ์[1*], พิสิษฎ์ มณีโชติ[2]

[1] สมาคมพัฒนาชุมชน พิษณุโลก 65000

[2] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ เชิงคุณภาพ และการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้ที่มีบทบาทมากที่สุดของครัวเรือนในการจัดการจัดการขยะมูลฝอย จำนวน 392 ครัวเรือน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถาม ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และการวิเคราะห์เชิงพรรณนา สถิติที่ใช้ในการวิจัยคือ ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ผลการวิจัย พบว่า 1. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม พบว่า มี 9 ปัจจัย คือ 1)ปัจจัยด้านความรู้เกี่ยวกับหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง 2) ปัจจัยด้านการมีส่วนร่วม 3) ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากภาครัฐ 4) ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากภาพเอกชน และ5) ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากผู้นำชุมชน 6) ปัจจัยสนับสนุนทุนทางสังคม 7) ปัจจัยสนับสนุนทุนทางวัฒนธรรม 8) ปัจจัยสนับสนุนทุนทางความรู้ และ 9) ปัจจัยสนับสนุนทุนทางนวัตกรรม 2. รูปแบบการพัฒนาการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม ประกอบด้วยโครงสร้าง 13 กิจกรรม ได้แก่ 1) การอบรมเชิงปฏิบัติการการประยุกต์ใช้หลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงในการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชน 2) การกำหนดยุทธศาสตร์บริหารจัดการขยะแบบมีส่วนร่วมพหุภาคีของภาครัฐ ภาคเอกชนและภาคประชาชน 3) การจัดการเรียนรู้การจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนแบบครบวงจรในสถานศึกษาทุกระดับ 4) อบรมเชิงปฏิบัติการการทำปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพและทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร ใบไม้/หญ้า ฟางข้าว 5) กิจกรรมลดปริมาณขยะและลดใช้ถุงพลาสติกในครัวเรือน เช่น ส่งเสริมการใช้ถุงผ้า ปิ่นโตใส่อาหาร ถือตะกร้าจ่ายตลาด 6) สร้างข้อตกลงร่วมกัน (MOU) ของชุมชน แนวทางปฏิบัติที่ทุกคนสามารถนำมาใช้ได้ โดยการใช้หลัก 7R ได้แก่ Refuse, Refill, Return, Reuse, Repair, Reduce, Recycle 7) การส่งเสริมและสนับสนุนในด้าน งบประมาณ วัสดุ อุปกรณ์และด้านวิชาการให้หน่วยงานในระดับท้องถิ่นให้สามารถบริหารจัดการขยะมูลฝอยได้อย่างต่อเนื่องทั้งในระยะสั้นและระยะยาว 8) ส่งเสริมให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมในบริหารจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมในทุกขั้นตอน 9) ส่งเสริมให้เกิดกองทุนรับซื้อขยะรีไซเคิล หรือ

*Corresponding author: Tel.: 081-8865029 E-mail address: chartchaiyasit@gmail.com

แลกเปลี่ยนขยะในชุมชน 10) กิจกรรมสร้างมูลค่าเพิ่มจากเศษวัสดุเหลือใช้ การแปรรูปขยะ เช่น ทำกระเป๋า หมวกจากซองขนม ซองกาแฟ และส่งเสริมการตลาดให้ชุมชน 11) ส่งเสริม สนับสนุนให้เกิดแหล่งเรียนรู้การจัดการขยะเชิงระบบและขยายผลการเรียนรู้ให้กับชุมชนหรือพื้นที่อื่นได้ 12) การใช้สื่อประชาสัมพันธ์ การรณรงค์ ในการแก้ไขปัญหาการจัดการขยะในรูปแบบที่หลากหลาย และ13) ส่งเสริมและสนับสนุนพัฒนาหมู่บ้านต้นแบบในการจัดการขยะอย่างครบวงจร

คำสำคัญ: รูปแบบ พัฒนา การจัดการขยะมูลฝอย เศรษฐกิจพอเพียง

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานส่งผลกระทบโดยตรงต่อชุมชน สังคมอย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนบริบทและการจัดการเพื่อให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่าและยั่งยืน จากการสำรวจข้อมูลการเลี้ยงสัตว์ในหมู่บ้าน และชุมชนในเขตพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร พบว่า มีการเลี้ยงวัวไก่ และสุกรหลายแห่ง ซึ่งปัจจุบันได้ประสบปัญหาจากกลิ่น และแมลงวัน ประกอบกับในพื้นที่มีความใส่ใจสิ่งแวดล้อม และต้องการหาวิธีในการบริหารจัดการมูลสัตว์และของเสียที่เกิดขึ้นในพื้นที่ของชุมชน จึงได้เล็งเห็นถึงเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพที่เป็นแนวทางประยุกต์ใช้เพื่อจัดสรรทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพ ลดต้นทุน เพิ่มกำไร ตลอดจนสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงภายในพื้นที่ของชุมชน และส่งกระจายไปยังครัวเรือนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียงเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนก๊าซหุงต้มในครัวเรือนได้ เป็นการสร้างความมั่นคงและยั่งยืนด้านพลังงานให้กับชุมชนได้ ดังนั้น ผู้จัดทำจึงได้เล็งเห็นถึงการบริหารจัดการเพื่อความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับจังหวัดกำแพงเพชร และยังเป็นการสร้างความยั่งยืนให้กับชุมชนให้สามารถพึ่งพาตนเองด้านพลังงานในครัวเรือนได้ และสร้างเป็นชุมชนที่มีสุขลักษณะที่ดี และเป็นการสร้างภูมิคุ้มกันด้านพลังงานได้อย่างยั่งยืน ด้วยการนำของเสียจากการเลี้ยงสัตว์สู่กระบวนการจัดการด้วยเทคโนโลยีพลังงานชีวภาพ และการบริหารจัดการพลังงานก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการผลิตจากบ่อหมักให้มีความสมดุลและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและความเป็นอยู่ของชุมชน ทั้งนี้ เทคโนโลยีพลังงานชีวภาพ ยังให้พลังงานในรูปของก๊าซชีวภาพ ช่วยลดปัญหามลภาวะและสภาพแวดล้อม และกากที่ผ่านการย่อยสลายแล้วสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ในสภาพปุ๋ยน้ำและปุ๋ยแห้ง เพื่อการปรับปรุงบำรุงดินได้ดีอีกด้วย ดังนั้นสถานที่ปรึกษาเพื่อการพัฒนาพลังงานทดแทนฯ จึงร่วมกับ บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) ร่วมกันจัดโครงการหมู่บ้านจัดการตนเองด้านพลังงานทดแทน ระยะที่ 2 โดยนำองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไปทำการก่อสร้างระบบผลิตกาซชีวภาพจากมูลสัตว์ที่ได้ทำการสำรวจศักยภาพและออกแบบไว้ในโครงการ ระยะที่ 1 ในพื้นที่หมู่บ้านหนองมะเกาะ หมู่ที่ 3 ตำบลหนองหลวง อำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร ที่ได้คัดเลือกไว้จากการประชุมในโครงการระยะที่ 1 ซึ่งจากการสำรวจศักยภาพ พบว่า หมู่บ้านหนองมะเกาะมีจำนวนทั้งหมด 126 ครัวเรือน และมี 16 ครัวเรือน ที่เลี้ยงสัตว์และเข้าร่วมโครงการ โดยมีสุกร จำนวน 483 ตัว และวัวจำนวน 57 ตัว โดยให้การดำเนินงานของโครงการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพควบคู่กับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของชุมชนโดยมีเป้าหมายในการนำวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมไปใช้เพื่อ การพัฒนาและเผยแพร่การก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพในรูปแบบชุมชน (แบบโอ่ง) เพื่อนำของเสียจากการเลี้ยงสุกรและวัวมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ แทน LPG เพื่อนำกลับมาใช้ในชุมชน ช่วยลดรายจ่ายการใช้ LPG และสนับสนุนให้หมู่บ้านตระหนักในแนวคิดของการลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งภายนอกเน้นการพึ่งพาแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในชุมชน ลดกลิ่นเหม็นที่เกิดจากมูลสัตว์อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นรบกวนภายในชุมชน โดยใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม

2. เพื่อสร้างและพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม

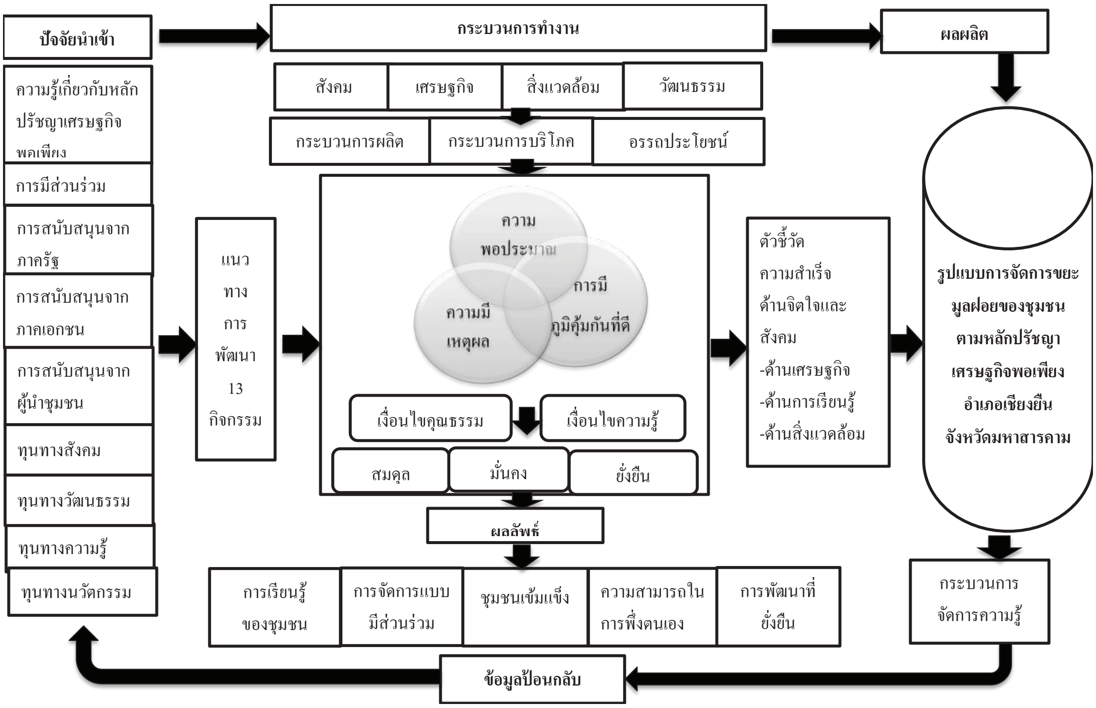
วิธีดำเนินการการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ เชิงปริมาณและการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม ประชากร ได้แก่ ครัวเรือนในเขตอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 18,333 ครัวเรือน กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ประชาชนผู้ที่มีบทบาทมากที่สุดของครัวเรือนในการจัดการจัดการขยะมูลฝอยจำนวน 392 ครัวเรือน ขั้นตอนการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ระยะดังนี้ ระยะที่ 1 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม ระยะที่ 2 การสร้างและการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยระยะที่ 1 เป็นแบบสอบถาม มีลักษณะเป็นแบบตรวจสอบรายการ แบบมาตราส่วนประมาณค่า ตามวิธีของลิเคอร์ท(Likert) และการวิจัยในระยะที่ 2 ใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลแบบสัมภาษณ์กึ่งมีโครงสร้าง

สรุปผลการวิจัย

1.ปัจจัยที่ส่งต่อการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม ประกอบด้วย 5 ปัจจัย ได้แก่ 1) ปัจจัยด้านความรู้เกี่ยวกับหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง 2) ปัจจัยด้านการมีส่วนร่วม 3) ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากภาครัฐ 4) ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากภาคเอกชน และ5) ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากผู้นำชุมชน โดยความรู้เกี่ยวกับกับหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง และการมีส่วนร่วมเป็นปัจจัยที่พบได้มากที่สุดในผลของการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม ด้านต่างๆ โดยตัวแปรดังกล่าวสามารถพยากรณ์การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม ได้ร้อยละ 94.5 97.5 96.5 96.2 และ 95.7 (R^2 = 0.945 0.975 0.965 0.962 และ0.957)แบ่งตามผลด้านการเรียนรู้ของชุมชน การจัดการแบบมีส่วนร่วม ชุมชนเข้มแข็ง ความสามารถในการพึ่งพาตนเอง และการพัฒนาที่ยั่งยืนตามลำดับ

2.การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม ผู้วิจัยสามารถสร้างกิจกรรมแนวการพัฒนาจากปัจจัยที่ส่งผลต่อการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 รูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืนจังหวัดมหาสารคาม

จากภาพที่ 1 การยืนยันรูปแบบโดยผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อรูปแบบโดยภาพรวมมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.14,S.D. =0.02)ถ้าพิจารณาเป็นรายด้าน ปรากฏว่า มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากทุกด้าน เรียงตามลำดับจากค่าเฉลี่ยมากไปน้อย ได้แก่ ด้านอรรถประโยชน์ ($\bar{X}$ = 4.18,S.D. =0.11) ด้านความเป็นไปได้ ($\bar{X}$ =4.19,S.D.=0.14) ด้านความเหมาะสม ($\bar{X}$ =4.14,S.D. =0.11)และด้านความถูกต้อง ($\bar{X}$=4.06,S.D.= 0.14)

อภิปรายผลการวิจัย

1.ปัจจัยที่ส่งผลต่อการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงในการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม ได้แก่

1.1 ปัจจัยด้านความรู้เกี่ยวกับหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง หมายถึง ความสามารถของชุมชนหรือรัฐในการปฏิบัติตนทุกระดับบนทางสายกลาง ประกอบด้วย เงื่อนไขความรู้ ความรอบรู้เกี่ยวกับเรื่องที่ทำอย่างลึกซึ่งและที่เกี่ยวข้องอย่างรอบด้าน และมีความรอบคอบในการนำความรู้มาใช้ ประกอบการวางแผนและความระมัดระวังในขั้นปฏิบัติ มีความตระหนักในคุณธรรม ซื่อสัตย์สุจริต ความอดทน ใช้สติปัญญาในการดำเนินชีวิต สู่เป้าหมายได้อย่างถูกต้องเที่ยงตรง ไม่เบียดเบียนตนเองและผู้อื่น การตัดสินใจจะต้องเป็นไปอย่างมีเหตุผล รอบคอบ และการมีภูมิคุ้มกันที่ดีในตัวเพื่อเตรียมตัวให้พร้อมรับผลกระทบและการเปลี่ยนแปลงด้านต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น สอดคล้องกับสุเมธ ตันติเวชกุล (2541 : 62) ให้ความหมายเศรษฐกิจพอเพียง หมายถึง ความสามารถของชุมชนเมือง รัฐ ประเทศ หรือภูมิภาคหนึ่งๆ ในการผลิตสินค้าและบริการเพื่อเลี้ยงสังคมโดยพยายามหลีกเลี่ยงที่จะพึ่งพาปัจจัยต่างๆที่เราไม่ได้เป็นเจ้าของ

1.2 ปัจจัยด้านการมีส่วนร่วม การมีส่วนร่วมของประชาชน ในการแก้ไขปัญหาของชุมชนจะประสบผลสำเร็จได้นั้น การมีส่วนร่วมของประชาชนเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ประชาชนต้องเข้ามามีส่วนร่วมในทุกกระบวนการทั้งร่วมคิด วิเคราะห์ปัญหา การกำหนดแนวทางพัฒนา เปิดโอกาสให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการปฏิบัติงาน หรือร่วมเสนอแนะแนวทางที่นำไปสู่การตัดสินใจ เพื่อสร้างความมั่นใจให้ประชาชนว่าข้อมูลความคิดเห็น และความต้องการของประชาชนจะถูกนำไปพิจารณาเป็นทางเลือกในการแก้ปัญหา มีส่วนร่วม ในทุกขั้นตอนของการตัดสินใจ และมีการดำเนินกิจกรรมร่วมกันอย่างต่อเนื่องและสุดท้ายให้ประชาชนในชุมชนเป็นผู้ตัดสินใจแก้ปัญหาของตนเอง เพื่อก่อให้เกิดความร่วมมือการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป สอดคล้องกับ วิรัช พิภาวรรณ (2530 : 61-63) กล่าวไว้ว่า กระบวนการในการมีส่วนร่วมใน การพัฒนาชนบท มี 4 ขั้นตอน คือ 1) การศึกษาชุมชน การค้นหาปัญหาและความต้องการของชุมชน 2) การวางแผนเพื่อแก้ปัญหา โดยมีการรวมกลุ่มกันอภิปราย 3) การลงมือปฏิบัติตามแผน 4) การประเมินผลงานโดยชาวบ้านและนักพัฒนาจะร่วมกัน สอดคล้องกับ Cohen and Uphoff (1977 : 7 - 9)กล่าวไว้ว่า การมีส่วนร่วมของประชาชน ได้แก่ 1) มีส่วนร่วมในกระบวนการตัดสินใจว่าจำทำอะไร และทำด้วยวิธีการอย่างไร 2) มีส่วนร่วมในการดำเนินโครงการ ตัดสินใจในการให้ทรัพยากรสนับสนุนโครงการและการร่วมมือกับองค์กรหรือกลุ่มกิจกรรมเป็นการเฉพาะ 3) มีส่วนร่วมในการแบ่งปันผลประโยชน์อันเกิดจากโครงการพัฒนา และ4) มีส่วนร่วมในการประเมินผลโครงการ สอดคล้องกับ Zarniminn. (2009 : 209-222) ได้ศึกษาวิจัย การพัฒนารูปแบบการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะของแข็งในท้องถิ่น เขตเทศบาลบากัน ประเทศพม่า พบว่า การจัดตั้งเครือข่ายความร่วมมือของประชาชนจะสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อมีการพัฒนาความรู้ ความเข้าใจและศักยภาพของประชาชน

1.3 ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากภาครัฐ ภาครัฐที่จะเข้ามามีส่วนร่วมเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียงในการจัดการปัญหาขยะมูลฝอยของชุมชน ในส่วนของภาครัฐซึ่งผู้กำหนดเป็นนโยบายในการพัฒนาประเทศ ต้องกำหนดเป็นนโยบายระดับชาติ เป็นวาระสำคัญแห่งชาติในการแก้ไปปัญหาขยะ กำหนดเป็นแผนงาน/โครงการสู่แนวทางปฏิบัติตั้งแต่ระดับชาติ ท้องถิ่น ชุมชน จนถึงระดับครอบครัว ให้มีส่วนร่วม สอดคล้องกับ ปาริชาติ วลัย

เสถียร และคณะ (2543 : 7) ปัจจัยเกี่ยวกับกลไกของรัฐ ทั้งในระดับนโยบาย การดำเนินการ มาตรการ และการปฏิบัติที่เอื้ออำนวย หรือสร้างช่องทางการมีส่วนร่วมของประชาชน เป็นระบบเปิดที่มีความเป็นประชาธิปไตย โปร่งใส ตรวจสอบได้ สอดคล้องกับ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2549 : 101) ได้กำหนดแนวทางการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะมูลฝอย โดยใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ในการสร้างแรงจูงใจเพื่อลดปริมาณขยะมูลฝอย เช่น การเก็บภาษีหรือค่าธรรมเนียมการปล่อยมลพิษหรือใช้สินค้าที่ก่อมลพิษสูง เร่งรัดการลงทุนก่อสร้างระบบการจัดการขยะมูลฝอยแบบครบวงจรและออกกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง

1.4 ปัจจัยด้านการสนับสนุนจากภาคเอกชน ความรู้ ความเข้าใจหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงของภาคเอกชนจะช่วย เป็นกลไก/เครื่องมือในการสร้างระบบการพัฒนาหมู่บ้านชุมชน ให้ สนับสนุนอุปกรณ์และงบประมาณ บุคลากร เทคโนโลยีในการพัฒนาชุมชน แหล่งรับซื้อสินค้าของชุมชน การประชาสัมพันธ์ภายในและภายนอกกลุ่มตลอดจนสังคมชุมชนอื่นๆ สอดคล้องกับกรมควบคุมมลพิษ (2552: 18) กล่าวไว้ว่า นโยบายการรวมกลุ่มขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ให้ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีปริมาณขยะมูลฝอยไม่มากมาใช้ระบบกำจัดร่วมกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นขนาดใหญ่ทำให้โครงการมีขนาดที่เหมาะสมกับการลงทุนและเป็นการส่งเสริมให้เอกชนเข้ามามีส่วนร่วมดำเนินการลงทุนก่อสร้างและบริหารจัดการระบบและกำหนดให้รัฐสนับสนุนงบประมาณเฉพาะค่าเดินระบบที่ต้องจ่ายให้กับเอกชนในรูปแบบของงบถดถอย สอดคล้องกับสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ(2554 : 101) ได้กำหนดแนวทางการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะมูลฝอย โดยสนับสนุน ส่งเสริมให้ภาคเอกชนเข้ามาร่วมลงทุนในการดำเนินงาน

1.5 การสนับสนุนจากผู้นำชุมชน ผู้นำจะต้องเป็นผู้ริเริ่มในการเปลี่ยนแปลงชุมชน จะต้องเรียนรู้หลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อถ่ายทอดให้ประชาชนในชุมชนทราบและต้องเรียนรู้ไปพร้อมกัน จะต้องบริหารจัดการชุมชนมีความรู้ความเข้าใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิต เป็นผู้ประสานความร่วมมือกันเครือข่ายใน และนอกชุมชนทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชน และจะต้องมีความมั่นใจตัดสินใจ ส่งเสริมให้หมู่บ้านเข้าสู่การพัฒนา กล้าคิด กล้าทำ กล้าเปลี่ยนแปลง เป็นแบบอย่างของสมาชิกในชุมชนหรือกลุ่มยกระดับหมู่บ้านเป็นชุมชนแหล่งเรียนรู้ สู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน สอดคล้องกับเสาวลักษณ์ นิกรพิทยา (2550 : 513) กล่าวถึงผู้นำว่าเป็นบุคคลซึ่งได้รับการแต่งตั้งหรือได้รับการยกย่องขึ้นจากกลุ่ม เพื่อให้เป็นหัวหน้าในการตัดสินใจ โดยมีอิทธิพลและความสามารถในการจูงใจคน เพื่อประโยชน์ในการทำงานให้บรรลุเป้าหมายขององค์การ สอดคล้องกับ Bennis and Nanus (1985 : 215) กล่าวไว้ว่า บุคคลที่มีบทบาทสำคัญในการเสริมสร้างความคิดสร้างสรรค์ เป็นสัญลักษณ์ของความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันในสังคม นำกลุ่มให้พ้นจากสภาพปัญหา ขจัดความขัดแย้งที่เกิดขึ้น และนำกลุ่มให้สามารถบรรลุตามเป้าหมายของสังคมที่วางไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล

1.6 ทุนทางสังคม เป็น ประโยชน์ในการ การเพิ่มศักยภาพในการทำงาน ลดต้นทุนการทำงานได้ เกิดวัฒนธรรมการพึ่งพาอาศัยกันหรือการต่างตอบแทนทำให้องค์กรชุมชนเข้มแข็งและมีพลังมากขึ้น การประยุกต์ใช้ทุนทางสังคม ในเรื่องการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชน ในเรื่องของการยอมรับและปฏิบัติตามกฎหมายที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ออกกฎหรือระเบียบมาให้ปฏิบัติเพื่อให้เกิดความเป็นระเบียบ เรียบร้อย บ้านเมืองสะอาดน่าอยู่อาศัยหรือ การมีความรับผิดชอบต่อสังคมโดยปรับเปลี่ยนวิธีคิด วิธีปฏิบัติในการลดปริมาณขยะต้นทาง โดยใช้แนวทางปฏิบัติของการลดปริมาณขยะมูลฝอยทั้งในกระบวนการผลิต กระบวนการบริโภค และเรื่องอรรถประโยชน์ สอดคล้องกับเสรี พงศ์พิศ (2548:19) ได้กล่าวถึง ทุนทางสังคม ซึ่งหมายถึงทุนทางปัญญาที่สืบทอดมาถึงประเพณีวัฒนธรรมวิถีชีวิต ระบบคุณค่า และการอยู่รวมกันในสังคม รวมถึงทุนทางทรัพยากร ทุนทางเศรษฐกิจอื่น ๆ อันเป็นมรดกที่พ่อแม่ปู่ย่าตายายได้สร้างไว้ และทุนทางธรรมชาติ ดิน น้ำ ป่าไม้ อากาศรอบตัว

1.7 ทุนทางวัฒนธรรม ถือเป็นศักยภาพที่สำคัญยิ่งของชุมชนท้องถิ่น และสังคมไทย ที่ได้แสดงออกในรูปแบบและวิธีการต่าง ๆ นำไปสู่การแก้ไขปัญหาของชุมชน โดยมีการเชื่อมโยงเป็นระบบเครือข่าย การบริหารจัดการทุกภาคส่วนของสังคม ทั้งภาครัฐ เอกชน และภาคประชาชน ในลักษณะของการเป็นหุ้นส่วนสำคัญ การสนับสนุนให้ชุมชนและประชาชนพึ่งพาภูมิปัญญาท้องถิ่นของตน และนำองค์ความรู้ในชุมชนซึ่งได้มาจากปราชญ์ชาวบ้าน การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ในชุมชน ทำให้เกิดการพัฒนาชุมชนได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืน สอดคล้องกับธิดารัตน์ ศรีขาว (2557 : 134-135) ได้ศึกษาวิจัย รูปแบบการพัฒนาการดำเนินชีวิตตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงของประชาชนชนบท จังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่า ความรู้ตัวแปรที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินชีวิตให้ประสบความสำเร็จ เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของแต่ละบุคคล แต่จะต้องนำความรู้ที่มีไปใช้ให้เกิดประโยชน์และใช้ในทางที่ถูกต้องสามารถประยุกต์ใช้และสามารถใช้ความรู้แก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ ได้

1.9 ทุนทางนวัตกรรม เป็นทุนของความคิด หรือการปฏิบัติ หรือสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ๆ ที่ยังไม่เคยมีใช้มาก่อนหรืออีกอย่างเป็นการพัฒนาดัดแปลงมาจากของเดิมที่มีอยู่แล้ว ให้ทันสมัยและใช้ได้ผลดียิ่งขึ้น รวมถึงการผลิตภัณฑ์บริการ กระบวนการผลิตใหม่ และ เมื่อนำ นวัตกรรมมาใช้จะช่วยให้การทำงานนั้นได้ผลดีมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงกว่าเดิม ช่วยประหยัดเวลาและแรงงาน ให้เป็นประโยชน์และเกิดผลพวงทางเศรษฐกิจและสังคม สอดคล้องกับ จีระ หงส์ลดารมภ์และคณะ (2557 : 12-13) กล่าวไว้ว่า แนวคิดเรื่องทุนแห่งความยั่งยืนเป็นการพัฒนาตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง คือ การพัฒนาที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของทางสายกลาง และความไม่ประมาท คำนึงถึงความพอประมาณ ความมีเหตุผล มีการสร้างภูมิคุ้มกันที่ดีในตัว ตลอดจนใช้ความรู้ ความรอบคอบ และคุณธรรมจริยธรรมประกอบการวางแผนด้านการตัดสินใจ และการกระทำ

2.ผลสำเร็จของพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงอำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม ได้แก่

2.1 การเรียนรู้ของชุมชน พบว่า การเรียนรู้ที่เกิดจากการได้รับการถ่ายทอดจากบุคคล การฝึกอบรม การศึกษาจากประการณ์จริง และมีส่วนร่วมในกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง ก่อเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของคนในชุมชนในเรื่องนั้นๆ ในเรื่องการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชน มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน ระหว่างสมาชิกในชุมชน มีการเรียนรู้ด้านต่างๆ เช่น การพัฒนาวิธีจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนด้วยหลัก 7R การนำขยะไปใช้ให้เกิด ประโยชน์ การเพิ่มมูลค่าของขยะเพื่อสร้างรายได้ การบริหารจัดการกองทุนจิตอาสาเพื่อจัดการปัญหาขยะมูลฝอยของชุมชนร่วมกันร่วมกัน สอดคล้องกับภัทร์ พลอยแหวน (2553: 375-376) ได้ศึกษาวิจัย การขับเคลื่อนปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงในภาคธุรกิจเอกชน การวิเคราะห์เชิงพหุศึกษา พบว่า การเรียนรู้ของชุมชนเกี่ยวกับปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง จากประสบการณ์จริงด้วยตนเองโดยทำความเข้าใจ ทดลองปฏิบัติ การทำตามต้นแบบที่ดี การมีส่วนร่วมในกิจกรรมและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน

2.2 การจัดการแบบมีส่วนร่วม ในการจัดการปัญหาของชุมชนในแต่ละประเด็นจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือของชมชน เข้ามาจัดการองค์กรในชุมชน มีการทำกิจกรรมร่วมกัน ก่อเกิดการพัฒนาชุมชน กระแสที่จะให้ประชาชนหันมาประยุกต์ใช้แนวคิดเศรษฐกิจพอเพียงในการดำเนินชีวิตประจำวันโดยมีการปรับเปลี่ยนวิธีคิดและวิธีปฏิบัติให้เกิดผลเป็นรูปธรรม ดังเช่นชุมชนได้เรียนรู้การจัดการขยะมูลฝอยของชุมชนแบบมีส่วนร่วม ส่งเสริมความ เข้าใจการทำงานร่วมกัน การพึ่งพาอาศัยกัน ร่วมแรงร่วมใจทำงานให้การแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยประสบผลสำเร็จ สอดคล้องกับเกศแก้ว วิมลมาลา (2539 : 1) กล่าวไว้ว่า รูปแบบการบริหารที่สมาชิกในองค์กรและผู้บริหารมีโอกาสร่วมกันคิด ร่วมกันทำ ร่วมกันตัดสินใจ และกำหนดนโยบายในการบริหารร่วมกัน

2.3 ชุมชนเข้มแข็ง เมื่อชุมชนมีการประยุกต์ใช้หลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงในการดำเนินชีวิตประจำวันอย่างต่อเนื่อง ประชาชนได้ชีวิตแบบพอเพียง มีความพอประมาณ และมีภูมิคุ้มกันที่ดีก่อให้เกิดการพัฒนาและแก้ไขปัญหาของชุมชน ให้สามารถพึ่งพาตนเองได้ ตั้งอยู่บนพื้นฐานความมีเหตุผลและสมดุลของแต่ละชุมชน สอดคล้องกับสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2548 : 37-53) กล่าวไว้ว่า ปัจจัยในการขับเคลื่อนการพัฒนาบนพื้นฐานของปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง กระบวนการใช้เครือข่ายและชุมชนเข้มแข็งขับเคลื่อนปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงมีขั้นตอนดังนี้ 1) หาวิธีการถ่ายทอดการเรียนรู้และถอดแบบโดยมีชุมชนหลัก 2) มีการติดตามประเมินผลอย่างต่อเนื่องโดยการสรุป บทเรียนและแลกเปลี่ยนเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง 3) ปัจจัยหลักเกิดชุมชนที่เข้มแข็ง คือ มีแหล่งทุนหนุนเสริมและมีหลักสูตรที่จะเรียนรู้

2.4 ความสามารถในการพึ่งตนเอง ก่อเกิดให้ชุมชนมีความสามารถในการดำรงตน อยู่ได้อย่างอิสระ มั่นคงมีความรับผิดต่อตนเองและสังคมไม่ก่อเกิดปัญหาการใช้ทรัพยากรอย่างไร้ค่า มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมตนเองในการที่จะเลือกใช้สินค้าและบริการให้ มีความสมดุล สอดคล้องกับอาภากร ประจันตะเสน (2558 : 25) กล่าวไว้ว่าความสามารถในการพึ่งตนเอง หมายถึง การที่ประชาชนมีความสามารถในการดำเนินการตอบสนองความต้องการของตนเองให้บรรลุเป้าหมาย โดยอาศัยความพยายามและความสามารถของตนเอง เพื่อให้ตนเองอยู่ได้อย่างอิสระ มั่นคงสมบูรณ์ สามารถพึ่งตนเองในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านเทคโนโลยี ด้านเศรษฐกิจ ด้านทรัพยากรธรรมชาติ ด้านจิตใจ และด้านสังคม

2.5 การพัฒนาที่ยั่งยืน การประยุกต์ใช้หลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงต้องอาศัยความร่วมมือของชุมชนจะต้องเป็นการพัฒนาทุกด้าน โดยมีการบริหารจัดการที่ดี มีภาคีเครือข่ายและประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมทุกเพื่อนำไปสู่ชุมชนที่มีการพัฒนาที่ยั่งยืน สอดคล้องกับจีระ หงส์ลดารมภ์และคณะ (2547 : 12-15) กล่าวไว้ว่าปัจจัยของความยั่งยืนที่สำคัญ การพัฒนาอย่างยั่งยืนต้องเน้นขั้นตอนการพัฒนาในระยะสั้นสร้างความสำเร็จ และสมดุลเพื่อให้ระยะยาวอยู่รอดต้องสอดคล้องไปด้วยกันกับสภาพแวดล้อมทรัพยากรธรรมชาติต้องไม่ถูกทำลาย ต้องมีทั้งศีลธรรม คุณธรรม และจริยธรรมควบคู่กันกับความเจริญ ต้องเป็นสังคมการเรียนรู้ ต้องกระจายความเจริญและรายได้อย่างเสมอและต้องเป็นการพัฒนาที่พึ่งตัวเอง

2.6 กระบวนการจัดการเรียนรู้ของชุมชน ก่อให้เกิดพลังความร่วมมือเป็น ก่อให้เกิดพลังกับขับเคลื่อนทั้งเชิงกิจกรรม การเรียนรู้ การสร้างความรู้ใหม่ในการจัดการขยะมูลฝอย สอดคล้องกับสีลาภรณ์ บัวสาย (2547 : 80) กล่าวไว้ว่า การจัดการความรู้ของคนในชุมชนที่สามารถอยู่รอดมาได้ มักจะเป็นชุมชนที่สามารถจัดการความรู้ของตนเองได้ การจัดการความรู้ ภูมิปัญญาท้องถิ่นจนเกิดเป็นความเข้มแข็งของชุมชนหรือท้องถิ่นนั้นได้ โดยมีเครื่องมือหรือกระบวนการที่ทำให้สามารถเก็บ รับ สร้าง และต่อยอดองค์ความรู้ที่นำมาใช้การพัฒนาให้สามารถอยู่รอดและเติบโตได้โดยอาศัยพลังปัญญาของคนในชุมชนเป็นหลัก

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2552).**ข้อเสนอแนวทางการสนับสนุนงบประมาณให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นด้านการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชน.** กรุงเทพมหานคร,2552.

กรมการพัฒนาชุมชน. (2549). **ผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวข้องกับงานพัฒนาชุมชน ปี 2549**. กรุงเทพฯ : กลุ่มงานวิชาการ กองวิชาการและแผนงาน กรมพัฒนาชุมชน กระทรวงมหาดไทย.

คณะอนุกรรมการขับเคลื่อนเศรษฐกิจพอเพียง. (2548). **ประมวลคำในพระบรมราโชวาทพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชตั้งแต่พุทธศักราช 2453–2546 ที่เกี่ยวข้องกับปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง.** กรุงเทพฯ : ส่วนเศรษฐกิจพอเพียง สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, คำแถลงนโยบายของคณะรัฐมนตรี พลเอกประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี. เมื่อวันที่ 12 กันยายน 2557. (สืบค้นเมือวันที่ 26 พฤษภาคม 2558) http://www.most.go.th/main/index.php/about-us/policy-most/2558/3947.html

ชาลี ประสมเพชร. (2557). **รูปแบบการจัดการขยะของประชาชนในเขตหมู่บ้าน จังหวัดอุดรธานี.** วิทยานิพนธ์ ปร.ด. สาขายุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาค. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

ธนากร สังเขป. (2555). **การพัฒนาที่ยั่งยืน.** พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธิดารัตน์ ศรีขาว. (2557). **รูปแบบการพัฒนาการดำเนินชีวิตตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงของประชาชนชนบทจังหวัดกาฬสินธุ์.**วิทยานิพนธ์ ปร.ด. สาขายุทธศาสตร์การพัฒนาภูมิภาคมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

ภัทร์ พลอยแหวน. (2553).**การขับเคลื่อนปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงในภาคธุรกิจเอกชน การวิเคราะห์เชิงพหุศึกษา.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาพัฒนศึกษา ภาควิชานโยบายการจัดการและความเป็นผู้นำทางการศึกษา คณะครุศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2549). **แผนพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 10 (2550 - 2554).** กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2554). **แผนพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 (2555 - 2559).**กรุงเทพฯ.

สำนักงานส่งเสริมการปกครองท้องถิ่นอำเภอเชียงยืน. (2558). **สรุปข้อมูลแบบรายงานการจัดการขยะมูลฝอย**, 2558.

เสาวลักษณ์ นิกรพิทยา. (2550). **การจัดการและพฤติกรรมองค์การ.** มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

สีลาภรณ์ บัวสาย. พลังท้องถิ่น .(2547). **บทสังเคราะห์งานวิจัยด้านชุมชน.** กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.).

เสรี พงศ์พิศ. (2548). **ชุมชนเรียนรู้อยู่เย็นเป็นสุข.** กรุงเทพฯ : เจริญวิทยาการพิมพ์.

อิราวัฒน์ ชมระกา ,ปิยวรรณ ปาลาศ และคณะ .(2551).**รูปแบบการจัดการเครือข่ายการตลาดผลิตภัณฑ์ชุมชน จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยความร่วมมือของมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์และองค์กรท้องถิ่น.** มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์.

อุทิศ สังขรัตน์. (2553). **กระบวนการสร้างปราชญ์บ้านลุ่มทะเลสาบสงขลาในกระแสพัฒนาแนววัฒนธรรมชุมชน.** วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวัฒนธรรมศึกษา มหาวิทยาลัยทักษิณ.

Bennis, W. G. and Burt Nanus. (1971). **Leaders : The Strategies for Taking Change**. New York : Harper and Row, 1985.

Bloom, Banjamin S. (มมป). **Handbook on Formative and Summative Evacuation of Student Learning**. New York : Mc Graw-Hill.

Cohen, J.M. and N.T. Uphoff.Rural (1977). **Development Participation : concept and Measures for Project Design Implementation and Ealuation. Rural Development Committee Center for international Studies**, Cornell University.

Silaban. T. (2002). **Solid Waste Management in Surabaya**. [Online]. Retrieved August 24, 2002. From http:www.utoronto.ca/env/st/jg-d/reduction.him.

Sun. Five .(2010). **Critical Knowledge Management Organizational Themes**. Jounal of Knowledge Management 14(14) : 507-523.

Zarniminn. (2009). **Development of a participatory municipal solid waste management model in Bagan Municipality**. Myanmar : Khon-kaen university.

การเชื่อมร้อยและยกระดับเครือข่ายองค์กรเอกชนสนองต่อการขับเคลื่อนเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อม

Linking and upgrading private networks to drive energy and the environment

ชาติ ไชยสิทธิ์[1]*, พิสิษฎ์ มณีโชติ[2]

[1] สมาคมพัฒนาชุมชน พิษณุโลก 65000

[2] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องการเชื่อมร้อยและยกระดับเครือข่ายองค์กรเอกชนสนองต่อการขับเคลื่อนเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อม มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนากลไกการเชื่อมร้อยเครือข่ายองค์กรเอกชน สู่ภาคีความร่วมมือให้เกิดพลังการขับเคลื่อนทางสังคมในกิจกรรมพลังงาน ตามวิถีวัฒนธรรมของแต่ละเครือข่ายร่วมกับกระทรวงพลังงาน เพื่อกำหนดแนวทางการผลักดันนโยบายพลังงานสู่การปฏิบัติ แบบมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน ในระดับพื้นที่อย่างเป็นรูปธรรม เหมาะสมกับบริบทและการเปลี่ยนแปลงของโลก เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ กลุ่มเป้าหมายเป็นภาคีเครือข่ายความร่วมมือที่อาสาเข้าร่วมกิจกรรม ผลการวิจัย พบว่า 1.การสร้างเวทีเครือข่ายควรมีการแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างกันเช่นด้านเทคโนโลยีพลังงานชุมชน การจัดการพลังงาน การเสริมสร้างความรู้หรือกรณีศึกษาในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้เกิดการพัฒนาความรู้ของผู้เข้าร่วมกิจกรรม หรือการศึกษาพื้นที่สำเร็จเป็นรูปธรรมชัดเจนและการวิเคราะห์ผล เพื่อให้เกิดการนำไปใช้ที่เหมาะสมในพื้นที่ตนเองหรือนำไปสู่การต่อยอดองค์ความรู้ 2. การผนึกพลังเครือข่ายควรอยู่บนพื้นฐานของการพัฒนากลไกที่อิงกับสภาพของการทำงานที่เป็นรูปธรรมในพื้นที่ ก่อให้เกิดเป็นหน่วยจัดการความรู้เพื่อเป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาถิ่นจนสร้างกิจกรรมสร้างหลักสูตรการเรียนรู้ขึ้นมาและเกิดการประสานเครือข่ายสร้างกลไกเครือข่ายเพื่อการสร้างกิจกรรมให้เกิดเป็นรูปธรรมและนำไปสู่การผลักดันในระดับนโยบายตั้งแต่ละดับตำบล จังหวัดและระดับประเทศที่ผ่านกระทรวงพลังงานขึ้นไป 3. การสร้างความเข้มแข็งของชุมชน ส่งเสริมให้ทุกภาคส่วนในการอนุรักษ์และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเช่น มีการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร การผลิตถ่ายคุณภาพสูง การสูบน้ำด้วยระบบโซลาร์เซลล์ ซึ่งกิจกรรมควรเป็นเครื่องมือในการสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชน สร้างการยอมรับและเกิดทัศนคติที่ดีต่อเทคโนโลยีพลังงานทดแทน การใช้งานระบบพลังงานทดแทนต้องสามารถตอบโจทย์ด้านการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและสามารถลดการใช้พลังงานสิ้นเปลือง ควรมีระบบการติดตามประเมินผลแบบมีส่วนร่วมของภาคีต่าง ๆ ในพื้นที่และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีแผนงานของหน่วยงานในพื้นที่รองรับระบบการผลิตฯเพื่อให้เกิดการหนุนเสริมด้านการจัดการระบบที่ต่อเนื่อง 4. การสร้างเครือข่ายความร่วมมือควร สร้างกลไกการบริหารจัดการผ่านภาคีความร่วมมือในพื้นที่เพื่อระดมทรัพยากรมาร่วมด้วยช่วยกันให้กิจกรรมมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะสามารถสร้างความต่อเนื่องของกิจกรรมได้ โดยอิงกับกระบวนการวิจัย 5 ขั้นตอน

คำสำคัญ: การเชื่อมร้อยและยกระดับเครือข่ายองค์กรเอกชน พลังงานและสิ่งแวดล้อม

*Corresponding author: Tel.: 081-8865029 E-mail address: chartchaiyasit@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันพลังงานจัดเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ เพื่อความมั่นคงด้านพลังงาน มีศักยภาพในการแข่งขัน จะต้องมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เร่งพัฒนาพลังงานทดแทนที่มีอยู่ในประเทศขึ้นมาทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงธรรมชาติ ที่มีอยู่อย่างจำกัด จากข้อมูลสถานการณ์พลังงานประเทศไทยในปี 2558 พบว่าความต้องการใช้พลังงาน เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อน ร้อยละ 1.3 การพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ปี 2558 อยู่ที่ระดับร้อยละ 60 เพิ่มขึ้นจากปี 2557 ร้อยละ 57 และยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้งาน (ที่มา:สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน)

กระทรวงพลังงานได้กำหนดยุทธศาสตร์อนุรักษ์พลังงาน 20 ปี(พ.ศ. 2554 - 2573) กระจายภาระความรับผิดชอบด้านการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน การส่งเสริมและพัฒนาพลังงานทดแทน โดยเฉพาะมิติของการแสวงหาหรือพึ่งพาแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อลดการพึ่งพาพลังงานจากภายนอกชุมชน การนำแหล่งพลังงานที่มีอยู่ มาเพิ่มมูลค่าการใช้งานด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม เพิ่มผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจสู่ภาคส่วนต่างๆ ของสังคมมากขึ้น การเพิ่มบทบาทของภาคเอกชนเป็นหุ้นส่วนที่สำคัญ องค์การบริหารส่วนท้องถิ่น รวมทั้งการให้หน่วยงานภาครัฐแสดงบทบาทเป็นแบบอย่างที่ดี โดยเป้าหมายลดระดับการใช้พลังงานต่อผลผลิตลงร้อยละ 25 ภายใน 20 ปี และได้พัฒนาโครงสร้างการบริหารงานภายในส่วนสำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน จัดตั้งสำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน ขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่หลักในการสร้างการมีส่วนร่วมของประชาชนและภาคส่วนต่างๆ ให้เกิดการยอมรับการพัฒนาพลังงานของประเทศให้มีความมั่นคงและยั่งยืนโดยยึดหลักธรรมาภิบาล

ทางองค์กรเครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน ร่วมกับ สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน ได้เชิญตัวแทน เครือข่ายภาคีความร่วมมือทั้งประเทศ เข้าร่วมระดมความคิด เพื่อกำหนดทิศทางการทำงานร่วมกัน พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบ คือ การดำเนินโครงการที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งมีผลต่อการส่งต่อองค์ความรู้ในระดับชุมชน ขาดรูปแบบหรือกลไกการเชื่อมร้อยเครือข่ายภาคีความร่วมมือให้เกิดพลังการขับเคลื่อนทางสังคม ซึ่งนำไปสู่การขาดยุทธศาสตร์การขับเคลื่อนเชิงหุ้นส่วนการจัดการ จึงมีผลต่อการบูรณาการแผนงานร่วมกัน และการผลักดันนโยบายพลังงานสู่การปฏิบัติ แบบมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนในระดับพื้นที่อย่างเป็นรูปธรรม เหมาะสมกับบริบทและการเปลี่ยนแปลงของโลก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษา “การเชื่อมร้อยและยกระดับเครือข่ายองค์กรเอกชนสนองต่อการขับเคลื่อนเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อม” เพื่อให้เกิดกระบวนการขับเคลื่อนขององค์กรเครือข่ายด้านพลังงาน เกิดการพัฒนากลไกการเชื่อมร้อยเครือข่าย ตลอดจนการส่งต่อองค์ความรู้ของเครือข่ายสู่เครือข่าย เพื่อให้เกิดการพัฒนาองค์กร ให้มีประสิทธิภาพประสิทธิผล ในการผลักดันนโยบายพลังงานสู่การปฏิบัติ แบบมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน ในระดับพื้นที่อย่างเป็นรูปธรรมเหมาะสมกับบริบท ต่อไป

วัตถุประสงค์

1.เพื่อพัฒนากลไกการเชื่อมร้อยเครือข่ายองค์กรเอกชน สู่ภาคีความร่วมมือให้เกิดพลังการขับเคลื่อนทางสังคมในกิจกรรมพลังงาน ตามวิถีวัฒนธรรมของแต่ละเครือข่ายร่วมกับกระทรวงพลังงาน

2.เพื่อกำหนดแนวทางการผลักดันนโยบายพลังงานสู่การปฏิบัติ แบบมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน ในระดับพื้นที่อย่างเป็นรูปธรรม เหมาะสมกับบริบทและการเปลี่ยนแปลงของโลก

การทบทวน (Review) เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดเกี่ยวกับพลังงาน

1.1 แนวคิดเกี่ยวกับการจัดการพลังงาน

รัฐฐาน์ ฤทธิเกริกไกร (2546)ระบบการจัดการพลังงาน สิ่งสำคัญประการแรกที่ต้องมีคือนโยบายพลังงาน ซึ่งกำหนดโดยผู้บริหารระดับสูงขององค์กร หรือผู้ที่ได้รับการแต่งตั้งให้รับผิดชอบ ดูแลพลังงาน เพื่อที่จะได้นำนโยบายที่กำหนดขึ้นนี้ไปประกาศให้ทราบและถือปฏิบัติทั้งองค์กร ประการต่อมาคือต้องมีการกำหนดโครงสร้างหน้าที่และความรับผิดชอบ เพื่อดำเนินการวางแผนอนุรักษ์พลังงาน โดยผู้รับผิดชอบดำเนินการจัดการพลังงาน ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบดำเนินการทั้งหมดของโครงการจำเป็นที่จะต้องมีความรู้ ความเข้าใจในการอนุรักษ์พลังงานเป็นอย่างดี และต้องรวบรวมมาตรฐานและข้อกำหนดต่างๆ ในการอนุรักษ์พลังงานของอุปกรณ์แต่ละประเภท เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนด และดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน เมื่อวางแผนอนุรักษ์พลังงานเป็นที่เรียบร้อยแล้วก็นำไปปฏิบัติโดยมีการตรวจสอบและปฏิบัติการแก้ไข ซึ่งต้องมีการตรวจวัดการใช้พลังงานที่ถูกต้อง นำบทสรุปของการดำเนินการทั้งหมดมาทบทวน ปรับปรุงเพื่อนำไปวางแผนและกำหนดนโยบายพลังงานใหม่ จึงจะก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานที่ยั่งยืนในที่สุด

บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ (2548) การวางแผนพลังงานระดับชุมชน จะมุ่งเน้นระบวนการสร้างการมีส่วนร่วมของประชาคมในการจัดการพลังงาน สิ่งแวดล้อม และแผนงบประมาณในท้องถิ่นของตนเองให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต โดยผ่านกระบวนการเรียนรู้เพื่อทาความเข้าใจในเรื่องพลังงาน ศึกษาเทคโนโลยีพลังงานทางเลือก รวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลในชุมชน แล้วนำมาประเมินผลกระทบของระบบพลังงานในอนาคตได้ จากนั้นจึงร่วมกันวางแผนปฏิบัติการในการจัดการด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในชุมชนโดยคนในชุมชนนั่นเอง

วิจิตรา ชูสกุล (2551) การวางแผนพลังงานชุมชนอาจกล่าวได้ว่า เป็นกระบวนการสร้างการมีส่วนร่วมของประชาคม ในการจัดการด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นของตนเองเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้นโดยเน้นตามศักยภาพในพื้นที่ บนพื้นฐานแห่งความพอเพียงและความเหมาะสมของท้องถิ่นนั้นๆ จะเห็นได้ว่าการวางแผนพลังงานชุมชนนั้นเน้นการมีส่วนร่วมของคนในชุมชนในการจัดการพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม ตามศักยภาพของชุมชนเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน

1.2 ทิศทางของระบบการจัดการพลังงานที่ยั่งยืนให้ประสบผลสำเร็จ

อนุบุตร สง่าราศี และคณะ (2547) การจัดการพลังงานที่ยั่งยืนให้ประสบผลสำเร็จคือ 1) ทรัพยากรพอเพียง พลังงานหมุนเวียนที่อยู่บนฐานของการใช้ทรัพยากรท้องถิ่น โดยคำนึงถึงศักยภาพของทรัพยากรในท้องที่และความเหมาะสมของท้องถิ่นเป็นสำคัญ เพื่อการพึ่งพาตนเองอย่างยั่งยืน 2) ไม่ผูกขาดประเภทของพลังงานทางเลือก การเลือกใช้พลังงานทางเลือกจะแตกต่าง กันไปตามศักยภาพของทรัพยากรที่มีอยู่ในแต่ละพื้นที่ และการพัฒนาแหล่งผลิตพลังงานที่มีขนาดเล็กซึ่งชุมชนท้องถิ่นสามารถกากับดูแลและควบคุมผลกระทบทางบวกและทางลบได้ จะเป็นการใช้ทรัพยากรในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์ และเป็นการพึ่งพาตนเองของท้องถิ่นรวมถึงประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสายส่งระบบไฟฟ้าและเป็นการลดการสูญเสียพลังงานในสายส่งเมื่อส่งไฟฟ้าระยะทางไกลๆ 3) ภูมิปัญญาพอเพียง ตระหนักถึงการสนับสนุนส่งเสริมให้เกิดการฟื้นฟูพัฒนาภูมิปัญญาท้องถิ่นที่ใช้ในการจัดการพลังงาน เพื่อพัฒนาระบบพลังงานอย่างยั่งยืนและไม่ต้องพึ่งพาการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ 4) ใช้อย่างพอเพียง ทางเลือกของระบบพลังงานไม่ได้มีเพียงการใช้พลังงานหมุนเวียนเท่านั้น แต่การวางแผนพลังงานระดับท้องถิ่นและการจัดการกับการใช้พลังงาน นั่นคือการ อนุรักษ์พลังงานและ

การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ก็ถือเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการใช้พลังงาน อย่างยั่งยืนด้วย 5) กระจายศูนย์ ระบบพลังงานที่กระจายศูนย์อำนาจ (Decentralized Energy System) โดยมีกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนตั้งแต่ขั้นตอนการตัดสินใจ จนถึงการกำกับดูแล และตรวจสอบ และเคารพต่อสิทธิของประชาชนและชุมชนในแง่ของผู้บริโภค เจ้าของทรัพยากร และผู้ที่ได้รับผลกระทบ 6) พอเพียงอย่างถ้วนหน้า สามารถรองรับความมั่นคงทางเศรษฐกิจและการพัฒนา เศรษฐกิจให้กับประชาชนในทุกระดับ มิใช่ระบบที่ต้องมีผู้เสียสละความมั่นคงในชีวิตของตนเพื่อให้กับผู้คนอีกกลุ่มหนึ่งได้ใช้พลังงานอย่างล้นเกินไม่รู้จบ แนวทางที่ได้กล่าวมานี้สอดคล้องกับนโยบายของประเทศที่ต้องการเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงาน ให้มีพลังงานใช้อย่างทั่วถึงและเป็นธรรม คำนึงถึงสภาพแวดล้อม รวมถึงสร้าง จิตสำนึกให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

1.3 การจัดการพลังงานชุมชน

ทศพร นรพันธุ์, ได้ให้แนวคิดในการให้ครัวเรือนผลิตพลังงานใช้ในครัวเรือนหรือชุมชนจะเป็นสิ่งที่ดี แต่การดำเนินการดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนดำเนินการที่สูงพอประมาณ และต้องเอาจริงเอาจังในการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง การสร้างพลังงานชุมชน หากจะให้ได้ผลจริงๆ ภาครัฐควรร่วมมือกับชุมชนเป็นผู้ดำเนินการ โดยให้รัฐเป็นผู้ลงทุนพร้อมให้ความรู้ทางวิชาการ ซึ่งการให้ความรู้แก่ครัวเรือนและชุมชนในด้านการประหยัดพลังงานและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ถือว่าเป็นแนวทางที่สามารถดำเนินการได้ง่าย มีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก มีความเป็นไปได้จริงในทางปฏิบัติ และจะต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง ชุมชนมีการจัดทำแผนพลังงานชุมชน นำความรู้ที่ได้รับไปเผยแพร่ต่อ สร้างความเข้าใจอย่างถูกต้องแก่คนในชุมชน ตลอดจนสามารถใช้เทคโนโลยีพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการพัฒนาครอบครัว ชุมชน ฐานอาชีพได้อย่างยั่งยืนต่อไป

แนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนารูปแบบ

รุ่งนภา จิตรโรจน์รักษ์ (2548, หน้า 15 อ้างถึงในจำนง แจ่มจันทร์วงค์, 2553,หน้า 16) ได้ให้ความหมายของคำว่า รูปแบบ สามารถสรุปได้ 4 ลักษณะคือ 1) รูปแบบเสมือนจริง แต่มีขนาดเล็กหรือย่อส่วนเพื่อนำไปใช้เป็นแบบอย่างในการดำเนินการต่อไป 2) สิ่งที่แสดงโครงสร้างของความสัมพันธ์ระหว่างชุดปัจจัย หรือองค์ประกอบเชิงเหตุผล เพื่อช่วยให้เข้าใจข้อเท็จจริง หรือปรากฏการณ์ใดปรากฏการณ์หนึ่ง โดยอาจมีลักษณะเชิงกายภาพหรือเชิงคุณภาพก็ได้ 3) แบบอย่างหรือแนวทางในการกระทำหรือดำเนินการใด ๆ โดยแสดงหรืออธิบายให้เห็นถึงโครงสร้างทางความคิดหรือความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่สำคัญ และ 4) สิ่งที่พัฒนาขึ้นเพื่ออธิบายคุณลักษณะที่สำคัญของปรากฏการณ์ที่จะทำให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจโดยรายละเอียดและองค์ประกอบของรูปแบบที่เหมาะสมไม่ได้มีการกำหนดไว้ตายตัว แต่ขึ้นกับลักษณะของปรากฏการณ์และวัตถุประสงค์ของผู้สร้างหรือพัฒนารูปแบบ ซึ่งรูปแบบอาจเป็นแบบง่ายหรือซับซ้อนก็ได้

อุทุมพร จามรมาน (2541, หน้า 24 อ้างถึงในภัทรวรรธน์ นิลแก้วบวรวิชญ์, 2559,หน้า 20) กล่าวว่าการตรวจสอบรูปแบบควรตรวจสอบ คุณลักษณะ 2 อย่าง คือ 1. การตรวจสอบความมากน้อยของความสัมพันธ์ ความเกี่ยวข้อง เหตุผลระหว่างตัวแปร 2. การประมาณค่าพารามิเตอร์ของความสัมพันธ์ ดังกล่าว โดยสามารถประมาณค่าข้ามกาลเวลากลุ่มตัวอย่าง หรือสถานที่ได้ หรืออ้างอิงจากกลุ่มตัวอย่าง ไปหาประชากรได้โดยผลการตรวจสอบนำไปสู่คำตอบได้ 2 ข้อ คือ การสร้างรูปแบบ และ การปรับปรุงหรือพัฒนารูปแบบเดิม

ธิดารัตน์ ศรีขาว (2557, น. 14อ้างถึงใน วิชญาพัลส์ ไชยสมบัติ, 2560,หน้า 16) ให้ความหมายของรูปแบบ หมายถึง สภาพลักษณ์ที่ครอบคลุมองค์ประกอบสำคัญซึ่งได้รับการจัดไว้อย่างเป็นระเบียบ ตามหลักปรัชญา ทฤษฎี หลักการ แนวคิดหรือความเชื่อต่าง ๆ ประกอบด้วย กระบวนการหรือขั้นตอนสำคัญรวมทั้งวิธีการและเทคนิคต่าง ๆ ที่สามารถช่วยให้สภาพนั้นเป็นไปตามทฤษฎี หลักการ แนวคิดที่ได้รับการพิสูจน์ หรือยอมรับว่ามีประสิทธิภาพ สามารถใช้เป็นแบบแผนให้บรรลุวัตถุประสงค์เฉพาะของรูปแบบนั้น ๆ

แนวคิดเกี่ยวกับเครือข่ายทางสังคม

เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์ (2545, น. 46อ้างถึงในภัทรวรรธน์ นิลแก้วบวรวิชญ์, 2559,หน้า 28) ให้ความหมายของเครือข่าย เพื่อปฏิรูปการศึกษา หมายถึง การที่ปัจเจกบุคคลองค์กร หน่วยงาน หรือสถาบันใด ๆ ได้ตกลงที่จะประสาน เชื่อมโยงเข้าหากันภายใต้วัตถุประสงค์หรือข้อตกลงอย่างใดอย่างหนึ่งร่วมกันอย่างเป็นระบบ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อปฏิรูปการศึกษา กลุ่มเครือข่ายนั้น ต้องมีการแสดงออกเป็นการลงมือกระทำกิจกรรมร่วมกัน ทั้งนี้การเชื่อมโยงเข้าหากันเป็นเครือข่าย ไม่ใช่การรวมกลุ่มของสมาชิกที่มี ความสนใจเพียงต้องการพบปะแลกเปลี่ยนความคิดเห็น หรือร่วมสังสรรค์กันเท่านั้น แต่หมายถึง ความต้องการที่จะพัฒนาไปสู่การลงมือกระทำกิจกรรมร่วมกัน โดยมีเป้าหมายร่วมกันที่ชัดเจน

วิชิต นันทสุวรรณ และจำนง แรกพินิจ (2545, หน้า 175 อ้างถึงในภัทรวรรธน์ นิลแก้วบวรวิชญ์, 2559,หน้า 20) กล่าวถึงเครือข่ายการเรียนรู้ว่า คือ การที่ชาวบ้านรวมตัวกันขบคิดปัญหาของเขา รวมพลังแก้ปัญหา และหาผู้นำขึ้นมาจาก หมู่ชาวบ้านด้วยกันเอง แล้วรวมตัวกันเพื่อมีอำนาจต่อรอง มีการต่อสู้ ทางความคิดมีการเรียนรู้ จากภายนอกมีการไปมาหาสู่ การเรียนรู้ ดูงานด้วยกันจน

ธนา ประมุขกุล. (2547, หน้า 37 อ้างถึงในภัทรวรรธน์ นิลแก้วบวรวิชญ์, 2559,หน้า 20) ให้ความหมายของเครือข่าย หมายถึง ภาพข่ายใยแมงมุม ซึ่งแสดงให้เห็นการถักทอโยงใยกันของเส้นใยที่พาดผ่านกันไปมาหลายเส้น หลากทิศทาง ดังนั้นเครือข่ายจึงเป็นรูปแบบการทำงานในลักษณะสร้างความร่วมมือ ประสานงานกันในแนวราบระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องด้วยสรรพกำลังอันรวมถึง คนสติ ปัญญา ความสามารถและทรัพยากร ในการทำงานเพื่อเอาชนะอุปสรรคที่จุดอ่อนของระบบราชการ และเป็นแนวทางที่ ตรงกันกับ แนวคิดของการพัฒนาที่ยึดพื้นที่ประสานภารกิจและร่วมทรัพยากร(Area, Function and participation) เป็นกลยุทธ์ในการพัฒนา

แนวคิดเกี่ยวกับความร่วมมือ

ฉันทนา บุญส่ง. (2544 อ้างถึงในพิสิฐ เทพไกรวัล, 2554,หน้า 101)ได้ศึกษารูปแบบความร่วมมือที่เหมาะสมของโรงเรียนกับครอบครัวในการจัดการศึกษาโดยครอบครัวในสังคมไทย เป็นการมีส่วนร่วมแบบเสมอภาคคือโรงเรียนและครอบครัวมีสิทธิในกระบวนการจัดการ การบริหารการศึกษาอย่างมีศักดิ์ศรีและมีสถานภาพเท่าเทียมกัน เพื่อให้การจัดการศึกษาเกิดการพัฒนา และให้เกิดประโยชน์สูงสุด กับผู้เรียน โดยครอบครัวต่างมีวิถีเป็นของตนเองต่างมี ลักษณะเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน เมื่อไรก็ตามที่เราสามารถนำลักษณะเด่นของแต่ละวิถี มาเสริมสร้าง สนับสนุน เกื้อหนุนกันและกัน ซึ่งจะมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใดนั้น คงจะต้องอาศัยความร่วมมือและการมีส่วนร่วมของทุก ๆ ฝ่าย

ธนพรรรณ ธานีและคณะ. (2544 อ้างถึงในพิสิฐ เทพไกรวัล, 2554,หน้า 101) พบว่า รูปแบบการทำกิจกรรมร่วมกันระหว่างบ้าน วัด และ โรงเรียน ส่วนใหญ่ คือ วัฒนธรรมประเพณีต่าง ๆ การนำภูมิปัญญาชาวบ้านมาใช้ในการรณรงค์ต่อ ต้านยาเสพติด การสอนพุทธศาสนา และการอบรมและจริยธรรม

อมรรัตน์ ภิญโญอนันตพงษ์.(2546อ้างถึงในพิสิฐ เทพไกรวัล, 2554,หน้า 101) พบว่า รูปแบบความ ร่วมมือทางวิชาการด้านการเรียนการสอนที่เหมาะสมประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 4 ด้าน คือ 1) หลักการของความร่วมมือทางวิชาการด้านการเรียนการสอน 2) โครงสร้างและกลไกความร่วมมือทางวิชาการด้านการเรียนการสอน 3) ประเภทของกิจกรรมความร่วมมือทางวิชาการด้าน การเรียนการสอน 4) การจัดและดำเนินกิจกรรมความร่วมมือ ซึ่งประกอบด้วยวิธีการที่จะสร้าง ความร่วมมือ แหล่งทุนที่สนับสนุนความร่วมมือ การประสานงาน การจัดทำและพัฒนาโครงการ ความร่วมมือ การติดตามและประเมินผลความร่วมมือ

แนวคิดเกี่ยวกับทฤษฎีระบบ

สมยศ นาวีการ. (2544, หน้า 49). กล่าวไว้ว่า ทฤษฎีระบบเป็นทฤษฎีที่ทำให้นักบริหาร สามารถที่จะมองเห็นภาพรวมขององค์การทั้งหมดตามหน้าที่ที่สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาองค์การในลักษณะระบบนั้นจะก่อให้เกิดการวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหาขององค์การทั้งระบบ จันทรานี สงวนนาม. (2545, หน้า 83). กล่าวไว้ว่า การนำเอาทฤษฎีระบบเข้ามาใช้ในการบริหารงานด้วยเหตุผลที่ว่า ในปัจจุบันองค์การมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วและมีความลับซับซ้อนมากขึ้น จึงยากที่จะมีการพิจารณาถึงพฤติกรรมขององค์การให้ครอบคลุม ได้หมดทุกแง่ทุกมุมทำให้นักวิชาการบริหารทฤษฎีองค์การสมัยใหม่ หันมาศึกษาเรื่องพฤติกรรมองค์การโดยมีความเห็นว่าองค์การเป็นระบบย่อยของระบบสังคม ซึ่งเป็นระบบใหญ่จึงต้องมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมอยู่ตลอดเวลา

เรขา ศรีวิชัย. (2554, หน้า 19). กล่าวไว้ว่า ทฤษฎีระบบ เป็นทฤษฎีที่มีขอบเขตครอบคลุม พฤติกรรมทุกส่วนขององค์การ สามารถอธิบายพฤติกรรมองค์การได้ทุกระดับ ตั้งแต่ระดับองค์กร ระดับกลุ่ม และ ระดับบุคคล ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากต่อการบริหารจัดการ

สมยศ นาวีการ. (2544, หน้า 49). กล่าวไว้ว่า ระบบ อาจจัดได้ว่าเป็นกลุ่มของส่วนที่เกี่ยวข้องกันและมีความสัมพันธ์กันในเชิงที่จะต้องบรรลุจุดมุ่งหมายร่วมกันดังนี้คือ ส่วนต่าง ๆ ของระบบ อยู่ในสถานะที่เคลื่อนไหวได้ การเคลื่อนไหวหรือแสดงออกของส่วนต่าง ๆ จะมีปฏิกิริยากระทบต่อกันเสมอ โดยที่ในระบบหนึ่ง ๆ จะประกอบด้วยระบบย่อยต่าง ๆ และภายในระบบย่อยก็จะประกอบไปด้วย ระบบย่อยเล็กลงไปอีก หากมีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ณ ส่วนหนึ่งส่วนใดของระบบจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่

ชัยณรงค์ สุวรรณสาร. (2551, อ้างถึงใน เรขา ศรีวิชัย, 2554,หน้า 19)) ให้ความหมายของระบบ หมายถึงองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ร่วมกันดำเนินการตามบทบาทความรับผิดชอบ เพื่อการบรรลุผลตามวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่งการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่ง ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบอื่นทั้งระบบได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (2555) พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จคือการเกิดกิจกรรมหรือโครงการด้านการอนุรักษ์พลังงาน การใช้พลังงานทดแทนในชุมชน เกิดวิทยากรตัวคูณที่สามารถถ่ายทอดความรู้ต่อได้ มีศูนย์การเรียนรู้ด้านพลังงาน มีบ้านต้นแบบเป็นแหล่งเรียนรู้ระดับครัวเรือน ชุมชน ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงและนำมากำหนดเป็นตัวชี้วัดผลสำเร็จในการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนได้คือ ปัจจัยด้านการนำเข้า ได้แก่ งบประมาณ บุคลากร เทคโนโลยีพลังงานที่ส่งเสริม กระบวนการ ได้แก่ การบริหารจัดการและการมีส่วนร่วมของภาคส่วนต่าง ๆ การดำเนินกิจกรรมและการบริหารบูรณาการกับกิจกรรมอื่น ๆ และบริบทที่เป็นปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการดำเนินโครงการได้แก่ นโยบายที่ชัดเจนของกระทรวงพลังงาน สภาพเศรษฐกิจและสังคมในช่วงของการดำเนินงานโครงการ

ภัทรวรรธน์ นิลแก้วบวรวิชญ์. (2559).วิจัยเรื่อง รูปแบบการพัฒนาเครือข่าย ความร่วมมือทางวิชาการของสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษา สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน พบว่า รูปแบบการพัฒนาเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการประกอบด้วย1) กระบวนการสร้างเครือข่ายมี 6 ขั้นตอน 2) องค์ประกอบของเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการมี 5 องค์ประกอบ 3) ขอบข่ายภารกิจงานด้านวิชาการมี 7 ภารกิจ

วิธีการดำเนินงาน

1. คณะกรรมการเครือข่ายความร่วมมือขับเคลื่อนเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน ได้ประชุมวางแผนการจัดกิจกรรมและการหนุนเสริมตามโครงการ
2. ผู้ประสานงาน ประสานความสัมพันธ์ภาคีเครือข่ายเข้าร่วมกิจกรรม
3. จัดกิจกรรม ตามวันเวลาที่กำหนด โดยมีคณะกรรมการเครือข่ายความร่วมมือขับเคลื่อนเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน ตัวแทนส่วนกลางเข้าร่วมกิจกรรมทุกภาค
4. คณะกรรมการเครือข่ายความร่วมมือขับเคลื่อนเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน ถอดบทเรียน ยุทธการเชื่อมร้อยและยกระดับเครือข่ายองค์กรเอกชนสนองต่อการขับเคลื่อนเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อม

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1.การสร้างเวทีเครือข่ายควรมีการแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างกันเช่นด้านเทคโนโลยีพลังงานชุมชน การจัดการพลังงาน การเสริมสร้างความรู้หรือกรณีศึกษาในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้เกิดการพัฒนาความรู้ของผู้เข้าร่วมกิจกรรม หรือการศึกษาพื้นที่สำเร็จเป็นรูปธรรมชัดเจนและการวิเคราะห์ผล เพื่อให้เกิดการนำไปใช้ที่เหมาะสมในพื้นที่ตนเองหรือนำไปสู่การต่อยอดองค์ความรู้

2. การผนึกพลังเครือข่ายควรอยู่บนพื้นฐานของการพัฒนากลไกที่อิงกับสภาพของการทำงานที่เป็นรูปธรรมในพื้นที่ ก่อให้เกิดเป็นหน่วยจัดการความรู้เพื่อเป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาถิ่นจนสร้างกิจกรรมสร้างหลักสูตรการเรียนรู้ขึ้นมาและเกิดการประสานเครือข่ายสร้างกลไกเครือข่ายเพื่อการสร้างกิจกรรมให้เกิดเป็นรูปธรรมและนำไปสู่การผลักดันในระดับนโยบายตั้งแต่ละดับตำบล จังหวัดและระดับประเทศที่ผ่านกระทรวงพลังงานขึ้นไป

3. การสร้างความเข้มแข็งของชุมชน ส่งเสริมให้ทุกภาคส่วนในการอนุรักษ์และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเช่น มีการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร การผลิตถ่ายคุณภาพสูง การสูบน้ำด้วยระบบโซลาร์เซลล์ ซึ่งกิจกรรมควรเป็นเครื่องมือในการสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชน สร้างการยอมรับและเกิดทัศนคติที่ดีต่อเทคโนโลยีพลังงานทดแทน การใช้งานระบบพลังงานทดแทนต้องสามารถตอบโจทย์ด้านการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและสามารถลดการใช้พลังงานสิ้นเปลือง ควรมีระบบการติดตามประเมินผลแบบมีส่วนร่วมของภาคีต่าง ๆ ในพื้นที่และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีแผนงานของหน่วยงานในพื้นที่รองรับระบบการผลิตฯเพื่อให้เกิดการหนุนเสริมด้านการจัดการระบบที่ต่อเนื่อง

4. การสร้างเครือข่ายความร่วมมือควร สร้างกลไกการบริหารจัดการผ่านภาคีความร่วมมือในพื้นที่เพื่อระดมทรัพยากรมาร่วมด้วยช่วยกันให้กิจกรรมมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะสามารถสร้างความต่อเนื่องของกิจกรรมได้ โดยอิงกับกระบวนการวิจัย 5 ขั้นตอน

การพัฒนาเครือข่ายโดยใช้สถาบันการเรียนรู้เป็นกลไกในการขับเคลื่อนจนสามารถประสานให้เกิดเครือข่ายความร่วมมือจากระดับพื้นที่สู่ระดับภาคและเกิดเป็นองค์กรเครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชนที่ทำหน้าที่เชื่อมร้อยเครือข่ายทั่วประเทศ สิ่งที่สำคัญผลลัพธ์กระทบที่เกิดขึ้นคือต้องเกิด “นวัตกรทางสังคม” หรือ “วิชาประชาชน” ที่เป็นองค์ความรู้ที่ผ่านการสืบค้นข้อมูล ค้นหาปัญหา นำไปแก้ไขปัญหา จนพัฒนาและสกัดเป็นวิชาที่ประชาชนสามารถนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาของชุมชนได้ ดังนั้นควรมีการส่งเสริมหรือเผยแพร่ให้เกิดการขยายผลต่อไป จุดนี้ จึงเป็นจุดที่โครงการต้องนำพาไปให้ถึงและเป็นสถาบันการเรียนรู้ที่แท้จริงที่จะต้องดำเนินการต่อไปหลังจากหมดโครงการฯ

การดำเนินงานของแต่ละพื้นที่ควรเอาโจทย์ของพื้นที่เป็นตัวตั้ง และพัฒนาจุดแข็งของแต่ละพื้นที่ขึ้นมาให้มีองค์ประกอบที่สมบูรณ์มากขึ้นและยังคงเอกลักษณ์ และปรัชญา (วิธีคิด) ของตนเอง โดยมีองค์ความรู้ในแต่ละส่วนของภาคีเครือข่ายเข้ามาบูรณาการตามตามเหมาะสม จุดที่สำคัญในการรับใช้ถิ่นคือการรองรับเยาวชนหรือชุมชนที่กลับ ถิ่น และต้องการความร่วมมือในการพัฒนาคุณภาพชีวิตหรือประเด็นที่มาความสนใจเพื่อการพัฒนาตนเองหรือชุมชนและการพัฒนายกระดับองค์ความรู้อย่างต่อเนื่องในการดำเนินงานครั้งต่อไปจะเป็นการพัฒนาการเรียนรู้ระหว่างเครือข่ายให้มากยิ่งขึ้นและสรุปประเดินในหัวข้อการสัมมนาเชิงปฏิบัติการพัฒนาเครือข่ายพลังงานชุมชนให้ชัดเจนมากขึ้นโดยเฉพาะประเด็นของการพัฒนากลไกการขับเคลื่อนเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน และการออกแบบสถาบันการเรียนรู้ ด้านพลังงานชุมชนและสิ่งแวดล้อมชุมชนในพื้นที่ให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น

สิ่งที่ควรนำมาดำเนินการต่อเพื่อให้เกิดการสร้างประสิทธิภาพ ประสิทธิผลของการขับเคลื่อนของเครือข่ายแบบบูรณาการต่อไปคือ 1) การยกระดับการเรียนรู้ของชุมชนแบบหุ้นส่วนการจัดการความรู้ 2) การพัฒนากลไกและเครือข่ายโดยใช้การจัดการความรู้เป็นเครื่องนำทาง 3) ใช้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมค้นหาคำตอบหรือการจัดการปัญหา 4) สร้างสถาบันการเรียนรู้ที่เป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาหรือการจัดการชุมชนแบบมีส่วนร่วมของภาคีความร่วมมือ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดีด้วย โดยความร่วมมือของภาคีเครือข่ายองค์กรพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน หน่วยงานราชการ มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้นำชุมชนและประชาชนทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้ความร่วมมือในการช่วยให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในครั้งนี้ ให้เกิดความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. (2544). **ปรับปรุงตามนโยบายของรัฐบาล แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี.** ค้นวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2556 จาก http://www.eppo.go.th/nepc/kpc/kpc144/app-05-EEDP.doc

จำนง แจ่มจันทร์วงค์. (2553). **การพัฒนารูปแบบการบริหารระบบเครือข่ายเพื่อส่งเสริมคุณภาพการศึกษา. ในสถานศึกษาขั้นพื้นฐาน สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษากรุงเทพมหานคร**.วิทยานิพนธ์ ครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารการศึกษา. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จันทรานี สงวนนาม. (2545). **ทฤษฎีและแนวปฏิบัติในการบริหารสถานศึกษา.** กรุงเทพฯ : บริษัทบุ๊คพ้อยท์ จำกัด.

ทศพนธ์ นรทัศน์. (2551). **พลังงานชุมชน.**ค้นเมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2556).จาก http://www.thaingo.org.1021.

รัฐฐาน์ ฤทธิเกริกไกร. (2546) **การจัดระบบการจัดการพลังงาน.** ค้นวันที่ 20 พฤษภาคม 2552 จาก http://www.teenet.chiangmai.ac.th

เรขา ศรีวิชัย. (2554). **รูปแบบการบริหารงานสถานศึกษาเอกชนระดับปฐมวัย ที่มีประสิทธิผลในจังหวัดนนทบุรี** วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาบริหารการศึกษา. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

วิจิตรา ชูสกุล. (2551) **พลังงานยั่งยืนชุมชนเป็นสุข.** ค้นวันที่ 20 พฤษภาคม 2552 จาก http://www.netsurin.org

วิชญาพัลส์ ไชยสมบัติ. (2560). **การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะมูลฝอยของชุมชน ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม**. วิทยานิพนธ์ปริญญารัฐประศาสนศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชารัฐประศาสนศาสตร์. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

สมยศ นาวีการ. (2544). **การบริหารเพื่อความเป็นเลิศ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บรรณกิจ.

สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2555). **โครงการประเมินผลโครงการวางแผนพลังงานชุมชนภายใต้โครงการเพิ่มสมรรถนะด้านการบริหารและจัดการพลังงานครบวงจรในชุมชนระดับตำบล ประจำปี 2545**. รายงานวิจัยเสนอต่อ สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน.

การประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลและการผลิตก๊าซชีวมวลในพื้นที่บ้านวังป้อง ตำบลเหมืองแก้ว อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

Biomass Energy Potential Evaluation In Ban Wangpong, Mearim District, Chiangmai

ประภากร เลาเรือง[1*] ณัฐต์ณิชา สุขเกษม[1] นิกราน หอมดวง[1] และธเนศ ไชยชนะ[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ชีวมวลนับว่าเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนเป้าหมายของแผนพัฒนาพัฒนาพลังงานของประเทศไทย ทั้งนี้งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการประเมินศักยภาพพลังงานจากวัสดุชีวมวลที่เกิดจากการเกษตรกรรม และศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลของสัตว์เลี้ยง ในพื้นที่บ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ โดยใช้ข้อมูลพื้นที่เกษตรกรรมและการเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ โดยผลการศึกษาพบว่า ชุมชนบ้านวังป้องที่มีพื้นที่เกษตรกรรม 426 ไร่ และมีการเลี้ยงสัตว์ที่ประกอบด้วย โคเนื้อ 219 ตัว ไก่พื้นเมือง 130 ตัว ชุมชนวังป้องมีศักยภาพด้านปริมาณชีวมวลรวม 279,999.21 kg/ปี ประกอบด้วย แกลบ 19,737.68 kg/ปี ฟางข้าว 255,302.60 kg/ปี และวัสดุชีวมวลจากลำไย 4,958.93 kg/ปี จากปริมาณทั้งหมดพิจารณาที่อัตราการจัดเก็บได้ 50% จะมีชีวมวลปริมาณ 137,520.14 kg/ปี คิดเป็นศักยภาพพลังงานเท่ากับ 2,060.05 GJ/ปี ด้านศักยภาพในการผลิตแก็สชีวภาพพบว่าสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 22.47 m^3/วัน คิดเป็นศักยภาพพลังงานเท่ากับ 594.40 MJ/วัน หรือ 216.96 GJ/ปี

คำสำคัญ: ชีวมวล วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ศักยภาพพลังงาน

[*] Corresponding author: Tel.: 087-1833530. E-mail address: Artfreedom811@Gmail.com

บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชน และเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ซึ่งประเทศไทยมิได้มีแหล่งพลังงานพาณิชย์ภายในประเทศมากพอต่อความต้องการ ทำให้ต้องพึ่งพาพลังงานในภาพรวมจากต่างประเทศปริมาณร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ทั้งหมด[1]

กระทรวงพลังงานได้นำข้อคิดเห็นที่ได้จากเสียงประชาชนไปใช้ประกอบในการทบทวนและบูรณาการจัดทำแผนเป็น 5 แผน ได้แก่ (1) แผน PDP2015 (2) แผน EEP (3) แผน AEDP (4) แผนการจัดหาก๊าซธรรมชาติของไทย และ (5) แผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง แผนอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency Plan: EEP) โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานของประเทศ 2) เพื่อกำหนดยุทธศาสตร์และแนวทางในการส่งเสริมการอนุรักษ์ พลังงานแผนพลังงานของกระทรวงพลังงาน แผน (Energy Efficiency Development Plan: EEP)[2] ประกอบกับภาครัฐยังมีการรณรงค์ให้มีการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้เพื่อเป็นพลังงานความร้อนเทียบเท่าน้ำมันดิบรวม 3,851 ตัน อย่างไรก็ดีการส่งเสริมการใช้ชีวมวลในระดับอุตสาหกรรมทั้งในและต่างประเทศยังประสบกับปัญหาในการบริหารจัดการใช้เชื้อเพลิงที่กระจายอยู่ในแต่ละพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ[3] จากการสำรวจข้อมูลในพื้นที่บ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ พบว่ามีการทำการเกษตรประกอบด้วยการปลูกข้าว ลำไย ไม้ดอกไม้ประดับรวมกัน 426 ไร่ และมีการเลี้ยงสัตว์ประกอบด้วย โคเนื้อ 219 ตัว ไก่พื้นเมือง 130 ตัว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าประสงค์เพื่อทำการประเมินศักยภาพพลังงานจากวัสดุชีวมวลที่เกิดจากการเกษตรกรรม และศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลของสัตว์เลี้ยงโดยเป็นการประเมินเบื้องต้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนในการพัฒนาพลังงานทดแทนในชุมชนต่อไป

ซึ่งให้ชุมชนพึ่งตนเองด้านพลังงานโดยใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก มีการสนับสนุนการผลิตพลังงานใช้เองในชุมชนและครัวเรือน และการประหยัดพลังงานในครัวเรือนทำให้ชุมชนใช้พลังงานทางเลือกเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โครงการด้านพลังงานชุมชน เป็นอีกแนวคิดหนึ่งที่กระทรวงพลังงาน ได้พัฒนาใช้เป็นเครื่องมือที่จะเป็นฐานข้อมูลในการบริหารจัดการพลังงานในท้องถิ่นให้มีความเข้มแข็ง เหมาะสมกับสถานการณ์และสนองตอบความต้องการในแต่ละชุมชน หากได้มีดำเนินการให้ครอบคลุมทั่วทั้งประเทศ จักทำให้ชุมชน ท้องถิ่น สามารถพึ่งพาตนเองได้ โดยบริหารจัดการทรัพยากรพลังงานในพื้นที่

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงที่มาจากสิ่งมีชีวิต หรือสารอินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ โดยรวมถึงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบซังข้าวโพด เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงมูลสัตว์ และของเสียจากโรงงานแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรและของเสียจากชุมชนเป็นต้น[4]

ปริมาณชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ผลิตภายในประเทศจะแปรผัน และขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตทางการเกษตรของประเทศซึ่งชีวมวลแต่ละประเภทจะให้พลังงานจากการเผาไหม้ที่แตกต่างกันตามลักษณะองค์ประกอบต่างๆ ของชีวมวลในแต่ละชนิด[4] แสดงดังตารางที่ 1

แก๊สชีวภาพ หรือ ไบโอแก๊ส คือ แก๊สที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน (anaerobic digestion) โดยทั่วไปจะหมายถึงแก๊สมีเทนที่เกิดจากการหมัก (fermentation) ของสารอินทรีย์ โดยกระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในหลุมขยะ กองมูลสัตว์ และก้นบ่อแหล่งน้ำนิ่ง กล่าวคือเมื่อไหร่ก็ตามที่มีสารอินทรีย์หมักหมมกันเป็นเวลานานก็อาจเกิดแก๊สชีวภาพแต่นี่เป็นเพียงแค่หลักการทางทฤษฎี[7]

ตารางที่ 1 อัตราส่วนการเกิด การใช้ประโยชน์ และค่าความร้อนวัสดุชีวมวล [5]

ชนิด	วัสดุชีวมวล	อัตราส่วนการเกิดวัสดุเหลือใช้ต่อผลผลิต	สัดส่วนการนำไปใช้ (ร้อยละ)	ค่าความร้อน (MJ/kg)
ข้าว	แกลบ	0.23	80	14.27
	ฟางข้าว	1.19	50	10.24
ลำไย	กิ่งก้าน	0.25	100	14.98
	อื่นๆ	0.13	20	14.98*
ไม้ดอกไม้ประดับ	ตอ	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ: N/A คือ ข้อมูลไม่ปรากฏ * ใช้ค่าความร้อนของกิ่งก้าน

ที่มา: (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

วิธีการวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกพืชและพืชที่ปลูก
2. รวบรวมข้อมูลสัดส่วนของวัสดุชีวมวลทางการเกษตร
3. ประเมินปริมาณวัสดุชีวมวลทางการเกษตรเหลือใช้ โดยใช้สมการ

$$VOR = RP_{ratio} \times VOP_{year} \quad (1)$$

เมื่อ

VOR = ปริมาณวัสดุทางการเกษตรเหลือใช้ (Volume of Residue agriculture; 10^6 kg)

RTP_{ratio} = สัดส่วนการเกิดวัสดุเหลือใช้ (Residue to Product ratio; %)

VOP_{year} = ปริมาณผลผลิตทางการเกษตรในรอบปี (Volume of agricultural Production per year; 10^6 kg)

4. ประเมินปริมาณศักยภาพพลังงานจากชีวมวลที่เกิดขึ้น โดยใช้สมการ

$$ENU = VOR \times RNU_r \times HHV_R \quad (2)$$

เมื่อ

ENU = พลังงานที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ (Energy Not Used; 10^{12} J)

RNU_{ratio} = สัดส่วนวัสดุเหลือใช้ที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ (Residue Not Used ratio; %)

HHV_R = ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุแต่ละชนิด (High Heating Value of Residue; 10^6 kg)

$$TOE = ENU / (42.244 \times 10^9) \quad (3)$$

เมื่อ

TOE = พลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ (Tons of Oil Equivalents energy;10^3 toe)

โดยกำหนดให้ 1 toe = 42.244×10^9 J

5. ประเมินปริมาณศักยภาพการผลิตก๊าซจากมูลสัตว์ที่เกิดขึ้น

1. ข้อมูลพื้นที่ บ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่

จากการสำรวจข้อมูลในพื้นที่ พบว่า พืชสำคัญของบ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ คือ ข้าว ลำไย ไม้ดอกไม้ประดับ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ของการปลูกพืชดังกล่าวเท่านั้น ซึ่งจากตารางที่ 2 พบว่า เกษตรกรมีพื้นที่การเกษตรของพืชทั้ง 3 ชนิดรวมกัน 426 ไร่ ของ 178 ครัวเรือน และพบว่ามีการเลี้ยงสัตว์ประกอบด้วย โคเนื้อ 219 ตัว ไก่พื้นเมือง 130 ตัว ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พื้นที่เพาะปลูกพืชในพื้นที่บ้านวังป้อง

เกษตรกรรม				การเลี้ยงสัตว์	
ชนิด	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	จำนวนครั้งในการเพาะปลูก (ครั้ง/ปี)	ร้อยละ	ชนิด	จำนวน (ตัว)
ข้าว	340	2	79.81	โคเนื้อ	219
ลำไย	54	-	12.68	ไก่เมือง	130
ไม้ดอกไม้ประดับ	32	1	7.51		
รวม	426		100		349

ที่มา: (สำนักงานเกษตรอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่)

3. ศักยภาพการผลิตพลังงานจากวัสดุชีวมวล

ผลผลิตทางการเกษตรโดยรวมของแต่ละปีนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ฤดูกาลเพาะปลูก และ ฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิตที่แตกต่างกัน ซึ่งจากกระบวนการเกี่ยวผลผลิตของพืชแต่ละชนิดมักจะเกิดวัสดุเหลือใช้จำนวนมาก ซึ่งอัตราส่วนการเกิดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อผลผลิต และสัดส่วนการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้ของเกษตรกร ผู้วิจัยได้ศึกษารวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทางสถิติของหน่วยงานทางราชการ และบทความวิจัยต่างๆ เพื่อคำนวณหาอัตราการใช้ประโยชน์ จากวัสดุเหลือใช้ของเกษตรกรในพื้นที่ พบว่าการนำวัสดุเหลือใช้ไปใช้ประโยชน์ของเกษตรกร ซึ่งถือได้ว่าเป็นการใช้ประโยชน์ที่มีที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนการเกิดวัสดุทางการเกษตรเหลือใช้รวม ดังตารางที่ 4 โดยผลการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานจากวัสดุชีวมวลพบว่า ที่อัตราการจัดเก็บได้ 50% จะมีชีวมวลปริมาณ 137,520.14 kg/ปี คิดเป็นศักยภาพพลังงานเท่ากับ 2,060.05 GJ/ปี

ส่วนของศักยภาพในการผลิตแก็สชีวภาพพบว่าจากจำนวนของสัตว์เลี้ยงที่มีอยู่เมื่อทำการพิจารณาศักยภาพในการผลิตแก็สชีวภาพพบว่าสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 22.47 m^3/วัน คิดเป็นศักยภาพพลังงานเท่ากับ 594.40 MJ/วัน หรือ 216.96 GJ/ปี ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ผลคำนวณศักยภาพพลังงานเศษวัสดุทางการเกษตรเหลือใช้บ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่

ชนิด	วัสดุเหลือใช้	ศักยภาพชีวมวล (kg/ปี)	อัตราการจัดเก็บได้ (kg/ปี)*	ค่าความร้อน (MJ/kg)	ศักยภาพพลังงาน (GJ/ปี)
ข้าว	แกลบ	19,737.68	9,868.84	14.27	140.83
	ฟางข้าว	255,302.60	127,651.30	10.24	1,307.15
ลำไย	กิ่งก้าน	0.00	0.00	14.98	0.00
รวม		**275,040.28**	**137,520.14**	-	**2,060.05**

* พิจารณาที่อัตราการจัดเก็บได้ 50% ของประมาณศักยภาพ

ตารางที่ 5 ศักยภาพของชีวมวลปริมาณก๊าซที่ผลิตได้จากมูลสัตว์

ชนิด	จำนวน (ตัว)	ปริมาณมูลสด (kg/ตัว/วัน)	อัตราการจัดเก็บได้ (%)	TS (%)	VS (%)	HHV (MJ/m^3) [8]	อัตราการเกิดแก๊ส (m^3/kg VS)	ปริมาณแก๊ส (m^3/วัน)	ศักยภาพพลังงาน	
									(MJ/วัน)	(GJ/ปี)
โคเนื้อ	219	5	50	17.4	13.37	26.45	0.307	22.47	594.40	216.96
ไก่เมือง	130	0.03	0	33.99	22.34	26.45	0.246	0.00	0	0
รวม	**349**	**5.03**	**50**	**51.39**	**35.71**		**0.553**	**22.47**	**594.40**	**216.96**

จากการประเมินศักยภาพพลังงานจากวัสดุชีวมวล และศักยภาพแก็สชีวภาพดังที่แสดงในตาราง 4 และ 5 จะเห็นได้ว่าหากมีการบริหารจัดการวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ อย่างเป็นระบบชุมชนบ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ จะสามารถผลิตพลังงานเองในชุมชนใช้ชีวมวลเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน ช่วยเพิ่มรายได้และยังจะเป็นการบริหารจัดการวัสดุต่างๆ ซึ่งช่วยลดปัญหาด้านชีวมวลได้อีกทางหนึ่ง

สรุปผลการวิจัย

จากจุดประสงค์ของงานวิจัยเพื่อทำการประเมินศักยภาพพลังงานจากวัสดุชีวมวลที่เกิดจากการเกษตรกรรม และศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลของสัตว์เลี้ยง ในพื้นที่บ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ ที่มีพื้นที่เกษตรกรรม 426 ไร่ และมีการเลี้ยงสัตว์ที่ประกอบด้วย โคเนื้อ 219 ตัว ไก่พื้นเมือง 130 ตัว สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปริมาณแกลบเกิดขึ้นมีประมาณ 19,737.68 kg/ปี ฟางข้าว 255,302.60 kg/ปี วัสดุชีวมวลจากลำไย 4,958.93 kg/ปี รวมเป็นศักยภาพการเกิดชีวมวล 279,999.21 kg/ปี
2. ศักยภาพการผลิตพลังงานจากวัสดุชีวมวลพบว่า ที่อัตราการจัดเก็บได้ 50% จะมีชีวมวลปริมาณ 137,520.14 kg/ปี คิดเป็นศักยภาพพลังงานเท่ากับ 2,060.05 GJ/ปี
3. ศักยภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพพบว่าสามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 22.47 m^3/วัน คิดเป็นศักยภาพพลังงานเท่ากับ 594.40 MJ/วัน หรือ 216.96 GJ/ปี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

1. สำนักงานเกษตรอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ และสำนักงานปศุสัตว์อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ที่ได้ให้ข้อมูลประกอบการศึกษา
2. งานวิจัยในครั้งนี้ทุนอุดหนุนการศึกษา โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2559

เอกสารอ้างอิง

[1] สานักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2552) สถานการณ์ พลังงาน กระทรวงพลังงาน

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558-2579 (EEP2015). กระทรวงพลังงาน.

[3] Romel M. Carlos, Do ba Khang. Characterization of biomass energy projects in Southeast Asia,December, 2007.

[4] ภัทราณี นาคคงคา และคณะ. (2558). การศึกษาศักยภาพชีวมวลในพื้นที่ตาบลข่อยสูง อำเภอตรอน จังหวัดอุตรดิตถ์. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8.

[5] พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น. (2556) การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ในจังหวัดลาปางกรณีศึกษา : อำเภอแม่ทะ วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลาปางปีที่ 6 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม 2556 – ธันวาคม 2556.

[6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). รายงานพลังงานของประเทศไทย 2560.(ออนไลน์), แหล่งที่มา http://www.dede.go.th/dede/_ index.php?id=96,เข้าดูเมื่อวันที่ 26 ส.ค. 2560. (2560),ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย. (ออนไลน์), แหล่งที่http://www.dede.go.th/dede/index.php?option เข้าดูเมื่อวันที่ 26 ส.ค. 2560.

[7] สุชน ตั้งทวีวิพัฒน์และคณะ. (2553). การผลิตก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับ ครัวเรือนในชุมชน.

[8] C. Grima-Olmedo , A. Ramírez-Gómez , R. Alcalde-Cartagena. Energetic performance of landfill and digester biogas in a domestic cooker journal 134, 2014, pp 301-308.

ชุดคำสั่งสำเร็จ การวิเคราะห์สถานภาพพลังงานเพื่อวางแผนพลังงานระดับชุมชน
Energy Status Analysis Software for Local Energy Planning

ปิยะวัฒน์ จิรเทียนธรรม* และธนิท เรืองรุ่งชัยกุล
สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำชุดคำสั่งสำเร็จใช้ในการวิเคราะห์สถานภาพพลังงานเพื่อวางแผนพลังงานระดับชุมชน โดยในการพัฒนาชุดคำสั่งสำเร็จได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อหาวิธีการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำแผนพลังงานชุมชน ประกอบด้วย วิธีการวางแผนพลังงานด้วยเครื่องมือรูปแบบต่างๆ การพยากรณ์การใช้พลังงานและเทคโนโลยีพลังงานทดแทน และนำข้อมูลทั้งหมดมาเรียงลำดับขั้นตอนของการวางแผนพลังงานชุมชนด้วยการเขียนแผนผัง (Flow Chart) ของข้อมูลทั้งหมดเพื่อให้เห็นภาพรวมในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยนำเอา ส่วนนำเข้า (Input) กระบวนการ (Process) ผลลัพท์ (Output) และส่วนแสดงผล (Display) ทั้งหมดมาเชื่อมโยงกันแล้วเขียนชุดคำสั่งสำเร็จโดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟ เอ็กเซล (Microsoft Excel) ร่วมกับ Visual Basic for Applications (VBA) และดำเนินการทดสอบใช้งานโดยผู้เชี่ยวชาญด้านวางแผนพลังงาน

จากผลการทดสอบการใช้งานพบว่าชุดคำสั่งสำเร็จสามารถใช้ในการประมวลข้อมูลการใช้พลังงานจากแบบสอบถาม, ใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงาน, คำนวณหาศักยภาพทางด้านพลังงานทดแทน, พยากรณ์การใช้พลังงานและจัดทำมาตรการทางด้านพลังงานประกอบด้วย มาตรการทางด้านการปรับเปลี่ยนหลอดไฟ, การปรับเปลี่ยนเตาหุงต้ม, การปรับเปลี่ยนปั้มน้ำ, การประหยัดพลังงานและการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ได้อย่างถูกต้องในระยะเวลาที่สั้นกว่าการวางแผนพลังงานในรูปแบบเดิมและมีความคล่องตัวในการใช้งาน

คำสำคัญ: วางแผนพลังงานชุมชน, ชุดคำสั่งสำเร็จเพื่อการวางแผนพลังงาน, สถานภาพพลังงาน, พลังงานทดแทน

*Corresponding author: Tel.: 081 851 9884. E-mail address: piyawat.jir@gmail.com

บทนำ

การวางแผนพลังงานระดับชุมชน (Local Energy Planning) เป็นกระบวนการการจัดการพลังงานในระดับท้องถิ่นที่อาศัยการมีส่วนร่วมของคนในท้องถิ่นมาเกี่ยวข้อง โดยอาศัยรูปแบบการวางแผนเป็นปัจจัยให้เกิดพลังกลุ่มในการร่วมคิด วิเคราะห์ และตัดสินใจเรื่องของการใช้พลังงานในชุมชนโดยคนในชุมชนเป็นศูนย์กลาง เพื่อให้เกิดการปฏิบัติการที่มาจากความคิดของคนในท้องถิ่นเป็นผู้กำหนด โดยใช้การเรียนรู้ร่วมกันเพื่อให้คนในชุมชนเกิดความเข้าในใจเรื่องของสถานการณ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม การจัดการให้เกิดความยั่งยืนของการใช้พลังงาน เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับชุมชนตามศักยภาพด้านพลังงานทดแทนที่มี รวมไปถึงกระตุ้นจิตสำนึกในการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม [1]

เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์การใช้พลังงานเพื่อจัดทำแผนพลังงานในปัจจุบันคือ ตารางสมดุลพลังงาน ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ภาพรวมของการบริโภคพลังงาน เพื่อให้สามารถอธิบายได้ง่ายขึ้นถึงแหล่งพลังงานที่นำมาใช้ เทคโนโลยีที่ใช้ ผลกระทบในทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถจะนำไปสู่การวางแผนการปรับลดการใช้พลังงานต่อไปได้ ในการจัดทำตารางสมดุลพลังงานจะใช้โปแกรม Microsoft Excel ในการคำนวณ โดยอาศัยสมการคือ พลังงานInput = พลังงานที่ได้ใช้จริง+พลังงานที่สูญเสียออกไป [2]

ซึ่งที่ผ่านมาการวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยตารางสมดุลพลังงานเป็นไปอย่างล่าช้าและยุ่งยากเนื่องจากกระบวนการขั้นตอนในการจัดทำแผนพลังงาน เช่น การคำนวณข้อมูล การแปลงหน่วย การลงข้อมูลในตารางสมดุลพลังงาน ฯลฯ ยากต่อความเข้าใจแม้นจะมีผู้ที่ผ่านการฝึกอบรมมาแล้วเป็นผู้ปฏิบัติก็ตาม อีกทั้งยังต้องอาศัยทักษะในการวิเคราะห์ข้อมูล การสังเคราะห์ข้อมูล และทักษะด้านการใช้โปรแกรมไมโครซอฟ เอ็กเซล ทำให้เกิดข้อจำกัดในการขยายพื้นที่เนื่องจากผู้รับผิดชอบในการจัดทำสมดุลพลังงานตลอดจนการวิเคราะห์การใช้พลังงานและการจัดทำแผนพลังงาน มีจำนวนน้อย และส่วนใหญ่จะเป็นข้าราชการหรือพนักงานราชการของสำนักงานพลังงานภูมิภาคซึ่งมีภารกิจอื่นที่ต้องดำเนินการอยู่ด้วย จึงทำให้การวิเคราะห์การใช้พลังงานเป็นไปอย่างล่าช้าและยุ่งยาก จะเห็นได้ว่าตลอดระยะเวลา 16 ปีที่ผ่านมาตั้งแต่เริ่มมีการวางแผนพลังงานชุมชน (พ.ศ. 2543 – พ.ศ. 2559) ประเทศไทยได้ดำเนินการจัดทำแผนพลังงานชุมชน เพียง 1,676 ตำบล จาก 7,410 ตำบล หรือคิดเป็นร้อยละ 22.62 ของจำนวนตำบลทั้งหมด [3]

ดังนั้นหากมีเครื่องมือที่เป็นชุดคำสั่งสำเร็จ (Software) เพื่อมาช่วยลงข้อมูลและวิเคราะห์สถานภาพพลังงานด้วยวิธีวิเคราะห์และคำนวณตามวิธีคิดของตารางสมดุลพลังงาน จะทำให้สามารถลดภาระงานด้านการคำนวณ ช่วยผู้ใช้ในการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล รวมถึงใช้ระยะเวลาในการดำเนินการน้อยลง และผู้ใช้ไม่ต้องอาศัยทักษะด้านโปรแกรมไมโครซอฟ เอ็กเซล มากนัก ก็จะสามารถช่วยให้การจัดทำแผนพลังงานชุมชน ขยายพื้นที่ไปได้รวดเร็วอย่างมีประสิทธิภาพ และเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดทำแผนพลังงานในระดับตำบลให้สามารถกำหนดยุทธศาสตร์ มาตรการ แผนงาน และโครงการด้านพลังงานได้ในระยะยาว และเกิดความต่อเนื่องในการบริหารจัดการพลังงานของตำบลอย่างยั่งยืน

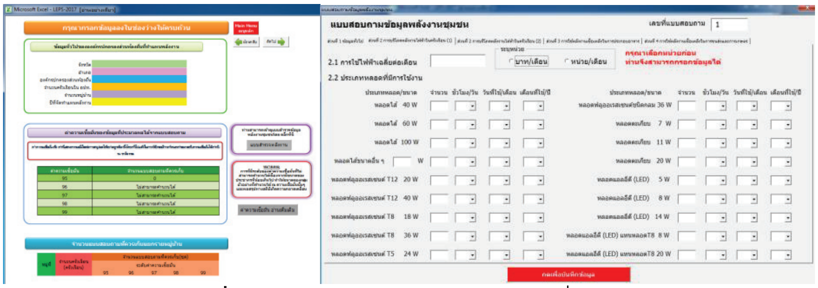
วิธีการวิจัย

1. เก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารงานวิจัยและเอกสารต่างๆ เพื่อหาวิธีการ แนวทาง เครื่องมือ และแบบจำลองที่เหมาะสมต่อวิเคราะห์สถานภาพพลังงาน การพยากรณ์การใช้พลังงาน และเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมต่อการวางแผนพลังงานระดับชุมชน
2. เขียนแผนผัง (Flow Chart) ของวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการประมวลผลข้อมูลจากแบบสอบถามการใช้พลังงาน วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน การพยากรณ์การใช้พลังงาน และศักยภาพพลังงานทดแทน โดยนำเอา ส่วนนำเข้า(Input) กระบวนการ (Procress) ผลลัพท์ (Output) และส่วนแสดงผล (Display) ทั้งหมดมาเชื่อมโยงกัน
3. เขียนชุดคำสั่งสำเร็จโดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟ เอ็กเซล ร่วมกับ Visual Basic for Applications (VBA)
4. ทดสอบการใช้งานชุดคำสั่งสำเร็จฯ โดยผู้วิจัย และดำเนินการแก้ไขเมื่อพบจุดบกพร่อง
5. ทดสอบการใช้งาน โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการวางแผนพลังงานชุมชนและปรับปรุงตามข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. เครื่องมือการวิเคราะห์สถานภาพพลังงานเพื่อวางแผนพลังงานระดับชุมชนได้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยนอกจากจะใช้สเปรดชีต (spreadsheet) หรือตารางคำนวณอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อคำนวณและเก็บทึกข้อมูลในลักษณะต่างๆ ของสถานภาพพลังงานแล้ว ยังมีการใช้ Visual Basic for Applications (VBA) คือการใช้ภาษา Visual Basic ในการเขียนโค้ดควบคุมโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อให้ผู้ใช้เครื่องมือฯ ได้รับความสะดวกและคล่องตัวในการใช้งาน โดยเครื่องมือมีทั้งหมด 8 องค์ประกอบ ประกอบด้วย

1.1 ส่วนนำเข้าข้อมูลทั่วไปของพื้นที่และข้อมูลการใช้พลังงานปีปัจจุบัน คือส่วนที่นำเข้าข้อมูลที่ได้จากการเก็บแบบสอบถามการใช้พลังงาน โดยมีทั้งข้อมูลในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้า น้ำมัน ก๊าซปิโตรเลียมและการใช้พลังงานทดแทน



ภาพที่ 1 ตัวอย่างส่วนนำเข้าข้อมูลของชุดคำสั่งสำเร็จฯ

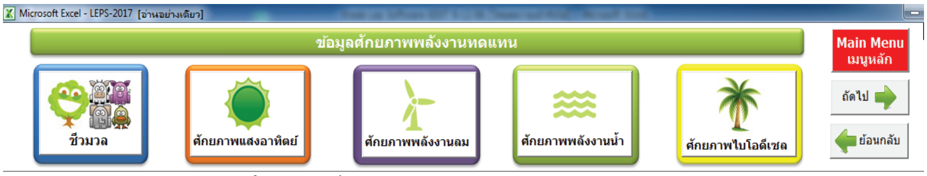
1.2 ส่วนการประมวลผลข้อมูลการใช้พลังงานและการแสดงผลปีปัจจุบัน เป็นส่วนที่แสดงผลการประมวลผลข้อมูลที่รับมาจากส่วนนำเข้าข้อมูล โดยแสดงผลในรูปแบบของค่าการใช้พลังงานในหน่วยกายภาพและหน่วย toe นอกจากนี้ยังแสดงผลในรูปแบบของกราฟ และเป็นส่วนที่ดำเนินการวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยตารางสมดุลพลังงาน

สรุปข้อมูลการใช้พลังงาน

ประเภทพลังงาน	มูลค่าพลังงาน(บาท/ปี)	ปริมาณที่ใช้		จำนวนครัวเรือนที่ใช้	มูลค่าเฉลี่ยต่อครัวเรือน (บาท/ครัวเรือน/ปี)	ปริมาณเฉลี่ยต่อครัวเรือน (หน่วย/ครัวเรือน/ปี)
		หน่วย/ปี	toe/ปี			
ไฟฟ้า	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
ก๊าซหุงต้ม	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
ก๊าซชีวภาพ	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
ถ่าน	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
ไม้ฟืน	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
แกลบ	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
ชีวมวล	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
ดีเซล	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
เบนซิน แก๊สโซฮออล์	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
LPG	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
NGV	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
ไบโอดีเซล	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
รวม	#DIV/0!		#DIV/0!			

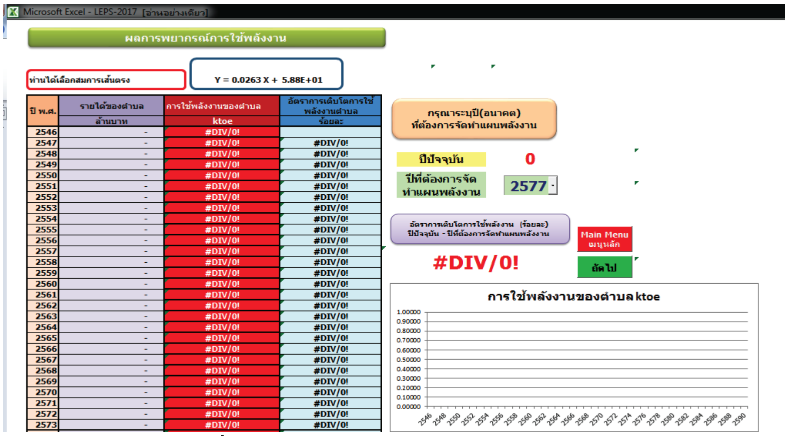
ภาพที่ 2 ตัวอย่างการแสดงผลการประมวลข้อมูล

1.3 ส่วนข้อมูลศักยภาพพลังงานทดแทน เป็นส่วนที่คำนวณหาศักยภาพพลังงานทดแทนจากทรัพยากรที่มีอยู่ในพื้นที่ โดยสามารถคำนวณหาศักยภาพทางด้านชีวมวล ก๊าซชีวภาพ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำและไบโอดีเซล



ภาพที่ 3 เมนูเพื่อเลือกการคำนวณศักยภาพพลังงานทดแทน

1.4 การพยากรณ์การใช้พลังงาน คือส่วนที่ใช้คาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคตของตำบลโดยสามารถคำนวณได้ 2 วิธีคือ 1) วิเคราะห์จากอัตราการเติบโตการใช้พลังงานและ 2) วิเคราะห์จากรายได้ของตำบลและการใช้พลังงาน



ภาพที่ 4 หน้าจอแสดงผลการพยากรณ์การใช้พลังงาน

1.5 ส่วนการประมวลผลข้อมูลการใช้พลังงานและการแสดงผลปีอนาคต เป็นส่วนที่แสดงผลการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานในปีอนาคต โดยแสดงผลในรูปแบบของค่าการใช้พลังงานในหน่วยกายภาพและหน่วย toe นอกจากนี้ยังแสดงผลในรูปแบบของกราฟ และเป็นส่วนที่ดำเนินการวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยตารางสมดุลพลังงานเช่นเดียวกันกับส่วนการประมวลผลข้อมูลการใช้พลังงานและการแสดงผลปีปัจจุบัน

1.6 การจัดทำแผนพลังงาน คือส่วนที่ให้ผู้ใช้กำหนดมาตรการต่างๆ ทางด้านพลังงานเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยชุดคำสั่งสำเร็จฯ จะดำเนินการคำนวณผลที่ได้จากมาตรการต่างๆ โดยอัตโนมัติและแสดงผลออกมาในรูปแบบของปริมาณการใช้พลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปในหน่วยกายภาพและ toe

ภาพที่ 5 มาตรการต่างๆ ในการจัดทำแผนพลังงาน

1.7 ส่วนการประมวลผลข้อมูลการใช้พลังงานและการแสดงผลปีอนาคตภายใต้แผนพลังงาน เป็นส่วนที่แสดงผลการใช้พลังงานของตำบลภายใต้มาตรการต่างๆ ทางด้านพลังงานที่ได้กำหนด

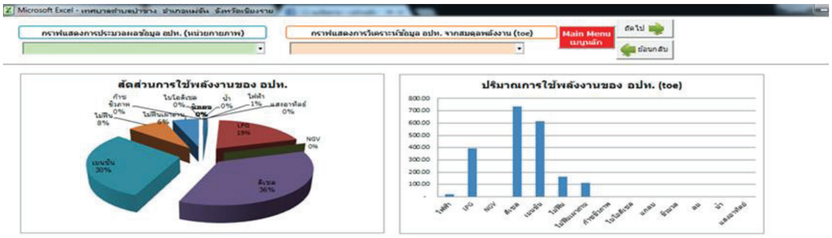
1.8 ส่วนของค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณ เป็นส่วนที่แสดงค่าคงที่ต่างๆ ประกอบด้วย ค่าการแปลงหน่วยตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (toe), ประสิทธิภาพเทคโนโลยี, อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, ราคาค่าเชื้อเพลิงและสัดส่วนชีวมวล

ภาพที่ 6 เมนูเพื่อแสดงค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณ

2. ผลการทดลองการใช้งานชุดคำสั่งสำเร็จฯ พบว่า ชุดคำสั่งสำเร็จมีความสามารถในการดำเนินประมวลผลข้อมูลและการคำนวณเพื่อการวางแผนพลังงานในระดับชุมชนดังนี้

2.1 สามารถทำการประมวลผลข้อมูลการใช้พลังงานจากแบบสอบถามออกมาได้อย่างอัตโนมัติ ในรูปแบบของปริมาณการใช้พลังงานรวม การใช้พลังงานแยกตามกิจกรรม และการใช้พลังงานแยกรายเทคโนโลยี

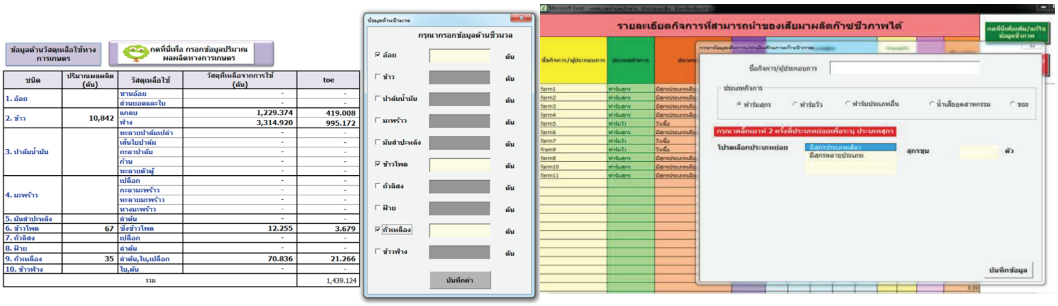
2.2 สามารถการวิเคราะห์ข้อมูลออกมาในรูปแบบกราฟ ในรูปแบบต่างๆ ของปริมาณ มูลค่า สัดส่วนการใช้พลังงาน และการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในมิติต่างๆ โดยแสดงทั้งในหน่วย toe และหน่วยกายภาพเพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำไปวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานของชุมชนได้อย่างแม่นยำในหลากหลายมิติ



ภาพที่ 7 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน

2.3 สามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยตารางสมดุลพลังงาน ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์เพื่อบริหารจัดการด้านการใช้พลังงาน โดยสามารถวิเคราะห์ ปริมาณการใช้พลังงานรวม ทั้งแยกราย Sector และจำแนกตามประเภทเชื้อเพลิง (toe), ปริมาณพลังงานที่นำเข้าในชุมชนและพลังงานที่มีอยู่ในชุมชน (toe), ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ตันCO_2) และมูลค่าการใช้พลังงานและมูลค่าการใช้พลังงานที่หมุนเวียนอยู่ในชุมชน (บาท)

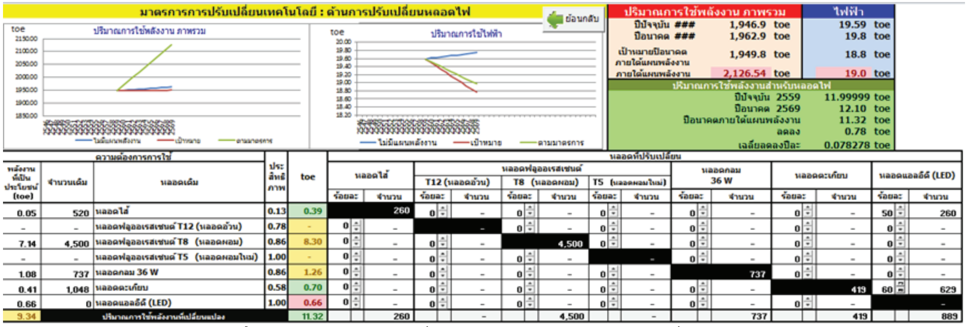
2.4 สามารถประเมินศักยภาพพลังงานทดแทน โดยผลการคำนวณจะระบุในหน่วยกายภาพและหน่วย toe โดยชุดคำสั่งสำเร็จได้ถูกจัดทำขึ้นให้สามารถประเมินศักยภาพทางด้านชีวมวล, ก๊าซชีวภาพ, การปลูกไม้โตเร็ว, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานน้ำ, พลังงานลมและการผลิตไบโอดีเซล



ภาพที่ 8 การประเมินศักยภาพพลังงานทดแทนโดยชุดคำสั่งสำเร็จฯ

2.5 สามารถพยากรณ์การใช้พลังงานในระดับชุมชนภายใต้ข้อจำกัดทางด้านข้อมูลให้ใกล้เคียงกับแนวโน้มของความเป็นจริงที่น่าจะเกิดขึ้นในอนาคตมากที่สุด โดยสามารถดำเนินการพยากรณ์ได้ 2 รูปแบบ คือ การพยากรณ์โดยใช้การเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและประชากร (BAU : Bussiness as usel) และการพยากรณ์โดยใช้ตัวเลขอัตราการเติบโตทางด้านพลังงาน

2.6 สามารถดำเนินการกำหนดมาตรการต่างๆ เพื่อจัดทำแผนพลังงานได้ทั้งหมด 5 มาตรการประกอบด้วย มาตรการทางด้านการปรับเปลี่ยนหลอดไฟ, มาตรการทางด้านการปรับเปลี่ยนปั้มน้ำ, มาตรการด้านการปรับเปลี่ยนเตาหุงต้ม, มาตรการด้านการประหยัดพลังงาน และมาตรการด้านการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน โดยแต่ในละมาตรการผู้ใช้สามารถดำเนินการปรับเปลี่ยนระหว่างเทคโนโลยีได้ ซึ่งเมื่อดำเนินการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีแล้ว ชุดคำสั่งสำเร็จฯ จะแสดงผลออกมาทั้งในรูปแบบกราฟและตัวเลขของพลังงานนั้นๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ยังระบุจำนวนเทคโนโลยีพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานที่ต้องดำเนินการส่งเสริม



ภาพที่ 9 ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนมาตรการทางด้านการปรับเปลี่ยนหลอดไฟ

2.7 สามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานจากแนวโน้มการใช้พลังงานในอนาคตและวิเคราะห์การใช้พลังงานด้วยตารางสมดุลพลังงานจากปริมาณการใช้พลังงานภายใต้แผนพลังงาน เช่นเดียวกันกับตารางสมดุลพลังงานปีปัจจุบัน

3. ในการทดสอบชุดคำสั่งสำเร็จนอกจากจะทดสอบโดยผู้วิจัยแล้ว ยังดำเนินการทดสอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านการวางแผนพลังงานอีก 3 ท่าน ประกอบด้วย 1. นายเชาวรัช ทองแก้ว ผู้เชี่ยวชาญพิเศษด้านการวางแผนพลังงานระดับทั่วไป 2. นายเที่ยงทน คำภิเดช ผู้เชี่ยวชาญด้านการมีส่วนร่วม จาก สำนักประงานการมีส่วนร่วมของภาคประชาชน สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงพลังงาน และนายสุรพงษ์ อินทรเจียว นายช่างเทคนิคปฏิบัติการ สำนักงานพลังงานจังหวัดตรัง ซึ่งทั้ง 3 ท่านได้ให้ความเห็นสรุปได้ว่าโครงสร้างการทำงานของชุดคำสั่งสำเร็จฯ ครบถ้วนกระบวนการและขั้นตอนในการใช้จัดทำแผนพลังงานชุมชน มีความคล่องตัวในการใช้งาน และเป็นชุดคำสั่งสำเร็จที่เหมาะสมกับผู้เริ่มต้นหรือสนใจที่จะเรียนรู้เป็นนักวางแผนพลังงาน ซึ่งการใช้งานชุดคำสั่งสำเร็จผู้ใช้ต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ในเรื่องพลังงานระดับหนึ่ง ผู้ใช้ที่ไม่มีพื้นฐานด้านพลังงานเลยน่าจะเกิดความสับสนและใช้งานได้ยาก ดังนั้นชุดคำสั่งสำเร็จฯ นี้เหมาะกับนักวิเคราะห์และนักวางแผนพลังงานมากกว่าระดับประชาชนทั่วไป

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า ชุดคำสั่งสำเร็จสามารถทำการประมวลผลข้อมูลการใช้พลังงาน วิเคราะห์ข้อมูล การประเมินศักยภาพพลังงานทดแทน พยากรณ์การใช้พลังงานและจัดทำแผนพลังงานได้โดยง่าย ซึ่งผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจทางด้านพลังงานมากนักและไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ข้อมูลหรือจัดทำแผนพลังงานเนื่องจากชุดคำสั่งสำเร็จฯ สามารถดำเนินการได้อย่างครบถ้วนทุกขั้นตอนของการคำนวณและประมวลผล จากการทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่า ชุดคำสั่งสำเร็จสามารถดำเนินการได้อย่างถูกต้องทั้งกระบวนการและวิธีการคำนวณของการจัดทำแผนพลังงาน สามารถทำให้เห็นภาพรวมของการใช้พลังงานทั้งในปัจจุบันและอนาคตและช่วยวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วซึ่งจะส่งผลให้การขยายพื้นที่ในการจัดทำแผนพลังงานชุมชนเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของ คุณเชาวรัช ทองแก้ว ผู้เชี่ยวชาญพิเศษด้านการวางแผนพลังงานระดับทั่วไป คุณเที่ยงทน คำภิเดช ผู้เชี่ยวชาญด้านการมีส่วนร่วม คุณสุรพงษ์ อินทรเจียว นายช่างเทคนิคปฏิบัติการ สำนักงานพลังงานจังหวัดตรัง กระทรวงพลังงานที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ความเห็นในการทดลองใช้ชุดคำสั่งสำเร็จฯ และคุณสุชน ทรัพย์สิงห์ ที่ให้ความรู้และช่วยแก้ปัญหาในการเขียนคำสั่ง VBA ในโปรแกรม Microsoft Excel

เอกสารอ้างอิง

[1] เทคโนโลยีที่เหมาะสม. สมาคม. (2549). **คู่มือการวางแผนพลังงานระดับท้องถิ่น**. เอกสารประกอบการฝึกอบรมนักวางแผนพลังงานระดับท้องถิ่น โครงการ Regional Energy Planning. นครราชสีมา

[2] โครงการ Regional Energy Planning. สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์. สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน. (2550). **คู่มือการวางแผนพลังงานระดับจังหวัดและภูมิภาค**. กรุงเทพมหานคร.

[3] เชาวรัช ทองแก้ว. (1 สิงหาคม 2560). ผู้เชี่ยวชาญพิเศษด้านการวางแผนพลังงานระดับทั่วไป สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน. สัมภาษณ์

[4] Ruangrungchaikul Tanit. (2007). **Local Energy Planning for Rural Thailand**. A thesis submitted for the degree of Doctoral of Philosophy. School of Management. University of Sheffield. United Kingdom

การศึกษาการพยากรณ์การใช้พลังงานเพื่อการวางแผนพลังงานระดับท้องถิ่น
The Study on Energy Demand Forecasting for Local Energy Planning

ปิยะวัฒน์ จิรเทียนธรรม* และธนิท เรืองรุ่งชัยกุล
สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการพยากรณ์การใช้พลังงานระดับท้องถิ่น โดยจะหาวิธีการที่สามารถพยากรณ์การใช้พลังงานได้อย่างแม่นยำและใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดยุทธศาสตร์ มาตรการ แผนงาน และโครงการด้านพลังงานได้ในระยะยาว และเกิดความต่อเนื่องในการบริหารจัดการพลังงานของท้องถิ่นอย่างยั่งยืน โดยได้ทำการศึกษารูปแบบการพยากรณ์การใช้พลังงาน 5 รูปแบบด้วยกัน ประกอบด้วย 1) พยากรณ์ตามแนวโน้ม 2) พยากรณ์โดยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา 3) พยากรณ์โดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐมิติ 4) พยากรณ์โดยใช้แนวโน้มทางเศรษฐกิจมหภาค และ 5) พยากรณ์แบบชุดเหตุการณ์ จากการศึกษาพบว่าพยากรณ์การใช้พลังงานใช้แบบจำลองทางเศรษฐมิติ เป็นรูปแบบการพยากรณ์การใช้พลังงานในระดับท้องถิ่นที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถปรับชุดข้อมูลให้สอดคล้องกับวิธีการนี้ได้ ซึ่งหากมีการเก็บข้อมูลรายได้ และการใช้พลังงานในระดับท้องถิ่น อย่างต่อเนื่องให้มีข้อมูลย้อนหลังเพิ่มมากยิ่งขึ้น จะทำให้การพยากรณ์ด้วยวิธีการนี้แม่นยำมากขึ้นตามไปด้วย และได้ทำการทดสอบโดยใช้ข้อมูลของ ตำบลดอยลาน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เป็นตัวอย่างในการพยากรณ์ และจากการพยากรณ์พบว่าวิธีการพยากรณ์การใช้พลังงานโดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐมิติ สามารถหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านข้อมูลและสามารถพยากรณ์การใช้พลังงานในระดับท้องถิ่นได้

คำสำคัญ: การวางแผนพลังงานระดับท้องถิ่น, การพยากรณ์การใช้พลังงาน, การใช้พลังงานระดับท้องถิ่น

*Corresponding author: Tel.: 081 851 9884. E-mail address: piyawat.jir@gmail.com

บทนำ

การวางแผนพลังงานชุมชนหรือการวางแผนพลังงานระดับท้องถิ่น คือ กระบวนการสร้าง การมีส่วนร่วมของประชาคมในการจัดการด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และแผนงบประมาณในท้องถิ่นของตนเอง ให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต โดยเน้นตามศักยภาพในพื้นที่และบนพื้นฐานแห่งความพอเพียงและความเหมาะสม ของท้องถิ่นนั้นๆ [1] ในการส่งเสริมการวางแผนพลังงานระดับท้องถิ่น ปัจจุบันได้มีการส่งเสริมให้ชุมชนในระดับท้องถิ่นได้ดำเนินการวางแผนพลังงานไปแล้ว 1,676 ตำบลทั่วประเทศ [2] ซึ่งการจัดทำแผนพลังงานดังกล่าวยังมีข้อจำกัดด้านการพยากรณ์การใช้พลังงานในอนาคต แผนพลังงานที่จัดทำจึงเป็นแผนเฉพาะหน้าหรือการดำเนินโครงการระยะสั้นเท่านั้น ซึ่งทำให้การจัดทำแผนพลังงานระดับตำบลมีข้อจำกัดและไม่เห็นภาพรวมของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการจัดทำแผนพลังงานระดับตำบล

การพยากรณ์ความต้องการการใช้พลังงานนอกจากจะต้องการทราบปริมาณการใช้พลังงานที่จะเกิดขึ้นในอนาคตแล้ว ยังมีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัดทำแผนยุทธศาสตร์พลังงาน เพราะแผนยุทธศาสตร์พลังงานถูกจัดทำขึ้นเพื่อกำหนดยุทธศาสตร์ มาตรการ แผนงาน และโครงการด้านพลังงานเพื่อให้เกิดการจัดการด้านการใช้พลังงาน ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัด และเพียงพอต่อการใช้งานในอนาคต [3]

ดังนั้น การหาวิธีการที่เหมาะสมภายใต้ข้อจำกัดด้านข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อให้พยากรณ์การใช้พลังงานในระดับตำบลได้อย่างแม่นยำและใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด จึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดทำแผนฯ ให้สามารถกำหนดยุทธศาสตร์ มาตรการ แผนงาน และโครงการด้านพลังงานได้ในระยะยาว และเกิดความต่อเนื่องในการบริหารจัดการพลังงานของตำบลอย่างยั่งยืน

วิธีการวิจัย

1. เก็บรวบรวมข้อมูล โดยรวบรวมข้อมูลของเนื้อหาในส่วนของวิธีการพยากรณ์การใช้พลังงานโดยรวบรวมวิธีการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการพยากรณ์ และวิธีการที่ใช้ในการพยากรณ์การใช้พลังงานที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบัน จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวมมูลเพื่อหาคุณสมบัติของการพยากรณ์การใช้พลังงานในแต่ละวิธี หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์การใช้พลังงานในแต่ละวิธี โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ของแต่ละวิธีการที่จะนำมาใช้ในการพยากรณ์การใช้พลังงานในระดับตำบลและวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการพยากรณ์การใช้พลังงานจากวิธีการที่เลือก
3. ปรับข้อมูลให้เหมาะสมกับวิธีการพยากรณ์การใช้พลังงาน เนื่องจากข้อมูลอาจจะมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น จำนวนของชุดข้อมูล ระดับของชุดข้อมูล (ประเทศ จังหวัด ตำบล) ซึ่งจะต้องนำมาคำนวณปรับข้อมูลให้เป็นหน่วยเดียวกัน
4. ทดสอบวิธีการที่ได้จากการสังเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลที่ได้จากการพยากรณ์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. วิธีการพยากรณ์การใช้พลังงานมีวิธีการที่ใช้อยู่ด้วยกัน 5 วิธี ประกอบด้วย 1) พยากรณ์ตามแนวโน้ม 2) พยากรณ์โดยการวิเคราะห์อนุกรมเวลา 3) พยากรณ์โดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐมิติ 4) พยากรณ์โดยใช้แนวโน้มทางเศรษฐกิจมหภาค และ 5) พยากรณ์แบบชุดเหตุการณ์ ซึ่งในแต่ละวิธีจะมีวิธีการพยากรณ์และคุณสมบัติที่แตกต่างกันในการเลือกนำไปใช้กับชุดข้อมูล [4] รายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1 สรุปเทคนิคและวิธีการในการพยากรณ์การใช้พลังงาน

เทคนิค	นิยาม	สมการ	คุณสมบัติ
แนวโน้มตามประวัติศาสตร์	อนาคตเปลี่ยนแปลงในอัตราเดียวกันกับในอดีต	$Q_t = e^{rt} Q_0$ เมื่อ Q_0 = demand ในปีแรก Q_t = demand ในปี t r = อัตราการเปลี่ยนแปลง	• ใช้ได้เฉพาะกับช่วงสั้นๆ • ระยะยาว อัตราเปลี่ยนไม่คงที่ จึงพยากรณ์จุดเปลี่ยนไม่ได้
การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (time series analysis)	ความต้องการในอดีตมีอิทธิพลต่อความต้องการปัจจุบันและอนาคต	$Q_t = \alpha_1 Q_{t-1} + \alpha_2 Q_{t-2} .... + \alpha_n Q_{t-n}$ Q_1 = ความต้องการใช้พลังงานในปีแรก Q_t = ความต้องการการใช้พลังงานในปี t α (alpha) = ค่าคงที่ที่ทำ ให้เรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์, $0 \leq \alpha \leq 1$	• การพยากรณ์รูปแบบนี้สามารถทำให้เห็นวงจร (Cycle) ของการใช้พลังงานได้ • ถ้านำมาใช้พยากรณ์ในระยะยาว อัตราการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ พยากรณ์จุดเปลี่ยนไม่ได้
แบบจำลองเศรษฐมิติ (econometric models)	ทฤษฎีพื้นฐาน: พฤติกรรมผู้บริโภค	D = f (ราคาสินค้า, ราคาสินค้าทดแทน,ปริมาณการบริโภคในอดีต, รายได้รวม,ประชากร, จำนวนพาหนะ/อุปกรณ์,เทคโนโลยีต่างๆ)	• เน้นการตอบสนองตามช่วงเวลาต่างๆ ของการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม • แม่นยำกับการพยากรณ์แยกรายเชื้อเพลิงหรือรายเทคโนโลยี • ยืดหยุ่นกับระยะยาวมากกว่าในระยะสั้น
แนวโน้มทางเศรษฐกิจมหภาค (macroeconomic trends)	การใช้พลังงานเพิ่มตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจ	I = Energy intensity $= \frac{\text{Energy Consumption (E)}}{\text{GDP (Y)}}$ η = Energy elasticity = $\frac{dE/E}{dY/Y}$ ถ้า $\eta = 1$ I มีค่าคงที่ ถ้า $\eta > 1$ I มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา ถ้า $\eta < 1$ I มีค่าลดลงตามเวลา	• ต้องมีการคาดการณ์ผลิตภัณฑ์มวลรวม (GDP) ไปในอนาคต ซึ่งทำได้ยาก • อาศัย ความเข้มข้นของการใช้พลังงาน (Energy intensity) หรือ ความยืดหยุ่นของการใช้พลังงาน (Energy elasticity) เพื่อพยากรณ์ความต้องการการใช้พลังงานในอนาคต

เทคนิค	นิยาม	สมการ	คุณสมบัติ
การวางแผนแบบ "ชุดเหตุการณ์" (scenario planning)	การสร้างสถานการณ์จำลองจากการคาดการณ์ของผู้เชี่ยวชาญและคาดการณ์การใช้พลังงานจากสถานการณ์ดังกล่าว	ระบุปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพล เช่น เศรษฐกิจ สังคม การเมือง สิ่งแวดล้อม พัฒนาบท (plot) ของ scenario หลายชุด เช่น worst case, best, base (expected), ใส่รายละเอียด เหตุการณ์/ การเปลี่ยนแปลงสำคัญ พร้อมระบุผลกระทบสำคัญที่มีผลต่อการตัดสินใจ	• กรณีที่จะเกิดขึ้นในอนาคตจะไม่เหมือนอดีตที่ผ่านมา ต้องระบุทางเลือกในการเปลี่ยนเหตุการณ์ • ชุดเหตุการณ์ที่สร้างขึ้นต้องสอดคล้องกันทางตรรกะ และมีให้เลือกหลายชุดเหตุการณ์เพื่อให้เห็นโอกาสและปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

ที่มา : [6]

2. ข้อมูลในระดับตำบลที่สามารถจัดเก็บได้ ประกอบด้วย 1) ข้อมูลทางกายภาพ เช่น ขนาดของพื้นที่ ที่ตั้ง ลักษณภูมิประเทศ 2) ข้อมูลประชากร เช่น จำนวนประชากร จำนวนครัวเรือน 3) ข้อมูลเศรษฐกิจ เช่น รายได้ อาชีพ 4) ข้อมูลการใช้พลังงานจะมีการเก็บเฉพาะปีที่มีการจัดทำแผนพลังงานระดับตำบลของกระทรวงพลังงาน

3. เมื่อนำวิธีการพยากรณ์การใช้พลังงานและข้อมูลในระดับตำบลที่สามารถจัดเก็บได้มาวิเคราะห์ร่วมกันจะสังเกตได้ว่า วิธีการพยากรณ์ตามแนวโน้มจะติดค่าตัวแปร r (อัตราการเปลี่ยนแปลง) และการพยากรณ์โดยการวิเคราะห์อนุกรมเวลาจะติดค่าตัวแปร α (alpha) (ค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์) ที่ไม่สามารถคำนวณหาได้เนื่องจากข้อมูลการใช้พลังงานในระดับตำบลมีแค่ปีเดียวและคุณสมบัติของการพยากรณ์ทั้ง 2 แบบจะเหมาะกับการพยากรณ์ในระยะสั้นและไม่ได้นำปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการใช้พลังงานมาร่วมวิเคราะห์ด้วย [5] จึงไม่เหมาะกับการที่จะนำมาใช้เพื่อพยากรณ์การใช้พลังงานระดับตำบล ส่วนการพยากรณ์โดยใช้แนวโน้มทางเศรษฐกิจมหภาคใช้ค่าของ GDP (ผลิตภัณฑ์มวลรวมประเทศ) เป็นตัวแปรที่ใช้ในสมการคำนวณ ซึ่งเป็นค่าในระดับมหภาคจึงเหมาะกับการพยากรณ์การใช้พลังงานในระดับประเทศ และการพยากรณ์แบบชุดเหตุการณ์เป็นการพยากรณ์ที่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านในการวิเคราะห์ประเด็นต่างๆ ทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ฯลฯ ในพื้นที่ ซึ่งหากนำมาใช้ในการวางแผนพลังงานในระดับตำบลต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ความเข้าใจในบริบทของตำบลนั้นๆ เป็นอย่างดี จึงจะสามารถทำนายภาพอนาคตของตำบลได้อย่างแม่นยำ ซึ่งหากไม่สามารถหาผู้เชี่ยวชาญมาทำนายได้การพยากรณ์ด้วยวิธีนี้ก็ไม่สามารถนำไปใช้ได้

4. การพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐมิติ เป็นการพยากรณ์ในรูปแบบของการหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของปริมาณการใช้พลังงานกับพฤติกรรมการบริโภคของประชากรที่ผ่านมาในอดีตเพื่อทำนายความต้องการการใช้พลังงานที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นหากมีข้อมูลที่ย้อนหลังไปในอดีตที่มากเพียงพอ การพยากรณ์การใช้พลังงานด้วยวิธีนี้จะสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ และเป็นวิธีการที่ยืดหยุ่นเนื่องจากสามารถตั้งสมมติฐานด้วยปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการใช้พลังงาน ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย 2558 – 2579 (PDP 2015) [6] และการพยากรณ์การใช้พลังงานระดับจังหวัดซึ่งพัฒนาโดยสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [3]

5. ในการตั้งสมมติฐานเพื่อทำการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐมิติ ต้องวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน กรณีการพยากรณ์การใช้พลังงานระดับตำบลสามารถตั้งสมมติฐานได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานมีดังต่อไปนี้

5.1 การพัฒนาทางเศรษฐกิจ ปัจจัยนี้เป็นผลมาจากการที่ตำบลมีรายได้เพิ่มขึ้น จากการขายสินค้าและบริการส่งผลให้ต้องมีการผลิตเพิ่มขึ้น มีการขยายกิจการ เพิ่มชั่วโมงการทำงาน ทำให้มีการบริโภคพลังงานเพิ่มมากขึ้น

5.2 จำนวนประชากร ปัจจัยนี้แปรผันโดยตรงกับการใช้พลังงาน คือ หากตำบลมีประชากรมากขึ้นจะส่งผลให้มีการบริโภคพลังงานเพิ่มมากขึ้น ในทางกลับกันหากจำนวนประชากรลดลงน่าจะส่งผลให้การบริโภคพลังงานลดลงด้วยเช่นกัน เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการดำรงชีพ

5.3 รายได้ของตำบล ปัจจัยนี้จะแสดงถึงรายได้ของประชากรในตำบล ดังนั้นในกรณีนี้สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่า หากประชากรมีรายได้มาก หรือมีรายได้เพิ่มขึ้นน่าจะส่งผลให้เกิดการบริโภคเพิ่มขึ้น ทั้งการซื้อสินค้าและบริการ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการบริโภคพลังงานเพิ่มมากขึ้น (เช่น ไฟฟ้า น้ำมัน เป็นต้น)

ทั้งสามสมมติฐานสามารถนำมาเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

ปริมาณการใช้พลังงาน (toe) = f (การพัฒนาทางเศรษฐกิจ, รายได้, จำนวนประชากร)

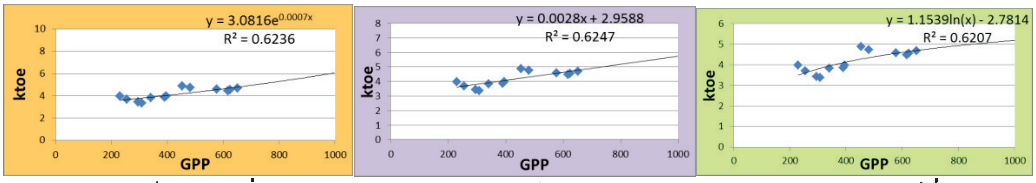
6. การพยากรณ์การใช้พลังงานในระดับตำบล ด้วยวิธีการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐมิติ พื้นที่ทดสอบตำบลดอยลาน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย มีข้อจำกัดของข้อมูลในการพยากรณ์คือ ข้อมูลการใช้พลังงานและรายได้ในระดับตำบล ส่วนใหญ่มีเพียงปีเดียว ที่ได้มาจากการเก็บแบบสอบถามการใช้พลังงานเพื่อจัดทำแผนพลังงานชุมชนโดยสำนักงานพลังงานจังหวัด จึงต้องมีการดำเนินการปรับข้อมูลดังนี้

6.1 หาปริมาณการใช้พลังงานปีอดีต โดยคำนวณหาอัตราการเติบโตของปริมาณการใช้พลังงานในระดับจังหวัด ซึ่งมีข้อมูลที่สามารถคำนวณย้อนหลังได้ไปถึงปี 2546 [7] เพื่อนำมาใช้เทียบเป็นอัตราการเติบโตของปริมาณการใช้พลังงานต่อคน (Energy per Capita) ในระดับตำบล และนำไปคูณกับจำนวนประชากรตำบลปีนั้นๆ ในอดีต

6.2 หารายได้ของตำบลปีอดีต โดย คำนวณหาอัตราการเติบโตของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP Growth) ตั้งแต่ปีอดีตจนถึงปัจจุบัน และใช้รายได้ของตำบลปีปัจจุบันที่มี คูณเข้ากับอัตราการเติบโตของผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด ย้อนหลังกลับไปเพื่อหารายได้ของตำบลปีอดีต

6.3 หารายได้ของตำบลปีอนาคต โดยใช้ค่าประมาณการอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจระยะยาว (GDP) ปี 2557 - 2579 จากสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ [6] คูณเข้ากับรายได้ของตำบลปีปัจจุบันที่มี เพื่อหารายได้ของตำบลปีอนาคต ซึ่งที่ต้องใช้ค่าประมาณการอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจระยะยาว (GDP) ในระดับประเทศเนื่องจากไม่มีการประมาณการในระดับจังหวัด และเป็นข้อมูลที่ดีที่สุดที่มีอยู่ ณ ปัจจุบัน โดยในการคำนวณตามข้อที่ 6.1 – 6.3 แสดงไว้ในตารางที่ 2

6.4 การหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างรายได้และการใช้พลังงาน จากข้อมูลรายได้ของตำบลและข้อมูลการใช้พลังงานในตารางที่ 2 ที่ได้ดำเนินการปรับข้อมูลแล้ว สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ทางด้านคณิตศาสตร์ ในการพยากรณ์การใช้พลังงานของตำบลในอนาคต ด้วยการกำหนดค่าลงในกราฟ โดยให้รายได้ของตำบลเป็นแกน X และการใช้พลังงานเป็นแกน Y และหาความสัมพันธ์ทางด้านคณิตศาสตร์ด้วยสมการ 3 รูปแบบประกอบด้วย สมการเอ็กโพเนนเชี่ยล สมการเส้นตรงและสมการลอการีทึ่ม เพื่อเลือกรูปแบบของสมการที่เหมาะสมในการคำนวณหาการใช้พลังงานในอนาคตของแต่ละปี



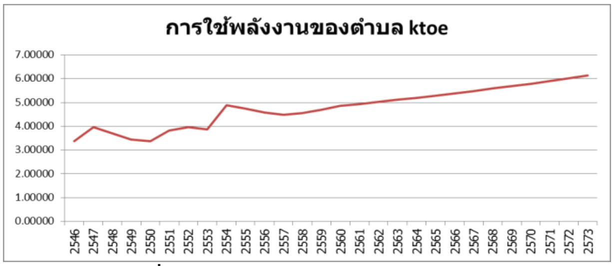
สมการเอ็กโพเนนเชี่ยล **สมการเส้นตรง** **สมการลอการีทึ่ม**

ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบสมการเอ็กโพเนนเชี่ยล สมการเส้นตรง และสมการลอการีทึ่ม

6.5 ผลการพยากรณ์การใช้พลังงาน ตำบลดอยลาน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ค่า R^2 ของสมการเส้นตรงมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด เนื่องจากความสัมพันธ์ทางด้านคณิตศาสตร์ของจำนวนประชากรและปริมาณการใช้พลังงานในรูปแบบของสมการเส้นตรง ทำให้เส้นแนวโน้มสามารถลากใกล้จุดทุกจุดบนกราฟมากที่สุด และเมื่อนำค่า X หรือค่าของรายได้ มาแทนค่าลงในสมการ $Y = 0.0028X + 2.9588$ จะได้ผลการพยากการดังภาพที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณเพื่อปรับข้อมูลการทดสอบการพยากรณ์การใช้พลังงานในระดับตำบล ด้วยวิธีการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐมิติ พื้นที่ทดสอบ ต.ดอยลาน อ.เมือง จ.เชียงราย

	จำนวนประชากร		การใช้พลังงานของจังหวัด	อัตราการเติบโตการใช้พลังงานของจังหวัด	การใช้พลังงานของตำบล	การใช้พลังงานต่อประชากรตำบล (Energy Per Capita)		ทำนายการใช้พลังงานของตำบลย้อนหลัง	GPP จังหวัดตามราคาประจำปี	GPP Growth	GDP Growth	รายได้ตำบล	รายได้ตำบลตาม GPP & GDP Growth	
	จังหวัด	ตำบล												
	คน	คน	ktoe		ktoe	toe	toe	ktoe	ล้านบาท	ร้อยละ	ร้อยละ	บาท/ปี	บาท/ปี	บาท/ปี
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	สถิติจังหวัด	กรมการปกครอง	www.thaienergy.in.th	$\frac{C_{2547}-C_{2546}}{C_{2546}}$	แบบสอบถาม	E / B	$\frac{G}{(1+D)}$	G x B	สถิติจังหวัด	$\frac{I_{2547}-I_{2546}}{I_{2546}}$	แผน PDP	แบบสอบถาม	$\frac{M}{(1+(J/100))}$	N x (1+(K/100))
2546	1,241,981	10,925	282.52		-		0.308	3.37	-			-	-	-
2547	1,214,135	10,808	336.85	0.19	-		0.367	3.97	35,329.90			-	229.81	-
2548	1,225,057	10,854	312.03	(0.07)	-		0.340	3.69	39,354.57	11.39		-	255.99	-
2549	1,225,713	10,745	293.21	(0.06)	-		0.320	3.44	45,356.00	15.25		-	295.02	-
2550	1,225,013	10,472	294.95	0.01	-		0.322	3.37	47,330.00	4.35		-	307.86	-
2551	1,227,317	10,385	337.13	0.14	-		0.368	3.82	52,414.00	10.74		-	340.93	-
2552	1,194,933	10,416	349.41	0.04	-		0.381	3.97	60,779.00	15.96		-	395.34	-
2553	1,198,218	10,452	339.27	(0.03)	-		0.370	3.87	60,089.00	(1.14)		-	390.86	-
2554	1,198,656	10,432	428.94	0.26	-		0.468	4.88	69,772.00	16.11		-	453.84	-
2555	1,200,423	10,439	416.60	(0.03)	-		0.454	4.74	73,915.00	5.94		-	480.79	-
2556	1,204,660	10,441	401.52	(0.04)	-		0.438	4.57	88,794.00	20.13		-	577.57	-
2557	1,207,699	10,456	391.97	(0.02)	-		0.428	4.47	94,834.00	6.80		-	616.86	-
2558	1,277,950	10,468	399.30	0.02	-		0.436	4.56	95,995.00	1.22		-	624.41	-
2559	1,282,544	10,472	-	-	4.69	0.448		4.69	-		4.40	651.88	651.88	651.88
2560	-	10,512	-	-	-		-	-	-		4.70	-	-	679.91
2561	-	-	-	-	-		-	-	-		4.30	-	-	707.79
2562	-	-	-	-	-		-	-	-		4.10	-	-	737.52
2563	-	-	-	-	-		-	-	-		4.20	-	-	768.49
2564	-	-	-	-	-		-	-	-		4.20	-	-	800.00
2565	-	-	-	-	-		-	-	-		4.10	-	-	832.00
2566	-	-	-	-	-		-	-	-		4.00	-	-	866.11
2567	-	-	-	-	-		-	-	-		4.10	-	-	900.76
2568	-	-	-	-	-		-	-	-		4.00	-	-	936.79
2569	-	-	-	-	-		-	-	-		4.00	-	-	974.26
2570	-	-	-	-	-		-	-	-		4.00	-	-	1012.26
2571	-	-	-	-	-		-	-	-		3.90	-	-	1050.72
2572	-	-	-	-	-		-	-	-		3.80	-	-	1090.65
2573	-	-	-	-	-		-	-	-		3.80	-	-	1133.19



ภาพที่ 2 กราฟผลการพยากรณ์การใช้พลังงาน

จากกราฟผลการพยากรณ์จะเห็นได้ว่าสามารถพยากรณ์การใช้พลังงานในระดับตำบลแสดงแนวโน้มการใช้พลังงานที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตได้ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านข้อมูลของตำบลได้ โดยการพยากรณ์ด้วยวิธีนี้เป็นวิธีการพยากรณ์การใช้พลังงานรูปแบบเดียวกันกับที่สถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยใช้เพื่อการพยากรณ์การใช้พลังงานในระดับจังหวัด ซึ่งได้จัดทำและนำเสนอไว้ในคู่มือการวางแผนพลังงานระดับจังหวัดและภูมิภาค [2]

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า วิธีการที่เหมาะสมในการพยากรณ์การใช้พลังงานในระดับท้องถิ่น คือ การพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐมิติ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ยืดหยุ่นสามารถตั้งสมมติฐานด้วยปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการใช้พลังงาน โดยสามารถทำการปรับข้อมูลที่มีอยู่อย่างจำกัดโดยเฉพาะข้อมูลการใช้พลังงานและรายได้ของตำบลที่มีอยู่เพียงปีเดียว เพื่อนำมาใช้หาความสัมพันธ์ทางด้านคณิตศาสตร์ร่วมกันตามวิธีการของการพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองทางเศรษฐมิติ ซึ่งทำให้สามารถทำนายแนวโน้มความต้องการการใช้พลังงานในอนาคตของท้องถิ่นได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณ สำนักงานพลังงานจังหวัดเชียงราย กระทรวงพลังงาน ในการอนุเคราะห์ข้อมูลของ ตำบลดอยลาง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เพื่อทำการทดสอบการพยากรณ์การใช้พลังงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] เทคโนโลยีที่เหมาะสม. สมาคม. (2549). **คู่มือการวางแผนพลังงานระดับท้องถิ่น.** เอกสารประกอบการฝึกอบรมนักวางแผนพลังงานระดับท้องถิ่น โครงการ Regional Energy Planning. นครราชสีมา

[2] เชาวรัช ทองแก้ว. (1 สิงหาคม 2560). ผู้เชี่ยวชาญพิเศษด้านการวางแผนพลังงานระดับทั่วไป สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน. สัมภาษณ์

[3] โครงการ Regional Energy Planning. สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์. สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน. (2550). **คู่มือการวางแผนพลังงานระดับจังหวัดและภูมิภาค**. กรุงเทพมหานคร.

[4] พรายพล คุ้มทรัพย์ และภูรี สิรสุนทร. (2552). เอกสารประกอบการเรียน เนื้อหาย่อยที่ 5 การพยากรณ์ด้านพลังงาน (Energy Forecasting) วิชาเศรษฐศาสตร์พลังงาน คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สืบค้นเมื่อ 16 กรกฎาคม 2560, จาก http://www.econ.tu.ac.th/oldweb/popup.php?action=outline&tb=course&id=465&lang=th

[5] ศูนย์บริการวิชาการเศรษฐศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (2557). **โครงการสำรวจและปรับปรุงการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในระยะยาว**. เสนอต่อสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพฯ

[6] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2558). **แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย 2558 – 2579 (PDP 2015)**. กรุงเทพฯ

[7] กระทรวงพลังงาน. (ม.ป.ป.). **โครงการบูรณาการแผนยุทธศาสตร์พลังงานระดับกลุ่มจังหวัดตามยุทธศาสตร์ประเทศ**. สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2560. จาก www.thaienergydata.in.th

การศึกษาเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกในกระบวนการผลิตของโครงการพัฒนาดอยตุง

Renewable Energy Technologies Applications Study in Production Lines of the Doi Tung Development Project (DTDP)

นางสาวสุจิตร เข็มมี[1*] ชัชวาลย์ ชัยชนะ[2] ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล[1]

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

โครงการพัฒนาดอยตุง จังหวัดเชียงรายมีโรงงาน 5 โรงงาน ได้แก่ โรงผลิตกาแฟ โรงผลิตกระดาษสา โรงงานทอผ้า โรงงานผลิตเซรามิก และโรงงานผลิตเมล็ดแมคคาเดเมีย ซึ่งทุกโรงงานนั้นมีการใช้พลังงาน 2 รูปแบบคือ ไฟฟ้าและความร้อน (จาก LPG) จากการเก็บข้อมูลในปี พ.ศ. 2553-2554 พบว่ามี การใช้พลังงานความร้อนรวม 6,229,714 MJ ต่อปี ซึ่งคิดเป็นมูลค่า 2,451,960 บาทต่อปี อย่างไรก็ตามในโครงการฯ มีแหล่งพลังงานทางเลือกซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตที่สำคัญ 2 ชนิดคือ กะลากาแฟ และ กะลาแมคคาเดเมีย โดยมีปริมาณรวมเฉลี่ย 344 ตันต่อปี เทียบเท่า 1,955,591 MJ จากการประเมินศักยภาพโดยละเอียดพบว่าจะสามารถดำเนินการเพื่อใช้พลังงานทางเลือกในกระบวนการผลิตของโครงการฯได้ 4 แนวทาง และจะสามารถลดการใช้ LPG ได้เทียบเท่า 1,266,728 MJ ต่อปี

คำสำคัญ: เทคโนโลยีพลังงานทางเลือก โครงการพัฒนาดอยตุง

*Corresponding author: Tel.: +66 89 927 8138 E-mail address: sujitaoy@gmail.com

บทนำ

โครงการพัฒนาดอยตุง พื้นที่ทรงงาน อันเนื่องมาจากพระราชดาริ [1] ตั้งอยู่ที่ 920/4 หมู่ 7 ตำบลแม่ฟ้าหลวง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย เริ่มดำเนินการปี พ.ศ. 2529 โดยจัดเป็นประเภทอุตสาหกรรมทางการเกษตร และผลิตภัณฑ์ที่ผลิต ได้แก่ กาแฟ เซรามิก แมคคาเดเมีย กระดาษสา และผ้าทอ ซึ่งมีโรงงานผลิตหลัก จำนวน 5 โรงงาน ได้แก่ โรงผลิตกาแฟ โรงผลิตกระดาษสา โรงงานทอผ้า โรงงานผลิตเซรามิก และโรงงานผลิตเมล็ดแมคคาเดเมีย ซึ่งทุกโรงงานนั้นจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงาน ความร้อน (แก็ส LPG) ในกระบวนการผลิต โดยในแต่ละอาคารหรือโรงงานก็จะมีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในปริมาณที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปริมาณของผลผลิตและขั้นตอนการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด อาทิ การต้มน้ำ การอบแห้ง การใช้เครื่องจักรกลต่างๆ ในการแปรรูปวัตถุดิบ โดยค่าใช้จ่ายสำหรับก๊าซหุงต้ม (LPG) และไฟฟ้าต่อปี มีมูลค่าหลายล้านบาท ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลแสดงปริมาณการใช้พลังงานความร้อน (LPG) ของโรงงานในโครงการพัฒนาดอยตุง [2]

โรงงาน	ปริมาณก๊าซ LPG (กก./ปี)	จำนวนถังก๊าซ LPG 48 กก. (ถัง/ปี)	พลังงานเทียบเท่า (MJ/ปี)	มูลค่า (บาท/ปี)
โรงงานเซรามิค	64,560	1,345	3,182,162	1,228,659
โรงงานกระดาษสา	24,960	520	1,230,278	475,020
โรงงานย้อมสี	19,157	399	944,249	364,588
โรงงานแมคคาเดเมีย	11,376	237	560,723	216,500
โรงงานกาแฟ	6,336	132	312,301	120,582
รวม	**128,839**	**2,684**	**6,229,714**	**2,451,960**

ที่มา :มูลนิธิแม่ฟ้าหลวง ในพระบรมราชูปถัมภ์ (ข้อมูล ต.ค. 2553 – ก.ย. 2554)

ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางการลดค่าใช้จ่ายและต้นทุนทางด้านพลังงานในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของโครงการพัฒนาดอยตุงฯ ควรมีการนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอยู่ภายในพื้นที่มาใช้ประโยชน์ อาทิ กะลาและเปลือกแมคคาเดเมีย เมล็ดแมคคาเดเมียเสียในโรงงานผลิตแมคคาเดเมีย รวมถึงกะลากาแฟในโรงงานผลิตกาแฟ มาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิง LPG ในการดำเนินงานกิจกรรมภายในโครงการพัฒนาดอยตุงฯ

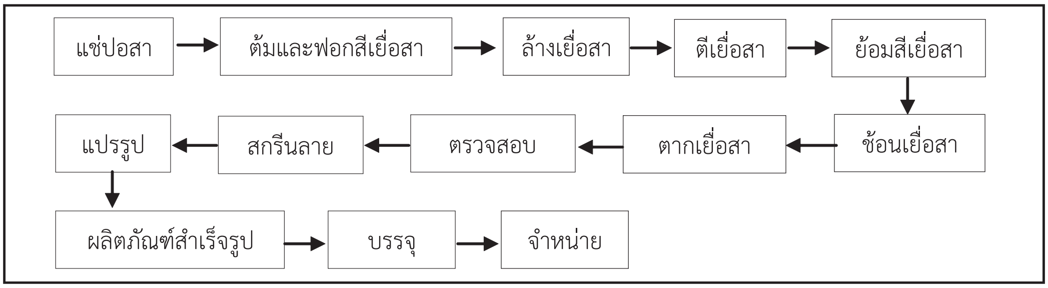
จากการศึกษาศักยภาพเชื้อเพลิงชีวมวล กะลากาแฟ กะลาแมคคาเดเมีย และผลแมคคาเดเมียเสีย ที่มีอยู่ในพื้นที่ไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ ของโครงการพัฒนาดอยตุงฯ ผู้วิจัยพบว่ามีศักยภาพและความเหมาะสมในการนำไปเป็นเชื้อเพลิงทดแทนแก๊สหุงต้ม (LPG) เนื่องมาจาก มีปริมาณเชื้อเพลิงโดยรวมเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่ 344 ตันต่อปี (กะลากาแฟ 102 ตันต่อปี, กะลา แมคคาเดเมีย และผลแมคคาเดเมียเสีย 242 ตันต่อปี) มีศักยภาพด้านพลังงาน 1,955,591 MJ ซึ่งเพียงพอสำหรับนำไปใช้ทดแทนพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง LPG ในโรงงานต่างๆ ที่มีความต้องการพลังงานรวม 1,266,728 MJ ต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 2

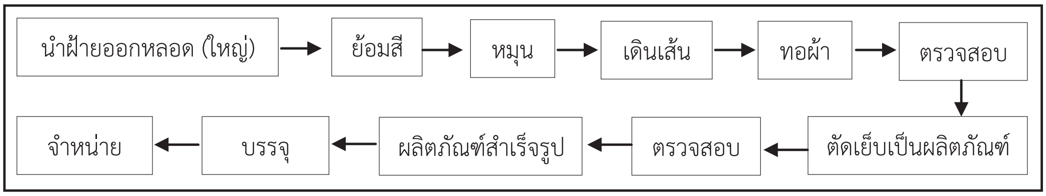
ตารางที่ 2 ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงชีวมวล กะลาแมคคาเดเมีย และกะลากาแฟ

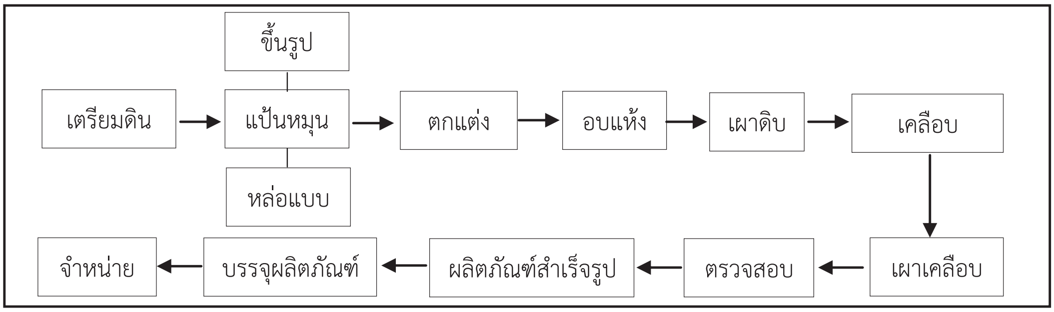
ชีวมวล	ค่าความร้อน (MJ/กก.)	ปริมาณ (ตัน/ปี)	ศักยภาพด้านพลังงาน (MJ/ปี)
กะลาแมคคาเดเมีย	19.53	242	4,725,857
กะลากาแฟ	17.85	102	1,792,778
รวม	**37.38**	**344**	**6,518,635**
คิดประสิทธิภาพการเผาไหม้ชีวมวล 30%			**1,955,591**

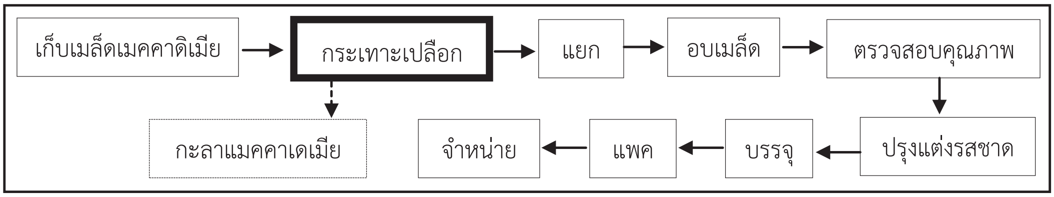
แนวทางการนำเอาเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ในโครงการพัฒนาดอยตุง

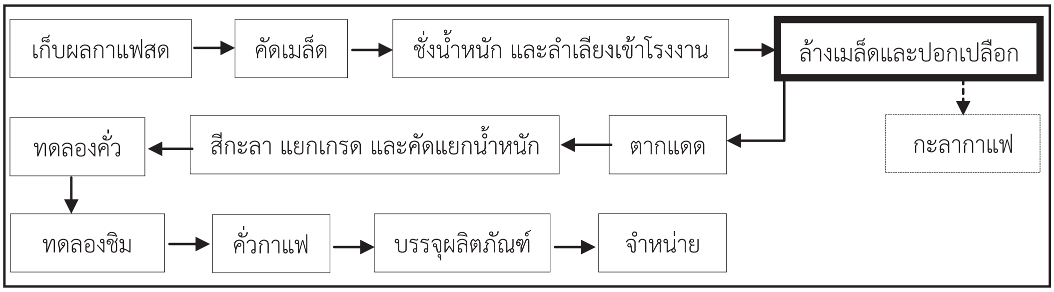
โครงการพัฒนาดอยตุง พื้นที่ทรงงาน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ดำเนินกิจการเป็นโรงงานผลิต กระดาษสา ทอผ้า เซรามิก เมล็ดแคคาเดเมีย และเมล็ดกาแฟ มีการใช้พลังงานหลักในส่วนของระบบไฟฟ้า ซึ่งจากการศึกษาพบว่า สถานประกอบการได้แบ่งการทำงานออกเป็น 5 โรงงานหลัก ได้แก่ โรงผลิตกระดาษสา โรงงานทอผ้า โรงงานผลิตเซรามิก โรงงานผลิตเมล็ดแมคคาเดเมีย และโรงผลิตกาแฟ โดยมีแผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการตามลำดับดังต่อไปนี้









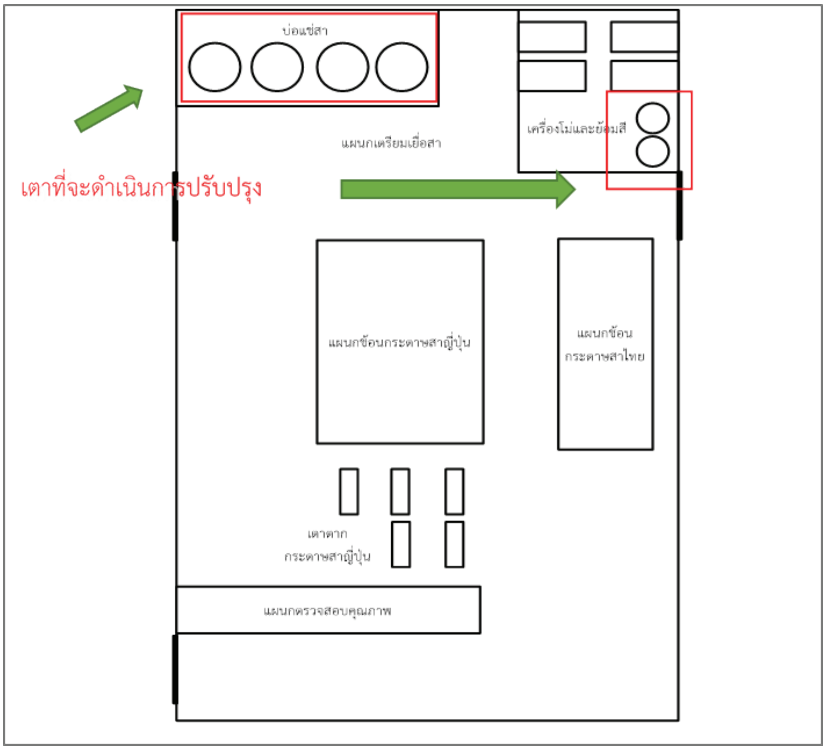


จากกระบวนการผลิตดังกล่าวมีการใช้พลังงานในปริมาณค่อนข้างสูงมาก เทคโนโลยีอุปกรณ์ทางด้านพลังงานของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตค่อนข้างต่ำ เก่า ชำรุด ขาดประสิทธิภาพพลังงาน ขาดผู้มีความรู้ความเชี่ยวชาญในการอนุรักษ์พลังงาน พัฒนา ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่าหากมีการปรับปรุงเทคโนโลยีและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทางเลือก โดยการนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่อยู่ภายในโครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเชียงราย ซึ่งได้แก่ กะลากาแฟ กะลาแมคคาเดเมีย และผลแมคคาเดเมียเสีย มาใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนไฟฟ้า และ LPG โดยผู้วิจัยได้รับคำแนะนำจากหน่วยงานในสังกัดในการเข้าไปศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพเชื้อเพลิงชีวมวล และระบบการทำงานในการทำงานของเทคโนโลยีทั้ง 5 โรงงาน ดังกล่าวข้างต้น ถึงข้อบกพร่อง และการสูญเสียการใช้พลังงานจากตรงจุดใดบ้าง จากการเก็บข้อมูลผลปรากฏว่า อาจจะต้องทำการปรับปรุงเตาประสิทธิภาพสูง สำหรับกระบวนการผลิตภายในโรงงานย้อมด้ายและโรงงานกระดาษสา สร้างระบบผลิตน้ำร้อนแบบรวมศูนย์ เพื่อผลิตน้ำร้อนให้กับอุปกรณ์ของโรงงานย้อมด้ายและโรงงานกระดาษสา สร้างระบบผลิตลมร้อนเพื่อใช้กับไซโลลดความชื้นและไซโลอบแห้งแมคคาเดเมีย และสร้างระบบความร้อนในการอบแห้งแม่พิมพ์เซรามิก 1 ระบบ ซึ่งหากมีการปรับปรุงตามกระบวนการดังกล่าวที่ว่านี้จะทำให้ เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้สูง

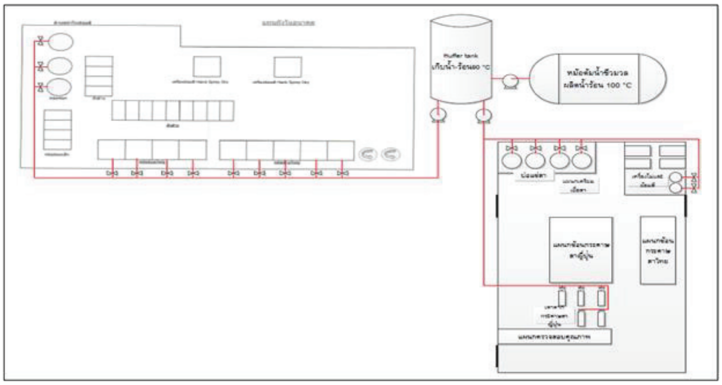
แนวทางการปรับปรุงการใช้เทคโนโลยีพลังงานทางเลือก

จากการดำเนินการในระยะเวลา 2 ปี ทั้งเก็บข้อมูล และดำเนินการปรับปรุงการใช้พลังงานของโครงการพัฒนาดอยตุง พื้นที่ทรงงาน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ พบว่าสามารถทำได้ทั้งหมด 4 มาตรการหลักคือ

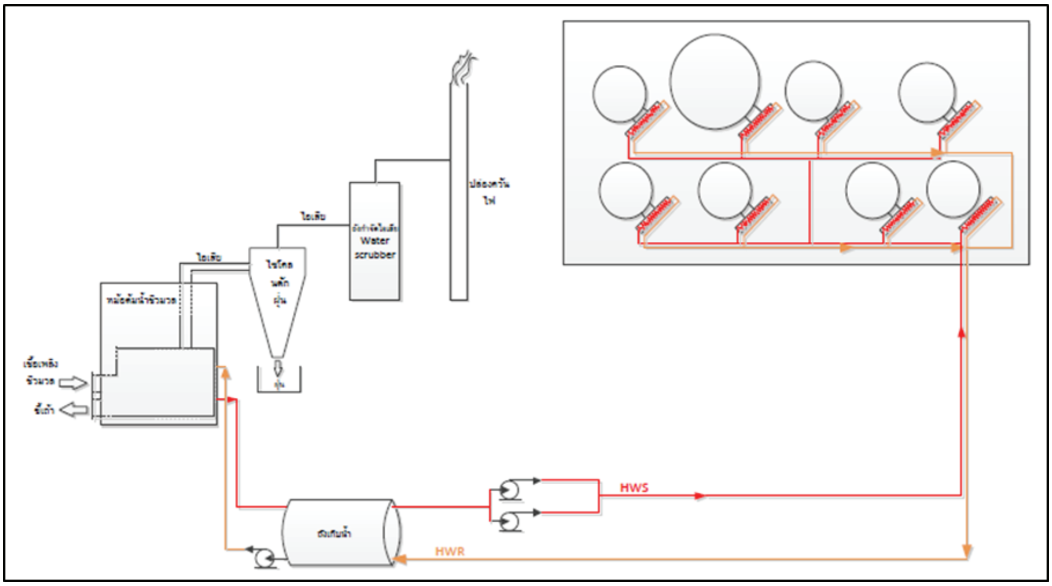
1. การปรับปรุงเตาที่ใช้ในกระบวนการผลิตภายในโรงงานย้อมด้าย และโรงงานกระดาษสา โดยมีหลักการคือ การปรับปรุงเตาใหม่นั้น ถูกออกแบบให้ลักษณะภายนอกของเตาเหมือนหรือใกล้เคียงกับของเดิมมากที่สุด เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนลักษณะการทำงานจากเดิม มาตรการนี้เบื้องต้นน่าจะช่วยลดการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ของโรงงานย้อมด้ายได้ 60% และลดการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ของโรงงานกระดาษสาได้ 30% โดยหลังจากการปรับปรุงทำให้ปริมาณแก๊สหุงต้ม (LPG) มีปริมาณที่ลดลงโดยพบว่าโรงงานย้อมด้ายจะสามารถลดปริมาณแก๊สหุงต้ม (LPG) ได้ 11,494 กิโลกรัมต่อปี และโรงงานกระดาษสาจะสามารถลดปริมาณแก๊สหุงต้ม (LPG) ได้ 7,488 กิโลกรัมต่อปี รวมทั้ง 2 โรงงานจะลดลงได้ 18,982 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นมูลค่า 361,417 บาทต่อปี



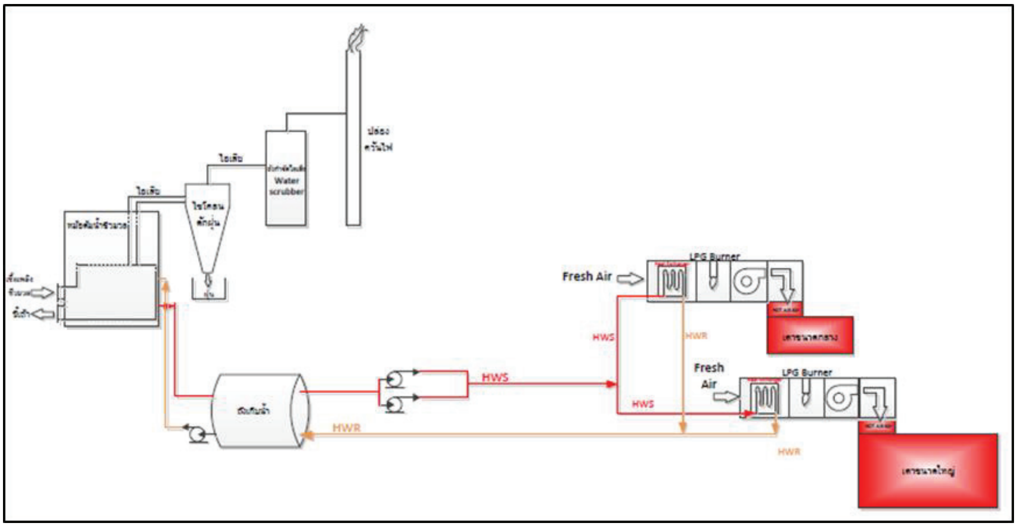
2. การพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนแบบรวมศูนย์ เพื่อผลิตน้ำร้อนให้กับอุปกรณ์ของโรงงานย้อมด้ายและโรงงานกระดาษสา มีหลักการคือ ใช้หม้อไอน้ำชีวมวลเป็นแหล่งความร้อนให้กับหม้อต้มผ่านขดท่อแลกเปลี่ยนความร้อน และใช้หม้อต้มน้ำร้อนเพื่อผลิตน้ำร้อนป้อนให้กับหม้อต้มต่างๆ แล้วใช้หัวเผา LPG เพื่อรักษาอุณหภูมิซึ่งจากการดำเนินงานพบว่าการทำงานตามหลักการดังกล่าวมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงถึง 70% เมื่อเทียบกับหม้อต้มทั่วไปที่มีประสิทธิภาพเพียง 20-30% คิดเป็นพลังงานที่ลดได้มากกว่า 50% หลังจากการปรับปรุงสามารถลดปริมาณการใช้ LPG ได้เท่ากับ 12,403 กิโลกรัมต่อปี โดยสามารถลดค่าแก๊สหุงต้ม (LPG) ลงได้ 12,403 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นมูลค่า 248,064 บาทต่อปี



3. การผลิตลมร้อนใช้กับไซโลลดความชื้นและไซโลอบแห้งแมคคาเดเมีย ในกระบวนการผลิตนั้น เมล็ดแมคคาเดเมียที่ผ่านการปอกเปลือกแล้วจะถูกนำไปเก็บไว้ในไซโลแล้วใช้พัดลมเป่าลมเย็นเพื่อช่วยในการลดความชื้น (การอบเมล็ด) โดยจะมีการใช้ความร้อนเข้ามาช่วย ไซโลอบแห้งมีทั้งหมด 2 ไซโล สามารถอบแห้งเมล็ดแมคคาเดเมียได้สูงสุด 10 ตันต่อไซโล เครื่องนี้จะใช้ปริมาณพลังงานความร้อนประมาณ 6,598 เมกกะจูลต่อการอบหนึ่งครั้ง ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่ใช้ก๊าซ LPG สูงมากถึง 10,608 กิโลกรัมต่อปี ซึ่งมาตรการนี้การใช้ LPG มีปริมาณลดลง โดยมีการนำชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแทน LPG ได้ประมาณ 80%โดยใช้ปริมาณชีวมวลรวมประมาณ 28,412 กิโลกรัม และสามารถประหยัดก๊าซ LPG ได้ 8,486 กิโลกรัมต่อปี หลังจากการปรับปรุงสามารถลดค่าแก๊สหุงต้ม (LPG) ลงได้ 8,486 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นมูลค่า 169,728 บาทต่อปี



4. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงาน โดยการปรับปรุงแหล่งความร้อนในการอบแห้งแม่พิมพ์ (mold) เซรามิก ทำได้โดยพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนแบบรวมศูนย์ เพื่อผลิตน้ำร้อนให้กับอุปกรณ์ของโรงงานย้อมด้ายและโรงงานกระดาษสา มีหลักการคือ ใช้หม้อไอน้ำชีวมวลเป็นแหล่งความร้อนให้กับหม้อต้มผ่านขดท่อแลกเปลี่ยนความร้อน และใช้หม้อต้มน้ำร้อนเพื่อผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้เป็นแหล่งความร้อนในการอบแห้งแม่พิมพ์ (mold) เซรามิก



ผลการนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้แทน LPG และการปรับปรุงการใช้เทคโนโลยีพลังงานทางเลือก

โดยผลจากการดำเนินการจริงพบว่า การพัฒนาเตาประสิทธิภาพสูงในโรงงานย้อมด้าย และโรงงานกระดาษสา พบว่า มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงรวมลดลง 6,638.5 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 129,649.91 บาท) โดยก่อนปรับปรุงมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 23,506.5 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 459,081.95 บาท) หลังการปรับปรุงมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงพียง 16,868 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 329,432,04 บาท) ประหยัดการใช้พลังงาน คิดเป็นร้อยละ 36.15

ผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานโดยการพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนแบบรวมศูนย์ โรงงานย้อมด้ายและโรงงานกระดาษสา พบว่า มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงรวมลดลง 14,433 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 283,000.74 บาท) โดยก่อนปรับปรุงมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 19,353 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 379,569.54 บาท) หลังการปรับปรุงมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงพียง 4,920 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 96,568.80 บาท) ประหยัดการใช้พลังงาน คิดเป็นร้อยละ 48.77

ส่วนผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานโดยการผลิตระบบความร้อนในการอบแห้งแม่พิมพ์ (mold) เซรามิก พบว่า มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงรวมลดลง 1,962 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 38,180.52 บาท) โดยก่อนปรับปรุงมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 3,828 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 74,492.88 บาท) หลังการปรับปรุงมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงพียง 1,866 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 36,312.36 บาท) ประหยัดการใช้พลังงาน คิดเป็นร้อยละ 51.25

และผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานโดยการผลิตระบบผลิตลมร้อนเพื่อใช้กับการอบแห้งแมคคาเดเมีย พบว่า มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงรวมลดลง 4,800 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 112,943.60 บาท) โดยก่อนปรับปรุงมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 6,720 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 158,121.60 บาท) หลังการปรับปรุงมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงพียง 1,920 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 45,177.60 บาท) ประหยัดการใช้พลังงาน คิดเป็นร้อยละ 60

รายละเอียดผลการประหยัดพลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าผลประหยัดรวมจากการดำเนินการตามมาตรการทั้ง 4 เป็น 563,775 บาทต่อปี อย่างไรก็ตาม ผลประหยัดนี้เป็นเพียงผลการประหยัดในปีแรกของการดำเนินงานเท่านั้น ผลการประหยัดในแต่ละปีมีความแตกต่างกันเนื่องมาจากการผลิตจริงที่แตกต่างกันไปในแต่ละปี เนื่องมาจากในแต่ละปีมีการผลิตสินค้าจำนวนแตกต่างกันไป บางปีที่มียอดการผลิตน้อย ผลการประหยัดจริงก็จะต่ำกว่านี้

ตารางที่ 3 ผลการดำเนินงานจากมาตรการต่างๆ

ลำดับ	การปรับปรุง	ก่อน		หลัง		ผลการประหยัด	
		ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (กก)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาท)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (กก)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาท)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (กก./ปี)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาท/ปี)
1	พัฒนาเตาประสิทธิภาพสูงในโรงงานย้อมด้าย และโรงงาน กระดาษสา	23,506.5	459,081.95	16,868	329,432,04	6,638.5	129,649.91
2	พัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนแบบรวมศูนย์โรงงานย้อมด้ายและโรงงานกระดาษสา	19,353	379,569.54	4,920	96,568.8	14,433	283,000.74
3	ระบบความร้อนในการอบแห้งแม่พิมพ์ (mold) เซรามิก	3,828	74,492.88	1,866	36,312.36	1,962	38,180.52
4	ระบบผลิตลมร้อนเพื่อใช้กับการอบแห้งแมคคาเดเมีย	6,720	158,121.6	1,920	45,177.6	4,800	112,943.60
รวม		**53,407.5**	**1,071,265.97**	**25,574**	**507,490.8**	**27,833.5**	**563,775.17**

สรุปผลการวิจัย

จะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงชีวมวลในโครงการดอยตุง อันได้แก่ กะลากาแฟ และ กะลาแมคคาเดเมีย นั้นมีศักยภาพในการทดแทน LPG และที่สำคัญยังไม่มีการใช้เทคโนโลยีพลังงานทางเลือก ส่วนใหญ่จะใช้เชื้อเพลิง LPG เป็นหลัก ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเตาเผาไหม้แบบทั่วๆ ไป ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียความร้อนในส่วนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นหัวเตา ผนังของหม้อต้มน้ำ และส่งผลทำให้มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง LPG ต่อวันค่อนข้างสูง จากปัญหาดังกล่าว เมื่อใช้ความรู้ทาง ด้านวิศวกรรมมาช่วยในการออกแบบระบบเผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ลดการสูญเสียความร้อนในส่วนต่างๆ รวมไปถึงการนำเชื้อเพลิงชีวมวลในพื้นที่กลับมาใช้ประโยชน์ทดแทนเชื้อเพลิง LPG ก็จะสามารถช่วยลดปัญหาต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นได้ โดยจากการดำเนินการดังกล่าวพบว่า ผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานรวมของทั้งโครงการ พบว่า มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงรวมลดลง 27,833.5 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 563,775.17 บาท) โดยก่อนปรับปรุงมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง 53,407.5 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 1,071,265.97 บาท) หลังการปรับปรุงมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเพียง 25,574 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 507,490.8 บาท)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณกระทรวงพลังงานที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานโครงการ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่สำหรับข้อมูลด้านเทคโนโลยีต่างๆในโครงการ

เอกสารอ้างอิง

[1] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, คณะวิศวกรรมศาสตร์. (2557). รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) โครงการศึกษาความเหมาะสมในการพัฒนาปรับปรุงเทคโนโลยีพลังงาน เพื่อสนับสนุนโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

[2] มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระบรมราชูปถัมภ์. โครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ: โครงการต้นแบบการพัฒนาทางเลือก ในการดำรงชีวิตที่ยั่งยืน. สืบค้นจาก http://www.maefahluang.org/index.php?option=com_flexicontent&view=items&cid=68&id=105&Itemid=92&lang=th

การประเมินผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทางเลือกในโครงการพัฒนาดอยตุง

Alternative Energy Technology Implementation Assessment at the Doi Tung Development Project (DTDP)

นางสาวสุจิตร เข็มมี[11] ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีชนบท คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

การปรับปรุงเทคโนโลยีเพื่อลดการใช้พลังงานและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนภายในโครงการพัฒนาดอยตุง ใน 4 มาตรการ ช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง LPG ในการใช้ผลิตพลังงานความร้อน 27,833 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 563,775 บาทต่อปี เมื่อทำการประเมินโครงการทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านสภาวะแวดล้อม (Context Evaluation) ด้านปัจจัยนำเข้า (Input Evaluation) ด้านกระบวนการ (Process Evaluation) และ ด้านผลผลิต (Product Evaluation) โดยใช้แบบเก็บข้อมูลที่พัฒนาขึ้นมา พบว่าผู้ที่เกี่ยวข้องทั้ง 3 กลุ่ม คือ ผู้จัดหาเทคโนโลยีของโครงการ ผู้บริหารหน่วยงานที่ใช้เทคโนโลยีของโครงการ และผู้ใช้เทคโนโลยีของโครงการ มีความพึงพอใจเป็นอย่างมาก ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี

คำสำคัญ: เทคโนโลยีพลังงานทางเลือก โครงการพัฒนาดอยตุง การประเมินผล

[1]Corresponding author: Tel.: +66 89 927 8138 E-mail address: sujitaoy@gmail.com

บทนำ

โครงการพัฒนาดอยตุง พื้นที่ทรงงาน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จ.เชียงราย [1], [2] มีผลิตภัณฑ์หลายชนิด แต่เกือบทุกผลิตภัณฑ์ ต้องใช้พลังงานในการผลิตไม่มากก็น้อย ส่วนที่มีการใช้พลังงานเป็นต้นทุนในการผลิตสูงได้แก่ เซรามิก แมคคาเดเมีย กาแฟ กระดาษสา และสิ่งทอ จากการประเมินพบว่าในหลายๆ กระบวนการของการผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีการใช้พลังงานความร้อน (เชื้อเพลิง LPG) ในกระบวนการผลิต ซึ่งมีต้นทุนต่อหน่วยพลังงานสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงไปด้วย และการใช้เชื้อเพลิง LPG ยังเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อน ซึ่งสามารถเปลี่ยนมาใช้พลังงานหมุนเวียน [3] ได้ โดยใช้พลังงานหมุนเวียนที่มีในพื้นที่ ได้แก่ กะลากาแฟ และกะลาแมคคาเดเมีย อีกทั้งเทคโนโลยีที่ใช้อยู่ค่อนข้างเก่า ชำรุด และขาดประสิทธิภาพ จึงได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานในโครงการพัฒนาดอยตุง ได้แก่ 1) ปรับปรุงเตาประสิทธิภาพสูงสำหรับกระบวนการผลิตภายในโรงงานย้อมด้ายและโรงงานกระดาษสา 2) สร้างระบบผลิตน้ำร้อนแบบรวมศูนย์ โดยใช้พลังงานทดแทนเป็นชีวมวล เพื่อผลิตน้ำร้อนให้กับอุปกรณ์ของโรงงานย้อมด้ายและโรงงานกระดาษสา 3) สร้างระบบความร้อนในการอบแห้งแม่พิมพ์เซรามิก และ 4) สร้างระบบผลิตลมร้อนเพื่อใช้กับไซโลลดความชื้นและไซโลอบแห้งแมคคาเดเมีย เมื่อนำเอามีแหล่งพลังงานทางเลือกซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตที่สำคัญ 2 ชนิดคือ กะลากาแฟ และ กะลาแมคคาเดเมีย โดยมีปริมาณรวมเฉลี่ย 344 ตันต่อปี เทียบเท่า 1,955,591 MJ จากการประเมินศักยภาพโดยละเอียดพบว่าจะสามารถดำเนินการเพื่อใช้พลังงานทางเลือกในกระบวนการผลิตของโครงการฯได้ 4 แนวทาง และจะสามารถลดการใช้ LPG ได้เทียบเท่า 1,266,728 MJ ต่อปี

ที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาการประเมินผลโครงการด้านพลังงานหลากหลายรูปแบบ เช่น กฤตภาส มงคลธำรงกุล และคณะ [4] ได้วิจัยการประเมินความเป็นไปได้โครงการแปรรูปขยะในเขตกรุงเทพมหานครโดยเปรียบเทียบโครงการแปรรูปขยะเป็นไฟฟ้าจากเทคโนโลยีฝังกลบแบบถูกต้องหลักสุขาภิบาลและโครงการแปรรูปขยะเป็นน้ำมันจากเทคโนโลยี ในปีเดียวกัน รังสรรค์ เพ็งพัด และคณะ [5] ได้วิจัยการศึกษาศักยภาพพลังงานน้ำในลำห้วยน้ำก้อ สาเหตุที่ทำงานวิจัยนี้ก็เพราะตำบลน้ำก้อตั้งอยู่บริเวณใกล้ที่ลาดเชิงเขาเพชรบูรณ์มีลำน้ำห้วยน้ำก้อไหลผ่านตลอดทั้งปีทำให้น้ำไหลด้วยความเร็วสูงจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่เกิดขึ้นผ่านน้ำตกธรรมชาติและฝายน้ำล้นที่มนุษย์สร้างขึ้น พลังงานดังกล่าวสามารถแปลงเป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ในการสูบน้ำเพื่อการเกษตรได้งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. เพื่อศึกษาศักยภาพพลังงานน้ำ บริเวณลำน้ำห้วยน้ำก้อ 2. เพื่อพัฒนาและประยุกต์การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ 3. เพื่อศึกษาการสูบน้ำด้วยพลังงานน้ำ 4. เพื่อศึกษาการใช้พลังงานน้ำในการทดแทนพลังงานเชื้อเพลิง นอกจากนั้นแล้ว วสันต์ พุฒิพุทธ [6] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการประเมินเทคโนโลยีกังหันน้ำสำหรับการผลิตกำลังไฟฟ้าและพลังงานกลโดยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพด้านพลังงานสาเหตุแห่งงานวิจัย ก็เพราะกรณีการเกิดภัยพิบัติฟอสซิล ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก พลังงานทดแทนเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อมลงได้ โดยเห็นว่าพลังงานน้ำเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยเฉพาะในภาคเหนือของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพด้านแหล่งน้ำสูงเหมาะแก่การนำมาใช้ประโยชน์ เช่น เทคโนโลยีกังหันน้ำขนาดเล็กเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ในปัจจุบันการออกแบบและการผลิตกังหันน้ำ มาใช้ประโยชน์ยังไม่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพด้านพลังงาน (Quality Function Deployment for Energy: QFDE) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งานมากที่สุด และวิสาขา ภู่จินดา [7] ได้ศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุนจากการพัฒนาชีวมวลเพื่อผลิตพลังงานใช้ในระดับครัวเรือนและระดับชุมชนโดยทำการศึกษาสถานการณ์การใช้พลังงานชีวมวลในรูปแบบต่างๆในระดับชุมชนและระดับครัวเรือน ซึ่งจะนำไปสู่การเสนอแนวทางการใช้พลังงานชีวมวลในระดับชุมชนและครัวเรือนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดและมีผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุนดีที่สุด

อย่างไรก็ตาม การประเมินผลโครงการด้านพลังงานหลังจากที่โครงการได้ดำเนินการไปแล้วนั้น ยังขาดการศึกษาและรายงานผล ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาประเมินผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่พัฒนาดอยตุง จ.เชียงราย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ (พื้นที่ทรงงาน) และเพื่อเสนอแนะแนวทางการบริหารจัดการต่อไป

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานในโครงการพัฒนาดอยตุง

การปรับปรุงเทคโนโลยีเพื่อลดการใช้พลังงานและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนภายในโครงการพัฒนาดอยตุง ใน 4 มาตรการ คือ 1) การพัฒนาเตาประสิทธิภาพสูงในโรงงานย้อมด้าย และโรงงาน กระดาษสา 2) การพัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนแบบรวมศูนย์ โรงงานย้อมด้ายและโรงงานกระดาษสา 3) การปรับปรุงระบบความร้อนในการอบแห้งแม่พิมพ์ (mold) เซรามิก 4) การใช้พลังงานทดแทนในระบบผลิตลมร้อนเพื่อใช้กับการอบแห้งแมคคาเดเมีย ช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายของการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง LPG ในการใช้ผลิตพลังงานความร้อน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละโรงงานก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง LPG ลดลง 27,833.5 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 563,775.17 บาทต่อปี คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานลดลง ร้อยละ 52.11 ต่อปี อีกทั้งการใช้พลังงานทางเลือกโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลยังมีความสะดวกที่จะหาเชื้อเพลิงในพื้นที่ ตลอดจนทำให้ได้ใช้ประโยชน์จากผลิตผลทางการเกษตร ที่เหลือใช้ รวมทั้งลดปัญหาหมอกควันจากการเผาไหม้ของวัสดุเหลือใช้ด้วย นอกจากนั้นยังมีความปลอดภัยของระบบมากกว่าแบบเดิม โดยเฉพาะหม้อต้มน้ำร้อนในกระบวนการผลิตน้ำร้อนในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการผลิตของโรงงานฟอกย้อมด้ายและโรงงานกระดาษสา เนื่องจากหม้อต้มน้ำทำงานที่ความดันบรรยากาศ ที่มีแหล่งความร้อนเป็นเตาชีวมวลจึงมีความปลอดภัยสูง (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สรุปผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานรวมของทั้งโครงการ

ลำดับ	การปรับปรุง	ก่อน		หลัง		ผลการประหยัด	
		ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (กก)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาท)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (กก)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาท)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ปี/.กก)	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาท/ปี)
1	พัฒนาเตาประสิทธิภาพสูงในโรงงานย้อมด้าย และโรงงานกระดาษสา	23,506.5	459,081.95	16,868	329,432,04	6,638.5	129,649.91
2	พัฒนาระบบผลิตน้ำร้อนแบบรวมศูนย์ โรงงานย้อมด้ายและโรงงานกระดาษสา	19,353	379,569.54	4,920	96,568.8	14,433	283,000.74
3	ระบบความร้อนในการอบแห้งแม่พิมพ์ (mold) เซรามิก	3,828	74,492.88	1,866	36,312.36	1,962	38,180.52
4	ระบบผลิตลมร้อนเพื่อใช้กับการอบแห้งแมคคาเดเมีย	6,720	158,121.6	1,920	45,177.6	4,800	112,943.60
รวม		**53,407.5**	**1,071,265.97**	**25,574**	**507,490.8**	**27,833.5**	**563,775.17**

แนวทางการประเมินแบบ CIPP

การวิจัยครั้งนี้เป็นการประเมินผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน: กรณีศึกษาโครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จ.เชียงราย โดยการประเมิน 4 ด้าน คือ ด้านสภาวะแวดล้อม (Context Evaluation) ด้านปัจจัยนำเข้า (Input Evaluation) ด้านกระบวนการ (Process Evaluation) และ ด้านผลผลิต (Product Evaluation)หรือที่เรียกว่า CIPP โดยการประเมินแบบซิปหรือ“CIPP Model”ของสตัฟเฟิลบีม (Stufflebeam) เป็นโมเดลที่ได้รับการยอมรับกันทั่วไปในปัจจุบัน แนวคิดของสตัฟเฟิลบีมเน้นการแบ่งแยกบทบาทของการทำงานระหว่างฝ่ายประเมิน กับฝ่ายบริหารออกจากกันอย่างเด่นชัดกล่าวคือฝ่ายประเมินมีหน้าที่ระบุจัดหาและนำเสนอสารสนเทศให้กับฝ่ายบริหารส่วนฝ่ายบริหารมีหน้าที่เรียกหาข้อมูลและนำผลการประเมินที่ได้ไปใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อดำเนินกิจกรรมใดๆที่เกี่ยวข้องแล้วแต่กรณีทั้งนี้เพื่อป้องกันการมีอคติในการประเมิน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แบบสอบถาม และแบบเก็บข้อมูล ซึ่งผู้เขียนได้ออกแบบมาสำหรับใช้ในการประเมินโครงการนี้โดยเฉพาะ สำหรับแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน โครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ในส่วนของโรงงานจำนวน 4 โรงงาน คือ โรงงานแมคคาเดเมีย โรงงานกระดาษสา โรงงานย้อมด้าย และโรงงานเซรามิก ได้แก่

3.1 ผู้จัดหาเทคโนโลยีของโครงการ

3.2 ผู้บริหารหน่วยงานที่ใช้เทคโนโลยีของโครงการ

3.3 ผู้ใช้เทคโนโลยีของโครงการ

หลังจากการเก็บข้อมูลก็จะได้นำไปแปลผลของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งด้านสภาวะแวดล้อม ด้านปัจจัยนำเข้า ด้านกระบวนการ และ ด้านผลผลิต ใช้เกณฑ์ในการตัดสินถึงความเหมาะสมของโครงการ

ผลการประเมิน

ผลการประเมินผลความคิดเห็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนในโครงการพัฒนาดอยตุง ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่ม คือ ผู้ใช้เทคโนโลยีในส่วนของโรงงาน ผู้บริหารหน่วยงานของโครงการฯ และ ผู้จัดหาเทคโนโลยี สรุปได้ดังต่อไปนี้

ผลการประเมินผลความคิดเห็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนในโครงการพัฒนาดอยตุง ของผู้ใช้เทคโนโลยีในส่วนของโรงงาน พบว่า ในภาพรวมก่อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี กลุ่มตัวอย่างเห็นว่าการใช้งาน ด้านต่างๆ มีน้อย แต่หลังจากที่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีกลุ่มตัวอย่างเห็นว่าการใช้งานด้านต่างๆ มีมากเมื่อจำแนก ในด้านต่างๆ พบว่า ด้านความสะดวกในการใช้งาน ความปลอดภัยในการใช้งาน ความพึงพอใจในการประหยัดพลังงาน มลภาวะจากการทำงาน การอบรมให้ความรู้ เพื่อใช้งานระบบใหม่ และการแก้ปัญหาหรือการแก้ไขงาน ก่อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมีน้อย แต่เมื่อมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี กลุ่มตัวอย่างเห็นว่า มีมากทุกด้าน ส่วนการให้ข้อมูลก่อนการปรับปรุง เช่น การแจ้งแผนการทำงาน และการมีส่วนร่วมระหว่างการปรับปรุง เช่น การรับฟังความเห็น ก่อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมีปานกลาง แต่เมื่อมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีกลุ่มตัวอย่างเห็นว่ามีมากทุกด้านเช่นกัน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยในการการประเมินผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทางเลือกในโครงการพัฒนาดอยตุงของผู้บริหารของโครงการ

รายการ	ก่อน			หลัง		
	$\bar{x}$	SD	แปลผล	$\bar{x}$	SD	แปลผล
ความสะดวกในการใช้งาน	1.97	0.82	น้อย	4.17	0.95	มาก
ความปลอดภัยในการใช้งาน	2.23	0.91	น้อย	4.20	0.96	มาก
ความพึงพอใจในการประหยัดพลังงาน	1.89	0.80	น้อย	4.43	0.70	มาก
มลภาวะจากการทำงาน	2.00	1.08	น้อย	4.29	0.99	มาก
การให้ข้อมูลก่อนการปรับปรุง เช่นการแจ้งแผนการทำงาน	2.69	1.13	ปานกลาง	4.23	0.97	มาก
การมีส่วนร่วมระหว่างการปรับปรุง เช่น การรับฟังความเห็น	2.54	1.07	ปานกลาง	4.26	0.92	มาก
การอบรมให้ความรู้เพื่อใช้งานระบบใหม่	2.37	1.24	น้อย	4.29	0.83	มาก
การแก้ปัญหาหรือการแก้ไขงาน	2.40	1.17	น้อย	4.26	0.98	มาก
รวม	**2.26**	**0.16**	**น้อย**	**4.26**	**0.10**	**มาก**

ที่มา: จากการสำรวจ

ผลการประเมินผลความคิดเห็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนในโครงการพัฒนาดอยตุง ของผู้บริหารหน่วยงานของโครงการฯ พบว่า ก่อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ในภาพรวมกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทางเลือกน้อย แต่หลังจากที่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจด้านต่างๆ มาก เมื่อจำแนกในด้านต่างๆ พบว่า ความพึงพอใจในการประหยัดพลังงาน ความพึงพอใจในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และผลสัมฤทธิ์ในภาพรวมของโครงการก่อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี มีน้อยที่สุด หลังการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมีมาก ด้านความพึงพอใจในความปลอดภัยในการใช้งานก่อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมีน้อย หลังการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมีมาก เช่นกัน ด้านการให้ข้อมูลก่อนการปรับปรุง เช่น การแจ้งแผนการทำงาน ก่อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมีปานกลาง ส่วนหลังการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากยังไม่ได้รับข้อมูล ส่วนการให้ข้อมูลระหว่างการปรับปรุง เช่น การรับฟังความเห็น และการให้ข้อมูลหลังการปรับปรุง เช่น การวัดผลประหยัดจริง หรือการแก้ปัญหาจากการใช้งาน ก่อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมีมากส่วนหลังการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไม่สามารถประเมินได้เนื่องจากยังไม่ได้รับข้อมูลเช่นกัน (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยในการการประเมินผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทางเลือกในโครงการพัฒนาดอยตุงของผู้บริหารของโครงการ

รายการ	ก่อน			หลัง		
	$\bar{x}$	SD	แปลผล	$\bar{x}$	SD	แปลผล
1.ความพึงพอใจในการประหยัดพลังงาน	1.25	0.50	น้อยที่สุด	4.00	0.82	มาก
2.ความพึงพอใจในความปลอดภัยในการใช้งาน	1.75	0.96	น้อย	4.00	1.15	มาก
3.ความพึงพอใจในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	1.50	1.00	น้อยที่สุด	4.25	0.50	มาก
4.ผลสัมฤทธิ์ในภาพรวมของโครงการ	1.50	0.58	น้อยที่สุด	4.50	0.58	มาก
5.การให้ข้อมูลก่อนการปรับปรุง เช่นการแจ้งแผนการทำงาน	3.50	0.71	ปานกลาง			
6.การให้ข้อมูลระหว่างการปรับปรุง เช่น การรับฟังความเห็น	4.00	0.00	มาก			
7.การให้ข้อมูลหลังการปรับปรุง เช่น การวัดผลประหยัดจริง หรือการแก้ปัญหาจากการใช้งาน	4.00	0.00	มาก			
รวม	**2.50**	**0.41**	**น้อย**	**4.19**	**0.24**	**มาก**

ที่มา: จากการสำรวจ

หมายเหตุ:

- ในข้อที่ 5-7 ก่อนการปรับปรุง มีกลุ่มตัวอย่างผู้บริหารตอบประเมิน 2 ท่าน อีก 2 ท่านไม่ได้ตอบประเมิน โดยให้เหตุผลว่าประเมินไม่ได้
- ในข้อที่ 5-7 หลังการปรับปรุง มีกลุ่มตัวอย่างผู้บริหารไม่ได้ตอบประเมินโดยให้เหตุผลว่าประเมินไม่ได้ เนื่องจากไม่ได้รับข้อมูล

ผลการประเมินผลความคิดเห็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนในโครงการพัฒนาดอยตุงของผู้จัดหาเทคโนโลยี จากการสัมภาษณ์เชิงลึก พบว่ามีความพึงพอใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเทคโนโลยีแบบใหม่สามารถแก้ปัญหาเรื่องการสูญเสียความร้อน เพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ อีกทั้งยังสามารถนำเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอยู่ภายในพื้นที่กลับมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย ทั้งนี้ระบบดังกล่าวสามารถใช้งานได้ง่าย มีการดูแลรักษา และซ่อมบำรุงตามรอบการใช้งาน อีกทั้งยังสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในพื้นที่ดอยตุงได้เป็นอย่างดี

แบบไร้อากาศ หรือที่เรียกว่า “ระบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพ” มาใช้จะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านการบำบัดน้ำเสีย อีกทั้งยังได้ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิง LPG ได้อีกทางหนึ่ง ส่วนทางด้านศักยภาพชีวมวลนั้น ทางดอยตุงมีปริมาณกะลาแมคคาเดเมียที่เหลือจากการใช้งานค่อนข้างสูง ดังนั้นหากนำมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพเพื่อเพิ่มมูลค่า จะสามารถเสริมสร้างรายได้ให้กับดอยตุง หรือชาวบ้านในพื้นที่ได้เป็นอย่างดี

สรุปผลการวิจัย

การจัดการด้านเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนในโครงการพัฒนาดอยตุงโดยการออกแบบระบบเผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ลดการสูญเสียความร้อนในส่วนต่างๆ รวมไปถึงการนำเชื้อเพลิงชีวมวลในพื้นที่กลับมาใช้ประโยชน์ทดแทนเชื้อเพลิง LPG ก็จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ โดยจากการดำเนินการพบว่า ผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานรวมของทั้งโครงการ พบว่า มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงรวมลดลง 27,833.5 กิโลกรัมต่อปี (คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 563,775.17 บาท) สำหรับผลการประเมินผลความคิดเห็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนในโครงการพัฒนาดอยตุงของผู้จัดหาเทคโนโลยี พบว่ามีความพึงพอใจเป็นอย่างมาก ซึ่งสอดคล้องกับการประเมินของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้จริงทั้งในระดับผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งผลจากการประเมินทั้ง 4 ด้าน (ประเมินสภาพแวดล้อม ประเมินปัจจัยนำเข้า ประเมินกระบวนการ และประเมินผลผลิต) ตามแนวคิดและโมเดลการประเมินแบบ “CIPP Model” นั้นสามารถทำให้ได้ทราบถึงผลการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนได้คบถ้วน รอบด้าน รวมถึงการได้รับข้อเสนอแนะต่างๆจากผู้ใช้โดยตรง เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงในโครงการอื่นๆต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณกระทรวงพลังงานที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานโครงการ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่สำหรับข้อมูลด้านเทคโนโลยีต่างๆในโครงการ

เอกสารอ้างอิง

[1] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, คณะวิศวกรรมศาสตร์. (2557). รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) โครงการศึกษาความเหมาะสมในการพัฒนาปรับปรุงเทคโนโลยีพลังงาน เพื่อสนับสนุนโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

[2] มูลนิธิแม่ฟ้าหลวงในพระบรมราชูปถัมภ์. โครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ: โครงการต้นแบบการพัฒนาทางเลือก ในการดำรงชีวิตที่ยั่งยืน. สืบค้นจาก http://www.maefahluang.org/index.php?option=com_flexicontent&view=items&cid=68&id=105&Itemid=92&lang=th

[3] เยาวดี รางชัยกุล วิบูลย์ศรี. (2542). การประเมินโครงการ : แนวคิดและแนวปฏิบัติ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. น. 27.

[4] กฤตภาส มงคลธำรงกุล และคณะ. (2555). การประเมินโครงการแปรรูปขยะเป็นพลังงานในเขตกรุงเทพมหานคร. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา (17). น. 3-12.

[5] รังสรรค์ เพ็งพัด และคณะ. (2555). การศึกษาศักยภาพพลังงานน้ำในลำห้วยน้ำก้อ. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

[6] วสันต์ พุฒิพุทธ. (2555). การประเมินเทคโนโลยีกังหันน้า สำหรับการผลิตกา ลังไฟฟ้ าและพลังงานกลโดยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพด้านพลังงาน. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[7] วิสาขา ภู่จินดา. (2557). ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุนจากการพัฒนาชีวมวลเพื่อผลิตพลังงานใช้ในระดับชุมชนและระดับครัวเรือน. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

การจัดการพลังงานในชุมชนโดยใช้โรงเรียนเป็นฐาน

The Community Energy Management Using School-Based Management

อันธิกา เพชรี[1*] พิสิษฏ์ มณีโชติ[2] และอนุพล อัคพิน[3]
[1,2] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000
[3] สถาบันเศรษฐกิจพอเพียง(โครงการจัดตั้ง) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

บทความเรื่องการจัดการพลังงานในชุมชนโดยใช้โรงเรียนเป็นฐาน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการพลังงานในชุมชนโดยใช้โรงเรียนเป็นฐาน ผู้วิจัยได้ใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล โดยทำการสัมภาษณ์แบบเจาะจง ได้แก่ ผู้อำนวยการโรงเรียนวัดเขาน้อย ต.ดงประคำ อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก และผู้นำชุมชน จำนวน 2 คน คือ สมาชิกองค์การบริหารส่วนตำบล และหัวหน้ากลุ่มวิสาหกิจพลังงานชุมชนบ้านเขาน้อย ผลการดำเนินการ คือ การจัดการพลังงานในชุมชนโดยใช้โรงเรียนเป็นศูนย์กลางในการเรียนรู้ เป็นตัวกลางขับเคลื่อนชุมชน โรงเรียนได้มีบทบาทเข้ามาในด้านต่างๆ ทั้งด้านการให้บริการชุมชน ด้านการประชาสัมพันธ์ และด้านการสนับสนุนช่วยเหลือ โรงเรียนวัดเขาน้อยนั้นได้มีหลักสูตรสาระเพิ่มเติมด้านพลังงานขึ้นมา 4 รายวิชา รายวิชาฟาร์มครัวเรือน เตาแก๊สมหัศจรรย์ แก๊สชีวภาพ พืชพลังงาน เมื่อนักเรียนได้เรียนวิชาพลังงานแล้วได้รับความรู้กลับไปบอกผู้ปกครอง เป็นการกระจายความรู้โดยผ่านนักเรียน เมื่อได้รับความรู้หรือข่าวสารด้านพลังงานมา ก็จะนำมาบอกคนในชุมชน อีกทั้งยังมีการจัดฝึกอบรมทักษะด้านพลังงาน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการประกอบอาชีพและการดำรงชีวิตของชุมชน

คำสำคัญ: การจัดการพลังงาน ชุมชน โรงเรียนเป็นฐาน

[*]Corresponding author: Tel.: 084-6203442. E-mail address: ph_nevermind@hotmail.com

บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นพื้นฐานในการดำรงชีวิตของมนุษย์ พลังงานถูกใช้ในภาคส่วนต่างๆ ทั้งภาคอุตสาหกรรม ภาคคมนาคมขนส่ง ภาคชุมชน และภาคครัวเรือน ซึ่งภาคครัวเรือนและชุมชนเป็นหน่วยที่เล็กซึ่งสามารถบริหารจัดการพลังงานโดยการใช้พลังงานอย่างประหยัดและการหาพลังงานทางเลือกจากพลังงานหมุนเวียนได้ไม่ยาก การใช้ LPG โพรเพน และบิวเทน อยู่ที่ 5,070 พันตัน ลดลง 9.8% โดยครัวเรือน มีสัดส่วนการใช้มากที่สุดอยู่ที่ 1,747 พันตัน คิดเป็น 35% เพิ่มขึ้น 0.4% จากช่วงเดียวกันของปีก่อน (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทวงพลังงาน,2559)[1] ในขณะที่ภาคอุตสาหกรรมและภาคการคมนาคมขนส่งยังคงมีความจำเป็นต้องพึ่งแหล่งพลังงานฟอสซิล อันได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน และพวกก๊าซธรรมชาติ ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศและได้สร้างปัญหามลพิษให้กับสิ่งแวดล้อม

ปัญหาดังกล่าวทำให้ทั่วโลกให้ความสำคัญกับปัญหาการขาดแคลนพลังงานเพิ่มมากขึ้นและมีการคิดและพัฒนาพลังงานทดแทนจากทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่โดยการนำแหล่งพลังงานจากธรรมชาติ เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ คลื่น แรงลม รวมทั้งความร้อนใต้พิภพมาประยุกต์ให้เป็นพลังงานที่สามารถนำมาบริโภคได้เพื่อแก้ปัญหาการหมดไปของพลังงานประเภทสิ้นเปลือง และผลักดันพลังงานหมุนเวียน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญของพลังงานทางเลือก ให้เป็นพลังงานหลักในอนาคตต่อไป นอกจากการนำพลังงานทางเลือกที่ว่ามาช่วยแก้ไขปัญหาแล้ว เครื่องมือสำคัญในการแก้ไขปัญหาคือต้องมีการจัดการพลังงานและอนุรักษ์พลังงานที่ดีเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและให้เกิดความยั่งยืน

ชุมชนบ้านเขาน้อย อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก จึงได้เล็งเห็นความสำคัญของการจัดการพลังงาน โดยใช้โรงเรียนบ้านเขาน้อย เป็นฐานในการจัดการพลังงานของชุมชน ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการจัดการพลังงานในชุมชนโดยใช้โรงเรียนเป็นฐาน ว่ามีการดำเนินการอย่างไร เพื่อให้ได้ทราบผลการจัดการพลังงานเพื่อการพึ่งพาตัวเองของชุมชน และอีกทั้งยังนำผลการศึกษาที่ได้มาเสนอแนะรูปแบบของการจัดการพลังงานในชุมชนต่อไป ซึ่งจะก่อให้เกิดการวางแผนการจัดการพลังงานของชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพและนำไปสู่ความสำเร็จในการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาการจัดการพลังงานในชุมชนโดยใช้โรงเรียนเป็นฐาน

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดเกี่ยวกับการจัดการพลังงาน

วิจิตรา ชูสกลุ (2551)[2] ได้ให้ความหมาย การจัดการพลังงานชุมชนว่า เป็นกระบวนการสร้างการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ โดยเน้นตามศักยภาพในพื้นที่บนพื้นฐานแห่งความพอเพียงและความเหมาะสมของท้องถิ่นนั้นๆ

จากรายงานติดตามประเมินผลโครงการจัดทำแผนพลังงานในระดับชุมชน (กระทรวงพลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน,2551)[3] สามารถสรุปแนวทางในการจัดการพลังงานระดับชุมชน ได้ดังนี้

1. เน้นการพัฒนาอย่างมีส่วนร่วม ทำให้เป็นกระบวนการเชิงระบบคือ เริ่มตั่งแต่ขบวนของการคิดริเริ่มการจัดทำโครงการการวางแผนและพัฒนาโครงการการลงมือทำการติดตามผลการรับผลประโยชน์ร่วมกัน

2. การบูรณาการจัดกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานการให้ความรู้และจัดการพลังงานต้องให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง ที่สามารถจะเชื่อมโยงกับกิจกรรมชุมชน เพื่อความกลมกลืนเป็นเนื้อเดียวกับวิถีชีวิต

3. การจัดหาเทคโนโลยีต้องให้สอดคล้องกับศักยภาพของชุมชนเพื่อให้ชุมชนได้ประโยชน์ และสามารถสนองตอบความต้องการที่แท้จริงของประชาชนและชุมชนต้องมีศักยภาพในการดูแลรักษา

4. เสริมสร้างความตระหนักรู้และพัฒนาศักยภาพองค์กรชุมชน ในการจัดการความรู้และประสานความร่วมมือกับหน่วยงานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อแก้ปัญหาในชุมชนร่วมกันอย่างมีระบบและเกิดการขยายผล

5. เสริมสร้างความรู้ให้กับทีมงานในการจัดการความรู้ที่สามารถเชื่อมโยงกับเนื้องานเดิม และใช้ทุนทางสังคมเป็นสื่อสร้างการเรียนรู้ร่วมกันในชุมชนให้เกิดการขับเคลื่อนที่ต่อเนื่องและยั่งยืน

สรุปแนวคิดการจัดการพลังงานนั้นจะเห็นได้ว่าการจัดการพลังงานชุมชนนั้น เน้นการมีส่วนร่วมของคนในชุมชนโดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมตามศักยภาพของชุมชน เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืน

แนวคิดเกี่ยวกับบทบาทของโรงเรียนกับชุมชน

ความสัมพันธ์ระหว่างโรงเรียนกับชุมชน (ชิต นันทสุวรรณ และจำนง แรกพินิจ,2551)[4]

1.การศึกษาเป็นระบบหนึ่งของสังคม การศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของสังคมและการศึกษากับสังคมมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด การศึกษาย่อมต้องมีปฏิสัมพันธ์กับระบบย่อยอื่นๆ

2.ภารกิจการศึกษาที่มีต่อสังคมในปัจจุบัน โรงเรียนนอกจากจะมีภารกิจหลักในด้านการจัดการเรียนการสอนแล้วยังเป็นตัวกลางของการเปลี่ยนแปลงและช่วยในการพัฒนาชุมชนอีกด้วย

3.การศึกษาเป็นส่วนหนึ่งของสังคม โรงเรียนก็เป็นส่วนหนึ่งของชุมชน การศึกษาและสังคมมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด การศึกษากับสังคมจึงเป็นสิ่งที่ควบคู่กันไปจนไม่สามารถที่จะแยกจากกันได้ เมื่อมีชีวิตก็ต้องมีการศึกษา เมื่อมีคนก็ต้องมีสังคม

บทบาทของโรงเรียนในการพัฒนาชุมชน (อุทัย ดุลยเกษม และอรศรี งามวิทยาพงศ์,2550)[5]

1.โรงเรียนตั้งอยู่ในชุมชนและมีหน้าที่หลักในการให้การศึกษาแก่สมาชิกในชุมชน

2.โรงเรียนทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของชุมชนและเป็นหน่วยงานที่ใกล้ชิดกับชุมชนที่สุด

3.โรงเรียนเป็นแหล่งอบรมคนให้ชุมชน

4.โรงเรียนคือแหล่งวิทยากรของชุมชน

5.ส่งเสริมความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของชุมชน

สรุปแนวคิดเกี่ยวกับบทบาทของโรงเรียนกับชุมชน จะเห็นได้ว่า โรงเรียนและชุมชนมีความสัมพันธ์กันโดยการศึกษากับสังคมนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด โดยโรงเรียนทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของชุมชนและเป็นหน่วยงานที่ใกล้ชิดกับชุมชนจึงสามารถเป็นศูนย์กลางในการที่จะช่วยพัฒนาชุมชนได้

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้แบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล โดยทำการสัมภาษณ์แบบเจาะจง ได้แก่ 1.ผู้อำนวยการโรงเรียนวัดเขาน้อย ต.ดงประคำ อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก 2.ผู้นำชุมชน บ้านเขาน้อย ต.ดงประคำ อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก จำนวน 2 คน คือ สมาชิกองค์การบริหารส่วนตำบล และหัวหน้ากลุ่มวิสาหกิจพลังงานชุมชนบ้านเขาน้อย

ผลการดำเนินการวิจัย

ผลการสัมภาษณ์เชิงลึก

1. นายอำนาจ ตินะมาตร ผู้อำนวยการโรงเรียนวัดเขาน้อย

โรงเรียนดำเนินการให้ความรู้ทางวิชาการและให้แนวคิดเกี่ยวกับเรื่องพลังงานที่เป็นประโยชน์ต่อชุมชน มีหลักสูตรการเรียนการสอนในวิชาพลังงานให้แก่นักเรียนในทุกระดับชั้น โดยเน้นให้ลงมือปฏิบัติ หลักสูตรโรงเรียนวัดเขาน้อยได้ทำสาระเพิ่มเติมด้านพลังงานขึ้นมา 4 รายวิชา รายวิชาที่ 1 รายวิชาฟาร์มครัวเรือน รายวิชาที่ 2 คือเตาแก๊สมหัศจรรย์ รายวิชาที่ 3 รายวิชาแก๊สชีวภาพ รายวิชาที่ 4 รายวิชาพืชพลังงาน เมื่อนักเรียนได้เรียนวิชาพลังงานแล้วได้รับความรู้กลับไปบอกผู้ปกครอง เป็นการกระจายความรู้โดยผ่านนักเรียน เมื่อได้รับความรู้หรือข่าวสารด้านพลังงานมา ก็จะนำมาบอกคนในชุมชน อีกทั้งยังมีการจัดฝึกอบรมทักษะด้านพลังงานเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการประกอบอาชีพและการดำรงชีวิตของชุมชน ใช้โรงเรียนเป็นฐาน คือ ใช้โรงเรียนเป็นศูนย์กลางในการเรียนรู้ เป็นตัวกลางขับเคลื่อนชุมชน เมื่อชุมชนมีความต้องการด้านใด ทางโรงเรียนจะช่วยประสานเพื่อหาความรู้ที่เป็นประโยชน์นั้นมาให้ชุมชน โดยเรื่องที่ชุมชนต้องการนั้นคืออยากลดรายจ่ายและเพิ่มรายได้ โดยโรงเรียนและผู้นำชุมชนมองดูด้านพื้นที่ชุมชน ว่ามีต้นทุนพอที่จะทำด้านพลังงานทดแทน ประกอบกับรู้จัก ดร.พิสิษฏ์ มณีโชติ เลยเกิดความลงตัวที่จะสนองความต้องการของคนในชุมชน ทางโรงเรียนวัดเขาน้อยจึงได้ติดต่อกับทางวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร มาให้ความรู้สู่ชุมชน และช่วยสนับสนุนกิจกรรมพลังงานภายในชุมชน

กิจกรรมทุกอย่างเกิดขึ้นที่โรงเรียน โดยความร่วมมือของโรงเรียนกับชุมชน ทั้งครู นักเรียน ผู้นำชุมชน และชาวบ้าน เข้ามาร่วมกัน โรงเรียนมีความเชื่อว่าการสื่อความรู้จากตัวผู้เรียนจากตัวนักเรียนไปหาครอบครัว เกิดกิจกรรมร่วมระหว่างโรงเรียนกับชุมชนโดยโรงเรียนเป็นศูนย์กลางในการเรียนรู้ชุมชนในพัฒนากิจกรรมหลายๆด้าน

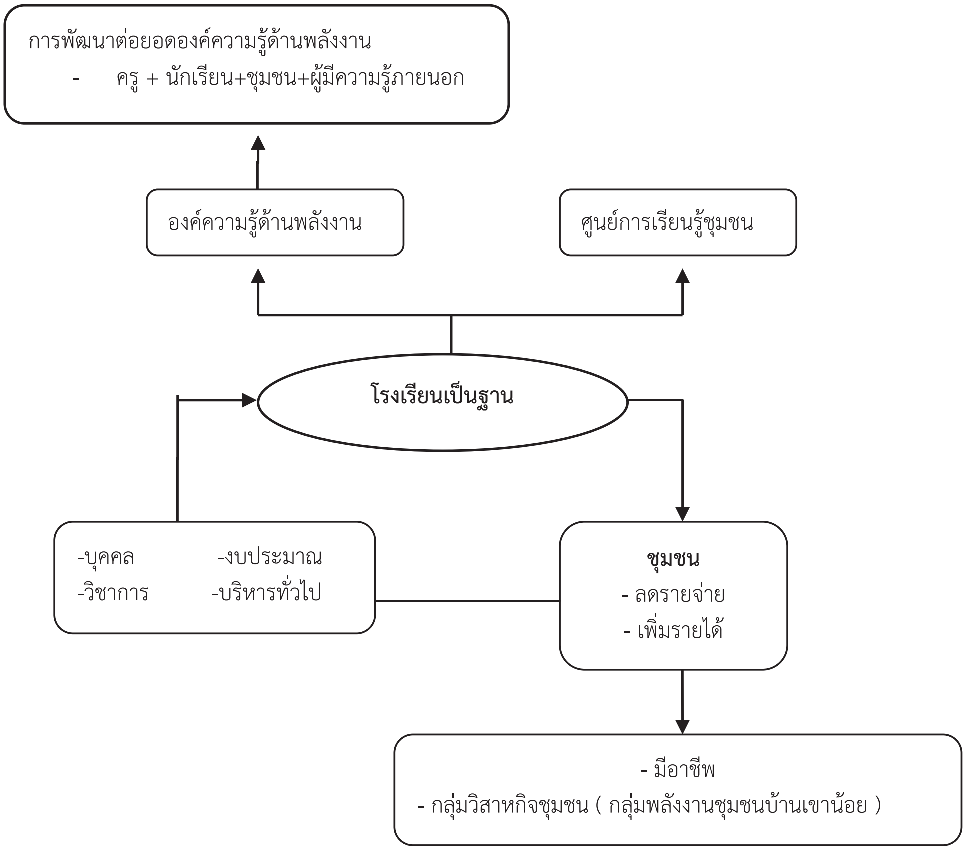
กิจกรรมที่ 1 การใช้มูลสัตว์ใช้มูลวัวมาเป็นพลังงานทดแทนโดยผลิตเป็นไบโอแก๊สขึ้นมา ได้นักเรียนมาสำรวจง่ายๆว่าในระดับชุมชนมีวัว ควาย หมูกี่ตัว แล้วหมู วัว ควาย ถ่ายมูลออกมาตัวละกี่กิโล สอนคำนวณง่ายๆประยุกต์ใช้กับวิชาคณิตศาสตร์ ส่วนการเกิดแก๊สก็ได้ประยุกต์ร่วมกับวิชาวิทยาศาสตร์

กิจกรรมที่ 2 คือ ใช้โรงเรียนเป็นฐานในการผลิตเตาแก๊สชีวมวลเพื่อสร้างรายได้ โรงเรียนได้องค์ความรู้มาจากที่ไปศึกษาดูงานจากพลังงานจังหวัดชัยภูมิ โรงเรียนพยายามปรับเปลี่ยนปรับระบบให้เข้ากับชุมชนบ้านเขาน้อย เพื่อหาระบบที่เหมาะสมและใช้ได้จริง

กิจกรรมที่ 3 คือ เตาเผาถ่าน 200 ลิตร เพื่อผลิตน้ำส้มควันไม้ในโรงเรียน เป็นการสสอนกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในนักเรียน อีกทั้งยังได้ผลิตภัณฑ์จากน้ำส้มควันไม้อีกด้วย โดยมีกลุ่มสตรีแม่บ้านของหมู่บ้านเขาน้อยร่วมกับครูกับนักเรียนก็ได้ต่อยอดเพื่อที่จะสร้างมูลค่าเพิ่มของน้ำส้มควันไม้แล้วก็สร้างรายได้ให้กับครอบครัว เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใกล้ชิดกับธรรมชาติมากที่สุด

กิจกรรมที่ 4 คือ ถ่านอัดแท่งจากชีวมวล โดยมี ดร.พิสิษฏ์ มณีโชติ จากวิทยาลัยพลังงานทดแทน ได้นำเครื่องอัดถ่านแท่ง มาทดลองร่วมกับเด็กนักเรียนและผู้ปกครองของนักเรียนในชุมชน ซึ่งผลิตในโรงเรียน จึงได้ถ่านก้อนแรกเกิดขึ้นในโรงเรียน หลังจากนั้นจึงมาวางแผนว่าถ่านอัดแท่งจากชีวมวลมันสามารถพัฒนาเป็นธุรกิจระดับครอบครัว ระดับชุมชนที่มั่นคงได้ จึงเข้าสู่กระบวนการผลิตเครื่องจักรที่ใหญ่ขึ้นที่ผลิตได้ดีขึ้น

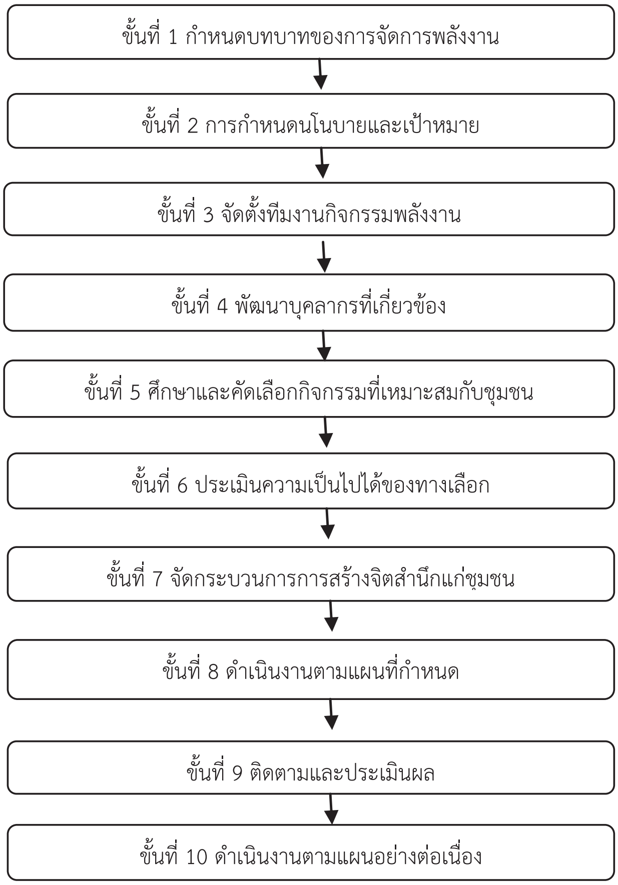
สรุปได้ว่าโรงเรียนวัดเขาน้อยหลังจากที่เป็นฐานขับเคลื่อนพัฒนาโรงเรียนแล้ว ในแง่วิชาการก็พัฒนาหลักสูตรให้สอดคล้องกับความต้องการของชุมชนที่ทำอยู่ในปัจจุบันโดยที่โรงเรียนคิดมาเอง เป็นกระบวนการพัฒนาวิธีคิดของครูและนักเรียนทุกคนในชุมชนสิ่งที่สำคัญที่สุดคือการพัฒนากระบวนการคิดหรือวิธีคิด กิจกรรมที่ทั้งหมดเกิดกระบวนการบนฐานขับเคลื่อนเกิดที่โรงเรียน ดังแสดงได้ดังภาพ 1 การจัดการพลังงานของชุมชนโดยใช้โรงเรียนเป็นฐานโดยผู้อำนวยการโรงเรียนวัดเขาน้อย



ภาพ 1 การจัดการพลังงานของชุมชนโดยใช้โรงเรียนเป็นฐานโดยผู้อำนวยการโรงเรียนวัดเขาน้อย

2. ผู้นำชุมชนบ้านเขาน้อย

ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์ ผู้นำชุมชนบ้านเขาน้อย ได้แก่ สมาชิกองค์การบริหารส่วนตำบล คือนายเรียม ทองอยู่ ผู้นำชุมชนบ้านเขาน้อย และหัวหน้ากลุ่มวิสาหกิจชุมชน คือ นายจรัญ สิงห์กลิ่น โดยได้ผลการสัมภาษณ์ คือ การจัดการพลังงานเพื่อการพึ่งพาตนเองของชุมชนโดยใช้โรงเรียนเป็นฐานนั้น โรงเรียนได้มีบทบาทเข้ามาในด้านต่างๆ ทั้งด้านการให้บริการชุมชน ด้านการประชาสัมพันธ์ และด้านการสนับสนุนช่วยเหลือ โรงเรียนนั้นเป็นศูนย์กลางของชุมชนที่จะกระทำกิจกรรมต่างๆ ทั้งสถานที่ อุปกรณ์ องค์ความรู้ โดยการจัดการพลังงานของชุมชนบ้านเขาน้อยนั้น มีการดำเนินกิจกรรมด้านพลังงาน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพ 2 ขั้นตอนการจัดการพลังงานของชุมชนบ้านเขาน้อย

สรุปการดำเนินกิจกรรม

จากการสัมภาษณ์ผู้อำนวยการโรงเรียนวัดเขาน้อย ต.ดงประคำ อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก และผู้นำชุมชน จำนวน 2 คน คือ สมาชิกองค์การบริหารส่วนตำบล และหัวหน้ากลุ่มวิสาหกิจพลังงานชุมชนบ้านเขาน้อย ผลการดำเนินการ คือ การจัดการพลังงานในชุมชนโดยใช้โรงเรียนเป็นศูนย์กลางในการเรียนรู้ เป็นตัวกลางขับเคลื่อนชุมชน โรงเรียนได้มีบทบาทเข้ามาในด้านต่างๆ ทั้งด้านการให้บริการชุมชน ด้านการประชาสัมพันธ์ และด้านการสนับสนุนช่วยเหลือ โรงเรียนวัดเขาน้อยนั้นได้มีหลักสูตรสาระเพิ่มเติมด้านพลังงานขึ้นมา 4 รายวิชา รายวิชาฟาร์มครัวเรือน เตาแก๊สมหัศจรรย์ แก๊สชีวภาพ พืชพลังงาน เมื่อนักเรียนได้เรียนวิชาพลังงานแล้วได้รับความรู้กลับไป ก็จะนำไปบอกผู้ปกครอง เป็นการกระจายความรู้โดยผ่านนักเรียน เมื่อได้รับความรู้หรือข่าวสารด้านพลังงานมา ก็จะนำมาบอกคนในชุมชน อีกทั้งยังมีการจัดฝึกอบรมทักษะด้านพลังงานเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการประกอบอาชีพและการดำรงชีวิตของชุมชน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณนายอำนาจ ตินะมาตร ผู้อำนวยการโรงเรียนวัดเขาน้อย นายเรียม ทองอยู่ สมาชิกองค์การบริหารส่วนตำบล และนายจรัญ สิงห์กลิ่น หัวหน้ากลุ่มวิสาหกิจชุมชน ที่ให้ข้อมูล และขอบคุณชุมชนบ้านเขาน้อย อีกทั้งยังขอบคุณ ดร.พิสิษฏ์ มณีโชติ จากวิทยาลัยพลังงานทดแทนที่ให้คำปรึกษาตลอดการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทวงพลังงาน. (2559). **รายงานภาพรวมพลังงานในช่วง 10 เดือนแรกของปี 2559.** สืบค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2550,จาก www.eppo.go.th/index.php/th/eppo.../16244_aeed70db2a15b1df33550fa8ece6f8c3

[2] วิจิตรา ชูสกุล. (2551). **พลังงานยั่งยืนชุมชนเป็นสุข.** สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2560 จาก http://www.netsurin.org.

[3] กระทรวงพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. **สถานการณ์พลังงาน** 2550. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กันยายน 2560 จาก: http:// www.nepo.go.th.

[4] ชิต นันทสุวรรณ และจำนง แรกพินิจ.(2551). **บทบาทของโรงเรียนกับการศึกษาชุมชน.**_กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ.

[5] อุทัย ดุลยเกษมและ อรศรี งามวิทยาพงศ์.(2550). **ระบบการศึกษากับชุมชน : กรอบความคิดเพื่อการวิจัย.** กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ระบบแพปั๊มน้ำด้วยโซล่าเซลล์สำหรับโรงเรียนบ้านพุเข็ม จังหวัดเพชรบุรี

WATER PUMP FLOATING SYSTEMS DESIGN BY SOLAR CELLS

เอกรัตน์ นภกานต์[1*] สิทธิชัย กันทะวงศ์[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10160

บทคัดย่อ

ระบบปั๊มน้ำโรงเรียนบ้านพุเข็ม จังหวัดเพชรบุรี เป็นโรงเรียนในเขตชนบท ไม่มีไฟฟ้าและน้ำประปา ซึ่งได้ใช้ปั๊มน้ำแบบเครื่องยนต์ดีเซล มีค่าใช้จ่ายในการใช้งานสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำระบบพลังงานทดแทนเข้ามาประยุกต์ใช้งานกับระบบปั๊มน้ำ

หลักการทำงานและการออกแบบและประยุกต์ใช้งานพลังงานทดแทนสำหรับการสูบน้ำด้วยการใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 280 วัตต์ จำนวน 2 แผง เก็บพลังงานที่ได้ด้วยแบตเตอรี่ขนาด 100 แอมป์-ชั่วโมง และจำหน่ายไปที่มอเตอร์กระแสตรงขนาด 24 โวลต์ 600 วัตต์ เพื่อขับปั๊มน้ำแบบลูกสูบมีขนาดท่อสูบขนาด 1 นิ้ว

จากการทดสอบระบบพลังงานแสงอาทิตย์จะเห็นว่าระบบ จะผลิตพลังงานสูงสุดในช่วงเวลา 11:00 – 13:00 น. ที่อุณหภูมิแผงประมาณ 45-46 องศาเซลเซียส และวัดแรงดันในช่วงอุณหภูมินี้ได้ 42.13 - 44.89 โวลต์ มีกระแสชาร์จแบตเตอรี่เฉลี่ยอยู่ที่ 6.06 แอมแปร์ สูบน้ำมาเก็บในถังพักน้ำขนาด 3600 ลิตรด้วยเวลา 2 ชั่วโมง และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 3 ปี

คำสำคัญ: แสงอาทิตย์ โซล่าเซลล์ แผนงานข้อมูล

[*]Corresponding author: Tel.: 084-4543234. E-mail address: eg1322@gmail.com

บทนำ

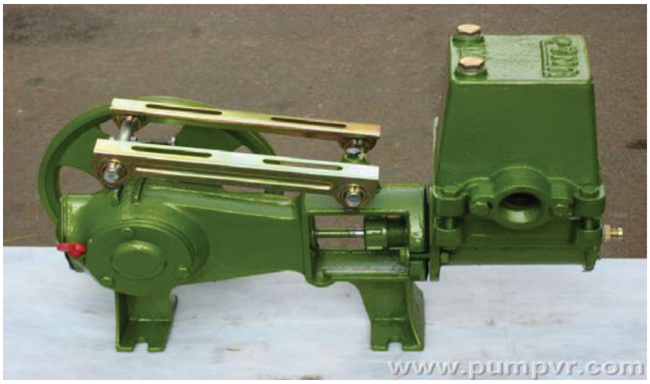
เทคโนโลยีการสูบน้ำด้วยพลังงานทดแทนดังกล่าวได้รับการพัฒนา จนอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยมีความคุ้มทุนทางเศรษฐกิจในบางสถานที่และบางโอกาส การที่จะพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ประโยชน์ เพื่อลดต้นทุนและสร้างความเชื่อมั่นในการใช้ประโยชน์จากโซล่าเซลล์ผลิตกระแสไฟฟ้า และสามารถส่งเสริม อุตสาหกรรมการพัฒนา [1] พลังงานทดแทนขึ้นได้ภายในประเทศก็สามารถที่จะช่วยลดต้นทุนการซื้อหาจากต่างประเทศที่มีราคาแพงและสามารถขยายผลโดยการส่งเสริมให้มีการใช้ในครัวเรือน ชุมชนขนาดเล็ก ผู้ประกอบการ ครัวเรือน ที่ต้องการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของตนเอง เพื่อสร้างความมั่นคงและยั่งยืน ในการจัดหาพลังงานให้กับตนเอง อีกทั้งจะทำให้โซล่าเซลล์ ที่ผลิตได้ในประเทศมีราคาถูกลง เป็นการสร้างแรงจูงใจในการเลือกหามาติดตั้งใช้งานในพื้นที่ที่ห่างไกลหรือในพื้นที่บริเวณเกาะของผู้ประกอบการมากขึ้น อีกทั้งยังจะช่วยรักษาสภาพแวดล้อม ไม่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน เนื่องจากเป็นพลังงานจากธรรมชาติ ไม่ต้องซื้อหา ไม่มีราคาค่าเชื้อเพลิง และเป็นการส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาระบบ การผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ ในอนาคตได้อย่างยั่งยืนและมีความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศได้ในระยะยาวต่อไป

คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญในเรื่องของพลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ คณะผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบและติดตั้งระบบปั๊มน้ำด้วยโซล่าเซลล์บริเวณโรงเรียนบ้านพุเข็ม จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งเป็นโรงเรียนในเขตชนบทอยู่ห่างจากสายส่ง ไม่มีไฟฟ้า ไม่มีประปา ทางคณะผู้จัดทำจึงได้วางแผนให้สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ และทำออกแบบติดตั้งระบบปั๊มน้ำด้วยโซล่าเซลล์ให้เกิดประสิทธิภาพและประโยชน์ที่สูงที่สุด

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

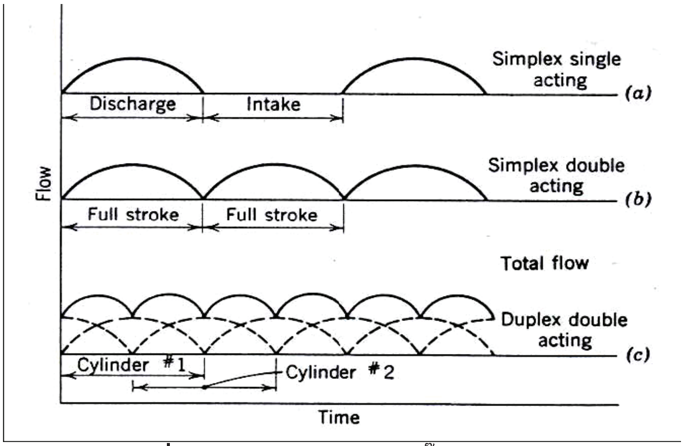
ปั๊มแบบลูกสูบชัก

[2] ปั๊มแบบนี้เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยการเคลื่อนที่ของลูกสูบซึ่งเข้าไปอัดของเหลวให้ไหลไปสู่ทางจ่าย ปริมาตรของเหลวที่สูบได้แต่ละครั้งเท่ากับผลคูณของพื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบกับช่วงชักของกระบอกสูบนั้น แตกต่างจากปั๊มแบบโรตารี่ซึ่งผลักของเหลวออกสู่ทางจ่ายโดยการหมุนของเฟืองรอบแกน ในขณะที่ปั๊มลูกสูบเคลื่อนที่ในแนวนอน ปั๊มที่มีกระบอกสูบเดียว ซึ่งรอให้น้ำเข้ากระบอกสูบแล้วอัดออกไปทำให้การไหลของน้ำไม่สม่ำเสมอมีน้ำออกมาเฉพาะจังหวะอัด เรียกปั๊มแบบนี้ว่า Simplex single action มีกราฟแสดงอัตราการไหลเป็นช่วง



ภาพที่ 1 ปั๊มแบบลูกสูบชักชนิดลูกสูบเดี่ยวสองจังหวะ

การดัดแปลงกระบอกสูบให้ทำงานได้ทั้งจังหวะอัดและจังหวะดูด แม้จะมีกระบอกสูบเพียงชุดเดียว โดยเพิ่มความยาวของกระบอกสูบทำให้จังหวะอัดปลายกระบอกสูบด้านหนึ่งเป็นจังหวะดูดของอีกด้านหนึ่งและเราเรียกปั๊มนี้ว Simplex-double acting ในภาพที่ 2 เป็น discharge curve ของ ปั๊มแบบลูกสูบชักแบบต่างๆ ซึ่งเป็นการพัฒนาเพื่อให้ได้การจ่ายน้ำที่สม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น และด้วยแนวคิดเกี่ยวกับความสม่ำเสมอของการจ่ายน้ำหรือความคงที่ของแรงดันอาจทำได้ด้วยการเพิ่มจำนวนกระบอกสูบเป็นสอง สาม หรือสี่โดยโปรแกรมให้ลูกสูบเหล่านี้ทำงานเสริมกัน เรียกปั๊มตามจำนวนลูกสูบ Simplex หมายถึงมีกระบอกสูบเดียว, Duplex สองสูบ, Triplex สามสูบ, Quad-duplex สี่สูบ นอกจากนี้ก็อาจแก้ปัญหาโดยการปั๊มของเหลวผ่านเข้าไปในหม้อลมก่อนจ่ายเข้าไปในระบบ อากาศที่มีการขยายและหดตัวได้ดีจะช่วยทำให้อัตราไหลสม่ำเสมอ ซึ่งดูได้จากกราฟเส้นล่างของภาพที่ 2



ภาพที่ 2 Discharge curves ของปั๊มแบบลูกสูบชัก

การดำเนินงาน

ในการติดตั้งต้องทำการสำรวจพื้นที่ก่อนเพื่อจะได้ทำการออกแบบโครงสร้างได้ถูกต้อง โดยได้เลือกพื้นที่บริเวณโรงเรียนบ้านพุเข็ม จ.เพชรบุรี

ภาพที่ 3 ตำแหน่งพื้นที่ตั้งโครงงาน เลือกใช้ที่บริเวณโรงเรียนบ้านพุเข็ม จ.เพชรบุรี

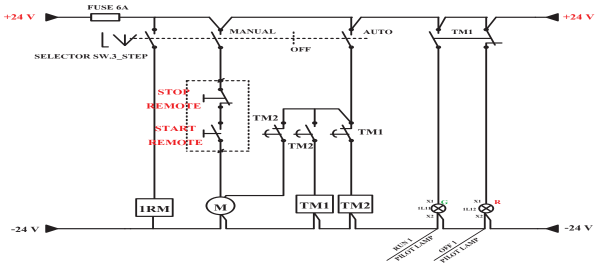
การหาขนาดของแผงโซล่าเซลล์ การประมาณขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าโซล่าเซลล์เป็นการออกแบบเพื่อทราบถึงขนาดของแผงโซล่าเซลล์ และอุปกรณ์ประกอบของระบบ เช่น ความจุของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวัน และเสถียรภาพของระบบที่ผู้ใช้สามารถสำรองพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้งาน โดยที่การประมาณขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าโซล่าเซลล์ในหัวข้อนี้เป็นแนวทางการออกแบบทั่วไปเพื่อนำไปใช้พิจารณาเลือกขนาดของอุปกรณ์สำหรับติดตั้งระบบตามหลักวิศวกรรม

แผ่นงาน#1	การคำนวณความต้องการไฟฟ้าในแต่วัน													
Load description	DC or AC	No. of sets	Load current (A)	Load voltage (V)	DC power (W)	AC power (W)	Daily duty cycle (h/day)	Weekly duty cycle (d/week)	7 days in a week	Power conversion eff. (decimal)	Energy requirement (Wh/day)	Nominal system voltage (V)	Ampere hour load (Ah/day)
			×	×	=	=	×	×	÷	÷	=	÷	=
ปั๊มชักมอเตอร์600W	*DC*	*1*	*32.9*	*24*	*600*	*N/A*	*2*	*7*	*7*	*0.85*	*1,411*	*24*	*55.79*
Timer	*DC*	2	*0.125*	*12*	*1.5*	*N/A*	*24*	*7*	*7*	*0.85*	*84.70*	*24*	*3.52*
Total DC power load (W) Total AC power load (W)					- 603	*N/A*	Total Wh/day				*1,495*	Total Ah/day	*59.31*

- หมายเหตุ
- โหลดเหล่านี้ใช้ในระบบปั๊มน้ำ

ภาพที่ 4 ตารางข้อมูลการใช้อุปกรณ์

โหลดประเภทปั๊มชัก DC 24 V มอเตอร์ 600W สามารถสูบน้ำได้ปริมาตรน้ำ 3,000-3,600 ลิตร/ชม.ท่อดูด-ส่ง ขนาด 1 นิ้วลูกสูบ 49 มม.มอเตอร์1/3-1/2 แรงม้าคุณสมบัติพิเศษ แผ่นลิ้น สกรูกดลิ้น ฝาอัดปะเก็นปลอกสูบทำจากทองเหลืองแท้, ข้อเหวี่ยงทำจาก เหล็กเหนียว , ขยายตัวปั๊มให้กว้างมากขึ้น ทำให้มีช่วงชัก ยาวเป็นพิเศษ? เหมาะสำหรับ ดูดน้ำลึก,ดูดน้ำลึกได้ 8 เมตร (แนวดิ่ง)ลูกสูบ 49 mm ใช้สายพานเบอร์ #32 พลูเล่ย์ร่อง B มอเตอร์ 24V 600W 2500 rpm



ภาพที่ 5 การต่อเชื่อมต่ออุปกรณ์การทำงานของระบบ

การทำงานของวงจรควบคุมที่ใช้ในระบบโดยมีสวิตท์เลือก Auto/Manual สามารถเลือกการทำงานได้มี Timer 2 ตัว ใช้เปิด-ปิดการทำงานโดยสั่งการทำงานด้วย Remote

ภาพที่ 6 การติดตั้งตู้ควบคุมของระบบติดตั้งแบตเตอรี่ติดตั้งปั๊มและต่อสายไฟ

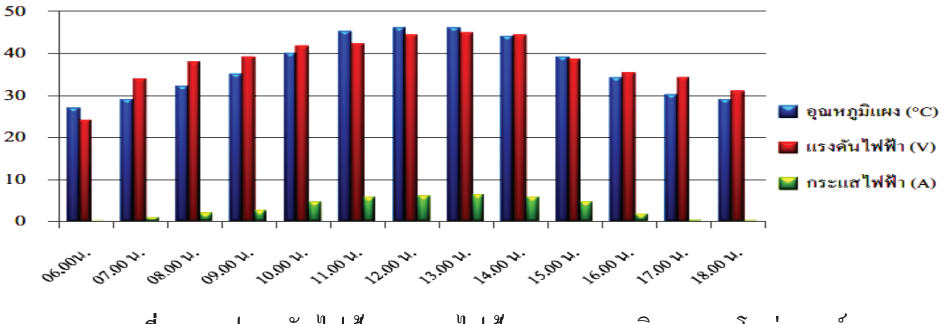
การวางถังน้ำเพื่อทำแพโดยใช้เหล็กกล่องขนาด 1 นิ้วต่อตามแบบและใช้ถังน้ำ 200 ลิตรจำนวน 6 ถังเพื่อใช้ทำแพและใช้สมอยึดกับพื้นที่ชายฝั่ง เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของแพ และสามารถขึ้นลงตามปริมาณของน้ำในเขื่อน

ภาพที่ 7 การติดตั้งตู้ควบคุมของระบบติดตั้งแบตเตอรี่ติดตั้งปั๊มและต่อสายไฟ

ขั้นตอนการติดตั้งตู้ควบคุมของระบบ ติดตั้งแบตเตอร์รี่ ติดตั้งปั๊มและต่อสายไฟ จากนั้นนำกล่องสำหรับบรรจุแบตเตอรี่และกล่องควบคุมมาวางไว้บนแพแล้วทำการยึดติดกับแพ จากนั้นนำแผงโซล่าเซลล์ 2 แผงมาวางแล้วยึดติดกับโครงจากนั้นก็เริ่มขั้นตอนเดินสายจากแผงโซล่าเซลล์มาเข้าที่ตู้ควบคุม และเดินสายเอาต์พุทจากตู้ควบคุมไปยังโหลด แล้วทำการทดสอบ เก็บผลการทดสอบ

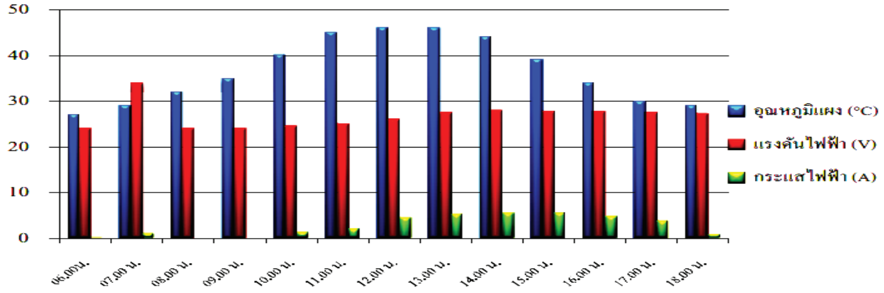
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการทดสอบการทำงานของแผงโซล่าเซลล์ เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซล่าเซลล์ โดยที่แผงโซล่าเซลล์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นแผงชนิด Poly crystalline ขนาด 280 W สูงสุด แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 44.89 V โดยเริ่มทำการวัดตั้งแต่ช่วงเวลา 06.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นเวลา 3 วัน และเก็บผลในแต่ละชั่วโมง ค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 8 กราฟแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิของแผงโซล่าเซลล์

กราฟความสัมพันธ์ของแผงโซล่าเซลล์ สามารถวิเคราะห์ได้ว่า เมื่อช่วงเวลา 6.00 – 7.00 น. อุณหภูมิ และความเข้มแสงต่ำ ความเข้มแสงที่ต่ำทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าต่ำ แต่เมื่อช่วงเวลา11.00 – 14.00 น. เป็นช่วงที่มีอุณหภูมิ และความเข้มแสงสูงที่สุดของวัน ความเข้มแสงที่สูงทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าสูงที่สุดของวัน



กระแสไฟฟ้าในช่วงเวลา 6.00 - 7.00 น. จะเท่ากับ 0 อันเนื่องมาจากการผลิตแรงดันไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ในช่วงเวลานี้มีค่าแรงดันไฟฟ้าไม่ถึง 35 V จะทำให้เครื่องชาร์จเจอร์ไม่สามารถทำงานได้ เมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงสูงจะมีค่ามากกว่า 35 V และกระแสไฟฟ้าชาร์จประจุมากที่สุดของวันจะอยู่ที่ช่วงเวลา 11.00 – 14.00

สรุปผลการวิจัย

จากการสำรวจในการใช้น้ำในแต่ละวันของโรงเรียนบ้านพุเข็มพบว่าโรงเรียนบ้านพุเข็มใช้น้ำต่อวันอยู่ที่ 2,000 ลิตร จึงได้ทำการทดลองสูบน้ำด้วยเครื่องสูบระบบปั๊มน้ำด้วยโซล่าเซลล์พบว่าในหนึ่งชั่วโมงสูบน้ำได้ 1,800 ลิตร ดั้งนั้นใช้วันละ 2 ชั่วโมง (3,600 ลิตร) เพียงพอกับการใช้งาน การใช้เครื่องสูบน้ำที่ทางโรงเรียนบ้านพุเข็มใช้ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ 4 สูบใช้งานในการสูบครั้งละ 2 - 3 ชั่วโมง ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงครั้งละ 5 ลิตร (ลิตรละ 30 บาท)เฉลี่ยการใช้งานต่อครั้งใน 1 ปีจะอยู่ที่ 160 ครั้ง

ค่าใช้จ่ายในแต่ละครั้งเท่ากับ 5 × 30 = 150 บาท

จะเห็นได้ว่าระบบที่ใช้เครื่องสูบน้ำด้วยเครื่องยนต์ 4 สูบ เมื่อพิจารณาแล้วจะต้องเสียค่าใช้จ่ายต่อปี

160 (จำนวนการใช้งานใน 1 ปี) × 150 (ค่าใช้จ่ายในแต่ละครั้ง) = 24,000 บาท

สามารถนำไปคำนวณจุดคุ้มทุน โดยถ้าคิดค่าบำรุงรักษา 2% ของต้นทุนทั้งหมด จะมีค่าบำรุงรักษาเท่ากับ 2 %

2 % × 59,030 = 1,180.6 บาท/ปี

ดั้งนั้นจุดคุ้มทุนของระบบนี้เท่ากับ

(59,030 + 1,180.6) / 24,000 = 2.5087ปี ~ 3 ปี

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าช่วยจัดหาสถานที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ จัดหาอุปกรณ์ในการทำการติดตั้งให้ และขอขอบพระคุณทางโรงเรียนบ้านพุเข็ม จังหวัดเพชรบุรีที่ให้ความช่วยเหลือในการติดตั้ง ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธนบุรีที่ได้สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ ทำให้ได้มีการศึกษาและทำการทดลองในครั้งนี้ รวมทั้งเพื่อนๆ ทุกคนที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือและอนุเคราะห์ให้การศึกษาทดลองครั้งนี้สำเร็จโดยมีอุปสรรคน้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

[1] ชัยนิวัฒน์ หาพา, สันติพงษ์ โพธิ์นคร, สันติพงษ์ โพธิ์นคร, ทศพล นิลเนรมิต, และ ฮัมดีย์มะดิเย๊าะ. 2555. **“การออกแบบระบบแสงสว่างพลังงานแสงอาทิตย์.”** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี.

[2] วรเดช วิเศษศิริกุล. 2556. **การขับเคลื่อนของไหล.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.slideshare.net/ssuser34dc91/chapter-4-pump (1 ตุลาคม 2556)

กังหันลมสำหรับสถานีชาร์จแบตเตอรี่ชุมชนบ้านพุเข็ม จังหวัดเพชรบุรี

WIND TURBINE FOR BATTERY CHARGER STATION FOR BANPUKHEM COMMUNITY PHETCHABURI PROVINCE

เอกรัตน์ นภกานต์[1*] ชัยวัฒน์ แพงพันธ์[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10160

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาและออกแบบกังหันลม ขนาด 1,500 วัตต์สำหรับสถานีชาร์จแบตเตอรี่ เป็นการนำพลังงานลมซึ่งเป็นพลังงานธรรมชาติมาประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ของชุมชนบ้านพุเข็ม จังหวัดเพชรบุรี

หลักการออกแบบกังหันลมเลือกกังหันลมแบบแนวนอน ใช้ใบพัดขนาด 1.5 เมตร ทำมุม 120 องศา ติดตั้งบนเสาสูงขนาด 7 เมตร สามารถรองรับแรงลมที่มีความเร็ว 4-7 เมตร/วินาที พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมจะถูกขยายแรงดันด้วยวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ ก่อนที่จะจำหน่ายเข้าสู่ระบบชาร์จ

ผลของการทดสอบพบว่า สถานีชาร์จแบตเตอรี่ที่ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกังหันลมขนาด 1,500 วัตต์ สามารถชาร์จแบตเตอรี่ที่มีขนาดต่างกันจำนวน 3 ชุด โดยมีกระแสชาร์จเฉลี่ยอยู่ที่ 2 แอมป์ ที่ความเร็วลมเฉลี่ยที่ 4 เมตร/วินาที ใช้เวลาในการชาร์จประมาณ 14 ชั่วโมง

คำสำคัญ: สถานีชาร์จ แบตเตอรี่ กังหันลม

*Corresponding author: Tel.: 084-4543234. E-mail address: eg1322@gmail.com

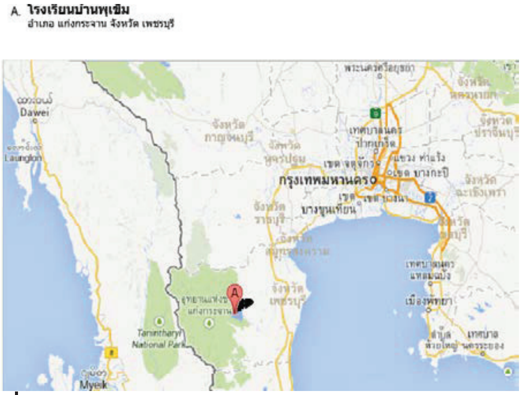
บทนำ

[1] ความสำคัญและสนใจในการพัฒนา ด้านพลังงานทดแทนและพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น เพื่อทดแทนการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องซื้อหาจากต่างประเทศ ที่นับวันมีราคาแพงขึ้น กระทรวงพลังงานได้กำหนดกลยุทธ์การส่งเสริมพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตพลังงานทดแทนอื่นๆ และพลังงานลมเป็นพลังงานทางเลือกในการสนับสนุนพัฒนา ให้เป็นไปตามยุทธศาสตร์ความมั่นคง ด้านพลังงานของประเทศ [2] เทคโนโลยีพลังงานลมจึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ เพื่อการเลือกมาผลิตขึ้นมาใช้งานให้มีความเหมาะสมกับพลังงานที่มีอยู่ในพื้นที่ คณะผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบกังหันลมสำหรับสถานีชาร์จแบตเตอรี่ บริเวณชุมชน บ้านพุเข็ม จังหวัด เพชรบุรี เพื่อให้ชุมชนได้ชาร์จแบตเตอรี่ ที่จากเดิมยังไม่มีใครมีการติดตั้ง ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการติดตั้งให้สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศและออกแบบวางระบบควบคุมให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงที่สุด

วิธีการวิจัย

[3] กังหันลมที่มีแกนเพลาอยู่ในแนวนอน (Horizontal–axis type wind turbine, HAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนวางตัวอยู่ในทิศขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม กังหันลมประเภทนี้ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการนำมาใช้งานมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงแต่ต้องติดตั้งบนเสาที่มีความสูงมากและมีชุดควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้ารับแรงลมได้ทุกทิศทางในแนวนอนตลอดเวลา

สถานที่ ที่จะดำเนินการสร้างสถานีชาร์จแบตเตอรี่ ขนาด 12 Vdc จำนวน 3 ชุด โดยได้ทำการสำรวจและได้ร่วมปรึกษากับทางผู้นำชุมชนในพื้นที่ จึงได้ข้อสรุปโดยทำการติดตั้งที่ โรงเรียนบ้านพุเข็ม อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรีดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โรงเรียนบ้านพุเข็ม อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี

การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกังหันลม เจนเนอร์เรเตอร์ที่นำมาใช้งานให้ค่ากำลังเอาท์พุทขนาด 1,500 วัตต์ และจำนวนรอบ ที่ 600 รอบต่อนาที และต้องการที่จะสร้างกังหันลมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสมกับขนาดของเจนเนอร์เรเตอร์ที่มีอยู่หาได้จากสูตร

$$D = \sqrt{P_{out,gen} \cdot \left[\frac{47\lambda}{RPM.} \right]^3} \tag{1}$$

เมื่อ D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เหมาะสม

Pout,gen = กำลัง output ของ เจนเนอร์เรเตอร์

RPM = จำนวนรอบของ เจนเนอร์เรเตอร์

λ = สัมประสิทธิ์ความเร็ว

แทนค่าจากสมการ 1

$$D = \sqrt{1500 \cdot \left[\frac{47(6)}{600} \right]^3}$$

= 2.706 เมตร

ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้จริงประมาณ 3 เมตร

การคำนวณขนาดความกว้างของใบพัด

การคำนวณหาขนาดของใบพัดจะเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลให้ได้พลังงานจากกังหันลมตามที่ต้องการ การหาขนาดใบพัดสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$t_B(r) = \frac{2\pi r}{z} \cdot \frac{8}{9} \cdot \frac{1}{c_a} \cdot \frac{\upsilon_1^2}{\upsilon_u(r)\upsilon_r(r)} \quad \text{เมตร} \tag{2}$$

โดยที่ $t_B(r)$ = ความกว้างของใบพัดที่รัศมี r

r = รัศมีของกังหัน

z = จำนวนของใบพัด

Ca = สัมประสิทธิ์ การยกตัวของใบพัด

$\upsilon_u(r)$ = ความเร็วลมที่ปลายใบพัด

$\upsilon_r(r)$ = ความเร็วลมใช้งาน

ดังนั้น

$$t_B(r) = \frac{16\pi R}{9 c_a \lambda z} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\lambda}{R} r\right)^2 + \frac{4}{9}}} \quad \text{เมตร} \tag{3}$$

ดังนั้น

$$t_B\left(r\right)=\frac{16\pi R}{9c_a\lambda z}\cdot\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\lambda}{R}r\right)^2+\frac{4}{9}}} \quad \text{เมตร} \qquad (3)$$

จากสมการ

$$t_B\left(r\right)=\frac{2\pi r}{z}\cdot\frac{8}{9}\cdot\frac{1}{c_a}\cdot\frac{\upsilon_1^2}{\upsilon_u\left(r\right)\upsilon_r\left(r\right)}$$

กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วมีค่าเท่ากับ 6 และมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ 3 เมตร

$$\upsilon_u=\lambda\upsilon_1$$

= 6 x 3

= 18 เมตรต่อวินาที

$$\upsilon_{res}=\sqrt{\upsilon_u^2+\upsilon_2^2}$$

$$\upsilon_{res}=\sqrt{18^2+\left(\frac{2}{3}(3)\right)^2}$$

$\upsilon_{res}=18.11$ เมตรต่อวินาที

แทนค่าของสมการ 2

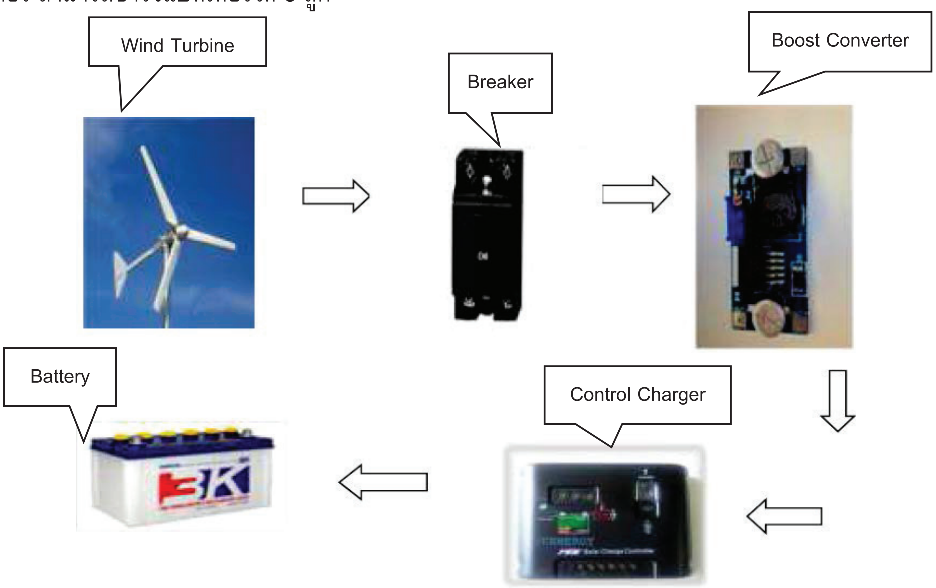
$$t_B\left(r\right)=\frac{2(3.14)(1.5)}{3}\cdot\frac{8}{9}\cdot\frac{1}{1.5}\cdot\frac{36}{(18)(18.11)}$$

$t_B\left(r\right)=200$ มิลลิเมตร

การติดตั้งที่แล้วเสร็จสมบูรณ์พร้อมใช้งานทั้งในทุกๆส่วนไม่ว่าจะเป็นของฐานราก ส่วนเสา ส่วนกังหัน สายยึดโยง

ภาพที่ 2 การตั้งเสาที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว

การออกแบบระบบชาร์จแบตเตอรี่ จะประกอบไปด้วยตู้คอนโทรล ภายในประกอบไปด้วยวงจรชาร์จแบตเตอรี่ สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้ 3 ลูก



ภาพที่ 3 Diagram การต่ออุปกรณ์

ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ภายในตู้และเป็นไดอะแกรมการต่ออุปกรณ์ภายในตู้ตามขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ เริ่มตั้งแต่ แรงดันเอาท์พุทจากกังหันลม-ขนาด 1,500 วัตต์แล้วต่อเข้ามาที่เมนเบรกเกอร์จากนั้นต่อไปยังสวิทซ์ชิ่งแล้วต่อไปที่ชุดควบคุมการชาร์จ ขนาด 12 Vdc 30 Ah และส่งสายเพื่อชาร์จเข้าไปยังแบตเตอรี่ตามลำดับ

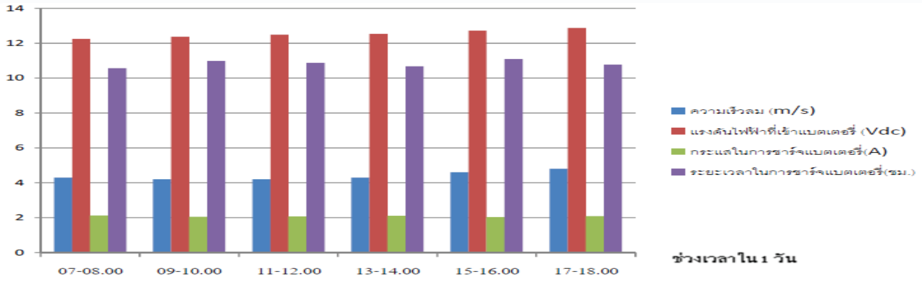
สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากชุมชนมีการใช้ขนาดของแบตเตอรี่ที่หลากหลาย การเก็บผลเพื่อให้ได้ค่าเพื่อเป็นการเปรียบเทียบการเก็บผลจึงใช้แบตเตอรี่ขนาดเดียวกันในการเก็บผลแต่ละรอบ เนื่องจากมีจำนวนของชาร์จเจอร์ 3 ชุด

- การเก็บผลใช้ระยะเวลาในช่วงกลางวัน เก็บผลทุกๆ 2 ชั่วโมงตั้งแต่เวลาประมาณ 7.00 น. เป็นต้นไปจนถึงเวลา 18.00 น.
- การเก็บผลจะดำเนินการเป็น 2 ช่วง โดยทำการเก็บผลติดต่อกันช่วงละ 3 วันติดต่อกัน โดยแบ่งตามขนาดของแบตเตอรี่ 12 V 45 Ah , 12V 60 Ah และ 12 V 70 Ah ตามลำดับ ช่วงที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 13 – 15 มกราคม 2559 และช่วงที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 27 – 29 มกราคม 2559
- ระยะเวลาในการชาร์จเก็บผลนั้นจะใช้การคำนวณ เนื่องจากไม่สามารถที่จะเก็บผลได้ตลอดเวลาใน 1 วัน เพราะสถานที่และสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม
- ค่าระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่จะได้จากการคำนวณ ซึ่งจะหักค่าปริมาณการคายประจุของแบตเตอรี่ที่ 50 % เนื่องจากมีความยากที่จะตรวจสอบค่าปริมาณการคายประจุของแบตเตอรี่ของแบตเตอรี่แต่ละลูกที่นำมาชาร์จ

ตารางที่ 1 ค่าการเก็บผลของหัวชาร์จชุดที่ 1 – 3 ขนาดแบตเตอรี่ 12 V 45 Ah

ช่วงเวลา	ความเร็วลม(m/s)	แรงดันไฟที่เข้าแบตเตอรี่ (VDC)			กระแสในการชาร์จแบตเตอรี่ (A)			เวลาโดยประมาณในการชาร์จจากการคำนวณที่ DOD = 50 % (ชม.)		
		หัวที่ 1	หัวที่ 2	หัวที่ 3	หัวที่ 1	หัวที่ 2	หัวที่ 3	หัวที่ 1	หัวที่ 2	หัวที่ 3
07.00-08.00น.	4.3	12.24	12.35	12.37	2.13	2.00	2.04	10.57	11.25	11.03
09.00-10.00น.	4.2	12.37	12.48	12.44	2.05	2.02	2.14	10.98	11.14	10.52
11.00-12.00น.	4.2	12.49	12.56	12.52	2.07	2.08	2.06	10.87	10.82	10.92
13.00-14.00น.	4.3	12.53	12.63	12.63	2.11	2.11	2.01	10.67	10.67	11.20
15.00-16.00น.	4.6	12.72	12.79	12.71	2.03	2.05	2.12	11.09	10.98	10.62
17.00-18.00น.	4.8	12.87	12.94	12.80	2.09	2.01	2.13	10.77	11.20	10.57
ค่าเฉลี่ย	**4.40**	**12.53**	**12.63**	**12.58**	**2.08**	**2.05**	**2.08**	**10.82**	**11.01**	**10.81**

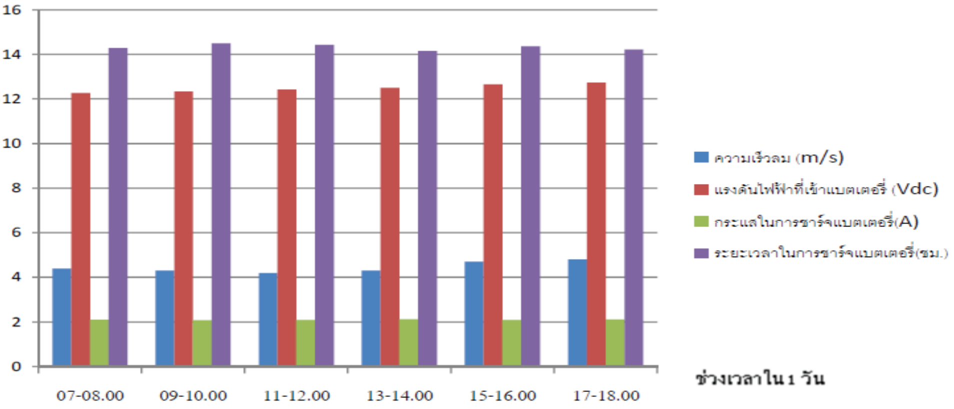


ภาพที่ 4 กราฟของค่าการเก็บผลของแบตเตอรี่ขนาด 45 Ah

กราฟของค่าการเก็บผลของหัวชาร์จที่1- 3 ในช่วงเวลาในกลางวัน ของแบตเตอรี่ 12 V 45 Ah แบ่งตามช่วงเวลาทุกๆ 2 ชั่วโมง ทำการวัดความเร็วลมเทียบกับแรงดันไฟฟ้าเทียบกับกระแสในการชาร์จแบตเตอรี่และระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่

ตารางที่ 2 ค่าการเก็บผลของหัวชาร์จชุดที่ 1 – 3 ขนาดแบตเตอรี่ 12 V 60 Ah

ช่วงเวลา	ความเร็วลม(m/s)	แรงดันไฟที่เข้าแบตเตอรี่ (VDC)			กระแสในการชาร์จแบตเตอรี่ (A)			เวลาโดยประมาณในการชาร์จจากการคำนวณที่ DOD = 50 % (ชม.)		
		หัวที่ 1	หัวที่ 2	หัวที่ 3	หัวที่ 1	หัวที่ 2	หัวที่ 3	หัวที่ 1	หัวที่ 2	หัวที่ 3
07.00-08.00น.	4.4	12.27	12.33	12.34	2.10	2.03	2.06	14.29	14.78	14.57
09.00-10.00น.	4.3	12.34	12.45	12.41	2.07	2.02	2.14	14.50	14.85	14.02
11.00-12.00น.	4.2	12.42	12.56	12.52	2.08	2.07	2.09	14.43	14.50	14.36
13.00-14.00น.	4.3	12.50	12.67	12.60	2.12	2.10	2.11	14.15	14.29	14.22
15.00-16.00น.	4.7	12.65	12.80	12.66	2.09	2.05	2.08	14.36	14.64	14.43
17.00-18.00น.	4.8	12.73	12.99	12.74	2.11	2.04	2.12	14.22	14.71	14.15
ค่าเฉลี่ย	**4.45**	**12.49**	**12.63**	**12.55**	**2.10**	**2.05**	**2.10**	**14.32**	**14.63**	**14.29**



ภาพที่ 5 กราฟของค่าการเก็บผลของแบตเตอรี่ขนาด 60 Ah

กราฟของค่าการเก็บผลของหัวชาร์จที่ 1-3 ในช่วงเวลาในกลางวัน ของแบตเตอรี่ 12 V 60 Ah แบ่งตามช่วงเวลาทุกๆ 2 ชั่วโมง ทำการวัดความเร็วลมเทียบกับแรงดันไฟฟ้าเทียบกับกระแสในการชาร์จแบตเตอรี่และระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่

จากการออกแบบกังหันลมเพื่อสถานีชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 1,500 วัตต์ โดยแบ่งชุดชาร์จออกเป็น 3 ชุด จากการทดสอบการชาร์จในแต่ละชุดมีขนาดของโหลดที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นข้อจำกัดในครั้งนี้ ค่าเฉลี่ยที่ชุดชาร์จสามารถชาร์จให้กับแบตเตอรี่ในแต่ละชุดอยู่ที่ 2 แอมแปร์ และใช้เวลาชาร์จประมาณ 14 ชั่วโมง ค่าความเปลี่ยนแปลงในการชาร์จขึ้นอยู่กับปริมาณลมในแต่ละวันซึ่งถ้ามองในสภาพของความเป็นจริงลมไม่สามารถขับเคลื่อนให้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องจึงต้องนำวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์มาทำหน้าที่ขยายแรงดันและเพิ่มค่าของกระแสขึ้น เพื่อทำให้เกิดสภาวะการชาร์จที่ต่อเนื่อง

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยธนบุรีเป็นอย่างยิ่ง ที่ได้อนุเคราะห์ตัวกังหันลมให้กับกลุ่มของข้าพเจ้า และขอขอบพระคุณ นายบัญชา ศรีวิโรจน์ ที่คอยแนะนำแนวทางในการดำเนินงานให้สำเร็จ พร้อมทั้งขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านที่มิได้กล่าวไว้ข้างต้น ที่ได้ให้ความรู้เกี่ยวกับแนวทางในการทำงาน ตลอดจนตรวจสอบจนสำเร็จเป็นงานวิจัยที่สมบูรณ์ฉบับนี้ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2544). “ **แผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย”** กรุงเทพฯ:เซ็นทรัลการพิมพ์.

[2] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2556. **สมาร์ท เฮ้าส์ บ้านต้นแบบโซล่าเซลล์.** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.nstda.or.th/news/10759-nstda (7 ตุลาคม 2556)

[3] ชัยนิวัตน์ หาพา, บัญชา ศรีวิโรจน์, เอกรัตน์ นภกานต์, วิเชียร จินากลึง, 2556. “การออกแบบระบบแสงสว่าง บริเวณ Cafeteria มหาวิทยาลัยธนบุรี ด้วยโซล่าเซลล์.” **การประชุมวิชาการระดับชาติเบญจมิตรวิชาการ ครั้งที่ 3**. 2556. เล่มที่1 (พฤษภาคม) : 171-179.

การศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างปุ๋ยถ่านกับดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว
(Study of proportional ingredient between the biochar fertilizer and soil that are affect to growing of rice plant)

ชนมน ศรีพระจันทร์[1] รุ่งอรุณ วรพฤติสกุล[1] ณัฐรินันท์ คัญใหญ่[1] ศิริพร ศรีไตรรัตน์[1] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1,2*]
ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ[1,2] มลวิภา เมืองพระฝาง[1,2] อรพรรณ ธนะขว้าง[1,2] และ เฉลิมชัย สังโยคะ[1,2]
[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000
[2] โครงการจัดตั้งสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

การใส่ถ่านชีวภาพลงในดินเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับความสนใจเพื่อปรับปรุงดินในนาข้าว การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใส่ดินต่อถ่านและดินต่อปุ๋ยถ่านในอัตราส่วนต่อการเจริญเติบโตในเรือนทดลอง ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย ความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นข้าวพิษณุโลก 2 วิธีการทดลอง คือ ปลูกข้าวในกระถางทดลอง 8 กระถาง ประกอบด้วย อัตราส่วนระหว่าง ดินต่อถ่าน และดินต่อปุ๋ยถ่าน ที่อัตราส่วน 1:9 3:7 6:4 และ 9:1 ตามลำดับ ทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง จากการศึกษาพบว่า ข้าวพิษณุโลก 2 ที่อัตราส่วนระหว่างดินต่อปุ๋ยถ่านที่ 6:4 ให้ผลผลิตซึ่งวัดด้วยความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นข้าวดีกว่าทุกกระถาง จากผลการศึกษานี้มีแนวโน้มให้เห็นว่าการใส่ปุ๋ยถ่านร่วมกับดินในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้ผลผลิตข้าวดีกว่าการใส่ถ่านร่วมกับดินในนาข้าวเพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ: ข้าวพิษณุโลก 2, ปุ๋ยถ่าน

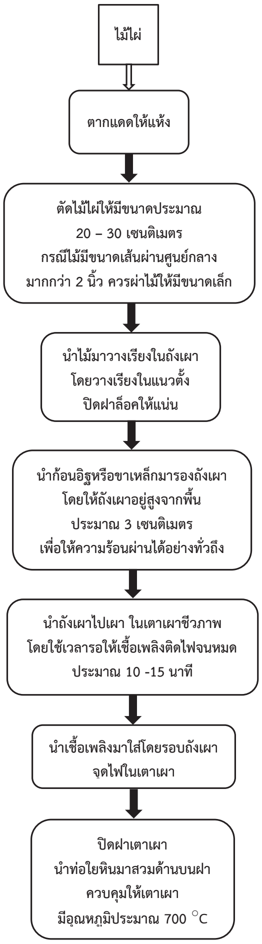
*Corresponding author: Tel.: 081-7178093. E-mail address: nattawutkhao@gmail.com

บทนำ

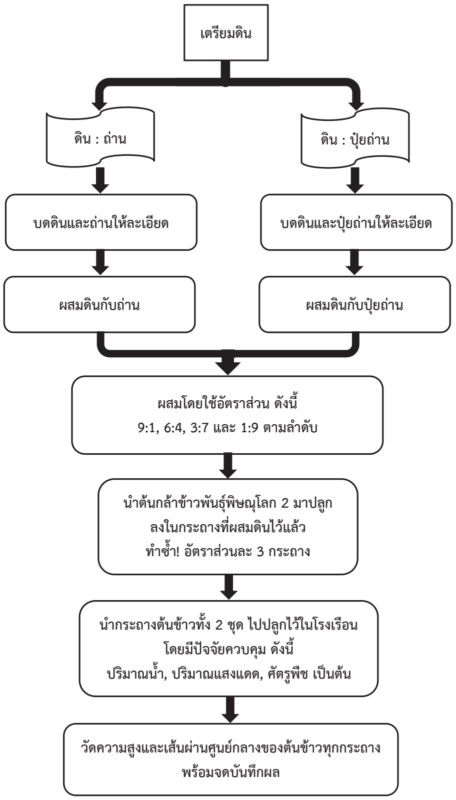
ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งประชาชนส่วนใหญ่มีฐานะยากจน การทำเกษตรกรรมจึงเป็นแหล่งรวมรายได้หลักเพื่อหาเลี้ยงชีพ ดังนั้นความอุดมสมบูรณ์จึงมีผลโดยตรงต่อปริมาณและคุณภาพ ในปัจจุบันเกษตรกรมีการใช้สารเคมีในการทำการเกษตรมากขึ้น ส่งผลให้ดินเสื่อมคุณภาพ เกิดสารตกค้างที่เป็นพิษกับธรรมชาติและสุขภาพของเกษตรกร และต้นทุนทางการเกษตรสูงขึ้น จึงเกิด “การทำถ่านชีวภาพ” ซึ่งได้รับการพิจารณาจากนักวิทยาศาสตร์ทั้งหลายว่ามีประโยชน์ในการเกษตรกรรม ด้วยคุณสมบัติที่มีสารคาร์บอนสูงและมีรูพรุนตามธรรมชาติ ช่วยให้สามารถรองรับน้ำและธาตุต่างๆ รวมถึงปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชแบบช้า ๆ ทำให้ลดการสูญเสียธาตุอาหาร การป้องกันจุลินทรีย์ที่อยู่ในดิน อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มการย่อยสลายและแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เอาไว้ในดิน[1] ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงได้ระดมความคิดและขอคำชี้แนะจากอาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อหาวิธีการลดปัญหาการใช้สารเคมีในการเกษตร โดยใช้แร่ธาตุที่เหลือจากการเผาถ่านในระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมมาดัดแปลงเป็นปุ๋ยชีวภาพ เพื่อฟื้นฟูคุณภาพดินลดสารตกค้างและเป็นผลดีต่อสุขภาพเกษตรกรอีกครั้ง ยังเป็นการลดต้นทุนทาง

วิธีการวิจัย

ตอนที่ 1 เผาถ่านเพื่อนำมาทำปุ๋ย

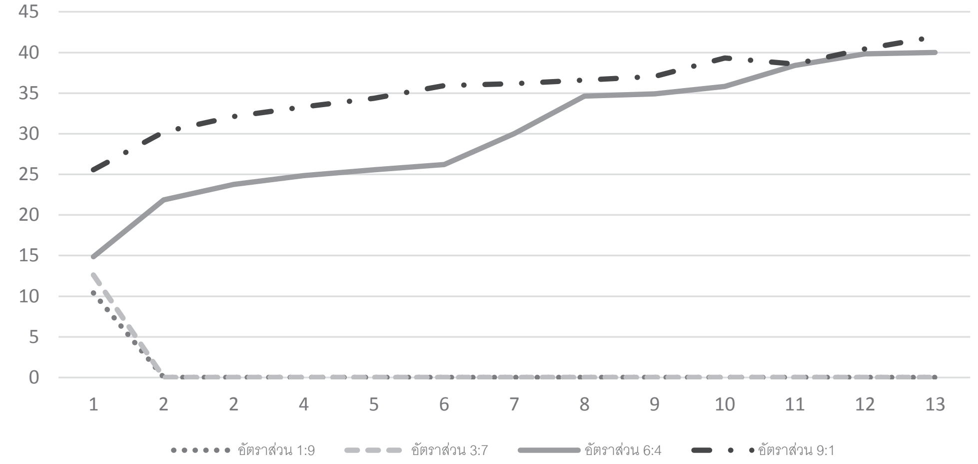


ตอนที่ 2 การปลูกข้าวตามอัตราส่วนระหว่างดินกับถ่านและดินกับปุ๋ยถ่าน

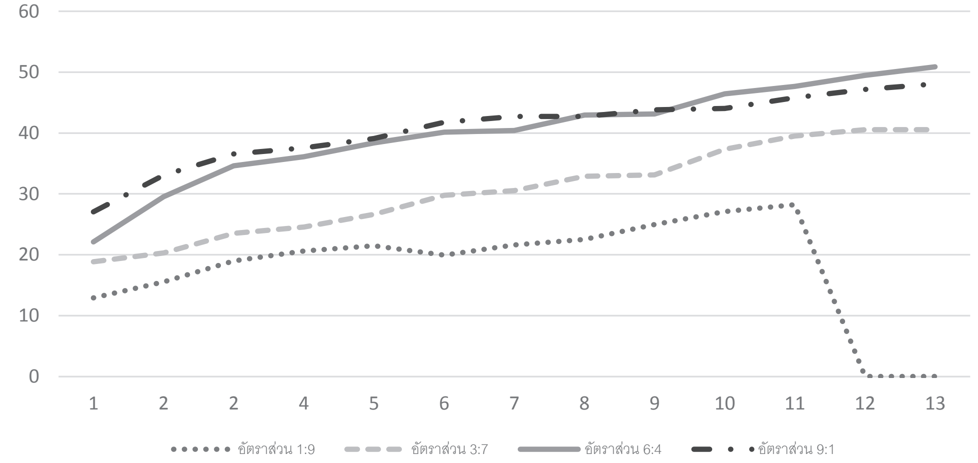


ผลการวิจัยและอภิปรายผล

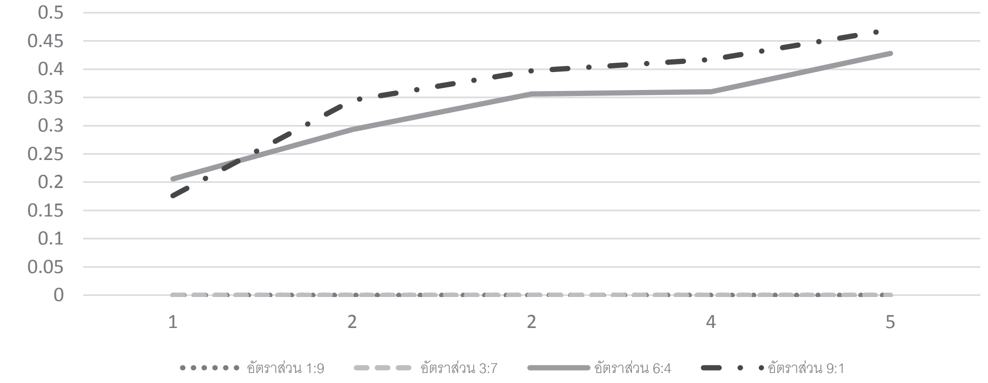
กราฟที่ 1 ค่าเฉลี่ยโดยรวมความสูงของต้นข้าว (cm.) อัตราส่วนระหว่าง ดิน:ถ่าน ที่แตกต่างกัน



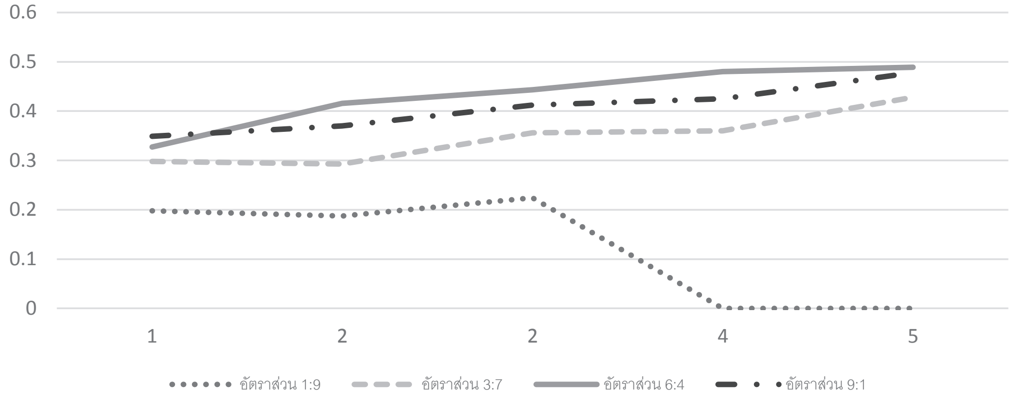
กราฟที่ 2 ค่าเฉลี่ยโดยรวมความสูงของต้นข้าว (cm.) อัตราส่วนระหว่าง ดิน:ปุ๋ยถ่าน ที่แตกต่างกัน



กราฟที่ 3 ค่าเฉลี่ยโดยรวมเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นข้าว (cm.) อัตราส่วนระหว่าง ดิน:ถ่าน ที่แตกต่างกัน



กราฟที่ 4 ค่าเฉลี่ยโดยรวมเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นข้าว (cm.) อัตราส่วนระหว่าง ดิน:ปุ๋ยถ่าน ที่แตกต่างกัน



คณะผู้วิจัยได้ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างดินต่อปุ๋ยถ่านที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าวได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้สำเร็จ โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลอง อัตราส่วนของดินต่อถ่าน คือ 9:1 6:4 3:7 และ 1:9 ผลการทดลองที่ได้เทียบกับผลตามทฤษฎีสรุปได้ว่า อัตราส่วน 9:1 ต้นข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 มีการเจริญเติบโตดีที่สุด ที่ความสูง 41.93 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาด 0.470 เซนติเมตร ซึ่งมีความใกล้เคียงกับทฤษฎี[2-4]

อัตราส่วนผสมระหว่างปุ๋ยถ่านกับดิน คือ 9:1 6:4 3:7 และ 1:9 ผลการทดลองการเจริญเติบโตของข้าวที่เจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่อัตราส่วน 6:4 ความสูง 50.87 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาด 0.489 เซนติเมตร รองลงมา คือ อัตราส่วน 9:1 ความสูง 47.07 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาด 0.478 เซนติเมตร และมีการเจริญเติบโตได้น้อยที่สุด คือ 3:7 ความสูง 40.56 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาด 0.428 เซนติเมตร ซึ่งมีความใกล้เคียงกับทฤษฎี[5-6]

จากผลการวิจัย พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของต้นข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 โดยการทดลองอัตราส่วนของดินต่อปุ๋ยถ่าน 9:1 6:4 3:7 และ 1:9 ต้นข้าวพันธุ์พิษณุโลก 2 ที่ปลูกในอัตราส่วนของดินต่อปุ๋ยถ่าน 6:4 เจริญเติบโตได้ดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยและพัฒนาการเรียนรู้ตามแนวพระราชดำริจากงบประมาณรายได้ประจำปี 2559 มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ขอขอบพระคุณที่ปรึกษาโครงการวิจัย คณาจารย์และเจ้าหน้าที่วิจัยจากคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม นักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์ชั้นปีที่ 5 คณะครุศาสตร์ ดังรายชื่อต่อไปนี้ นางสาวกนกกร ธีระกูล นางสาวกนกวรรณ คงสวัสดิ์ นางสาวกุลจิรา อย่างตระกูล นางสาวพัทธราพร หมีดง นางสาวอชิรญา สนอ่อง นางสาวอารีรัตน์ รอดทรัพย์ นายภานุพงศ์ มากกูล สถาบันเศรษฐกิจพอเพียง(โครงการจัดตั้ง) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร หน่วยงานราชการ และหน่วยงานเอกชนต่าง ๆ ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] พิชัย วงศ์หาญ. (2559). **ถ่านชีวภาพ (Biochar).** สืบค้นเมื่อ 26 พฤศจิกายน 2559. จาก http://www.ryt9.com/s/nnd/2700419.

[2] เกศศิรินทร์ แสงมณี. (2557). **การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมถ่านชีวภาพต่อคุณสมบัติทางเคมี.** สืบค้นเมื่อ 26 พฤศจิกายน 2559. จากhttp://www.kmutt.ac.th/jif/public_html/article_detail.php?ArticleID=136585.

[3] วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์ พลพินิจ และ ปรเมศ บรรเทิง. (2558). **การวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของการใช้ถ่านชีวภาพในอัตราที่แตกต่างกันร่วมกับปุ๋ยเคมีไนโตรเจนในข้าวไร่ก่อนปลูกอ้อยที่มีผลต่อกิจกรรมของมวลชีวภาพจุลินทรีย์.** สืบค้นเมื่อ 26 พฤศจิกายน 2559. จาก https://www.kku.ac.th/news/v.php?q=0009891&l=th.

[4] ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์. (2556). **การประยุกต์ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร.** สืบค้นเมื่อ 26 พฤศจิกายน 2559. จาก https://www.tcithaijo.org/index.php/socku/article/viewFile/79909/63747.

[5] กิตติธัช สัจจากุล. (ม.ป.ป.). **การผลิตถ่านไม้ไผ่คุณภาพสูงเพื่อพัฒนาเป็นถ่านกัมมันต์โดยใช้เตาเผาถ่านดัดแปลงจากถังน้ำมัน 200 ลิตร.** สืบค้นเมื่อ 26 พฤศจิกายน 2559. จาก http://conference.forest.ku.ac.th/iDocument/FORCON_20160415_210805.pdf.

[6] เสาวคนธ์ เหมวงษ์. (2557). **ผลของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่และแกลบต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดใช้ไนโตรเจนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1.** สืบค้นเมื่อ 26 พฤศจิกายน 2559. จาก http://www.kmutt.ac.th/jif/public_html/article_detail.php?ArticleID=136585.

การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน
Environmental and Potential Analysis Promotion of Biogas Technology for Community

อนุพล อัคพิน[1*] พิสิษฏ์ มณีโชติ[2] และอันธิกา เพชรี[3]
[1] สถาบันเศรษฐกิจพอเพียง(โครงการจัดตั้ง) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000
[2,3] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

บทความเรื่อง "การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน" มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT) การส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน ได้ทำการส่งเสริมในพื้นที่ หมู่ที่ 9 ต.ป่าแฝก อ.กงไกรลาส จ.สุโขทัย มีผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT)การส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน ประกอบด้วยการวิเคราะห์ปัจจัยภายใน ได้แก่ จุดแข็ง (Strengths) และจุดอ่อน(Weaknesses) ซึ่งจุดแข็ง คือ มีผู้นำชุมชนที่เข้มแข็ง กระตือรือร้น มีแนวคิดในการพัฒนาชุมชน และเอาใจใส่ปัญหาของชุมชนเป็นอย่างดี สมาชิกในชุมชนมีความร่วมมือ และสามัคคีกัน ในด้านจุดอ่อน คือ สมาชิกในชุมชนส่วนมากเป็นเพศหญิง จึงอาจยังไม่มีความรู้ในการซ่อมแซมอุปกรณ์เมื่อเกิดปัญหา ส่วนปัจจัยภายนอก ได้แก่ โอกาส (Opportunities) และอุปสรรค (Threats) โดยโอกาส คือ ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงาน ได้แก่ มหาวิทยาลัยนเรศวร พลังงานจังหวัดสุโขทัย บริษัท ปตท. จำกัด เป็นต้น ในส่วนของอุปสรรค คือ สภาวะอากาศฝนตกทำให้ไม่สามารถดำเนินการติดตั้งระบบได้ และมีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

คำสำคัญ: การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ การส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ ชุมชน

[*] Corresponding author: Tel.: 086-6323310. E-mail address: toomtamkrab@gmail.com

บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สำคัญ หนึ่งในต้นเหตุของการเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมนั้นมาจากการเลี้ยงสุกรและการทำปศุสัตว์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2559)[1] โดยการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการปศุสัตว์นั้น เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพนับเป็นแนวทางการแก้ไขปัญหา ที่สามารถลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด (VanLier และคณะ อ้างถึงในประทิน กุลละวณิชย์ และคณะ,2550)[2] เพราะนอกจากเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจะช่วยลดมลพิษในสิ่งแวดล้อมแล้วนั้น ก๊าซชีวภาพที่ได้ยังสามารถนำมาใช้แทนก๊าซหุงต้ม(LPG) และเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน และมูลสัตว์ที่ล้นออกมาก็สามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยชีวภาพได้อีกด้วย อีกทั้งยังสามารถช่วยลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศอันเนื่องมาจากการใช้พลังงานของประเทศไทยที่เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

การให้ชุมชนเข้ามามีส่วนร่วมในการผลิตก๊าซชีวภาพใช้ในครัวเรือนเพื่อแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เป็นการแก้ปัญหาที่จะทำให้เกิดผลสำเร็จ เนื่องจากกระบวนการการมีส่วนร่วมนั้น เริ่มตั้งแต่มีส่วนร่วมในการเรียนรู้สภาพและการดำเนินชีวิตของชุมชน ปัญหาของชุมชน ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมในชุมชน เพื่อเป็นข้อมูลในการร่วมกันวางแผนพัฒนาหรือดำเนินการขอความช่วยเหลือจากหน่วยงานภายนอก เพื่อให้มีส่วนร่วมในการรับผลประโยชน์จากงานพัฒนา รวมถึงติดตามและประเมินผลร่วมกัน (โกวิทย์ พวงงาม, 2551)[3]

พื้นที่หมู่ที่ 9 ต.ป่าแผก อ.กงไกรลาส จ.สุโขทัย มีการเลี้ยงสัตว์เป็นจำนวนมาก โดยมีโคขุน จำนวน 56 ตัว และฟาร์มสุกรขนาดใหญ่จำนวน 550 ตัว ได้ประสบปัญหาจากกลิ่น และน้ำเสียที่เกิดจากมูลสัตว์ ประกอบกับเจ้าของฟาร์มและชุมชนต้องการหาวิธีในการบริหารจัดการมูลสัตว์และของเสียที่เกิดขึ้นในฟาร์ม จึงได้เล็งเห็นถึงเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพที่เป็นแนวทางประยุกต์ใช้เพื่อจัดสรรทรัพยากร และส่งก๊าซชีวภาพผ่านท่อก๊าซไปยังครัวเรือนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียงเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนก๊าซหุงต้มในครัวเรือนได้ เพื่อการพัฒนาและเผยแพร่การก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพในรูปแบบชุมชนเพื่อนำของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ แทนก๊าซหุงต้ม(LPG) เพื่อลดรายจ่าย และสนับสนุนให้หมู่บ้านตระหนักในแนวคิดของการลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งภายนอก เน้นการพึ่งพาแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในชุมชนและลดกลิ่นเหม็น น้ำเสีย ที่เกิดจากมูลสัตว์ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นรบกวนภายในชุมชนอีกด้วย

การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน เพื่อให้ทราบถึงศักยภาพของชุมชน ถึงจุดแข็งและจุดอ่อนจากสภาพแวดล้อมภายใน มองเห็นโอกาสและอุปสรรคจากสภาพแวดล้อมภายนอก เพื่อสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาพัฒนาและปรับปรุงให้เกิดโครงสร้างของชุมชนที่แข็งแรงและเกิดความยั่งยืนในใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนในชุมชนต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT) การส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน ในพื้นที่หมู่ที่ 9 ต.ป่าแฝก อ.กงไกรลาส จ.สุโขทัย แบ่งกิจกรรมออกเป็น 4 กิจกรรม คือ

กิจกรรมที่ 1 : ประเมินศักยภาพพื้นที่และปริมาณของเสียเพื่อใช้ในการคัดเลือกเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสม และคัดเลือกครัวเรือนที่มีศักยภาพ มีปริมาณของเสียเพียงพอต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยได้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสม ผลการดำเนินงาน คือ มีการคัดเลือกครัวเรือนที่มีศักยภาพเหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพแต่ละรูปแบบได้จำนวน 7 ครัวเรือน รวมทั้งหมด 10 ระบบ ได้แก่

1) แบบฝาครอบลอย ขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร บ้านเลขที่ 14/3 นายมงคลชัย ชื่นจิตร จำนวน 1 ระบบ
2) แบบโอ่ง ขนาด 2 ลูกบาศก์เมตร บ้านเลขที่ 113 นางสด อยู่สบาย จำนวน 2 ระบบ บ้านเลขที่ 113/2 นางสาวทองสุข อยู่สบาย จำนวน 2 ระบบ บ้านเลขที่ 8/1 นายบุญมาก บุญรอด จำนวน 2 ระบบ และบ้านเลขที่ 8/2 นายทองพรม บุญรอด จำนวน 2 ระบบ
3) แบบถุง ขนาด 4 ลูกบาศก์เมตร บ้านเลขที่ 16 นางสาวดอกเนียม ศรีปรางค์ และบ้านเลขที่ 16/4 นางสาวเรณู ศรีปรางค์ จำนวน 1 ระบบ

ภาพที่ 1 การประเมินศักยภาพของพื้นที่

กิจกรรมที่ 2 : จัดฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพภาคปฏิบัติ โดยชุมชนมีส่วนร่วมในการสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพทุกขั้นตอน ผลการดำเนินงาน คือ มีการติดตั้งระบบหมักก๊าซชีวภาพในแต่ละครัวเรือนตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ คือ 7 ครัวเรือน จำนวน 10 ระบบ

ภาพที่ 2 จัดฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพภาคปฏิบัติอย่างมีส่วนร่วม

กิจกรรมที่ 3 : จัดฝึกอบรมวิธีการใช้บ่อหมักก๊าซจากชีวภาพอย่างถูกวิธี ได้แก่ การเติมมูลสัตว์ การสังเกตและเฝ้าระวังในระหว่างหมักก๊าซชีวภาพ การนำก๊าซชีวภาพและกากเหลือจากการหมักก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ รวมถึงการดูแลรักษาบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ผลการดำเนินงานทำให้ชาวบ้านมีความรู้ความเข้าเรื่องการใช้ระบบหมักก๊าซชีวภาพในแต่ละรูปแบบ รวมถึงการดูแลรักษาและแก้ไขหากระบบมีปัญหาหรือเกิดการชำรุด

ภาพที่ 3 จัดฝึกอบรมวิธีการใช้งานและวิธีการดูแลรักษาบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

กิจกรรมที่ 4 : ติดตามประเมินผลการใช้งานและปัญหาที่เกิดจากการใช้งานบ่อหมักก๊าซชีวภาพ ผลจากการดำเนินโครงการทำให้เกิดการขยายผลเป็นหมู่บ้านต้นแบบ “หมู่บ้านปลอด LPG ตามวิถีชุมชนพอเพียง” เป็นแหล่งเรียนรู้ด้านการจัดการพลังงานทดแทนในฟาร์มเลี้ยงสัตว์และได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐที่มีส่วนเกี่ยวข้องต่างๆ เช่น พลังงานจังหวัดสุโขทัย เป็นต้น

ภาพที่ 4 ติดตามประเมินผลการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในชุมชน

ผลการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ(SWOT)การส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน

	จุดแข็ง Strengths (S)	จุดอ่อน Weaknesses (W)
ปัจจัยภายใน	**ผู้นำชุมชน** มีความกระตือรือร้น มีแนวคิดในการพัฒนาชุมชน และเอาใจใส่ปัญหาของชุมชนเป็นอย่างดี **ความร่วมมือของชุมชน** สมาชิกในชุมชนพร้อมให้ความร่วมมือ และมีความสามัคคีกัน **สภาพชุมชน** มีทุนทางทรัพยากร(มูลสัตว์)เป็นวัตถุดิบตั้งต้นของเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ **ทัศนคติของชุมชน** สมาชิกในชุมชนมีความตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม เนื่องจากกลิ่นเหม็นจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ส่งผลต่อสภาพแวดล้อมในชุมชน จึงมีความพร้อมที่จะรับองค์ความรู้ใหม่เพื่อนำมาแก้ไขปัญหาและพัฒนาชุมชน	**สมาชิกในชุมชน** โดยส่วนมากเมื่อจัดกิจกรรมผู้ที่เข้าร่วมมักจะเป็นผู้หญิง บางกิจกรรมจึงดำเนินการได้ช้าเนื่องจากผู้เข้าร่วมส่วนมากขาดความรู้ด้านงานก่อสร้าง **อุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดกิจกรรม** วัสดุบางอย่างไม่สามารถหาได้ในท้องถิ่น ต้องหาจากพื้นที่ห่างไกลจึงมีค่าขนส่งตามมา ทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น
	โอกาส Opportunities (O)	อุปสรรค Threats (T)
ปัจจัยภายนอก	**ความร่วมมือจากหน่วยงานต่างๆ** ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงาน ได้แก่ มหาวิทยาลัยนเรศวร พลังงานจังหวัดสุโขทัย บริษัท ปตท. จำกัด เป็นต้น เพื่อแก้ไขปัญหาและพัฒนาชุมชน **ชุมชนอื่นๆในพื้นที่** เป็นหมู่บ้านต้นแบบ“หมู่บ้านปลอด LPG ตามวิถีชุมชนพอเพียง” จึงเป็นแหล่งเรียนรู้ด้านการจัดการพลังงานทดแทนในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เปิดให้ผู้ที่สนใจจากชุมชนอื่นๆมาศึกษาดูงาน	**สภาวะอากาศ** เมื่อมีฝนตกจะทำให้ไม่สามารถดำเนินการติดตั้งระบบได้ และมีผลต่อปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ **สภาพพื้นที่โดยรอบ** เป็นพื้นที่ราบลุ่มมักจะประสบปัญหาภาวะน้ำท่วม

สรุปผลการวิจัย

ผลการดำเนินการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน ในพื้นที่หมู่ที่ 9 ต.ป่าแฝก อ.กงไกรลาส จ.สุโขทัย แบ่งกิจกรรมออกเป็น 4 กิจกรรม คือ กิจกรรมที่ 1 ประเมินศักยภาพพื้นที่และปริมาณของเสียเพื่อใช้ในการคัดเลือกเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสม และคัดเลือกครัวเรือนที่มีศักยภาพ กิจกรรมที่ 2 จัดฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพภาคปฏิบัติ โดยชุมชนมีส่วนร่วมในการสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพทุกขั้นตอน กิจกรรมที่ 3 จัดฝึกอบรมวิธีการใช้บ่อหมักก๊าซจากมูลสัตว์อย่างถูกวิธี รวมถึงการดูแลรักษาบ่อหมักก๊าซจากมูลสัตว์ และกิจกรรมที่ 4 ติดตามประเมินผลการใช้งานและปัญหาที่เกิดจากการใช้งานบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

ผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ(SWOT)การส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน หมู่ที่ 9 ต.ป่าแฝก อ.กงไกรลาส จ.สุโขทัย นั้น มีปัจจัยภายในที่เป็นจุดแข็ง คือ ผู้นำชุมชนความกระตือรือร้น มีแนวคิดในการพัฒนาชุมชน และเอาใจใส่ปัญหาของชุมชนเป็นอย่างดี สมาชิกในชุมชนมีความร่วมมือ และสามัคคีกัน ชุมชนมีทุนทางทรัพยากร (มูลสัตว์)เป็นวัตถุดิบตั้งต้นของเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ และสมาชิกในชุมชนมีความตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม และมีความตั้งใจพัฒนาชุมชน มีปัจจัยภายในที่เป็นจุดอ่อน คือ โดยส่วนมากเมื่อจัดกิจกรรมผู้ที่เข้าร่วมมักจะเป็นผู้หญิง บางกิจกรรมจึงดำเนินการได้ช้าเนื่องจากผู้เข้าร่วมส่วนมากขาดความรู้ด้านงานก่อสร้าง วัสดุบางอย่างไม่สามารถหาได้ในท้องถิ่น ต้องหาจากพื้นที่ห่างไกลจึงมีค่าขนส่งตามมา ทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น ส่วนปัจจัยภายนอกที่เป็นโอกาส คือ ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงาน ได้แก่ มหาวิทยาลัยนเรศวร พลังงานจังหวัดสุโขทัย บริษัท ปตท. จำกัด เป็นต้น และเป็นหมู่บ้านต้นแบบ“หมู่บ้านปลอด LPG ตามวิถีชุมชนพอเพียง” จึงเป็นแหล่งเรียนรู้ด้านการจัดการพลังงานทดแทนในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เปิดให้ผู้ที่สนใจจากชุมชนอื่นๆมาศึกษาดูงาน อีกทั้งยังมีปัจจัยภายนอกที่เป็นอุปสรรค คือ เมื่อมีฝนตกจะทำให้ไม่สามารถดำเนินการติดตั้งระบบได้ และมีผลต่อปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ และพื้นที่โดยรอบเป็นพื้นที่ราบลุ่มมักจะประสบปัญหาภาวะน้ำท่วม

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย เรื่อง “หมู่บ้านบริหารจัดการด้านพลังงานทดแทนในฟาร์มเลี้ยงสัตว์อย่างมีประสิทธิภาพควบคู่กับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมชุมชน” หมู่บ้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สนับสนุนโดยกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีงบประมาณ 2559 ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะผู้ร่วมวิจัยทุกท่าน ตลอดจนพื้นที่หมู่ที่ 9 ต.ป่าแผก อ.กงไกรลาส จ.สุโขทัย และสมาชิกในชุมชนทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินกิจกรรมเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2559). **การจัดการมูลสุกรและน้ำเสียจากฟาร์มสุกร.** สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2560, จาก http://www.pcd.go.th/Info_serv/water_swine.html

[2] โกวิทย์ พวงงาม. (2553). **การจัดการตนเองของชุมชนและท้องถิ่น.** กรุงเทพฯ: บพิธการพิมพ์.

[3] ประทิน กุลละวณิชย์, นันทิยา เปปะตัง, อรอมล เหล่าปิตินันท์, อรรณพ นพรัตน์, และภาวิณี ชัยประเสริฐ. (2550). ภาพรวมเชิงสถานภาพและศักยภาพของเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพในประเทศไทย. **วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี**. 30(4), 693-699.

การนำเสนอผลงานวิจัย**ภาคบรรยาย**
Oral Presentations

Session

บูรณาการพลังงาน

การพัฒนาเครื่องทำน้ำร้อนแบบต่อเนื่องในอุตสาหกรรมอาหาร

THE DEVELOPMENT OF THE HOT WATER GENERATOR FOR FOOD INDUSTRIAL

วุฒิพงศ์ ไชยแสง[1*] ภาคภูมิ ศรีร่มรื่น[1] และสมมาส แก้วล้วน[1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 26120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องต้มน้ำร้อนแบบต่อเนื่องในอุตสาหกรรมอาหาร โดยตัวเครื่องสามารถบรรจุน้ำได้ 80 ลิตร โดยวัสดุทำจาก Stainless AISI 316 เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา การสร้างเครื่องมือแพทย์ เนื่องจากมีความทนทานต่อการเป็นกรดสูง ทนอุณหภูมิได้สูง ไม่มีความเป็นแม่เหล็ก แต่เป็นวัสดุที่นำความร้อนได้ไม่ดี ทำให้ปกติในอุตสาหกรรมจะทำน้ำร้อนโดยการทำไอน้ำจากหม้อต้มไอน้ำแล้วนำไอน้ำนั้นมาพ่นใส่ไปในน้ำเย็นปกติเพื่อให้ได้น้ำร้อน ซึ่งจากลักษณะนี้จะมีการศูนย์เสียพลังงานมากในขบวนการผลิตน้ำร้อน ทั้งจากขั้นตอนการผลิตไอน้ำ การส่งไอน้ำมาใช้งาน และการสูญเสียความร้อนจากการผลิตน้ำร้อนเอง

งานวิจัยนี้ออกแบบเครื่องทำน้ำร้อนแบบต่อเนื่องเปรียบเทียบกับการต้มน้ำแบบไดเร็คเพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องต้มน้ำทั้งสองแบบ แล้วนำมาเปรียบเทียบความสูญเสียรวม เปรียบเทียบการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต และเปรียบเทียบราคาต่อหน่วยผลผลิต เพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานที่สูญเสียจากขบวนการที่ได้กล่าวไปเครื่องทำน้ำร้อนแบบต่อเนื่องนี้ได้ทำการออกแบบถังความดันผนังบาง ส่วนแลกเปลี่ยนความร้อนแบบทรงกระบอกกลวง รวมถึงทำแบบระบบปิด และมีการหุ้มฉนวนกันความร้อน เพื่อลดอัตราการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอก สามารถจ่ายน้ำได้ 200 ลิตร/ชั่วโมง โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนจากการทดลองพบว่าใช้เวลาในการต้มน้ำจากอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสให้น้ำมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการต้ม 25-30 นาทีสามารถจ่ายน้ำได้อย่างต่อเนื่องโดยอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 88 องศาเซลเซียส

ดังนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์เครื่องต้มน้ำร้อนนั้นมีค่าประสิทธิภาพประมาณ 74 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเครื่องต้มน้ำร้อนแบบไดเร็คสตรีมมีค่าประสิทธิภาพประมาณ 46.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกรรมวิธีการผลิตน้ำร้อนแบบที่พัฒนาขึ้น มีค่าประสิทธิภาพมากกว่า ถึง 27.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ประหยัดพลังงานได้มากกว่า และสามารถนำไปพัฒนาเป็นเครื่องต้นแบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคตได้

คำสำคัญ: เครื่องต้มน้ำร้อนแบบต่อเนื่องในอุตสาหกรรมอาหาร, สแตนเลส AISI 316, Heat exchanger

*Corresponding author: Tel.: 062-3062989. E-mail address: wut-engineer@hotmail.com

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการนำน้ำร้อนมาใช้ในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากเช่น ใช้ในกระบวนการผลิต การให้ความร้อนในการผลิตรวมถึงการทำความสะอาดอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้น้ำร้อนในหลาย ๆ ขั้นตอนการผลิตรวมถึงการทำความสะอาด โดยวิธีการต้มน้ำร้อนภายในอุตสาหกรรมนั้นมีหลัก ๆ อยู่ 2 วิธีคือ การต้มน้ำในภาชนะที่ใส่น้ำโดยตรงและการต้มน้ำโดยการใช้ไอน้ำใส่ไปที่น้ำโดยตรง โดยวิธีการต้มน้ำในภาชนะที่ใส่น้ำโดยตรงนั้นจะมีการสูญเสียความร้อนมาก เนื่องจากความร้อนที่ให้ไปกับภาชนะนั้นเป็นระบบเปิดทำให้มีการถ่ายเทความร้อนออกไปในบริเวณรอบ ๆ กระบวนการและในกรรมวิธีการต้มน้ำโดยการใช้ไอน้ำใส่ไปที่น้ำโดยตรงนั้นนิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากสามารถทำความร้อนให้กับน้ำได้ทันทีตามที่โรงงานอุตสาหกรรมต้องการแต่การผลิตน้ำร้อนด้วยไอน้ำนั้นมีข้อเสียคือในการผลิตน้ำด้วยไอน้ำโดยตรงนั้นต้องสูญเสียพลังงานในการผลิตไอน้ำเป็นจำนวนมากและต้องมีการควบคุมความดันให้เพียงพอในกระบวนการผลิตและมีการสูญเสียความร้อนจากกระบวนการต้มน้ำด้วยไอน้ำด้วย ทำให้มีการเสียค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานมาก

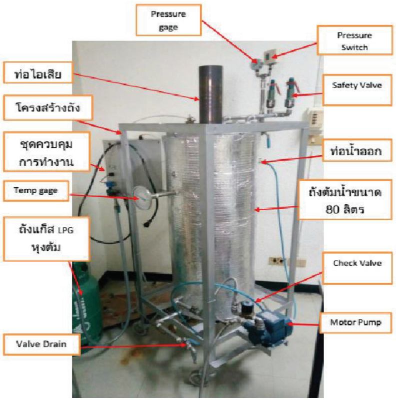
เพราะฉะนั้นในโครงการนี้จึงมีความคิดที่จะออกแบบอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนกับน้ำ ซึ่งจะทำในระบบปิดและมีการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันการเกิดความร้อนสูญเสียจากกระบวนการโดยเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนด้วยเปลวไฟจากแก๊สไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้ได้น้ำร้อนที่ไหลต่อเนื่องและยังสามารถควบคุมอุณหภูมิใช้งานของน้ำร้อนได้ง่ายจากการควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้และการควบคุมการไหลของน้ำร้อน-เย็นมาผสมกันให้ได้อุณหภูมิของน้ำ

ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์ดังกล่าวมีการผลิตในต่างประเทศและมีการนำเข้ามาจำหน่ายในประเทศ แต่เป็นลักษณะของการใช้งานทั่วไปไม่ใช่สำหรับการใช้ในอุตสาหกรรม และการผลิตน้ำร้อนที่จะใช้ในอุตสาหกรรมอาหารนั้นต้องยังต้องทำแบบกระบวนการใช้ไอซึ่งมีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนและมีการสูญเสียพลังงานในการผลิต อีกอย่าง น้ำสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งต้องการน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 90 – 100 °c และสำหรับอุตสาหกรรมอาหารก็ไม่สามารถเอามาใช้งานได้ทั้งหมด เนื่องจากท่อที่ใช้ทั่วไปมักจะเป็นเหล็กหรือทองแดง ซึ่งไม่ได้มาตรฐานตามข้อกำหนดของการผลิตอาหาร ที่กำหนดให้ใช้ สแตนเลส AISI 316 เป็นโลหะที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร

วิธีการวิจัย

การออกแบบอุปกรณ์และชุดทดลอง

ทดสอบหม้อต้มน้ำร้อนที่พัฒนาขึ้น เทียบกับ หม้อต้มน้ำแบบ วิธีไดเร็คสตรีม



ภาพที่ 1 อุปกรณ์และส่วนประกอบของหม้อต้มน้ำที่พัฒนาขึ้น

ขั้นตอนทดลองการต้มน้ำที่พัฒนาขึ้น

เปิด Switch เครื่องทำน้ำร้อนอัตโนมัติแบบต่อเนื่องสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องทำงานโดยเริ่มจากการปั๊มน้ำเข้า เมื่อถึง 80 ลิตร ที่ระดับของ Level Sensor จะทำการหยุดการปั๊มน้ำทันที เมื่อปั๊มหยุดการทำงาน หัว Burner จะทำงานจุดระเบิด LPG เพื่อให้ความร้อนแก่น้ำที่อยู่ภายในถัง ใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350-XL วัดปริมาณก๊าซแต่ละชนิด หลังจากต้มน้ำถึง 90 °C การเผาไหม้แก๊ส LPG จะหยุดลง และหากทำการจ่ายน้ำออกจากเครื่องถึงระดับของ Level Sensor การปั๊มน้ำและการจุดระเบิด LPG อีกครั้ง หลังจากใช้เครื่องเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการปล่อยน้ำที่ไม่ใช้ออก และทำงานชั่งน้ำหนักของถังLPGเพื่อวัดปริมาณแก๊สที่ใช้ ตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำขาออกโดยใช้ Thermocouple เพื่อนำไปวิเคราะห์ Energy balance

ภาพที่ 2 อุปกรณ์และส่วนประกอบของหม้อต้มน้ำแบบไดเร็คสตรีม

ขั้นตอนทดลองการต้มน้ำแบบไดเร็คสตรีม

ทำการทดสอบการต้มน้ำแบบวิธีไดเร็คสตรีม โดยการต้มน้ำให้เดือดจนได้ไอน้ำ แล้วนำไอน้ำที่ได้ไปพ่นลงผสมกับน้ำที่เตรียมไว้ในปริมาณที่เท่ากันให้ได้อัตราการไหลที่จะนำไปใช้ หรือปริมาณที่กำหนด และตรวจสอบการทำงานของเครื่อง ปั๊มน้ำจะส่งน้ำเข้าสู่หม้อไอน้ำโดยอัตโนมัติและจะหยุดเมื่อถึงระดับที่ตั้งไว้ Blower จะทำการเป่าเพื่อไล่ลมและก๊าซที่ตกค้างอยู่ออกให้หมดในห้องเผาไหม้ และเตรียมผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยอัตราส่วน A/F ratio 15.32:1 (by weight) Burner จะเริ่มทำงานโดยอัตโนมัติ และจ่ายไอน้ำเปล่าสักระยะเพื่ออุ่นท่อจ่ายไอน้ำ และอยู่ในสภาวะ Steady State จ่ายไอน้ำเข้าสู่ถังน้ำเย็น ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำเป็นระยะจนกว่าจะ 90 ℃ ให้ทำการจับเวลาในส่วนของน้ำมัน ระหว่างนั้นบันทึกผลปริมาตรน้ำมันที่ลดลงแล้วทำการบันทึกเวลาที่ใช้ ส่วนปั๊มให้จับเวลาเมื่อ Feed pump ทำงานครบ 1 รอบและทำการบันทึกเวลาที่ใช้ นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับการต้มน้ำแบบต่อเนื่องที่พัฒนาขึ้น

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดลองวิธีไดเรคสตรีม

เมื่อค่าพลังงานด้านสูง (HHV) ของ Diesel คือ 44.8 MJ/kg และมีการสูญเสียพลังงานจากการถ่ายเทความร้อนไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการสูญเสียไอน้ำ การนำและการพาความร้อน ออกจากถังบรรจุน้ำ รวมถึงการสูญเสียจากอุปกรณ์จ่ายไอน้ำอีกด้วย

ตารางที่ 1 ตารางสรุปผลการทดลองวิธีไดเร็คสตรีม

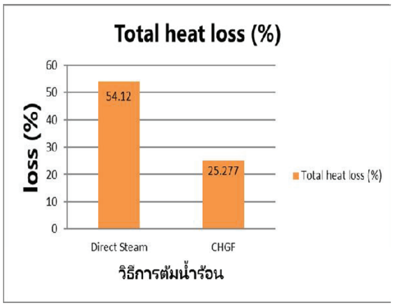
Order	m,w(in) (kg)	m,w(out) (kg)	m,(steam) (kg)	m,s(loss) (kg)	m,fuel used (kg)	Time(min)	Heat loss (%)	Sec(Mj/kg)
ครั้งที่ 1	50.00	58.22	12.18	3.96	0.68	31.12	51.83	0.52
ครั้งที่ 2	50.00	58.91	13.56	4.65	0.89	51.38	56.02	0.68
ครั้งที่ 3	50.00	59.00	13.14	4.14	0.91	44.91	54.51	0.69
Average	50.00	58.71	12.96	4.25	0.83	42.47	54.12	0.63

ผลการทดลองจากการวิเคราะห์ไอเสียของหม้อต้มแบบไดเร็คสตรีม

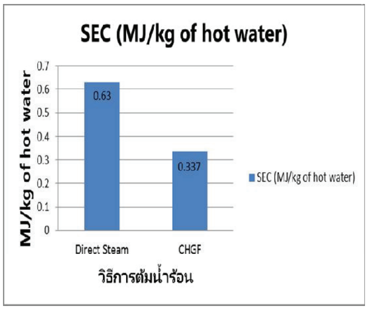
การทดลองในครั้งนี้เพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องรวมถึงวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย จากการทดลองพบว่า มีก๊าซ O2 , CO มากเกินไป ซึ่งบ่งบอกว่าใช้อากาศมากไปและ CO ยังส่งผลต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก โดยต้องทำให้ CO ไม่มีเลยหรือมีน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ รวมถึงก๊าซ CO2 น้อยเกินไป บ่งบอกถึงการเผาไหม้ที่ไม่ดีและมีค่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียต่ำกว่าค่าออกแบบได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 2 ผลจากการวิเคราะห์ไอเสียด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย TESTO 350-XL

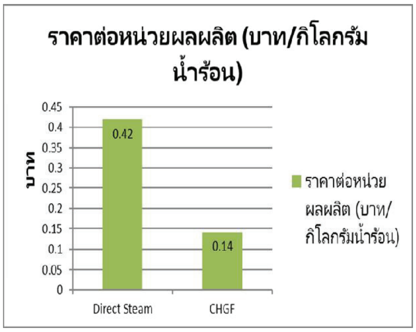
ครั้งที่/Gas	O2 (%)	CO[ppm]	CO2 (%)	Fuel Temp(°C)
1	15.94	18.00	4.48	461.30
2	15.91	17.00	4.46	462.90
3	13.43	20.00	6.64	587.40
4	8.89	4.00	10.86	728.60
5	5.91	4.00	13.21	811.40
6	5.75	1.00	13.35	813.70



ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบความสูญเสียรวม



ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต



ภาพที่ 5 กราฟเปรียบเทียบราคาต่อหน่วยผลผลิต

ผลการทดลองจากการใช้งานอย่างต่อเนื่อง 2 ชั่วโมง

ในการทดลองนี้เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำร้อนและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ ซึ่งต้องการอุณหภูมิที่ 90 °C และกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 88 °C โดยให้ทำงานต่อเนื่อง และวัดที่ Steady state และไม่คิดช่วง Start up

สมดุลพลังงานเครื่องทำน้ำร้อนแบบที่พัฒนาขึ้นจากผลการทดลอง กำหนดให้อัตราการผลิตน้ำร้อน 169.17 kg/hr ที่ความดันบรรยากาศ, 90 °C น้ำที่ป้อนที่ความดันบรรยากาศ, 30 °C และใช้ LPG เป็นเชื้อเพลิง ค่า HHV = 50.152 MJ/kg ป้อนเข้าด้วยอัตรา 1.134 kg/hr ส่วนปริมาณอากาศแห้งที่ใช้ เผาไหม้ (ma) 15.5 kg/kg of lpg และค่าความชื้นจำเพาะของอากาศ (ω) 0.013 kg/kg of dry air ที่อุณหภูมิอากาศ 27 °C ภายในเตามี อุณหภูมิไอเสียในปล่อง 800 °C และ ความดันบรรยากาศกำหนดที่ 101.3 kPa การวิเคราะห์ส่วนผสมเชิงมวล (LPG = Propane + Butane) C = 0.823 H = 0.176 ผลการวิเคราะห์ไอเสีย CO2 = 13.35 % CO = 0.0001 % O2 = 5.75 % กำหนดให้มีความชื้น 5% ได้ผลการวิเคราะห์พลังงานในส่วนต่างๆดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์พลังงานในส่วนต่างๆ

ผลการวิเคราะห์ค่าต่างๆ	ปริมาณที่ได้
พลังงานที่น้ำป้อนได้รับ (e_1)	37,475.481 kJ/kg of LPG (74.723%)
ความร้อนในไอเสียแห้ง (e_2)	11,576.19 kJ/kg of LPG (23.082%)
ความร้อนที่ทำให้ความชื้นในไอเสียกลายเป็นไอดง (e_3)	202.37 kJ/kg of LPG (0.404%)
ความร้อนที่ทำให้ความชื้นในไอเสียกลายเป็นไอดง (e_4)	292.82 kJ/kg of LPG (0.583%)
สูญเสียจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ (e_5)	0.176 kJ/kg of LPG (0.00035%)
สูญเสียจากการถ่ายเทความร้อนที่ผิว (e_6)	604.963 kJ/kg of LPG (1.206%)
ประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อน (η_CHGF)	74.4 %
Specific energy consumption (SEC)	0.337 MJ/kg of hot water

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบถังความดันเครื่องทำน้ำร้อนอัตโนมัติแบบเนื่องในอุตสาหกรรมอาหาร รวมถึงทดลองเพื่อตรวจสอบและหาจุดปรับปรุง รวมถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่อง โดยมีข้อกำหนดคือ วัสดุที่ใช้สร้างเครื่องคือStainless AISI 316 , อุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้ 90 °c และมีอัตราการไหลสูงสุดที่ประมาณ 300 ลิตร/ชั่วโมง หรือ 5 ลิตร/นาที โดยคาดหวังว่าจะเครื่องทำน้ำร้อนอัตโนมัติแบบต่อเนื่องในอุตสาหกรรมอาหารนี้จะเป็นประโยชน์ในฐานะเครื่องต้นแบบ และเกิดการพัฒนาต่อไป ซึ่งผลที่ได้สรุปได้ดังนี้

หลังจากได้ทำการปรับอัตราส่วนเชื้อเพลิง พบว่าใช้เวลาในการต้มน้ำใช้เวลาน้อยลง ใช้ปริมาณ LPG น้อยลง และการทดลองการพ่นไอน้ำกับน้ำโดยตรงพบว่า มีการสูญเสียพลังงานมาก เนื่องจากเป็นระบบเปิดทำให้เกิดการสูญเสียไอน้ำจากการผสมไม่สมบูรณ์ลอยสู่บรรยากาศ นอกจากนั้น ยังมีการถ่ายเทความร้อนรอบๆถังบรรจุ และจากการทดลองยังพบว่า เครื่องทำน้ำร้อนอัตโนมัติแบบที่พัฒนาขึ้นมีระบบปิด แต่ประสิทธิภาพไม่สูงมากนัก เนื่องมากจากมีความร้อนสูญเสียมาก โดยเฉพาะท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ให้ก๊าซไอเสียวิ่งนั้น ถูกทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ถึง 23.08% แต่เมื่อเทียบกับการต้มน้ำโดยวิธีไดเร็คแล้วนั้น มีการสูญเสียพลังงานระหว่างการผลิตน้อยกว่าวิธีไดเร็คสตรีม ส่งผลให้การต้มน้ำโดยใช้เครื่องทำน้ำร้อนอัตโนมัติแบบต่อเนื่องในอุตสาหกรรมมีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตน้อยกว่าวิธีการไดเรคสตรีม ถึง 46.5%

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาคภูมิ ศรีรมรื่น และ อาจารย์ ดร.สมมาส แก้วล้วน ซึ่งเป็นที่ปรึกษาของโครงงานวิศวกรรมนี้ ที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆ ความช่วยเหลือในเรื่องงบประมาณ จัดเตรียมอุปกรณ์เพื่อทำการทดลอง และได้ความช่วยเหลือในเรื่องอุปกรณ์การทดลอง จนกระทั่งโครงงานนี้ประสบความสำเร็จในที่สุดผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ผู้วิจัยทำขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกๆท่านที่อบรวมสั่งสอนแนะนำและให้ความรู้แก่ผู้จัดทำ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างสูงที่มีส่วนทำให้งานวิจัยมีคุณค่ามากยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่อำนวยความสะดวก และให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำจนทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณสำหรับกำลังใจ การสนับสนุนและส่งเสริมในทุกๆด้าน จนทำให้มีการวิจัยฉบับนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยฉบับนี้ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

[1] Munson, Young, Okiishi and Huebsch. (2010). Fundamentals of fluid mechanic. (6th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons

[2] Webb, R. L. (1992). Principles of Heat Transfer, John-Wiley & Sons, New York, USA

[3] Thomas, Robert and Kao (1998), Standard handbook of Power plant Engineering. (2nd ed.) McGraw-hill, United States. [4] Scherer, H.W. (2001). Sulphur in crop production-invited paper1. European Journal of Agronomy.14 (3), 81-111.

[4] กรมควบคุมมลพิษ. เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับประเทศไทย. จากกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เวปไซด์: www.pcd.go.th/info_serv/air_aqi.htm

[5] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. เหล็กกล้าไร้สนิมในอุตสาหกรรมอาหาร. จากศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร เวปไซต์ : http://www.foodnetworksolution.com

[6] North American Stainless. Stainless steel AISI 316: Properties. From http://www.northamericanstainless.com/wp-content/uploads/2010/10/Grade-316-316L1.pdf

[7] American Society of Mechanical Engineer (ASME). Rules for construction of pressure vessels code. From https://www.nationalboard.org/SiteDocuments/NBIC/08errata.pdf

[8] International Journal of advanced Engineering research and studies. Design of pressure vessel using ASME code, Section VIII, Division 1. From http://www.technicaljounalsonline.com/ijaer/VOL%20I/IJAERS%20VOL%20I%20ISSUE%20IIJANUARY%20MARCH%202012/IJAERS%.2096.pdf.

[9] Argonne National Laboratory. Lower and Higher Heating Values of Gas, Liquid and Solid Fuels. From www.greet.es.anl.gov

[10] Overall heat transfer coefficients. Average overall heat transmission coefficients for some common Fluids and heat exchanger surface. Fromhttp://www.engineeringtoolbox.com/overall-heat-Transfer-coefficients-d_284.html

[11] บริษัท ทิมฟู้ด จำกัด, ขั้นตอนการดำเนินงาน เรื่องการควบคุมการปฏิบัติเรื่องการอนุรักษ์พลังงาน, 2554.

RE
002

ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานเพื่อบ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของการผลิตถุงมือยาง

Energy performance index (EnPI) to indicate the energy efficiency of rubber gloves production.

พงศกร เกิดช้าง[1*] ชานนท์ บุญมีพิพิธ[1] ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร[1]

[1] วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑล สาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

* pkerdchang@rmutr.ac.th, 081-6659339, โทร. 02 441 6062 โทรสาร 024416065

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการผลิตสิ่งของเครื่องใช้ด้านสุขอนามัยหรือเภสัชกรรมที่ทำจากยาง สามารถแบ่งผลิตภัณฑ์หลักได้ 2 ชนิด คือ ถุงมือยาง และถุงยางอนามัย โดยทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์จะใช้วัตถุดิบ คือ น้ำยางธรรมชาติ และน้ำยางสังเคราะห์ สำหรับผลิตภัณฑ์ถุงมือยางมีการใช้พลังงานทั้งด้านไฟฟ้า และความร้อน โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ค่อนข้างมีความหลากหลาย ทั้งเชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลว และก๊าซ ได้แก่ Wood chip, Bituminous Coal, กะลาปาล์ม, ใยปาล์ม, Wood Pellet, น้ำมันเตา C, LPG และ NG โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า และความร้อน (ข้อมูลจากจำนวนโรงงาน 3 แห่ง) ดังนี้ พลังงานไฟฟ้า 8.27% และพลังงานความร้อน 91.73%

การใช้สมการในการพิจารณาค่าพลังงานจำเพาะ และค่าดัชนีการใช้พลังงานจะส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และจากการจัดทำสมการที่ผ่านมาทุกสมการมีค่า $R^2>0.75$ ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ โดยที่ค่าดัชนีการใช้พลังงาน ของการใช้ไฟฟ้าค่า R^2 = 0.9671 ค่าดัชนีการใช้พลังงาน ของการใช้ความร้อนค่า R^2 = 0.7821 และค่าดัชนีการใช้พลังงาน ของการใช้รวม R^2 = 0.7810 ส่วนสมการของค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้ไฟฟ้าค่า R^2 = 0.9195 ค่าพลังงานจำเพาะการใช้พลังงาน ของการใช้ความร้อนค่า R^2 = 0.8566 และค่าพลังงานจำเพาะการใช้พลังงาน ของการใช้รวม R^2 = 0.8609

พงศกร เกิดช้าง โทร. 081-6659339 E-mail: pongsakorn.kerd@rmutr.ac.th

Abstract

Industrial hygiene equipment or pharmaceutical industry uses rubber as raw material. The main products can be divided into 2 types such as rubber gloves and condoms. Both of them used natural latex and synthetic latex as raw material. Rubber gloves have used both electricity and heat for production. From the three case studies, it was found that various types of fuel were used to generate energy such as woodchip, bituminous coal, palm shell, palm fiber, wood pellet, fuel oil (type C), Liquid petroleum gas (LPG), and natural gas (NG). The share of electricity and heat are as follows: Electricity 8.27% and Heat 91.73%.

To enhance the energy efficiency, this study used the equation to determine the specific energy consumption. From the result, it found that every equation has $R^2 > 0.75$ which can accept for application. The energy usage Index of electricity, heat, and total energy consumptions have R^2 equal to 0.9671, 0.7821, 0.7810, respectively. The equation of specific energy consumption of electricity, heat, and total energy have R^2 equal to 0.9195, 0.8566, 0.8609, respectively.

Keywords: Energy performance index (EnPI), Specific Energy Consumption, (SEC), Rubber gloves production,

ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน, ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ, การผลิตถุงมือยาง

บทนำ

ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน (Energy Performance Index, EnPI) เป็นปริมาณหรือตัวเลขที่ใช้ในการบ่งบอกประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกิจกรรมที่มีการใช้พลังงานใดกิจกรรมหนึ่งที่เป็นรูปธรรม โดยปกติมักจะใช้ในการเปรียบเทียบกับตัวเอง ในกรณีที่ต้องการดูว่าตัวเองมีการพัฒนาหรือปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานหรือไม่ หรือใช้ในการเปรียบเทียบกับผู้อื่น ในกรณีที่ต้องการดูว่าตัวเองมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานอยู่ในระดับต่ำ ปานกลางหรือสูงเมื่อเทียบกับผู้อื่นที่มีการดำเนินกิจกรรมในรูปแบบเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานจึงมีความสำคัญและถูกนำมาใช้ในการประเมินสมรรถนะด้านการใช้พลังงานในหลายระดับไม่ว่าจะเป็นในระดับประเทศ อุตสาหกรรม โรงงาน กระบวนการผลิตหรือแม้กระทั่งระดับอุปกรณ์ ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานมีอยู่หลากหลายรูปแบบ ที่นิยมนำมาใช้และรู้จักกันโดยทั่วไปมีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ 1. เป็นดัชนีชี้วัดที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ได้มา (Output) และสิ่งที่ให้เข้าไป (Input) อาทิเช่น ปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต ปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยวัตถุดิบ เป็นต้น ซึ่งแสดงถึงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการผลิตหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์นั้น หรือหนึ่งหน่วยวัตถุดิบนั้นที่เข้ามา และ 2.เป็นดัชนีชี้วัดที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานจริง (Actual Energy Consumption) กับปริมาณการใช้พลังงานฐานหรือที่ควรจะเป็น (Baseline Energy Consumption) ในช่วงระยะเวลาเดียวกันหรือปริมาณการผลิตเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้พลังงานจริงนั้นมีความแตกต่างหรือใกล้เคียงกับปริมาณการใช้พลังงานฐานหรือที่ควรจะเป็นมากน้อยขนาดไหน ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานทั้ง 2 รูปแบบมีนิยามและชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไปตามความคุ้นเคยและข้อมูลที่มีอยู่ในแต่ละโรงงานหรือแต่ละอุตสาหกรรม แม้กระทั่งกระบวนผลิตหรืออุปกรณ์ชนิด

เดียวกัน บางโรงงาน/อุตสาหกรรมก็ใช้ดัชนีชี้วัดที่แตกต่างกัน แต่ก็สามารถบ่งบอกถึงสมรรถนะด้านพลังงานได้เช่นกัน อาทิเช่น หม้อน้ำ บางโรงงานอาจจะใช้ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานในรูปแบบของประสิทธิภาพ (%) บางโรงงานใช้ตันไอน้ำที่ผลิตได้ต่อตันเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไป เป็นต้น ทั้งนี้และทั้งนั้น ไม่ว่าจะเป็นดัชนีชี้วัดในรูปแบบใด ยังคงอยู่บนพื้นฐานหลักการข้างต้นเดียวกัน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC), [1]

ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ เป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ (Input) และปริมาณผลผลิตที่ได้ (Output) ในช่วงเวลาเดียวกัน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$SEC = \frac{Energy}{Product} \qquad (1)$$

โดย Energy หมายถึงพลังงานที่ใช้ทั้งหมดภายในโรงงาน ทั้งพลังงานตั้งต้นที่ซื้อจากภายนอกขอบเขตของโรงงาน พลังงานทดแทนที่ผลิตได้เองในโรงงาน (พลังงานลม พลังงานอาทิตย์ ฯลฯ) และพลังงานที่ผลิตขึ้นได้เองภายในโรงงานจากวัสดุเหลือทิ้ง (Biomass/Biogas) จากกระบวนการผลิต ไม่รวมการนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ (Waste Heat Recovery) เพราะเป็นพลังงานตั้งต้นเดิมที่คิดไปแล้ว ถึงแม้ว่าจะมีการแปลงความร้อนดังกล่าวให้อยู่ในรูปพลังงานอื่นก็ตาม เช่น เปลี่ยนความร้อนเหลือทิ้งเป็นพลังงงานไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งแตกต่างจากกรณีของพลังงานที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้ง ที่จะต้องมีการเผาไหม้ใหม่ก่อนนำไปใช้ ไม่ได้อยู่ในรูปของพลังงานตั้งแต่ต้น

ส่วน Product หมายถึงผลิตภัณฑ์หรือสินค้าที่ได้จากกระบวนการผลิตสุดท้ายของโรงงาน ในกรณีที่มีการขายผลิตภัณฑ์ขั้นกลางออกจากขอบเขตโรงงาน ก็ให้นำพิจารณาด้วย อาทิเช่น โรงงานมีกระบวนการผลิต 2 ขั้นตอน ผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนที่ 1 จะถูกส่งไปยังขั้นตอนที่ 2 เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย แต่ผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนที่ 1 สามารถขายออกนอกโรงงานได้ด้วย ก็สามารถนำผลิตภัณฑ์จากขั้นตอนที่ 1 ที่ขายได้มาพิจารณาด้วย เป็นต้น ทั้งนี้ ไม่รวมผลิตภัณฑ์ที่เสียหายหรือชำรุดที่ไม่สามารถขายได้หรือต้องทำลายทิ้ง หรือเศษวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ถึงแม้ว่าจะมีการนำออกนอกขอบเขตของโรงงานเช่นกัน อาทิ เปลือก กาก น้ำเสีย เป็นต้น หรือในกรณีที่โรงงานสามารถผลิตไฟฟ้าหรือความร้อนเพื่อขายเป็นผลพลอยได้ ก็ไม่นำไฟฟ้าหรือความร้อนดังกล่าวมาพิจารณาร่วมด้วย

สมการดัชนีชี้ด้านพลังงานจากผลการวิเคราะห์ สมการดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานของโรงงานมีรูปแบบสมการที่ 2

$$SEC = C_1X_1 + C_2X_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ C_nX_n \qquad (2)$$

เมื่อ

x_1- x_n คือ ตัวแปรใดๆ ของผลกระทบในการใช้พลังงาน

C_1- C_n คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่เกิดจากผลกระทบในการใช้พลังงาน

ค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Energy Usage Index, EUI), *[2]*

ค่าดัชนีการใช้พลังงาน เป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้จริง (Actual Energy Consumption, AEC) และปริมาณพลังงานฐานหรือที่คาดว่าจะใช้ (Baseline Energy Consumption, BEC) ในช่วงเวลาเดียวกัน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$EUI = \frac{AEC - BEC}{BEC} \qquad (3)$$

พลังงานในที่นี้เป็นความหมายเดียวกันกับพลังงานในการคำนวณค่า SEC AEC คือปริมาณการใช้พลังงานจริงซึ่งได้จากการตรวจวัด มิเตอร์ ใบแจ้งหนี้ ฯลฯ ส่วน BEC เป็นปริมาณการใช้พลังงานที่ได้มาจากการคำนวณซึ่งอ้างอิงจากปีใดปีหนึ่งที่ใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบ EUI มีค่าเป็นบวก แสดงว่าในช่วงระยะเวลาที่ประเมิน มีปริมาณการใช้พลังงานสูงกว่าปีฐาน หรือมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานลดลง แต่ถ้า EUI มีค่าเป็นลบ แสดงว่ามีปริมาณการใช้พลังงานต่ำกว่าปีฐาน หรือมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงขึ้นนั่นเอง ทั้งนี้และทั้งนั้น ปริมาณการใช้พลังงานในช่วงใดช่วงหนึ่งมักจะมีการเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่ง BEC ที่ใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบก็ควรจะเปลี่ยนไปตามปัจจัยนั้นเช่นเดียวกัน BEC ในโครงการนี้จะถูกจัดทำขึ้นให้อยู่ในรูปแบบของสมการความสัมพันธ์ระหว่าง BEC กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ค่าที่สอดคล้องกับสภาพการผลิตจริง แทนการใช้ค่าเฉลี่ยหรือค่าคงที่ โดยจะแยกออกเป็นสมการ BEC ของพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนและพลังงานรวม การพัฒนาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง BEC กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จะใช้หลักการทางสถิติและการวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis) เช่นเดียวกับค่า SEC

หลักการทางสถิติและการวิเคราะห์สมการถดถอย

การพัฒนาสมการ SEC และ BEC ข้างต้นใช้หลักการทางสถิติและการวิเคราะห์สมการถดถอยในการหาความสัมพันธ์ระหว่าง SEC และ BEC กับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะต้องมีการกำหนดตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม การตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน หรือตัวแปรอิสระที่คัดเลือกมามีความเป็นอิสระต่อกัน หรือการตรวจวัดสอบความแม่นยำหรือความคลาดเคลื่อนของสมการที่ใช้ในการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแประอิสระและตัวแปรตามซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้งความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear) และไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ในการจัดทำดัชนีชี้วัดนี้ตัวแปรตามคือค่า SEC หรือ BEC ส่วนตัวแปรอิสระคือตัวแปรที่ส่งผลต่อ SEC และ BEC อาทิจำนวนผลิตภัณฑ์ ปริมาณการผลิตและหรืออัตราการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ ชนิดของเชื้อเพลิง ฯลฯ แตกต่างกันไปในแต่ละอุตสาหกรรม แต่ละโรงงาน เมื่อได้ตัวแปรตามตั้งต้นมาแล้วจึงทำการตรวจสอบทางสถิติดังกล่าวข้างต้นเพื่อสรุปตัวแปรสุดท้ายที่เกี่ยวข้อง พร้อมหาสมการความสัมพันธ์ที่จะนำใช้โดยพิจารณาค่าทางสถิติดังต่อไป

วิธีการวิจัย

ในการจัดทำดัชนีชี้วัดมีขั้นตอนในการดำเนินการโดยสรุปดังนี้

การดำเนินงานวิจัยนี้ ภายใต้วัตถุประสงค์ คือ 1.เพื่อประเมินศักยภาพในการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตที่เป็นมาตรฐาน 2.เพื่อเป็นแนวทางในการจัดทำนโยบายการผลักดันการทำดัชนีชีวัดการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรม 3.เพื่อใช้ในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานหรือแนวทางที่จะใช้ในการประเมินสมรรถนะของระบบการจัดการพลังงานภายใต้มาตรฐานของประเทศไทย โยมีรายละเอียดในการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นจากรายงานการจัดการพลังงานที่โรงงานนำส่งให้กับ พพ. เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล กำหนดขอบเขตและกำหนดตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลต่อการใช้พลังงานและหรือสมรรถนะการใช้พลังงานในการผลิตของโรงงาน รวมไปถึงคำถาม ข้อสงสัยและข้อมูลที่ต้องการเพิ่มเติมจากโรงงาน ในที่นี้ ใช้ข้อมูลเบื้องต้นจากรายงานการจัดการพลังงานปี 2557

2. นัดหมายและเข้าโรงงาน เพื่อชี้แจง เยี่ยมชมกระบวนการผลิต ตรวจวัดข้อมูล สอบถามความคิดเห็นที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหรือตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานและหรือสมรรถนะการใช้พลังงานในการผลิตของโรงงาน รวมไปถึงขอข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อนำมาใช้การวิเคราะห์ดัชนีชี้วัด

3. วิเคราะห์สมดุลมวลและสมดุลพลังงาน นำข้อมูลโรงงานและข้อมูลตรวจวัดมาวิเคราะห์สมดุลมวลและสมดุลพลังงานเพื่อกำหนดตัวแปรตั้งต้นสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยจะพยายามใช้ตัวแปรที่โรงงานมีการเก็บรวบรวมข้อมูลไว้อยู่เป็นประจำแล้วก่อน เพื่อลดภาระหรือการลงทุนติดตั้งเครื่องมือเพิ่มเติมของทางโรงงาน ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลหรือไม่สามารถตรวจวัดตัวแปรตั้งต้นตามที่ได้จากการวิเคราะห์ จะทำการวิเคราะห์จากข้อมูลเท่าที่มีก่อน ทั้งนี้ หากจำเป็นจะต้องใช้ข้อมูลของตัวแปรดังกล่าว อาจจะทำการติดตั้งเครื่องมือวัดเพิ่มเติม

4. จัดทำดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน วิเคราะห์และจัดทำสมการถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีชี้วัดและตัวแปรที่มีผลต่อดัชนีชี้วัด ซึ่งจะวิเคราะห์ทั้งสมการระหว่าง SEC กับตัวแปรที่มีผล และ BEC กับตัวแปรที่มีผล โดยใช้ตัวแปรตั้งต้นตามที่วิเคราะห์ไว้ตามข้อ 3 หลังจากนั้นจะใช้หลักการทางสถิติในการตรวจสอบและคัดเลือกตัวแปร รวมถึงการตรวจสอบความแม่นยำของสมการความสัมพันธ์ที่จัดทำขึ้น

5. นำเสนอผลการวิเคราะห์และค่าทางสถิติต่างๆที่ใช้ในการจัดทำดัชนีกับโรงงานเพื่อรับฟังความคิดเห็นและปรับปรุงสมการให้มีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้อย่างเป็นรูปธรรม รวมไปถึงการรับฟังความคิดเห็นด้านอื่นที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานในโครงการนี้จัดทำขึ้นทั้งรายแห่งและรายอุตสาหกรรม โดยรายงานของดัชนีชี้วัดรายแห่งได้ถูกจัดทำขึ้นและมอบต่อโรงงานแห่งนั้นโดยตรง ส่วนดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานที่ถูกนำเสนอในรายงานนี้เป็นดัชนี้วัดสมรถนะด้านพลังงานรายอุตสาหกรรม ซึ่งได้มาจากการนำข้อมูลรายแห่งของสถานประกอบการที่เข้าร่วมโครงการในกลุ่มอุตสาหกรรมนั้นๆ มาวิเคราะห์ร่วมกัน โดยใช้หลักการทางสถิติเป็นพื้นฐานเช่นเดียวกัน

การจัดทำปริมาณพลังงานฐาน (Baseline Energy Consumption, BEC) [1]

<u>กลุ่มโรงงานผลิตถุงมือยางที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง</u>

BEC เป็นปริมาณการใช้พลังงานฐานที่จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณค่า EUI ดังที่กล่าวถึง จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานและการผลิตแต่ละโรงงานมีปริมาณการใช้พลังงานแยกตามชนิดพลังงาน

$$\text{พลังงานไฟฟ้า (MJ)} = \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า}_{\text{ใบแจ้งหนี้}} \times 3.6 \text{ MJ/kWh}$$

$$\text{พลังงานความร้อน (MJ)} = \text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง} \times \text{LHV MJ/หน่วย}$$

$$\text{พลังงานรวม (MJ)} = \text{พลังงานไฟฟ้า (MJ)} + \text{พลังงานความร้อน (MJ)}$$

จากแนวคิดการจัดทำดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานโดยหลักการสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามซึ่งในที่นี้ก็คือปริมาณการใช้พลังงาน (ไฟฟ้า ความร้อน และรวม) และตัวแปรอิสระจะถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้สมการถดถอย จากการวิเคราะห์ขั้นต้นพบว่าตัวแปรอิสระตั้งต้นที่คาดว่าจะมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานประกอบด้วย

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์สมการถดถอย ของสมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับตัวแปรอิสระ

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยไม่เชิงเส้น จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีความสัมพันธ์กับพลังงานไฟฟ้าของโรงงานในระดับที่สูงมาก โดยสามารถทำนายพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 96.71 สมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับตัวแปรอิสระสามารถเขียนได้ดังนี้ โดยที่ x_1 คือ ปริมาณถุงมือยาง จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในโรงงาน (ชิ้น/เดือน) x_2 คือ ชั่วโมงการทำงาน จะเป็นเวลาการทำงานในโรงงาน (ชั่วโมง/เดือน) และ x_3 คือ อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)

$$EUI_{\text{ไฟฟ้า}} = 927,265,010 + 0.340x_1 + 455,049x_2 - 109,895,416x_3 - (3.267 * 10^{-6})x_1 * x_2 * x_3 - (7.421 * 10^{-9})x_1^2 - 689x_2^2 + 3,899,441x_3^2 + (8.111 * 10^{-18})x_1^3 + 0.353x_2^3 - 45,982x_3^3 - 3018 * 10^{-26}x_1^4$$

$$R^2 = 0.9671$$

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยไม่เชิงเส้น จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีความสัมพันธ์กับพลังงานความร้อนของโรงงานในระดับที่สูง โดยสามารถทำนายพลังงานความร้อนได้ร้อยละ 78.21 สมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนกับตัวแปรอิสระสามารถเขียนได้ดังนี้

$$EUI_{ความร้อน} = 123{,}970{,}027{,}905 - 127.225x_1 + 44{,}216{,}979x_2 \; -13{,}810{,}028{,}825x_3 + \; 0.000103x_1 * x_2 * x_3 - (2.596 \; * 10^{-6})x_1^2 \; -65{,}989x_2^2 + 483{,}460{,}150x_3^2 \; (2.331 * 10^{-14})x_1^3 \; +32.551x_2^3 -5{,}641{,}845x_3^3 -(7.651 * 10^{-23})x_1^4$$

$R^2 = 0.7821$

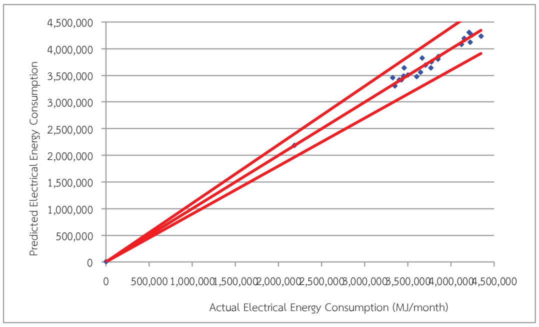
ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยไม่เชิงเส้น จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีความสัมพันธ์กับพลังงานรวมของโรงงานในระดับที่สูง โดยสามารถทำนายพลังงานรวมได้ร้อยละ 78.10 สมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้ารวมกับตัวแปรอิสระสามารถเขียนได้ดังนี้

$$EUI_{รวม} = 124{,}977{,}466{,}255 - 126.936x_1 + 44{,}683{,}127x_2 \; - 13{,}928{,}509{,}897x_3 - 0.00009992x_1 * x_2 * x_3 + (2.59 * 10^{-6})x_1^2 \; -66{,}695x_2^2 + 487{,}659{,}955x_3^2 \; (2.324 * 10^{-14})x_1^3 \; +32.912x_2^3 -5{,}691{,}328x_3^3 \; (7.624 * 10^{-23})x_1^4$$

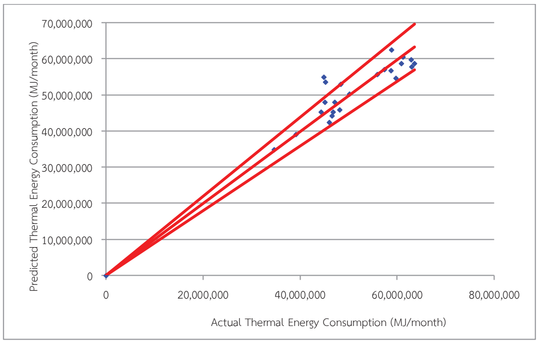
$R^2 = 0.7810$

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนาย (แกนตั้ง) จากสมการถดถอยที่จัดสร้างขึ้น เรียงลำดับจากพลังงานรวม พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทำนายส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ±10% และทุกสมการมีค่า R^2>0.75 ตามที่กำหนดไว้

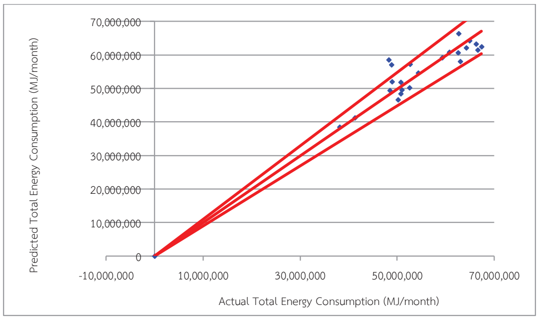
ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนาย (แกนตั้ง) จากสมการถดถอยที่จัดสร้างขึ้น $EUI_{ไฟฟ้า}$ $EUI_{ความร้อน}$ และ $EUI_{รวม}$



ภาพที่ 1 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนายของค่า $EUI_{ไฟฟ้า}$



ภาพที่ 2 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนายของค่า $EUI_{ความร้อน}$



ภาพที่ 3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนายของค่า **EUI**$_{\text{รวม}}$

การหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)

SEC เป็นดัชนีชี้วัดที่สามารถนำมาใช้ในการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยปกติจะอยู่ในรูปแบบของสัดส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ (Input) ต่อผลผลิตที่ได้ (Output) ซึ่งปริมาณการใช้พลังงานในที่นี้จะแบ่งออกเป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนและพลังงานรวม โดยใช้วิธีการคิดคำนวณแบบเดียวกับการจัดทำปริมาณพลังงานฐาน (BEC) ดังนั้น ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละรูปแบบ ในส่วนของผลผลิตหรือปริมาณการผลิตนั้น จะอ้างอิงจากผลการวิเคราะห์ของ BEC ซึ่งเห็นได้ว่า ผลผลิตที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานคือปริมาณการผลิต ดังนั้น ผลผลิตที่จะนำมาเป็นตัวหารในการคำนวณ SEC คือปริมาณถุงมือยางรวม ซึ่งจะทำให้ได้ SEC ดังนี้

สมการความสัมพันธ์ระหว่าง SEC กับตัวแปรอิสระ

$$SEC_{\text{ไฟฟ้า}} = -0.693 - (2.821 * 10^{-10})x_1 - (1.09 * 10^{-4})x_2 + (5.1509 * 10^{-2})x_3 - (3.859 * 10^{-14})x_1 * x_2 * x_3 + (4.809 * 10^{-18})x_1^2 + (1.67 * 10^{-7})x_2^2 - (8.39 * 10^{-4})x_3^2$$

$R^2 = 0.9195$

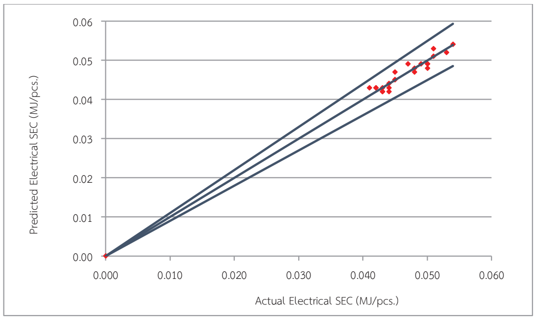
$$SEC_{\text{ความร้อน}} = 2.366 - (2.944 * 10^{-8})x_1 + 0.010568x_2 - 0.222062x_3 + (9.834 * 10^{-13})x_1 * x_2 * x_3 - (2.085 * 10^{-17})x_1^2 - (8.477 * 10^{-6})x_2^2 + (2.862 * 10^{-3})x_3^2$$

$R^2 = 0.8566$

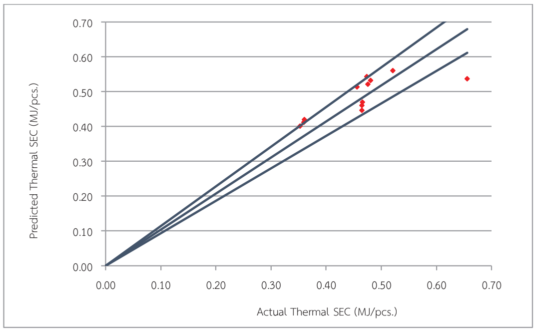
$$SEC_{\text{รวม}} = 2.112 - (2.988 * 10^{-3})x_1 + 0.010574x_2 - 0.204104x_3 + (9.354 * 10^{-13})x_1 * x_2 * x_3 - (1.399 * 10^{-15})x_1^2(8.38 * 10^{-6})x_2^2 + (2.619 * 10^{-3})x_3^2$$

$R^2 = 0.8609$

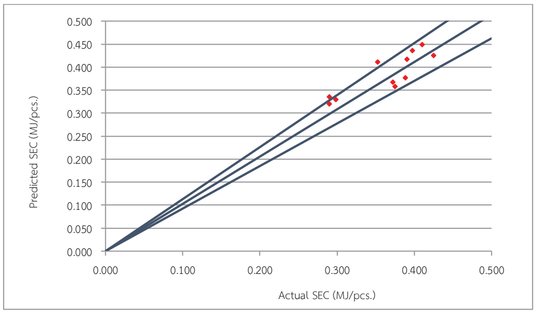
ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนาย(แกนตั้ง) จากสมการถดถอยที่จัดสร้างขึ้นของ SEC$_{\text{ไฟฟ้า}}$ SEC$_{\text{ความร้อน}}$ และ SEC$_{\text{รวม}}$



ภาพที่ 4 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนายของค่า SEC$_{\text{ไฟฟ้า}}$



ภาพที่ 5 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน)และค่าทำนายของค่า SEC$_{\text{ความร้อน}}$



ภาพที่ 6 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนายของค่า SEC$_{\text{รวม}}$

สรุปผล

ดัชนีชี้วัดที่จัดทำขึ้นมีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกันคือ 1.ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) และ 2.ค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Energy Usage Index, EUI) จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานโดยรวมในการผลิต เพื่อการจัดทำดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน (Energy performance index) นั้น สามารถสร้างความสัมพันธ์ของสมการเพื่อเป็นตัวบ่งชี้ในการหาค่าพลังงานจำเพาะที่เหมาะสมกับองค์กรแต่ละองค์กรที่มีรูปแบบการผลิตที่แตกต่างกันออกไป การใช้สมการในการพิจารณาค่าพลังงานจำเพาะ และค่าดัชนีการใช้พลังงานจะส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และจากการจัดทำสมการที่ผ่านมาทุกสมการมีค่า $R^2>0.75$ ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ โดยที่ ค่าดัชนีการใช้พลังงาน ของการใช้ไฟฟ้าค่า R^2 = 0.9671 ค่าดัชนีการใช้พลังงาน ของการใช้ความร้อนค่า R^2 = 0.7821 และค่าดัชนีการใช้พลังงาน ของการใช้รวม R^2 = 0.7810 ส่วนสมการของค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้ไฟฟ้าค่า R^2 = 0.9195 ค่าดัชนีการใช้พลังงาน ของการใช้ความร้อนค่า R^2 = 0.8566 และค่าดัชนีการใช้พลังงาน ของการใช้รวม R^2 = 0.8609

ดังนั้นอุตสาหกรรมที่สามารถนำไปใช้ได้คืออุตสาหกรรมการผลิตสิ่งของเครื่องใช้ด้านสุขอนามัยหรือเภสัชกรรมที่ทำจากยางจำพวกถุงมือยาง โดยทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์จะใช้วัตถุดิบ คือ น้ำยางธรรมชาติ และน้ำยางสังเคราะห์ ที่มีการใช้พลังงานทั้งด้านไฟฟ้าและความร้อน โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ค่อนข้างมีความหลากหลาย ทั้งเชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลว และก๊าซ ได้แก่ Wood chip, Bituminous Coal, กะลาปาล์ม, ใยปาล์ม, Wood Pellet, น้ำมันเตา C, LPG และ NG เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ดัชนีชี้วัดพลังงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ http://www2.dede.go.th/kmberc/datacenter/factory/paper/chapter3.

[2] พงศกร เกิดช้าง การวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) กับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานน้ำแข็งซองการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13 วันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560

[3] วิชาญ นาคทอง (ทีมงาน iEnergyGuru) การกำหนดและบ่งชี้ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน แปลและเรียบเรียง ISO 50006:2014 https://ienergyguru.com

[4] ศิริพรรณ ธงชัยและพิชัย อัษฎมงคล. เทคนิคการอนุรักษพลังงานแบบบูรณาการ. การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2. หนา 45. นครราชสีมา, 2549

[5] อัคราวุฒิ ครองยุติ, พัฒนะ รักความสุข, และ ก. กูบาฮา. การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานในอาคารสาธาระณะ. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5. 2557 กรุงเทพฯ.

[6] พงศกร เกิดช้าง. การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน. เอกสารประกอบการสอน. ภาคการศึกษาที่ 2 / 2558. วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์.

การจำลองแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของโปรแกรมแมทแลป
Simulation of Solar Photovoltaic (PV) Module by using Function GUI of MATLAB Program

เอกรินทร์ วาโย[1*] ลัญฉกร นิลทรัตน์[1] และสมมารถ ขำเกลี้ยง[1]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

160 หมู่ที่ 4 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา 90000

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์พฤติกรรมของแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของแม็ทแลป โปรแกรมนี้จะขึ้นอยู่กับสมการทางคณิตศาสตร์และมีการอธิบายผ่านวงจรเทียบเท่าประกอบด้วยแหล่งกำเนิดของกระแสแสง ไดโอด ตัวต้านทานอนุกรมและขนาน โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้พารามิเตอร์ทางกายภาพและสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน โปรแกรมนี้สามารถนำมาใช้เพื่อแยกพารามิเตอร์ทางกายภาพสำหรับโมดูลพลังงานแสงอาทิตย์โดยการกำหนดอุณหภูมิและความเข้มแสงบนโลก ผลของสองตัวแปรนี้จะสังเกตได้จากการจำลอง และผลของโปรแกรมจะนำไปเปรียบเทียบกับแผ่นข้อมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่ามีค่าถูกต้องสอดคล้องกัน

คำสำคัญ : พลังงานแสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จียูไอของแมทแลป

[*]Corresponding author: Tel.: 080-7140955. E-mail address: khamkleang@gmail.com

บทนำ

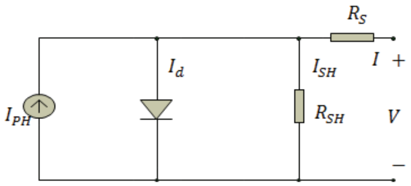
พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) เป็นพลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียของดวงอาทิตย์ แล้วส่งกระจายพลังงานมายังโลกในรูปคลื่นรังสี (Solar Radiation หรือความเข้มแสงบนโลก) ซึ่งมีค่าพลังงานประมาณ 1368 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อเข้ามาสู่ชั้นบรรยากาศของโลกจะลดลงเหลือประมาณ 70 % หรือ เหลือค่าพลังงานประมาณ 958-1000 วัตต์ต่อตารางเมตรเท่านั้น [1] พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานจากธรรมชาติที่มีความสะอาดปราศจากการก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมมีปริมาณมากมายมหาศาลอยู่ทั่วทุกหนแห่งของโลกและสามารถนำมาใช้อย่างไม่หมดสิ้น ดังนั้นถ้าสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก็จะเป็นหนทางในการแก้ไขสภาพความไม่แน่นอนของราคาจากพลังงานน้ำมัน ซึ่งมีแนวโน้ม ที่ราคาพุ่งสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อการพัฒนาของประเทศที่จำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมัน และประเทศไทยก็ได้รับผลกระทบจากปัญหานี้เป็นอย่างมาก [2] เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่าโฟตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำ จนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้าเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน [3] ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าใช้จ่ายสูง การออกแบบจะต้องพิจารณาเป็นพิเศษเนื่องจากลักษณะที่แตกต่างของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่ฉับพลันและคาดเดาไม่ได้ในสภาพอากาศที่เปลี่ยนระดับรังสีเช่นเดียวกับอุณหภูมิในการทำงานของเซลล์ ในงานวิจัยนี้จะจำลองสิ่งที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ของระบบโมดูลพลังงานแสงอาทิตย์ (PV) ซึ่งจะต้องมีการออกแบบก่อนการติดตั้ง [4-5] ประสิทธิภาพการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อมหลายประการเช่นแสงแดด อุณหภูมิ ความเร็วลม ประสิทธิภาพการทำงานของระบบดังกล่าวต้องใช้ความแม่นยำของกราฟคุณลักษณะของกระแสกับแรงดัน (I-V) และกราฟคุณลักษณะลักษณะของกำลังไฟฟ้ากับแรงดัน (P-V) ด้วย

ในปัจจุบันมีซอฟต์แวร์จำนวนมากสำหรับการจำลองอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การจำลองที่มีประสิทธิภาพได้กลายเป็นที่นิยมในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมอย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามเครื่องมือจำลองโมดูลพลังงานแสงอาทิตย์ [6-10] จะใช้โปรแกรม Matlab/Simulink โดยที่ผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีโปรแกรม Matlab/Simulink ไว้เป็นฐานสำหรับการจำลองโมดูลพลังงานแสงอาทิตย์ ต้องมีค่าใช้จ่ายในการซื้อลิขสิทธ์มาใช้งาน ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่จะจำลองและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยเหตุผลดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงได้มีการจำลองแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของแมทแลป โดยมีการพัฒนาเป็นโปรแกรมประยุกต์ในรูปแบบของคอมไพเลอร์ (compiler) ไม่จำเป็นต้องมีโปรแกรม Matlab มาเป็นฐานในการใช้งาน สามารถใช้งานกับระบบปฏิบัติการทั่วไปได้

วิธีการวิจัย

ทฤษฎีคุณลักษณะของกระแสกับแรงดัน (I-V) ของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

คุณลักษณะของกระแสกับแรงดันของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ [1], [5] สามารถพิจารณาจากรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปแบบวงจรเทียบเคียงของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 1 สามารถเขียนสมการกระแส (I) ทางด้านเอาต์พุตเป็นดังนี้

$$I = I_{ph} - I_o\left(e^{\left(\frac{q(V + I_{Rs})}{kT_C A}\right)} - 1\right) - \frac{V + I_{Rs}}{R_{sh}} \quad (1)$$

โดยที่ I_{ph} คือ กระแสที่เกิดจากแสง I_o คือ กระแสอิ่มตัว R_s คือตัวต้านทานต่ออนุกรม A คือค่าอุดมคติของไดโอด $k = 1.38\times10^{-23}\ W/m^2K$, $q = 1.6\times10^{-19}\ C$, T_C คืออุณหภูมิของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ขณะทำงาน สามารถเขียนสมการกระแสที่เกิดจากแสงเป็นดังนี้

$$I_{ph} = G\left[I_{sc} + K_I\left(T_C - T_{ref}\right)\right] \quad (2)$$

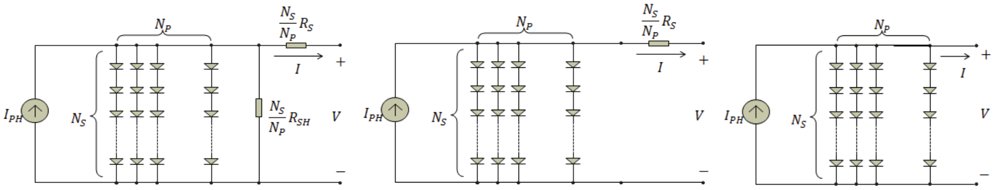
โดยที่ I_{sc} คือ กระแสขณะลัดวงจรที่ 25 $^\circ C$ และ 1,000 W/m^2, K_I คือค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิของกระแสขณะลัดวงจร T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิง และ G คือ ความเข้มแสงบนโลกจากดวงอาทิตย์ (KW/m^2) สามารถเขียนสมการกระแสอิ่มตัวเป็นดังนี้

$$I_o = I_{rs}\left(\frac{T_C}{T_{ref}}\right)^3 \exp\left[\frac{qE_G\left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_C}\right)}{kA}\right] \quad (3)$$

โดยที่ I_{rs} คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับที่อุณหภูมิอ้างอิงและความเข้มแสงบนโลกจากดวงอาทิตย์ E_G คือแถบช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ

ทฤษฎีคุณลักษณะของกระแสกับแรงดัน (I-V) ของแผงพลังงานแสงอาทิตย์

คุณลักษณะของกระแสกับแรงดันของแผงพลังงานแสงอาทิตย์สามารถ [5] พิจารณาจากรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบวงจรเทียบเคียงของแผงพลังงานแสงอาทิตย์

สมการกระแสกับแรงดันของแผงพลังงานแสงอาทิตย์คือการรวมกันของกราฟคุณลักษณะของกระแสกับแรงดันที่ต่อกันในแผงพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด

จากสมการที่ (1) สามารถเขียนสมการของแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์ได้เป็นดังนี้

$$V = -IR_s + K\log\left[\frac{I_{ph} - I + I_o}{I_o}\right] \qquad (4)$$

โดยที่ K คือค่าคงที่ = $\frac{AkT}{q}$ ถ้าให้ I_{mo} และ V_{mo} คือกระแสและแรงดันของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถแสดงความสัมพันธ์ของกระแสกับแรงดันได้ดังนี้

$$V_{mo} = -I_{mo}R_{smo} + K_{mo}\log\left[\frac{I_{ph,mo} - I_{mo} + I_{omo}}{I_{omo}}\right] \qquad (5)$$

หรือถ้า $R_{smo} = N_s R_s$, $K_{mo} = N_s K$, $I_{omo} = I_o$, $I_{ph,mo} = I_{ph}$ สามารถเขียนสมการได้ใหม่ดังนี้

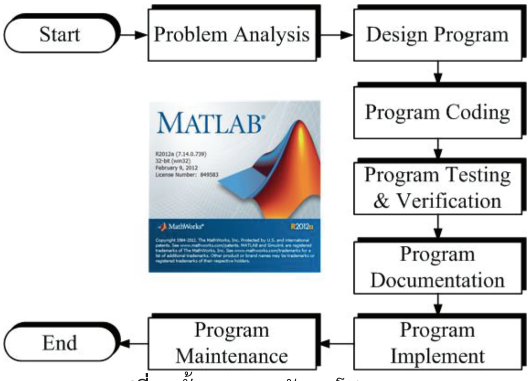
$$V_{mo} = -I_{mo}N_s R_s + N_s K\log\left[\frac{I_{ph} - I_{mo} + I_o}{I_o}\right] \qquad (6)$$

หรือถ้า $R_{smo} = \frac{R_s}{N_p}$, $K_{mo} = K$, $I_{omo} = N_p I_o$, $I_{ph,mo} = N_{sh} I_{ph}$ สามารถเขียนสมการได้ใหม่ดังนี้

$$V_{mo} = -I_{mo}\frac{R_s}{N_p} + K\log\left[\frac{N_p I_{ph} - I_{mo} + N_p I_o}{N_p I_o}\right] \qquad (7)$$

การพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของแมทแลป

ขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรม [11] แสดงดังรูปที่ 3

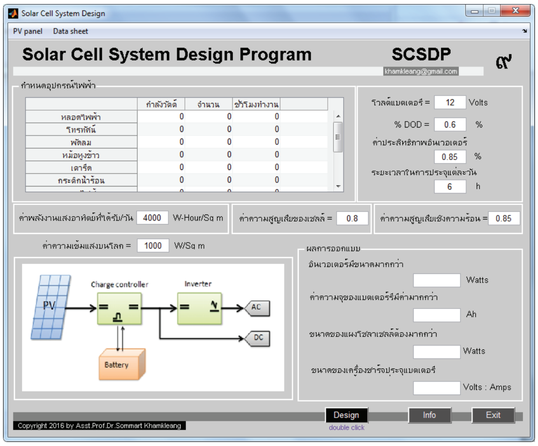


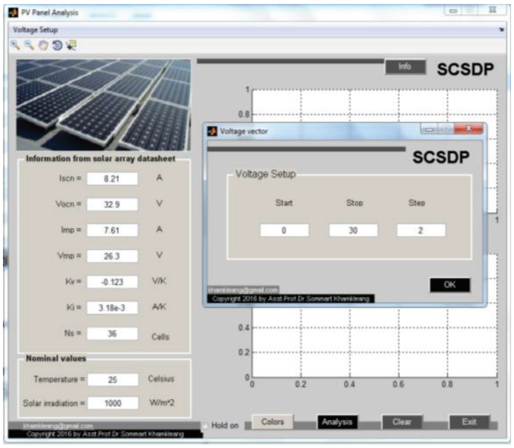
รูปที่ 3 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการพัฒนาโปรแกรม

จากการดำเนินงานวิจัยอย่างเป็นระบบ สามารถแสดงผลการพัฒนาโปรแกรมเพื่อจำลองแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 5 และ รูปที่ 6 ตามลำดับ





รูปที่ 5 โปรแกรมออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ **รูปที่ 6** โปรแกรมวิเคราะห์แผงพลังงานแสงอาทิตย์

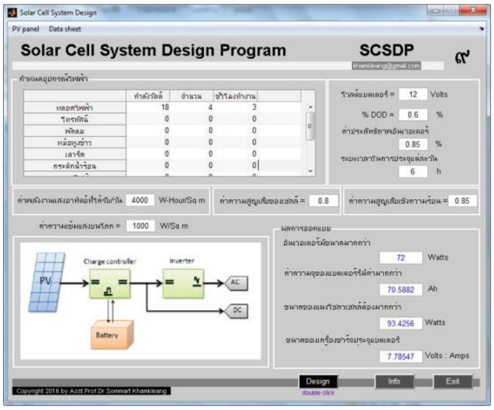
รูปที่ 5 เป็นโปรแกรมออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้ใช้งานสามารถกำหนดของอุปกรณ์ไฟฟ้า กำลังวัตต์ จำนวนอุปกรณ์ และชั่วโมงที่ใช้งานจริง เช่น หลอดไฟฟ้า โทรทัศน์ พัดลม ฯลฯ หลังจากนั้นสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ โวลต์แบตเตอร์รี ค่า %DOD ค่าประสิทธิภาพอินเวอเตอร์ ระยะเวลาในการประจุแต่ละวัน ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับในแต่ละวัน ค่าความสูญเสียของเซลล์ ค่าความสูญเสียเชิงความร้อน และค่าความเข้มแสงบนโลก ในส่วนของผลการออกแบบจะแสดงค่าต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดของอินเวอเตอร์ ค่าความจุของแบตเตอร์รี ขนาดของแผงโซล่าเซลล์ และขนาดของเครื่องชาร์จประจุแบตเตอร์รี จะแสดงผลเป็นค่าของตัวเลข

รูปที่ 6 เป็นโปรแกรมวิเคราะห์แผงพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้ใช้งานสามารถกำหนดข้อมูลพื้นฐานของแผงพลังงานแสงอาทิตย์จากแผ่นข้อมูล กำหนดอุณหภูมิ และกำหนดค่าความเข้มแสงบนโลก หลังจากนั้นทำการเลือกปุ่ม Voltage setup เพื่อทำการกำหนดค่าแรงดันที่ให้โปรแกรมจำลอง ในส่วนของการแสดงผล โปรแกรมสามารถวิเคราะห์กราฟคุณลักษณะ I-V และ P-V โดยที่กำหนดค่าให้อุณหภูมิคงที่และให้ค่าความเข้มแสงบนโลกมีค่าเปลี่ยนแปลง หรือกำหนดให้ค่าความเข้มแสงบนโลกมีค่าคงที่และให้อุณหภูมิมีค่าเปลี่ยนแปลง

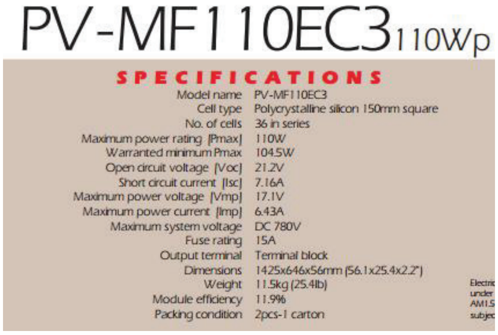
ผลการทดสอบคุณภาพของโปรแกรม

การทดสอบคุณภาพของโปรแกรม จะทำการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีอุปกรณ์ไฟฟ้าประกอบด้วย หลอดไฟฟ้า ขนาด 18 W จำนวน 4 หลอด มีการใช้งาน 3 ชั่วโมง ผลการออกแบบแสดงดังรูปที่ 7 พบว่าต้องใช้อินเวอเตอร์มีขนาดมากกว่า 72 W ค่าความจุของแบตเตอร์รีต้องมีค่ามากกว่า 70.5882 Ah ต้องมีขนาดแผงพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่า 93.4258 W และมีขนาดของเครื่องชาร์จประจุแบตเตอร์รี 7.78547 V:A

จากผลการออกแบบในรูปที่ 7 พบว่าต้องมีขนาดแผงพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่า 93.4258 W เพราะฉะนั้นในงานวิจัยนี้จะขอยกตัวอย่างการวิเคราะห์แผงพลังงานแสงอาทิตย์ MITSUBISHI ELECTRIC PV MODULE ขนาด 110 W (PV-MF110EC3) โดยมีข้อมูลทางไฟฟ้าดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นแสดงดังรูปที่ 10 ซึ่งมีผลการจำลองสอดคล้องกัน



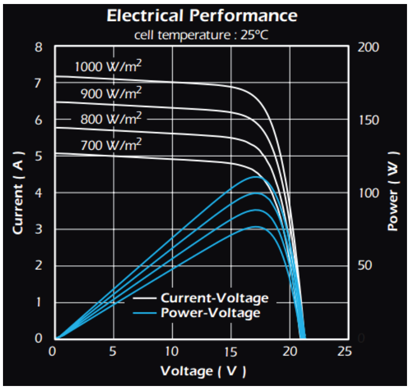
รูปที่ 7 ผลการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์

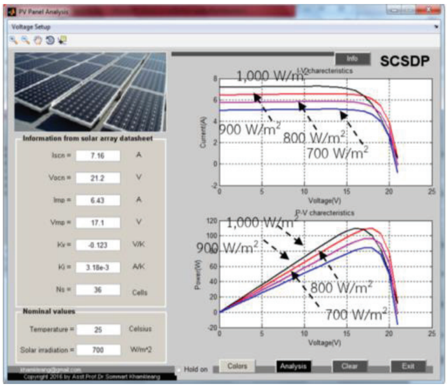

PV-MF110EC3 110Wp

SPECIFICATIONS

Model name	PV-MF110EC3
Cell type	Polycrystalline silicon 150mm square
No. of cells	36 in series
Maximum power rating [Pmax]	110W
Warranted minimum Pmax	104.5W
Open circuit voltage [Voc]	21.2V
Short circuit current [Isc]	7.16A
Maximum power voltage [Vmp]	17.1V
Maximum power current [Imp]	6.43A
Maximum system voltage	DC 780V
Fuse rating	15A
Output terminal	Terminal block
Dimensions	1425x646x56mm (56.1x25.4x2.2")
Weight	11.5kg (25.4lb)
Module efficiency	11.9%
Packing condition	2pcs-1 carton

รูปที่ 8 ข้อมูลทางไฟฟ้า (PV-MF110EC3)





รูปที่ 9 กราฟคุณลักษณะ I-V และ P-V ของ (PV-MF110EC3) **รูปที่ 10** ผลการวิเคราะห์กราฟคุณลักษณะ

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของโปรแกรมแมทแลป วิธีการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย การศึกษาทฤษฎีกราฟคุณลักษณะของกระแสกับแรงดัน (I-V) ของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์และแผงพลังงานแสงอาทิตย์ มีผลการวิจัยเป็นดังนี้

1. โปรแกรมการจำลองแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของแมทแลปที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ โปรแกรมออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และ โปรแกรมวิเคราะห์แผงพลังงานแสงอาทิตย์

2. คุณภาพของโปรแกรมการจำลองแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ฟังก์ชันจียูไอของแมทแลป พบว่ามีผลการจำลองถูกต้องสอดคล้องกับข้อมูลทางไฟฟ้าและกราฟคุณลักษณะ I-V และ P-V ของ MITSUBISHI ELECTRIC PV MODULE ขนาด 110 W (PV-MF110EC3)

ดังนั้นสรุปได้ว่า โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพสำหรับช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้พารามิเตอร์ทางกายภาพและสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน โปรแกรมนี้สามารถนำมาใช้เพื่อแยกพารามิเตอร์ทางกายภาพสำหรับแผงพลังงานแสงอาทิตย์โดยการกำหนดอุณหภูมิและความเข้มแสงบนโลก ผลของสองตัวแปรนี้จะสังเกตได้จากการจำลอง และจะนำไปเปรียบเทียบกับแผ่นข้อมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งพบว่ามีค่าถูกต้องสอดคล้องกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Sumathi et al. (2015). Solar PV and Wind Energy Conversion Systems. Green Energy and Technology, Springer International Publishing Switzerland.

[2] นพดล รุ่งสวาท. (2559). การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2559, http://hq.prd.go.th/engineer/download/article/article_20150720153823.pdf

[3] บรรจบ สุขประภาภรณ์. (2559). พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และการออกแบบระบบโซลาเซลล์. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2559, http://www.ind.crru.ac.th/articleind/33.pdf

[4] Farhan A. Salem. (2014). Modeling and Simulation issues on Photovoltaic systems for Mechatronics design of solar electric applications. International Journal of Mechanical Engineering (IIJME), 2(8), 24-47.

[5] Ami Shukla, Manju Khare, K N Shukla. (2015). Modeling and Simulation of Solar PV Module on MATLAB/Simulink. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 4(1), 18516-18527.

[6] Ahmed A. El Tayyan. (2011). PV system behavior based on datasheet. Journal of Electron Devices, 9(1), 335-341.

[7] MBOUMBOUE Edouard, Donatien NJOMO. (2013). Mathematical Modeling and Digital Simulation of PV Solar Panel using MATLAB Software. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 3(9), 24-32.

[8] Jay Patel, Gaurag Sharma. (2013). MODELING AND SIMULATION OF SOLAR PHOTOVOLTAIC MODULE USING MATLAB / SIMULINK. International Journal of Research in Engineering and Technology, 2(3), 225-228.

[9] Amita Mahor, Md. Ashfaq Khan, and Mukta Soni. (2013). Development and Simulation of Solar Photovoltaic model using Matlab/Simulink. International Journal on Emerging Technologies, 4(1), 62-65.

[10] S. Sheik Mohammed. (2011). Modeling and Simulation of Photovoltaic module using MATLAB/Simulink. International Journal of Chemical and Environmental Engineering, 2(5), 350-355.

[11] Lesley A. Robertson. (2006). Simple Program Design, Step-by-Step Approach. 5th Edition, Cengage Learning.

การพัฒนาอุปกรณ์วัดและจัดเก็บข้อมูลพลังงานรังสีแสงอาทิตย์บนการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ

The Development of Measurement and Storage Solar Energy on Cloud Computing

ลัญฉกร นิลทรัตน์[1*] สมมารถ ขำเกลี้ยง[1] ศรัณย์ ณรงค์กูล[1] จอมกัณฑ์ศักดิ์ เหมทานนท์[1] และเสกสรร ชะนะ[1]
[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
160 หมู่ที่ 4 ถนนกาญจนวนิช ตำบลเขารูปช้าง อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา 90000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอุปกรณ์วัดรังสีแสงอาทิตย์และจัดเก็บข้อมูลพลังงานรังสีแสงอาทิตย์บนการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ มีวิธีการดำเนินงานวิจัยได้แก่ การวางแผน การออกแบบสร้างวงจรในส่วนของฮาร์ดแวร์ ออกแบบและเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ การศึกษาการทำงานบนคลาวน์ และการออกแบบโครงสร้างอุปกรณ์ภายในและภายนอก การวัดและทดสอบการทำงานของอุปกรณ์วัดรังสีแสงอาทิตย์และจัดเก็บข้อมูลพลังงานรังสีแสงอาทิตย์แบบแสดงผลบนการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ โดยการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ โดยใช้เซนเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ รุ่น H1750FVI เปรียบเทียบกับ Light Meter รุ่น LX-1128SD มีหน่วยวัดเป็น lux ทำการทดลองตั้งแต่เวลา 08.10 น.-15.00 น. ของวันที่ 1 พฤษภาคม 2560 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ผลการทดสอบพบว่าอุปกรณ์วัดรังสีแสงอาทิตย์และจัดเก็บข้อมูลพลังงานรังสีแสงอาทิตย์บนการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆที่พัฒนาขึ้นมีการแสดงผลสอดคล้องกับ Light Meter รุ่น LX-1128SD และสามารถแสดงผลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE พร้อมทั้งสามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ: อุปกรณ์วัดรังสีแสงอาทิตย์ การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ

[*]Corresponding author: Tel.: 091-0489818. E-mail address: Lanchakorn.ni@skru.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านพลังงานทางเลือก พลังงานสะอาด เพื่อรักษาสิ่งแวดล้อมกำลังมาแรงในช่วงเวลานี้ หลายคนอาจจะรู้จักโซล่าเซลล์ (Solar Cell) หรือ PV (Photovoltaic) หรือ เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนรูปพลังงานจากแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่สามารถนำมาใช้งานได้ทันทีเมื่อมีแสงอาทิตย์มาตกกระทบบนหน้าแผงโซล่าเซลล์ แต่ค่าแรงดันและกระแสที่ได้จะมากหรือน้อย ขึ้นกับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบรวมไปถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์จากโรงงานผู้ผลิต [1]

ประเทศไทย เป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพรับพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในเกณฑ์ที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่น ๆ เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตศูนย์สูตรทำให้มีช่วงเวลา ในการรับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี มากกว่าประเทศในแถบยุโรป ที่ปัจจุบันมีการผลิตและการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จำนวนมาก ดังจะเห็น ได้จากแผนที่ความเข้มแสงอาทิตย์ของโลก โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยวันละ 4.7-5.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อตารางเมตร ซึ่งสูงกว่าในประเทศทางแถบยุโรปที่มีค่าเฉลี่ยวันละ 3-4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อตารางเมตรเท่านั้น [2]

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่สิ้นสุด และมีลักษณะกระจายไปสู่ผู้ใช้โดยตรงอีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและตามปกติ มนุษย์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว ตลอดหลายปีมานี้เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาจนถึงขั้นนำมาใช้งานได้จริง อย่างไรก็ตามการนำอุปกรณ์พลังงานแสดงอาทิตย์เหล่านี้มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของบริเวณที่จะใช้งานด้วย ซึ่งการตรวจวัดรังสีดวงอาทิตย์สามารถกระทำได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ การคำนวณพลังงานที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ และอีกวิธีหนึ่งคือการใช้เครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์หรือรังสีแสงอาทิตย์จากสถานีภาคพื้นดินเพื่อทราบปริมาณพลังงานของแสงอาทิตย์ [3] ซึ่งการประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่หนึ่งสามารถทำได้โดยการจัดตั้งสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในพื้นที่นั้นๆ และทำการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 5 ปี แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่พื้นที่นั้นได้รับ [4] ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จึงต้องมีความทนทานต่อสภาพสิ่งแวดล้อมและสะดวกต่อการจัดข้อมูล

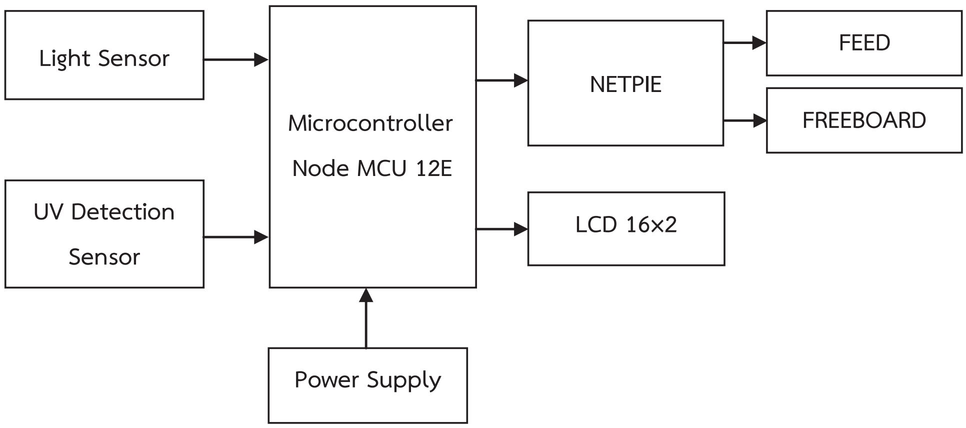
Cloud Computing หรือการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ เป็นลักษณะการทำงานโดยใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ที่มีอยู่มากมายบนเครือข่าย อินเทอร์เน็ต เช่น พื้นที่เก็บข้อมูล [5] ซึ่งสามารถบริหารจัดการและจัดเก็บข้อมูลให้เป็นระบบ โดยช่วยให้การค้นหาและเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้ได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำ พร้อมยังสามารถช่วยประหยัดพลังงานในระบบไอทีและค่าใช้จ่ายอีกด้วย

จากความสำคัญของที่มาของปัญหาข้างต้น คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาอุปกรณ์วัดและจัดเก็บข้อมูลพลังงานรังสีแสงอาทิตย์ ที่สามารถจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลบนCloud Computing หรือการแสดงผลบนประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ เพื่ออำนวยความสะดวกในการจัดเก็บและแสดงค่าข้อมูล โดยเชื่อมต่อผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU-12E และแสดงผลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE ทำให้สามารถแสดงผลข้อมูลได้ทุกที่ ที่สามารถเชื่อมต่อเข้าสู่อินเทอร์เน็ตได้

วิธีการวิจัย

การออกแบบวงจรฮาร์ดแวร์

ในการออกแบบวงจรในส่วนของฮาร์ดแวร์นี้ หลังจากได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ แล้ว ทำให้ทราบส่วนประกอบสำคัญต่าง ๆ และสรุปออกมาเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ ดังรูปที่ 1



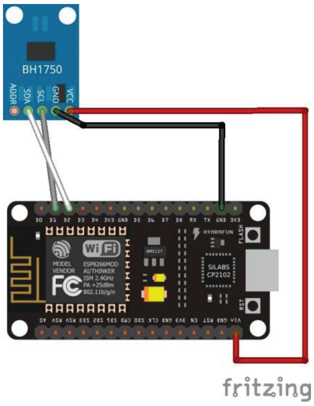
รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของอุปกรณ์วัดรังสีแสงอาทิตย์แบบแสดงผลการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ

จากรูปที่ 1 สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

1. เซ็นเซอร์ (SENSOR)

1.1 เซ็นเซอร์วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์

โมดูล BH1750FVI เป็นโมดูลที่ใช้อ่านค่าความสว่างของแสง ซึ่งจะแปลงค่าความสว่างที่ตกลงบนไอซีแล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าออกมา ซึ่งเชื่อมต่อโมดูล แบบ I2C ไปยัง ขา SCL (D1) และ SDA (D2) ของ Node MCU-12E โดยให้สัญญาณเอาท์พุตออกมาเป็นดิจิตอล จากนั้นจะคำนวณค่าจัดเก็บไว้ในตัวแปรใน Node MCU-12E แสดงการออกแบบวงจรเซนเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ดังรูปที่ 2 และในตารางที่ 1 เป็นการต่อวงจรเซนเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์ระหว่าง โมดูล BH1750FVI กับ Node MCU-12E



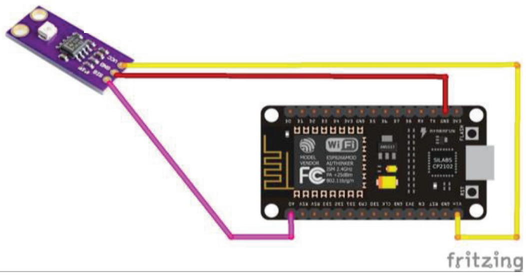
ตารางที่ 1 การต่อวงจรเซนเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์

BH1750FVI	Node MCU-12E
VCC	VIN
GND	GND
SCL	D1
SDA	D2

รูปที่ 2 การออกแบบวงจรเซนเซอร์วัดความเข้มแสงอาทิตย์

1.2 เซ็นเซอร์วัดค่ารังสียูวี

เซนเซอร์ยูวีเป็นตัวตรวจจับรังสีอัลตร้าไวโอเล็ต หรือ UV Sensor ที่ใช้ชิป GUVA-S12SD สามารถตรวจจับปริมาณรังสี UV หรืออัลตร้าไวโอเลต (Ultraviolet) ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 240 ถึง 370 นาโนเมตร และส่งค่าไปยัง Node MCU โดยใช้รูปแบบสัญญาณ เอาท์พุตออกมาเป็นแอนะล็อก

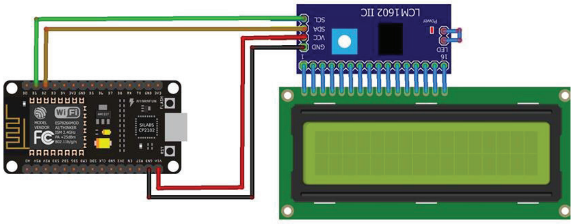


ตารางที่ 2 การต่อวงจรเซนเซอร์วัดรังสียูวี

UV Sensor	Node MCU-12E
VCC	VIN
GND	GND
SIG	A0

รูปที่ 3 การออกแบบวงจรเซนเซอร์วัดค่ารังสียูวี

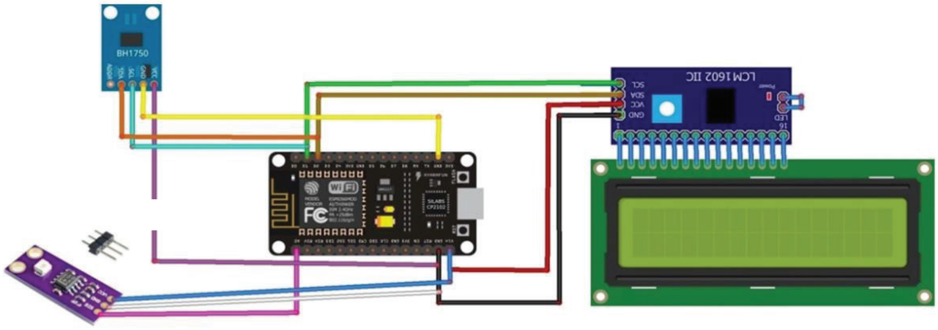
2. จอ LCD ขนาด 16×2 จะทำหน้าที่แสดงผลค่าความเข้มแสงอาทิตย์และรังสียูวีที่ทำการประมวลผลแล้วเสร็จ แสดงดังรูปที่ 4 และในตารางที่ 3 เป็นการต่อจอ LCD แบบ I2C กับ Node MCU-12E จากผลการออกแบบสามารถแสดงวงจรรวมการวัดความเข้มแสงอาทิตย์และรังสียูวีดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 คือการติดตั้งกล่องควบคุมและแสดงผลบนหน้าจอ LCD ขนาด 16×2



รูปที่ 4 การออกแบบวงจรจอแอลซีดี ขนาด 16×2

ตารางที่ 3 การต่อวงจรจอแอลซีดี ขนาด 16×2

LCD 16×2	Node MCU-12E
GND	GND
VCC	VIN
SCL	D1
SDA	D2



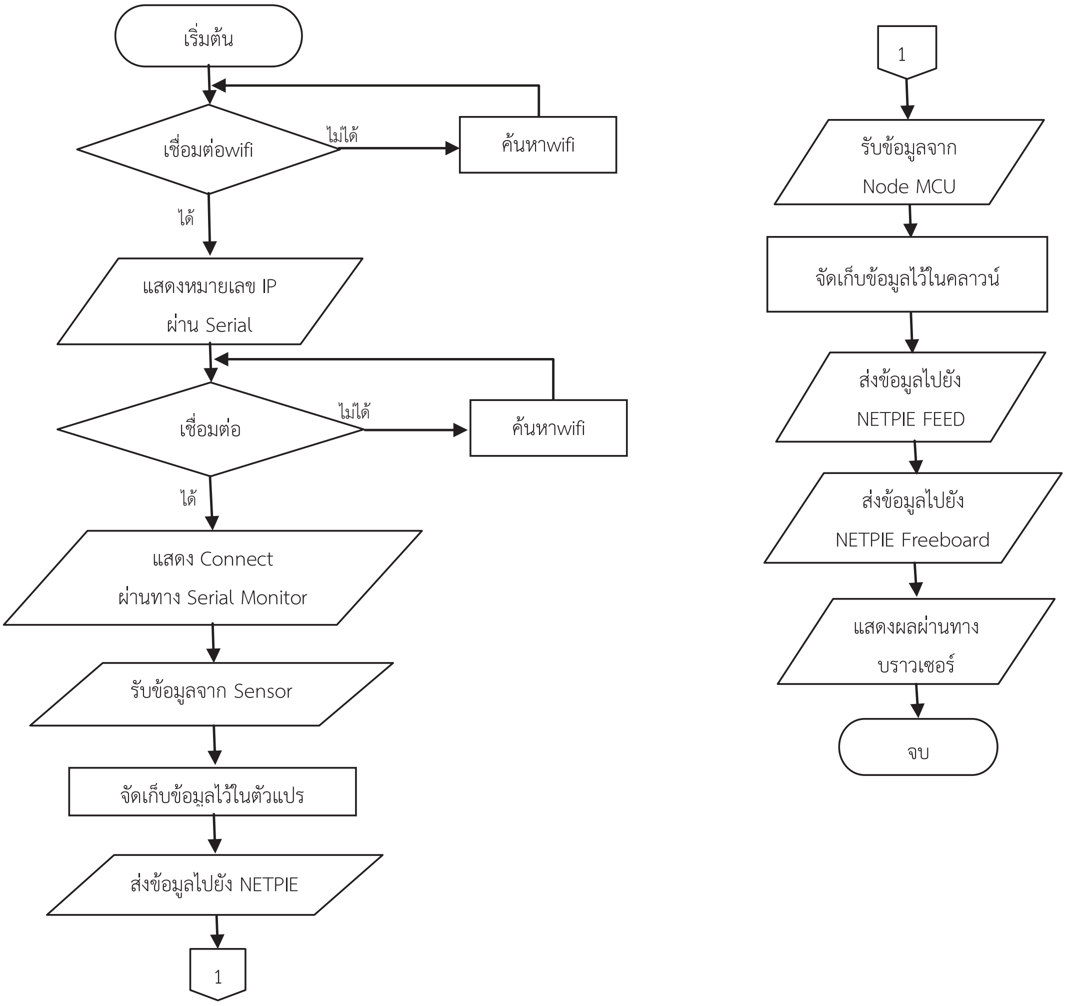
รูปที่ 5 การออกแบบวงจรรวมการวัดความเข้มแสงอาทิตย์และรังสียูวี

รูปที่ 6 การติดตั้งกล่องควบคุมและแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี ขนาด 16×2

3. NETPIE คือคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่แสดงผลค่าความเข้มแสงอาทิตย์และรังสียูวี โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่ง NETPIE FEED จะเป็นเครื่องมือช่วยเก็บข้อมูลคล้าย Data Logger เพื่อเก็บข้อมูลที่รับมาจากเซนเซอร์ผ่าน Node MCU-12E ส่วนที่สอง NETPIE FREEBOARD จะทำหน้าที่แสดงข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และรังสียูวีจากเซนเซอร์แบบ Real Time

การออกแบบและเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ

การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ โดยทำการเขียนไลบารี่ ประกาศตัวแปร เขียนโปรแกรมส่วนการเชื่อมต่อไวไฟ ฟังชันการทำงานของเซนเซอร์ ความเข้มแสง การทำงานของการส่งชุดข้อมูลไปยัง NETPIE LCD แสดงผลค่าออกทางหน้าจอ ฟังชันการทำงานของเซนเซอร์ยูวีตามลำดับ



รูปที่ 7 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานบน Node MCU 12E และแสดงผลข้อมูลบน NETPIE

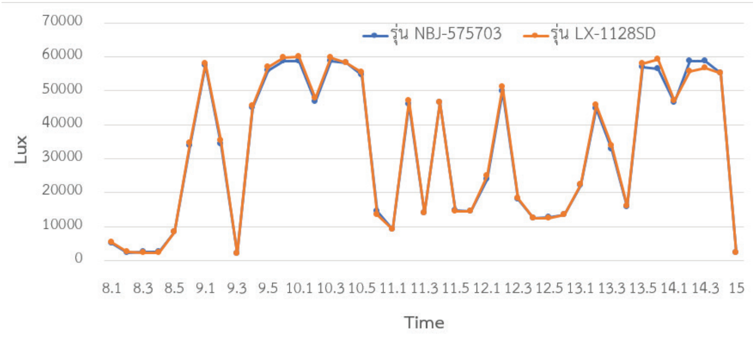
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาอุปกรณ์วัดและจัดเก็บข้อมูลพลังงานรังสีแสงอาทิตย์บนการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆจะแสดงดังรูปที่ 8 เรียกว่าเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ NBJ-575703 และจะทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ Light meter รุ่น LX-1128SD ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 9

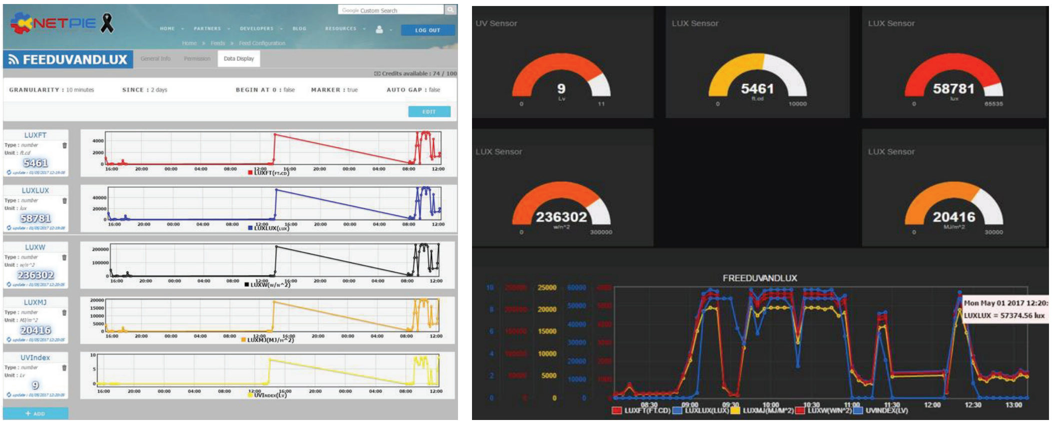
จากรูปที่ 9 พบว่าผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ รุ่น NBJ-575703 กับ Light meter รุ่น LX-1128SD หน่วยวัดเป็น lux ตั้งแต่เวลา 08.10น.-15.00 น. ของวันที่ 1 พฤษภาคม 2560 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ค่าเฉลี่ยความต่างต่ำสุดอยู่ในช่วงเวลา08.40น. คือ 1242.78 lux และค่าเฉลี่ยความต่างสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 11.30 น. คือ 61604.00 lux

ผลการทดสอบวัดความเข้มของแสงอาทิตย์และรังสียูวีแสดงผลบนคราวน์โดยการแสดงบน Feeds และการแสดงบน Freeboards ดังรูปที่ 10

รูปที่ 8 ชุดวัดพลังงานแสงอาทิตย์ NBJ-575703



รูปที่ 9 ทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ Light meter รุ่น LX-1128SD



รูปที่ 10 การแสดงผลการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์และรังสียูวีบน NETPIE

สรุปผลการวิจัย

จากการพัฒนาอุปกรณ์วัดและจัดเก็บข้อมูลพลังงานรังสีแสงอาทิตย์ ด้วยเซนเซอร์วัดความเข้มของแสงและเซนเซอร์วัดรังสียูวี เพื่อสามารถจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลบน Cloud Computing โดยเชื่อมต่อผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU-12E โดยแสดงผลบนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ NETPIE และแสดงผลบนหน้าจอ LCD ขนาด 16×2 ผลจากการวิจัยพบว่าอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่ารังสียูวี และความเข้มของแสงได้ถูกต้องสอดคล้องกับเครื่องวัด Light meter รุ่น LX-1128SD มีผลค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±5 % อีกทั้งสามารถอำนวยความสะดวกในการจัดเก็บข้อมูล กล่าวคือสามารถเรียกดูค่าแสดงค่าข้อมูลได้ ทุกที่ทั่วโลกที่มีเครือข่ายอินเตอร์เน็ต อีกทั้งต้นทุนของอุปกรณ์วัดและจัดเก็บข้อมูลพลังงานรังสีแสงอาทิตย์ ที่พัฒนาขึ้นยังมีราคาต่ำกว่า เครื่องทดสอบเปรียบเทียบอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] นพดล รุ่งสวาท.(2551). การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://hq.prd.go.th/engineer/ewt_dl_link.php?nid=263.[11 มิถุนายน 2559]

[2] โครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ Sunny bangchak.(ออนไลน์).สืบค้นจาก: http://www.bangchak.co.th.[11 มิถุนายน 2559]

[3] รวิภา ยงประยูร.(2552). การประเมินความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ในการประยุกต์ใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตจังหวัดลำปาง.การประชุมวิชาการเครือข่าย พลังงานแห่งชาติครั้งที่5 หน้า68

[4] ณรัล ลือวรศิริกุลและคณะ.ศึกษาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. 2555

[5] ศรีสมรัก อินทุจันทร์ยง.(2553). ระบบประมวลผลกลุ่มเมฆ.วารสารบริหารธุรกิจ,ปีที่33(128),15-17เอกสารประกอบการสอนเรื่องการวัดและเครื่องมือวัดพลังงานจากดวงอาทิตย์.มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง.(ออนไลน์). สืบค้นจาก:http://netra.lpru.ac.th/~rawipha_y/files/SolarEnergyCourse2.pdf.[13 มิถุนายน 2559]

การศึกษาช่องระบายอากาศที่เหมาะสมในการอบเห็ดนางฟ้าด้วยตู้อบแห้งสองระบบ

Experimental Studies Air Ventilation Of Drying Mushroom By Hybrid Cabinet

นิชาภา อ่ำเพียร[1] สิตานันท์ โกวฤทธิ์[2] วราคม วงศ์ชัย [2]
สาขาวิชาเทคนิคพลังงาน สาขางานเทคนิคการซ่อมบำรุงอุตสาหกรรมพลังงาน วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก พิษณุโลก 65000
สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52000

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองอบแห้งเห็ดนางฟ้าในตู้อบแห้งสองระบบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ระบบไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อดัดแปลงตู้อบแห้งสองระบบ ให้มีความเหมาะสมกับการอบเห็ดเพื่อแปรรูปเห็ดนางฟ้าสดให้นำไปแปรรูป และต่อยอดเป็นสินค้าที่เพิ่มมูลค่าให้ผลผลิตเห็ดให้กับวิสาหกิจชุมชนผลิตและแปรรูปเห็ดบ้านเวียงหงส์ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง เนื่องจากข้อจำกัดในการอบแห้งเห็ดเกี่ยวกับปัจจัยด้านสภาพอากาศ สุขลักษณะ และการตอบสนองความต้องการเฉพาะด้านต่างๆ เครื่องอบแห้งสองระบบจึงเป็นสิ่งประดิษฐ์สำหรับการแก้ปัญหาในกระบวนการผลิตเห็ดอบแห้งที่ตรงตามความต้องการของวิสาหกิจชุมชนนี้ การทดลองได้กำหนดช่องทางระบายความชื้นในการอบแห้งไว้ที่ 201.4 ตารางเซนติเมตร 286.4 ตารางเซนติเมตร และ 371.4 ตารางเซนติเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองคือ 50 องศาเซลเซียส 55 องศาเซลเซียส 60 องศาเซลเซียส พิจารณาจากผลการทดลองด้านคุณภาพของเห็ดอบแห้ง เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงาน

จากการทดลองพบว่าขนาดของช่องระบายอากาศที่ดีที่สุดอยู่ที่ 286.4 ตารางเซนติเมตร อุณหภูมิอบที่ 55 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาอบน้อยเหลือเพียง 3 ชั่วโมง 50 นาที และประหยัดพลังงานมากที่สุด อัตราการอบแห้งในแต่ละขนาดของช่องระบายอากาศจะใช้เวลานานต่างกัน ทำให้มีการสิ้นเปลื้องพลังงานไฟฟ้าที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดช่องทางอากาศออก แต่ช่องอากาศออกขนาดต่างๆได้จะคุณภาพของเห็ดแห้งที่มีค่าใกล้เคียงกัน

*Corresponding author. Tel.088-2741880 Email address : iambigboss010@gmail.com

Abstract

This paper studies air ventilation of drying mushrooms in a laboratory by means of an electrical system. The purpose is to adapt a hybrid cabinet for drying mushrooms and to be suitable for processing high quality fresh mushrooms for a long time to come. The drying of mushrooms can be inhibited by multiple factors, including weather, hygiene and being responsive to other specific needs. The hybrid cabinet is an invention for solving all of these problems. The experiment has defined the channel of moisture removal at 201.4 square centimeters 286.4 square centimeters and 371.4 square centimeters

The temperature used in the baking experiments were 50 c°, 55 c° and 60 c°. Based on the quality test results of Base Drying Mushrooms, time and Input Energy the experiments showed that the best size of the air ventilator was 286.4 square centimeters at 55 c° which takes less time only 3 hours and 50 minutes and is the most energy-saving. The drying rate varies depending on the size of the vents. Though there is a difference of power consumption, air outlets of different sizes will all have the same quality of dried mushrooms.

คำสำคัญ : ช่องระบายอากาศ , การพาความร้อนแบบธรรมชาติ , อบแห้ง , เห็ดนางฟ้า
Key Words : Air Ventilation , Natural Convection , Drying , Mushroom

บทนำ

เห็ดนางรม เห็ดนางฟ้า และเห็ดภูฐาน เห็ดทั้งสามชนิดนี้จัดอยู่ในวงศ์เดียวกันชื่อ "เห็ดนางฟ้า" ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ Pleurotus sajor-caju (Fr.) Singer เป็นเห็ดที่สามารถออกดอกได้ตลอดทั้งปี สามารถเกิดขึ้นได้ทุกสภาวะอากาศของเมืองไทย เห็ดชนิดนี้เป็นที่รู้จักแพร่หลายของผู้นิยมบริโภคเห็ด สามารถนำไปประกอบอาหารได้หลากหลายชนิด มีคุณค่าทางอาหารและราคาไม่สูง สามารถเลี้ยงเป็นอาชีพหลักได้ เป็นที่นิยมมาเพาะเพื่อการค้ากันมา[1]

วิสาหกิจชุมชนหลายแห่งในจังหวัดลำปางได้นำความรู้จากการอบรมอาชีพจากการเพาะเห็ด มาสร้างโรงเพาะเห็ดและรวมตัวกันจนกลายเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ซึ่งจะเป็นจุดรวบรวมเห็ดก่อนส่งขายให้พ่อค้าคนกลาง ทำให้วิสาหกิจชุมชนไม่สามารถเป็นผู้กำหนดราคาผลผลิตเองได้ ทำให้ราคาเห็ดตกต่ำลง วิสาหากิจชุมชนจึงต้องปรับกลไกทางการตลาด โดยการนำเห็ดนางฟ้าสดมาอบแห้งแล้วจึงแปรรูปเป็นเห็ดสวรรค์ เห็ดสมุนไพร เห็ดสามรส ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ผลผลิต และจะส่งผลให้ปริมาณเห็ดนางฟ้าสดที่จะเข้าสู่ตลาดลดลง ทำให้ราคาของผลผลิตเห็ดสดเป็นที่น่าพอใจ

การอบแห้งเห็ดนางฟ้าเป็นกระบวนการก่อนนำเห็ดนางฟ้าไปแปรรูป ทั้งยังช่วยยืดอายุให้สามารถเก็บเห็ดนางฟ้าไว้ได้นานก่อนจะนำไปแปรรูปได้ในเวลาที่ต้องการ วิธีทำแห้งเห็ดนางฟ้าที่นิยมอยู่ 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 ตากแห้งด้วยการผึ่งแดด ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและยังไม่ถูกสุขลักษณะ วิธีที่ 2 นำไปอบในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถอบแห้งเห็ดนางฟ้าได้รวดเร็วขึ้น สามารถป้องกันฝุ่นและแมลงได้ แต่ก็ไม่สามารถอบแห้งได้ถ้าไม่มีแสงอาทิตย์มากพอ(รวิภา ยงประยูร, 2556)[2]

จากปัญหาต่างๆดังที่กล่าวมาแล้วนั้น จึงมีความต้องการดัดแปลงตู้อบแห้งสองระบบให้สามารถอบแห้งเห็ดนางฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งตัวแปรสำคัญคือช่องระบายความชื้น เนื่องจากเห็ดนางฟ้าสดมีความชื้นสูง ช่องระบายอากาศออกที่มีอยู่เดิมนั้นไม่เพียงพอที่จะระบายความชื้นออกไป ทำให้เกิดการสิ้นเปลื้องและใช้เวลาในการอบแห้งเห็ดนางฟ้าสดนาน แต่การขยายช่องทางอากาศออกที่มากเกินไปก็ทำให้ศูนย์เสียพลังงานความร้อนโดยเปล่าประโยชน์ จึงจำเป็นต้องทราบขนาดของช่องทางระบายอากาศในการอบแห้งเห็ดนางฟ้าที่เหมาะสม เพื่อการอบแห้งเห็ดที่มีประสิทธิภาพ ประหยัดพลังงานและคุ้มค่า ตลอดจนยกระดับการผลิตสู่การสร้างเครื่องมืออบแห้งเห็ดในระดับอุตสาหกรรมขนาดกลาง

1. หลักการอ**บแห้ง**

3.1 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤติที่ผิวของวัสดุมีน้ำอยู่จำนวนมาก เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุ ช่วงนี้อุณหภูมิผิวของวัสดุอบแห้งและอัตราการอบแห้งจะมีค่าคงที่

3.2 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในเนื้อวัสดุมาที่ผิวของวัสดุในลักษณะของเหลวหรือไอน้ำและน้ำที่ผิวจึงจะระเหยไปกับอากาศ

กระบวนการอบแห้งเห็ดนางฟ้าด้วยตู้อบแห้งสองระบบนี้ มีหลักการคืออุ่นอากาศภายในตู้อบให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น อากาศบริเวณขดลวดความร้อนจะมีหนาแน่นน้อยลง ทำให้ลอยตัวสูงขึ้นจนเกิดเป็นลมร้อน ตามหลักของการไหลเวียนอากาศร้อนแบบธรรมชาติ เมื่อความร้อนร้อนสัมผัสกับผิวของเห็ด อุณหภูมิที่แตกต่างกันจะมีการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนระหว่างเห็ดกับลมร้อน เรียกว่าการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความชื้นที่อยู่ให้เห็ดค่อยๆระเหยออกมา[3]

2. **ค่าความชื้นของวัสดุ**

หาค่าความชื้นของเห็ดสามารถหาได้ดังสมการนี้[4]

ร้อยละความชื้นมาตรฐานเปียก $= \frac{W-d}{w} \times 100$ (%w.b) (1)

ร้อยละความชื้นมาตรฐานแห้ง $= \frac{W-d}{d} \times 100$ (%d.b) (2)

เมื่อ %w.b คือความชื้นมาตรฐานเปียก (%)
%d.b คือความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)
W คือน้ำหนักวัสดุก่อนอบแห้ง (กรัม)
d คือน้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (กรัม)

น้ำหนักสุดท้ายของมวลวัสดุหลังอบแห้ง (W_f)

$$W_f = \frac{W_i(1-M_i)}{(1-M_f)} \quad \text{(kg)} \qquad (3)$$

เมื่อ W_f คือน้ำหนักสุดท้ายของมวลวัสดุ (กิโลกรัม)
W_i คือน้ำหนักเริ่มต้นของมวลวัสดุ (กิโลกรัม)
M_i คือความชื้นเริ่มต้นของมวลวัสดุ (%)
M_f คือความชื้นสุดท้ายของมวลวัสดุ (%)

อุปกรณ์การทดลอง

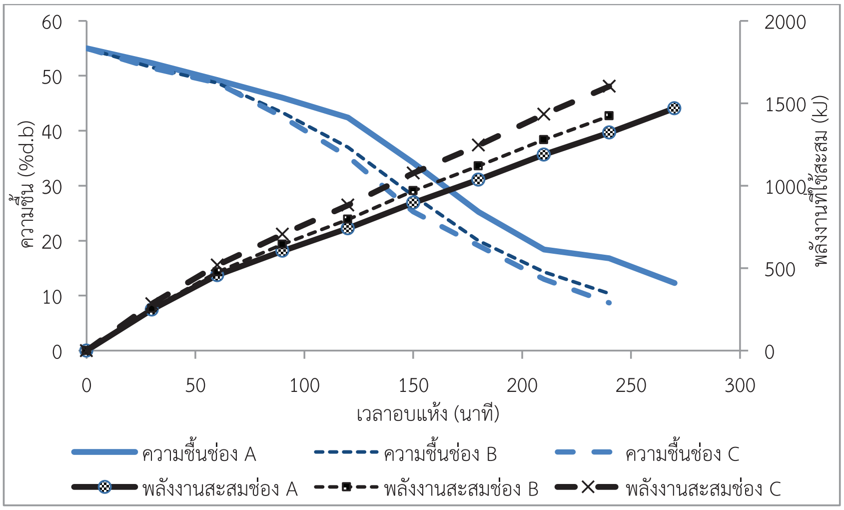
- เห็ดนางฟ้าสดจากวิสาหกิจชุมชนผลิตและแปรรูปเห็ด บ้านเวียงหงส์ อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง นำมาล้างทำความสะอาด แล้วฉีดตามยาวมีความหนาประมาณ 0.7-1.3 เซนติเมตร และนำมาจัดเรียงในตะแกรงอบแห้งวางซ้อนกันบนชั้นวาง 3 ชั้น
- ตู้กระจกทรงสี่เหลี่ยม
- ชั้นวาง 3 ชั้น พร้อมตะแกรง
- ขดลวดความร้อน (Heater) ดัดแปลงใส่ครีบ ขนาด 2000 W
- อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control) ยี่ห้อ Ewelly รุ่น EW-988
- ชุดคิดหรี่ไฟ (Dimmer) 2500 W

วิธีการทดลอง

1. เรียงเห็ดนางฟ้าที่ฉีดเป็นชิ้นๆ ลงบนตะแกรงอบ ชั้นละ 100 กรัม ให้ทั่วตะแกรง จำนวน 3 ชั้น รวมทั้งหมด300 กรัม
2. นำไปวางบนชั้นวางภายในตู้อบใส่สายวัดอุณหภูมิ เพื่อควบคุมอุณหภูมิในบริเวณกลางตู้ และวางเครื่องวัดความชื้นบริเวณชั้นบนสดเพื่อวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น
3. เปิดสวิทซ์ปลั๊กพ่วงที่ต่อออกมาจากมิเตอร์ไฟฟ้า (kWh) ที่แขวนในแนวตั้งฉาก เพื่อวัดการใช้ไฟฟ้า
4. ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เพื่อกำหนดจุดตัดต่อการทำงานของขดลวดความร้อน ตั้งขนาดของช่องระบายอากาศในอยู่ที่ 201.4 ตารางเซนติเมตร แล้วจึงเริ่มการทำงานของขดลวดความร้อน
5. บันทึกผลค่าความชื้นและอุณหภูมิทุกๆ 10 นาที และ เก็บค่า (kWh) ทุกๆ ชั่วโมง ไปจนกว่าจะได้ค่าความชื้นคงเหลือในเห็ดนางฟ้า 10 % d.b.
6. ดำเนินการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ 1 – 8 อีกครั้ง แต่ปรับอุณหภูมิในข้อที่ 4 เป็น 55 และ 60 องเซลเซียสและช่องทางระบายอากาศในข้อที่ 6 เป็น 286.4 ตารางเซนติเมตรและ 371.4 ตารางเซนติเมตรตามลำดับ
7. ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการอบแห้งที่มีช่องทางระบายอากาศออกขนาด 201.4 ตารางเซนติเมตร 286.4 ตารางเซนติเมตร และ 371.4 ตารางเซนติเมตร ในการอบด้วยอุณหภูมิต่างๆ
8. พิจารณาหาความแตกต่างในการอบแห้งเห็ดนางฟ้าโดยมีช่องระบายอากาศขนาดขนาด 201.4 ตารางเซนติเมตร 286.4 ตารางเซนติเมตร และ 371.4 ตารางเซนติเมตร ว่าช่องระบายอากาศขนาดใด และอบที่อุณหภูมิเท่าไรจึงจะที่ทำให้การอบเห็ดนางฟ้ามีประสิทธิภาพมากที่สุด
9. สรุปผลการทดลอง

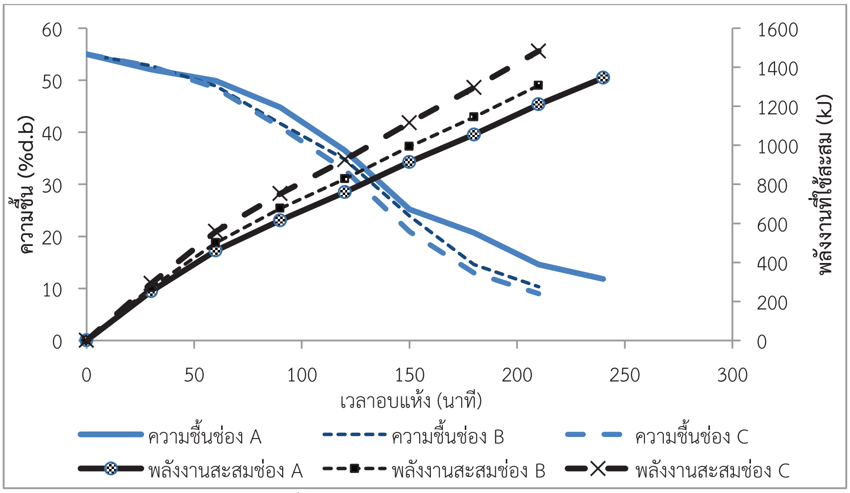
ผลการทดลอง

กำหนดให้ช่องทางระบายอากาศออกขนาด 201.4 ตารางเซนติเมตร เป็นช่องระบายอากาศ A , 286.4 ตารางเซนติเมตรเป็นช่องระบายอากาศ B และ 371.4 ตารางเซนติเมตร เป็นช่องระบายอากาศ C ทำการเก็บข้อมูล และทำการวัดค่าการใช้พลังงานทุกๆ 30 นาที ด้วยเครื่องวัดไฟฟ้า กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (kWh Meter) แล้วจึงแปลงค่าเป็น กิโลจูล (kJ)



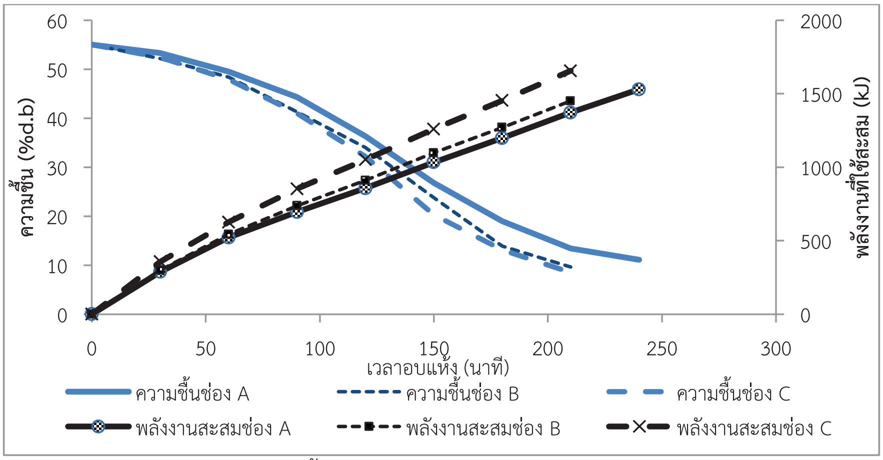
รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความชื้นและการใช้พลังงานตามช่วงเวลาในการอบด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองด้วยอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 1 แสดงการลดลงของความชื้นในเห็ดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกมีอัตราการลดลงค่อนข้างช้า โดยช่องระบายอากาศ A ใช้เวลาทั้งสิ้น 270 นาทีซึ่งนานที่สุด ช่องระบายอากาศ B และช่องระบายอากาศ C ใช้เวลา 240 นาที ค่าความชื้นสุดท้ายของช่องระบายอากาศ A ต่างจากช่องระบายอากาศ C ค่อนข้างมาก การใช้พลังงานโดยรวม ช่องระบายอากาศ A ใช้พลังงาน 1,468.8 kJ ช่องระบายอากาศ B ต่ำสุดที่ 1,422 kJ และช่องระบายอากาศ C ใช้พลังงานมากสุดที่ 1,602 kJ



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความชื้นและการใช้พลังงานตามช่วงเวลาในการอบด้วยอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

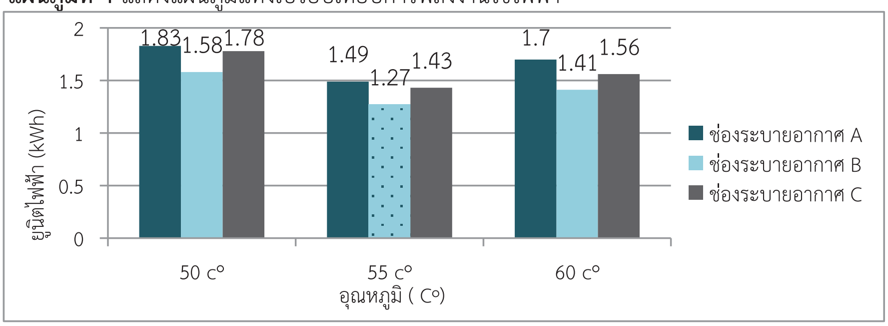
ผลการทดลองด้วยอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 2 แสดงการลดลงของความชื้นในเห็ดที่อบด้วยอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส โดยช่องระบายอากาศ A ใช้เวลา 240 นาทีซึ่งนานที่สุด ช่องระบายอากาศ B และช่องระบายอากาศ C เวลา 210 นาที มีค่าความชื้นมาตรฐานแห้งใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาเส้นกราฟในช่วงนาทีที่ 90 มีความแตกต่างเล็กน้อย ในช่วงนาทีที่ 150 จึงเห็นความแตกต่างของช่องระบายอากาศ A ชัดเจนในด้านของระยะเวลา ค่าความชื้นสุดท้ายของช่องระบายอากาศ A ที่ต่างจากช่องระบายอากาศ C ค่อนข้างมาก การใช้พลังงานช่องระบายอากาศ A อยู่ที่ 1,346.4 kJ ช่องระบายอากาศ B ใช้พลังงาน 1,306.8 kJ ซึ่งต่ำที่สุด และช่องระบายอากาศ C ใช้พลังงาน 1,483.2 kJ ซึ่งมากที่สุด



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความชื้นและการใช้พลังงานตามช่วงเวลาในการอบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ผลการทดลองอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากรูปที่ 3 แสดงการลดลงของความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งช่องระบายอากาศ A ใช้เวลา 240 นาทีซึ่งนานที่สุด ช่องอากาศ B และ ช่องระบายอากาศ C ใช้เวลา 210 นาที มีค่าความชื้นมาตรฐานแห้งใกล้เคียงกัน การใช้พลังงานช่องระบายอากาศ A ใช้พลังงาน 1,530 kJ ช่องระบายอากาศ B ใช้พลังงาน 1,450.8 kJ ซึ่งต่ำที่สุด ช่องระบาย C ใช้พลังงาน 1,656. kJ ซึ่งมากที่สุด

แผนภูมิที่ 4 แสดงแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบการพลังงานใช้ไฟฟ้า



แผนภูมิที่ 4 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของการอบแห้งเห็ดนางฟ้าด้วยช่องระบายอากาศขนาด 201.4 ตารางเซนติเมตร(A), 286.4 ตารางเซนติเมตร(B) และ 371.4 ตารางเซนติเมตร(C) ซึ่งได้มาจากการนำข้อมูลของระยะเวลาในการอบและการใช้พลังงานมาแปลงค่าเป็นยูนิตไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบหาช่องระบายอากาศและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบเห็ดนางฟ้า

สรุปผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดลองอบแห้งเห็ดนางฟ้า ช่องระบายอากาศที่ดีที่สุด คือ ช่องระบายอากาศขนาด B หรือขนาด 286.4 ตารางเซนติเมตร เนื่องจากช่องระบายอากาศขนาด B ใช้เวลาน้อยอบกว่าช่องระบายอากาศ A และใช้พลังงานน้อยกว่าช่องอากาศ C เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิที่ 4 ช่องระบายอากาศขนาด B ด้วยการอบด้วยอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด ใช้เวลาในการอบ 210 นาที ใช้พลังงาน 1,306.8 kJ หรือ แปลงเป็นยูนิตไฟฟ้าที่ 1.27 kWh ซึ่งคิดค่าไฟฟ้ามาตรฐานครัวเรือนจะอยู่ที่ 5 บาท 8 สตางค์ 9 ต่อการอบแห้งเห็ด 300 กรัม 1 ครั้ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนทุนวิจัย(สกว.) และมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณผศ.ดร. รวิภา ยงประยูร , อาจารย์พรชัย เอี่ยมสาย ที่ให้ปรึกษาคำตลอดจนและสนันสนุนอุปกรณ์การทดลองในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1]ฟาร์มเห็ดสวนผัก. เห็ดสกุลนางรม. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 สิงหาคม (2560), https://farmhet.wordpress.com/เห็ดสกุลนางรม-เห็ดนางรม/

[2]รวิภา ยงประยูร, (2556), การพัฒนากระบวนการผลิตเห็ดอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกโดยการมีส่วนร่วมของวิสาหกิจชุมชน กลุ่มอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคก จังหวัดลำปาง, รายงานการวิจัย, เครือข่ายบริหารงานวิจัยภาคเหนือตอนบน, สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา

[3]มนตรี เรืองประดับ, (2550), การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งผลหมาก, บทความวิจัย,สาขาวิศวเครื่องกล ,คณะวิศวกรรมศาสตร์ ,มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[4]กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2004). ตอนที่ 4 บทที่ 4 การอนุรักษ์พลังงานในระบบอื่นๆ. *ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานอาวุโส (ผอส.) ด้านความร้อน* (pp. 4-33 - 4-51).

การระบายความร้อนสะสมภายในห้องด้วยพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

Cooling of Room Accumulated Heat by Solar Air Ventilator

อรรถกร อาสนคำ[1*] ชญกฤช จันทพิมพะ[1] กิตติภพ เพ็ชร์เม็ด[1] และ ไพโรจน์ สายสุริยะ[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบศักยภาพในการระบายความร้อนภายในห้องที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์และห้องที่ติดตั้งลูกหมุนระบายอากาศทั่วไป ห้องทดสอบทั้งสองห้องเป็นแบบหลังคาเอียง มีขนาดกว้าง 2.45 m ยาว 2.50 m และสูง 2.75 m (ด้านต่ำ) และ 3.05 m (ด้านสูง) หลังคาเอียงไปทางทิศใต้ และห้องจะมีช่องให้อากาศเข้าด้านล่าง

การทดสอบจะทำการแยกออกเป็น 2 กรณี กรณีแรก จะทดสอบตั้งแต่เวลา 09.00-16.00 น. โดยควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องให้สูงกว่าอุณหภูมิอากาศโดยรอบ โดยมีการให้ความร้อนในอัตรา 2 kW ซึ่งจะได้อุณหภูมิขาออกจากขดลวดประมาณ 50°C ส่วนกรณีที่สองเป็นการเก็บข้อมูลในช่วงสั้น โดยทำการปิดช่องอากาศเข้าและออก พร้อมกับให้ความร้อนกับอากาศภายในห้องจนมีอุณหภูมิราว 46 และ 37 °C ในช่วงที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศโดยรอบสูง และต่ำ ตามลำดับ จึงเปิดช่องอากาศขาเข้าและออก เพื่อเก็บข้อมูลการระบายความร้อน ไปใช้เป็นข้อมูลในแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพิจารณาตำแหน่งการติดตั้งบนหลังคา 3 ตำแหน่งคือ บนสุด กลางและล่างสุด

การทดลองในกรณีแรก พบว่า การใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถลดอุณหภูมิห้องเฉลี่ยได้ต่ำการใช้ลูกหมุนระบายอากาศทั่วไป ในช่วงที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์เพียงพอ ส่วนในช่วงที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำพัดลมระบายความร้อนให้สมรรถนะใกล้เคียงกับลูกหมุนระบายอากาศ และการทดสอบในกรณีที่สอง พบว่า การใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดอุณหภูมิอากาศภายในห้อง จนเข้าใกล้อุณหภูมิอากาศโดยรอบ ได้รวดเร็วลูกหมุนระบายอากาศ ซึ่งเมื่อนำผลการทดสอบที่สองไปพิจารณาตำแหน่งการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสง อาทิตย์ด้วย CFD พบว่า ตำแหน่ง ที่เหมาะสมในการติดตั้งตำแหน่งบนกึ่งกลางหลังคา

คำสำคัญ: พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์, การระบายความร้อน, แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Abstract

This research work studied potential on cooling of room accumulated heat by solar air ventilator compared with that by normal air ventilator. Two tested rooms with inclined south facing roofs, each of 2.45 m width, 2.50 m length and 2.75 m (lower height) and 3.05 m (taller height) having air vent at the bottom were constructed. The solar ventilator and the normal one were installed at the middle position of the roof of each room for testing at the same conditions.

The experimental tests were performed in 2 cases. For the first one, the test was carried out during 9:15 am - 4:00 pm with a 2 kW electrical heater as the outlet air temperature at 50 °C from heater and then let the cooling be done by the two ventilators. For the second case, each room was heated to the temperatures of 46 and 37 °C during the periods of high and low levels of the solar radiation and the ambient temperature, respectively, and then generated the cooling by the two ventilators. The testing data were also taken as the input data for a CFD software for simulating the temperature distribution of the air in the tested room and finding the suitable position for installing the solar ventilator among topmost, middle and lowermost of the roof.

For the first experimental case, the solar air ventilator could reduce the room temperature to be closer to the ambient temperature than the normal ventilator when the solar radiation level was high enough. For very low solar radiation, the performance was close to that of the normal one. For the second experimental case, the cooling rate performed by the solar air ventilator was also higher than that by the normal unit. With the CFD simulation, the suitable position for the solar air ventilator should be at the middle of the inclined roof.

Keywords: Solar air ventilator, Cooling, Computational fluid dynamics

บทนำ

อาคารโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากจะมีลักษณะเป็นอาคารหลังคาสูง ที่ทำจากโครงสร้างเหล็กและแผ่นโลหะ โดยกิจกรรมการทำงานของโรงงานส่วนใหญ่มักจะมีการทำงานของเครื่องจักร ทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในตัวอาคาร โดยเฉพาะบริเวณใต้หลังคา ประกอบกับความร้อนที่ได้จากรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบหลังคาโรงงาน โดยเฉพาะประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตโซนร้อน ซึ่งในช่วงหน้าร้อน อุณหภูมิอากาศสูงสุดอาจถึง 44.27 °C [1] ส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณหลังคาสูงได้ถึง 60 °C [2] ถ้าหากโรงงานเหล่านี้ไม่มีช่องระบายอากาศ หรือการระบายอากาศได้ดี จะทำให้ความร้อนสะสมภายใต้หลังคามากขึ้น [3] จนทำให้อากาศร้อนขยายตัวและมีการแผ่รังสีจากหลังคามายังบริเวณด้านล่างที่มีพนักงานทำงานอยู่ ซึ่งจะส่งผลต่อความรู้สึก และลดประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน จากเหตุผลดังกล่าวอาคารโรงงานหลายแห่งจึงได้มีการหาเทคนิค และวิธีการลดความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นบริเวณใต้หลังคานี้

เทคนิคส่วนใหญ่ที่ใช้ระบายความร้อนใต้หลังคามีหลายวิธี เช่น การทำหลังคาแบบมีช่องระบายอากาศทางหน้าบันหรือติดชายคาแบบมีรูระบายอากาศ [4] การติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพื่อช่วยลดความร้อนที่จะแผ่ลงมาด้านล่าง [5] การฉีดพ่นน้ำระบายความร้อนให้กับหลังคา ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิอากาศห้องใต้หลังคาได้ถึง 4.76 °C [6] และการติดตั้งลูกหมุนระบายอากาศ วิธีหลังพบว่ามีการนำมาติดตั้งบนหลังคาของอาคารเพื่อระบายความร้อน โดยอาศัยแรงลมและความร้อนที่สะสมอยู่ใต้หลังคา อากาศที่ร้อนจะลอยตัวขึ้นไปยังด้านบนของหลังคาและอากาศที่เย็นกว่าโดยรอบจะไหลเข้ามาแทนที่เกิดการหมุนเวียนของอากาศ อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ลูกหมุนระบายอากาศเป็นอุปกรณ์ทีเหมาะในการใช้กับพื้นที่ที่อากาศเย็นโดยรอบ [7] ซึ่งจะช่วยให้มีอากาศหมุนเวียนในอาคาร ที่มีอุณหภูมิภายในสูงกว่า และช่วยลดความอับชื้นไม่ได้ถูกสร้างขึ้นมาใช้ระบายความร้อนสำหรับประเทศเขตร้อน ทำให้เมื่อนำมาใช้งานอาจไม่ช่วยในการระบายความร้อนออกจากห้องใต้หลังคาได้มากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่อุณหภูมิอากาศโดยรอบมีค่าสูง

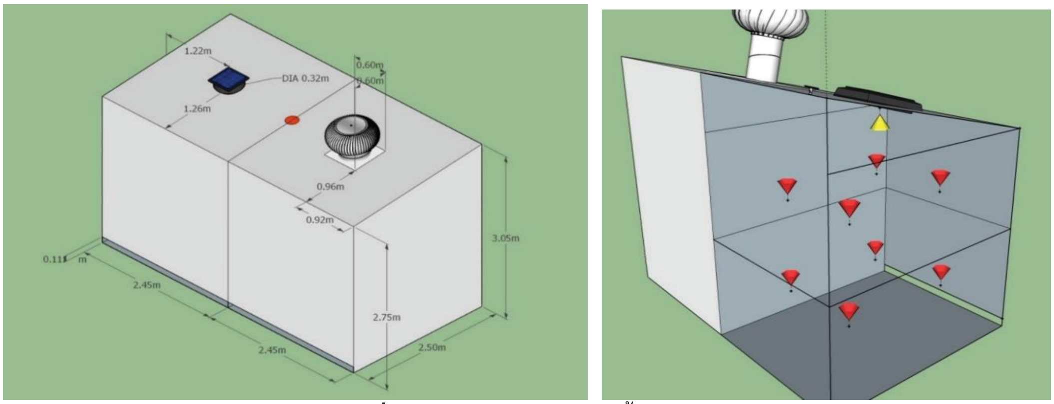
ประเทศไทยตั้งอยู่ในแถบบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร มีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีประมาณ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตร [8] จึงมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้ในโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำมาใช้ขับพัดลมระบายอากาศ ลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคา ซึ่งมีงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการประยุกต์ใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์กับพัดลมเป่าอากาศโดยติดพัดลมใต้ฝ้าเพดานและพัดลมตรงช่องระบายอากาศ พบว่าสามารถลดอุณหภูมิห้องใต้หลังคาได้ถึง 1-5°C ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศภายในบ้านใต้ฝ้าเพดานเย็นกว่าบ้านที่ติดตั้งหลังคาทั่วไปถึง 2-8°C [9] นอกจากนั้นได้มีการประยุกต์ใช้พัดลมเป่าอากาศร่วมกับโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใต้ฝ้าเพดาน เพื่อเป่าอากาศขึ้นไปยังลูกหมุนที่ติดตั้งไปบนสุดของหลังคาจั่วสี่เหลี่ยม พบว่าวิธีดังกล่าวสามารถลด อุณหภูมิของอากาศภายในบ้านได้ถึง 2-5°C [10]

จะเห็นได้ว่าการใช้พัดลมดูดอากาศ จะช่วยลดความร้อนสะสมในอาคาร โดยเฉพาะบริเวณใต้หลังคา ที่และสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการขับพัดลม อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่ผ่านมาเป็นเพียงการทดลองเพื่อหาการลดลงของอุณหภูมิของอากาศบริเวณใต้หลังคาลักษณะหลังคาจั่วเป็นส่วนใหญ่ ที่เกิดจากความร้อนสะสมจากความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนหลังคา ไม่ได้แสดงพฤติกรรมด้านความร้อนและการไหลเวียนของอากาศ รวมถึงผลของตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์พัดลมระบายความร้อน จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ การศึกษานี้ จะทำการเปรียบเทียบผลการระบายความร้อนเทียบกับลูกหมุนระบายอากาศที่ใช้กันทั่วไป และมีการใช้ CFD ในการหาตำแหน่งการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการวิจัย

1. การศึกษาศักยภาพในการระบายความร้อนของลูกหมุนระบายอากาศและพัดลมระบายความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

การศึกษาในครั้งนี้จะทำการทดสอบประสิทธิภาพการระบายความร้อนอากาศภายในห้องทดสอบ โดยห้องทดสอบถูกแบ่งออกเป็น 2 ห้อง ดังแสดงในภาพที่ 1 ห้องแรกจะทำการติดตั้งลูกหมุนระบายอากาศโดยทั่วไป อีกห้องหนึ่งจะทำการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ห้องทดสอบทั้งสองจะทำการวัดการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ โดยทำการติดตั้งสายเทอร์โมคับเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิ ทั้งหมด 8 จุด (กรวยสีแดง) ซึ่งแบ่งเป็น 4 จุดบน และล่าง ที่ระยะ 2 m และ1 m วัดจากพื้นห้อง และมีการใช้ Hot-wire anemometer วัดความเร็วที่จุดขาเข้าพัดลมระบายอากาศ (กรวยสีเหลือง) และใช้ Pyranometer วัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ที่วางระนาบเดียวกันกับหลังคา



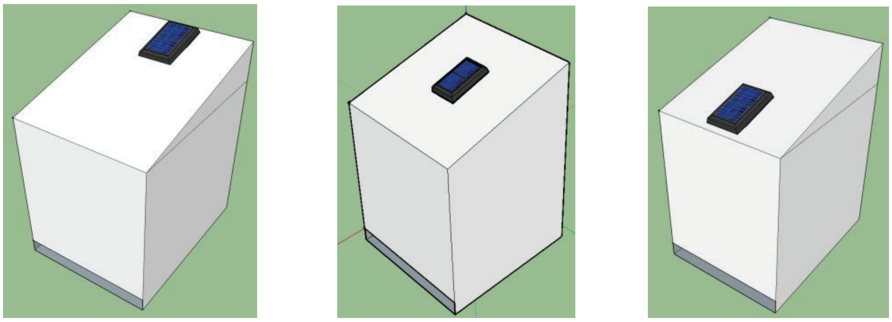
ภาพที่ 1 ห้องทดสอบและการติดตั้งอุปกรณ์วัด

ค่าความเร็วลมที่วัดได้จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงอุณหภูมิที่ตำแหน่งก่อนเข้าตัวระบายอากาศ โดยในห้องทั้งสองห้องจะมีการสร้างภาระความร้อนในห้องด้วยขดลวดความร้อน เพื่อให้อากาศภายในห้องทดสอบมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกห้อง และสำหรับห้องที่ใช้พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จะมีการนำข้อมูลการทดสอบไปใช้เป็นเงื่อนไขในโมเดลของโปรแกรม ESI-CFD เพื่ออธิบายพฤติกรรมการไหลของอากาศ และหาตำแหน่งการติดตั้งพัดลมระบายอากาศที่เหมาะสม

การทดสอบจะแยกออกเป็น 2 กรณี ในกรณีแรกจะทำการทดสอบเก็บข้อมูล ระหว่างเวลา 9.15-16.00 น. เพื่อเปรียบเทียบผลของข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดสอบที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ และลูกหมุนระบายอากาศทั่วไป โดยในห้องทดสอบทั้งสองห้องจะตั้งค่าอุณหภูมิอากาศที่ผ่านขดลวดความร้อนออกมาประมาณ 50°C หรือด้วยอัตราความร้อน 2 kW กรณีที่สองจะทำการทดสอบในระยะเวลาสั้น เพื่อพิจารณาความสามารถในการระบายความร้อนภายในห้อง โดยจะทำการปิดช่องอากาศขาเข้าและออกจากห้อง แล้วให้ความร้อนแก่อากาศในห้องทดสอบจนมีอุณหภูมิ 37 °C และ 45 °C และหลังจากนั้นจะทำการเปิดช่องอากาศทั้งเข้าและออก แล้วทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ จนอากาศในห้องทดสอบทั้งสอบใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องทดสอบ ซึ่งข้อมูลทดสอบในกรณีที่สองนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับ CFD เพื่อเลือกหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของพัดลมระบายความร้อนต่อไป

2 การหาตำแหน่งการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

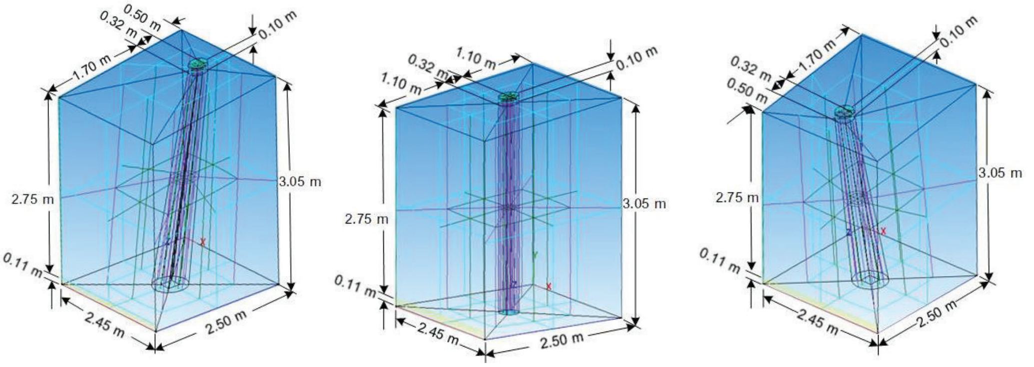
การติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสม จะใช้เงื่อนไขการทดสอบของห้องทดสอบ เพื่อใช้ในโปรแกรม ESI-CFD และพิจารณาเปรียบเทียบผลการวางตำแหน่งของพัดลมระบายความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 3 ตำแหน่ง คือ บนสุด กลางและล่างสุด ดังภาพที่ 2 โดยตำแหน่งของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ตำแหน่งบนสุดและล่างสุด ซึ่งจะวางห่างจากตำแหน่งกลางหลังคาเป็นระยะตามแนวระนาบหลังคา 60 cm โดยเงื่อนไขที่ใช้ในการจำลองจะมาจากข้อมูลการทดสอบ



(ก) บน (ข) กลาง (ค) ล่าง

ภาพที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

การจำลองการไหลของอากาศ จะใช้โปรแกรม CFDRC [8] โดยแบบจำลองที่ทำการศึกษาแสดงดังภาพที่ 3 และกำหนดคุณสมบัติและสภาวะเงื่อนไขต่างๆกำหนดไว้ดังตารางที่ 1



(ก) บน (ข) กลาง (ค) ล่าง

ภาพที่ 3 แบบจำลองตัวขวางการไหลแบบแผ่นครีบ

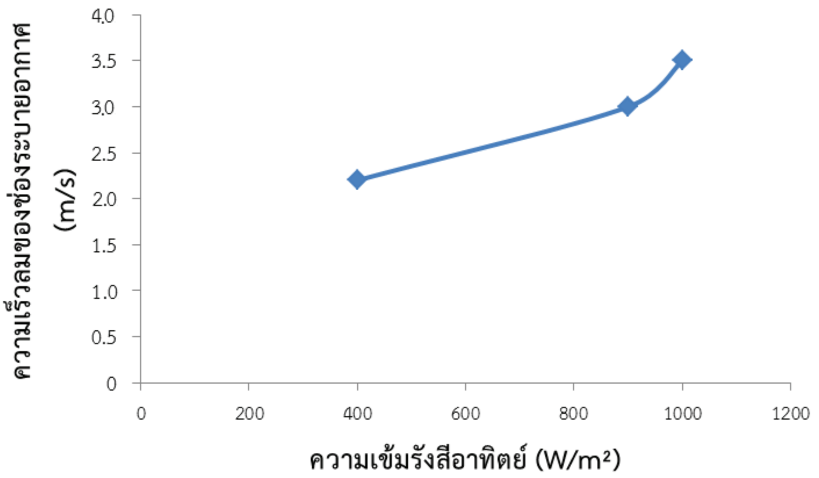
ตารางที่ 1 คุณสมบัติและสภาวะเงื่อนไขในการคำนวณ

รายการ	รายละเอียด
ของไหลในห้องทดสอบ	อากาศ (Air)
ความเร็วอากาศขาออก	2.5 m/s
Density (Air)	1.1614 kg/m^3
Kinematic viscosity (Air)	1.589x10^{-5} m^2/s
Specific Heat (Air)	1,007 J/kg-K
อุณหภูมิอากาศขาเข้า	37 °C
อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องเริ่มต้น	50 °C
Time dependence	Transient

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องทดสอบที่ติดตั้งลูกหมุนระบายอากาศและพัดลมระบายความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ตลอดทั้งวัน

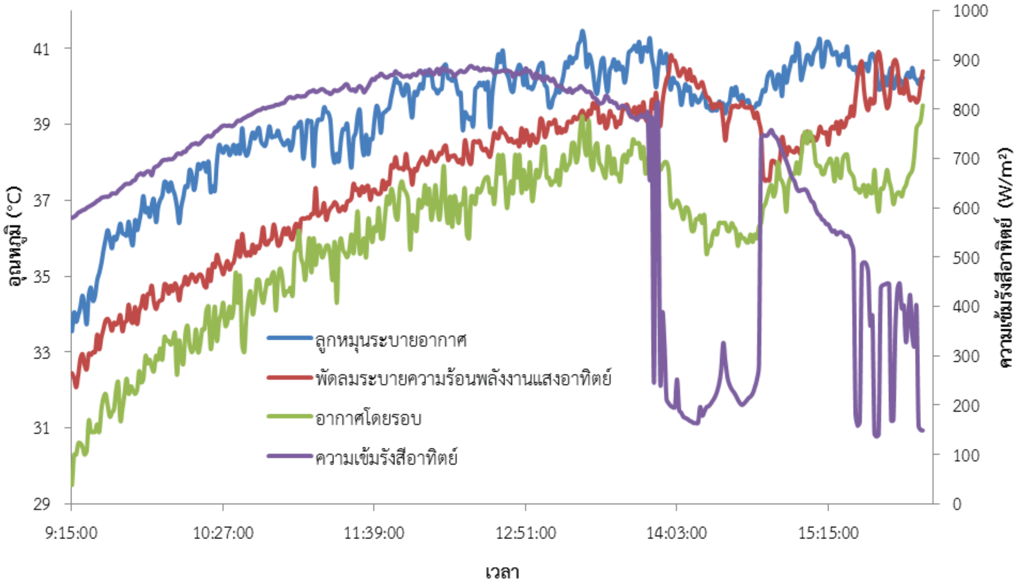
ความเร็วเฉลี่ยตลอดหน้าตัดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงตามความเข้มรังสีอาทิตย์ของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จากการทดสอบจริง แสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมของช่องระบายอากาศกับความเข้มรังสีอาทิตย์ ของพัดลมระบายความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

จากภาพที่ 4 ค่าความเร็วลมของช่องระบายอากาศของพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ จะแปรตามค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ตามความเร็วรอบของพัดลม พัดลมสามารถทำงานได้ดีแม้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าต่ำ ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 400 W/m² มีค่าความเร็วลมเฉลี่ย 2.2 m/s เมื่อค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าสูง เช่น 900 W/m² จะได้ความเร็วเฉลี่ย 3.1 m/s และที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 1000 W/m² มีค่าความเร็วเฉลี่ย 3.4 m/s

เมื่อทำการทดสอบความสามารถในการระบายความร้อนภายในห้องทดสอบที่ติดตั้งพัดลมระบายความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และลูกหมุนระบายอากาศ โดยทำการเก็บค่าอุณหภูมิในแต่ล่ะจุดตั้งแต่เวลา 9.15 น.ถึง 16.00 น. ภายในห้องทดสอบมีการสร้างภาระความร้อนภายในห้องทดสอบตลอดเวลา โดยควบคุมให้อุณหภูมิอากาศขาออกขดลวดโดยป้อนความร้อนคงที่ที่ 50°C หรือด้วยอัตราความร้อน 2 kW ผลของอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องทดสอบทั้งสองห้อง อุณหภูมิอากาศโดยรอบและความเข้มรังสีอาทิตย์ มีค่าตามภาพที่ 5

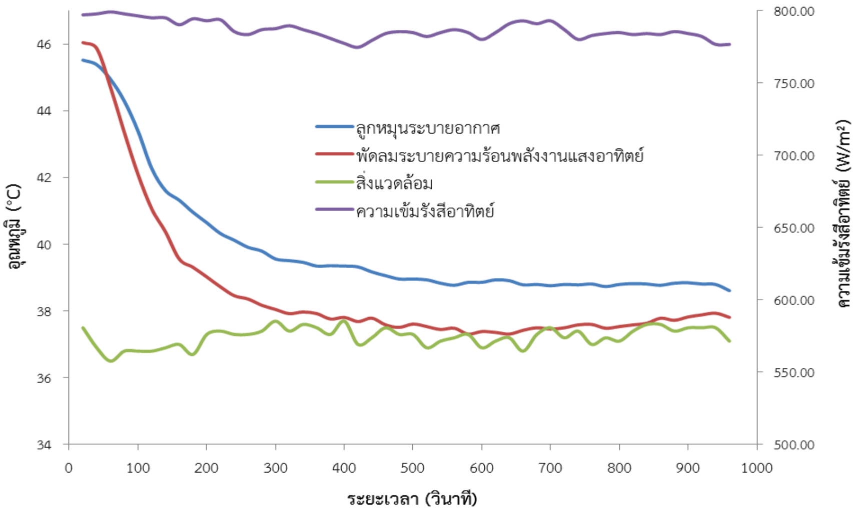


ภาพที่ 5 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดสอบที่ติดตั้งลูกหมุนระบายอากาศและพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ

จากภาพที่ 5 พบว่า ในช่วงเวลาที่มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูง พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มีความเร็วรอบสูงสามารถระบายอากาศออกจากห้องทดสอบได้เป็นอย่างดี อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องจะลดเข้าใกล้อุณหภูมิอากาศภายนอกได้ดีกว่า แต่ในช่วงเวลาที่มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มีการหมุนของใบพัดที่ต่ำหรือแทบจะไม่หมุนเลย อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดสอบทั้ง 2 ห้องกลับมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

3.2 การทดสอบศักยภาพการระบายความร้อนด้วยพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับลูกหมุนระบายอากาศ

การทดสอบศักยภาพในการระบายความร้อน จะทดสอบในช่วงเวลาที่ความเข้มรังสีอาทิตย์สูง และมีค่าค่อนข้างคงที่ โดยมีการสร้างภาระความร้อนให้อากาศภายในห้องทดสอบให้มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ประมาณ 46 °C จากนั้นให้มีการระบายอากาศออกจากห้องทดสอบ ผลของอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องทดสอบทั้งสองห้อง แสดงในภาพที่ 6

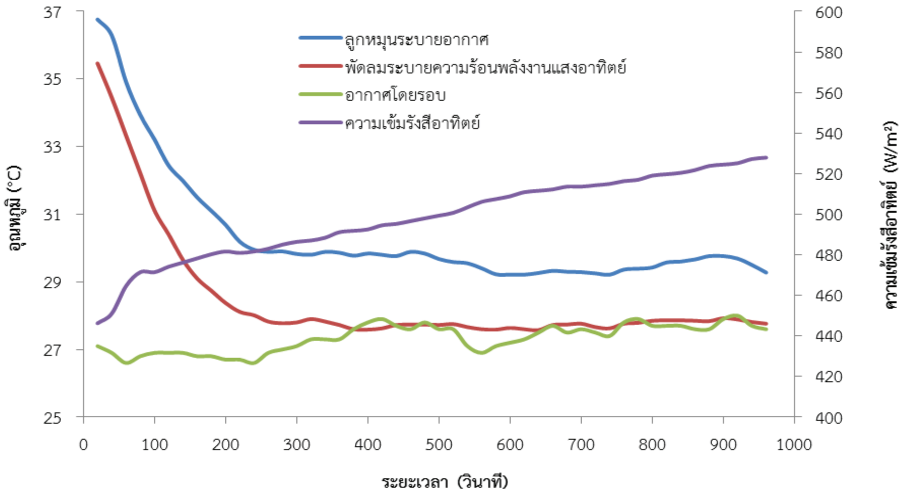


ภาพที่ 6 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดสอบเมื่อมีการระบายอากาศในห้องที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์และลูกหมุนระบายอากาศกรณีที่ทดสอบในช่วงเวลาที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์สูง และค่อนข้างคงที่

จากภาพที่ 6 เป็นการทดสอบในช่วงเวลาที่ มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 775-800 W/m² และอุณหภูมิอากาศโดยรอบที่ 36.5-37.5°C พบว่าห้องทดสอบที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถลดอุณหภูมิในห้องลงเข้าใกล้อุณหภูมิอากาศโดยรอบได้รวดเร็วกว่า ห้องทดสอบที่ติดตั้งลูกหมุนระบายอากาศ

ภาพที่ 7 แสดงผลการทดสอบในช่วงเวลาที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ ในช่วง 450-550 W/m² และอุณหภูมิอากาศโดยรอบที่ 26.6-28.5 °C มีการสร้างความร้อนภายในห้องทดสอบที่อุณหภูมิ 37 °C จากนั้นจะเริ่มระบายอากาศออกจากห้อง เป็นการทดลอง พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงสมรรถนะสูงกว่าลูกหมุนระบายอากาศ

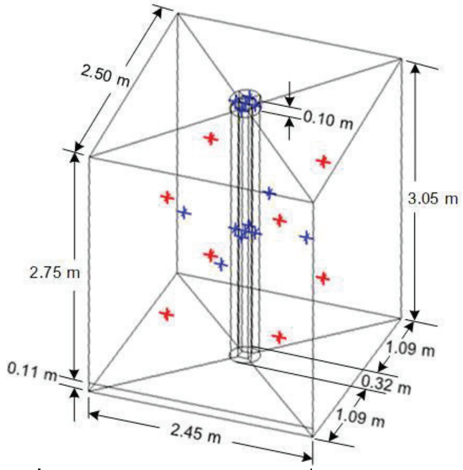
จะสังเกตได้ว่าในกรณีหลังอุณหภูมิในห้องทดสอบ ยังคงมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงที่ทดสอบโดยมีความแตกต่างราว 1-1.5 °C ทั้งในช่วงที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงหรือต่ำ



ภาพที่ 7 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดสอบเมื่อมีการระบายอากาศในห้องที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์และลูกหมุนระบายอากาศกรณีที่ทดสอบในช่วงเวลาที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ และค่อนข้างคงที่

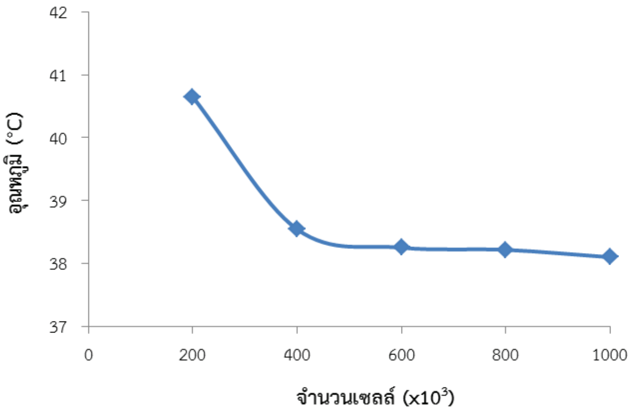
3.3 การทดลองหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

การนำโมเดล CFD มาศึกษาลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในห้อง ในขั้นแรก จะต้องเปรียบเทียบผลการทดสอบเทียบกับผลที่ได้จากโมเดลใน CFD ตามเงื่อนไขเดียวกับการทดสอบจริง ตามตารางที่ 1 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ที่กึ่งกลางหลังคา โดยในการเปรียบเทียบจะทำการวัดตำแหน่งอุณหภูมิ (จุดสีแดง) ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ตำแหน่งการหาอุณหภูมิเฉลี่ยใน CFD (จุดสีแดง)

การทำแบบจำลองในโปรแกรมCFD จะต้องมีการหาจำนวนเซลล์ที่เหมาะสม โดยใช้ห้องทดสอบจำลอง ดังภาพที่ 8 และข้อมูลจากตารางที่ 1 เป็นเงื่อนไขเริ่มต้น ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดสอบจำลองเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาทีแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ผลของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดสอบจำลองที่ 5 นาที ตามจำนวนเซลล์ที่เปลี่ยนแปลง

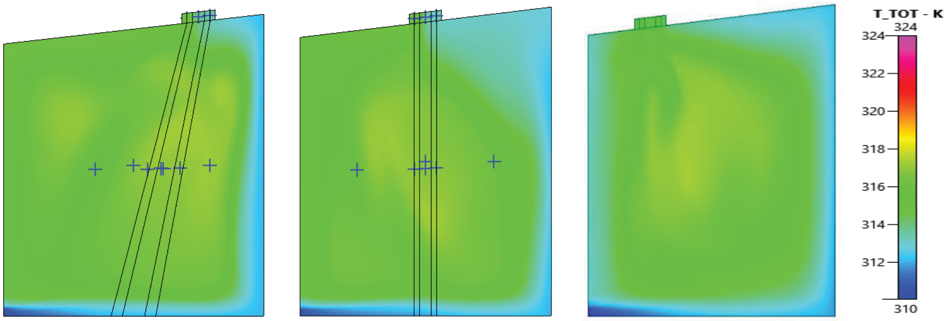
เมื่อใช้จำนวนเซลล์ 400,000 เซลล์ อุณหภูมิเฉลี่ยของห้องทดสอบจำลองที่เวลา 5 นาทีมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ 400,000 เซลล์ เป็นเงื่อนไขในการจำลอง ซึ่งผลของอุณหภูมิเฉลี่ยของห้องทดสอบจำลองเมื่อผ่านไปในระยะเวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับการทดลองจริงได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับการจำลองใน CFD

ช่วงเวลา (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	การทดลอง	การจำลอง
1	44.7	46.0
2	41.6	42.8
3	39.3	40.8
4	38.4	39.5
5	38.0	38.3

จากตารางที่ 2 พบว่าการจำลองใน CFD ให้ผลอุณหภูมิเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับการทดลองจริง โดยมีความคลาดเคลื่อน 2.6 % ดังนั้นจึงนำแบบจำลองที่ได้ มาหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่ง บนสุด กลาง และล่างสุด

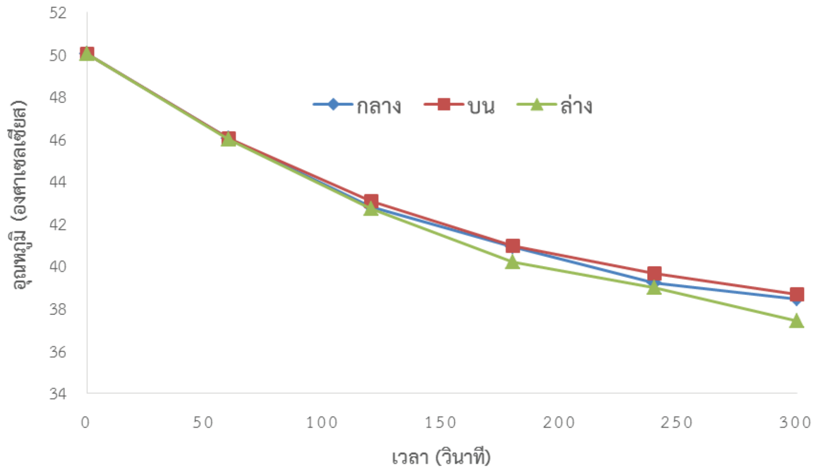
เมื่อใช้เงื่อนไขในตารางที่ 1 ในการคำนวณด้วย CFD ของแบบจำลองทั้ง 3 กรณี แล้วสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในห้องทดสอบจำลอง โดยกำหนดเวลาตั้งแต่เริ่มต้นและเมื่อผ่านไป 5 นาที จะได้ผลแสดงดังภาพที่ 10



(ก) บนสุด (ข) กลาง (ค) ล่างสุด

ภาพที่ 10 การกระจายตัวของอุณหภูมิในห้องทดสอบเมื่อผ่านไป 2 นาที ด้วยการจำลองโดยใช้ CFD

ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ภายใน 5 นาที (300 วินาที) จะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 11 ห้องที่มีการติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตำแหน่ง บน กลาง และล่าง จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้อง เท่ากับ 38.67 °C, 38.43 °C และ 37.43 °C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า การติดตั้งที่ตำแหน่งล่าง เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที จะมีอุณหภูมิในห้องต่ำที่สุด เนื่องจาก การติดตั้งที่ตำแหน่งดังกล่าว จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศเย็นเข้าสู่ห้องแล้วเกิดการหมุนวนของอากาศทั่วทั้งห้อง ทำให้สามารถดึงอากาศร้อนออกจากห้องได้ดีกว่า การติดตั้งที่ตำแหน่งบนและกลางเล็กน้อย ซึ่งจะสามารถสังเกตได้จากภาพที่ 10 ส่วนในการติดตั้งในตำแหน่งบน อากาศเย็นจากสิ่งแวดล้อมที่เข้าจากบริเวณด้านล่างแล้วเคลื่อนผ่านไปยังพัดลมระบายความร้อน ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีบางจุดที่อากาศเย็นไม่ได้เคลื่อนไปแทนที่อากาศร้อนในบางจุดทำให้ความร้อนสะสมในห้องมีมากกว่า การติดตั้งพัดลมที่ตำแหน่งล่าง



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องตามเวลาที่เปลี่ยนแปลง จากการคำนวณด้วย CFD

สรุปผลการวิจัย

- การติดตั้งพัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ส่งผลให้สามารถอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ลดต่ำกว่ากว่า เปรียบเทียบกับลูกหมุนระบายอากาศทั่วไป เมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์สูงเพียงพอในการขับพัดลม แต่เมื่อมีความเข้มของรังสีอาทิตย์จนพัดลมหมุนช้ามาก อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน
- พัดลมระบายอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถลดอุณหภูมิของอากาศภายในห้อง เข้าสู่อุณหภูมิอากาศโดยรอบได้เร็วกว่าลูกหมุนระบายอากาศ ได้ดีกว่าลูกหมุนระบายอากาศทั่วไป เมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์สูงเพียงพอในการขับพัดลม ในขณะที่กรณีหลัง อุณหภูมิอากาศในห้อง ยังคงสูงกว่าอุณหภูมิอากาศโดยรอบ 1-1.5^{o}C
- จากการศึกษาผลของตำแหน่งพัดลมระบายความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จากการจำลองในโปรแกรม CFD การติดตั้งชุดพัดลมที่บริเวณกลางหลังคาห้องทดสอบ ลดอุณหภูมิภายในห้องได้ดีที่สุด เทียบกับตำแหน่ง บนสุด และล่างสุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการใช้สถานที่และเครื่องมือทดสอบ รวมถึงเงินสนับสนุนการวิจัยบางส่วน

เอกสารอ้างอิง

[1] Condliffe, J. **Thailand’s insane heatwave: a month above 104degree** สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2559, จาก http://gizmodo.com/thailands-insane-heatwave-a-month-above-104-degrees-1773326068.

[2] บัญญัติ พงษ์พิริยะเดชะ และ สักการ ราษีสุทธิ์. (2553). การศึกษาโดยการทดลองเรื่อง การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความเร็วลมผ่าน ช่องว่างของหลังคาเหล็กเคลือบโลหะ, **วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 9, 14-25.

[3] โยธิน อึ่งกูล. ปรีดา จันทวงษ์, วฒิชัย หมื่นราม, ขวัญชัย สุระภาพ และ อิทธิเทพ พัตรานนท์. (2555). การศึกษาทดสอบสมรรถนะของหลังคากังหันระบายอากาศแบบธรรมชาติ ภายใต้สภาวะอากาศของกรุงเทพมหานคร, **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**. 14 (1), 66-75.

[4] พันธุดา พุฒิไพโรจน์. (2551). การระบายอากาศร้อนใต้หลังคาสามารถลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้จริงหรอ, **วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร**, 101-112.

[5] สืบศิริ แซ่ลี้ และ ศักดิ์ชาย สิกขา. (2555). การพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นฝ้าและผนังฉนวนกันความร้อนจากพืชในเขตพื้นที่ประเทศไทย, **วารสารวิชาการ ศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร**, 3 (1), 15-24.

[6] นินนาท ราชประดิษฐ์. (2553) **กรณีศึกษาแนวทางการลดความร้อนในหลังคาโดยการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์**, ปัญหาพิเศษ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[7] บริษัท ห้องปฏิบัติการการกลาง. **ลูกหมุนบนหลังคาอาคาร ช่วยระบายความร้อน หรือสะสมความร้อน.** สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2559, จาก http://www.centrallabthai.com/web/th/main/content.php.

[8] ธนณัฏฐ์ ลังกาดี และ อรรถกร อาสนคำ. (2559). การประเมินสมรรถนะโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในกรณีที่มีและไม่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศ, **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**. 23 (3), 130-141.

[9] ปรีดา จันทวงษ์. (2556). การศึกษาเปรียบเทียบทดสอบระหว่างหลังคาทั่วไป กับปล่องหลังคาโซล่าร์เซลล์ระบายอากาศแบบธรรมชาติ ร่วมกับพัดลมไฟฟ้ากระแสตรงและวิเคราะห์ต้นทุนวงจรชีวิต, **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. 23 (1), 104-114.

[10] ปรีดา จันทวงษ์ และ วิชาญ วิมานจันทร์. (2555). การระบายอากาศแบบธรรมชาติของบ้านจำลองด้วยหลังคาโซล่าร์เซลล์กังหันระบายอากาศร่วมกับพัดลมกระแสตรงภายใต้สภาวะอากาศของกรุงเทพมหานคร, **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. 22 (2), 305-314.

การศึกษาความแตกต่างของฉนวนความร้อนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพหม้อไอน้ำขนาดเล็ก

A Study Thermal Insulation Differences Affecting the Efficiency of Small Boiler

กิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์[1*] และทวีวัฒน์ สุภารส[2]

[1]ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ. ประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

[2]ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ (Abstract)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำขนาดเล็กกรณีติดตั้งฉนวนความร้อนชนิดใยแก้ว ใยหิน และเซรามิคไฟเบอร์ ที่ความหนา 0.05 m เปรียบเทียบกับหม้อไอน้ำที่ไม่ติดตั้งฉนวนความร้อน โดยระบบประกอบด้วยหม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ อัตราการผลิตไอน้ำ 40 kg/hr ใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิง โดยติดตั้งเครื่องมือวัดความดัน อุณหภูมิ อัตราการไหลน้ำป้อน อัตราการไหลแก๊สไอเสีย และเครื่องมือวัดปริมาณเชื้อเพลิง การทดลองปรับตั้งความดันเท่ากับ 0.5, 1.5 และ 2.5 bar(g) ที่อัตราน้ำป้อน 10 L/hr จากการศึกษา พบว่าหม้อไอน้ำที่ไม่ติดตั้งฉนวนความร้อน มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 46.91 มีการสูญเสียความร้อนเฉลี่ย 1166.41 W หม้อไอน้ำติดตั้งฉนวนใยแก้ว มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 62.32 มีการสูญเสียความร้อนผ่านฉนวนเฉลี่ย 40.89 W มีค่าเชื้อเพลิงลดลงเฉลี่ย 9,051.42 Baht/year คิดเฉลี่ยเป็นร้อยละ 25 ของหม้อไอน้ำที่ไม่ติดตั้งฉนวนความร้อน ระยะเวลาคืนทุน 1 Month หม้อไอน้ำที่ติดตั้งฉนวนใยหิน มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 60.48 มีการสูญเสียความร้อนผ่านฉนวนเฉลี่ย 64.34 W มีค่าเชื้อเพลิงลดลงเฉลี่ย 8,228.57 Baht/year คิดเฉลี่ยเป็นร้อยละ 23 ระยะเวลาคืนทุน 2 Month หม้อไอน้ำที่ติดตั้งฉนวนเซรามิคไฟเบอร์ มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 58.74 มีการสูญเสียความร้อนผ่านฉนวนเฉลี่ย 85.04 W มีค่าเชื้อเพลิงลดลงเฉลี่ย 7,405.71 Baht/year คิดเฉลี่ยเป็นร้อยละ 20 ระยะเวลาคืนทุน 4 Month

คำสำคัญ: หม้อไอน้ำขนาดเล็ก/ ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ/ ฉนวนกันความร้อน/ แก๊สแอลพีจี

[1]Corresponding author: Tel.: 089-1162738. E-mail address: kittiwoot.s@fte.kmutnb.ac.th, kittiwoot_05@hotmail.com

บทนำ (Introduction)

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม ด้านการคมนาคม ด้านการสื่อสาร หรือด้านธุรกิจท่องเที่ยว โดยประเทศที่มีแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพเพียงพอต่อการบริโภคภายในประเทศ จะเป็นประเทศที่มีความมั่นคงทางเศรษฐกิจ และมีความเจริญด้านอุตสาหกรรม ตรงข้ามกับประเทศที่ไม่มีแหล่งพลังงานเป็นของตนเองหรือมีไม่เพียงพอต่อการบริโภคในประเทศ ทำให้การพัฒนาประเทศเป็นไปด้วยความล่าช้า และจากวิกฤตการณ์พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างยิ่ง หากไม่สามารถหาแหล่งพลังงานใหม่ได้ คาดว่าจะมีผลต่อการพัฒนาประเทศในระยะยาว

เพื่อให้มีการใช้พลังงานและทรัพยากรให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงมุ่งเน้นการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี รวมถึงการออกแบบเพื่อลดต้นทุนและลดการใช้พลังงาน โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมากกว่าร้อยละ 35 ในอุปกรณ์ประเภทหม้อไอน้ำ หม้อน้ำมันร้อน และเตาอุตสาหกรรม เป็นต้น จากการศึกษากรณีศึกษา 003 [1] ของบริษัท สหไพศาลอินดัสทรี จำกัด และ บริษัท ยูเนี่ยนราชบุรี (1992) จำกัด พบว่า การหุ้มฉนวนที่ท่อส่งความร้อนและผนังเตา สามารถลดปริมาณความร้อนสูญเสียได้มากอีกทั้งยังสามารถประหยัดต้นทุนเชื้อเพลิงและลดระยะเวลาคืนทุนได้อีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบการติดตั้งฉนวน 3 ชนิด ได้แก่ ใยแก้ว ใยหิน และเซรามิคไฟเบอร์ ที่หม้อไอน้ำขนาดเล็กความดันต่ำ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เปรียบเทียบกับหม้อไอน้ำที่ไม่มีการหุ้มฉนวน

ทฤษฎีและการวิเคราะห์ระบบ (Theory and System Analysis)

ระบบไอน้ำ หมายถึง ระบบที่ประกอบด้วย หม้อน้ำ ระบบส่งจ่ายไอน้ำ ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น (Condensate) และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ (ผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง) ไอน้ำที่ผลิตขึ้นจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตของโรงงานต่อไป

1. หม้อไอน้ำ (Boiler)

หม้อไอน้ำเป็นอุปกรณ์สำหรับผลิตไอน้ำ เพื่อนำไอน้ำไปใช้ประโยชน์ในโรงงานอุตสาหกรรมด้านต่างๆ โดยสามารถผลิตไอน้ำได้ทั้งปริมาณและความดันที่ต้องการ เพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchange) ในกระบวนการผลิต ส่วนไอน้ำยิ่งยวด (Superheat Steam) ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงจะใช้เป็นต้นกำลัง (Power Plant) ขับกังหันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

2. ประเภทของหม้อไอน้ำ (Type of Boiler)

2.1 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire tube boiler) คือ หม้อไอน้ำที่มีท่อไฟที่แก๊สร้อนไหลผ่านอยู่ในท่อ และมีน้ำที่รับความร้อนเพื่อกลายเป็นไอน้ำอยู่ภายนอกท่อ

2.2 หม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ (Water tube boiler) เป็นหม้อไอน้ำที่มีน้ำอยู่ภายในท่อน้ำ รับความร้อนจากแก๊สร้อนที่ไหลผ่านอยู่ภายนอกท่อเพื่อระเหยกลายเป็นไอน้ำ

2.3 หม้อไอน้ำแบบอื่นๆ คือหม้อไอน้ำที่ไม่สามารถจัดอยู่ในกลุ่มของทั้ง 2 ประเภทในข้างต้นได้ เช่น หม้อไอน้ำโรงไฟฟ้า เป็นต้น

3. ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (Boiler Efficiency)

การคำนวณโดยวิธีตรง เป็นการคำนวณประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลของปริมาณพลังงานความร้อนของไอน้ำที่ผลิตขึ้นโดยหม้อไอน้ำและข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิง [2]

$$\eta_{Boiler} = \frac{\dot{m}_w \left(h_{steam} - h_{feedwater} \right)}{\dot{m}_f \times HHV} \times 100\% \qquad (1)$$

เมื่อ $\dot{m}_w$ คือ อัตราการไหลของน้ำป้อน (kg/hr), h_{steam} คือ เอนธัลปีไอน้ำ (kJ/kg), $h_{feedwater}$ คือ เอนธัลปีน้ำป้อน (kJ/kg) $\dot{m}_f$ คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/hr), HHV คือ ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

4. ฉนวนป้องกันความร้อน (Thermal Insulation)

ฉนวนป้องกันความร้อน คือ วัสดุที่ต้านทานหรือป้องกันมิให้พลังงานความร้อนส่งผ่านจากผนังด้านที่มีอุณหภูมิสูงไปยังผนังด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ [3] เพื่อลดการถ่ายโอนความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิสูงไปยังแหล่งอุณหภูมิต่ำกว่า

4.1 ฉนวนใยแก้ว (Fiber Glass Insulation) [4] สามารถกันได้ทั้งความร้อนและดูดซับเสียง มีค่าการนำความร้อนต่ำ (K-Value) เพียง 0.032 W/m.K มีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนสูง

4.2 ฉนวนใยหิน (Asbestos Insulation) [5] มีความหนาแน่นปกติอยู่ในช่วง 40 ถึง 200 kg/m^3 และความหนาปกติอยู่ในช่วง 50 ถึง 200 mm ฉนวนใยหินมีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่ดีเยี่ยมในช่วงอุณหภูมิ -240°C ถึง +820°C

4.3 ฉนวนเซรามิคไฟเบอร์ (Ceramic Fiber Insulation) [6] เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอุณหภูมิสูงประเภทหนึ่ง สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิ 1000°C – 1600°C

5. การถ่ายโอนความร้อน (Heat Transfer) [7]

5.1 การนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) สามารถอธิบายได้ด้วย Fourier’s law กล่าวคือ “อัตราการนำความร้อนแปรผันตรงกับเกรเดียนต์ของอุณหภูมิและพื้นที่” โดยพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายความสามารถการนำความร้อน คือ ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity; k) ซึ่งการนำความร้อนนี้หาได้จาก

$$q = -kA_c \frac{dT}{dx} \qquad (2)$$

เมื่อ k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ย (W/m.$^{\circ}$C), A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล (m^2)

5.2 การพาความร้อน (Convection Heat Transfer) เป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยที่ตัวกลางเคลื่อนที่หรือไหลไปด้วย เกิดขึ้นเฉพาะกับของเหลวหรือแก๊สเท่านั้น ความสามารถในการพาความร้อนขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection heat transfer coefficient; h_c) ค่าอุณหภูมิแวดล้อม และขนาดพื้นที่ผิวของวัตถุที่มีการพาความร้อน ซึ่งพื้นฐานของการพาความร้อนอธิบายด้วย Newton’s law of cooling ดังนี้

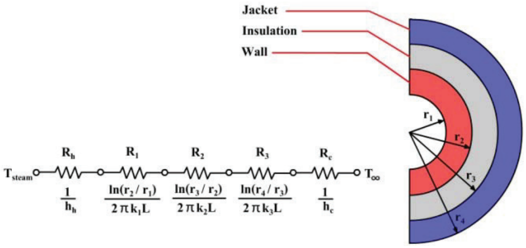
$$q = h_c A_s \left(T_s - T_\infty \right) \qquad (3)$$

เมื่อ h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (W/m^2.$^{\circ}$C), A_s คือ พื้นที่ผิววัตถุที่สัมผัสกับของไหล (m^2) T_s คืออุณหภูมิของวัตถุ ($^{\circ}$C), T_∞ คือ อุณหภูมิของอากาศบริเวณรอบหม้อไอน้ำ ($^{\circ}$C)

การถ่ายโอนความร้อนระหว่างของไหลกับผนังแบบแผ่น ซึ่งมีอุณหภูมิผิวที่มีอุณหภูมิสูง T_h และของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำ T_c อัตราการถ่ายโอนความร้อน สามารถคำนวณจาก

$$Q = UA(T_h - T_c) \qquad (4)$$

โดย U คือสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม สำหรับผนังทรงกระบอก (หม้อไอน้ำ) สามชั้นสัมผัสกับของไหลร้อนและของไหลเย็น อธิบายได้จากภาพที่ 1 ซึ่งการคำนวณค่า U สามารถหาได้จากสมการที่ (5)



ภาพที่ 1 การถ่ายโอนความร้อนแบบหนึ่งมิติผ่านผนังหม้อไอน้ำ และวงจรความต้านทานความร้อน

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_h} + \frac{L_1}{\ln\frac{r_2/r_1}{2\pi k_1 L}} + \frac{L_2}{\ln\frac{r_3/r_2}{2\pi k_2 L}} + \frac{L_3}{\ln\frac{r_4/r_3}{2\pi k_3 L}} + \frac{1}{h_c}\right)} \tag{5}$$

เมื่อ L คือ ความหนาของผนังชั้นต่างๆ (m), k_1 , k_2 และ k_3 คือ ค่าการนำความร้อนของวัตถุ ตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 (W/m.°C), h_h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างผนังกับของไหลด้านร้อน (W/m^2.°C), h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างผนังกับของไหลด้านเย็น (W/m^2.°C)

5.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation Heat Transfer) เป็นการถ่ายโอนความร้อนในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายความร้อน อธิบายได้ด้วย Stefan-Boltzmann Law ดังนี้

$$q_{rad} = \varepsilon\sigma A_s\left(T_s^4 - T_\infty^4\right) \tag{6}$$

เมื่อ ε คือ ค่าสภาพการเปล่งรังสี (Emissivity) โดย ε =1 สำหรับวัตถุดำ และ ε =0 สำหรับวัตถุขาว, σ คือ ค่าคงที่ Stefan-Boltzmann เท่ากับ 5.6703×10^{-8} (W/m^2.K^4), A_s คือ พื้นที่ผิววัตถุที่สัมผัสกับของไหล (m^2), T_s คือ อุณหภูมิของวัตถุ (K), T_∞ คือ อุณหภูมิของอากาศบริเวณรอบหม้อไอน้ำ (K)

6. การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ (Economics Analysis)

เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน [8] มีดังนี้

6.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือ ระยะเวลาที่ผลประโยชน์สุทธิที่โครงการได้รับจากการดำเนินงานสามารถชดเชยเงินลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการพอดี ในกรณีที่มีรายรับหรือผลประโยชน์สุทธิเท่ากันทุกปี สามารถคำนวณโดย

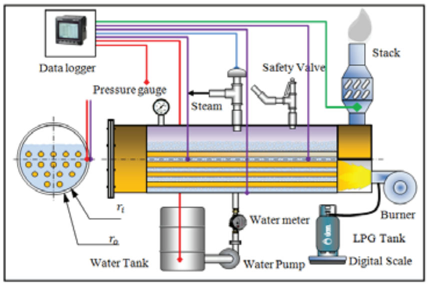
ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายลงทุน/ผลประโยชน์ที่ได้รับสุทธิต่อปี (7)

6.2 ความสัมพันธ์ของราคาเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ สูตรการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ [9]

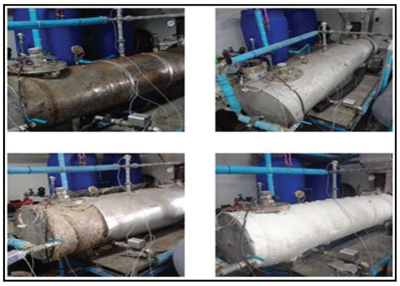
$$\text{ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนแปลง} = \text{ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงเดิม} \times \left(\frac{\text{ประสิทธิภาพหลังปรับปรุง} - \text{ประสิทธิภาพก่อนปรับปรุง}}{\text{ประสิทธิภาพก่อนปรับปรุง}}\right) \quad (8)$$

อุปกรณ์ในการวิจัย (Experimental setup)

งานวิจัยนี้ใช้หม้อไอน้ำขนาดเล็กแบบท่อไฟ 2 กลับ ซึ่งผนังหม้อไอน้ำทำด้วยโลหะสแตนเลส ความหนา 0.002 m ความยาว 1.5 m จ่ายไอน้ำได้ 40 kg/hr ใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิง กำหนดอัตราน้ำป้อนคงที่ 10 L/hr ความดันไอน้ำกำหนดที่ 0.5, 1.5 และ 2.5 bar(g) ซึ่งการติดตั้งเครื่องมือวัดอุปกรณ์ต่างๆ กับหม้อไอน้ำ แสดงในภาพที่ 2 โดยทำการทดลองทั้งกรณีไม่ติดตั้งฉนวนความร้อน และกรณีติดตั้งฉนวนความร้อน 3 แบบ ได้แก่ ชนิดใยแก้ว ชนิดใยหิน และชนิดเซรามิคไฟเบอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งมีค่า k เท่ากับ 0.0368, 0.0425 และ 0.092 W/m.K ตามลำดับ โดยฉนวน มีความหนา 0.05 m ความยาว 1.5 m มีรัศมีภายใน (r_i) เท่ากับ 0.202 m รัศมีภายนอก (r_o) เท่ากับ 0.2528 m โดยมีพื้นที่การถ่ายโอนความร้อน (A) เท่ากับ 1.98 m^2 เท่ากันทั้ง 3 แบบ



ภาพที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์ และเครื่องมือวัด



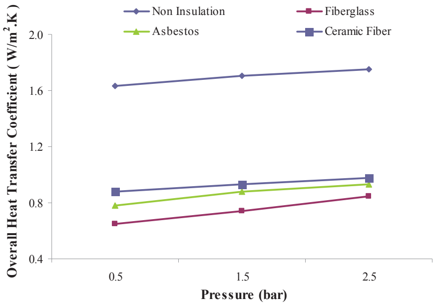
ภาพที่ 3 การติดตั้งฉนวนความร้อนแต่ละชนิด

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย (Results and discussion)

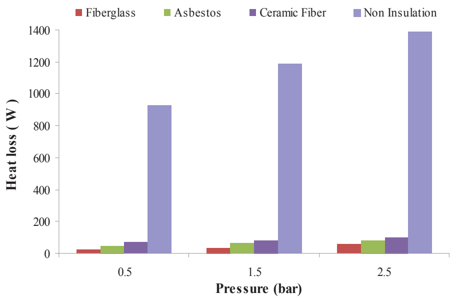
1. สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม และการสูญเสียความร้อนของหม้อไอน้ำ

ภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่า กรณีที่ไม่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนมีค่า U สูงที่สุด แสดงว่ามีถ่ายโอนความร้อนไปสู่สิ่งแวดล้อมมาก ทำให้สูญเสียความร้อนมากเช่นกันจึงสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก สำหรับกรณีที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อน พบว่า กรณีที่ติดตั้งฉนวนชนิดใยแก้วมีค่า U ต่ำที่สุด เนื่องจากค่า k ต่ำกว่าฉนวนชนิดอื่น จึงถ่ายโอนความร้อนไปสู่สิ่งแวดล้อมได้น้อยกว่า ทำให้สูญเสียความร้อนน้อยที่สุด โดยมีค่า U ต่ำกว่ากรณีที่ไม่ติดตั้งฉนวน คิดเป็นร้อยละ 56.01

การสูญเสียความร้อนจากผนังหม้อไอน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน โดยกรณีที่ไม่ติดตั้งฉนวนจะสูญเสียความร้อนจากผนังของหม้อไอน้ำมากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยกรณีไม่ติดตั้งฉนวน ที่ความดัน 0.5 และ 2.5 bar(g) สูญเสียความร้อนจากผนังเท่ากับ 928.09 และ 1385.20 W ตามลำดับ ส่วนกรณีติดตั้งฉนวนใยแก้ว ที่ความดันเดียวกันจะสูญเสียความร้อนจากผนังเท่ากับ 25.23 และ 58.96 W ตามลำดับ

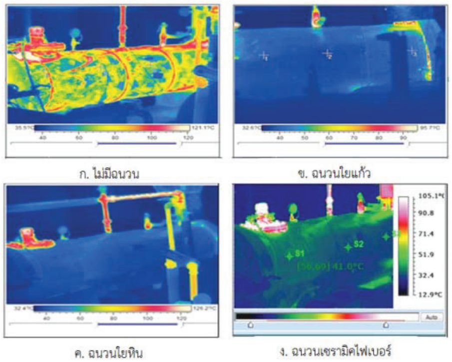


ภาพที่ 4 สัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อนรวม

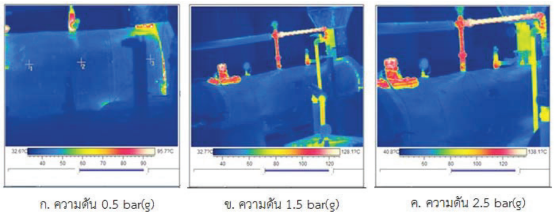


ภาพที่ 5 ความร้อนสูญเสียของหม้อไอน้ำ

เมื่อพิจารณาความดันไอน้ำเท่ากันที่ 0.5 bar(g) พบว่า กรณีที่ติดตั้งฉนวนใยแก้วมีความร้อนสูญเสียต่ำกว่าฉนวนชนิดอื่น ดังแสดงในภาพที่ 6 เพราะฉนวนใยแก้วมีค่า k ต่ำที่สุด แต่จะมีค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance; R) ของฉนวนสูง ทำให้สูญเสียความร้อนต่ำที่สุดด้วย และภาพที่ 7 แสดงถึงกรณีพิจารณาเฉพาะฉนวนใยแก้ว พบว่า เมื่อความดันไอน้ำเพิ่มขึ้น ฉนวนใยแก้วมีการสูญเสียความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของแก๊สอุดมคติ กล่าวคือความดันแปรผันตรงกับอุณหภูมิ



ภาพที่ 6 ความร้อนจากหม้อไอน้ำที่ความดันเท่ากัน



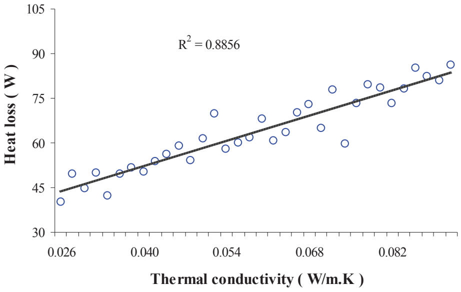
ภาพที่ 7 ความร้อนจากหม้อไอน้ำกรณีที่ติดตั้งฉนวนใยแก้ว

2. การประมาณค่าความร้อนสูญเสียผ่านฉนวนความร้อน และประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำจากการจำลองทางคณิตศาสตร์

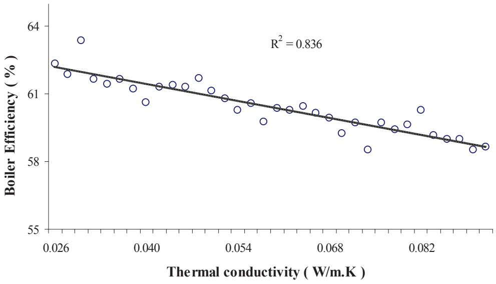
ภาพที่ 8 แสดงผลการประมาณค่า k ของฉนวนต่างๆ เทียบกับความร้อนสูญเสีย พบว่า ค่า k แปรผันตรงกับปริมาณความร้อนสูญเสียแต่แปรผกผันกับ R ดังนั้นฉนวนที่มีค่า k ต่ำก็จะมีปริมาณความร้อนสูญเสียต่ำด้วย ซึ่งอธิบายได้จากสมการที่ (9) และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำดังภาพที่ 9 พบว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำลดลงเมื่อค่า k ของฉนวนเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการที่ (10) โดยมีเงื่อนไขคือ k อยู่ระหว่าง 0.026 – 0.092 W/m.K [7] และ 0.5 bar(g) < $P_{working, avg}$ < 2.5 bar(g) สำหรับหม้อไอน้ำขนาดเล็กแบบท่อไฟ 2 กลับ ซึ่งจากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุดคือกรณีติดตั้งฉนวนชนิดใยแก้วมีค่าร้อยละ 62.32 และกรณีที่ไม่ติดตั้งฉนวนมีประสิทธิภาพเฉลี่ยต่ำสุดร้อยละ 46.91

$$Q_{loss} = 650.19k + 26.301 \quad (9)$$

$$\eta_{Boiler} = -53.183k + 63.549 \quad (10)$$



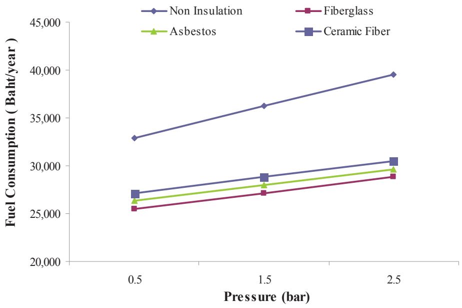
ภาพที่ 8 ความร้อนสูญเสียผ่านฉนวนความร้อน



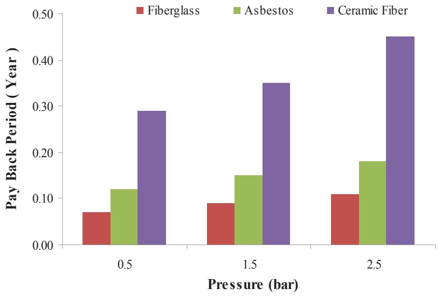
ภาพที่ 9 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

3. ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง และระยะเวลาคืนทุนของหม้อไอน้ำที่ฉนวนความร้อนแต่ละชนิด

เมื่อพิจารณาเฉพาะการสูญเสียความร้อนของฉนวนกันความร้อน โดยพิจารณาจากค่าเชื้อเพลิง (Baht/year) ของฉนวนแต่ละชนิด ที่อัตราน้ำป้อน 10 L/hr ผลิตไอน้ำที่ความดัน 0.5, 1.5 และ 2.5 bar(g) เป็นเวลา 300 Day/year โดยทำงานเฉลี่ย 6 hr/day ใช้เชื้อเพลิง LPG ขนาดถัง 15 kg ราคา 390 Baht คิดเป็น 26 Baht/kg ต้นทุนของฉนวนใยแก้ว 800 Baht ต้นทุนฉนวนใยหิน 1,200 Baht และต้นทุนฉนวนเซรามิคไฟเบอร์ 2,600 Baht ซึ่งจากภาพที่ 10 พบว่า กรณีไม่ติดตั้งฉนวนมีค่าเชื้อเพลิงมากกว่ากรณีที่ติดตั้งฉนวนชนิดต่างๆ โดยที่ความดันไอน้ำ 0.5 และ 2.5 bar(g) กรณีไม่ติดตั้งฉนวนมีค่าเชื้อเพลิง เท่ากับ 32,914.29 Baht/year และ 39,497.14 Baht/year เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีติดตั้งฉนวนชนิดต่างๆ ที่ความดันเท่ากัน พบว่า กรณีที่ติดตั้งฉนวนชนิดใยแก้ว มีค่าเชื้อเพลิงลดลง 7,405.72 Baht/year และ 10,697.14 Baht/year คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 23 และร้อยละ 27 ส่วนกรณีติดตั้งฉนวนชนิดใยหิน มีค่าเชื้อเพลิงลดลง 6,582.86 Baht/year และ 9,874.28 Baht/year คิดเฉลี่ยเป็นร้อยละ 20 และร้อยละ 25 สำหรับกรณีติดตั้งฉนวนชนิดเซรามิคไฟเบอร์ มีค่าเชื้อเพลิงลดลง 5,760.00 Baht/year และ 9,051.43 Baht/year คิดเป็นร้อยละ 18 และร้อยละ 23 ตามลำดับ



ภาพที่ 10 การใช้เชื้อเพลิง



ภาพที่ 11 ระยะเวลาคืนทุน

ภาพที่ 11 พบว่า เมื่อความดันไอน้ำเพิ่มขึ้น ระยะเวลาคืนทุนเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการสูญเสียโดยรวมของระบบแปรผันตรงกับความดันที่ใช้ผลิตไอน้ำ โดยกรณีที่ติดตั้งฉนวนชนิดเซรามิคไฟเบอร์ ที่ความดันไอน้ำ 0.5, 1.5 และ 2.5 bar(g) มีระยะเวลาคืนทุนนานสุด เฉลี่ยเท่ากับ 4 Month ส่วนกรณีติดตั้งฉนวนชนิดใยหิน มีระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ยเท่ากับ 2 Month และกรณีติดตั้งฉนวนชนิดใยแก้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 1 Month เพราะฉะนั้น สำหรับงานวิจัยนี้หม้อไอน้ำขนาดเล็กที่ติดตั้งฉนวนชนิดใยแก้วจะลดค่าเชื้อเพลิงได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สรุปผลการวิจัย (Conclusions)

จากการศึกษา พบว่า หม้อไอน้ำที่ติดตั้งฉนวนความร้อนชนิดใยแก้ว ใยหิน และเซรามิคไฟเบอร์ ความหนา 0.05 m เปรียบเทียบกับหม้อไอน้ำที่ไม่ติดตั้งฉนวนความร้อน โดยใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง ทำงานที่ความดันไอน้ำ 0.5, 1.5 และ 2.5 bar(g) อัตราน้ำป้อน 10 L/hr พบว่า มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 62.32, 60.48 และ 58.74 มีการสูญเสียความร้อนผ่านฉนวนเฉลี่ย 40.89, 64.34 และ 85.04 W โดยมีค่าเชื้อเพลิงลดลงเฉลี่ย 9,051.42, 8,228.57 และ 7,405.71 Baht/year และมีระยะเวลาในการคืนทุน 1, 2 และ 4 Month ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีไม่ติดตั้งฉนวนความร้อน มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 46.91 มีการสูญเสียความร้อนเฉลี่ย 1166.41 W และมีค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ย 36,205.71 Baht/year ดังนั้นการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนแต่ละชนิดจะมีผลต่อประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ ความดันทำงาน อัตราน้ำป้อน การสูญเสียความร้อนผ่านฉนวน ค่าเชื้อเพลิงที่ลดลง และค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ย รวมถึงระยะเวลาคืนทุนอย่างเห็นได้ชัด โดยในงานวิจัยนี้หม้อไอน้ำที่ติดตั้งฉนวนชนิดใยแก้วจะลดค่าเชื้อเพลิงได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด รองลงมาเป็นฉนวนใยหินและฉนวนเซรามิคไฟเบอร์ ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง (References)

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,**การป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนโดยการหุ้มฉนวน**, http://www2.dede.go.th/bhrd/Download/CaseStudy/C3.pdf [2003, October 3]
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2553, คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร), http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_12.pdf [2003, October 3]
3. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2553, **คู่มือการใช้งานและการดูแลรักษาหม้อน้ำ**, php.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2015/01/boiler2.pdf [2017, April 6].
4. HONOURS HVAC CO.,LTD, **ฉนวนใยแก้ว,** http://www.honor1999.co.th/faq/detail/59 [2017, April 24]
5. บริษัท ไมโครกลาสอินซูเลชั่น แอนด์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด, **ฉนวนใยหิน**, http://www.microglassinsulation.com/ knowledges-rockwool.html [2017, April 25]
6. บริษัท เซรามิคส์ อาร์ อัส, **ฉนวนเซรามิคไฟเบอร์**, http://www.ceramicsrus.co.th/ourProductMain Category.php?hId=8 [2017, April 25]
7. P Incropera, F.P. and Dewitt D.P., 2011, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th ed. John Wlley & Sons Inc, United States of America.
8. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, **คู่มือการบริหารจัดการพลังงานความร้อน,** http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/คู่มือความร้อน.pdf [2017, May 16]
9. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2555). **คู่มือการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม** หน้า 8-2 - 8-4.

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับผนังสุญญากาศ

Performance Testing of Small Refrigerator Using Thermoelectric With Vacuum Wall

สุรสิทธิ์ เที่ยงจันตา[1*] และกรวัฒน์ วุฒิกิจ[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่, 50300

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ในการทำความเย็นร่วมกับผนังสุญญากาศ โดยเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 72 W และเครื่องทำความเย็นมีลักษณะรูปลูกบาศก์มีปริมาตรภายใน 1.5 lite

การทดสอบได้ใช้ Microcontroller ในการควบคุมการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อทำการหาค่ากำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กและอุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอก ของเงื่อนไขผนังเครื่องทำความเย็นแบบผนังอากาศและผนังสุญญากาศที่ความดัน –15 in·Hg, -20 in·Hg และ –25 in·Hg

ผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยแปรผกผันกับค่าอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็น อีกทั้งพบว่าเมื่อผนังสุญญากาศมีค่าความดันลดลงมีผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยยะ เนื่องจากการกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนและการพาความร้อนลดลง ณ ที่อุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอกเฉลี่ยของทุกเงื่อนไขมีค่าใกล้เคียงกัน (ค่าเฉลี่ยที่ทุกเงื่อนไขเท่ากับ 30.3 °C) การทดสอบพบว่า Microcontroller สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็นได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิปรับตั้ง และพบว่าผลรวมพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงเมื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็นลดลง

คำสำคัญ: สมรรถนะ เครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก เทอร์โมอิเล็กทริก ผนังสุญญากาศ

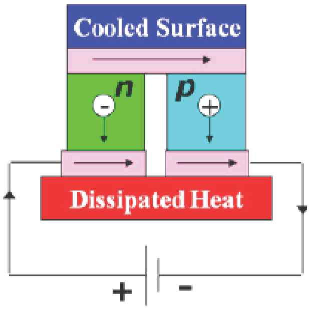
[*]Corresponding author: Tel.: 053-921444. E-mail address: surasit@rmutl.ac.th

บทนำ

เนื่องจากระบบของเครื่องทำความเย็นส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่และมีอุปกรณ์ที่ซับซ้อน (เช่น ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ) จึงมีแนวคิดในการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกในเครื่องทำความเย็น เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกมีขนาดเล็กสามารถใช้กับระบบที่จะมีการพกพาไปในที่ต่างๆ ได้ และเนื่องด้วยความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก จึงได้นำมาประยุกต์ใช้ในการทำความเย็นให้กับเครื่องทำความเย็น ซึ่งข้อดีของเทอร์โมอิเล็กทริกคือมีอุปกรณ์ที่ทำงานไม่ซับซ้อนและมีขนาดเล็ก แต่เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นต่ำ จึงมีแนวคิดในการทำเครื่องทำความเย็นที่มีขนาดเล็กและใช้ผนังสุญญากาศเป็นผนังของเครื่องทำความเย็น ซึ่งผนังสุญญากาศมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนทางความร้อนสูงเนื่องจากไม่มีการนำความร้อนและการพาความร้อนภายในช่องผนังสุญญากาศ (มีการถ่ายเทความร้อนเฉพาะการแผ่รังสี)

จากข้อมูลข้างต้นเราจึงเป็นแนวคิดในการทดสอบเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กร่วมกับผนังสุญญากาศเพื่อใช้ในจุดประสงค์ในการขนย้ายวัคซีนหรือยาที่จำเป็นต้องเก็บรักษาในสภาวะอุณหภูมิต่ำ ไปในที่ทุรกันดารหรือขนย้ายเวลาเร่งด่วนซึ่งเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าไปยังในพื้นที่นั้นๆ ได้

หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก [1] มีหลักการทำงานโดยการใช้สารกึ่งตัวนำแบบพี-เอ็น (P-N Type) ซึ่งการทำความเย็นจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการให้ไฟฟ้ากระแสตรงกับเทอร์โมอิเล็กทริก เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันจะทำให้เกิดพลังงานความร้อนภายในของแข็งถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำโดยการสั่นสะเทือนของโครงสร้างภายในของแข็งเชิงควอนตัมฟิสิกส์ โดยเรียกการสั่นสะเทือนนั้นว่าโฟนอน (Phonon) ซึ่งปรากฏการณ์การถ่ายเทความร้อนได้โดยประจุไฟฟ้าค้นพบโดย โทมัส โยฮาน ซีเบ็ก ในปี ค.ศ. 1821 ลักษณะการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกแสดงดังภาพที่ 1

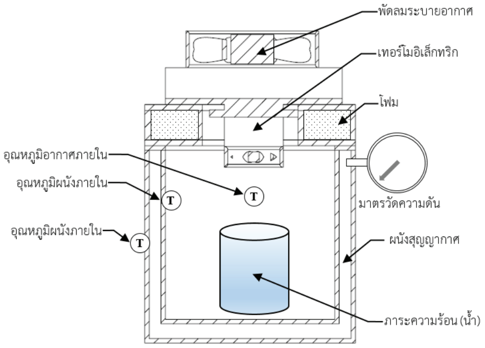


ภาพที่ 1 ลักษณะการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก [2]

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษาวิจัยในเรื่องการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกในการทำความเย็นและการประยุกต์ใช้ผนังสุญญากาศ โดยมีการทบทวนวรรณกรรมในการหาตัวแปรและสมรรถนะของการทำความเย็นโดยเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งได้คุณลักษณะของการหาค่าความสามารถการทำความเย็นและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ อีกทั้งได้ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการหาคุณลักษณะ การทบทวนวรรณกรรมได้ใช้การวิเคราะห์เชิงมิติในการหาค่าความสามารถการทำความเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้วัสดุทำความเย็นต่างชนิดกัน [3] การทบทวนวรรณกรรมของการทำความเย็นของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ได้ทำการหาความสัมพันธ์ของค่าประสิทธิภาพที่แปรผันตามอิทธิพลของการจัดการ ความร้อน การทบทวนวรรณกรรมพบว่าเทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพแปรผกผันกับค่าความแตกต่างอุณหภูมิของด้านร้อนและด้านเย็น โดยมีค่าเท่ากับ 2%, 2.1% และ 2.16% สำหรับค่าความแตกต่างอุณหภูมิของด้านร้อนและด้านเย็นที่ 160 K, 152 K และ 88.3 K ตามลำดับ [4] สำหรับการทดลองเครื่องต้นแบบของเครื่องทำความเย็นภายในบ้านโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก โดยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 0.5 ในค่าอุณหภูมิปรับตั้ง 5 °C ณ อุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอก 25 °C และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการพัฒนาความต้านทานเชิงความร้อนของหน้าสัมผัส [5] การใช้ฉนวนสุญญากาศเพื่อเก็บความร้อนมีงานวิจัยที่หาความสัมพันธ์ทางฟิสิกส์สำหรับถังเก็บน้ำร้อน ซึ่งพบว่าถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้ฉนวนสุญญากาศสามารถลดการสูญเสียความร้อนจากถังเก็บน้ำร้อนขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี [6] สำหรับการศึกษาการใช้ฉนวนสุญญากาศเป็นฉนวนทางความร้อนในอิฐเซรามิกก่อสร้าง พบว่าแผ่นฉนวนสุญญากาศ (Vacuum insulation panels, VIP) ที่สร้างจากอิฐเซรามิกฉนวนสุญญากาศ มีค่าสัมประสิทธิการนำความร้อนต่ำ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างได้ อีกทั้งมีราคาถูกกว่าแผ่น VIP ที่ทำจากวัสดุ SiO_2 [7]

วิธีการวิจัย

การทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ในการทำความเย็นร่วมกับผนังสุญญากาศ ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดกำลังไฟฟ้า 72 W และเครื่องทำความเย็นมีลักษณะรูปลูกบาศก์มีปริมาตรภายใน 1.5 L โดยใช้น้ำปริมาตร 0.135 L เป็นภาระความร้อน เครื่องทำความเย็นขนาดเล็กมีลักษณะแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะเครื่องทำความเย็นขนาดเล็ก

การทดสอบได้ใช้ Microcontroller ในการควบคุมการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อให้ควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กให้เป็นไปตามเงื่อนไขการทดสอบที่ 17, 21 และ 25 ºC และเปรียบเทียบผลการทดสอบกับการไม่ใช้ Microcontroller ในการควบคุมการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก การทดสอบในแต่ละเงื่อนไขอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็น ได้ทำการทดสอบที่เงื่อนไขผนังสุญญากาศที่ความดันสุญญากาศ –15 in·Hg, -20 in·Hg และ –25 in·Hg โดยการทดสอบแต่ละเงื่อนไขใช้เวลาเท่ากันที่ 30 นาที

อุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ในการทดสอบนี้ได้ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด T (T-type) ในการวัดอุณหภูมิ ซึ่งสามารถวัดค่าอุณหภูมิได้ในช่วง 0 ℃ ถึง +200 ℃ และมีความผิดพลาด ±0.5 ℃ หรือ 0.4% สำหรับมาตรวัดความดันสุญญากาศสามารถวัดความดันสุญญากาศได้ในช่วง 0 ถึง -30 in·Hg และมีความละเอียดสูงสุด 0.5 in·Hg โดยสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลได้ถูกบันทึกอัตโนมัติโดยใช้ Data logger ชนิด 8 ช่องสัญญาณ เก็บค่าสัญญาณทุกๆ 2 วินาที ในการวัดค่าความต่างศักดิ์ไฟฟ้าได้ใช้มัลติมิเตอร์ที่มีช่วงการวัดค่าความต่างศักดิ์ 2.5 ถึง 1000V มีค่าความผิดพลาด ±4% และการวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ใช้ Current Sensor Module ติดตั้งกับ Microcontroller ซึ่งมีค่าสูงสุดในการวัด 20 Amp มีค่าความผิดพลาด ±1.5%

การหากำลังไฟฟ้า (Power, P) ที่เครื่องทำความเย็นขนาดเล็กใช้ สามารถหาได้จากสมการ

$$P = VI(\cos\emptyset) \tag{1}$$

เมื่อ V คือ ความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (Volt)

I คือ กระแสไฟฟ้า (Amp)

$cos\,\emptyset$ คือ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)

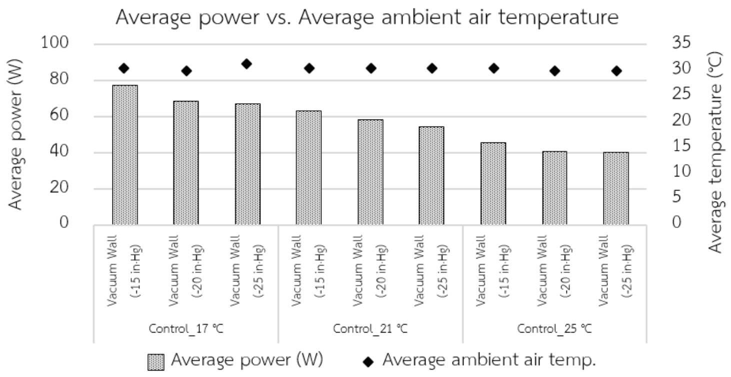
ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 เนื่องจากมีการใช้กำลังไฟน้อยมาก สำหรับค่าผลรวมพลังงานไฟฟ้า (Energy consumption, E) ในหน่วย W·h สำหรับการใช้ไฟฟ้าของการทดสอบแต่ละเงื่อนไขภายในเวลา 30 นาที หาได้ดังสมการ

$$E = Pt \tag{2}$$

เมื่อ t คือ เวลาในการใช้ไฟฟ้า (s)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบได้ทำการหาค่าอุณหภูมิภายในเครื่องทำความเย็นเฉลี่ย, ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย และค่าผลรวมพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับอุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอกเฉลี่ยที่เงื่อนไขต่างๆ สำหรับผลการทดสอบของค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอกเฉลี่ย แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ผลการทดสอบของค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอกเฉลี่ย

จากภาพที่ 3 ได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบของค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในเงื่อนไขของการควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็นที่ 17, 21 และ 25 °C (เนื่องจากที่เงื่อนไขการไม่ควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็น มีค่าอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็นไม่คงที่) เปรียบเทียบที่เงื่อนไขผนังสุญญากาศที่ความดันสุญญากาศ –15 in·Hg, -20 in·Hg และ -20 in·Hg พบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยแปรผกผันกับค่าอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็น เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกใช้กำลังไฟฟ้าน้อยลงเพื่อทำความเย็นน้อยลงในการลดอุณหภูมิ อีกทั้งพบว่าเมื่อผนังสุญญากาศมีค่าความดันลดลงมีผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยยะ เนื่องจากการกลไกการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนและการพาความร้อนลดลง สำหรับผลของอุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอกเฉลี่ยที่เงื่อนไขต่างๆ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน (ค่าเฉลี่ยที่ทุกเงื่อนไขเท่ากับ 30.3 °C) เป็นผลของค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยมีความน่าเชื่อถือ

สำหรับความสัมพันธ์เชิงเส้นของค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (P) ที่ขึ้นกับตัวแปรความดันสุญญากาศ (p) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพื่อใช้สำหรับงานศึกษาแบบจำลอง (Simulation) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นของค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

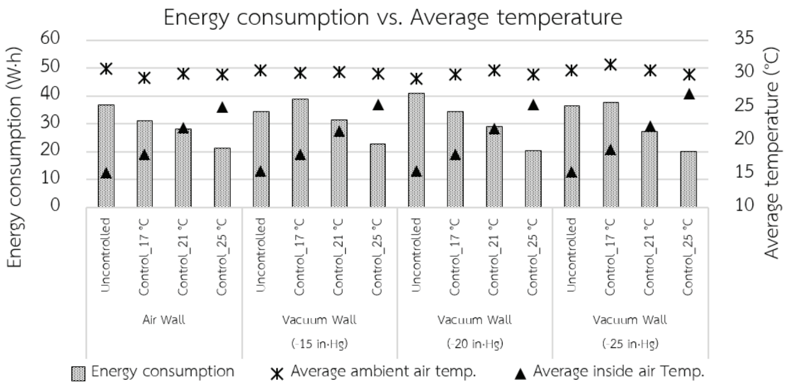
	Linear correlation	Coefficient of determination (R^2)
Control_17 °C	$P = -5.2117(p) + 81.453$	R^2 = 0.8558
Control_21 °C	$P = -4.3275(p) + 67.141$	R^2 = 0.9964
Control_25 °C	$P = -2.743(p) + 47.632$	R^2 = 0.8636

ผลการทดสอบของค่าผลรวมพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับอุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอกเฉลี่ยที่เงื่อนไขต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 4

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 4 พบว่า Microcontroller สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็นได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิปรับตั้ง และพบว่าผลรวมพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงเมื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็นเพิ่มขึ้น เนื่องจาก Microcontroller ควบคุมการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยเมื่ออุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็นต่ำกว่าอุณหภูมิปรับตั้ง Microcontroller จะทำการตัดไฟฟ้า ทำให้ผลรวมพลังงานไฟฟ้าน้อยลง

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบของค่าผลรวมพลังงานไฟฟ้า

		Energy consumption (W·h)	Ambient Air Temperature (°C)	Inside. Air Temperature (°C)
Air Wall	Uncontrolled	37.3	30.7	15.2
	Control_17 °C	31.1	29.4	17.9
	Control_21 °C	28.1	30.0	21.9
	Control_25 °C	21.4	29.8	25.1
Vacuum Wall (-15 in·Hg)	Uncontrolled	34.5	30.4	15.5
	Control_17 °C	38.8	30.2	17.9
	Control_21 °C	31.5	30.3	21.5
	Control_25 °C	22.8	30.0	25.4
Vacuum Wall (-20 in·Hg)	Uncontrolled	41.0	29.4	15.5
	Control_17 °C	34.4	29.8	17.9
	Control_21 °C	29.1	30.4	21.8
	Control_25 °C	20.5	29.8	25.4
Vacuum Wall (-25 in·Hg)	Uncontrolled	36.5	30.5	15.4
	Control_17 °C	37.6	31.2	18.7
	Control_21 °C	27.2	30.4	22.1
	Control_25 °C	20.1	29.9	26.9



ภาพที่ 4 ผลรวมพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ย

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นขนาดเล็กโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ในการทำความเย็นร่วมกับผนังสุญญากาศ ซึ่งใช้ Microcontroller ในการควบคุมการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อทำการหาค่ากำลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็นและอุณหภูมิสภาวะอากาศภายนอก ของเงื่อนไขผนังเครื่องทำความเย็นผนังอากาศและผนังสุญญากาศที่ความดันต่างๆ ผลการทดสอบพบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยแปรผกผันกับค่าอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องทำความเย็น อีกทั้งพบว่าเมื่อผนังสุญญากาศมีค่าความดันลดลงมีผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยยะ แสดงให้เห็นว่าผนังสุญญากาศมีผลต่อการใช้พลังงานในการทำความเย็น ซึ่งสามารถพัฒนาผนังสุญญากาศใช้ในงานวิจัยอื่นๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือ สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] เผ่าเทพ พิชญุษากร (2549). **เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก**, ใน บทความวิชาการ, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ MTEC ฉบับ ตุลาคม – ธันวาคม 2549

[2] Research Gate. **Schematic showing the principle of Seebeck and Peltier effects**. สืบค้นเมื่อ 22 กันยายน 2560, จาก https://www.researchgate.net

[3] D. Enescu, E.O. Virjoghe (2014). A review on thermoelectric cooling parameters and performance. **Renew Sustain Energy Rev.** 38, 903-916.

[4] Sajid, M., Hassan, I. and Rahman, A. (2017). An overview of cooling of thermoelectric devices. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** 78, 15-22.

[5] Min, G., & Rowe, D. M. (2006). Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerators. **Applied Energy.** 83(2), 133-152.

[6] Fuchs, B., Hofbeck, K., & Faulstich, M. (2012). On vacuum insulated thermal storage. **Energy Procedia.** 30, 255-259.

[7] Zach, J. and Novák, V. (2016). Study of the Use of Vacuum Insulation as Integrated Thermal Insulation in Ceramic Masonry Blocks. **Procedia Engineering**. 151, 206-213.

ประวัติย่อผู้วิจัย

สุรสิทธิ์ เที่ยงจันตา (Surasit Thiangchanta) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่, 128 ถนนห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง เชียงใหม่ 50300 โทรศัพท์ 053-921444, E-mail: surasit@rmutl.ac.th

Performance Investigation of Spark-Ignition Engine Fueled with Gasoline, LPG and Biogas for Electric Power Generation

Medhane embaye Tedla [1*] Tawat Suriwong[1*] Sakda Somkun Sathit Banthuek and Pisit Maneechot[1]
[1]School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand 65000

Abstract

Alternative fuels such as LPG and biogas are used to minimize the high demand of gasoline fuel in spark ignition engine for mechanical power and electricity generation. In this study, single cylinder four stroke gasoline engine with 4.1 kW (5.5 hp) has been used to convert the available fuel energy into mechanical energy. The carburetor of gasoline engine was modified in order to be workable for LPG and biogas fuels. Three-phase induction motor with 220 V, 50 Hz, 2.2 kW was coupled with the engine to convert mechanical energy to electrical energy. In addition, inverter also connected to the generator to convert the DC power coming from the rectifier to AC power supplied to the load. Thermal efficiency of the engine (η_{th}) and system efficiency (η_s) with three different types of fuel (gasoline, LPG and biogas) were investigated in the range of 0.3 kW to 1.8 kW electrical power output. As the results, the composition of biogas measured with biogas analyzer was found to be CH_4 (54%), CO_2 (29%) and small percentage of other gases (H_2, N_2 and H_2S). The maximum η_{th} using biogas (18.8%) and LPG (22.7%) was almost close to gasoline fuel (24.5%). Simultaneously maximum η_s for gasoline and LPG were 14.5% and 13.85% at 1.8 kW electrical power output, respectively. Whereas, maximum η_s for biogas was found to be 10.16% at 1.5 kW electrical power output. Therefore, biogas is preferable to use for small electric power generation, as its efficiency is almost close to the original gasoline fuel and renewable energy source as well.

Keywords: Spark ignition engine, Gasoline, LPG, Biogas, Power generation, Thermal efficiency

*Corresponding author: Tel.: 089-1474019. E-mail address: tawats@nu.ac.th

Introduction

The demand for Fossil fuels such as diesel, petrol and LPG is becoming high due to the increase in the population of the world. Globally around 1000 billion barrels of reserves petroleum are available and as it is predicted this can be consumed roughly after 40 years of usage [1]. So that its implementation in a combustion engine to drive the electric generator needs to be gradually minimized [2]. In addition to that, a system called renewable portfolio standard (RPS) has been applied by different governments to embolden the use of renewable energy resources, like bioenergy, solar energy, wind energy and tidal energy. Normally, an RPS has a guide on electricity corporations to use some percentage of their electric current from renewable energy basis [3]. As a way out to the above problem, it is better to make a research on alternative fuels like biogas, which can satisfy the demand and reduce the environmental pollution. A spark ignition engine is a type of internal combustion engine designed to transform the chemical energy of gasoline fuel into thermal energy then to mechanical energy. A gasoline engine is movable and easy to operate for another type of fuels such as biogas and LPG [2].

Gasoline fuel is a hydrocarbon fuel, which is a mixture of hydrogen and carbon, refined from petroleum. Petroleum is extracted from underground by means of oil wells as a dark, thick liquid with an average heating value of 44 MJ/kg [2].

LPG is extracted as a by-product of crude oil and natural gas. Commercially, it is a combination of mainly propane and butane. Gaseous fuels like liquefied petroleum gas and liquefied natural gas are used in marketable vehicles with encouraging outcomes in terms of environmental effect and fuel economy [4]. Compared to gasoline, LPG produces lower emission of carbon dioxide due to less carbon content and more octane number [3]. LPG has 105 octane number, which is higher than gasoline (93), indicating that it can function at higher efficiency with more compression ratio [5]. In addition, LPG get combustion slower than gasoline fuel because it has higher ignition temperatures. Lower heating value of LPG is 46 MJ/Kg for 60% propane and 40% butane [6].

Biogas is produced from anaerobic digestion of agricultural, industrial and communities waste with the implementation of bacteria. Both digester gas and landfill gas are the two most common sources of biogas. Generally, biogas consists of mostly CH_4 (55–65%) and CO_2 (25–45%) with very small amount of other gases like nitrogen and hydrogen sulfide [7]. Biogas system is able to install and operate near to the consumer's house. Particularly, biomass-based electric power plant is suitable and potential to install in a remote area which is far from infrastructure. Nowadays the use of biofuels like biogas in internal combustion engine has been considered more attention especially in an agricultural area where an abundance of biomass resources. Depending on the composition of biogas, the heating value reaches about 40- 49 MJ/kg [8].

Internal combustion engine using biogas and others fuels have been considered an attention to drive an electric generator. Thermal efficiency of petrol was higher than LPG during the low speed but the thermal efficiency of LPG became higher at 400 rpm [9]. Several research articles were conducted on how to compare engine parameters for gasoline engine using the different types of fuel, such as petrol, LPG and biogas. Specific fuel consumption of biogas was lower than LPG and gasoline during the 100 W and 200 W electrical load, and the thermal efficiency of biogas was higher than gasoline and LPG [2]. To perform on LPG and biogas-fueled spark ignition engine, some advancement in brake thermal efficiency and a decrease in hydrocarbon emission was achieved [10]. Performance characteristics of biogas-fueled internal combustion engine was investigated in order to overcome the electric power problem in rural areas and to reduce greenhouse gas effect [11]. Most of the papers concern on the performance parameters of the engine but not the overall efficiency of the system.

In the present study, therefore, a single cylinder 4-stroke spark ignition engine (4.1 kW) was modified using LPG and biogas as fuel for producing 1.8 kW electricity. The engine was operated at the speed of 2600 to 3100 rpm, which is a bit higher than the previous studies. Thermal efficiency of the engine and power generation system using different fuels was investigated and compared.

Experimental procedure

Devices and Instruments:

The carburetor of four-stroke spark ignition engine (262 MIT-168F, Taizhou Zetong Machinery, China) with 4.1 kW (5.5 hp) was modified using LPG and biogas as fuel. A self-excited Induction generator of 2.2 kW (3 hp) with delta connection was used to convert mechanical energy into three-phase AC electrical energy. An inverter was used to convert the three-phase variable-voltage variable frequency of the generator output to a 400-V DC voltage, then converting back to a single-phave voltage, regulated at 220 V 50 Hz. A resistive load (Incandescent light bulbs) up to 1.8 kW was usedwas connected to the inverter output. LPG cylinder (17 kg), plastic pipes, fittings and filters were used in order to store and supply the LPG and biogas into the engine cylinder. The specification and description of engine and generator are given in Table 1.

Table 1 Specification of the engine and generator

Specification	Type	Description
Engine	4-Stroke Gasoline Engine	4.1 kW (5.5 hp)
Generator	Self-excited Induction generator	2.2 kW (3 hp)
Terminology	Bore × Stroke	68 × 45 (mm)
Cylinder volume	Displacement	163 cc
Ratio	Compression ratio	8.5:1
Weight	Net weight	16 kg
Capacity	Fuel capacity	3.5 L

Pressure gauge (QZP-S9, ASHCROFT, USA), torque sensor (TRB-2K, DACEIl, Korea), tachometer (DT-2234C, Taiwan), Turbine gas meter (TBX30/L3, Aichitokei, Japan), multimeter (MT1961, Shanghai MCP, China) and stopwatch were installed to measure the pressure, torque, speed (rpm), volume flow rate, electrical output and time, respectively. Simultaneously, power harmonics analyzer (model: PHA5850, MECO) was also measured the power output of three-phase induction motor. Digital mass balance and cylindrical tube were used to measure the mass of LPG and gasoline fuels consumed per given time, respectively. In addition, portable biogas analyzer (GA2000, UNION instruments, Germany) was also analyzed the composition of biogas in the storage tank.

Figure 1 Mechanical and electrical components of the system.

Thermal efficiency tests:

Fig. 1 displays the experimental setup with gasoline and LPG. In the first experiment, the engine started to operate based on gasoline fuel, according to the design and optimization of the system for producing electricity up to 1.8 kW at a constant speed of 3000 rpm with no load condition. After that, flow rate and speed data were collected by varying the electrical load from 0.3 kW to 1.8 kW. Secondly, the system was connected to the flow meter and LPG cylinder to continue the experiment with LPG fueled engine. Then, biogas and its purification system were connected to the system to take experiment on biogas by varying the load from 0.3 kW to 1.5 kW. Finally, thermal and system efficiencies for gasoline, LPG and biogas-fueled spark ignition engine was analyzed. The performance test for LPG and gasoline was carried out in the School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand particularly in the biomass lab. While the biogas experiment was carried out in the biomass field.

The brake power and thermal efficiency (η_{th}) of the engine were also determined using the following equations:

$$B_p = \frac{2\pi NT}{60} \quad (1)$$

$$\eta_{th} = \frac{B_p}{V_f \times HV} \quad (2)$$

where B_p is the brake power (kW), N is for the speed of the engine (rpm), T is the torque of the shaft work (N•m). The volume flow rate, fuel power input and system efficiency (η_s) were calculated using the following equations:

$$V_f = \frac{\text{volume}}{\text{time}} \quad (3)$$

$$P_{input} = V_f \times HV \quad (4)$$

$$\eta_s = \frac{\text{Electrical power output}}{P_{input}} \quad (5)$$

where V_f is volume flow rate (L/s), P_{input} is the fuel power input (kW), HV is the heating value (MJ/L) of fuel.

Result and Discussion

Fig. 2 shows the electrical power output versus speed of the engine fueled with gasoline, LPG and biogas. The speed of the engine with no load was 3000 rpm. As the electrical power output of the system increased, the speed of the engine decreased for all fuels (gasoline, LPG and biogas). The speed of the engine-fueled biogas was shapely dropped more than that of gasoline and LPG. This caused that the heating value of biogas is lower than LPG and gasoline, respectively.

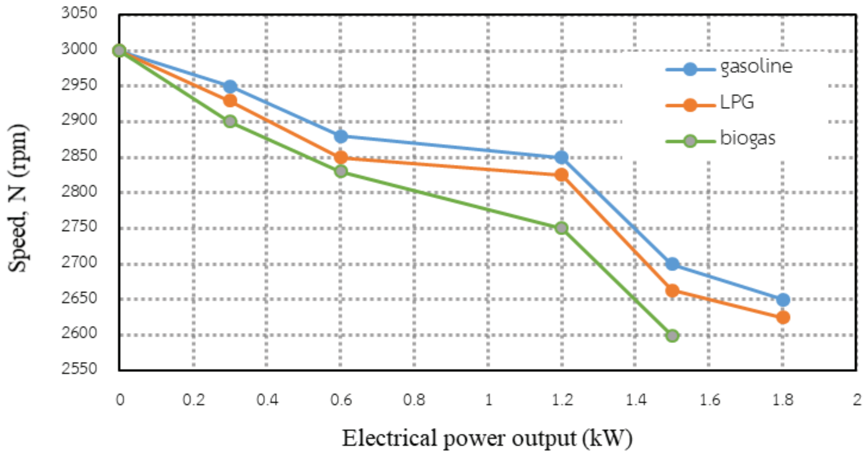


Figure 2 Electrical power output versus the speed of the engine.

The η_{th} of gasoline for 0.3 kW, 0.6 kW, 1.2 kW, 1.5 kW and 1.8 kW was found to 19.15%, 21.41%, 24.47%, 24.50%, 24.53% respectively, while it was 17.50%, 21.99%, 22.15%, 22.50%, 22.73% for LPG fuel, as shown in Fig. 3. Simultaneously, the η_{th} of the engine using biogas was 15.10%, 13.12%, 16.45%, 18.76% at 0.3 kW, 0.6 kW, 1.2 kW, 1.5 kW, respectively. It is observed that the η_{th} of all different fuels slightly increased with increasing the electrical power output and maintained constant after 1.2 kW for both gasoline and LPG fuels. In addition, the η_{th} of gasoline was a bit higher compared to LPG and Biogas. In a biogas-fueled engine, the electrical power output could not exceed 1.5 kW, due to the presence of CO_2 and other gases in biogas, indicating a lower heating value and higher compression ratio. In the previous report, the η_{th} of an electric generator driven by the various type of fuels (gasoline, LPG and biogas) was 1.6%, 3.5%, 10.5% for 100 W electrical load, respectively [2], which is lower than the present study.

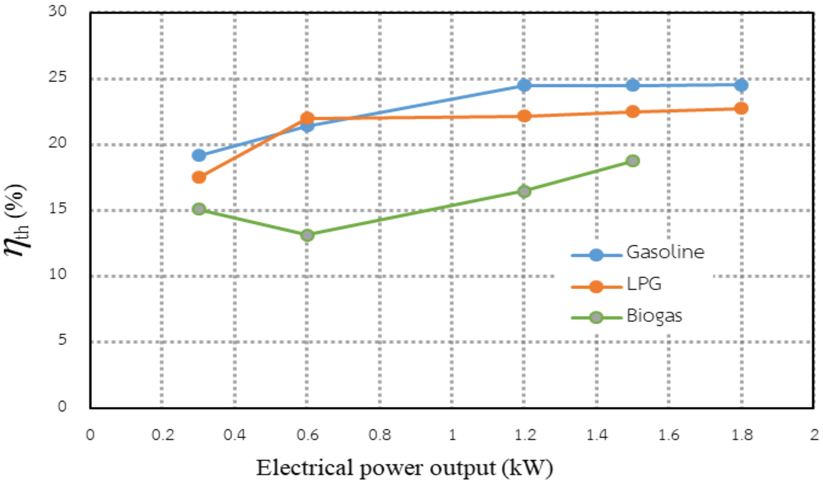


Figure 3 Electrical power output versus thermal efficiency of the engine (η_t).

According to the experimental data, the η_s and the power input (P_{input}) were calculated and the electrical power output versus η_s and P_{input} were performed for the gasoline-fueled engine, as shown in Fig.4. As a result, η_s significantly increased with increasing the electrical output and reached a maximum at 1.8 kW, indicating that the engine consumes more fuel with the larger electrical load. While the P_{input} sharply increased with the increase of electrical power output and maintained almost constant beyond 1.2 kW. The maximum η_s and P_{input} were 14.5% and 12.4 kW at 1.8 kW, respectively.

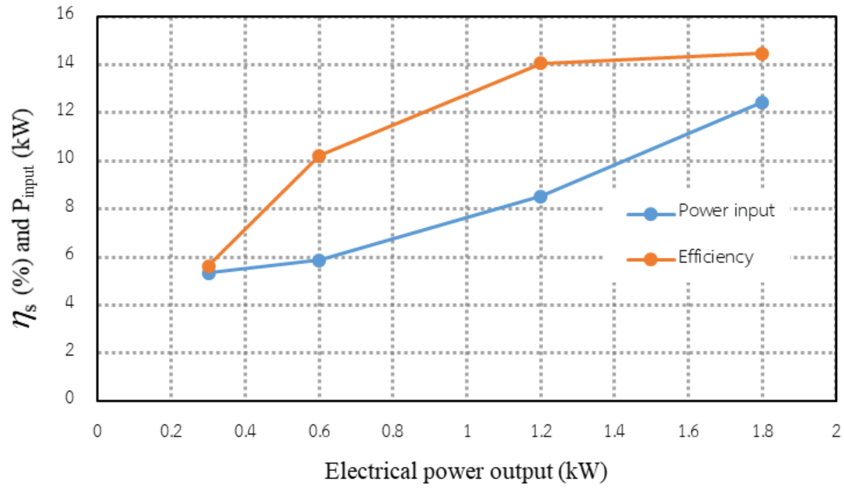


Figure 4 Electrical power output versus system efficiency (η_s) and power input (P_{input}) with gasoline.

Fig. 5 present the electrical power output versus η_s and P_{input} for the LPG-fueled engine. As a result, both η_s and P_{input} increased with the increase of electrical power output from 0.3 kW to 1.8 kW. So, the η_s and P_{input} were directly related to the electrical power output of system. The maximum η_s and P_{input} were 13.8% and 13 kW and at 1.8 kW, respectively.

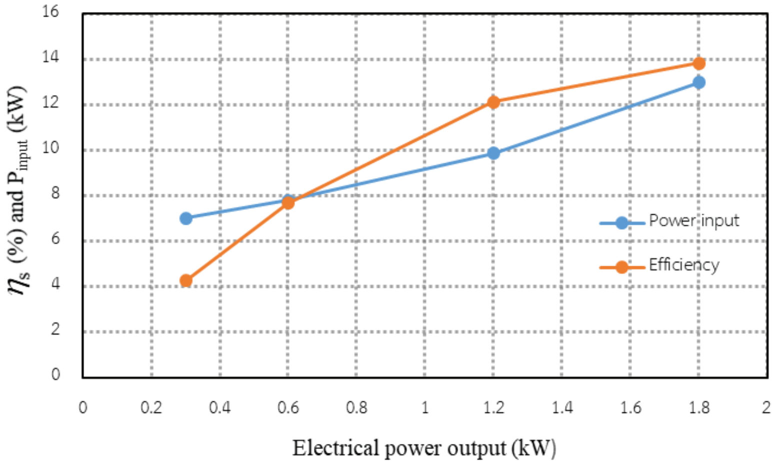


Figure 5 Electrical power output versus system efficiency (η_s) and power input (P_{input}) with LPG

The electrical power output versus η_s and P_{input} for biogas-fueled engine system is shown in Fig. 6. As a result, the P_{input} rapidly increased with increasing of electrical power output from 0.3 to 0.6 kW, then slightly increased beyond 0.6 kW. The maximum P_{input} obtained to be 15 kW at 1.5 kW. Simultaneously, the η_s gradually increased with increasing the electrical power output and reached a maximum value of 10.2 % at 1.5 kW.

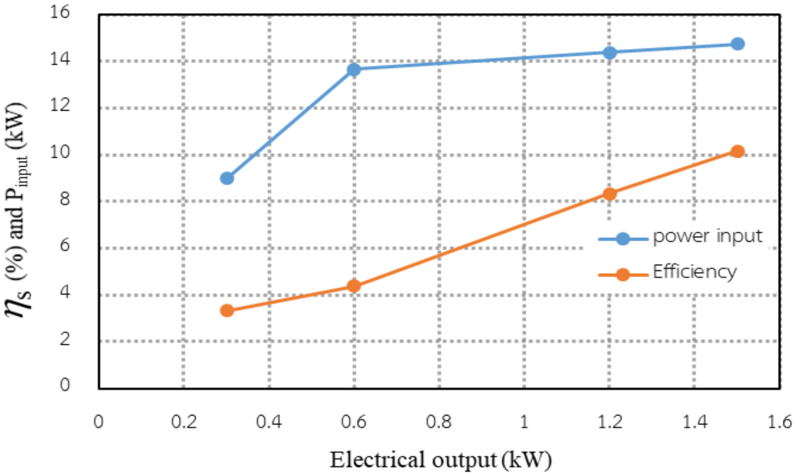


Figure 6 Electrical power output versus system efficiency and power input with biogas.

As a comparison, the maximum η_s for gasoline and LPG were 14.5% and 13.85% at 1.8 kW electrical power output, respectively. Whereas, maximum η_s for biogas was found to be 10.16% at 1.5 kW electrical power output. This result corresponds to the design and optimization of the system for electrical power generation at 1.8 kW. However, the η_s of the engine fueled with gasoline was a bit higher than LPG and biogas. In addition, the highest power input was obtained from the biogas. Both η_s and P_{input} were directly related to the electrical power output for the three type of fuels.

Conclusion

Herein, the single cylinder four stroke spark ignition engine was successfully modified to use the pure gasoline, LPG and biogas as fuels. Several parameters affected on thermal efficiency of the engine. The speed of the engine fueled gasoline, LPG and biogas decreased with increasing the electrical load. The η_{th} of the engine using different fuels slightly increased with increasing the electrical power output and maintained constant after 1.2 kW for both gasoline and LPG fuels. In addition, the η_{th} of gasoline was a bit higher compared to LPG and Biogas. Both the η_s and η_{th} for the modified engine using gasoline were slightly higher than the LPG and biogas. Therefore, the modified spark ignition engine is wokable to use alternative fuels particularly the biogas for small-scale power in the agricultural field. Furthermore, it is a guideline to modify the spark ignition engine for electric power generation in large scale.

Acknowledgements

The authors express sincere thanks to the Thailand International Cooperation Agency (TICA), Ministry of Foreign Affairs, Thailand, for giving the scholarship in the master degree program to Mr. Medhane Embaye Tedla from The Eritrea. The authors would like to acknowledge the National Research Council of Thailand (NRCT), Thailand for providing financial support. Thanks also to Naresuan University and School of Renewable Energy Technology (SERT), Phitsanulok, Thailand for their kind cooperation.

References

[1] Homdoung N, Tippayawong N, Dussadee N. (2015). Performance investigation of a modified small engine fueled with producer gas. **Maejo International Journal Science Technolology.** 9 (01), 10-20

[2] Panjaitan SD. (2013). Comparative study of electric generator drive engine performance by various types of fuel. **Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)**, International Conference on IEEE. 326-31

[3] Yeom K, Jang J, Bae C. (2007). Homogeneous charge compression ignition of LPG and gasoline using variable valve timing in an engine. **Fuel**. 86 (4), 494-503.

[4] Bayraktar H, Durgun O. (2005). Investigating the effects of LPG on spark ignition engine combustion and performance. **Energy Conversion and Management**. 46 (13), 2317-33.

[5] Mustafa K, Gitano-Briggs H. (2009). Liquefied petroleum gas (LPG) as an alternative fuel in spark ignition engine: Performance and emission characteristics. **Energy and Environment,** ICEE 3rd International Conference on IEEE. 189-94

[6] Saraf R, Thipse S, Saxena P. (2009). Comparative emission analysis of gasoline/LPG automotive bifuel engine. **International Journal of Civil and Environmental Engineering**. 1 (4), 199-202.

[7] Jeong C, Kim T, Lee K, Song S, Chun KM. (2009). Generating efficiency and emissions of a spark-ignition gas engine generator fuelled with biogas–hydrogen blends. **International Journal of Hydrogen Energy**. 34 (23), 9620-27.

[8] Park C, Park S, Lee Y, Kim C, Lee S, Moriyoshi Y. (2011). Performance and emission characteristics of a SI engine fueled by low calorific biogas blended with hydrogen. **International Journal of Hydrogen Energy**. 36 (16), 10080-8.

[9] Mukherjee M, Mondal S, Mandal CK. (2015). Performance Testing of SI Engine using LPG as Alternate Fuel. **World Scientific News**. 22,1-11.

[10] Porpatham E, Ramesh A, Nagalingam B. (2005). Investigations on the use of biogas and LPG in a spark ignition engine. **PRITHVI International conference on environment friendly transportation**, Trivandrum, India. 24-5

[11] Kwon E-C, Song K, Kim M, Shin Y, Choi S. (2017). Performance of small spark ignition engine fueled with biogas at different compression ratio and various carbon dioxide dilution. **Fuel**. 196, 217-24.

แบบจำลองระบบ AC Microgrid สำหรับชุมชนขนาดเล็ก
AC Microgrid System Modelling for Small Communities

มาโนชญ์ ตนสิงห์[1] จิรัสกวินท์ รักษ์วิเชียร[1] บุญยัง ปลั่งกลาง[2] วรจิตต์ เศรษฐพรรค์[1*]
[1]วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

ปัจจุบันชุมชนต้นแบบ Smart Community มีระบบ AC Microgrid โดยประกอบด้วยระบบ พลังงานแสงอาทิตย์ 25 kW เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ขนาด 40 kW และแบตเตอรี่ 100 kWh โดยระบบ AC Microgrid นี้ได้จ่ายไฟฟ้าให้แก่ชุมชนโดยมีภาระทางไฟฟ้าจริง 90.4 kWh/d ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรม Homer Energy เพื่อจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบนี้เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงระบบให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ในการจำลองครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลจากภาระทางไฟฟ้าจริงและการจำลองภาระทางไฟฟ้าจากพฤติกรรมการใช้พลังงานแบบเต็มเวลา (Full Load) ผลจากการจำลองพบว่าในปัจจุบันระบบที่ใช้จริงมีการใช้ภาระทางไฟฟ้าค่อนข้างสูงเนื่องจากการผลิตกระแสไฟฟ้าในระบบต้องใช้เจนเนอเรเตอร์ช่วยในการผลิตถึง 5,498 kWh/yr และมีค่าใช้จ่ายรวมในระยะเวลา 25 ปีถึง 7.4 ล้านบาท ซึ่งแนวทางการแก้ไขต้องลดภาระทางไฟฟ้าของชุมชนให้อยู่ที่ 40 kWh/d จากเดิม 90.4 kWh/d จึงจะทำให้มีการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้เจนเนอเตอร์และทำให้ค่าใช้จ่ายรวมลดลงเหลือที่ 5.8 ล้านบาท หรือทำการเพิ่มโครงสร้างของระบบซึ่งที่เหมาะสมคือ เพิ่มระบบพลังงานแสงอาทิตย์เป็น 55 kW จากเดิม 25 kW จะทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าเพียงพอกับภาระทางไฟฟ้าของชุมชนในปัจจุบันที่ 90.4 kWh/d โดยไม่ใช้เจนเนอเรเตอร์ โดยทางด้านค่าใช้จ่ายรวมจะเพิ่มขึ้นจากระบบเดิม 7.4 ล้านบาทเป็นระบบใหม่ 11.2 ล้านบาทโดยมีเงินลงทุน 7.4 ล้านบาท ค่าบำรุงรักษาต่อปี 2.9 แสนบาท และในอนาคตถ้าชุมชนต้องการเพิ่มภาระทางไฟฟ้าให้มากขึ้นแบบเต็มเวลา จากการจำลองภาระทางไฟฟ้าที่ 170 kWh/d โดยระบบเดิมใช้เจนเนอเรเตอร์ช่วยในการผลิตถึง 39,436 kWh/yr จากการจำลองการเพิ่มโครงสร้างใหม่โดยไม่ใช้เจนเนอเรเตอร์ผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่าระบบที่เหมาะสมคือ เพิ่มระบบพลังงานแสงอาทิตย์ 105 kW และแบตเตอรี่ 528 kWh ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากเดิม 14.3 ล้านบาทเป็นระบบใหม่ 22.4 ล้านบาท และถ้าใช้เป็นระบบที่เจนเนอเรเตอร์ช่วยในการผลิตไฟฟ้าที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจะเป็นระบบที่พลังงานแสงอาทิตย์ 25 kW เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ขนาด 10 kW และแบตเตอรี่ 52.8 kWh ค่าใช้จ่ายลดลงเป็น 10.4 ล้านบาท จึงจะมีความเหมาะสมและรองรับกับการเพิ่มภาระทางไฟฟ้าของชุมชนในอนาคต

[*]Corresponding author: Tel.: 053-885871. E-mail address: worajit@cmru.ac.th

บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและการดำเนินชีวิตของประชากรทั่วโลก ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานในชีวิตประจำวันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปัจจัยหลักเกิดจากจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้นและเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว [1] โดยในอนาคต หากยังไม่มีการคิดค้นหรือพัฒนาพลังงานทางเลือกที่สามารถทดแทนพลังงานอาจเกิดปัญหาพลังงานไม่เพียงพอต่อความต้องการได้ ดังนั้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานธรรมชาติหรือพลังงานทางเลือกจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากซึ่งทำให้เกิดการผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบไมโครกริด ซึ่งหมายถึง รูปแบบของโครงข่ายการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้แหล่งพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่หลากหลายเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ผู้บริโภค [2]

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานธรรมชาติดังที่กล่าวมาโดยทั่วไปแล้วกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีปริมาณที่ไม่คงที่หรือมีการผันผวนตามภาวะการผลิตจึงทำให้เกิดผลกระทบทั้งในด้านของคุณภาพไฟฟ้าและความเชื่อถือได้ของระบบ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ระบบสารสนเทศเข้ามาพัฒนาการทำงานผ่านระบบการจำลองทางคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นลักษณะการประมวลผลการทำงานของพลังงานทดแทนชนิดต่างในระบบไมโครกริดระบบการจำลองทางคอมพิวเตอร์เป็นการสร้างแบบจำลองของวัตถุจริงหรือเหตุการณ์ตามสมมุติฐาน เพื่อใช้ในการศึกษาการทำงานของระบบและเป็นการหลีกเลี่ยงหรือลดความผิดพลาดหรือเพื่อลดต้นทุนเนื่องจากความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับการปฏิบัติการจริง [3]

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญและต้องการวิจัยเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองระบบ AC Microgrid โดยใช้ซอฟแวร์สำเร็จรูป Homer Energy คือโปรแกรมการจำลองสถานการณ์ในแบบ Application-Oriented Simulator ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยหาระบบที่เหมาะสมที่สุดใช้ได้เฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กเท่านั้น ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยและการนำเสนอบทความเกี่ยวกับการนำโปรแกรม Homer มาใช้ในการจำลองออกแบบวางแผนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานโดยมีเป้าหมายในการลดค่าใช้จ่าย และออกแบบเปรียบเทียบประเมินผลทางเศรษฐกิจรวมถึงการวิเคราะห์การปล่อยมลพิษที่มีต่อสิ่งแวดล้อมโดยเน้นระบบการผลิตพลังงานทดแทนแบบผสมในพื้นที่ชนบทห่างไกลและหมู่เกาะต่าง ๆ [4] และยังสามารถประยุกต์ใช้โปรแกรม Homer จำลองการใช้พลังงานทดแทนในหมู่บ้านที่ห่างไกลโดยการใช้ระบบพลังงานทดแทนแบบผสมสานผลิตพลังงานให้เพียงพอกับความต้องการของหมู่บ้านและรองรับการขยายตัวของชุมชนรวมถึงการวิเคราะห์การใช้พลังงานในการเกษตรขนาดเล็ก [5] ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำเสนอการศึกษาแบบจำลอง AC Microgrid เพื่อเปรียบเทียบการผลิตพลังงานให้เหมาะสมกับการใช้ใน Smart Community ซึ่งเป็นชุมชนต้นแบบการดำรงชีวิตแบบครบวงจร ประกอบด้วยบ้านพักประหยัดพลังงาน อาคารธุรกิจชุมชน การทำกสิกรรมฟาร์มอินทรีย์ จึงเป็นแนวทางที่ช่วยหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับการวางแผนในการดำเนินการปรับปรุงในส่วนของ การเพิ่มหรือลดโครงสร้างของระบบ AC Microgrid ให้ใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

วิธีการวิจัย

แหล่งข้อมูล

จากแหล่งพลังงานทดแทน ภาระทางไฟฟ้าของครัวเรือน ในพื้นที่ชุมชนต้นแบบ Smart Community มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม ที่มีการใช้พลังงานจากพลังงานทดแทนและป้อนข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม Homer Energy โดยข้อมูลที่ใช้ในการจำลองจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

1. ข้อมูลแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนประกอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 25 kW เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาด 40 kW และแบตเตอรี่ 100 kWh

2. ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าคือ ข้อมูลภาระไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านและอาคาร จำนวน 12 หลัง แบ่งเป็น 4 ประเภท 1) เครื่องทำความเย็น ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ เครื่องทำน้ำเย็น ตู้เย็น ตู้แช่ 2) เครื่องทำความร้อน ได้แก่ ไมโครเวฟ เครื่องทำน้ำอุ่น เตาไฟฟ้า กาน้ำร้อน เครื่องชงกาแฟ 3) แสงสว่าง ได้แก่ หลอดไฟ โคมไฟ 4) ความบันเทิงและสำนักงาน ได้แก่ ทีวี เครื่องคิดเงิน เครื่องถ่ายเอกสาร โปรเจคเตอร์ คอมพิวเตอร์ ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าในการจำลองนี้ แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าจากการจำลองพฤติกรรมของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมด และข้อมูลภาระทางไฟฟ้าจริง

การจำลองระบบ

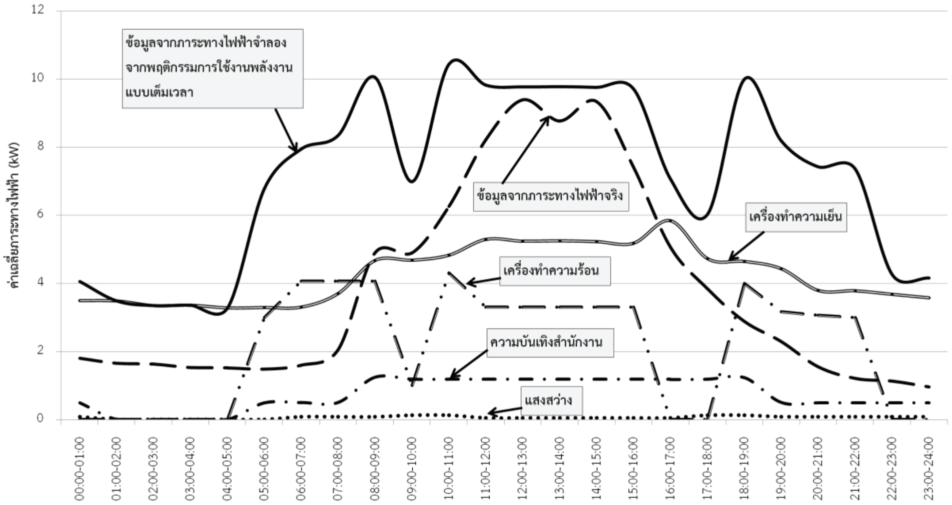
กระบวนการสร้างแบบจำลอง AC Microgrid ด้วยโปรแกรม Homer จะใช้ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าที่ได้กล่าวเบื้องต้นใช้ในกระบวนการจำลองซึ่ง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือการสร้างแผนภาพวงจรของระบบ การป้อนข้อมูล และการประมวลผลเพื่อได้คำตอบระบบที่เหมาะสมที่สุด ขั้นตอนแรกเริ่มจากการวาดแผนภาพวงจรของระบบประกอบด้วยข้อมูลแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและภาระทางไฟฟ้า ขั้นตอนที่สอง การป้อนข้อมูลให้กับโปรแกรมจะประกอบด้วยข้อมูลของแหล่งพลังงานข้อมูล การแผ่รังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ข้อมูลที่มีในภูมิภาคจากฐานข้อมูลของ Homer Energy ข้อมูลราคาน้ำมันDiesel ($/L) โดยใช้ข้อมูลราคาน้ำมันในปัจจุบันข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ ของอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วย ค่าลงทุนติดตั้ง ค่าซ่อมแซม และค่าบำรุงรักษาข้อมูลภาระทางไฟฟ้าที่ใช้ใน Smart Community ในช่วงเวลาตั้งแต่ 00:00 – 24:00 ช่วงเวลาละ 1 ชั่วโมง หน่วยเป็นกิโลวัตต์ ขั้นตอนที่สาม การประมวลผลโดยจะทำการจำลองตามกรณี คือ 1.การจำลองระบบปัจจุบัน 2.การปรับปรุงโดยการเพิ่มแบตเตอรี่ 3.การหาระบบที่เหมาะสมกับภาระทางไฟฟ้าที่มีอยู่ และ 4. การหาภาระทางไฟฟ้าที่ใช้ได้อย่างเหมาะสมกับระบบที่มีอยู่

การแสดงผลลัพธ์

เมื่อกำหนดข้อมูลแล้วโปรแกรมจะจำลองการทำงาน จากแผนภาพวงจรของระบบ Microgrid โดยโปรแกรมจะแสดงผลของ ระบบที่มีโครงสร้างด้านราคาและพลังงานที่เหมาะสมที่สุดเรียงตามลำดับจากค่าใช้จ่ายสุทธิจากน้อยไปมาก

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

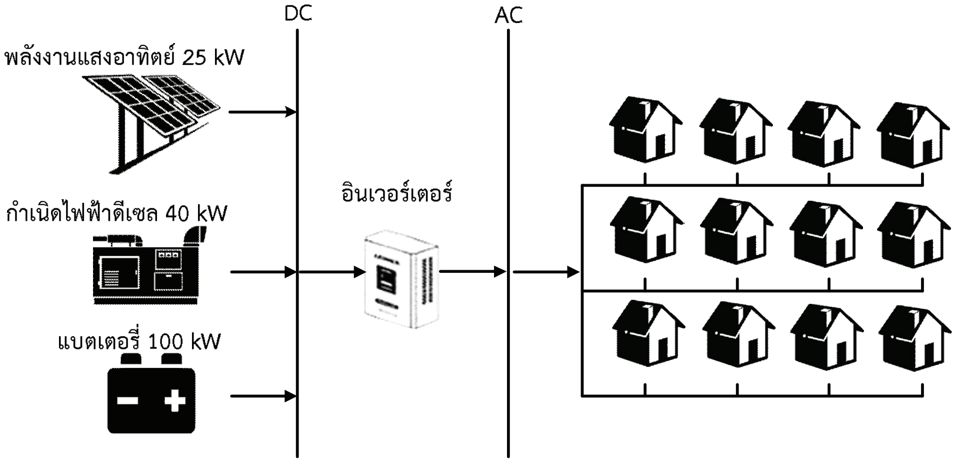
ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Homer เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกับระบบ Microgrid ที่มีอยู่จริงซึ่งจะทำการจำลองไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบให้ใช้งานได้เหมาะสมกับพลังงานที่ผลิตได้และเหมาะสมครัวเรือนที่มีอยู่ ซึ่งผลจากการเก็บข้อมูลแสดงในภาพที่ 1 คือข้อมูลภาระไฟฟ้าของชุมชนจริงซึ่งรวมภาระไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านและอาคาร จำนวน 12 หลัง ของ Smart Community และข้อมูลภาระไฟฟ้าจากการจำลองพฤติกรรมการใช้พลังงานแบบเต็มเวลา โดยแบ่งเป็น ประเภททำความเย็น ประเภททำความร้อน ประเภทแสงสว่าง ประเภทความบันเทิงสำนักงาน และผลรวมภาระทางไฟฟ้าจำลอง



ภาพที่ 1 แสดงภาระทางไฟฟ้าจากอุปกรณ์ทั้งหมด 4 ประเภทและผลรวมภาระทางไฟฟ้าจริงและจำลองจาก Smart Community

จากภาพที่ 1 เห็นได้ว่าภาระทางไฟฟ้าจริง จะน้อยกว่าภาระทางไฟฟ้าจำลองจากพฤติกรรมการใช้พลังงานแบบเต็มเวลา โดยที่อุปกรณ์ในกลุ่มเครื่องทำความเย็นมีภาระทางไฟฟ้ามากที่สุดในช่วงเวลา 09.00 น.–19.00 น. เนื่องจากมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่บ้านและอาคารทุกหลังและมีการใช้งานในส่วนของสำนักงานในช่วงเวลาทำงาน ส่วนของบ้านแต่ละหลังจะมีอัตราการใช้งานในช่วงหลังเลิกงานจนถึงตอนเช้า ช่วงเวลา 17.00 น. – 08.00 น. ประกอบกับในบ้านและอาคารบางหลังมีการใช้งานตู้เย็น และตู้แช่ ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมงจึงทำให้ อุปกรณ์กลุ่มเครื่องทำความเย็นมีภาระทางไฟฟ้ามากที่สุดและกลุ่มที่มีภาระทางไฟฟ้าน้อยที่สุดคือกลุ่มแสงสว่าง จากภาพที่ 1 พบว่ามีการใช้งานในช่วงทุกช่วงเวลาเพราะแสงสว่างมีการใช้งานในบ้านและอาคารสำนักงาน ประกอบกับหลอดไฟที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นหลอดไฟ LED ที่มีอัตราการประหยัดพลังงานสูงจึงทำให้กลุ่มแสงสว่างมีอัตราการใช้งานภาระทางไฟฟ้าต่ำกว่ากลุ่มอื่น ๆ ซึ่งถ้ารวมภาระทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ทั้งหมดจะได้ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าจำลองพฤติกรรมการใช้พลังงานแบบเต็มเวลา และเปรียบเทียบกับข้อมูลภาระทางไฟฟ้าจริงซึ่งไม่สามารถเก็บเป็นรายอุปกรณ์ไฟฟ้าได้แต่จะเป็นการเก็บข้อมูลภาระทางไฟฟ้ารวมของอาคารแต่ละหลังในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่า การใช้พลังงานของข้อมูลทั้ง 2 สูงสุดจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. – 16.00 น. ซึ่งส่วนมากการใช้พลังงานจะมาจากการใช้อุปกรณ์กลุ่มเครื่องทำความเย็น จากข้อมูลผู้วิจัยได้นำข้อมูลไปใช้ในการจำลองระบบ AC Microgrid ดังต่อไปนี้

ในการจำลองระบบผู้วิจัยได้ออกแบบแผนภาพวงจรของระบบในโปรแกรม Homer Energy ได้รับรู้เกี่ยวกับส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบผลกับระบบ AC Microgrid ที่มีอยู่ดัง ภาพที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ 25 kW เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ขนาด 40 kW แบตเตอรี่ 100 kWh บ้านและอาคาร จำนวน 12 หลัง



ภาพที่ 2 แผนภาพของระบบ AC Microgrid ของ Smart Community

ผลการจำลองระบบ AC Microgrid ที่ออกมา ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผล ไปตามลำดับกรณีซึ่งจะนำผลของกรณีแรกไปปรับแล้วให้โปรแกรม จำลองวิเคราะห์ผลกรณีถัดไปให้ได้ระบบที่ดีและคุ้มค่ามากที่สุด แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการจำลองระบบ AC Microgrid โดยใช้โปรแกรม Homer เปรียบเทียบจากภาระไฟฟ้าจำลองและภาระไฟฟ้าจริง ของ Smart Community

กรณี		ข้อมูลระบบ					ผลลัพธ์						
		Load	PV	Gen	InV.	Batt	การผลิตไฟฟ้า Batt (kWh/yr)				ค่าใช้จ่าย (บาท)		
		(kWh/d)	(kW)	(kW)	(kW)	(kWh)	Pv	Gen.	InV.	Batt	เงินลงทุน	ค่าบำรุงรักษา/ปี	ค่าใช้จ่ายรวม25 ปี
ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าจริง	1. ระบบปัจจุบัน	90.4	25	40	36	100	39,611	5,498	32,996	11,264	4,185,456	256,344	7,462,356
	2. การปรับปรุงโดยการเพิ่มแบตเตอรี่	90.4	25	40	36	158	39,611	4,347	32,996	11,542	4,463,514	257,664	7,757,475
	3. การหาระบบที่เหมาะสมและมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด	90.4	25	5	36	52.8	39,611	11,302	32,986	3,897	3,474,273	238,425	6,522,318
	4. การหาระบบที่เหมาะสมโดยไม่ใช้เจนเนอเรเตอร์	90.4	55	-	36	264	87,144	-	32,980	9,098	7,494,630	293,469	11,246,202
	5. การหาภาระทางไฟฟ้าที่ใช้ได้อย่างเหมาะสมกับระบบที่มีอยู่	40	25	40	36	100	39,611	-	14,600	4,006	4,185,456	129,129	5,836,182
ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าจากการจำลองพฤติกรรมของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมด	1. ระบบปัจจุบัน	170	25	40	36	100	39,611	39,436	62,050	30,905	4,185,456	795,135	14,349,885
	2. การปรับปรุงโดยการเพิ่มแบตเตอรี่	170	25	40	36	158	39,611	38,589	62,050	32,342	4,463,514	787,842	14,534,817
	3. การหาระบบที่เหมาะสมและมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด	170	25	10	36	52.8	39,611	39,445	62,050	3,339	3,536,148	539,022	10,426,482
	4. การหาระบบที่เหมาะสมโดยไม่ใช้เจนเนอเรเตอร์	170	105	-	36	528	166,366	-	61,996	29,639	13,834,920	672,408	22,430,760

ผลจากตารางที่ 1 ในกรณีที่ 1 พบว่าระบบ AC Microgrid ในการใช้งานในระบบปัจจุบันทั้งข้อมูลจำลองและข้อมูลจริงมีโครงสร้างที่เหมาะสมอยู่แล้ว เพราะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับชุมชนได้ซึ่งโปรแกรมจำลองระบบที่ดีที่สุดออกมา 1 ระบบคือ ที่ PV ขนาด 25 kW เจนเนอเรเตอร์ ขนาด 40 kW แบตเตอรี่ จำนวน 100 kWh อินเวอร์เตอร์ขนาด 36 kW ข้อมูลจำลองมีค่าใช้จ่ายรวม 14.3 ล้านบาท เงินลงทุน 4.1 ล้านบาท ค่าบำรุงรักษาต่อปี 7.9 แสนบาท ส่วนของข้อมูลจริงมีค่าใช้จ่ายรวม 7.4 ล้านบาท เงินลงทุน 4.1 ล้านบาท ค่าบำรุงรักษาต่อปี 2.5 แสนบาท ซึ่งข้อมูลจริงผลออกออกมาจะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าในส่วนของข้อมูลจำลองเนื่องมาจากปริมาณภาระทางไฟฟ้าของข้อมูลจริงจะมีปริมาณที่น้อยกว่าทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยลง แต่การผลิตกระแสไฟฟ้าจากระบบยังต้องใช้เจนเนอเรเตอร์ช่วยเป็นส่วนมากข้อมูลจริงที่ 5,498 kWh/yr และข้อมูลจำลองที่ 39,436 kWh/yr ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการภาระทางไฟฟ้าทั้งหมดของชุมชน ซึ่งต้องมาวิเคราะห์ในระบบใหม่ว่าถ้าต้องการเพียงการใช้งานเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์หรือการหาแนวทางในการปรับปรุงระบบให้มีความเหมาะสมทั้งทางด้านพลังงานและค่าใช้จ่าย จึงต้องมีการวิเคราะห์กรณีถัดไปโดยการเพิ่มจำนวน Battery เข้าไปในระบบมากขึ้นและดูผลว่าจะทำให้พลังงานไฟฟ้าถูกนำมาใช้และจะสามารถลดการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเจนเนอเรเตอร์ได้มากน้อยเพียงใด

กรณีที่ 2 ทำการเพิ่มจำนวนของ Battery เข้าไปในระบบพบว่าข้อมูลจริง ที่ภาระทางไฟฟ้า 90.4 kWh/d จะได้ระบบที่เหมาะสมคือ PV ขนาด 25 kWh/d เจนเนอเรเตอร์ ขนาด 40 kW แบตเตอรี่ จำนวน 158.4 kWh อินเวอร์เตอร์ขนาด 36 kW พบว่าถ้าระบบทำการเพิ่มจำนวนแบตเตอรี่จะช่วยลดการผลิตพลังงานจากเจนเนอเรเตอร์ ลดการผลิตจากเดิม 5,498 kWh/yr เป็น 4,347 kWh/yr และค่าใช้จ่ายรวมเดิม 7.4 ล้านบาท เพิ่มขึ้นเป็น 7.7 ล้านบาท ส่วนข้อมูลจำลองที่ภาระทางไฟฟ้า 170 kWh/d จะได้ระบบที่เหมาะสมคือที่ PV ขนาด 25 kW เจนเนอเรเตอร์ ขนาด 40 kW แบตเตอรี่จำนวน 158.4 kWh อินเวอร์เตอร์ ขนาด 36 kW พบว่าถ้าระบบทำการเพิ่มจำนวนแบตเตอรี่จะช่วยลดการผลิตพลังงานจากเจนเนอเรเตอร์ ลดการผลิตจากเดิม 39,436 kWh/yr เป็น 38,589 kWh/yr และค่าใช้จ่ายรวมเดิม 14.3 ล้านบาทเป็น 14.5 ล้านบาท แต่การลดการผลิตพลังงานจากเจนเนอเรเตอร์ยังเป็นการลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งต้องวิเคราะห์ต่อว่าถ้าต้องการหาระบบที่เหมาะสมกับภาระทางไฟฟ้าที่มีอยู่โดยใช้เฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์หรือการลดค่าใช้จ่ายให้น้อยลงต้องปรับปรุงระบบในส่วนไหนและค่าใช้จ่ายมีความเหมาะสมมากที่สุด

กรณีที่ 3 การปรับปรุงระบบให้เหมาะสมกับภาระไฟฟ้าที่มีอยู่โดยมีใช้จ่ายน้อยที่สุด จากการจำลองระบบพบว่าทั้ง 2 ข้อมูลมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงเพราะเป็นการลดสัดส่วนของอุปกรณ์เจนเนอเรเตอร์และแบตเตอรี่ ทำให้ลดการใช้เชื้อเพลิงลงบางส่วน ข้อมูลจริงจะได้ เจนเนอเรเตอร์ ขนาด 5 kW แบตเตอรี่ 52.8 kWh ค่าใช้จ่ายรวม 6.5 ล้านบาท ส่วนข้อมูลจำลองจะได้ เจนเนอเรเตอร์ ขนาด 10 kW แบตเตอรี่ 52.8 kWh ค่าใช้จ่ายรวม 10.4 ล้านบาท

กรณีที่ 4 การปรับปรุงระบบให้เหมาะสมกับภาระไฟฟ้าที่มีอยู่โดยไม่ใช้เจนเนอเรเตอร์ในส่วนของข้อมูลจริง จะได้ระบบที่เหมาะสมคือ PV ขนาด 55 kW แบตเตอรี่ 264 kWh อินเวอร์เตอร์ 36 kW ค่าใช้จ่ายรวม 11.2 ล้านบาท ส่วนของของข้อมูลจำลองจะได้ระบบที่เหมาะสมคือ PV ขนาด 105 kW แบตเตอรี่ 528 kWh อินเวอร์เตอร์ 36 kW และค่าใช้จ่ายรวม 22.4 ล้านบาท จากการจำลองระบบพบว่าทั้ง 2 ข้อมูลมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากกรณีที่ 1 เพราะเป็นการเพิ่มสัดส่วนขนาดของอุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เหมาะสมกับภาระทางไฟฟ้าที่ใช้ในชุมชนและลดการผลิตไฟฟ้าจากเจนเนอเรเตอร์ได้ 100% ทำให้เกิดการใช้ไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์และลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

กรณีที่ 5 ในกรณีนี้ทั้งข้อมูลจำลองและข้อมูลจริงถ้าต้องการปรับปรุงลดภาระทางไฟฟ้าให้เหมาะสมกับระบบที่มีอยู่โดยไม่ใช้เจนเนอเรเตอร์ ทั้งข้อมูลจริงและข้อมูลจำลอง ต้องลดพฤติกรรมภาระทางไฟฟ้าให้อยู่ที่ 40 kWh/d จึงทำให้ระบบมีการใช้กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ซึ่งแนวทางการแก้ไขต้องมีการรณรงค์บุคลากรในองค์กร ให้ลดภาระทางไฟฟ้าของชุมชนโดยการลดการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าในแต่ละประเภทให้น้อยลง

สรุปผลการวิจัย

จากการจำลองระบบ AC Microgrid กรณีศึกษาของ Smart Community โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Homer Energy ผลของการจำลองจากกรณีศึกษาพบว่าระบบโครงสร้างในปัจจุบันเป็นระบบที่ใหญ่กว่าความต้องการภาระทางไฟฟ้าของชุมชนที่มีอยู่ซึ่งทั้งข้อมูลจริงและข้อมูลการจำลองพบว่าสามารถลดสัดส่วนของอุปกรณ์เจนเนอเรเตอร์และแบตเตอรี่ ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่น้อยลงและสามารถรองรับภาระทางไฟฟ้าของชุมชนได้ แต่ก็ยังเป็นการใช้เจนเนอเรเตอร์ช่วยในการผลิตไฟฟ้าในการสำรองไว้ใช้ และถ้าต้องการลดการผลิตไฟฟ้าจากเจนเนอเรเตอร์ให้ได้ 100% ต้องปรับโครงสร้างของระบบโดยเพิ่มสัดส่วนของอุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่ให้มากขึ้นกว่าระบบเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบันทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจำนวนมาก ซึ่งชุมชนที่มีความสนใจสามารถนำไปยุกต์ใช้ในการวางแผนเพื่อจัดการการผลิตพลังงานไฟฟ้าและเป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจการลงทุนได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ของแต่ละแห่งเพื่อรองรับภาระทางไฟฟ้าของชุมชนที่เพิ่มขึ้นในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] David P. Chassin, Jason C. Fuller, and N. Djilali, *GridLAB-D: An agent-based simulation framework for smart grids.* Applied Mathematics, 2014.

[2] Barnes, M., et al. *Real-World MicroGrids-An Overview*. in *System of Systems Engineering, 2007. SoSE '07. IEEE International Conference on*. 2007.

[3] Maria, A., *INTRODUCTION TO MODELING AND SIMULATION.* Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, 1997: p. 7-13.

[4] Omar Hafez and K. Bhattacharya, *Optimal planning and design of a renewable energy based supply system for microgrids.* Renewable Energy, 2012: p. 7-15.

[5] Rohit Sen and S.C. Bhattacharyya, *Off-grid electricity generation with renewable energy technologies in India: An application of HOMER.* Renewable Energy, 2013: p. 388-398.

การศึกษาและประเมินความเหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานขนาดเล็กมาก ในถิ่นทุรกันดาร

Study and evaluate the suitability of a Pico Hybrid Power in Rural Areas.

ฉัตรชัย งามสม[1*] บวรศักดิ์ เพชรานนท์[1] ชาญณรงค์ พิทน[1] ณฐพรต คนตรง[1] และภมร ทรงยศ[1]

[1] ศูนย์ส่งเสริมและสนับสนุนมูลนิธิโครงการหลวงและโครงการตามพระราชดำริ
สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยเชิงพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานขนาดเล็ก เพื่อการศึกษาในถิ่นทุรกันดารนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินรูปแบบทางเทคนิคของระบบผสม พลังงานน้ำขนาด 200 วัตต์ ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ขนาด 300 วัตต์-พีค การออกแบบระบบนี้คำนึงถึงความเหมาะสมของแหล่งพลังงาน ความต้องการพลังงาน และด้านเศรษฐศาสตร์ ระบบพลังงานผสมนี้สร้างเพื่อรองรับกิจกรรมการเรียนการสอน และกิจกรรมในชีวิตประจำวันของครูผู้อยู่ประจำในศูนย์การเรียนชุมชนชาวไทยภูเขา “แม่ฟ้าหลวง” (ศศช.) ที่มีความต้องการพลังงานเฉลี่ยที่ 1.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/วัน ผลการติดตั้งที่ ศศช. ทะโกเด อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่ พบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขได้เป็นอย่างดี ผลิตไฟฟ้าเพียงพอต่อการใช้งาน รูปแบบทางเทคนิคของระบบผสมนี้ มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ มากกว่าใช้ระบบเดี่ยวจากแหล่งพลังงานน้ำ หรือโซล่าร์เซลล์ อย่างใดอย่างหนึ่ง ในรูปแบบมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายในการลงทุน ถึง 44.5% และ 11.3% ตามลำดับ

คำสำคัญ: การประเมิน ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน พลังงานน้ำขนาดเล็ก โซลาร์เซลล์ ทุรกันดาร

[*]Corresponding author: Tel.: 053-893066. E-mail Chutchai.ng@gmail.com

Abstract

This development research of the Pico Hybrid Power System, for supporting education in remote rural area, aims to evaluate technical design of the hybridity of energy sources, in this case Hydro 200 watts and PV 300Watt-Peak. Design of the system takes into account the suitability of the energy source, electricity requirements and the break-even point in economic term. The system is required to serve learning activities and teachers daily life, which altogether demands 1 .2 kWh of electricity per hour per day. An experiment of the system Ta-Ko-De Community Learning Center, Omkoi district, Chiang Mai, shows that the system responds to all required conditions; works well in the rural environments; cost-effective and produces sufficient electricity through different seasons. This design of Pico hybrid system performs 44.5% and 11.3% (Net present cost) more than the single-source system that generated by hydro power and PV power, respectively.

Key Word: evaluation Hybrid Systems Pico Hydro Power PV Rural Areas

บทนำ

จากข้อมูลด้านพลังงานไฟฟ้าของศูนย์การศึกษานอกโรงเรียน(กศน.)ในอำเภออมก๋อยจังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 109 ศูนย์ พบว่ามีเพียง 5 ศูนย์ฯ หรือเพียง 4.5% เท่านั้นที่สามารถเข้าถึงระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าภูมิภาค เนื่องจากการขยายการใช้ไฟฟ้าในชนบทมักประสบปัญหา เนื่องจากพื้นที่แต่ละแห่งอยู่ห่างไกล การเดินทางลำบาก การเข้าไปซ่อมบำรุงหรือการให้บริการอื่นๆ ทำได้ยาก อีกทั้งมีปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak load) เพียงช่วงเวลาสั้นๆ ของวัน โดยปกติจะเป็นช่วงเวลาตอนเย็นจนถึงช่วงเวลาก่อนเข้านอน ทำให้มีค่าประกอบการใช้ไฟฟ้าต่ำ (Low load factor) จากลักษณะดังกล่าว ทำให้ในหลายพื้นที่การขยายระบบสายส่งไฟฟ้าเกิดความไม่คุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ [1]
ดังนั้นการเลือกรูปแบบของระบบพลังงานที่จะนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า ในพื้นที่ที่มีลักษณะเฉพาะเช่นนี้ พลังงานหมุนเวียนจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมทางด้านเศรฐศาสตร์มากกว่า อย่างไรก็ตามบนพื้นที่สูงยังมีข้อจำกัดที่ในการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ไม่ว่าเป็นเรื่องของสภาพอากาศ หรือต้นทุนของพลังงานแสงอาทิตย์ และ พลังงานน้ำก็มีอย่างจำกัด เช่น หมอกจัด ฝนตกบ่อย ลำน้ำเป็นลำธารขนาดเล็ก การสร้างรูปแบบของพลังงานจึงต้องพิจารณาข้อจำกัดในพื้นที่

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาและประมินความเหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานโดยใช้รูปแบบของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานของ ศศช.ทะโกเด ต.แม่ตื่น อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่ ที่เป็นระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานน้ำขนาดเล็กขนาด 200 วัตต์ และระบบโซลาร์เซลล์ขนาด 300 วัตต์-พีค โดยแสดงการประเมินความเหมาะสมด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์จากพิจารณาข้อจำกัดของแหล่งพลังงานในพื้นที่ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาและขยายผลของรูปแบบพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมเพื่อใช้งานในพื้นที่ต่อไป

วิธีการวิจัย

กรอบแนวคิดการทำงาน

การพิจารณาระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับพื้นที่ห่างไกล นอกจากการตอบสนองของปริมาณความต้องการพลังงานแล้ว ยังต้องคำนึงถึง ลักษณะของภูมิประเทศปัจจัยของต้นทุนแหล่งพลังงานในพื้นที่ ที่ขึ้นอยู่กับสภาวะของอากาศและฤดูกาล และเมื่อมีการออกแบบนำไปใช้ในพื้นที่ห่างไกล สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง สร้างขึ้นต้องไม่ซับซ้อน และสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน เพื่อให้เกิดการขยายผลได้อย่างแพร่หลาย

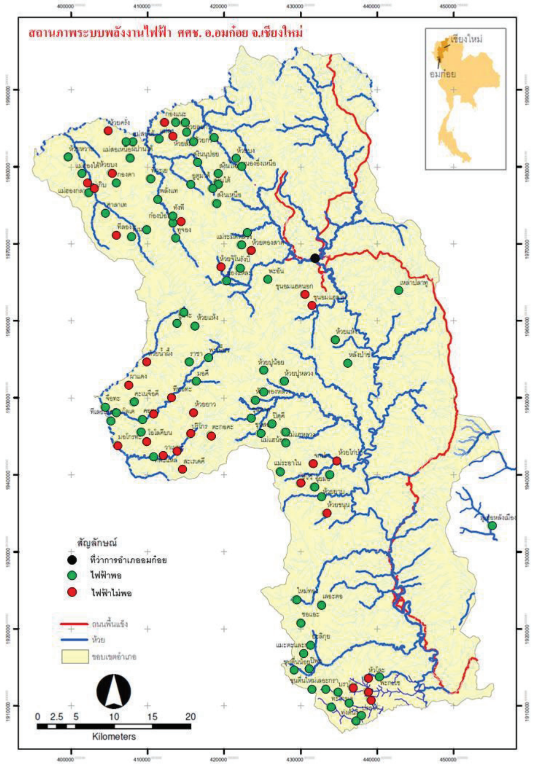
การประเมินต้นทุนพลังงาน

- **พลังงานแสงอาทิตย์**

จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยมหาวิทยาลัยศิลปากร ใน ต.แม่ตื่น อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่ ในรูปที่ 1 แสดงถึงปริมาณรังสี(รังสีรวม) โดยมีค่ารังสีเฉลี่ยอยู่ที่ 4.55 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน อย่างไรก็ตามในพื้นที่ของ ศศช.จะมีข้อจำกัด จาก สภาพอากาศพอสมควรเนื่องจากการมีฤดูฝนที่ยาวนานถึง 6 เดือน[1]ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่หุบเขา มีเมฆหมอกสูง ปริมาณชั่วโมงในการรับแดดจึงน้อยกว่าพื้นที่ด้านล่าง

- **พลังงานน้ำ**

จากข้อมูลปริมาณฝนของ สถาบันวิจัยและพัฒนาบนพื้นที่สูง (สวพส)[2] พบว่าใน ต.แม่ตื่น อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่ มีค่าเฉลี่ยที่ตลอดปี 929.8 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่สูง จากการสำรวจของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ทำแผนที่สำรวจข้อมูลพลังงานของ ศศช.ในอมก๋อย พบว่าหลายแห่งมีศักยภาพที่จะสามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้ดังแสดงในรูปที่ 2 อย่างไรก็ตามในเรื่องของศักยภาพแหล่งน้ำ ในพื้นยังมีข้อจำกัด จากข้อมูล พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่จะป็นลักษณะแหล่งน้ำต้นน้ำขนาดเล็ก มีระดับความสูงของหัวน้ำเป็นทางลาด[3]โดยทั่วไปไม่เกิน 5 เมตร และมีอัตราการไหลเฉลี่ยในฤดูแล้งที่ 20 ลิตร/วินาที การคาดหวังรูปแบบพลังงานน้ำจึงทำได้เพียงระดับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว (Pico Hydro System) หรือขนาดไม่เกิน 200วัตต์



รูปที่ 1 แผนที่ลำน้ำในพื้นที่ อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่

การประเมินด้านความต้องการของโหลด

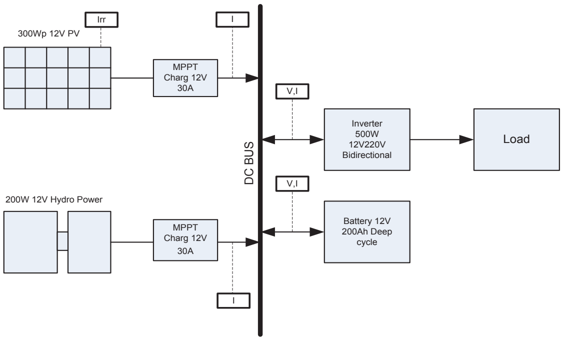
- **ความต้องการของโหลด**

สำหรับความต้องการพลังงานขั้นต่ำใช้วิธีสัมภาษณ์ ครู ภายใน ศศช. มีกิจกรรมสำหรับสื่อการเรียนการสอน และกิจกรรมดำรงชีวิตของครู ซึ่ง มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า (Load Profile) อยู่ที่ 1.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง/วัน โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้า ทีวี คอมพิวเตอร์โน๊ตบ๊ค และ ระบบแสงสว่างเป็นหลัก

ผลการดำเนินงาน

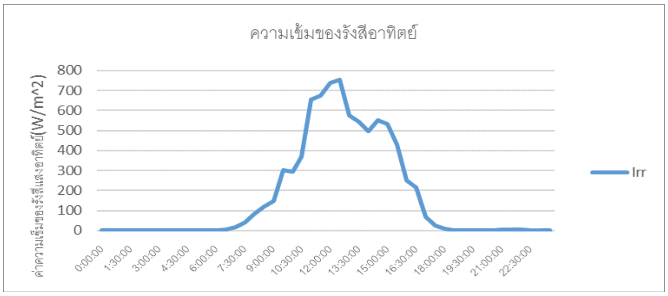
ผลการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

การทำงานของระบบร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ 300 W พบว่าระบบฯสามารถจ่ายกระแสร่วมกันได้ โดยแผงโซลาร์เซลล์ให้พลังงานได้ในช่วงที่มีแดดดี ส่วนระบบกังหันผลิตไฟฟ้าจะให้พลังงานในช่วงกลางคืน ช่วงที่แสงอ่อน หรือมีเมฆบดบังแสง ระบบกังหันน้ำและแผงโซล่าเซลล์ถูกควบคุมการชาร์จให้แบตเตอรี่โดยMPPT Charger ระบบ 12 โวลท์ ตามไดอะแกรมรูปภาพที่ 3

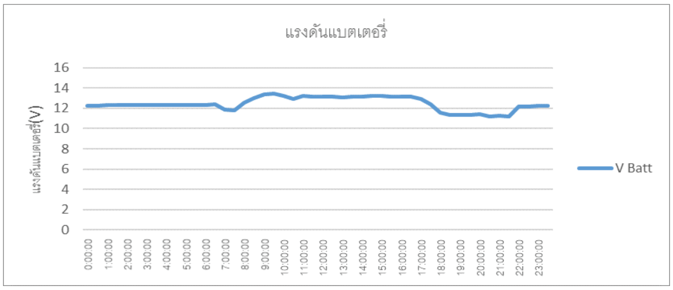


รูปที่ 3 ไดอะแกรมและผังการเก็บข้อมูลกังหันน้ำและแผงโซล่าเซลล์เมื่อใช้งานในพื้นที่

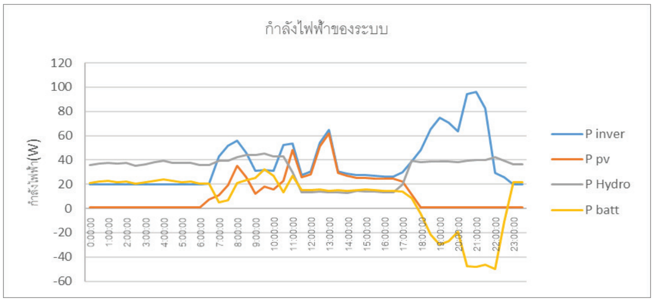
พลังงานส่วนใหญ่ที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน จะใช้งานผ่านอินเวอร์เตอร์เป็นหลัก ในแต่ละวัน กังหันน้ำจะชาร์จแบตเตอรี่ตลอดเวลา แต่ในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ แผงโซลาร์เซลล์จะชาร์จแบตเตอรี่เป็นหลัก แต่เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ค่าต่ำ หรือช่วงที่มีภาระทางไฟฟ้า พลังงานน้ำและโซลาร์เซลล์จะชาร์จระบบร่วมกัน เมื่อพิจารณาปริมาณรังสีอาทิตย์ในวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2559 พบว่า ในรูปภาพที่ 4 และรูปภาพที่ 5 และ รูปภาพที่ 6 พบว่าปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นทำให้แรงดันในระบบเพิ่มขึ้นตาม ชาร์จเจอร์ของพลังงานน้ำจะลดปริมาณการชาร์จลงเนื่องจากแบตเตอรี่แสดงสถานะว่าแบตเตรี่มีแรงดันสูง



รูปที่ 4 ปริมาณความเข้มของรังสีอาทิตย์



รูปภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันแบตเตอรี่ต่อเข้มของรังสีอาทิตย์



รูปภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าของกำลังไฟฟ้าของระบบฯ

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

เมื่อพิจารณา ต้นทุนพลังงานในพื้นที่และ ความต้องการพลังงาน สามารถวิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้า และประเมินต้นทุนตลอดอายุโครงการ (Life Cycle Cost- LCC) ซึ่งพิจารณาในรูปของมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Net Present Cost-NPC), ต้นทุนพลังงาน (Cost of Energy- COE) และอัตราผลตอบแทนในการลงทุน ลงทุน ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Homer Program โดยเปรียบเทียบเมื่อแยกแหล่งจ่ายพลังงานอื่น คือ ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานพลังงานน้ำและโซลาร์เซลล์ (Hy&PV) พลังงานน้ำขนาดเล็กมาก (Hy) ระบบโซลาร์เซลล์ (PV)

ผลการเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ โดยนำข้อมูลระบบการจำลองข้อมูลใน Homer Program ด้วยการป้อนข้อมูลค่าเกี่ยวกับอุปกรณ์ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ อินเวอร์เตอร์ ข้อมูลลักษณสมบัติ ราคา อายุการใช้งาน และ ค่าใช้การบำรุงรักษา กำหนดอายุโครงการที่ 25 ปี

ตารางที่ 2 ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ระบบที่ได้จากการจำลองด้วย Homer Program

Systems	Hy&PV	Hy	PV
Total initial cost (THB)	67,000	97,920	95,000
Total annualized cost (THB)	13,941	25,163	15,731
Operation (THB)	6,120	6,600	480
Cost of energy (THB)	31.828	57.450	35.915
Net present cost (THB)	242,749	438,166	273,919

อภิปรายผลการวิจัย

การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

ระบบกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าทำงานสอดคล้องกับระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ได้เป็นอย่างดี โดย ควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ผ่านชุดควบคุมการชาร์จแบบกำลังสูงสุด ตัวแปรสำคัญของระบบฯ คือแรงดันแบตเตอรี่ ที่ส่งผลต่อการตอบสนองของระบบชาร์จเจอร์ ที่จะกำหนดกระแสชาร์จ เข้าสู่ระบบฯ เมื่อแรงดันในระบบฯสูงขึ้นจากโซลาร์เซลล์ในตอนรังสีอาทิตย์ กระแสชาร์จจากกังหันน้ำจะลดลง และเมื่อรังสีอาทิตย์หมดลงกังหันน้ำก็จะกลับมาทำงานตามปกติ

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์แสดงให้มูลค่าในการลงทุนเริ่มต้นโครงการ (initial capital) โดยพลังงานน้ำขนาดเล็กมาก และระบบโซลาร์เซลล์ จะมีมูลค่าการลงทุนเริ่มต้นโครงการใกล้เคียงกันส่วนระบบฯแบบผสมผสานจะมีมูลค่าการลงทุนเริ่มต้นโครงการ ที่ต่ำกว่าถึง 31.5% และ 29.4% ตามลำดับ และแต่ละโครงการมีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของพลังงาน (Cost of Energy) ดังนี้ (Hy : 57.45 บาท/กิโลวัตต์ ,PV 35.915บาท/กิโลวัตต์ และ Hy&PV :31.828บาท/กิโลวัตต์)เมื่อการคำนวนมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Net present cost - NPC) จะเห็นได้ว่าระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจะมีปัจจุบันของลงทุนที่ 242,749 บาท และต่ำกว่าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว และระบบโซลาร์เซลล์ ถึง 44.5% และ 11.3% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานมีความเหมาะสมทางด้านเทคนิค และด้านเศรษฐศาสตร์

สรุปผลการวิจัย

การเลือกใช้ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน หรือระบบที่มีมากกว่าหนึ่งแหล่งจ่ายจะมีความได้เปรียบในเรื่องด้านเทคนิค ด้านความเสถียรภาพของพลังงาน และความขาดแคลนของแหล่งพลังงานตามฤดูกาล หรือความไม่แน่นอนของสภาวะอากาศซึ่งเกิดได้บ่อยในพื้นที่สูง รวมทั้งด้านเศรษฐศาสตร์ การเลือกใช้พลังงานแบบผสมผสานมีความเหมาะสมมากกว่า อย่างไรก็ตามการเลือกใช้พลังงานในชนบทแต่ละพื้นที่ ควรศึกษาและวิเคราะห์องค์ประกอบให้รอบด้าน ไม่ควรพิจารณาเพียงด้านใดด้านหนึ่ง โดยมีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าใช้เป็นตัวเปรียบเทียบระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าประเภทต่างๆ ซึ่งระบบฯที่มีค่าใช้จ่ายการลงทุน ตลอดอายุโครงการสูง อาจไม่ได้หมายความว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต้องสูงตามไปด้วย เนื่องจากระบบนั้นอาจผลิตไฟฟ้าได้ปริมาณมาก หรือในทางกลับกันระบบที่มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยสูง ไม่จำเป็นต้องมีระบบที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนตลอดอายุการใช้งานสูง ดังนั้นในการตัดสินใจเลือกระบบใด ต้องพิจารณาทั้งค่าใช้จ่ายและการลงทุนตลอดอายุโครงการ และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยควบคู่ไปด้วย เพื่อดูความเป็นไปได้ในการลงทุนทั้งนี้เพื่อให้เกิดการใช้งานอย่างเหมาะสมและยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะครู และนักเรียน ศศช.ทะโกเด ต.แม่ตื่น อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

[1] บุญยัง ปลั่งกลาง. (2554). ระบบไฟฟ้าพลังงานทดแทนผสมผสานขนาดเล็กสำหรับที่ชนบทห่างไกล. สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2555 จาก http://www.rdi.rmutsv.ac.th/ebook/Content_Engi/786.pdf

[2] เอกสารเผยแพร่.โครงการขยายผลโครงการหลวงเพื่อแก้ปัญหาพื้นที่ปลูกฝิ่นอย่างยั่งยืน บ้านขุนตื่นน้อย ตำบลแม่ตื่น อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ www.hrdi.or.th/hrdi2/dmdocuments/artical/areaextend/drug/7koontunnoi.pdf

[3] ฉัตรชัย งามสม และคณะ (2555). การออกแบบและทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรสำหรับกังหันน้ำระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดจิ๋ว” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8, วันที่ 2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 จังหวัดมหาสารคาม

[4] ถิรวัฒน์ หงษ์บิน, 2547, การวิเคราะห์สมรรถนะระบบจ่ายไฟแบบอิสระแบบผสมผสานพลังแสงอาทิตย์และพลังน้ำ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

การวิเคราะห์และออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระสำหรับการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

Analysis and Design of Photovoltaic Stand alone System for Working Effectively

จิรศักดิ์ ส่งบุญแก้ว

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10160

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอขั้นตอนการออกแบบระบบพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าแบบอิสระ โดยระบบพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบจะจ่ายโหลดที่เป็นหลอดไฟ LED ขนาด 10 W จำนวน 10 หลอดและมีแบตเตอรี่ที่ใช้ในการสะสมพลังงานขนาด 150 Ah ที่แรงดัน 12 V โดยมีเครื่องประจุแบตเตอรี่ขนาด 10 A ขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ 150 W และระบบป้องกันทั้งด้านไฟฟ้ากระแสตรงและด้านไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 10 A ในส่วนการวิเคราะห์การออกแบบด้วยการทดสอบประสิทธิผลการใช้งานของอุปกรณ์ที่ได้เลือกใช้ตามการออกแบบ โดยที่แบตเตอรี่จะทำการทดสอบการจ่ายโหลดเป็นหลอดไฟอย่างต่อเนื่อง สามารถจ่ายโหลดได้เป็นเวลา 14 ชั่วโมงตามที่ออกแบบ ทำการทดสอบประสิทธิผลของแผงโซล่าเซลล์ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้สูงสุดต่อวันเท่ากับ 91 W และมีการทดสอบสภาวะการใช้งานของระบบตามปกติ โดยมีพลังงานไฟฟ้าที่แผงโซล่าเซลล์จ่ายโดยเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ที่ 404.7 Wh และพลังงานที่ประจุให้กับแบตเตอรี่โดยเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 375 Wh ได้ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานเฉลี่ยทั้ง 4 วันอยู่ที่ 92.6 % ซึ่งแบตเตอรี่สามารถรองรับการใช้งานของโหลดในแต่ละวันที่ 360 Wh ได้เพียงพอ เพื่อเป็นการสนับสนุนและยืนยันการออกแบบที่จะทำให้ระบบสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบพลังงานจากแสงอาทิตย์ แผงโซล่าเซลล์

Corresponding author:: Tel.: 0805761981. E-mail address: jirasak1163@gmail.com

บทนำ

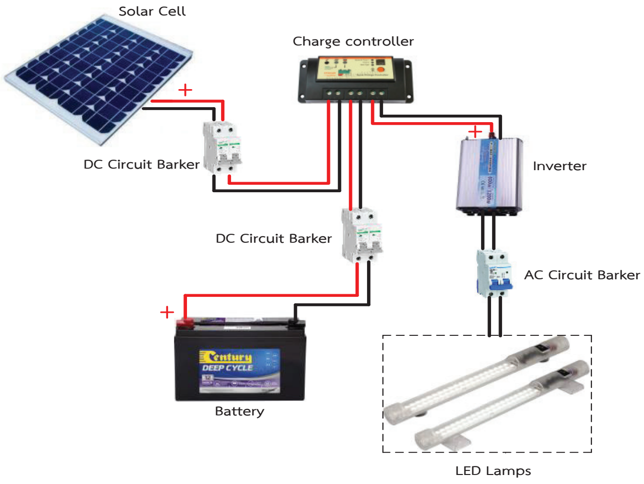
เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยได้ให้ความสำคัญและสนใจในการพัฒนาด้านพลังงานทดแทนและพลังงานหมุนเวียนมากขึ้นอันเนื่องมาจากว่าช่วงทศวรรษที่ผ่านมามีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น พลังงานแสงอาทิตย์ จึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเพราะเป็นพลังงานทดแทนประเภทพลังงานหมุนเวียนซึ่งสามารถใช้ได้อย่างไม่สิ้นสุด อีกทั้งยังจะช่วยรักษาสภาพแวดล้อมไม่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนจะนำสู่การส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคตได้อย่างยั่งยืน โดยที่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้านั้นเป็นที่นิยมกันมากขึ้นในปัจจุบันแต่ข้อจำกัดสำคัญอย่างหนึ่งของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ช่วงเวลาในการผลิตมีข้อจำกัดเนื่องจากในแต่ละวันจะมีแสงแดดเพียงช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้นส่วนในช่วงเวลากลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ถึงแม้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีข้อจำกัดดังกล่าวข้างต้น เมื่อพิจารณาถึงข้อดีและต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ปราศจากมลพิษและการใช้พลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติแล้วนั้น การนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจอย่างยิ่ง[1] ดังนั้นในการที่นำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดนั้น การออกแบบระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่ง

ดังนั้นในบทความนี้ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการออกแบบระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระและวิเคราะห์และทดสอบผลที่ได้จากการออกแบบเพื่อให้เกิดการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดตามการออกแบบ

วิธีการวิจัย

1. การออกแบบระบบพลังงานจากแสงอาทิตย์แบบอิสระ

ระบบพลังงานจากแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตไฟฟ้านั้นจะมีกระบวนการในการทำงานที่เริ่มจากแผงโซล่าเซลล์ (Solar Cell) รับแสงอาทิตย์แล้วทำการเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าไปยังส่วนควบคุมการประจุ (Charge controller) ซึ่งในส่วนนี้นอกจากจะทำหน้าที่ควบคุมการประจุให้กับส่วนเก็บกำลังไฟฟ้าที่เป็นแบตเตอรี่ (Battery) แล้วยังทำหน้าที่ควบคุมกำลังไฟฟ้ายังส่วนแปลงกระแสไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) ได้อีกด้วย โดยระบบดังกล่าวสามารถแสดง ได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ

ในการออกแบบระบบพลังงานจากแสงอาทิตย์สำหรับผลิตไฟฟ้าตามภาพที่ 1 นั้นจะต้องทราบพลังงานไฟฟ้าที่โหลดใช้งาน ซึ่งในบทความนี้โหลดที่ใช้เป็น หลอด LED 220 โวลต์(V) ขนาด 9 วัตต์(W) จำนวน 10 หลอด จะมีกำลังไฟฟ้า(P_{ac})ทั้งหมดเท่ากับ 90 วัตต์ มีเวลาการใช้งานหลอดไฟ 4 ชั่วโมงต่อวัน สามารถคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า (W_{ac}) ได้จากสมการที่ (1)

$$W_{ac} = P_{ac} \times T = 90 \times 4 = 360\ Wh \quad (1)$$

เมื่อ T เป็นระยะเวลาการใช้งานของหลอดไฟ สามารถหาค่าพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 360 วัตต์-ชั่วโมง(Wh) เมื่อทราบค่าพลังงานไฟฟ้าก็สามารถออกแบบระบบได้ โดยมีขั้นตอนการออกแบบระบบตามหัวข้อดังนี้[2]

1.1 การคำนวณขนาดเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

การออกแบบขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า(Invereter) เบื้องต้นพิจารณาจากสัญญาณขาออก ซึ่งสัญญาณคุณภาพดีที่สุดจะเป็นแบบ Pure sine wave, Modified sine wave และ Square wave ตามลำดับ โดยแบบ Pure sine wave สามารถใช้งานได้ดีกับอุปกรณ์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับทุกประเภทรวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ถ้าเป็นโหลดทั่วไป เช่น หลอดไฟฟ้า โทรทัศน์ หม้อหุงข้าวก็จะสามารถเลือกใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบ Modified sine wave ในบทความนี้จะใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่เป็นแบบ Modified sine wave เนื่องจากโหลดเป็นหลอดไฟ สำหรับขนาดกำลังของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ($P_{inverter}$) สามารถหาได้จากสมการที่ (2)

$$P_{inverter} = P_{ac} \times 1.25 = 90 \times 1.25 = 130\ W \quad (2)$$

โดยมีความปลอดภัยของอุปกรณ์ (Safety Factor) มีค่าเป็น 1.25 สามารถหาค่าพิกัดเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าได้มีค่าเท่ากับ 130 W แต่ในบทความนี้จะเลือกใช้ขนาดที่มีจำหน่ายเป็น 150 W จะมีค่ามากกว่าค่าที่ออกแบบ

1.2 การคำนวณขนาดของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นตัวเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซล่าเซลล์ โดยแบตเตอรี่มีหลายชนิดและหลายขนาดให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม แต่แบตเตอรี่ที่ควรใช้กับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้า คือ แบตเตอรี่ชนิด Deep Cycle เป็นแบตเตอรี่ชนิดที่สามารถประจุไฟฟ้าได้แม้กระแสไหลเข้าน้อยๆ และสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องที่ไม่เกิดการเสียหายของแผ่นเซลล์ภายในตัวแบตเตอรี่ สามารถคำนวณขนาดของแบตเตอรี่สำหรับการใช้งานได้จากสมการที่ (3)

$$Battery\ Capacity = \frac{W_{ac} \times Day\ of\ autonomy}{V_{system} \times DOD} = \frac{360 \times 3}{12 \times 0.8} = 112\ Ah \quad (3)$$

เมื่อค่า *Day of autonomy* เป็นค่าจำนวนวันที่แบตเตอรี่สามารถทำงานได้เมื่อแผงโซล่าเซลล์ไม่สมามารถผลิตไฟฟ้าได้ กำหนดมีค่า 3 วัน , V_{system} เป็นค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของระบบมีค่าเท่ากับ 12 V , *DOD* (Depth Of Discharge) คือค่าที่บอกถึงความสามารถของแบตเตอรี่ในการนำเอาความจุที่มีอยู่ออกมาใช้งาน กำหนดให้มีค่า 80 % จากการคำนวณในสมการที่(3) เลือกใช้ขนาดแบตเตอรี่ขนาด 120 แอมป์-ชั่วโมง(Ah) ขนาดแรงดัน 12 V จำนวน 1 ลูก

1.3 การคำนวณหาขนาดแผงโซล่าเซลล์

เซลล์แสงอาทิตย์จะทำเป็น แผง หรือเรียกว่า โมดูล (PV Module) โดยโมดูลประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาประกอบเข้าด้วยกันแล้วใช้กระจกเป็นแผ่นปิดด้านบน ขนาดของแผงโซล่าเซลล์จะบอกขนาดเป็น วัตต์ (Watt) ในการออกแบบนอกจากจะพิจารณาขนาดกำลังของแผงแล้วยังจะต้องพิจารณาแรงดันที่ใช้งานในระบบเพื่อเลือกลักษณะการต่อแผงจากลักษณะคือ แบบอนุกรม แบบขนานและแบบผสม จะสามารถคำนวณหาค่ากระแสที่ได้จากแผงโซล่าเซลล์ (I_{PV}) จากสมการที่(4)

$$I_{PV}=\frac{W_{ac}\times 1.2}{V_{system}\times PSH}=\frac{360\times 1.2}{12\times 4.69}=7.7\ A \tag{4}$$

เมื่อค่า 1.2 เป็นค่าคงที่จากการออกแบบ ค่า PSH (Peak Sun Hour) เป็นค่าระยะเวลาการมีแสงที่ 1kW/m^2 มีหน่วยเป็นชั่วโมง[2] ตามพื้นที่การใช้งานในบทความนี้เป็นบริเวณกรุงเทพโดยเลือกค่าที่น้อยที่สุดที่เฉลี่ยต่อเดือนในรอบปี จากค่าตามสมการ (5) ได้แผงโซล่าเซลล์ขนาด 150 W ที่มีแรงดันสูงสุด(V_{mp_Pv}) เท่ากับ 17.8 V ,กระแสสูงสุด(I_{mp_PV}) เท่ากับ 8.43 A ,กระแสลัดวงจร(I_{sc_pv})เท่ากับ 9.1 A ดังนั้นจากคุณสมบัติของแผงโซล่าเซลล์ที่เลือกจะสามารถพิจารณาลักษณะการต่อขนานกันของแผง(string)จากการนำเอา I_{PV}/I_{mp_PV} ได้จำนวน 1 โมดูลและลักษณะการต่ออนุกรมของแผงจาก V_{system}/V_{mP_PV} ได้จำนวน 1 โมดูลเช่นกัน ดังนั้นจำนวนแผงโซล่าเซลล์ที่ใช้จะได้จำนวน 1 แผง

1.4 การคำนวณหาขนาดเครื่องควบคุมการประจุ

ทำหน้าที่ควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซล่าเซลล์มาเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ การออกแบบวงจรควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับขนาดของแบตเตอรี่สามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้รวมถึงควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ผ่านเครื่องควบคุมด้วย เครื่องควบคุมการประจุ(Charger controller) ที่มีใช้ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เครื่องควบคุมการประจุแบบ PWM และแบบ MPPT ในการคำนวณหาขนาดของเครื่องควบคุมการประจุให้มีความเหมาะสมกับขนาดของแบตเตอรี่ได้ตามสมการที่(5)

$$I_{Charg}\geq\ 1.25\times N_{PV_Parallel}\times I_{SC_PV}=1.25\times 1\times 9.1=\ 11.37\ A \tag{5}$$

เมื่อกำหนดให้ $N_{PV_Parallel}$ คือจำนวนของแผงโซล่าเซลล์ที่ต่อขนานกันมีค่าเท่ากับ 1 แผง จากสมการ(5) พิจารณาเลือกขนาดเครื่องควบคุมการประจุแบบ PWM ขนาด 12/24 V 10 A ขนาดที่ใกล้เคียงที่ออกแบบไว้มากที่สุด

1.5 การคำนวณหาขนาดสายและอุปกรณ์ป้องกัน

จากภาพที่ 1 สายไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็นสายไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ไปยังเครื่องควบคุมการประจุและสายไฟฟ้าจากเครื่องควบคุมการประจุไปยังแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนสายไฟฟ้าจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไปยังหลอดไฟ LED จะเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ การคำนวณขนาดสายแผงโซล่าเซลล์ไปยังเครื่องควบคุมการประจุสามารถคำนวณได้ตามสมการที่(6)

$$I_{W1} \geq 1.25 \times N_{PV_Parallel} \times I_{SC_PV} = 1.25 \times 1 \times 9.1 = 11.37 \ A \tag{6}$$

จากค่าที่ได้สามารถเลือกใช้สายขนาด PV-1F(เป็นสายที่ใช้สำหรับระบบ PV เฉพาะ) ขนาด 1.5 sq.mm. ชนิดแกนเดียวบนพื้นผิวทั่วไปทนกระแสได้สูงสุด 29 A แต่ระบบมีแรงดันไม่เกิน 120 V จะต้องมีพิจารณาแรงดันตกในสายและต้องไม่เกิน 2 % ตามสมการที่(7) มีความยาวของสายไปกลับมีค่า 30 เมตร ได้ค่าความต้านทานในสาย Ω / km เท่ากับ 13.7

$$V_D = \mathrm{I_{mpv\text{-}T}} \times \left[\frac{\Omega / \ \mathrm{km} \times cable\ length(\mathrm{m})}{1{,}000\ \mathrm{m}} \right] = 8.34 \times \left[\frac{13.7 \times 30}{1000} \right] = 3.46\ V \tag{7}$$

ค่าจากการคำนวณจะหาค่าอัตราแรงดันตกในสายเท่ากับ 19.43 % ซึ่งเกิน 2 % ดังนั้นจะต้องเปลี่ยนขนาดสายเป็น 6 sq.mm ได้อัตราแรงดันตกในสายเท่ากับ 2.06 % สำหรับสายจากเครื่องควบคุมการประจุไปยังแบตเตอรี่ใช้ขนาดเท่ากัน ส่วน การคำนวณหาขนาดอุปกรณ์ป้องกันสามารถคำนวณได้จากสมการที่(8)

$$I_{CB} \geq I_{W1} = 11.37 \ A \tag{8}$$

สามารถเลือกขนาด DC Circuit Breaker ขนาด 16 AT และ AC Circuit Breaker ขนาด 10 AT

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

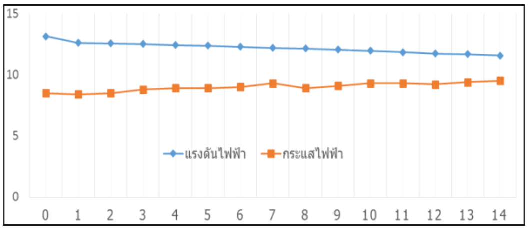
จากการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยจะใช้แผงโซล่าเซลล์ขนาด 150 W จำนวน 1แผง เครื่องควบคุมการประจุแบบ PWM ขนาด 15 A มีแบตเตอรี่ขนาด 120 Ah จำนวน 1 ลูก และมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อจ่ายโหลดมีขนาด 150 W ซึ่งมีโหลดเป็นหลอดไฟแบบ LED ขนาด 9 W จำนวน 10 หลอดตามภาพที่ 2

ภาพที่ 2 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเสร็จสมบรูณ์

ในการทดสอบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ตามภาพที่ 2 จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

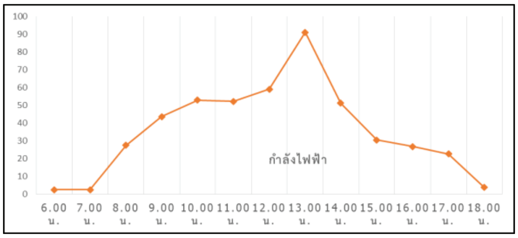
1. การทดสอบประสิทธิผลการใช้งานของอุปกรณ์

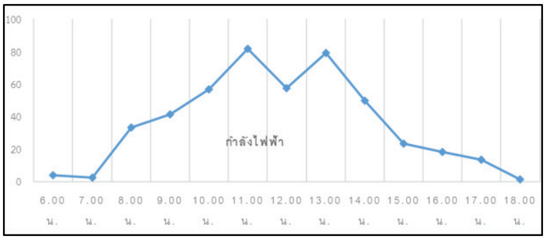
ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบประสิทธิผลการใช้งานของแบตเตอรี่ ประสิทธิผลการผลิตไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์และประสิทธิผลเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ โดยที่การทดสอบประสิทธิผลของแบตเตอรี่จะทำการชาร์จประจุแบตเตอรี่ให้เต็มแล้วทำการจ่ายโหลดหลอดไฟ LED ขนาด 9 W จำนวน 10 หลอด ผ่านอินเวอร์เตอร์ โดยจะทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสของแบตเตอรี่ทุกๆ 1 ชั่วโมง เพื่อหาระยะเวลาในการใช้งานของแบตเตอรี่ ตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3. กราฟการทดสอบประสิทธิผลการใช้งานแบตเตอรี่

วัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่พบว่าสามารถใช้งาน 14 ชั่วโมงกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเฉลี่ยที่แบตเตอรี่จ่ายออกเท่ากับ 110 W ในการออกแบบได้กำหนดให้แบตเตอรี่จะต้องใช้งานได้วันละ 4 ชั่วโมงเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบนั้นใช้งานได้ 14 ชั่วโมงหรือเป็นเวลาการใช้งานเท่า 3.5 วัน ดังนั้นแบตเตอรี่ที่ออกแบบจะสามารถใช้งานได้





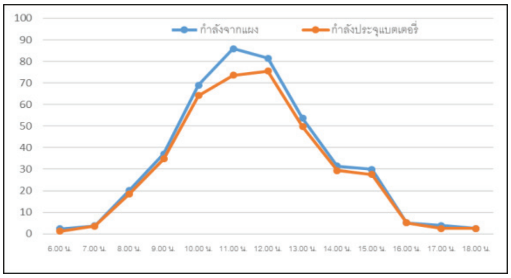
ก. กราฟการทดสอบการผลิตไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ ข. กราฟการทดสอบกำลังเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่

ภาพที่ 4. กราฟการทดสอบประสิทธิผลการใช้งาน

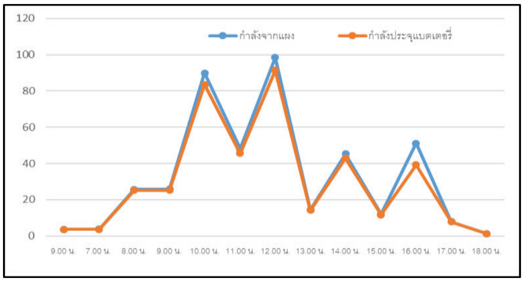
จากการทดสอบตามภาพที่ 4 กำลังไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์สูงสุดเท่ากับ 91.06 W จากกำลังไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ 150 W หรือคิดเป็น 60.7 % ของกำลังสูงสุดที่แผงโซล่าเซลล์ผลิตได้และกำลังที่เครื่องควบคุมการประจุให้แบตเตอรี่สูงสุดเท่ากับ 81.77 W จากกำลังสูงสุดของเครื่องควบคุมการประจุที่เลือกใช้ หรือคิดเป็น 68.14 % ของกำลังสูงสุด

2. การทดสอบการใช้งานในสภาวะปกติของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

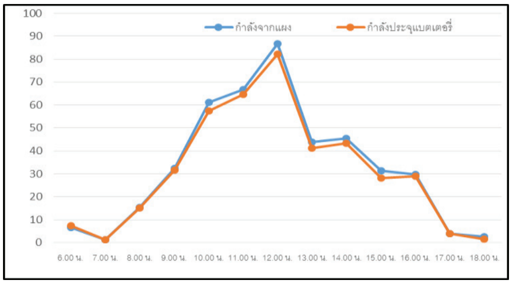
ทำการทดสอบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์และประสิทธิภาพการชาร์จของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ ในสภาวะการใช้งานปกติของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผงโซล่าเซลล์เป็นเวลา 4 วัน ติดต่อกัน ซึ่งจะได้ผลตามภาพที่ 5



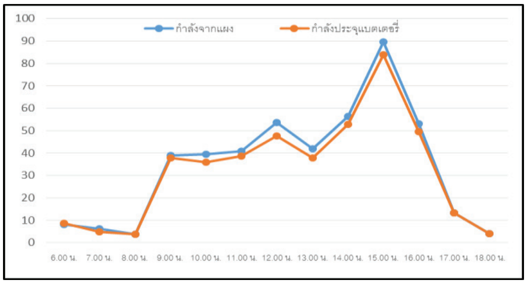
ก. วันที่ 1



ข. วันที่ 2



ค. วันที่ 3



ง. วันที่ 4

ภาพที่ 5. การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน

จากภาพที่ 5 เป็นการทดสอบสภาวะการใช้งานปกติของระบบ ซึ่งระบบสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องแต่เมื่อพิจารณากราฟกำลังไฟฟ้าในแต่ละวันจะมีลักษณะที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน โดยวันที่ 1 ได้กำลังสูงสุด 87 W และกำลังสูงสุดที่ประจุแบตเตอรี่มีค่า 75 W สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานของกำลังสูงสุดของระบบได้เท่ากับ 86.2 % เป็นต้น ส่วนกำลังสูงสุดในแต่ละวันโดยเฉลี่ยทั้ง 4 วันจะอยู่ที่ 91 W และจะได้พลังงานที่ผลิตได้จากแผงโดยเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 404.7 Wh และพลังงานที่ประจุให้กับแบตเตอรี่โดยเฉลี่ยต่อวันอยู่ที่ 375 Wh ดังนั้นประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานเฉลี่ยทั้ง 4 วันอยู่ที่ 92.6 % จะได้พลังงานสะสมเพียงพอในการจ่ายโหลดในแต่ละวันที่อยู่ที่ 360 Wh

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยการออกแบบระบบพลังงานจากแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าตามหลักการในการออกแบบและนำผลการออกแบบที่ได้มาทำการทดสอบการใช้งานในสองลักษณะคือการทดสอบประสิทธิผลการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ออกแบบให้สามารถใช้งานได้เป็นเวลา 3 วันหรือ 12 ชั่วโมง ซึ่งจากการทดสอบแบตเตอรี่สามารถทำงานได้เป็นเวลา 14 ชั่วโมงที่กำลังไฟฟ้าจ่ายให้โหลดเท่ากับ 110 W ส่วนในลักษณะการทดสอบการใช้งานในสภาวะปกติที่นำเอามาเสนอในบทความนี้เป็นเวลาการทดสอบจำนวน 4 วัน ซึ่งระบบสามารถรองรับโหลดหลอดไฟที่ใช้งานต่อวันที่เวลา 19.00 น- 23.00น. อยู่ที่ 360 Wh ได้เป็นอย่างดีและต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

[1] อานวย เรืองวารี , ศิริชัย ต่อสกุล, วิรชัย โรยนรินทร์, กุลกนิษฐ์ ทองเงา (2558). “ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่สาหรับประยุกต์ใช้งานเกษตรกรรม”ในการประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8, ประจำปี 2558 วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 กรุงเทพมหานคร ,: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[2] นครินทร์ รินผล.(2559). **คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เบื้องต้น.** กรุงเทพฯ

การออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโซลาร์ฟาร์ม

The Structural Design supports Photovotaic cells with Tracking system for Solar Farm

กฤชนนท์ สวนจันทร์* สุเพชร จิรขจรกุล และธนิท เรืองรุ่งชัยกุล

สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

การศึกษานี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโซลาร์ฟาร์ม ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบติดตามดวงอาทิตย์จากงานวิจัย เพื่อเลือกมาใช้ในการออกแบบโครงสร้าง จากการศึกษาพบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าดีที่สุด มากกว่าการติดตั้งแบบอยู่กับที่ (Fixed system) 30-40% ผู้ศึกษาจึงเลือกใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบดังกล่าวมาออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และชุดขับเคลื่อนให้เหมาะสมกับประเทศไทย ซึ่งได้ออกแบบโครงสร้างฯ เป็น 2 รูปแบบ คือ 1) V-pole solar Tracking เป็นโครงสร้างแบบเสาเดี่ยว สามารถรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 20 แผ่น และ 2) Louver Solar Tracking เป็นโครงสร้างที่ติดตั้งบนพื้นมีลักษณะการเคลื่อนที่คล้ายบานเกล็ดหน้าต่าง สามารถรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 10 แผง ซึ่งโครงสร้างที่เหมาะสมกับประเทศไทยคือ รูปแบบที่ 2 Louver Solar Tracking เพราะเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง ไม่มีกลไกซับซ้อน อุปกรณ์หาได้ทั่วไป โครงสร้างต้านกระแสลมน้อย ง่ายในการดูแลรักษาระบบและทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสามารถใช้งานได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ออกแบบโครงสร้าง ติดตามดวงอาทิตย์ โซลาร์ฟาร์ม

*Corresponding author: Tel.: 084-9693112. E-mail address: new.suanjan@gmail.com

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานหมุนเวียนประเภทหนึ่ง ที่ได้รับความสนใจในการพัฒนา เพราะเป็นพลังงานสะอาด ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ มีค่าเท่ากับ 17.8 MJ/m^2-day [1] การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ประโยชน์สามารถจำแนกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน การวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์มีมาอย่างต่อเนื่อง รวมถึงระบบติดตามดวงอาทิตย์เพื่อที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากที่สุด [2]

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้งานส่วนใหญ่ยังคงเป็นการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ (Fixed system) ซึ่งเป็นการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่กำหนดองศาของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามองศาเส้นละติจูดของพื้นที่นั้นๆ และหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าหาเส้นศูนย์สูตรเพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยังได้รับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีเพียงบางช่วงเวลา (ประมาณ 5-6 ชั่วโมงต่อวัน) เพราะดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่ตลอดทั้งวันจากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตก ทำให้การติดตั้งแบบนี้ได้พลังงานสูงสุดในเวลาเที่ยงวันเท่านั้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีศักยภาพไม่เต็มที่ ด้วยเหตุนี้นักวิจัยจึงมีการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ (Tracking system) โดยใช้เทคนิค วิธีการที่แตกต่างกัน ซึ่งคาดว่าจะสามารถรับแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 1.3-1.5 เท่า [3]

ในส่วนของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (กำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 2.5 กิโลวัตต์) หรือเรียกว่า “Solar Farm” ส่วนใหญ่ยังติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ ส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ประกอบกับชุดควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ในปัจจุบันใช้ควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1-2 แผง เมื่อนำมาติดตั้งกับระบบขนาดใหญ่ทำให้มีงบประมาณในการก่อสร้างสูงขึ้น [4] ด้วยสาเหตุที่กล่าวมานั้น ทำให้ผู้วิจัยต้องการศึกษาลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควบคู่กับระบบติดตามดวงอาทิตย์ และออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ ที่มีความเหมาะสมกับประเทศไทย สามารถติดตั้งได้ง่าย กลไกการทำงานไม่ซับซ้อน มีต้นทุนไม่สูงมาก และสะดวกในการดูแลและบำรุงรักษาระบบ เพื่อการใช้งานได้อย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโซลาร์ฟาร์ม

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน และโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร

วิธีการวิจัย

การศึกษาออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโซลาร์ฟาร์ม นี้ แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

1) การเก็บรวบรวมข้อมูลและการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

โดยศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Tracking system) แบบแกนเดียว สองแกน และการติดตั้งแบบมุมคงที่ (Fixed system) และศึกษาลักษณะการติดตั้งและโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ทั้งในและต่างประเทศ

2) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่นำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้าง

นำข้อมูลที่ศึกษาเบื้องต้น และงานวิจัย มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียวและสองแกน เพื่อเลือกใช้งานระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด และนำมาออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และชุดขับเคลื่อนระบบติดตามดวงอาทิตย์

3) การออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ เพื่อใช้งานกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar farm)

ออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ที่มีความเหมาะสมกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อโครงและการใช้งาน ดังต่อไปนี้

3.1) การรับน้ำหนักและชุดขับเคลื่อนของโครงสร้าง เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดเพราะโครงสร้างต้องมีความมั่นคง แข็งแรง ชุดขับเคลื่อนทำงานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และสะดวกในการติดตั้งใช้งาน

3.2) กระแสลม เป็นปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อโครงสร้างเช่นกัน แปรผันตรงกับความสูง กล่าวคือ ถ้าโครงสร้างมีความสูงมาก กระแสลมก็จะมีผลต่อโครงสร้างมากเช่นกัน จึงต้องออกแบบให้โครงสร้างต้านกระแสลมน้อยที่สุด

3.3) ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ในการออกแบบครั้งนี้ จะเน้นโครงสร้างที่ไม่มีความซับซ้อน ลดต้นทุนในการก่อสร้าง ให้เป็นเทคโนโลยีที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย และสามารถใช้งานได้อย่างยั่งยืน

3.4) การดูแลรักษา เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบโครงสร้าง เพราะเมื่อมีการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเวลานาน จะเกิดความสกปรกเนื่องจากฝุ่นละออง เศษวัสดุจากธรรมชาติ (กิ่งไม้ ใบไม้) บริเวณพื้นที่รับแสงอาทิตย์ ส่งผลให้กำลังการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง [5]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษานี้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การเลือกใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด 2) การศึกษาลักษณะโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ และ 3) การออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโซลาร์ฟาร์ม

1) การศึกษาประสิทธิภาพระบบติดตามดวงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบ

ในการออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์นั้น ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียว สองแกน เปรียบเทียบกับระบบที่ติดตั้งแบบอยู่กับที่ เพื่อออกแบบโครงสร้างในรองรับชุดติดตามดวงอาทิตย์อย่างเหมาะสม โดยศึกษาจากงานวิจัย พบว่า ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียวสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบติดตั้งแบบอยู่กับที่ประมาณ 10-18% [6-8] ส่วนระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบติดตั้งแบบอยู่กับที่ 30-40% [9-13] ดังนั้น ผู้ศึกษาจึงเลือกออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน เพื่อให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงที่สุด

2) การศึกษาลักษณะโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์

ลักษณะการติดตั้งโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การติดตั้งแบบเสาเดี่ยว (Pole mounting) และการติดตั้งบนพื้นดิน (Ground mounting)

2.1) การติดตั้งแบบเสาเดี่ยว (Pole mounting) เป็นการติดตั้งที่มีโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ด้านบน มีเสาเพียงเสาเดียวเพื่อรับน้ำหนักแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพที่ 1 [14]

(ก) แกนเดียว

(ข) สองแกน

ภาพที่ 1 การติดตั้งแบบเสาเดี่ยว

2.2) การติดตั้งบนพื้นดิน (Ground mounting) เป็นการติดตั้งโดยมีโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน มีโครงสร้างไม่สูง ใช้กับพื้นที่บริเวณกว้าง ดังภาพที่ 2 [15-16]

(ก) แกนเดียว

(ข) สองแกน

(ค) สองแกน

(ง) สองแกน

ภาพที่ 2 การติดตั้งบนพื้นดิน

นอกจากนี้ได้ศึกษาระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งในประเทศไทย 3 พื้นที่ คือ ระบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียวแบบถ่วงน้ำหนัก (Water weight tracking system) ที่โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ใช้หลักการถ่วงน้ำหนักโดยใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่วงน้ำหนัก ในตอนเช้าท่อน้ำถ่วงน้ำหนักที่ติดตั้งไว้ทางทิศตะวันออกจะมีน้ำอยู่ ทำให้โครงสร้างรองรับแผงและแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หันไปทางทิศตะวันออก (เป็นการเพิ่มน้ำหนักด้วยน้ำ) ดังภาพที่ 3

ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน ที่ศูนย์การเรียนรู้โลกสีเขียว (AGLC) บ้านโนนกระโดด ตำบลพญาเย็น อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา เป็นโครงสร้างแบบเสาเดี่ยว ใช้โปรแกรมควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนเพื่อสั่งการมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์หมุนจะดึงสายเคเบิลให้โครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปรับหาดวงอาทิตย์ ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 3 ระบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียวแบบถ่วงน้ำหนัก

ภาพที่ 4 ระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกนที่ AGLC

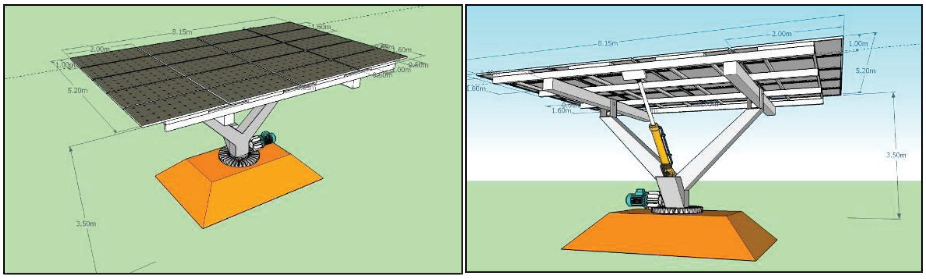
และระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน ที่สวนป่ามหาชีวาลัยอีสาน บ้านปากช่อง ตำบลสนามชัย อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นโครงสร้างแบบเสาเดี่ยวเช่นกัน แต่เสาเป็นโครงถักทรงสามเหลี่ยม โครงสร้างด้านบนวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีระยะห่างระหว่างแผงเพื่อลดแรงต้านของลม ยอดเสาติดตั้งแกนหมุนรอบเสา โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อน อีกแกนหนึ่งปรับแผงให้หมุนซ้ายขวาโดยใช้มอเตอร์ขับจากพื้นดิน ดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนที่ สวนป่ามหาชีวาลัยอีสาน

3) การออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโซลาร์ฟาร์ม

ในการออกแบบโครงสร้าง ได้เลือกชุดขับเคลื่อนระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกนผู้ศึกษาได้เลือกชุดขับเคลื่อนของธนิท เรืองรุ่งชัยกุล และวัชระวิชญ์ เจียรวรรณ์ [2] มาเป็นต้นแบบ เพราะมีโครงสร้างและวงจรควบคุมที่ไม่ซับซ้อน ติดตั้งได้ง่าย อุปกรณ์หาได้ง่ายในท้องตลาดทั่วไป และมีต้นทุนไม่สูงมาก และทำการออกแบบโครงสร้าง 2 ลักษณะ ดังนี้

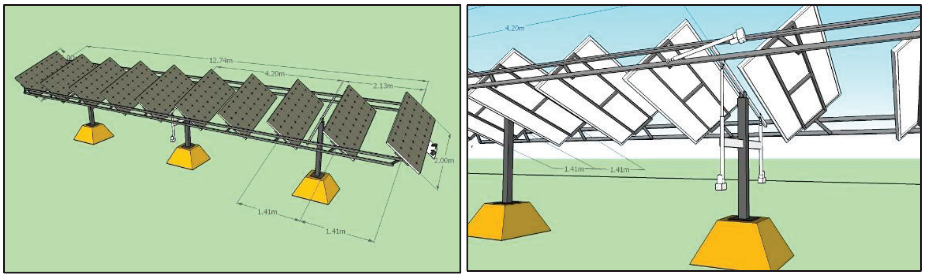
3.1) V-pole solar tracking เป็นโครงสร้างแบบเสาเดี่ยวรูปตัววี รองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 20 แผ่น มีช่องว่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้กระแสลมผ่านได้ มีความสูงจากพื้น 3.5 เมตร (ภาพที่ 6-ก) ให้สามารถทำความสะอาดได้ง่ายที่สุด ด้านบนเสารูปตัววี เป็นจุดหมุนสำหรับแกนทิศเหนือ-ทิศใต้ ใช้ลูกสูบไฮดรอลิกเป็นตัวขับเคลื่อน ส่วนอีกแกนหนึ่งจะอยู่บริเวณด้านล่างของเสา มีลักษณะเป็นฟันเฟืองให้ชุดโครงสร้างหมุนตามทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อนแกน ดังภาพที่ 6-ข



(ก) (ข)

ภาพที่ 6 V-pole Solar Tracking

3.2) Louver solar tracking เป็นโครงสร้างที่ติดตั้งบนพื้นดิน ที่ประยุกต์มาจากระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกนที่ไร่สบายจิต จังหวัดลพบุรี (ภาพที่ 2-ง) และระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกนของ Sedona Energy Labs ประเทศสหรัฐอเมริกา [16] ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วย 3 เสา แต่ละเสาห่างกัน 4.2 เมตร รองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 10 แผ่น แต่ละแผ่นห่างกัน 0.4 เมตร เพื่อลดแรงต้านจากกระแสลม และไม่ให้แต่ละแผงบดบังแสงอาทิตย์ต่อกัน มีความกว้าง 2 เมตร ยาว 12.8 เมตร สูง 1.5 เมตร เพื่อให้สะดวกต่อการดูแลรักษา (ภาพที่ 7-ก) มีจุดหมุนอยู่บนหัวเสาเพื่อขับเคลื่อนแกนทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขาจานดาวเทียม (Actuator) 2 ตัว อีกแกนหนึ่งจะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับบานเกล็ดหน้าต่าง โดยมีมอเตอร์ขาจานดาวเทียมอีกตัวหนึ่งขับเคลื่อนเพื่อให้แผงเคลื่อนที่ในทิศเหนือ-ทิศใต้ ดังภาพที่ 7-ข



(ก) (ข)

ภาพที่ 7 Louver Solar Tracking

จากการออกแบบโครงสร้างข้างต้นผู้ศึกษาได้เลือกโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Louver Solar Tracking เพราะเป็นโครงสร้างที่มีการถ่ายแรงอย่างสม่ำเสมอ สามารถติดตั้งได้ง่าย มีความสูงไม่มากเกินไป ซึ่งส่งผลดีต่อการดูแลรักษาระบบและทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อีกทั้งทำให้กระแสลมส่งผลต่อโครงสร้างน้อย ซึ่งเหมาะกับประเทศไทยที่มีกระแสลมตลอดทั้งปี และมีปริมาณฝุ่นค่อนข้างมาก โดยการเลือกนี้ยังไม่ได้คำนึงถึงค่าใช้จ่ายของโครงสร้างและการวิเคราะห์วัสดุที่ใช้ในโครงสร้าง

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ ได้ออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกนสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar farm) โดยศึกษาจากงานวิจัย และโครงสร้างที่มีการติดตั้งแล้วทั้งในและต่างประเทศ เพื่อมาประยุกต์ใช้ให้เป็นโครงสร้างที่เหมาะสมกับประเทศไทย และนำชุดควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนราคาถูก กลไกการทำงานไม่ซับซ้อน [2] มาใช้ ซึ่งได้ออกแบบ 2 ลักษณะ คือ 1) V-pole Solar Tracking เป็นโครงสร้างแบบเสาเดี่ยว และ 2) Louver Solar Tracking เป็นโครงสร้างแบบติดตั้งกับพื้น มีลักษณะเหมือนบานเกล็ด ซึ่งโครงสร้างที่มีความเหมาะสมที่สุดคือ Louver Solar Tracking โดยมีจุดเด่นคือ เป็นโครงสร้างที่ลดการต้านของกระแสลม โครงสร้างและชุดขับเคลื่อนแกนหมุนไม่มีความซับซ้อน สามารถดูแลรักษาและทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ง่าย

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงพลังงาน. (2559). **ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์** สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2559, จาก http://www.energy.go.th.

[2] ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล และวัชระวิชญ์ เจียรวรรณ์. (2558). “ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนราคาถูกสำหรับบ้านพลังงานแสงอาทิตย์” , ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8**. วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[3] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2559). **เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์** สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2559, จาก http://www3.egat.co.th/ re/solarcell/solarcell.htm.

[4] ราชรัฐ ยี่ตัน. (2556). **การออกแบบและพัฒนาระบบโซลาร์เซลล์เคลื่อนที่ได้สองแกนตามดวงอาทิตย์สำหรับควบคุมแผงโซลาร์เซลล์มากกว่าหนึ่งแผง** สืบค้นเมื่อ 24 มกราคม 2560, จาก http://tdc.thailis.or.th/.

[5] นิพนธ์ เกตจ้อย, มรุพงศ์ กอนอยู่. (2556). การศึกษาผลกระทบของฝุ่นบนแผงเซลลแสงอาทิตยตอการผลิตไฟฟา. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.** 32 (5), 555-562.

[6] ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล, กิตติ อภิชัยไพบูลย์ และกิตติคุณ ชาติรักษา. (2559). “ศึกษาเปรียบเทียบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียว” , ใน **การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9**. วันที่ 29 พฤศจิกายน 2559 – 1 ธันวาคม 2559 ณ สถาบันวิจัยและพัฒนา อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

[7] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2552). **ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบถ่วงน้ำหนัก** สืบค้นเมื่อ 20 เมษายน 2560, จาก http://www3. egat.co.th/re/egat_pv/egatpv_silinthon/tracking_silinthon.htm.

[8] N. H. Helwa, A. B. G. Bahgat, A. M. R. El Shafee, E. T. El Shenawy (2000). **Maximum Collectable Solar Energy by Different Solar Tracking Systems** accessed May 20, 2017, from http://dx.doi.org/10.1080/00908310050014180.

[9] สิทธิชัย จีนะวงศ์, น่านนที กัลยา และเสาวลักษณ์ ชัยยืน. (2556). ระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบสองแกนด้วยการปรับสมดุลระดับน้ำ. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม.** 9 (3), 151-165.

[10] Roshan R. Rao, H. R. Swetha, J. Srinivasan, Sheela K. Ramasesha (2015). Comparison of performance of solar photovoltaics on dual axis tracker with fixed axis at 13^{o}N latitude. Current Science. 108 (11), 2087-2094.

[11] Rustu E., Ali S. (2012). Performance comparison of a double-axis sun tracking versus fixed PV system. Science Direct. 86 (1), 2665-2672.

[12] A. Aashir Waleed, B. DR. K M Hassank (2013). **Designing a Dual Axis Solar Tracker for Optimum Power** accessed May 18, 2017, from www.jee.ro.

[13] Shahriar B., Reza K., Shahrokh F., Amir G., Khashayar B. (2014). **A Study on the Effects of Solar Tracking Systems on the Performance of Photovoltaic Power Plants** accessed May 20, 2017, from http://dx.doi.org/10.4236/jpee.2014.24096.

[14] Courtenay Johnson. (2014). **Tracking Mounting Systems** accessed June 21, 2017, from http://www.ottawavalleypv.ca/tracking_mount.html.

[15] Stephen Smith. (2011). **PV Trackers** accessed June 21, 2017, from http://solarprofessional.com/articles/products-equipment/racking/pv-trackers#.WdsRbzBx3Dc.

[16] Sedona Energy Labs. (2009). **Solar Tracking Systems** accessed June 21, 2017, from http://www.glendongood.com/solar-tracking-systems/.

ประวัติผู้เขียนบทความ

นายกฤชนนท์ สวนจันทร์
วท.บ. เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ปัจจุบัน: นักศึกษา/ผู้ช่วยวิจัย สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน

อิทธิพลการไหลของความร้อนและเกรเดียนท์อุณหภูมิต่อหลังคายางพารา ผสมวัตถุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

Effect of Heat Flow and Gradient Temperature on Roof Natural Rubber Mix Waste Oil Palm Industry

ชัยนุสนธ์ เกษตรพงศ์ศาล[1*] สายฝน แก้วสม[2] นุชจรี สุกใส[2] รัชนี เมืองสุวรรณ์[2] วัชรินทร์ รัศมี[2]
ภาสกร ทองถึง[3] และ ชญานิน คงคต[3]
[1] หน่วยวิจัยพลังงานทดแทนและสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน (REERCU) มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี 84100
[2] แผนกวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี 84100
[3] นักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี สุราษฎร์ธานี 84100

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการศึกษาอิทธิพลการไหลของความร้อนและเกรเดียนท์อุณหภูมิต่อหลังคายางพาราผสมวัตถุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม ทดสอบการใช้งานจริงโดยการสร้างอาคารทดสอบจำนวน 2 อาคาร โดยกำหนดให้มีสถาปัตยกรรมที่เหมือนกันวางอยู่ในที่ตั้งเดียวกัน แต่มีความแตกต่างกันเฉพาะในส่วนของหลังคา ผลการทดลอง พบว่าหลังคายางพาราผสมวัตถุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมีค่าการนำความร้อน 0.29 วัตต์ต่อเมตรเคลวิล อุณหภูมิบริเวณผิวด้านรับความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันน้อยกว่าหลังคาแบบกระเบื้องประมาณ 1.05 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิวด้านล่างหลังสามารถลดเกรเดียนท์อุณหภูมิในช่วงได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ได้มากกว่าหลังคาแบบกระเบื้องเฉลี่ยเท่ากับ 5.40 องศาเซลเซียส ค่าการเทความร้อนบริเวณพื้นผิวด้านล่างลดลงได้มากกว่าร้อยละ 82.71 ค่าการถ่ายเทความร้อนใต้ฝ้าเพดานซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับการเทความร้อนบริเวณพื้นผิวด้านล่างของหลังคา อุณหภูมิภายในห้องทดสอบของหลังแบบยางพาราสามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 2.00-2.50 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนภายในห้องทดสอบส่วนหนึ่งถูกถ่ายเทมาจากผนังด้านข้าง จากข้อมูลต่างๆ ดังกล่าวแสดงให้เห็นชัดเจนว่าหลังคาแบบยางพาราสามารถลดอิทธิพลการไหลของความร้อนและส่งผลต่อเกรเดียนท์อุณหภูมิในอาคารทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: หลังคายางพารา ยางพารา วัตถุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

*Corresponding author: Tel.: 087-8842735. E-mail address: chainuson.kas@sru.ac.th

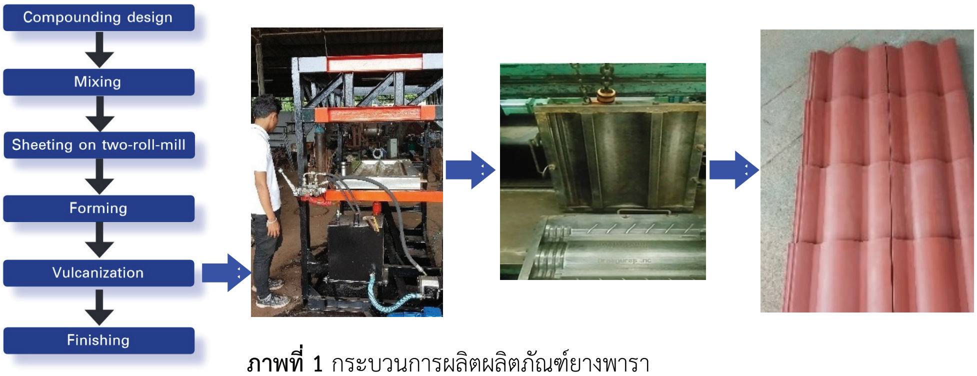
บทนำ

ในปัจจุบันวัสดุที่ผลิตหลังคาส่วนใหญ่ผลิตด้วยกระเบื้องคอนกรีต ซึ่งมีคุณสมบัติในการเก็บความร้อนทำให้อุณหภูมิภายในที่พักอาศัยและอาคารสำนักงานต่างๆ มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงมากกว่าปกติ โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อน [1] โดยอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่วนใหญ่มาจากส่วนของหลังคา เพราะเป็นส่วนที่รับรังสีอาทิตย์มากที่สุด ดังนั้นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทพัดลมและเครื่องปรับอากาศ พร้อมทั้งผู้อาศัยได้รับความสะดวกสบายในสภาพอากาศร้อนสามารถทำได้ด้วยการใช้วัสดุมุงหลังคาที่สะท้อนรังสีความร้อน [2-3] สำหรับการแก้ไขปัญหาการสะสมความร้อนและการถ่ายเทความร้อนผ่านโครงสร้างหลังคาสามารถทำได้โดยการนำยางพารามาผลิตเป็นหลังคา เนื่องจากยางพาราเป็นยางธรรมชาติ เป็นวัสดุที่สามารถปรับปรุงสมบัติของการใช้งานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวางโดยการเติมสารเคมีต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ (additive for rubber) โดยกระบวนการแปรรูปยาง (rubber processing) ซึ่งเป็นวิธีการนำยางดิบมาผสมกับสารตัวเติมต่างๆ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพที่มีความยืดหยุ่นสูง [4-5] มีความต้านทานต่อการฉีกขาดได้ดีเป็นตัวประสาน ทนทานต่อการซึมผ่านของน้ำและไอน้ำได้ดี มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน [6] ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเหมาะสำหรับผลิตเป็นวัสดุประหยัดพลังงานได้

แนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตและเป็นวัสดุเสริมแรงให้กับหลังคายางพารา คือการใช้ยางพาราผสมกับเถ้ากะลาปาล์ม (palm oil fuel ash) [7-8] ซึ่งเป็นผลผลิตที่เหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม ได้แก่ เศษกะลา เส้นใย และทลายปาล์มเปล่าของผลปาล์ม [9] จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรและสหกรณ์ พบว่าในปี พ.ศ.2544 ประเทศไทยมีปริมาณเถ้ากะลาปาล์มประมาณ 107,000 ตันต่อปี ส่วนใหญ่ต้องนำไปทิ้ง ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการกำจัดทิ้งตามมา เช่น ปัญหาทางด้านสภาวะแวดล้อม เป็นต้น [10] ดังนั้นเมื่อนำเถ้ากะลาปาล์มเป็นตัวเสริมแรงในการขึ้นรูปหลังคายางพาราจะมีข้อดีเพิ่มมากขึ้นคือสามารถลดต้นทุนการผลิตและสามารถแก้ไขปัญหาทางด้านสภาวะแวดล้อมที่ได้อีกทางหนึ่ง อีกทั้งยางพาราและปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุดในภาคใต้และมีศักยภาพการผลิตสูงมากเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ จึงมีความเหมาะสมในการพัฒนาเพื่อสร้างนวัตกรรมวัสดุประหยัดพลังงานทางเลือกแห่งอนาคตจากยางพาราที่ผสมวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเป็นหลังคายางพาราได้

วิธีการวิจัย

ดังภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนเริ่มต้นด้วยการออกสูตรยาง (compounding formulation) ให้เหมาะสมสำหรับการผลิตหลังคายางพาราผสมวัตถุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม พบว่าสัดส่วนยางแผ่นรมควันชั้น 3 ต่อปริมาณเถ้ากะลาปาล์ม คือ 1:1.5 จากนั้นนำไปทดสอบค่าการนำความร้อนด้วยวิธี WI-RES-TCA-001 โดยเครื่อง Thermal Constant Analyzer เทคนิคการทดสอบ transient plane source method [11] และนำการขึ้นไปรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลังคายาง

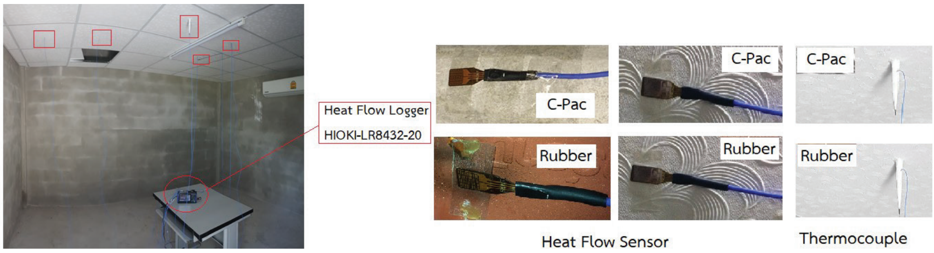


ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางพารา

ขั้นตอนต่อมาคือการนำหลังคายางพาราผสมวัตถุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมาทดสอบการใช้งานจริง โดยการสร้างอาคารทดสอบจำนวน 2 อาคาร แสดงดังภาพที่ 2 โดยกำหนดให้มีสถาปัตยกรรมที่เหมือนกันวางอยู่ในที่ตั้งเดียวกัน แต่มีความแตกต่างกันเฉพาะในส่วนของหลังคา รูปแบบอาคารเป็นแบบระบบปิด ผนังและพื้นห้องทำด้วยคอนกรีต มุงหลังคาแบบหลังคาเพิงแหงน (lean-to) มีขนาดพื้นที่ของหลังคาทั้งหมดเท่ากับ 20 ตารางเมตร ขนาดพื้นที่ห้องผนังถึงผนังเท่ากับ 14 ตารางเมตร และประตู 1 บาน

ภาพที่ 2 อาคารทดสอบการนำมาใช้งานจริง

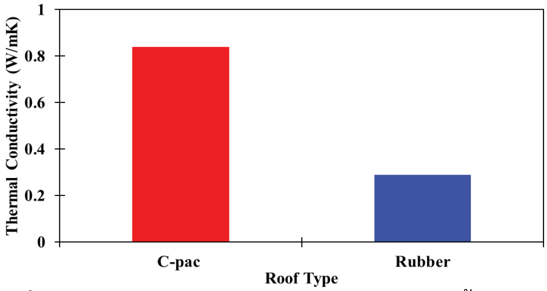
การนำหลังคายางพาราผสมวัตถุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม เพื่อนำมาทดสอบภาคสนาม โดยการติดตั้ง Heat Flow Logger HIOKI-LR8432-20 สำหรับการวัดข้อมูลการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิภายในและภายนอกบริเวณหลังคาอาคารทั้ง 2 ประเภท แสดงดังภาพที่ 3 โดยการจัดเก็บข้อมูลแสดงสถานะตามจริง ณ ขณะเวลาใดๆ (real-time data) ของค่าเฉลี่ยรายวันของค่ารายเดือนเป็นเวลาจำนวน 3 เดือน โดยการติดตั้งหัววัดการถ่ายเทความร้อนจำนวน 3 ตัว ได้แก่บริเวณใต้หลังคา จำนวน 2 ตำแหน่ง ใต้ฝ้าเพดานจำนวน 1 ตำแหน่ง และติดตั้งหัววัดอุณหภูมิจำนวน 3 ตัว ได้แก่บริเวณผิวด้านบนของหลังคาจำนวน 1 ตำแหน่ง ใต้หลังคา จำนวน 1 ตำแหน่ง และใต้ฝ้าเพดานจำนวน 1 ตำแหน่ง



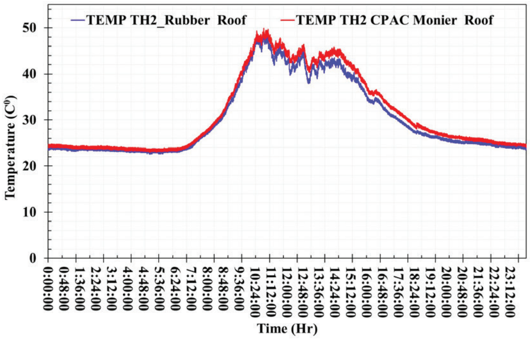
ภาพที่ 3 การติดตั้ง Heat Flow และ Thermocouple สำหรับการวัดข้อมูลการถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

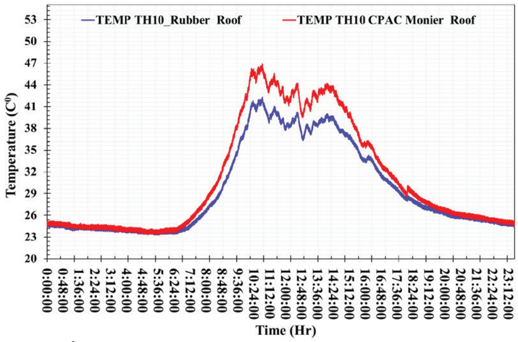
ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของหลังคายางพาราผสมวัตถุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มด้วยวิธี WI-RES-TCA-001 ด้วยเครื่อง Thermal Constant Analyzer พบว่าค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.29 วัตต์ต่อเมตรเคลวิล ส่วนค่าการนำความร้อนของหลังคา C-pac เท่ากับ 0.84 วัตต์ต่อเมตรเคลวิล [12] แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของหลังคาทั้ง 2 ประเภท

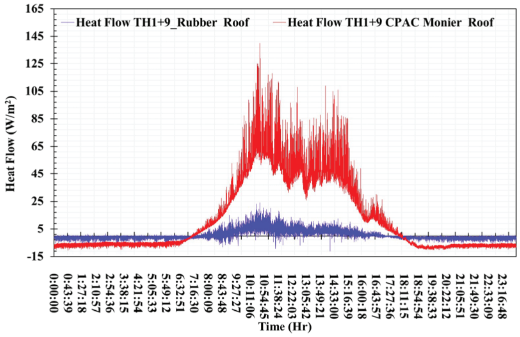


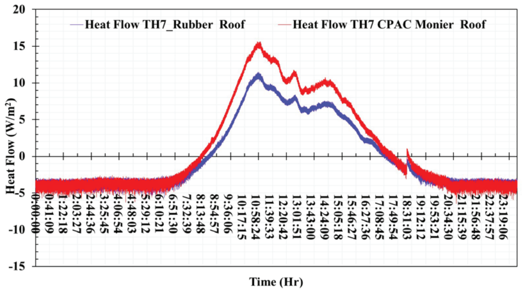
ภาพที่ 5 ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิบนหลังคา



ภาพที่ 6 ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคา

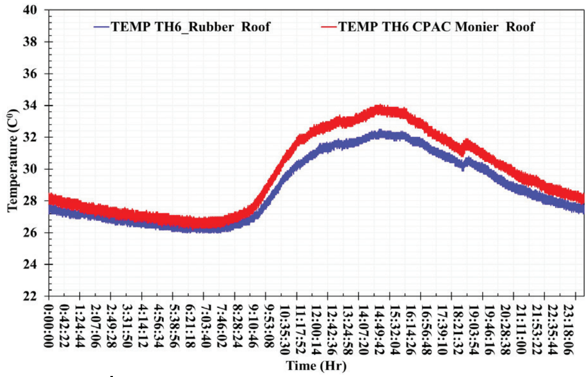
ภาพที่ 5 คือผลการทดสอบอุณหภูมิบริเวณผิวด้านรับความร้อนของหลังคาอาคารทั้ง 2 ประเภท พบว่าหลังคาแบบยางพารามีอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันน้อยกว่าหลังคาแบบกระเบื้องประมาณ 1.05 องศาเซลเซียส และภาพที่ 6 คือผลการทดสอบค่าอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคา พบว่าหลังคาแบบยางพาราสามารถลดเกรเดียนท์อุณหภูมิในช่วงได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ได้มากกว่าหลังคาแบบกระเบื้องเฉลี่ยเท่ากับ 5.40 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าหลังคาแบบยางพาราสามารถลดอุณหภูมิที่ส่งถ่ายพลังงานความร้อนผ่านโครงสร้างหลังคาได้อย่างมีประสิทธิภาพ





ภาพที่ 7 ผลการทดสอบการเทความร้อนด้านล่างหลังคา **ภาพที่** 8 ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนใต้ฝ้าเพดาน

ภาพที่ 7 คือผลการทดสอบค่าการเทความร้อนบริเวณพื้นผิวด้านล่างของหลังคาอาคารทั้ง 2 ประเภท พบว่าค่าการเทความร้อนของหลังคาแบบยางพาราในช่วงเวลาที่หลังคาได้รับความร้อนสามารถลดค่าการเทความร้อนลดลงได้มากกว่าร้อยละ 82.71 และภาพที่ 8 ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนใต้ฝ้าเพดานซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับการเทความร้อนบริเวณพื้นผิวด้านล่างของหลังคา จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นชัดเจนว่าหลังคาแบบยางพาราสามารถลดอิทธิพลการไหลของความร้อนและส่งผลต่อเกรเดียนท์อุณหภูมิในอาคารทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 9 ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ

ภาพที่ 9 คือผลการทดสอบค่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบของหลังคาอาคารทั้ง 2 ประเภท พบว่าค่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบของหลังแบบยางพาราในช่วงเวลาที่หลังคาได้รับความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 2.00-2.50 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนภายในห้องทดสอบส่วนหนึ่งถูกถ่ายเทมาจากผนังด้านข้าง จากข้อมูลต่างๆ ดังกล่าวแสดงให้เห็นชัดเจนว่าหลังคาแบบยางพาราสามารถลดอิทธิพลการไหลของความร้อนและส่งผลต่อเกรเดียนท์อุณหภูมิในอาคารทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปผลการวิจัย

ผลการทดสอบอิทธิพลการไหลของความร้อนและเกรเดียนท์อุณหภูมิต่อหลังคายางพาราผสมวัตถุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม ซึ่งได้เริ่มต้นด้วยการออกสูตรยางให้เหมาะสมสำหรับการผลิตหลังคายางพาราที่ผสมเถ้ากะลาปาล์ม พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมของยางแผ่นรมควันชั้น 3 ต่อปริมาณเถ้ากะลาปาล์ม คือ 1:1.5 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของหลังคายางพาราผสมวัตถุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเท่ากับ 0.29 วัตต์ต่อเมตรเคลวิล

ผลการทดสอบอุณหภูมิบริเวณผิวด้านรับความร้อนของหลังคาอาคารทั้ง 2 ประเภท พบว่าหลังคาแบบยางพารามีอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันน้อยกว่าหลังคาแบบกระเบื้องประมาณ 1.05 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบค่าอุณหภูมิผิวด้านล่างหลังคา พบว่าหลังคาแบบยางพาราสามารถลดเกรเดียนท์อุณหภูมิในช่วงได้รับความร้อนจากรังสีอาทิตย์ได้มากกว่าหลังคาแบบกระเบื้องเฉลี่ยเท่ากับ 5.40 องศาเซลเซียส สามารถลดค่าการเทความร้อนลดลงได้มากกว่าร้อยละ 82.71 ผลการทดสอบการถ่ายเทความร้อนใต้ฝ้าเพดานซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับการเทความร้อนบริเวณพื้นผิวด้านล่างของหลังคา ค่าอุณหภูมิภายในห้องทดสอบของหลังแบบยางพาราในช่วงเวลาที่หลังคาได้รับความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 2.00-2.50 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนภายในห้องทดสอบส่วนหนึ่งถูกถ่ายเทมาจากผนังด้านข้าง จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นชัดเจนว่าหลังคาแบบยางพาราสามารถลดอิทธิพลการไหลของความร้อนและส่งผลต่อเกรเดียนท์อุณหภูมิในอาคารทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเงินงบประมาณจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงานในการดำเนินโครงการสนับสนุนการศึกษา วิจัย พัฒนาเทคโนโลยีอนุรักษ์พลังงาน ปีงบประมาณ 2559 พื้นที่ภาคใต้ รหัสโครงการ EE-PSU-59-04

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี และวิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี สำหรับอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ทำการทดลองต่างๆ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยระบบพลังงาน (PERIN) สำหรับเป็นแม่ข่ายติดต่อประสานงาน อำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยวิจัยพลังงานทดแทนและสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน (REERCU) นักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ นักศึกษาแผนกวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ สำหรับอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] Marks, D. (2011). Climate change and Thailand: Impact and response. Contemporary Southeast Asia. **A Journal of International and Strategic Affairs.** 33(2), 229-258.

[2] Berdahl, P., and Bretz, S. E. (1997). Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. **Energy and Buildings**. 25(2), 149-158.

[3] Ong, K. S. (2011). Temperature reduction in attic and ceiling via insulation of several passive roof designs. **Energy Conversion and Management**. 52(6), 2405-2411.

[4] พรพรรณ นิธิอุทัย. (2528). **สารเคมีสำหรับยาง.** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[5] บุญธรรม นิธิอุทัย, ชลดา เลวิส และ อาซีซัน แกสมาน. (2540). **ผลิตภัณฑ์ยาง 1** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[6] Padakan, R., and Radagan, S. (2016). Evaluation of benzenesulfonyl hydrazide concentration on mechanical properties, swelling and thermal conductivity of thermal insulation from natural rubber. **Agriculture and Natural Resources.** 50(3), 220-226.

[7] Ooi, Z. X., Ismail, H., and Bakar, A. A. (2015). Characterization of oil palm ash (OPA) and thermal properties of OPA-filled natural rubber compounds. **Journal of Elastomers & Plastics.** 47(1), 13-27.

[8] Malawet, C., Jarnthong, M., Intharapat, P., Liao, L., Zhang, F., Wang, Y., and Peng, Z. (2017). Utilization of oil palm ash as an reinforcing filler in natural rubber biocomposites. **In AIP Conference Proceedings.** 1846(1), 020015.

[9] Bamaga, S. O., Hussin, M. W. and Mohamed, A. Ismail. (2013). Palm Oil Fuel Ash: Promising Supplementary Cementing Materials. **KSCE Journal of Civil Engineering.** 7(7), 1708-1713.

[10] Office Of Agricultural Economics. (2002). **Agricultural Statistics of Thailand 2011/2002.** (43), 121.

[11] Benazzouk, A., Douzane, O., Mezreb, K., Laidoudi, B., & Quéneudec, M. (2008). Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles: Experimental study and modelling. **Construction and Building Materials**. 22(4), 573-579.

[12] บริษัท กระเบื้องหลังคาซีแพค จำกัด. (ม.ป.ป.). CPAC Monier ROOF TILE สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2560 จาก http://www.trachang.co.th/Download/Technical-Cpac-EN.pdf

ผลกระทบจากการจัดการเรียนการสอนโดยการใช้สื่อการเรียนการสอนด้านพลังงานทดแทน
Impact on Learning with Renewable Energy media

ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1,2*] ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ[1,2] มลวิภา เมืองพระฝาง[1,2] อรพรรณ ธนขว้าง[1] และ เฉลิมชัย สังโยคะ[1,2]
[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000
[2] โครงการจัดตั้งสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการประเมินผลที่ได้รับจากการจัดการเรียนการสอนโดยการใช้สื่อการเรียนการสอนด้านพลังงานทดแทน โดยการสร้างชุดจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน 2 แหล่งพลังงาน ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานชีวมวล เนื่องจากพลังงานทั้ง 2 แหล่งนี้เป็นแหล่งพลังงานที่อยู่ใกล้ตัวนักเรียน นักเรียนสามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายหลัก โดยใช้การสัมภาษณ์ผู้ทรงคุณวุฒิ คณะครู นักเรียน และประชาชนทั่วไปที่ได้ใช้ชุดจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เพื่อให้ทราบถึงผลที่เป็นประโยชน์ที่ได้รับและผลการศึกษาพบว่า ด้านมิติทางสังคม ผู้ทรงคุณวุฒิ ครู นักเรียน และประชาชนทั่วไปสามารถนำเข้าใจเกี่ยวกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน และโรงเรียนได้จัดทำเป็นแหล่งเรียนรู้ที่เน้นการให้ปฏิบัติจริง อย่างมีส่วนร่วมระหว่างโรงเรียนกับชุมชน ด้านมิติทางเศรษฐกิจ ช่วยลดรายจ่ายเกี่ยวกับการจัดซื้อจัดการสื่อการเรียนการสอน ด้านมิติทางวัฒนธรรม ครู นักเรียน และประชาชนทั่วไปยังคงวัฒนธรรมการใช้ชีวิตเช่นเดิม และมีการเรียนรู้ร่วมกันมากขึ้นเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านการสร้างสื่อการเรียนการสอน ด้านมิติทางสิ่งแวดล้อม ลดขยะ ลดมลพิษ ลดความขัดแย้งของคนในชุมชน การถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้มีผลตอบทางทางสังคมเท่ากับ 1.42

คำสำคัญ: ผลกระทบ / สื่อการเรียนการสอน / พลังงานทดแทน

*Corresponding author: Tel.: 081-7178093. E-mail address: nattawutkhao@gmail.com

บทนำ

จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี [1] ทำให้ในปัจจุบันนี้มีหลายหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนเล็งเห็นสำคัญการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนเพื่อผลิตไฟฟ้า ซึ่งสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) เป็นหน่วยงานที่เล็งเห็นการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนในชีวิตประจำวันเช่นกัน จึงได้กำหนดรายวิชาให้แก่ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น [2] เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับพลังงานทดแทนและการใช้ประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ แต่ยังไม่สามารถส่งเสริมได้อย่างจริงจัง เนื่องจากยังขาดระบบสาธิตและอุปกรณ์ทางด้านพลังงานทดแทนที่ทำให้ครู นักเรียน นักศึกษา และประชาชนทั่วไป ได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะต่างๆ จากประสบการณ์จริงอย่างเป็นรูปธรรม ทางคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหาต่างๆเหล่านี้ จึงเกิดแนวคิดที่จะสร้างชุดจำลองต้นแบบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนเพื่อใช้ในการพัฒนาการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ขนาดเล็ก สามารถติดตั้งง่าย ถอดประกอบได้ สามารถใช้งานได้จริงและเผยแพร่องค์ความรู้ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เพิ่มศักยภาพของสื่อการสอนให้ทันสมัย ส่งเสริมการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 และสามารถนำไปใช้ได้ทั้งครู นักเรียน นักศึกษา และประชาชนทั่วไป โดยศึกษาหาองค์ความรู้ชุดจำลองต้นแบบได้ด้วยตัวเอง ซึ่งในการจัดการเรียนการสอนโดยการใช้สื่อการเรียนการสอนด้านพลังงานทดแทน ขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง คือ การสะท้อนถึงผลจากการจัดการเรียนการสอน ทั้งในแง่ผลผลิต ผลลัพธ์และผลกระทบ เพื่อเป็นผลงานเชิงประจักษ์ทางกายภาพ ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเกิดภายหลังจากสิ้นสุดการจัดการเรียนการสอนไปแล้ว จึงมักปรากฏว่าไม่มีการดำเนินงานในส่วนของการค้นหาและพิสูจน์ผลลัพธ์ เพราะใช้เวลานานกว่าจะเห็นผล ส่วนราชการและรัฐวิสาหกิจจึงเน้นการจัดทำไปข้างหน้า มากกว่าจะมองย้อนหลังไปดูว่าผลงานที่ดำเนินงานไปแล้วเกิดผลลัพธ์ตามเป้าหมายและความคาดหวังหรือไม่ [3] การติดตามและประเมินผลกระทบในการบริการวิชาการสู่สังคมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของประโยชน์ จึงเป็นเรื่องสำคัญที่สะท้อนผลที่เกิดต่อเนื่องจากผลผลิต และยังตอบสนองต่อตัวบ่งชี้การประกันคุณภาพการศึกษา เพื่อให้ทราบถึงผลลัพธ์และผลกระทบจากการจัดการเรียนการสอนโดยการใช้สื่อการเรียนการสอนด้านพลังงานทดแทน จึงจำเป็นในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น เพื่อเสริมสร้างชีวิตความเป็นอยู่ของคนในชุมชนให้ดีขึ้น มีความสุข และมั่นคง รวมทั้งการเสริมสร้าง ฐานรากของสังคมให้โครงสร้างสังคมโดยรวมแข็งแรง มั่นคง และรองรับการพัฒนาประเทศให้มี ความมั่นคงและยั่งยืนได้ต่อไป

วิธีการวิจัย

การสร้างชุดจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ซึ่งคณะผู้วิจัยแบ่งออกเป็น 2 แหล่งพลังงานได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานชีวมวล เนื่องจากพลังงานทั้ง 2 แหล่งนี้เป็นแหล่งพลังงานที่อยู่ใกล้ตัวนักเรียน นักเรียนสามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายหลัก การประเมินผลกระทบในครั้งนี้ไม่ได้มุ่งเพียงกลุ่มเป้าหมายหลักเพียงอย่างเดียว ถือว่าผู้เข้าร่วมทั้งหมดมีผลต่อผลลัพธ์และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการจัดการเรียนการสอน ในการประเมินผลกระทบในครั้งนี้มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คณะวิจัยการสร้างชุดจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ซึ่งคณะผู้วิจัยแบ่งออกเป็น 2 แหล่งพลังงานได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานชีวมวล ซึ่งการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ชุดจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน โดยมีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 5 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านเทคโนโลยีพลังงานทดแทนและด้านการศึกษา จำนวน 3 คน
กลุ่มที่ 2 ครู จำนวน 5 คน
กลุ่มที่ 3 นักเรียนระดับประถมศึกษา จำนวน 120 คน
กลุ่มที่ 4 ประชาชนทั่วไปและผู้ปกครองนักเรียน จำนวน 30 คน
กลุ่มที่ 5 คณะผู้วิจัย จำนวน 5 คน

รวมจำนวนผู้เข้าร่วมทั้งสิ้น 163 คน ซึ่งแต่ละกลุ่มสัมภาษณ์โดยใช้แบบประเมินผลกระทบ ซึ่งการเลือกกลุ่มเป้าหมายเป็นการเลือกแบบเฉพาะเจาะจงโดยพิจารณาจากความตั้งใจในการอบรมและได้ทำกิจกรรมที่เห็นถึงผลลัพธ์และผลกระทบได้อย่างชัดเจนจากการดำเนินการจัดการเรียนการสอน รวมไปถึงการสัมภาษณ์ของคณะผู้วิจัย

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เป็นแบบประเมินผลกระทบโครงการบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ชุดจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน) ซึ่งได้พัฒนาปรับปรุงมาจากประเมินผลกระทบที่เป็นประโยชน์จากโครงการบริการวิชาการสู่สังคมของนิคม นาคอ้าย[4] ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 สัมภาษณ์ผู้เข้ารับการอบรม ประกอบด้วย 5 มิติ ได้แก่ มิติผลกระทบทางสังคม มี 3 ตัวบ่งชี้ ประกอบด้วย 1) ความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้ของผู้รับบริการในการพัฒนา 2) เครือข่ายความร่วมมือ / เครือข่ายขยายผล 3) แหล่งเรียนรู้/ฐานข้อมูลความรู้ที่เป็นประโยชน์ มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ มี 2 ตัวบ่งชี้ ประกอบด้วย 1) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ หรือผลงานของผู้รับบริการวิชาการ และ 2) มูลค่าทางเศรษฐกิจที่เกิดกับบุคคล กลุ่มคน และชุมชน มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม มี 1 ตัวบ่งชี้ คือ การพัฒนาบนพื้นฐานอัตลักษณ์ของกลุ่มผู้รับบริการ มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม มี 1 ตัวบ่งชี้ คือ สภาพแวดล้อมที่ดีของชุมชน / หน่วยงาน / พื้นที่ที่ได้รับการบริการวิชาการ และมิติผลกระทบทางสุขภาพ มี 1 ตัวบ่งชี้ คือ สุขภาพของผู้รับบริการ

ส่วนที่ 2 สัมภาษณ์ผู้ให้การอบรม มี 1 มิติ คือ มิติผลกระทบทางสังคม มี 3 ตัวบ่งชี้ ประกอบด้วย 4) ประโยชน์และคุณค่าต่อคนในสถาบัน หรือต่อผู้ให้บริการวิชาการ 5) การนำผลการบริการวิชาการมาปรับปรุงกระบวนการบริการวิชาการ และ 6) การได้รับรางวัล / ได้รับการยกย่องของผู้ให้บริการวิชาการ

ขั้นตอนที่ 3 ทำการสำรวจและสัมภาษณ์ผู้ที่ผ่านการฝึกอบรม ซึ่งในการสำรวจและสัมภาษณ์ ได้กำหนดห่วงโซ่ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ในส่วนของ ปัจจัยนำเข้า (Input) กิจกรรม (Activities) ผลผลิต (Output) ผลลัพธ์ (Outcome หรือ Impact) เพื่อประเมินผลตอบแทนทางสังคม (Social Return on Investment: SROI) โดยวิเคราะห์รายรับและรายจ่ายที่สัมพันธ์กับกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเฉพาะมิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ และใช้ค่าแทนทางการเงินของผลลัพธ์ทางสังคมที่ไม่มีราคาตลาดด้วยการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost-Benefit Analysis)

ขั้นตอนที่ 4 นำแบบประเมินการประเมินผลกระทบมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ เพื่อสรุปผลการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 ผลการสัมภาษณ์ผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 3 ท่าน

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 1	- ได้นำระบบมาใช้ในการจัดการเรียนการสอน เป็นสื่อการสอนที่สามารถใช้งานได้จริง และเป็นแหล่งฝึกอบรมประชาชนทั่วไป - นักเรียนที่ผลการเรียนดีขึ้นในเรื่องการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน เนื่องจากมีสื่อการเรียนการสอนให้นักเรียนได้เห็นได้สัมผัส
ตัวบ่งชี้ที่ 2	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) คณะครุศาสตร์ สถาบันเศรษฐกิจพอเพียง (โครงการจัดตั้ง) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร บริษัท และภาคีเครือข่ายอื่นๆ
ตัวบ่งชี้ที่ 3	ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำให้ประยุกต์ใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนให้ได้หลายระดับในสื่อการเรียนการสอนในแต่ละชุด
มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ ตัวบ่งชี้ที่ 1	- ลดปัญหาด้านการขาดแคลนสื่อการเรียนการสอน
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- ลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อสื่อการสอน
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม	- วัฒนธรรมการใช้ชีวิตเช่นเดิม ไม่มีกระทบที่จะต้องทำการแปลงวิถีชีวิตแต่อย่างใด
มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	- ไม่มีผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม เพราะใช้แหล่งพลังงานสะอาดมาผลิตพลังงานไฟฟ้า - ช่วยให้นักเรียนสามารถเข้าใจการประยุกใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น
มิติผลกระทบทางสุขภาพ	- ครูไม่เครียด เนื่องจากมีสื่อการเรียนการสอนที่สามารถใช้ในการจัดการเรียนรู้ ไม่จำเป็นต้องหาสื่อหลายๆ

ตารางที่ 2 ผลการสัมภาษณ์ครู

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 1	- สามารถนำความรู้ที่ได้ไปเผยแพร่ให้กับชุมชนหรือผู้ที่สนใจได้ - แนะนำให้พลังงานทดแทนเป็นทางเลือกในการประกอบอาชีพ - มีการทำงานดีขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 2	หน่วยงานรัฐ และเอกชนร่วมกัน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	เป็นแหล่งเรียนรู้ที่มีประโยชน์ต่อนักเรียนอย่างมาก
มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ ตัวบ่งชี้ที่ 1	คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น ทำให้มีผู้สนใจเพิ่มขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- นำความรู้ที่จากการสร้างชุดจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนไปพัฒนาต่อยอดได้ - ลดงบประมาณในการสร้างสื่อการสอน
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม	สามารถนำไปใช้เข้ากับวัฒนธรรมการของตนเอง โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	ลดมลพิษในชุมชน ชุมชนสะอาดขึ้น จากการทำเกษตรเชิงเดี่ยว
มิติผลกระทบทางสุขภาพ	- ทำให้มั่นใจในการจัดการเรียนการสอนเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่สื่อในการจัดการเรียนรู้ - สุขภาพจิตดีขึ้น เหลืองบประมาณไปพัฒนาโรงเรียนเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการสัมภาษณ์นักเรียน

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 1	- มีเรียนเพิ่มขึ้น - รู้เรื่องมากขึ้น - สนุกกับการเรียน
ตัวบ่งชี้ที่ 2	หน่วยงานรัฐ และเอกชนเข้ามาช่วยกัน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	สื่อการเรียนรู้ สามารถประยุกต์ใช้ได้ทุกชั้นปี
มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ ตัวบ่งชี้ที่ 1	- คุณภาพผลงานทางวิชาการดีขึ้น
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม	ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	ช่วยทำให้มีความตระหนักเรื่องการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน สิ่งแวดล้อมและการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติ
มิติผลกระทบทางสุขภาพ	เรียนจากการมีสื่อการเรียนการสอนที่ใช้งานได้จริง

ตารางที่ 4 ผลการสัมภาษณ์ประชาชนทั่วไปและผู้ปกครองนักเรียน

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 1	- ครูจัดการเรียนการสอนได้ดีขึ้น - นักเรียนได้โอกาสเรียนรู้เพิ่มขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 2	หน่วยงานรัฐ เอกชน และคนในชุมชนร่วมกัน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนของตนเอง
มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ ตัวบ่งชี้ที่ 1	สร้างอาชีพใหม่ให้กับตนในชุมชน
ตัวบ่งชี้ที่ 2	มีรายได้เพิ่มขึ้น
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม	สามารถนำไปใช้เข้ากับวัฒนธรรมของตนเอง โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	- ลดมลพิษในชุมชน ชุมชนสะอาดขึ้น - ลดการบุรุกป่าเพิ่มเติม
มิติผลกระทบทางสุขภาพ	สุขภาพดีขึ้น ไม่มีมลพิษ

ตารางที่ 5 ผลการสัมภาษณ์คณะผู้วิจัย

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 4	ได้ความรู้ในการพัฒนาและการสร้างชุดจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน เป็นสื่อแหล่งเรียนรู้ในกับนิสิต นักศึกษาในมหาวิทยาลัย และบุคคลภายนอก
ตัวบ่งชี้ที่ 5	นำจุดด้อยมาปรับปรุงสื่อให้ดีขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 6	- ได้รับการยอมรับจากผู้ใช้ชุดจำลอง และภาคีเครือข่ายทั้งภาครัฐและเอกชนที่ทำงานร่วมกัน

ส่วนปัจจัยนำเข้าเป็นเงินลงทุนกระบวนการสร้างชุดจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน จำนวนเงินทั้งสิ้น 155,000 บาท ทำให้ผลการประเมินผลตอบแทนทางสังคมจากการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ชุดจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนในมิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ พบว่า มีอัตราส่วนผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุนเท่ากับ 1.42

อภิปรายผล

การประเมินผลกระทบจากการจัดการเรียนการสอนโดยการใช้สื่อการเรียนการสอนด้านพลังงานทดแทนสอดคล้องกับ A.K. Akella และคณะ [5] ที่ได้ทำการศึกษาในผลกระทบ 5 มิติ ดังนี้

1. ผลกระทบทางสังคม เป็นแหล่งเรียนรู้ มีการพัฒนาต่อยอดขยายฐานองค์ความรู้โรงเรียนอื่นๆ ผลกระทบทางเศรษฐกิจ ลดค่าใช้จ่ายด้านการจัดซื้อจัดจ้างสื่อการเรียน
2. ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ไม่มีผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากใช้แหล่งพลังงานสะอาดมาผลิตพลังงานไฟฟ้า ช่วยลดก๊าซเรือนกระจก และสอดคล้องกับ Claudia Cambero and Taraneh Sowlati [6]
3. ผลกระทบทางสุขภาพ ครู นักเรียน และประชาชนทั่วไปมีความสุขจากการได้ใช้สื่อในการจัดการเรียนการสอนสุขภาพดีขึ้น และการใช้พลังงานทดแทนไม่ก่อให้เกิดผลกระทบทางสุขภาพ
4. ผลกระทบทางวัฒนธรรม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเทคโนโลยีไม่ได้ปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตโดยตรงของชุมชน
5. ผลกระทบทางสุขภาพ สุขภาพจิตดีขึ้น สนใจใฝ่เรียนรู้เพิ่มขึ้น ไม่มีมลพิษ

และส่วนการประเมินผลตอบแทนทางสังคมจากการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ชุดจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนในมิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ พบว่า มีอัตราส่วนผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุน เท่ากับ 1.42 ซึ่งหมายถึงในการดำเนินการติดตั้งระบบ หากมีการลงทุน 1 บาท เมื่อประเมินผลการตอบแทนทางสังคม ได้กลับคืนมา 1.42 บาท

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนอุดหนุนโครงการการสร้างชุดจำลองต้นแบบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ระยะที่ 1 ประจำปีงบประมาณ 2560 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ขอขอบพระคุณที่ปรึกษาโครงการวิจัย คณาจารย์และเจ้าหน้าที่วิจัยจากคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม นักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ชั้นปีที่ 5 คณะครุศาสตร์ สถาบันเศรษฐกิจพอเพียง(โครงการจัดตั้ง) มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร หน่วยงานราชการ และหน่วยงานเอกชนต่าง ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำและข้อมูลสนับสนุนเพื่อจัดทำคู่มือฝึกอบรมสำหรับการดำเนินโครงการในครั้งนี้ ทำให้การดำเนินโครงการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงพลังงาน.2554. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564)

[2] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท). (2558). หลักสูตร.คำอธิบายรายวิชาและสารบัญ. พลังงานทดแทนกับการใช้ประโยชน์ สืบค้นจาก http://secondsci.ipst.ac.th/index.php?option=com_content&view=article&id=206:2011-05-18-01-48-34&catid=46:2011-05-18-01-46-19&Itemid=100050.

[3] จิรพร สุเมธีประสิทธิ์. ผลลัพธ์และผลกระทบของโครงการ ตัวชี้วัดความคุ้มค่าในระยะยาว. กรุงเทพมหานคร : คณะพัฒนาการเศรษฐกิจ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์; 2556.

[4] นิคม นาคอ้าย. การประเมินผลกระทบที่เป็นประโยชน์จากโครงการบริการวิชาการสู่สังคมประจำปีงบประมาณ 2555-2556. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม : สถาบันวิจัยและพัฒนา ; 2557.

[5] Claudia Cambero and Taraneh Sowlati. “Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives – a review of literature,” Renewable and Sustainable Energy Reviews. 36, 62-73. ; 2014.

[6] A.K. Akella, R.P. Saini และ M.P. Sharma. Social, economical and environmental impacts of renewable energy system. Renewable Energy. 34, 390–396.; 2009.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล นายณัฐวุฒิ ขาวสะอาด
วัน-เดือน-ปี เกิด 9 กุมภาพันธ์ 2526
สถานที่อยู่ปัจจุบัน 52/48 หมู่ที่ 6 ตำบลอรัญญิก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000
ประวัติการศึกษา

2548	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ - พลังงาน มหาวิทยาลัยนเรศวร
2549	ประกาศนียบัตรวิชาชีพครู จุฬาลงกรณ์ราชวิทยาลัย
2551	ปริญญาโท วิทยาศาสตร์ สาขาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร
2559	ปริญญาเอก สาขาวิชาพลังงานทดแทน สังกัดวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปัจจุบัน	อาจารย์ประจำสาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

การนำเสนอผลงานวิจัย**ภาคโปสเตอร์**

Poster Presentations

สารสกัดหยาบจากสาบเสือและไมยราบเพื่อกำจัดหอยเชอรี่

กอบกุล นงนุช[1*]

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร สกลนคร 47160

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตสารสกัดหยาบจากสาบเสือและไมยราบ ด้วยตัวทำละลายเมทานอล เพื่อใช้เป็นสารกำจัดหอยเชอรี่ ลดการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืช สร้างสภาพแวดล้อมที่ดีในชุมชน สอดคล้องกับนโยบายการสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดีเพื่อชุมชน ทำให้ประชากรได้บริโภคผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกษตรอินทรีย์ โดยทำการศึกษาเปอร์เซ็นต์การตายของหอยเชอรี่ในสารสกัดหยาบจากสาบเสือและไมยราบที่ความเข้มข้น 10, 100 และ 1000 ppm ที่เวลา 24 ชั่วโมง พบว่าสารสกัดหยาบจากสาบเสือให้เปอร์เซ็นต์การตายเท่ากับ 77.08, 89.13 และ 100 % ส่วนสารสกัดหยาบจากไมยราบให้เปอร์เซ็นต์การตายเท่ากับ 56.48, 70.62 และ 100 % ตามลำดับ และเมื่อนำสารสกัดหยาบของทั้งสองมาผสมกันในอัตราส่วนที่ความเข้มข้น 10, 100 และ 1000 ppm พบว่าเปอร์เซ็นต์การตายเท่ากับ 100% แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบที่มีต่อหอยเชอรี่

คำสำคัญ: สารสกัดหยาบ หอยเชอรี่

*กอบกุล นงนุช: Tel.: 081-8196766. E-mail address: khopkul25@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันประชากรโลกเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วทำให้ความต้องการอาหารในการบริโภคมากตามไปด้วย การผลิตอาหารเพื่อให้ทันต่อความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้น จำเป็นต้องพึ่งพาเทคโนโลยีสมัยใหม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการเกษตร ดังนั้นการใช้ยารักษาโรคพืช ปุ๋ยเคมี และยาฆ่าแมลงศัตรูพืช ก็มีการใช้เพิ่มขึ้นตามเพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูง ตามความต้องการที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากศัตรูพืชมักทำให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิต จากการรายงานของ [1] รายงานการนำเข้าสารเคมีเข้ามาในประเทศไทยพบว่าสูงเกินความจำเป็น ดังจะเห็นได้จากตัวเลขและปริมาณการนำเข้าสารเคมีเฉลี่ยมีปริมาณสูงถึง 3,824,051 ตัน คิดเป็นเงินสูงถึง 35,450 ล้านบาท ซึ่งการใช้สารป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืช (Pesticide) มากและบ่อยครั้งในชีวิตประจำวัน ทำให้เกิดความเคยชิน ไม่ระมัดระวังการใช้ทำให้เกิดการสะสมของสารพิษในระยะเวลานาน ทำให้มีเอนไซม์ Cholinesterase ต่ำ ยับยั้งการทำงานของระบบประสาท [2] เมื่อสะสมเป็นเวลานานทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและระดับเซลล์ของร่างกายเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งได้ ดังนั้นการนำสมุนไพรมาใช้ทางการเกษตรจึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ซึ่งข้อดีของสมุนไพรคือ ทำให้ไม่มีสารตกค้างเกิดความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ช่วยให้เกษตรกรผู้ปลูกมีสุขภาพอนามัยดีขึ้นเนื่องจากไม่มีการฉีดพ่นสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ลดต้นทุนการผลิต ลดปริมาณการนำเข้าสารเคมี และลดปริมาณสารเคมีที่จะปนเปื้อนเข้าสู่อากาศและน้ำ ซึ่งเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ลดมลพิษ และสนับสนุนแนวคิดเกษตรอินทรีย์

วิธีการวิจัย

ประชากรและขนาดตัวอย่าง ประชากรศึกษา คือ หอยเชอรี่ตัวเต็มวัยขนาด 2.5-3.5 cm ที่เก็บจากแปลงนาทดลองในคณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร นำมาเลี้ยงในน้ำที่ปราศจากคลอรีนเป็นเวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์ เพื่อให้ปรับตัวเข้ากับสภาพของน้ำที่ใช้ในการทดลอง ในการทดลองแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็นกลุ่มละ 10 ตัว โดยแต่ละระดับความเข้มข้นทำการทดลอง 5 ซ้ำ

การสกัดหยาบ นำใบสาบเสือและไมยราบมาล้างทำความสะอาด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 40-50 องศาสเซลเซียส จนใบพืชแห้งสนิท นำมาบดให้ละเอียด แล้วนำผงป่นที่ได้ร่อนด้วยตะแกรงลวดมาตรฐานขนาด 80 แมช (mesh) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสสารละลายให้ตัวทำละลายดึงสารสำคัญออกมา จากนั้นนำมาสกัดด้วยเมทานอล โดยใช้ผงละเอียดของสาบเสือ และไมยราบ น้ำหนัก 500 กรัม ใส่ใน Erlenmayer flask ปริมาตร 2000 ml ใส่ตัวทำละลายเมทานอลปริมาตร 1 ลิตรให้ท่วม แล้วปิดปากด้วย aluminum foil แล้วปิดทับด้วย parafilm เก็บในที่ทึบแสง เมื่อครบเวลา 5 วัน นำมาสกัดเพื่อแยกกากออก จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปสกัดแยกออกจากตัวทำละลาย ด้วยเครื่อง Rotary evaporator จะได้สารสกัดหยาบในชั้นเมทานอล นำสารสกัดที่ได้ไปทดสอบฤทธิ์ต่อหอยเชอรี่โดยดูเปอร์เซ็นต์การตายของหอยเชอรี่ที่เวลา 24 ชั่วโมง

การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ เพื่อหาระดับความเข้มข้นที่ทำให้หอยเชอรี่ตายร้อยละ 50 (LC50) และตายร้อยละ 90 (LC90) ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1. การทดสอบหาค่าความเป็นพิษเบื้องต้น (Preliminary screening) เป็นการทดสอบหาช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารสกัดจากสาบเสือและไมยราบที่ครอบคลุมการตายของหอยเชอรี่ในช่วงกว้างๆ เพื่อหาค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่ทำให้หอยเชอรี่ตาย (sublethal concentration) และความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้หอยเชอรี่ตายหมด (lethal concentration) ที่เวลา 24 ชั่วโมง

2. การทดสอบหาค่าความเป็นพิษแบบเฉียบพลันอย่างละเอียด (Definitive screening) ของสารสกัดจากสาบเสือและไมยราบ ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

การทดสอบหาค่าความเป็นพิษแบบเฉียบพลันอย่างละเอียดของสารสกัดจากใบพืช โดยแบ่งการทดลองเป็นสองกลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มทดลอง จากผลการทดสอบหาระดับความเป็นพิษเบื้องต้นของสารสกัดจากใบพืชทั้งสองชนิดต่อการตายของหอยเชอรี่ นำค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่ทำให้หอยตาย และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้หอยตายหมด มาทำการทดลองอย่างละเอียด โดยแบ่งระดับความเข้มข้นของสารกัดจากใบพืชเป็น 7 ระดับ โดยทำการเจือจาง Stock solution ด้วยน้ำที่ปราศจากคลอรีน ในน้ำที่ปริมาตร 3 ลิตร ทำการทดลองระดับความเข้มข้นละ 5 ซ้ำ เช่นเดียวกับการทดสอบระดับความเป็นพิษเบื้องต้นจากสารสกัดจากใบพืชทั้งสอง

2. กลุ่มควบคุม แบ่งระดับความเข้มข้นเป็น 7 ระดับโดยเจือจาง Stock solution ความเข้มข้น 1 ลิตร ซึ่งประกอบด้วย DMSO 200 มิลลิลิตร เมทานอล 300 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากคลอรีน 500 มิลลิลิตร โดยไม่ใส่สารสกัดจากใบพืชโดยการทำ serial solution ด้วยน้ำที่ปราศจากคลอรีนที่เตรียมในแต่ละระดับความเข้มข้น ทดลอง 5 ซ้ำ เช่นเดียวกับวิธีข้างต้น

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ตารางที่ 1 ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% yield) ของสารสกัดหยาบจากสาบเสือและไมยราบ

สมุนไพร	ตัวทำละลาย	น้ำหนักพืช (g)			น้ำหนักสารสกัดหยาบ เฉลี่ย (g)	% yield ของสารสกัดหยาบ
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
สาบเสือ	เมทานอล	10.0965	10.0012	11.1183	5.6626	18.1401
ไมยราบ	เมทานอล	10.0284	10.0287	10.0350	3.2574	10.8247

การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพเบื้องต้นของสารสกัดหยาบจากสาบเสือ และไมยราบ

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การตายของหอยเชอรี่ในสารสกัดหยาบที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่เวลา 24 ชั่วโมง

สารสกัดหยาบ	เปอร์เซ็นต์การตายของหอยเชอรี่		
	10 ppm	100 ppm	1000 ppm
สาบเสือ	77.08	89.13	100
ไมยราบ	56.48	70.62	100

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์การตายของหอยเชอรี่ในสารสกัดหยาบที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ

พืชสมุนไพร	ความเข้มข้น (ppm)	เปอร์เซ็นต์การตาย	
		6 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
สาบเสือ	10	82	92
	100	86	100
	1000	100	100
ไมยราบ	10	70	92
	100	74	100
	1000	100	100
สาบเสือ + ไมยราบ	10	90	92
	100	96	100
	1000	100	100

จากการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพเบื้องต้น พบว่าหอยเชอรี่ที่สัมผัสกับสารสกัดหยาบจากสาบเสือและไมยราบแสดงความผิดปกติของเนื้อเยื่อเกิดขึ้นในทุกระบบอย่างไม่เจาะจง คือ ที่แผ่นเท้ามีการหลั่งสารเมือกในปริมาณเพิ่มขึ้น บริเวณเท้ามีลักษณะหดเกร็งไม่สามารถเปิดฝาเปลือกได้ ทั้งนี้พฤติกรรมจะแสดงให้เห็นเร็วขึ้นเมื่อหอยเชอรี่สัมผัสกับสารสกัดที่ความเข้มข้นระดับสูงขึ้นที่ระดับ 1000 ppm พบประสิทธิภาพทำให้หอยเชอรี่ตายร้อยละ 100 ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากสาบเสือและไมยราบเพื่อกำจัดหอยเชอรี่เบื้องต้น พบว่าสารสกัดหยาบที่ได้จากพืชทั้งสองชนิด มีผลการตายของหอยเชอรี่ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 100 % ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wongsamnuk และคณะ [3] ที่ศึกษาฤทธิ์ของใบกระดุมทองเลื้อยพบว่ามีผลต่อการตายของหอยเชอรี่ที่ระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมงตามลำดับ และจากการศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชของพืช พบว่าในสารสกัดจากสาบเสือและไมยราบ มีองค์ประกอบของสารหลักคือ ซาโปนิน และ แทนนิน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hostettmann and Marston [4] พบว่าซาโปนินเป็นสารสำคัญที่พบในพืชหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการฆ่าหอย โดยพืชแต่ละชนิดมีปริมาณของซาโปนินไม่เท่ากัน ซาโปนินมีความเป็นพิษต่อสัตว์เลือดเย็น คือ ทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงเหี่ยวลงกลายเป็นสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนขึ้น และปล่อยฮีโมโกลบินออกมา จึงมีพิษทำลายเหงือกปลา และหอยได้โดยตรง แต่ซาโปนินไม่เป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเนื่องจากซาโปนินไม่สามารถซึมเข้าสู่ร่างกายได้โดยตรง ส่วนแทนนินเป็นสารที่พบในพืชที่มีคุณสมบัติในการฆ่าหอยเช่นกัน แต่แทนนินที่ได้จากพืชมีความเป็นพิษต่อหอยน้อยกว่าซาโปนิน

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนค้นคว้าและวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร งบประมาณประจำปี 2559

เอกสารอ้างอิง

[1] กองทะเบียนควบคุมวัตถุมีพิษ. (2558). **สารเคมีนำเข้าปี 2558**. [ไฟล์ข้อมูล]: กรุงเทพฯ : กองควบคุมวัตถุมีพิษ

[2] วันทนีย์ วัฒนาสุรกิตต์. (2548). **อันตรายใกล้ตัว.** เกษตรกรผู้สัมผัสยาปราบศัตรูพืช. ในรายงานเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา ประจำสัปดาห์, 36(16).

[3] Wangsomnuk, P., Upathum, F.S., Kruatrachue, M., and Reutrakul, V. 2009. **Screening of some plant extracts for molluscicide activity**. Journal of medical and applied malacology, 10: 29-35.

[4] Hostettmann and Marston. (2005). **Plant molluscicide research.** An update. In: Mott, K.E., editor. Plant molluscicide. Newyork: John Wiley and son Ltd., 27-44.

ชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

A Training kit of Microcontroller for Power Electronic Application

วรัญญู จันตาโลก, เดชาวัต คำฟู และนพพร พัชรประกิติ*
Warunyou Juntalok, Dechawat Kamfu and Nopporn Patcharaprakiti*
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย
99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณภาพและประสิทธิภาพของชุดฝึกการเรียนรู้ โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการวัด ตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ E_1/E_2 เท่ากับ 80/80 กลุ่มตัวอย่างเป็น นักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย จำนวน 15 คน ระหว่างภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ชุดฝึกการเรียนรู้, แบบทดสอบก่อน-หลัง ,แบบประเมินคุณภาพชุดฝึกการเรียนรู้ แบบประเมินคุณภาพใบงาน และวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สถิติที่ใช้ใน การวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลดำเนินการวิจัยได้ชุดฝึกปการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีใบงานอยู่ 4 แบบ ได้แก่ 1) การเรียนรู้โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์พื้นฐาน, 2) การทดสอบเขียนโปรแกรมพื้นฐาน, 3) การทดสอบต่ออินพุต – เอาท์พุตอย่างง่าย, 4) การประยุกต์ใช้งานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ผลการวิจัยพบว่า การออกแบบและสร้างชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพด้านใบงานอยู่ในระดับดี ($\bar{X}$ =4.13S.D=0.33) ส่วนประสิทธิภาพของชุดฝึกการเรียนรู้ หรือ E_1/E_2 เท่ากับ 80.66/80 ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ 80/80

คำสำคัญ: คู่มือการใช้งานบอร์ด, และใบงาน, บอร์ดทดลองdspic30f2010

Abstract

The purpose of this research is to determine the quality and efficiency of installation models on SOLAR power system which was identified E1/E2 as 80/80. The sample is 15 undergraduate students in Year 3 (the academic year 1/2560), Faculty of Engineering, Bachelor of Science in Industrial Education (majoring of Electrical Engineering) Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Rai. The tool is used for research is instructor tool, pre and post test, evaluation tool and learning achievement test. The statistical tool is used for research are mean, standard deviation. The laboratory worksheet 4 sets are 1) Fundamental of microcontroller learning 2) Basic of programming 3) Input-output connection 4) Application of microcontroller to power electronics. The result found that a design and training kit for microcontroller application in power electronic learning has quality of worksheet mean 4.13 and standard of deviation 0.33 The efficiency of training kit (E_1/E_2) equal to 80.66/80 which according to the objective of research 80/80

Keywords : Training kit, microcontroller, power electronics.

บทนำ

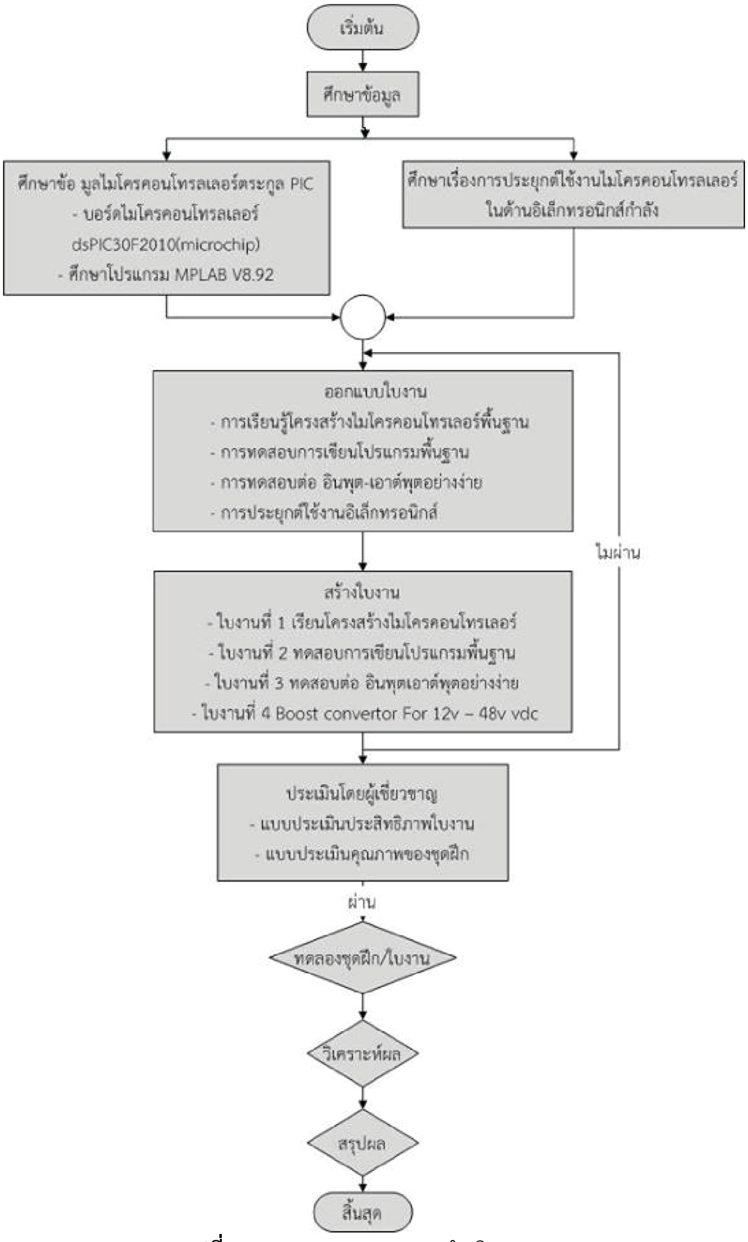
ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาเป็นอย่างมากในการดำเนินชีวิตในปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีเริ่มเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง ในเรื่องของการเรียนการสอน และภาคอุตสาหกรรม ซึ่งปัจจุบันถือว่ามีความจำเป็นอย่างมากที่ใช้เทคโนโลยีเข้ามามีส่วนร่วม ในภาคอุตสาหกรรมรมเทคโนโลยีถือว่าเป็นหัวใจหลักของการสั่งการ และทำงานเพราะมีความสะดวกสบาย อีกทั้งเราจะไม่ศูนย์เสียบุคากรในการทำงานโดยเปล่าประโยชน์ ส่วนที่สำคัญยิ่งคือการนำเทคโนโลยีเข้ามามีส่วนร่วมในการเรียนการสอน ซึ่ง ถือว่าเป็นเรื่องดีที่การนำเทคโนโลยีมาใช้ในการเรียนการสอน เพราะ จะทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ในสิ่งใหม่ และยังเป็นการเพิ่มทักษะของการเรียน ทั้งด้านทฤษฎีและปฏิบัติ ส่วนการที่จะนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในการสอนนั้นต้องขึ้นอยู่กับ เนื้อหาของรายวิชา ว่ามีความเหมาะสมมากแค่ไหนในการที่จะนำเทคโนโลยีมาใช้ในการสอน ให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ ซึ่งวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ถือว่าเป็นวิชาหนึ่งที่มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในการสอน มากพอสมควร เพราะปัจจุบันอิเล็กทรอนิกส์กำลังเกี่ยวข้องโดยตรงกับงานควบคุมกำลังและการแปลงผันกำลังไม่ว่าจะเป็นงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันของผู้คนโดยตรงเช่นแหล่งจ่ายกำลังในคอมพิวเตอร์, โทรทัศน์,หรือเครื่องประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือซึ่งมักจะมีกำลังไม่สูงนัก (หลักวัตต์จนถึงหลักร้อยวัตต์) หรือจะเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับผู้คนในทางอ้อมเช่น การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Drives) การขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Drives),หรือการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยไฟตรง (HVDC) ที่มักจะมีกำลังตั้งแต่ไม่สูงนักจนถึงสูงมาก ๆ ในระดับเมกะวัตต์ (MW) หรือเมกะวีเอ (MVA) เป็นต้น ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้นี้จะแปรผันโดยตรงกับขนาดพิกัด (แรงดัน, กระแส) ของสวิตช์สารกึ่งตัวนำกำลัง (Power Semiconductor Switches) หรืออาจจะกล่าวได้ว่าขนาดพิกัดของสวิตช์สารกึ่งตัวนำกำลังเป็นตัวชี้วัดถึงขนาดของการควบคุมกำลังไฟฟ้า

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน โดยผู้จัดทำโครงงานจะนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้ในการสอนรายวิชาอิเล็กทรอนิคส์กำลัง โดยสร้างเป็นชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้สอนวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ในการสอนนั้นผู้จัดทำโครงงานจะเน้นไปในทางปฏิบัติ โดยนำ ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น DSPIC 30f2010 ทำเป็นบอร์ดทดลอง ให้ผู้เรียนฝึกต่อฝึกการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะด้านความคิดและด้านปฏิบัติการ

ในครั้งนี้ผู้จัดทำโครงงานได้เล็งเห็นความรู้ใหม่ที่จะนำไปประยุกต์ใช้สอนรายวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะความรู้และทางความคิดมากขึ้น จึงทำการศึกษา การที่จะนำ ไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประประยุกต์ใช้กับการสอนรายวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เนื่องจาก วิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลังใช้วิธีการสอน หรือ สื่อ ที่ยังเป็นรูปแบบเดิม คือยังไม่มีการนำวัสดุอุปกรณ์ สื่อ รูปแบบใหม่มาประยุกต์ใช้กับการสอนที่ทันต่อปัจจุบัน กลุ่มผู้จัดทำโครงงานจึงได้ นำไมโครคอนโทรเลอร์ มาประยุกต์เข้ากับการสอน เพื่อเป็นการเสริมสร้างทักษะและความรู้ให้มากขึ้น

วิธีการวิจัย

ในการวิจัยเรื่อง ชุดฝึกไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ในครั้งนี้ได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ วิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง การออกแบบชุดฝึกสอน บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ รุ่น DSPIC 30f2010 การออกแบบใบงาน การคำนวณค่าเฉลี่ย การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ การหาค่าประสิทธิภาพ E1/E2 เพื่อนำไปออกแบบชุดฝึกไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และสร้างใบงานประกอบการสอนในรายวิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และมีการคำนวณค่าเฉลี่ย การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการหาค่าประสิทธิภาพ E1/E2 เพื่อหาประสิทธิภาพของสื่อและใบงาน โดยบรรยายตาม Flowchart ในรูปที่1



รูปที่ 1 Flowchart แสดงการดำเนินงาน

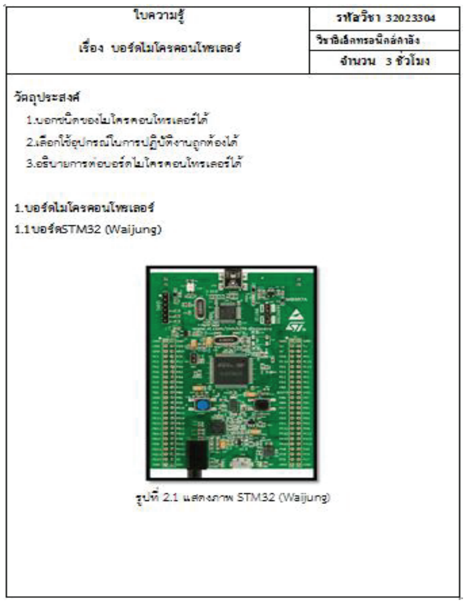
ตารางที่ 1 การสร้างใบความรู้และใบงาน

ใบงาน	ชื่อใบงาน/ใบความรู้ และแบบฝึกหัด	วัตถุประสงค์	ทฤษฎีที่ใช้	อุปกรณ์ที่ใช้	วิธีการ
1	**ใบความรู้** เรื่องบอร์ด ไมโครคอนโทรเลอร์ **อธิบายดังรูปที่1.1**	-บอกชนิดของไมโครคอนโทรเลอร์ได้ -เลือกใช้อุปกรณ์ในการปฏิบัติการได้ถูกต้อง -อธิบายการต่อบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ได้	-ใช้ทฤษฎีการเรียนรู้ 6 ขั้น ของBloomออกแบบใบงาน - ความหมาย,โครงสร้างและ การใช้งานของPIC	-	-บรรยาย -เอกการสารประกอบการเรียน -ศึกษาข้อมูลจากใบความรู้
	แบบฝึกหัด เรื่อง บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ รุ่น DS PIC 30F2010	-เข้าใจโครงสร้างของบอร์ด- ไมโครคอนโทรเลอร์ รุ่น DS PIC 30F2010 -อธิบายโครงสร้างของบอร์ด- ไมโครคอนโทรเลอร์ รุ่น DS PIC 30F2010 ได้	-ใช้ทฤษฎีการเรียนรู้ 6 ขั้น ของBloomออกแบบใบงาน - ความหมาย,โครงสร้างและ การใช้งานของPIC	-	-ผู้เรียนทำแบบฝึกหัดตามที่ กำหนดให้
2	**ใบงาน** การเขียนโปรแกรมพื้นฐานใน บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ รุ่น dsPIC 30F2010 เรื่อง การทดสอบเขียนโปรแกรมพื้นฐาน	-ศึกษาการเขียนโปรแกรมพื้นฐานของบอร์ด- DS PIC ด้วยภาษา C -เขียนโปรแกรมพื้นฐานได้ถูกต้องด้วย- โปรแกรม MPLAB อธิบายดังรูปที่1.3	-ใช้ทฤษฎีการเรียนรู้ 6 ขั้น ของBloomออกแบบใบงาน - ความหมาย,โครงสร้างและ การใช้งานของPIC	-ชุดบอร์ดทดลอง NX-30F -สายต่อวงจร ของบอร์ด -คอมพิวเตอร์ พร้อม โปรแกรม MPLAB V8.92	-เขียนโปรแกรมพื้นฐานใน โปรแกรม MPLAB V8.92 -ทดสอบการทำงานของ โปรแกรม
3	**ใบงานการทดลองที่ 1** เรื่อง การต่ออินพุตและเอาพุตในบอร์ด ไมโครคอนโทรเลอร์ รุ่น dsPIC 30F2010 อย่างง่าย	-แสดงสถานะไฟวิ่งเรียงกัน 3 ดวง อธิบายดังรูปที่1.4	-ใช้ทฤษฎีการเรียนรู้ 6 ขั้น ของBloomออกแบบใบงาน - ความหมาย,โครงสร้างและ การใช้งานของPIC	-ชุดบอร์ดทดลอง NX-30F -สายต่อวงจร ของบอร์ด -คอมพิวเตอร์ พร้อม โปรแกรม MPLAB V8.92	-เขียนโปรแกรม -ทดสอบโปรแกรม -ต่อวงจรลงในบอร์ดทดลอง -ทดสอบการทำงาน

ตารางที่ 1 การสร้างใบความรู้และใบงาน **(ต่อ)**

ใบงาน	ชื่อใบงาน/ใบความรู้ และแบบฝึกหัด	วัตถุประสงค์	ทฤษฎีที่ใช้	อุปกรณ์ที่ใช้	วิธีการ
3	**ใบงานการทดลองที่ 2** เรื่อง การใช้งานพอร์ตต่ออินพุต	-แสดงสถานะเมื่อกดสวิตซ์ไฟสว่าง ปล่อยสวิตซ์ไฟดับ อธิบายดังรูปที่1.5	-ใช้ทฤษฎีการเรียนรู้ 6 ขั้นของ Bloomออกแบบใบงาน - ความหมาย,โครงสร้างและการใช้งานของPIC	-ชุดบอร์ดทดลอง NX-30F -สายต่อวงจร ของบอร์ด -คอมพิวเตอร์ พร้อม โปรแกรม MPLAB V8.92	-เขียนโปรแกรม -ทดสอบโปรแกรม -ต่อวงจรลงในบอร์ดทดลอง -ทดสอบการทำงาน
	ใบงานการทดลองที่ 3 เรื่อง อินเตอร์รัปต์จากภายนอก	-แสดงสถานะเมื่อกดสวิตซ์ 1ครั้ง ไฟสว่าง กดสวิตซ์เดิมอีกครั้ง ไฟดับ อธิบายดังรูปที่1.6	-ใช้ทฤษฎีการเรียนรู้ 6 ขั้นของ Bloomออกแบบใบงาน - ความหมาย,โครงสร้างและการใช้งานของPIC	-ชุดบอร์ดทดลอง NX-30F -สายต่อวงจร ของบอร์ด -คอมพิวเตอร์ พร้อม โปรแกรม MPLAB V8.92	-เขียนโปรแกรม -ทดสอบโปรแกรม -ต่อวงจรลงในบอร์ดทดลอง -ทดสอบการทำงาน
	ใบงานการทดลองที่ 4 เรื่อง บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ รุ่น DS PIC 30F2010กับการแสดงผลที่โมดูล LED 16x2	-แสดงสถานะเขียนโปรแกรมออกทางจอ LCD อธิบายดังรูปที่ 1.7	-ใช้ทฤษฎีการเรียนรู้ 6 ขั้นของ Bloomออกแบบใบงาน - ความหมาย,โครงสร้างและการใช้งานของPIC	-ชุดบอร์ดทดลอง NX-30F -สายต่อวงจร ของบอร์ด -จอ LCD 16*2 -คอมพิวเตอร์ พร้อม โปรแกรม MPLAB V8.92	-เขียนโปรแกรม -ทดสอบโปรแกรม -ต่อวงจรลงในบอร์ดทดลอง -ทดสอบการทำงาน
4	**ใบงานการประยุกต์ใช้งาน** เรื่อง Boost Converter For 12v – 48v vdc	-เพื่อใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ไปควบคุมงานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง -ฝึกทักษะผู้เรียนในการใช้งาน-ไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อไปความคุมการ Boost Converter แสดงดังรูปที่ 1.8	-ใช้ทฤษฎีการเรียนรู้ 6 ขั้นของ Bloomออกแบบใบงาน - ความหมาย,โครงสร้างและการใช้งานของPIC	-คอมพิวเตอร์ พร้อม โปรแกรม MPLAB V8.92 -ชุดวงจร Boost converter -sola 15w,batterri 12v -เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ฯลฯ -สายไฟเชื่อมวงจร	-เขียนโปรแกรม -ทดสอบโปรแกรม -ต่อวงจรลงบอร์ดทดลอง -ทดสอบการทำงาน -ทำการวัดค่า I,V,R -บันทึกผลการทดลอง

1. ผลการสร้างใบงานและบอร์ด NX-dsPIC30



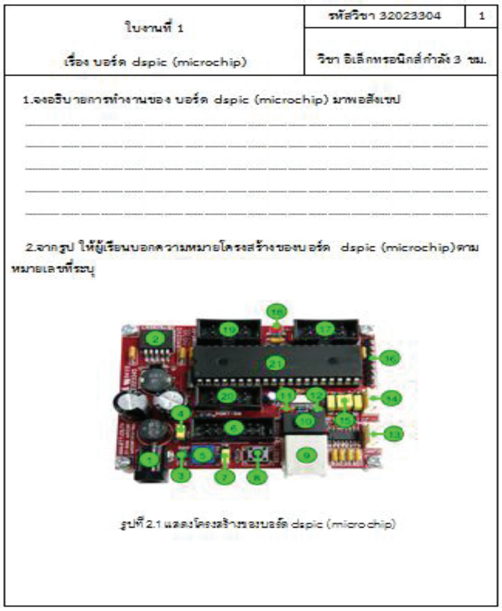
ใบความรู้ เรื่อง บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	รหัสวิชา 32023304
	วิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
	จำนวน 3 ชั่วโมง

วัตถุประสงค์
1.บอกชนิดของไมโครคอนโทรเลอร์ได้
2.เลือกใช้อุปกรณ์ในการปฏิบัติงานถูกต้องได้
3.อธิบายการต่อบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ได้

1.บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์
1.1บอร์ดSTM32 (Waijung)

รูปที่ 2.1 แสดงภาพ STM32 (Waijung)

รูปที่ 1.1 แสดงรูปใบความรู้



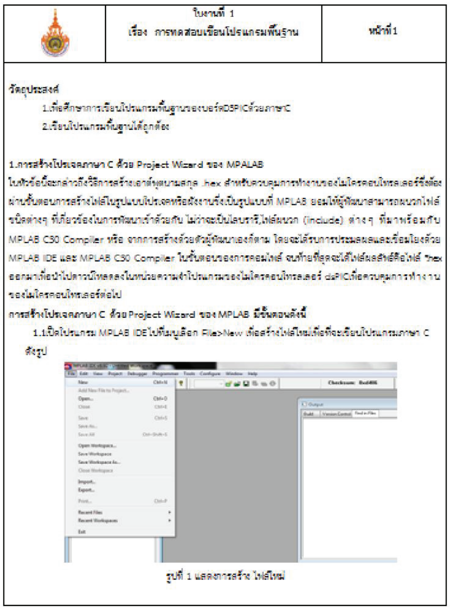
ใบงานที่ 1 เรื่อง บอร์ด dspic (microchip)	รหัสวิชา 32023304	1
	วิชา อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 3 ชม.	

1.จงอธิบายการทำงานของ บอร์ด dspic (microchip) มาพอสังเขป

2.จากรูป ให้ผู้เรียนบอกความหมายโครงสร้างของบอร์ด dspic (microchip)ตามหมายเลขที่ระบุ

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของบอร์ด dspic (microchip)

รูปที่ 1.2ใบงานเรื่องโครงสร้างของบอร์ด



	ใบงานที่ 1 เรื่อง การทดสอบเขียนโปรแกรมพื้นฐาน	หน้าที่ 1

วัตถุประสงค์
1.เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมพื้นฐานของบอร์ดDSPICด้วยภาษาC
2.เขียนโปรแกรมพื้นฐานได้ถูกต้อง

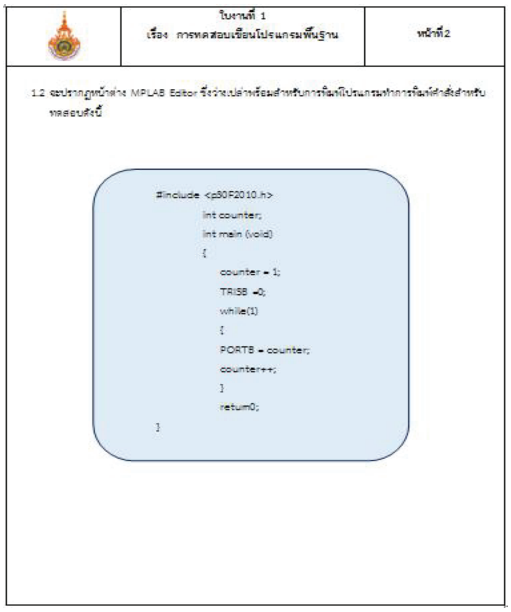
1.การสร้างโปรเจคภาษา C ด้วย Project Wizard ของ MPALAB

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการสร้างเอาต์พุตนามสกุล .hex สำหรับควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งต้องผ่านขั้นตอนการสร้างไฟล์ในรูปแบบโปรเจคหรือผังงานซึ่งเป็นรูปแบบที่ MPLAB ยอมให้ผู้พัฒนาสามารถผนวกไฟล์ชนิดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาเข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นไลบรารี,ไฟล์ผนวก (include) ต่างๆ ที่มาพร้อมกับ MPLAB C30 Compiler หรือ จากการสร้างด้วยตัวผู้พัฒนาเองก็ตาม โดยจะได้รับการประมวลผลและเชื่อมโยงด้วย MPLAB IDE และ MPLAB C30 Compiler ในขั้นตอนของการคอมไพล์ จนท้ายที่สุดจะได้ไฟล์ผลลัพธ์คือไฟล์ *hex ออกมาเพื่อนำไปดาวน์โหลดลงในหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPICเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ต่อไป

การสร้างโปรเจคภาษา C ด้วย Project Wizard ของ MPLAB มีขั้นตอนดังนี้

1.1เปิดโปรแกรม MPLAB IDEไปที่เมนูเลือก File>New เพื่อสร้างไฟล์ใหม่เพื่อที่จะเขียนโปรแกรมภาษา C ดังรูป

รูปที่ 1 แสดงการสร้าง ไฟล์ใหม่



	ใบงานที่ 1 เรื่อง การทดสอบเขียนโปรแกรมพื้นฐาน	หน้าที่ 2

1.2 จะปรากฏหน้าต่าง MPLAB Editor ซึ่งว่างเปล่าพร้อมสำหรับการพิมพ์โปรแกรมทำการพิมพ์คำสั่งสำหรับทดสอบดังนี้

```
#include <p30F2010.h>
        int counter;
        int main (void)
        {
           counter = 1;
           TRISB =0;
           while(1)
           {
           PORTB = counter;
           counter++;
           }
           return0;
}
```

รูปที่ 1.3 (ก) รูปการทดสอบเขียนโปรแกรมพื้นฐาน

รูปที่ 1.3 (ข) รูปตัวอย่างโปรแกรม

ใบงานการทดลอง
เรื่อง การต่ออินพุตและเอาท์พุตdsPIC
microcontroller :เบื้องต้นด้วยโปรแกรมภาษา C
กับ MPLAB C30

หน้าที่1

วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาการต่อเอาท์พุตและเอาท์พุตอย่างง่าย

2.ต่ออินพุตและเอาท์พุตได้ถูกต้อง

เตรียมการทดลองขั้นต้น

ก่อนการทดลองจะต้องเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ขั้นต้นดังนี้

1.คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งชุดซอฟต์แวร์ MPLAB และ MAPLAB C30 ไว้เรียบร้อยแล้ว พร้อมทั้งต้องมีพอร์ต USB ว่างอย่างน้อย 1 พอร์ต จะสะดวกถ้าหากมีถึง 2 พอร์ต เพื่อรองรับกับอุปกรณ์แปลงสัญญาณพอร์ต UAB เป็นพอร์ตอนุกรมในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมกับคอมพิวเตอร์ ในที่นี้แนะนำบอร์ด UCON-232S

2.PX-200 บอร์ดโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และ dsPIC,สายต่อพอร์ต USB และ สาย ICD

3.บอร์ดทดลอง NX-dsPIC30F หรือใช้แผงต่อวงจร(บรดบอร์ด)ในการต่อวงจร

การทดลองที่ 1 ใช้งาน พอร์ตเอาต์พุต

เป็นการทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับการกำหนดและใช้งานขาพอร์ตเอาต์พุตดิจิตอลของ dsPIC30F2010 ด้วยโปรแกรมภาษา C โดยใช้ MPLAB C30 โดยในการทดลองนี้เลือกใช้ขาพอร์ต RB0,RB1 และ RD0 มาขับ LED เกี่ยวกับการเข้าถึงระดับบิตของ MPLAB C30

ในการทดลองจะใช้การเข้าถึงระดับบิตเพื่อกำหนดการทำงานของขาพอร์ตที่ต้องการโดยการเข้าถึงระดับบิตในโปรแกรมภาษา C MPLAB C30 มีรูปแบบของไวยากรณ์เขียนดังนี้

Registernamebits.bitname

โดยที่ registername คือ ชื่อรีจิสเตอร์ที่ต้องการเข้าถึงระดับบิต

bitname คือ ชื่อบิตที่ต้องการเข้าถึงจากรีจิสเตอร์ที่กำหนด

ตัวอย่างที่ L1-1

```
LATBbits.LATB0 = 1; // กำหนดให้ค่าข้อมูลบิตที่ชื่อ LATB0
// (ตรงกับบิต 0) ของรีจิสเตอร์ LATB เป็น "1"
```

ตัวอย่างที่ L1-2

```
IFS0bits.ADIF = 0;        // กำหนดให้ค่าข้อมูลบิตที่ชื่อ ADIF
// (ตรงกับบิต 11) ของรีจิสเตอร์ IFS0 เป็น "0"
```

รูปที่ 1.4 (ก) รูปใบงานการทดลองการต่ออินพุตและเอาพุตในบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์

ใบงานการทดลอง
เรื่อง การต่ออินพุตและเอาท์พุตdsPIC
microcontroller :เบื้องต้นด้วยโปรแกรมภาษา C
กับ MPLAB C30

หน้าที่5

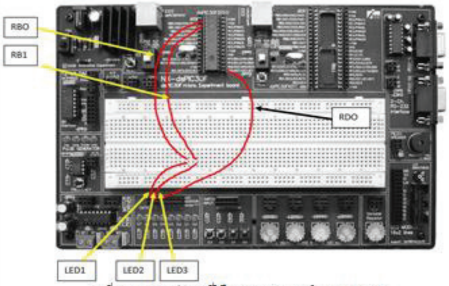
รูปที่ L-1 วงจรทดลองการใช้งานพอร์ตเอาต์พุตดิจิตอลของของ dsPIC30F2010

L1.5 ต่อวงจรทดลองตามรูปที่ L1-1

L1-6 ทดสอบรันโปรแกรม ในกรณีที่ใช้บอร์ด NXdsPIC30F2010 กดสวิตช์ MODE เปลี่ยนจากโหมด โปรแกรม (PGM) เป็นโหมดรัน (RUN) สังเกตจาก LED สีเขียวที่ตำแหน่ง RUN ติดสว่าง

จะเห็น LED ทั้งสามดวงติดดับไล่กันไป เริ่มจาก LED ที่ขาพอร์ต RBO ตามด้วย RB1 และ RD0 จากนั้นจะวนทำงานเช่นนี้ตลอดไป

การต่อวงจรทดลองลง บอร์ด NX-dsPIC30F



รูปที่ 1.5 แสดงการต่อวงจรที่ใช้ในการทดลอง ลงบอร์ด NX-dsPIC30F

รูปที่ 1.4 (ข) รูปการต่อวงจรลงในบอร์ด

ใบงานที่ 4.2การทดลองขั้นประยุกต์ใช้งาน
เรื่อง การใช้งานพอร์ตอินพุต

หน้าที่1

วัตถุประสงค์

1.เขียนโปรแกรมการใช้งานพอร์ตอินพุต

เป็นการทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับการกำหนดและใช้งานขาพอร์ตอินพุตดิจิตอลของDSPICc30F2010 ด้วยโปรแกรมภาษาCโดยใช้ MPLAB C30โดยในการทดลองนี้เลือกใช้ขาพอร์ต RD0 และ RD1 ต่อกับสวิตช์เพื่อรับค่านำไปขับ LEDที่ขาพอร์ต RB0 และ RD1

การทดลอง

1. เขียนโปรแกรมที่ L2-1 ตั้งชื่อเป็นInputport.c
2. สร้างโปรเจ็กต์ใหม่โดยตั้งชื่อเป็น Inputport ผนวกไฟล์ Inputport.c เข้ากับโปรเจ็กต์
3. คอมไพล์โปรเจ็กต์เพื่อให้ได้ผลลัพท์Inputport.hex
4. ดาวน์โหลดไฟล์ Inputport.hex ลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ DSPICc30F2010 บนบอร์ดทดลอง NX-dsPIC30Fด้วยโปรแกรม PX-200
5. ต่อวงจรตามรูปที่ 1
6. เมื่อเริ่มต้นทำงาน LED ทั้งสองดวงที่ขา RB0 และ RB1 ดับหมด เมื่อต่อสวิตช์ที่ต่อกับขา RD0จะทำให้ LED ที่ขา RB0 ติด กดสวิตช์อีกครั้ง LED จะดับ เช่นเดียวกันกับการกดสวิตช์ที่ขา RD1จะใช้ควบคุมการติดดับของ LED ที่ต่อกับขา RB1
7.ให้ทำการทดลองต่อโดยเพิ่มจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตที่ต้องการใช้งานมากขึ้น โดยเพิ่มเป็นพอร์ตอินพุต 4 ขาจากพอร์ต RC(RC13 กับ RC14) และ RF(RF2กับ RF3)เพื่อควบคุม LED จำนวน 4 ตัวที่ต่อกับพอร์ต RE(RE0ถึง RE3) โดยใช้อุปกรณ์ที่มีบนบอร์ดการทดลอง NX-dsPIC30F เป็นหลัก

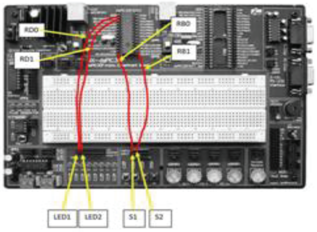
ใบงานที่ 4.2การทดลองขั้นประยุกต์ใช้งาน
เรื่อง การใช้งานพอร์ตอินพุต

หน้าที่4

คำอธิบายเพิ่มเติม

ในโปรแกรมมีการเพิ่มเติมคำสั่งกำหนดให้พอร์ตของ dspic30f2010 เป็นอินพุต โดยเขียนข้อมูล "1"ไปยังบิตที่สัมพันธ์กับขาพอร์ตนั้นๆ ในรีจิสเตอร์ TRISxจากโปรแกรมคือบิต TRISD0 และ TRISD1 ในรีจิสเตอร์TRISD อันเป็นรีจิสเตอร์กำหนดทิศทางขาพอร์ต RD ของ dspic30f2010

ส่วนการตรวจสอบสถานะลอจิกหรืออ่านค่าจากพอร์ตอินพุตดิจิตอลนั้น จะตรวจสอบค่าจากรีจิสเตอร์ PORTD โดยทำการอ่านและตรวจสอบที่บิต RDO และ RD1 เมื่อเงื่อนไขใดเป็นจริง (สวิตช์ถูกกด เกิดลอจิก 0)ซีพียูจะทำการกลับสถานะลอจิกที่ขาพอร์ตเอาต์พุตRDO และ RD1



รูปที่ 2.2 แสดงการต่อวงจรใช้งานพอร์ตอินพุต

สรุปผลการทำงาน

....

รูปที่1.5 รูปใบงานการทดลองการใช้งานพอร์ตต่ออินพุต และ รูปการต่อวงจรลงในบอร์ด

ใบงานที่ 4.3 การทดลองขั้นประยุกต์ใช้งาน
เรื่อง อินเตอร์รัปต์จากภายนอก
หน้าที่1

วัตถุประสงค์
1.เขียนโปรแกรมการต่ออินเตอร์รัปต์จากภายนอก

เป็นการทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับการเข้าถึงระดับบิตในโปรแกรมภาษา c ของ MPLAB C30พร้อมกับ การเขียนโปรแกรมตอบสนองแบบอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ขา INT0 (ตรงกับขาRE8ของ DSPICc30F2010) และ INT1(ตรงกับขา RD0 ของ DSPICc30F2010)

รูปแบบการประกาศฟังก์ชั่นตอบสนองอินเตอร์รัปต์ของ MPLAB C30

ในการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรเลอร์ บ่อยครั้งที่ต้องตอบสนองการอินเตอร์รัปต์จากระบบ เมื่อถึงวาระต่างๆ ตามเงื่อนไขที่ผู้พัฒนากำหนดไว้ สำหรับรูปแบบประกาศฟังก์ชั่นตอบสนองอินเตอร์รัปต์จากแหล่งกำเนิดใดๆ นั้น MPLAB C30ได้กำหนดรูปแบบไวยากรณ์ดังนี้

รูปแบบที่ 1

```
Void_attribute_((_interrupt_)) interrupt name (void)
{
    /*บริเวณกำหนดคำสั่งตอบสนองอินเตอร์รัปต์*/
}
```

โดยที่ interrupt name คือ ชื่อของชนิดของแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ที่ต้องระบุซึ่งกำหนดตามชื่อแหล่งกำเนิดซึ่งได้แสดงไว้ตามตารางที่ 4-1

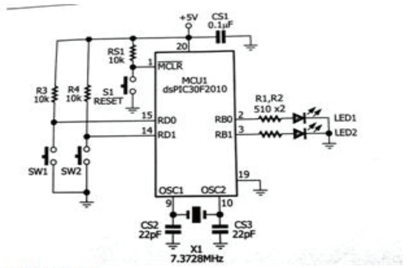
จากรูปแบบที่1ถ้าต้องการประกาศสั้นๆ ทำได้ตามรูปแบบที่2 เนื่องจาก MPLAB C30มีการกำหนดมาโครไว้ภายในระบบเป็น

```
#define _ISR _attribute_((_interrupt_))
```

รูปแบบที่2

```
VoidISR interrupt name (void)
{
    /*บริเวณกำหนดคำสั่งตอบสนองอินเตอร์รัปต์*/
}
```

ใบงานที่ 4.3การทดลองขั้นประยุกต์ใช้งาน
เรื่อง อินเตอร์รัปต์จากภายนอก
หน้าที่3




```
#include <p30F2010.h>
#include<ports.h>
_FOSC (XT_PLL4&CSW_FSCM_OFF)
_FWDT(WDT_OFF)
_FBORPOR(PWRT_64&BORV_27&PBOR_ON&MCLR_EN)
_FICD(NONE)
void delay_ms(unsigned intms)
{
        unsigned intx,a;
        for(x=0;x<ms;x++)
        {
          for(a=0;a<816;a++); //Loop for delay 1 millisecond(7.3728MHz@ PLL4x)
        }
}
```

รูปที่1.6 รูปใบงานการต่ออินเตอร์รัปต์จากภายนอกและ รูปการต่อวงจรการใช้งาน

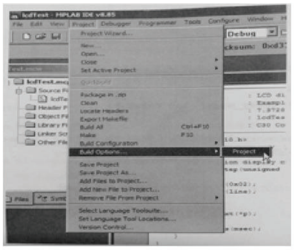
ใบงานที่ 4.4การทดลองขั้นประยุกต์ใช้งาน
เรื่อง dsPIC กับการแสดงผลที่โมดูล LCD16 x 2
หน้าที่1

วัตถุประสงค์
1.เขียนโปรแกรมการต่อdsPIC กับการแสดงผลที่โมดูลLCD16 x 2

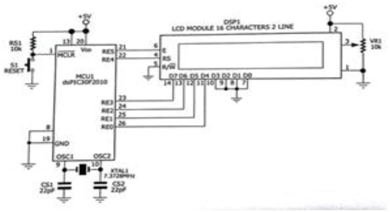
สำหรับการทดลองนี้เป็นตัวอย่างพื้นฐานการเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลที่โมดูล LCD โดยจะอาศัยการเรียกใช้งานฟังก์ชั่นควบคุมการแสดงผลไลบรารี lcd.hที่ได้สร้างและบันทึกไว้แล้ว

ขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนโปรแกรมที่ L1-1 ตั้งชื่อเป็นlcdtest.c
2. สร้างโปรเจ็กต์ใหม่โดยตั้งชื่อเป็น lcdtest ผนวกไฟล์ lcd.hเข้ากับโปรเจ็กต์โดยคลิกเลือกที่เมนู project>Build option...>Project

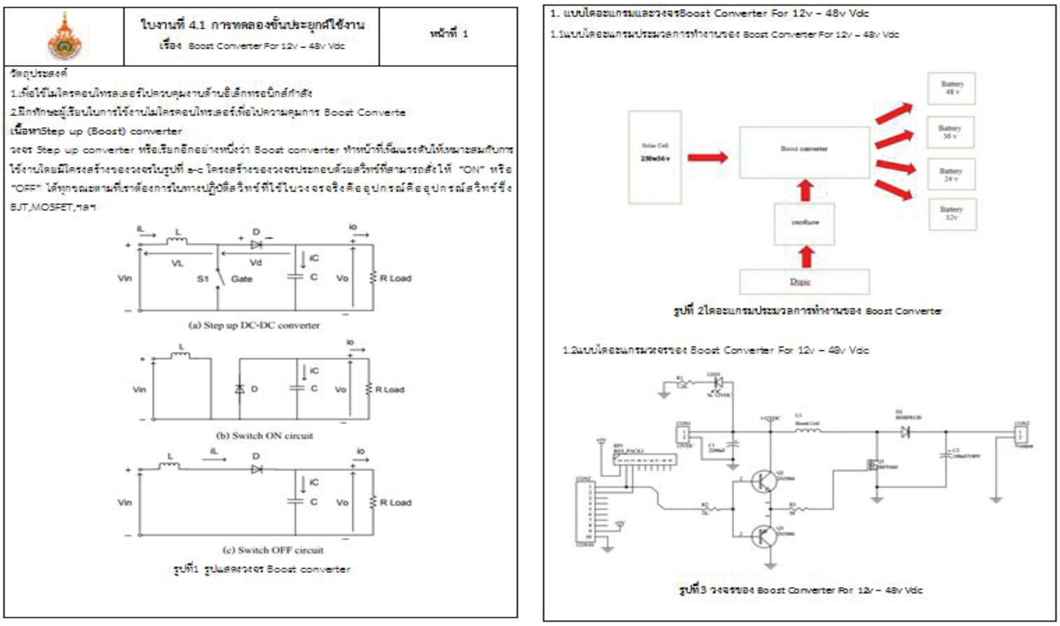


ใบงานที่ 4.4การทดลองขั้นประยุกต์ใช้งาน
เรื่อง dsPIC กับการแสดงผลที่โมดูล LCD16 x 2
หน้าที่4




```
//****************************************************************//
//Program       :LCD display
//Description   :Example for LCD display mode 4 bit
//Frequency     :7.3728 MHz at PLL 4x
//Filename      :lcdTest.c
//C compiler    :C30 Compiler by Microchip Technology
//****************************************************************//
 #include <p30f2010.h>          //Header file for dsPIC30F2010
 #include <lcd.h>          //Module function for LCD Display 4 bit Mode
_FOSC (XT_PLL4&CSW_FSCM_OFF)
_FWDT (WDT_OFF)
_FBORPOR (PWRT_64&BORV_27&PBOR_ON&MCLR_EN)
_FICD(NONE)
```

รูปที่1.7 รูปใบงานการทดลองบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ รุ่น DS PIC 30F2010กับการแสดงผลที่โมดูล LED 16x2และ รูปการต่อวงจรการใช้งาน



	ใบงานที่ 4.1 การทดลองขั้นประยุกต์ใช้งาน เรื่อง Boost Converter For 12V – 48V Vdc	หน้าที่ 1

วัตถุประสงค์

1.เพื่อใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ไปควบคุมงานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

2.ฝึกทักษะผู้เรียนในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อไปควบคุมการ Boost Converte

เนื้อหาStep up (Boost) converter

วงจร Step up converter หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Boost converter ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยมีโครงสร้างของวงจรในรูปที่ a-c โครงสร้างของวงจรประกอบด้วยสวิทช์ที่สามารถสั่งให้ "ON" หรือ "OFF" ได้ทุกขณะตามที่เราต้องการในทางปฏิบัติสวิทช์ที่ใช้ในวงจรจริงคืออุปกรณ์คืออุปกรณ์สวิทช์ซึ่ง BJT,MOSFET,ฯลฯ

(a) Step up DC-DC converter

(b) Switch ON circuit

(c) Switch OFF circuit

รูปที่1 รูปแสดงวงจร Boost converter

1. แบบไดอะแกรมและวงจรBoost Converter For 12v – 48v Vdc

1.1แบบไดอะแกรมประมวลการทำงานของ Boost Converter For 12v – 48v Vdc

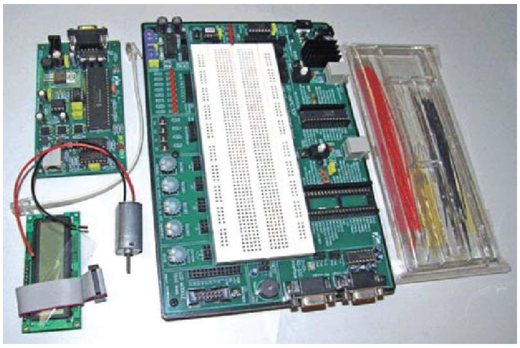
รูปที่ 2ไดอะแกรมประมวลการทำงานของ Boost Converter

1.2แบบไดอะแกรมวงจรของ Boost Converter For 12v – 48v Vdc

รูปที่3 วงจรของ Boost Converter For 12v – 48v Vdc

รูปที่1.8 รูปใบงานการประยุกต์ Boost Converter For 12v – 48v Vdc เข้ากับไมโครคอนโทรเลอร์

รุ่น DS PIC30F2010และรูปไดอะแกรมวงจร



รูปที่ 1.9 บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ รุ่น DSPIC 30f2010 เป็นบอร์ดที่ใช้ในการทดลอง

2. ผลการอบรมภาษา c

รูปที่ 2 การอบรมภาษา c เพื่อเป็นพื้นฐานในการเขียนโปรแกรมในบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ รุ่น DSPIC 30f2010

3. ผลการอบรมชุดการเรียนรู้ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ 3(ก,ข,ค,ง,จ) การฝึกปฏิบัติทดลองชุดฝึกไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบประเมินแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิด้านใบงานของการออกแบบและสร้างชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับงานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

การสร้างแบบประเมิน มีขั้นตอนดังนี้ คือ

1) ศึกษาแบบประเมินเกี่ยวกับ วิธีการออกแบบใบประเมิน และลักษณะแบบใบประเมิน

2) ร่างแบบประเมินแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับใบงานชุดฝึกการเรียนรู้

3) นำเสนออาจารย์ปรึกษาวิทยานิพนธ์และที่อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมเพื่อตรวจสอบและพิจารณา

4) ปรับปรุงแก้ไขแบบประเมิน ตามที่อาจารย์ปรึกษาวิทยานิพนธ์และที่อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมเสนอแนะ

5) แบบประเมินใบงานการออกแบบและสร้างชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ให้ ผู้ทรงคุณวุฒิใช้ประเมินคุณภาพ โดยมีรายนามดังนี้

1) ผศ.ดร.นพพร พัชรประกิติ อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย

2) ดร.อนุสร ยอดใจเพชร อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ผู้เชี่ยวชาญด้านไมโครคอนโทรเลอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย

3) นาย เพลิน จันทร์สุยะ อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย

4) นาย ขจร อนุมิตร อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ผู้เชี่ยวด้านชาญไมโครคอนโทรเลอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย

สำหรับรายการประเมินใบงานการออกแบบและสร้างชุดฝึกไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง มีรายละเอียด ดังนี้

1. ใบงานครอบคลุมวัตถุประสงค์
2. ใบงานมีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์
3. ใบงานมีเนื้อหาถูกต้อง
4. ใบงานมีเนื้อหาเหมาะสมการเรียนรู้
5. เนื้อหาก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียน
6. ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลองแต่ละขั้น
7. ใบงานมีความเหมาะสมกับผู้เรียน
8. รูปปฏิบัติงานมีความเข้าใจง่าย/ชัดเจน
9. สามารถลดเวลาในการสื่อความหมายให้เข้าใจได้ดี
10. ลำดับและวิธีการนาเสนอของใบงานมีความเหมาะสม

ลักษณะของแบบประเมินเป็นแบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับการประเมินใบงานและการออกแบบและสร้างชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับประยุกต์งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังของผู้ทรงคุณวุฒิ โดยมีลักษณะเป็นแบบประเมิน (Rating Scale) 5 ระดับ คือ

5 มีค่าเท่ากับ เห็นด้วยในระดับมากที่สุด
4 มีค่าเท่ากับ เห็นด้วยในระดับมาก
3 มีค่าเท่ากับ เห็นด้วยในระดับปานกลาง
2 มีค่าเท่ากับ เห็นด้วยในระดับน้อย
1 มีค่าเท่ากับ เห็นด้วยในระดับน้อยที่สุด

สถิติที่ใช้ในกำรวิเคราะห์ข้อมูล

1. ค่าเฉลี่ย (Mean)

โดยใช้สูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \qquad (1)$$

เมื่อ

$\bar{X}$ คือ คะแนนเฉลี่ย
$\sum X$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
N คือ จำนวนข้อสอบทั้งหมด

คะแนนเฉลี่ยเกณฑ์การประเมินคุณภาพของใบงาน

คะแนนเฉลี่ย 4.50 – 5.00 หมายถึง ระดับคุณภาพดีมาก

คะแนนเฉลี่ย 3.50 – 4.49 หมายถึง ระดับคุณภาพดี

คะแนนเฉลี่ย 2.50 – 3.49 หมายถึง ระดับคุณภาพปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.50 – 2.49 หมายถึง ระดับคุณภาพพอใช้

คะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.49 หมายถึง ระดับคุณภาพควรปรับปรุง

2. หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation : S.D.)

โดยใช้สูตร

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum\left(X-\bar{X}\right)^2}{\left(N-1\right)}} \qquad (2)$$

เมื่อ $S.D.$ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\bar{X}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของคะแนนทั้งหมด

$\sum X$ หมายถึง ผลรวมของคะแนน

N หมายถึง จำนวนข้อมูล

3. การหาประสิทธิภาพของชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับประยุคใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง หรือ E_1/E_2

โดยใช้สูตร

$$E_1 = \frac{\sum X/N}{A}\times 100$$
$$E_2 = \frac{\sum Y/N}{B}\times 100 \qquad (3)$$

เมื่อ E_1 หมายถึง คะแนนเฉลี่ยของใบงานระหว่างเรียนคิดเป็นร้อยละ

E_2 หมายถึง คะแนนรวมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรวมคิดเป็นร้อยละ

$\sum X$ หมายถึง คะแนนรวมของใบงานระหว่างเรียนของนักศึกษา

$\sum Y$ หมายถึง คะแนนรวมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรวมของนักศึกษา

A หมายถึง คะแนนเต็มของใบงานระหว่างเรียน

B หมายถึง คะแนนเต็มของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

N หมายถึง จำนวนผู้เรียน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัย เรื่องชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง สามารถนำเสนอได้ดังนี้

1.ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง การประเมินคุณภาพของชุชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 4 ท่าน โดยมีรายการประเมิน 13 รายการ ซึ่งผลการประเมินมีรายละเอียด ดังตารางที่2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับคุณภาพของใบงานจำนวน 4 ใบงาน

ข้อที่	รายการประเมิน	**ค่าเฉลี่ย**	S.D	**คุณภาพ**
1	ใบงานครอบคลุมวัตถุประสงค์	4.0	0	ดี
2	ใบงานมีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์	4.25	0.5	ดี
3	ใบงานมีเนื้อหาถูกต้อง	4.0	0	ดี
4	ใบงานมีเนื้อหาเหมาะสมการเรียนรู้	4.0	0	ดี
5	เนื้อหาก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียน	4.25	0.5	ดี
6	ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลองแต่ละขั้น	4.0	0	ดี
7	ใบงานมีความเหมาะสมกับผู้เรียน	4.25	0.5	ดี
8	รูปปฏิบัติงานมีความเข้าใจง่าย/ชัดเจน	4.0	0.81	ดี
9	สามารถลดเวลาในการสื่อความหมายให้เข้าใจได้ดี	4.0	0	ดี
10	ลำดับและวิธีการนำเสนอของใบงานมีความเหมาะสม	4.25	0.5	ดี
	ผลรวม	**4.1**	**0.28**	**ดี**

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพของใบงาน การประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 4 ท่าน พบว่าในภาพรวมอยู่ในระดับดี(X =4.1 S.D.=0.28) เมื่อพิจารณาแต่ละรายการพบว่ารายการที่มีค่าเฉลี่ยปานกลางและจัดอยู่ในระดับดีคือ ใบงานครอบคลุมวัตถุประสงค์ (X =4 S.D.=0.0), ใบงานมีเนื้อหาถูกต้อง (X =4.00 S.D.=0.), ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้นการทดลองแต่ละขั้น (X =4.0 S.D.=0.0), รูปปฏิบัติงานมีความเข้าใจง่าย/ชัดเจน (X =4.0 S.D.=0.81) และสามารถลดเวลาในการทำความหมายให้เข้าใจได้ดี(X =4.0 S.D.=0.0) เป็นต้น

2.ผลการหาประสิทธิภาพของชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

การทดลองใช้ชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย จำนวน 15 คน ระหว่างภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 เป็นการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 15 คน มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติตามเกณฑ์ที่กำหนด E1/E2 ไม่น้อยกว่า 80/80 ได้ผลตามตารางที่ 2 ต่อไปนี้ ตารางที่ 2คะแนนจากการทำคะแนนใบงานระหว่างเรียนและคะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 15 คน

ตารางที่ 3 คะแนนจากการทำคะแนนใบงานระหว่างเรียนและคะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 15 คน

รายการ	จำนวนผู้เรียน	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ยที่	ได้คิดเป็นร้อยละ	เกณฑ์ร้อยละ
คะแนนใบงานระหว่างเรียน(E1)	15	20	16.13	80.66	80
คะแนนแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรวม(E2)	15	40	32	80	80

จากตารางที่ 3 พบว่า นักศึกษาที่ทำใบงานระหว่างเรียน (E1) จำนวน 4 ใบงาน ซึ่งมีคะแนนรวม 20 คะแนน ได้คะแนนเฉลี่ย คือ 16.13 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 80.66 และคะแนนจากการท าแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรวม (E2) ซึ่งมีคะแนนรวม 40 คะแนน ได้คะแนนเฉลี่ย 32 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 80 ดังนั้น ชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง มีประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 80.66/80 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ E1/E2 ไม่ต่ำกว่า80/80

สรุปผลการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรเลอร์สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และหาคุณภาพของชุดฝึกปฏิบัติกับใบงาน จากการดำเนินการวิจัย สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ผลการประเมินคุณภาพของใบงาน การประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 4 ท่าน พบว่าในภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับ ดี โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.10 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.28 และผลการวิจัยพบว่าชุดฝึกการเรียนรู้ไมโครคอนโทรเลอร์ที่สร้างขึ้นมามีคุณภาพดี เป็นที่ยอมรับของผู้ทรงคุณวุฒิโดยสามารถนำไปใช้ในการ เรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการหาประสิทธิภาพของชุดฝึกปฏิบัติงานติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับกลุ่มตัวอย่าง 15 คน ปรากฏว่าผลจากการเรียนรู้ระหว่างการฝึกปฏิบัติงานระหว่างเรียน และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์รวมหลังจากทดลอง ครบ 4 ใบงานแล้ว มีประสิทธิภาพเท่ากับ 80.66/80

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ที่ให้การสนับสนุนเอื้ออำนวยสถานที่ และวัสดุ อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1.Bancha Sreewirote , Wanchai Subsingha2 , Jeerasak Wongsa “3 Separate Excite Dc Moter Controlling By Pic Microcontrolling” Journal of Thonburi Univercity Vol 7 No 13 January – June 2013.

2. I. Daut, M. Adzrie, M.Irwanto, P.Ibrahim, M.Fitra, “Solar Powered Air Conditioning System”, Energy Procedia, TerraGreen13 International Conference, 2013, 444-453

3.Nirun chomsai At Ayutthaya “A Simulation of Noise Reduction transmitted through Communication Channel by Barker Coding with Microcontrolle” NCTechED 9 & ICTechED4 (24 November2016)

4. Preecha kojaran “Project-Based and Group-Based Learning with Competition in Undergraduate Microcontroller Courses.” Apheit Journal.

5.R. Gugulothu, N. Sarada Somanchi, and etal., “A Review on Solar Powered Air Condition$ing System”, Procedia Earth and Planetary Sciency, Global Challenges, Policy Framework & Sustainable Development for Mining of Mineral and Fossil Energy Resources (GCPF 2015), 361-367.

6. Sirichai Junnim And Numchok Wuttananuib “Banana board : A Basic Experimental Microcontroller “ RMUTP Research Journal Special Issue The 5th Rajamangala University of Technology National Conference.

7. Suparvit Mungjarun “The Development and Create of Experimental Set for Microcontroller with the Separation of Objects.” The 9th National Conference on Technical Education.

8. Wipada Wongsuriya “A Development of Learning Activities Using A Project-based Approach Within A Learning Center on C Programming Language Application” NCTechED 9 & ICTechED4 (24 November2016)

ตู้เพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลแบบอัตโนมัติ
Breeding Nile tilapia (Oreochromis niloticus) in Automatic Incubator Hatches

อาภาพล มหาวีระ[1*] นครินทร์ ศรีปัญญา[1]

[1] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร สกลนคร 47160

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะใช้ประโยชน์จากพื้นที่ว่างของที่อยู่อาศัย มาใช้ทำเป็นตู้เพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลเพื่อไว้ใช้ในการบริโภคภายในครัวเรือน และยังสามารถทำเป็นธุรกิจเล็กๆ เพื่อสร้างรายได้เสริมให้กับครอบครัวได้ จากที่กล่าวมาจึงมีแนวคิดที่จะสร้างตู้เครื่องเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิล โดยมีการออกแบบให้มีโครงสร้างที่สามารถถอดประกอบได้ ซึ่งจะนำไข่ปลานิลมาทำการทดลองเพาะฟัก และต้องการควบคุมอุณหภูมิของน้ำภายในตู้ที่ 30 ℃ ซึ่งมีการควบคุมทำงานด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการปรับเพิ่มและลดอุณหภูมิของน้ำภายในตู้ด้วยฮีตเตอร์ จากผลการทดลองสรุปได้ว่าตู้เพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลแบบอัตโนมัติ สามารถควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 28-40 ℃ และมีการกำหนดค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดเพียงค่าเดียว จากการทดลองคือ 30 ℃ จากการทดลองในระยะเวลาการเพาะฟักและมีปริมาณอัตรารอดที่ตู้เพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลแบบอัตโนมัติที่สร้างขึ้น สามารถทำให้อัตรารอดของลูกพันธุ์ปลานิลได้สูงและนอกจากนี้ยังสามารถดูแลรักษาลูกพันธุ์ปลานิลได้อย่างทั่วถึง จากการทดลองผลผลิตของลูกพันธุ์ปลานิลจากตู้เพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลในช่วงนอกฤดูการผลิตเป็นช่วงฤดูหนาวสามารถเพาะฟักได้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 80% ต่อครั้ง เปรียบเทียบจากการเพาะฟักในแต่ละครั้ง

คำสำคัญ: ตู้เพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิล

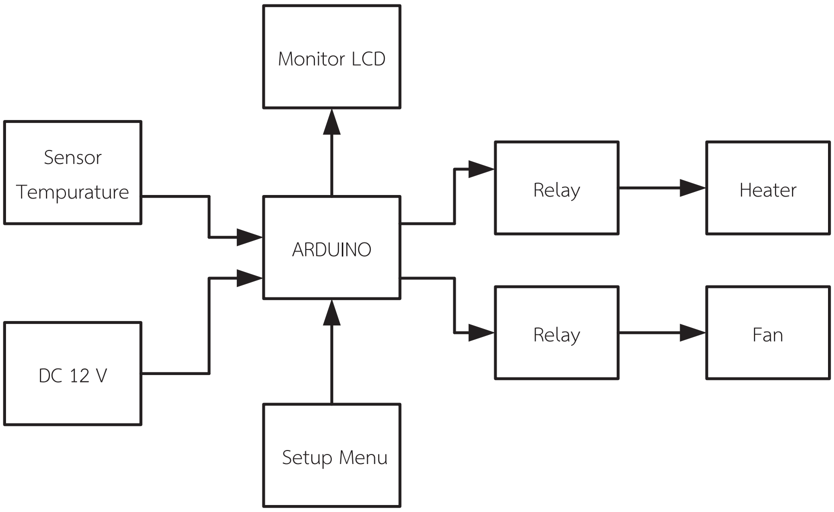
[*]Corresponding author: Tel.: 089-8423143. E-mail address: konggola.ma@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันพบว่าทรัพยากรสัตว์น้ำโดยเฉพาะปลาในแหล่งน้ำธรรมชาติบางพื้นที่ของประเทศไทยมีปริมาณลดลงจากอดีต เนื่องจากปัจจัยหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นการจับปลาเป็นปริมาณมากและจับปลาในช่วงฤดูวางไข่จนไม่ปล่อยให้เกิดการขยายพันธุ์ในช่วงฤดูวางไข จนทำให้ปริมาณปลาในธรรมชาติลดลงจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค และมีการพัฒนาเครื่องมือประมงพื้นบ้านในการจับปลาที่ไม่ปล่อยให้ปลาขนาดเล็กไม่สามารถรอดไปเจริญเติบโตในธรรมชาติต่อได้ เป็นการจับปลาแบบไม่มีการอนุรักษ์ ปัจจัยต่างๆ เป็นสาเหตุที่ทำให้ปลาในธรรมชาติสูญพันธุ์ไป ดังนั้นทางทีมนักวิจัยจึงได้เห็นถึงความสำคัญของการเพิ่มปริมาณการผลิตและขยายพันธุ์ลูกปลา โดยนำไข่ปลามาฟักและส่งต่อไปยังถึงการอนุบาลลูกพันธุ์ปลา ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดที่จะสร้างตู้ฟักไข่ปลาระบบน้ำหมุนเวียนขึ้น เพื่อเพิ่มอัตราในการเพาะฟักลูกพันธุ์ปลา และในตัวอย่างพันธุ์ปลาที่ได้ไข่นำมาทดลองเพาะฟักคือไข่พันธุ์ปลานิล[1] จิตรลดา 3 และจิตรลดา 4 มาเป็นตัวอย่างในการทดลอง โดยตามธรรมชาติอุณหภูมิของน้ำไม่สามารถควบคุมได้เพราะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลต่างๆ จึงได้นำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของน้ำ ทำให้เพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลได้ตลอดฤดูกาล เพื่อตอบสนองความต้องการของเกษตรกรที่ต้องการเลี้ยงปลานิลตลอดทั้งปี ในการเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลนั้นมีด้วยกันอยู่หลายวิธีหลายขั้นตอนในการเพาะฟัก มีทั้งการเพาะฟักในกะชัง การเพาะฟักบ่อดิน การเพาะฟักแบบแท้ง อีกทั้งอย่างหนึ่งการเพาะฟักตามธรรมชาตินั้นมีศัตรูในการเพาะฟักมากหรืออัตรารอดที่น้อยกว่าที่จะเป็น จึงทำให้เกิดปัญหาในการเพาะฟักหรืออัตราการรอด เครื่องเพาะฟักไข่ปลานิลอัตโนมัตินี้สามารถเข้าไปแก้ไขปัญหาในการเพาะฟักหรือเพิ่มอัตรารอดได้ โดยการควบคุมอุณหภูมิของตู้เพาะฟักไข่ปลานิลโดยใช้ระบบการควบคุมที่ทันสมัยในการควบคุมของเครื่องเพาะฟักไข่ปลานิล อีกทั้งยังสามารถดูแลระยะเวลาการเพาะฟักได้ทั่วถึงและยังสามารถเคลื่อนย้ายได้ตามพื้นที่ที่ต้องการอีกด้วย จึงเป็นผลดีต่อเกษตรที่ต้องการเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลเพื่อเลี้ยงเองหรือจำหน่ายลูกพันธุ์ปลานิลสู่ท้องตลาดให้เกษตรที่ต้องการเลี้ยงปลาโดยไม่ต้องพึ่งฤดูกาลในการเพาะฟักเหมือนธรรมชาติ นวัตกรรมนี้คิดค้นทางด้านการเกษตรเพื่อพัฒนาการเพาะฟักหรือเพิ่มอัตรารอดของลูกพันธุ์ปลานิล

วิธีการวิจัยและการออกแบบ

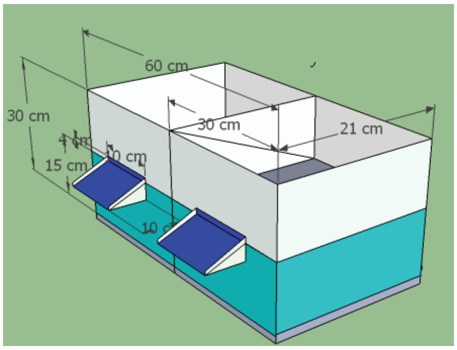
จากทฤษฎีและหลักการเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลสามารถนำ Arduino มาประยุกต์ควบคุมระบบการเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลให้เป็นระบบอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพลดความยุ่งยากในกระบวนการเพาะเลี้ยงของเกษตรกรโดย[8] Arduino[5] จะทำการตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมสำหรับการเพาะฟักในและช่วง[2] โดยระบบการทำงานเป็นดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิ

ลักษณะตู้เพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิล

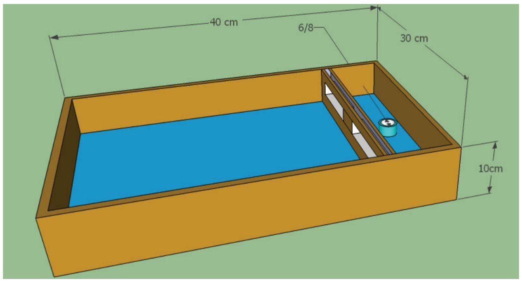
การออกแบบโครงสร้างตู้เพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิล จะสร้างในลักษณะสี่เหลี่ยม ซึ่งจะมีขนาด ความยาว 30 เซนติเมตร ความกว้าง 30 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร ตู้ใส่น้ำได้เท่ากับ 18 ลิตรหรือ 0.018 ลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 2 ลักษณะตู้เพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิล

ลักษณะการวางถาดรองการเพาะฟักในแต่ละช่วง

การออกแบบโครงสร้างถาดรองการเพาะฟักในแต่ละช่วง จะสร้างในลักษณะสี่เหลี่ยม ซึ่งจะมีขนาด ความยาว 40 เซนติเมตร ความกว้าง 30 เซนติเมตร และสูง 10 เซนติเมตร



ภาพที่ 3 ลักษณะถาดรองการเพาะฟัก

การคำนวณหาภาระของการทำความร้อน

การเพิ่มอุณหภูมิให้กับตู้เครื่องเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลนั้น ต้องใช้อุปกรณ์ ในการเพิ่มอุณหภูมิ เพื่อเป็นการทำให้อุณหภูมิเหมาะสมจึงมีการเลือกใช้อุปกรณ์ทำความร้อนให้เหมาะสม

สูตรการหาปริมาณความร้อนในตู้เพาะฟัก

$$Q = mcp\Delta t \qquad (1)$$

เมื่อ

Q คือ ปริมาณความร้อน

m คือ มวล (18,000 g.)

cp คือ ความร้อนจำเพาะ (1 cal./g. $c^{\cdot}$)

Δt คือ ผลต่างของอุณหภูมิ (30 -26) $c^{\cdot}$

แทนค่า

Q = 18,000 g.x1 cal./g. $c^{\cdot}$ x5 $^{\circ}c$

= 90,000 cal.

หาขนาดฮิตเตอร์ทำความร้อน

เมื่อ 1 cal = 4.1868 J.

จะได้เท่ากับ 90,000 cal. x 4.1868 = 376,812 J.

ถ้า 1 W/s = 1 J.

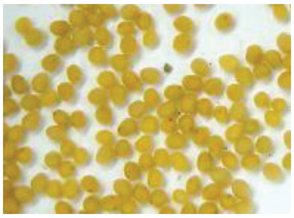
ต้องการเพิ่มอุณหภูมิใน 10 นาที

Power = J/s W. (2)

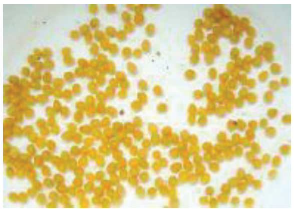
Power =376,812 J / 600 s.

= 628.02 W. ประมาณ 1000 W.

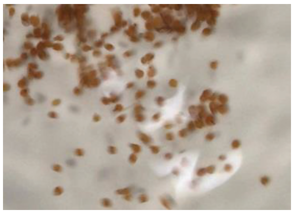
สรุป ดังนั้นเราจะใช้ Heater ขนาด 1,000 W ในการให้ความร้อนตู้เพาะฟักลูกพันธุ์ปลา



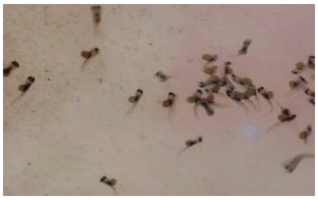
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

(จ)

ภาพที่ 5 การดูพัฒนาการของการเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิล
(ก) ระยะที่ 1 ไข่ที่ได้รับการผสมระยะแรกมีสีเหลืองอ่อน ไม่ปรากฏ จุดตาสีดำ
(ข) ระยะที่ 2 ไข่มีสีเหลืองเข้ม เริ่มสังเกตเห็นจุดตาสีดำ
(ค) ระยะที่ 3 ไข่มีสีเหลืองเข้มออกน้ำตาล สังเกตจุดตาสีดำได้ชัดเจนยิ่งขึ้น
(ง) ระยะที่ 4 ไข่ฟักเป็นตัวแต่ถุงไข่แดงยังไม่ยุบ
(จ) ระยะที่ 5 ไข่ฟักออกเป็นตัวถุงไข่แดงยุบ ลูกปลาว่ายน้ำได้

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยการทดสอบเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิล โดยควบคุมตั้งค่าอุณหภูมิน้ำที่ 30 °C ที่ใช้สำหรับการเพาะฟักในการเพาะฟักลูกพันธุ์ปลาในแต่ละครั้งที่ทำการทดลองมีจำนวนไข่ปลาไม่เท่ากันจึงคิดผลการทดลองออกจำนวนไข่ปลาและจำนวนลูกปลาที่เกิดคิดผลออกเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปัญหาในการทดสอบเก็บไข่ปลาไม่ได้อยู่ในช่วงของฤดูที่ปลาวางไข่ได้เต็มที่ อุณหภูมิเฉลี่ยในรอบการเพาะฟักไข่ปลานิลครั้งที่ 1-8 ใช้เวลาเพาะฟักโดยในแต่ละรอบใช้เวลาในการเพาะฟักรอบละ 7 วัน โดยการนำค่าอุณหภูมิและค่า ph ที่วัดได้ในแต่ละวันมาเฉลี่ยในแต่ละรอบ ซึ่งสังเกตได้ว่าอุณหภูมิภายนอกได้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามวันและเวลาที่ไม่เหมือนกัน ถ้าเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในที่ทำการควบคุมจะสังเกตได้ว่าอุณหภูมิภายในละภายนอกมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน ซึ่งอุณหภูมิภายในนั้นมีการเปลี่ยนแปลงงจากค่าที่ทำการควบคุมเล็กน้อย โดยค่าที่ทำการตั้งจะอยู่ที่ 30 องศา ในการเพาะฟักและค่า ph อยู่ในเกณฑ์อยู่ที่ 7.5 โดยอยู่ระหว่าง 7.0 - 8.0 ของค่า ph ซึ่งค่าอุณหภูมิภายนอกภายในและค่า ph จากการทดลองทั้งหมด จะเห็นว่า เครื่องเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลอัตโนมัติ สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้ จึงทำให้เครื่องเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลสามารถเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลได้ฤดูหนาวที่ไม่มีการเพาะฟัก และมีผลผลิตคุ้มต่อการลงทุน จึงได้ผลการทดลองตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการควบคุมอุณหภูมิภายในถาดเพาะฟักและจำนวนลูกปลาที่เกิด

ครั้งที่	อุณหภูมิภายนอก °C	อุณหภูมิของน้ำภายใน °C		ค่า PH ของน้ำ	ผลผลิตที่ได้จากตู้เพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิล	
		ถาดฟักที่ 1	ถาดฟักที่ 2		จำนวนไข่ปลา (%)	จำนวนการเกิด (%)
1	26.27	30.16	30.2	7.50	100	84
2	26.00	30.16	30.14	7.51	100	90
3	26.40	30.13	30.11	7.50	100	90
4	26.88	30.15	30.10	7.50	100	81.25
5	26.90	30.20	30.18	7.50	100	85.71
6	27.09	30.23	30.30	7.50	100	86.25
7	26.63	30.14	30.14	7.50	100	85
8	27.03	30.21	30.15	7.50	100	88.75

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองทั้งหมด จะเห็นว่า เครื่องเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลอัตโนมัติ สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้ จึงทำให้เครื่องเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลสามารถเพาะฟักลูกพันธุ์ปลานิลได้ฤดูหนาวที่ไม่มีการเพาะฟัก โดยใช้ค่าอุณหภูมิ 30 °C ตามตารางที่เหมาะกับการใช้เพาะฟัก ในระยะเวลา 7 วันต่อรอบ สามารถให้ผลผลิตได้ 80% ของไข่ปลานิลที่นำมาเพาะฟัก ซึ่งภายในจังหวัดสกลนคร ยังไม่สามารถเพาะฟักนอกฤดูกาลได้เนื่องจากอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่ารวดเร็วจึงไม่สามารถเพาะฟัก และมีผลผลิตคุ้มต่อการลงทุน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณกรมประมงน้ำจืด จังหวัดสกลนคร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในด้านข้อมูลและไข่ปลานิล เพื่อใช้ทำการทดสอบตู้เพาะพันธุ์ปลานิล รวมทั้งพนักงานและลูกจ้างในฝ่ายวิจัยปลานิล ที่ให้ข้อมูลในการเก็บไข่เพื่อมาทดสอบจนได้ผลสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมส่งเสริมการเกษตร งานพัฒนาด้านประมง ปศุสัตว์ ป่าไม้ และงานพัฒนาด้านทรัพยกรสัตว์ป่าและพันธุ์พืช. **โครงการฝึกประสบการณ์กรเรียนรู้.** ศูนย์พัฒนาการเกษตรภูสิงห์ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ระหว่าง วันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ.2553 ถึงวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2554.

[2] กฤษดา ใจเย็น และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, **เรียนรู้การเชื่อมต่อ PC กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม**, กรุงเทพฯ:อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์, 2541.

[3] วรวธ วงษ์ซัน. **เครื่องรดน้ำต้นไม้สวนอัตโนมัติควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตร่มเกล้า. 2552.

[4] สุธิกานต์ วงษ์เสถียร. **เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ.** บริษัทสกายบุ๊กส์จำกัด.2548.

[5] เอกชัย มะการ. **Arduino**. บริษัทอีทีทีจำกัด. 2552.

[6] Agricultural and Food Engineering. **Freezing and Cold Storage.** [Online]. Available : http://eng.sut.ac.th/ae/engsut/content/freezing-and-cold-storage.Suranaree University of Technology.2010.

[7] SE Ubu. **kar-pheaa-pla-nil**. [Online]. Available : https://sites.google.com/site/tanapoomubu/ngan-dan.../kar-pheaa-pla-nil. 2554.

[8] Thaieasyelec. **โครงสร้างโดยทั่วไปของ LCD**. [Online]. Available : http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/การใช้งาน-character-lcd-display-กับ-arduino-ตอนที่1-รูปแบบการเชื่อต่อแบบ-parallel.html. 2556.

ผลกระทบของใบสับปะรดต่อคุณสมบัติของแผ่นยิปซัม

Effect of Pineapple Leaves on Gypsum Properties

สุนันทศักดิ์ ระวังวงศ์[1*] วราภรณ์ นิสสภา[1] อนุรักษ์ เกษวัฒนากุล[2] ชัยนุสนธ์ เกษตรพงศ์ศาล[3] และจุมพล ขอบขำ[4]

[1] สาขาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 76000

[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 76000

[3] หน่วยวิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน (REERCU) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี 84100

[4]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี 10160

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นยิปซัมที่มีใบสับปะรดเป็นวัตุดิบหลัก ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างปูนยิปซัมกับใบสับปะรดแตกต่างกัน โดยแบ่งอัตราส่วนระหว่างปูนยิปซัมกับใบสับปะรดออกเป็น 6 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 1 (100:0) สูตรที่ 2 (95:5) สูตรที่ 3 (90:10) สูตรที่ 4 (85:15) สูตรที่ 5 (80:20) และสูตรที่ 6 (75:25) โดยแผ่นยิปซัมที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ ในขั้นตอนการผลิตใช้น้ำหนักของส่วนผสมของปูนยิปซัมกับใบสับปะรดรวม 2,400 กรัม โดยนำปูนยิปซัมผสมกับใบสับปะรด แล้วเติมน้ำปริมาตร 1,700 ลูกบาศก์เซนติเมตรเท่ากันทุกอัตราส่วน โดยขนาดของแผ่นยิปซัม กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 600 x 600 x 9 มิลลิเมตร แล้วนำมาทดสอบการดูดซึมน้ำ ปริมาณความชื้น การพองตัวทางความหนา โยนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับแผ่นยิปซัมมาตรฐาน จากผลการศึกษา พบว่าใบสับปะรดสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตแผ่นยิปซัมได้ ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับแผ่นยิปซัมมาตรฐาน ได้แก่ การดูดซึมน้ำ ปริมาณความชื้น และการพองตัวทางความหนา จากการเปรียบเทียบแผ่นยิปซัมทั้ง 6 สูตร พบว่า การดูดซึมน้ำและการพองตัวทางความหนาของแผ่นยิปซัมสูตรที่ 2 และปริมาณความชื้นสูตรที่ 4 มีค่าใกล้เคียงกับแผ่นยิปซัมมาตรฐานมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 3.90 0.12 และ 1.40 ตามลำดับ ดังนั้นแผ่นยิปซัมที่มีใบสับปะรดเป็นวัตถุดิบหลักจึงสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างและทดแทนแผ่นยิปซัมจากแร่ใยหินได้

คำสำคัญ: ใบสับปะรด แผ่นฝ้าเพดาน แผ่นยิปซัม

*Corresponding author: Tel.: 032-493266. E-mail address: sunantasak.rav@mail.pbru.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันเนื่องจากปัญหาสิ่งแวดล้อมทำให้โลกมีการเปลี่ยนแปลงและส่งผลกระทบโดยตรงต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น ปัญหาสภาวะโลกร้อน ปัญหามลพิษทางอากาศ ซึ่งปัญหาเหล่านี้มีต้นเหตุมาจากมนุษย์ทั้งสิ้น ทำให้สภาพอากาศบนโลกนั้นเปลี่ยนแปลงไป อุณหภูมิของโลกในแต่ละวันนั้นก็สูงขึ้นตามไปด้วย ในชีวิตประจำวันผู้คนส่วนใหญ่ใช้ชีวิตอยู่ตามอาคารบ้านเรือน ฝ้าเพดานจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการป้องกันความร้อนและทำให้บ้านดูสวยงามขึ้นโดยฝ้าเพดานที่นิยมใช้กันมากคือ ฝ้าเพดานที่ทำจากแผ่นยิปซัมผสมแร่ใยหิน แต่ฝ้าเพดานที่ทำจากแผ่นยิปซัมผสมแร่ใยหินมีราคาค่อนข้างแพงและแร่ใยหินเป็นวัสดุที่ค่อนข้างอันตรายส่งผลกระทบต่อระบบหายใจ ดังนั้นจึงควรหาวัสดุอื่นที่มีราคาถูกกว่าและมีความปลอดภัยมากกว่าและสามารถทดแทนแผ่นยิปซัมที่ผสมแร่ใยหินได้

จังหวัดเพชรบุรีมีการปลูกสับปะรดเป็นจำนวนมากหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะมีส่วนที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต คือ ใบสับปะรด ทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ เนื่องจากใบสับปะรดที่ฟันทิ้งจะเกิดการทับถมกันทำให้เกิดการเน่าเสีย ซึ่งมีผลกระทบต่อแปลงเพาะปลูกสับปะรด เสียค่าใช้จ่ายในการไถกลบและส่งกลิ่นเหม็นทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ

ผู้วิจัยจึงได้นำปัญหาดังกล่าวมาแก้ปัญหาโดยการนำวัสดุที่เหลือทิ้งจากการเกษตรมาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเพิ่มมูลค่าของใบสับปะรดให้มากขึ้น จากลักษณะของใบสับปะรดที่มีคุณสมบัติที่ค่อนข้างเหนียว ยืดหยุ่นง่าย เป็นรูพรุนและไม่เป็นอันตราย จึงได้ทำการศึกษาวิจัยทดลองผสมกับปูนยิปซัมเพื่อผลิตเป็นแผ่นยิปซัมที่ใช้สำหรับเป็นฝ้าเพดานเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ที่ใช้ในงานก่อสร้างที่มีความปลอดภัย แข็งแรง ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อแผ่นยิปซัมตามท้องตลาด ลดปริมาณใบสับปะรดในแปลงเพาะปลูกและที่สำคัญยังเป็นการป้องกันรักษาสิ่งแวดล้อมไม่ให้เกิดมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการทับถมของใบสับปะรดจนเน่าเสีย อีกทั้งยังเป็นทางเลือกใหม่ที่จะทำให้อุตสาหกรรมการผลิตแผ่นยิปซัมมีคุณค่าและเป็นประโยชน์ในการเลือกใช้สอยงานก่อสร้างที่มากขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย ซึ่งวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ ผลิตแผ่นยิปซัมโดยนำใบสับปะรดมาเป็นวัตถุดิบหลักและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมใบสับปะรด

1.1 นำใบสับปะรดมาล้างน้ำให้สะอาด แล้วนำไปหั่นเป็นชิ้น ยาวประมาณ 1 นิ้ว

1.2 นำใบสับปะรดไปปั่นในเครื่องปั่นใบสับปะรดจนละเอียด

1.3 นำใบสับปะรดที่ปั่นละเอียดแล้วไปตากแดดประมาณ 7 วัน เพื่อให้แห้งสนิท

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของปูนยิปซัมกับใบสับปะรด

2.1 ในการศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของปูนยิปซัมกับใบสับปะรดนั้น จะใช้น้ำหนักส่วนผสมของปูนยิปซัมกับใบสับปะรดรวม 2,400 กรัม โดยนำปูนยิปซัมผสมกับใบสับปะรดในอัตราส่วนดังนี้ คือ 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20 และ 75:25 โดยทุกอัตราส่วนเติมน้ำปริมาตร 1,700 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพราะเป็นปริมาตรที่ทำให้ของผสมระหว่างปูนยิปซัมกับใบสับปะรดและน้ำมีความข้นเหลวที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นแผ่นยิปซัม

2.2 จากนั้นนำของผสมระหว่างปูนยิปซัมกับใบสับปะรดและน้ำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นยิปซัมขนาดกว้าง × ยาว × หนา เท่ากับ 600 × 600 × 9 มิลลิเมตร

2.3 นำไปตากแดดประมาณ 10 วัน รอจนแผ่นยิปซัมแห้งสนิท

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นยิปซัมที่ใช้ใบสับปะรดเป็น วัตถุดิบหลัก

3.1 ทดสอบการดูดซึมน้ำ

3.2 ทดสอบหาปริมาณความชื้น

3.3 ทดสอบการพองตัวทางความหนา

ขั้นตอนที่ 4 เปรียบเทียบแผ่นยิปซัมที่ใช้ใบสับปะรดเป็นวัตถุดิบหลักกับแผ่นยิปซัมมาตรฐาน (แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดธรรมดา ขนาด 600 × 600 × 9 มิลลิเมตร)

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

1. การดูดซึมน้ำ

ตัดแผ่นทดสอบจำนวน 3 แผ่น ขนาด 150 มิลลิเมตร × 150 มิลลิเมตร จากแผ่นยิปซัมแต่ละสูตรวางแผ่นทดสอบไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 23±2 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการทดสอบทันทีหรือภายใน 10 นาที หลังจากนำแผ่นทดสอบออกจากตู้อบ ชั่งน้ำหนักแผ่นทดสอบ จากนั้นแช่แผ่นทดสอบลงในภาชนะที่ใส่น้ำสะอาด โดยให้ระดับน้ำท่วมเหนือผิวหน้าของแผ่นทดสอบ 25-35 มิลลิเมตร การวางแผ่นทดสอบให้วางในแนวนอน แต่อย่าให้แผ่นทดสอบสัมผัสกับส่วนล่างของภาชนะเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ±2 นาที แล้วนำแผ่นทดสอบออกจากภาชนะและเช็ดน้ำส่วนเกินออกจากผิวหน้าและขอบของแผ่นทดสอบ ชั่งน้ำหนักแผ่นทดสอบทันที คำนวณหาร้อยละการดูดซึมน้ำ

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1}\right) \times 100 \qquad (1)$$

m_1 = น้ำหนักของแผ่นทดสอบก่อนแช่น้ำ (กรัม)

m_2 = น้ำหนักของแผ่นทดสอบหลังแช่น้ำ (กรัม)

2. การหาค่าปริมาณความชื้น

ตัดแผ่นทดสอบ 3 แผ่น ขนาด 150 มิลลิเมตร × 150 มิลลิเมตร จากแผ่นยิปซัมแต่ละสูตร นำแผ่นทดสอบมาชั่งน้ำหนักก่อนอบอย่างละเอียด หลังจากนั้นนำแผ่นทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ 103±2 องศาเซลเซียส ประมาณ 24 ชั่วโมง นำแผ่นทดสอบที่ผ่านการอบทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักของแผ่นทดสอบหลังอบ คำนวณหาร้อยละปริมาณความชื้น

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2}\right) \times 100 \qquad (2)$$

m_1 = น้ำหนักของแผ่นทดสอบก่อนอบ (กรัม)

m_2 = น้ำหนักของแผ่นทดสอบหลังอบ (กรัม)

3. **การพองตัวทางความหนา**

ตัดแผ่นทดสอบ 3 แผ่น ขนาด 150 มิลลิเมตร × 150 มิลลิเมตร จากแผ่นยิปซัมแต่ละสูตร ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนา วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 4 ตำแหน่งแล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ หลังจากนั้นนำไปแช่ในภาชนะที่ใส่น้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้องโดยวางแผ่นทดสอบในแนวนอนโดยให้ระดับน้ำท่วมเหนือผิวหน้าของ แผ่นทดสอบและอย่าให้แผ่นทดสอบสัมผัสกับส่วนล่างของภาชนะ เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ±2 นาที หลังจากนั้นรีบนำแผ่นทดสอบมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยวางไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระจกเป็นระยะเวลาอีก 1 ชั่วโมง ±2 นาที นำแผ่นทดสอบมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ คำนวณหาร้อยละการพองตัวทางความหนา

$$\text{ร้อยละการพองตัวทางความหนา} = \left(\frac{t_2 - t_1}{t_1}\right) \times 100 \qquad (3)$$

t_1 = ความหนาของแผ่นทดสอบก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

t_2 = ความหนาของแผ่นทดสอบหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ในงานวิจัยนี้ ใช้ใบสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียที่มาจากจังหวัดเพชรบุรี

การเก็บรวบรวมข้อมูล

บันทึกคุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะด้านของแผ่นยิปซัมจากใบสับปะรด ได้แก่ การดูดซึมน้ำ ปริมาณความชื้น การพองตัวทางความหนา

สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)

$$\overline{X} = \frac{\sum Xi}{n} \qquad (4)$$

เมื่อ $\overline{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

$\sum Xi$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

n แทน ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยเรื่อง การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นยิปซัมที่ใช้ใบสับปะรดเป็นวัตถุดิบหลัก โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นยิปซัมเพื่อใช้ในการก่อสร้างและใช้ตกแต่งอาคารในงานสถาปัตยกรรม ได้ทำการทดสอบนำข้อมูลที่ได้มาศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพกับแผ่นยิปซัมมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จากการวิจัยนี้จะอยู่ในรูปของค่าเฉลี่ยจากผลการทดสอบของแผ่นทดสอบ 3 ชิ้น ผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ แสดงได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

แผ่นยิปซัมมาตรฐาน

แผ่นยิปซัมมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในงานวิจัยนี้เป็นแผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดธรรมดา ขนาด 9 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นชนิดที่นิยมใช้ในท้องตลาดมากที่สุด แผ่นยิปซัมมาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิงจำเป็นต้องศึกษาค่าคุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับแผ่นยิปซัมที่ใช้ใบสับปะรดเป็นวัสดุผสม

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านต่าง ๆ ของแผ่นยิปซัมนั้น มีวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นยิปซัมที่ใช้ใบสับปะรดเป็นวัสดุผสมซึ่งการทดสอบจะใช้แผ่นทดสอบจากแผ่นยิปซัมมาตรฐานจำนวน 3 แผ่น สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ 1 คุณสมบัติ โดยวิจัยเล่มนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะด้านของแผ่นยิปซัม ได้แก่ การดูดซึมน้ำ การหาค่าปริมาณความชื้น และการพองตัวทางความหนาผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นยิปซัมมาตรฐานแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นยิปซัมมาตรฐาน

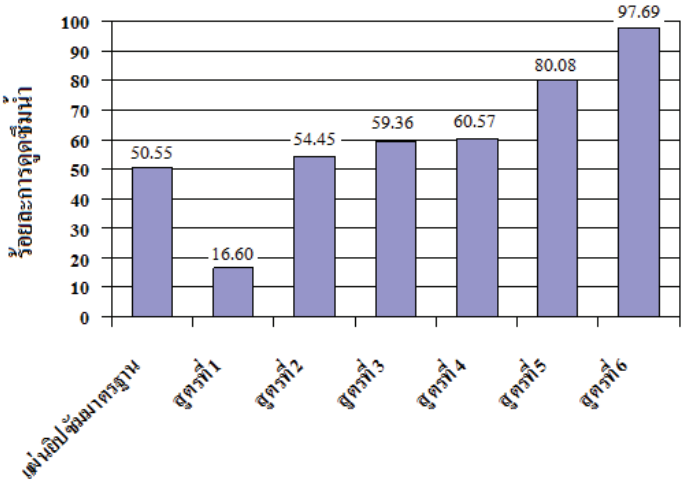
คุณสมบัติทางกายภาพ	การดูดซึมน้ำ
การดูดซึมน้ำ	ร้อยละ 50.55
ปริมาณความชื้น	ร้อยละ 9.50
การพองตัวทางความหนา	ร้อยละ 4.40

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพการดูดซึมน้ำ

สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบแต่ละสูตร ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

แผ่นทดสอบ	การดูดซึมน้ำ
แผ่นยิปซัมมาตรฐาน	ร้อยละ 50.55
สูตรที่ 1 (100 : 0)	ร้อยละ 16.60
สูตรที่ 2 (95 : 5)	ร้อยละ 54.45
สูตรที่ 3 (90 : 10)	ร้อยละ 59.36
สูตรที่ 4 (85 : 15)	ร้อยละ 60.57
สูตรที่ 5 (80 : 20)	ร้อยละ 80.08
สูตรที่ 6 (75 : 25)	ร้อยละ 97.69



ภาพที่ 1 การดูดซึมน้ำเฉลี่ยของแผ่นทดสอบแต่ละสูตร\

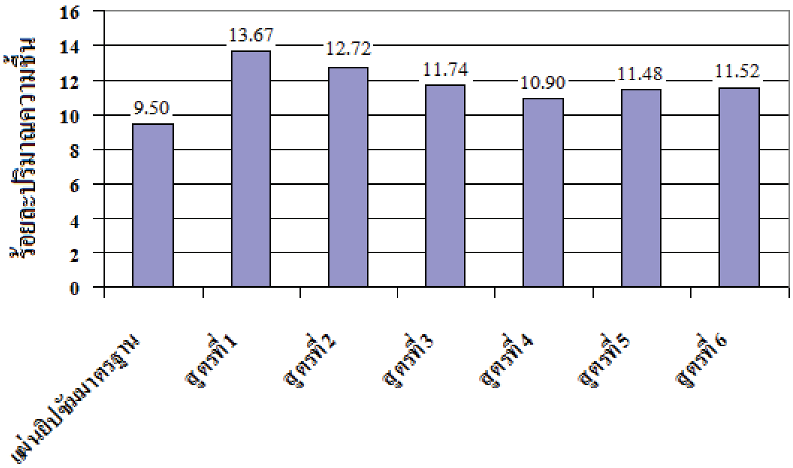
จากภาพที่ 1 แสดงผลการทดสอบการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของแผ่นทดสอบแต่ละสูตรที่มีอัตราส่วนของปริมาณปูนยิปซัมและใบสับปะรดแตกต่างกัน พบว่า สูตรที่ 1 (100:0) มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 16.60 รองลงมาคือ สูตรที่ 2 (95:5) มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ คือ ร้อยละ 54.45 สูตรที่ 3 (90:10) มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ คือ ร้อยละ 59.36 สูตรที่ 4 (85:15) มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ คือ ร้อยละ 60.57 สูตรที่ 5 (80:20) มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ คือ ร้อยละ 80.08 และสูตรที่ 6 (75:25) มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ คือ ร้อยละ 97.69 เมื่อพิจารณาโครงสร้างของแผ่นทดสอบของสูตรที่ 1 กับสูตรอื่น ๆ ที่มีใบสับปะรดผสม พบว่า สูตรที่ 1 ลักษณะแผ่นทดสอบจะแตกร้าวง่ายและปูนยิปซัมจะละลายเมื่อแช่น้ำ ดังนั้น สูตรที่ 1 จึงไม่ใช่สูตรที่ดีที่สุด หลังจากนั้นพิจารณาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบที่เหลือ คือ สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 สูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 กับแผ่นยิปซัมมาตรฐาน พบว่า ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นทดสอบสูตรที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกับแผ่นยิปซัมมาตรฐานมากที่สุดโดยมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำมากกว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นยิปซัมมาตรฐานอยู่ 3.90 ดังนั้น แผ่นยิปซัมสูตรที่ 2 ซึ่งมีอัตราส่วนของปูนยิปซัมต่อใบสับปะรด คือ 95:5 เป็นสูตรที่ดีที่สุดในการทดสอบการดูดซึมน้ำ

การหาค่าปริมาณความชื้น

สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดสอบการหาค่าปริมาณความชื้นของแผ่นทดสอบแต่ละสูตร ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการหาค่าปริมาณความชื้น

แผ่นทดสอบ	**ปริมาณความชื้น**
แผ่นยิปซัมมาตรฐาน	ร้อยละ 9.50
สูตรที่ 1 (100 : 0)	ร้อยละ 13.67
สูตรที่ 2 (95 : 5)	ร้อยละ 12.72
สูตรที่ 3 (90 : 10)	ร้อยละ 11.74
สูตรที่ 4 (85 : 15)	ร้อยละ 10.90
สูตรที่ 5 (80 : 20)	ร้อยละ 11.48
สูตรที่ 6 (75 : 25)	ร้อยละ 11.52



ภาพที่ 2 ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแผ่นทดสอบแต่ละสูตร

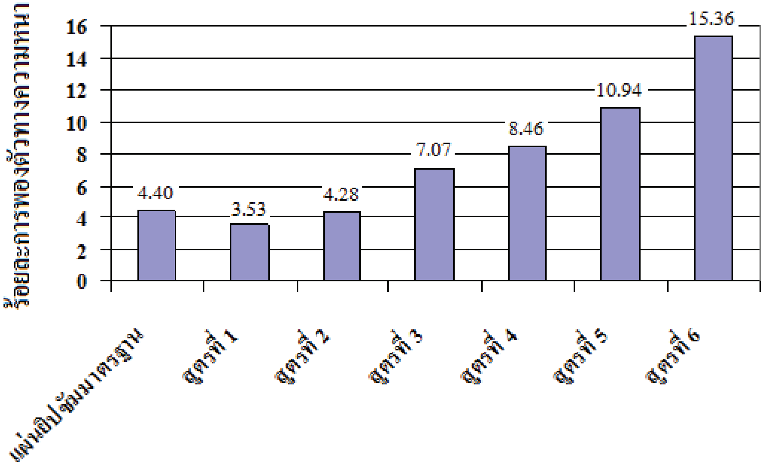
จากภาพที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแผ่นทดสอบแต่ละสูตรที่มีอัตราส่วนของปริมาณปูนยิปซัมและใบสับปะรดแตกต่างกัน พบว่า สูตรที่ 4 (85:15) มีค่าร้อยละปริมาณความชื้นน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 10.90 รองลงมาคือ สูตรที่ 5 (80:20) มีค่าร้อยละปริมาณความชื้น คือ ร้อยละ 11.48 สูตรที่ 6 (75:25) มีค่าร้อยละปริมาณความชื้น คือ ร้อยละ 11.52สูตรที่ 3 (90:10) มีค่าร้อยละปริมาณความชื้น คือ ร้อยละ 11.74 สูตรที่ 2 (95:5) มีค่าร้อยละ ปริมาณความชื้น คือ ร้อยละ 12.72 และสูตรที่ 1 (100:0) มีค่าร้อยละปริมาณความชื้น คือ ร้อยละ 13.67 จากผลการทดสอบ พบว่า การใช้ใบสับปะรดเป็นวัสดุผสมในแผ่นยิปซัมทำให้ค่าร้อยละปริมาณความชื้นของแผ่นยิปซัมลดลง เนื่องจากโครงสร้างของใบสับปะรดมีความเป็นรูพรุนเมื่อผสมปูนยิปซัมกับใบสับปะรดเข้าด้วยกัน ปูนยิปซัมจะเข้าจับบริเวณช่องว่างของใบสับปะรดแล้วก็แข็งตัว ส่วนที่เป็นของเหลวในปูนยิปซัมก็จะระเหยสู่อากาศทำให้ความชื้นภายในแผ่นยิปซัมลดลงซึ่งผลการทดสอบปริมาณความชื้น อัตราส่วนของปริมาณปูนยิปซัมและใบสับปะรดที่ดีที่สุดคือ สูตรที่ 4 (85:15) มีค่าร้อยละปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับค่าร้อยละปริมาณความชื้นของ แผ่นยิปซัมมาตรฐานมากที่สุดโดยมีค่าร้อยละปริมาณความชื้นมากกว่าค่าร้อยละปริมาณความชื้นของแผ่นยิปซัมมาตรฐานอยู่ 1.40 ดังนั้น แผ่นยิปซัมสูตรที่ 4 ซึ่งมีอัตราส่วนของปูนยิปซัมต่อใบสับปะรด คือ 85:15 เป็นสูตรที่ดีที่สุดในการทดสอบการหาค่าปริมาณความชื้น

3. การพองตัวทางความหนา

สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดสอบการพองตัวทางความหนาของแผ่นทดสอบแต่ละสูตร
ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการพองตัวทางความหนา

แผ่นทดสอบ	การพองตัวทางความหนา
แผ่นยิปซัมมาตรฐาน	ร้อยละ 4.40
สูตรที่ 1 (100 : 0)	ร้อยละ 3.53
สูตรที่ 2 (95 : 5)	ร้อยละ 4.28
สูตรที่ 3 (90 : 10)	ร้อยละ 7.07
สูตรที่ 4 (85 : 15)	ร้อยละ 8.46
สูตรที่ 5 (80 : 20)	ร้อยละ 10.94
สูตรที่ 6 (75 : 25)	ร้อยละ 15.36



ภาพที่ 3 การพองตัวทางความหนาเฉลี่ยของแผ่นทดสอบแต่ละสูตร

จากภาพที่ 3 แสดงผลการทดสอบการพองตัวทางความหนาเฉลี่ยของแผ่นทดสอบแต่ละสูตรที่มีอัตราส่วนของปริมาณปูนยิปซัมและใบสับปะรดแตกต่างกัน พบว่า สูตรที่ 1 (100:0) มีค่าร้อยละการพองตัวทางความหนาน้อยที่สุด คือ ร้อยละ 3.53 รองลงมาคือ สูตรที่ 2 (95:5) มีค่าร้อยละการพองตัวทางความหนา คือ ร้อยละ 4.28 สูตรที่ 3 (90:10) มีค่าร้อยละการพองตัวทางความหนา คือ ร้อยละ 7.07 สูตรที่ 4 (85:15) มีค่าร้อยละการพองตัวทางความหนา คือร้อยละ 8.46 สูตรที่ 5 (80:20) มีค่าร้อยละการพองตัวทางความหนา คือ ร้อยละ 10.94 และสูตรที่ 6 (75:25) มีค่าร้อยละการพองตัวทางความหนา คือ ร้อยละ 15.36 แต่สูตรที่ 1 ลักษณะแผ่นทดสอบจะแตกร้าวง่ายและปูนยิปซัมจะละลายเมื่อแช่น้ำ ดังนั้น สูตรที่ 1 จึงไม่ใช่สูตรที่ดีที่สุด หลังจากนั้นพิจารณาค่าร้อยละการพองตัวทางความหนาของแผ่นทดสอบที่เหลือ คือ สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 สูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 กับแผ่นยิปซัมมาตรฐาน พบว่า ค่าร้อยละการพองตัวทางความหนาของแผ่นทดสอบสูตรที่ 2 ดีกว่าค่าร้อยละการพองตัวทางความหนาของแผ่นยิปซัมมาตรฐาน ซึ่งมีค่าร้อยละการพองตัวทางความหนาน้อยกว่าค่าร้อยละการพองตัวทางความหนาของแผ่นยิปซัมมาตรฐานอยู่ 0.12 ดังนั้น แผ่นยิปซัมสูตรที่ 2 ซึ่งมีอัตราส่วนของปูนยิปซัมต่อใบสับปะรด คือ 95:5 เป็นสูตรที่ดีที่สุดในการทดสอบการพองตัวทางความหนา

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นยิปซัมที่ใช้ใบสับปะรดเป็นวัสดุผสมในแต่ละสูตร ที่มีอัตราส่วนของใบสับปะรดและปูนยิปซัมแตกต่างกัน นำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นยิปซัมมาตรฐาน ผลการทดสอบสรุปได้ว่า แผ่นยิปซัมสูตรที่ 2 ซึ่งมีอัตราส่วนของปูนยิปซัมต่อใบสับปะรด คือ 95:5 เป็นสูตรที่ดีที่สุด ซึ่งมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำมากกว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นยิปซัมมาตรฐานอยู่ 3.90

การหาค่าปริมาณความชื้นของแผ่นยิปซัมที่ใช้ใบสับปะรดเป็นวัสดุผสมในแต่ละสูตรที่มีอัตราส่วนของใบสับปะรดและปูนยิปซัมแตกต่างกัน นำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าปริมาณความชื้นของแผ่นยิปซัมมาตรฐาน ผลการทดสอบสรุปได้ว่า แผ่นยิปซัมสูตรที่ 4 ซึ่งมีอัตราส่วนของปูนยิปซัมและใบสับปะรด คือ 85:15 เป็นสูตรที่ดีที่สุด ซึ่งมีค่าร้อยละปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับค่าร้อยละปริมาณความชื้นของแผ่นยิปซัมมาตรฐานมากที่สุดโดยมีค่าร้อยละปริมาณความชื้นมากกว่าค่าร้อยละปริมาณความชื้นของแผ่นยิปซัมมาตรฐานอยู่ 1.40

การพองตัวทางความหนาของแผ่นยิปซัมที่ใช้ใบสับปะรดเป็นวัสดุผสมในแต่ละสูตรที่มีอัตราส่วนของใบสับปะรดและปูนยิปซัมแตกต่างกัน นำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าการพองตัวทางความหนาของแผ่นยิปซัมมาตรฐาน ผลการทดสอบสรุปได้ว่า แผ่นยิปซัมสูตรที่ 2 ซึ่งมีอัตราส่วนของปูนยิปซัมต่อใบสับปะรด คือ 95:5 เป็นสูตรที่ดีที่สุด ซึ่งมีค่าร้อยละการพองตัว ทางความหนาน้อยกว่าค่าร้อยละการพองตัวทางความหนาของแผ่นยิปซัมมาตรฐานอยู่ 0.12

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนางสาวชนิดา ศรีสาคร และนายสืบศักดิ์ ลีลาอัมพรสิน นักวิทยาศาสตร์ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้คำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] เกศิณี ระมิงค์วงศ์. (2528). **ไม้ผลเมืองร้อน.** เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[2] กองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, สำนักงาน. (2554). **ภัยร้ายจากแร่ใยหิน ไม่ใช่ตัวคุณ.** ค้นเมื่อ กันยายน 9, 2554, จาก http://oshthai.org/...html

[3] กองเศรษฐธรณีวิทยา. (2543). **แหล่งแร่ยิปซัมของไทย.** กรุงเทพฯ : กรมทรัพยากรธรณี

[4] จินดารัฐ วีระวุฒิ. (2541). **สับปะรดและสรีรวิทยาการเจริญเติบโตของสับปะรด.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[5] นันทยา เก่งเขตร์กิจ. (2547). **งานวิจัยเรื่องการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิสไตรรีนด้วยเส้นใยจากใบสับปะรด.** เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[6] นิศากร เจริญดี. (2542). **งานวิจัยเรื่องการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากผักตบชวา.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยมหิดล

[7] ประยูร สุรินทร์. (2544). **งานวิจัยเรื่องการศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติของแผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อย.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[8] ปิติศานต์ กร้ำมาตร, มณเธียร โอทองคำ และสุจิระ ขอจิตต์เมตต์. (2552). **งานวิจัยเรื่องการใช้เศษฝุ่นฝ้ายเป็นวัสดุผสมในแผ่นยิปซัม.** ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[9] พัฒนะ โสภณ. (2550). **งานวิจัยเรื่องการศึกษาการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากใบหญ้าสลาบหลวง.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

PE
008

เกษตรอัจฉริยะอย่างง่ายสำหรับชุมชน
Simple Smart Farming for the Community

เริงวุฒิ ชูเมือง[1] เกียรติศักดิ์ เส้งช่วย[2] นันทพันธ์ นภัทรานันทน์[1] กฤษฎา พัชรสิทธิ์[3] และธารทิพย์ สิทธิรักษ์[1*]
[1] สาขาวิชาเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง 93210
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110
[3] สาขาวิชาวิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง 93210

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้นำเสนอการออกแบบระบบเกษตรอัจฉริยะอย่างง่าย โดยการนำเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว ตัวส่งกำลัง (actuator) และเซนเซอร์ (sensor) ชนิดต่างๆ มาประยุกต์ใช้งานกับการเกษตร เพื่อลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานและการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร การประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์หลายๆ ชนิดจึงเป็นที่มาของระบบอัจฉริยะอย่างง่ายที่สามารถประมวลผลและควบคุมระบบการจ่ายน้ำแบบอัตโนมัติ ระบบเกษตรอัจฉริยะอย่างง่ายประกอบด้วย แหล่งสร้างพลังงานจากโซลาร์เซลล์ เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน เซนเซอร์วัดความชื้นในอากาศ และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ สุดท้ายเป็นส่วนควบคุมการจ่ายน้ำประกอบด้วยการควบคุมปริมาณและอัตราการไหลของน้ำที่จ่ายให้กับแปลงสาธิต ระบบเกษตรอัจฉริยะอย่างง่ายทำงานด้วยการนำข้อมูลจากเซนเซอร์ทั้งหมดที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ ประมวลผล และตัดสินใจด้วยตัวควบคุมการจ่ายน้ำให้กับแปลงสาธิตที่เหมาะสม โดยการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่ได้รับจากพลังงานจากแสงอาทิตย์

คำสำคัญ: เกษตรอัจฉริยะอย่างง่าย เซนเซอร์ ตัวส่งกำลัง ระบบควบคุม

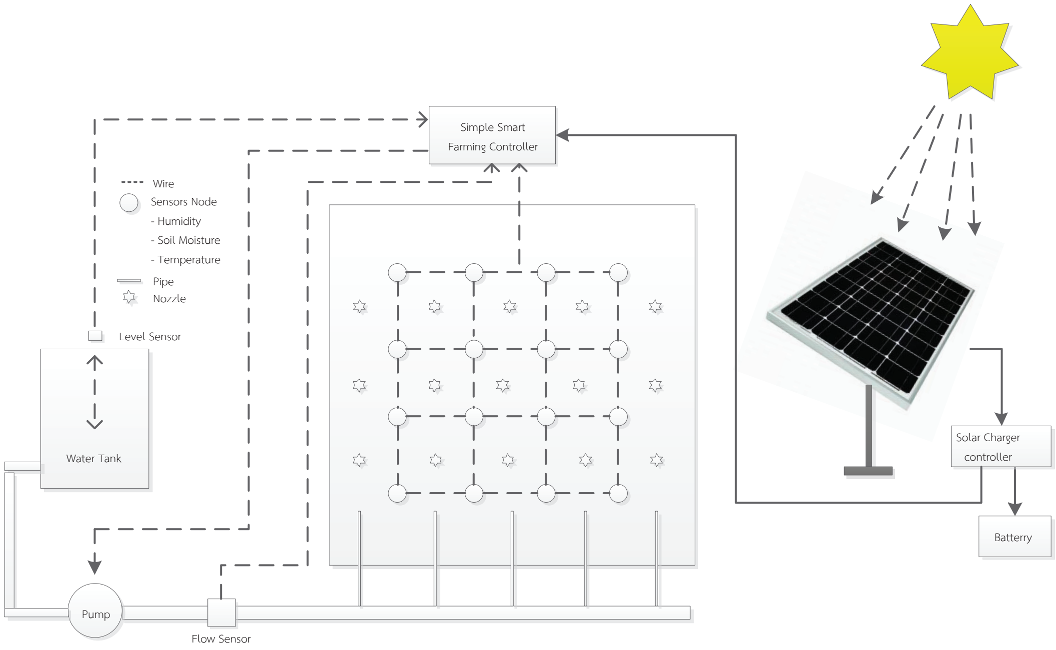
[*] Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: thantip.s@hotmail.com

บทนำ

ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นแหล่งวัตถุดิบและผลิตผลทางการเกษตรที่หลากหลายที่สามารถพัฒนาเข้าสู่อุตสาหกรรมอาหารเพื่อการส่งออกและจำหน่ายในประเทศได้อย่างต่อเนื่อง [1] ทั้งนี้ประชากรส่วนใหญ่มีความชำนาญด้านเกษตรกรรมส่งผลให้สินค้าภาคการเกษตรสร้างรายได้ให้แก่ประเทศไทยเป็นหลัก โดยข้อมูลทางเศรษฐกิจพบว่ามูลค่าการส่งออกภาคเกษตรและมูลค่าการส่งออกอาหาร คิดเป็นร้อยละไม่เกิน 4 ของมูลค่าส่งออกอาหารโลก อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยด้านการผลิตจะพบว่า แม้ประเทศไทยจะมีพื้นที่เพื่อการเกษตรสูง แต่ทว่าผลผลิตที่ได้รับค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องส่งเสริมให้เกิดผลผลิตทางการเกษตรของประเทศ ทั้งนี้การเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ของการเพาะปลูก สภาพแวดล้อม ควบคู่ไปกับการนำเทคโนโลยีมาช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในภาคการเกษตร นอกจากนี้สถานการณ์แรงงานในประเทศ ที่แรงงานในภาคเกษตรลดลง คนมีอายุมากขึ้นแต่ยังอยู่ในภาคเกษตร คนรุ่นใหม่สนใจภาคเกษตรน้อยลง [2] แต่มนุษย์มียังจำเป็นในการบริโภคสินค้าการเกษตรเพื่อการยังชีพ ทำให้ภาคเกษตรเริ่มมีการปรับตัวโดยการนำเทคโนโลยีเข้ามาปรับปรุงการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการจัดการและควบคุมสิ่งแวดล้อมเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรเป็นอย่างมาก เนื่องจากการจัดการข้อมูลทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพจะส่งผลต่อการควบคุมต้นทุนและคุณภาพของผลผลิต อาทิเช่น การใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อบันทึกสถิติการเติบโตของพืชที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม [3-4] โดยเฉพาะการจัดการระบบน้ำที่ถือเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญที่สุดในการเกษตร ระบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการเกษตรเป็นการนำหลักของเทคโนโลยีทางอิเล็กทรอนิกส์ การควบคุมอัตโนมัติ (Automation Control) มาประยุกต์ใช้กับการเกษตรกรรม [5] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดการข้อมูลทางการเกษตรและควบคุมสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมภาคการเกษตร

ดังนั้นบทความวิชาการนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเสนอการออกแบบเกษตรอัจฉริยะ ซึ่งเป็นการทำการเกษตรแบบใหม่ที่มีการนำเทคโนโลยีหรือเครื่องจักรที่มีความแม่นยำสูงเข้ามาช่วยในการทำงาน มีเป้าหมายเพื่อผลผลิตที่ได้คุณภาพ แนวคิดการทำเกษตรอัจฉริยะ [1-2] เป็นการทำการเกษตรที่เข้ากับสภาพพื้นที่โดยเน้นพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นที่เกษตรขนาดใหญ่ แต่เน้นประสิทธิภาพในการเพาะปลูก ที่นำเอาเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการตรวจวัดทั้งเรื่องของสภาพดิน ความชื้นในดิน เพื่อสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น การทำเกษตรอัจฉริยะเกี่ยวข้องกับความแม่นยำเพื่อนำไปสู่การเพาะปลูกพืชที่เข้ากับพื้นที่บริเวณนั้น โดยช่วยลดต้นทุนกระบวนการผลิต เพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ สร้างมาตรฐานการผลิต ควบคุมคุณภาพผลผลิตได้ตามที่ต้องการ ผลผลิตที่ได้จึงมีราคาสูง องค์ประกอบที่สำคัญในการทำการเกษตรอัจฉริยะประกอบด้วย 3 ด้านด้วยกัน คือ 1) การระบุตำแหน่งพื้นที่เพาะปลูก 2) การวิเคราะห์ข้อมูลที่ตรงกับระยะเวลาของการเพาะปลูก และ 3) การจัดการพื้นที่โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม ไม่สิ้นเปลืองทรัพยากร และตรงกับการเพาะปลูกพืชชนิดนั้นๆ การทำเกษตรอัจฉริยะเกี่ยวข้องกับความแม่นยำเพื่อนำไปสู่การเพาะปลูกพืชที่เข้ากับพื้นที่บริเวณนั้นๆ โดยช่วยลดต้นทุนกระบวนการผลิต เพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ สร้างมาตรฐานการผลิต ควบคุมคุณภาพผลผลิตได้ตามที่ต้องการ ผลผลิตที่ได้จึงมีราคาสูง



ภาพที่ 1 แนวคิดการออกแบบระบบเกษตรอัจฉริยะอย่างง่าย

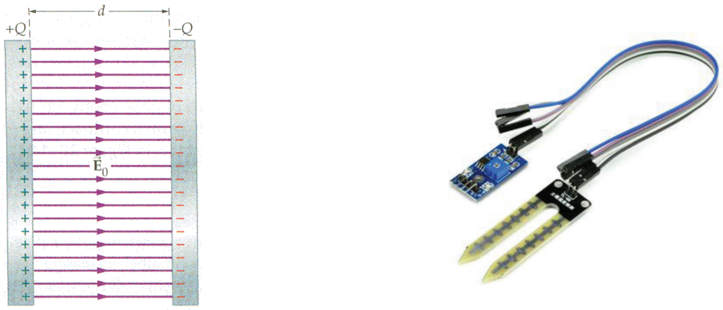
แนวคิดการออกแบบ

การออกแบบระบบเกษตรอัจฉริยะอย่างง่ายประกอบด้วยแปลงการเกษตรขนาด 10 เมตร x 10 เมตร พร้อมวางแผงโซลาเซลล์ (Solar Cell) ที่มุมของแปลงการเกษตร วางชุดเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดสภาพแวดล้อมแบบกริด (Grid) ที่มีระยะห่าง 1 เมตรเพื่อให้ครอบคลุมและมีความแม่นยำในการตรวจวัดสภาพแวดล้อม โดยที่แต่ละจุดประกอบด้วยชุดเซนเซอร์ที่มีเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor) เซนเซอร์วัดความชื้น (Humidity Sensor) และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) สำหรับกล่องควบคุมประกอบด้วยตัวประมวลผล และส่วนการควบคุมการให้น้ำประกอบเซนเซอร์วัดระดับน้ำ (Level Sensor) และเซนเซอร์วัดอัตราการไหล (Flow Sensor) และถังเก็บน้ำ (Tank) แสดงแนวคิดการออกแบบดังภาพที่ 1

เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน [3-4] ทำหน้าที่ตรวจวัดความชื้นในดินโดยการวัดปริมาตรน้ำของดิน สำหรับการตรวจสอบความชื้นในดินเพื่อควบคุมการให้น้ำแก่ระบบการเกษตรอัจฉริยะ ใช้หลักการวัดค่าความจุไฟฟ้า (Capacitive) [6-7] เพื่อวัด Dielectric Permittivity ของพื้นที่รอบๆ และสร้างแรงดันไฟฟ้าตามสัดส่วนของไดอิเลคทริก

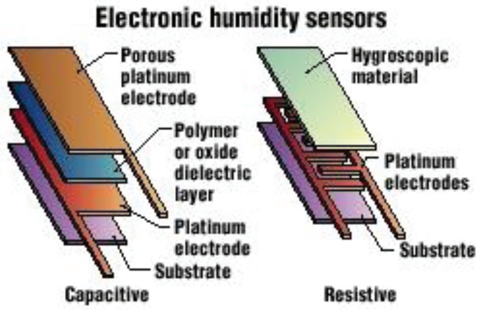
ในการวัดค่าความชื้นในดินนั้น จะนำเซนเซอร์ปักลงไปในดินที่ต้องการวัดซึ่งก็จะสามารถอ่านค่าความชื้นของดินได้ หลักการ คือ การวัดค่าความต้านทานระหว่างอิเล็กโทรด 2 ข้าง กรณีที่อ่านค่าความต้านทานได้น้อยหมายถึงมีความชื้นในดินมาก หรือดินชุ่มชื้นไม่ต้องการรดน้ำ แต่หากกรณีที่อ่านค่าความต้านทานได้มากจะหมายความว่ามีความชื้นในดินน้อยหรือดินแห้งอาจจะต้องรดน้ำ ในส่วนของเซนเซอร์วัดความชื้นในดินนี้สามารถให้ค่าได้ 2 แบบ คือ อ่านค่าเป็นแบบอนาล็อก (Analog) หมายถึงอ่านค่าความชื่นและให้ค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1024 และอ่านค่าเป็นแบบดิจิตอล (Digital) โดยเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ ถ้ามากกว่าก็ให้เป็น logic HIGH แต่ถ้าต่ำกว่าก็เป็น logic LOW แต่สำหรับบทความนี้ใช้การอ่านค่าเป็นแบบอนาล็อกแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน (ที่มา: http://www.tinyosshop.com)

เซนเซอร์วัดความชื้นในอากาศ

เซนเซอร์วัดความชื้นในอากาศ [3-5] ทำหน้าที่วัดค่าความชื้น โดยความชื้นนี้มาจากความชื้นสัมพันธ์ (Relative Humidity: RH) [8] ซึ่งความชื้นสัมพันธ์หมายถึงอัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศต่อปริมาณไอน้ำที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน หรืออัตราส่วนของความดันไอน้ำที่มีอยู่จริงต่อความดันไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งค่าความชื้นสัมพันธ์จะแสดงในรูปของร้อยละ (%) มีหน่วยเป็น %RH โดยทั่วไป เซนเซอร์วัดความชื้นสามารถวัดค่าความชื้นสัมพันธ์ได้ในช่วง 10-90 %RH และเลือกใช้เซนเซอร์วัดความชื้นแบบวัดประจุไฟฟ้า (Capacitive Humidity Sensor) เซนเซอร์แบบนี้มีโครงสร้างภายในที่ประกอบไปด้วยชั้นฐานแผ่นฟิล์มบางที่ทำจากโพลีเมอร์หรือเมทัลออกไซด์ (Metal Oxide) ซึ่งจะถูกวางอยู่ระหว่างอิเล็กโตรดทั้งสอง โดยพื้นผิวของฟิล์มบางจะถูกเคลือบด้วยอิเล็กโตรดโลหะแบบมีรูพรุนเพื่อป้องกันฝุ่นละอองและปัญหาจากแสงแดด โดยค่าความชื้นนี้จะทำให้เปลี่ยนแปลงค่า dielectric constant (ค่าคงที่ของไดอิเล็กทริกซึ่งก็คือฉนวน) ทำให้เกิดการผันผวนของค่าความต้านทานที่สารตัวนำ (Substrate) โดยเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนไป 1 เปอร์เซ็นต์ ค่าความจุไฟฟ้า (Capacitive) ก็จะเปลี่ยนไป 0.2 ถึง 0.5 pF ซึ่งเซนเซอร์แบบนี้มักนิยมใช้งานกันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เซนเซอร์วัดความชื้นแบบ Capacitive (ที่มา: www.factomart.com)

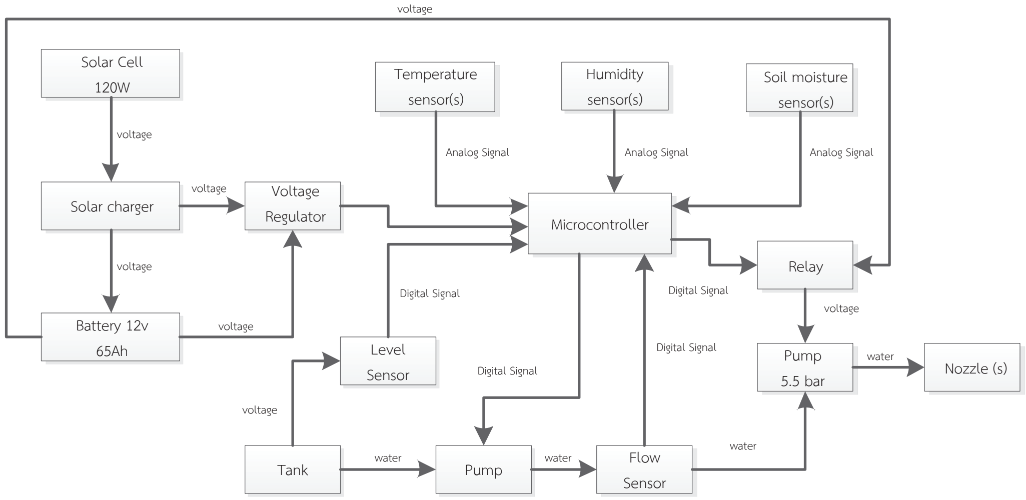
เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ [3,5] ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจากสัญญาณอนาล็อกไปสู่สัญญาณดิจิตอล โดยสัมพันธ์กับอุณหภูมิ เลือกใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบอาร์ทีดี (Resistance Temperature Detectors: RTD) [9] อาศัยหลักการการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะ ซึ่งค่าความต้านทานนี้จะมีค่าเพิ่มตามอุณหภูมิ ความต้านทานของโลหะที่เพิ่มขึ้นถูกเรียกว่า สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบบวก (Positive Temperature Coefficient: PTC) นิยมนำไปใช้ในการวัดอุณหภูมิในช่วง -270 ถึง 850 องศาเซลเซียส ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป ค่าความต้านทานของขดลวดจะเปลี่ยนแปลงตาม เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบอาร์ทีดี ให้ค่าการวัดที่ละเอียดและมีความแม่นยำสูงกว่าเทอร์โมคับเปิล (Thermocouple) ที่ใช้ในการวัดช่วงอุณหภูมิต่ำถึงปานกลาง

แผนผังการทำงาน

การออกแบบระบบเกษตรอัจฉริยะ

การออกแบบระบบเกษตรอัจฉริยะ เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบอัตโนมัติร่วมกับการเกษตรเพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการทำการเกษตร โดยการตรวจวัดปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต เช่น ความชื้นในดิน ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิ เป็นต้น และการประยุกต์ใช้ตัวควบคุม (Microcontroller) สำหรับการวิเคราะห์ และการควบคุมการจ่ายน้ำกับการทำการเกษตร แผนผังการทำงานของระบบ (System Integration) แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนผังการทำงานของระบบ (System Integration)

แผนผังการทำงานของระบบในภาพที่ 4 ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 4 ส่วนคือ 1) ส่วนแหล่งสร้างพลังงานจากโซลาเซลล์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งหมดในระบบ 2) ตัวควบคุมหลักของระบบ ทำหน้าที่ประมวลผลค่าจากเซนเซอร์และควบคุมการจ่ายน้ำ 3) เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดสภาพแวดล้อม เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ และการตัดสินใจของตัวควบคุมในการควบคุมการเปิดปิดการจ่ายน้ำให้กับแปลงการเกษตร 4) ส่วนควบคุมการจ่ายน้ำ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมปริมาณ และอัตราการไหลของน้ำที่จ่ายให้กับแปลงการเกษตรโดยรับคำสั่งจากตัวควบคุม เพื่อให้ได้สภาพแวดล้อมการทำการเกษตรที่เหมาะสม

ส่วนแหล่งสร้างพลังงานจากโซลาเซลล์ ประกอบด้วยแผงโซลาเซลล์ (Solar Cell) ขนาด 120 วัตต์ ตัวควบคุมการชาร์จโซลาเซลล์ (Solar Charger) แบตเตอรี่ (Battery) และตัวแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator) พลังงานจากโซลาเซลล์จะถูกชาร์ตไปเก็บไว้ในแบตเตอรรี่โดยตัวควบคุมการชาร์จโซลาเซลล์ กรณีที่โซลาเซลล์สามารถจ่ายพลังงานได้ พลังงานไฟฟ้าจากโซลาเซลล์จะถูกจ่ายให้กับตัวควบคุมโดยการปรับระดับแรงดันให้ต่ำลงด้วยตัวแปลง ระดับแรงดันไฟฟ้า สำหรับกรณีที่โซลาเซลล์ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้ พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในระบบจะถูกดึงมาจากแบตเตอรี่ ดังนั้นจะเห็นได้ในส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดเพราะเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าหลักให้กับระบบ

เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดสภาพแวดล้อม ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor) เซนเซอร์วัดความชื้นในอากาศ (Humidity Sensor) และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) เซนเซอร์วัดความชื้นในดินทำหน้าที่วัดปริมาณน้ำที่อยู่ภายในดิน เซนเซอร์วัดความชื้นในอากาศทำหน้าที่วัดค่าความชื้นสัมพันธ์ในอากาศ และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิทำหน้าวัดอุณหภูมิบริเวณต่างๆ ของแปลงการเกษตร ซึ่งค่าทั้งสามจะเป็นสัญญาณอนาล็อกและถูกส่งไปยังตัวควบคุม

ส่วนควบคุมการจ่ายน้ำ ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดระดับน้ำ (Level Sensor) ถังเก็บน้ำ (Tank) วาล์วสำหรับเปิด-ปิดน้ำ (Electronics Valve) เซนเซอร์วัดอัตราการไหล (Flow sensor) ปั๊มน้ำ (Pump) และหัวฉีดน้ำ (Nozzle) เซนเซอร์วัดระดับน้ำทำหน้าที่วัดระดับน้ำในถังเก็บน้ำ เพื่อใช้ในการควบคุมระดับน้ำในถังและควบคุมการจ่ายน้ำไปยังปั้มน้ำ ถังเก็บน้ำทำหน้าที่เก็บสำรองน้ำสำหรับจ่ายน้ำให้กับปั้มน้ำ วาล์วสำหรับเปิด-ปิดน้ำทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายน้ำไปยังปั๊มน้ำ เซนเซอร์วัดอัตราการไหลทำหน้าที่ตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ เพื่อใช้ในการควบคุมวาล์วเปิด-ปิดน้ำให้ได้อัตราการไหลตามที่ต้องการ ปั๊มน้ำทำหน้าที่สูบน้ำจากถังเก็บน้ำและส่งไปยังหัวฉีดน้ำ ปั๊มน้ำจะถูกควบคุมให้ทำงานโดยตัวควบคุม ตัวควบคุมจะส่งสัญญาณควบคุมผ่านรีเลย์ (Relay) ซึ่งรีเลย์ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์เปิด-ปิดปั๊มน้ำ

การทำงานของระบบเกษตรอัจฉริยะ

การทำงานของระบบเกษตรอัจฉริยะ เริ่มจากการอ่านค่าจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน เซนเซอร์วัดความชื้นในอากาศ และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิของตัวควบคุม แล้วตัวควบคุมจะทำการวิเคราะห์โดยการพิจารณาจากค่าจากเซนเซอร์ทั้งสาม ถ้าค่าจากเซนเซอร์ทั้งสามอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ ตัวควบคุมจะไม่สั่งให้ปั้มน้ำทำงาน แต่ถ้าค่าจากเซนเซอร์ทั้งสามหรือค่าจากเซนเซอร์ตัวใดตัวหนึ่งต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ตัวควบคุมจะสั่งให้วาล์วน้ำเปิดและสั่งให้ปั้มน้ำทำงาน โดยมีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำด้วย เพื่อให้น้ำไหลออกจากหัวฉีดด้วยอัตราที่เหมาะสมกับการทำการเกษตร ปั้มน้ำจะทำงานจนกว่าค่าจากเซนเซอร์ทั้งสามอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ สำหรับกรณีที่น้ำในถังเก็บน้ำมีปริมาณน้อยกว่าระดับที่กำหนดไว้ ตัวควบคุมจะสั่งให้วาล์วน้ำปิดและสั่งให้ปั้มน้ำหยุดทำงานจนกว่ามีการเติมน้ำในถังน้ำจนปริมาณน้ำถึงระดับที่กำหนดไว้ ตัวควบคุมจะสั่งให้วาล์วน้ำเปิดและสั่งให้ปั้มน้ำทำงาน

สรุปผล

แนวคิดการออกแบบระบบเกษตรอัจฉริยะอย่างง่ายเป็นการนำเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว ตัวส่งกำลัง (actuator) และเซนเซอร์ (sensor) ชนิดต่างๆ มาประยุกต์ใช้งานกับเกษตรชุมชน โดยแหล่งพลังงานที่ใช้ในระบบเป็นแหล่งพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสะอาดเป็นที่เป็นมิตรแก่สิ่งแวดล้อมและชุมชน คณะผู้เขียนบทความนี้หวังว่าบทความนี้จะเป็นประโยชน์แก่ชุมชน

เอกสารอ้างอิง

[1] ปริวรรต วงษ์สำราญ. สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน). **Innovation Trend** สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2560, จาก http://www.nia.or.th

[2] เศรษฐพงค์ มะลิสุวรรณ. **การเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farming) เส้นทางบังคับที่ไทยต้องเดิน** สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2560, จาก http://www.thaitribune.org/

[3] Kanjilal, D. Singh, D. Reddy, Mathew, J. (2014) Smart Farm: Extending Automation To The Farm Level. **INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH**. Vol. 3, Issue 7, July 2014.

[4] Chetan Dwarkani, M. Ganesh Ram, R. Jagannathan, S. Priyatharshini, R. (2015) Smart Farming System Using Sensors for Agricultural Task Automation. **2015 IEEE International Conference on Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR 2015)**. pp. 49-53.

[5] Nair, A.G. Akhil Chacko, A. Mohan, G. Francis, T.K. (2017). Smart Vertical Farming Using Hydroponics. **IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)**. pp. 14-17.

[6] Madegthech. **SMR110 SOIL MOISTURE RECORDER (2010)** สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2560, จาก http://www.fecegypt.com/

[7] Vernier Software & Technology. **Soil Moisture Sensor** สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2560, จากhttps://www.vernier.com/

[8] Honeywell. **Humidity Sensors** สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน2560, จาก https://sensing.honeywell.com

[9] Electronics Tutorials. **Temperature Sensors** สืบค้น 15 กันยายน 2560, จาก http://www.electronics-tutorials.ws

ความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะมูลฝอยของผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมี
Knowledge and Understanding in Waste Management at Kaomhee Market

คุลยา ศรีโยม[1*] กันตภณ มะหาหมัด[1] และธนิยา เกาศล[2]
[1] โปรแกรมวิชาอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 90000
[2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90110

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อศึกษาสภาพทั่วไปของการบริหารจัดการขยะ และความรู้ความเข้าในของผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมี โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมี จำนวน 220 ตัวอย่าง ในช่วงเดือนมิถุนายน 2560 และทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ สถิติพรรณนา ได้แก่ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมีมีความรู้ความเข้าใจในระดับสูง โดยข้อคำถามที่ผู้ค้ามีค่าร้อยละความรู้ความเข้าใจมากที่สุด ได้แก่ ข้อคำถามการดูแลรักษาความสะอาดบริเวณตลาดเป็นหน้าที่ของทุกคนที่จะต้องช่วยกัน มีค่าร้อยละเท่ากับ 96.8 รองลงมา คือ ท่านยินดีช่วยกันดูแลความสะอาดเรียบร้อยของตลาดนัดเกาะหมีเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดีของชุมชน มีค่าร้อยละเท่ากับ 96.4 และข้อคำถามที่ผู้ค้ามีความรู้ความเข้าใจน้อยที่สุดคือ ขยะ หมายถึงสิ่งของต่างๆที่ไม่มีประโยชน์และไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์อะไรได้อีก โดยมีค่าร้อยละ เท่ากับ 59.5 และรองลงมาคือ ปัจจุบันท่านคัดแยกขยะต่างๆ ก่อนนำไปทิ้งทุกครั้ง มีค่าร้อยละ 69.5

คำสำคัญ: ความรู้ ความเข้าใจ ผู้ค้า ขยะ

*Kulaya Sriyom : Tel.: 074-260200-4. E-mail address: kulaya.sr@skru.ac.th

บทนำ

ตลาดนัดเกาะหมี เป็นตลาดนัดที่เปิดให้มีการซื้อขายสินค้ามาเป็นระยะเวลานานกว่า 50 ปี มีแนวโน้มของการพัฒนาและการเจริญเติบโต รวมถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ค้าอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ตลาดนัดเกาะหมีตั้งอยู่บนพื้นที่ชุมชนบ้านเกาะหมี หมู่ที่ 11 ตำบลคลองแห อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยปัจจุบันมีนายหวังโสด บิลแหล เป็นผู้ดูแลและบริหารจัดการตลาด จากการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลในตลาดนัดเกาะหมีพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้น คือ ปัญหาขยะที่มีการเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามจำนวนผู้ใช้บริการ ในปัจจุบันมีปริมาณขยะ 3,000 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งนับว่าเป็นปริมาณที่สูงมาก โดยเจ้าของตลาดจะจ้างรถเก็บขนขยะเพื่อนำไปทิ้งยังหลุมฝังกลบขยะของเทศบาลนครหาดใหญ่ คิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 10,000 บาท

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในตลาดนัดเกาะหมี ปี พ.ศ.2556-2559

ปี พ.ศ.	จำนวนผู้ค้า(หน่วยเป็นร้านค้า)	ปริมาณขยะ(เฉลี่ยกิโลกรัมต่อวัน)
2556	150	1,800
2557	220	2,000
2558	370	2,500
2559	490	3,000

ที่มา : จากการสัมภาษณ์เจ้าของตลาดนัดเกาะหมี เมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2560

จากการสอบถามข้อมูลเบื้องต้นพบว่าผู้ค้าในตลาดนัดยังขาดความรู้ความเข้าใจในการคัดแยกขยะ และไม่ทราบวิธีการจัดการขยะที่เหมาะสม ซึ่งทางทีมวิจัยเห็นว่าปัญหาขยะหากไม่ได้รับการแก้ไขอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของชาวบ้านชุมชนเกาะหมีในระยะยาว ทีมวิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้น จึงร่วมกันทำงานวิจัยเรื่องการบริหารจัดการขยะของตลาดนัดเกาะหมีเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา บทความวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษางานวิจัยวัตถุประสงค์ที่ 1 การศึกษาเริ่มจากการเก็บข้อมูลแบบสอบถามเกี่ยวกับความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะมูลฝอย การให้ความรู้กับผู้ค้าในตลาดนัดให้รู้จักวิธีการคัดแยกขยะ ซึ่งเมื่อผู้ค้ารับรู้ และเข้าใจถึงวิธีการคัดแยกขยะแล้วนั้น ทีมวิจัยจะดำเนินการนำขยะที่มาจากการคัดแยกในส่วนของขยะที่ย่อยสลายได้มาผลิตเป็นแก๊สหุงต้ม โดยการจัดทำเครื่องผลิตแก๊สหุงต้มจากเศษอาหารด้วยเครื่องผลิตแก๊สที่สร้างขึ้นจากต้นแบบของกรมพลังงาน ในช่วงแรกจะดำเนินการติดตั้งถังแก๊สขนาด 2,500 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 2 ถัง เพื่อสลับใช้หากมีเศษอาหารเต็มถังใดถังหนึ่ง ซึ่งสามารถรองรับปริมาณขยะได้วันละ 40 กิโลกรัมต่อถัง โดยใช้พื้นที่ในการติดตั้งขนาด 6x8 ตารางเมตร ได้ปริมาณแก๊สหุงต้ม 8 กิโลกรัมต่อวัน ทั้งนี้เมื่อได้แก๊สหุงต้มดังกล่าวแล้วจะนำมาคืนกลับให้กับพ่อค้าแม่ค้า หรือคนในชุมชนได้นำกลับไปใช้ในครัวเรือน โดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าท้องตลาด ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายให้กับชาวบ้านในชุมชน และช่วยลดปัญหาขยะรวมถึงเป็นการสร้างความตระหนักให้ทุกคนในตลาดนัดเกาะหมีช่วยกันรักษาความสะอาดอีกทางหนึ่งด้วย

วิธีการวิจัย

การศึกษาสภาพทั่วไปในการบริหารจัดการขยะและความรู้ความเข้าใจของผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมี เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) และสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง คือ เจ้าของตลาดนัดเกาะหมี จำนวน 1 ท่าน เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์และแปลผล

1. กรอบแนวคิดในการศึกษา ผู้วิจัยกำหนดตัวแปรโดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

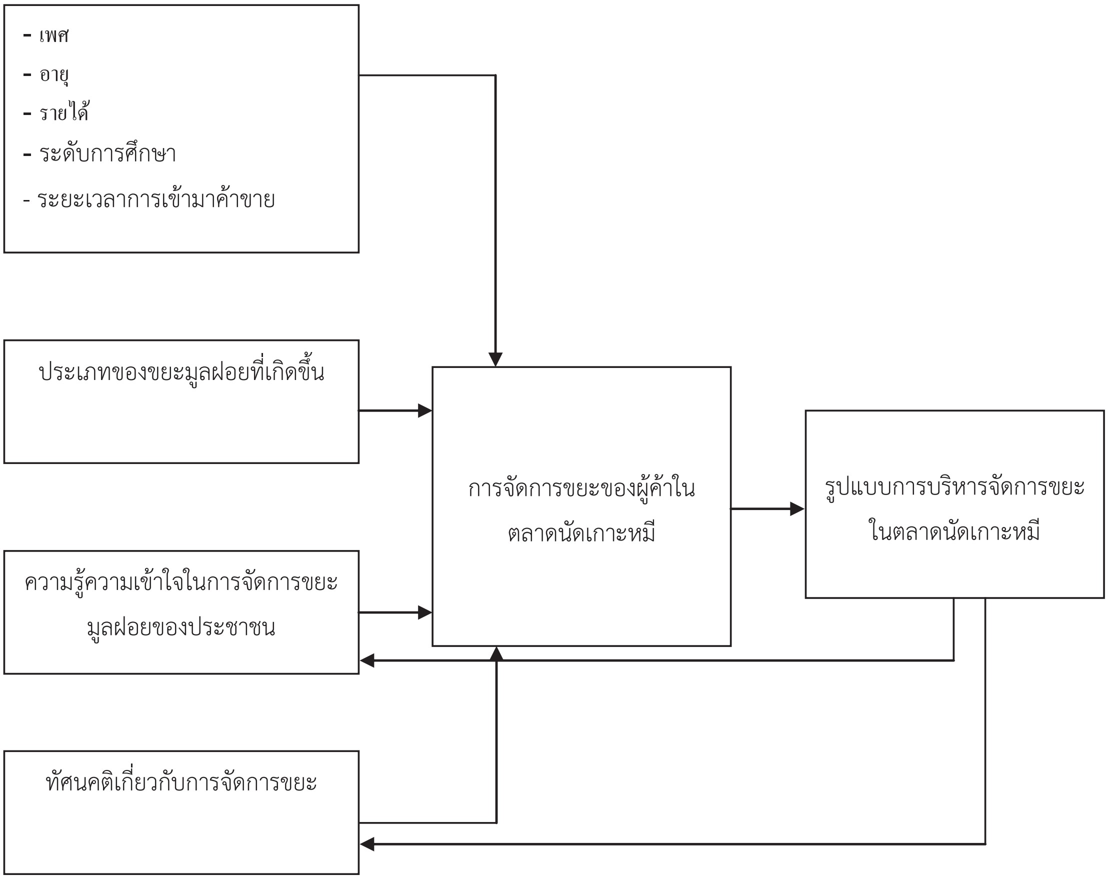
1.1 ตัวแปรอิสระ(Independent Variables) คือ ปัจจัยที่จะมีผลต่อการจัดการขยะของผู้ค้าในตลาดประกอบด้วย

1.1.1 ปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ รายได้ ระดับการศึกษา และระยะเวลาการเข้ามาค้าขาย

1.1.2 ประเภทของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

1.1.3 ความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะมูลฝอยของประชาชน

1.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ การจัดการขยะของผู้ค้าในตลาดนัด กรอบแนวคิดในการศึกษาสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงกรอบแนวคิดในการศึกษาการจัดการขยะของผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมี

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2.1 ประชากร

ผู้ค้าที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมีจำนวนทั้งสิ้น 490 คน (ข้อมูล ณ วันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ. 2560)

2.2 ขนาดกลุ่มตัวอย่าง

ทำการสุ่มผู้ค้าทั้งหมด 220 คน โดยใช้สูตรของ Taro Yamane ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 5 เพื่อหาขนาดกลุ่มตัวอย่าง

สูตรที่ใช้คำนวณ คือ

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

เมื่อ n = ขนาดกลุ่มตัวอย่าง

N = จำนวนประชากร

e = ค่าความคลาดเคลื่อนการสุ่มตัวอย่างร้อยละ 5

แทนค่าในสูตร $$n = \frac{490}{1 + 490\,(0.05)^2}$$

$$n = 220.22$$

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จะใช้ขนาดตัวอย่างของผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมี เท่ากับ 220 คน

3. การสุ่มตัวอย่าง การสุ่มตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษาทำการเก็บตัวอย่างโดยวิธีการเลือกแบบสะดวก (Convenient Sampling) เพื่อหาผู้ค้าที่ให้ข้อมูลได้ ณ เวลานั้น จนกว่าจะได้ขนาดตัวอย่างของผู้ค้าตามขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

4. กลุ่มเป้าหมายในการสัมภาษณ์เชิงลึก

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการสัมภาษณ์เชิงลึกเจ้าของตลาดนัดเกาะหมี คือ นายหวังโสด บิลแหล เกี่ยวกับการจัดการขยะของผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมี

5. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย แบบสอบถามผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมี โดยเป็นแบบสอบถามแบบปลายปิด (Close-ended Question) และแบบปลายเปิด (Open-ended Question) มีโครงสร้างแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ รายได้ ระดับการศึกษา ระยะเวลาที่ขายสินค้าและประเภทของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น เป็นลักษณะคำถามแบบปลายปิด จำนวน 6 ข้อ

ตอนที่ 2 ความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะมูลฝอยของประชาชน เป็นคำถามที่ต้องการทราบความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะมูลฝอย มีคำถามจำนวน 18 ข้อ

ตอนที่ 3 การจัดการขยะมูลฝอยในตลาดนัดของประชาชน เป็นคำถามที่ต้องการทราบเกี่ยวกับการจัดการขยะของผู้ค้าในตลาดนัด โดยมีคำถามให้เลือกทั้งหมดจำนวน 12 ข้อ

ตอนที่ 4 ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากร้านค้าของท่านที่ต้องกำจัดต่อ 1 วัน เป็นคำถามที่ต้องการทราบปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากร้านค้าต่อวัน มีคำถามจำนวน 4 ข้อ

ตอนที่ 5 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดการขยะเป็นคำถามและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับวิธีการจัดการขยะที่เหมาะสม ลักษณะคำถามแบบปลายเปิด จำนวน 1 ข้อ

6. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

6.1 ข้อมูลปฐมภูมิ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถาม (Questionnaires) โดยผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาในพื้นที่ โดยทำการสอบถามกลุ่มตัวอย่างของผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมี ด้วยการเก็บข้อมูลภาคสนาม ร่วมกับการสัมภาษณ์เชิงลึกเจ้าของตลาดนัดเกี่ยวกับการจัดการขยะของผู้ค้า

6.2 ข้อมูลทุติยภูมิ

ผู้ทำการศึกษาได้เก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ โดยการค้นคว้าและทำการรวบรวมจากหนังสือ เอกสาร รายงานการวิจัย และข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้กำหนดกรอบแนวคิดการสร้างแบบสอบถามและในการวิเคราะห์และอภิปรายผลการศึกษา

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาเรื่องการบริหารจัดการขยะตลาดนัดเกาะหมี ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาโดยการลงพื้นที่ 4 ครั้ง เพื่อสัมภาษณ์เชิงลึกเจ้าของตลาดนัด และนำข้อมูลที่ได้มาจัดทำแบบสอบถามเพื่อสอบถามพ่อค้าแม่ค้าในตลาดนัด ผลการศึกษาดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการศึกษาจากการสัมภาษณ์เชิงลึกเจ้าของตลาด

จากการสัมภาษณ์ นายหวังโสด บิลแหล พบว่า การจัดการขยะของผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมียังไม่มีความชัดเจน ไม่มีการคัดแยกขยะก่อนทิ้ง อีกทั้งผู้ค้ายังไม่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการคัดแยกขยะ เนื่องจากมีการทิ้งขยะทุกชนิดปะปนกัน ทำให้การดำเนินการจัดการของตลาดค่อนข้างยุ่งยาก

2. ผลการศึกษาการจัดการขยะของพ่อค้าแม่ค้าในตลาดจากแบบสอบถาม

ผู้ศึกษาได้ทำการเก็บแบบสอบถามที่ตลาดนัดเกาะหมี จำนวนทั้งหมด 220 ชุด (ข้อมูลที่มาการเก็บแบบสอบถามจากการคำนวณ) ผลการศึกษาจากแบบสอบถามมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.1 ข้อมูลทั่วไปของพ่อค้าแม่ค้า จากแบบสอบถามในเรื่องข้อมูลทั่วไป พบว่า พ่อค้าแม่ค้าในตลาดเป็นเพศหญิงเกินกว่าครึ่ง โดยมีแม่ค้าจำนวน 146 คน คิดเป็นร้อยละ 66.4 และพ่อค้าจำนวน 74 คนคิดเป็นร้อยละ 33.6 ช่วงอายุของพ่อค้าแม่ค้าในตลาดมากที่สุดอยู่ระหว่าง 37-55 ปี จำนวน 124 คน คิดเป็นร้อยละ 56.4 รองลงมา คือ กลุ่มอายุ 18-36 ปี จำนวน 67 คน คิดเป็นร้อยละ 30.5 สำเร็จการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรีมากที่สุด จำนวน 162 คน คิดเป็นร้อยละ 73.6 รองลงมาคือ ปริญญาตรี จำนวน 51 คน คิดเป็นร้อยละ 22.2 รายได้จากการขายสินค้าเฉลี่ยต่อเดือนมากที่สุดอยู่ระหว่าง 5,000-10,000 บาท จำนวน 81 คน คิดเป็นร้อยละ 36.8 รองลงมาอยู่ระหว่าง 10,001-15,000 บาท จำนวน 58 คน คิดเป็นร้อยละ 26.4 ในขณะที่ระยะเวลาที่ขายสินค้าในตลาดนัดมากที่สุดอยู่ที่น้อยกว่า 3 ปี จำนวน 81 คน คิดเป็นร้อยละ 36.8 รองลงมาอยู่ระหว่าง 3-5 ปี จำนวน 74 คน คิดเป็นร้อยละ 33.6 โดยขยะมูลฝอยจากร้านค้าส่วนใหญ่เป็นขยะย่อยสลายได้มากที่สุด รองลงมาเป็นขยะทั่วไป ขยะรีไซเคิล ขยะอันตราย และอื่นๆ ตามลำดับ

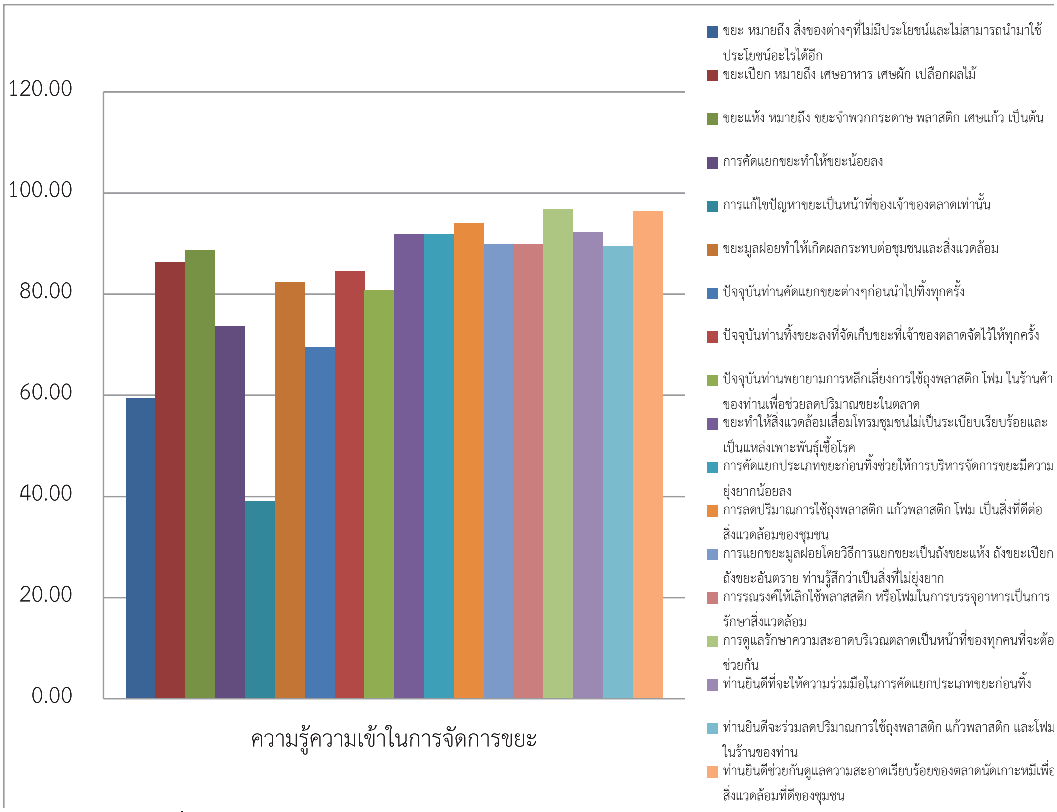
2.3 ความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะมูลฝอยของผู้ค้าในตลาด

จากข้อมูลแบบสอบถามผู้ค้าในตลาดเรื่องความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะมูลฝอย ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะมูลฝอยของผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมี

ความรู้ความเข้าใจ	ค่าร้อยละ
1. ขยะ หมายถึง สิ่งของต่างๆที่ไม่มีประโยชน์และไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์อะไรได้อีก	59.5
2. ขยะเปียก หมายถึง เศษอาหาร เศษผัก เปลือกผลไม้	86.4
3. ขยะแห้ง หมายถึง ขยะจำพวกกระดาษ พลาสติก เศษแก้ว เป็นต้น	88.6
4. การคัดแยกขยะทำให้ขยะน้อยลง	73.6
5. การแก้ไขปัญหาขยะเป็นหน้าที่ของเจ้าของตลาดเท่านั้น	39.1
6. ขยะมูลฝอยทำให้เกิดผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม	82.3
7. ปัจจุบันท่านคัดแยกขยะต่างๆก่อนนำไปทิ้งทุกครั้ง	69.5
8. ปัจจุบันท่านทิ้งขยะลงที่จัดเก็บขยะที่เจ้าของตลาดจัดไว้ให้ทุกครั้ง	84.5
9. ปัจจุบันท่านพยายามการหลีกเลี่ยงการใช้ถุงพลาสติก โฟม ในร้านค้าของท่านเพื่อช่วยลดปริมาณขยะในตลาด	80.9
10. ขยะทำให้สิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมชุมชนไม่เป็นระเบียบเรียบร้อยและเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค	91.8
11. การคัดแยกประเภทขยะก่อนทิ้งช่วยให้การบริหารจัดการขยะมีความยุ่งยากน้อยลง	91.8
12. การลดปริมาณการใช้ถุงพลาสติก แก้วพลาสติก โฟม เป็นสิ่งที่ดีต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชน	94.1
13. การแยกขยะมูลฝอยโดยวิธีการแยกขยะเป็นถังขยะแห้ง ถังขยะเปียก ถังขยะอันตราย ท่านรู้สึกว่าเป็นสิ่งที่ไม่ยุ่งยาก	90.0
14. การรณรงค์ให้เลิกใช้พลาสติก หรือโฟมในการบรรจุอาหารเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อม	90.0
15. การดูแลรักษาความสะอาดบริเวณตลาดเป็นหน้าที่ของทุกคนที่จะต้องช่วยกัน	96.8
16. ท่านยินดีที่จะให้ความร่วมมือในการคัดแยกประเภทขยะก่อนทิ้ง	92.3
17. ท่านยินดีจะร่วมลดปริมาณการใช้ถุงพลาสติก แก้วพลาสติก และโฟม ในร้านของท่าน	89.5
18. ท่านยินดีช่วยกันดูแลความสะอาดเรียบร้อยของตลาดนัดเกาะหมีเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดีของชุมชน	96.4

พบว่า ผู้ค้ามีความรู้ความเข้าใจในระดับสูง โดยข้อคำถามที่ผู้ค้าในตลาดมีค่าร้อยละความรู้ความเข้าใจมากที่สุด ได้แก่ ข้อคำถามการดูแลรักษาความสะอาดบริเวณตลาดเป็นหน้าที่ของทุกคนที่จะต้องช่วยกัน โดยมีค่าร้อยละเท่ากับ 96.8 รองลงมา คือ ท่านยินดีช่วยกันดูแลความสะอาดเรียบร้อยของตลาดนัดเกาะหมีเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดีของชุมชน โดยมีค่าร้อยละเท่ากับ 96.4 และข้อคำถามที่ผู้ค้ามีความรู้ความเข้าใจน้อยที่สุดคือ ขยะ หมายถึงสิ่งของต่างๆที่ไม่มีประโยชน์และไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์อะไรได้อีก โดยมีค่าร้อยละ เท่ากับ 59.5 และปัจจุบันท่านคัดแยกขยะต่างๆก่อนนำไปทิ้งทุกครั้ง มีค่าร้อยละ 69.5 รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงค่าร้อยละความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะของผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมี

2.4 การจัดการขยะมูลฝอยของผู้ค้าในตลาด

จากแบบสอบถามผู้ค้าในตลาดเรื่องการจัดการขยะมูลฝอย พบว่า ผู้ค้าในตลาดส่วนใหญ่จัดการขยะมูลฝอยโดยทิ้งในสถานที่ที่เจ้าของตลาดจัดไว้ให้ รองลงมาคือ ทิ้งไว้ ณ จุดที่ตั้งร้านค้าแล้วรอเจ้าของตลาดมาจัดเก็บ

2.5. ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากร้านค้าของท่านที่ต้องกำจัดต่อ 1 วัน

จากข้อมูลแบบสอบถามพบว่า มีปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากร้านค้า ดังนี้

2.5.1 ขยะอินทรีย์ น้อยกว่า 3 กิโลกรัม จำนวน 50 ร้านค้า คิดเป็นร้อยละ 22.7 รองลงมา มากกว่า 6 กิโลกรัม จำนวน 8 ร้านค้า คิดเป็นร้อยละ 3.6 และ 3-5 กิโลกรัม จำนวน 7 ร้านค้า คิดเป็นร้อยละ 3.2 ตามลำดับ

2.5.2 ขยะรีไซเคิล น้อยกว่า 5 ชิ้น จำนวน 41 ร้านค้า คิดเป็นร้อยละ 18.6 รองลงมา มากกว่า 10 ชิ้น จำนวน 22 ร้านค้า คิดเป็นร้อยละ 10 และ 5-10 ชิ้น จำนวน 16 ร้านค้า คิดเป็นร้อยละ 7.3 ตามลำดับ

2.5.3 ขยะทั่วไป น้อยกว่า 5 ชิ้น จำนวน 38 ร้านค้า คิดเป็นร้อยละ 17.3 รองลงมา มากกว่า 10 ชิ้น จำนวน 19 ร้านค้า คิดเป็นร้อยละ 8.6 และ 5-10 ชิ้น จำนวน 8 ร้านค้า คิดเป็นร้อยละ 3.6 ตามลำดับ

2.5.4 ขยะอันตราย น้อยกว่า 5 ชิ้น จำนวน 12 ร้านค้า คิดเป็นร้อยละ 5.5 รองลงมา มากกว่า 10 ชิ้น จำนวน 2 ร้านค้า คิดเป็นร้อยละ 0.9

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาวัตถุประสงค์ที่ 1 ของการวิจัยเพื่อศึกษาสภาพทั่วไปของการบริหารจัดการขยะ และศึกษาความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะของผู้ค้าในตลาดนัดเกาะหมี เพื่อนำขยะเปียกที่เกิดขึ้นมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพและแปลงเป็นพลังงานทดแทนสำหรับการหุงต้มต่อไป ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. พ่อค้าแม่ค้าในตลาดยังขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับขยะ และการคัดแยกขยะ ดังนั้นทีมวิจัยจึงได้อธิบายข้อมูลเกี่ยวกับขยะ และการคัดแยกขยะให้พ่อค้าแม่ค้ารับทราบ โดยใช้การประชาสัมพันธ์ผ่านเสียงตามสายของตลาดนัด และจัดทำจุดคัดแยกขยะจำนวน 2 จุดเพื่อให้พ่อค้าแม่ค้าและผู้มาใช้บริการขยะ สามารถคัดแยกขยะและทิ้งได้อย่างถูกต้อง

2.เมื่อทีมวิจัยพิจารณาถึงจุดที่ทิ้งขยะของตลาดพบว่า เจ้าของตลาดจัดที่ทิ้งขยะแบบรวมโดยไม่มีการแบ่งแยกประเภทของขยะ ส่งผลให้พ่อค้าแม่ค้าส่วนใหญ่นำขยะมาทิ้งแบบปะปนกันโดยไม่มีการคัดแยกก่อนทิ้ง ทีมวิจัยจึงได้ดำเนินการติดตั้งถังขยะ ณ จุดทิ้งขยะ จำนวน 2 จุด เพื่อให้พ่อค้าแม่ค้าสามารถคัดแยกขยะก่อนทิ้งได้อย่างถูกต้อง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] กมลทิพย์ ชื่นหมื่นไวย. (2554). **การมีส่วนร่วมของประชาชนในการคัดแยกขยะเทศบาล ตำบลเทพาลัย อำเภอคง จังหวัดนครราชสีมา.** วิทยานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[2] กรมควบคุมมลพิษ. (2553). **คู่มือการคัดแยกขยะมูลฝอยอย่างถูกวิธีและเพิ่มมูลค่า**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์บริษัท ฮีซ์ จำกัด.

[3] กรรณิการ์ ชูขันธ์. (2554). **การศึกษาระบบการจัดการขยะมูลฝอย เทศบาลนครปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี**. วิทยานิพนธ์ ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการภาครัฐและภาคเอกชน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[4] ธงชัย ทองทวี. (2553).**การศึกษาสภาพปัญหาการจัดการขยะมูลฝอยองค์การบริหารส่วนตำบล หนองขาม อำเภอจักราช จังหวัดนครราชสีมา**.

[5] ปภาวิน เหิดขุนทด. (2554). **พฤติกรรมของประชาชนในการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน ขององค์การบริหารส่วนตำบลสานักตะคร้อ อำเภอเทพารักษ์ จังหวัดนครราชสีมา**. โครงงานการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สานักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

The Analysis of Factors Influencing to Green Supply Chain Construction The Case Study : Songkhla Rajabhat University

กันต์ธมน สุขกระจ่าง[1*], ธนะรัตน์ รัตนกูล[1] พุฒิธร ตุกเตียน[1] อรสา แนมใส[1]

[1] สาขาวิชาอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จ.สงขลา 90000

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ด้วยกระบวนการตัดสินใจแบบการวิเคราะห์ลำดับชั้น เริ่มต้นด้วยการทบทวนวรรณกรรมต่าง ๆ เพื่อค้นหาและนำปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร มาจำลองแบบโครงสร้างปัจจัยหลักปัจจัยรอง และสร้างแบบสัมภาษณ์กับกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีเจาะจง (Purposive sampling) ซึ่งเป็นวิศวกรผู้ควบคุมโครงการ 3 ท่าน ด้วยการให้ค่าคะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัย ด้วยเปรียบเทียบรายคู่ ผลที่ได้พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจสูงที่สุด คือ ปัจจัยด้านการคมนาคมและการจราจร 0.561 รองลงมา คือ ด้านเศรษฐกิจและสังคม 0.554 ด้านคุณภาพของอากาศ เสียง และความสั่นสะเทือน 0.359 ด้านการควบคุมระบบน้ำ 0.161 และด้านคุณภาพของน้ำผิวดิน และนิเวศวิทยาทางน้ำ 0.149 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การก่อสร้าง ห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์เชิงลำดับขั้น

*Corresponding author: Tel.: 085-553-9705. E-mail address: skantamon@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันการก่อสร้างอาคารเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก เพราะจำนวนประชากรเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความต้องการอาคารเพื่อใช้เป็นที่อยู่อาศัยซึ่งนับเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิต (ปัจจัย 4) และประกอบกิจการต่างๆ เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ในการก่อสร้างอาคารทุกประเภทจำเป็นต้องใช้วัสดุและอุปกรณ์ในการก่อสร้างที่ส่งผลเสียต่อระบบนิเวศน์ เช่น ผลกระทบต่ออากาศ น้ำ ดิน และเสียง ผลกระทบเหล่านี้ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ การก่อสร้างอาคารสูงหรือแม้แต่การก่อสร้างอาคารชั้นเดียว ก้อนับเป็นสาเหตุที่สร้างความเดือนร้อนให้แก่ผู้ที่อาศัยบริเวณใกล้เคียงบริเวณก่อสร้างได้ อย่างไรก็ตาม ในทุกๆ สถานที่ก็มีความจำเป็นในการก่อสร้างอาคาร เพื่ออำนวยความสะดวกในสิ่งต่างๆ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา เป็นแหล่งการศึกษาแหล่งหนึ่งที่มีสิ่งปลูกสร้างมากมายเพื่อขยายโอกาสทางการศึกษาให้กับนักศึกษาที่มีความต้องการที่จะศึกษาต่อ ดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะไม่มีการก่อสร้างอาคาร ซึ่งในการก่อสร้างอาคารส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสำคัญ

ระบบห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมหรือห่วงโซ่อุปทานสีเขียว (Green Supply Chain) คือ กระบวนการที่รวมเอาเกณฑ์หรือสิ่งที่เกี่ยวข้องกับการรักษาสิ่งแวดล้อม เพื่อพิจารณาการจัดซื้อขององค์กรและการบริหารความสัมพันธ์ระยะยาวกับผู้ส่งมอบ โดยจะขึ้นอยู่กับนโยบายขององค์กรที่ให้ความสำคัญกับการรักษาสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ในภาครัฐได้เล็งเห็นว่าการทำให้เกิดระบบห่วงโซ่อุปทานเพื่อสิ่งแวดล้อมเป็นเครื่องมือสำคัญในการกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาสินค้าที่รักษาสิ่งแวดล้อม ลดปริมาณงานที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมให้น้อยลง และช่วยให้เศรษฐกิจมีการพัฒนาที่ยั่งยืนได้ [1] ดังนั้นในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร จึงมีความจำเป็นอย่างมากต่อสิ่งแวดล้อม เพราะผู้ตัดสินใจต้องพิจารณาถึงปัจจัยเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างมากมาย อีกทั้งยังต้องพบกับความซับซ้อนด้านการวิเคราะห์และการวินิจฉัยซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากในกระบวนการตัดสินใจ ดังนั้น วิธีการใดๆ ที่มีการพิจารณาเปรียบเทียบและตัดสินใจอย่างมีระบบ ระเบียบ และมีเหตุผลในทุกๆ ขั้นตอน [2] ดังนั้นผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีกระบวนการตัดสินใจแบบวิเคราะห์ลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process : AHP) ซึ่งมีระบบและมีเหตุผลในการประเมินเพื่อให้คะแนนมีความน่าเชื่อถือและมีการประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางวิธีหนึ่ง และเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการสร้างแบบจำลอง โดยมีหลักการง่ายๆ คือ แบ่งโครงสร้างของปัญหาออกเป็นชั้นๆ ชั้นแรกคือ การกำหนดเป้าหมาย (Goal) แล้วจึงกำหนดเกณฑ์ (Criteria) เกณฑ์ย่อย (Subcriteria) และทางเลือก (Alternatives) ตามลำดับ [3] และสามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนโดยทำให้ง่ายต่อความเข้าใจ เพราะเป็นการเลียนแบบวิธีคิดและการใช้เหตุผลของมนุษย์ในการแยกปัญหาออกเป็นลำดับชั้น [4] ผลลัพธ์ที่ได้เป็นปริมาณตัวเลข ทำให้ง่ายต่อการจัดลำดับความสำคัญ และยังสมารถนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับหน่วยงานอื่นได้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถวางแผนและพัฒนากลยุทธ์ของตนเองให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อสามารถแข่งขันกับคู่แข่ง ได้ดียิ่งขึ้น [5] จึงนำไปสู่การกำหนดและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลของการวิจัย คือ แบบสัมภาษณ์ ซึ่งผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือโดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร และจำลองแบบโครงสร้างปัจจัยหลักและปัจจัยรอง [6] ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 การจำลองแบบโครงสร้างปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร

2. จากภาพที่ 1 นำมาสร้างแบบสัมภาษณ์โครงสร้างของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร เพื่อทำการคำนวณหาน้ำหนักของปัจจัยแต่ละปัจจัย โดยผู้ตอบแบบสัมภาษณ์เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) [7] คือ วิศวกรผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร จำนวนทั้งสิ้น 3 แหล่ง ที่กำลังดำเนินการก่อสร้างอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา (โครงการก่อสร้างอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โครงการก่อสร้างอาคารบริการนักศึกษา และโครงการก่อสร้างอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม) โดยให้ข้อมูลเป็นค่าคะแนนตามมาตราส่วนมูลฐานของกระบวนการตัดสินใจแบบวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตราส่วนมูลฐาน AHP 1-9 [8]

ดุลยพินิจ (Verbal Judgments)	มาตราส่วนที่ใช้เปรียบเทียบ
มีความสำคัญเท่ากัน (Equal Importance)	1
มีความสำคัญกว่า (Moderate Importance)	3
มีความสำคัญมากกว่า (Strong Importance)	5
มีความสำคัญมากกว่ามาก (Very Strongly Importance)	7
มีความสำคัญมากกว่าอย่างยิ่ง (Extreme Importance)	9
ค่ากลางระหว่างระดับความเข้มข้นของอิทธิพลตามที่กล่าวมาข้างต้น	2, 4, 6, 8

3. นำแบบสัมภาษณ์ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น (ตอนที่ 1 การเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักแต่ละคู่) โดยให้ผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจให้ข้อมูลและนำข้อมูลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบทีละคู่ในแต่ละปัจจัย เพื่อจะนำมาคำนวณหาค่าน้ำหนักทีละคู่ ของแต่ละปัจจัยหลัก

4. นำแบบสัมภาษณ์ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น (ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองแต่ละคู่) โดยให้ผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจให้ข้อมูลและนำข้อมูลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบทีละคู่ในแต่ละปัจจัย เพื่อจะนำมาคำนวณหาค่าน้ำหนักทีละคู่ ของแต่ละปัจจัยรอง

5. เมื่อได้ค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักและปัจจัยรองแล้ว จะทำการคำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัยรอง โดยที่ค่าเฉลี่ยของปัจจัยรอง = น้ำหนักค่าเฉลี่ยปัจจัยหลัก x น้ำหนักค่าเฉลี่ยปัจจัยรองที่อยู่ภายใต้ปัจจัยหลัก

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคารของปัจจัยหลัก (ตารางที่ 2) แสดงให้เห็นถึงค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร และการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร ปัจจัยรอง (ตารางที่ 3-7) ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยหลักของกลุ่มตัวอย่าง

ปัจจัยหลัก	น้ำหนักเฉลี่ย
ด้านคุณภาพของอากาศ เสียง และความสั่นสะเทือน	0.359
ด้านคุณภาพของน้ำผิวดิน และนิเวศวิทยาทางน้ำ	0.149
ด้านการคมนาคมและการจราจร	0.561
ด้านการควบคุมระบบน้ำ	0.161
ด้านเศรษฐกิจและสังคม	0.554

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลัก ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร ได้น้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ด้านการคมนาคมและการจราจร ด้านเศรษฐกิจและสังคม ด้านคุณภาพของอากาศ เสียง ความสั่นสะเทือน ด้านการควบคุมระบบน้ำ และด้านคุณภาพของน้ำผิวดิน และนิเวศวิทยาทางน้ำ ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยรองด้านคุณภาพของอากาศ เสียง และความสั่นสะเทือน

ปัจจัยรอง	Normalized เมตริกซ์ A				น้ำหนัก
กิจกรรมก่อสร้างส่งผลกระทบด้านฝุ่นละออง	0.226	0.272	0.065	0.077	0.160
กิจกรรมก่อสร้างส่งผลกระทบด้านเสียง และการสั่นสะเทือนโดยใช้อุปกรณ์และเครื่องจักร	0.339	0.407	0.156	0.153	0.264
กิจกรรมก่อสร้างส่งผลกระทบด้านเสียง จากการขนส่งวัสดุ/อุปกรณ์	0.271	0.204	0.078	0.153	0.177
การบดบังทิศทางลม	0.226	0.204	0.039	0.077	0.136
การบดบังแสงแดดในพื้นที่ใกล้เคียง	1.131	0.407	0.043	0.256	0.459

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านคุณภาพของอากาศ เสียง และความสั่นสะเทือน ได้น้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ การบดบังแสงแดดในพื้นที่ใกล้เคียง กิจกรรมก่อสร้างส่งผลกระทบด้านเสียง และการสั่นสะเทือนโดยใช้อุปกรณ์และเครื่องจักร กิจกรรมก่อสร้างส่งผลกระทบด้านเสียง จากการขนส่งวัสดุ/อุปกรณ์ กิจกรรมก่อสร้างส่งผลกระทบด้านฝุ่นละออง และการบดบังทิศทางลม ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยรองด้านคุณภาพของน้ำผิวดิน และนิเวศวิทยาทางน้ำ

ปัจจัยรอง	Normalized เมตริกซ์ A			น้ำหนัก
เศษวัสดุหล่นในน้ำขณะก่อสร้าง	0.590	0.196	0.355	0.380
การปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากที่พักคนงาน	0.353	0.118	0.257	0.242
การรั่วไหลของน้ำจากยานพาหนะ	0.197	0.054	0.118	0.123

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นถึงค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านคุคุณภาพของน้ำผิวดิน และนิเวศวิทยาทางน้ำ ได้น้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ เศษวัสดุหล่นในน้ำขณะการปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากที่พักคนงาน และการรั่วไหลของน้ำจากยานพาหนะ ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยรองด้านการคมนาคมและการจราจร

ปัจจัยรอง	Normalized เมตริกซ์ A			น้ำหนัก
การกีดขวางของรถบรรทุกวัสดุก่อสร้าง	0.590	0.118	0.275	0.328
ปัญหาในการสัญจรไป-มาของประชาชน	0.590	0.118	0.138	0.282
การขนส่ง/ขนย้าย อุปกรณ์ก่อสร้างเป็นเหตุให้ผิวทางจราจรชำรุด	0.504	0.050	0.118	0.224

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นถึงค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านคุคุณภาพของน้ำผิวดิน และนิเวศวิทยาทางน้ำ ได้น้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ เศษวัสดุหล่นในน้ำขณะการปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากที่พักคนงาน และการรั่วไหลของน้ำจากยานพาหนะ ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยรองด้านเศรษฐกิจและสังคม

ปัจจัยรอง	Normalized เมตริกซ์ A		น้ำหนัก
ความเดือนร้อนจากฝุ่น เสียง และความสั่นสะเทือน	0.545	0.545	0.545
ความรำคาญจากฝุ่น เสียง และความสั่นสะเทือน	0.455	0.455	0.455

จากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นถึงค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านเศรษฐกิจและสังคม ได้น้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ความเดือนร้อนจากฝุ่น เสียง และความสั่นสะเทือน และน้ำความรำคาญจากฝุ่น เสียง และความสั่นสะเทือน

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยรองด้านการควบคุมระบบน้ำ

ปัจจัยรอง	Normalized เมตริกซ์ A				น้ำหนัก
เศษดินถมอาจขวางเส้นทางไหลของน้ำ	0.352	0.859	0.308	0.191	0.428
การชะล้างของหน้าดิน	0.151	0.369	0.308	0.082	0.228
น้ำจากการล้างอุปกรณ์ก่อสร้าง	0.151	0.369	0.222	0.082	0.206
น้ำจากการผสมคอนกรีต	0.211	0.221	0.185	0.068	0.171

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นถึงค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านการคมนาคมและการจราจร ได้น้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ เศษดินถมอาจขวางเส้นทางไหลของน้ำ การชะล้างของหน้าดิน น้ำจากการล้างอุปกรณ์ก่อสร้าง และน้ำจากการล้างอุปกรณ์ก่อสร้าง ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคาร กรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สามารถสรุปผลได้ค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักที่ส่งผลสูงที่สุด คือ ปัจจัยด้านการคมนาคมและการจราจร 0.561 รองลงมา คือ ด้านเศรษฐกิจและสังคม 0.554 ด้านคุณภาพของอากาศ เสียง และความสั่นสะเทือน 0.359 ด้านการควบคุมระบบน้ำ 0.161 และด้านคุณภาพของน้ำผิวดิน และนิเวศวิทยาทางน้ำ 0.149 ส่วนผลการวิเคราะห์น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรอง พบว่า

1. ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านด้านคุณภาพของอากาศ เสียง และความสั่นสะเทือน ได้น้ำหนักที่มีค่ามากที่สุด คือ ปัจจัยด้านการบดบังแสงแดดในพื้นที่ใกล้เคียง มีค่าน้ำหนัก 0.459 และปัจจัยด้านกิจกรรมก่อสร้างส่งผลกระทบด้านเสียง และการสั่นสะเทือน โดยใช้อุปกรณ์และเครื่องจักร มีค่าน้ำหนัก 0.264

2. ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยรองด้านคุณภาพของน้ำผิวดินและนิเวศวิทยาทางน้ำ ได้น้ำหนักที่มีค่ามากที่สุด คือ ปัจจัยด้านเศษวัสดุหล่นในน้ำขณะก่อสร้าง มีค่าน้ำหนัก 0.380 ปัจจัยด้านการปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากที่พักคนงาน มีค่าน้ำหนัก 0.242

3. ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านการคมนาคมและการจราจร ได้น้ำหนักที่มีค่ามากที่สุด คือ ปัจจัยด้านการกีดขวางของรถบรรทุกวัสดุก่อสร้าง มีค่าน้ำหนัก 0.328 และปัจจัยด้านปัญหาในการสัญจรไป-มาของประชาชน มีค่าน้ำหนัก 0.282

4. ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านเศรษฐกิจและสังคม ได้น้ำหนักที่มีค่ามากที่สุด คือ ปัจจัยด้านความเดือนร้อนจากฝุ่น เสียง และความสั่นสะเทือน มีค่าน้ำหนัก 0.545 และปัจจัยด้านความรำคาญจากฝุ่น เสียง และความสั่นสะเทือน มีค่าน้ำหนัก 0.455

5. ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยรองด้านการควบคุมระบบน้ำ ได้น้ำหนักที่มีค่ามากที่สุด คือ ปัจจัยด้านเศษดินถมอาจขวางเส้นทางไหลของน้ำ มีค่าน้ำหนัก 0.428 และปัจจัยด้านการชะล้างของหน้าดิน มีค่าน้ำหนัก 0.228

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการวิจัยนำไปลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมในการก่อสร้างอาคารหรือในการก่อสร้างสิ่งอื่นๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มความขีดความสามารถในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณวิศวกรผู้ควบคุมโครงการก่อสร้างอาคาร ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์เวลาในการสัมภาษณ์รวมถึงข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กาญจนา กาญจนสุนทร. (2551). **การจัดการโซ่อุปทานแบบกรีน (Green Supply Chain Management)**. สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2560, จาก http://www.logistics.go.th/index.php/bol-project/planb2-2/b2gsc-best-practice-green-supply-chain/176-2013-03-24-17-54-7.

[2] กันต์ธมน สุขกระจ่าง. (2558). การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นของกระบวนการตัดสินใจในการคัดเลือกผู้ให้บริการขนส่งของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ : บริษัทกรณีศึกษา. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**. 8(1), 1-11.

[3] Saaty, T.L. (1980). **The Analytic Hierarchy Process,** New York: McGraw Hill. International, Translated to Russian, Portuguese, and Chinese, Revised editions, Paperback (1996, 2000), Pittsburgh: RWS Publications.

[4] Vargas, L.G. (1990). An overview of the analytic hierarchy process and its application. **European Journal of Operational Research**. 48(1). 57-64.

[5] นันทกานต์ ก่อนทองคำ. (2549). **การคัดเลือกผู้ให้บริการโลจิสติกส์ลำดับที่ 3 โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบลำดับขั้น.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการขนส่งและโลจิสติกส์. มหาวิทยาลัยบูรพา.

[6] Tam, C. M., Tam, V. W., & Tsui, W. S. (2004). Green construction assessment for environmental management in the construction industry of Hong Kong. **International Journal of Project Management**, 22(7), 563-571.

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนสำหรับอาคารด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงลำดับขั้น (AHP) กรณีศึกษา : คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

The Analysis of Factors Influencing to Renewable Energy Selection for Building by Using Analytics Hierarchy Process (AHP) The Case Study : Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University

ธนะรัตน์ รัตนกูล[1*] กันต์ธมน สุขกระจ่าง[1] กันตภณ มะหาหมัด[2] พิเชษฐ์ จันทวี[3] ไพศาล คงเรือง[3] เสกสรร ชะนะ[3] และศรัณย์ ณรงค์กูล[3]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000

[2] หัวหน้าศูนย์เทคโนโลยีพลังงานทางเลือก คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000

[3] สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมกับอาคารเรียน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ด้วยวิธีการ AHP เริ่มต้นด้วยการทบทวนวรรณกรรมต่าง ๆ เพื่อค้นหาและนำปัจจัยต่างที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสม มาจำลองแบบโครงสร้างปัจจัยหลักปัจจัยรองที่มีผลต่อการตัดสินใจ และสร้างแบบสัมภาษณ์กับกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีเจาะจง (Purposive sampling) ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญ ทั้งสิ้น 5 ท่าน ด้วยการให้ค่าคะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยด้วยเปรียบเทียบรายคู่ จากนั้นนำผลที่ได้จากแบบสัมภาษณ์มาวิเคราะห์มาประมวลผลด้วยซอฟแวร์ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support Systems) ผลที่ได้พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจสูงที่สุด คือ ด้านเทคนิค 0.517 รองลงมา คือ ปัจจัยหลักด้านเศรษฐศาสตร์ 0.279 ปัจจัยหลักด้านสิ่งแวดล้อม 0.126 และปัจจัยหลักด้านสังคม 0.077 ตามลำดับ

คำสำคัญ: การตัดสินใจ กาวิเคราะห์เชิงลำดับขั้น พลังงานหมุนเวียน

บทนำ

ประเทศไทยมีแหล่งทรัพยากรในท้องถิ่นที่มีศักยภาพสำหรับเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน โดยการนำเอาพลังงานหมุนเวียนอันได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม น้ำ ชีวมวล ความร้อนใต้พิภพ ไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยที่ชีวมวลของแข็งเป็นพลังงานหมุนเวียนที่ถูกนำมาใช้ในสัดส่วนที่สูงสุด คิดเป็นกำลังการผลิต 1790.2 เมกะวัตต์ รองลงมา คือ ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานขยะ พลังงานลม และพลังงานความร้อนใต้พิภพ ตามลำดับ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา เป็นหน่วยงานภาครัฐที่มีพันธกิจหลักในการจัดการเรียนการสอนให้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี และให้บริการองค์ความรู้ในด้านต่าง ๆ แก่ประชาชนและชุมชนในพื้นที่ ซึ่งต้องอาศัยสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น อาคารเรียน ห้องเรียน และห้องปฏิบัติการต่าง ๆ เพื่อตอบสนองพันธกิจดังกล่าว ซึ่งต้องอาศัยกระแสไฟฟ้าในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนทั้งในภาคทฤษฎีและปฏิบัติ

หน่วยงานจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญจากการนำพลังงานหมุนเวียนเข้ามาใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยการค้นหาแหล่งที่มาของทรัพยากรและอุปกรณ์เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ต้องอยู่ในรูปแบบที่มีความเหมาะสม [1] ซึ่งการตัดสินใจในการวางแผนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนนั้น ต้องขับเคลื่อนภายใต้ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความสำคัญ เช่น ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านสังคม ปัจจัยด้านเทคนิค และปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ [2] การวิเคราะห์เชิงลำดับขั้น (Analytics Hierarchy Process : AHP) เป็นวิธีการที่ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินเลือกรูปแบบของพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมในประเทศทางต่าง ๆ เช่น ประเทศตุรกี [2] ประเทศสเปน [3] ประเทศมาเลเซีย [4] และประเทศแคนนาดา [5] จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่าวิธีการ AHP เป็นวิธีการที่ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลาย และนำมาใช้เพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมสำหรับอาคาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

วิธีการวิจัย

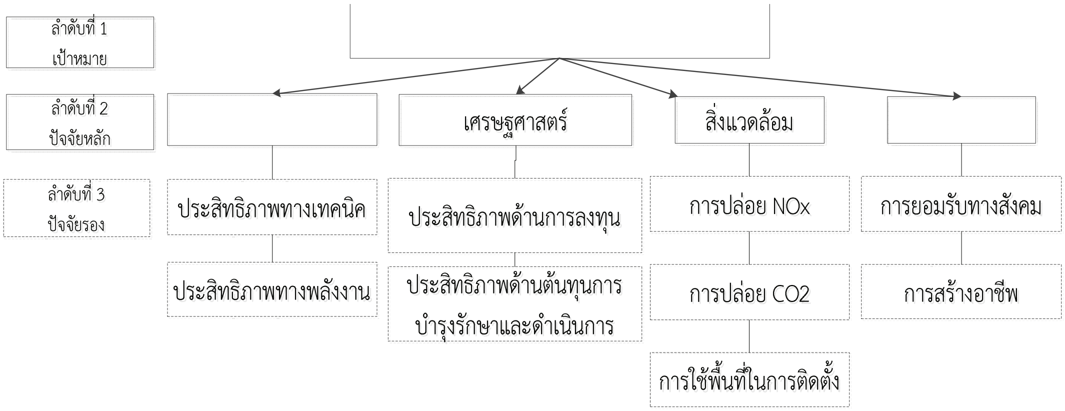
การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนสำหรับอาคาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ด้วยวิธีการ AHP มีรายละเอียดการดำเนินงาน [6] ดังนี้

1. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อกับปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสม เพื่อการจำลองแบบโครงสร้างปัจจัยหลักและปัจจัยรอง ดังภาพที่ 1

2. จากภาพที่ 1 นำมาสร้างเป็นแบบสัมภาษณ์ เพื่อการเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักและปัจจัยรองแต่ละคู่ โดยผู้เชี่ยวชาญทำการให้ข้อมูลเป็นค่าคะแนน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตราส่วนมูลฐาน AHP 1-9 [6]

ดุลยพินิจ (Verbal Judgments)	มาตราส่วนที่ใช้เปรียบเทียบ
มีความสำคัญเท่ากัน (Equal Importance)	1
มีความสำคัญกว่า (Moderate Importance)	3
มีความสำคัญมากกว่า (Strong Importance)	5
มีความสำคัญมากกว่ามาก (Very Strongly Importance)	7
มีความสำคัญมากกว่าอย่างยิ่ง (Extreme Importance)	9
ค่ากลางระหว่างระดับความเข้มข้นของอิทธิพลตามที่กล่าวมาข้างต้น	2, 4, 6, 8



ภาพที่ 1 การจำลองแบบโครงสร้างปัจจัยหลักและปัจจัยรองที่มีผลต่อการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียน

3. การหาลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ คือ การเปรียบเทียบปัจจัยหลักและปัจจัยรองต่าง ๆ เป็นรายคู่ ด้วยตารางเมตริกซ์ เริ่มต้นจากลำดับชั้นบนสุดของแผนภูมิแล้วไล่ลงสู่ลำดับชั้นด้านล่างทีละชั้นตามลำดับ ซึ่งสามารถเขียนหลักเกณฑ์ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนี้

กำหนดให้ $C_1, C_2, C_3,...,C_n$ เป็นตัวแทนของเกณฑ์การตัดสินใจ

$A_1, A_2, A_3,...,A_n$ แทนปัจจัยต่าง ๆ ในลำดับชั้นที่เปรียบเทียบทีละคู่ปัจจัย C_j กับ A_j

ดังนั้นการวิเคราะห์จะทำในรูปแบบของตารางเมตริกซ์ขนาด N x N ด้วยการนิยามเมตริกซ์ $A = [A_{ij}]$ (i = 1, 2, 3,...N) เกณฑ์การนำค่า A_{ij} จากการเปรียบเทียบทีละคู่ปัจจัยไปใส่ในตารางเมตริกซ์ มีกฎอยู่ 2 คู่ ดังนี้

ถ้า $A_{ij} = \alpha$ จะทำให้ $A_{ij} = \frac{1}{\alpha} = A \neq 0$

ปัจจัยที่ C_i ถูกตัดสินให้มีความสำคัญเท่าเทียมกันกับปัจจัย C_j จะทำให้ค่าของ $A_{ij} = A_{ji}$

ดังนั้น ตารางเมตริกซ์ A สามารถเขียนได้ ดังนี้

เกณฑ์การตัดสินใจ C_1 C_2 $C_3.....C_n$ ปัจจัย

$$A = \begin{pmatrix} 1 & A_{12} & A_{13} & ..... \\ 1/A_{12} & 1 & A_{23} & ..... \\ 1/A_{13} & 1/A_{23} & 1 & ..... \\ : & : & : & ..... \\ 1/A_{1n} & 1/A_{2n} & A_{3n} & ..... \end{pmatrix} \begin{matrix} \alpha_{1n} & A_1 \\ \alpha_{2n} & A_2 \\ \alpha_{3n} & A_3 \\ : & : \\ 1 & A_n \end{matrix} \qquad (1)$$

4. คำนวณหาค่าของดัชนีความสอดคล้อง (Consistency index : C.I.) เพื่อเป็นการทดสอบว่าผลของการเปรียบเทียบคู่ที่ได้ดำเนินมาในขั้น 3 นั้น มีความสอดคล้องกันของเหตุผลหรือไม่ จากสมการ ดังนี้ [6]

$$C.I. = \frac{(\lambda_{Max} N)}{(N - 1)} \qquad (2)$$

โดยหาก ค่า C.I. > 0.1 แสดงถึงคะแนนความสำคัญที่ได้จากการเปรียบเทียบเกิดความไม่สอดคล้องกัน [6]

สำหรับการเลือกกลุ่มตัวอย่างในการให้สัมภาษณ์เป็นแบบเจาะจง (Purposive sampling) [7] ผู้ให้ข้อมูลเป็นคณาจารย์ผู้สอนในสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม ที่มีประสบการณ์การสอนและทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแหล่งพลังงานหมุนเวียน ซึ่งถือว่าเป็นผู้เชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ตรง จำนวน 5 ท่าน โดยทำการสัมภาษณ์ตามหลักการของวิธีการ AHP ซึ่งอธิบายไว้ในข้างต้น โดยตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 เป็นต้นมา การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์จะอาศัยซอฟแวร์ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support Systems) ช่วยในการประมวลผล

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนสำหรับอาคาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ด้วยวิธีการ AHP มีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ผลด้วยการใช้ซอฟแวร์สำเร็จรูประบบสนับสนุนการตัดสินใจ ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยหลักที่มีผลต่อการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียน ด้วยการนำค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ได้จากแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ ทั้ง 5 ท่าน มาทำการเปรียบเทียบรายคู่ โดยค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟแวร์ แสดงดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 ลำดับค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนสำหรับอาคาร

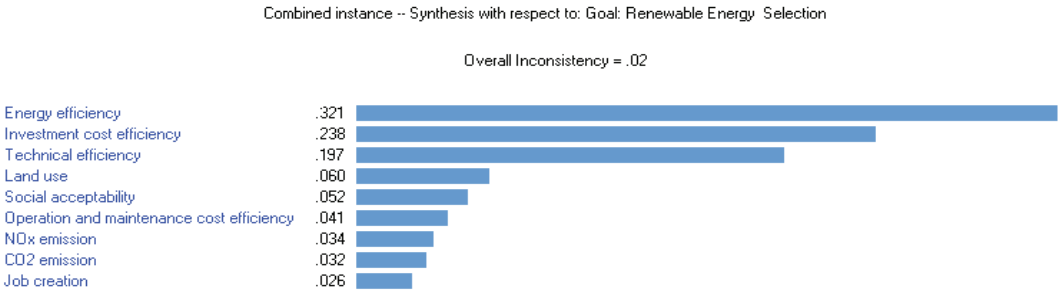
จากภาพที่ 2 ค่าน้ำของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนสำหรับอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา พบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจสูงที่สุด คือ ด้านเทคนิค 0.517 รองลงมา คือ ปัจจัยหลักด้านเศรษฐศาสตร์ 0.279 ปัจจัยหลักด้านสิ่งแวดล้อม 0.126 และปัจจัยหลักด้านสังคม 0.077 ตามลำดับ โดยค่า Inconsistency (C.I.) ที่ได้จากซอฟแวร์ คือ 0.02 < 0.1 แสดงค่าคะแนนความสำคัญที่ได้จากการเปรียบเทียบมีความสามสอดคล้องกัน

2. ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยรองที่มีผลต่อการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียน ด้วยการนำค่าน้ำหนักของปัจจัยรองที่ได้จากแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ ทั้ง 5 ท่าน มาทำการเปรียบเทียบรายคู่ภายใต้ปัจจัยหลักแต่ละด้าน โดยค่าน้ำหนักของปัจจัยรองแต่ละด้าน ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟแวร์ แสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 3

ตารางที่ 2 ลำดับค่าน้ำหนักของปัจจัยรองภายใต้ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียน

ปัจจัยหลัก (ค่าน้ำหนัก)	ปัจจัยรอง	ค่าหนัก	ลำดับ
เทคนิค [2] (0.517)	ประสิทธิภาพทางเทคนิค [8-10]	0.197	3
	ประสิทธิภาพทางพลังงาน [11, 12]	0.321	1
เศรษฐศาสตร์ [2] (0.279)	ประสิทธิภาพด้านการลงทุน [13, 14]	0.238	2
	ประสิทธิภาพด้านต้นการบำรุงรักษาและดำเนินการ [13, 15]	0.041	6
สิ่งแวดล้อม [2] (0.126)	การปล่อย NO_x [16, 17]	0.034	7
	การปล่อย CO_2 [16, 17]	0.032	8
	การใช้พื้นที่ในการติดตั้ง [18, 19]	0.060	4
สังคม [2] (0.077)	การยอมรับทางสังคม [20]	0.052	5
	การสร้างงาน [20]	0.026	9

จากตารางที่ 2 และภาพที่ 3 แสดงให้ถึงภาพรวมของค่าน้ำหนักของปัจจัยรองภายใต้ปัจจัยหลักแต่ละด้านที่มีผลต่อคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมกับอาคาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา โดยปัจจัยรองที่ค่ามีค่าน้ำหนักสูงสุด คือ ประสิทธิภาพทางพลังงาน 0.321 รองลงมา คือ ประสิทธิภาพด้านการลงทุน 0.238 และปัจจัยรองที่ค่ามีค่าน้ำหนักต่ำที่สุด คือ การสร้างงาน 0.026 โดยค่า Inconsistency (C.I.) ที่ได้จากซอฟแวร์ คือ 0.02 < 0.1 แสดงค่าคะแนนความสำคัญที่ได้จากการเปรียบเทียบมีความสามสอดคล้องกัน



ภาพที่ 3 ลำดับค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนสำหรับอาคาร

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนสำหรับอาคาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา เริ่มจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสม เพื่อสร้างเป็นโครงสร้างของปัจจัยหลักและปัจจัยรองที่มีผลต่อการตัดสินใจ และสร้างแบบสัมภาษณ์กับผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้สอนในสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม ด้วยให้ค่าคะแนนความสำคัญซึ่งเป็นการเปรียบเทียบรายคู่ของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจ ตามหลักการของ AHP และนำผลที่ได้จากแบบสัมภาษณ์ไปประมวลผลด้วยซอฟแวร์ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ผลที่ได้พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจสูงที่สุด คือ ด้านเทคนิค 0.517 รองลงมา คือ ปัจจัยหลักด้านเศรษฐศาสตร์ 0.279 ส่วนภาพรวมของปัจจัยรองที่ค่ามีค่าน้ำหนักสูงสุด คือ ประสิทธิภาพทางพลังงาน 0.321 รองลงมา คือ ประสิทธิภาพด้านการลงทุน 0.238 โดยค่าความสอดคล้อง C.I. ทั้ง 2 ส่วน ทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยรอง ที่ได้จากซอฟแวร์ คือ 0.02 < 0.1 แสดงค่าคะแนนความสำคัญที่ได้จากการเปรียบเทียบรายคู่มีความสอดคล้องกัน สำหรับผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยในครั้งนี้ สามารถนำไปใช้ถ่วงค่าน้ำหนักปัจจัยที่มีผลต่อทางเลือกเหมาะสมด้วยวิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ (MCDM) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือสูงสุดต่อการเลือกรูปแบบพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมกับอาคาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณหัวหน้าศูนย์เทคโนโลยีพลังงานทางเลือก และคณาจารย์สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์เวลาในการสัมภาษณ์รวมถึงข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Hiremath, R. B., Shikha, S., & Ravindranath, N. H. (2007). Decentralized energy planning; modeling and application—a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 11(5), 729-752.

[2] Kaya, T., & Kahraman, C. (2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. **Energy**, 35(6), 2517-2527.

[3] San Cristóbal, J. R. (2011). Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in spain: The Vikor method. **Renewable energy**, 36(2), 498-502.

[4] Ahmad, S., & Tahar, R. M. (2014). Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia. **Renewable energy**, 63, 458-466.

[5] Nigim, K., Munier, N., & Green, J. (2004). Pre-feasibility MCDM tools to aid communities in prioritizing local viable renewable energy sources. **Renewable energy**, 29(11), 1775-1791.

[6] Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. **International journal of services sciences**, 1(1), 83-98.

[7] Fuller, W. A. (2011). **Sampling statistics** (Vol. 560). John Wiley & Sons.

[8] Chien, T., & Hu, J. L. (2007). Renewable energy and macroeconomic efficiency of OECD and non-OECD economies. **Energy Policy**, 35(7), 3606-3615.

[9] Herring, H. (2006). Energy efficiency—a critical view. **Energy**, 31(1), 10-20.

[10] Menegaki, A. N. (2013). Growth and renewable energy in Europe: Benchmarking with data envelopment analysis. **Renewable Energy**, 60, 363-369.

[11] Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhang, C. F., & Zhao, J. H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 13(9), 2263-2278.

[12] Lee, S. K., Mogi, G., Li, Z., Hui, K. S., Lee, S. K., Hui, K. N., ... & Kim, J. W. (2011). Measuring the relative efficiency of hydrogen energy technologies for implementing the hydrogen economy: An integrated fuzzy AHP/DEA approach. **International journal of hydrogen energy**, 36(20), 12655-12663.

[13] Barros, J. J. C., Coira, M. L., de la Cruz López, M. P., & del Caño Gochi, A. (2015). Assessing the global sustainability of different electricity generation systems. **Energy**, 89, 473-489.

[14] Scott, J. A., Ho, W., & Dey, P. K. (2012). A review of multi-criteria decision-making methods for bioenergy systems. **Energy**, 42(1), 146-156.

[15] Kuthanazhi, V., & Rao, A. B. (2012, June). Selection of photovoltaic modules for off-grid rural application based on analytical hierarchy process (AHP). **In Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)**, 2012 38th IEEE (pp. 002888-002893). IEEE.

[16] Wimmler, C., Hejazi, G., de Oliveira Fernandes, E., Moreira, C., & Connors, S. (2015). Multi-criteria decision support methods for renewable energy systems on islands. **Journal of Clean Energy Technologies**, 3(3), 185-195.

[17] Demirtas, O. (2013). Evaluating the best renewable energy technology for sustainable energy planning. **International Journal of Energy Economics and Policy**, 3, 23-33.

[18] Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 28, 11-17.

[19] Al-Yahyai, S., Charabi, Y., Gastli, A., & Al-Badi, A. (2012). Wind farm land suitability indexing using multi-criteria analysis. **Renewable Energy**, 44, 80-87.

[20] Şengül, Ü., Eren, M., Shiraz, S. E., Gezder, V., & Şengül, A. B. (2015). Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey. **Renewable Energy**, 75, 617-625.

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของอิฐดินประสานผสมเม็ดโฟม

Physical Properties Study of Soil Cement Block with Foam Beads

ธวัฒน์ชัย เทพนวล[1*] บาดารียะ ฮูลูมา[1] เละ และสุทธิษา ก้อนเรือง[1]

[1] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพในการผลิตอิฐดินประสานผสมเม็ดโฟมที่มีขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 0.5 – 1.0 2.0 – 3.0 และ 4.0 – 5.0 mm. ตามลำดับ ผสมแทนที่ดินในอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 10 – 50 โดยปริมาตร กำหนดให้สัดส่วนของปูนซีเมนต์และทรายคงที่ที่ 1 : 1 ให้อัตราส่วนมวลรวมเท่ากับ 8 นำไปขึ้นรูปเป็นอิฐประสาน และทำการบ่มแบบธรรมชาติเป็นเวลา 3 7 และ 14 วัน ทำการคัดเลือกในแต่ละเงื่อนไขจำนวน 3 ก้อนเพื่อไปทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเม็ดโฟมขนาด 0.5 – 1.0 และ 2.0 – 3.0 พบว่า ค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1252.552 – 1695.216 kg/m^3 และ 1343.663 – 1668.070 kg/m^3 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 8.148 – 25.359 และร้อยละ 8.148 – 19.230 และค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 1.066 – 5.490 MPa และ 1.297 – 5.490 MPa ตามลำดับ

คำสำคัญ : เม็ดโฟม อิฐดินประสาน กำลังรับแรงอัด

* corresponding author : Tel : 074-604906 E-mail address : thawatchai@tsu.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยมีแนวโน้มในการใช้โฟมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการสำรวจปริมาณขยะประเภทโฟมในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา คือตั้งแต่ปี 2552 – 2556 พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จาก 34 ล้านใบ/วัน เป็น 61 ล้านใบ/วันหรือ โดยเฉลี่ยแล้วคนไทยสร้างขยะประเภทโฟมเพิ่มขึ้นประมาณ 1 ใบ/คน/วัน สะท้อนให้เห็นว่าคนไทยตระหนักถึงความสะดวกสบายและความรวดเร็วมากกว่าผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากโฟมเป็นขยะที่มีความคงทนต่อแรงอัดสูงทำให้ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานกว่า 100 ปี จึงจะย่อยสลายได้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาทางด้านมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [1] อิฐดินประสานเป็นวัสดุก่อสร้างประเภทหนึ่งที่ได้จากการอัดส่วนผสมของดินมวลรวม ปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมทำให้เป็นก้อนในลักษณะต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับเป้าที่ใช้อัดโดยไม่จำเป็นต้องเผาแล้วทำการบ่มด้วยวิธีธรรมชาติเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 7 วัน สำหรับอิฐประเภทนี้สามารถนำใช้กับงานก่อสร้างได้หลายประเภท ได้แก่ อาคารบ้านพักอาศัย รั้วกำแพง และในปัจจุบันได้ประยุกต์นำมาทำเป็นอิฐตกแต่งสวนหรือตกแต่งภายในอาคารได้อีกด้วย [2,3] นอกจากนั้นยังได้มีการศึกษาการใช้โฟมเพิ่มในสัดส่วนของอิฐดินประสานเพื่อทำอิฐดินประสาน [4] และการนำโฟมไปผสมในการทำคอนกรีตและอิฐมวลเบา [5]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมในการใช้เม็ดโฟมมาผสมในการผลิตอิฐดินซีเมนต์ โดยเลือกใช้ขนาดของเม็ดโฟม 3 ขนาด ทดแทนดินในอัตราส่วนต่าง ๆ กับสัดส่วนของปูนซีเมนต์และทรายโดยปริมาตร

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนในการทำวิจัยจะต้องเริ่มตั้งแต่ การเตรียมวัสดุสำหรับการทำอิฐดินประสาน ได้แก่ ดินลูกรังนำมาผึ่งลมเพื่อไล่ความชื้นและนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ทรายน้ำจืดผึ่งแดดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 ปูนซีเมนต์ และเม็ดโฟมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน 3 ขนาด ได้แก่ 0.5 – 1 2 – 3 และ 4 – 5 mm ตามลำดับ นำเม็ดโฟมแต่ละขนาดมาผสมในสัดส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมที่ใช้ขนาดเม็ดโฟม 0.5 – 1 mm

ชุดทดสอบ	เม็ดโฟม (โดยปริมาตร)	ดิน (โดยปริมาตร)	ทราย (โดยปริมาตร)	ปูนซีเมนต์ (โดยปริมาตร)
A1	0	6.0	1	1
A2	0.5	5.5	1	1
A3	1.0	5.0	1	1
A4	1.5	4.5	1	1
A5	2.0	4.0	1	1
A6	2.5	3.5	1	1
A7	3.0	3.0	1	1

ทำการผสมวัตถุดิบตามสัดส่วนชุดทดสอบ A B และ C ด้วยเครื่องกวน ดังภาพที่ 1 ระหว่างนั้นก็เติมน้ำสะอาดเข้าไปจนสามารถปั้นเป็นก้อนด้วยมือเปล่าได้ นำไปขึ้นรูปเป็นอิฐประสานด้วยเครื่องอัดอิฐดินประสานแบบไฮดรอลิกดังภาพที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมที่ใช้ขนาดเม็ดโฟม 2.0 – 3.0 mm

ชุดทดสอบ	เม็ดโฟม (โดยปริมาตร)	ดิน (โดยปริมาตร)	ทราย (โดยปริมาตร)	ปูนซีเมนต์ (โดยปริมาตร)
B1	0	6.0	1	1
B2	0.5	5.5	1	1
B3	1.0	5.0	1	1
B4	1.5	4.5	1	1
B5	2.0	4.0	1	1
B6	2.5	3.5	1	1
B7	3.0	3.0	1	1

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมที่ใช้ขนาดเม็ดโฟม 4.0 – 5.0 mm

ชุดทดสอบ	เม็ดโฟม (โดยปริมาตร)	ดิน (โดยปริมาตร)	ทราย (โดยปริมาตร)	ปูนซีเมนต์ (โดยปริมาตร)
C1	0	6.0	1	1
C2	0.5	5.5	1	1
C3	1.0	5.0	1	1
C4	1.5	4.5	1	1
C5	2.0	4.0	1	1
C6	2.5	3.5	1	1
C7	3.0	3.0	1	1

ภาพที่ 1 แสดงการกวนผสมวัตถุดิบ

(ก)

(ข)

ภาพที่ 2 การอัดอิฐดินประสานด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก

(ก) การใส่ส่วนผสมลงในเป้าอัด (ข) การอัดขึ้นรูปอิฐดินประสาน

นำอิฐดินประสานที่อัดขึ้นรูปแล้วไปบ่มด้วยวิธีธรรมชาติ กล่าวคือ ทำการรดน้ำและคลุมด้วยพลาสติกทิ้งไว้ในที่ร่มที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวกเป็นเวลา 3 7 และ 14 วัน นำไปทดสอบหาค่าความหนาแน่น (Bulk density test) ตามมาตรฐาน มอก.2601-2556 นำไปคำนวณตามสมการ 1

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{1}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นมวลเชิงปริมาตร (kg/m^3) m คือ มวลของสารหรือวัตถุ (kg)

v คือ ปริมาตรของสารหรือวัตถุ (m^3)

ทดสอบหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water absorption test) ตามมาตรฐาน มอก.2601-2556

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \left[\frac{m_w - m_d}{m_d}\right] \times 100\% \qquad (2)$$

เมื่อ m_w คือ มวลของชิ้นงานที่เปียก (kg) m_d คือ มวลของชิ้นงานที่แห้ง (kg)

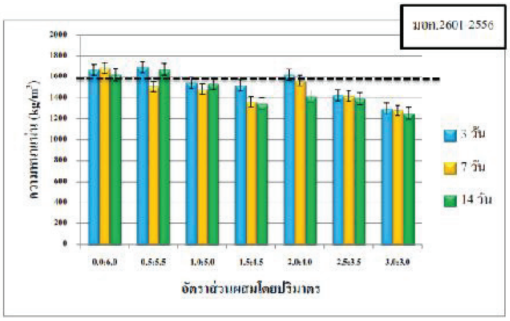
และทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength test) ตามมาตรฐาน ASTM C-140 แล้วนำค่าที่บันทึกได้ไปคำนวณได้ตามสมการที่ 3

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad (3)$$

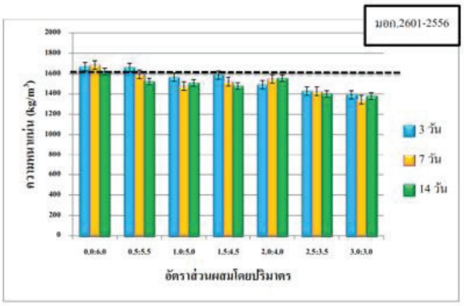
เมื่อ σ คือ กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2) F คือ แรงอัดสูงสุด (N) A คือ พื้นที่รับแรง (m^2)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่า ที่เม็ดโฟมขนาด 4 – 5 mm อิฐดินประสานเมื่อทำการขึ้นรูปแล้วจะแตกทันที แสดงว่าขนาดของเม็ดโฟมมีผลต่อการทำอิฐดินประสาน และเมื่อนำอิฐดินประสานที่ผ่านการบ่มที่เวลา 3 7 และ 14 ไปทดสอบและนำไปคำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้ผลดังภาพที่ 3 – ภาพที่ 5



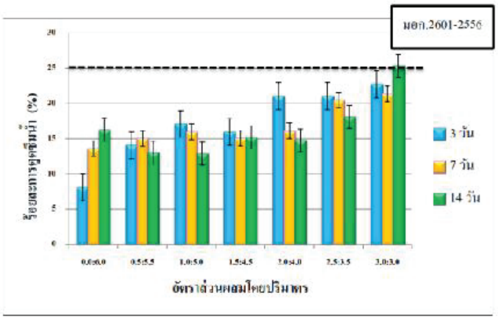
(ก)

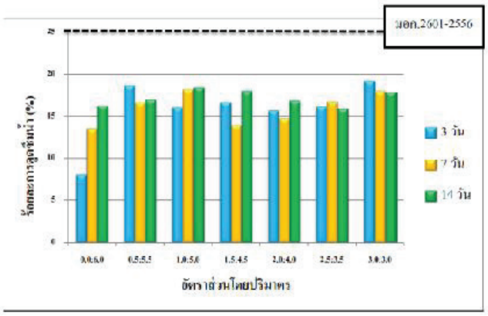


(ข)

ภาพที่ 3 กราฟระหว่างความหนาแน่นกับอัตราส่วนผสมโดยปริมาตร

(ก) ชุดทดสอบ A ที่ขนาดเม็ดโฟม 0.5 – 1.0 mm. และ (ข) ชุดทดสอบ B ที่ขนาดเม็ดโฟม 2.0 – 3.0 mm.

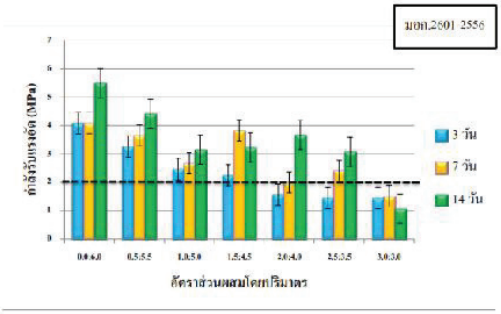


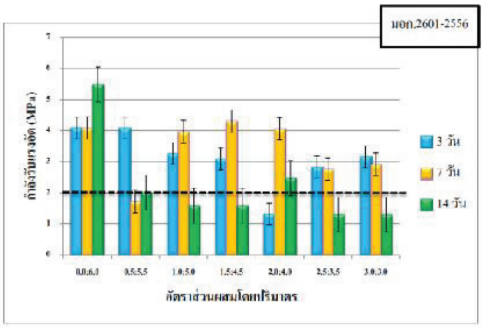


(ก) (ข)

ภาพที่ 4 กราฟระหว่างร้อยละการดูดซึมน้ำกับอัตราส่วนผสมโดยปริมาตร

(ก) ชุดทดสอบ A ที่ขนาดเม็ดโฟม 0.5 – 1.0 mm. และ (ข) ชุดทดสอบ B ที่ขนาดเม็ดโฟม 2.0 – 3.0 mm.





(ก) (ข)

ภาพที่ 5 กราฟระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนผสมโดยปริมาตร

(ก) ชุดทดสอบ A ที่ขนาดเม็ดโฟม 0.5 – 1.0 mm. และ (ข) ชุดทดสอบ B ที่ขนาดเม็ดโฟม 2.0 – 3.0 mm.

จากภาพที่ 3 พบว่าความหนาแน่นของอิฐดินประสานผสมโฟมมีค่าอยู่ระหว่าง 1252.552 -1695.216 และ 1343.663 – 1668.070 (kg/m^3) ทั้ง 7 ตัวอย่าง ผ่านมาตรฐาน มอก. 2601-2556 ที่มีความหนาแน่นไม่เกิน 1600 (kg/m^3) จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเม็ดโฟมและเวลาการบ่มเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากเม็ดโฟมไปแทนที่ปริมาณขององค์ประกอบอื่น ๆ ของส่วนผสมจึงทำให้ความสามารถในการยึดเหนี่ยวลดน้อยลง ขณะที่เม็ดโฟมที่มีขนาด 2 - 3 mm. มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าค่าความหนาแน่นของเม็ดโฟมมีขนาด 0.5 - 1 mm.

จากภาพที่ 4 พบว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐดินประสานผสมโฟมอยู่ระหว่างร้อยละ 8.148 – 25.359 และร้อยละ 8.148 – 19.230 ตามลำดับ ทั้ง 7 ตัวอย่าง ผ่านมาตรฐาน มอก. 2601-2556 ที่มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 25 เมื่อสัดส่วนเม็ดโฟมเพิ่มขึ้นค่าร้อยละการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากอิฐดินประสานผสมเม็ดโฟมมีช่องว่างมากขึ้นจึงทำให้อิฐดินประสานมีการดูดซึมน้ำได้เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

จากภาพที่ 5 (ก) พบว่ากำลังรับแรงอัดของอิฐดินประสานผสมเม็ดโฟมอยู่ระหว่าง 1.066 – 5.490 MPa มี 6 ตัวอย่างที่ผ่านมาตรฐาน มอก. 2601-2556 ยกเว้นสัดส่วนระหว่างเม็ดโฟมกับดิน 3.0:3.0 ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐาน มอก. 2601-2556 โดยที่กำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 2 MPa กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากสัดส่วนเม็ดโฟมที่เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 5 (ข) พบว่ากำลังรับแรงอัดของอิฐดินประสานผสมเม็ดโฟมอยู่ระหว่าง 1.297 – 5.490 MPa ทั้ง 7 ตัวอย่างผ่านมาตรฐาน มอก. 2601-2556 โดยที่กำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 2 MPa จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของเม็ดโฟม เมื่อเวลาการบ่มเพิ่มขึ้นทำให้เกิดช่องว่างเพิ่มขึ้นในอิฐดินประสานจึงทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพยที่เหมาะสมของการผลิตอิฐดินประสานผสมเม็ดโฟม ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และกำลังรับแรงอัด โดยใช้เม็ดโฟมต่างกัน 3 ขนาด ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันสามารถสรุปไตามสมบัติของการทดสอบ ดังนี้

ความหนาแน่น ค่าความหนาแน่นของอิฐดินประสานผสมเม็ดโฟมขนาด 0.5 - 1.0 mm. ซึ่งมีอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรระหว่าง เม็ดโฟม ดิน ทราย และปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ตัวอย่างที่ A1-A7 ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความหนาแน่นที่ดีที่สุดที่สัดส่วนเม็ดโฟมต่อดิน เท่ากับ 1.5:4.5, 2.0:4.0, 2.5:3.5 และ 3.0:3.0 มีค่า 1346.595 1417.127 1394.622 และ 1252.552 kg/m^3 ตามลำดับ อิฐดินประสานผสมเม็ดโฟมขนาด 2.0 – 3.0 mm. ตัวอย่างที่ B1-B7 ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความหนาแน่นที่ดีที่สุดที่สัดส่วนเม็ดโฟมต่อดิน เท่ากับ 1.5:4.5 และ 2.5:3.5 คือ 1479.111 และ 1555.556 kg/m^3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของเม็ดโฟมมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเม็ดโฟมไปแทนที่ปริมาณขององค์ประกอบอื่น ๆ ของส่วนผสมจึงทำให้ความสามารถในการยึดเหนี่ยวลดน้อยลง และเมื่อมีความชื้นสะสมอยู่ส่งผลให้น้ำหนักอิฐเพิ่มขึ้นจึงทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ขนาดของเม็ดโฟมอาจมีส่วนที่ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นได้ด้วยเช่นกันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2601-2556 ไม่เกิน 1600 kg/m^3

ร้อยละการดูดซึมน้ำ ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐดินประสานผสมเม็ดโฟมขนาด 0.5-1.0 mm. ตัวอย่างที่ A1-A7 ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่ดีที่สุดที่สัดส่วนเม็ดโฟมต่อดิน เท่ากับ 1.0:5.0 2.0:4.0 และ 2.5:3.5 คือ 12.914 14.771 และ 1555.556 % ตามลำดับ อิฐดินประสานผสมเม็ดโฟมขนาด 2.0 – 3.0 mm ตัวอย่างที่ B1-B7 ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่ดีที่สุดที่สัดส่วนเม็ดโฟมต่อดิน เท่ากับ 1.0:5.0 คือ 18.474 % ทั้งตัวอย่าง A และ B อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2601-2556 ไม่เกิน 25 %

กำลังรับแรงอัด ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐดินประสานผสมเม็ดโฟมขนาด 0.5-1.0 mm. ตัวอย่างที่ A1-A7 ผลการวิเคราะห์พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุดสัดส่วนเม็ดโฟมต่อดินได้แก่ 0.5:5.5 1.0:5.0 2.0:4.0 และ 2.5:3.5 คือ 4.412 3.153 3.228 3.673 และ 3.076 MPa อิฐดินประสานผสมเม็ดโฟมตัวอย่างที่ B1-B7 ผลการวิเคราะห์พบว่ากำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุดสัดส่วนเม็ดโฟมต่อดิน ได้แก่ 1.0:5.0 และ 1.5:4.5 คือ 3.965 และ 4.305 MPa เมื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนของเม็ดโฟมทำให้กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณเม็ดโฟมที่เพิ่มขึ้นทำให้อิฐมีช่องว่างการยึดเกาะระหว่างสารน้อยลงจึงทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก.2601-2556 ไม่ต่ำกว่า 2 MPa

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ งบประมาณสนับสนุนจากสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

เอกสารอ้างอิง

[1] วิเชียร จุ่งรุ่งเรือง. **วิกฤติขยะจากโฟม** สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2560, จาก https://www.dailynews.co.th

[2] วุฒินัย กกกำแหง และพิชิต เจนบรรจง. (ม.ป.ป.). เอกสารประกอบการอบรมการผลิตบล็อกประสาน วว. การผลิตบล็อกประสานให้ได้คุณภาพ. กรุงเทพฯ : ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.).

[3] ปิติ ไวยนิภี และ ทวีสิน เกตุนิล. (2543). โครงงานวิศวกรรมเกษตร : อิฐบล็อกดินซีเมนต์. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 22 หน้า.

[4] ธวัฒน์ชัย เทพนวล ธเนศ ไชยชนะ และ จิราวรรณ ราชแก้ว. (2556). “อิฐมวลเบาจากวัสดุโฟมใช้แล้ว”, ในการประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23 ประจำปี 2556, วันที่ 22 - 25 พฤษภาคม 2556 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

[5] สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ. (2549). การใช้เศษโฟมมาทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. 2(1), 65 – 69.

ผลของการใช้สารจับตัวน้ำยางธรรมชาติในชุมชน

Effect of Coagulant Agents on Natural Rubber Latex in the community

กฤษฎา พัชรสิทธิ์[1*] เริงวุฒิ ชูเมือง[2] อนิดา เพ็ชรแก้ว[1] ธารทิพย์ สิทธิรักษ์[2] นันทพันธ์ นภัทรานันทน์[2] วิรัช ทวีปรีดา[3] และ ก้องกิดากร บุญช่วย[4]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง 93210

[2] สาขาวิชาเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง 93210

[3] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ 90110

[4] สาขาวิชาบรรณารักษศาสตร์ สารสนเทศศาสตร์ และนิเทศศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตสงขลา 90000

บทคัดย่อ

กระบวนการใช้สารจับตัวน้ำยางธรรมชาติเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญในการทำแผ่นยางเพื่อใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ เช่น ยางล้อรถ ท่อยาง ถุงมือ อุปกรณ์กีฬา เป็นต้น สารจับตัวน้ำยางธรรมชาติมีหลากหลายชนิด ซึ่งปัจจุบันใช้สารเคมีที่ออกฤทธิ์เป็นกรดในการเร่งการจับตัว เช่น กรดฟอร์มิก, กรดซัลฟิวริก, กรดอะซิติก, และสาร Glass และทดแทนการใช้สารเคมี เช่น กรดชีวภาพหรือน้ำหมักชีวภาพ โดยสารจับตัวน้ำยางธรรมชาติแต่ละชนิดจะให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันทั้งทางด้านสมบัติเชิงกล และสมบัติกายภาพ จึงทำให้เกษตรกรผู้ใช้สารจับตัวน้ำยางธรรมชาติจะต้องมีความรู้ ความเข้าใจเป็นอย่างดีเกี่ยวกับการใช้สารจับตัวในการผลิตยางแผ่น และต้องคำนึงถึงปัญหาที่เกิดขึ้นทางด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในชุมชนกับการใช้สารจับตัวน้ำยาง ดังนั้น ในบทความนี้จะรวบรวมการใช้สารจับตัวชนิดต่างๆ ที่ใช้จับตัวน้ำยางในปัจจุบันเกี่ยวกับคุณภาพของยางแผ่นทางด้านสมบัติเชิงกลและสมบัติกายภาพ รวมทั้งผลกระทบทางด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในชุมชน

คำสำคัญ: น้ำยางธรรมชาติ สารจับตัวน้ำยาง ยางแผ่น

[*]Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: krit_off@hotmail.com

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลก ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) ถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย สร้างรายได้ให้กับประเทศทั้งการส่งออกในรูปแบบของยางดิบ และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากยางพารารวมมากกว่าปีละ 500,000 ล้านบาท มากที่สุดของพืชผลทางการเกษตรก็ว่าได้ มีพื้นที่ปลูกยางมากกว่า 21 ล้านไร่ ครอบคลุม 60 จังหวัดทั่วประเทศ ประเทศไทยผลิตยางได้ประมาณปีละ 4.2 ล้านตัน แต่นำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆทั้งที่ใช้ในประเทศและส่งออกเพียงแค่ 550,000 ตันเท่านั้น หรือคิดเป็นร้อยละ 13 ของผลผลิต แต่กลับมีมูลค่าถึง 270,000 ล้านบาท ในขณะที่ส่งออกในรูปแบบยางดิบ เช่น ยางแท่ง ยางแผ่นรมควัน น้ำยางข้น ยางคอมปาวด์ เป็นต้น ถึง 3.65 ล้านตัน หรือร้อยละ 87 ของผลผลิต แต่กลับมีมูลค่าเพียง 250,000 ล้านบาท [1] จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยยังพึ่งพาการส่งออกยางธรรมชาติอย่างมาก โดยส่วนใหญ่ส่งออกในรูปของวัตถุดิบ ซึ่งส่งผลให้ราคายางธรรมชาติมีความแปรปรวนอย่างมากตลอดช่วงปีที่ผ่านมา จึงมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับยางธรรมชาติตั้งแต่กระบวนการต้นน้ำในการแปรรูปวัตถุดิบในการใช้สารจับตัวในน้ำยางธรรมชาติให้มีคุณภาพที่ดี มีสีของแผ่นยางที่สม่ำเสมอ เพื่อนำมาผลิตใช้ในประเทศและส่งออกในรูปของผลิตภัณฑ์ที่สามารถเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติได้ ซึ่งยางธรรมชาตินั้นมีสมบัติเด่นในหลายประการ โดยยางธรรมชาติเป็นสารประกอบมีสูตรเคมี คือ C_5H_8 เป็น cis-1, 4 polyisoprene มีอุณหภูมิเปลี่ยนสภาพแก้วหรือ Tg (Glass transition temperature) ที่ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง คือ ประมาณ -73 องศาเซลเซียส ทำให้มีความยืดหยุ่นสูง ต้านทานต่อแรงดึงที่ดีและเกิดผลึกได้เมื่อเกิดความเครียด (Strain crystallize) มีความทนทานต่อการฉีกขาดและมีความกระเด้งกระดอนสูง ทั้งนี้ยางธรรมชาติสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้อย่างหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ (ยางล้อ และยางในรถ) อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ทางวิศวกรรม (สายพาน ท่อยาง และอะไหล่รถยนต์) อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ (ถุงมือ สายยาง และหุ่นยาง) อุตสาหกรรมกีฬา (ผ้ายืด ลูกเทนนิส และบอลต่างๆ) และอุตสาหกรรมอื่นๆ (รองเท้า และยางฟองน้ำ) เป็นต้น [2] แต่ทั้งนี้ยางธรรมชาติยังมีข้อด้อยบางประการ เช่น การไม่ทนน้ำมัน เนื่องจากโมเลกุลยางธรรมชาติมีพันธะไม่อิ่มตัวหรือพันธะคู่ จึงสามารถละลายได้ในตัวทำละลายไม่มีขั้ว และมีความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซนและแสงแดด เป็นต้น [3]

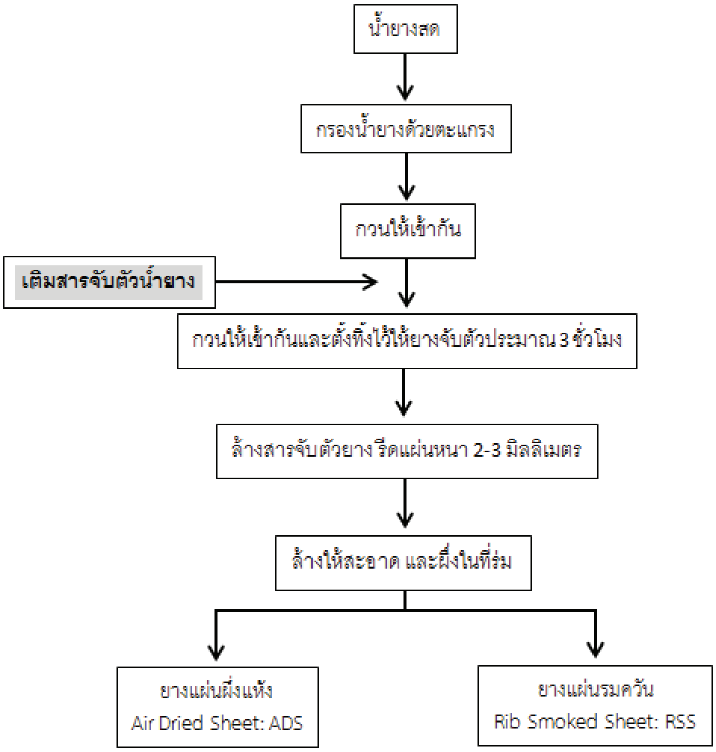
การจับตัวน้ำยางธรรมชาติสามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดจากจุลินทรีย์ใช้สารบางชนิดในน้ำยางในการเป็นอาหาร จึงเกิดการทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยาง ทำให้การจับตัวในน้ำยางนั้นกว่าจะเกิดการจับตัวที่สมบูรณ์ต้องใช้เวลานาน ซึ่งในกระบวนการทำยางแห้งจะต้องมีการจับตัวน้ำยางให้เป็นก้อน หากจะให้น้ำยางจับตัวตามธรรมชาติจะทำให้เสียเวลา [4] จึงจำเป็นต้องมีการเร่งการจับตัวโดยใช้สารเคมีที่ออกฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งกรดจะสลายตัวให้อิออนของไฮโดรเจนไปทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยางทำให้เกิดการจับตัวของน้ำยาง (Acid coagulation)

สารจับตัวในน้ำยางธรรมชาติเป็นสารเคมีที่ทำให้น้ำยางไม่เสถียร จะอยู่ในรูปของสารละลายและรูปแบบผง ซึ่งเกษตรกรจะนิยมใช้สารจับตัวในน้ำยางประเภทกรด โดยกรดจะสามารถสลายตัวให้อิออนบวกของไฮโดรเจน (H^+) ทำให้น้ำยางจับตัวได้ เพราะ H^+ จะทำลายอนุมูลอิสระของหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล (Carboxyl group) ที่ทำหน้าที่รักษาความเสถียรในการแขวนลอยของอนุภาคยางในน้ำยางเกิดเป็นกรดไขมัน (Fatty acid) [4] ทำให้จำนวนประจุไม่มีหรือลดจำนวนประจุที่อยู่รอบๆ อนุภาคยางจึงส่งผลให้น้ำยางเสียสภาพ ซึ่งกลไกทางปฏิกิริยาทางเคมีในการเสียสภาพของน้ำยางแสดงดังภาพที่ 1

$$H^{+} \quad + \quad ROO^{-} \longrightarrow R^{\circ}COOH$$

ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาทางเคมีในการเสียสภาพของน้ำยาง

ปัจจุบันกระบวนการต้นน้ำในการแปรรูปวัตถุดิบน้ำยางธรรมชาติของผู้ประกอบการยางแท่งจะประสบปัญหาในด้านคุณภาพของแผ่นยางและสีที่สม่ำเสมอ ทำให้ส่งผลต่อการนำยางแผ่นแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเกษตรกรมีการใช้สารจับตัวในน้ำยางธรรมชาติที่ไม่มีคุณภาพหรือหลงเชื่อคำกล่าวอ้างของสารที่ใช้ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว รวมทั้งปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารจับตัวในน้ำยาง ขั้นตอนการแปรรูปน้ำยางธรรมชาติเป็นยางแผ่นของเกษตรกรแสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลำดับขั้นตอนการใช้สารจับตัวน้ำยาง จะเติมสารจับตัวน้ำยางก็ต่อเมื่อมีการกรองสิ่งสกปรกออกจากน้ำยาง และอนุภาคของยางบางส่วนที่เกิดการเกาะกลุ่มจับตัวออก



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการแปรรูปน้ำยางธรรมชาติเป็นยางแผ่นของเกษตรกร

โดยในบทความนี้จะกล่าวถึงสารจับตัวที่เกษตรกรใช้ในการจับตัวน้ำยางที่มีผลต่อสุขภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งคุณภาพยางที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันทางด้านสารเคมี เช่น กรดฟอร์มิก, กรดซัลฟิวริก, กรดอะซิติก, และสาร Glass ที่ได้จากการใช้สารเคมี เป็นต้น และทางด้านทดแทนการใช้สารเคมี เช่น กรดชีวภาพหรือน้ำหมักชีวภาพ

สารจับตัวน้ำยางที่ใช้สารเคมี เช่น

กรดอะซิติก (Acetic acid) หรือกรดน้ำส้ม หรือกรดเอทาโนอิก (Ethanoic acid) เป็นกรดอินทรีย์ (Organic acid) มีสูตรทางเคมี คือ CH_3COOH สามารถจับตัวน้ำยางได้มีรสเปรี้ยวและกลิ่นฉุน มีลักษณะเป็นผลึกใส กรดชนิดนี้มีฤทธิ์กัดกร่อน ไอของกรดสามารถทำให้ตาและจมูกระคายเคือง แต่ก็ยังมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนหากละลายน้ำ [5] แต่กรดชนิดนี้เป็นกรดอ่อนกว่ากรดฟอร์มิกมาก ซึ่งในการทำแผ่นต้องใช้ปริมาตรของกรดอะซิติกมากกว่าฟอร์มิกถึง 3 เท่า ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงกว่า และในการจับตัวยางยังต้องใช้ระยะเวลาการจับตัวนานกว่าปกติประมาณ 4 เท่า จึงจะจับตัวยางได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนสีของแผ่นจะมีสีเหลืองใสเช่นเดียวกับกรดฟอร์มิก แต่น้ำเสียที่เกิดจากการใช้กรดอะซิติกมีกลิ่นเหม็นฉุนจากกรดน้ำส้มที่ยังคงตกค้างอยู่

กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) หรือกรดกำมะถัน เป็นชื่อทางเคมีที่รู้จักกันดี เป็นกรดแก่ ค่อนข้างอันตราย มีกลิ่นเหม็นแสบจมูก มีสูตรโมเลกุล คือ H_2SO_4 [6] ซึ่งเมื่อสมัย 20 กว่าปีที่ผ่านมา เกษตรกรทางภาคใต้นิยมใช้กรดซัลฟิวริกเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีราคาถูก และหาซื้อได้ง่ายกว่ากรดฟอร์มิก ซึ่งราคาของกรดซัลฟิวริกจะมีราคาถูกว่ากรดฟอร์มิกประมาณเท่าตัว ปัจจุบันกรดชนิดนี้เกษตรกรทางภาคใต้จะใช้กันน้อยมาก โดยหันมาใช้กรดฟอร์มิกแทน ซึ่งตรงกันข้ามกับเกษตรกรทางภาคอีสานที่ปัจจุบันนิยมใช้กรดซัลฟิวริก เนื่องจากประสิทธิภาพการจับตัวของยางทำได้อย่างรวดเร็ว ยางใช้เวลาในการจับตัวเพียง 30 นาที และมีราคาถูก แต่จะส่งผลโดยเฉพาะยางก้นถ้วยทางด้านคุณภาพของยางมากกว่าการทำยางแผ่น เนื่องจากขั้นตอนการทำยางแผ่น เมื่อผสมน้ำยางกับน้ำเจือจางให้มีความเข้มข้นของเนื้อยางในระดับที่เหมาะสม ในขั้นตอนต่อไปคือการเติมน้ำกรดเพื่อให้ยางจับตัว หากปริมาณน้ำกรดมีมากเกินพอที่จะทำปฏิกิริยากับน้ำยางได้ น้ำกรดเหล่านี้จะออกมาอยู่ในส่วนของน้ำเซรั่ม นอกจากนี้ในขั้นตอนการรีดยางแผ่น น้ำกรดส่วนหนึ่งจะถูกชะล้างออกไปหลังจากรีดยางแผ่นแล้วจะผ่านขั้นตอนการล้างน้ำอีกครั้งหนึ่ง กรดที่ตกค้างในยางแผ่นจึงเหลืออยู่ในปริมาณที่น้อยมาก แตกต่างกับการผลิตยางก้นถ้วยเนื่องจากกระบวนการผลิตมีปริมาณซัลเฟตตกค้างในยางสูงจึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพยาง แผ่นยางมีสีคล้ำ เกิดฟองอากาศ แผ่นยางเหนียว แห้งช้า เนื้อแข็งกระด้าง รวมทั้งอันตราย ต่อผู้ที่สัมผัสโดยตรง เครื่องจักรชำรุดได้ง่ายเนื่องจากเป็นกรดแก่ และผลต่อระบบบำบัดน้ำเสีย [7]

กรดฟอร์มิก (Formic acid) หรือกรดมด เป็นกรดคาร์บอกซิลิกซึ่งเป็นกรดอินทรีย์บริสุทธิ์ ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ในธรรมชาติพบในพวกมดและผึ้งเพื่อใช้ป้องกันตัวจากศัตรู เนื่องจากกรดฟอร์มิกเป็นสารอินทรีย์ที่ระเหยได้ง่าย มีสูตรโครงสร้างทางเคมีขนาดเล็กคือ HCOOH มีคาร์บอนเพียงตัวเดียว จึงนับว่าเป็นกรดอ่อนที่มีความแรงของกรดไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับกรดชนิดอื่น [7] ซึ่งกรดฟอร์มิกเป็นสารที่สามารถจับตัวเนื้อยางได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและไม่ตกค้างในยาง มีความปลอดภัยค่อนข้างสูง ซึ่งในวงการอุตสาหกรรมยางพารา กรดฟอร์มิกเป็นสารจับตัวที่นิยมใช้ในการผลิตยางแผ่นดิบ ยางก้อนถ้วย และยางแท่ง STR (Standard Thai Rubber) 5L ที่มีคุณภาพดี เนื่องจากทำให้สีของยางที่แห้งแล้วเหลืองสวย ไม่คล้ำ ยางแห้งเร็ว ไม่เหนียวเหนอะหนะ เนื้อยางยืดหยุ่นดี เหมาะแก่การผลิตผลิตภัณฑ์ยางทุกชนิดและระยะเวลาในการจับตัวของน้ำยางสามารถจับตัวได้อย่างสมบูรณ์ได้ไม่เกิน 1 ชั่วโมง

สาร Glass เป็นสารจับตัวยางชนิดหนึ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจับตัวน้ำยางในการลดการใช้กรดซัลฟวริก ลดการสูญเสียเนื้อยางในการผลิตให้น้อยที่สุด และแก้ปัญหามลพิษทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในโรงงานผลิตน้ำยางข้น และเวลาในการจับตัวน้ำยางใช้เวลาไม่นานนัก โดยทั่วไปแล้ววิธีการจับตัวเนื้อยางออกจากยางในอุตสาหกรรมน้ำยางข้น นิยมใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น วิธีการนี้ถึงแม้จะมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างต่ำ แต่มีข้อด้อยเรื่องคุณภาพของยางที่ได้ หลังจากจับตัวเนื้อยางแล้ว น้ำทิ้งที่เหลือก็มีการปนเปื้อนของซัลเฟตสูง ทำให้น้ำทิ้งมีค่าความเป็นกรดสูง (pH ประมาณ 4.5) ก่อให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า สงกลิ่นเหม็นและยังเป็นอันตรายต่อมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการบำบัดเป็นพิเศษก่อนที่จะปล่อยลงสู่บ่อน้ำทิ้ง ซึ่งขั้นตอนนี้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง โดยสารชนิดนี้สามารถช่วยจับตัวน้ำยางได้ดีขึ้น คุณภาพของยางที่ได้มีสมบัติที่ดี และน้ำทิ้งจากกระบวนการมีสภาพเป็นกลาง จำทำให้ไม่ส่งผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม [8]

สารจับตัวน้ำยางที่ใช้ทดแทนสารเคมี เช่น

กรดชีวภาพหรือน้ำหมักชีวภาพ กรดชีวภาพเป็นกรดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น กรดจากผลไม้ หรือพืชสวนครัว สามารถนำมาใช้เป็นสารช่วยจับตัวยางได้ ซึ่งกรดที่ได้จากน้ำหมักชีวภาพ คือ กรดอะมิโน และกรดอินทรีย์ แต่กรดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจะมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น การแปรรูปกรดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติให้อยู่ในรูปของน้ำหมักชีวภาพ ทำให้อายุการเก็บรักษาน้ำกรดจากผลไม้หรือพืชสวนครัวได้นานขึ้น และสามารถนำมาใช้เป็นสารช่วยจับตัวยางได้ [9] น้ำหมักชีวภาพสามารถทำให้น้ำยางสดจับก้อนได้ เนื่องจากน้ำหมักชีวภาพมีความเป็นกรด การใช้น้ำหมักชีวภาพ เพื่อจับตัวยางแทนกรดฟอร์มิกทำให้น้ำยางจับตัวได้ ไม่มีกลิ่น และน้ำหมักชีวภาพไม่ทำให้แสบตา ไม่มีอันตรายต่อผู้ใช้ และเซรั่มที่ได้จากการจับตัวก้อนยางไม่เป็นพิษ แต่ขั้นตอนการทำน้ำหมักชีวภาพจะมีกลิ่นเน่าเหม็นออกมา ทำให้มีผลต่อผู้ทำและมลพิษทางอากาศในสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีผู้วิจัยในการใช้กรดชีวภาพจากการหมักจากผลไม้และพืชผักสวนครัวหลายชนิด เช่น น้ำส้มควันไม้ น้ำมะพร้าว สับปะรด มะละกอ กล้วย มะเฟืองหัวเชื้อและส้มโอ [10] เป็นต้น แต่พบว่าการจับตัวด้วยน้ำหมักชีวภาพจะมีปริมาณสิ่งสกปรกสูงกว่ายางก้อนที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก ส่วนค่าความอ่อนตัวมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน แต่ปริมาณสิ่งระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณไนโตรเจน จะมีค่าที่สูงกว่ายางที่จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก แสดงว่ายางจะมีความชื้นหลงเหลือในปริมาณที่มากกว่า เนื่องจากมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบและมีสารอนินทรีย์ในปริมาณที่มากกว่า [7]

สรุปผล

สารจับตัวในน้ำยางธรรมชาติที่เกษตรกรใช้ในปัจจุบันมีหลากหลายชนิด เช่น กรดฟอร์มิก, กรดซัลฟิวริก, กรดอะซิติก, สาร Glass และกรดชีวภาพหรือน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งสารเหล่านี้สามารถจับตัวน้ำยางธรรมชาติเป็นก้อนได้ แต่คุณสมบัติของแผ่นยางที่ใช้สารจับตัวดังกล่าวมีคุณภาพที่แตกต่างกัน ทั้งทางด้านสมบัติเชิงกลและสมบัติกายภาพ จึงต้องมีการใช้สารจับตัวที่เหมาะสมเพื่อการนำแผ่นยางที่ได้ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ รวมทั้งสารจับตัวที่ใช้บางชนิดจะส่งผลกระทบทั้งทางด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น ปัญหาทางด้านกลิ่น น้ำเสีย ดินมีสารปนเปื้อน เป็นต้น ดังนั้น เกษตรกรผู้ผลิตยางแผ่นจึงต้องมีการคำนึงถึงปัญหาด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในชุมชนเป็นสิ่งสำคัญ

ชนิดกรด	ผลต่อคุณภาพยาง	ผลต่อสุขภาพ	ผลต่อสิ่งแวดล้อม
กรดฟอร์มิก	- กรดไม่ตกค้างในยาง เนื่องจากเป็นกรดอ่อน - จับตัวเนื้อยางได้สมบูรณ์ ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง - สีของยาง เมื่อแห้งเหลืองสวยไม่คล้ำ สมบัติทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์ดี	ไม่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสัตว์	ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
กรดซัลฟิวริก	- มีปริมาณซัลเฟตตกค้างในยาง เนื่องจากเป็นกรดแก่ - จับตัวเนื้อยางได้ ใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง - สีของยางคล้ำ มีความหนืดและความชื้นเกินกว่ามาตรฐาน	ค่อนข้างอันตราย มีกลิ่นเหม็น แสบจมูก	เกิดน้ำเสียมีสีดำ ยากต่อการบำบัด
กรดอะซิติก	- ใช้ปริมาณกรดในการจับตัวมากกว่ากรดฟอร์มิก 3 เท่า - จับตัวเนื้อยางใช้เวลานานกว่ากรดฟอร์มิกถึง 4 เท่า - สีของยางเหลืองใส เนื้อยางยืดหยุ่นดี สมบัติทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์	มีกลิ่นเหม็นฉุน	น้ำเสียมีกลิ่นเหม็นฉุน
สาร Glass	- มีประสิทธิภาพในการจับตัวเนื้อยาง - จับตัวเนื้อยางใช้เวลาน้อยกว่ากรดซัลฟิวริก - สีของยางเหลืองอ่อน สมบัติทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์	ไม่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสัตว์	น้ำทิ้งมีสภาพเป็นกลาง
กรดชีวภาพ หรือ น้ำหมักชีวภาพ	- ใช้ปริมาณกรดในการจับตัวมาก ต้นทุนการผลิตสูง - จับตัวเนื้อยางใช้เวลานาน - ยางมีความสกปรก สมบัติทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์ต่ำเนื่องจากมีความชื้นหลงเหลือ	มีกลิ่นเหม็น	น้ำเสียมีกลิ่นเหม็น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบุคลากรสาขาวิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง และสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้คำแนะนำและข้อมูลอันเป็นประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันวิจัยยาง. (2559). **พื้นที่ปลูกยางของประเทศไทย**. กรมวิชาการเกษตร สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2560, จาก http://www.rubberthai.com/

[2] ปุญญานิช อินทรพัฒน์. (2555). สารตัวเติมในยางธรรมชาติจากวัสดุเหลือใช้ชีวมวล. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**. 14(1), 30-43.

[3] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. (2552). **ผลิตภัณฑ์ยาง: กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี.** สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

[4] วราภรณ์ ขจรไชยกุล. (2549). **ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน.** สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

[5] เภสัชกรอภัย ราษฎรวิจิตร. (2559). **กรดอะซิติก (Acetic acid)**. หาหมอ.คอม สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2560, จาก http://haamor.com/th/กรดอะซิติก/

[6] เขมชิต ธนากิจชาญเจริญ. (2556). มารู้จักกรดซัลฟิวริกกันเถอะ. **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ.** 61(193), 10-13.

[7] ปรีดิ์เปรม ทัศนกุล. (2558). หยุดการใช้กรดซัลฟิวริกในการจับตัวยาง. **วารสารยางพารา ศูนย์วิจัยยางสงขลา สถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย.** 14-18.

[8] ห้องปฏิบัติการยาง ศูนยเทคโนโลยีโลหะและวัสดุแหงชาติ (เอ็มเทค). (2552**). สารจับตัวน้ำยางสกิมประสิทธิภาพสูง**. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตรและเทคโนโลยีแหงชาติ. สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2560, จาก http://rubber.oie.go.th/box/ELib_Document/2444/สารจับตัวน้ำยางสกิมประสิทธิภาพสูง.pdf

[9] เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี, ยุพดี ชัยสุขสันต์ และสมพรประเสริฐส่งสกุล. (2558). การใช้น้ำหมักชีวภาพเป็นสารจับตัวน้ำยางธรรมชาติ. **งานวิจัยทางด้านยางพารา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์**.

[10] สายสมร ลำลอง และจารวี นามวิชัย. (2554). การใช้น้ำหมักชีวภาพจากมะเฟืองหัวเชื้อและส้มโอเป็นสารจับตัวยางและผลต่อสมบัติของยางคอมพาวด์และยางวัลคาไนซ์. **วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี**. 1, 21-30.

การศึกษาประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีตัวเก็บรังสีอาทิตย์รูปแบบต่างกัน

Efficiency Study of Solar Dryer with the Different model of Flate Plat Solar Collector

สุมลรัตน์ ไชยโย[1*] สุวิทย์ เพชรห้วยลึก[1] ธีรเดช ใหญ่บก[1] และสุเจนต์ พรมเหมือน[1]
[1] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.พัทลุง 93210

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีรูปแบบต่างกันของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีรูปแบบ 4 รูปแบบ ดังนี้ แบบราบเรียบ แบบราบร่องลอน แบบราบร่องตัววี และแบบราบเรียบกักเก็บความร้อนด้วยหิน ห้องอบแห้งมีขนาด 0.0413 m^3 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีขนาด 0.456 m^2 ของทุกรูปแบบ โดยอัตราการไหลของมวลอากาศ ณ วันที่ทำการทดลองเท่ากับ 0.02 kg/s ของทุกรูปแบบ โดยมีความชื้นเริ่มต้น 69%$_{w.b}$,70%$_{w.b}$,68%$_{w.b}$ และ 69%$_{w.b}$ ของผลิตภัณฑ์ทุกครั้งที่ทำการทดลองทั้ง 4 รูปแบบ และความชื้นสุดท้าย 57%$_{w.b}$, 54%$_{w.b}$, 56%$_{w.b}$ และ 56%$_{w.b}$ ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้งคือกล้วยน้ำว้า ใช้เวลาในการอบแห้ง 9 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าการอบแห้งด้วยระบบที่มีตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 4 รูปแบบ มีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยของแต่ละรูปแบบเท่ากับ 408 W/m^2, 714 W/m^2, 626 W/m^2 และ 586 W/m^2 อุณหภูมิห้องเฉลี่ยของแต่ละรูปแบบเท่ากับ 33 $^{\circ}$C, 40 $^{\circ}$C, 36 $^{\circ}$C และ 35 $^{\circ}$C โดยมีค่าประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ของแต่ละรูปแบบเท่ากับ 16%, 21%, 22% และ 33% และมีค่าประสิทธิภาพของระบบอบแห้งแต่ละรูปแบบเท่ากับ 6%, 4%, 4% และ 4% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ตัวเก็บรังสีอาทิตย์, เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

[*]Corresponding author: Tel.: 091-6569857. E-mail address: sumonrat.05598@gmail.com

บทนำ

ประเทศไทยนับเป็นประเทศที่มีการส่งออกผลผลิตทางการเกษตร รายสำคัญของโลก ทั้งในรูปแบบผลผลิตบริโภคสดและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรแปรรูป ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มการขยายตัวเพิ่มขึ้นทุกด้าน ทั้งในส่วนต้นทุนน้ำมันและสาธารณูปโภคโภค ดังนั้นการพัฒนากระบวนการผลิตทางด้าน ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรแปรรูป จึงมีความจำเป็นและมีความสำคัญมากทั่วไปแล้ว

การอบแห้งด้วยพลังงานสงอาทิตย์เป็นการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนรูปแบบหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ ไม่มีค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงในการใช้งาน ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อเทียบกับการตากแดด เครื่องนี้สามารถช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนจากฝุ่นละอองและการรบกวนจากแมลงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น และยังช่วยลดระยะเวลาในการตากแห้งอีกด้วย หากเทียบกับการอบแห้งเชิงอุตสาหกรรมก็จะช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าน้ำมันหรือก๊าซอีกด้วย

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น อุตสาหกรรมการอบแห้ง พบว่ามีการใช้แหล่งพลังงานในการอบแห้ง เช่น ฟืน ไฟฟ้า ก๊าซ และน้ำมันเตา โดยพลังงานหลักที่ใช้จะอยู่ในรูปความร้อน นอกจากนี้การใช้พลังงานจากไฟฟ้า น้ำมันและฟืนในการอบแห้ง ยังมีผลกระทบต่อการใช้พลังงานรวมและสิ่งแวดล้อมของประเทศอีกด้วย ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนในการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานเหล่านี้ จึงมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นแหล่งพลังงานในการให้ความร้อนในกระบวนการอบแห้ง ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทางเลือกอย่างหนึ่งที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์นี้มีปริมาณมหาศาล และไม่ก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยเป็นประเทศที่ได้รับแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปี และมีงานวิจัยหลายงานวิจัยที่มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้หลักการพื้นฐานในการออกแบบเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นแบบแผ่นราบ[1]

การตากแห้งผลผลิตทางการเกษตรในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังคงการตากแห้งตามธรรมชาติ ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ได้เกิดความเสียหาย แต่ตามลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดพัทลุงมีข้อเสียเปรียบทางด้านสภาพทางภูมิอากาศร้อนชื้น มีปริมาณฝนเฉลี่ย 154 วันต่อปี อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดทั้งปี 28.14 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 75-83 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ย 78.7 เปอร์เซ็นต์ ผลกระทบดังกล่าวทำให้การตากแห้งตามธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมีคุณภาพต่ำ การตากแห้งไม่สม่ำเสมอ และเกิดการปนเปื้อนที่มาจากแมลงได้ง่าย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีสมรรถนะของตัวเก็บความร้อนเพิ่มสูงขึ้นที่สามารถนำมาใช้งานในวันที่สภาพอากาศไม่ค่อยดี ป้องกันการปนเปื้อนของฝุ่น และแมลงต่างๆ[2]

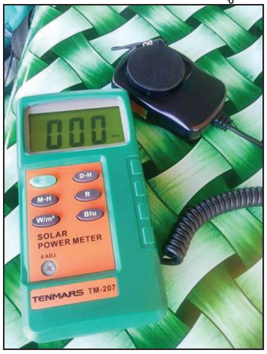
การศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบแบบร่องรูปตัววีสำหรับ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้อัตราการไหลของมวลอากาศเท่ากับ 0.04 kg/s ผลิตผลที่ใช้ในการอบแห้งคือ มะเขือเทศราชินีแช่อิ่ม โดยมีความชื้นเริ่มต้น 91 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ทำการอบแห้งครั้งละ 5 kg จำนวน 4 ถาด ถาดละ 1.25 kg จนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 40.30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก โดยมีประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สูงสุดที่ 56.23% และมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 16.90% เครื่องอบแห้งนี้สามารถอบมะเขือเทศราชินีแช่อิ่มในเวลา 24 ชั่วโมง ในขณะที่ตากแดดธรรมชาติใช้เวลาถึง 48 ชั่วโมง [1]

การศึกษาหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติและชนิดพาความร้อนแบบบังคับ หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติ คือ อากาศภายในเครื่องอบแห้งเมื่อได้รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว จะมีความชื้นสัมพัทธ์และมีความหนาแน่นน้องลง และลอยตัวขึ้นสูงผ่านชั้นวางผลิตภัณฑ์ที่ต้องอบแห้ง ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 650.5 W/m^2 และอุณหภูมิแวดล้อม 32.3 $^{\circ}C$ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเครื่องอบแห้ง 30-40 $^{\circ}C$ และความเร็วลม 0.45 m/s ส่วนชนิดพาความร้อนแบบบังคับเป็นเครื่องอบแห้งที่ใช้พัดลมช่วยในการพาความร้อนภายในเครื่องอบแห้งมีแผงรับรังสีแยกออกมาจากตัวเครื่องและมีการหุ้มฉนวนที่ตัวเครื่องป้องกันการสูญเสียความร้อน ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 650.5 W/m^2 และอุณหภูมิแวดล้อม 32.2 $^{\circ}C$ จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเครื่องอบแห้งอยู่ช่วง [5]

วิธีการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

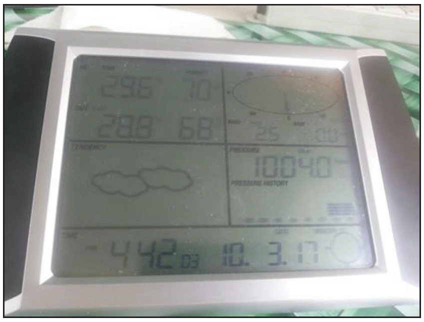
เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 1



(ก)

(ข)

(ค)



(ง)

ภาพที่ 1 เครื่องมือและอุปกรณ์การที่ใช้ในการเก็บข้อมูล (ก) เครื่องวัดค่ารังสีอาทิตย์ (ข) เครื่องวัดอัตราไหลลมร้อน (ค) เครื่องวัดความเร็วลมและความชื้นแวดล้อม (ง) หน้าจอดิจิตอลวัดสภาพอากาศแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ออกแบบตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ (ดังภาพที่ 2 (ค)) ประกอบด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 4 รูปแบบ ดังนี้ แบบราบเรียบ แบบราบร่องลอน แบบราบร่องตัววี แบบราบเรียบกักเก็บความร้อนด้วยหินขนาด 0.456 ตารางเมตร โดยแผ่นรับรังสีอาทิตย์แต่ละรูปแบบทำจากอลูมิเนียม สังกะสี เหล็ก และระบบกักเก็บความร้อนด้วยหิน ส่วนแผ่นปิดหน้าเป็นกระจกใสหนา 5 mm ตู้อบแห้งทำจากอลูมิเนียมมีฉนวนด้านในขนาด 0.0413 ลูกบาศก์เมตร ด้านบนตู้อบแห้งติดพัดลมสำหรับระบายอากาศชื้นออกจากห้องอบแห้ง การทดลองจะติดตั้งตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไว้กลางแจ้งในแนว ทิศใต้ เพื่อทำให้ได้รับรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวัน

2. นำกล้วยน้ำว้าจำนวน 13 ใบ ชั่งน้ำหนักหามวลเริ่มต้น และนำกล้วยน้ำว้ามาทับโดยกล้วยมีความหนา 1 cm กว้าง 3.5 cm ยาว 10 cm แล้วนำเข้าไปวางบนชั้นวางผลิตภัณฑ์ในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ทำการทดลองตั้งแต่เวลา 08.00-17.00 น. โดยทำการชั่งน้ำหนักของกล้วยทั้งภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และที่ตากโดยธรรมชาติทุก 1 ชั่วโมง บันทึก อุณหภูมิและความชื้นทั้งภายในและภายนอกตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ความเร็วลมทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทางออกจากห้องอบแห้ง และค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทุก 10 นาที หลังผ่านการอบแห้งแล้ว นำกล้วยน้ำว้าไปหาความชื้นซึ่งสามารถหาได้ 2 วิธี คือ

ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) หาได้จากสมการ

$$M_w = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100 \tag{1}$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) หาได้จากสมการ

$$M_d = \left(\frac{m_i - m_f}{m_d} \right) \times 100 \tag{2}$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก ($\%_{w.b}$)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง ($\%_{d.b}$)

m_i คือ มวลเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ (kg)

m_f คือ มวลสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ (kg)

m_d คือ มวลแห้งของผลิตภัณฑ์ (kg)

3. นำข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มาหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ณ เวลาใดๆ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ [4]

$$\eta_c = \frac{\dot{m} c_p \left(T_o - T_i \right)}{A_c G} \tag{3}$$

เมื่อ η_c คือ ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีอาทิตย์ (%)

c_p คือ ความจุความร้อนของอากาศ (J/kgK)

T_o คือ อุณหภูมิทางออกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (^{o}C)

T_i คือ อุณหภูมิทางข้าวของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (^{o}C)

A_c คือ พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2)

และสามารถหาค่าประสิทธิภาพของระบบอบแห้งได้จากปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยของน้ำ พลังงานที่สะสมในระบบ เป็นตัวชี้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบอบแห้ง สามารถคำนวณได้จากสมการ [4]

$$\eta_d = \frac{WL}{A_c G + P_f} \tag{4}$$

เมื่อ η_d คือ ประสิทธิภาพของระบบอบแห้ง (%)

W คือ มวลของน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ (kg)

L คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอที่อุณหภูมิทางออก (J/kg)

A_c คือ พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2)

G คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (W/m^2)

P_f คือ กำลังของพัดลม (W)

(ก)

(ข)

(ค)

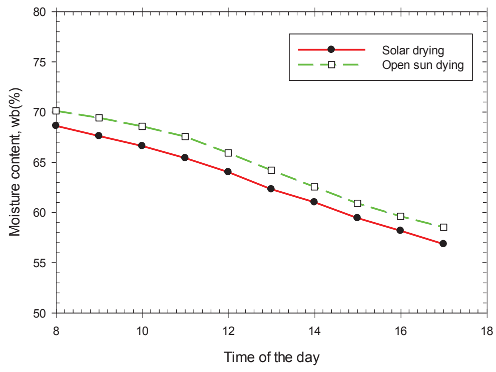
ภาพที่ 2 (ก) กล้วยก่อนเข้าตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (ข) กล้วยหลังเข้าตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และ (ค) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการวิจัย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

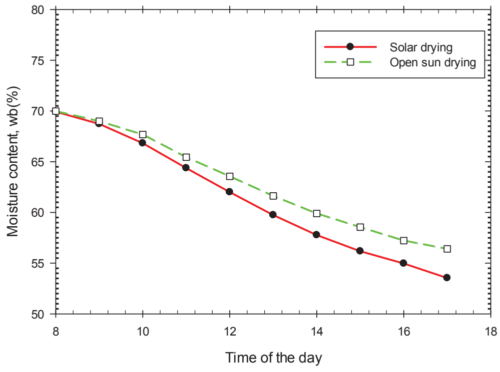
การทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยตู้อบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์ ที่มีตัวเก็บรังสีอาทิตย์แตกต่างกัน 4 รูปแบบ คือ แบบราบเรียบ แบบราบร่องลอน แบบราบร่องตัววี และแบบราบกักเก็บความร้อนด้วยหิน โดยทำการอบตั้งแต่เวลา 08:00-17:.00 น. และทำการเปรียบเทียบความชื้นของกล้วยน้ำว้าภายในตู้อบแห้งกับกล้วยน้ำว้าที่ตากแห้งตามธรรมชาติทุกๆ 1 ชั่วโมง

ผลการเปรียบเทียบค่าความชื้นของกล้วยน้ำว้าที่ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากันของรูปแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบเรียบ โดยที่ความชื้นเริ่มต้นของกล้วยที่อบแห้งภายในตู้เท่ากับ 69%$_{w.b}$ และความชื้นเริ่มต้นของกล้วยที่ตากแห้งโดยธรรมชาติเท่ากับ 70%$_{w.b}$ แต่สังเกตได้ว่าที่เวลา 11:00 น. เป็นต้นไป ความชื้นของกล้วยที่ตากแห้งโดยธรรมชาติลดลงอย่างรวดเร็วกว่าภายในตู้อบ เมื่อคิดค่าประสิทธิภาพของของตัวรับรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 16% ขณะที่อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 33.7 ^{o}C และความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 408 W/m^2 ดังภาพที่ 3 (ก) โดยที่ผลการเปรียบเทียบค่าความชื้นของกล้วยน้ำว้าที่ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากันของรูปแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบร่องลอน ซึ่งความชื้นเริ่มต้นของกล้วยที่อบแห้งภายในตู้และตากแห้งโดยธรรมชาติเท่ากับ 70% จะเห็นได้ว่าค่าความชื้นของกล้วยที่อยู่ภายในตู้อบแห้งลดลงได้รวดเร็วกว่าภายนอกตู้อบแห้ง เมื่อคิดค่าประสิทธิภาพของของตัวรับรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 21% โดยที่อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเท่ากับ 40 ^{o}C และความเข้มรังสีอาทิตย์เท่ากับ 714 W/m^2 ดังภาพที่ 3 (ข)

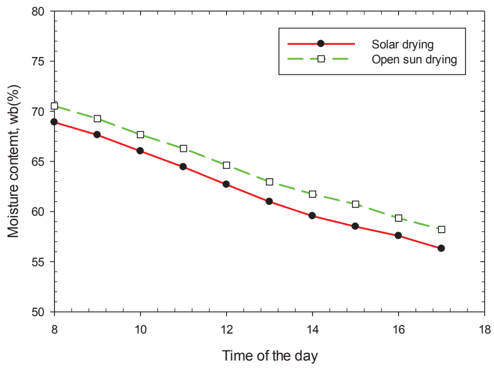
สำหรับค่าความชื้นของกล้วยน้ำว้าที่ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากันของรูปแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบร่องตัววี โดยที่ความชื้นเริ่มต้นของกล้วยที่อบแห้งภายในตู้เท่ากับ 68%$_{w.b}$ และความชื้นเริ่มต้นของกล้วยที่ตากแห้งโดยธรรมชาติเท่ากับ 71%$_{w.b}$ แต่สังเกตได้ว่าที่เวลา 12:00 น. เป็นต้นไป ความชื้นของกล้วยภายในตู้อบลดลงอย่างรวดเร็วกว่ากล้วยที่ตากแห้งโดยธรรมชาติ เมื่อคิดค่าประสิทธิภาพของของตัวรับรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 22% โดยที่อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 36 ^{o}C และความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 626 W/m^2 ดังภาพที่ 3 (ค) ขณะที่การเปรียบเทียบค่าความชื้นของกล้วยน้ำว้าที่ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากันของรูปแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบกักเก็บความร้อนด้วยหิน โดยที่ความชื้นเริ่มต้นของกล้วยที่อบแห้งภายในตู้เท่ากับ 69%$_{w.b}$ และความชื้นเริ่มต้นของกล้วยที่ตากแห้งโดยธรรมชาติเท่ากับ 68%$_{w.b}$ ความชื้นเริ่มต้นของกล้วยภายในตู้อบแห้งสูงกว่าความชื้นของกล้วยที่ตากแห้งโดยธรรมชาติ แต่สังเกตได้ว่าที่เวลา 09:00 น. ความชื้นของกล้วยภายในตู้อบลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อคิดค่าประสิทธิภาพของของตัวรับรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 33% โดยที่อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 35 ^{o}C และความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 586 W/m^2 ดังภาพที่ 3 (ง)



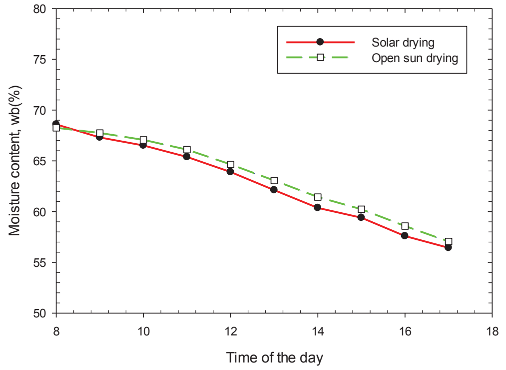
(ก)



(ข)



(ค)

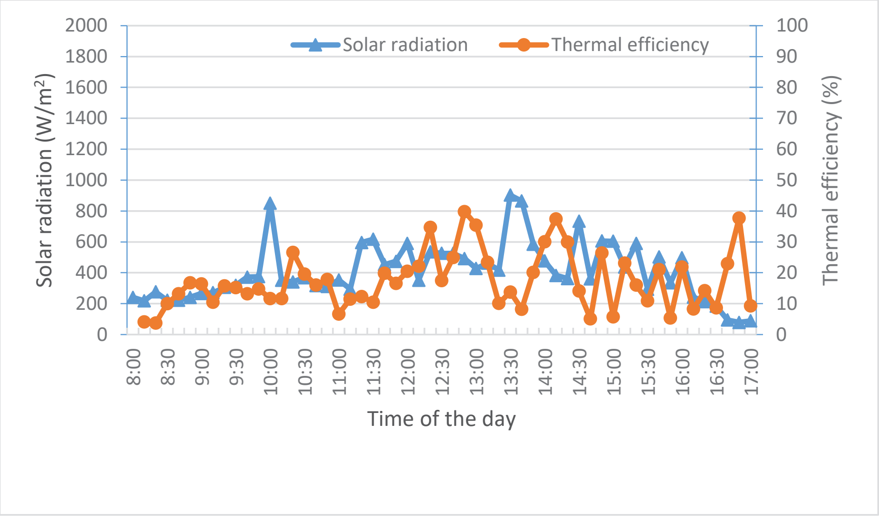


(ง)

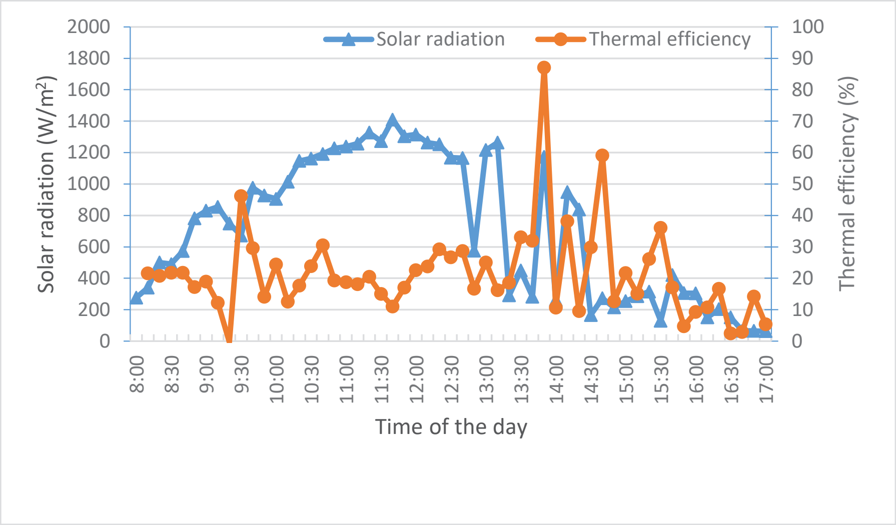
ภาพที่ 3 ผลการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยตู้อบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์ที่มีตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (ก) แบบราบเรียบ (ข) แบบราบร่องลอน (ค) แบบราบร่องตัววี และ (ง) แบบราบกักเก็บความร้อนด้วยหิน

ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบเรียบมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3.7% และค่าสูงสุดเท่ากับ 37.7% โดยที่อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง 33.7°C อัตราการไหลของมวลอากาศเท่ากับ 0.02 kg/s และค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดในวันนี้พบว่ามีค่าเท่ากับ 902.3 W/m^2 ดังภาพที่ 4 ส่วนประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบร่องลอนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.3% และค่าสูงสุดเท่ากับ 87.1% โดยที่อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง 40 °C อัตราการไหลของมวลอากาศเท่ากับ 0.02 kg/s และค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดในวันนี้ พบว่า มีค่าเท่ากับ 1410 W/m^2 ดังภาพที่ 5

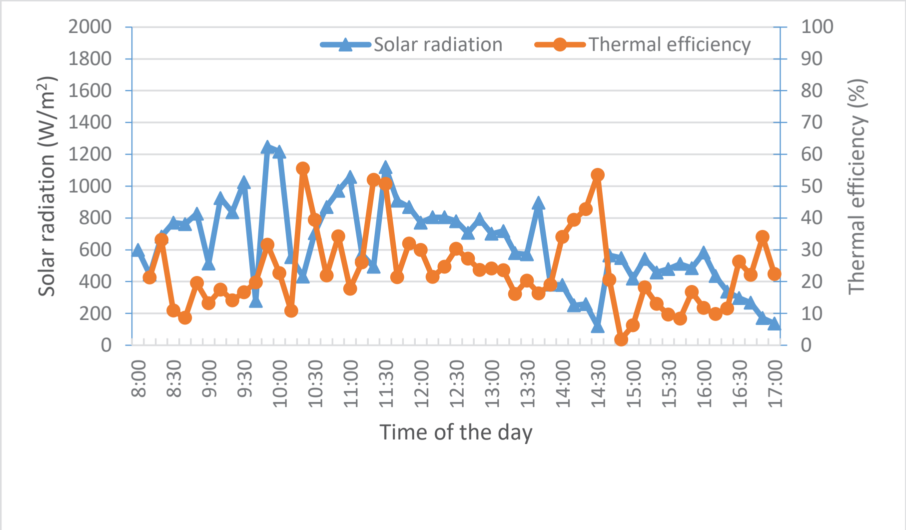
สำหรับประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบร่องตัววีมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.8% และค่าสูงสุดเท่ากับ 55.6% โดยที่อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง 36 °C อัตราการไหลของมวลอากาศเท่ากับ 0.02 kg/s และค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดในวันนี้พบว่ามีค่าเท่ากับ 1217.3 W/m^2 ดังภาพที่ 6 ขณะที่ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบกักเก็บความร้อนด้วยหินมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 12% และค่าสูงสุดเท่ากับ 77.1% โดยที่อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง 35 °C อัตราการไหลของมวลอากาศเท่ากับ 0.02 kg/s และค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดในวันนี้พบว่ามีค่าเท่ากับ 1154 W/m^2 ดังภาพที่ 7



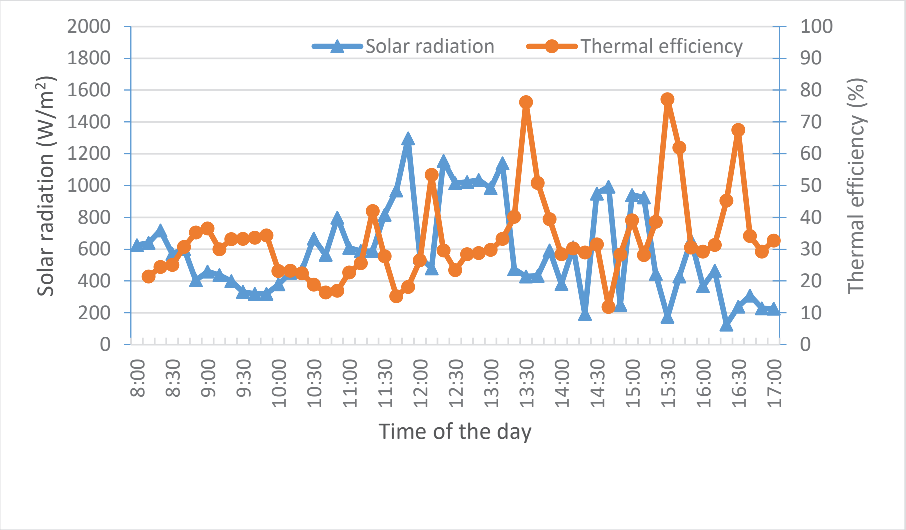
ภาพที่ 4 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบเรียบ ณ เวลาใดๆ



ภาพที่ 5 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบร่องลอน ณ เวลาใดๆ



ภาพที่ 6 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบร่องตัววี ณ เวลาใดๆ



ภาพที่ 7 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบกักเก็บความร้อนด้วยหิน ณ เวลาใดๆ

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ด้วยรูปแบบราบเรียบ แบบราบร่องลอน แบบราบร่องตัววี และแบบหินกักเก็บความร้อน พบว่าจะมีค่าเท่ากับ 16%, 21%, 22%, และ 33% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพของระบบอบแห้งแต่ละรูปแบบเท่ากับ 6%, 4%, 4% และ 4% ตามลำดับ ด้วยปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยแต่ละวันที่ทำการทดลองแต่ละรูปแบบเท่ากับ 408 W/m^2, 714 W/m^2, 626 W/m^2 และ 586 W/m^2 ตามลำดับ และอัตราการไหลของมวลอากาศเฉลี่ยของแต่ละรูปแบบเท่ากับ 0.02 kg/s

ตารางที่ 1 การประเมินผลการปฏิบัติงานของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละรูปแบบ

พารามิเตอร์	หน่วย	รูปแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์			
		ราบเรียบ	ราบร่องลอน	ราบร่องตัววี	หินกักเก็บความร้อน
น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์(รวม)	kg	0.64	0.58	0.65	0.55
น้ำหนักสุดท้ายของผลิตภัณฑ์(รวม)	kg	0.48	0.39	0.48	0.41
ความชื้นเริ่มต้น(มาตรฐานเปียก)	$\%_{w.b}$	69	70	68	69
ความชื้นสุดท้าย(มาตรฐานเปียก)	$\%_{w.b}$	57	54	56	56
อัตราการไหลของมวลอากาศเฉลี่ย	kg/s	0.02	0.02	0.02	0.02
รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย	W/m^2	408	714	626	586
อุณหภูมิห้องอบแห้งเฉลี่ย	$^{\circ}$C	33.7	40	36	35
อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย	$^{\circ}$C	31.5	34	23	33
ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อม	%	56	47	54	59
ความชื้นเฉลี่ยห้องอบ	%	68	53	49	55
เวลาในการอบแห้ง	h	9	9	9	9
พลังงาน Blower	kWh	0.012	0.012	0.012	0.012
ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์	%	16	21	22	33
ประสิทธิภาพของระบบอบแห้ง	%	6	4	4	4

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ผลจากการวิเคราะห์ ดังข้อสรุปต่อไปนี้

1. ในการอบกล้วยน้ำว้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีตัวเก็บรังสีอาทิตย์แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ดังนี้ แบบราบเรียบทำจากอลูมิเนียม แบบราบร่องลอนทำจากสังกะสี แบบราบร่องตัววีทำจากเหล็ก แบบราบกักเก็บความร้อนด้วยหิน โดยความชื้นเริ่มต้นของกล้วยเท่ากับ $69\%_{w.b}$,$70\%_{w.b}$,$68\%_{w.b}$ และ $69\%_{w.b}$ของทุกรูปแบบที่นำมาอบแห้ง และความชื้นสุดท้ายเท่ากับ $57\%_{w.b}$,$54\%_{w.b}$,$56\%_{w.b}$, และ $56\%_{w.b}$ ในเวลา 9 ชั่วโมง

2. ประสิทธิภาพของระบบอบแห้งที่มีตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบเรียบเท่ากับ 6% แบบราบร่องลอนเท่ากับ4% แบบราบร่องตัววี 4% และแบบราบกักเก็บความร้อนด้วยหิน 4% ตามลำดับ

3. ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบราบเรียบเท่ากับ 16% ที่ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย 408 W/m^2 แบบราบร่องลอนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 21% ที่ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย 714 W/m^2 แบบราบร่องตัววีมีประสิทธิภาพเท่ากับ 22% ที่ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย 626 W/m^2 แบบราบกักเก็บความร้อนด้วยหินมีประสิทธิภาพเท่ากับ 33% ที่ค่ารังสีอาทิตย์เท่ากับ 586 W/m^2 และอัตราการไหลของมวลอากาศเท่ากับ 0.02 kg/s ของทุกรูปแบบ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ บุคลากร เพื่อนๆ น้องๆ สาขาวิชาฟิสิกส์ และ สาขาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สำหรับการเก็บข้อมูลการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารอ้างอิง

[1] ธีระศักดิ์ หุดากร. (2552). “การศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบร่องรูปตัววี สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์” , ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23 ประจำปี 2552**, 18. วันที่ 4-7 พฤษจิกายน 2552 ณ จังหวัดเชียงใหม่

[2] สำนักงานจังหวัดพัทลุง. ภูมิประเทศ สืบคนเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม 2560, จาก http://www.phatthalung.go.th/terrain

[3] อนิรุทธิ์ ต่ายขาว และ สมบัติ ทีฆทรัพย์. (2550). เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติและชนิดพาความร้อนแบบบังคับ. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอิสเทิร์นเอเชีย.** 23, 1.

[4] Ahmad Fudholi, C. (2014). **Performance analysis of solar drying system for red chili.** Universiti Kebangsaan Malaysia.

[5] อนิรุทธิ์ ต่ายขาว และ สมบัติ ทีฆทรัพย์. (2550).). เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติและชนิดพาความร้อนแบบบังคับ. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอิสเทิร์นเอเชีย**

การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะขนาด 1 kWp ภายใต้สภาวะภูมิอากาศของภาคใต้
Performance Analysis of the 1 kWp Solar Cell System Under Southern Thailand Climate

ธมลวรรณ คำอ่อน[1*] สุวิทย์ เพชรห้วยลึก[1] สุเจนต์ พรหมเหมือน[1] และธีรเดช ใหญ่บก[1]
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะขนาด 1kWp จำนวน 3 ชุด ประกอบด้วยโมโน-คริสตัลไลน์ 2 ชุด (mc-Si-1 และmc-Si-2) และโพลีคริสตัลไลน์ (pc–Si) ภายใต้สภาวะภูมิอากาศของภาคใต้ โดยทำการศึกษาความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิที่มีผลต่อประสิทธิภาพและสมรรถนะของเซลล์สุริยะ ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในเดือนมิถุนายน – กันยายน 2560 โดยจะทำการเก็บข้อมูลเดือนละ 1 วัน ตั้งแต่เวลา 06:00 – 18:45 น. ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดเท่ากับ 1,252 W/m^2 1,399 W/m^2 1,462 W/m^2 และ 735 W/m^2 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 476 W/m^2 401 W/m^2 423 W/m^2 และ 246 W/m^2 ตามลำดับ โดยที่กำลังการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยของระบบโมดูล mc-Si1 pc-Si และ mc-Si2 มีค่าเท่ากับ 0.24 kW 0.20 kW และ 0.24 kW ตามลำดับ มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 12.9% 10.4% และ 13.0% ตามลำดับ และมีสมรรถนะโดยรวมเท่ากับ 61% 49% และ 59% ตามลำดับ

คำสำคัญ: เซลล์สุริยะ สมรรถนะของระบบ

*Corresponding author: Tel.: 093-7582626. E-mail address: prae572021245@gmail.com

บทนำ

การขยายตัวของพลังงานทดแทนในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และส่งผลดีต่อสภาพแวดล้อมของโลก ตลอดจนลดปัจจัยการเกิดภาวะโลกร้อนอันส่งผลกระทบรุนแรงอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ทั้งยังสามารถลดต้นทุนการผลิตในด้านเศรษฐกิจสาขาต่างๆ ได้ นับว่าส่งผลดีต่อประเทศอย่างมหาศาล นอกจากนี้พลังงานทางเลือกยังทำให้ประเทศไม่ผูกขาดกับแหล่งพลังงานใดเพียงแหล่งเดียว แต่ถือเป็นโอกาสดีที่ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในแต่ละภาคส่วนจะได้มีโอกาสพัฒนา และค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ชีวมวล ฯลฯ หรือจากช่องทางอื่นได้มากขึ้น ตลอดจนผลักดันให้พลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทน เป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาศักยภาพของประเทศแบบยั่งยืนต่อไป [1]

เนื่องด้วยสภาวะของโลกในปัจจุบันที่มีแนวโน้มจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำให้เกิดกระแสการตื่นตัวกับสภาวะโลกร้อนประกอบกับประเทศไทยต้องการลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ จึงได้เล็งเห็นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งพลังงานอีกทางเลือกหนึ่ง ด้วยภูมิประเทศที่อยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตร ทำให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยทั้งปีสูงกว่าเขตอื่นๆ ของโลก [2]

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy) เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูงเนื่องจากใช้แล้วไม่มีวันหมด สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้เองตามธรรมชาติเป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การผลิตกระแสไฟฟ้า และการผลิตความร้อน โดยการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบของการผลิตไฟฟ้าจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่ความสามารถในการแปลงรังสีอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เซลล์โฟโตโวลตาอิก หรือ Photovoltaic cell ในปัจจุบันทางผู้ผลิตสามารถผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวซิลิกอนซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูง เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวซิลิกอน จะเป็นชนิดที่มีการทำงานที่เสถียรและสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพสูง [3]

จากงานวิจัยพบว่าอุณหภูมินั้น มีบทบาทสำคัญในการผลิตไฟฟ้า และประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า เมื่ออุณหภูมิโมดูลมีค่าสูงขึ้น จะทำให้ค่าของประสิทธิภาพลดลง [4]

วิธีการวิจัย

ตำแหน่งสถานที่ทำการวิจัย แสดงดังภาพที่ 1 และ 2

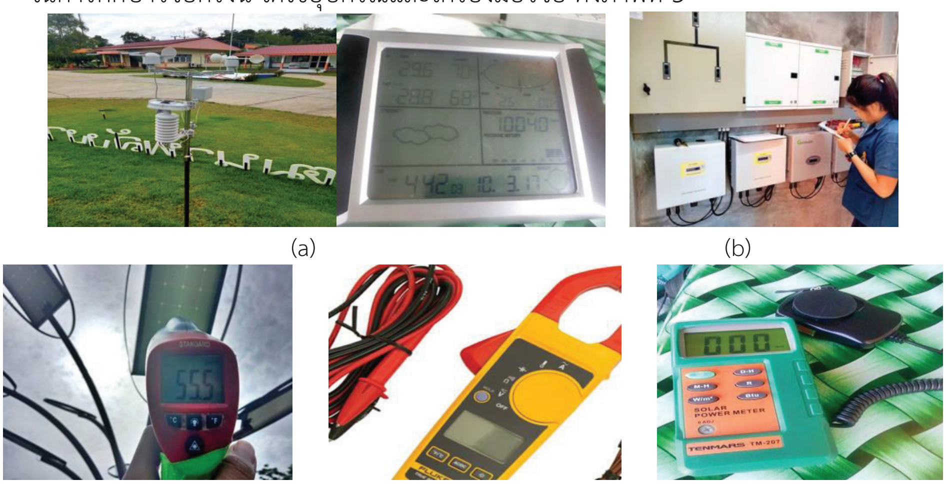
ภาพที่ 1 สถานที่ทำการเก็บข้อมูลงานวิจัย

ภาพที่ 2 แสดงการติดตั้งระบบโซล่าเซลล์ที่ทำการศึกษา

พื้นที่ติดตั้งระบบเซลล์สุริยะอยู่ที่ศูนย์บริการวิชาการที่ ๙ จังหวัดนครศรีธรรมราชติดตั้งอยู่ที่ประมาณละติจูด 8.19° และลองจิจูด 99.6° ระบบเซลล์สุริยะแต่ละชนิดที่ติดตั้งมีกำลังการผลิต 1 kWp โดยที่ mc-Si1 หันไปในแนวทิศใต้ ส่วน pc-Si และmc-Si2 หันไปในแนวทิศตะวันตก

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย ดังภาพที่ 3



(a) (b)

(c) (d) (e)

ภาพที่ 3 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการเก็บข้อมูล (a) เครื่องวัดสภาพอากาศแวดล้อมและหน้าจอแสดงผล (b) ห้องควบคุมและมิเตอร์กำลังของระบบเซลล์สุริยะ (c) เครื่องวัดอุณหภูมิแบบ Infrared (d) แคมป์มิเตอร์ และ (d) เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์หาสมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะนั้นได้ทำการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิของเซลล์สุริยะทั้งด้านบน และด้านล่างของแผง ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ และค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ตั้งแต่เวลา 06:00-18:45 น. และสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาค่าต่างๆได้ดังสมการ ดังต่อไปนี้

พลังงานขั้นสุดท้ายที่ได้ คือพลังงานกระแสสลับ (AC) ที่ผลิตโดยระบบ สามารถหาได้จากสมการ 1 [5]

$$E_{AC} = \sum_{t=1}^{N} E_{AC,t} \tag{1}$$

เมื่อ E_{AC} คือ พลังงานกระแสสลับที่เวลา t (ขึ้นอยู่กับระดับที่ต้องการของรายละเอียด t อาจใช้เวลาเป็นนาที, ชั่วโมง, หรือวัน) (kWh)

N คือ ตัวเลขในการเก็บข้อมูลชุดนั้น

เวลาที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ สามารถหาได้จากสมการ 2 [5]

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_{PV,rated}} \tag{2}$$

เมื่อ Y_F คือ เวลาที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ (h/day)

$P_{PV,rated}$ คือ อัตรากำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบโซล่าเซลล์ (kW)

เวลาอ้างอิงที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้บนพื้นที่ศึกษา สามารถหาได้จากสมการ 3 [5]

$$Y_R = \frac{H_t}{G_R} \tag{3}$$

เมื่อ Y_R คือ เวลาอ้างอิงที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้บนพื้นที่ศึกษา (h/day)

H_t คือ การแผ่รังสีอาทิตย์ภายในพื้นที่ศึกษา (kWh/m^2)

G_R คือ ค่าอ้างอิงมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ 1 kW/m^2

ประสิทธิภาพของระบบเซลล์สุริยะที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในเดือนมิถุนายน – กันยายน 2560 สามารถหาได้จากสมการ 4 [5]

$$C_f = \frac{100 \times E_{AC}}{P_{PV,rated} \times 2,928} (\%) \tag{4}$$

เมื่อ C_f คือ ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า (%) (เดือนมิถุนายน – เดือนกันยายน)

สมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะสามารถหาได้จากสมการ 5 [5]

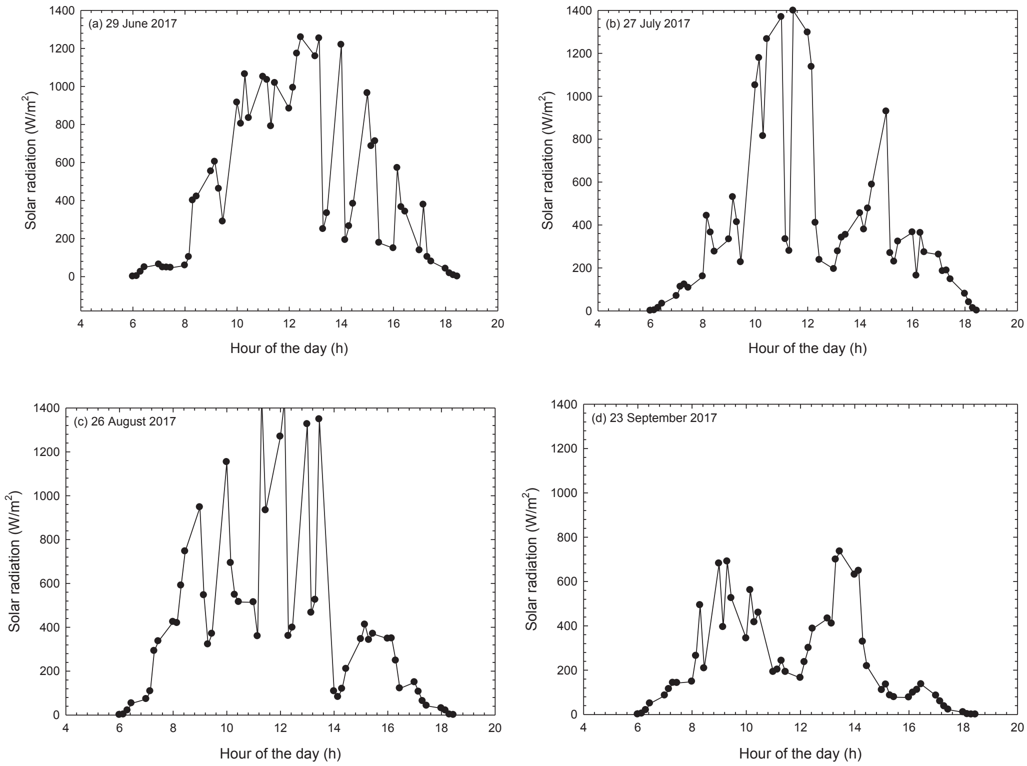
$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \tag{5}$$

เมื่อ PR **คือ** สมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะ

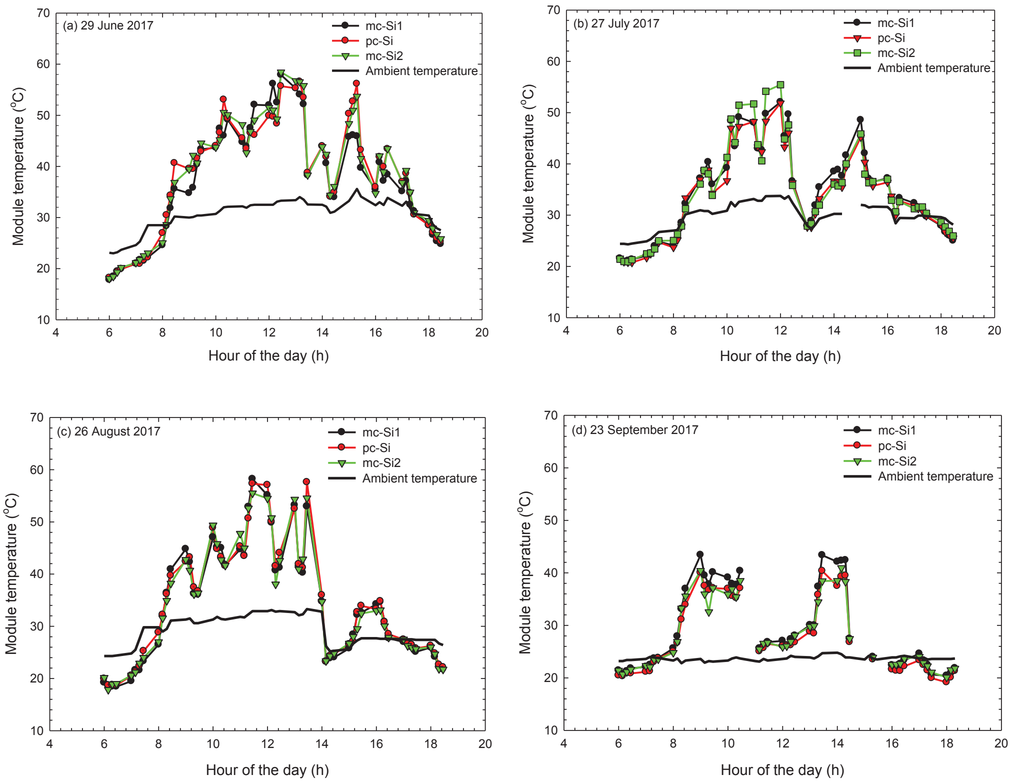
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองและเก็บข้อมูลสภาพอากาศแวดล้อม ความเข้มรังสีอาทิตย์ และกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบ ทั้ง 3 ชุด เป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยทำการเก็บข้อมูลเดือนละ 1 วัน คือ วันที่ 29 มิถุนายน 2560, 27 กรกฎาคม 2560, 26 สิงหาคม 2560 และ 23 กันยายน 2560 โดยได้ผลการวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ ดังภาพที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดและค่าเฉลี่ยในแต่ละวันเท่ากับ 1,252 W/m^2 และ 476 W/m^2, 1399 W/m^2 และ 401 W/m^2, 1,462 W/m^2 และ 423 W/m^2 และ735 W/m^2 และ246.22 W/m^2 ตามลำดับ โดยวันที่ความเข้มรังสีอาทิตย์มีแปรปรวนนั้นเนื่องจากมีเมฆมาก และวันที่ความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าต่ำเกิดจากสภาพอากาศที่แปรปรวนเนื่องจากมีฝนตก

สำหรับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและอุณหภูมิพื้นผิวเซลล์สุริยะของระบบแต่ละชุด แสดงดังภาพที่ 5 โดยค่าอุณหภูมิแวดล้อมที่วัดได้สูงสุด คือ 35.6°C 33.75°C 33.3°C และ 24.8°C ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว ภาพที่ 5(d) มีอุณหภูมิแวดล้อมต่ำที่สุดเนื่องจากมีเมฆมากและฝนตก ส่วนอุณหภูมิของโมดูลที่สูงขึ้นเนื่องจากค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่เพิ่มสูงขึ้น สังเกตได้ว่าช่วง 06:00 – 08:00 น. อุณหภูมิแวดล้อมจะสูงกว่าอุณหภูมิโมดูลเนื่องจากที่โมดูลมีน้ำค้างเกาะอยู่จะเริ่มระเหยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจากนั้นอุณหภูมิโมดูลจะเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มรังสีอาทิตย์

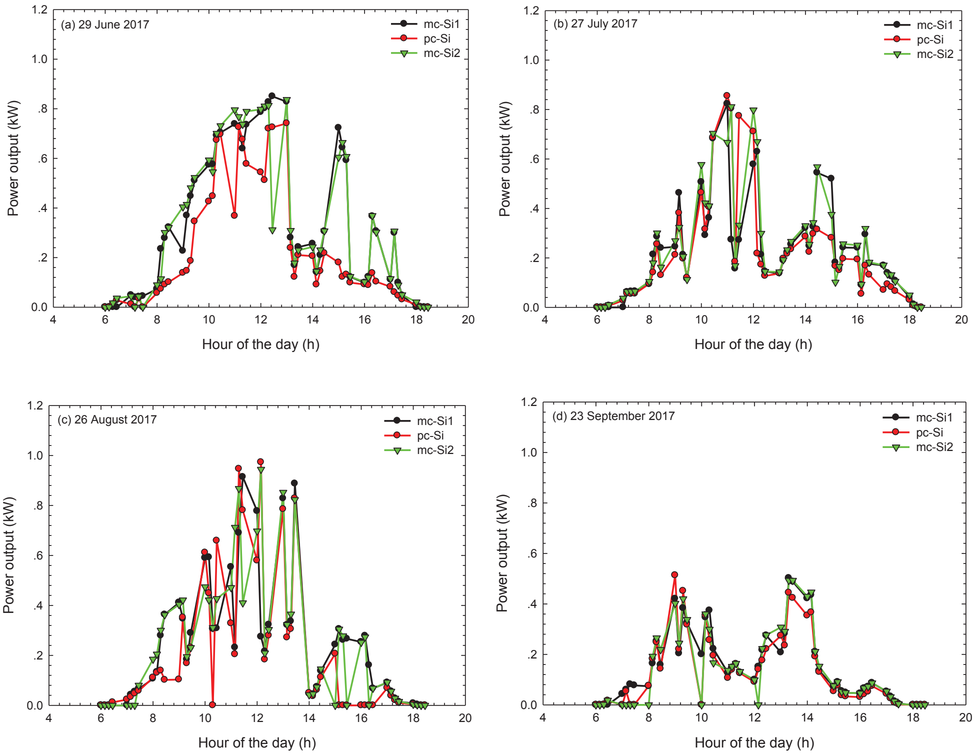


ภาพที่ 4 แสดงความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลาต่างๆ (a) 29 มิถุนายน 2560 (b) 27 กรกฎาคม 2560 (c) 26 สิงหาคม 2560 และ (d) 23 กันยายน 2560



ภาพที่ 5 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อมและอุณหภูมิพื้นผิวเซลล์สุริยะ (a) 29 มิถุนายน 2560 (b) 27 กรกฎาคม 2560 (c) 26 สิงหาคม 2560 และ (d) 23 กันยายน 2560

ผลการตรวจวัดกำลังผลิตไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงขึ้น กำลังการผลิตไฟฟ้าก็เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งโมดูล pc-Si มีค่ากำลังผลิตต่ำที่สุด ขณะที่โมดูล mc-Si1 และ mc-Si2 ให้กำลังผลิตที่ใกล้เคียงกัน โดยที่กำลังการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยของระบบโมดูล mc-Si1 pc-Si และ mc-Si2 มีค่าเท่ากับ 0.24 kW 0.20 kW และ 0.24 kW ตามลำดับ



ภาพที่ 6 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (a) 29 มิถุนายน 2560 (b) 27 กรกฎาคม 2560 (c) 26 สิงหาคม 2560 และ (d) 23 กันยายน 2560

ผลการคำนวณวิเคราะห์ปริมาณการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดตลอดเดือนมิถุนายน - กันยายน ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าและสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของโมดูล ดังตารางที่ 1 ซึ่งโมดูล mc-Si2 เป็นระบบเซลล์สุริยะที่มีปริมาณการผลิตไฟฟ้ารวมและค่าประสิทธิภาพสูงที่สุด คือ 381.01 kWh และ13.01% ตามลำดับ ส่วนโมดูล mc-Si1 เป็นระบบเซลล์สุริยะที่มีสมรรถนะสูงที่สุด คือ 61.42% ส่วนโมดูล pc-Si ให้ค่าปริมาณการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าและสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของโมดูลต่ำที่สุด

ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าและสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของโมดูล

Module	E_{AC} (June–Sep) (kWh)	C_f (%)	PR (%)
mc-Si1	379.30	12.95	61.42
pc-Si	304.57	10.40	48.88
mc-Si2	381.01	13.01	59.37

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะขนาด 1kWp 3 ชุด ประกอบด้วย โมโนคริสตัลไลน์ 2 ชุด (mc-Si1 และmc-Si2) และโพลีคริสตัลไลน์ (pc–Si) ภายใต้สภาวะภูมิอากาศของภาคใต้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ประเภทของเซลล์สุริยะมีผลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าโดยโมโนคริสตัลไลน์ (mc - Si) มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าโพลีคริสตัลไลน์ (pc – Si)

2. ความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดและค่าเฉลี่ยในแต่ละวันที่ทำการเก็บข้อมูล คือวันที่ 29 มิ.ย., 27 ก.ค., 26 ส.ค. และ 23 ก.ย เท่ากับ 1,252 W/m^2 และ476.36 W/m^2 ,1398.8 W/m^2 และ401 W/m^2,1,462 W/m^2 และ423.48 W/m^2 และ735 W/m^2 และ246.22 W/m^2 (มีค่าต่ำจากสภาพอากาศที่แปรปรวนเนื่องจากมีฝนตก) ตามลำดับ โดยที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่สูงขึ้น ส่งผลต่อกำลังการผลิตฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกันโดยที่กำลังการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยของระบบโมดูล mc-Si1 pc-Si และ mc-Si2 มีค่าเท่ากับ 0.24 kW 0.20 kW และ 0.24 kW ตามลำดับ

3. จากการศึกษาระบบเซลล์สุริยะทั้ง 3 ชุด พบว่า mc-Si2 เป็นระบบเซลล์สุริยะที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมและค่าประสิทธิภาพสูงที่สุด คือ 381.01 kWh และ13.01% ตามลำดับ โมดูล mc-Si1 เป็นระบบเซลล์สุริยะที่มีสมรรถนะสูงที่สุด คือ 61.42%

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ บุคลากร นิสิตบัณฑิตศึกษา เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ชั้นปีที่ 2, 3 และ4 สาขาฟิสิกส์ และสาขาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สำหรับการเก็บข้อมูลภาคสนาม ขอขอบคุณ คุณสำราญ วันเพ็ญ และศูนย์บริการวิชาการที่ ๙ จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่อำนวยความสะดวกและอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณสาขาวิชาฟิสิกส์ที่สนับสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กษิดิศ เสนะวงศ์. **สถานการณ์พลังงาน**. สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2560, จาก http://www.pea-encom.com/articles/42137446/....

[2] EASTERN PRINTING PUBLIC COMPANY LIMITED PLC.157. **พลังงานแสงอาทิตย์อีกหนึ่งทางเลือกของพลังงานทดแทน** สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2560, จาก http://www.epco.co.th/departmentofenergybusiness.php

[3] Tiwari, G.N., Mishra, R.K., Solanki, S.C. (2011). Photovoltaic modules and their applications: a review on thermal modeling. Applied Energy. 88 , 2287-2304.

[4] Skoplaki, E. and Palyvos, J.A. (2009). Operating temperature of photovoltaic modules: A survey ofpertinent correlations. Renewable Energy. 34, 23-29.

[5] David A. Quansah, Muyiwa S. Adaramola, George K. Appiah, Isaac A. Edwin. (2017). Performance analysis of different grid-connected solar photovoltaic (PV) system technologies with combined capacity of 20 kW located in humid tropical climate. International Journal of Hydrogen Energy. 42(7), 4626-4635.

การพัฒนาแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ด้วยเส้นใยหมากและยิปซัมเทียม

Development of fiber cement plate with betel nut fiber and flue gas desulfurization sludge

สันต์ เกื้อหนุน[1], กิตตินันท์ แซ่ลิ้ม[1] และ กรกนก อุบลชลเขต[2]*

San Kuehnun[1], Kittinan Saelim[1] and Kornkanok Ubolchollakhet[2]*

[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210

[2*]สาขาวิชาวิศวกรรมยางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93210

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยหมากของเหลือทิ้งจากการเกษตรและยิปซัมเทียมผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน โดยนำเส้นใยหมากที่นำมาใช้งานผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลาย NaOH 10%wt เป็นเวลา 10 20 และ 30 นาที ขนาดรูปร่างและพื้นผิวของเส้นใยได้ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM พบว่าเส้นใยหมากที่ผ่านการปรับสภาพเป็นเวลา 10 นาที มีความเหมาะสมในการนำมาใช้งาน และศึกษาผลของปริมาณเส้นใยหมากต่อสมบัติเชิงกลที่ปริมาณ 0, 3, 6 และ 9%wt สมบัติเชิงกลของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ได้ทำการวิเคราะห์ภายใต้มาตรฐาน ASTM C 109 และ ASTM 1186-02 ผลจากการทดสอบพบว่าการเพิ่มขึ้นปริมาณเส้นใยหมากพบว่าเส้นใยหมากส่งผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดและความต้านทานการดัดงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

คำสำคัญ: แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ยิปซัมเทียม ผนังเย็น

*Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: Kornkanok.ubon@yahoo.co.th

บทนำ

ในปัจจุบันการนำวัสดุมาใช้งานในการเป็นวัสดุประกอบอาคาร เช่น ฝ้าเพดาน ผนังอาคาร กระเบื้องหลังคา และวัสดุตกแต่งอื่นๆ มีส่วนผสมของแร่ใยหินซึ่งเป็นอันตรายแก่ร่างกาย เช่น โรคปอดอักเสบจากแอสเบสตอส โรคเยื่อหุ้มปอดหนาตัว โรคมะเร็งปอด และโรคมะเร็งเยื่อหุ้มปอด [1] เป็นต้น เส้นใยธรรมชาติจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้เสริมแรงให้กับวัสดุสำหรับอาคาร ไม่เป็นอันตรายแก่ร่างกาย และเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี แต่อย่างไรก็ตาม การนำเส้นใยจากธรรมชาติก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก เช่น เส้นใยจากกัญชง ปอ ปอกระเจา [2 - 4] และป่าน [5] เป็นต้น เส้นใยหมากเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อีก เนื่องจากไม่เป็นที่นิยมในการนำมาใช้งาน ซึ่งแตกต่างจากเส้นใยจากพืชชนิดอื่น เช่น เส้นใยมะพร้าว และปาล์ม [6 - 7] ดังนั้นในการนำเส้นใยหมากมาใช้งานถือได้ว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตร การนำเส้นใยหมากมาใช้เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ เป็นการเพิ่มคุณสมบัติบางอย่างให้แก่แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ เช่น เพิ่มความยืดหยุ่น ลดการแตกหักจากแรงที่มากระทำ ลดความเปราะให้แก่แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

ยิปซัมเทียมเป็นอีกหนึ่งผลพลอยได้จากกระบวนการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการนำยิปซัมเทียมยังถูกนำมาประยุกต์ใช้งานไม่มากเท่าที่ควร เช่น การปรับปรุงดินปนทรายแป้งทุ่งกง [8] และการผลิตเป็นอิฐมวลเบา [9] เป็นต้น แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ เป็นแผ่นซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของเส้นใย เช่น เส้นใยจากพืช เส้นใยจากสัตว์ และเส้นใยสังเคราะห์ เป็นต้น ทำให้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของเส้นใยแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการนำวัสดุที่มีส่วนผสมของเส้นใยมาใช้งานจำเป็นต้องมีการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ทำให้ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาในการนำเส้นใยจากธรรมชาติมาใช้งานมากขึ้น เช่น ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตเสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ [10] การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเส้นใยปอและป่านศรนารายณ์กับเส้นใยพอลิโพพิลีนที่ผสมในปูนพลาสเตอร์ [11] ศึกษาการแตกหักและดัดงอของคอนกรีตผสมเส้นใยมะพร้าว ชานอ้อย และเส้นใยกล้วย [12] พัฒนาประสิทธิภาพเชิงกลของวัสดุผสมเส้นใยธรรมชาติชนิดต่างๆ [13] ผลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติในกรรมวิธีการผลิตอิฐมวลเบา [14] ศึกษาความแข็งแรงของคอนกรีตที่ผสมด้วยเส้นใยปอกระเจา ป่านศรนารายณ์ กัญชง กล้วย และสับปะรด [15] การศึกษาลักษณะเชิงกลในการเพิ่มเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยแก้วลงในคอนกรีต [16] การนำเยื่อไม้ไผ่มาผสมกับปูนซีเมนต์ [17] วัสดุเสริมแรงให้แก่คอนกรีตจากฟางข้าวและไม้ไผ่ [18] และการนำเส้นใยธรรมชาติผสมกับคอนกรีต เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนโดยผ่านการทดสอบการนำความร้อน [19] เป็นต้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เห็นถึงความสำคัญในการนำเส้นใยหมากซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม และยิปซัมเทียมซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มาใช้เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เพื่อใช้งานเป็นเทคโนโลยีวัสดุสำหรับอาคาร โดยศึกษาผลของเส้นใยต่อคุณสมบัติเชิงกลแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

วิธีการวิจัย

กระบวนการเตรียมวัสดุ

เส้นใยหมากในกระบวนการขึ้นรูปถูกนำมาผ่านกระบวนการปรับสภาพโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 10 %wt ที่เวลา 0, 10, 20 และ 30 นาที และตัดเส้นใยหมากให้ได้ขนาดประมาณ 5 – 10 mm จากนั้นนำเส้นใยหมากก่อนและหลังการปรับสภาพวิเคราะห์รูปร่างและลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิค scanning electron microscopy (SEM) เส้นใยหมากที่ใช้ในการศึกษา ปริมาณ 0, 30, 60 และ 90 กรัม ในส่วนของยิปซัมเทียมเริ่มจากการนำยิปซัมเทียมไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำมาบดให้ละเอียดปริมาณ 500 กรัม ปูนซีเมนต์ปอร์ต

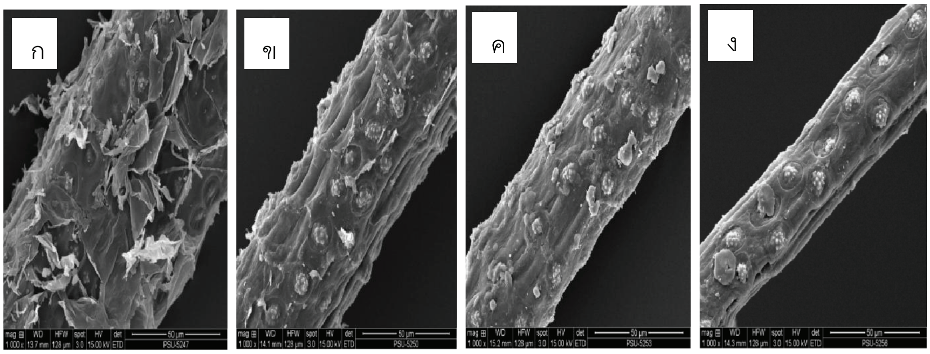
กระบวนการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

กระบวนการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล เป็นการศึกษาการเพิ่มปริมาณของเส้นใยหมากที่ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ โดยได้แบ่งการทดสอบออกเป็นดังนี้ การทดสอบกำลังรับแรงอัด (compressive strength) และความต้านทานการดัดงอ (flexural strength) โดยกระบวนการทดสอบกำลังรับแรงอัดขึ้นรูปตัวอย่างขนาด 5 cm x 5 cm x 5 cm บ่มให้ตัวอย่างแข็งตัว เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บ่มตัวอย่างในน้ำที่อุณหภูมิ 23 ºC เป็นเวลา 7 วันและ 28 วัน นำตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM C 109 โดยใช้โหลดขนาด 1 กิโลนิวตันต่อนาที และกระบวนการทดสอบความต้านทานการดัดงอขึ้นรูปตัวอย่างขนาด 30 cm x 15 cm x 1.5 cm บ่มให้ตัวอย่างแข็งตัวเป็นเวลา 48 ชั่วโมง บ่มในน้ำที่อุณหภูมิ 23˚C เป็นเวลา 2 วัน และ 7 วัน การทดสอบความต้านทานการดัดงอของตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM 1186-02

ผลวิจัยและอภิปรายผล

การวิเคราะห์เส้นใยหมากด้วยเทคนิค SEM

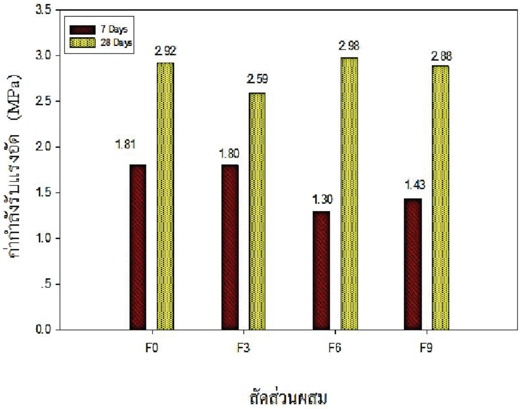
ภาพที่ 1 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM เส้นใยหมากที่ผ่านการการปรับสภาพโดยการแช่ในสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 10%wt ที่เวลา 0 นาที พบว่าบริเวณผิวของเส้นใยหมากมีมลทินเกาะอยู่เป็นปริมาณมาก และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 10 นาที ผิวของเส้นใยหมากจะมีความราบเรียบมากกว่าเส้นใยหมากที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับผิว เนื่องจากมลทินที่เกาะตามเส้นใยละลายและหลุดออกจากผิวของเส้นใยหมาก และขนาดของเส้นใยหมากมีขนาดเล็กลงเมื่อเวลาในการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น และที่เวลา 20 และ 30 นาที พบว่าเส้นใยหมากจะมีความราบเรียบมากยิ่งขึ้น ความขรุขระลดน้อยลง ขนาดของเส้นใยมีขนาดเล็กลง ดังนั้น เส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 10%wt ที่เวลา 10 นาที มีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานเป็นเส้นใยเสริมแรงให้กับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์



ภาพที่ 1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยหมากที่ผ่านการปรับสภาพโดยการแช่ในสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 10%wt ที่เวลา (ก) 0 นาที (ข) 10 นาที (ค) 20 นาที และ (ง) 30 นาทีด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

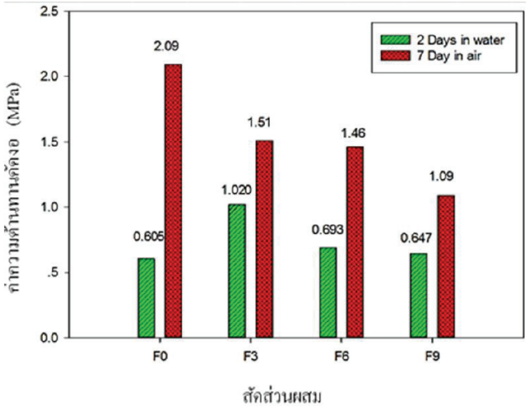
ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกล

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ปริมาณเส้นใยหมาก 0, 3, 6 และ 9%wt และบ่มในน้ำเป็นเวลา 7 วัน และ 28 วัน ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาในการบ่มในน้ำ 28 วัน จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าบ่มในน้ำเป็นเวลา 7วัน เนื่องจากการบ่มแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ในน้ำเป็นการเพิ่มความชื้นให้กับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เพื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ และป้องกันการสูญเสียน้ำของแผ่นไฟเบอร์ที่เพิ่งขึ้นรูป



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่บ่มในน้ำเป็นเวลา 7 และ 28 วัน

การทดสอบความต้านทานการดัดงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์โดยศึกษาความต้านทานการดัดงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของเส้นใยหมากที่ปริมาณ 0, 3, 6 และ 9%wt โดยบ่มในน้ำและในอากาศเป็นเวลา 2 วัน และ 7 วัน ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่าการที่ปริมาณเส้นใยหมากเพิ่งสูงขึ้นนั้นส่งผลทำให้ค่าความต้านทานการดัดงอมีค่าลดต่ำลง หรือแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์มีความสามารถในการงอตัวได้ดีกว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ไม่ผสมเส้นใยนั่นเอง โดยพบว่าที่เวลาในการบ่ม 2 วัน แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่บ่มในอากาศจะให้ค่าความต้านทานการดัดงอสูงกว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่บ่มในน้ำ เนื่องจากการบ่มแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ได้ทำการบ่มภายใต้อุณหภูมิ 23°C เท่ากัน นอกจากนี้พบว่าเมื่อระยะเวลาในการบ่มแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ยาวนานขึ้น จะส่งผลทำให้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์มีค่าความต้านทานการดัดงอเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน อย่างไรก็ตามแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของเส้นใยหมากปริมาณ 0%wt มีค่าความต้านทานการดัดงอต่ำกว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของเส้นใยหมาก



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบค่าความต้านทานการดัดงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์
ที่บ่มในน้ำเป็นเวลา 2 วัน และในอากาศ 7 วัน

สรุปผลวิจัย

ในการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของเส้นใยหมากที่ปริมาณร้อยละ 0, 3, 6 และ 9 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์และยิปซัมเทียม โดยศึกษาปริมาณของเส้นใยหมากที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานเป็นวัสดุสำหรับอาคาร และศึกษาลักษณะของเส้นใยก่อนและหลังการปรับสภาพ และคุณสมบัติเชิงกล ซึ่งจากการทดลองพบว่าการปรับภาพเส้นใยหมากในสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 10 % เป็นเวลา 10 นาที มีความเหมาะสมในการปรับสภาพเส้นใยหมาก และปริมาณเส้นใยหมากเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัด และความต้านทานการดัดงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ลดลง โดยแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยหมากร้อยละ 6 %wt มีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานเป็นวัสดุสำหรับอาคารที่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ดีสำหรับอาคารที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ และโรงไฟฟ้าถ่านหินกระบี่อนุเคราะห์สถานที่และวัสดุในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันความปลอดภัยในการทำงาน. (2552). **การเฝ้าระวังโรคปอดจากการทำงานสัมผัสแร่ใยหิน**. แนวปฏิบัติกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, กรุงเทพมหานคร : กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน.

[2] Azra, K., Jirí, Z. and Jitka H. (2016). The use of insulating materials based on natural fibers in combination with plant facades in building constructions. **Energy and Buildings**. 116, 45–58.

[3] Alkbir, M.F.M., Sapuana, S.M., Nuraini, A.A. and Ishak, M.R. (2016). Fibre properties and crashworthiness parameters of natural fibre-reinforced composite structure: A literature review. **Composite Structures.** 148, 59–73.

[4] Li, Zh. Wang, X. and Wang, L. (2006). Properties of hemp fibre reinforced concrete composites, **Composites: Part A.** 37, 497–505.

[5] Claramunt, J. Fernández-Carrasco, J. L., Ventura, H. and Ardanuy M. (2016). Natural fiber nonwoven reinforced cement composites as sustainable materials for building envelopes. **Construction and Building Materials.** 115, 230–239.

[6] Lertwattanaruk, P. and Suntijitto A. (2015) Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fiber for residential building applications. **Construction and Building Material**. 94, 664-669.

[7] Codispoti, R. Oliveira, V. D., Olivito, S. R., Lourenço, B. P. and Fangueiro, R. (2015) Mechanical performance of natural fiber-reinforced composites for the strengthening of masonry. **Composites Part B**. 77, 74-83.

[8] ภักดี บัวจัน, พิพัฒน์ ทองฉิม และดนุพล ตันนโยภาส. วิธีการใหม่ปรับปรุงดินทรายแป้งด้วยยิปซัมเทียมและเถ้าใยปาล์มน้ำมัน, **วารสารมหาวิทยานราธิวาสราชนครินทร์**, 6 (2) 47-58.

[9] สุวัฒนา นิคม. (2553). **คุณลักษณะของยิปซัมเพสต์โดยใช้ยิปซัมเทียม เถ้าลอยไม้ยางพาราและดินขาวแปร**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมโครงสร้าง) : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[10] Balasubramanian, Chandrashekaran, J. and Senthil Selvan. Dr. S. (2015). Experimental investigation of natural fiber reinforced concrete in construction industry. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**. 2(1), 179-182.

[11] Di Bella, G., Fiore, V., Galtieri, G., Borsellino, C. and Valenza, A. (2014) Effects of natural fibers reinforcement in lime plasters (kenaf and sisal vs. Polypropylene). **Construction and Building Materials**, 58: 159–165.

[12] Reis, J. M. L. (2006) Fracture and flexural characterization of natural fiber-reinforced polymer concrete, **Construction and Building Materials**. 20, 673–678.

[13] Pickering, K.L., Aruan Efendy, M.G. and Le, T.M. (2016) A review of recent developments in natural fiber composites and their mechanical performance. **Composites: Part A**. 83, 98–112.

[14] Zak, P., Ashour, T., Korjenic, A., Korjenic, S. and Wua, W. (2016) The influence of natural reinforcement fibers, gypsum and cement on compressive strength of earth bricks materials. **Construction and Building Materials**. 106, 179 –188.

[15] Vajje, S. and Krishna murthy, N.R. (2013) Study On addition of the natural fibers into concrete. **International journal of scientific and technology research**. 2(11), 213-218.

[16] Al-Oraimi, S.K. and Seibi A. C. (1995) Mechanical characterisation and impact behaviour of concrete reinforced with natural fibres. **Composite Structures**. 32: 165-171.

[17] Correia, V. d. C., Santos, S. F., Mármol, G., Curvelo, A. S. and Savastano H. (2014) Potential of bamboo organosolv pulp as a reinforcing element in fiber–cement materials. **Construction and Building Materials**. 72, 67–71.

[18] Xie, X., Zhou, Z., Jiang, M. Xu, X., Wang, Z. and Hui, D. (2015) Cellulosic fibers from rice straw and bamboo used as reinforcement of cement-based composites for remarkably improving mechanical properties. **Composites Part B.** 78, 153-161.

[19] Ondruska, J., Medved, I., Koci, V. and Cerny, R. (2016) Measurement of the contribution of radiation to the apparent thermal conductivity of fiber reinforced cement composites exposed to elevated temperatures. **International Journal of Thermal Sciences**. 100, 298-304.

ความเกื้อกูล
จากขี้หมูที่เคยเหม็น กลายเป็นก๊าซทำอาหารที่หอมได้
ปัญหาต่างๆ ที่เคยมี ก็กลับกลายเป็นเรื่องราวดีๆ เพียงแค่เราหันมาคิดถึงผู้อื่นด้วยความเกื้อกูลกัน
โครงการระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร
หนึ่งในโครงการที่เราจะเติบโตไปพร้อมกับชุมชนอย่างยั่งยืน
www.pttplc.com
: We Love PTT
: PTT Group
ptt Group
พลังที่ยั่งยืน

ความเกื้อกูล
ความรู้ที่ถูกส่งต่อโดยพี่ๆ ไม่ได้หยุดอยู่แค่นั้น แต่ยังได้บ่มเพาะนิสัยแห่งการแบ่งปัน
เข้าไปในหัวใจของเด็ก ที่พร้อมจะเติบโตไปเป็นผู้ใหญ่ที่ดีในวันหน้าอีกด้วย
แบ่งปันความรู้ให้กับเด็กในชุมชน โดยนักเรียน
โรงเรียนกำเนิดวิทย์ (KVIS) กลุ่ม ปตท.
หนึ่งในโครงการที่เราจะเติบโตไปพร้อมกับชุมชนอย่างยั่งยืน
www.pttplc.com
: We Love PTT
: PTT Group
ptt Group
พลังที่ยั่งยืน

NIA
สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ

หน่วยงานดีเด่นของชาติ
สาขาพัฒนาเศรษฐกิจ (ด้านส่งเสริมธุรกิจเอกชน) ๒๕๕๒

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) หรือ สนช. เป็นหน่วยงานของรัฐที่จัดตั้งขึ้นโดยมีภารกิจหลัก คือ "การสร้างธุรกิจใหม่" หรือ "ธุรกิจนวัตกรรม" ให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นรูปธรรม ผ่านการเชื่อมโยง ส่งเสริม และพัฒนาโครงการนวัตกรรมร่วมกันบนแนวคิดการพัฒนานวัตกรรมระบบเปิด โดยมุ่งเน้นให้การสนับสนุนภาคเอกชนเป็นหลัก

รูปแบบการสนับสนุนผู้ประกอบการนวัตกรรม

แปลง เทคโนโลยี ...เป็น ทุน

สนใจทำธุรกิจนวัตกรรม...
รับเงินอุดหนุนให้เปล่าสูงสุด *5* ล้านบาท

เพื่อทำต้นแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตใหม่

เพียงท่าน มีแนวคิดดี รู้แหล่งเทคโนโลยี มองเห็นตลาด เราสามารถช่วยท่านเริ่มต้นธุรกิจนวัตกรรมได้ดังใจ

นวัตกรรมดี ไม่มีดอกเบี้ย 0%

ท่านสามารถขอรับสิทธิ...
กู้เงิน ฟรี! ดอกเบี้ยได้ยาวนานถึง *3* ปี

หรือเทียบเท่าดอกเบี้ยสูงสุดไม่เกิน *5* ล้านบาท

สำหรับดำเนินธุรกิจการผลิตสินค้าใหม่ ให้บริการรูปแบบใหม่ไม่ซ้ำใครหรือจะเป็นการคิดค้นกระบวนการผลิตในธุรกิจเดิมให้แตกต่างแต่สร้างมูลค่า

NIA
สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) 73/2 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
73/2 Rama VI Road, Rajdhevee, Bangkok 10400 • Tel: +66-2-017 5555 • Fax: +66-2-017 5566
E-mail: info@nia.or.th   Website: www.nia.or.th

บทพิสูจน์ความมุ่งมั่นทุ่มเทของ IRPC
สู่ความสำเร็จระดับสากล

สร้างความแข็งแกร่งทางธุรกิจ ควบคู่กับการดำเนินงาน
ด้วยความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน

IRPC ได้รับการจัดอันดับให้เป็นสมาชิก DJSI 2017
ดัชนีความยั่งยืนระดับโลก ต่อเนื่องเป็นปีที่ 4

ในกลุ่ม Oil & Gas Refining & Marketing

" IRPC มุ่งสู่เป้าหมายที่ท้าทาย
และยืนหยัดได้อย่างยั่งยืน "

IRPC Public Company Limited

MEMBER OF
Dow Jones
Sustainability Indices
In Collaboration with RobecoSAM

www.irpc.co.th : IRPCofficial

PTS
Combination
www.pts.in.th

บริษัท พีทีเอส คอมบิเนชั่น จำกัด ดำเนินธุรกิจนำเข้าเครื่องมือวัดและทดสอบ ด้านงานอุตสาหกรรมและวิจัย โดยเน้นสินค้าที่มีคุณภาพมาตรฐานความปลอดภัย และมีชื่อเสียงเป็นที่ยอมรับในกลุ่มลูกค้าสถาบันการศึกษา มหาวิทยาลัย หน่วยงานวิจัยและภาคเอกชน

โดยบริษัทฯ มุ่งมั่นพัฒนางานขาย และงานบริการ ให้มีคุณภาพ นำเสนอสินค้าให้เป็นที่ยอมรับทางด้านคุณสมบัติ คุณภาพ และความเที่ยงตรงที่น่าเชื่อถือ เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ในการทำงานของลูกค้า ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และให้เป็นที่วางใจของลูกค้าในอนาคต

กลุ่มสินค้าทางบริษัท จัดจำหน่ายได้แก่

เครื่องมือวัดทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์,เครื่องมือทดสอบผลิตภัณฑ์ ตามมาตรฐาน, เครื่องมือวัดและบันทึกข้อมูลทางด้านพลังงาน

ชุดฝึกการศึกษาสำหรับห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมศาสตร์

ชุดทดสอบมอเตอร์

ชุดพลังงานทดแทน

ชุดทดสอบแบตเตอร์รี่

ชุดระบบควบคุมอัตโนมัติ

ชุดระบบควบคุมแบบไร้สายเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรม 4.0

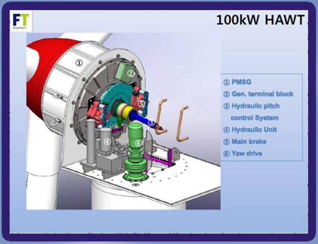
ชุดออกแบบและจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ในภาคอุตสหกรรม 4.0

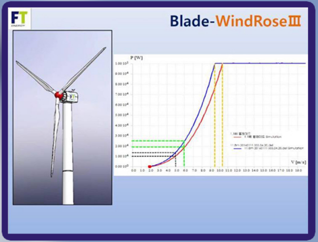
ชุดการสร้างแบบจำลองการควบคุมอย่างรวดเร็ว สำหรับการพัฒนาและทดสอบระบบควบคุม อุตสาหกรรมยานยนต์,อุตสาหกรรมการบินและอวกาศ,วิศวกรรมการแพทย์, เครื่องจักรกลทางเกษตรและการวิจัยและการศึกษา, เป็นต้น

YOKAGAWA HIOKI dSPACE LabPTS+ LANGLOIS NOVA LYNX

บริษัท พีทีเอส คอมบิเนชั่น จำกัด 315/116 หมู่ 3 ตำบลบ้านใหม่ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120

Tel 02-5015677, 02-5015228 Fax.02-5015357 Email pts.sales8@gmail.com , http://facebook.com/ptscombination





Renewable Energy System and Consultant

Design engineering and renewable energy equipment.
Installation of wind turbines and solor panels power the whole system.
Electric and electronics.

70/12 Moo 6 Lat Sawai, Lumlukka, Pathumthani,
12150 Thailand

Tel : / Fax : +66 2159 0830

E-mail : Thanthip@ft-energy.co.th

Web : www.ft-energy .co.th

FT ENERGY

TREC-10

The 10th Thailand Renewable Energy for Community Conference

พลังงานยุคเปลี่ยนผ่าน

เล่าขานวิถีพอเพียง หล่อเลี้ยงชุมชนยั่งยืน