TREC 11

รายงานสืบเนื่อง
Proceeding

การประชุมสัมมนาวิชาการ
รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11

"รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง"

วันที่ 28-30 พฤศจิกายน 2561 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

The 11th Thailand Renewable Energy for Community Conference : TREC-11
November 28-30,2018 Chaiyaphum Rajabhat University

ร่วมจัดโดย

สนับสนุนโดย

สารจากอธิการบดี



ในนามของผู้บริหารและบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ รู้สึกเป็นเกียรติและภาคภูมิใจอย่างยิ่ง ที่ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพร่วมกับองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ในการจัดการประชุมสัมมนาวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 11 (The 11th Thailand Renewable Energy for Community Conference: TREC11) ภายใต้ชื่องานว่า “รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง” เพื่อสนับสนุนการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ความรู้ด้านการวิจัยและนวัตกรรมพลังงานทดแทนจากบุคคล ชุมชน หน่วยงาน มหาวิทยาลัยและสถาบันอุดมศึกษาจากทั่วประเทศ

การพัฒนาด้านพลังงานทดแทนสู่ชุมชนในปัจจุบัน เป็นบทบาทความรับผิดชอบที่สำคัญของอุดมศึกษาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนควบคู่ไปกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมด้วย “นวัตกรรมสีเขียว” ซึ่งมีความเหมาะสมต่อภูมิศาสตร์ไทย อันเป็นบทบาทสำคัญที่มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ได้น้อมนำและถือปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง โดยมีการการพัฒนาพลังงานทดแทนต้นแบบ การจัดการด้านพลังงาน การวิจัยและนวัตกรรม เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนชุมชนสู่ชุมชนอย่างยั่งยืน ตามแนวทางศาสตร์พระราชาของในหลวงรัชกาลที่ 9 และพระราโชบายของในหลวงรัชกาลปัจจุบันที่ถ่ายทอดสู่แผนยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏ 20 ปี

ขอขอบคุณ คณะผู้จัดงาน ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกภาคส่วน และนักวิจัย ที่ให้การสนับสนุนและให้ความร่วมมือในการดำเนินงานในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดียิ่ง และหวังอย่างยิ่งว่าผลที่เกิดจากการจัดการประชุมสัมมนาวิชาการในครั้งนี้ จะมีส่วนช่วยให้เกิดการพัฒนาด้านพลังงานทดแทนและนำไปใช้ประโยชน์ต่อชุมชนและสังคมของประเทศอย่างยั่งยืนต่อไป

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

สารจากนายกสมาคม
พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย



ในนามของนายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยซึ่งได้จัดตั้งมากว่า 10 ปีแล้ว การก่อตั้งเพื่อวัตถุประสงค์ในการ นำความรู้จากภาควิชาการที่ได้ ศึกษา วิจัย สนับสนุนการใช้พลังงานทดแทน ลงสู่ประชาชน ชุมชนให้เกิดการใช้งานจริง ให้ประเทศพึ่งพาเทคโนโลยีที่เหมาะสมของนักวิจัยไทย โดยเน้นการนำพลังงานและรูปแบบการจัดการพลังงาน เพื่อนำไปใช้ได้จริงอย่างเหมาะสมต่อชุมชนในประเทศไทย และเพื่อให้เกิดผลได้อย่างแท้จริงจากการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานสะอาด ซึ่งรวมถึงการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ชีวมวล และพลังงานจากน้ำหรือพลังงานที่เหมาะสม ซึ่งเป็นพลังงานต้นกำเนิดที่มีอยู่ในชุมชนทุกที่

การจัดประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งนี้เป็นครั้งที่ 11แล้ว ภายใต้ชื่องาน “รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง” นี้เป็นการจัดงานในรูปแบบใหม่อีกครั้งหนึ่งของสมาคมฯ ซึ่งร่วมมือกัน ระหว่าง ภาคการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ และองค์การบริหารส่วนท้องถิ่น อบจ.ชัยภูมิ ซึ่งจะเป็นประโยชน์เป็นอย่างยิ่งต่อนักวิชาการ นักศึกษา และประชาชนทั่วไปในการแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ในการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ในชุมชน โดยจะมีผลต่อการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศอย่างเหมาะสมจะทำให้เราอยู่ร่วมกับธรรมชาติและสามารถพึ่งพาตนเองได้ในอนาคต

ในฐานะตัวแทนของสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ขอโอกาสพิเศษนี้ใคร่ขอขอบคุณองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิและผู้สนับสนุนทุกหน่วยงานในการร่วมกันเป็นเจ้าภาพในการจัดงานประชุมสัมมนาวิชาการในครั้งนี้ ขอบคุณท่านที่ปรึกษาของสมาคมฯ และคณะกรรมการสมาคมฯ ทุกท่านร่วมถึงทีมงานในการจัดงานครั้งนี้

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการจัดงานประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 11ในครั้งนี้จะสำเร็จลุล่วงด้วยดี และเป็นประโยชน์ต่อองค์ความรู้โดยรวมของภาคชุมชน และด้านวิชาการของประเทศต่อไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรชัย โรยนรินทร์)
นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

สารจากนายกองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ



ในนามนายกองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ และที่ปรึกษานายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย รู้สึกยินดีและเป็นเกียรติอย่างยิ่งที่จังหวัดชัยภูมิได้มีโอกาสเป็นเจ้าภาพการจัดประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 11 (The 11th Thailand Renewable Energy for Community Conference: TREC 11) โดยการจัดงานครั้งนี้เป็นการบูรณาการร่วมกันระหว่างองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย และมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ภายใต้ชื่องานอันทรงเกียรติว่า “รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง” เป็นการน้อมนำหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงมาใช้เกี่ยวกับพลังงานทดแทนรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม

พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และการดำเนินชีวิต แต่การใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นกลับสวนทางกับปริมาณพลังงานที่ลดลง ส่งผลกระทบขยายวงกว้างต่อสิ่งมีชีวิต ดังนั้นการเรียนรู้ที่จะใช้พลังงานด้านต่าง ๆ ให้เหมาะสม และสามารถสร้างพลังงานทดแทนรูปแบบต่าง ๆ ทั้งพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานน้ำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดเป็นสิ่งที่ดีและเหมาะสมควรกระตุ้นย้ำเตือนให้ทุกคนมีจิตสำนึกในการอนุรักษ์พลังงานให้คงอยู่อย่างยาวนานและสร้างพลังงานทดแทนเพิ่มเพื่อรองรับต่อความต้องการของมนุษย์

ในฐานะเจ้าภาพในการจัดงาน จึงขอโอกาสพิเศษนี้ขอขอบคุณผู้สนับสนุน ผู้เข้าร่วมโครงการ สื่อมวลชนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกภาคส่วน ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินโครงการในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดียิ่ง และกระผมหวังอย่างยิ่งว่าการจัดงานครั้งนี้จะสามารถเป็นประโยชน์ต่อชุมชนและด้านวิชาการในการพัฒนาของประเทศต่อไป

(นายมนตรี ชาลีเครือ)
นายกองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ
ที่ปรึกษานายกสมาคม
พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

คณะกรรมการดำเนินงานจัดประชุมวิชาการระดับชาติ "รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11"

1.คณะกรรมการอำนวยการ

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ	ประธานกรรมการ
รองอธิการบดีทุกฝ่าย	กรรมการ
ผู้ช่วยอธิการบดี	กรรมการ
คณบดี ผู้อำนวยการศูนย์ สำนัก	กรรมการ
ผู้อำนวยการโครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ	กรรมการและเลขานุการ
นางสาวอุษณีย์ พรมเดื่อ	ผู้ช่วยเลขานุการ
นางสาวประภาพรรณ บัวทอง	ผู้ช่วยเลขานุการ

2. คณะกรรมการฝ่ายลงทะเบียนและจัดการนำเสนอบทความ

นายจักรี วิชัยระหัด	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ ยิ่งรัมย์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ แก้วสาร	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อชิตพล ศศิธรานุวัฒน์	กรรมการ
ดร.รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล	กรรมการ
ดร.พงษ์ภูไท อุดมอริยทรัพย์	กรรมการ
นางสาววิภารัตน์ นิสาภัย	กรรมการ
นายศรัณยู เหลาพา	กรรมการ
นางสาววราภรณ์ จันทร์เวียง	กรรมการ
นายปิยพันธุ์ แสงทอง	กรรมการ
นายสุรวุฒิ สุดหา	กรรมการ
นางสาวศิรินทรา ทันอินทรอาจ	กรรมการ
นางสาวกมลรักษ์ แก้งคำ	กรรมการ
นายวรเชษฐ์ แสงสีดา	กรรมการ
นางสาวสุพัตรา บุตรเสรีชัย	กรรมการ
นายรัชวุธ สุทธิ	กรรมการ
นางสาวเกศศิริ ละแมนชัย	กรรมการ
ว่าที่ร้อยตรีธรรมนูญ ม้าวิเศษ	กรรมการ
นายอัครเดช ทองสมบัติ	กรรมการ
นายณัฐวุฒิ ทองหล่อ	กรรมการ
นางสาวอุษณีย์ พรมเดื่อ	กรรมการและเลขานุการ
นางสาวประภาพรรณ บัวทอง	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

3. คณะกรรมการฝ่ายพิธีการ

นางสาวคุณัญญาฐ์ คงนาวัง	ประธานกรรมการ

นางอรุณี ปราบพยัคฆ์	กรรมการ
นายอรรถชัย หงส์จุมพล	กรรมการ
นางสาวชานิภา สุรนิวงศ์	กรรมการ
นางสาวจารุณี ศรีเมือง	กรรมการ
นางสาวอภิรดี วีระชัย	กรรมการ
นางสาวลลนา คลังชำนาญ	กรรมการ
นางสาวณัฐติกาญจน์ ชูเดช	กรรมการ
นายธงชัย อุปแก้ว	กรรมการและเลขานุการ

4. คณะกรรมการสถานที่และยานพาหนะ

นายทนงศักดิ์ เจริญทัพ	ประธานกรรมการ
นายจิรวัฒน์ ภูโสภา	กรรมการ
นายกตตน์ษณุพงษ์ แถวหมอ	กรรมการ
นายสุรักษ์ จำนงค์ธรรม	กรรมการ
นายบูชา ราณรงค์	กรรมการ
นายทองดำ เชื้อชีลอง	กรรมการ
นางพวงพะยอม เพชรวิเศษ	กรรมการ
นายยงยุทธ เสมียนชัย	กรรมการ
นายธวัชชัย แซ่ลือ	กรรมการ
นายณัฐพงษ์ จันหินตั้ง	กรรมการ
นายยุทธนา เหล่าพิมพ์	กรรมการ
นายชัชวาล เจริญวัย	กรรมการ
นายคมสัน ชัยสามารถ	กรรมการ
นายสุภาพร สอนชัยภูมิ	กรรมการ
นายพีระพงษ์ สมาธยานนท์	กรรมการ
นายชัยวิชิต มานาเสียว	กรรมการ
นายสาธิต ยวงทอง	กรรมการ
นายสุภชัย ราณรงค์	กรรมการ
นายสมโภชน์ ทาภักดี	กรรมการ
นางงามพักตร์ กงชัยภูมิ	กรรมการ
นายทิพรส เตียมกอง	กรรมการ
นายเสกสันต์ ศรีจำปา	กรรมการ
นายกาญจน์ อุบลชัย	กรรมการ
นายชุมพล ภิรมณ์สุข	กรรมการ
นายธิติพัทธ์ จูมนาฝาย	กรรมการ
นายนันทชัย ฤทธิ์สิงห์	กรรมการ
นายพิชัย อาจไพวัลย์	กรรมการ
นายดำรง พงษ์จันทร์	กรรมการ
นายวีระวัฒน์ โพธิ์นาฝาย	กรรมการ

นางสาวอภิรดี วีระชัย	กรรมการและเลขานุการ

5. คณะกรรมการฝ่ายปฏิคม

นางอรุณี ปราบพยัคฆ์	ประธานกรรมการ
นางศริญญา จินดามาตย์	กรรมการ
นางสาวชานิภา สุรนิวงศ์	กรรมการ
นางสาวสถาพร ฐานวิเศษ	กรรมการ
นางสาวอภิรดี วีระชัย	กรรมการ
นางสาวเปรมฤดี ปลื้มเชื้อ	กรรมการ
นางสาวสุขขี ยวงทอง	กรรมการ
นายธงชัย อุปแก้ว	กรรมการ
นางสาวจารุณี ศรีเมือง	กรรมการ
นางสาวลลนา คลังชำนาญ	กรรมการ
นางสาวณัฐติกาญจน์ ชูเดช	กรรมการและเลขานุการ

6. คณะกรรมการฝ่ายการเงินและพัสดุ

นางศธิธร แทนรินทร์	ประธานกรรมการ
นางสุขขี ยวงทอง	กรรมการ
นางสาวศศิกานต์ ชาเนตร	กรรมการ
นางสาวชลิตา ฐานวิเศษ	กรรมการ
นางสาวนุชนาถ สุวรรณามังกร	กรรมการ
นางสาวสาวิตรี ถมทอง	กรรมการ
นางสาวเพียรพร งานไว	กรรมการ
นางสุภาภรณ์ จงจอหอ	กรรมการ
นางสาวภัคธินันท์ ทันรังกา	กรรมการ
นางสาวราตรี คล่องแคล้ว	กรรมการ
นางพิชญ์ธกานติ์ แถวหมอ	กรรมการ
นางสาวอุษณีย์ พรมเดื่อ	กรรมการและเลขานุการ
นางสาวประภาพรรณ บัวทอง	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

7. คณะกรรมการฝ่ายแผนงาน

นางเกษราพร นาคคำ	ประธานกรรมการ
นายนิตย์ คำธนนันทิกุล	กรรมการ
นายธนากร แสงกุดเลาะ	กรรมการ
นางสาวอารีจิต สาแก้ว	กรรมการ
นางชนัญชิดา ซองผม	กรรมการ
นางสาวบุญธิดา นามปากดี	กรรมการ
นายกีฬา หนูยศ	กรรมการ
นายรังสรรค์ พรมเดื่อ	กรรมการ
นางสาวจิรารัตน์ ปุราทะกา	กรรมการและเลขานุการ

8. คณะกรรมการฝ่ายโสตทัศนูปกรณ์

นายจันทร์ทอน ดวงแก้ว	ประธานกรรมการ
นายเมชิน ทองน้อย	กรรมการ
นายกานต์ แสนยาโต	กรรมการ
นายสมบัติ เอี่ยมสำอาง	กรรมการและเลขานุการ

9. คณะกรรมการกิจการนักศึกษา

นายวิโรจน์ หาขุนทด	ประธานกรรมการ
นางสาวสุกัญญา ดีเขว้า	กรรมการ
นางประภาพร เวียงเจริญ	กรรมการ
นายอรรถชัย หงส์จุมพล	กรรมการ
นางตวงทิพย์ ขุนโนนเขวา	กรรมการ
นางจีรนันท์ วรกุล	กรรมการ
นางสาวณัฏฐากร อมฤทธิ์	กรรมการ
นายศรายุทธ วิจิตรธนสาร	กรรมการ
นางสาวมุจรินทร์ กลิ่นเกสร	กรรมการ
นางสาวประกายเพชร กุลหินตั้ง	กรรมการ
นายสราวุฒิ ทับทิมใส	กรรมการ
นางสาวเกษร ปราบคะเชนทร์	กรรมการและเลขานุการ

10. คณะกรรมการประเมินผล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สีพาย	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนทร ปัญญะพงษ์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิระพงศ์ จันทร์สนาม	กรรมการ
ดร.สิริศักดิ์ อาจวิชัย	กรรมการ
นายเลิศฤทธิ์ ตั้งชูวงษ์	กรรมการ
นางกมลพรรณ นนทะเสน	กรรมการ
นายสิทธิพงษ์ สุขบัว	กรรมการ
นางมนไศล โรเบิร์ตส์	กรรมการ
นางสาวสุภารัตน์ ปราบคะเซ็นทร์	กรรมการ
นายภาณุพันธุ์ อาสายุทธ	กรรมการและเลขานุการ

11. คณะกรรมการดำเนินงานพัฒนาเว็บไซต์และระบบลงทะเบียน

นายอดุลย์ สนั่นเอื้อเม็งไธสง	ประธานกรรมการ
นายฤทธิชัย ผานาค	รองประธานกรรมการ
นายศราวุฒิ เกิดถาวร	กรรมการ
นางสาวปาณิสรา หาดขุนทด	กรรมการ
นางฉันทนา ฝ่ายสัจจา	กรรมการ
นางสาวมนภร รอดสอาด	กรรมการ
นางสาวมะลิ ไพศาลธรรม	กรรมการ
นายสุชาติ พงษ์สุพรรณ์	กรรมการ

นายจันทร์ทอน ดวงแก้ว	กรรมการ
นายเมชิน ทองน้อย	กรรมการ
นายสมบัติ เอี่ยมสำอาง	กรรมการ
นายภัครพล อาจอาษา	กรรมการ
นางสาวสุพรรษา ผาจวง	กรรมการ
นางสาวณภัสวรรณ ประกอบดี	กรรมการ
นางกาญจณศิริ อันภักดี	กรรมการ
นายกานต์ แสนยาโต	กรรมการ
นายศรัณยู เหลาพา	กรรมการ
นายจักรี วิชัยระหัด	กรรมการและเลขานุการ
นางสาวอุษณีย์ พรมเดื่อ	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ
นางสาวประภาพรรณ บัวทอง	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

12. คณะกรรมการฝ่ายจัดทำเล่มบทคัดย่อและกำหนดการ

นายจักรี วิชัยระหัด	กรรมการ
นายรชานนท์ คุ้มโนนชัย	กรรมการ
นางสาวอุษณีย์ พรมเดื่อ	กรรมการและเลขานุการ
นางสาวประภาพรรณ บัวทอง	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

13. คณะกรรมการวิชาการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิระชัย โรยนรินทร์	ที่ปรึกษา (นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย)
นายมนตรี ชาลีเครือ	ที่ปรึกษา (นายกองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ)
รองศาสตราจารย์ ดร.พิศมัย ศรีอำไพ	ประธาน
อาจารย์จักรี วิชัยระหัด	รองประธาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ แก้วสาร	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อชิตพล ศศิธรานุวัฒน์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ ยิ่งรัมย์	กรรมการ
อาจารย์ ดร.พงษ์ภูไท อุดมอริยทรัพย์	กรรมการ
อาจารย์ ดร.รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล	กรรมการ
อาจารย์ ดร.ศักดิ์ชัย ดรดี	กรรมการ
อาจารย์วิภารัตน์ นิสาภัย	กรรมการ
อาจารย์ศรัณยู เหลาพา	กรรมการ
อาจารย์วรเชษฐ์ แสงสีดา	กรรมการ
อาจารย์ศิรินทรา ทันอินทรอาจ	กรรมการ
อาจารย์วราภรณ์ จันทร์เวียง	กรรมการ
นางสาวอุษณีย์ พรมเดื่อ	เลขานุการ
นางสาวประภาพรรณ บัวทอง	ผู้ช่วยเลขานุการ

14. คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบทางวิชาการ

1. รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2. รองศาสตราจารย์ ดร.สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
3. รองศาสตราจารย์ ดร.วรนุช แจ้งสว่าง	สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
4. รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย เทพา	คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
5. รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
6. รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ นิลผึ้ง	ภาควิชาเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติภูมิ ศุภลักษณ์ปัญญา	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย หนาแน่น	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพร แก้วอ่อน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง
11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัฒน์ชัย เทพนวล	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง
13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพร พัชรประกิติ	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
14. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภัศร์ชกรณ์ อารีย์กุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฏ์ มณีโชติ	วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร
16. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ จันทร์แก้ว	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
17. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราจิต พยอม	คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
18. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรชัย โรยนรินทร์	ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

19. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิระ สายศร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์
20. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
21. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
22. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทพ เกื้อทวีกุล	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
23. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
24. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
25. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติพงษ์ โตบันลือภพ	คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
26. ผู้ช่วยศาสตราจารย์อีลีหย๊ะ สนิโซ	คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
27. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธราธิป ภู่ระหงษ์	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม
28. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรีชา ศรีประภาคาร	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
29. ผู้ช่วยศาสตราจารย์บัญญัติ นิยมวาส	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลศรีวิชัย
30. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐเศรษฐ์ น้ำคำ	ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
31. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ ยิ่งรัมย์	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
32. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพรัตน์ แก้วสาร	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
33. อาจารย์ ดร.กรกนก อุบลชลเขต	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง
34. อาจารย์ ดร.กฤษฎา พัชรสิทธิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง
35. อาจารย์ ดร.วาริช วีระพันธ์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี
36. อาจารย์ ดร.สายใจ แก้วอ่อน	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช
37. อาจารย์ ดร.อาริษา โสภาจารย์	สาขาอุตสาหกรรม วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
38. อาจารย์ ดร.สุภวัฒน์ วิวรรธ์ภัทรกิจ	สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

39. อาจารย์ ดร.กฤตภาส มงคลธำรงกุล	คณะวิทยาศาสตร์ พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง
40. อาจารย์ ดร.โชคชัย เหมือนมาศ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง
41. อาจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ นพรัตน์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
42. อาจารย์ ดร.ภาสวรรธน์ วัชรดำรงค์ศักดิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
43. อาจารย์ ดร.วิรงรอง แสงเดือน	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
44. อาจารย์ ดร.อำพล อาภาธนากร	ผู้จัดการพัฒนานวัตกรรม ฝ่ายนวัตกรรมเพื่อสังคม สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน)
45. อาจารย์ ดร.พงษ์ภูไท อุดมอริยทรัพย์	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
46. อาจารย์ ดร.รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
47. อาจารย์ ดร.ศักดิ์ชัย ดรดี	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
48. อาจารย์กฤตภาส หอมระรื่น	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี
49. อาจารย์จักรี วิชัยระหัด	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
50. อาจารย์วรเชษฐ์ แสงสีดา	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
51. อาจารย์ศิรินทรา ทันอินทรอาจ	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
52. อาจารย์สุพัตรา บุตรเสรีชัย	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
53. อาจารย์ศรัณยู เหลาพา	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
54. อาจารย์ ดร.ชานนท์ บุญมีพิพิธ	วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน รัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์



กำหนดการงานประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 11

The 11th Thailand Renewable Energy for Community Conference: TREC-11

ระหว่างวันที่ 28-30 พฤศจิกายน 2561 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

วันพุธที่ 28 พฤศจิกายน 2561	
08.00 – 09.00 น.	ลงทะเบียน ณ หอประชุมใหญ่ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
09.00 – 10.15 น.	พิธีเปิดงานประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 11 **"รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง"** - การแสดงต้อนรับของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ - การแสดงต้อนรับของนักเรียนในสังกัด อบจ.ชัยภูมิ - กล่าวต้อนรับโดย **นายณรงค์ วุ่นซิ้ว ผู้ว่าราชการจังหวัดชัยภูมิ** **รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ** - กล่าวรายงานความเป็นมาของการจัดงาน TREC โดย **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรชัย โรยนรินทร์** นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย - กล่าวรายงานความเป็นมา การเชื่อมโยง การบูรณาการในด้านพลังงานทดแทน นำมาสู่การจัดงาน TREC-11 โดย **นายมนตรี ชาลีเครือ นายกองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ** - กล่าวเปิดงานโดย **นายทวี เสริมภักดีกุล** รองอธิบดีกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น - มอบโล่เกียรติยศ แก่ผู้สนับสนุนการจัดงาน - ถ่ายภาพหมู่ร่วมกัน - ปาฐกถาพิเศษ โดย **นายทวี เสริมภักดีกุล** รองอธิบดีกรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่น
10.15 – 10.45 น.	เยี่ยมชมนิทรรศการ **"รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง"**
10.45 – 11.00น.	พักรับประทานอาหารว่าง
11.00 – 12.30 น.	เสวนาพิเศษเรื่อง**"พลังงานความยั่งยืน ในยุคปัจจุบัน"** โดย **สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย** - ศาสตราจารย์ ดร.ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ อนุกรรมการประเมินผลโครงการภายใต้แผนอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน - ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช ประธานคลัสเตอร์พลังงาน เครือข่ายมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ - รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ - ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรชัย โรยนรินทร์ นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย - พลโท ดร.กฤตภาส คงคาพิสุทธ์ คณะอนุกรรมาธิการด้านพลังงานทดแทน สภานิติบัญญัติแห่งชาติ - ดร.คุณานันท์ ทยายุทธ อนุกรรมาธิการ การคมนาคม สภานิติบัญญัติแห่งชาติ

	- นายมนตรี ชาลีเครือ นายกองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ ดำเนินรายการโดย รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี		
12.30 – 13.30 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน		
13.30 – 15.00 น.	**เวทีกลาง**	**ห้องวิชาการ**	**ชุมชน**
	เสวนาพิเศษเรื่อง **"พลังงานทดแทนทางเลือกหรือทางรอดของสังคมไทย"** โดย **บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน)** - พันเอกสุรชิน กาญจนจิตติ รองผู้อำนวยการศูนย์ปรองดองสมานฉันท์เพื่อการปฏิรูป กองอำนวยการรักษาความมั่นคงภายในภาค 2 (ตัวแทนแม่ทัพภาคที่ 2) - รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง - ดร.อำพล อาภาธนากร - รองศาสตราจารย์ ดร.อิสสรีย์ หรรษาจรูญโรจน์ - ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฏ์ มณีโชติ - นายวิสูตร์ ยังพลขันธ์	นำเสนอผลงาน ทางวิชาการ (ภาคบรรยาย)	กิจกรรม **“คนเผาถ่าน”**
15.00 – 15.15 น.	พักรับประทานอาหารว่าง		
15.15 – 17.00 น.	**เวทีกลาง**	**ห้องวิชาการ**	**ชุมชน**
	กิจกรรม **Show and Share** เทคโนโลยีพลังงานชุมชน	นำเสนอผลงาน ทางวิชาการ (ภาคบรรยาย และภาคโปสเตอร์)	กิจกรรม **“คนเผาถ่าน”**
17.00 น.เป็นต้นไป	เดินทางกลับที่พัก/รับประทานอาหารเย็น และพักผ่อนตามอัธยาศัย		
วันพฤหัสบดีที่ 29 พฤศจิกายน 2561			
08.00 – 09.00 น.	ลงทะเบียน ณ หอประชุมใหญ่ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ		
09.00 – 10.30 น.	**เวทีกลาง**	**ห้องวิชาการ**	
	เสวนาพิเศษเรื่อง **"การขับเคลื่อนงาน** **ด้านพลังงานทดแทน ใน อปท."** โดย นายมนตรี ชาลีเครือ นายกองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ	นำเสนอผลงานทางวิชาการ (ภาคบรรยาย)	
10.30 – 10.45 น.	พักรับประทานอาหารว่าง		
10.45 – 12.00 น.	**เวทีกลาง**	**ห้องวิชาการ**	
	กิจกรรม **Show and Share** เทคโนโลยีพลังงานชุมชน	นำเสนอผลงานทางวิชาการ (ภาคบรรยาย)	
12.00 – 13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน		
13.00 – 14.30 น.	**เวทีกลาง**	**ห้องวิชาการ**	
	เสวนาพิเศษเรื่อง **“เกษตรร่ำรวย”** โดย กลุ่ม Young Smart Farmer จังหวัดชัยภูมิ	นำเสนอผลงานทางวิชาการ (ภาคบรรยาย)	

14.30 – 14.45 น.	พักรับประทานอาหารว่าง	
14.45 – 17.00 น.	**ชุมชน**	**ห้องวิชาการ**
	กิจกรรมคลินิกชุมชน	นำเสนอผลงานทางวิชาการ
17.30 – 22.00 น.	งานเลี้ยงรับรองและพิธีมอบธง TREC	
วันศุกร์ที่ 30 พฤศจิกายน 2561		
08.00 – 08.30 น.	ลงทะเบียนกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ศึกษาดูงาน	
08.30 – 12.00 น.	กิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ศึกษาดูงาน ระบบบำบัดน้ำอย่างยั่งยืนด้วยระบบพลังงานทดแทน กรณีศึกษาพื้นที่สวนสาธารณะ หนองปลาเฒ่า อ.เมือง จ.ชัยภูมิ	
12.00 – 13.00 น.	รับประทานอาหารกลางวัน	
13.00 – 14.00 น.	เยี่ยมชม ซื้อของฝาก หมู่บ้านทอผ้าไหม อ.บ้านเขว้า จ.ชัยภูมิ	
14.00 น. เป็นต้นไป	เดินทางกลับโดยสวัสดิภาพ	

หมายเหตุ 1.มีตลาดนัดชุมชน และนิทรรศการจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชนตลอดช่วงเวลาจัดกิจกรรม
2.กำหนดการอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม

ห้องนำเสนอผลงานทางวิชาการ 6 หัวข้อ ได้แก่

1. ไฟฟ้าชุมชน
2. เชื้อเพลิงความร้อนชุมชน
3. สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน
4. นวัตกรรมพลังงานทดแทน
5. การจัดการพลังงานในชุมชน
6. การออกแบบและจำลองการทำงานด้านพลังงาน

กิจกรรมคลินิกชุมชน 6 ห้อง ได้แก่

1. เกษตรร่ำรวยโดยตัวแทนจาก**Young Smart Farmer**ภาคอีสาน
2. การบริหารจัดการน้ำและธนาคารน้ำใต้ดิน โดย ตัวแทนจาก**อบต.เก่าขาม**
3. กฎหมาย/สิทธิบัตรชุมชน โดย ตัวแทนจาก**มหาวิทยาลัยทักษิณ**
4. GIS เพื่อการพัฒนาโดย ตัวแทนจาก**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี**
5. พัฒนาพื้นที่โคกหนองนาโดย **พระอาจารย์สังคมธนปัญโญ**
6. หลักการเขียนเพื่อขอสนับสนุนโครงการ โดยตัวแทนจาก**สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน)**



ลำดับการนำเสนอ

วันที่ 28 พฤศจิกายน 2561
ณ ชั้น 4 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา มหาวชิราลงกรณ
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

ลำดับการนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย
Oral Presentations

ห้อง TREC11-1

ประธาน อาจารย์ ดร.ชญานนท์ แสงมณี คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยประธาน อาจารย์วรเชษฐ์ แสงสีดา โครงการจัดตั้ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

Session1. ไฟฟ้าชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
1	EC02	13.30-13.45 น.	ความเหมาะสมของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสำหรับชุมชนในจังหวัดชัยภูมิ	มานพ ยิ่งรัมย์ อชิตพล ศศิธรา นุวัฒน์ ปิยพันธุ์ แสงทอง สุรวุฒิ สุดหา เกศศิริ ละแมนชัย ธรรมนูญ ม้าวิเศษ และรัชวุธ สุทธิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
2	EC05	13.45-14.00 น.	การศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเห็ดจากขี้เลื่อย แบบแกนนอน	สิทธิชัย เสนารัตน์	มหาวิทยาลัยนครพนม
3	EC10	14.00-14.15 น.	Electricity generation in small hydropower: Techno-economic and prospective benefits to communities in the northern parts of Thailand	Prachuab Peerapong and Arunyupa Buasab	BangkokThonburi University
4	EC25	14.15-14.30 น.	การศึกษาปัจจัยความสำเร็จในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดกระบี่	กานต์ จันทร์น้อย และสุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
		14.30-14.45 น.	อาหารว่าง		
5	EC82	14.45-15.00 น.	การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสำหรับโรงเรียนชายขอบ	ณัฐกานต์ อุดมเดชาณัติ อัศวิน หงษ์สิงห์ทอง เจษฎา ผลเจริญ ภุชงค์ สังฆะวงศ์ วิชิต แสงสุวรรณ์ สุพจน์ โสดารัตน์ ไพบูลย์ นาคมหาชลาสินธุ์ พัทธนันท์ เนาว์ในสิน กอบศักดิ์ ศรีประภา กิตติ วงศ์ถาวราวัฒน์ และไพรัช ธัชยพงษ์	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
6	EC95	15.00-15.15 น.	การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของประเทศไทย	ลัทธวรรณ นิยมธรรม จอมภพ แววศักดิ์ และชนะ จันทร์ฉ่ำ	มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง

Session2. เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
7	FC13	15.10-15.30 น.	การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งจากมูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาล	พรเมธี คำพีร์ เสริมสุข บัวเจริญ และธเนศ ไชยชนะ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
8	FC28	15.30-15.45 น.	การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน บ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง	รวิภา ยงประยูร ลัดดาวัลย์ เสียงเย็น วราคม วงค์ชัย และวีระ พันอินทร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
9	FC30	15.45-16.00 น.	อิทธิพลวัสดุประสานธรรมชาติที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่ง	บุณยาพร แสนพรม นิกราน หอมดวง นัฐพร ไชยญาติ ธเนศ ไชยชนะ กิตติกร สาสุจิตต์ และเสมอขวัญ ตันติกุล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
10	FC31	16.00-16.15 น.	ผลการปรับความเร็วเกลียวอัดที่มีผลต่ออัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพชีวมวลอัดแท่ง	ภาสินี ลาดลา ณัฐวุฒิ ดุษฎี นิกราน หอมดวง ชูรัตน์ ธารารักษ์ นัฐพร ไชยญาติ และเสมอขวัญ ตันติกุล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ห้อง TREC11-2

ประธาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย จารุวงศ์วิทยา

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยประธาน อาจารย์ ดร.รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

Session2. เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
1	FC49	13.30-13.45 น.	อิทธิพลของระยะความสูงก้นหม้อต่อโครงสร้างเปลวไฟและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาวัสดุพรุนแบบเม็ดกลมอัดแน่น	ภาคภูมิ สืบภา อำไพศักดิ์ ทีบุญมา สำเริง จักรใจ และอภินันต์ นามเขต	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
2	FC52	13.45-14.00 น.	การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาร่วมกับขุยมะพร้าว	จิราภรณ์ แก้วเดียว จุฑารัตน์ นวนทัด และศิรินุช จินดารักษ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
3	FC54	14.00-14.15 น.	การเพิ่มคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผ่านการแตกตัวด้วยความร้อน ร่วมกับการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5	กษวรรต ทิพพหา ธรณิศวร์ ตีทายาท เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
4	FC75	14.15-14.30 น.	สมบัติแท่งเชื้อเพลิงเขียวจากต้นปาล์ม หมดอายุ กะลาปาล์ม และกากปาล์มน้ำมัน	กฤช โกยวาณิชย์ ชนะ จันทร์ฉ่ำ สมพล ชีวมงคลกานต์ พงษ์ศักดิ์ มะขามป้อม นฐกร สุวรรณโณ จตุพร แก้วอ่อน และจอมภพ แววศักดิ์	มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง
		14.30-14.45 น.	อาหารว่าง		
5	FC77	14.45-15.00 น.	การผลิตน้ำร้อนจากเตาเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในพื้นที่ อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่	วรพจน์ โพธาเจริญ นิธิพัฒน์ ตลึงจิตร รุ่งนภา จุลศักดิ์ พสุ ปราโมกข์ชน และชยานนท์ สวัสดีนฤนาท	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Session3. สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
6	NC16	15.00-15.15 น.	การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยลมร้อนในท่อตรงแนวตั้ง	รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล และทินนรัตน์ บูขุนทด	มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
7	NC26	15.15-15.30 น.	การเปรียบเทียบสมรรถนะในการจัดการขยะแบบวิธีมาตรฐานเปรียบเทียบกับการจัดการขยะแบบทั่วไป	สุริยงค์ ประชาเขียว และกนกพงษ์ ศรีเที่ยง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
8	NC38	15.30-15.45 น.	ผลของขยะพลาสติกต่อการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อชุมชน	เสาวลักษณ์ บุญยอด สมหมาย ผิวสอาด วิรชัย โรยนรินทร์ และวีรภรณ์ ผิวสอาด	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
9	NC43	15.45-16.00 น.	การเปรียบค่าการใช้พลังงานในการผลิตเส้นใยกับการรีไซเคิลเส้นใยจากเศษผ้าเศษเส้นด้าย	ศักดา ปรีชาวัฒนสกุล สมหมาย ผิวสอาด และวิรชัย โรยนรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
10	NC51	16.00-16.15 น.	ผลกระทบจากการให้บริการวิชาการตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิต ณ ชุมชนบ้านโป่งสอตำบลน้ำกุ่ม อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก	วีระบูลย์กิตติ ชุมพรผ่อง ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด อนุพล อัคพิน ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ มลวิภา เมืองพระฝาง ธีรภัทร์ พุ่มพลอย และเฉลิมชัย สังโยคะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ห้อง TREC11-3

ประธาน อาจารย์ ดร.ภาณุศักดิ์ มูลศร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยประธาน อาจารย์ ดร.ศักดิ์ชัย ดรดี โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

Session3. สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
1	NC58	13.30-13.45 น.	การดักจับและกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ ด้วยสาหร่าย Chlorella sp. AARL G049	วาสนา คำโอภาส วิชุดา พุ่มพวง ปัญจพร หนาดคำ สุรินทร์ คันใจ ธรณิศวร์ ดีทายาท อรรถกร อาสนคำ และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2	NC72	13.45-14.00 น.	อิทธิพลของค่าความเป็นกรดและด่างต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผักเหลือทิ้ง	ปนัดดา เมฆโต ตุลา มุกทัง และฐิติพร เจาะจง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
3	NC78	14.00-14.15 น.	ผลของอาหารเสริมต่อการผลิตไบโอไฮโดรเจนจากกล้วยหอมโดยจุลินทรีย์ในน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์	โสภี พันอินทร์ ชยานนท์ สวัสดีนฤนาท พสุ ปราโมกข์ชน และหทัยทิพย์ สินธุยา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
4	NC99	14.15-14.30 น.	การปลดปล่อยเสียงและแผนที่เส้นเสียงเท่าของฟาร์มกังหันลมขนาด กำลังการผลิตติดตั้ง 80 เมกกะวัตต์	สมพล ชีวมงคลกานต์ ชนะ จันทร์ฉ่ำ และจอมภพ แววศักดิ์	มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง
		14.30-14.45 น.	อาหารว่าง		

Session4. นวัตกรรมพลังงานทดแทน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
5	IE03	14.45-15.00 น.	แนวทางใหม่ในการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรสำหรับชุมชน	พงศกร คชาพงศ์กุล อุทัย ศรีพันธ์ และพิสิทธิ์ ก้านขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
6	IE04	15.00-15.15 น.	การศึกษาลู่ทางการลงทุนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวลโดยใช้วัตถุดิบจากเศษไม้	รัฐศาสตร์ วรรณเศวต และสุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7	IE17	15.15-15.30 น.	การศึกษาผลการผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักผสมระหว่างมูลโคหมักร่วมกับเปลือกหัวหอมโดยใช้ถังหมักแบบกลิ้งในแนวตั้ง	ชัยยุทธ ไชยงาม รัตนชัย ไพรินทร์ และณัฏฐ์กาศ ยปนันทน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
8	IE18	15.30-15.45 น.	การเปรียบเทียบการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สชีวภาพโดยใช้แคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้า	ธวัลรัตน์ ผโลทัยสิทธิ์ และรัตนชัย ไพรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
9	IE20	15.45-16.00 น.	ออกแบบเครื่องฉีดพ่นยาสาหรับติดตั้งบนรถไถขนาดเล็ก	ณัฌฒญา นาจำเริญ พงศธร เพ็ชรขี้เหล็ก และรุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
10	IE21	16.00-16.15 น.	การประยุกต์รถไถนาเดินตามให้สามารถนั่งขับสำหรับการใช้งานในแปลงเกษตร	กฤษณัณจ์ แพงด้วง และรุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

ลำดับการนำเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์

Poster Presentations

ประธาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภวสุปรีย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ลำดับ	รหัส	Session	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
1	FC07	2	การดูดซับน้ำมันด้วยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตัวดูดซับน้ำมัน	เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
2	FC19	2	การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน	ประนิตดา เพ็งงิ้ว เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์ และนภารัตน์ ยาเคน	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
3	FC35	2	การศึกษาการผลิตถ่านแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยและใบเตย	ศิริวรรณ เทพา และศตพล มุ่งค้ำกลาง	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
4	FC70	2	กรณีศึกษาก๊าซชีวภาพจาก มูลหนู มูลกระต่าย และของเสียจากห้องทดลอง	ศรีวิชัย สู่สุข และบุญชู ลีลาขจรจิต	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
5	FC71	2	การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ไข่	ศรุติวงศ์ บุญคง ชัยพฤกษ์ หงษ์ลัดดา พร สว่าง กุลวงษ์ สุธาสินี ครุฑธกะ และสมิง ศรีกา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
6	NC29	3	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของทางเลือกการจัดการกากกาแฟ: กรณีศึกษา การเผาโดยตรงและผลิตไบโอดีเซล	ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร และณัฐพงศ์ ตันติวิวัฒนพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
7	IE27	4	ทบทวนเทคโนโลยีการผลิตชีวมวล	ดวงกมล เรือนงาม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
8	IE36	4	การศึกษาเทคโนโลยีการแปรสภาพทางเคมีความร้อนของฟางข้าวเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ	ปรางค์ทิพย์ แก้วเพ็งกรอ และอรรธวุทธิ์ รื่นเริงใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
9	IE96	4	นวัตกรรมโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินระบบทำความเย็นสารละลายธาตุอาหารด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์	ธีรพจน์ แนบเนียน วีระชาติ จริตงาม ถิรายุ ปิ่นทอง โกเมน หมายมั่น และปิยภาล มานะกิจ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
10	DE68	6	การพัฒนาระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือ	วีระชาติ จริตงาม ภิญโญ ชุมมณี และขจร อนุดิตย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

วันที่ 29 พฤศจิกายน 2561 ช่วงเช้า
ณ ชั้น 4 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา มหาวชิราลงกรณ
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

ลำดับการนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย
Oral Presentations

ห้อง TREC11-1

ประธาน อาจารย์ ดร.ชญานนท์ แสงมณี คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยประธาน อาจารย์วรเชษฐ์ แสงสีดา โครงการจัดตั้ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

Session4. นวัตกรรมพลังงานทดแทน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
1	IE22	09.00-09.15 น.	การศึกษาผลของการเจาะรูฐานเตาเพื่อเพิ่มการระบายอากาศเพื่อการประหยัดเชื้อเพลิงแก๊ส	พรหมพักตร์ ดาวัลต์ อมรรัตน์ ตาดี ปวีณา สุวรรณรัตน์ ชูพงศ์ ไชยหลาก อรณัญช์ ทองกร และธีระพงษ์ บุญรักษา	มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
2	IE37	09.15-09.30 น.	การวิเคราะห์มุมปะทะและการไหลวนบนผิวใบพัดกังหันลมแนวแกนนอน	ติณณภพ แพงผม จิระศักดิ์ พุกดำ และวิทยา แก้วสุริยวงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
3	IE39	09.30-09.45 น.	การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพระดับชุมชนด้วยจุลินทรีย์	สาณท ทองสุจริตพันธ์ วิสูตร์ ยังพล ขันธ์ และพรชัย ใจสม	บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
~~4~~	~~IE41~~	~~09.45-10.00 น.~~	~~การปรับปรุงรูปแบบการไหลของอากาศภายในโรงเรือนทำแห้งพลังงานแสงอาทิตย์~~	~~อมลณัฐ วิชชุเวสคามินทร์ เก้ากันยา สุดประเสริฐ และศิริชัย เทพา~~	~~มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี~~
5	IE42	10.00-10.15 น.	การศึกษาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อที่การไหลแบบราบเรียบโดยใช้น้ำและของไหล กราฟีนนาโนเป็นสารทำงาน	ภานุวัฒน์ ทิมอยู่ สราวุธ พลวงษ์ศรี และสุรศักดิ์ กุยมาลี	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
6	IE44	10.15-10.30 น.	การศึกษาผลกระทบของมุมเอียงของเสาต่อประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมขนาดเล็กแบบชนิดทุ่นลอยน้ำ	วงศกร วิเศษสัจจา วิรชัย โรยนรินทร์ และเดชา อินทร์โทโล่	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
		10.30-10.45 น.	อาหารว่าง		
7	IE46	10.45-11.00 น.	ตู้อบพริกพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทลเลอร์	ปรีชา สมหวัง เทวิล สกุลบุญยงค์ เอกบดี เมืองกลาง เด่น คอกพิมาย เกษม พรมรินทร์ และกฤษฎา ทาสันเทียะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
8	IE48	11.00-11.15 น.	ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล กรณีศึกษา โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก จังหวัดกำแพงเพชร	พิสุทธิ์ ภูวญาณพงศ์ และประพิธาริ์ ธนารักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
9	IE53	11.15-11.30 น.	Efficiency of the vertical axis wind turbine pump a case studies: Bung Boraphet nature and wildlife education center at the Bung Boraphet waterfowls park in Nakhon Sawan Province	Thirayu Pinthong Komain maimun and Piyalap Manakit	Nakhon Sawan Rajabhat University
10	IE55	11.30-11.45 น.	การอบแห้งอาหารทะเลโดยใช้โรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์	ศรีมา แจ้คำ ระวิน สืบค้า กรรณพต แก้วสอน และสหภัทร ชลาชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ห้อง TREC11-2

ประธาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย จารุวงศ์วิทยา

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยประธาน อาจารย์ ดร.รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

Session4. นวัตกรรมพลังงานทดแทน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
1	IE56	09.00-09.15 น.	การอบแห้งเนื้อไก่ด้วยระบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง	ศรีมา แจ้คำ ระวิน สืบค้า กรรณพต แก้วสอน และสหภัทร ชลาชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
2	IE57	09.15-09.30 น.	การเปรียบเทียบการลดความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดระหว่างการอบด้วยเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารีและการตากเมล็ดข้าวโพดบนลานตาก	อำนาจ ประจง	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
3	IE59	09.30-09.45 น.	การออกแบบกังหันลมอัดอากาศ	วิรชัย โรยนรินทร์ จิติวัฒน์ ยวงเกตุ และกฤตภาส คงคาพิสุทธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
4	IE60	09.45-10.00 น.	การออกแบบและพัฒนาระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร	กิตติ อภิชัยไพบูลย์ วนารัตน์ กรอิสรานุกูล และธนิท เรืองรุ่งชัยกุล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
5	IE66	10.00-10.15 น.	การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปิด	หฤทัย บงแก้ว บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล และศิรินุช จินดารักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
~~6~~	~~IE67~~	~~10.15-10.30 น.~~	~~การศึกษาการทำแห้งและการเก็บรักษากาแฟกะลาด้วยวิธีการทำแห้งแบบความชื้นต่ำ~~	~~ภคกุล วงษ์แก้ว เก้ากันยา สุดประเสริฐ และศิริชัย เทพา~~	~~มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี~~
		10.30-10.45 น.	อาหารว่าง		
7	IE69	10.45-11.00 น.	การวัดพลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์บริเวณริมฝั่งแม่น้ำโขง ที่ตำบลไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม	ณัฐพงษ์ เกตวงษา	มหาวิทยาลัยนครพนม
8	IE73	11.00-11.15 น.	การปรับปรุงเตาก๊าซชีวมวล	ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล ภัทรดนย์ พันธุ์ดี และเบญจวรรษ กล้าวิจารณ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
9	IE76	11.15-11.30 น.	การออกแบบและพัฒนารถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล และกฤชนนท์ สวนจันทร์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ห้อง TREC11-3

ประธาน อาจารย์ ดร.ภาณุศักดิ์ มูลศร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยประธาน อาจารย์ ดร.ศักดิ์ชัย ดรดี โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

Session4. นวัตกรรมพลังงานทดแทน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
1	IE89	09.00-09.15 น.	ระบบบำบัดน้ำอย่างยั่งยืน ด้วยระบบพลังงานทดแทน กรณีศึกษาพื้นที่สวนสาธารณะ หนองปลาเฒ่า อ.เมือง จ.ชัยภูมิ	วิรชัย โรยนรินทร์ มนตรี ชาลีเครือ คุณานันท์ ทยายุทธ วงศกร วิเศษสัจจา เสาวลักษณ์ บุญยอด และศักดา ปรีชาวัฒนสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
2	IE92	09.15-09.30 น.	แบบจำลองการอบแห้งปลาสลิดด้วยอากาศร้อน	กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ ศรีมา แจ้คำ ทัศพันธ์ สุวรรณทัต และนเรศ นาใต้	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
3	IE94	09.30-09.45 น.	การศึกษาและเปรียบเทียบการอบแห้งสมุนไพรด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลและอากาศร้อน	ศรีมา แจ้คำ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ จิรวัฒน์ สิตรานนท์ และทัศพันธ์ สุวรรณทัต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
4	IE98	09.45-10.00 น.	การสำรวจแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทยโดยการตรวจวัด	ณฐกร สุวรรณโณ พงษ์ศักดิ์ มะขามป้อม จอมภพ แววศักดิ์ ชนะ จันทร์ฉ่ำ และสมพล ชีวมงคลกานต์	มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง)
5	IE100	10.00-10.15 น.	ความอ่อนไหวของการจำลองแบบการผลิตไฟฟ้าของฟาร์มกังหันลม นอกชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน	ชนะ จันทร์ฉ่ำ สมพล ชีวมงคลกานต์ และจอมภพ แววศักดิ์	มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง)

Session5. การจัดการพลังงานในชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
6	ME11	10.15-10.30 น.	การประเมินปริมาณการใช้พลังงานและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตข้าวกล้องไรเบอรรีย์ กรณีศึกษา บ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	ยินนิตรา คำนึงผล วรวรรณ เพชรอุไร นิมิต ขยัน และธเนศ ไชยชนะ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
		10.30-10.45 น.	อาหารว่าง		
7	ME34	10.45-11.00 น.	การประเมินการการจัดการพลังงานด้วยการใช้นวัตกรรมเชิงพลังงานในกระบวนการผลิต ของกลุ่มวิสาหกิจเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง	รวิภา ยงประยูร วราคม วงค์ชัย ธิดารักษ์ ปู่ย่า จารุวรรณ ทินวัง ศิริกาญจน์ วิบูลย์ผลและพรทิพา สิงห์แก้ว	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
8	ME40	11.00-11.15 น.	การวิเคราะห์ศักยภาพด้านพลังงานของเปลือกมังคุด	นรินทร์ ปิ่นแก้ว จอมภพ แววศักดิ์ ธีรเดช ใหญ่บก เสริมสุข บัวเจริญ และธเนศ ไชยชนะ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
9	ME47	11.15-11.30 น.	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณการใช้แก๊สหุงต้มของหัวเตาต้นแบบ J-160 และเตา KB-10	พรหมพักตร์ ดาวัลต์ ชัยวัฒน์ กัลยาพรม เหมือนขวัญ พันธุ์เมือง ชูพงศ์ ไชยหลาก อรณัญช์ ทองกร และกวีพจน์ วรเนตรสุทธิกุล	มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
10	ME61	11.30-11.45 น.	การจัดการชุมชนต้นแบบ Bio smart farming: ระยะที่ 1	พิสิษฏ์ มณีโชติ ประพิธาริ์ ธนารักษ์บงกช ประสิทธิ์ กิ่งกานต์ พันธุวาณิชย์ และอันธิกา เพชรี	มหาวิทยาลัยนเรศวร

วันที่ 29 พฤศจิกายน 2561 ช่วงบ่าย
ณ ชั้น 4 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา มหาวชิราลงกรณ
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

ลำดับการนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย
Oral Presentations

ห้อง TREC11-1

ประธาน อาจารย์ ดร.ชญานนท์ แสงมณี คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยประธาน อาจารย์วรเชษฐ์ แสงสีดา โครงการจัดตั้ง คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

Session5. การจัดการพลังงานในชุมชน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
1	ME62	13.00-13.15 น.	การประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรดระยะไกลเพื่อลดการใช้พลังงานในการผลิตกะหรี่ปั๊บ	ปรีชา ศรีประภาคาร ปิยณัฐ หงษ์กังวาล และพิสิษฏ์ มณีโชติ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
2	ME63	13.15-13.30 น.	การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวที่สภาวะปราศจากออกซิเจน ซึ่งเร่งปฏิกิริยาด้วยของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง	พิสิษฏ์ มณีโชติ สรุชัย อาจกล้า และอัญชลีภรณ์ ศรีษะธาตุ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
3	ME65	13.30-13.45 น.	การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการอบแห้งผักตบชวา	ธัญวรัตม์ ประเดชบุญ หฤทัย บงแก้ว ชัยสิทธิ์ สนิทไทย และศิรินุช จินดารักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
4	ME80	13.45-14.00 น.	การออกแบบระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	สลิลรัตน์ ประสพฤกษ์ สุเพชร จิรขจรกุล และธนิท เรืองรุ่งชัยกุล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
5	ME81	14.00-14.15 น.	ระบบแสดงผลเพื่อการเรียนรู้และอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบไร้สายสำหรับโรงเรียนชายขอบ	เจษฎา ผลเจริญ ไพบูลย์ นาคมหาชลาสินธุ์ กิตติ วงศ์ถาวราวัฒน์ อัศวิน หงส์สิงห์ทอง และไพรัช ธัชยพงษ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
6	ME91	14.15-14.30 น.	การสร้างพลังเครือข่ายภาคประชาชน สู่ความสำเร็จในการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศไทย	ชาติ ไชยสิทธิ์ พิสิษฏ์ มณีโชติ สำรวย ผัดผล และตุนย์ ชมชื่น	มหาวิทยาลัยนเรศวร
		14.30-14.45 น.	อาหารว่าง		

Session6. การออกแบบและจำลองการทำงานด้านพลังงาน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
7	DE08	14.45-15.00 น.	การใช้วัสดุทดแทนดินในเทคโนโลยีหลังคาเขียว	วรินทร เวียนสันเทียะ ชุติมา จิตสุภาบุญกิจ และสมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
8	DE09	15.00-15.15 น.	การหาอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์	เกรียงศักดิ์ ดอนชัย วีระเดช จองสุรียภาส และชูชาติ ม่วงโกสัย	วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 2
9	DE14	15.15-15.30 น.	ระยะเวลาการบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	เชาวลิต คำสุข และวิทยา ยงเจริญ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10	DE23	15.30-15.45 น.	การศึกษาแบบจำลองในการคำนวณหาอายุเชิงเศรษฐกิจของสถานีไฟฟ้าแรงสูงโดยพิจารณาตามรูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์ กรณีศึกษาสถานีไฟฟ้า 115/22 kV	กรวิชญ์ ตั้งชีวะสมบัติ และสุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11	DE24	15.45-16.00 น.	การวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานผลิตผ้าเบรก	วิจิตร ไสยาศรี พงศกร คชาพงศ์กุล และชานนท์ บุญมีพิพิธ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
12	DE32	16.00-16.15 น.	การใช้พลังงานและแนวคิดการออกแบบอาคารที่พักฉุกเฉินแบบถอดประกอบได้	สรรชัย แสงตัน และสมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้อง TREC11-2

ประธาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย จารุวงศ์วิทยา

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยประธาน อาจารย์ ดร.รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

Session6. การออกแบบและจำลองการทำงานด้านพลังงาน

ลำดับ	รหัส	เวลา	ชื่อเรื่อง	ชื่อผู้แต่ง	หน่วยงาน
1	~~DE33~~	~~13.00-13.15 น.~~	~~การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้งานรถสามล้อไฟฟ้า~~	~~กฤษฎา บัวระพา วิภา เหลืองบุตรนาค ประเสริฐ สีหาพุทธ ประกาศิต ทัศนียม และวราจิต พะยอม~~	~~มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี~~
2	DE45	13.15-13.30 น.	การเปรียบเทียบผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แบบผลึกรวมจากผู้ผลิตต่างกัน ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 5 เมกะวัตต์	ธนพัฒน์ กุ้งทอง ฤทธิชัย ราชแป้น รุ่งเพชร ก่องนอก และบุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
3	DE50	13.30-13.45 น.	การจำลองเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าปลายสายของระบบจำหน่ายที่เชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	ณัฐพันธ์ ถนอมสัตย์ และบุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี
4	DE64	13.45-14.00 น.	มาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพสาขาวิชาชีพ พลังงานและพลังงานทดแทน สาขาอาชีพเทคโนโลยีชีวมวล และเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ	ฉันทนา พันธุ์เหล็ก สมชาย มณีวรรณ์ และจีรภา เพ็ชรอ่อน	มหาวิทยาลัยนเรศวร
5	DE84	14.00-14.15 น.	การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของแบตเตอรี่ในไมโครกริดแบบแยกเดี่ยวที่ติดตั้งพลังงานทดแทน เมื่อพิจารณาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่	พินิจ วงศ์เดช ธีระพงษ์ บุญรักษา และบุญเรือง มะรังศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
6	DE85	14.15-14.30 น.	การศึกษาลักษณะการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่รถบัสไฟฟ้า	ธีระพงษ์ บุญรักษา ณัฐพล ชาติสุข พรหมพักตร์ ดาวัลต์ และบุญเรือง มะรังศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
		14.30-14.45 น.	อาหารว่าง		
7	DE86	14.45-15.00 น.	การปรับปรุงการควบคุมความถี่โหลดที่ใช้ระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมโดยใช้แบตเตอรี่ที่มีตัวควบคุมแบบ PI	นิธิกร จันทร์หัวโทน ธีระพงษ์ บุญรักษา และบุญเรือง มะรังศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
8	DE87	15.00-15.15 น.	การศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า	ณัฐพล ชาติสุข และบุญเรือง มะรังศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
9	DE88	15.15-15.30 น.	การออกแบบเส้นโค้งความเร็วเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงินในประเทศไทย	กันตินันท์ สกุลไพศาล ธีระพงษ์ บุญรักษา และบุญเรือง มะรังศรี	มหาวิทยาเทคโนโลยีสุรนารี
10	DE90	15.30-15.45 น.	Feasibility design of three Combination Renewable Energy Solar, Wind and water on Rooftop High-Rise Building	Wichai Pettongkam, Wirachi Roynarin and Decha Intholo	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
11	DE93	15.45-16.00 น.	อุปกรณ์ควบคุมไฟถนนแบบอัตโนมัติ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์การศึกษาสามพร้าว	อภัยภักดิ์ ประทุมทิพย์ สมชาย ชื่นวัฒนาประณิธิ ต้น ไวทยานุวัตติ และสมเกียรติ วุฒิพันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
12	DE97	16.00-16.15 น.	การเปรียบเทียบแบบจำลองฟาร์มกังหันลม ณ กังหันลมลำตะคอง	พงษ์ศักดิ์ มะขามป้อม จอมภพ แววศักดิ์ สมพล ชีวมงคลกานต์ และชนะ จันทร์ฉ่ำ	มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง

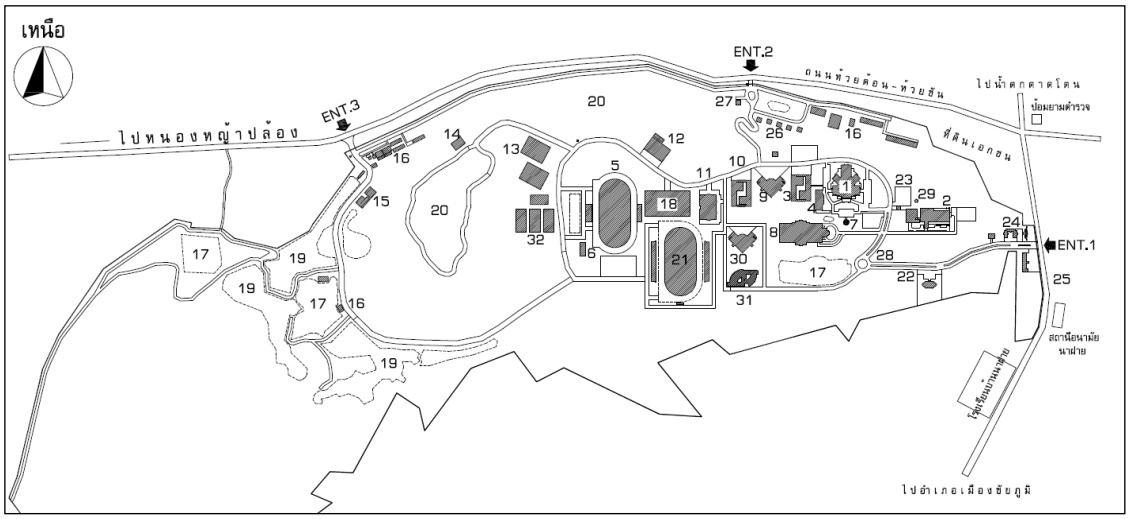
แผนผังการจัดงานประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 11

The 11th Thailand Renewable Energy for Community Conference: TREC-11

ระหว่างวันที่ 28-30 พฤศจิกายน 2561 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

อาคารที่จัดงานประกอบด้วยอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา มหาวชิราลงกรณ (หมายเลข1) หอประชุมใหญ่ (หมายเลข 8) และลานจอดรถสนามกีฬากลาง (หมายเลข 21)

- กิจกรรมที่หอประชุมใหญ่ ประกอบด้วยพิธีเปิด การเสวนา และกิจกรรม Show and Share เทคโนโลยีพลังงานชุมชน
- กิจกรรมที่อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา มหาวชิราลงกรณ ประกอบด้วย กิจกรรมคลินิกชุมชน และการนำเสนอผลงานทางวิชาการ (กิจกรรม “คนเผาถ่าน” จัดที่ลานจอดรถด้านหน้าอาคาร)
- กิจกรรมที่ลานจอดรถสนามกีฬากลาง ได้แก่ งานเลี้ยงรับรองและพิธีมอบธง TREC





สารบัญ

		หน้า
สารจากอธิการบดี		ก
สารจากนายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย		ข
สารจากนายกองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ		ค
รายชื่อคณะกรรมการดำเนินงาน		ง
กำหนดการจัดงาน		ฎ
ลำดับการนำเสนอบทความ		ฒ
แผนผังการจัดงาน		พ
สารบัญ		ฟ
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 (Proceeding of TREC-11)		
EC02	ความเหมาะสมของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสำหรับชุมชนในจังหวัดชัยภูมิ มานพ ยิ่งรัมย์ อชิตพล ศศิธรานุวัฒน์ ปิยพันธุ์ แสงทอง สุรวุฒิ สุดหา เกศศิริ ละแมนชัย ธรรมนูญ ม้าวิเศษ และรัชวุธ สุทธิ	2
EC05	การศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเห็ดจากขี้เลื่อย แบบแกนนอน สิทธิชัย เสนารัตน์	10
EC25	การศึกษาปัจจัยความสำเร็จในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดกระบี่ กานต์ จันทร์น้อย และสุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน	20
EC95	การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของประเทศไทย ลัทธวรรณ นิยมธรรม จอมภพ แววศักดิ์ และชนะ จันทร์ฉ่ำ	29
FC07	การดูดซับน้ำมันด้วยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตัวดูดซับน้ำมัน เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์	36
FC13	การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งจากมูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาล พรเมธี คำพีร์ เสริมสุข บัวเจริญ และธเนศ ไชยชนะ	43
FC19	การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน ประนิตดา เพ็งงิ้ว เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์ และนภารัตน์ ยาเคน	50
FC28	การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน บ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง รวิภา ยงประยูร ลัดดาวัลย์ เสียงเย็น วราคม วงค์ชัย และวีระ พันอินทร์	56
FC30	อิทธิพลวัสดุประสานธรรมชาติที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่ง บุณยาพร แสนพรม นิกราน หอมดวง นัฐพร ไชยญาติ ธเนศ ไชยชนะ กิตติกร สาสุจิตต์ และเสมอขวัญ ตันติกุล	66
FC31	ผลการปรับความเร็วเกลียวอัดที่มีผลต่ออัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพชีวมวลอัดแท่ง ภาสินี ลาดลา ณัฐวุฒิ ดุษฎี นิกราน หอมดวง ชูรัตน์ ธารารักษ์ นัฐพร ไชยญาติ และเสมอขวัญ ตันติกุล	72
FC35	การศึกษาการผลิตถ่านแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยและใบเตย ศิริวรรณ เทพา และศตพล มุ่งค้ำกลาง	79

สารบัญ

FC49 อิทธิพลของระยะความสูงก้นหม้อต่อโครงสร้างเปลวไฟและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาวัสดุพรุนแบบเม็ดกลมอัดแน่น 84
ภาคภูมิ สืบภา อำไพศักดิ์ ทีบุญมา สำเริง จักรใจ และอภินันต์ นามเขต

FC52 การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาร่วมกับขุยมะพร้าว 93
จิราภรณ์ แก้วเดียว จุฑารัตน์ นวนทัด และศิรินุช จินดารักษ์

FC54 การเพิ่มคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผ่านการแตกตัวด้วยความร้อน ร่วมกับการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 100
กษวรรต ทิพพหา ธรณิศวร์ ดีทายาท เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

FC70 กรณีศึกษาก๊าซชีวภาพจาก มูลหนู มูลกระต่าย และของเสียจากห้องทดลอง 107
ศรีวิชัย สู่สุข และบุญชู ลีลาขจรจิต

FC71 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ไข่ 116
ศรุติวงศ์ บุญคง ชัยพฤกษ์ หงษ์ลัดดาพร สว่าง กุลวงษ์ สุธาสินี ครุฑธกะ และสมิง ศรีกา

FC77 การผลิตน้ำร้อนจากเตาเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในพื้นที่ อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่ 122
วรพจน์ โพธาเจริญ นิธิพัฒน์ ตลึงจิตร รุ่งนภา จุลศักดิ์ พสุ ปราโมกข์ชน และชยานนท์ สวัสดีนฤนาท

NC16 การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยลมร้อนในท่อตรงแนวตั้ง 129
รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล และทินนรัตน์ บูขุนทด

NC26 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการจัดการขยะแบบวิธีมาตรฐานเปรียบเทียบกับการจัดการขยะแบบทั่วไป 137
สุริยงค์ ประชาเขียว และกนกพงษ์ ศรีเที่ยง

NC29 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของทางเลือกการจัดการกากกาแฟ: กรณีศึกษา การเผาโดยตรงและผลิตไบโอดีเซล 143
ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร และณัฐพงศ์ ตันติวิวัฒนพันธ์

NC38 ผลของขยะพลาสติกต่อการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อชุมชน 149
เสาวลักษณ์ บุญยอด สมหมาย ผิวสอาด วิรชัย โรยนรินทร์ และวีรภรณ์ ผิวสอาด

NC43 การเปรียบค่าการใช้พลังงานในการผลิตเส้นใยกับการรีไซเคิลเส้นใยจากเศษผ้า เศษเส้นด้าย 157
ศักดา ปรีชาวัฒนสกุล สมหมาย ผิวสอาด และวิรชัย โรยนรินทร์

NC51 ผลกระทบจากการให้บริการวิชาการตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิต ณ ชุมชนบ้านโป่งสอตำบลน้ำกุ่ม อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก 164
วีระบูลย์กิตติ ชุมพรผ่อง ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด อนุพล อัคพิน ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ มลวิภา เมืองพระฝาง ธีรภัทร์ พุ่มพลอย และเฉลิมชัย สังโยคะ

NC72 อิทธิพลของค่าความเป็นกรดและด่างต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผักเหลือทิ้ง 171
ปนัดดา เมฆโต ตุลา มุกทั่ง และฐิติพร เจาะจง

NC78 ผลของอาหารเสริมต่อการผลิตไบโอไฮโดรเจนจากกล้วยหอมโดยจุลินทรีย์ในน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ 176
โสภี พันอินทร์ ชยานนท์ สวัสดีนฤนาท พสุ ปราโมกข์ชน และหทัยทิพย์ สินธุยา

สารบัญ

NC99	การปลดปล่อยเสียงและแผนที่เส้นเสียงเท่าของฟาร์มกังหันลมขนาด กำลังการผลิตติดตั้ง 80 เมกกะวัตต์ สมพล ชีวมงคลกานต์ ชนะ จันทร์ฉ่ำ และจอมภพ แววศักดิ์	184
IE04	การศึกษาลู่ทางการลงทุนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวลโดยใช้วัตถุดิบจากเศษไม้ รัฐศาสตร์ วรรณเศวต และสุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน	192
IE17	การศึกษาผลการผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักผสมระหว่างมูลโคหมักร่วมกับเปลือกหัวหอมโดยใช้ถังหมักแบบกลิ้งในแนวตั้ง ชัยยุทธ ไชยงาม รัตนชัย ไพรินทร์ และณัฏฐ์กาศ ยปนันทน์	200
IE18	การเปรียบเทียบการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สชีวภาพโดยใช้แคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้า ธวัลรัตน์ ผโลทัยสิทธิ์ และรัตนชัย ไพรินทร์	208
IE20	ออกแบบเครื่องฉีดพ่นยาสาหรับติดตั้งบนรถไถขนาดเล็ก ณัฌฒญา นาจำเริญ พงศธร เพ็ชรขี้เหล็ก และรุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล	215
IE21	การประยุกต์รถไถนาเดินตามให้สามารถนั่งขับสำหรับการใช้งานในแปลงเกษตร กฤษนัณจ์ แพงด้วง และรุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล	223
IE22	การศึกษาผลของการเจาะรูฐานเตาเพื่อเพิ่มการระบายอากาศเพื่อการประหยัดเชื้อเพลิงแก๊ส พรหมพักตร์ ดาวัลต์ อมรรัตน์ ตาดี ปวีณา สุวรรณรัตน์ ชูพงศ์ ไชยหลาก อรณัญช์ ทองกร และธีระพงษ์ บุญรักษา	231
IE27	ทบทวนเทคโนโลยีการผลิตชีวมวล ดวงกมล เรือนงาม	238
IE36	การศึกษาเทคโนโลยีการแปรสภาพทางเคมีความร้อนของฟางข้าวเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ปรางค์ทิพย์ แก้วเพ็งกรอ และอรรถวุทธิ์ รื่นเริงใจ	243
IE37	การวิเคราะห์มุมปะทะและการไหลวนบนผิวใบพัดกังหันลมแนวแกนนอน ติณณภพ แพงผม จิระศักดิ์ พุกดำ และวิทยา แก้วสุริยวงค์	250
IE39	การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพระดับชุมชนด้วยจุลินทรีย์ สาณท ทองสุจริตพันธ์ วิสูตร์ ยังพลขันธ์ และพรชัย ใจสม	258
IE42	การศึกษาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อที่การไหลแบบราบเรียบโดยใช้น้ำและของไหล กราฟีนนาโนเป็นสารทำงาน ภานุวัฒน์ ทิมอยู่ สราวุธ พลวงษ์ศรี และสุรศักดิ์ กุยมาลี	265
IE44	การศึกษาผลกระทบของมุมเอียงของเสาต่อประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมขนาดเล็กแบบชนิดทุ่นลอยน้ำ วงศกร วิเศษสัจจา วิรชัย โรยนรินทร์ และเดชา อินทร์โทโล่	273
IE46	ตู้อบพริกพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทลเลอร์ ปรีชา สมหวัง เทวิล สกุลบุญยงค์ เอกบดี เมืองกลาง เด่น คอกพิมาย เกษม พรมรินทร์ และกฤษฎา ทาสันเทียะ	286
IE48	ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล กรณีศึกษา โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก จังหวัดกำแพงเพชร พิสุทธิ์ ภูวญาณพงศ์ และประพิธาร์ ธนารักษ์	293
IE53	Efficiency of the vertical axis wind turbine pump a case studies: Bung Boraphet nature and wildlife education center at the Bung Boraphet waterfowls park in Nakhon Sawan Province Thirayu Pinthong Komain maimun and Piyalap Manakit	301
IE55	การอบแห้งอาหารทะเลโดยใช้โรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ ศรีมา แจ้คำ ระวิน สืบค้า กรรณพต แก้วสอน และสหภัทร ชลาชัย	313

สารบัญ

IE56 การอบแห้งเนื้อไก่ด้วยระบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 320
ศรีมา แจ้คำ ระวิน สืบค้า กรรณพต แก้วสอน และสหภัทร ชลาชัย

IE57 การเปรียบเทียบการลดความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดระหว่างการอบด้วยเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารีและการตากเมล็ดข้าวโพดบนลานตาก 327
อำนาจ ประจง

IE60 การออกแบบและพัฒนาระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร 342
กิตติ อภิชัยไพบูลย์ วนารัตน์ กรอิสรานุกูล และธนิท เรืองรุ่งชัยกุล

IE66 การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปิด 349
หฤทัย บงแก้ว บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล และศิรินุช จินดารักษ์

IE69 การวัดพลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์บริเวณริมฝั่งแม่น้ำโขง ที่ตำบลไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม 359
ณัฐพงษ์ เกตวงษา

IE73 การปรับปรุงเตาก๊าซชีวมวล 365
ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล ภัทรดนย์ พันธุ์ดี และเบญจวรรษ กล้าวิจารณ์

IE76 การออกแบบและพัฒนารถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 371
ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล และกฤชนนท์ สวนจันทร์

IE92 แบบจำลองการอบแห้งปลาสลิดด้วยอากาศร้อน 377
กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ ศรีมา แจ้คำ ทัศพันธ์ สุวรรณทัต และนเรศ นาใต้

IE94 การศึกษาและเปรียบเทียบการอบแห้งสมุนไพรด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลและอากาศร้อน 383
ศรีมา แจ้คำ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ จิรวัฒน์ สิตรานนท์ และทัศพันธ์ สุวรรณทัต

IE96 นวัตกรรมโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน ระบบทำความเย็นสารละลายธาตุอาหารด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 390
ธีรพจน์ แนบเนียน วีระชาติ จริตงาม ถิรายุ ปิ่นทอง โกเมน หมายมั่น และปิยภาล มานะกิจ

IE98 การสำรวจแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทยโดยการตรวจวัด 397
ณฐกร สุวรรณโณ พงษ์ศักดิ์ มะขามป้อม จอมภพ แววศักดิ์ ชนะ จันทร์ฉ่ำ และสมพล ชีวมงคลกานต์

IE100 ความอ่อนไหวของการจำลองแบบการผลิตไฟฟ้าของฟาร์มกังหันลม นอกชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน 403
ชนะ จันทร์ฉ่ำ สมพล ชีวมงคลกานต์ และจอมภพ แววศักดิ์

ME11 การประเมินปริมาณการใช้พลังงานและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตข้าวกล้องไรเบอรรีย์ กรณีศึกษา บ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ 412
ยินนิตรา คำนึงผล วรวรรณ เพชรอุไร นิมิต ขยัน และธเนศ ไชยชนะ

ME34 การประเมินการการจัดการพลังงานด้วยการใช้นวัตกรรมเชิงพลังงานในกระบวนการผลิต ของกลุ่มวิสาหกิจเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง 420
รวิภา ยงประยูร วราคม วงค์ชัย ธิดารักษ์ ปู่ย่า จารุวรรณ ทินวัง ศิริกาญจน์ วิบูลย์ผลและพรทิพา สิงห์แก้ว

สารบัญ

ME40 การวิเคราะห์ศักยภาพด้านพลังงานของเปลือกมังคุด 430
นรินทร์ ปิ่นแก้ว จอมภพ แววศักดิ์ ธีรเดช ใหญ่บก เสริมสุข บัวเจริญ และธเนศ ไชยชนะ

ME47 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณการใช้แก๊สหุงต้มของหัวเตาต้นแบบ J-160 และเตา KB-10 437
พรหมพักตร์ ดาวัลต์ ชัยวัฒน์ กัลยาพรม เหมือนขวัญ พันธุ์เมือง ชูพงศ์ ไชยหลาก อรณัญช์ ทองกร และกวีพจน์ วรเนตรสุทธิกุล

ME62 การประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรดระยะไกลเพื่อลดการใช้พลังงานในการผลิตกะหรี่ปั๊บ 445
ปรีชา ศรีประภาคาร ปิยณัฐ หงษ์กังวาล และพิสิษฎ์ มณีโชติ

ME63 การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวที่สภาวะปราศจากออกซิเจน ซึ่งเร่งปฏิกิริยาด้วยของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง 450
พิสิษฎ์ มณีโชติ สรุชัย อาจกล้า และอัญชลีภรณ์ ศรีษะธาตุ

ME65 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการอบแห้งผักตบชวา 457
ธัญวรัตม์ ประเดชบุญ หฤทัย บงแก้ว ชัยสิทธิ์ สนิทไทย และศิรินุช จินดารักษ์

ME80 การออกแบบระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 463
สลิลรัตน์ ประสพฤกษ์ สุเพชร จิรขจรกุล และธนิท เรืองรุ่งชัยกุล

ME81 ระบบแสดงผลเพื่อการเรียนรู้และอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบไร้สายสำหรับโรงเรียนชายขอบ 472
เจษฎา ผลเจริญ ไพบูลย์ นาคมหาชลาสินธุ์ กิตติ วงศ์ถาวราวัฒน์ อัศวิน หงส์สิงห์ทอง และไพรัช ธัชยพงษ์

ME91 การสร้างพลังเครือข่ายภาคประชาชน สู่ความสำเร็จในการผลักดันยุทธศาสตร์ พลังงานของประเทศไทย 478
ชาติ ไชยสิทธิ์ พิสิษฎ์ มณีโชติ สำรวย ผัดผล และตุนย์ ชมชื่น

DE08 การใช้วัสดุทดแทนดินในเทคโนโลยีหลังคาเขียว 491
วรินทร เวียนสันเทียะ ชุติมา จิตสุภาบุญกิจ และสมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์

DE09 การหาอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์ 498
เกรียงศักดิ์ ดอนชัย วีระเดช จองสุรียภาส และชูชาติ ม่วงโกสัย

DE14 ระยะเวลาการบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน 505
เชาวลิต คำสุข และวิทยา ยงเจริญ

DE23 การศึกษาแบบจำลองในการคำนวณหาอายุเชิงเศรษฐกิจของสถานีไฟฟ้าแรงสูง โดยพิจารณาตามรูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์ กรณีศึกษาสถานีไฟฟ้า 115/22 kV 510
กรวิชญ์ ตั้งชีวะสมบัติ และสุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน

DE24 การวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานผลิตผ้าเบรก 523
วิจิตร ไสยาศรี พงศกร คชาพงศ์กุล และชานนท์ บุญมีพิพิธ

DE32 การใช้พลังงานและแนวคิดการออกแบบอาคารที่พักฉุกเฉินแบบถอดประกอบได้ 532
สรรชัย แสงตัน และสมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์

DE45 การเปรียบเทียบผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แบบผลึกรวมจากผู้ผลิตต่างกัน ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 5 เมกะวัตต์ 543
ธนพัฒน์ กุ้งทอง ฤทธิชัย ราชแป้น รุ่งเพชร ก่องนอก และบุญยัง ปลั่งกลาง

DE50 การจำลองเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าปลายสายของระบบจำหน่ายที่เชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 549
ณัฐพันธ์ ถนอมสัตย์ และบุญยัง ปลั่งกลาง

สารบัญ

DE64 มาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพสาขาวิชาชีพ พลังงานและพลังงานทดแทน สาขาอาชีพเทคโนโลยีชีวมวล และเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ 554
ฉันทนา พันธุ์เหล็ก สมชาย มณีวรรณ์ และจีรภา เพ็ชรอ่อน

DE68 การพัฒนาระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือ 562
วีระชาติ จริตงาม ภิญโญ ชุมมณี และขจร อนุดิตย์

DE84 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของแบตเตอรี่ในไมโครกริดแบบแยกเดี่ยวที่ติดตั้งพลังงานทดแทน เมื่อพิจารณาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ 570
พินิจ วงศ์เดช ธีระพงษ์ บุญรักษา และบุญเรือง มะรังศรี

DE85 การศึกษาลักษณะการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่รถบัสไฟฟ้า 576
ธีระพงษ์ บุญรักษา ณัฐพล ชาติสุข พรหมพักตร์ ดาวัลต์ และบุญเรือง มะรังศรี

DE86 การปรับปรุงการควบคุมความถี่โหลดที่ใช้ระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสม โดยใช้แบตเตอรี่ที่มีตัวควบคุมแบบ PI 583
นิธิกร จันทร์หัวโทน ธีระพงษ์ บุญรักษา และบุญเรือง มะรังศรี

DE87 การศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 588
ณัฐพล ชาติสุข และบุญเรือง มะรังศรี

DE88 การออกแบบเส้นโค้งความเร็วเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงินในประเทศไทย 595
กันตินันท์ สกุลไพศาล ธีระพงษ์ บุญรักษา และบุญเรือง มะรังศรี

DE90 Feasibility design of three Combination Renewable Energy Solar, Wind and water on Rooftop High-Rise Building 601
Wichai Pettongkam, Wirachi Roynarin and Decha Intholo

DE97 การเปรียบเทียบแบบจำลองฟาร์มกังหันลม ณ กังหันลมลำตะคอง 615
พงษ์ศักดิ์ มะขามป้อม จอมภพ แววศักดิ์ สมพล ชีวมงคลกานต์ และชนะ จันทร์ฉ่ำ



Session1. ไฟฟ้าชุมชน

EC02

ความเหมาะสมของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสำหรับชุมชนในจังหวัดชัยภูมิ

Suitability of PV Stand Alone Systems for Community in Chaiyaphum Province

มานพ ยิ่งรัมย์* อชิตพล ศศิธรานุวัฒน์ ปิยพันธุ์ แสงทอง สุรวุฒิ สุดหา เกศศิริ ละแมนชัย ธรรมนูญ ม้าวิเศษ และรัชวุธ สุทธิ
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรมและวิสาหกิจ
โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ 36000

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เขียนขึ้นจากการวิเคราะห์ผลการวิจัยของ โครงการวิจัย การศึกษาปัญหาการใช้งานระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระในจังหวัดชัยภูมิ ซึ่งในจังหวัดชัยภูมิ ได้มีการติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระประกอบด้วย โครงการ Solar Home System 6,537 ครัวเรือน โครงการประจุแบตเตอรี่หมู่บ้าน 6 แห่ง โครงการผลิตไฟฟ้าโรงเรียนชนบท จำนวน 1 แห่ง และโครงการระบบสูบน้ำหมู่บ้าน/สถานีอนามัย 4 แห่ง งานวิจัยนี้ได้ใช้แบบสอบถาม แบบการวัดและการบันทึกผล ในการดำเนินการเก็บข้อมูล จากผลการวิจัยพบว่า การที่จะใช้งานระบบให้ยาวนานคุ้มค่า ผู้ใช้งานหรือผู้ดูแลการใช้งาน จะต้อง ได้รับการฝึกอบรบให้มีความรู้ความเข้าใจในการทำงานของระบบและการบำรุงรักษาระบบ มีวินัยในการใช้งานระบบตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด รวมทั้งมีวิธีการจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบ ส่วนการประเมินผลความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ กลุ่มใช้งานระบบขนาดกำลังการผลิตน้อยกว่า 150 วัตต์ มีภาพรวมความพึงพอใจต่อการใช้ระบบ PVSAS ทั้งหมด ในระดับ ปานกลาง กลุ่มใช้งานระบบขนาดกำลังการผลิตมากกว่า 150 วัตต์ มีภาพรวมความพึงพอใจต่อการใช้ระบบ PVSAS ทั้งหมด ในระดับ พึงพอใจมาก ดังนั้น ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่เหมาะสมสำหรับชุมชนในจังหวัดชัยภูมิ คือ ระบบขนาดกำลังการผลิตมากกว่า 150 วัตต์ คือ ระบบประจุแบตเตอรี่หมู่บ้าน ระบบผลิตไฟฟ้าโรงเรียนชนบท ระบบสูบน้ำหมู่บ้าน/สถานีอนามัย เนื่องจากมีผู้รับผิดชอบดูแลระบบนั้นๆ อย่างถาวร ทำให้ได้รับการฝึกอบรมอย่างสมบูรณ์ รวมทั้งการดูแลอย่างต่อเนื่องทำให้มีความเชี่ยวชาญในการบำรุงรักษาและแก้ไขปัญหาของระบบ

คำสำคัญ: ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระชุมชน

*Corresponding author: Email address: manopyin@hotmail.com

บทนำ

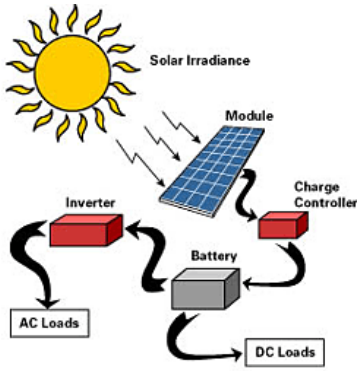
ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System; PVSAS)เป็น ระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า [1]จังหวัดชัยภูมิ ได้มีดำเนินการติดตั้งระบบประเภทนี้ประกอบด้วย โครงการ Solar Home System ดำเนินการติดตั้งโดย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) จำนวน 6,537 ครัวเรือน โครงการ ประจุแบตเตอรี่หมู่บ้าน ดำเนินการติดตั้งโดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) จำนวน 6 สถานี โครงการ ผลิตไฟฟ้าโรงเรียนชนบท ดำเนินการติดตั้งโดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) จำนวน 1 สถานี และโครงการ ระบบสูบน้ำ ดำเนินการติดตั้งโดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ร่วมมือกับ สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) จำนวน 4 สถานี [2-5]

จากโครงการวิจัย การศึกษาปัญหาการใช้งานระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระในจังหวัดชัยภูมิ [1,6] ทำให้ได้รับข้อมูลด้านต่างๆ เมื่อนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์ทำให้สามารถสรุปได้ถึงระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสำหรับชุมชนที่เหมาะสมของจังหวัดชัยภูมิ ดังมีรายละเอียดของการดำเนินการที่ทำให้ได้รับข้อมูลเหล่านั้นรวมทั้งการวิเคราะห์และข้อสรุปดังต่อไปนี้

ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

ลักษณะของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ แสดงใน ภาพที่ 1

1). ระบบผลิตไฟฟ้า หรือ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System) เช่น ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Home System Project: SHS) เป็นระบบที่ดำเนินการติดตั้งโดย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) [2,4]



ภาพที่ 1ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

2). ระบบสูบน้ำหรือ ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Pumping System) เช่น ระบบสูบน้ำหมู่บ้าน ระบบสูบน้ำสถานีอนามัย ดำเนินการติดตั้งโดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ร่วมมือกับ สำนักพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) [5]

3). ระบบสื่อสารโทรคมนาคม หรือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในระบบสื่อสารโทรคมนาคม (Solar Powered Telecommunication System) ถูกออกแบบและติดตั้งให้เหมาะสมในการใช้งานทุกสภาพของทุกพื้นที่และสภาพภูมิอากาศ [7]

4).ระบบประจุแบตเตอรี่ หรือ ระบบประจุแบตเตอรี่ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Battery Charging System) เช่น ระบบประจุแบตเตอรี่หมู่บ้าน ดำเนินการติดตั้งโดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) [5]

หลักการวิเคราะห์เชิงสถิติ

1). การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างด้วยการคำนวณจากสูตร[8]การคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่าง กรณีที่ประชากรมีจำนวนจำกัดที่นับได้ (Finite Population)

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2} \quad (1)$$

เมื่อ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง
N = ขนาดของประชากรที่ใช้ในการวิจัย
e = ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่าง

2). การสุ่มตัวอย่างโดยไม่ใช้หลักความน่าจะเป็นในการสุ่มตัวอย่าง (Nonprobability Sampling) [9] การสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling)เป็นการสุ่มที่ขึ้นกับดุลยพินิจของผู้วิจัยว่าต้องการสุ่มใครบ้างแล้วกำหนดลงไป การสุ่มแบบเจาะจงผู้วิจัยอาจจะมีความสนใจที่ต้องการเก็บข้อมูลจากคนในกลุ่มนี้เท่านั้น หรือ ผู้วิจัยอาจมีข้อจำกัดบางประการในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3). การทดลองแบบสอบถาม [9]การทดสอบแบบสอบถาม (Pre-test) เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อที่จะทดสอบดูว่าแบบสอบถามนั้นสามารถใช้ได้หรือไม่ การทดสอบแบบสอบถาม

เพื่อที่จะทดสอบเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนั้นมีความน่าเชื่อถือได้ (Reliability) มากเพียงใด การหาความเชื่อถือได้แบบ Stab ability จุดประสงค์ใหญ่ คือ สถานการณ์ที่เปลี่ยนไป ค่าที่วัดจะเท่าเดิม หรือ ไม่ วิธีการหาค่า Reliability ด้วยการใช้ Test–Retest Method ซึ่งเป็นวิธีการที่ดีที่สุด และนิยมใช้มากในทางสังคมศาสตร์ หลักการทำ Test–Retest Method คือ การนำแบบสอบถามไปทดสอบกับกลุ่มคนกลุ่มหนึ่ง ในสถานการณ์ และสถานที่เรากำหนดไว้ แล้วเว้นระยะห่างประมาณ 3-4 สัปดาห์ แล้วนำแบบสอบถามชุดเดิมไปถามคนกลุ่มเดิม ผิดกันแต่ระยะเวลา และสถานการณ์ ระเบียบวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบหาค่าความเชื่อถือได้ของแบบสอบถาม คือ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีความสัมพันธ์กันขนาดไหน หรือ ศึกษาถึงระดับ (Degree) ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร มาตรวัดของสหสัมพันธ์ที่ใช้กันมากคือ สัมประสิทธิ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Co-efficiency)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความเชื่อถือได้ คือ

$$r_{xy} = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (2)$$

เมื่อ r_{xy} = ค่าความเชื่อถือได้
n = จำนวนประชากรที่ใช้ในการทดสอบ
x = คำตอบครั้งที่ 1
y = คำตอบครั้งที่ 2

วิธีการหาขนาดกลุ่มตัวอย่าง [8-9]

การสุ่มตัวอย่างการเก็บข้อมูล จากการรวบรวมข้อมูลการติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระในจังหวัดชัยภูมิ แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม

กลุ่มแรก ขนาดกำลังการผลิตน้อยกว่า 150 วัตต์ในจังหวัดชัยภูมิ ติดตั้งทั้งสิ้น จำนวน 6,357 ครัวเรือน

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างกำหนดด้วยคำนวณจากสมการ(1)เนื่องจากทุกครัวเรือนที่มีการติดตั้งระบบมีความคล้ายคลึงกันในด้าน ขนาด การติดตั้ง และการทำงานของระบบจึงกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ทำให้ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง 98 ครัวเรือนโดยกระจายพื้นที่การประเมินให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดแต่เนื่องจากการเข้าสำรวจพื้นที่การใช้งานพบว่ามีปัจจัยที่ทำให้เก็บข้อมูลได้ยาก ประการแรกคือจุดที่จะติดตั้งอยู่ในบริเวณของ ทุ่งนา สวน ไร่ และอื่นๆ ทำให้การเข้าถึงได้ยากและแต่ละจุดนั้นห่างกันมาก ประการที่สองเนื่องจากงานวิจัยนี้มีทั้งส่วนของการสอบถาม ส่วนของการวัดและบันทึกผล ทำให้การเก็บค่าของข้อมูลจะกระทำในช่วงเวลาที่มีแสงแดดคืออยู่ระหว่าง 9.00-15.00 น. แต่เป็นช่วงเวลาที่ชาวบ้านส่วนมากเป็นเกษตรกรออกไปทำงานนอกบ้านทำให้ถึงแม้จะเข้าไปในจุดที่ติดตั้งแล้วก็ไม่สามารถสอบถามหรือบันทึกผลต่างๆได้ ดังนั้นจึงจะทำ การสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากตำบลที่มีการติดตั้งระบบมากกว่า 100 ครัวเรือน ซึ่งมีอยู่ 20 ตำบล

กลุ่มสอง ขนาดกำลังการผลิตมากกว่า 150 วัตต์ในจังหวัดชัยภูมิ มีจำนวนทั้งสิ้น 11 แห่ง

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างกำหนดด้วยคำนวณจากสมการ (1) แต่เพื่อให้ง่ายต่อ การวิเคราะห์ การเปรียบเทียบ จึงเลือกกลุ่มประชากรที่มีความคล้ายคลึงกันมาพิจารณาทั้งกลุ่มตัวอย่าง นั้นคือ ระบบประจุแบตเตอรี่หมู่บ้าน ซึ่งเป็นระบบที่มีมากที่สุดในขนาดกำลังผลิตมากกว่า 150 วัตต์ โดยมี จำนวน 6 แห่ง ดังนั้นการเลือกกลุ่มตัวอย่าง จึงกำหนด ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง 6 แห่ง จากประชากร 6 แห่ง

แบบสอบถาม ตรวจสอบสภาพและบันทึกผลการวัด

แบบสอบถามได้ยึดแนวทางของแบบสอบถามงานวิจัยเรื่อง “การประเมินผลโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้าโดยระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์” ที่จัดทำโดย สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ร่วมกับ งานประเมินและวางแผน แผนกพัฒนาระบบไฟฟ้ากำลัง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [3] แล้วเสร็จในปี 2550 ในส่วนของ ตรวจสอบสภาพ และบันทึกผลการวัด ได้ยึดแนวทางของ การตรวจสอบระบบ การแก้ไขปัญหา การดูแลรักษา การสำรวจ และการซ่อมแซมระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ที่จัดทำโดย คณะทำงานพลังงานสีเขียวฝั่งชายแดน (Border Green Energy Team) [10-11]

ส่วน การหาประสิทธิภาพ แบบสอบถาม ตรวจสอบสภาพ และบันทึกผลการวัด ได้ใช้แนวทางของ สุรพล กาญจนะจิตรา [9] ที่ได้กล่าวถึงการหาประสิทธิภาพแบบสอบถามว่ามีหลายวิธี และวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในทางสังคมศาสตร์ คือ Test – Retest Method ซึ่งเป็นวิธีการที่ดีที่สุด และนิยมใช้มากในทางสังคมศาสตร์ หลักการทำวิธีการ Test–Retest Method คือ การนำแบบสอบถามไปทดสอบกับกลุ่มคนกลุ่มหนึ่ง ในสถานการณ์ และสถานที่เรากำหนดไว้ แล้วเว้นระยะห่างประมาณ 3-4 สัปดาห์ แล้วนำแบบสอบถามชุดเดิมไปถามคนกลุ่มเดิม ผิดกันแต่ระยะเวลา และสถานการณ์ แล้วนำเอาคะแนนของทั้งสองครั้งมาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กัน (r) โดยมีเกณฑ์การตัดสินว่าถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใกล้เคียง 1.00 (ประมาณ 0.70-0.90) แสดงว่า เครื่องมือมีความเชื่อถือได้ (Reliability) ถ้าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือ ต่ำกว่า 0.70 ก็จะต้องปรับปรุงแก้ไขคำถามนั้น

ตารางที่ 1ตำบลที่มีจำนวนประชากรติดตั้งขนาดกำลังการผลิตน้อยกว่า 150 วัตต์มากกว่า 100 ครัวเรือน ในจังหวัดชัยภูมิ

อำเภอ	ตำบล	รวม
เทพสถิต	นายางกลัก	112
	ห้วยยายจิ๋ว	127
เมือง	โคกสูง	122
	โนนสำราญ	113
	โพนทอง	144
	กุดตุ้ม	160
	ท่าหินโงม	297
	นาเสียว	239
	บ้านเล่า	201
	ห้วยต้อน	212
	ห้วยบง	246
คอนสวรรค์	โคกมั่งงอย	335
	บ้านโสก	112
บ้านเขว้า	โนนแดง	173
	ตลาดแร้ง	152
	บ้านเขว้า	101
หนองบัวแดง	กุดชุมแสง	141
	นางแดด	163
	หนองแวง	155
หนองบัวระเหว	วังตะเฆ่	106
รวม		3,411

งานวิจัยครั้งนี้ได้นำ แบบสอบถาม ตรวจสอบสภาพ และบันทึกผลการวัด ที่สร้างขึ้น ผ่านการตรวจและรับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญในขั้นต้น จากนั้นได้ทำการทดสอบเพื่อหาค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของแบบสอบถามด้วย การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) ซึ่งดำเนินการโดยนำ แบบสอบถาม ตรวจสอบสภาพ และบันทึกผลการวัดไปทดลองใช้ครั้งแรก (Pre Test) กับกลุ่มตัวอย่าง 20 ครัวเรือน ณ หมู่ 8 บ้านซับสีทอง ตำบลท่าหินโงม อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ภายหลัง 4 สัปดาห์ได้นำ แบบสอบถาม ตรวจสอบสภาพ และบันทึกผลการวัด ชุดดังกล่าวไปทดลองใช้อีกครั้ง (Post Test) กับกลุ่มตัวอย่างเดิม ณ พื้นที่เดิม นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าความเชื่อถือได้ ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation Co-efficiency) แต่ละข้อคำถามอยู่ระหว่าง 0.69-1.00 ในกรณีข้อที่ค่าต่ำกว่า 0.70 ได้ปรับปรุงแก้ไขคำถาม และได้นำผลสรุปดังกล่าวไปปรึกษาผู้เชี่ยวชาญอีกครั้งก่อนนำไปใช้จริง

โดยจากการกำหนดพื้นที่ประเมินผลโครงการ ตารางที่ 1 แสดงถึงตำบลที่มีจำนวนประชากรติดตั้ง ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ขนาดกำลังการผลิตน้อยกว่า 150 วัตต์ มากกว่า 100 ครัวเรือน ทั้งหมดเป็นระบบ Solar Home System Project ที่มีขนาดกำลังการผลิต 120 วัตต์ เหตุที่เลือกเฉพาะตำบลที่จำนวนประชากรติดตั้งมากกว่า 100 ครัวเรือน เนื่องจากปัญหาทั้งสองประการที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ “วิธีการหาขนาดกลุ่มตัวอย่าง”

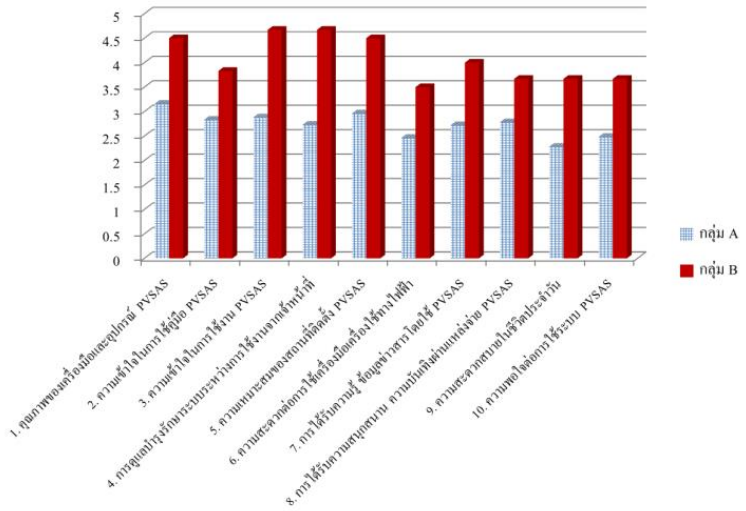
ตารางที่ 2 แสดงสถานที่ติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ขนาดกำลังการผลิตมากกว่า 150 วัตต์ ประเภทประจุแบตเตอรี่หมู่บ้าน

ผลการของการวิจัยโดยเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PVSAS) ในจังหวัดชัยภูมิ ขนาดกำลังการผลิตน้อยกว่า 150 วัตต์ (กลุ่ม A) จำนวน 98 ครัวเรือน จากจำนวน 6,357 ครัวเรือน ในพื้นที่ 17 อำเภอ และขนาดกำลังการผลิตมากกว่า 150 วัตต์ (กลุ่ม B) จำนวน 6 แห่ง จากจำนวนขนาดกำลังการผลิตมากกว่า 150 วัตต์ ทั้งสิ้น 11 แห่ง โดยนำแบบสอบถามมาวิเคราะห์ในรูป ความถี่ ร้อยละ และค่าเฉลี่ย

เปรียบเทียบระหว่าง กลุ่ม A. กับ กลุ่ม B. สิ่งที่เห็นได้อย่างชัดเจนระหว่างกลุ่ม A. กับ กลุ่ม B. ประการแรกคือระดับความพึงพอใจต่อการใช้บริการ PVSAS ดังจะเห็นได้จากการพล็อตกราฟเปรียบเทียบดัง ภาพที่ 2เปรียบเทียบระดับความพึงพอใจต่อการใช้บริการ PVSAS

ตารางที่ 2สถานที่ติดตั้ง ประเภทประจุแบตเตอรี่หมู่บ้าน ขนาดกำลังการผลิตมากกว่า 150 วัตต์ ในจังหวัดชัยภูมิ

ชื่อสถานที่ติดตั้ง	ตำบล	อำเภอ	ขนาดติดตั้ง
บ้านโสก (1)	บ้านโสก	คอนสวรรค์	3 kW
บ้านโสก (2)	บ้านโสก	คอนสวรรค์	3 kW
บ้านหินหนีบ	ท่าหินโงม	เมือง	3 kW
บ้านซับสมบูรณ์	ท่าหินโงม	เมือง	3 kW
บ้านหนองกวาง	ท่าหินโงม	เมือง	3 kW
บ้านแหล่งหญ้าคา	ท่าหินโงม	เมือง	3 kW



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบระดับความพึงพอใจต่อการใช้บริการ PVSAS

จากภาพที่ 2 จะพบว่า จากทั้ง 10 ข้อ ระดับความพึงพอใจของกลุ่ม B. ขนาดกำลังการผลิตมากกว่า 150 วัตต์ สูงกว่า ระดับความพึงพอใจของกลุ่ม A. ขนาดกำลังการผลิตน้อยกว่า 150 วัตต์ ในทุกข้อ เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์การแปลความหมาย เพื่อจัดระดับคะแนนเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ เฉพาะภาพรวมความพึงพอใจต่อการใช้ของกลุ่ม B. จะได้ 4.07 แปลความว่า พึงพอใจมาก ส่วน ภาพรวมความพึงพอใจต่อการใช้ของกลุ่ม A. จะได้ 2.73 แปลความว่า พึงพอใจปานกลาง

ซึ่งนอกจากความแตกต่างของความพึงพอใจในการใช้งานแล้วยังจะเห็นได้ว่า PVSAS ขนาดกำลังการผลิตมากกว่า 150 วัตต์ ทั้ง 6 แห่งยังคงมีการใช้งานอยู่ถึง 4 แห่ง อีก 2 แห่งที่ไม่ได้ใช้งานแล้วเกิดจากมีระบบไฟฟ้าถาวรเข้าถึงจึงไม่มีความจำเป็นในการใช้งานต่อไป ส่วน PVSAS ขนาดกำลังการผลิตน้อยกว่า 150 วัตต์ ระบบยังใช้งานได้ดีอยู่ คือ มีอยู่ร้อยละ 9.18 ทราบการใช้งานได้ดีอยู่จากการ วัดและบันทึกผล เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าได้ และได้ระดับแรงดันที่บ่งบอกว่ายังทำงานได้ดี แสดงว่าระบบนั้นๆ ยังใช้งานได้ดี

หากพิจารณาจากข้อมูลที่รวบรวมได้ในส่วนของ การเข้ารับการฝึกอบรมการใช้งานอุปกรณ์ PVSAS ใน ตารางที่ 3กับ ตารางที่ 4พบว่า ในกลุ่ม A. ได้รับการฝึกอบรมร่วมกับมีสมาชิกในครัวเรือน รวมเป็น ร้อยละ 68.33 หากเทียบกับกลุ่ม B. ซึ่ง กลุ่ม B. ได้รับการฝึกอบรม คิดเป็นร้อยละ 100.00 จะเห็นได้ว่าประเด็นของ การฝึกอบรม การใช้งานและการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ให้สมบูรณ์ถูกต้องนับว่าเป็นส่วนสำคัญในการใช้งานระบบ PVSAS

การใช้งานระบบ PVSAS เป็นระบบที่มีความอ่อนไหวพอสมควรดังนั้นผู้ใช้งานระบบนอกจากจะต้องได้รับการฝึกอบรมให้มีความรู้ความเข้าใจในการใช้งานเป็นอย่างดีแล้วผู้ใช้งานเองจำเป็นต้องมีวินัยในการใช้งานระบบตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด รวมทั้งมีทักษะเบื้องต้นในการแก้ปัญหาทางเทคนิค หรือ มีวิธีการจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบได้อย่างถูกต้อง

ตารางที่ 3การเข้ารับการฝึกอบรมการใช้งานอุปกรณ์ PVSAS ขนาดกำลังการผลิตน้อยกว่า 150 วัตต์

การเข้ารับการฝึกอบรม	จำนวน	ร้อยละ
ไม่เคยได้รับและไม่มีสมาชิกในครัวเรือนได้รับ	31	31.67
ไม่เคยได้รับแต่มีสมาชิกในครัวเรือนได้รับ	8	8.33
ได้รับการฝึกอบรม	59	60.00
รวม	**98**	**100.00**

ตารางที่ 4การเข้ารับการฝึกอบรมการใช้งานอุปกรณ์ PVSAS ขนาดกำลังการผลิตมากกว่า 150 วัตต์

การเข้ารับการฝึกอบรม	จำนวน	ร้อยละ
ไม่เคยได้รับและไม่มีสมาชิกในครัวเรือนได้รับ	0	0
ไม่เคยได้รับแต่มีสมาชิกในครัวเรือนได้รับ	0	0
ได้รับการฝึกอบรม	6	100.00
รวม	**6**	**100.00**

วิเคราะห์และสรุปความเหมาะสมของ PVSAS สำหรับชุมชน

จากข้อมูลข้างต้นพบว่ากลุ่มใช้งานระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ขนาดกำลังการผลิตน้อยกว่า 150 วัตต์ มีภาพรวมความพึงพอใจต่อการใช้ระบบ PVSAS ทั้งหมด ในระดับ ปานกลาง ส่วนกลุ่มใช้งานระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ขนาดกำลังการผลิตมากกว่า 150 วัตต์ มีภาพรวมความพึงพอใจต่อการใช้ระบบ PVSAS ทั้งหมด ในระดับ พึงพอใจมาก

ซึ่งการใช้งานระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ใช้งาน หรือ ผู้ดูแลการใช้งาน จะต้อง ได้รับการฝึกอบรบให้มีความรู้ความเข้าใจในการทำงานของระบบและการบำรุงรักษาระบบ มีวินัยในการใช้งานระบบตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด รวมทั้งมีทักษะเบื้องต้นในการแก้ปัญหาทางเทคนิค หรือ มีวิธีการจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบได้อย่างถูกต้อง ผู้วิจัยเห็นว่าแนวทางของการให้มีผู้ดูแลการใช้งานระบบของสถานีนั้นๆ เป็นสิ่งที่น่าจะเป็นทางออกของการใช้งานระบบนี้ให้ทำงานได้ดีคุ้มค่า รวมทั้งหากอุปกรณ์ในสถานีนั้นๆ เสียหายองค์การบริหารส่วนตำบลนั้นๆ ควรจะมีวิธีในการแก้ปัญหาตรงนี้ ดังนั้น การติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่เหมาะสมควรเป็นขนาดกำลังการผลิตมากกว่า 150 วัตต์ (แนะนำขนาดไม่น้อยกว่า 2 กิโลวัตต์ ขึ้นไป เพราะเป็นขนาดที่มีการติดตั้งดังรายละเอียดใน [5]) ซึ่งระบบเหล่านี้ อาทิ ระบบประจุแบตเตอรี่หมู่บ้าน ระบบผลิตไฟฟ้าโรงเรียนชนบท และระบบสูบน้ำหมู่บ้าน/สถานีอนามัย ควรได้รับการส่งเสริมให้ดำเนินการติดตั้งแก่หมู่บ้านที่มีความจำเป็นในการใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่มอบ ทุนอุดหนุนการวิจัย สำหรับโครงการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] มานพ ยิ่งรัมย์ และ นฤดม ปิ่นทอง. (2555). **การศึกษาปัญหาการใช้งานระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระในจังหวัดชัยภูมิ**," รายงานการวิจัย.ชัยภูมิ : มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ.

[2] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, (2549). **โครงการ Solar Home System**.สรุปสถานะการดำเนินงาน.

[3] นภัทร วัจนเทพินทร์ไชยยันต์ บุญมีประมุข อุณหเลขกะวารุณี ศรีสงครามทักษิณา เครือหงษ์ และชนิกนันท์ วัณณสุต. (2551).**การประเมินผลโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้าโดยระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์**. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยราชมงคลสุวรรณภูมิร่วมกับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.

[4] ส่วนโครงการพิเศษ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2555). **โครงการติดตั้งระบบ Solar Home System ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**.

[5] สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2555).**สถานที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**.

[6] มานพ ยิ่งรัมย์. (2556). "การศึกษาปัญหาการใช้งานระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระในจังหวัดชัยภูมิ" ,ใน **การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9**, 8-10 พฤษภาคม 2556, ณ ชลพฤกษ์ รีสอร์ท อ.บ้านนา จังหวัดนครนายก.

[7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **การใช้ประโยชน์เซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย**สืบค้นเมื่อ 17 ธันวาคม 2555,จาก http://www.dede.go.th.

[8] ธานินทร์ ศิลป์จารุ. (2550). **การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยSPSS**.กรุงเทพมหานคร: วี อินเตอร์ พริ้นท์.

[9] สุรพล กาญจนะจิตรา. (2530).**ระเบียบวิธีวิจัยทางสังคมศาสตร์**.

[10] กรีน เอ็มเพาเวอร์เมนท์ และพลังไท. (2547).**คู่มือฝึกสอนระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์.**

[11] คณะทำงานพลังงานสีเขียวฝั่งชายแดน. (2548).**การตรวจสอบระบบ การแก้ไขปัญหา การดูแลรักษา การสำรวจ และการซ่อมแซมระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.**

EC05

การศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเห็ดจากขี้เลื่อย แบบแกนนอน

Study and development of sawdust formed mushroom roll machine

สิทธิชัย เสนารัตน์*
สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

บทคัดย่อ

การศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเห็ดจากขี้เลื่อย แบบแกนนอน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดก้อนเห็ดแบบแกนนอนในส่วนการดำเนินงานผู้จัดทำได้ทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากการออกแบบเอ็กทรูเดอร์ (Extruder) เกลียวหนอน ประกอบหมุนได้อยู่ในเรือนทรงกระบอก (Cylinder) ทำการอัดขี้เลื่อยที่ใช้ทำก้อนเห็ดชุดกำลังที่ขับแกน ชุดเอ็กทรูเดอร์ (Extruder) มีขนาด 12 นิ้ว ชุดขับขนาด 2 นิ้ว ชุดส่งกำลังจากมอเตอร์ มีอัตราทดรอบ 6 ต่อ 1 ขนาดกำลังมอเตอร์ 220 V 1 phase 1430 ในการทดสอบทั้งหมด 30 ก้อน ใช้ได้ตามเกณฑ์ 25 ก้อน ไม่ได้ตามเกณฑ์ 5 ก้อน ใช้เวลาในการอัด 21 นาที พลังไฟฟ้าที่สูญเสีย 0.1 Unit/h เมื่อทำการอัดทั้งหมด 30 ก้อน เสียค่าพลังงาน 0.50 บาท ในการอัดใช้ แรงงาน 2 คน เฉลี่ย ค่าแรงงานต่อก้อน 1.25 บาท ต่อ ก้อน หากการอัดด้วยมือใช้คนงาน 3 คน เฉลี่ย 3.75 บาท ต่อ ก้อนดังนั้นการใช้เครื่องอัดก้อนเห็ดแบบแกนนอนสามารถประหยัดค่าแรงงานและเพิ่มปริมาณการผลิตได้

คำสำคัญ: เครื่องอัดก้อนเห็ด แกนนอน เอ็กทรูเดอร์

*Corresponding author: 088-5605191 Email address: nabou.united@hotmail.com

บทนำ

จากเครื่องเดิมที่สร้างเป็นการอัดแบบแกนตั้ง การทำงานของเครื่องจะมีความอันตรายในลักษณะของการกระแทก ทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยและความหนาแน่นของก้อนมีขนาดน้ำหนักไม่เท่ากัน[การพัฒนาเครื่องอัดเชื้อเห็ด Development of Mushroom Grow Bag Compressing TRE 09] การอัดด้วยเครื่องอัดย่อมทำได้จำนวนมากในเวลารวดเร็ว ความสม่ำเสมอของแรงอัดทำให้ได้ก้อนเห็ดขนาดใกล้เคียงกันและความแน่นของวัสดุเท่าๆกัน ข้อนี้เองส่งผลให้เชื้อเห็ดเจริญเติบโต ไล่เลี่ยกันและเกิดดอกเห็ดพร้อมกันในที่สุดอีกประการที่สำคัญมากกว่าคือ การอัดก้อนเห็ดด้วยเครื่องไม่ทำให้ก้อนแตก หรือรั่ว ซึ่งทั้งสองอย่างมักเกิดจากการอัดก้อนด้วยแรงงานคนซึ่งไม่ชำนาญ การที่ก้อนแตกทำให้เสียเวลา และต้นทุนสูงโดยใช่เหตุ ส่วนก้อนรั่วก็เกิดจากการที่มีเศษหินเศษทรายบนพื้นทำให้เกิดรอยรั่วขณะกระทุ้งก้อนเห็ด ข้อนี้ทำให้ดอกเห็ดแทรกซึมออกดอกที่บริเวณก้นของก้อนเห็ดทำให้เกิดปัญหาในการจัดการ ดอกเห็ดสูญเสียโดยใช่เหตุ การทำเห็ดเป็นอาชีพ หากมั่นคงพอควรแล้วอาจหันมาใช้เครื่องอัดก้อนเห็ดแทนแรงงานคนก็ทำให้สามารถเพิ่มการผลิตและลดความสูญเสียดังที่กล่าวได้มาก ดังนั้นการนำเอาความรู้ทางด้านวิชาการหลายๆ ส่วนมารวบรวมกันเพื่อพัฒนานวัตกรรมที่สามารถให้เกษตรกรใช้งานได้ และร่วมไปถึงนวัตกรรมที่เกิดจากมหาวิทยาลัยนครพนม ได้นำไปใช้กับชุมชนแล้ว จะส่งผลเกื้อหนุนประโยชน์ ซึ่งกันและกันได้เป็นอย่างดีตลอดไป

ดังนั้นคณะผู้จัดทำงานวิจัย ได้เกิดแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเห็ดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยจะสร้างการอัดแบบแกนนอน ทำระบบคอนโทรล เข้าไปช่วยให้มีความแม่นยำมากขึ้นในการอัดก้อนเชื้อเห็ด

ขั้นตอนการดำเนินการ

ศึกษาเนื้อหาและรวบรวมข้อมูล

การเพาะเห็ดในปัจจุบันนั้นนิยมใช้ถุงพลาสติกเป็นที่บรรจุก้อนเชื้อเห็ด โดยจะใช้แรงงานคนในการกรอก และอัดขี้เลื่อยเข้าไปในถุงพลาสติก ทำให้เกิดความล้าช้าในการทำงาน และได้ผลผลิตน้อยขี้เลื่อยที่ใช้เป็นวัสดุเพาะที่ดีที่สุด ได้แก่ ขี้เลื่อยไม้ยางพารา การทำก้อนเชื้อจากขี้เลื่อยนี้ไม่ต้องหมักเหมือนใช้ฟางสับ แต่การเลือกหัวเชื้อควรให้แน่ใจว่าเป็นหัวเชื้อที่สามารถย่อยขี้เลื่อยเป็นอาหารได้ สำหรับสูตรที่ใช้ เช่น ขี้เลื่อยไม้ยางพารา 100 กก. รำละเอียด 5 กก. แป้งข้าวเจ้าหรือน้ำตาลทราย 1 กก. ดีเกลือ 0.2 กก. ปูนขาว 1 กก. ความชื้น 60-70% ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- ขี้เลื่อยที่ใช้ควรเป็นขี้เลื่อยกลางเก่ากลางใหม่จะดีที่สุด หากเป็นขี้เลื่อยใหม่ควรกองทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ เนื่องจากขี้เลื่อยใหม่จะสลายธาตุอาหารบางอย่างทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อเชื้อเห็ดและทำให้ความร้อนในก้อนเชื้อสูงเกินไป แต่ถ้าเป็นขี้เลื่อยเก่าอาจมีการปะปนของเชื้อโรคหรือเชื้อราชนิดอื่นได้ง่าย อีกทั้งมักไม่ค่อยมีธาตุอาหารสะสมอยู่มากนัก
- หลังจากเตรียมสูตรอาหารได้แล้วให้นำส่วนผสมทั้งหมดไปคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วบรรจุใส่ถุงพลาสติกที่ใช้เพาะเห็ด ซึ่งควรบรรจุให้หมดภายในวันเดียว ถุงก้อนเชื้อควรมีขนาด 8 ขีด ถึง 1 กก. เมื่ออัดก้อนเชื้อแน่นดีแล้ว ใส่คอขวดพลาสติก อุดด้วยสำลีและปิดด้วยกระดาษ แล้วรัดยางให้แน่น
- นำก้อนเชื้อที่ได้ไปนึ่งฆ่าเชื้อทันที ใช้เวลาประมาณ 3-4 ชม. นับจากน้ำเดือดแล้วทิ้งไว้ให้เย็น
- นำหัวเชื้อเห็ดที่เลี้ยงไว้ในเมล็ดข้าวฟ่าง ใช้ประมาณ 10-20 เมล็ดต่อก้อน เขี่ยลงในก้อนเชื้อที่เย็นดีแล้ว แล้วรีบปิดปากถุงด้วยสำลีและกระดาษทันที สถานที่ที่ใช้ถ่ายหัวเชื้อเห็ดลงก้อนเชื้อควรสะอาด ลมสงบ วัสดุที่ใช้เขี่ยหัวเชื้อควรทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ก่อนทุกครั้ง
- นำก้อนเชื้อที่ถ่ายหัวเชื้อเห็ดลงเรียบร้อยแล้วไปบ่มไว้ในโรงบ่มก้อนเชื้อต่อไปเห็ดที่นิยมเพาะในถุงพลาสติกส่วนมาก ได้แก่ เห็ดสกุลนางรม(เช่น นางฟ้า นางรม ภูฏาน เป๋าฮื้อ นางนวล ฮังการี) เห็ดหูหนู เห็ดหอมเห็ดตีนแรด เห็ดหลินจือ เห็ดขอนขาว เห็ดกระด้าง เห็ดยานาง เป็นต้น เห็ดเหล่านี้สามารถเพาะได้บนวัสดุหลายชนิด โดยเฉพาะขี้เลื่อยหรือใช้อาหารหมักจากฟาง (http://www.thaikasetsart.com/เห็ดนางฟ้า:การทำก้อนเชื้อเพาะเห็ดนางฟ้า 16 ม.ค. 61)

ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างเส้นต่างๆ ของแท่งทรงกระบอกกลมภายใต้แรงบิด ได้ตามสมการ (2-1)

$$\phi = \frac{\Delta}{L} = \frac{\theta r}{L} \qquad 2\text{-}1$$

$\emptyset$ = ความเครียดเฉือน

θ = แรงที่ใช้ในการบิดแท่งทรงกระบอก

Δ = ระยะรอบแนวโค้ง

L = ระยะความยาวที่วัดมุมบิด

r = ระยะรัศมีของแกนทรงกระบอก

$$P = \frac{F}{A} \qquad 2\text{-}2$$

P = ความดัน (lb/in^2)

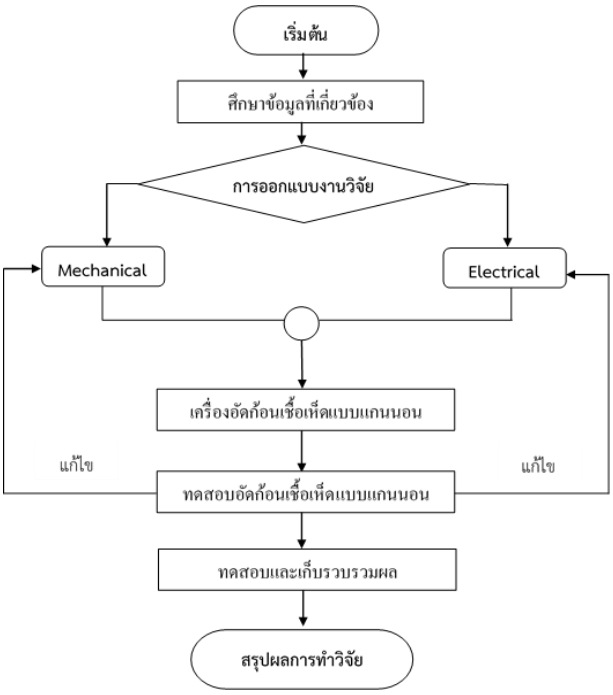
F = แรง (lb)

A = พื้นที่รับแรง (in^2)

การออกแบบการทำงาน

จากเครื่องเดิมที่สร้างเป็นการอัดแบบแกนตั้ง การทำงานของเครื่องจะมีความอันตรายในลักษณะของการกระแทก ทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยและความหนาแน่นของก้อนมีขนาดน้ำหนักไม่เท่ากัน การอัดด้วยเครื่องอัดย่อมทำได้จำนวนมากในเวลารวดเร็ว ความสม่ำเสมอของแรงอัดทำให้ได้ก้อนเห็ดขนาดใกล้เคียงกันและความแน่นของวัสดุเท่าๆกัน ข้อนี้เองส่งผลให้เชื้อเห็ดเจริญเติบโต ไล่เลี่ยกันและเกิดดอกเห็ดพร้อมกันในที่สุดอีกประการที่สำคัญมากกว่าคือ การอัดก้อนเห็ดด้วยเครื่องไม่ทำให้ก้อนแตก หรือรั่ว ซึ่งทั้งสองอย่างมักเกิดจากการอัดก้อนด้วยแรงงานคนซึ่งไม่ชำนาญ การที่ก้อนแตกทำให้เสียเวลา และต้นทุนสูงโดยใช่เหตุ ส่วนก้อนรั่วก็เกิดจากการที่มีเศษหินเศษทรายบนพื้นทำให้เกิดรอยรั่วขณะกระทุ้งก้อนเห็ด ข้อนี้ทำให้ดอกเห็ดแทรกซึมออกดอกที่บริเวณก้นของก้อนเห็ดทำให้เกิดปัญหาในการจัดการ ดอกเห็ดสูญเสียโดยใช่เหตุ การทำเห็ดเป็นอาชีพ หากมั่นคงพอควรแล้วอาจหันมาใช้เครื่องอัดก้อนเห็ดแทนแรงงานคนก็ทำให้สามารถเพิ่มการผลิตและลดความสูญเสียดังที่กล่าวได้มาก ดังนั้นการนำเอาความรู้ทางด้านวิชาการหลายๆ ส่วนมารวบรวมกันเพื่อพัฒนานวัตกรรมที่สามารถให้เกษตรกรใช้งานได้

การออกแบบโครงสร้างเครื่องอัดก้อนเห็ดแบบแกนนอน



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานตู้อบพลังความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และไฟฟ้า

ลักษณะการออกแบบโครงสร้างเครื่องอัดก้อนเห็ด มีการออกแบบดังภาพที่ 2



หมายเลข 1 ถังบรรจุขี้เลื้อย
หมายเลข 2 ชุดเอ็กทรูเดอร์ (Extruder)
หมายเลข 3 ฐานรองก้นก้อนเห็ด
หมายเลข 4 ชุดพูลเลย์
หมายเลข 5 มอเตอร์

รูปที่ 2 ตำแหน่งอุปกรณ์การทำงานเครื่องอัดเห็ดแบบแกนนอน



รูปที่ 3 โครงสร้างตู้ควบคุมไฟฟ้าเครื่องอัดก้อนเห็ด

เอ็กทรูเดอร์ (Extruder) คือ เกลียวหนอน ประกอบหมุนได้อยู่ในเรือนทรงกระบอก (Cylinder) ทำการอัดขี้เลื้อยที่ใช้ทำก้อนเห็ดชุดกำลังที่ขับแกน ชุดเอ็กทรูเดอร์ (Extruder) ที่มีขนาด 12 นิ้ว ชุดขับขนาด 2 นิ้ว การคำนวณการส่งกำลังด้วย สายพานแบนอัตราทดชั้นเดียว สามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$\text{อัตราทด (i)} = \frac{\text{ความโตล้อตาม}}{\text{ความโตล้อขับ}} = \frac{d_2}{d_1}$$

ดังนั้นอัตราทดของเครื่องอัดเห็ดนี้เท่า 12/2 เท่ากับรอบกำลังขับสายพานอยู่ที่ 6 ต่อ 1



รูปที่ 4 ขนาดของท่อบรรจุถุง เอ็กทรูเดอร์ (Extruder) เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm. ยาว 30 cm.



รูปที่ 5 เครื่องอัดก้อนเห็ดแบบแกนนอนเสร็จสมบูรณ์พร้อมทำการทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบและบันทึกผล

การทดสอบใช้ขี้เลื้อยยางพาราแห้งผสมกับน้ำเพื่อให้มีความชื้นตามความเหมาะสมกับการอัดให้ตรงตามอัตราส่วน การบรรจุก้อนเห็ดจะทำการทดสอบกับสมาชิกกลุ่มเพาะเห็ด จำนวน 3 คน

การทดสอบการบรรจุก้อนเห็ดของสมาชิกที่ทำปกติ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน รับผิดชอบ คือ ส่วนที่หนึ่งกรอกขี้เลื้อยเข้าถุง ส่วนที่สองชั่งตวงน้ำหนักของก้อนเห็ด ส่วนที่สามอัดก้อนเห็ดและใส่ปากขวดก้อนเห็ด

ตารางที่ 1การบรรจุถุงก้อนเห็ดของสมาชิก 3 คน จำนวน 30 ก้อน

ลำดับที่ (ก้อน)	เวลาบรรจุ (นาที)	น้ำหนัก (kg)	คุณภาพก้อนเห็ด	
			ปริมาตร	น้ำหนัก
1	3.4	0.9	✓	✓
2	2.3	0.9	✓	✓
3	2.4	0.9	✓	✓
4	2.5	0.9	✓	✓
5	2	0.9	✓	✓
6	2.3	0.9	✓	✓
7	2.1	0.9	✓	✓
8	2.4	0.9	✓	✓
9	2.1	0.9	✓	✓
10	1.5	0.9	✓	✓
12	2	0.9	✓	✓
13	1.4	0.9	✓	✓
14	1.3	0.9	✓	✓
15	1.5	0.9	✓	✓
16	1.5	0.9	✓	✓
17	2	0.9	✓	✓
18	1.2	0.9	✓	✓
19	1.3	0.9	✓	✓
20	1.2	0.9	✓	✓
21	1.1	0.9	✓	✓
22	1	0.9	✓	✓
23	1	0.9	✓	✓
24	1.2	0.9	✓	✓
25	1.1	0.9	✓	✓
26	0.5	0.9	✓	✓
27	0.4	0.9	✓	✓
28	0.5	0.9	✓	✓
29	0.3	0.9	✓	✓
30	0.2	0.9	✓	✓
รวม	45	-	30	30

จากผลการทดการสอบสมาชิกผู้เพาะเห็ด จำนวน 3 คน การทำก้อนเห็ดด้วยการอัดมือนั้นในจำนวนก้อนเห็ดทั้งหมดจำนวน 30 ก้อน ใช้เวลาในการทำงานทั้งหมด 45 นาที โดยการสังเกตการทำงานนั้นเวลาในการอัดก้อนเห็ดที่เป็นส่วนที่ใช้เวลามากที่สุดคือการอัดและใส่ปากขวดก้อนเห็ด ในแต่ละขั้นตอนจะช้าในช่วงแรกของการทดลองเท่านั้น ดังกราฟรูปที่ 1



กราฟที่ 1 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของเวลาและจำนวนการอัดก้อนเห็ด

การบรรจุถุงก้อนเห็ดจากเครื่องอัดก้อนเห็ดแบบแกนนอน

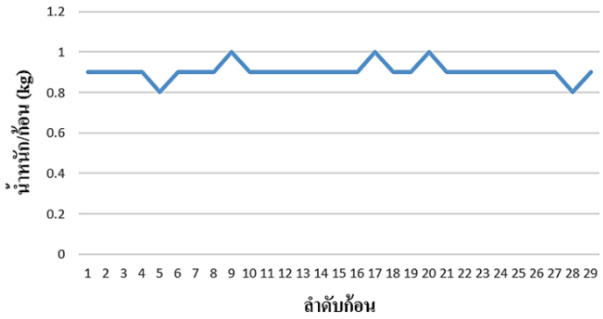
การอัดด้วยเครื่องอัดก้อนเห็ดแบบแกนนอนนี้ ส่วนผสมของขี้เลื่อยที่พร้อมอัดเป็นก้อนจะต้องตักขึ้นไปบรรจุในถังรับขี้เลื่อยของเครื่องอัด ในหนึ่งถังนั้นสามารถอัดก้อนเห็ดได้ 10 ก้อนต่อถัง

ตารางที่ 2 การบรรจุถุงก้อนเห็ดจากเครื่องอัดก้อนเห็ดแบบแกนนอน จำนวน 30 ก้อน

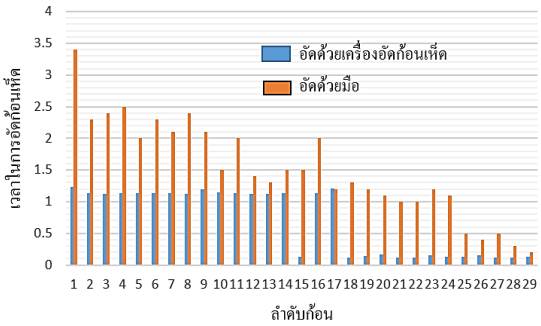
ลำดับที่ (ก้อน)	เวลาบรรจุ (นาที)	น้ำหนัก (kg)	คุณภาพก้อนเห็ด	
			ปริมาตร	น้ำหนัก
1	1.23	0.9	✓	✓
2	1.13	0.9	✓	✓
3	1.12	0.9	✓	✓
4	1.13	0.9	✓	✓
5	1.14	0.8	✓	✗
6	1.13	0.9	✓	✓
7	1.13	0.9	✓	✓
8	1.12	0.9	✓	✓
9	1.20	1	✗	✗
10	1.15	0.9	✓	✓
12	1.13	0.9	✓	✓
13	1.12	0.9	✓	✓
14	1.12	0.9	✓	✓
15	1.13	0.9	✓	✓
16	0.13	0.9	✓	✓
17	1.13	0.9	✓	✓
18	1.21	1	✗	✗

19	0.12	0.9	✓	✓
20	0.14	0.9	✓	✓
21	0.17	1	✕	✕
22	0.12	0.9	✓	✓
23	0.12	0.9	✓	✓
24	0.15	0.9	✓	✓
25	0.13	0.9	✓	✓
26	0.13	0.9	✓	✓
27	0.15	0.9	✓	✓
28	0.12	0.9	✓	✓
29	0.12	0.8	✓	✕
30	0.13	0.9	✓	✓
รวม	20.5	-	27	25

จากตารางที่ 2 ในการใช้เครื่องอัดก้อนเห็ดแบบแกนนอนจะลดระยะเวลาในการอัดก้อนเห็ดลงกว่าเดิมเป็นครึ่งหนึ่ง ก้อนเห็ดจะไม่ได้ตามขนาดที่ต้องการหรือเกินขนาดไป 5 ก้อน การทำงานที่ยังไม่ราบเรียบนี้แสดงได้จากกราฟ รูปที่ 2



กราฟที่ 2 เป็นการแสดงเกณฑ์ช่วงน้ำหนักทำการอัดก้อนเห็ด



กราฟที่ 3 การแสดงช่วงเวลาในการอัดก้อนเห็ดเปรียบเทียบกันในแต่ละก้อน

ผลการเปรียบเทียบเครื่องแบบแกนนอนกับแกนตั้ง



เมื่อนำเครื่องทั้งสองมาเทียบเครื่องแบบแกนนอนที่พัฒนาขึ้นมา มีระบบควบคุมไฟฟ้าและระบบป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าดีกว่าเดิมเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงาน การบรรจุขี้เลื้อยลงถุงสำหรับเครื่องแบบแกนนอนสามารถทำงานได้ต่อเนื่องกว่า ระบบการอัดก้อนเห็ดปลอดภัยกว่าเพราะไม่มีการกระทุ้งของแกนอัดเหมือนเครื่องอัดแบบแกนตั้ง และเครื่องมีจังหวะหยุดการทำงานทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้า

สรุปผล

การศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเห็ดจากขี้เลื่อย แบบแกนนอน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดก้อนเห็ดแบบแกนนอน จากนั้นก็ทำการออกแบบและทำชุดคอนโทรลประกอบด้วย โครงสร้าง อุปกรณ์ และวงจรควบคุม จากผลการทดลองการความสามารถของเครื่องอัดก้อนเห็ดแบบแกนนอนเทียบกับการอัดด้วยสมาชิกกลุ่มผู้ปลูกเห็ด จำนวน 3 คน ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

- ค่าพลังงานที่ใช้ 0.1 Unit/h ดังนั้นการใช้พลังงานไฟฟ้าในการอัดก้อนเห็ด ต่อก้อนใช้พลังงานไป 0.003 Unit/h คิดเป็นค่าไฟฟ้า ในการอัดก้อนเห็ด 30 ก้อน ด้วยค่าไฟฟ้า 0.50 บาท
- อัดทั้งหมด 30 ก้อน ได้ตามขนาดที่ต้องการ จำนวน 25 ก้อน เสีย 5 ก้อน
- ใช้เวลาในการอัด น้อยกว่าการอัดด้วยมือ 24 นาที

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อ การศึกษาและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเห็ดจากขี้เลื่อย แบบแกนนอน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดก้อนเห็ดแบบแกนนอนการดำเนินการวิจัยมิอาจสำเร็จลุล่วงไปได้หากปราศจากความร่วมมือของคณาจารย์ในสาขาวิชาไฟฟ้ากำลังที่ให้การสนับสนุนการใช้อุปกรณ์ด้านฮาร์ดแวร์และการพัฒนาระบบ รวมถึงสถานที่ในการดำเนินการจัดทำวิจัย จนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2561 และขอขอบพระคุณเจ้าของเอกสารและงานวิจัยทุกท่าน ที่ผู้ศึกษาค้นคว้าได้นำมาอ้างอิงในการทำวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] วสันต์ ลีละธนาฤกษ์. (2549). “**การออกแบบและสร้างเครื่องผสมพร้อมบรรจุก้อนเชื้อเห็ด**”.สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธนบุรี

[2] NooraishahHarith(1), Noorlidah Abdullah(1) and VikineswarySabaratnam(1). Cultivation of Flammulinavelutipes mushroom using various agro residues as a fruiting substrate)University of Malaya, Faculty of Science, Institute of Biological Sciences, Mushroom Research Centre, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia

[3] Arun Arya[1]and Chitra Arya. “PRODUCTION OF SHIITAKE MUSHROOM ON TREE WASTE”XII world forestry congress, 2003, Quebec city, Canada, 0881-B2.

[4] Hyungiong Kwon, ByungSik Kim.“**bag cultivation**”mushroom-growers-handbook-1.

EC25

การศึกษาปัจจัยความสำเร็จในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดกระบี่

KEY SUCCESS FACTORS STUDY FOR THE WORTH OF SOLAR POWER PLANT IN KRABI PROVINCE

กานต์ จันทร์น้อย[1*] และสุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน[2]
[1]สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[2]ศูนย์ทดสอบทางวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและการดำเนินชีวิตของประชาชนทั่วโลก โดยเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้โลกมีการพัฒนา เนื่องจากเป็นพื้นฐานในทุกด้าน ทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง และอื่นๆ ทั้งนี้แหล่งพลังงานมีการเปลี่ยนแปลงไปจากในอดีต โดยเป็นแหล่งที่ต้องอาศัย เทคโนโลยีในการผลิตมากยิ่งขึ้น เช่น จากน้ำมันปิโตรเลียมไปเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม เป็นต้น

เนื่องจากปัจจุบัน ความต้องการใช้ พลังงานไฟฟ้ามีอย่างต่อเนื่องและเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสวนทางกับปริมาณเชื้อเพลิงอย่างก๊าซธรรมชาติ หรือน้ำมัน ปิโตรเลียมที่กำลังจะประสบภาวะขาดแคลน ในอนาคตเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์ เช่น น้ามัน ก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน อาจหมดไปจากโลกภายในระยะเวลาอีกไม่นาน ไม่เพียงเท่านั้น เชื้อเพลิงดังกล่าวก็สร้างปัญหาให้กับโลก เพราะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหากไม่มีการควบคุมที่ดี จะก่อให้เกิด มลพิษทางอากาศ ทำให้เกิดก๊าซพิษต่างๆ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ได ออกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน ฯลฯ ซึ่งล้วนแต่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่น อากาศเป็นพิษ ฝนกรด และทำให้โลกร้อนขึ้น ดังนั้น หากยังคงมีความต้องการใช้พลังงานอยู่ ก็จำเป็นต้องแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนเพื่อผลิต พลังงานไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จะต้องเป็นพลังงานที่สะอาดไม่สร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และนำกลับมาหมุนเวียนใช้ซ้ำได้ ซึ่งพลังงานจากแสงอาทิตย์ กำลังได้รับความสนใจ เพราะว่าคุณประโยชน์ที่ได้ จากการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์นั้นมีมากมาย เช่น แสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีอยู่แล้วใน ธรรมชาติเป็นพลังงานที่มีปริมาณมากเพียงพอต่อความต้องการ ทั้งยังสะอาดบริสุทธิ์ไม่ก่อปฏิกิริยาใดๆ และยังสามารถนำไปใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ในทุกสถานที่ที่มีแสงอาทิตย์ ไม่ว่าจะอยู่บนยอดเขาสูง บนเกาะต่างๆ กลางทะเล หรือแม้แต่ในอวกาศก็ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ได้

ปัจจุบันในพื้นที่ภาคใต้เป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อความมั่นคงต่อการใช้พลังงาน เนื่องจากมีการต่อต้านการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนเป็นจำนวนมาก จึงทำให้เป็นโอกาสในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานสะอาด เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ถึงแม้ว่าในพื้นที่ภาคใต้จะมีฝนตกบ่อยครั้ง จึงทำให้เกิดความน่าสนใจในการศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ภาคใต้

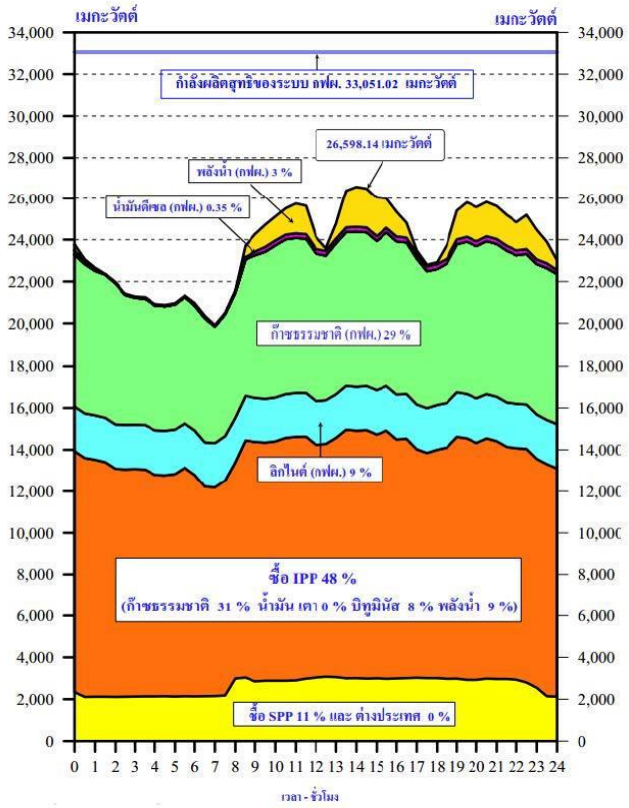
คำสำคัญ: โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การศึกษาปัจจัยความสำเร็จในการลงทุน

*Corresponding author: Email address: karn_junnoi@hotmail.com

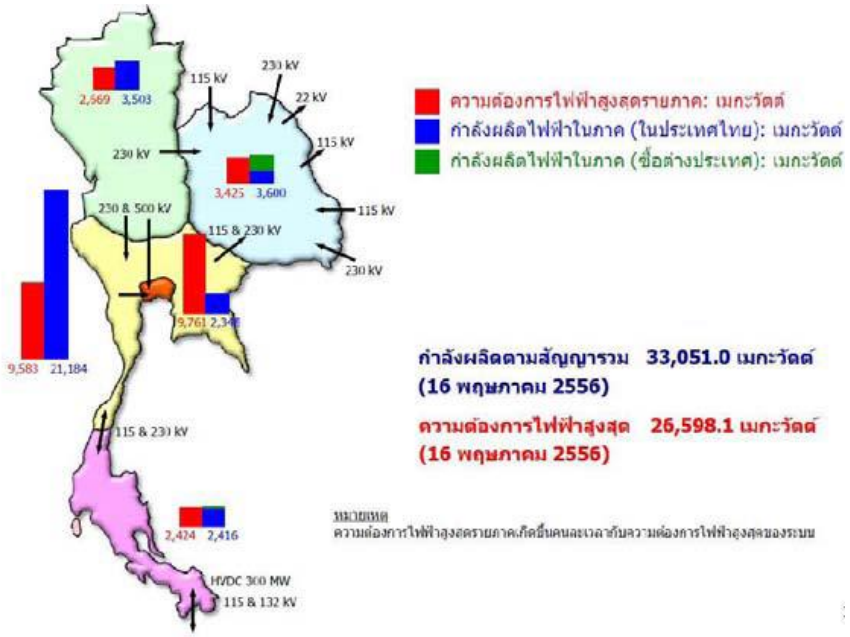
บทนำ

สืบเนื่องจากวิกฤตการด้านพลังงานในปัจจุบัน ซึ่งปริมาณแหล่งพลังงานจากเชื่อเพลิงฟอสซิล ลดลงอย่างรวดเร็ว อันเป็นผลให้ราคาน้ำมันขยับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้หลายๆประเทศต้องหันมาให้ความสำคัญกับการแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อชดเชยการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศและลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานต่างชาติ ซึ่งรวมทั้งประเทศไทย

ตามนโยบายด้านพลังงานของประเทศไทย ได้กำหนดมาตรการด้านการจัดการ อนุรักษ์พลังงาน ให้มีประสิทธิภาพทั้งในภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปีคือกำหนดให้ลดการใช้พลังงานลงร้อยละ 25 ในปี 2573 เมื่อเทียบในปี 2548 ยุทธศาสตร์ในการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานของประเทศ นั้นกำหนดให้ทุกหน่วยงานราชการ และรัฐวิสาหกิจลดการใช้พลังงานรวมทั้งได้กำหนดเป็นตัวชี้วัดผลงาน (KPI) ของทุกหน่วยงาน เริ่มจากปีงบประมาณ 2549 โดยสำนักงานสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการจะกำหนดตัวชี้วัดระดับความสำเร็จของการกำหนดมาตรการและดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงาน และได้ปรับลดน้ำหนักตัวชี้วัด ร้อยละของงบประมาณที่สามารถประหยัดได้จากร้อยละ 5 เหลือร้อยละ 4 และหลังจากนั้น เมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2555 ได้มีการประชุมคณะรัฐมนตรี ที่จังหวัดภูเก็ต และได้มีมติออกมา โดยเห็นชอบมาตรการลดใช้พลังงานภาครัฐ ตามที่กระทรวงพลังงานเสนออย่างน้อยร้อยละ 10 โดยเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงในปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 มาตรการลดใช้น้ำมัน ได้แก่ ให้มีระบบ Car Pool การใช้วิธีการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื่อเพลิงที่มีอายุใช้งานมานาน เสื่อมสภาพ หรือซ่อมรุดแทนวิธีการซ่อมบำรุงของเดิมอาจช่วยให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า และการจัดซื้ออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดต้องเป็นอุปกรณ์ประหยัดพลังงานเป็นต้นซึ่งแผนงานด้านพลังงานดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 11 (พ.ศ.2555-2559) โดยมียุทธศาสตร์และแนวทางการพัฒนาหลายด้านที่เกี่ยวโยงกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ โดยมียุทธศาสตร์ข้อหนึ่งระบุชัดเจนในเรื่องการปรับกระบวนทัศน์การพัฒนาและขับเคลื่อนประเทศเพื่อเตรียมพร้อมไปสู่การเป็นเศรษฐกิจและสังคมคาร์บอนต่ำ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยปรับโครงสร้างการผลิตของประเทศและพฤติกรรมการบริโภค ปละในแผนปฏิบัติการยุทธศาสตร์ประเทศของรัฐบาลปัจจุบันซึ่งได้กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาและขับเคลื่อนประเทศไว้ 4 ด้าน ด้านหนึ่ง คือ ยุทธศาสตร์สร้างการเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green Growth) ได้ระบุให้มีการกำหนดเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไว้ด้วย จึงเห็นได้ว่าพลังงานเป็นปัญหาของทุกคนและทุกหน่วยงานในประเทศไทยโดยเฉพาะ อย่างยิ่งหน่วยงานภาครัฐ ที่ควรจะเป็นองค์กรตัวอย่างในการนำไปสู่ยุทธศาสตร์การสร้างการเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ปัญหาด้านพลังงานที่เกิดขึ้นกับประเทศไทยสามารถแสดงปัญหาต่างๆดังจะเห็นได้จากแผนภาพการผลิตไฟฟ้า และการต้องการใช้ไฟฟ้า ดังภาพที่ 1 และ 2 แสดงด้านล่างนี้



ภาพที่ 1.กำลังผลิตตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้า

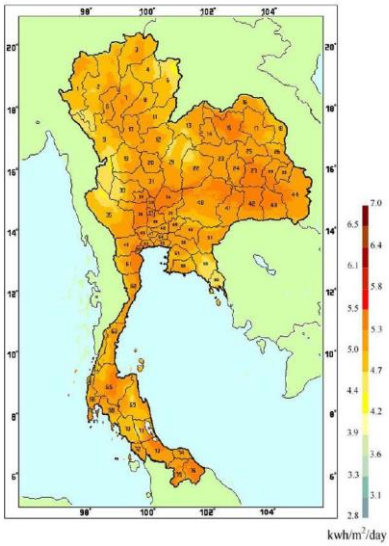


ภาพที่ **2.ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดรายภาคและกำลังการผลิตไฟฟ้า**

ประการสำคัญจากแนวโน้มของราคาเชื้อเพลิงที่ยังคงอยู่ในอัตราสูง ส่งผลกระทบให้ทุกภาคส่วนของประเทศต้องหันมาให้ความสำคัญในเรื่องการอนุรักษ์และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การส่งเสริมพลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์จึงเป็นอีกพลังงานหนึ่งที่สามารถตอบสนองนโยบายดังกล่าวได้เป็นอย่างดี เพราะพลังงานจากแสงอาทิตย์มีอยู่อย่างมากมายและไม่มีค่าใช้จ่าย พลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในรูปของรังสีอาทิตย์จากดวง

อาทิตย์ถูกนำมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยอาศัยเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถทราบค่าในรูปความเข็มรังสีอาทิตย์หน่วยเป็นวัตต์/ตารางเมตร และพลังงานแสงอาทิตย์หน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน ซึ่งขึ้นกับวันที่และเวลา รวมถึงตำแหน่งบนพื้นโลกรังสีอาทิตย์ประกอบด้วยสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 0.3 ถึง 3 ไมโครเมตร ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดสามารถตอบสนองต่อสเปกตรัมได้แตกต่างกัน ดังนั้นประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าต่างกันในการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ การใช้งานและการบำรุงรักษาระบบมีความจำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในพื้นที่นั้นๆ

ศักยภาพแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย แสงจากดวงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ (Thermonuclear reaction) หรือ ปฏิกิริยาหลอมตัวทางนิวเคลียร์ในดวงอาทิตย์ เมื่อแสงอาทิตย์เดินทางถึงนอกชั้นบรรยากาศของโลกจะมีความเข้มแสงโดยเฉลี่ยประมาณ 1.350 วัตต์ต่อตารางเมตรแต่กว่าจะลงมาถึงพื้นโลก พลังงานบางส่วนต้องสูญเสียไปเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆที่ห่อหุ้มโลก เช่น ชั้นโอโซน ชั้นไอน้ำ ชั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ความเข้มแสงลดลง เหลือประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร หรือประมาณร้อยละ 70 แผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากรายงานวิจัยเรื่องศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนรวมแสงในประเทศไทย โดยกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานร่วมกับ ห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิจัยฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ปี พ.ศ. 2549 ทำให้เราทราบศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย ดังนี้ คือบริเวณที่มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูง ได้แผ่เป็นบริเวณกว้างทางตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกศ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และตอนบนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดอุดรธานี นอกจากนี้ยังมีบริเวณที่ศักยภาพสูงในพื้นที่บางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท พระนครศรีอยุธยาและลพบุรี พื้นที่ดังกล่าวได้รับรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อปี 19-20 MJ/m2-day โดยคิดเป็นพื้นที่ 14.3%ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้พบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศได้รับรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อปีในช่วง 18-19 MJ/m2-day และมีพื้นที่เพียง 0.5%ที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์น้อยกว่า 16 MJ/m2-day และเมื่อพิจารณาค่าความเข้มรังสีรายวันเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/m2-day สรุปนับได้ว่ากว่าครึ่งของพื้นที่ของประเทศไทยได้รับพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับค่อนข้างสูง ดังแผนภาพ 3.



ภาพที่ 3.แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย ปี 2542 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตารางเมตร/วัน

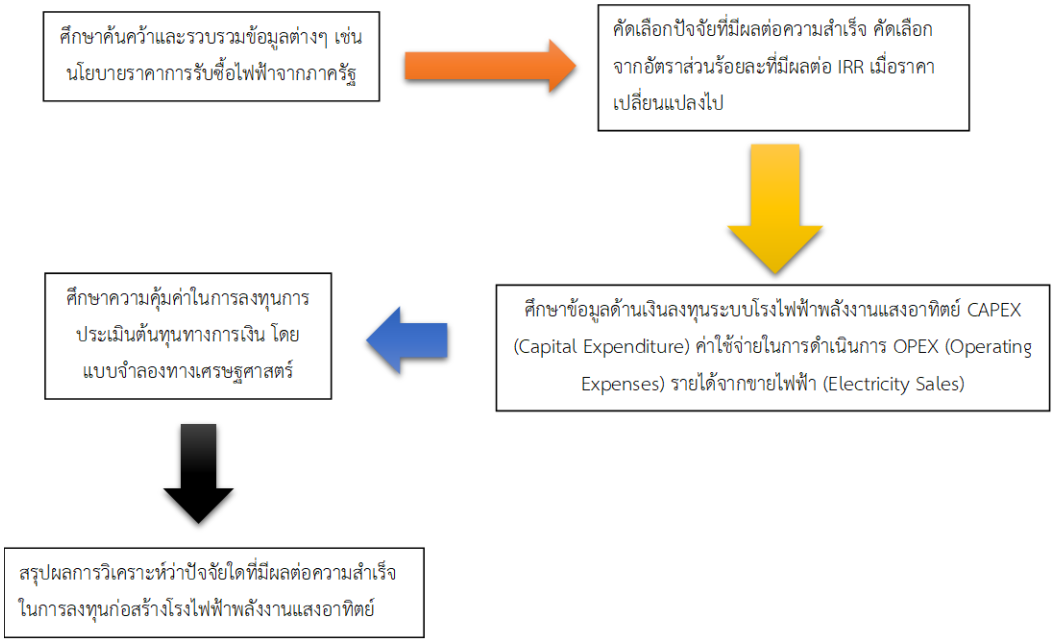
ช่วงความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ รายวัน เฉลี่ยต่อปี (MJ/m2-day)	เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้รับรังสี เมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ
15-16	0.5%
16-17	7.1%
17-18	27.9%
18-19	50.2%
19-20	14.3%

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ความจำเป็นในการเตรียมความพร้อมและจัดตั้งโรงงานผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จึงเป็นโครงการที่มีประโยชน์ทั้งต่อส่วนรวม ภาครัฐ และผู้ลงทุนในอุตสาหกรรมนี้

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาปัจจัยในการสร้างโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์เพื่อผลิตและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในรูปแบบผู้ผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กมากในพื้นที่อำเภอคลองท่อมจังหวัดกระบี่ โดยคำนึงถึงปัจจัยทางด้านการตลาด ด้านวิศวกรรม ด้านการเงิน และด้านอื่นๆ โดยไม่นำปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมและปัจจัยทางด้านสังคมมาวิเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้

1) ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลต่างๆ รวมถึงเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการลงทุนโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ อาทิเช่น นโยบายราคาการรับซื้อไฟฟ้าจากภาครัฐ ความเข้มข้นของแสง เป็นต้นศึกษาข้อมูลพื้นฐานและรายละเอียดที่เกี่ยวข้องด้านบริหารการจัดการ
2) คัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการลงทุนโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบในการคัดเลือก
3) ศึกษาข้อมูลด้านเงินลงทุนระบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ CAPEX (Capital Expenditure) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ OPEX (Operating Expenses) รายได้จากขายไฟฟ้า (Electricity Sales)
4) ศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนการประเมินต้นทุนทางการเงิน โดยแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์
5) สรุปผลการวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อความสำเร็จในการลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์



ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ทำไมต้องเป็นจังหวัดกระบี่และต้องเป็นโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์

ด้วยรัฐบาล โดยคณะกรรมการนโยบายแห่งชาติได้มีนโยบายส่งเสริมให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นและมอบหมายให้คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) มีหน้าที่กำหนดหลักเกณฑ์และสรรหาพื้นที่เพื่อให้ผู้สนใจมาร่วมลงทุนในการผลิตไฟฟ้า ต่อมา กกพ. ได้ออกประกาศเรื่อง การจัดหาไฟฟ้าจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน สำหรับหน่วยงานราชการและสหกรณ์ภาคการเกษตร พ.ศ. 2560 เมื่อวันที่ 28 เมษายน 2560 โดยมีอัตรารับซื้อไฟฟ้าอยู่ที่ 4.12 บาทต่อหน่วย และเป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจุบันคนในพื้นที่จังหวัดกระบี่มีการต่อต้านการพัฒนาโรงไฟฟ้าประเภทเผาไหม้ ไม่ว่าจะเป็นเชื้อเพลิงจากถ่านหินหรือชีวมวลก็ตาม โดยให้เหตุผลว่า เนื่องจากจังหวัดกระบี่เป็นจังหวัดที่มีรายได้จากการท่องเที่ยวเป็นหลักมากถึง 96,000 ล้านบาทต่อปี (ข้อมูลจากสำนักงานสถิติจังหวัดกระบี่) โดยข้อมูลสถิติได้ระบุว่าจังหวัดกระบี่มีนักท่องเที่ยวจากทั่วทุกมุมโลกมาเยี่ยมเยือนในปี 2560 โดยประมาณกว่า 6 ล้านคน ส่งผลให้คนในพื้นที่จึงไม่อยากให้มีการก่อสร้างโรงไฟฟ้าประเภทเผาไหม้ เพราะมีความกังวลว่าจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจนทำให้ธุรกิจการท่องเที่ยวซบเซาลง และเมื่อเปรียบเทียบธุรกิจของการท่องเที่ยวกับการก่อสร้างโรงไฟฟ้าประเภทเผาไหม้ขนาดใหญ่ในพื้นที่จังหวัดกระบี่แล้ว ธุรกิจการท่องเที่ยวสามารถทำรายได้ให้แก่ประชาชนในพื้นที่ได้มากกว่าและมีมูลค่าสูงกว่าโรงไฟฟ้ามากพอสมควร จึงทำให้คนในพื้นที่ไม่สนับสนุนให้มีการสร้างโรงไฟฟ้าประเภทเผาไหม้ในพื้นที่แต่อย่างใด

ต่อมาเมื่อปี พ.ศ. 2560 รัฐบาลโดย กกพ. ได้ประกาศรับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ จึงมีผู้ประกอบการสนใจลงทุนโรงไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก จึงเป็นโอกาสอันดีที่จังหวัดกระบี่จะได้พิสูจน์ว่าโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเป็นพลังงานทางเลือกในพื้นที่จังหวัดกระบี่ได้หรือไม่ ประกอบกับในปัจจุบันค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานสงอาทิตย์มีมูลค่าที่ลดลงเป็นอย่างมากจากเดิมค่าก่อสร้างในปี พ.ศ. 2553 อยู่ที่ประมาณ 120-140 ล้านบาทต่อ 1 เมกะวัตต์ ปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 40 ล้านบาทต่อ 1 เมกะวัตต์

ปัจจัยความสำเร็จ

1. ราคา: ราคารับซื้อตามนโยบายที่กล่าวมาข้างต้นเป็นรูปแบบสัญญาซื้อขายไฟฟ้าโดยจะจำหน่ายไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในอัตรา 4.12 บาทต่อหน่วย โดยมีระยะเวลา 25 ปี นับจากวันที่เริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้า

2. ค่าใช้จ่ายในการในการลงทุน (Capital Expenditure; Capex): ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเบื้องต้นและค่าใช้จ่ายในการพัฒนาโครงการค่าเช่าที่ดินล่วงหน้า ค่าเครื่องจักรค่าติดตั้งค่าทดลองเครื่องค่าใช้จ่ายก่อนเปิดดำเนินการเงินทุนหมุนเวียน

3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating Expenditure; Opex): ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายของเจ้าหน้าที่ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

4. ค่าความเข้มข้นของแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปี: การวัดค่าความเข้มข้นของแสงอาทิตย์จะใช้โปรแกรม PVsystซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการออกแบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับความนิยม มีเนื้อหาที่ครอบคลุมครบถ้วนและยังเป็นโปรแกรมที่มีความซับซ้อนมากเป็นที่ยอมรับในวงการพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด และเป็นโปรแกรมที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เป็นซอฟต์แวร์การจำลองการศึกษาเพื่อคำนวณการออกแบบ ผลิตและการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบัน

ผลวิเคราะห์ทางการเงิน

ตาราง 1 ผลการวิเคราะห์ทางการเงิน (อัตราผลตอบแทน)

Solar Cell 5 MW	Maximum Capacity																									
mTHB	Year	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
CAPEX	EPC costs	95.00																									
	Solar Cell+Inverter	80.00																									
	others	29.00																									
OPEX	O&M	-	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	Land 10% of Revenue	-	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76	3.76
Totol Cost		204.00	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26	4.26
Revenue																											
FiT 4.12 THB/kWh	5 hrs/day	-	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60	37.60
Total Income		(204.00)	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34	33.34
PaybackPeriod	7-8 years																										
Interest rate	5%																										
NPV	253.2305827	mTHB																									
IRR	16%																										
operation	5.00	hrs/day																									
	365.00	days																									
	5,000.00	kW																									
	4.12	rate/unit																									
Sell Electricity	37,595,000.00	mTHB/year																									

จากการประมาณการต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการโดยงบกระแสเงินสดนั้น สามารถประเมินความคุ้มค่าของโครงการโดยมีอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) มีค่าเท่ากับ 16%

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รวบรวมมานั้นพบว่า ปัจจัยความสำเร็จในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดกระบี่ขึ้นอยู่กับราคาการนำเข้าเครื่องจักรอุปกรณ์ในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเป็นปัจจัยหลักที่จะส่งผลต่ออัตราผลตอบแทนการลงทุน โดยพิจารณาจากค่า IRR แล้วสรุปได้ว่า โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำได้ในพื้นที่จังหวัดกระบี่ และสามารถเป็นแนวทางการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้แก่ผู้ประกอบการหรือภาครัฐเพื่อทดแทนความต้องการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่และลดปริมาณการผลิตไฟฟ้าประเภทเผาไหม้ และส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อม โดย

ผลของการศึกษาในกลุ่มของผู้วิจัยจะมองว่าปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จมากที่สุดในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์คือ กฎหมายและนโยบายของภาครัฐ ด้านอัตราการรับซื้อไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้ ภาครัฐควรมีการพิจารณาสนับสนุนการเพิ่มหน่วยอัตราการซื้อรายไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมกับต้นทุนปัจจุบัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณาจารย์ ที่ปรึกษา โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน เป็นอย่างสูงที่ช่วยให้ความรู้ ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำต่างๆ อย่างดี ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยนี้ ให้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี ขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการ และคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์ ทุกท่านที่เสียสละเวลาในการสอบสารนิพนธ์นี้ และขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยบัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน คณาจารย์ บุคลากร เพื่อน พี่ และรุ่นน้องที่ช่วยในการนี้จบสำเร็จลุล่วงอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ไชยา สถิรยากร. (**2549**). การผลิตไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ โดยใช้พลังงานชีวมวลสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาธุรกิจอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (พ.ศ.2551 - 2565). (**2558**). แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (พ.ศ. 2558 - 2579)., (PDP2010 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3), 1 - 93.

[3] **สถานภาพการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตพลังงานในประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อวันที่ 3 กันยายน 2561, จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.): http://webkc.dede.go.th/webmax/node/153

[4] กฤษพนธิ์ เพี้ยนศรี. (**2546**). ฐานข้อมูลศักยภาพพลังงานจากชีวมวล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[5] ธเนศ อุทิศธรรม และคณะ. (**2550**). ศักยภาพพลังงานจากชีวมวลเหลือใช้ในประเทศไทย. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, โรงแรมใบหยกสกาย กรุงเทพฯ.

[6] หฤทัย มีนะพันธ์. **2544**. หลักการวิเคราะห์โครงการ : ทฤษฎีและวิธีปฏิบัติเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ. กรุงเทพมหานคร: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

[7] สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ม.ป.ป. พลังงานชีวมวล. (Online). www2.dede.go.th/kmmf/download/นวัตกรรม/สวค/คู่มือพลังงานชีวมวล. pdf, 25 กันยายน 2556.

[8] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2561. EPPO : Energy Database (Online). http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/electricity-statistic?issearch=1&isc=1&ordering=order&category_id=855&xf_33=4, 3 กันยายน 2561.

[9] ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2561. สถานการณ์พลังงานปี 2560 และแนวโน้มปี 2561 (Online).http://www.eppo.go.th/images/Infromation_service/public_relations/forecast/Energy2016-Forcast 2017. pdf, 19 ธันวาคม 2560.

[10] ศสิรส พิทักษ์รัตนโชติ. **2548**. ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[11] เริงรัก จำปาเงิน. **2544**. การจัดการการเงิน. กรุงเทพมหานคร: บริษัท บุ๊คเนท จากัด. แปลจาก Eugene F. B. and J. F. Houston. 2001. Fundamental of Financial Management. Orlando, Florida: Harcourt College Publishers.

[12] พัสตราภรณ์ วรรณอาภา. **2553**. ความเป็นไปได้ทางการเงินและเศรษฐกิจของโครงการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลโดยใช้กระถินยักษ์เป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[13] ชูชีพ พิพัฒน์ศิถี. **2544**. เศรษฐศาสตร์การวิเคราะห์โครงการ. กรุงเทพมหานคร: เท็กซ์ แอนด์เจอร์นัล พับลิเคชั่น.

EC95

การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมของประเทศไทย

Assessment of Technical Power Potential from Wind Energy in Thailand

ลัทธวรรณ นิยมธรรม* จอมภพ แววศักดิ์ และชนะ จันทร์ฉ่ำ
ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

บทคัดย่อ

แผนที่ลมสเกลปานกลางความแยกชัด 27 กิโลเมตร ที่ระดับความสูง 150 เมตร เหนือพื้นดิน ครอบคลุมประเทศไทยถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยแบบจำลองบรรยากาศ MC2 ร่วมกับฐานข้อมูลสภาพภูมิอากาศ MERRA โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศย้อนหลังเป็นเวลา 15 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 – 2558 และการวิเคราะห์ศักยภาพกำลังผลิตไฟฟ้าเชิงเทคนิคโดยอาศัยกังหันลมขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.4 เมกะวัตต์ ซึ่งอาศัยวิธีทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วยโปรแกรม ArcGIS โดยทำการแบ่งโซนพื้นที่เพื่อวิเคราะห์พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลมตามช่วงอัตราเร็วลม จากผลการศึกษาพบว่า ที่ระดับความสูง 150 เมตร เหนือพื้นดิน ประเทศไทยมีอัตราเร็วลมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4 – 9 เมตรต่อวินาที โดยพื้นที่บริเวณด้านตะวันตกเฉียงเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ และบางบริเวณของภาคใต้ มีศักยภาพอัตราเร็วลมดีมากกว่า 6 เมตรต่อวินาที และจากการวิเคราะห์ศักยภาพกำลังการผลิตไฟฟ้าเชิงเทคนิคของพลังงานลมโดยรวมของทั้งประเทศโดยไม่คำนึงถึงลักษณะภูมิประเทศและการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า สามารถผลิตพลังงานได้มากกว่า 65,000 เมกะวัตต์ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีจากกังหันลมประมาณ 570 เทราวัตต์ และสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่า 300 ล้านตันต่อปี

คำสำคัญ: แผนที่ลม แบบจำลองบรรยากาศ ศักยภาพกำลังผลิตไฟฟ้าเชิงเทคนิค การลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

*Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: lattawan.n@gmail.com

บทนำ

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา พลังงานทดแทนเข้ามามีบทบาทสำคัญในการผลิตเชื้อเพลิงและไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการการใช้พลังงานให้แก่มนุษย์ เนื่องจากปัญหาด้านราคาน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นแหล่งเชื้อเพลิงหลักสำหรับผลิตพลังงานมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน หน่วยงานต่างๆทั่วโลกจึงหันมาให้ความสนใจกับพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกที่สะอาด ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศได้เพื่อสร้างความมั่นคงและยั่งยืนทางด้านพลังงานควบคู่ไปกับการรักษาสิ่งแวดล้อมและชุมชนให้คงอยู่ท่ามกลางความก้าวหน้าและเปลี่ยนแปลงของโลกในยุคปัจจุบัน เทคโนโลยีการใช้พลังงานหมุนเวียนโดยเฉพาะการนำมาผลิตไฟฟ้าได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถแข่งขันกับเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ทั้งทางด้านศักยภาพและราคา โดยพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้ ได้แก่ พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานชีวมวล อย่างไรก็ตามการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนสูงกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล แต่ในขั้นตอนการผลิตจะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่า ซึ่งจากมุมมองของนักลงทุนและรัฐบาลจึงเล็งเห็นว่าการลงทุนในพลังงานหมุนเวียนมีความเสี่ยงสูง พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม

มีความไม่แน่นอนทางด้านการผลิตพลังงานเนื่องจากขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามฤดูกาล ดังนั้นการหาสมดุลการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลร่วมกับพลังงานหมุนเวียนให้มีสัดส่วนที่เหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อให้ได้แหล่งพลังงานที่น่าเชื่อถือ มีราคาถูก และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับประเทศไทยรัฐบาลได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของพลังงานหมุนเวียนเช่นกัน โดยมีการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 (PDP2015) ซึ่งมีเป้าหมายที่จะเน้นการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของประเทศด้วยการกระจายเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ลดการพึ่งพาก๊าซธรรมชาติ และเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน รวมทั้งพัฒนาระบบสายส่งและจำหน่ายไฟฟ้า สำหรับนโยบายส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนรัฐบาลได้ตั้งเป้าหมายที่จะผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนรวม 19,634.4 เมกะวัตต์ ภายในปี 2579 โดยแบ่งสัดส่วนตามประเภทของแหล่งพลังงานคือ พลังงานแสงอาทิตย์ 6,000 เมกะวัตต์ พลังงานลม 3,002 เมกะวัตต์ พลังงานน้ำ 3,282.4 เมกะวัตต์ ชีวมวล 5,570 เมกกะวัตต์ ขยะ 500 เมกะวัตต์ ก๊าซชีวภาพ 600 เมกะวัตต์ และพืชพลังงาน 680 เมกะวัตต์ [1] ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยสำหรับผลิตไฟฟ้าเพื่อตอบสนองกับนโยบายของรัฐบาล

การนำพลังงานลมมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า สิ่งสำคัญอันดับแรกคือ การประเมินความเร็วลมที่มีในพื้นที่เพื่อที่จะสามารถระบุพื้นที่ที่มีศักยภาพที่สามารถพัฒนาเป็นทุ่งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ ซึ่งสามารถทำได้โดยการจัดทำแผนที่ความเร็วลม โดยปกติแล้วการจัดทำแผนที่ความเร็วลมสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับตามความละเอียดเชิงพื้นที่ ได้แก่ ระดับสเกลใหญ่ (Largescale) ซึ่งมีความละเอียดแยกชัดมากกว่า 1,000 กิโลเมตร ระดับสเกลปานกลาง (Mesoscale) มีความละเอียดแยกชัดที่ 1 – 1,000 กิโลเมตร และระดับสเกลเล็ก (Microscale) ซึ่งมีความแยกชัดน้อยกว่า 1 กิโลเมตร การจัดทำแผนที่ความเร็วลมสามารถใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ แบบจำลองบรรยากาศ และหลักการทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ความเร็วลมได้ โดยอาศัยข้อมูลลมที่ได้จากการตรวจวัดหรือจากฐานข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลลักษณะภูมิประเทศและการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นข้อมูลขาเข้าของแบบจำลอง การวิเคราะห์พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลมเป็นสิ่งสำคัญอันดับที่สองของการประเมินศักยภาพพลังงานลม เพื่อใช้ในการระบุพื้นที่ที่สามารถพัฒนาเป็นทุ่งกังหันลมได้ในอนาคตและใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจการลงทุนให้แก่นักลงทุนและรัฐบาล ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน กังหันลมผลิตไฟฟ้าได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างมากให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สามารถเริ่มผลิตพลังงานได้ที่อัตราเร็วลมต่ำซึ่งเหมาะสำหรับประเทศที่มีศักยภาพความเร็วลมไม่สูงมากนัก มีความสูงของกังหันลม (Hub Height) และขนาดกำลังการผลิต (Capacity) เพิ่มขึ้นเพื่อให้สามารถผลิตพลังงานได้มากขึ้น ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การจัดทำแผนที่ความเร็วลมสเกลปานกลางความละเอียดแยกชัด 27 กิโลเมตร ที่ความสูง 150 เมตรเหนือระดับพื้นดินครอบคลุมทั้งประเทศไทยเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพกำลังการผลิตเชิงเทคนิค (Technical Power Potential, TPP) ที่ผลิตได้จากกังหันลมและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดปี (Annual Energy Production, AEP) พร้อมทั้งประมาณค่าการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Emission Avoidance) ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานลม

วิธีการวิจัย

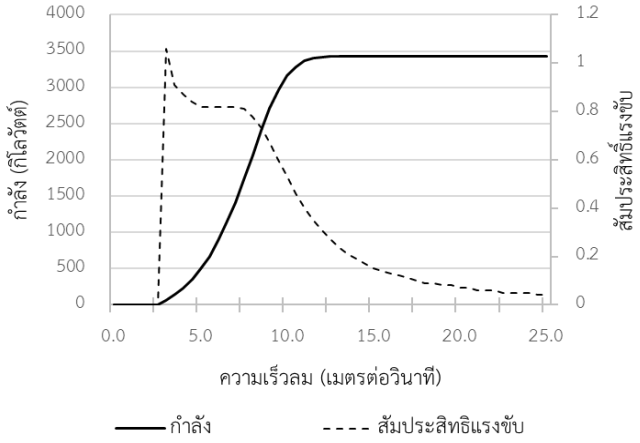
การจัดทำแผนที่ความเร็วลมอาศัยแบบจำลองบรรยากาศ MC2 ร่วมกับฐานข้อมูลสภาพภูมิอากาศลม MERRA เพื่อสร้างแผนที่ลมระดับสเกลปานกลาง โดยมีความละเอียดแยกชัดที่ 27 กิโลเมตรที่ระดับความสูง 150 เมตร เหนือระดับพื้นดิน และใช้ข้อมูลลมย้อนหลังจำนวน 15 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2544 - 2558 แบบจำลอง MC2 เป็นแบบจำลองบรรยากาศสำหรับจัดทำแผนที่ลมระดับสเกลปานกลางซึ่งถูกใช้อย่างกว้างขวางทั่วโลก ถูกพัฒนาขึ้นจากงานวิจัยแบบจำลองระดับสเกลปานกลางร่วมกับการพยากรณ์อากาศเชิงตัวเลขที่มีความซับซ้อนโดย Thanguay, Robert และ Lapprise เมื่อปี 1980 ที่สถานีบริการทางอุตุนิยมวิทยาประเทศแคนนาดา แบบจำลองมีลักษณะเป็นระเบียบวิธีเชิง

ตัวเลขแบบกึ่งลากรองจ์ (Semi-Lagrangian) และกึ่งชัดแจ้ง (Semi-Implicit) [2] สำหรับฐานข้อมูลภูมิอากาศ MERRA เป็นฐานข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาของ NASA ที่ทำการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลบรรยากาศจากดาวเทียมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979 ถึงปัจจุบัน โดยในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลภูมิอากาศราย 6 ชั่วโมง ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลความเร็วลมตามแนวแกนตั้งและแกนนอน ข้อมูลทิศทางลม และข้อมูลอุณหภูมิในชั้นบรรยากาศ [3]

การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานลมเชิงเทคนิคได้อาศัยวิธีทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วยโปรแกรม ArcGIS โดยทำการแบ่งโซนพื้นที่เพื่อวิเคราะห์พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลมตามช่วงความเร็วลม [4] กังหันลมที่เลือกใช้สำหรับการศึกษาครั้งนี้มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งต้นละ 3.4 เมกะวัตต์ เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดเท่ากับ 137 เมตร ความสูงของกังหันเท่ากับ 155 เมตร ซึ่งเส้นโค้งกำลังของกังหันลมชนิดนี้แสดงดังภาพที่ 1 และกำหนดระยะห่างของกังหันลมแต่ละตัวเท่ากับ 7Dx7D เนื่องจากระยะห่างนี้เป็นระยะห่างที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่ผลิตได้ (wake lose) น้อยที่สุดสำหรับกังหันลมขนาด 3 เมกะวัตต์ [5] สมการในการวิเคราะห์หาศักยภาพกำลังการผลิตเชิงเทคนิคสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) จากการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 0.5821 $kgCO_{2\,eq}/kWh$ [6] ซึ่งอ้างอิงจากตาราง Emission Factor ที่เผยแพร่โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย (องค์การมหาชน) สำหรับการประมาณค่าการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม

$$TPP = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{A}{XD^2} \times CF \right) \times Power_{WTG} \qquad (1)$$

โดย A คือ พื้นที่ที่ต้องการหาศักยภาพ (ตารางกิโลเมตร)
X คือ แฟกเตอร์ของระยะห่างของกังหันลม
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของใบกังหัน (เมตร)
CF คือ ค่าคาปาซิตี้แฟกเตอร์ = 15%
n คือ จำนวนช่วงของความเร็วลม

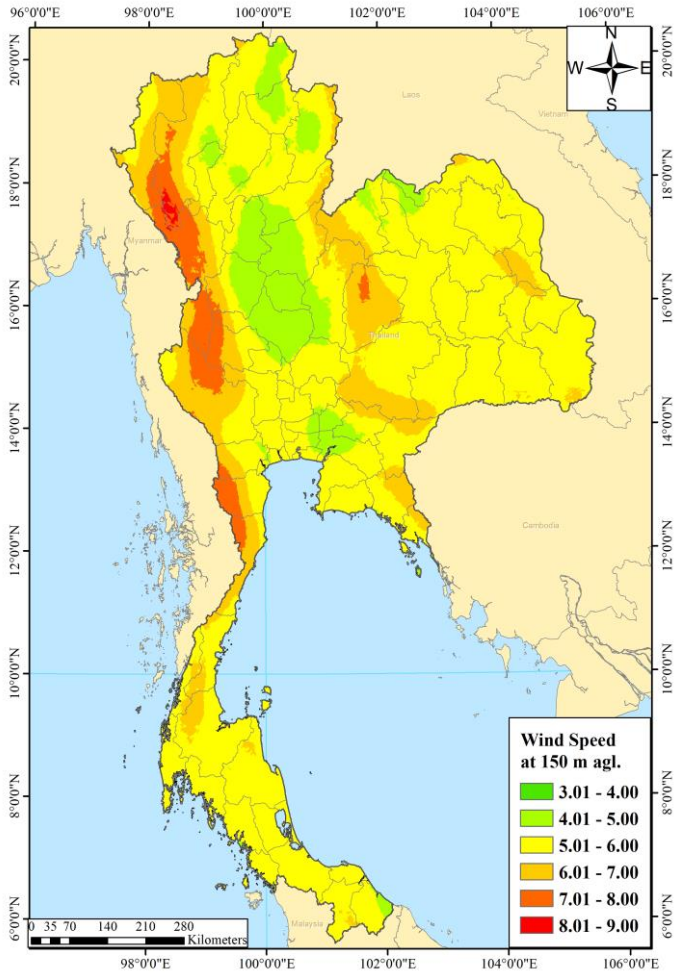


ภาพที่ 1 เส้นโค้งกำลังของกังหันลม

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

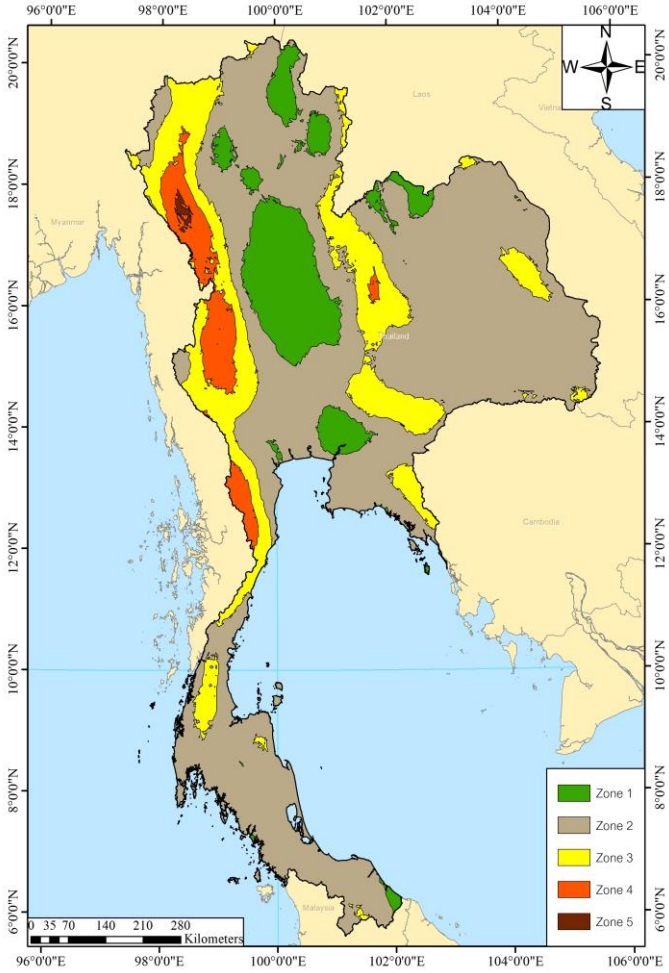
แผนที่ลมที่ระดับความสูง 150 เมตร เหนือพื้นดิน แสดงดังภาพที่ 2 จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีอัตราเร็วลมอยู่ในช่วง 4.00 – 9.00 เมตรต่อวินาที โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีอัตราเร็วลมอยู่ที่ 5.00 - 6.00 เมตรต่อวินาที แต่พื้นที่บริเวณภาคตะวันตกเฉียงเหนือ ภาคตะวันตกเฉียงใต้ และภาคตะวันออกบริเวณจังหวัดชัยภูมิมีศักยภาพลมดีที่สุดซึ่งมีอัตราเร็วลมมากกว่า 7 เมตรต่อวินาที

สำหรับการวิเคราะห์ศักยภาพกำลังการผลิตเชิงเทคนิค (TPP) โดยทำการแบ่งโซนพื้นที่เพื่อวิเคราะห์พลังงานที่ผลิตได้จากกังหันลมตามช่วงอัตราเร็วลมดังแสดงในภาพที่ 3 จากการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วยโปรแกรม Arc GIS พบว่า โซนที่ 1 ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีอัตราเร็วลมน้อยกว่า 5 เมตรต่อวินาที มีพื้นที่เท่ากับ 59,959.08 ตารางกิโลเมตร โซนที่ 2 เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีอัตราเร็วลมในช่วง 5.01 – 6.00 เมตรต่อวินาที มีพื้นที่เท่ากับ 337,134.95 ตารางกิโลเมตร โซนที่ 3 เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีอัตราเร็วลมในช่วง 6.01 – 7.00 เมตรต่อวินาที มีพื้นที่เท่ากับ 90,925.94 ตารางกิโลเมตร โซนที่ 4 เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีอัตราเร็วลมในช่วง 7.01 – 8.00 เมตรต่อวินาที มีพื้นที่เท่ากับ 25,607.91 ตารางกิโลเมตร และโซนที่ 5 เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีอัตราเร็วลมมากกว่า 8.00 เมตรต่อวินาที มีพื้นที่เท่ากับ 947.60 ตารางกิโลเมตร ผลการประมาณค่าศักยภาพกำลังการผลิต (TPP) ที่ได้จากพลังงานลมแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า พลังงานลมในประเทศไทยทั้งประเทศสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่า 65,000 เมกะวัตต์ คิดเป็นพลังงานไฟฟ้ารายปีที่ผลิตได้จากกังหันลมประมาณ 570 เทราวัตต์ชั่วโมง



ภาพที่ 2 แผนที่ลมของประเทศไทย ความละเอียดแยกชัด 27 กิโลเมตร ที่ระดับความสูง 150 เมตรเหนือพื้นดิน

และสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่า 300 ล้านตัน ซึ่งศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับอัตราเร็วลมในพื้นที่นั้นๆ โดยพบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่ที่มีศักยภาพอัตราเร็วลมสูงมากกว่า 6 เมตรต่อวินาที กระจายตัวอยู่รอบประเทศทั้งทางด้านตะวันออก ตะวันตก และใต้ ซึ่งหากพิจารณาจากอัตราเร็วลมในพื้นที่แล้ว พื้นที่ดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมที่จะสามารถพัฒนาเป็นทุ่งกันหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าให้แก่ประเทศได้ ทั้งนี้การตัดสินใจติดตั้งกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้ายังต้องมีปัจจัยอีกหลายด้านนอกเหนือจากศักยภาพพลังงานลมเข้ามาเกี่ยวข้อง อาทิเช่น ลักษณะพื้นที่บริเวณที่จะติดตั้ง การใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ดังกล่าว รวมถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน ดังนั้นการพัฒนาติดตั้งทุ่งกังหันลมสำหรับประเทศไทยจึงควรทำการศึกษาให้ครอบคลุมและละเอียดในทุกๆด้าน เพื่อหาพื้นที่ที่มีศักยภาพที่เหมาะสมที่สุดเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม



ภาพที่ 3 โซนพื้นที่แบ่งตามช่วงความเร็วลมสำหรับวิเคราะห์ศักยภาพกำลังการผลิตเชิงเทคนิค

ตารางที่ 1 ศักยภาพการผลิตพลังงานจากพลังงานลมของประเทศไทย

Zone	TPP (MW)	AEP (TWh)	CO_2 emission avoidance (Million Ton)
1. (< 5 m/s)	3,573.10	31.30	18.20
2. (5 – 6 m/s)	37,845.23	331.52	193.00
3. (6 – 7 m/s)	16,952.25	148.50	86.40
4. (7 – 8 m/s)	7,237.71	63.40	36.90
5. (> 8 m/s)	368.41	3.23	1.90
Total	**65,976.71**	**577.96**	**336.4**

สรุปผลการวิจัย

แผนที่ลมสเกลปานกลางความแยกชัด 27 กิโลเมตร ที่ระดับความสูง 150 เมตร เหนือระดับพื้นดิน ครอบคลุมประเทศไทยพัฒนาขึ้นโดยอาศัยแบบจำลองบรรยากาศ MC2 ร่วมกับฐานข้อมูลสภาพภูมิอากาศ MERRA โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศย้อนหลังเป็นเวลา 15 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 – 2558 จากแผนที่ลมพบว่า ที่ระดับความสูง 150 เมตร เหนือระดับพื้นดิน ประเทศไทยมีอัตราเร็วลมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4 – 9 เมตรต่อวินาที โดยพื้นที่บริเวณด้านตะวันตกเฉียงเหนือ ตะวันออกเฉียงเหนือ และบางบริเวณของภาคใต้ มีศักยภาพอัตราเร็วลมดีมากกว่า 6 เมตรต่อวินาที และจากการวิเคราะห์ศักยภาพกำลังการผลิตเชิงเทคนิคจากพลังงานลมโดยรวมของทั้งประเทศโดยไม่คำนึงถึงลักษณะภูมิประเทศและการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่า 65,000 เมกะวัตต์ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีจากกังหันลมประมาณ 570 เทราวัตต์ชั่วโมง และสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่า 300 ล้านตัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง) สำหรับการสนับสนุนทุน อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง และโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ผลและจัดทำแผนที่

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). **แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 (Power Development Plan: PDP 2015)**. Available : http://www.eppo.go.th/power/PDP2015/ PDP2015.pdf, [2015, December 15].

[2] Beniot, R., Leung, D.Y.C., and Niewiadomski. M. (1999). “Simulations of wind field and other meteorological parameters in the complex terrain of Hong Kong using MC2 – A mesoscale numerical model”. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics** [Electronic]. Vol. 83. pp. 7–82. Available : Elsevier [2014, October 28].

[3] Lucchesi, R. (2012). **File Specification for MERRA Products**, GMAO Office Note NO.1 (Version 2.3). pp. 1-5. Available : http://gmao.gsfc.nasa.gov.

[4] Chancham, C., Waewsak, J., Chaichana, T., Landry, M. and Gagnon, Y. (2014). **Assessment of onshore wind energy potential using regional atmospheric modeling system (RAMS) for Thailand.** Energy Procedia. Vol. 52. pp. 487-496.

[5] Chancham, C., Waewsak, J. and Gagnon, Y. (2017). **Offshore wind resource assessment and wind power plant optimization in the Gulf of Thailand.** Energy. vol. 139. pp. 706-731.

[6] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). **Emission factor.** สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2561, http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/organization_emission/organization_emission.pnc.

Session2. เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน

FC07

การดูดซับน้ำมันด้วยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตัวดูดซับน้ำมัน

The adsorption of oil by agricultural waste and the briquette production from adsorbent

เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์*
สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันของดอกธูปฤาษี ชานอ้อยและผักตบชวา และผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุที่สามารถดูดซับน้ำมันได้ดี โดยมีการแปรผันอัตราส่วนของวัสดุที่ดูดซับน้ำมันได้ดีต่อถ่านไม้เป็น 50:50 40:60 30:70 20:80 และ 90:10 โดยใช้กากน้ำตาล 10 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวประสาน ผลจากการศึกษาพบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการดูดซับด้วยดอกธูปฤาษี ผักตบชวาและชานอ้อย มีค่าน้ำมันและไขมันลดลงจาก 50 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 0.24 2.15 และ 10.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุทั้งสามชนิดพบว่า ดอกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันมากที่สุดเท่ากับ 99.54 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือผักตบชวามีประสิทธิภาพการดูดซับ 95.56 เปอร์เซ็นต์ และชานอ้อยมีประสิทธิภาพการดูดซับ 78.14 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านและดอกธูปฤาษีดูดซับน้ำมันคือ อัตราส่วนถ่านต่อดอกธูปฤาษีดูดซับน้ำมัน 50:50 40:60 และ 30:70 ซึ่งมีค่าดัชนีแตกร่วน และค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 0.95-1.00 และ 5207.23- 6866.67 แคลอรีต่อกรัม ส่วนคุณลักษณะอื่นๆ ของแท่งเชื้อเพลิงคือ ความชื้นเท่ากับ 1.25-1.36% ปริมาณเถ้าเท่ากับ 20.59-27.68% สารระเหยเท่ากับ 69.03-77.99% และคาร์บอนคงตัว 3.02-4.35%

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงอัดแท่ง วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร น้ำมัน การดูดซับ

*Corresponding author: Tel.: 083-**0953057**. E-mail address: fangkum.a@gmail.com

บทนำ

น้ำมันและไขมันซึ่งพบในน้ำเสียชุมชนที่มาจากการประกอบอาหารมีปริมาณร้อยละ 10 ของสารอินทรีย์ทั้งหมด [1] โดยน้ำมันและไขมันในน้ำเสียนี้ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำและเป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำซึ่งเป็นผู้ผลิตในระบบนิเวศ ทำให้พืชน้ำสังเคราะห์แสงได้น้อยลง และน้ำมันและไขมันนี้จะขัดขวางการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างอากาศลงสู่น้ำทำให้การดำรงชีวิตของสัตว์น้ำได้รับผลกระทบ [2] การบำบัดหรือแยกน้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสียสามารถทำได้โดยวิธีการดูดซับซึ่งเป็นวิธีที่สามารถดำเนินการได้ง่าย อุปกรณ์น้อย ไม่ต้องการควบคุมระบบ [2] นอกจากนี้จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายชนิดที่นำมาใช้เป็นตัวดูดซับได้ เช่น ดอกธูปฤาษี [3] ผักตบชวา [4-5] ชานอ้อย [2] ฟางข้าว ลำต้นข้าวโพด ขี้เลื่อย [6] เนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้

มีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุนที่เกิดจากท่อลำเลียงต่างๆ ทำให้เกิดการดูดซับได้มากแตกต่างกันไปตามลักษณะโครงสร้างของชีวมวล การดูดซับน้ำมันและไขมันโดยชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับชีวมวลเหลือทิ้งดังกล่าวและลดปัญหาน้ำเสียได้อีกทางหนึ่ง นอกจากนี้การนำชีวมวลที่ดูดซับน้ำมันและไขมันแล้วมาอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิงจะทำให้ได้พลังงานใช้ทดแทนไม้ฟืนหรือถ่าน ซึ่งเป็นการตอบสนองต่อนโยบายของรัฐบาลที่มีการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพและพลังงานชีวภาพโดยรัฐบาลได้กำหนดเป้าหมายเพิ่มสัดส่วนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่ร้อยละ 25 ของความต้องการเชื้อเพลิงในภาคขนส่งทั้งประเทศภายในปี 2579 [7] และช่วยลดปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นจากการดูดซับได้ ซึ่งมีงานวิจัยของจอมภพและคณะ (2555) [8] ได้มีการศึกษาการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากแกลบผสมกับกลีเซอรีนพบว่าได้ค่าพลังงานความร้อน 3585-3916 แคลอรี่ต่อกรัม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการดูดซับน้ำมันโดยใช้ ดอกธูปฤาษี ชานอ้อยและผักตบชวา ซึ่งเป็นชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร และศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุที่สามารถดูดซับน้ำมันได้ดีเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงในชุมชน

วิธีการวิจัย

1. วิธีการเตรียมวัสดุดูดซับ

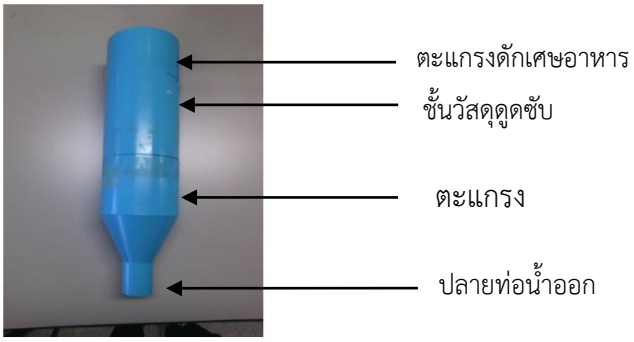
นำชานอ้อย ผักตบชวาและดอกธูปฤาษีปริมาณอย่างละ 20 กรัม มาล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดฝุ่นและสิ่งปนเปื้อนออก จากนั้นนำไปตากแห้งและอบที่ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บรรจุลงในถุงพลาสติกและปิดปากถุงให้แน่นเพื่อป้องกันความชื้น

2. วิธีการเตรียมอุปกรณ์กรองน้ำมันและไขมัน

ตัดท่อพีวีซีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2.5 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว หุ้มตะแกรงที่ปลายข้อต่อท่อน้ำ ใช้กาวติดข้อต่อท่อน้ำเข้าด้วยกันกับท่อพีวีซีและท่อพีวีซีรูปกรวย ใส่วัสดุดูดซับลงในท่อน้ำและปิดด้วยตะแกรงดักเศษอาหารด้านบน ซึ่งตะแกรงดักเศษอาหารสามารถถอดออกได้ เพื่อเปลี่ยนวัสดุดูดซับ ลักษณะของอุปกรณ์กรองน้ำมันและไขมันแสดงในภาพที่ 1

3. วิธีการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โดยในน้ำ 1 ลิตร จะประกอบด้วยน้ำมัน 50 มิลลิลิตร แป้งมันสำปะหลัง 2 มิลลิกรัม และน้ำตาล 2 มิลลิกรัม ผสมให้เข้ากัน แล้วปรับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมแล้วให้เป็น 7 ด้วย 6M H_2SO_4 และ 1 M NaOH



ภาพที่ 1 อุปกรณ์กรองน้ำมันและไขมัน

4. วิธีการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ

นำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมไว้แล้วปริมาตร 2 ลิตร มาเทผ่านอุปกรณ์กรองน้ำมันและไขมันที่มีชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นวัสดุดูดซับได้แก่ ดอกธูปฤาษี ชานอ้อยและผักตบชวา ปริมาณอย่างละ 20 กรัม เมื่อน้ำตัวอย่างอุปกรณ์กรองแล้วให้เทน้ำตัวอย่างผ่านตัวกรองซ้ำอีกทั้งหมด 7 ครั้ง จึงเก็บตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านตัวดูดซับไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและไขมันโดยวิเคราะห์ด้วยวิธีพาร์ทิชั่น –ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาประสิทธิภาพในการดูดซับ [2] ตามสมการ 1

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันและไขมัน (\%)} = \{(C_i - C_{ef}) / C_i\} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ C_i = ความเข้มข้นของน้ำมันเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_{ef} = ความเข้มข้นของน้ำมันที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

5. วิธีศึกษาการผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากตัวดูดซับที่ดีที่สุด

นำตัวอย่างที่ดูดซับน้ำมันและไขมันได้ดีมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยผสมตัวดูดซับที่ผ่านการดูดซับน้ำมันที่ดีที่สุดกับผงถ่านในอัตราของถ่านและตัวดูดซับที่ต่างกัน ได้แก่ 50:50 40:60 30:70 20:80 10:90 และ 0:100 คลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากันตามอัตราส่วน แล้วผสมตัวประสานคือ กากน้ำตาล ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 หรือ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นำไปอัดให้เป็นแท่งด้วยเครื่องอัดแท่งแบบใช้มือ ไล่ความชื้นออกจากแท่งเชื้อเพลิงโดยอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณคาร์บอนคงตัว ของเชื้อเพลิงอัดแท่งตามมาตรฐาน ASTM วิเคราะห์ค่าดัชนีแตกร่วนโดยนำถ่านอัดแท่งประมาณ 100 กรัม ใส่ถุงพลาสติกแล้วปล่อยจากที่สูง 180 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักถ่านอัดแท่งที่เหลือจากการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 มิลลิลิตร แล้วคำนวนหาค่าดัชนีแตกร่วนจากสูตร R= Wb/Wa เมื่อ Wa คือน้ำหนักถ่านก่อนปล่อยจากที่สูง Wb คือน้ำหนักถ่านที่เหลือจากการร่อนหลังปล่อยจากที่สูง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันของดอกธูปฤาษี ชานอ้อยและผักตบชวา

การดูดซับน้ำมันด้วยชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร ทำการศึกษาโดยมีการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำเสียชุมชน น้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้น มีปริมาณน้ำมันและไขมัน เท่ากับ 48.64-52.29 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อปรับค่าความเป็นกรดด่างของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 7 แล้วเทน้ำเสียสังเคราะห์ผ่านอุปกรณ์ทดลองดูดซับน้ำมันโดยมีดอกธูปฤาษี ผักตบชวา และ ชานอ้อย ปริมาณ 20 กรัม เป็นวัสดุดูดซับ (ภาพที่ 2) ผลจากการทดลองพบว่าน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการดูดซับด้วยดอกธูปฤาษี ผักตบชวาและชานอ้อย มีค่าน้ำมันและไขมันลดลงจาก 48.64-52.29 เป็น 0.24 2.15 และ 10.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุดูดซับทั้งสามชนิด พบว่า ดอกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันมากที่สุดเท่ากับ 99.54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างจากตัวดูดซับอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รองลงมาคือผักตบชวามีประสิทธิภาพการดูดซับ 95.56 เปอร์เซ็นต์ และชานอ้อยมีประสิทธิภาพการดูดซับ 78.14 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 1) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าดอกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันได้มากกว่า ผักตบชวา และชานอ้อย เนื่องจากโครงสร้างของดอกธูปฤาษี มีลักษณะเป็นเส้นใยฝอย ทำให้มีพื้นที่ผิวมากและอนุภาคของน้ำไม่ยึดเกาะ [9] จึงทำให้มีการดูดซับน้ำมันได้ดี ส่วนชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการดูดซับ

ได้น้อยกว่าเนื่องจากลักษณะโครงสร้างของชานอ้อยที่มีเส้นใยขนาดใหญ่ยาวและหยาบมีช่องขนาดใหญ่ [10] ทำให้อนุภาคน้ำยึดเกาะได้ง่าย ปริมาณน้ำมันและไขมันหลังดูดซับด้วยชานอ้อยจึงไม่ผ่านค่ามาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน โดยกรมควบคุมมลพิษกำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากชุมชนไว้ดังนี้ ค่าน้ำมันและไขมันมีค่าไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของรุ่งทิพย์และคณะ (2553) [3] ซึ่งใช้ดอกธูปฤาษีสดกำจัดน้ำมันออกจากน้ำเสียโรงอาหาร พบว่างานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากใช้ปริมาณของดอกธูปฤาษีมากกว่าจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันสูง และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jansi Rani และคณะ (2014) [5] ที่ทำการศึกษาการดูดซับน้ำมันด้วยผักตบชวา ซึ่งพบว่าการดูดซับของตัวดูดซับจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับและความไม่ชอบน้ำทำให้วัสดุที่มีพื้นที่ผิวมากและไม่ชอบน้ำจะทำให้สามารถดูดซับได้ดี



ดอกธูปฤาษี ชานอ้อย ผักตบชวา

ภาพที่ 2 ชีวมวลทางการเกษตรที่ใช้ศึกษาดูดซับน้ำมันและไขมัน

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำมันก่อน-หลังการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของดอกธูปฤาษี ผักตบชวา ชานอ้อย

ตัวดูดซับ	ปริมาณน้ำมัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)		ประสิทธิภาพ (%)
	ก่อนดูดซับ	หลังดูดซับ	
ดอกธูปฤาษี	52.29	0.24	$99.54^{a} \pm 0.01$
ผักตบชวา	48.64	2.15	$95.56^{b} \pm 0.41$
ชานอ้อย	49.55	10.83	$78.14^{c} \pm 1.94$

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในระหว่างแถวที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันเมื่อทดสอบแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากดอกธูปฤาษีที่ดูดซับน้ำมัน

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากดอกธูปฤาษีที่ดูดซับน้ำมันจะทำการอัดแท่งโดยมีการผสมดอกธูปฤาษีที่ดูดซับน้ำมันกับผงถ่านไม้ในอัตราส่วน 50:50 40:60 30:70 20:80 และ 90:10 โดยใช้กากน้ำตาล 10 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวประสาน หลังจากอัดแท่งแล้วพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถขึ้นรูปได้โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีปริมาณดอกธูปฤาษีที่ดูดซับน้ำมันไม่เกินร้อยละ 70 จะสามารถคงรูปได้ หากมีปริมาณดอกธูปฤาษีมากกว่าร้อย70 ขึ้นไป เชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถขึ้นรูปได้แต่จะมีลักษณะอ่อนนุ่ม และไม่คงรูป (**ภาพที่ 3**) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออัตราส่วนของดอกธูปฤาษีเพิ่มขึ้นส่งผลให้คุณสมบัติของเชื้อเพลิง ได้แก่ ความชื้น สารระเหย และค่าพลังงานความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อทำการเปรียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านไม้ร้อยละ 100 กับเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีการผสมดอกธูปฤาษีที่ดูดซับน้ำมันจะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีดอกธูปฤาษีดูดซับไขมันมีค่าพลังงานความร้อน (5207.23-6866.67 แคลอรีต่อกรัม) มากกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านไม้ (2636.63 แคลอรีต่อกรัม) ประมาณ 2-3 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันที่ถูกดูดซับในดอกธูปฤาษีมีค่าพลังงาน

ค่อนข้างสูงจึงส่งผลให้ค่าพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีดอกธูปฤาษีดูดซับน้ำมันสูงตามไปด้วย เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าพลังงานความร้อนด้วยวิธี DMRT พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีอัตราส่วนถ่านต่อดอกธูปฤาษีดูดซับไขมัน 30:70 20:80 และ 10:90 มีค่าพลังงานความร้อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่อัตราส่วนดังกล่าวให้ค่าพลังงานความร้อนมากกว่าอัตราส่วน 40:60 50:50 และ 100:0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ผลของงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุธีรา (2557) [11] ซึ่งใช้กากไขมันเป็นตัวประสานถ่านไม้ยางพาราแล้วพบว่ากากไขมันช่วยทำให้ค่าพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น ถ่านติดไฟเร็วขึ้นและทำให้น้ำเดือดได้เร็ว อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านและดอกธูปฤาษีดูดซับน้ำมัน คือ อัตราส่วนถ่านต่อดอกธูปฤาษีดูดซับน้ำมัน 50:50 40:60 และ 30:70 เนื่องจากมีค่าพลังงานความร้อนเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนและคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงอื่นๆ ที่ใกล้เคียงมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มีความชื้นต่ำ เชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถขึ้นรูปและคงรูปได้



100:0 50:50 40:60 30:70 20:80 10:90

ภาพที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่งจากดอกธูปฤาษีซับน้ำมันผสมผงถ่านและเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่าน

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่าน และถ่านกับดอกธูปฤาษีที่ดูดซับน้ำมัน

อัตราส่วน ถ่าน: ตัวดูดซับ	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	ดัชนีแตกร่วน	พลังงานความร้อน (แคลอรีต่อกรัม)
100:0	1.31±0.12	58.4±1.58	36.18±4.29	4.27	0.55±0.15	2636.63±33.92^{c}
50:50	1.25±0.05	27.68±2.64	69.03±1.52	3.02	0.99±0.01	5207.23±188.67^{b}
40:60	1.36±0.43	21.27±0.52	73.55±5.11	4.35	0.95±0.03	5388.8±501.27^{b}
30:70	1.34±0.06	20.59±6.21	77.99±2.85	4.28	1.00±0.00	6866.67±621.65^{a}
20:80	0.71±0.15	11.21±1.51	84.16±0.46	3.92	0.99±0.00	7014.9±178.40^{a}
10:90	1.32±0.10	7.58±0.71	87.09±1.31	4.00	0.99±0.00	7196.27±417.00^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในระหว่างแถวที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันเมื่อทดสอบแบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันของดอกธูปฤาษี ชานอ้อยและผักตบชวา และศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุที่สามารถดูดซับน้ำมันได้ดี ผลการศึกษาพบว่า ดอกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันมากที่สุดเท่ากับ 99.54 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือผักตบชวามีประสิทธิภาพการดูดซับ 95.56 เปอร์เซ็นต์ และชานอ้อยมีประสิทธิภาพการดูดซับ 78.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดอกธูปฤาษีที่ดูดซับน้ำมันนำมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิงโดยมีการผสมผงถ่านไม้กับดอกธูปฤาษีที่ดูดซับน้ำมันในอัตราส่วน 50:50 40:60 30:70 20:80 และ 90:10 มีกากน้ำตาล

10 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวประสาน หลังจากอัดแท่งแล้วพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถขึ้นรูปได้โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีปริมาณดอกธูปฤาษีที่ดูดซับน้ำมันไม่เกินร้อยละ 70 จะสามารถคงรูปได้ หากมีปริมาณดอกธูปฤาษีมากกว่าร้อย70 ขึ้นไป เชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถขึ้นรูปได้แต่จะมีลักษณะอ่อนนุ่ม และไม่คงรูป ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีดอกธูปฤาษีดูดซับไขมันมีค่าพลังงานความร้อน (5207.23-6866.67 แคลอรีต่อกรัม) มากกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านไม้ (2636.63 แคลอรีต่อกรัม) ประมาณ 2-3 เท่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านและดอกธูปฤาษีดูดซับน้ำมันไปใช้งานคือ อัตราส่วนถ่านต่อดอกธูปฤาษีดูดซับน้ำมัน 50:50 40:60 และ 30:70 เนื่องจากมีค่าพลังงานความร้อนเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (5000 แคลอรีต่อกรัม) และคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงอื่นๆ ที่ใกล้เคียงมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเช่น มีความชื้นต่ำ และสามารถขึ้นรูปและคงรูปได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่สนับสนุนทุนการวิจัยของบุคคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ประจำปีการศึกษา 2561

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2545). **น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย.** สืบค้น กันยายน 22, 2559, จาก www.pcd.go.th/public/Publications/print_water.cfm?task=wt.

[2] อรทัย วิเศษรัตน์, รินรดี งามสมบัติ, ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์, และจิตติมา ประสาระเอ. (2554). **การดูดซับน้ำมันโดยใช้ชานอ้อยและชานอ้อยปรับสภาพ**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

[3] รุ่งทิพย์ ลำดวล จินดาวัลย์ วิบูลย์อุทัย และเชาวยุทธ พรพิมลเทพ. (2553). ประสิทธิภาพการบำบัดออกจากน้ำเสียโรงอาหารโดยใช้ดอกฤาษีใบแคบ. **วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม.** 6(1), 42-51.

[4] Khan, E., Virojnaqud, W., and Ratpukdi, T. (2004). Use of biomass sorbents for oil removal from gas station runoff. **Chemosphere**. 57(1), 681-689.

[5] Jansi Rani, M., Murugan, M., Subramaniam, P. and Subramanian, E. (2014). A study on water hyacinth Eichhornia crassipes as oil sorbent. **Journal of Applied and Natural Science** 6 (1): 134-138.

[6] Lin, H., Wang, Z.T., Wang, H., and Zhu, Y.T. (2012). The study of oil absorption of natural biomass materials. **Journal of Functional Materials**. 43(17), 2412-2415.

[7] กระทรวงพลังงาน. (2558). แผนปฏิบัติการพัฒนาพลังงานทดแทนฯ ตามกรอบแผนแม่บทแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579. สืบค้นมิถุนายน 22, 2559,จาก www.dede.go.th/download/ files/AEDP%20Action%20Plan_Final.pdf

[8] จอมภพ แววศักดิ์, พงษ์ศักดิ์ จิตตบุตร, ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล และกำพล ประทีปชัยกูร. (2555). **คุณลักษณะของแท่งเชื้อเพลิงแกลบผสมกลีเซอรีน**. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 15(1), 24-32.

[9] วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. (2556). **ดอกธูปฤาษีวัชพืชกำจัดคราบน้ำมัน.** สืบค้น กันยายน 22, 2559, จาก www.nano.kmitl.ac.th/index.php/reser/360.

[10] ดุษฎี สุริยพรรณพงศ์, สุจิมน ตันวิเชียร, จิตติมา มานะกิจ และดวงรัฐน์ ชูวิสิกุล. (2557). **การสกัดและประเมินคุณลักษณะของเซลลูโลสจากชานอ้อย ผักตบชวา และดอกธูปฤาษี.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[11] สุธีรา สุนทรารักษ์. (2557). การใช้ประโยชน์กากไขมันในบ่อดักไขมันอย่างง่ายจากร้านอาหารร่วมกับเศษกระดาษและเศษใบไม้เพื่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 30 (1), 1-10.

FC13

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งจากมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาล

Feasibility Study of RDF-5 Production from Infectious Hospital Waste

พรเมธี คำพีร์ เสริมสุข บัวเจริญ และธเนศ ไชยชนะ*
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

จากข้อมูลของจังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีปริมาณขยะติดเชื้อรวม 1,124 kg/วัน หรือ 410.26 ตัน/ปี ซึ่งประกอบด้วยขยะกลุ่มผ้า กระดาษ ยางและพลาสติก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำขยะติดเชื้อมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF – 5 โดยการปรับอัตราส่วนผสมของขยะชนิดต่าง ๆ และทำการอัดแท่งโดยใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสาน จากนั้นทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนตัวประสานที่ 30%โดยมวล และอัตราส่วน 1:3:1 (กลุ่มผ้า กลุ่มกระดาษ และกลุ่มยางและพลาสติก) ปริมาณสารระเหยมีค่ามากที่สุดคือ 82.34% ปริมาณคาร์บอนมากที่สุด 8.91% และค่าความร้อนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 5,246 kcal/kg ที่ปริมาณตัวประสานกากน้ำตาล 10%โดยมวล ศักยภาพพลังงานรวมของขยะมูลฝอยติดเชื้อของจังหวัดเชียงใหม่มีค่าเท่ากับ 10,382.33 GJ/ปี หรือ 595.58 MJ/เตียง/วัน

คำสำคัญ : มูลฝอยติดเชื้อ, เชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5), ตัวประสาน

*Corresponding author: Tel.: 081-5306768. E-mail address: Tanatecha@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันโรงพยาบาลต่างๆ ต้องประสมปัญหาเกี่ยวกับการจัดการขยะติดเชื้อโดยจากรายงานของ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขพบว่า ปัจจุบันประเทศไทยมีสถานพยาบาล ซึ่งได้แก่ โรงพยาบาล ศูนย์บริการ สาธารณสุข โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล สถานีอนามัย คลินิก ทั้งนี้จัดเป็นของภาครัฐและเอกชนจำนวนมากกว่า 25,000 แห่ง ซึ่งมีจำนวนเตียงประมาณ 130,000 เตียง จากข้อมูลการศึกษาของ กรมควบคุมมลพิษ คาดการณ์ว่าในปัจจุบันมีอัตราการเกิดมูลฝอยติดเชื้อเฉลี่ย 0.26-0.65 kg/เตียง/วัน และมีอัตราเพิ่มขึ้นปีละประมาณ 5.5% โดยในปี พ.ศ. 2549 มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อจากสถานพยาบาลทั้งของรัฐและเอกชนประมาณ 37,000 ตันต่อปี เป็นมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลประมาณ 34% ที่เหลือเกิดขึ้นในสถานพยาบาลในส่วนภูมิภาคอีกประมาณ 66% [1] ภาพที่ 1 แสดงสัญลักษณ์ขยะติดเชื้อโดยสามารถแบ่งขยะติดเชื้อได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- กลุ่มที่ 1 ประเภททั่วไป ประกอบด้วย สำลี ผ้าก๊อซ ผ้าพันแผล เฝือก พลาสเตอร์ กระดาษชำระ ยาง/พลาสติก ถุงมือยาง ชุดให้สารน้ำเกลือแร่และเลือด (พลาสมา) กระบอกฉีดยาพลาสติกมีสัดส่วน 92.32% - 95.66% ของมูลฝอยติดเชื้อทั้งหมด
- กลุ่มที่ 2 ประเภทโลหะ ประกอบด้วย เข็มฉีดยา ใบมีด ของมีคม มีสัดส่วน 2.82% - 4.84% ของมูลฝอยติดเชื้อทั้งหมด

- กลุ่มที่ 3 ประเภทแก้ว ประกอบด้วย ขวดแก้ว กระบอกฉีดยา (แก้ว) จานแก้วเพาะเลี้ยงเชื้อ แผ่นกระจก แผ่นกรอบกระจก มีสัดส่วน 1.52% - 2.84% ของมูลฝอยติดเชื้อทั้งหมด



ภาพที่ 1 ขยะติดเชื้อ [2]

ปัจจุบันจึงมีการนำเทคโนโลยีการทำลายเชื้อโรคด้วยไอน้ำซึ่งเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ใช้บำบัดมูลฝอยติดเชื้อให้ปลอดต่อเชื้อโรค ซึ่งต้องควบคุมความดันร่วมกับอุณหภูมิ และระยะเวลานึ่งอบที่เหมาะสมเพื่อการทำลายหรือฆ่าเชื้อโรคในมูลฝอยติดเชื้อที่มีประสิทธิภาพ ข้อดีของการทำลายเชื้อโรคด้วยไอน้ำ

- ปริมาตรของมูลฝอยลดลงพลาสติกบางชนิดไม่เปลี่ยนสภาพ
- ดัชนีทางชีววิทยา เพื่อตรวจสอบคุณภาพการฆ่าเชื้อ ทดสอบได้ง่าย
- ดำเนินการง่าย เป็นเทคโนโลยีที่สะดวกที่ใช้ในสถานพยาบาล
- สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนในมูลฝอยสถานพยาบาลและเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดมูลฝอยห้องปฏิบัติการ
- ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ [3-5]

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการนำเทคโนโลยีการทำลายเชื้อโรคด้วยไอน้ำมาใช้บำบัดมูลฝอยติดเชื้อแทนการเผาก็จะเกิดขยะในลักษณะตามกลุ่มของขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นแต่กลายเป็นขยะที่ปลอดเชื้อ ซึ่งก็จะกลายเป็นขยะทั่วไป และต้องทำการกำจัดตามแบบของการกำจัดขยะทั่วไป เช่น การเผา การย่อยสลายหรือฝังกลบ เป็นต้น [6] ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากขยะทั้ง 3 กลุ่มข้างต้นพบว่าขยะกลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย สำลี ผ้าก๊อซ ผ้าพันแผล เฝือก พลาสเตอร์ กระดาษชำระ ยาง/พลาสติก ถุงมือยาง ชุดให้สารน้ำเกลือแร่และเลือด (พลาสมา) กระบอกฉีดยาพลาสติก อีกทั้งยังมีสัดส่วนสูง 92.32% - 95.66% โดยมวลของมูลฝอยติดเชื้อทั้งหมด ซึ่งขยะเหล่านี้สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 ได้ และเมื่อคิดจากสัดส่วนของการเกิดขยะในกลุ่มนี้ก็มีปริมาณ 0.2-0.6 kg/เตียง/วัน เมื่อพิจารณาโรงพยาบาลขนาดกลางที่มีจำนวนเตียง 200 เตียง ก็จะพบว่ามีศักยภาพด้านปริมาณของขยะประมาณ 100 kg/วัน (3 ตัน/เดือน) [7]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีเป้าประสงค์เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) โดยใช้ขยะในกลุ่มที่ 1 ของมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาลในการผลิต และทำการประเมินศักยภาพทางด้านปริมาณและพลังงานของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) ที่ผลิตได้

วิธีการวิจัย

- จัดหาวัสดุขยะสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5)
- แยกขยะเป็นกลุ่มตามลักษณะ ซึ่งประกอบด้วย สำลี ผ้าก๊อซ ผ้าพันแผล เฝือก พลาสเตอร์ กระดาษชำระ ยาง/พลาสติก ถุงมือยาง ชุดให้สารน้ำเกลือแร่และเลือด (พลาสมา) กระบอกฉีดยาพลาสติก
- ย่อยขยะในแต่ละกลุ่มให้มีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว (RDF-3 Fluff RDF) ด้วยเครื่องย่อยเชิงกล
- ผสมขยะในแต่ละกลุ่มในสัดส่วนต่างๆ ประกอบด้วย ผ้า กระดาษ ยางและพลาสติก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนของการผสมขยะ

สัดส่วนการผสม (โดยมวล)	RDF-5						
	RDF-5-1	RDF-5-2	RDF-5-3	RDF-5-4	RDF-5-5	RDF-5-6	RDF-5-7
กลุ่มผ้า	1	1	1	1	1	2	3
กลุ่มกระดาษ	1	1	1	2	3	1	1
กลุ่มยางและพลาสติก	1	2	3	1	1	1	1

- ผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) โดยใช้มูลฝอยติดเชื้อ โดยกระบวนการอัดเย็นมีเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกอัด 6.5 cm และกระบวนการอัดด้วยเครื่องอัดแบบไฮโดรลิด ใช้กากน้ำตาลเป็นตัวประสานดังแสดงดังภาพที่ 2
- ทดสอบสมบัติต่างของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) โดยใช้มูลฝอยติดเชื้อ ประกอบด้วยความหนาแน่น องค์ประกอบเชิงปริมาณ (Proximate Analysis) องค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis) และ ค่า Heat Value
- ประเมินศักยภาพทางด้านปริมาณและพลังงานของมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาลในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่



ภาพที่ 2 การผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5)

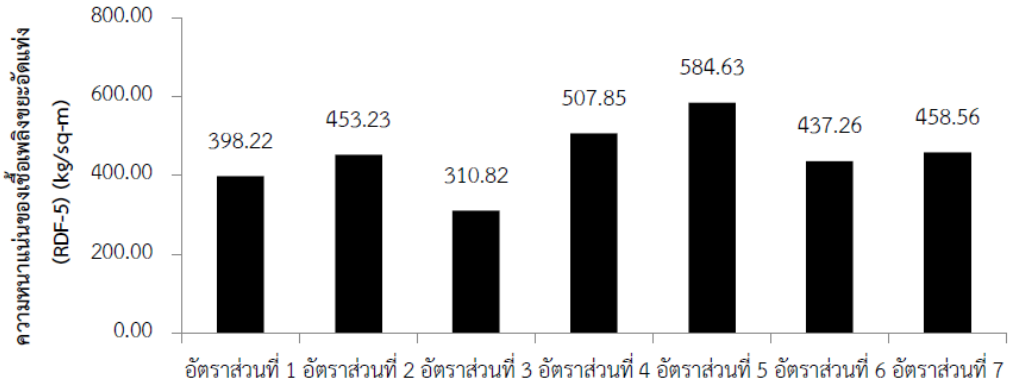
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF – 5

จากการทดลองหาตัวประสานที่เหมาะสมในการผลิตขยะเชื้อเพลิงอัดแท่งคือ กากน้ำตาล จึงทำการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยผสมขยะในสัดส่วนแต่ละกลุ่ม (กลุ่มผ้า กลุ่มกระดาษ กลุ่มยางและพลาสติก) ในปริมาณเท่ากัน โดยใช้อัตราส่วนในตารางที่ 1 ตารางแสดงอัตราส่วนของการผสมขยะในกลุ่มต่างๆ โดยกำหนดอัตราส่วนของตัวประสานที่เป็นกากน้ำตาลในอัตราส่วนคงที่ คือ 30%โดยมวล และใช้แรงในการอัดคงที่ (ครั้งนี้ไม่สามารถทราบค่าของแรงอัดได้เนื่องจากไม่มีเครื่องมือวัด ผู้วิจัยใช้วิธีการกำหนดระยะของการอัดให้มีค่าคงที่และตั้งสมติฐานว่าแรงอัดที่เกิดขึ้นมีค่าคงที่) จากนั้นทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักหามวลและทำการคำนวณค่าความหนาแน่น โดยความหนาแน่นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 และผลจากการคำนวณแสดงดังภาพที่ 3

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1}$$

ทั้งนี้พบว่าอัตราส่วนที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มผ้า 1 ส่วน กลุ่มกระดาษ 3 ส่วน และกลุ่มยางและพลาสติก 1 ส่วน มีความหนาแน่นสูงที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 584.63 kg/m^3 ดังนั้นในการพิจารณาในส่วนของอัตราส่วนผสมของตัวประสานจะใช้อัตราส่วนที่ 5 ในการดำเนินการต่อไป

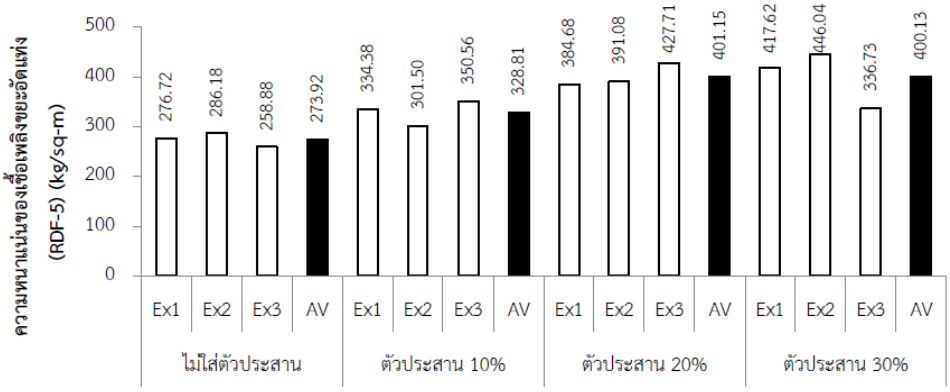


ภาพที่ 3 กราฟแสดงความหนาแน่นของขยะติดเชื้อในอัตราส่วนตัวประสาน 30% โดยมวล

อัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวประสานในการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF – 5

จากการทดลองที่ผ่านมาทำให้ทราบความหนาแน่นของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง พบว่าอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นมากที่สุดคืออัตราส่วนที่ 5 โดยมีอัตราส่วนของขยะคือ 1:3:1 (กลุ่มผ้า กลุ่มกระดาษ และกลุ่มยางและพลาสติก) ดังนั้นในการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวประสานจึงใช้อัตราส่วนที่ 5 ในการดำเนินการโดยการปรับอันตราส่วนตัวประสานเป็น 20%โดยมวล 10%โดยมวล และไม่มีตัวประสานและทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ผลที่ได้แสดงในภาพที่ 4

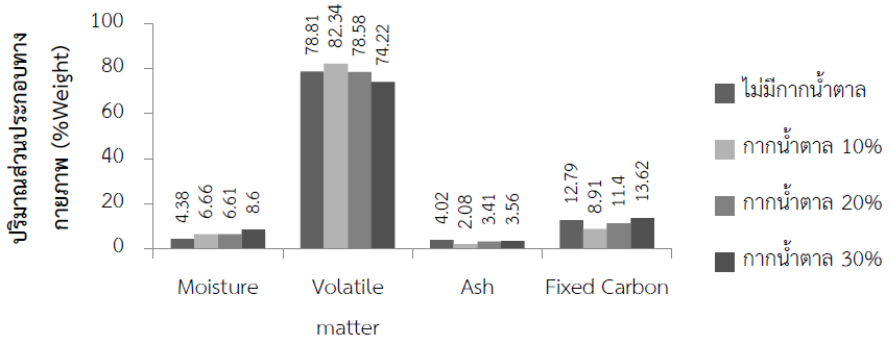
จากการทดลองพบว่าอันตราส่วนตัวประสาน 20%โดยมวล มีความหนาแน่นมากที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 401.15 kg/m^3 รองลงมาคืออันตราส่วนตัวประสาน 30%โดยมวล มีความหนาแน่น 400.13 kg/m^3 อันตราส่วนตัวประสาน 10%โดยมวล มีความหนาแน่น 328.81 kg/m^3 และไม่มีตัวประสานมีความหนาแน่นน้อยที่สุด 273.92 kg/m^3



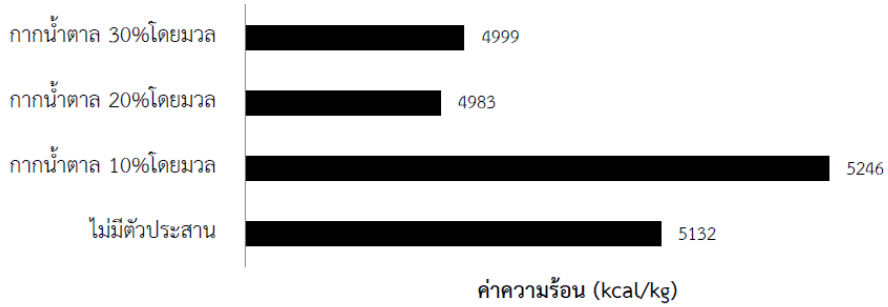
ภาพที่ 4 กราฟแสดงความหนาแน่นของขยะติดเชื้อที่อัตราส่วนตัวประสานแตกต่างกัน

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5)

ทำการทดลองผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง RDF-5 โดยใช้เครื่องอัดแท่งแบบอัดเย็นที่อัตราส่วนของกลุ่มผ้า กลุ่มกระดาษและกลุ่มยางและพลาสติก อัตราส่วนคือ 1:3:1 และใช้กากน้ำตาลในสัดส่วนไม่มีตัวประสาน ตัวประสานกากน้ำตาล 10% 20% และ30% โดยน้ำหนักของวัสดุ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ในการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณ (Proximate Analysis) ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอน โดยใช้เครื่องมือ Macro TGA, TGA 701, LECO, USAวิธีการทดสอบอ้างถึง WI-RES-Macro TGA-001 และ In-house method based on ASTM D7582-15 มีค่าการแสดงผลการทดสอบดังภาพที่ 5 และค่าความร้อนที่ได้จากการทดสอบแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ปริมาณส่วนประกอบทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง RDF-5



ภาพที่ 6 ค่าความร้อนของของเชื้อเพลิงอัดแท่ง RDF-5

การประเมินศักยภาพทางด้านพลังงานของมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาลในพื้นที่ จังหวัดเชียงใหม่

เมื่อได้ค่าความร้อนจากการทดสอบเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งจากมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาล ได้ทำการประเมินศักยภาพพลังงานจากมูลฝอยติดเชื้อในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่มีโรงพยาบาลในสังกัดกระทรวงสาธารณสุขทั้งหมด 24 แห่ง พบว่าโรงพยาบาลมีการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือโรงพยาบาลกำจัดเองและโรงพยาบาลให้บริษัทเอกชนที่รับกำจัดดำเนินการ จากการศึกษาการเก็บรวบรวมปริมาณขยะของกฎกระทรวงว่าด้วยการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2556 พบว่า สถานบริการสาธารณสุขขนาดใหญ่และขนาดกลาง (โรงพยาบาลชุมชน) ส่วนใหญ่มีการเก็บข้อมูลปริมาณมูลฝอยติดเชื้ออย่างเป็นระบบ แต่สถานบริการขนาดเล็ก เช่น โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล คลินิก และสถานพยาบาลสัตว์ ไม่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลของมูลฝอยติดเชื้อ จึงเป็นสาเหตุให้ข้อมูลของมูลฝอยติดเชื้อไม่ได้อยู่ในระบบเป็นจำนวนหนึ่ง จากข้อมูลตารางที่ 2 ศักยภาพทางด้านพลังงานของมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาลในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า มีอัตราการเกิดขยะ 410.26 ตัน/ปี โดยมีศักยภาพพลังงานรวมเท่ากับ 10,382.33 GJ/ปี หรือ 595.58 MJ/เตียง/วัน

จากการศึกษาพบว่าโรงพยาบาลดอยหล่อมีศักยภาพได้ปริมาณมากที่สุดคือ 91.25 ตัน/ปี โดยมีศักยภาพ 210.89 MJ/เตียง/วัน หรือคิดเป็น 2,309.24 GJ/ปี และโรงพยาบาลหางดงได้ปริมาณน้อยที่สุดคือ 1.46 ตัน/ปี โดยมีศักยภาพ 10.12 MJ/เตียง/วัน หรือคิดเป็น 36.95 GJ/ปี

ตารางที่ 2 ศักยภาพทางด้านพลังงานของมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาลในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่

โรงพยาบาล	จำนวนเตียง	อัตราการเกิดขยะ (ตัน/ปี)	ศักยภาพพลังงาน (GJ/ปี)	โรงพยาบาล	จำนวนเตียง	อัตราการเกิดขยะ (ตัน/ปี)	ศักยภาพพลังงาน (GJ/ปี)
โรงพยาบาลสันป่าตอง	120	40.15	1,016.06	โรงพยาบาลอมก๋อย	30	3.65	92.37
โรงพยาบาลสันกำแพง	30	13.14	332.53	โรงพยาบาลสารภี	30	4.74	120.08
โรงพยาบาลแม่วาง	30	26.64	674.30	โรงพยาบาลเวียงแหง	30	5.84	147.79
โรงพยาบาลแม่ออน	30	1.82	46.18	โรงพยาบาลเชียงดาว	60	18.25	461.85
โรงพยาบาลดอยเต่า	30	10.95	277.11	โรงพยาบาลดอยสะเก็ด	60	29.2	738.96
โรงพยาบาลจอมทอง	210	32.85	831.33	โรงพยาบาลแม่แตง	60	12.78	323.29
โรงพยาบาลสันทราย	30	4.74	120.08	โรงพยาบาลแม่อาย	60	19.71	498.80
โรงพยาบาลหางดง	10	1.46	36.95	โรงพยาบาลฮอด	60	10.95	277.11
โรงพยาบาลฝาง	198	43.8	1,108.43	โรงพยาบาลดอยหล่อ	30	91.25	2,309.24
โรงพยาบาลสะเมิง	30	9.12	230.92	โรงพยาบาลพร้าว	60	29.2	738.96
รวม	**1,198**	**410.26**	**10,382.33**	**เฉลี่ย**	**59.90**	**20.51**	**1,038.23**

หมายเหตุ : ข้อมูลปี พ.ศ. 2556

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) โดยใช้ขยะในกลุ่มที่ 1 ของมูลฝอยติดเชื้อจากโรงพยาบาลในการผลิต และทำการประเมินศักยภาพทางด้านปริมาณและพลังงานของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) ที่ผลิตได้ ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

- จังหวัดเชียงใหม่มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อรวม 1,124 kg/วัน หรือคิดเป็น 410.26 ตันต่อปี โดยมีอัตราการเกิดขยะติดเชื้อคิดเป็น 1.18 kg/เตียง/วัน
- เมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) พบว่าอัตราส่วนตัวประสานที่เหมาะสมที่ 30%โดยมวล
- อัตราส่วนของมูลฝอยติดเชื้อที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) คือ อัตราส่วน 1:3:1 (กลุ่มผ้า กลุ่มกระดาษ และกลุ่มยางและพลาสติก)
- องค์ประกอบเชิงปริมาณของตัวประสาน 10%โดยมวลมีค่าของปริมาณสารระเหย (Volatile matter) มากที่สุดคือ 82.34% และมีค่าของปริมาณคาร์บอน (Fixed Carbon) 8.91% ซึ่งเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งมีค่าของปริมาณสารระเหยและปริมาณคาร์บอนสูงยิ่งมีประสิทธ์ภาพสูง
- ค่าความร้อน (N.H.V.) ของเชื้อเพลิงขยะอัดแท่ง (RDF-5) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 5,246 kcal/kg ที่อัตราส่วนตัวประสาน 10%โดยมวลและที่อัตราส่วนขยะ 1:3:1
- ศักยภาพพลังงานรวมของขยะมูลฝอยติดเชื้อของจังหวัดเชียงใหม่มีค่าท่ากับ 10,382.33 GJ/ปี หรือ 595.58 MJ/เตียง/วัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ ที่ให้ความปรึกษา ข้อเสนอแนะ แนวคิด ช่วยเหลือ และแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและวิทยาลัยพลังงานทดแทน ที่อำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่เครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ในการวิจัยครั้งนี้ สุดท้ายขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องในการวิจัย “การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงขยะอัดแท่งจากมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาล” ทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือจนสามารถดำเนินโครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2555, แนวทางในการจัดการมูลฝอยติดเชื้อโดยเทคโนโลยีการทาลายเชื้อด้วยไอน้ำ ณ แหล่งกาเนิด

[2] http://nwnt.prd.go.th/centerweb/News/NewsDetail?NT01_NewsID=WNSOC5905290010006 สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม 2560

[3] เขมจิรา สายวงค์เปี้ย, น้าฝน เอกตาแสง, 2560, ระบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดลาปาง, คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, การประชุมวิชาการระบบสุขภาพชุมชนระดับชาติ ครั้งที่ 1

[4] การประชุมเชิงปฏิบัติการ, 2557, การจัดการมูลฝอยติดเชื้อภาคเหนือประจาปี 2557,กระทรวงสาธารณสุข, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

[5] ศูนย์อนามัยที่ 5 ราชบุรี, โปรแกรมกากับการขนส่งมูลฝอยติดเชื้อ, http://apps.hpc.go.th/waste/,สืบค้นเมื่อ 4 กันยายน 2560

[6] ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2552, การศึกษาแนวทางบริหารจัดการขยะชุมชนเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนแบบครบวงจร (ระดับชุมชน) , รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

[7] กรมควบคุมมลพิษ, 2556, สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2556, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

FC19

การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน

Development of Briquettes Fuel from Sewage Sludge and Coconut Meal for Alternative Energy

ประนิตดา เพ็งงิ้ว* เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์ และนภารัตน์ ยาเคน
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและกากมะพร้าวที่มีอัตราส่วน 100:0, 80:20, 60:40, 50:50, 40:60, 20:80 และ 0:100 โดยทำการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งตามมาตรฐาน ASTM พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าพลังงานความร้อนใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนมากที่สุด คือ อัตราส่วน 0:100 โดยมีค่าพลังงานความร้อน เท่ากับ 4,764.90 (±14.09) cal/g ปริมาณความชื้น 5.84 (±0.27) % ปริมาณเถ้า 0.85 (±0.08) % ปริมาณสารระเหย 89.91 (±0.59) % ปริมาณคาร์บอนคงตัว 3.40 (±0.32) % และสามารถลุกติดไฟได้โดยใช้เวลาในการกระตุ้น 1 นาที

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงอัดแท่ง กากตะกอนน้ำเสียชุมชน กากมะพร้าว

*Corresponding author: Tel.: 086-1335809. E-mail address: jeab_croc@hotmail.com

บทนำ

ปัญหาด้านพลังงานของไทยเป็นปัญหาหลักที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตไม่ว่าจะเป็นปัญหาด้านราคาพลังงานที่ใช้ในครัวเรือน เช่น แก๊สหุงต้ม และน้ำมัน ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะเดียวกันคนไทยก็ยังคงมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นด้วย จึงจำเป็นต้องมีการคิดค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนภายในประเทศให้เพียงพอกับความต้องการของประชากรส่วนใหญ่ ที่ยังคงมีความต้องการใช้เชื้อเพลิง เช่น ฟืนและถ่านไม้ ในการหุงต้ม ปิ้ง ย่าง ทั้งในครัวเรือนและร้านอาหาร เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก จึงเป็นสาเหตุสำคัญของการทำลายทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อม จากปัญหาดังกล่าวและความต้องการในการใช้พลังงานทดแทนของประเทศที่เพิ่มสูงขึ้น จึงมีการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาแปรรูปให้เป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง เช่น ก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้ง กะลามะพร้าว ซังข้าวโพด มันสำปะหลัง แกลบ ฟางข้าว ขี้เลื่อย ชานอ้อย ผักตบชวา และเศษไม้ต่าง ๆ เป็นต้น เพื่อทดแทนพลังงานที่อาจจะหมดไปในอนาคต [1]

ผู้วิจัยจึงได้ทำการสำรวจตามแหล่งชุมชน พบว่าคนไทยมีความนิยมในการบริโภคอาหารที่ทำมาจากกะทิ จึงมีกากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นกะทิ ซึ่งมักไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์จำนวนมากทั้งจากตลาดสดและบ้านเรือน นอกจากนี้ยังพบว่าในพื้นที่เขตชุมชนเมืองที่มีโรงบำบัดน้ำเสียจะมีกากตะกอนที่เป็นของเสียที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียในปริมาณมาก ซึ่งเป็นภาระในการจัดการ ผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะนำวัสดุทั้งสองชนิด คือกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและกากมะพร้าวมาพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ซึ่งนับว่าเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนและช่วยลดภาระในการจัดการของเสีย อีกทั้งยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ในชุมชนมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

วิธีการวิจัย

นำกากตะกอนน้ำเสียชุมชน (ภาพที่ 1) และกากมะพร้าว (ภาพที่ 2) มาคลุกเคล้ากัน โดยกำหนดอัตราส่วนน้ำหนักกากตะกอนน้ำเสียชุมชนต่อกากมะพร้าว จำนวน 7 อัตราส่วน ดังนี้ 100:0 80:20 60:40 50:50 40:60 20:80 และ 0:100 แล้วทำการอัดแท่งด้วยกระบอกอัด (ภาพที่ 3) โดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน และนำไปตากแดดเป็นเวลา 7 วัน เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ความยาว 12 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกลวง 1 เซนติเมตร



ภาพที่ 1 กากตะกอนน้ำเสียชุมชน



ภาพที่ 2 กากมะพร้าว



ภาพที่ 3 การอัดแท่งเชื้อเพลิงด้วยกระบอกอัด

จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังนี้

การหาค่าพลังงานความร้อน (% Heating Value) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 5865 [2]

การหาปริมาณความชื้น (% Moisture) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3173 [2]

การหาปริมาณเถ้า (% Ash) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3174 [2]

การหาปริมาณสารระเหย (% Volatile Matter) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3175 [2]

การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (% Fixed Carbon) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3172 [2]

การทดสอบการลุกติดไฟของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

นำเชื้อเพลิงวางใส่ตะแกรงบนเตาแก๊ส แล้วทำการติดไฟ หลังจากนั้นจับเวลาการลุกติดไฟของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ตั้งแต่เริ่มติดไฟจนกระทั่งไฟมอดเหลือแต่เถ้าและไม่มีประกายไฟ พร้อมทั้งสังเกตการปะทุไฟและการเกิดควันจากเชื้อเพลิงอัดแท่ง แล้วจดบันทึก

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ ด้วยการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและกากมะพร้าว มีผลการทดลอง ดังนี้

1) ค่าพลังงานความร้อน

เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าพลังงานความร้อนสูงที่สุด คืออัตราส่วน 0:100 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีกากมะพร้าวเพียงชนิดเดียว โดยมีค่าพลังงานความร้อน 4,764.90 (±14.09) cal/g ใกล้เคียงมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (5,000 cal/g) เนื่องจากกากมะพร้าวมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ [3] ส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนที่มีกากมะพร้าวเป็นส่วนผสมในปริมาณมากมีค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าอัตราส่วนที่มีปริมาณกากมะพร้าวน้อย (ตารางที่ 1) อย่างไรก็ตามวัตถุดิบที่ไม่ผ่านการเผาไหม้ก่อนการอัดแท่งจะมีค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่าวัตถุดิบที่นำไปเผาไหม้ก่อนการอัดแท่ง ดังเช่น งานวิจัย [4] ที่ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุดที่ทำการเผาให้เป็นถ่านก่อนนำมาอัดแท่ง พบว่า มีค่าพลังงานความร้อนสูงถึง 5,920 cal/g งานวิจัย [5] ที่พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีส่วนผสมระหว่างถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลังอัตราส่วน 9:1 มีค่าพลังงานความร้อน 6,580 cal/g และงานวิจัย [6] ที่พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนมีค่าพลังงานความร้อน 6,134 cal/g

2) ความชื้น

เชื้อเพลิงอัดแท่งเกือบทุกอัตราส่วนมีปริมาณความชื้นไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (ตารางที่ 1) ซึ่งกำหนดไว้ว่าค่าความชื้นต้องไม่เกิน 8% โดยค่าความชื้นจะส่งผลต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง หากมีปริมาณความชื้นสูงจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ทำให้ค่าความร้อนที่ได้ต่ำลง [7] ดังนั้นจึงควรทำการลดความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งลงโดยการตากแดดก่อนนำไปใช้งาน

3) เถ้า

เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีปริมาณเถ้ามากที่สุด คืออัตราส่วนที่มีกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและกากมะพร้าว 100:0 โดยมีปริมาณเถ้า 32.86 (±0.71) % และพบว่าอัตราส่วนที่มีกากมะพร้าวเป็นส่วนผสมมากขึ้น ได้แก่ อัตราส่วน 80:20 60:40 50:50 40:60 20:80 และ 0:100 มีปริมาณเถ้าลดลง ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้าน้อยที่สุด คือ อัตราส่วนที่มีกากมะพร้าวเพียงชนิดเดียว โดยมีปริมาณเถ้า 0.85 (±0.08) % (ตารางที่ 1) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากในกากมะพร้าวมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบ ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้เกือบทั้งหมด จึงมีปริมาณเถ้าน้อย ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดไว้ว่าต้องมีปริมาณเถ้าไม่เกิน 8% โดยหากเชื้อเพลิงอัดแท่งมีปริมาณเถ้ามากจะเป็นปัญหาในการเผาไหม้และเพิ่มความยุ่งยากในการกำจัดเถ้าที่เกิดขึ้น [7]

4) สารระเหย

เชื้อเพลิงอัดแท่งทุกอัตราส่วนมีปริมาณสารระเหยเกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดไว้ว่าต้องมีปริมาณสารระเหยไม่เกิน 25% โดยอัตราส่วนที่มีส่วนผสมเป็นกากมะพร้าวเพิ่มมากขึ้นจะมีปริมาณสารระเหยสูงขึ้นมากด้วย (ตารางที่ 1) เนื่องจากในกากมะพร้าวมีน้ำมัน ประกอบกับงานวิจัยนี้ทำการอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบเย็น ซึ่งไม่มีการเผาวัตถุดิบให้กลายเป็นถ่านก่อน จึงไม่มีการเผาไหม้สารระเหยให้ออกไปก่อนที่จะทำการอัดแท่ง จึงส่งผลให้ทุกอัตราส่วนมีปริมาณสารระเหยสูง การที่มีปริมาณสารระเหยสูงจะมีแนวโน้มที่มีค่าพลังงานความร้อนสูงด้วย อย่างไรก็ตามสารที่ระเหยได้บางชนิดอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อวัสดุหรืออุปกรณ์ที่นำเชื้อเพลิงอัดแท่งไปใช้งาน เช่น สารอัลคาไลน์ในทะลายปาล์มจะกลายเป็นยางเหนียวเกาะติดท่อน้ำในห้องเผาไหม้ทำให้ประสิทธิภาพของหม้อน้ำลดลง [7] นอกจากนี้การที่เชื้อเพลิงอัดแท่งมีปริมาณสารระเหยสูงนั้นจะทำให้การลุกไหม้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และมอดดับลงในระยะเวลาอันสั้น ส่งผลให้เกิดความสิ้นเปลืองแท่งเชื้อเพลิงเมื่อนำไปใช้งาน

5) คาร์บอนคงตัว

เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงที่สุด คืออัตราส่วน 0:100 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีกากมะพร้าวเพียงชนิดเดียว โดยมีปริมาณคาร์บอนคงตัว 3.40 (± 0.32) % แตกต่างกับอัตราส่วนที่มีกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเป็นส่วนผสมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 (ตารางที่ 1) อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงอัดแท่งจากการวิจัยนี้ได้ทำการอัดสด (อัดเย็น) ซึ่งไม่ได้ทำการเผาให้เป็นถ่านก่อนนำมาอัดแท่งจึงมีปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำกว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำการเผาก่อนนำมาอัดแท่ง ดังเช่น เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด ที่พบว่ามีคาร์บอนคงตัว 61.7 % [4] และเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนเปียก:เปลือกทุเรียนเผา อัตราส่วน 5:5 มีคาร์บอนคงตัว 39.9% [8] ซึ่งการที่เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคาร์บอนคงตัวสูงนั้นจะทำให้เกิดการสันดาปเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีปริมาณเถ้าน้อย และมีค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้น ตลอดจนมีช่วงเวลาในการลุกไหม้นาน [7]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางด้านเคมีของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและกากมะพร้าว

อัตราส่วน (กากตะกอนน้ำเสียชุมชน:กากมะพร้าว)	ความชื้น (%)	เถ้า (%)	สารระเหย (%)	คาร์บอนคงตัว (%)	ค่าพลังงานความร้อน (kcal/kg)
100:0	6.98^{b} ± 0.49	32.86^{a} ± 0.71	59.77^{f} ± 0.38	0.40^{b} ± 0.32	$2,736.06^{g}$ ± 54.79
80:20	6.64^{bc} ± 0.16	22.50^{b} ± 0.31	69.58^{e} ± 0.35	1.28^{b} ± 0.17	$3,296.37^{f}$ ± 15.69
60:40	7.31^{b} ± 0.47	14.41^{c} ± 0.42	77.68^{d} ± 0.24	0.60^{b} ± 0.47	$3,707.38^{e}$ ± 29.27
50:50	7.01^{b} ± 0.54	12.72^{d} ± 0.04	79.75^{c} ± 0.22	0.52^{b} ± 0.49	$3,986.62^{d}$ ± 37.26
40:60	9.98^{a} ± 0.05	9.95^{e} ± 0.91	79.50^{c} ± 0.47	1.16^{b} ± 0.66	$4,117.67^{c}$ ± 36.56
20:80	3.15^{d} ± 0.18	4.87^{f} ± 0.72	91.02^{a} ± 0.41	0.96^{b} ± 0.67	$4,404.80^{b}$ ± 22.08
0:100	5.84^{c} ± 0.27	0.85^{g} ± 0.08	89.91^{b} ± 0.59	3.40^{a} ± 0.32	$4,764.90^{a}$ ± 14.09

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยสถิติ DMRT

6) ลักษณะการลุกติดไฟ

เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีกากมะพร้าวเป็นส่วนผสมสามารถลุกติดไฟได้ โดยในช่วงแรกของการติดไฟจะมีควันเกิดขึ้นและค่อยๆ ดับลง เหลือเพียงเปลวไฟสีส้มฟ้าลุกโชนขึ้นเหนือแท่งเชื้อเพลิง และมีการปะทุไฟเกิดขึ้นเล็กน้อยในระหว่างการลุกติดไฟ อัตราส่วนที่สามารถลุกติดไฟได้ด้วยการกระตุ้นที่ใช้เวลาน้อยที่สุด คือ 0:100 (ภาพที่ 4) ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีกากมะพร้าวเพียงอย่างเดียว โดยใช้เวลาในการกระตุ้นเพียง 1 นาที เนื่องจากคุณสมบัติของกากมะพร้าวจะมีน้ำมันในเนื้อมะพร้าว ทำให้ง่ายต่อการลุกติดไฟ [3] ถัดมาเป็นอัตราส่วน 20:80 40:60 50:50 60:40 80:20 โดยใช้เวลาในการกระตุ้น 2, 2.5, 3, 3, 4 นาที ตามลำดับ และอัตราส่วนที่ใช้เวลาในการกระตุ้นให้ลุกติดไฟมากที่สุด คือ อัตราส่วน 100:0 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีกากตะกอนน้ำเสียชุมชนเพียงอย่างเดียว โดยใช้เวลาในการกระตุ้น 5 นาที ภายหลังการกระตุ้นไฟที่แท่งเชื้อเพลิงค่อยๆ มอดดับลง และเกิดควันปริมาณมาก (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 4 การลุกติดไฟของเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วน 0:100



ภาพที่ 5 การลุกติดไฟของเชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วน 100:0

สรุปผลการวิจัย

เชื้อเพลิงอัดแท่งอัตราส่วนที่มีกากมะพร้าวมากกว่าร้อยละ 80 ขึ้นไป มีคุณสมบัติที่จะพัฒนาเป็นพลังงานทดแทนได้ เนื่องจากมีค่าพลังงานความร้อนสูงใกล้เคียงมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน และมีปริมาณความชื้นต่ำ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเช่นกัน โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าพลังงานความร้อนสูงที่สุด คืออัตราส่วนที่มีกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและกากมะพร้าว 0:100 โดยมีค่าพลังงานความร้อน 4,764.90 (±14.09) cal/g ปริมาณความชื้น 5.84 (±0.27) % ปริมาณเถ้า 0.85 (±0.08) % ปริมาณสารระเหย 89.91 (±0.59) % ปริมาณคาร์บอนคงตัว 3.40 (±0.32) % และสามารถลุกติดไฟได้โดยใช้เวลาในการกระตุ้น 1 นาที

กิตติกรรมประกาศ

กากตะกอนน้ำเสียชุมชนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์จากโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง กรุงเทพมหานคร

เอกสารอ้างอิง

[1] จุฬารัตน์ ชาวกำแพง. (2554). **การศึกษาและพัฒนาถ่านอัดแท่งจากวัสดุเกษตรเพื่ออุตสาหกรรมในครัวเรือน.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[2] American Society for Testing and Material (ASTM). (2006). **Standard Definitions of Term and Abbreviations Relating to Physical and Chemical Characteristics of Refuse Derived Fuel. In Waste management, annual book of ASTM Standards 2006**. ASTM International. West Conshohocken.

[3] ศิริชัย ต่อสกุล กุณฑล ทองศรี และจงกล สุภารัตน์. (2555). “การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน”, ใน **การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2555**, วันที่ 17-19 ตุลาคม 2555 ณ โรงแรมเมธาวลัย อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี. เพชรบุรี : มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

[4] สังเวย เสวกวิหารี. (2555). **ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด.** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[5] รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล. (2553). **การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง.** วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[6] นริศ ชุดสว่าง. (2556). **การผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกทุเรียนในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลเกวียนหัก อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. จันทบุรี : มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

[7] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). **แนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน.** สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน 2561, จาก http://www2.diw.go.th/iwmb/form/iwd040_ผนวก%20ง_คู่มือนำร่อง.pdf.

[8] เอกลักษณ์ กิติภัทร์ถาวร ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ และวลัยรัตน์ อุตตมะปรากรม. (2556). เชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผลิตร่วมของกากตะกอนเปียกอุตสาหกรรมผลิตเอทานอล. **วารสารวิจัยพลังงาน.** 10 (3). 43-56.

FC28

การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน บ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง

Study and Comparison of Local Wisdom Steam Boiler Efficiency Ban Thung Bo Paen, Tambon Pong Yang Khok,Amphoe HangChat, Changwat Lampang

รวิภา ยงประยูร[1*] ลัดดาวัลย์ เสียงเย็น [1]วราคม วงค์ชัย[1]และวีระ พันอินทร์[2]
[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 52100
[2]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง52100

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้านเปรียบเทียบกับเตานึ่งรูปแบบเดิมที่มีโครงสร้างเป็นเหล็กของเตานึ่งเห็ดประหยัดฟืนของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านทุ่งบ่อแป้น อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง และเพื่อเผยแพร่ภูมิปัญญาชุมชนให้กับสมาชิกในกลุ่มเพาะเห็ดชุมชนเดียวกันตลอดจนสมาชิกกลุ่มเพาะเห็ดชุมชนอื่นๆด้วยการดำเนินการ 6 ขั้นตอน อันประกอบด้วย การระบุความต้องการแก้ไขปัญหาโดยใช้เวทีชุมชนเพื่อสร้างการมีส่วนร่วมการร่วมกันระดมความคิดเห็นของชุมชนในรายละเอียดของพฤติกรรมของเตาไอน้ำที่เป็นภูมิปัญญาของชุมชน และการวางแผนต่อยอดเตาไอน้ำฯ พร้อมทั้งกำหนดบทบาทหน้าที่ของชุมชน และการเข้ามามีส่วนร่วม ที่สอดคล้องกับกระบวนการผลิต พร้อมกำหนดแนวทางการประเมินผลสำเร็จของโครงการร่วมกันจนนำไปสู่การประเมินผลสำเร็จของโครงการตามแนวทางที่กำหนดร่วมกัน ใน 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ พฤติกรรมการผลิตไอน้ำค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน ตลอดจนการลดใช้ฟืนในเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้านจนนำไปสู่การเผยแพร่ข้อมูลผลดำเนินงาน เพื่อแสวงหาสมาชิกคนอื่นที่มีความสนใจและมีความพร้อม ในการนำผลงานของโครงการไปใช้งานต่อ

ผลการวิจัย พบว่าค่าประสิทธิภาพของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.67% ซึ่งเทียบเท่าเตานึ่ง 2 ทบ คือ รูปแบบของเตาผลิตไอน้ำความดันต่ำแบบประหยัดฟืนลักษณะแบบใช้ความร้อน 2 กลับ ในโครงการของพลังงานจังหวัด และได้ขยายผลเพิ่มจากสมาชิกจำนวน 5 คน เพิ่มเป็น 9 คน จากจำนวนสมาชิกทั้งหมด 22 คน คิดเป็นร้อยละ 41 ผลจากการเผยแพร่ภูมิปัญญาชุมชนให้กับสมาชิกในกลุ่มเพาะเห็ดชุมชนเดียวกัน และสมาชิกกลุ่มเพาะเห็ดชุมชนอื่นๆ ทำให้ลดใช้ฟืนในการเป็นแหล่งพลังงานความร้อนโดยเฉลี่ย ให้กับการนึ่งก้อนวัสดุเพาะเห็ดปริมาณ 1,000 กิโลกรัมต่อการนึ่ง 1 ครั้ง ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ต.ปงยางคก อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

คำสำคัญ: เตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดภูมิปัญญาชาวบ้าน เตานึ่งเห็ดประหยัดฟืน

*Corresponding author:Tel.: 081-9986523. E-mailaddress:sauraya_y@hotmail.com

บทนำ

แนวคิดของการจัดสร้างเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้านนั้น มาจากการสอบถามข้อมูลถึงปัญหาเตานึ่งรูปแบบเดิมที่มีโครงสร้างเป็นเหล็กของเตานึ่งเห็ดประหยัดฟืนของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ต.ปงยางคก อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ภายใต้โครงการเพิ่มสมรรถนะด้วยการบริหาร และการจัดการพลังงานครบวงจรในชุมชนระดับตำบล ประจำปีงบประมาณ 2558 ของสำนักงานพลังงานจังหวัดลำปาง โดยมีสมาชิกที่สมัครใจในการเปลี่ยนระบบดังกล่าว จำนวนทั้งสิ้น 9 คน จากสมาชิกทั้งหมด 22 คน โดยผลการดำเนินงานตามโครงการดังกล่าวแม้จะช่วยกลุ่มในการลดใช้ทั้งปริมาณและมูลค่าพลังงานเทียบกับต้นทุนได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ถึงกระนั้นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้นก็ยังประสบปัญหาการดูแลรักษาและซ่อมแซมเตานึ่ง เนื่องจากตัวเตานึ่งที่นำมาติดตั้งนั้น ต้องใช้ช่างฝีมือในการเชื่อมและสร้างเตา อีกทั้งสมาชิกกลุ่มไม่ได้มีส่วนร่วมในการสร้างรูปแบบของเตานึ่งตั้งแต่เริ่มแรก ทำให้เกิดปัญหาความไม่ยั่งยืนในการแก้ปัญหาเมื่อเตานึ่งเกิดการชำรุด จึงนำมาสู่แนวคิดผสมผสานภูมิปัญญาท้องถิ่นเข้ากับองค์ความรู้ทางวิชาการในรูปแบบของ Do it yourself (D.I.Y.) ในการทำสิ่งต่างๆด้วยตัวเองหรือด้วยตัวชุมชนเองโดยใช้วัสดุง่ายๆและราคาไม่แพง ซึ่งการทำงานแบบนี้มีข้อดีคือ เกิดความภาคภูมิใจและเกิดคุณค่าทางจิตใจไปพร้อมๆกัน นำมาสู่การประชุมระดมความคิดเห็นและออกแบบเตาไอน้ำที่ทุกคนในชุมชนสามารถใช้งานและบำรุงรักษาได้ร่วมกัน เมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2559 ที่ผ่านมาจนเกิดการดัดแปลงเตาผลิตไอน้ำที่นำลักษณะบางประการของเตานึ่งไอน้ำรูปแบบของสำนักงานพลังงานจังหวัดมาประยุกต์ใช้ จนได้ต้นแบบของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้านติดตั้ง ณ บ้านของ คุณลุงชูชาติ ปันทะรส พร้อมจัดเก็บข้อมูลการใช้งานจริงในรูปวิทยาศาสตร์ เพื่อทำให้เกิดรูปแบบที่ถูกต้องในการขยายผลการใช้งานของเตาผลิตไอน้ำชนิดนี้ในลำดับต่อไป



(ก) (ข)

ภาพที่ 1 ที่มาของ “เตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน” (ก) การผุและชำรุดของเตานึ่งไอน้ำของสำนักงานพลังงานจังหวัดลำปาง (ข) การประยุกต์ความรู้ร่วมกันจนเกิดต้นแบบติดตั้ง ณ บ้านของ คุณลุงชูชาติ ปันทะรส

โครงสร้างของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน ประกอบด้วย 1) ถังพักน้ำความจุ 100 ลิตร ทำจากแกลลอนเหล็กตัดครึ่ง พร้อมติดตั้งวาล์วจ่ายน้ำ ทำหน้าที่เติมน้ำเข้าถาดพักน้ำ 2) ถาดพักน้ำติดตั้งลูกลอยทำจากเหล็กแผ่นเชื่อมต่อกันเป็นกระบะ ทำหน้าที่อุ่นน้ำก่อนเติมเข้าสู่ถังต้มน้ำ ทำให้เกิดการเติมน้ำอย่างต่อเนื่อง ป้องกันการระเบิดของถังต้มน้ำ 3) ถังต้มน้ำความจุ 100 ลิตรทำจากเหล็กแผ่นม้วน ทำหน้าที่ผลิตไอน้ำสำหรับการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนวัสดุเพาะเห็ด 4) เตาเผาฟืนทำจากปูนซีเมนต์ ทำหน้าที่ผลิตความร้อนและนำความร้อนจากการเผาฟืนไปสู่ถาดพักน้ำและถังต้มน้ำถูกออกแบบให้วางบนเตาเผา เพื่อรับความร้อนเพื่อผลิตไอน้ำเข้าสู่ท่อไอน้ำที่ต่อกับห้องนึ่งที่บรรจุก้อนวัสดุเพาะเห็ดอยู่ภายใน



ภาพที่ 2 รูปแบบของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้านที่ถูกปรับปรุงให้ดูรักษาสะดวกขึ้น

ขั้นตอนการทำงานของน้ำในเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน หมายเลข 1 คือ ถังพักน้ำ หมายเลข 2 คือ ถาดพักน้ำติดตั้งลูกลอย หมายเลข 3 คือ ถังต้มน้ำ และหมายเลข 4 คือ เตาเผาฟืนการทำงานของน้ำในเตาไอน้ำนี้ เริ่มจากน้ำจากถังพักไหลเข้าสู่ถาดพักน้ำตามระดับของลูกลอยที่เป็นตัว บังคับปริมาณน้ำเติมเข้าสู่ระบบ นอกจากนี้น้ำในถาดพักน้ำยังถูกอุ่นจากการเผาไหม้ของฟืนจากเตาเผาอีกทางหนึ่ง น้ำจากถาดพักน้ำเข้าสู่ถังต้มน้ำด้วยหลักแรงดูดคาปิลลารี่เพื่อแทนที่น้ำที่กลายเป็นไอผ่านท่อเหล็กขนาดเหล็กที่เชื่อมต่อระหว่างถาดพักน้ำกับถังต้มน้ำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

จากการสำรวจการใช้พลังงานในกระบวนการ/ขั้นตอนการเพาะเห็ดด้วยโรงเรือนภายในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ด บ้านทุ่งบ่อแป้น อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปางจากสมาชิกจำนวน 22 คน พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 2 – 5 โรงเรือน อันเนื่องมาจากเห็ดเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ให้กับกลุ่มเกษตรกรเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังเพาะปลูกและดูแลง่ายจึงทำให้แต่ละเดือนมีการเพาะเห็ดเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีปริมาณ 3,000– 4,000 ก้อน ต่อ ครั้งใน 1 โรงเรือน

เตานึ่งเห็ดแบบประหยัดฟืนนี้ถูกออกแบบและพัฒนาโดยนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามตั้งแต่ปี 2555 - 2556และถูกนำมาถ่ายทอดขยายผลต่อโดยสำนักงานพลังงานจังหวัดลำปาง ภายใต้โครงการเพิ่มสมรรถนะด้านการบริหารและพลังงานครบวงจรในชุมชนระดับตำบลปี 2558 ซึ่งตัวเตาได้ถูกออกแบบให้ประยุกต์ใช้กับตู้นึ่งแบบต่างๆของเกษตรกร โครงสร้างของเตานึ่งเห็ดประหยัดฟืนนี้มีความคล้ายคลึงกับตู้สี่เหลี่ยม โดยบริเวณผนังโดยรอบทั้งสามด้านทำหน้าที่กักเก็บน้ำเพื่อขยายพื้นที่ห้องเผาไหม้ให้กว้างขึ้น โดยต้มน้ำในปริมาณที่น้อย ในส่วนด้านล่างของตัวเตานึ่งเห็ดจะเป็นท่อที่รับความร้อนซึ่งถูกออกแบบให้เป็นตะกรับแบบเอียง เพื่อง่ายต่อการป้อนฟืนและกำจัดขี้เถ้า ส่วนกลางของเตาจะเป็นห้องเผาไหม้ ในขณะที่ด้านบนจะมีท่อที่คอยรับความร้อนจากการเผาไหม้ ที่จะถ่ายเทความร้อนไปให้กับน้ำที่อยู่ในผนังทั้งสามด้านของเตานึ่งอีกด้วย โดยน้ำที่ได้รับความร้อนจะระเหยขึ้นไปด้านบนซึ่งมีห้องกักเก็บไอ ก่อนที่จะถูกปล่อยไปตามท่อเข้าสู่ตู้นึ่งของเกษตรกร การเติมน้ำเตานึ่งเห็ดแบบประหยัดฟืนนี้ใช้หลักการของแรงโน้มถ่วงของโลกในการปล่อยน้ำเข้าไปแทนที่โดยการใช้ลูกลอยที่ติดตั้งในกระบะด้านหลังเตานึ่งเป็นตัวควบคุม โดยเมื่อมีการมาติดตั้ง ณ กลุ่มวิสาหกิจกลุ่มอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ก็มีการปรับปรุงเล็กน้อยตามลักษณะจริงของพื้นที่ติดตั้ง โดยมีการปรับตำแหน่งของกระบะน้ำเติมให้ต่ำลงมาจากรูปแบบเดิมและตะกรับสำหรับป้อนฟืนก็มีลักษณะเรียบตรงและท่อไอน้ำที่ออกจากเตานึ่งก็ต่อเข้าตู้นึ่งเดิมทั้งสองตู้ สามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานจากการเปิด-ปิดวาล์วท่อ [1]

จากการเรียนการสอนรายวิชา “แหล่งพลังงานและการแปรรูปพลังงาน” ในปีการศึกษา 1/2558 ที่มีการฝึกปฏิบัติจริงในการประเมินสมรรถนะเตานึ่งเห็ดแบบประหยัดฟืนที่ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานจังหวัดลำปางประจำปีการศึกษางบประมาณ 2558 ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ต.ปงยางคก อ.เมือง จ.ลำปาง ทำให้ทราบถึงปัญหาและข้อจำกัดในการใช้งานระบบนึ่งเห็ดแบบประหยัดฟืน อันส่งผลต่อค่าสมรรถนะโดยรวม

ที่ต่ำลงของระบบนึ่งเห็ดแบบประหยัดฟืน อันเนื่องมาจากพฤติกรรมการใช้งานและกำลังการผลิตก้อนเห็ดป้อนออกสู่ตลาดที่แตกต่างกันของสมาชิก จึงกลายเป็นที่มาของโครงการที่จะพัฒนาระบบนึ่งเห็ดแบบประหยัดฟืนที่มีสมรรถนะสูงขึ้นและเหมาะสมกับการใช้งานของชุมชน ซึ่งได้จัดสร้างและทดสอบสมรรถนะเตานึ่งเห็ดแบบนำเอาความร้อนจากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ในท่อกลับเดียว (Single pass) เปรียบเทียบกับระบบเดิมมีการออกแบบให้มีห้องกักเก็บไอน้ำด้านบน และมีการนำไอเสียจากการเผาไหม้ฟืนวิ่งผ่านท่อในถังน้ำ 2 กลับ (Two passes) ช่วยในการอุ่นน้ำ ผลปรากฏว่าสมรรถนะของระบบใหม่ซึ่งเป็นแบบกลับเดียว เทียบกับระบบเก่าซึ่งเป็นแบบ 2 กลับ มีค่าต่ำกว่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีเนื่องจากเตานึ่งเห็ดแบบประหยัดฟืนของระบบเดิมมีการออกแบบให้มีห้องกักเก็บไอน้ำด้านบน ซึ่งเป็นการนำเอาความร้อนจากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ถึงสองครั้ง ในขณะที่เตานึ่งของระบบใหม่มีการนำเอาความร้อนจากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์แค่ครั้งเดียว ได้ตัดเอาส่วนนี้ออกเพื่อให้ประหยัดงบประมาณในการจัดสร้างเตานึ่งและลดการเกิดควันย้อนออกมาขณะใช้งาน แต่ถึงกระนั้นเตานึ่งทั้งแบบเก่าและแบบใหม่สามารถผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในการอบฆ่าเชื้อก้อนวัสดุที่ใช้เพาะเห็ดได้ใกล้เคียงกัน[2], [3]

ในการเรียนการสอนรายวิชา “แหล่งพลังงานและการแปรรูปพลังงาน” ในปีการศึกษา 1/2559 นี้ ได้มีการออกแบบและจัดสร้างเตานึ่งเห็ดประหยัดฟืน ซึ่งเป็นการนำเอาความร้อนจากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์มาใช้ประโยชน์ในท่อถึง 3 กลับ (Trible Pass) ณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง จากการประเมินสมรรถนะของเตานึ่งเห็ดแบบประหยัดฟืนแบบสามกลับ ซึ่งมีท่อไอน้ำต่อกับห้องนึ่งที่บรรจุวัสดุเพาะเห็ดได้ 1,000 ก้อน และ 2,000 ก้อน พบว่า มวลเฉลี่ยของฟืนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำนึ่งก้อนวัสดุเพาะเห็ดจำนวน 1,000 ก้อน เท่ากับ 44.67 กิโลกรัม มวลเฉลี่ยของฟืนที่ใช้ในการผลิตไอน้ำนึ่งก้อนวัสดุเพาะเห็ด จำนวน 2,000 ก้อน เท่ากับ 48 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่า ปริมาณการใช้ฟืน ลดลงอย่างมากเทียบกับหม้อต้มไอน้ำแบบเดิม [4] และสำหรับเตานึ่งที่บรรจุก้อนวัสดุเพาะเห็ด 2,000 ก้อน ใช้ฟืนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเตานึ่งที่บรรจุก้อนวัสดุเพาะเห็ด 1,000 ก้อน แสดงให้เห็นว่า จำนวนก้อนวัสดุเพาะเห็ดที่มีจำนวนมากจะเหมาะสมกับขนาดของหม้อต้มไอน้ำที่ใช้ นอกจากนี้การที่ใช้ปริมาณไอน้ำน้อยลง เทียบกับจำนวนก้อนวัตถุดิบ แสดงให้เห็นว่า เตานึ่งที่บรรจุก้อนวัสดุเห็ด 2,000 ก้อน มีการกระจายไอน้ำได้ดีกว่า สามารถเพิ่มอุณหภูมิในวัสดุก้อนเห็ดได้ทั่วถึงมากกว่า โดยค่าประสิทธิภาพ ในการผลิตไอน้ำ เพื่อนึ่งก้อนวัสดุเพาะเห็ดที่มีจำนวน 2,000 ก้อน มีค่าต่ำกว่าประสิทธิภาพในการนึ่งวัสดุเพาะเห็ดที่มีจำนวน 1,000 ก้อน โดยมีค่าร้อยละ 25.25 และ 29.85 ตามลำดับ

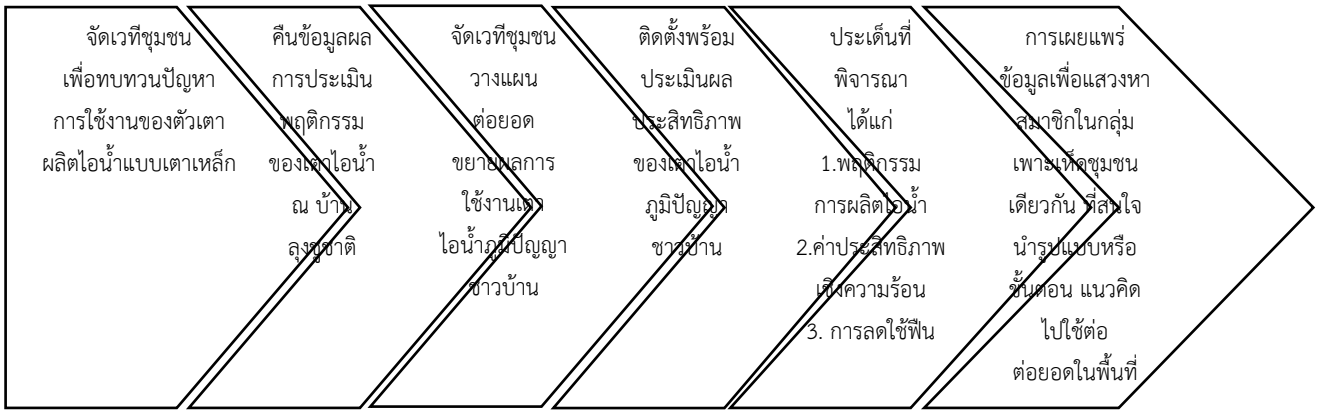
วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน เปรียบเทียบกับเตานึ่งรูปแบบเดิมที่มีโครงสร้างเป็นเหล็กของเตานึ่งเห็ดประหยัดฟืนของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านทุ่งบ่อแป้น อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง
2. เพื่อเผยแพร่ภูมิปัญญาชุมชนให้กับสมาชิกในกลุ่มเพาะเห็ดชุมชนเดียวกัน และสมาชิกกลุ่มเพาะเห็ดชุมชนอื่นๆ

ขอบเขตการดำเนินงาน

“เตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน”ใช้สำหรับผลิตไอน้ำสำหรับการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนวัสดุเพาะเห็ดจำนวน 500-1,200 ก้อนต่อครั้งสำหรับการเพาะเห็ดแบบบรรจุก้อนตลอดจนกิจกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่ต้องการใช้ไอน้ำติดต่อกัน 3 – 5 ชั่วโมง

วิธีการวิจัย



ขั้นตอนที่1 เป็นการระบุความต้องการแก้ไขปัญหาโดยใช้เวทีชุมชนเพื่อสร้างการมีส่วนร่วม

ขั้นตอนที่ 2 – 3 เป็นการร่วมกันระดมความคิดเห็นของชุมชนในรายละเอียดของพฤติกรรมของเตาไอน้ำที่เป็นภูมิปัญญาของชุมชน และการวางแผนต่อยอดเตาไอน้ำฯ พร้อมทั้งกำหนดบทบาทหน้าที่ของชุมชน และการเข้ามามีส่วนร่วม ที่สอดคล้องกับกระบวนการผลิต พร้อมกำหนดแนวทางการประเมินผลสำเร็จของโครงการร่วมกัน

ขั้นตอนที่ 4 – 5 เป็นการประเมินผลสำเร็จของโครงการตามแนวทางที่กำหนดร่วมกัน ใน 3 ประเด็นหลัก

ขั้นตอนที่ 6 เป็นการเผยแพร่ข้อมูลผลดำเนินงาน เพื่อแสวงหาสมาชิกคนอื่นที่มีความสนใจและมีความพร้อมในการนำผลงานของโครงการไปใช้งานต่อ

สมการคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน(Thermal Efficiency)

$$\text{Efficiency } (\%) = (\text{Output/Input}) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ Output คือ ค่าพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ในการนึ่งก้อนเห็ด หน่วย กิโลจูล (kJ)

Output = $m_{steam}L$หน่วย กิโลจูล (kJ)

เมื่อ m_{steam} คือ มวลไอน้ำที่ใช้ในการนึ่ง (กิโลกรัม) และ L คือความร้อนแฝงของน้ำ (2,257 กิโลจูล/กิโลกรัม)

Input คือ ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาฟืน หน่วย กิโลจูล (kJ)

Input = $m_f H_f$หน่วย กิโลจูล (kJ)

เมื่อm_f คือ มวลของฟืน(กิโลกรัม) และ H_f คือค่าความร้อนที่ได้จากฟืน (20,766กิโลจูล/กิโลกรัม)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การจัดเวทีเพื่อทบทวนปัญหาการใช้งานตัวเตาผลิตไอน้ำแบบเหล็ก

จากกิจกรรมการทวนสอบในกระบวนการเพาะเห็ดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ต.ปงยางคก อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง พบว่ามีเตาผลิตไอน้ำแบบเหล็ก2 ชนิด ได้แก่ เตาผลิตไอน้ำความดันต่ำแบบประหยัดฟืนแบบท่อ 2 กลับ และแบบท่อ 3 กลับ ที่ยังมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน ผลลัพธ์จากการดำเนินการร่วมกันในรูปแบบของงานวิจัยเชิงพื้นที่และงานบริการวิชาการจากหน่วยงานต่างๆ ทั้งนี้พบว่าสมาชิกกลุ่มจำนวน 9 คน จากจำนวน 22 คนเท่านั้นที่ได้มีโอกาสใช้งานเตาผลิตไอน้ำแบบเหล็ก และสะท้อนข้อมูลในรูปแบบของข้อเสนอแนะต่อผู้วิจัย สามารถจำแนกประเด็นได้สองประเด็นหลักๆได้แก่ ความต้องการนวัตกรรมใหม่และปรับปรุงนวัตกรรมเดิมให้สามารถยกระดับกระบวนการเพาะเห็ดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อประเมินผลประสิทธิภาพของเตาผลิตไอน้ำแบบเหล็ก พบว่าเตาไอน้ำประหยัดฟืนแบบ2 กลับ และ 3 กลับ มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน เท่ากับ 8.87% และ 17.37% ตามลำดับ โดยรูปแบบเตาไอน้ำที่ใช้ความร้อน 2 กลับ (Two Pass) สามารถใช้นึ่งก้อนวัสดุที่ใช้เพาะเห็ดได้มากกว่า 800 ก้อน โดยค่าใช้จ่ายต่อก้อนอยู่ที่ 1.18 – 1.25 บาท โดยคำนวณเฉพาะค่าจ้างในการทำก้อนเพาะเห็ด ก้อนละ 1 บาท พร้อมค่าฟืนกิโลกรัมละ 3 บาท และควรใช้เวลาในการนึ่งก้อนเพาะเห็ดนับตั้งแต่เกิดไอน้ำ ไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง ในขณะที่เตาไอน้ำแบบใช้ความร้อน 3 กลับ (Trible Pass) สามารถใช้นึ่งก้อนเห็ดได้มากกว่า 1,000 ก้อน โดยค่าใช้จ่ายต่อก้อนอยู่ที่ 1.15 – 1.16 บาท โดยคำนวณเฉพาะค่าจ้างในการทำก้อนเพาะเห็ด ก้อนละ 1 บาท พร้อมค่าฟืนกิโลกรัมละ 3 บาท และควรใช้เวลาในการนึ่งก้อนเพาะเห็ดนับตั้งแต่เกิดไอน้ำ 5-8 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาการสร้างความหลากหลายของผลิตภัณฑ์โดยใช้นวัตกรรมดังกล่าว พบว่า มีการนำไปประยุกต์ใช้ในเตรียมก้อนวัสดุสำหรับเพาะเห็ดเพียงอย่างเดียว โดยมีความแตกต่างด้านปริมาณที่ผลิตได้ต่อครั้งเท่านั้น[5]

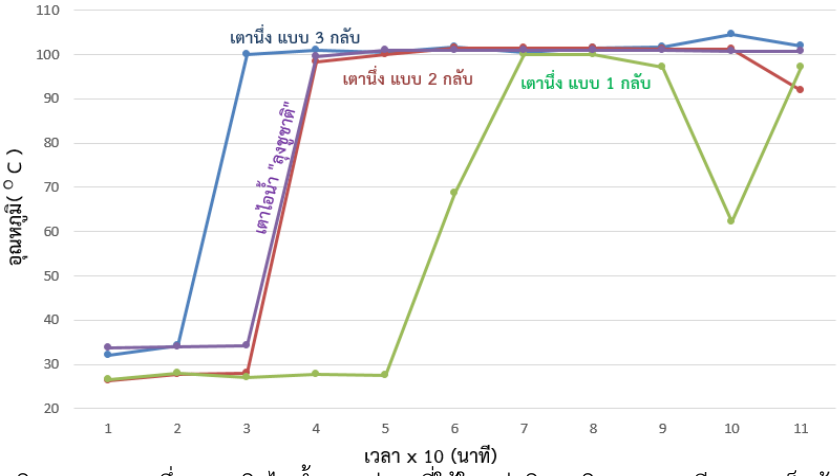


(ก) (ข)

ภาพที่ 3แสดงเตาผลิตไอน้ำความดันต่ำแบบประหยัดฟืนลักษณะท่อทบต่างๆ
(ก) แบบใช้ความร้อน2กลับ (ข) แบบใช้ความร้อน3กลับ

2.เวทีชุมชนเพื่อคืนข้อมูลผลการประเมินพฤติกรรมของเตาไอน้ำ ณ บ้าน คุณลุงชูชาติ ปันทะรส

ผลการประเมินพฤติกรรมของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน โดยนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน รหัส59 ในกิจกรรมของรายวิชาแหล่งพลังงานและการแปรรูปพลังงาน ภาคเรียนที่1 ปีการศึกษา 2560พบว่า เตาไอน้ำดังกล่าวสามารถผลิตไอน้ำได้อย่างต่อเนื่อง ภายในเวลา 40 นาทีหลังจากให้ความร้อนด้วยการเผาฟืน และสามารถผลิตไอน้ำได้ต่อเนื่องและยาวนานเทียบเท่า เตานึ่ง 2 ทบ ซึ่งก็คือรูปแบบของเตาผลิตไอน้ำความดันต่ำแบบประหยัดฟืนลักษณะแบบใช้ความร้อน2กลับในโครงการของพลังงานจังหวัด



ภาพที่ 4 พฤติกรรมของเตานึ่ง-เตาผลิตไอน้ำแบบต่างๆที่ใช้ในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น

3.จัดเวทีชุมชนวางแผนต่อยอดขยายผลการใช้งานเตาไอน้ำภูมิปัญญาชาวบ้าน

เมื่อนำชุดข้อมูลที่วิเคราะห์ภายในกิจกรรมการเรียนการสอน ที่นำเอาภูมิปัญญาของ คุณลุงชูชาติ ปันทะรส มาจัดทำให้อยู่ในรูปวิทยาศาสตร์ และคืนข้อมูลพฤติกรรมเตาผลิตไอน้ำดังกล่าว ก่อให้เกิดความสนใจของสมาชิกกลุ่ม และมีผู้แสดงความสนใจที่ปรับเปลี่ยนเตาเดิมของตนให้เป็นเตาไอน้ำภูมิปัญญาชาวบ้านในแบบของลุงชูชาติ กว่าร้อยละ 85 จากจำนวนสมาชิกทั้งหมด 22คน ซึ่งในเบื้องต้นมีจำนวนสมาชิก 5 คน ที่พร้อมจะทำการปรับปรุงเตาทันที ได้แก่ นายม้วน มะโนคำ, นางบุญนำ มหาวรรณ, นายสัมพันธ์ ชัยเรืองเดช, นายนริศ หอมสุวรรณ และ นางกัลยา ธรรมยา ซึ่งการส่งเสริมให้มีการใช้งานเตาไอน้ำภูมิปัญญาชาวบ้านในแบบของลุงชูชาติ ถือเป็นการสร้างอัตลักษณ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้นอย่างยั่งยืนอีกทางหนึ่งด้วย

4. ติดตั้งพร้อมประเมินผลประสิทธิภาพของเตาไอน้ำภูมิปัญญาชาวบ้าน

ตารางที่ 1 แสดงผลสำเร็จของโครงการตามแนวทางที่กำหนดร่วมกัน

ที่	ชื่อ-นามสกุล	พฤติกรรมการผลิตไอน้ำ	ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน	การลดใช้ฟืน
1	นายม้วน มะโนคำ	ผลิตไอน้ำได้อย่างต่อเนื่อง ภายในเวลา 45 นาที	8.70 %	50 %
2	นางบุญนำ มหาวรรณ	ผลิตไอน้ำได้อย่างต่อเนื่อง ภายในเวลา 40 นาที	8.85%	45 %
3	นายสัมพันธ์ ชัยเรืองเดช	ผลิตไอน้ำได้อย่างต่อเนื่อง ภายในเวลา 40 นาที	8.07 %	55 %
4	นายนริศ หอมสุวรรณ	ผลิตไอน้ำได้อย่างต่อเนื่อง ภายในเวลา 40 นาที	8.55%	50 %
5	นางกัลยา ธรรมยา	ผลิตไอน้ำได้อย่างต่อเนื่อง ภายในเวลา 30 นาที	9.17 %	40 %

* หมายเหตุ * เป็นการทดลองกับห้องนึ่งเปล่า จำนวน 5 ซ้ำ

ผลการประเมินประสิทธิภาพของเตาหลังจากทำการปรับปรุงให้เป็นเตาไอน้ำภูมิปัญญาชาวบ้าน ของสมาชิกในกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น พบว่า เตาที่ปรับปรุงแล้วของนางกัลยา ธรรมยา มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด เท่ากับ 9.17% และใช้เวลาน้อยที่สุด เท่ากับ 30 นาที ก็สามารถผลิตไอน้ำได้อย่าง

ต่อเนื่อง ทั้งนี้ เนื่องมาจากนางกัลยา ธรรมยา ได้เลือกใช้วัสดุที่ทำเป็นถังต้มน้ำจากสแตนเลส และมีความบางกว่าถังต้มน้ำที่ทำจากเหล็ก ตามต้นแบบที่บ้านของคุณลุงชูชาติ ทำให้เตาไอน้ำร้อนเร็วกว่าเตาที่สร้างและติดตั้งที่บ้านอื่นๆ แต่งบประมาณที่ใช้ในการจัดสร้างนั้นมีราคาสูงกว่าเหล็กถึง 10 เท่า

5.การเผยแพร่ข้อมูลเพื่อแสวงหาสมาชิกในกลุ่มเพาะเห็ดชุมชนเดียวกัน ที่สนใจนำรูปแบบหรือขั้นตอน แนวคิดไปใช้ต่อ

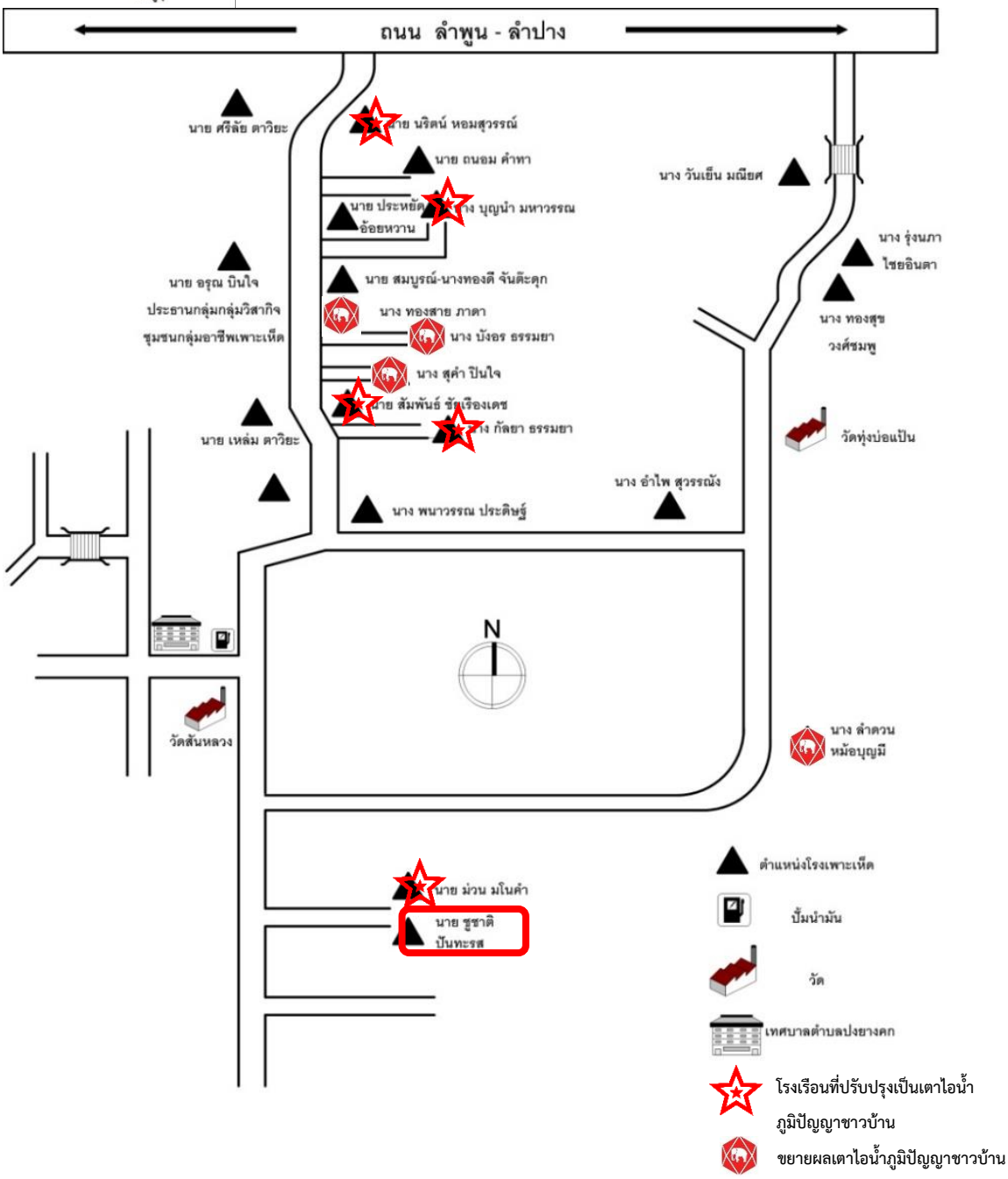
จากผลการปรับปรุงเตาเดิมของสมาชิก 5 คนให้เป็นเตาไอน้ำภูมิปัญญาชาวบ้าน นำไปสู่การของบประมาณเพื่อขยายผลในหัวข้อ “เตาผลิตไอน้ำ D.I.Y.สไตล์ทุ่งบ่อแป้น” ในโครงการเยาวชน คนทำดี ปี 6 ของมูลนิธิเอส ซี จี ประจำปี 2560 ของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน รหัส 59 ทำให้สร้างเตาไอน้ำภูมิปัญญาชาวบ้าน ได้อีกจำนวน 4 คน ได้แก่ นายสุคำ ปินใจ, นางทองสาย ภาดา, นางลำดวน หม้อบุญมี และ นางบังอร ธรรมยา ซึ่งรวมแล้วจะมีสมาชิกที่ทำการปรับปรุงเตาไอน้ำให้เป็นเตาไอน้ำภูมิปัญญาชาวบ้าน จำนวนทั้งสิ้น 9 คน คิดเป็นร้อยละ 41 จากจำนวนสมาชิกทั้งหมด 22 คน ทั้งนี้คาดว่าจะช่วยลดใช้ฟืนในการเป็นแหล่งพลังงานความร้อนโดยเฉลี่ย ให้กับการนึ่งก้อนวัสดุเพาะเห็ดปริมาณ 1,000 กิโลกรัมต่อการนึ่ง 1 ครั้ง

สรุปผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานโครงการวิจัย พบว่า ค่าประสิทธิภาพของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้านมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.67% ซึ่งเทียบเท่าเตานึ่ง 2 ทบ คือรูปแบบของเตาผลิตไอน้ำความดันต่ำแบบประหยัดฟืนลักษณะแบบใช้ความร้อน 2 กลับ ในโครงการของพลังงานจังหวัด และได้ขยายผลเพิ่มจากสมาชิกจำนวน 5 คน เพิ่มเป็น 9 คน จากจำนวนสมาชิกทั้งหมด 22คนคิดเป็นร้อยละ 41 ผลจากการเผยแพร่ภูมิปัญญาชุมชนให้กับสมาชิกในกลุ่มเพาะเห็ดชุมชนเดียวกัน และสมาชิกกลุ่มเพาะเห็ดชุมชนอื่นๆ ทำให้ลดใช้ฟืนในการเป็นแหล่งพลังงานความร้อนโดยเฉลี่ย ให้กับการนึ่งก้อนวัสดุเพาะเห็ดปริมาณ 1,000 กิโลกรัมต่อการนึ่ง 1 ครั้ง ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ต.ปงยางคก อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย หัวข้อ “การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน บ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง” ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยการใช้นวัตกรรมด้านพลังงานในการบริหารจัดการชุมชนอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา “ปงยางคกโมเดล” งบประมาณแผ่นดินปี 2561ขอขอบพระคุณ สมาชิกวิสาหกิจชุมชนกลุ่มอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ต.ปงยางคก อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง และสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตเตานึ่งไอน้ำและอุปกรณ์แปรรูปการเกษตรบ้านเวียงสวรรค์ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง พร้อมทั้งนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน ที่มีส่วนร่วมในโครงการวิจัยนี้มาโดยตลอด ขอขอบคุณผู้บริหารของหน่วยงานทั้งในส่วนคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ที่ให้คณะผู้วิจัยได้มาทำงานร่วมกันในลักษณะสหวิทยาการที่เป็นเครือข่ายกัลยาณมิตรที่ดีต่อกัน ท้ายที่สุดนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง และ มูลนิธิเอส ซี จี ที่มอบโอกาสให้ได้ทำงานวิจัยในลักษณะโครงการวิจัยรับใช้สังคมเพื่อพัฒนาพื้นที่จังหวัดลำปาง และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับการสนับสนุนให้ได้รับโอกาสในการพัฒนา/ขยายองค์ความรู้จากการทำงานเชิงวิชาการในลำดับต่อไป



ภาพที่ 5 แผนภาพเดินดินแสดงจำนวนและการกระจายตัวของโรงเรือนเพาะเห็ด

เอกสารอ้างอิง

[1] วีระวัฒน์ ศรีชา นุชิดา สุวแพทย์ และ โสภา แคนสี. (2557). การพัฒนาหม้อผลิตหม้อไอน้ำโดยใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงสำหรับนึ่งเชื้อก้อนเห็ด การประชุมวิชาการ มหาสารคามวิจัยครั้งที่ 10. 11-12 กันยายน 2557: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

[2] รวิภา ยงประยูร วราคม วงศ์ชัย และ อดิศร ถมยา. (2558). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานของระบบเตานึ่งประหยัดพลังงานของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ด บ้านทุ่งบ่อแป้น อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง. รายงานการวิจัยงบประมาณ 2558, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

[3] ณัฐนันท์ นาโพธิ์ตอง ชนะพล จันทร์ปัญญา นิธิพัฒน์ ตลึงจิตร ปฏิพัฒน์ ยอดดี ภูพิพัฒน์ มาเมือง ธิดารักษ์ ปู่ย่า พิสมัย สุทธิโวหาร และ สุจินต์ แช่ใจ. (2559). การพัฒนาสมรรถนะระบบนึ่งเห็ดแบบประหยัดฟืน, ข้อเสนอโครงการสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมสายอุดมศึกษา ประจำปี 2559. มหกรรมงานวิจัยแห่งชาติ 2559 (Thailand Research Expo 2016). 18 – 20 สิงหาคม 2559 ณ ศูนย์การค้าเซนทรัลเวิลด์ กรุงเทพ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

[4] ณัฐพงษ์ ตาปัญโญ และคณะ (2561), การประเมินสมรรถนะของเตาผลิตไอน้ำแบบสามกลับ ในการนึ่งก้อนวัสดุเพาะเห็ด: กรณีศึกษากลุ่มอาชีพเพาะเห็ดแบบบรรจุถุงพลาสติก จ.ลำปาง เรื่องการถายเทพลังงานความรอนและมวลในอุปกรณดานความรอนและกระบวนการ ครั้งที่ 17, 15-16 กุมภาพันธ์ 2561 ณ ลำปางรีสอร์ท อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[5] รวิภา ยงประยูร วราคม วงศ์ชัย และวีระ พันอินทร์. (2561).การใช้นวัตกรรมด้านพลังงานในการบริหารจัดการชุมชนอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา “ปงยางคกโมเดล”. รายงานการวิจัยงบประมาณ 2561, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

FC30

อิทธิพลวัสดุประสานธรรมชาติที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่ง

Influent of natural binder on physical properties of biomass briquettes

บุณยาพร แสนพรม[1] นิกราน หอมดวง[1]* นัฐพร ไชยญาติ[1] ธเนศ ไชยชนะ[1] กิตติกร สาสุจิตต์[1] และเสมอขวัญ ตันติกุล[2]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทยมีสูง ในขณะที่การผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งมีต้นทุนที่สูงเช่นกัน จึงส่งผลให้ไม่เกิดการใช้งานอย่างแพร่หลายในชุมชน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดของวัสดุประสานธรรมชาติที่มีต่อคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งและต้นทุนการผลิต โดยใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ประกอบด้วยทางใบปาล์ม (PL) ทางมะพร้าว (CL) และต้นถั่วเหลือง (ST) เป็นตัวประสานธรรมชาติ ใช้อัตราส่วนต่อชีวมวลหลัก 60%, 40% และ 20% โดยน้ำหนักและใช้เครื่องอัดแท่งแบบเกลียว ศึกษาวิเคราะห์การขึ้นรูปชีวมวลอัดแท่ง คุณสมบัติทางกายภาพที่จำเป็นต่อการใช้งานและต้นทุนการผลิตชีวมวลอัดแท่ง ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพได้วิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ความต้านทานแรงกด ดัชนีการแตกร่วน ความต้านทานน้ำ สุดท้ายวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต และพบว่าวัสดุประสานทั้งสามชนิดส่งผลให้ชีวมวลอัดแท่งที่ได้มีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานเกือบทุกอัตราส่วน โดยเชื้อเพลิงอัดแท่งแบบ BQ1 มีคุณสมบัติเหมะสมสูงสุด มีความหนาแน่น ดัชนีการแตกร่วน ความต้านทานการอัดและความต้านทานน้ำเฉลี่ย 995.27 kg/m^3, 98.64%, 8.57 MPa และ90.61% ตามลำดับ โดยมีต้นทุนเฉลี่ย 4.207 บาท/กิโลกรัม ในขณะที่ต้นทุนการผลิตของชีวมวลอัดแท่งแบบใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานที่สัดส่วน 20 % มีต้นทุนสูงกว่าถึง 35%

คำสำคัญ: ชีวมวลอัดแท่ง วัสดุประสานธรรมชาติ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ต้นทุนการผลิต

*Corresponding author: Tel.: 084-1773632. E-mail address: nigranghd@gmail.com

บทนำ

การแปลงสภาพชีวมวลเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานด้วยกระบวนเพิ่มความหนาแน่นด้วยการอัดแบบเย็น (Cold press process) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป เนื่องจากเป็นกรรมวิธีขึ้นรูปที่ง่าย ใช้พลังงานและความดันในการอัดต่ำ เทคโนโลยีที่นำมาผลิตก็มีราคาไม่สูง สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในชุมชน แต่มีปัญหาในเรื่องของตัวประสาน (Binder) ซึ่งส่วนใหญ่มักจะใช้นิยมใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานในอัตราส่วนที่ค่อนข้างสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งสูงมี ดังนั้นหากสามารถลดการใช้ตัวประสานลงให้ได้มากที่สุด ก็มีความเป็นไปได้ที่ชุมชนจะมีการใช้เชื้อเพลิงอัดแท่งเพิ่มสูงขึ้นและอาจส่งผลถึงภาคอุตสาหกรรม การลดการใช้ตัวประสานหรือการเปลี่ยนตัวประสานจากแป้งมันมาใช้ตัวประสานจากวัสดุธรรมชาติจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งของการลดต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ [1] งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาต่อยอดการใช้วัสดุประสานธรรมชาติมาใช้งาน ผลการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูงเนื่องจากชีวมวลทั้งสามชนิดมีเส้นใยและลิกนินในปริมาณสูง [2] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจในการในการนำเอาชีวมวลที่มีลักษระดังกล่าวมาทดสอบวิจัยเป็นตัวประสานการผลิตชีวมวลอัดแท่งจากไม้ ซึ่งผลที่ได้น่าจะมีส่วนช่วยในการลดต้นทุนการผลิตชีวมวลอัดแท่งลงได้และมีความเป็นไปได้ในการยายผลสู่ชุมชนต่อไปในอนาคต

วิธีการวิจัย

ชีวมวลหลัก วัสดุประสานธรรมชาติและการเตรียม

ชีวมวลหลักสำหรับงานวิจัย คือ เศษไม้ จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ จ.เชียงใหม่ โดยนำเข้าเครื่องย่อยลดขนาดให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ในส่วนของวัสดุประสานธรรมชาติที่ใช้ทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ทางใบปาล์ม ทางมะพร้าว ต้นถั่วเหลือง ดังในภาพที่ 1 ทางใบปาล์มและทางมะพร้าวรวบรวมจากศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต้นถั่วเหลืองรวบรวมจากแปลงเกษตรกรของบริษัทลานนาเกษตรอุตสาหกรรม วัสดุประสานทั้งสามชนิดนำมาเข้ากระบวนการลดขนาดด้วยเครื่องย่อยปุ่ยพืชสด นำไปตากแดดเพื่อลดความชื้น เมื่อวัสดุประสานธรรมชาติเริ่มแห้งนำไปร่อนคัดขนาดให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ≤ 1 มิลลิเมตร เก็บไว้ในที่อากาศแห้ง และทำการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีการProximate โดยมีรายละเอียดองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 1



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 1 วัสดุประสานธรรมชาติ
(ก) ทางใบปาล์ม (PL) (ข) ทางมะพร้าว (CL) (ค) ต้นถั่วเหลือง (ST)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของชีวมวลหลักและวัสดุประสาน

Biomass	Wood	Palm	Coconut	Soybean	Cassava
Moisture (%)	6.35	13.12	1.24	2.16	1.05
Volatile (%)	75.4	65.91	71.12	77.30	59.83
Fixed carbon (%)	16.95	16.44	25.02	17.57	38.60
Ash (%)	1.3	4.53	1.90	1.70	0.52
HHV (MJ/kg)	17.78	20.24	17.34	17.43	15.00
Density (kg/m^3)	132.6	114.26	118.6	127.87	127.32

อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

เครื่องอัดแท่งชีวมวลเป็นเครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย อาศัยการทำงานโดยใช้ต้นกำลังขับเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ขนาด 5 แรงม้า รอบการทำงาน 1,750 รอบ/นาที ส่งกำลังด้วยสายพาน 3 เส้นไปยังชุดเฟืองทดและสกรูอัด เกลียวอัดมีระยะพิตช์ 4.5 เซนติเมตร มีความยาว 45 เซนติเมตร แท่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร. ยาว 25 เซนติเมตร ด้านเครื่องมือวัดอุณหภูมิใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด รุ่น AIT-42R สามารถวัดอุณหภูมิในช่วง -35–630 องศาเซลเซียส เครื่องวัดความชื้นชีวมวลใช้เครื่องวัดรุ่น MD7822 วัดความชื้นได้ในช่วง 2–30% การวัดน้ำหนักชีวมวลใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ยี่ห้อ CST รุ่น CDR-30 พิกัดกำลัง 30 กก. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งหมดประกอบด้วย ความหนาแน่น ความต้านทานการอัด ดัชนีการแตกร่วนและความต้านทานน้ำ รายละเอียดการวัดและวิเคราะห์สอดคล้องกับมาตรฐานการทดสอบ ASTM [3-6]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

การวิเคราะห์การขึ้นรูปและลักษณะของชีวมวลอัดแท่งโดยใช้วัสดุประสานธรรมชาติทั้งสามชนิดนั้น จะใช้วิธีโดยการสังเกตผิว พื้นที่หน้าตัด ความแข็งแรง คงทน ของแท่งเชื้อเพลิง เมื่อทำการอัดหากสามารถคงรูปตามขนาดที่ต้องการได้ แสดงว่ามีความสามารถในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ แม้ทำการเคลื่อนย้ายก็ยังคงรูปไว้ไม่เกิดการเสียหาย สภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากการทดลองแสดงตารางที่ 2 และภาพที่ 2 ผลการทดลองพบว่าชนิดชีวมวลอัดแท่งแต่ละตัวประสานธรรมชาติในทุกอัตราส่วนเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันค่อนข้างดี BQ3-BQ5 และ BQ8 ผิวค่อนข้างเรียบดี BQ3 และ BQ5 ผิวค่อนข้างมันวาว

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเมื่อใช้วัสดุประสานธรรมชาติ

อัตราส่วน	ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง
W100% : PL60% : C10% (BQ1)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวขรุขระ มีรอยร้าวเล็กน้อย
W100% : PL40% : C10% (BQ2)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวขรุขระเล็กน้อย แข็งแรง
W100% : PL20% : C10% (BQ3)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบ แข็งแรง
W100% : CL60% : C10% (BQ4)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบ แข็งแรง มีรอยเล็กน้อย
W100% : CL40% : C10% (BQ5)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบ แข็งแรง
W100% : CL20% : C10% (BQ6)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวขรุขระ มีรอยแตกเล็กน้อย
W100% : ST60% : C10% (BQ7)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบ แข็งแรงมีรอยเล็กน้อย
W100% : ST40% : C10% (BQ8)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวเรียบ มีรอยแตกเล็กน้อย
W100% : ST20% : C10% (BQ9)	แท่งเชื้อเพลิงเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกันดี ผิวขรุขระ มีรอยเล็กน้อย แข็งแรง

หมายเหตุ : W: PL: C คือ เศษไม้ผสมทางใบปาล์มผสมแป้งมันสำปะหลัง W: CL: C คือ เศษไม้ผสมทางมะพร้าวผสมแป้งมันสำปะหลัง

W: ST: C คือ เศษไม้ผสมต้นถั่วเหลืองผสมแป้งมันสำปะหลัง



ภาพที่ 2 เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งที่ผลิตได้

BQ1 – BQ3 ชีวมวลอัดแท่งใช้ทางใบปาล์มเป็นตัวประสาน 60%,40%,20% ตามลำดับ

BQ4 – BQ6 ชีวมวลอัดแท่งใช้ทางมะพร้าวเป็นตัวประสาน 60%,40%,20% ตามลำดับ

BQ7 – BQ9 ชีวมวลอัดแท่งใช้ต้นถั่วเหลืองเป็นตัวประสาน 60%,40%,20% ตามลำดับ

2.การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่ง

2.1 การวิเคราะห์ความหนาแน่น

การผลิตชีวมวลอัดแท่งโดยใช้วัสดุธรรมชาติเป็นตัวประสาน เชื้อเพลิงอัดแท่ง BQ1–BQ3 มีความหนาแน่นเฉลี่ยตั้งแต่ 817.98–985.34 kg/m^3 แท่งเชื้อเพลิง BQ4–BQ6 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 785.07–841.49 kg/m^3 ส่วนแท่งเชื้อเพลิง BQ7–BQ9 มีความหนาแน่นเฉลี่ย 803.42–860.83 kg/m^3 ดังแสดงในภาพที่ 3(ก) เชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งหมดผ่าน

เกณฑ์มาตรฐานตามคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่ง [7] การใช้ทางใบปาล์มเป็นตัวประสานมีค่าความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแท่งเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากทางใบปาล์ม มีปริมาณลิกนินและเส้นใยสูง อีกทั้งอุณหภูมิในการขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นเป็นอย่างมาก [8] ทำให้ลิกนินเกิดการอ่อนตัวและทำหน้าที่ประสานเนื้อวัตถุดิบเข้าด้วยกัน ส่งผลให้เนื้อของชีวมวลเกาะกันได้ดี ส่วนไฟเบอร์จะประกอบด้วย เส้นใยที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ในส่วนที่สามารถละลายน้ำได้จะไปเพิ่มความหนืด ซึ่งจะช่วยให้เนื้อชีวมวลยึดเกาะกันได้ดีและเป็นผลดีต่อการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง [9]

2.2 การวิเคราะห์ดัชนีการแตกร่วน

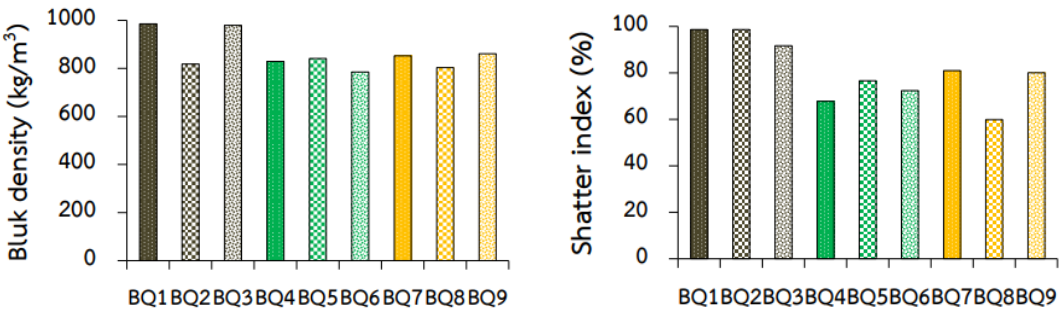
ดัชนีการแตกร่วนเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่งแสดงถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง ซึ่งจะส่งผลต่อความทนทาน การแตกร่วน ในการขนส่ง โดยค่ามาตรฐานอยู่ระหว่าง 90%–99% [10] ผลการทดสอบพบว่า แท่งเชื้อเพลิง BQ1–BQ3 เป็นแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ทางใบปาล์มเป็นตัวประสานมีดัชนีแตกร่วนเฉลี่ย 91.67–98.65% เมื่อสัดส่วนตัวประสานเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีการแตกร่วนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่แท่งเชื้อเพลิงที่ใช้ทางมะพร้าวและต้นถั่วเหลือง BQ4–BQ9 มีดัชนีการแตกร่วนต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย ดังภาพที่ 3(ข) ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทั้งนี้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าดัชนีแตกร่วนอยู่ในระหว่าง 50–100% แสดงว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน เนื่องจากค่าที่มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีการจับตัวกันอย่างดี ทำให้มีการแตกร่วนน้อย [11]

2.3 การวิเคราะห์ความต้านทานแรงกดอัด

ภาพที่ 5 แสดงความต้านทานแรงกดอัดของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด พบว่า BQ1 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 8.57 MPa แท่งที่มีความต้านทานแรงกดอัดน้อยที่สุดคือ BQ4 อยู่ที่ 1.15 MPa ดังแสดงในภาพที่ 4(ก) โดยแท่งอื่นๆมีความต้านทานแรงกดที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากแท่งที่ใช้ทางมะพร้าวและต้นถั่วเหลืองเป็นตัวประสาน อาจจะใช้ช่วงเวลาในการตากแดดนานกว่าทำให้ชีวมวลเกิดความเปราะ ทำให้ทนแรงกดได้น้อยกว่า ซึ่งแรงกดอัดที่ได้ก่อนเชื้อเพลิงอัดแท่งจะเกิดการแตกหักจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.375 MPa [12] ทั้งนี้ความแข็งแรงของพันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของแท่งเชื้อเพลิงจะส่งผลให้สามารถต้านทานแรงกดอัดได้ดี

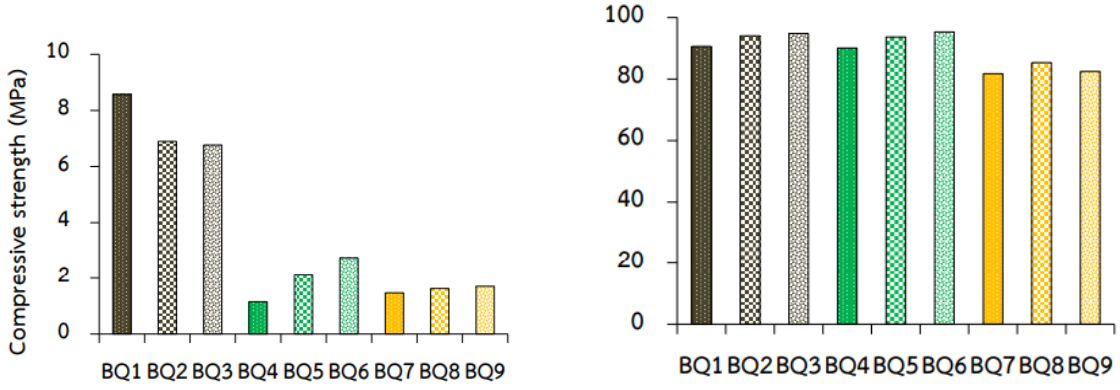
2.4 การวิเคราะห์ความต้านทานน้ำ

ความต้านทานน้ำนั้นจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการดูดซับน้ำหรือมีความชื้นสูง ผลการทดสอบพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่ง BQ4–BQ6 มีค่าความต้านน้ำสูงที่สุดสูงสุด รองลงมาคือแท่ง BQ1–BQ3, BQ7–BQ9 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ย 95.29 %, 94.74% และ 85.33% ดังภาพที่ 4(ข) หากค่าความต้านทานน้ำต่ำเชื้อเพลิงก็จะเสียหาย ไม่คงรูปเดิม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพรุนของชีวมวลที่ใช้เป็นตัวประสาน เช่นต้นถั่วเหลืองที่มีความพรุนมากส่งผลทำให้การต้านทานน้ำต่ำ อีกทั้งเนื่องจากอัตราส่วนที่มากเกินไปทำให้ชีวมวลหลักและตัวประสานธรรมชาติยึดเกาะกันได้ไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากนี้อาจเกิดจากแรงที่กดให้เครื่องในกระบวนการผลิต



(ก) ความหนาแน่น (ข) ดัชนีการแตกร่วน

ภาพที่ 3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

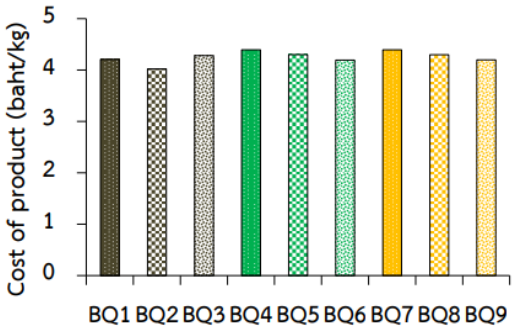


(ก) ความต้านทานแรงกดอัด (ข) ความต้านทานน้ำ

ภาพที่ 4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

3. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ต้นทุนการผลิตของชีวมวลอัดแท่งโดยใช้วัสดุประสานธรรมชาติเป็นตัวช่วยในการลดการใช้แป้งมันสำปะหลัง พบว่า ชีวมวลอัดแท่งที่ใช้ทางใบปาล์ม BQ1–BQ3 มีต้นทุนอยู่ที่ 4.021–4.280 บาท/กิโลกรัม ชีวมวลอัดแท่งที่ใช้ทางมะพร้าว BQ–BQ6 มีต้นทุนการผลิตที่ 4.194–4.393 บาท/กิโลกรัม และชีวมวลอัดแท่งที่ใช้ต้นถั่วเหลือง BQ–BQ9 มีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 4.197–4.394 บาท/กิโลกรัม ดังภาพที่ 5 ในภาพรวมต้นทุนการผลิตชีวมวลอัดแท่งของแต่ละชนิดนั้นมีต้นทุนที่ใกล้เคียงกัน เมื่อเราเปรียบเทียบเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้เศษไม้ผสมแป้งมันสำปะหลัง 20% เพียงอย่างเดียว พบว่ามีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 6.737 บาท/กิโลกรัม ซึ่งเราจะเห็นว่าต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานแป้งมันสำปะหลังค่อนข้างสูง เมื่อลดการใช้แป้งมันลง 50% จากเดิมและใช้ตัวประสานธรรมชาติช่วยในการขึ้นรูปก็จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้



ภาพที่ 5 ต้นทุนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

สรุปผลการวิจัย

ชีวมวลอัดแท่งเมื่อใช้ตัวประสานธรรมชาติที่ผลิตได้นั้นมีลักษณะทางกายภาพ โดยรวมมีความแข็งแรง ผิวเรียบเนียน มีรูปร่างตามที่ต้องการ มีบางอัตราส่วนเท่านั้นที่มีความขรุขระ และมีรอยร้าวเพียงเล็กน้อย

การใช้ตัวประสานธรรมชาติทั้งสามชนิดมีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐาน อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ทุกอัตราส่วน สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อนำไปใช้งานได้

การใช้วัสดุประสานธรรมชาติสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ถึง 2 บาท อีกทั้งยังสามารถส่งเสริมการใช้ชีวมวลอัดแท่งในระดับชุมชนและครัวเรือน สร้างมูลค่าให้แก่เศษไม้ที่เหลือใช้ และนำไปประยุกต์ใช้กับเศษวัสดุเหลือทิ้งชนิดอื่นๆ ได้ สอดคล้องกับนโยบายแผนพัฒนาพลังงานทดแทนของรัฐบาล

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ขอขอบพระคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน โครงการวิจัยเพื่อขอรับทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษาประจำปีงบประมาณ 2561

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนชีวมวล จากบริษัท ลานนาเกษตรอุตสาหกรรม จำกัด

เอกสารอ้างอิง

[1] นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล และธรพร บุศย์น้ำเพชร. (2559).ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา. **Veridian E-Journal (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี).**3(6).86-100

[2] ธนาพล ตันติสัตยกุล, สุริฉาย พงษ์เกษม, ปรีย์ปวีณ ภูหญ้า และภานุวัฒน์ ไถ้บ้านกวย. (2558). พลังงานทดแทนชุมชนจากเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากทางมะพร้าว. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 23 (3), 418-431

[3] ASTM Standard. D3173. 1997. **Standard test method for moisture in the analysis sample**. U.S.A.

[4] ASTM Standard. D3175. 1997. **Standard test method for volatile matter in the analysis sample**. U.S.A.

[5] ASTM Standard. D3174. 1997. **Standard test method for ash in the analysis sample**. U.S.A.

[6] ASTM Standard. D3177. 1997. **Standard test method for gross calorific value by the bomb calorimeter**. U.S.A.

[7] นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกูล. (2557). การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรและครัวเรือน. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)**. 6 (11), 66-77

[8] Jaya Shankar Tumuluru, Christopher T. Wright, J. Richard Hess and Kevin L. Kenney. (2011). **A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application†.** Biofuel bio products & bio refining.5.683-707

[9] Rukayya I. Muazu and Julia A. Stegemann. (2015). Effects of operating variables on durability of fuel briquettes from rice husks and corn cobs. **Fuel Processing Technology**. 133. 137 – 145.

[10] อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย, ชลันดา เสมสายัณห์, นัฐพร ประภักดี, ณัฐธิดา เปี่ยมสุวรรณศิริ และ นิภาวรรณ ชูชาติ. (2554). “การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง”, ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. ครั้งที่ 49 .162 – 168.

[11] นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล และธรพร บุศย์น้ำเพชร. (2559).ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา. **Veridian E-Journal (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี).**3(6).86-100

[12] S.R. Richard. (1990). “Physical testing of fuel briquette”. **Fuel processing technology**. 25(2).89-100

FC31

ผลการปรับความเร็วเกลียวอัดที่มีผลต่ออัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพชีวมวลอัดแท่ง

Screw press adjustment on production rate and physical properties of Biomass briquettes

ภาสินี ลาดลา[1] ณัฐวุฒิ ดุษฎี[1*] นิกราน หอมดวง[1] ชูรัตน์ ธารารักษ์[1] นัฐพร ไชยญาติ[1] และเสมอขวัญ ตันติกุล[2]
[1] สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2] สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเร็วรอบเกลียวอัดของเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในการผลิตชีวมวลอัดแท่งที่ใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ประกอบด้วย แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ ลดขนาดชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ให้มีขนาดเฉลี่ย 1 mm ใช้แป้งมันเป็นวัสดุตัวประสานในอัตราส่วน (ชีวมวล:แป้งมัน) 100:20% ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ได้จากการทดลอง ใช้เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงแบบเกลียวอัดมีมอเตอร์ขับขนาด 3 hp ผ่านสายพานชนิดร่อง B จำนวน 2 เส้น ปรับความเร็วรอบเกลียวอัดโดยใช้วิธีการเปลี่ยนขนาดมู่เล่ย์ทั้งหมด 5 ระดับ ได้ความเร็วรอบเกลียวอัดที่ 52 60, 72, 90 และ 120 rpm/min วิเคราะห์ลักษณะการขึ้นรูป อัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพ ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มความเร็วเกลียวอัดส่งผลให้มีลักษณะทางกายภาพ อัตราการผลิต และคุณสมบัติกายภาพของชีวมวลอัดแท่งเฉลี่ยที่ดียิ่งขึ้นของทั้งแกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบที่ 90 และ 120 rpm/min เหมาะกับการนำไปใช้ในการผลิตชีวมวลอัดแท่งเนื่องจากให้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันและสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบจากทั้ง 5 ระดับความเร็วรอบ ซึ่งที่ค่าอัตราการผลิตเท่ากับ 52.05 และ 59.10 kg/h ค่าความหนาแน่น 1,088.26 และ 1,131.65 kg/m^3 ค่าดัชนีการแตกร่วน 95.30% และ 94.17% และค่าความต้านทานแรงกด 5.31 และ 4.89 MPa

คำสำคัญ: ชีวมวลอัดแท่ง ความเร็วรอบเกลียวอัด วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

*Corresponding author: Tel.: 0-533-3194. E-mail address: nigranghd@gmail.com

บทนำ

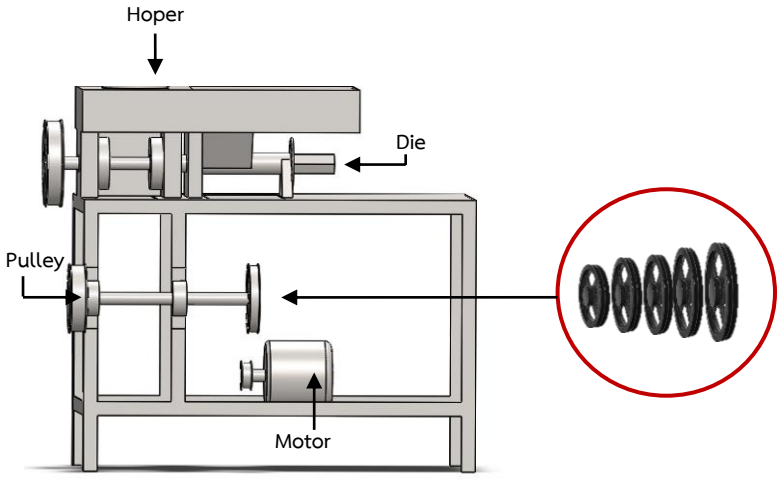
ในปัจจุบันมนุษย์มีความต้องการในการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนทำให้เกิดวิกฤติพลังงานขึ้นทำให้ต้องมีการนำเข้าพลังงานที่สูงขึ้น ดังนั้นกระทรวงพลังงานจึงมีนโยบายพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นแหล่งพลังงานหลักของประเทศด้วยการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ให้ประเทศไทยใช้พลังงานทดแทนเป็นพลังงานหลักของประเทศแทนการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศ เพื่อเพิ่มความมั่นคงในการจัดหาพลังงานให้ประเทศ [1] โดยประเทศไทยมีศักยภาพของชีวมวลที่หลงเหลือจากทางภาคการเกษตร และภาคอุตสาหกรรมเกษตรที่ยังไม่ได้นำมาใช้งานคิดเป็นค่าพลังงานถึง 10,340 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ [2] ซึ่งชีวมวลที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งนั้นต้องหาได้ง่าย มีปริมาณที่มากพอ เช่น แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ เป็นต้น จึงมีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะนำชีวมวลเหล่านี้มาผลิตชีวมวลอัดแท่ง ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูงเนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อนชุมชนสามารถเข้าถึงได้ อย่างไรก็ตามการผลิตชีวมวลอัดแท่งในประเทศไทยส่วนใหญ่นิยมผลิตด้วยกรรมวิธีแบบอัดร้อนแต่ต้องใช้ความร้อนและพลังงานที่สูงในการผลิตทำให้ต้อง

มีการใช้ขนาดของเครื่องต้นกำลังสูง และต้องมีแหล่งให้ความร้อนแก่ชีวมวลซึ่งมีราคาแพงมากในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม หากมีการพัฒนาเครื่องอัดแท่งชีวมวลที่ชุมชนสามารถเข้าถึงได้ง่ายก็จะเป็นผลดีและบรรลุผลทางด้านการใช้ชีวมวลอีกทางหนึ่ง โดยตัวแปรที่มีผลต่อการอัดแท่งชีวมวลมีหลายตัวแปร เช่น ชนิดของชีวมวล ตัวประสาน ขนาดของชีวมวล กำลังมอเตอร์ ขนาดกระบอก ลักษณะเกลียวอัด อย่างไรก็ตามการปรับความเร็วรอบค่อนข้างจะมีผลอย่างมากต่อการขึ้นรูป อัตราการผลิต และคุณภาพเชื้อเพลิง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจในการพัฒนาเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งในระดับชุมชนซึ่งบทความนี้จะนำเสนอผลการปรับความเร็วรอบที่มีต่อการขึ้นรูป อัตราการผลิต คุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งผลที่ได้จะนำไปใช้ในการออกแบบเครื่องผลิตชีวมวลอัดแท่งสำหรับการนำไปใช้ในชุมชน

เครื่องมือ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

เครื่องมือ อุปกรณ์และวัสดุการวิจัย

เครื่องอัดแท่งชีวมวลที่ใช้ทดลองเป็นเครื่องแบบเกลียวอัด (Screw press) ประกอบด้วยช่องป้อนวัตถุดิบจากด้านบนและถูกลำเลียงเข้าสู่กระบอกอัดด้วยเกลียวอัดรูปกรวย เครื่องต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาด 3 hp 1,400 rpm/min ส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานชนิด V-Belt หรือ สายพานวี ไปยังมู่เล่ย์ตัวตามที่ส่งต่อกำลังไปยังเกลียวอัด โดยจะทำการปรับอัตราทดที่มู่เล่ย์ตัวตาม ดังแสดงในภาพที่ 1 วัสดุชีวมวลหลักประกอบด้วยชีวมวล 3 ชนิด โดยแกลบมีค่าความร้อน 12.33 MJ/kg ความชื้นเฉลี่ย 10-15% ทางใบปาล์ม มีค่าความร้อน 1.76 MJ/kg ความชื้นเฉลี่ย 78% เศษไม้มีค่าความร้อน 14.39 MJ/kg ความชื้นเฉลี่ย 10-15% [3] และตัวประสานเลือกใช้แป้งมันที่มีขายตามท้องตลาด มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 250 kg/m^3 ดังภาพที่ 2 ในขณะที่เครื่องมือวัดในการทดลองประกอบด้วย เครื่องวัดรอบแบบใช้แสงโดยไม่ต้องสัมผัส รุ่น DIGICON DT-245P แสดงผล 5 หลัก โดยตัวเลข LCD ย่านการวัด : 5~99,999 RPM เครื่องวัดความชื้นใช้เครื่องวัดความชื้น รุ่น MD-7822 สามารถวัดความชื้นได้ตั้งแต่ 8-30% เครื่องวัดอุณหภูมิใช้แบบอินฟราเรด รุ่น AIT-42R วัดอุณหภูมิในช่วง -35–630 °C ความละเอียด 0.15 °C เครื่องวัดอุณหภูมิใช้แบบอินฟราเรด รุ่น DT-8828 วัดอุณหภูมิในช่วง -50–1,000 °C และเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล รุ่น CDR-30 พิกัดกำลัง 30 kg × 1 g อุณหภูมิใช้งานที่ 5–40 °C



ภาพที่ 1 เครื่องอัดแท่งชีวมวลแบบเกลียวอัด



(ก) แกลบ (ข) ทางใบปาล์ม (ค) เศษไม้ (ง) แป้งมันสำปะหลัง

ภาพที่ 2 ชีวมวลหลักและตัวประสาน

วิธีการทดลอง

นำชีวมวลหลักทั้ง 3 ชนิด ผสมกับตัวประสานในอัตราส่วน 100:20% ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ได้จากการทดลองเมื่อผสมแล้วทดสอบการอัดแท่งโดยการเปรียบเทียบความเร็วรอบการหมุนของเกลียวอัด โดยทำการเปลี่ยนมู่เล่ย์ทั้งหมด 5 ขนาด ได้แก่ 14, 12, 10, 8 และ 6 นิ้ว โดยมีความเร็วระดับคือ 52, 60, 72, 90 และ 120 rpm/min โดยทำการจับเวลาเมื่อแท่งชีวมวลเคลื่อนออกจากกระบอกอัดจนมีความยาวประมาณ 1 เมตร ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ เพื่อหาอัตราการผลิตโดยการวิเคราะห์จากการใช้กำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาในการผลิต ระหว่างการทดลอง วัดค่าความเร็วรอบ ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดแท่ง จากนั้นนำแท่งเชื้อเพลิงที่ได้ไปตากแดดเพื่อลดความชื้น (ค่าความชื้นที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานไม่ควรเกิน 10-15%) นำไปทำการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งประกอบด้วย ลักษณะทางกายภาพ คือลักษณะสิ่งที่ปรากฏให้เห็นของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ ค่าความหนาแน่น ดัชนีการแตกร่วน ค่าความต้านทานน้ำ ค่าความต้านทานแรงกด โดยใช้สมการจากงานวิจัย [4]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลของลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ภาพที่ 3 แสดงลักษณะทางกายภาพของชีวมวลอัดแท่งที่ได้จากการปรับความเร็วรอบเกลียวอัดทั้ง 5 ระดับ ตั้งแต่ 52, 60, 72, 90 และ 120 rpm/min พบว่าที่ความเร็วที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น อาจเป็นผลมาจากพลังงานกลที่ใส่เขาไปเพื่อทำให้เกลียวอัดเกิดการหมุนและจากการหมุนที่เพิ่มขึ้นซ้ำๆ ทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นเนื่องจากทำให้ชีวมวลเกิดการเสียดสีกับพื้นที่ผิวของเกลียวอัดและกระบอกอัด [5] และความร้อนที่เกิดขึ้นยังมีประโยชน์ทำให้ลิกนินที่เป็นส่วนประกอบหลักของพืชที่แข็งแรงที่สุด [6] และสารระเหยกลุ่มยางต่างๆ ที่อยู่ในพืชเกิดการอ่อนตัวลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจนสามารถยึดเกาะกันเป็นแท่งได้

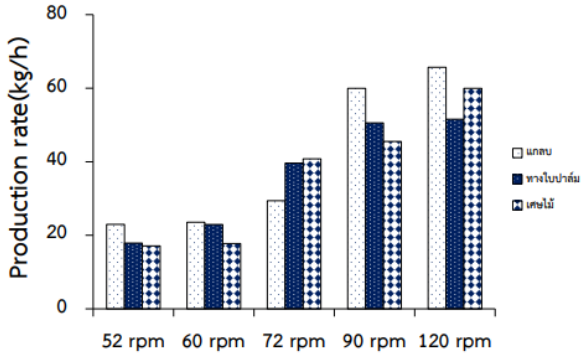


(ก) 52 rpm/min (ข) 60 rpm/min (ค) 72 rpm/min (ง) 90 rpm/min (จ) 120 rpm/min

ภาพที่ 3 ชีวมวลอัดแท่งที่ได้จากการปรับความเร็วรอบเกลียวอัดทั้ง 5 ระดับ

2. อัตราการผลิตชีวมวลอัดแท่ง

ในการทดสอบการปรับความเร็วรอบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลทั้ง 3 ชนิด พบว่าที่ความเร็วรอบเกลียวอัดที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความเร็วของเกลียวที่เพิ่มขึ้นทำให้เกลียวอัดสามารถขนถ่ายวัสดุได้เร็วขึ้นตามความเร็วรอบที่ใช้ และในระหว่างที่วัสดุถูกเกลียวอัดขนถ่ายในช่วงต้นไปยังช่วงปลายของเกลียวอัดที่มีการลดระยะพิตช์ลง ยังทำให้วัสดุเกิดการบดอัดและเสียดสีกันจนมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นซ้ำๆ จนลิกนินเกิดการอ่อนตัวและยึดเกาะกันเป็นแท่งได้เร็วยิ่งขึ้น โดยจากการทดสอบที่ความเร็วรอบรอบที่ 120 rpm/min ให้ค่าอัตราการผลิตเฉลี่ยที่สูงที่สุดของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด โดยแกลบมีค่าอัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งสูงที่สุดที่ 65.71 kg/h ทางใบปาล์ม 51.60 kg/h และเศษไม้เท่ากับ 60 kg/h และที่ความเร็วรอบรอบที่ 52 rpm/min ให้ค่าอัตราการผลิตเฉลี่ยที่น้อยที่สุดโดย แกลบมีค่าอัตราการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งอยู่ที่ 23 kg/h ทางใบปาล์ม 17.91 kg/h และเศษไม้ 17.14 kg/h ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 อัตราการผลิตชีมวลอัดแท่ง

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพชีวมวลอัดแท่ง

1. ผลของค่าความหนาแน่น

ในการทดสอบการปรับความเร็วรอบในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชีวมวลทั้ง 3 ชนิด พบว่า ที่ทุกความเร็วรอบเกลียวอัดมีค่าที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกค่า ซึ่งมากกว่า 600 kg/m^3 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากที่ทุกความเร็วของเกลียวที่ทำการทดสอบสามารถขนถ่ายวัสดุได้ดีในช่วงต้นและในช่วงปลายของเกลียวอัดที่มีการลดระยะพิทช์ลงยังทำให้วัสดุเกิดการบดอัดและเสียดสีกันจนมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นซ้ำๆ จนลิกนินเกิดการอ่อนตัวและยึดเกาะกันเป็นแท่งได้ดีและมีความหนาแน่นเพิ่มยิ่งขึ้น โดยที่ความเร็วรอบเกลียวอัดที่ 52, 60, 72, 90 และ120 rpm/min ให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 870.16, 1,024.08, 1,088.26 และ1,131.65 kg/m^3 ตามลำดับโดยที่ความเร็วรอบที่ 120 rpm/min จะให้ค่าเฉลี่ยของวัสดุทั้ง 3 ชนิดที่สูงที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 5(ก) [7]

2. ผลของค่าดัชนีการแตกร่วน

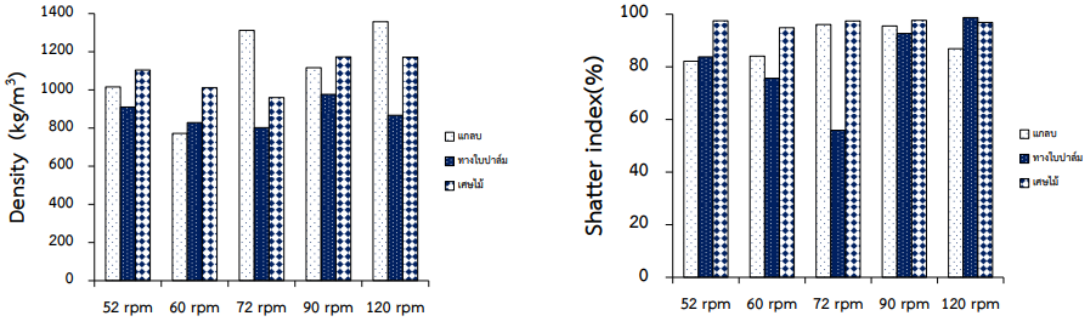
การทดสอบดัชนีการแตกร่วนของเชื้อเพลิงควรอยู่ระหว่าง 60-95% ซึ่งค่าดัชนีการแตกร่วนจะแสดงถึงคุณสมบัติที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งถ้ามีค่าการแตกร่วนน้อยก็จะส่งผลให้เชื้อเพลิงไม่แข็งแรง แตกง่าย และถ้ามีค่าดัชนีการแตกร่วนมากก็จะส่งผลให้ก้อนเชื้อเพลิงอัดแน่น มีความแข็งแรงมาก [8] จากการทดสอบปรับความเร็วรอบเกลียวอัดพบว่าที่ความเร็วรอบเกลียวอัดที่ 52, 60, 72, 90 และ120 rpm/min ให้ค่าดัชนีการแตกร่วนเฉลี่ยเท่ากับ 87.81%, 84.88%, 83.13%, 95.30% และ 94.17% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ทุกค่าอาจเป็นผลมาจาก ลิกนิน และสารระเหยกลุ่มยางต่างๆ ที่อยู่ในตัววัสดุได้รับความร้อนพอที่จะทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างเนื้อชีวมวล ดังแสดงในภาพที่ 5(ข)

3. ผลของค่าความต้านทานแรงกด

จากการทดสอบค่าความต้านทานแรงกดอัดจากการปรับความเร็วรอบเกลียวของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด พบว่าที่ความเร็วรอบ 52, 60, 72, 90 และ120 rpm/min ให้ค่าความต้านทานแรงกดเฉลี่ยเท่ากับ 4.44, 3.95, 3.76, 5.31 และ 4.89 MPa ในทุกความเร็วรอบเศษไม้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดที่มากที่สุดในทุกค่ายกเว้นที่ความเร็วรอบที่ 90 rpm/min มีค่าน้อยกว่าแกลบเล็กน้อยและทางใบปาล์มมีค่าความต้านทานแรงกดอัดที่ต่ำที่สุดในทุกๆความเร็วรอบ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากตัววัสดุมีค่าความชื้นที่ยังหลงเหลืออยู่ทำให้ไปทำลายความแข็งแรงของพันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค [7] โดยที่ความเร็วรอบที่ 90 rpm/min จะให้ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 6(ก)

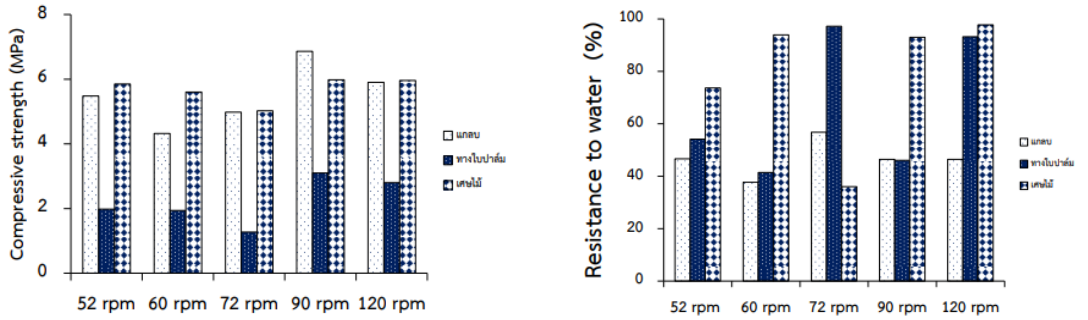
4. ผลของค่าความต้านทานน้ำ

จากการทดสอบค่าความต้านทานน้ำจากการปรับความเร็วรอบเกลียวอัดของชีวมวลทั้ง 3 ชนิดพบว่าที่ความเร็วรอบที่ 52, 60, 72, 90 และ120 rpm/min ให้ค่าความต้านทานน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 58.17%, 57.71%, 63.34%, 61.84% และ 79.12% ในทุกความเร็วรอบเศษไม้มีค่าความต้านทานน้ำที่มากที่สุดจากทั้งหมด 3 ชนิด และมีค่าที่ใกล้เคียงกันในแต่ละความเร็วรอบ โดยที่ความเร็วรอบที่ 120 rpm/min จะให้ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุดของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากชีวมวลสามารถยึดเกาะตัวกันได้ดีจนทำให้เกิดการลดช่องว่างของรูพรุนที่ส่งผลต่อการดูดซับน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 6(ข)



(ก) ความหนาแน่น (ข) ดัชนีการแตกร่วน

ภาพที่ 5 คุณสมบัติความหนาแน่นและดัชนีการแตกร่วน



(ก) ความต้านทานแรงกดอัด (ข) ความต้านทานน้ำ

ภาพที่ 6 คุณสมบัติความต้านทานแรงกดอัดและความต้านทานน้ำ

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบปรับความเร็วรอบเกลียวอัดเพื่อศึกษาอัตราการผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร แกลบ ทางใบปาล์ม และเศษไม้ พบว่าจากพลังงานกลที่ใส่เขาไปให้เกลียวอัดเกิดการหมุนทำให้เกิดการเสียดสีจนเกิดเป็นความร้อนขึ้นไปทำให้ลิกนินที่เป็นส่วนประกอบหลักอ่อนตัวลงสามารถยึดเกาะกันเป็นแท่งจนสามสามารถขึ้นรูปได้ และในความเร็วของเกลียวที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้มีการบดอัดที่มากขึ้นและมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเกลียวอัดยังสามารถขนถ่ายวัสดุได้เร็วขึ้น ดังนั้นจากการทดสอบจึงทำให้ทราบว่าการเพิ่มความเร็วรอบที่สูงขึ้นจะส่งผลให้มีค่าอัตราการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โดยค่าอัตราการผลิตเฉลี่ยของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด จากการทดสอบที่ความเร็วรอบ 52, 60, 72, 90 และ120 rpm/min เท่ากับ 19.35, 21.42, 36.63, 52.05 และ 59.10 kg/h ซึ่งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามความเร็วรอบของเกลียวอัด ในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วยค่าความหนาแน่น ดัชนีการแตกร่วน ความต้านทานแรงกดอัด และค่าความต้านทานน้ำ ยังให้ค่าเฉลี่ยของทุกความเร็วรอบที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยเฉพาะที่ความเร็วรอบที่ 90 และ 120 rpm/min จะได้คุณสมบัติทางกายภาพ อัตราการผลิต และลักษณะทางกายภาพของชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ที่ดีและผ่านเกณฑ์มาตรฐานในทุกๆค่า

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำนักงานกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สนพ.) งบประมาณประจำปี 2561 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้โครงการพัฒนาหน่วยวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อการสร้างนวัตกรรมด้านการเกษตร งบประมาณประจำปี 2561

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558).). “แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกพ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015)

[2] กระทรวงสาธารณสุข (2557). ข้อมูลการประกอบอาชีพเกษตรกรรมในประเทศไทย,[ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://envocc.ddc.moph.go.th/contents/view/210, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/03/2561.

[3] สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. บทเรียนบทเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเรื่องการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Energy_Conservation_in_Industrial_Plant/table/table5.html เข้าดูเมื่อวันที่ 10/09/2561.

[4] ภาสินี ลาดลา (2561). ผลกระทบเทคนิคการอุ่นชีวมวลที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพเชื้อเพลิงอัดแท่ง, การประชุม วิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย, จังหวัดระยอง

[5] Food Extrusion, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Energy_Conservation_in_Industrial_Plant/table/table5.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/09/2561.

[6] ลิกนิน (Lignin), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.digitalschool.club/digitalschool/science1_2_2/science2_1/more/lignin_1.php เข้าดูเมื่อวันที่ 10/09/2561.

[7] Nalladurai Kaliyan and Vance Morey R. (2009). Factors affecting strength and durability of densified biomass products, biomass and bioenergy, vol. 33(2009), October 2008, pp. 337 – 359.

[8] สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากผักตบชวา, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา file:///C:/Users/admin/Downloads/75830-Article%20Text-181073-1-10-20170127.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/09/2561.

FC35

การศึกษาการผลิตถ่านแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยและใบเตย

Study of briquette production from coconut shell mixed sugarcane bagasses and pandanus leaves

ศิริวรรณ เทพา และศตพล มุ่งค้ำกลาง*
สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยและใบเตย โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน อัตราส่วนของผงถ่านกะลามะพร้าวต่อชานอ้อยหรือใบเตยที่ทำการศึกษาคือ 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5 ทำการอัดแท่งด้วยวิธีการอัดเย็น ทดสอบความชื้น สารระเหย ปริมาณเถ้า คาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM ผลการศึกษาพบว่า ถ่านกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยที่มีค่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนคือ อัตราส่วนของผงถ่านกะลามะพร้าวต่อชานอ้อยเท่ากับ 9:1 ซึ่งมีปริมาณความชื้น สารระเหย ปริมาณเถ้า คาร์บอนคงตัวและค่าความร้อน เท่ากับ 0.10 2.40 11.06 86.30 เปอร์เซ็นต์ และ 5,173.58 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมใบเตยพบว่า ทุกอัตราส่วนคุณสมบัติของเชื้อเพลิงผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยอัตราส่วนของผงถ่านกะลามะพร้าวต่อใบเตยที่ 8:2 ให้ค่าพลังงานความร้อนสูงสุด คือ 5,692.67 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่ง กะลามะพร้าว ชานอ้อย ใบเตย

*Corresponding author: Tel.: 092-**5094651**. E-mail address: satapon.m@gmail.com

บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญต่อการพัฒนาในทุกมิติ ไม่ว่าจะเป็นมิติทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ทุกวันนี้พลังงานได้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น การคมนาคมขนส่ง อุตสาหกรรม และใช้ในครัวเรือน การขยายตัวทางเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของประชากร นับเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดวิกฤตการขาดแคลนพลังงาน จากการคาดการณ์ความต้องการพลังงานโลกในอนาคตของเอ็กซอนโมบิล [1] จะมีความแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค ในปี ค.ศ. 2040 จะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับปี ค.ศ. 2010 สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย พบว่าในปี พ.ศ. 2560 มีการใช้พลังงานขั้นต้นเพิ่มขึ้น ร้อยละ 2.4 เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจที่เริ่มดีขึ้น [2] จากสถานการณ์ที่กล่าวมา ประกอบกับนโยบายภาครัฐที่ต้องการพัฒนาพลังงานทดแทน ตามแนวทางการทำงานตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 ที่มีเป้าหมายให้สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเป็นร้อยละ 20 ของปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมสุทธิ และมีเป้าหมายการผลิตความร้อนจากพลังงานทดแทน ประเภทชีวมวลเพิ่มขึ้นจาก 5,144 ktoe ในสิ้นปี พ.ศ.2557 เป็น 22,100 ktoe ในปี พ.ศ. 2579 [3] ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการนำวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ซึ่งหลังจากการเก็บเกี่ยวพืช จะมีเศษวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรเป็นจำนวนมากมาพัฒนาเป็นพลังงาน เพื่อทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล โดยใช้ผงถ่านจากกะลามะพร้าว ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดี ติดไฟได้ง่าย อยู่ได้นาน และให้ค่าความร้อนสูง [4] มีค่าความร้อนถึง 7,760 แคลอรี่ต่อกรัม (แห้ง) [5] มาเป็น

ส่วนประกอบหลักผสมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ชานอ้อยและใบเตย ซึ่งมีมากในชุมชนก่อนอัดให้เป็นแท่งเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่แตกต่างกันออกไป

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านกะลามะพร้าวผสมใบเตย และถ่านกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยอัดแท่ง

นำกะลามะพร้าว ใบเตยและชานอ้อย ตากแดด เผากะลามะพร้าวจนเป็นถ่าน นำถ่านกะลามะพร้าว ใบเตยและชานอ้อย เข้าเครื่องบด ผสมผงถ่านกะลามะพร้าวและผงใบเตย ตามอัตราส่วนดังนี้ อัตราส่วนน้ำหนักถ่านกะลามะพร้าวต่อใบเตย 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5 โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน นำผงถ่านกะลามะพร้าวผสมกับผงชานอ้อย ตามอัตราส่วนดังนี้ อัตราส่วนน้ำหนักถ่านกะลามะพร้าวต่อชานอ้อย 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5 โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน นำส่วนผสมที่ได้เข้าเครื่องอัดแท่งแบบใช้แรงคน (**ภาพที่ 1**) โดยใช้แรงงานจากคนเดิมในการอัดแท่งทุกครั้ง เพื่อให้เป็นถ่านอัดแท่งที่มีความหน่าแน่นเท่ากันและนำถ่านที่ได้ขนาดความยาว 12 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ไปตากให้แห้ง นำถ่านที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

วิเคราะห์คุณสมบัติด้านกายภาพและเคมีของถ่านกะลามะพร้าวผสมใบเตย และถ่านกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยอัดแท่ง

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านอัดแท่งโดยวิเคราะห์ความชื้น (% Moisture) ตามวิธีมาตรฐาน ASTMD3173 วิเคราะห์ปริมาณเถ้า (% Ash) ตามวิธีมาตรฐาน ASTMD3174 วิเคราะห์การหาปริมาณสารระเหย (% Volatile Matter) ตามวิธีมาตรฐาน ASTMD3175 วิเคราะห์การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (% Fixed Carbon) ตามวิธีมาตรฐาน ASTMD3172 และวิเคราะห์การหาค่าความร้อน (% Heating Value) ตามวิธีมาตรฐาน ASTMD5865

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของถ่านกะลามะพร้าวผสมใบเตย และถ่านกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยอัดแท่ง

ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยและถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมใบเตยที่อัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5 เมื่อทำการอัดแท่งด้วยเครื่องอัดแท่งแบบใช้แรงคน พบว่าถ่านอัดแท่งสามารถขึ้นรูปเป็นแท่งได้ดี **(ภาพที่ 2)** เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านอัดแท่ง ได้แก่ ความชื้น สารระเหย เถ้า คาร์บอนคงตัว และค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่ง ผลการทดลองพบว่าถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 0.04-0.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วง 1.53-2.40 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 8.27-12.46 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วง 85.47-89.31 เปอร์เซ็นต์ และค่าพลังงานความร้อนอยู่ในช่วง 4,710.80 - 5,173.58 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (**ตารางที่ 1**) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยทุกอัตราส่วนมีปริมาณความชื้น สารระเหย เถ้า และคาร์บอนคงตัว เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน () กล่าวคือมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ ถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณความชื้นต่ำจะมีความเหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงที่ได้มีค่าพลังงานความร้อนสูง [6,7] ปริมาณเถ้าต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ หากถ่านอัดแท่งมีปริมาณเถ้ามากเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาในการเผาไหม้และการกำจัดเถ้า [6] ปริมาณสารระเหยต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณสารระเหยต่ำเมื่อนำไปเผาไหม้จะมีปริมาณควันไฟน้อย ทำให้ไม่ระคายเคืองตา [8] ปริมาณคาร์บอนคงตัวไม่ต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ถ่านอัดแท่งที่มีคาร์บอนคงตัวสูงจะส่งผลให้เชื้อเพลิงมีคุณภาพดี ส่วนค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยที่มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

(มากกว่า 5000 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม) มีเพียงอัตราส่วนเดียวคืออัตราส่วน 9:1 ซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 5,173.58 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ดังนั้นอัตราส่วนของถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยที่เหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเชื้อเพลิงคือ อัตราส่วน 9:1



ภาพที่ 1 เครื่องอัดแท่งแบบใช้แรงคน



ภาพที่ 2 ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมใบเตยและชานอ้อย

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกะลามะพร้าวผสมชานอ้อย

อัตราส่วน (ถ่านกะลามะพร้าว:ชานอ้อย)	ค่าความร้อน (Kcal/kg)	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	เถ้า (%)	คาร์บอนคงตัว (%)
9:1	5,173.58	0.10	2.40	11.06	86.30
8:2	4,882.15	0.04	1.53	12.40	86.01
7:3	4,881.26	0.05	2.34	12.46	85.47
6:4	4,975.44	0.05	2.36	10.13	87.43
5:5	4,710.80	0.07	2.34	8.27	89.31

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมใบเตย พบว่าถ่านอัดแท่งมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 0.06-0.08 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วง 2.51-2.81 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 3.33-6.52 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วง 90.57-93.72 เปอร์เซ็นต์ และค่าพลังงานความร้อนอยู่ในช่วง 5,176.76- 5,692.67กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม (**ตารางที่ 2**) จากผลการวิเคราะห์คุณสมบติของถ่านอัดแท่งดังกล่าวจะเห็นได้ว่าถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมใบเตยในทุกอัตราส่วนมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนกำหนด เมื่อเปรียบเทียบถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยและถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมใบเตยจะเห็นได้ว่าถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวมีแนวโน้มของสารระเหยที่มากกว่าเนื่องจากองค์ประกอบของใบเตยมีสารระเหยซึ่งให้กลิ่นหอม [9] ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมใบเตยมีปริมาณเถ้าน้อยกว่าถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อย ส่งผลให้คาร์บอนคงตัวและค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมใบเตยมีค่าสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อย เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนที่ได้กับงานวิจัยอื่นพบว่า ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่างานวิจัยของสำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ แต่มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของศิริชัย (2560) [10] และศตพล (2558) [11] ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกะลามะพร้าวที่มีสายพันธุ์และแหล่งที่มาต่างกันจะให้ค่าพลังงานความร้อนต่างกัน

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านกะลามะพร้าวผสมใบเตย

อัตราส่วน(ถ่านกะลามะพร้าว: ใบเตย)	ค่าความร้อน (Kcal/kg)	ความชื้น (%)	สารระเหย (%)	เถ้า (%)	คาร์บอนคงตัว (%)
9:1	5,665.70	0.08	2.81	6.52	90.57
8:2	5,692.67	0.06	2.51	3.70	93.72
7:3	5,228.21	0.06	2.80	4.04	93.07
6:4	5,313.67	0.08	2.75	3.33	93.82
5:5	5,176.76	0.08	2.61	4.41	92.88

ตารางที่ 3 พลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าว

วัตถุดิบ	อัตราส่วนของผสม	ค่าความร้อน (Kcal/kg)	อ้างอิง
กะลามะพร้าวผสมกากมะพร้าว	6 : 4	~6,000	[10]
กะลามะพร้าว	-	7,760	
กะลามะพร้าวผสมฟางข้าว	9 : 1	6,186.06	[11]
กะลามะพร้าวผสมใบเตย	8 : 2	5,692.67	งานวิจัยนี้
กะลามะพร้าวผสมชานอ้อย	9 : 1	5,173.58	งานวิจัยนี้

สรุปผลการวิจัย

จากการผลิตและศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยและใบเตยในอัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5 โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่งแล้วจะเห็นได้ว่าถ่านอัดแท่งที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้แก่ ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมชานอ้อยอัตราส่วน 9:1 ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมใบเตยในอัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5 จึงสรุปได้ว่าชานอ้อยและใบเตยเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สามารถนำมาผสมกับกะลามะพร้าวแล้วผลิตเป็นถ่านอัดแท่งใช้สำหรับหุงต้มในครัวเรือนได้

เอกสารอ้างอิง

[1] เอ็กซอนโมบิล. (2555). **2012 แนวโน้มพลังงานโลก-ภาพรวมถึงปี 2040.** แปลและเรียบเรียงโดยฝ่ายกิจกรรมองค์กรและรัฐกิจสัมพันธ์ บริษัท เอสโซ่ (ประเทศไทย) จำกัด มหาชน

[2] สำนักงานนโยบายและแผนพัฒนาพลังงาน 2561 . **สถานการณ์พลังงานไทยเดือน ม.ค.-ก.ค. ปี 2561**. สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2561 จาก www.eppo.go.th/images/Energy-Statistics/energyinformation/Energy.../00All.pptx.

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579.** กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน

[4] บุญรัก ลาดสูงเนิน และ ฐนสพล ปรีชาญาณ. (มปก.). **การผลิตถ่านกะลามะพร้าวและน้ำส้มควันไม้จากเตาเผาถ่านแบบเคลื่อนที่ได้.** สืบค้นเมื่อ 27 กันยายน 2561 จาก arit.mcru.ac.th/ab_abstrac/fileUpload/0088.pdf.

[5] สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้. (2561). **คู่มือค่าความร้อนของไม้และถ่าน**. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2561 จาก http://forprod.forest.go.th/forprod/woodenergy/PDF/public/7.%20%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%84%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%89%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%96%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%99.pdf.

[6] ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ ณรงค์ศักดิ์ ลาปัน วิภาวดี ชัชวาล และอานันท์ ธัญญเจริญ. (2559). การพัฒนาก้อนเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษฟางข้าวผสมเศษลำไยเหลือทิ้ง. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.** 39 (2), 239-255.

[7] ชลลดา ไร่ขาม ยุทธพันธ์ คำวัน ปภาภร จันทะวงศ์ฤทธิ์ และศิริทรัพย์ แก้วม่วง. (2560). ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนกากน้ำตาลที่มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มำจากเปลือกมังคุดและเปลือกเงาะ. **วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.** 9 (10), 79-90.

[8] อดิเทพ เดชมา เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์ ประนิตดา เพ็งงิ้ว และ ศตพล มุ่งค้ำกลาง. (2559). “การศึกษาค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกยูคาลิปตัสและซังข้าวโพด ”. ใน **งานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏกลุ่มศรีอยุธยา ครั้งที่ 7**, วันที่ 7-8 กรกฎาคม 2559.

[9] นิศานันท์ ตามกาล ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และอรพิน เกิดชูชื่น. (2558). คุณสมบัติทางกายภาพและสารหอมระเหยของใบเตยหอม (Pandanus amaryllifolius Roxb.) สกัดด้วยน้ำ. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**. 46 (3), 145-148.

[10] ศิริชัย ต่อสกุล กุณฑล ทองศรี และจงกล สุภารัตน์. (2560). “การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากกากมะพร้าวเป็นพลังงานทดแทน”, ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 12 ประจำปี 2560**. หน้า 1381-1386.

[11] ศตพล มุ่งค้ำกลาง. (2559). การหาประสิทธิภาพของแท่งเชื้อเพลิงจากถ่านกะลามะพร้าวและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการประกอบอาหาร. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : เทพสตรี I-TECH**. 11(1), 59-67.

FC49

อิทธิพลของระยะความสูงก้นหม้อต่อโครงสร้างเปลวไฟและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาวัสดุพรุนแบบเม็ดกลมอัดแน่น

Effects of Heating Height on Flame Structure and Thermal Efficiency of a Packed Bed Porous Media Burner (PMB)

ภาคภูมิ สืบภา[1] อำไพศักดิ์ ทีบุญมา[1] สำเริง จักรใจ[2] และอภินันต์ นามเขต[1*]
[1] ศูนย์เทคโนโลยีด้านวัสดุพรุนและพลังงานที่เหมาะสม (APEC) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 85 ถนนสถลมาร์ค ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190
[2] ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องยนต์และการเผาไหม้ (CERL) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของระยะความสูงก้นหม้อต่อโครงสร้างเปลวไฟ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการปลดปล่อยมลพิษของหัวเผาวัสดุพรุนแบบเม็ดกลมอัดแน่น หัวเผาถูกติดตั้งด้วยวัสดุพรุนที่ทำมาจากเม็ดหินอะลูมินาเพื่อช่วยส่งเสริมการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นทั้งสามโหมดในเวลาเดียวกัน คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี การทดสอบสมรรถนะการเผาไหม้ของเตาใช้การทดสอบตามมาตรฐาน DIN EN 203-2 วัสดุพรุนที่ใช้ทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร หรือมีค่าความพรุนเท่ากับ 0.47 โดยทดสอบเตาที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงจาก 3 ถึง 15 กิโลวัตต์ ภายใต้การปรับระยะความสูงก้นหม้อในช่วงจาก 3 ถึง 9 เซนติเมตร ผลจากการศึกษาพบว่าหัวเผาแบบวัสดุพรุนให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าหัวเผาแบบทั่วไป โดยมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 65.48 % โดยมีข้อน่าสังเกตว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดระยะความสูงก้นหม้อ อย่างไรก็ตาม การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ยังอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากการเหนี่ยวนำอากาศเพื่อการเผาไหม้ที่ยังไม่เพียงพอ

คำสำคัญ: หัวเผาวัสดุพรุน ระยะความสูงก้นหม้อ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน การเผาไหม้

*Corresponding author: Tel.: 045-353-309. E-mail address: apinunt.n@ubu.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied petroleum gas, LPG) ในประเทศไทย เป็นเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัด และยังคงมีราคาค่อนข้างสูง ประกอบกับความต้องการใช้แก๊สปิโตรเลียมเหลวในภาคครัวเรือนที่สูงขึ้น จากสถิติของกระทรวงพลังงานในปี พ.ศ. 2560 พบว่า ภาคครัวเรือนมีสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลวสูงถึงร้อยละ 34 [1] เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด จึงสะดวกแก่การนำมาใช้งาน ซึ่งหากใช้อย่างไม่ประหยัด อาจทำให้มีแนวโน้มที่จะหมดเร็วขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการใช้พลังงานที่มีอยู่ให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด จึงทำให้เกิดแนวความคิดที่จะทำให้เตาแก๊สหุงต้มในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงขึ้น โดยจะนำเอาหลักการอุ่นไอดีหรือส่วนผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงมาประยุกต์ใช้งาน [2] ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิในการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น โดยการนำเอาวัสดุพรุนเข้ามาช่วยอุ่นไอดี เนื่องจากวัสดุพรุนมีลักษณะเด่นคือ สามารถดูดกลืนความร้อนสูงและแผ่รังสีความร้อน

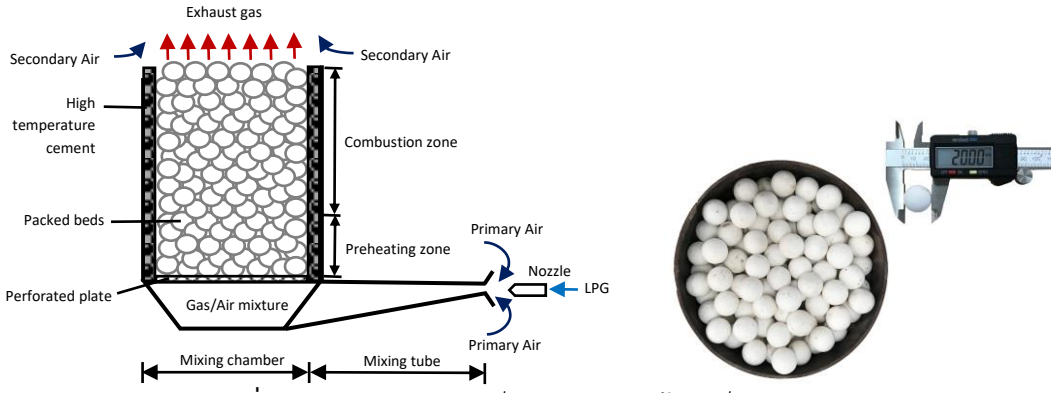
ได้ โดยความร้อนจากการเผาไหม้จะแผ่รังสีมายังไอดีและอุ่นไอดีให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น อีกทั้งมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ซึ่งส่งผลดีต่อการถ่ายเทความร้อนทั้งการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) จึงช่วยส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนจากเตาไปยังหม้อได้ดีขึ้น จากลักษณะเด่นดังกล่าวทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น สามารถเพิ่มอุณหภูมิการเผาไหม้ได้สูงกว่าทฤษฎี และส่งผลให้เกิดเปลวไฟแบบซุปเปอร์อะเดียบาติก (Super adiabatic flame) ทำให้ความเร็วในการเผาไหม้ (Burning velocity) เพิ่มขึ้นและความเข้มของการเผาไหม้ (Combustion intensity) สูงขึ้นด้วย

จากข้อดีของการเผาไหม้ในวัสดุพรุนนี้ จึงได้มีงานวิจัยจำนวนมากนำหลักการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับเตาแก๊สหุงต้ม กลุ่มงานวิจัยของ สำเริง จักรใจ และคณะ [3-6] พัฒนาเตาแก๊สหุงต้มขนาด KB-10 โดยใช้วัสดุพรุนแบบเม็ดกลมอัดแน่น ชนิดทรงกระบอกตันและพัฒนามาเป็นแบบวงแหวน พบว่าวัสดุพรุนชนิดแบบวงแหวนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นและยังช่วยลดการปลดปล่อยมลพิษ อีกกลุ่มงานวิจัยคือ บัณฑิต กฤตาคม และคณะ [7-8] ได้พัฒนาเตาแก๊สหุงต้มขนาด KB-10 เช่นเดียวกัน โดยเลือกใช้วัสดุพรุนทั้งชนิดแบบเม็ดกลมอัดแน่นและแบบเส้นใยโลหะ พบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้นเมื่อเทียบกับเตาดั้งเดิมและสามารถเลือกใช้วัสดุพรุนได้ทั้งสองประเภท ทั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สหุงต้มอาศัยการถ่ายเทความร้อนของเปลวไฟเป็นหลัก ดังนั้นระยะห่างระหว่างหัวเตาถึงก้นภาชนะจึงมีความสำคัญ [9-10] จากการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับอิทธิพลของระยะความสูงก้นหม้อต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่อนข้างน้อย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาอิทธิพลของระยะความสูงก้นหม้อต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน การปลดปล่อยมลพิษ และโครงสร้างเปลวไฟของหัวเผาวัสดุพรุนแบบเม็ดกลมอัดแน่น โดยเลือกใช้วัสดุพรุนที่ทำมาจากเม็ดหินอะลูมินา ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร หรือมีค่าความพรุนเท่ากับ 0.47 ในการทดสอบ ซึ่งผลที่ได้จะทำการเปรียบเทียบกับหัวเผาแบบทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาด (Conventional burner, CB) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้จะช่วยให้ทราบถึงระยะความสูงที่เหมาะสม เพื่อนำไปสู่การออกแบบชุดหัวเตาประสิทธิภาพสูงในอนาคต

วิธีการวิจัย

เตาแก๊สหุงต้มที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่นี้เป็นการดัดแปลงจากเตาแก๊สหุงต้มดั้งเดิมขนาด KB-5 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวเตา 5 นิ้ว) ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป แสดงดังภาพที่ 1 โดยใช้วัสดุพรุนคือ เม็ดหินอะลูมินาขนาด 20 มม.



ภาพที่ 1 หัวเผาวัสดุพรุนแบบเม็ดกลมอัดแน่น (ซ้าย) เม็ดหินอะลูมินา (ขวา)

หัวเผาแบบดั้งเดิมอาศัยหลักการเผาไหม้และถ่ายเทความร้อนไปยังก้นหม้อโดยการนำและการพาความร้อน แต่ในงานวิจัยนี้จะนำเอาวัสดุพรุนมาประยุกต์ใช้กับเตาแก๊สดั้งเดิม ซึ่งการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นทั้งสามโหมดในเวลาเดียวกัน คือการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี อีกทั้งการเผาไหม้ในวัสดุพรุนช่วยให้ประหยัดเชื้อเพลิง เนื่องจากอิทธิพลของการอุ่นไอดีหรือส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ ซึ่งช่วยเพิ่มอุณหภูมิการเผาไหม้ให้สูงขึ้น

หลักการทำงานของเตาเริ่มต้นจากการปล่อยเชื้อเพลิงผ่านหัวฉีดแก๊ส จากนั้นอากาศส่วนแรกที่ใช้ในการเผาไหม้จะถูกเหนี่ยวนำเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงภายในท่อผสม แก๊สผสมจะไหลผ่านเข้าไปในชั้นของวัสดุพรุน จากนั้นแก๊สผสมจะถูกจุดติดไฟภายในชั้นของวัสดุพรุน โดยบริเวณการเผาไหม้จะถ่ายเทความร้อนออกไปในทุกทิศทาง ซึ่งจะทำให้แก๊สผสมที่อยู่ด้านล่างถูกอุ่นให้ร้อนก่อนการเผาไหม้ จากนั้นแก๊สผสมที่ถูกอุ่นจะถูกใช้ในการเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้เพิ่มสูงขึ้น และความร้อนจากเปลวไฟจะถ่ายเทไปยังก้นหม้อภาชนะที่อยู่ด้านบน ในขณะเดียวกันเปลวไฟจะเหนี่ยวนำเอาอากาศส่วนที่สองไปใช้ในการเผาไหม้ด้วย

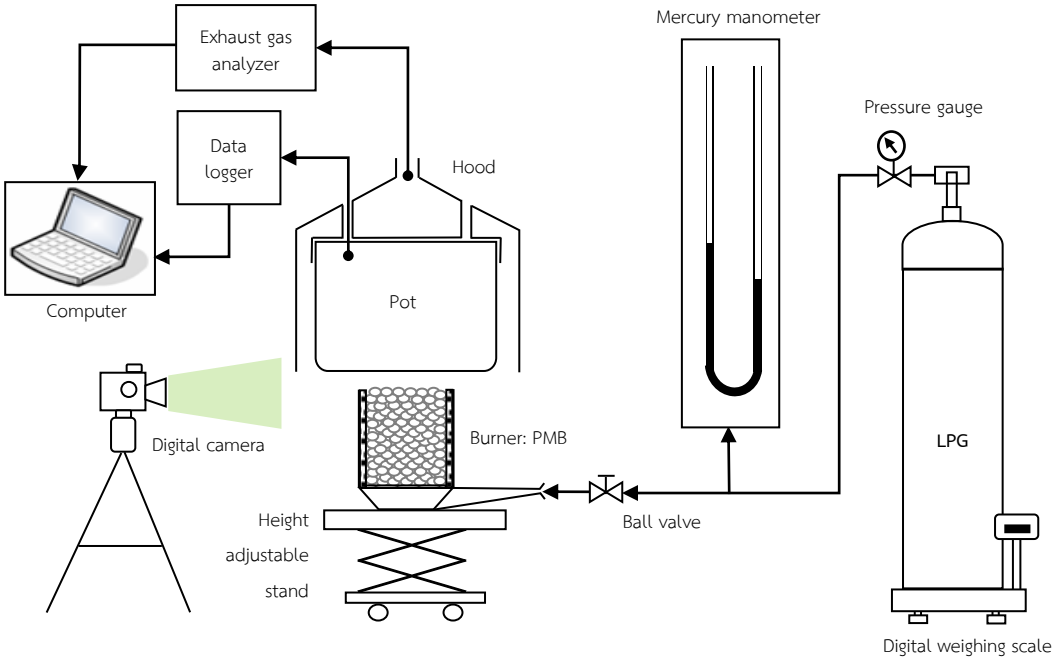
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 2 โดยมีส่วนประกอบหลัก ๆ คือ ส่วนแรกเป็นชุดหัวเผาวัสดุพรุนที่ทำงานร่วมกับเตาเชื้อเพลิงแก๊สขนาด KB-5 ซึ่งเป็นการนำเตาแก๊สหุงต้มขนาด KB-5 ที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดมาดัดแปลงโดยการนำเอาหัววงแหวนออก และแทนที่ด้วยชุดหัวเผาวัสดุพรุน และส่วนที่สองเป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและเก็บข้อมูลในการทดลอง โดยอาศัยเครื่องวัดปริมาณแก๊สไอเสีย (Exhaust gas analyzer) ของบริษัท Entech รุ่น Testo 350 ซึ่งเป็น Electromechanical sensor วัดในลักษณะไอเสียแห้ง (Dry basis) ซึ่งค่าที่วัดได้จะมีความคลาดเคลื่อน 0.05 เปอร์เซ็นต์ และอุปกรณ์เก็บบันทึกค่าอุณหภูมิใช้ Data logger รุ่น Midi logger GL220 ในการเก็บบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำ เพื่อใช้ทดลองหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผา ขั้นตอนการทดลองเริ่มจากการเปิดแก๊สเชื้อเพลิงจากถังบรรจุแก๊ส ซึ่งจะใช้วาล์วปรับความดัน (Pressure regulator) เป็นตัวควบคุมปริมาณการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง โดยมีการชั่งน้ำหนักของแก๊สเชื้อเพลิงที่ลดลงจากการทดลองด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล เพื่อคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส ($\dot{m}_g$) ขณะเดียวกันความดันของแก๊สเชื้อเพลิงจะถูกวัดด้วยมานอมิเตอร์ (Manometer) แบบปรอท จากนั้นแก๊สจะถูกพ่นออกจากหัวฉีดเข้าไปในท่อผสม อากาศที่อยู่รอบๆ ทางเข้าท่อผสมจะถูกเหนี่ยวนำผ่านช่องอากาศส่วนแรกเข้าไปในท่อผสมพร้อมๆ กับแก๊สเชื้อเพลิงโดยอาศัยการถ่ายเทโมเมนตัมระหว่างแก๊สและอากาศโดยรอบ จากนั้นส่วนผสมของอากาศส่วนแรกและแก๊สจะไหลผ่านวัสดุพรุนและลุกติดไฟให้เปลวไฟชนิดผสมมาก่อน (Premixed flame) การวัดประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะอ้างอิงตามมาตรฐาน DIN EN 203-2:1997 โดยทำการเลือกขนาดของหม้อภาชนะ (Pot) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร [11] ซึ่งชุดดักไอเสีย (Hood) ที่ทำการวัดไอเสียสามารถครอบได้ และเติมน้ำปริมาณ 30.6 กิโลกรัมลงในหม้อภาชนะ ทำการต้มน้ำจากอุณหภูมิห้องจนกระทั่งถึงประมาณ 90 °C จากนั้นทำการบันทึกค่าอุณหภูมิน้ำและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ พร้อมทั้งบันทึกค่าปริมาณแก๊สไอเสีย (CO, NO_x) สมการที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน แสดงดังสมการ (1)

$$\eta_{th} = \frac{m_{water} C_{p,water} \left(90 - T_{water,i}\right)}{\dot{m}_g \times LHV \times t} \qquad (1)$$

เมื่อ η_{th} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (-)
m_{water} คือ มวลของน้ำทดสอบ (kg)
$C_{p,water}$ คือ ค่าความจุความร้อนของน้ำ (kJ/kg.K)
$T_{water,\,i}$ คือ อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น (°C)
$\dot{m}_g$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส (kg/s)
LHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)
t คือ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (s)

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองที่เงื่อนไขเดิมซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยในการรายงานผล ซึ่งในการทดลองจะทำการปรับค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงหรืออัตราการเผาไหม้ จาก 3 ถึง 15 กิโลวัตต์ ซึ่งการควบคุมอัตราการเผาไหม้ (q) สามารถทำได้โดยการปรับค่าอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส ($\dot{m}_g$) ค่าอัตราการเผาไหม้ของเตา สามารถคำนวณหาได้ดังสมการ (2)

$$q = \dot{m}_g \times LHV \quad (2)$$



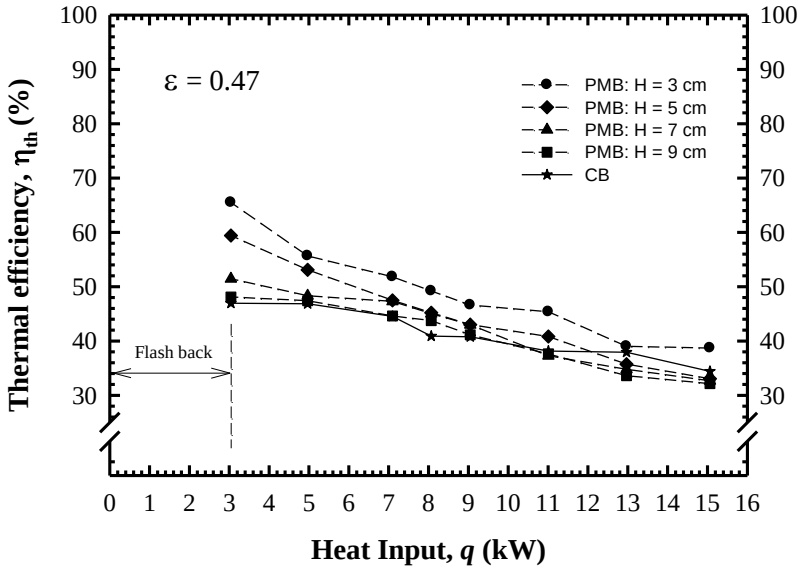
ภาพที่ 2 ชุดอุปกรณ์การทดลองหัวเผาวัสดุพรุน PMB

การทดลองเป็นการศึกษาอิทธิพลของระยะความสูงก้นหม้อ (H) ต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน การปลดปล่อยมลพิษ และโครงสร้างเปลวไฟของหัวเผา โดย H วัดจากด้านบนสุดของหัวเตาไปถึงก้นภาชนะ เพื่อทดสอบหาระยะห่างระหว่างก้นภาชนะและหัวเผาที่เหมาะสม โดยระยะห่างก้นหม้อที่ทำการทดลองมี 4 ระดับ ได้แก่ 3, 5, 7, และ 9 เซนติเมตร ซึ่งระยะที่เหมาะสมคือต้องให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงแต่ปลดปล่อยมลพิษในปริมาณที่ต่ำ และผลที่ได้จะทำการเปรียบเทียบกับหัวเผาแบบทั่วไปที่มีขายตามท้องตลาด (Conventional burner, CB) เช่นเดียวกัน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

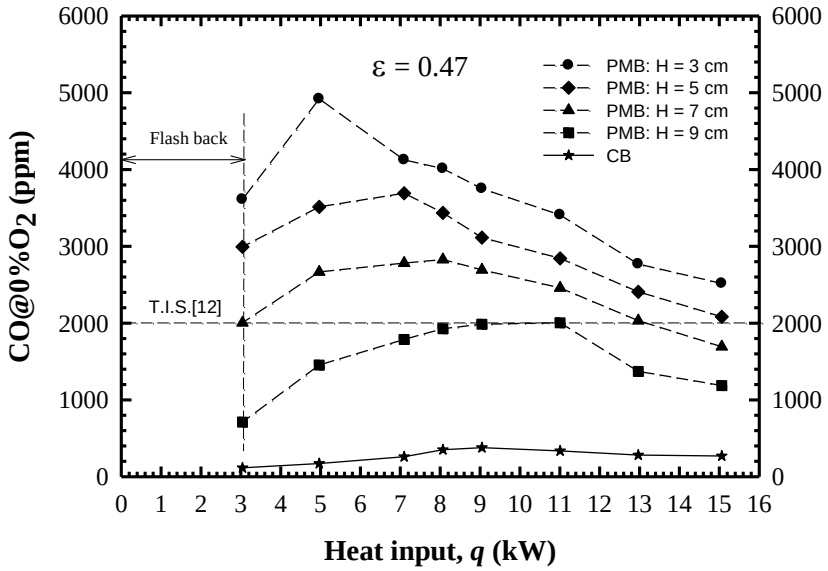
อิทธิพลของระยะความสูงก้นหม้อที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาวัสดุพรุน (PMB) แสดงในภาพที่ 3 โดยทดสอบที่ระยะความสูงก้นหม้อ 4 ระยะ ได้แก่ 3, 5, 7 และ 9 เซนติเมตร โดยหัวเผาใช้วัสดุพรุนที่มีค่าความพรุน (ε) เท่ากับ 0.47 จากการทดลองพบว่า ช่วงอัตราการป้อนเชื้อเพลิง (q) ต่ำๆ จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง โดยมีค่าสูงสุดที่ความสูงก้นหม้อเท่ากับ 3 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 65.48 % และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดการสูญเสียความร้อน (Heat loss) สู่สิ่งแวดล้อม เพราะเปลวไฟที่สภาวะนี้จะยาวและล้นก้นหม้อ ความร้อนจากเปลวไฟบางส่วนจะสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศในปริมาณที่สูงทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ อีกทั้งจะเห็นได้ว่าที่ระยะความสูงก้นหม้อที่เพิ่มมากขึ้น (ก้นหม้อภาชนะอยู่ห่างหัวเตามากขึ้น) หรือค่า H มีค่าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดน้อยลงเรื่อยๆ เนื่องจากระยะห่างระหว่างหัวเตาและก้นภาชนะที่มากขึ้นทำให้ความร้อนจากเปลวไฟไปไม่ถึงก้นภาชนะ แต่จะสูญเสียความร้อนออกสู่บรรยากาศโดยรอบ และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ของหัวเผาวัสดุพรุน (PMB) กับหัวเผาแบบดั้งเดิมทั่วไป (CB) พบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหัวเผาวัสดุพรุน (PMB) จะสูงกว่าหัวเผาแบบดั้งเดิม (CB) ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดร้อยละ 18 ทั้งนี้เนื่องจากข้อดีของหัวเผาวัสดุพรุนคือ ในขณะที่เกิดการเผาไหม้ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้นี้จะกระจายไปในทุกทิศทางภายในเนื้อของวัสดุพรุน โดยความร้อนบางส่วนจะถ่ายเทลงไปทางด้านล่างวัสดุพรุน ซึ่งบริเวณดังกล่าวคือแก๊สผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงที่กำลังเคลื่อนที่มายังบริเวณการเผา

ไหม้ (Combustion zone) จึงส่งผลให้แก๊สผสมดังกล่าวถูกอุ่นให้ร้อนขึ้น โดยมีอุณหภูมิประมาณ 300 °C เรียกบริเวณนี้ว่าบริเวณการอุ่น (Preheating zone) จากหลักการอุ่นแก๊สผสมให้ร้อนขึ้นก่อนถูกนำไปเผาไหม้นี้ จะทำให้อุณหภูมิเปลวไฟจากการเผาไหม้มีค่าสูงขึ้นมากกว่าค่าปกติหรือมากกว่าอุณหภูมิเปลวไฟทางทฤษฎี (Adiabatic flame temperature) ดังนั้นจะส่งผลให้หัวเผาวัสดุพรุน (PMB) มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มสูงขึ้น

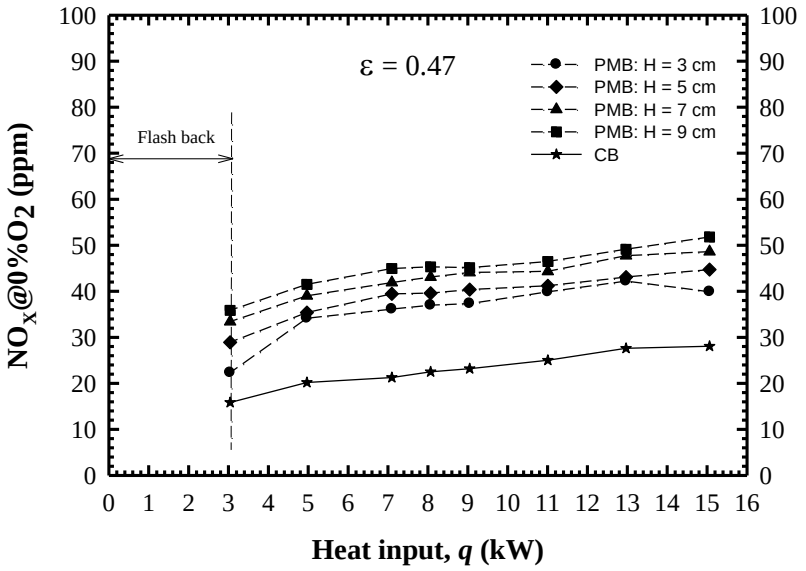


ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ระยะความสูงต่างๆ

ภาพที่ 4 แสดงอิทธิพลของระยะความสูงก้นหม้อต่อการปลดปล่อย CO พบว่าที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำๆ หัวเผาวัสดุพรุนจะมีการปลดปล่อย CO ในปริมาณที่น้อย เนื่องจากเปลวไฟสั้นและอยู่ห่างก้นหม้อ ทำให้ไม่ได้รับอิทธิพลของเปลวไฟดับจึงไม่เกิด Flame quenching ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ จากนั้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เปลวไฟยาวขึ้นและสัมผัสก้นหม้อเกิด Flame quenching เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงสุด จะทำให้เปลวไฟเกิดความปั่นป่วนและเหนี่ยวนำอากาศส่วนที่สองเข้ามาเผาไหม้ได้มากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์และการปลดปล่อย CO มีแนวโน้มลดลง ในขณะเดียวกันพบว่า ที่ระยะความสูงก้นหม้อสูงๆ ส่งผลให้เปลวไฟอยู่ห่างก้นหม้อมากและไม่สัมผัสผิวภาชนะจึงไม่เกิด Flame quenching ดังนั้นจะเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ แต่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะต่ำ และพบว่าหัวเผาวัสดุพรุนจะมีปริมาณการปลดปล่อย CO มากกว่าหัวเผาแบบดั้งเดิม (CB) เนื่องจากเตาดังกล่าวเกิดความดันตกคร่อมสูงภายในเตา ส่งผลให้การเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกเพื่อใช้ในการเผาไหม้เข้ามาได้น้อยและไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ จึงเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด

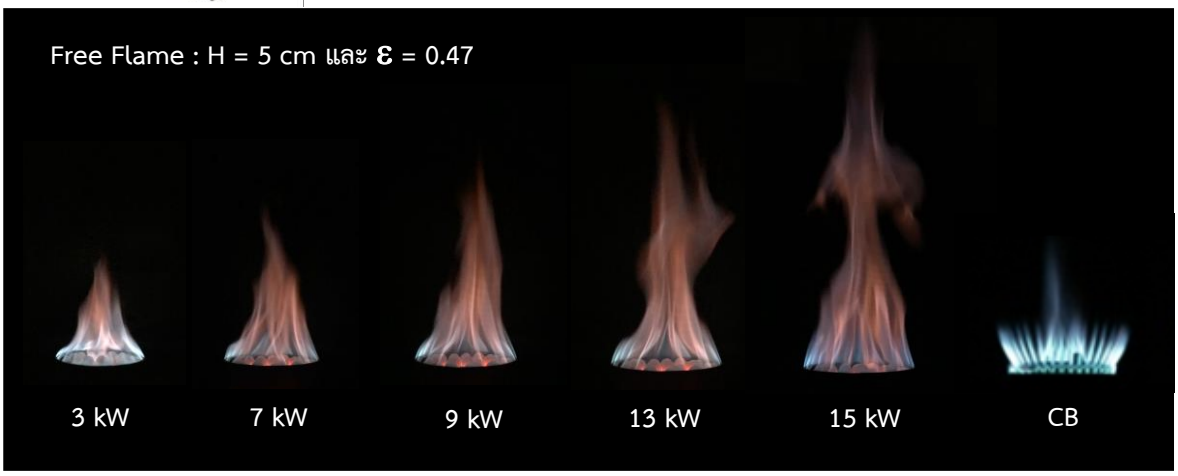


ภาพที่ 4 ปริมาณการปลดปล่อย CO ที่ระยะความสูงต่างๆ



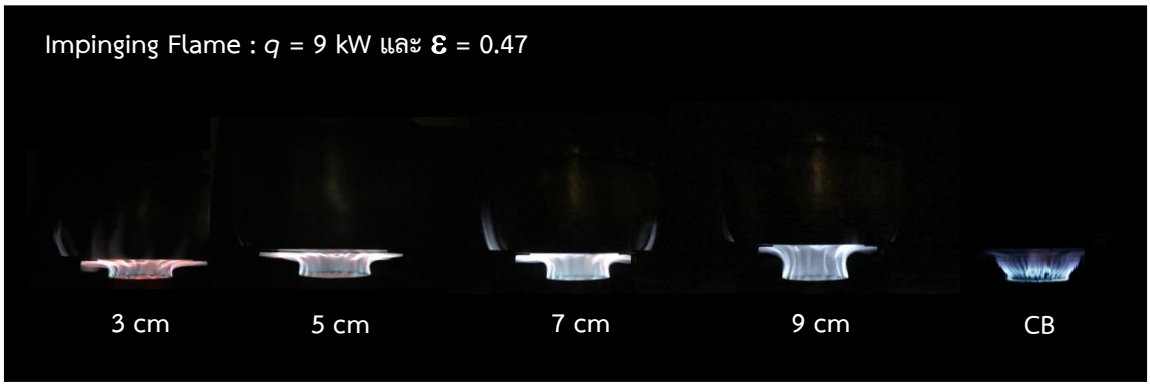
ภาพที่ 5 ปริมาณการปลดปล่อย NOx ที่ระยะความสูงต่างๆ

อิทธิพลของระยะความสูงก้นหม้อต่อการปลดปล่อย NOx แสดงในภาพที่ 5 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงมากขึ้น การปลดปล่อย NOx จะสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงจะทำให้มีอุณหภูมิในการเผาไหม้สูงขึ้น ดังนั้นปริมาณ Thermal NOx หรือ Zeldovich-NOx (NOx ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิสูง) จึงมีปริมาณที่สูง และพบว่าที่ระยะความสูงก้นหม้อต่ำๆ เช่น H เท่ากับ 3 เซนติเมตร เปลวไฟจะไปสัมผัสก้นภาชนะเย็นมากกว่ากรณีที่ค่า H สูงๆ ดังนั้นอุณหภูมิของเปลวไฟจะลดลงเนื่องจากสูญเสียความร้อน ส่งผลให้ Thermal NOx มีค่าต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของหัวเผาวัสดุพรุนและหัวเผาแบบดั้งเดิม (CB) พบว่า หัวเผาวัสดุพรุนจะให้ค่า NOx ที่สูงกว่าเนื่องจากหัวเผาดังกล่าวจะเผาไหม้ให้อุณหภูมิเปลวไฟที่สูงดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้ Thermal NOx มีค่าเพิ่มขึ้นสูง



ภาพที่ 6 โครงสร้างเปลวไฟที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่างๆ

อิทธิพลของอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่อโครงสร้างเปลวไฟ แสดงในภาพที่ 6 โดยหัวเผาวัสดุพรุนทดสอบที่ระยะความสูงก้นหม้อเท่ากับ 5 เซนติเมตร และมีค่าความพรุนเท่ากับ 0.47 พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงจะทำให้เปลวไฟยาวขึ้น ดังนั้นที่ค่าอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำๆ เปลวไฟจะอยู่ห่างก้นหม้อและไม่เกิด Flame quenching ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ และพบว่าเปลวไฟของหัวเผาวัสดุพรุนจะยาวกว่าหัวเผาแบบดั้งเดิมและมีสีเหลืองปริมาณมาก เนื่องจากหัวเผาวัสดุพรุนจะเหนี่ยวนำอากาศส่วนแรกในการเผาไหม้ได้น้อย ดังนั้นจะเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และมีเขม่า



ภาพที่ 7 โครงสร้างเปลวไฟที่ระยะความสูงก้นหม้อต่างๆ

อิทธิพลของระยะความสูงก้นหม้อต่อโครงสร้างเปลวไฟ แสดงในภาพที่ 7 โดยหัวเผาวัสดุพรุนทดสอบที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 9 kW และมีค่าความพรุนเท่ากับ 0.47 พบว่า ที่ระยะความสูงก้นหม้อต่ำๆ เปลวไฟจะเป็นสีเหลืองเนื่องจากเกิด Flame quenching ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และเมื่อเพิ่มระยะความสูงก้นหม้อเปลวไฟจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า (เผาไหม้สมบูรณ์) ในขณะเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับเปลวไฟแบบดั้งเดิม (CB) พบว่า เปลวไฟของหัวเผาวัสดุพรุนจะยาวและล้นก้นหม้อ ดังนั้น มลพิษ CO ที่วัดได้จากหัวเผาวัสดุพรุนจะมีค่าสูงกว่าหัวเตาแบบ CB

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลของอัตราการป้อนเชื้อเพลิงและระยะห่างก้นหม้อต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน และการปลดปล่อยมลพิษ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. อัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่สูงจะทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนลดลงเนื่องจากการสูญเสียความร้อน แต่จะปลดปล่อยมลพิษ CO ต่ำ เนื่องจากสามารถเหนี่ยวนำอากาศมาใช้ในการเผาไหม้ได้มากขึ้น
2. ระยะความสูงก้นหม้อมีผลอย่างมากต่อสมรรถนะการเผาไหม้ของหัวเผา กรณีที่ระยะ H ต่ำๆ ถึงแม้ว่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้สูงขึ้น โดยมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 65.48 % แต่ปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ CO ยังคงมีค่าสูง
3. การปลดปล่อยมลพิษ CO ในงานวิจัยนี้ ยังถือว่าอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากการเหนี่ยวนำอากาศเพื่อการเผาไหม้ที่ยังไม่เพียงพอ ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาเตาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีด้านวัสดุพรุนและพลังงานที่เหมาะสม (Appropriate Technology on Porous Media and Energy Center, APEC) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบพระคุณ ศ.ดร.สำเริง จักรใจ ที่กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในทุกๆ ด้านตลอดการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. **ข้อมูลพลังงาน (Energy Database)** สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2561, จาก http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information.

[2] Weinberg, F.J. (1971). Combustion temperatures: the future. **Nature**. 233, 239-241.

[3] Yoksenakul, W. and Jugjai, S. (2011). Design and development of a SPMB (self-aspirating porous medium burner) with a submerged flame. **Energy**. 36, 3092-3100.

[4] Petchsangkoon, A. and Jugjai, S. (2014). “Design of a self-aspirating annular porous medium burner”, **paper presented in the 5th TSME International Conference on Mechanical Engineering**, 17-19 December 2014, The Empress, Chiang Mai, Thailand.

[5] Pontree, K. and Jugjai, S. (2014). “Self-aspirating liquid fuel annular porous burner (SLAPB)”, **paper presented in the 5th TSME International Conference on Mechanical Engineering**, 17-19 December 2014, The Empress, Chiang Mai, Thailand.

[6] Makmool, U., Pontree, K. and Jugjai, S. (2017). Design and development of a novel self-aspirating liquid fuel annular porous medium burner (SLAPMB). **Fuel**. 192, 83-92.

[7] สุระเดช สินจะโป๊ะ โสภณ สินสร้าง รตินันท์ เหลือมพล พรสวรรค์ ทองใบ และบัณฑิต กฤตาคม. (2560). “เตาแก๊สหุงต้มชนิด KB-10 โดยใช้วัสดุพรุนร่วมกับเปลวไฟแบบหมุนวน”, ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31**, วันที่ 4–7 กรกฎาคม 2560 ณ โรงแรมภูเขางาม รีสอร์ท อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก

[8] สมลักษณ์ พรหมมณีจันทร์ ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์ และบัณฑิต กฤตาคม. (2560). “การพัฒนาเตาแก๊สหุงต้มชนิด KB-10 โดยใช้วัสดุพรุนแบบเส้นใยโลหะ”, ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31**, วันที่ 4–7 กรกฎาคม 2560 ณ โรงแรมภูเขางาม รีสอร์ท อำเภอเมืองนครนายก จังหวัดนครนายก

[9] Saha, C., Ganguly, R. and Datta, A. (2008). Heat transfer and emission characteristics of impinging rich methane and ethylene jet flames. **Experimental Heat Transfer**. 21, 169-87.

[10] Chander, S. and Ray, A. (2005). Flame impingement heat transfer: a review. **Energy Conversion and Management**. 46, 2803-2837.

[11] German Standards and Technical Rules. (1997). **DIN EN 203-2: Gas-heated Catering Equipment**, 17.

[12] Thailand industrial standard. (2006). **Domestic gas stoves for use with liquefied petroleum gas**. TIS 2312–2549.

FC52

การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาร่วมกับขุยมะพร้าว

Pellet Production from Water Hyacinth Combined with Coconut Dust

จิราภรณ์ แก้วเดียว[1] จุฑารัตน์ นวนทัด[2] และศิรินุช จินดารักษ์[2*]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

[2] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

การศึกษาขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด และศึกษาคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาร่วมกับขุยมะพร้าว โดยการกำหนดค่าความชื้นที่จะทำการอัดเม็ดคือ 30 %wb ที่อัตราส่วน 5:5 6:4 7:3 8:2 และ 9:1 จากการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาร่วมกับขุยมะพร้าวที่อัตราส่วน 5:5 นั้นมีค่าความร้อนที่ดีที่สุดคือ 3,955.79 kcal/kg โดยมีปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และความชื้นสุดท้ายหลังจากการอัดเม็ด ได้แก่ 9.05 %, 74.33 %, 7.94 % และ 8.68 % ตามลำดับ และมีสมบัติทางกายภาพของเม็ดเชื้อเพลิงดังนี้ มีความยาว 33.27 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.02 mm และมีความหนาแน่นรวม 606.63 kg/m^3

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงอัดเม็ด ผักตบชวา ขุยมะพร้าว

*Corresponding author: Tel.: 083-2081982. E-mail address: forever_nidnoi@hotmail.co.th

บทนำ

ประเทศไทยกำลังประสบกับปัญหาการแพร่กระจายของผักตบชวาที่มีอยู่เป็นเป็นจำนวนมาก โดยการแพร่กระจายของผักตบชวาในแหล่งน้ำมักก่อให้เกิดความเสียหายต่อแม่น้ำ คูคลอง และระบบนิเวศน์ในประเทศไทย [1,2] ผักตบชวามีการสะสมมวลชีวภาพได้สูงถึง 20 กรัมน้ำหนักแห้งต่อตารางเมตรต่อวัน โดยผักตบชวาสามารถเจริญเติบโต และขยายพันธุ์ให้มวลชีวภาพสูงถึง 40,580 กรัมน้ำหนักสดต่อตารางเมตร ในระยะเวลา 1 ปี ผักตบชวาสามารถเจริญเติบโตให้มวลชีวภาพสูงมากประมาณ 717 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ จึงเป็นปัญหาต่อการสัญจรทางน้ำ และสภาวะแวดล้อมทำให้ทวีความรุนแรงจนเป็นปัญหาระดับประเทศ ซึ่งในปัจจุบันรัฐบาลต้องสูญเสียงบประมาณสำหรับการกำจัดผักตบชวาเป็นอย่างมากแต่ก็ยังไม่สามารถกำจัดให้หมดสิ้น ในประเทศไทยผักตบชวาจะเจริญเติบโตสูงสุดในช่วงเดือนเมษายน และมีการเจริญเติบโตต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคม

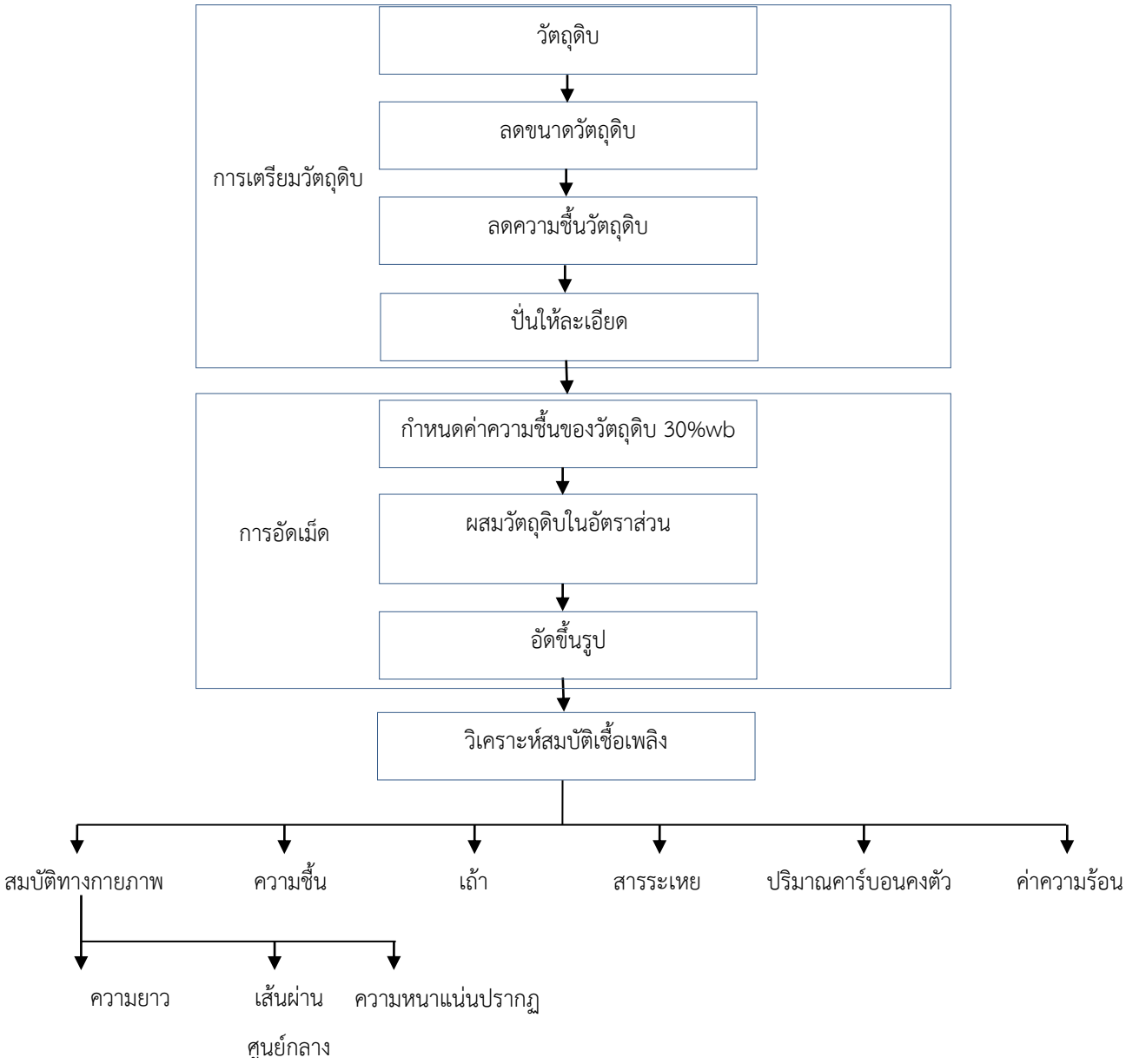
การนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์เป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับการจัดสรรปริมาณผักตบชวาที่มีอยู่ให้มีปริมาณที่ลดน้อยลง อาทิเช่น ใช้ทำหัตกรรมเครื่องจักรสาน ผลิตปุ๋ยชีวภาพ ใช้เป็นอาหารสัตว์ เป็นต้น นอกจากนี้การนำผักตบชวามาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดเป็นแนวทางหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผักตบชวา อีกทั้งยังถือได้ว่าเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนพลังงานฟอสซิล และลดต้นทุนด้านพลังงานได้ สำหรับโรงไฟฟ้านำชีวมวลอัดเม็ดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยให้ความร้อนกับหม้อต้มไอน้ำ และใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เครื่องปั้นดินเผา เป็นต้น [3]

จากปัญหาข้างต้นสำหรับงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด และศึกษาคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวา เนื่องจากผักตบชวามีค่าพลังงานความร้อนที่ต่ำคือ 3,010 kcal/kg ทางผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการนำขุยมะพร้าวมาเป็นส่วนผสมร่วมกับผักตบชวา โดยขุยมะพร้าวเป็น

ส่วนประกอบของเปลือกมะพร้าวภายหลังจากการนำเปลือกมะพร้าวไปปั่นเพื่อนำเส้นใยไปใช้ประโยชน์จะมีขุยมะพร้าวที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก และมีค่าความร้อนสูงคือ 4,380 kcal/kg [4] ดังนั้นขุยมะพร้าวจึงเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาเป็นส่วนผสมร่วมกับผักตบชวาเพื่อเป็นการเพิ่มค่าความร้อนให้กับเชื้อเพลิงอัดเม็ดให้มีค่าความร้อน 3,500 kcal/kg ส่งผลให้ค่าความร้อนผ่านมาตรฐานคุณสมบัติทางเชื้อเพลิง [4]

วิธีการวิจัย

การศึกษากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาร่วมกับขุยมะพร้าว ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาที่มีการกำหนดความชื้นของส่วนผสม คือ 30 %wb โดยวิธีการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการอัดเม็ดเชื้อเพลิง และขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติของเชื้อเพลิง โดยจะทำการพิจารณาถึง สมบัติทางกายภาพ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า ค่าความร้อน และค่าคาร์บอนคงตัว ซึ่งขั้นตอนการดำเนินการทดลองสามารถได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพขั้นตอนผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด

1. การเตรียมวัตถุดิบ

ในงานวิจัยนี้จะทำการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาร่วมกับขุยมะพร้าว โดยความชื้นเริ่มต้นที่เหมาะสมและมีผลต่อการอัดเม็ดคือ 25-30 %wb [5] ในการศึกษานี้ใช้ความชื้นเริ่มต้น 30 %wb ทำการผสมผักตบชวาที่ปั่นละเอียดร่วมกับขุยมะพร้าวที่อัตราส่วน 5:5 6:4 7:3 8:2 และ 9:1 โดยน้ำหนักเพื่อให้ผักตบชวาเป็นวัตถุดิบหลัก

2. ขั้นตอนการอัดเม็ดเชื้อเพลิง

ป้อนตัวอย่างวัตถุดิบที่เราเตรียมไว้เข้าเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง (Pellet machine) ที่ใช้เป็นเครื่องอัดเม็ดชนิดอัดร้อน รุ่น MK1229 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 11 kW และมีกำลังการในการผลิต 200-250 kg/hr. ก่อนที่จะอัดเม็ดเชื้อเพลิงต้องมีการอุ่นเครื่องให้ร้อนพร้อมใช้งานที่อุณหภูมิประมาณ 70 °C โดยการใช้รำข้าวผสมกับน้ำมันป้อนเข้าสู่เครื่องอัดเม็ดอย่างต่อเนื่อง เมื่ออุณหภูมิของเครื่องอัดเม็ดถึง 70 °C ก็นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ป้อนใส่เข้าไปในเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง ทำวนซ้ำประมาณ 2-3 ครั้ง จนกระทั่งได้ความยาวของเม็ดเชื้อเพลิงที่ต้องการในระหว่างการอัดเม็ดเชื้อเพลิงจะต้องมีการตรวจสอบอุณหภูมิของเครื่องอัดเม็ดให้ไม่เกิน 75 °C ในกรณีที่อุณหภูมิเครื่องอัดเม็ดเกิน 70 °C ให้หยุดการป้อนเชื้อเพลิงเพื่อพักเครื่องให้อุณหภูมิของเครื่องอัดเม็ดพร้อมใช้งานคือ 70 °C



ภาพที่ 2 เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิง

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์สมบัติความเป็นเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้นำไปวิเคราะห์หาสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง โดยวิเคราะห์หาปริมาณต่างๆ ดังนี้

3.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content) โดยใช้มาตรฐาน ASTM D-3173 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โดยอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 hr. จากนั้นคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นด้วยสมการ (1)

$$M_w = \frac{w_1 - w_2}{w_1} x100\% \quad (1)$$

เมื่อ M_w = ร้อยละของปริมาณความชื้น
w_1 = น้ำหนักของเชื้อเพลิงก่อนอบ (g)
w_2 = น้ำหนักของเชื้อเพลิงหลังอบ (g)

3.2 ปริมาณเถ้า (Ash content) โดยใช้มาตรฐาน ASTM-D3174 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า โดยเผาที่อุณหภูมิ 500 °C แล้วค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิเป็น 700-750 °C เป็นระยะเวลา 2 hr. ชั่งน้ำหนักสุดท้าย แล้วคำนวณหาปริมาณเถ้าด้วยสมการ (2)

$$Ash = \frac{w_4}{w_3} x100\% \quad (2)$$

เมื่อ Ash = ร้อยละของปริมาณเถ้า
w_3 = น้ำหนักของเชื้อเพลิงก่อนเผา (g)
w_4 = น้ำหนักของเชื้อเพลิงหลังเผา (g)

3.3 ปริมาณสารระเหย (Volatile matter) โดยใช้มาตรฐาน ASTM D-3175:ISO 562 การวิเคราะห์ปริมาณสารระเหย โดยนำมาเผาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นระยะเวลา 7 min แล้วทำการคำนวณหาปริมาณสารระเหยด้วยสมการ(3)

$$V_m = \left[\frac{w_3 - w_4}{w_3} x\ 100 \right] - M \qquad (3)$$

เมื่อ V_m = ร้อยละของปริมาณสารระเหย
M_w = ร้อยละปริมาณความชื้น
w_3 = น้ำหนักของเชื้อเพลิงก่อนเผา (g)
w_4 = น้ำหนักของเชื้อเพลิงหลังเผา (g)

3.4 ค่าความร้อน (Heating value) การวิเคราะห์ค่าความร้อนด้วย Bomb Calorimeter เป็นการเผาไหม้แบบสมบูรณ์โดยสถาบันวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

3.5 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) โดยใช้มาตรฐานASTM D3172 ปริมาณคาร์บอนคงตัวเป็นส่วนที่เสถียรของโครงสร้างชีวมวล ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยธาตุคาร์บอน ปริมาณคาร์บอนคงตัวคำนวณได้จากผลต่างดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละคาร์บอนคงตัว} = 100 - [(\%M_w) + (\%V_m) + (\%Ash)] \qquad (4)$$

เมื่อ M_w = ร้อยละของปริมาณความชื้น
V_m = ร้อยละของปริมาณสารระเหย
Ash = ร้อยละของปริมาณเถ้า

3.6 ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density) ความหนาแน่นรวมทำได้โดยการเตรียมภาชนะที่ทราบปริมาตรที่แน่นอน บรรจุวัสดุลงไปในภาชนะแล้วนำไปชั่ง คำนวณได้จากน้ำหนักของวัสดุต่อหน่วยปริมาตรจากสมการดังต่อไปนี้

$$\rho_{รวม} = \frac{m}{v} \qquad (5)$$

เมื่อ $\rho_{รวม}$ = ความหนาแน่นรวมของวัสดุ (kg/m^3)
m = มวลรวมของวัสดุ (kg)
v = ปริมาตรรวมของวัสดุ (m^3)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการอัดเม็ดเชื้อเพลิงของผักตบชวาผสมกับขุยมะพร้าว ซึ่งในการศึกษานี้จะกำหนดให้ความชื้นของเม็ดเชื้อเพลิง 30 %wb โดยอัตราส่วนผสมของผักตบชวาต่อขุยมะพร้าวคือ 5:5 6:4 7:3 8:2 และ 9:1 จากนั้นนำเม็ดเชื้อเพลิงที่ได้ไปทดสอบหาค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิง ซึ่งทำการวิเคราะห์ด้วยมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (3172-3175) โดยในการวิเคราะห์ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

1. วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ได้แก่ ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิง และความหนาแน่นปรากฏ
2. วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ได้แก่ ค่าความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิง

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาผสมร่วมกับขุยมะพร้าว สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาผสมร่วมกับขุยมะพร้าว

คุณสมบัติของเชื้อเพลิง	ค่ามาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสำหรับประเทศไทย	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก				
		5:5	6:4	7:3	8:2	9:1
ความยาวของเชื้อเพลิง (mm)	31.50 – 40.00 mm	33.27	32.34	34.14	33.48	32.91
เส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิง (mm)	6 – 12 mm	6.02	6.02	6.01	6.01	6.01
ความหนาแน่นปรากฏ (Bluk density, kg/m^3)	ไม่น้อยกว่า 600 kg/m^3	606.63	617.80	749.90	822.60	882.00
ปริมาณความชื้น (Moisture content, %)	น้อยกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนัก	8.68	9.99	11.42	11.63	11.85
ปริมาณเถ้า (Ash content, %)	น้อยกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนัก	7.94	9.12	8.04	9.01	12.71
ปริมาณสารระเหย (Volatile matter, %)	-	74.33	73.95	73.24	78.33	73.76
ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon, %)	-	9.05	6.94	7.30	1.03	1.68
ค่าความร้อน (Heating value, kcal/kg)	ไม่น้อยกว่า 3,500 kcal/kg	3,955.79	3,681.58	3,688.55	3,661.61	3,678.22

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาร่วมกับขุยมะพร้าวที่อัตราส่วน 5:5 6:4 7:3 8:2 และ 9:1 ดังตารางที่ 1 ข้างต้น เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงกับค่ามาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสำหรับประเทศไทยพบว่า ในทุกๆ อัตราส่วนมีค่าความยาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิง ความหนาแน่นปรากฏ ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนที่ผ่านค่ามาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เมื่อพิจารณาถึงค่าความชื้นหลังจากอัดเม็ดเม็ดเชื้อเพลิงของผักตบชวาร่วมกับขุยมะพร้าวแล้ว พบว่าในอัตราส่วนที่ 5:5 และ 6:4 นั้นผ่านค่ามาตรฐาน คือไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก ซึ่งมีปริมาณความชื้นร้อยละ 8.68 และ 9.99 %wb ตามลำดับ ซึ่งในอัตราส่วนที่เหลือคือ 7:3 8:2 และ 9:1 จะเห็นได้ว่าค่าความชื้นนั้นเกินกว่าร้อยละ 10 มาตรฐานเปียก เพื่อให้ผ่านค่ามาตรฐานสามารถนำมาอบแห้งหรือตากกลางแจ้งเพื่อลดความชื้นได้ เมื่อพิจารณาถึงการใช้ประโยชน์ให้มากที่สุดพบว่า ที่อัตราส่วน 5:5 มีค่าความร้อนสูงที่สุดคือ 3,955.79 kcal/kg มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในภาคอุตสาหกรรมต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด และศึกษาคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาร่วมกับขุยมะพร้าว โดยการกำหนดค่าความชื้นที่จะทำการอัดเม็ดคือ 30 %wb ที่อัตราส่วน 5:5 6:4 7:3 8:2 และ 9:1 จากการวิเคราะห์คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงเมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงกับค่ามาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสำหรับประเทศไทยพบว่า ในทุกๆ อัตราส่วนมีค่าความยาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเชื้อเพลิง ความหนาแน่นรวม ปริมาณเถ้า และค่าความร้อนที่ผ่านค่ามาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เมื่อพิจารณา

ถึงค่าความชื้นหลังจากอัดเม็ดเม็ดเชื้อเพลิงของผักตบชวาร่วมกับขุยมะพร้าวแล้วพบว่า ในอัตราส่วนที่ 5:5 และ 6:4 นั้น ผ่านค่ามาตรฐานคือ ไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก

จากการศึกษาความเหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิงพบว่า เชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวาร่วมกับขุยมะพร้าวที่อัตราส่วน 5:5 นั้นมีค่าความร้อนสูงที่สุดคือ 3,955.79 kcal/kg โดยมีปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณสารระเหย ปริมาณเถ้า และความชื้นสุดท้ายหลังจากการอัดเม็ด ได้แก่ 9.05 %, 74.33 %, 7.94 % และ 8.68 % ตามลำดับ และมีสมบัติทางกายภาพของเม็ดเชื้อเพลิงดังนี้ มีความยาว 33.27 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.02 mm และ มีความหนาแน่นรวม 606.63 kg/m^3 ซึ่งสามารถเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการอัดเม็ดคือ

1. ผักตบชวาสดที่ความชื้นเริ่มต้น 87.39 %wb น้ำหนัก 3,621.59 kg แล้วตากแห้งให้เหลือความชื้น 30 %wb จะมีน้ำหนัก 651.89 kg

2. ขุยมะพร้าวที่น้ำหนัก 508.15 kg ที่ความชื้นเริ่มต้น 10.28 %wb และเตรียมน้ำปริมาณ 143.74 kg เพื่อผสมกับขุยมะพร้าว เพื่อให้ได้ความชื้นเริ่มต้น 30 %wb จากนั้นนำวัตถุดิบทั้งสองเข้าสู่กระบวนการอัดเม็ดเชื้อเพลิงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองในครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเลขาธิการผู้แทนราษฎร ISBN 2287-0520. (ม.ป.ป.). **เชื้อเพลิงอัดแท่งผลผลิตจากผักตบชวาขยะวัชพืช**. เอกสารวิชาการอิเล็กทรอนิกส์, ดาวโหลดเอกสารออนไลน์จาก http://www.parliament.go.th/library.

[2] สุพรรรณ ยั่งยืน และ จักรมาส เลาหวณิช. (2552). **การหาสัดส่วนที่เหมาะสมต่อเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งแบบรีดเย็น**. วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ปีที่ 32 ฉบับที่ 5 กันยายน-ตุลาคม 653-658.

[3] นิพนธ์ ตันไพบูลย์กุล และธรพร บุศย์น้ำเพชร. (2559). **ลักษณะการขึ้นรูปและตัวประสานที่แตกต่างกันต่อสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตกจากผักตบชวา**. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 3 ฉบับที่ 6 เดือน พฤศจิกายน-ธันวาคม 2559.

[4] นาตยา เจริญสุข และธนกฤต ภัทรเกษวิทย์. (2558). **การออกแบบระบบหมุนเวียนความร้อนที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาเผาไหม้ในกระบวนการรีดักชั่นสำหรับเตาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแบบไหลลง**. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลสุวรรณภูมิ.

[5] ณัฐจิรา อินมนต์, ศิรินุช จินดารักษ์ และบริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล. (2560). **การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากผักตบชวา**. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13, 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่.

[6] สังเวย เสวกวิหารี. (2555). **ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมังคุด**. รายงานวิจัย ฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[7] สำรวม โกศลานันท์. (2553). **การศึกษาอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงจากกากไขมันและกากของกากไขมันกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[8] ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ภูมิพัฒน์ ภาชนะ. (2558). **การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์**. ชลบุรี: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

[9] อามานี สามะ นูรซีลา เละนุ๊ และโรสลีนา จาราแว. (2560). **การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากผักตบชวา**. คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. ราชภัฏวิชาการ 2560 : รายงานการน าเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช,หน้า 187-196.

FC54

การเพิ่มคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วผ่านการแตกตัวด้วยความร้อนร่วมกับการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5

Upgrading Biodiesel from Used Cooking Oil by Thermal Cracking with HZSM-5 Catalytic Cracking

กษวรรต ทิพพหา[1], ธรณิศวร์ ดีทายาท[1*] เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล[2] และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์[1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเพิ่มคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนและด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน สำหรับปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีชุดลูกบอลเซรามิก บรรจุอยู่เพื่อช่วยรักษาอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่เงื่อนไขการทดลองอุณหภูมิ 500°C โดยศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0%, 5% และ 10% โดยน้ำหนัก และอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนที่ 200, 400 และ 600 ml/min ที่มีต่อปริมาณการผลิตน้ำมันชีวภาพ พบว่าปริมาณน้ำมันชีวภาพที่ได้ มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน โดยมีน้ำมันชีวภาพอยู่ในช่วง 73.9 – 84.1% โดยน้ำหนัก และเมื่อนำมากลั่นลำดับส่วนตามช่วงจุดเดือด พบว่ามีปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพมากที่สุดถึง 76.9%โดยน้ำหนัก จากนั้นนำมาทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง มีค่าความร้อนสูง (High Heating Value, HHV) มีค่าอยู่ในช่วง 43.38 – 43.51 MJ/kg และค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C มีค่าในช่วง 4.52 – 4.96 cSt ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่ใช้ในเชิงพาณิชย์มากขึ้น เทียบกับไบโอดีเซล

คำสำคัญ: ดีเซลชีวภาพ, ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5, น้ำมันพืชใช้แล้ว, การเพิ่มคุณภาพน้ำมัน

* Corresponding author: Tel.: 053-944144. E-mail address: thoranisdee@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและความต้องการด้านพลังงานเป็นเรื่องสำคัญ จึงมีการพัฒนาน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิสที่มีมาจากปิโตรเลียม โดยน้ำมันไบโอดีเซลถือว่าเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพชนิดหนึ่งที่มาจากน้ำมันพืชโดยผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการนำน้ำมันมาผสมกับเอทานอลและ KOH โดยมีการให้ความร้อนจนสารมีอุณหภูมิราว 60°C จากนั้นจะปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาโดยใช้เวลานานหลายชั่วโมง [1] ปัจจุบันได้มีงานวิจัยโดยใช้คลื่นความถี่สูง หรือการใช้สนามไฟฟ้าในการเร่งปฏิกิริยา ซึ่งวิธีหลังสามารถแยกไบโอดีเซลและกลีเซอรีนภายในเวลาไม่กี่นาทีและใช้กำลังไฟฟ้าในกระบวนการต่ำมาก [2] โดยน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ แต่ยังคงมีค่าความร้อนที่ต่ำและมีสมบัติบางประการที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนภายในเครื่องยนต์ [1, 3, 4] ดังนั้นการพัฒนาคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลให้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากขึ้นจึงมีความจำเป็น โดยกระบวนการเพิ่มคุณภาพของน้ำมันสามารถทำได้หลายวิธี เช่น กระบวนการแตกตัวโดยอาศัยไฮโดรเจน [5] ไฮโดรเจนจะ

แทนที่ออกซิเจนในโมเลกุลออกไป แต่ปฏิกิริยานี้ต้องทำที่ความดันสูง ซึ่งต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไว ทำให้ใช้ต้นทุนการผลิตที่สูง จึงทำให้วิธีนี้มีข้อจำกัด นอกจากนี้ ยังมีกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน ซึ่งเป็นการทำให้น้ำมันเกิดการแตกตัวเพื่อทำลายพันธะไฮโดรคาร์บอนแล้วเกิดปฏิกิริยาด้วยอุณหภูมิสูง แต่ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเชื้อเพลิงเหลวจะมีปริมาณน้อยลง [6] และกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา [7] เพื่อปรับโครงสร้างทางเคมีของน้ำมัน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการแตกตัวเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพสูง ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตน้ำมันเพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพที่ดีขึ้น ตัวอย่างของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นที่นิยมใช้ในกระบวนการกลั่นปิโตรเลียมคือ ZSM-5 ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกซีโอไลต์ ซึ่งจะเร่งการแตกตัวของน้ำมันเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย รวมถึงการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าว จะให้ปริมาณผลิตภัณฑ์จำพวกโอเลฟินและสารอะโรมาติกมากที่สุด [8, 9] นอกจากนี้ยังมีตัวเร่งปฏิกิริยาจำพวกซีโอไลต์อีกชนิดคือ HZSM-5 ซึ่งเป็นตัวเร่งที่จะช่วยเพิ่มปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวสูง เกิดโค้กน้อย และสามารถแยกสลายไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีโมเลกุลขนาดเล็กได้ มีงานวิจัยที่พัฒนาคุณภาพน้ำมันอย่างเช่น งานวิจัยของ Parvizsedghy และคณะ [10] ซึ่งทำการศึกษาการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง พบว่าน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผ่านกระบวนการมีคุณภาพและค่าความร้อนที่สูงขึ้น และงานวิจัยของ จันทนิภา เหล่าวาณิชวัฒนา และคณะ [11] ซึ่งทำการศึกษาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ผ่านเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง โดยมีลูกบอลเซรามิกบรรจุในปฏิกรณ์ พบว่าการบรรจุลูกบอลเซรามิกในปฏิกรณ์สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ และให้สัดส่วนผลิตภัณฑ์เป็นเชื้อเพลิงเหลวมากที่สุดและมีค่า %Selectivity ในการเกิดเป็นอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน ที่ให้เคโรซีนในสัดส่วนที่สูง ส่งผลให้ภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพที่สูงขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการเพิ่มคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลผ่านการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่สูงขึ้น และใช้ปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่บรรจุลูกบอลเซรามิกช่วยเพิ่มค่าความจุความร้อนในการรักษาอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาให้คงที่

วิธีการวิจัย

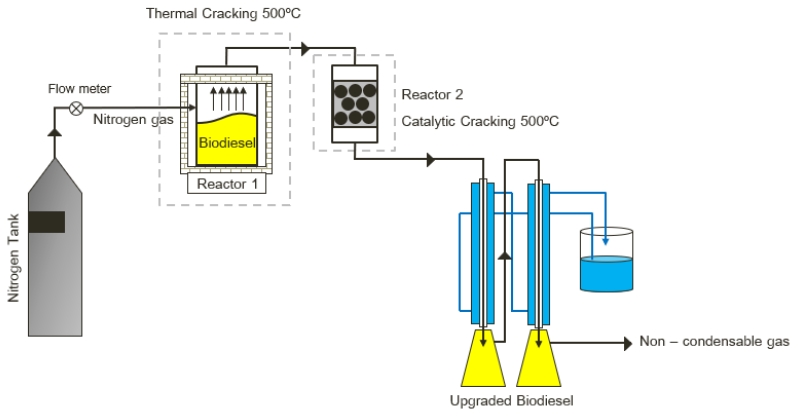
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบเป็นน้ำมันพืชใช้แล้ว จำนวน 1 ลิตร นำมาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชั่น โดยการผสมสารละลายเมทานอล 200 มิลลิลิตร กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.5 กรัม กวนและให้ความร้อน จากนั้นทำการแยกน้ำมันออกจากกลีเซอรีน โดยให้ไหลผ่านเบดซิลิกาเจล น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารประกอบกลุ่มกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (Fatty Acid Methyl Ester, FAME) แสดงในตารางที่ 1

ในการเพิ่มคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซล จะนำน้ำมันไบโอดีเซลปริมาณ 700 กรัม บรรจุในปฏิกรณ์ตัวที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 1 น้ำมันจะถูกทำให้เกิดการแตกตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500°C ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน น้ำมันไบโอดีเซลส่วนใหญ่ จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวจนกลายเป็นสถานะแก๊ส ซึ่งจะไหลออกมากับแก๊สไนโตรเจนที่ 200, 400 และ 600 มิลลิลิตร/นาที จากนั้นแก๊สที่ได้จากถังปฏิกรณ์ตัวที่ 1 จะไหลผ่านเข้ามาทำปฏิกิริยาที่ปฏิกรณ์ตัวที่ 2 ที่เป็นปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 โดยมีลูกบอลเซรามิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร ช่วยรักษาอุณหภูมิในปฏิกรณ์ขณะทำปฏิกิริยาที่ 500°C การทดสอบจะดำเนินการโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ปริมาณ 0, 35 และ 70 กรัม (0%, 5% และ10 %wt) ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 จะเป็นผลิตภัณฑ์ ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ โดยมีอัตราส่วน SiO_2/Al_2O_3 เท่ากับ 60/40 พื้นที่ผิว 340 ตารางเมตร/กรัม มีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำการอบที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อทำการกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยา

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

องค์ประกอบ	สูตรโมเลกุล	ปริมาณ (%)
Dodecanoic acid, methyl ester	$C_{13}H_{26}O_2$	0.834
Methyl tetradecanoate	$C_{15}H_{30}O_2$	2.839
Methyl hexadec-9-enoate	$C_{17}H_{32}O_2$	3.849
Hexadecanoic acid, methyl ester	$C_{17}H_{34}O_2$	24.102
9,12-Octadecadienoic acid(Z,Z)-, methyl ester	$C_{19}H_{34}O_2$	16.266
9-Octadecanoic acid(Z)-, methyl ester	$C_{19}H_{36}O_2$	41.941
Octadecanoic acid, methyl ester	$C_{19}H_{38}O_2$	8.840
Cis-11-Eicosenoic acid, methyl ester	$C_{21}H_{40}O_2$	1.327

แก๊สที่ทำปฏิกิริยาแล้วจะไหลออกมาควบแน่นเป็นของเหลวที่คอนเดนเซอร์ เรียกว่า น้ำมันชีวภาพ ซึ่งจะถูกนำมาทำการกลั่นลำดับส่วน โดยควบคุมช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึง 174 °C ซึ่งจุดเดือดเป็นของแก๊สโซลีน ช่วง 174 – 271°C คือจุดเดือดของเคโรซีน และช่วง 271 – 344°C คือจุดเดือดของดีเซล ทั้งนี้จะเรียกเชื้อเพลิงเหลวหลังการกลั่นลำดับส่วนว่า แก๊สโซลีนชีวภาพ (Green Gasoline) เคโรซีนชีวภาพ (Green Kerosene) และดีเซลชีวภาพ (Green Diesel) ตามลำดับ น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้ จะถูกนำมาทดสอบเพื่อหาค่าความร้อน โดยจะถูกทดสอบด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter และค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C ด้วยเครื่อง Saybolt Universal Viscometer ส่วนการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีจะใช้เครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometer (GC-MS, Aglient GC-7890A and MSD-5975C, NIST MS Library)



ภาพที่ 1 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่ออกแบบและใช้ในงานวิจัย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

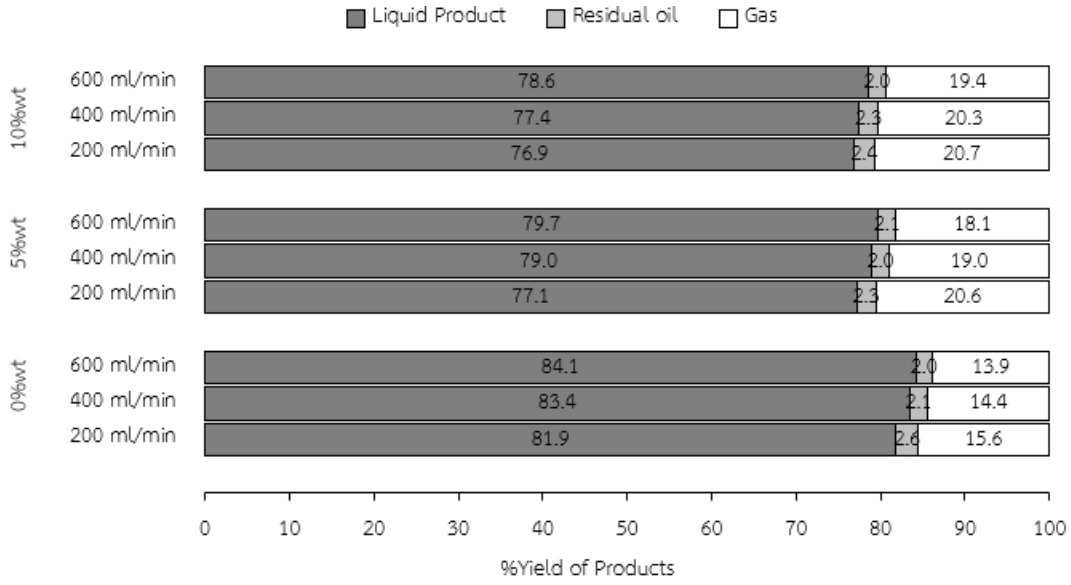
ในกระบวนการเพิ่มคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลผ่านการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดผลิตภัณฑ์ออกมาทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันชีวภาพ (Liquid Product) น้ำมันคงเหลือ (Residual oil) และแก๊ส (Gas) สามารถคำนวณหา ร้อยละของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดเทียบกับสารตั้งต้นได้จากสมการดังนี้

$$\text{ร้อยละของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด} = \frac{\text{ปริมาณน้ำมันชีวภาพ, ปริมาณน้ำมันคงเหลือ, แก๊ส (กรัม)}}{\text{ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช (กรัม)}} \text{x100} \quad (1)$$

โดยปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สนั้นไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่สามารถหาได้จากสมการดังนี้

ปริมาณแก๊ส (กรัม) = ปริมาณน้ำมันสารตั้งต้น – (ปริมาณน้ำมันชีวภาพ + ปริมาณน้ำมันคงเหลือ) (2)

ร้อยละของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการเพิ่มคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มรีไฟน์และน้ำมันพืชใช้แล้วแสดงได้ในภาพที่ 2 ดังนี้



ภาพที่ 2 ร้อยละผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเพิ่มคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

จากภาพที่ 2 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนแก๊สตัวพาสารตั้งต้น (แก๊สไนโตรเจน) ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่ออัตราการป้อนแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้นระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาลดลงปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สจึงลดลง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Parvizsedghy [10] ที่ทำการศึกษาการเพิ่มคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่งผ่านการแตกตัวด้วยความร้อน พบว่าเมื่ออัตราการป้อนสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาลดลงและได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ทำให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพมีลดลง และมีปริมาณแก๊สเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณ HZSM-5 สารตั้งต้นจะเกิดการแตกตัวมากขึ้นสายโซ่ในโครงสร้างโมเลกุลสั้นลง เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำมันชีวภาพลดลง สามารถอธิบายได้จากงานวิจัยของ Bhatia [12] ที่ทำการศึกษาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา Zeolite REY ของน้ำมันปาล์ม โดยเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 500°C ที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาเท่ากัน พบว่ามีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเพิ่มขึ้น และปริมาณของเหลวลดลง

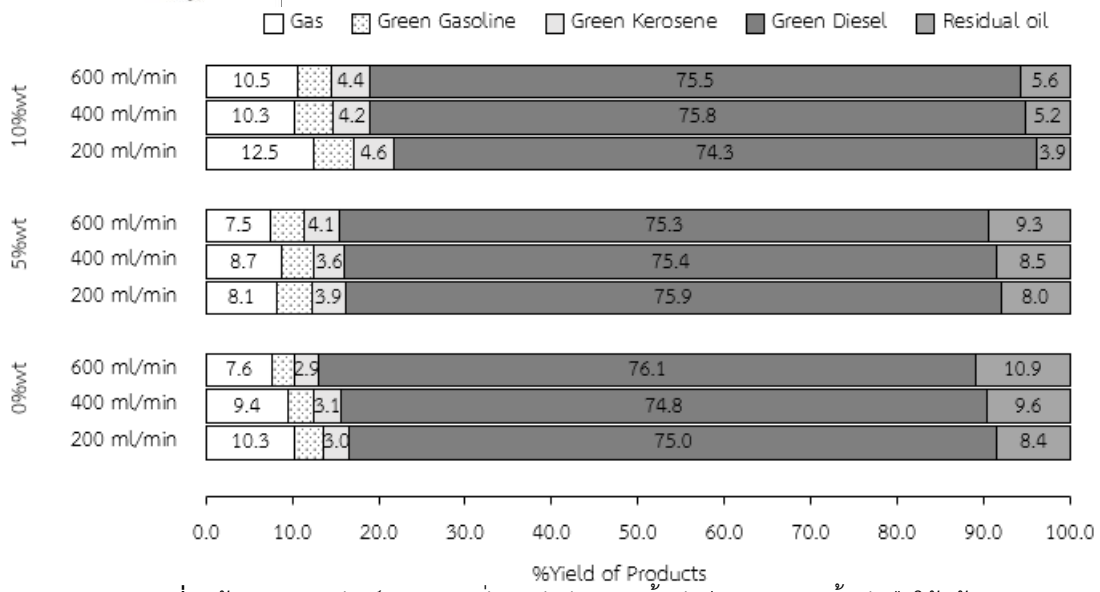
เมื่อเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์จากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มรีไฟน์และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันชีวภาพจากน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วมีปริมาณมากกว่า โดยน้ำมันชีวภาพที่ได้จะนำมากลั่นลำดับส่วนให้บริสุทธิ์มากขึ้น แยกผลิตภัณฑ์ตามช่วงจุดเดือดเป็น ผลิตภัณฑ์แก๊ส แก๊สโซลีนชีวภาพ ที่มีจุดเดือดในช่วง 36 – 170°C เคโรซีนชีวภาพ 174 – 271°C ดีเซลชีวภาพ 271 – 344°C และน้ำมันคงเหลือคือน้ำมันที่เหลือจากการกลั่นลำดับส่วนที่มีจุดเดือดมากกว่า 350°C โดยสามารถคำนวณหาร้อยละของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้จากสมการ ดังนี้

$$\text{ร้อยละของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด} = \frac{\text{แก๊สโซลีน, เคโรซีน, ดีเซล, แก๊ส และน้ำมันคงเหลือ (กรัม)}}{\text{ปริมาณน้ำมันชีวภาพ (กรัม)}} \mathbf{x100} \qquad (3)$$

โดยปริมาณผลิตภัณฑ์แก๊สนั้นไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่สามารถหาได้จากสมการดังนี้

ปริมาณแก๊ส (กรัม) = ปริมาณน้ำมันชีวภาพ – (ปริมาณแก๊สโซลีน + เคโรซีน + ดีเซล + น้ำมันคงเหลือ) (4)

ร้อยละของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันชีวภาพแสดงได้ในภาพที่ 3 ดังนี้



ภาพที่ 3 ร้อยละผลิตภัณฑ์จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันชีวภาพ (จากน้ำมันพืชใช้แล้ว)

จากภาพที่ 3 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันชีวภาพ ส่วนใหญ่คือน้ำมันดีเซลชีวภาพ ซึ่งเมื่อนำน้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค Gas Chromatography-Mass Spectrometer (GC-MS) พบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester, FAME) ทั้งหมด แต่มีขนาดของจำนวนคาร์บอนที่ลดลงทำให้มีสายโซ่ของโมเลกุลที่สั้นลง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลที่เป็นสารตั้งต้น และเมื่อทดสอบค่าความร้อนและค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากขึ้นแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าความร้อนและค่าความหนืดของน้ำมันดีเซลชีวภาพเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล

พารามิเตอร์	หน่วย	มาตรฐานทดสอบ	Biodiesel (RPO)	Biodiesel (UCO*)	Green diesel (UCO)	น้ำมันดีเซลที่ใช้ในเชิงพาณิชย์
High Heating Value	MJ/kg	ASTM 240-64	38.62	38.93	43.51	46.70
Viscosity at 40°C	cSt	ASTM D88	6.29	5.92	4.52	3.73

*UCO คือน้ำมันพืชใช้แล้ว (Used Cooking Oil)

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันดีเซลชีวภาพมีสมบัติที่ดีกว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่เป็นสารตั้งต้น และใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่ใช้ในเชิงพาณิชย์มากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการเพิ่มคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ทำการศึกษาโดยกำหนดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 500°C มีอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 200, 400 และ 600 ml/min และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0%wt, 5%wt และ 10%wt เกิดผลิตภัณฑ์ออกมาทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันชีวภาพ น้ำมันคงเหลือ และแก๊ส โดยในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนแก๊สตัวพาสารตั้งต้น (แก๊สไนโตรเจน) ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้นและเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ทำให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพมีลดลง และมีปริมาณแก๊สเพิ่มขึ้น เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันชีวภาพมากลั่นลำดับส่วนตามช่วง

จุดเดือดเกิดเป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพเป็นส่วนใหญ่ โดยองค์ประกอบเป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันทั้งหมด แต่มีขนาดของจำนวนคาร์บอนที่ลดลงทำให้มีสายโซ่ของโมเลกุลที่สั้นลง มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 43.38 – 43.51 MJ/kg และมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 4.52 – 4.96 cSt ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้โครงการ การเตรียมและการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพคุณภาพสูง ผ่านการพัฒนากระบวนการผลิต (ความร่วมมือไทย-จีน) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ธิบดินทร์ แสงสว่าง พิพัฒน์ พิชเยนทรโยธิน และจิรวรรณ เตียรถ์สุวรรณ. (2552). การศึกษาสมรรถนะมลพิษและอัตราการปลดปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลแบบ IDI ที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบ-ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**. 16 (1), 28–38.

[2] ศุภกฤษณ์ งามเมือง ธรณิศวร์ ดีทายาท และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2560). กระบวนการการผลิตและการประเมินต้นทุนไบโอดีเซลที่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาด้วยสนามไฟฟ้า และการทำความสะอาดแบบแห้ง. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**. 24 (2), 176-184.

[3] ธิบดินทร์ แสงสว่าง พิพัฒน์ พิชเยนทรโยธิน และจิรวรรณ เตียรถ์สุวรรณ. (2553). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องยนต์แบบ IDI. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**. 17 (3), 50-64.

[4] Knothe, G., Krahl, J. and Van Gerpen, J. (2010). **The Biodiesel Handbook.** AOCS Press, Elsevier Inc.

[5] Wang, H., Yan, S., Salley, S. and Simon Ng, K. (2012). Hydrocarbon Fuels Production from Hydrocracking of Soybean Oil Using Transition Metal Carbides and Nitrides Supported on ZSM-5. **Industrial & Engineering Chemistry Research**. 51 (30), 10066-10073.

[6] Li, H., Yu P. and Shen, B. (2009). Biofuel Potential Production from Cottonseed oil: A Comparison of Non-catalytic and Catalytic Pyrolysis on Fixed-Fluidized Bed Reactor. **Fuel Processing Technology.** 90 (9), 1087-1092.

[7] Biswas, S., Biswas, P. and Kumar, A. (2012). Catalytic Cracking of Soybean Oil with Zirconium Complex Chemically Bonded to Alumina Support without Hydrogen. **International Journal of Chemical Science and Applications.** 3 (2), 306-313.

[8] Jae, J., Tompsett, G., Foster, A. Hammond, K., Auerbach, S., Lobo, R. and Huber, G. (2011). Investigation into The Sharp Selectivity of Zeolite Catalysts for Biomass Conversion. **Journal of Catalysis.** 279 (2), 257-268.

[9] Zhang, H., Cheng, Y., Vispute, T., Xiao, R. and Huber, G. (2011). Catalytic Conversion of Biomass-Derived Feedstocks into Olefin and Aromatics with ZSM-5: The Hydrogen to Carbon Effective Ratio. **Energy & Environmental Science.** 4 (6), 2297.

[10] Parvizsedghy R., Sadrameli S.M. and Darian J.T. (2015). Upgraded Biofuel Diesel Production by Thermal Cracking of Castor Biodiesel. **Energy & Fuels.** 30, 326–333.

[11] จันทนิภา เหล่าวาณิชวัฒนา อรรถกร อาสนคำ ธรณิศวร์ ดีทายาท และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2016). “การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชใช้แล้วผ่าน HZSM-5 คะตะไลติกแครกกิง”, ใน **การประชุมวิชาการ เรื่อง**

การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 15, วันที่ 30-31 มีนาคม 2559 ณ โรงแรม แอล รีสอร์ท สมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี

[12] Bhatia, S., Leng, C. T. and Tamunaidu P. (2007). Modeling and Simulation of Transport Riser Reactor for Catalytic Cracking of Palm Oil for the Production of Biofuels. **Energy & Fuels.** 21, 3076–3083.

FC70

กรณีศึกษาก๊าซชีวภาพจาก มูลหนู มูลกระต่าย และของเสียจากห้องทดลอง

Case Study of Biogas from rat, rabbit dung and wastes from laboratory room

ศรีวิชัย สู่สุข[1*] และบุญชู ลีลาขจรจิต[2]

Sriwichai Susuk* and Boonchu Leelakajohnjit

[1]กองซ่อมบำรุง สำนักบริการกลาง สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จ.ปทุมธานี 12120

[2]ฝ่ายวิศวกรรม สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จ.ปทุมธานี 12120

[1]Maintenance Division, Genneral Services Department, Thailand Institute of Scientific and Technological Research,

Pathum Thani, Thailand, 12120

[2]Engineering Department, Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Pathum Thani, Thailand, 12120

บทคัดย่อ

การทดลองนี้ มีจุดวัตถุประสงค์เพื่อทดลองผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลหนู มูลกระต่ายและเศษอาหารที่ใช้เลี้ยงหนูและกระต่ายในห้องทดลอง (20-25 กิโลกรัมต่อวัน) เพื่อลดภาระการกำจัดของเสีย ด้วยการนำมาผลิตพลังงานทดแทนราคาถูก ใช้ในครัวเรือน หรืออาจใช้ในกระบวนการเผาไหม้ เช่น ใช้เป็นพลังงานทดแทนในหม้อต้มไอน้ำ (boiler) ด้วยเครื่องหมักผลิตก๊าซชีวภาพมีขนาด 2 ลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนมูลหนู มูลกระต่าย และเศษอาหาร กับน้ำ 1:1 ก๊าซที่ผลิตได้ ประกอบด้วยก๊าซมีเทน (methane) 50.84 เปอร์เซนต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์ (carbon dioxide) 46.42 เปอร์เซนต์ ก๊าซไนโตรเจน (nitrogen) 2.74 เปอร์เซนต์ จากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (gas chromatography) โดยทั่วไปเรียกว่าก๊าซชีวภาพ (biogas) ถูกนำมาใช้เผาไหม้ จากถังหมักโดยตรง ผลการทดลองหมักก๊าซชีวภาพ ได้ปริมาณก๊าซ 0.5-0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน นอกเหนือจากผลผลิต ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนสะอาดและราคาถูกแล้ว ยังได้ปุ๋ยที่อุดมไปด้วยสารอาหารต่อพืชประมาณ 10-30 เปอร์เซนต์ต่อการหมักก๊าซชีวภาพ

คำสำคัญ: ก๊าซจากมูลหนู มูลกระต่าย, ก๊าซชีวภาพ, เครื่องหมักผลิตก๊าซ

Abstract

This project aims to adopt a strategy for producing biogas from rat , rabbit dung and food scraps from laboratory room (20-25 kg/day) as a cheap and clean source of renewable energy into residence from anaerobic digestion, be burned directly for cooking or heating. It can also be used in an internal combustion engine for producing electricity and boiler system.

Scale biogas digester (2 m^3) was loaded with rat , rabbit manure and food scraps from laboratory room then mixed with water ratio 1:1 The produced biogas (methane 50.84 percent carbon dioxide 46.42 percent and nitrogen 2.74 percent: gas chromatography) was be burned directly for heating. The results showed that the rate of biogas is about (0.5-0.8 m^3 per day). Utilizing the biogas, a greenhouse (GHG) impact is avoided and low cost energy. Further, All manure are eliminated by the

heat generated in the bio-digestion process and the resulting material provides a valuable and nutrient-rich fertilizer (10-30 percent).

Keywords: biogas with rat rabbit manure, biogas, anaerobic digester

*Corresponding author: Tel. 025779223, 0814018599 E-mail address: sriwichai@tistr.or.th sriwichai_susuk@hotmail.com

บทนำ

การค้นพบกระบวนการย่อยสลายผุพังของสารอินทรีย์ครั้งแรกโดย นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Robert Boyle และ Stephen Hale ในศตวรรษที่ 17 ทั้งคู่ได้ค้นพบการกวนตะกอนในลำธารและทะเลสาบซึ่งมีก๊าซติดไฟลอยขึ้นมา ในปี 1859 Sir Humphrey Davy ค้นพบก๊าซมีเทนในมูลวัวในประเทศอินเดีย และในปีเดียวกันการสร้างถังหมักก๊าซในสภาวะไร้อากาศ (anaerobic digester) เป็นครั้งแรก และในปี 1985 ในอังกฤษได้มีการคิดค้นนวัตกรรมใหม่ขึ้นมาโดยใช้ถังสิ่งปฏิกูลผลิตก๊าซนำไปใช้ส่องสว่างตามถนน ในปี 1907 ได้ออกสิทธิบัตรสำหรับถังหมักก๊าซชีวภาพในประเทศเยอรมัน ในปี 1930 การหมักแบบสภาวะไร้อากาศ (anaerobic digester) เป็นที่รู้จักในทางวิชาการมากขึ้น มีการค้นคว้าวิจัยพบจุลินทรีย์ที่ทำปฏิกิริยาและมีการศึกษาสภาวะแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ประเภทนี้ เทคโนโลยีพลังงานทางเลือกจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่มีออกซิเจน (anaerobic digestion) เป็นเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกที่ผลิตก๊าซเชื้อเพลิงใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ก๊าซที่ผลิตจากกระบวนย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่มีออกซิเจน ประกอบด้วยก๊าซมีเทน (methane) ประมาณ 50-70 เปอร์เซนต์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide) ประมาณ 36-40 เปอร์เซนต์ และก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (hydrogen) ไนโตรเจน (nitrogen) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) และไอน้ำ ประมาณ 1-3 เปอร์เซนต์

เทคโนโลยีผลิตก๊าซมีเทนด้วยวิธีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่มีออกซิเจน (anaerobic digestion) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยความต่อเนื่องตั้งแต่กระบวนการหมัก (bio-fertilizer) จนถึงกระบวนการเกิดก๊าซ (biogas) เทคโนโลยีดังกล่าวเป็นเทคโนโลยีกำจัดของเสียอินทรีย์ (treatment of wet, organic waste) ที่ได้ผลดี ขยะอินทรีย์ (organic waste) จากหลายที่ คือ ขยะเคมีอินทรีย์สาร (biochemically degraded) ที่มีออกซิเจนอิสระ (oxygen-free) เป็นส่วนประกอบ ซึ่งขยะเคมีอินทรีย์สารดังกล่าวเมื่อผ่านการกระบวนการย่อยอาหารแบบไม่มีออกซิเจน (anaerobic digestion) สามารถผลิตก๊าซมีเทน (methane) ซึ่งก๊าซชนิดนี้ให้พลังงานความร้อนประมาณ 21 MJ/ m^3 ซึ่งมีค่าเทียบเท่าก๊าซหุงต้ม (liquid petroleum gas: LPG) เท่ากับ 0.46 กิโลกรัม ไม้ฟืนเท่ากับ 1.50 กิโลกรัม น้ำมันเตาเท่ากับ 0.55 ลิตร น้ำมันดีเซลเท่ากับ 0.6 ลิตร และพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 1.2 kWh พลังงานที่ได้จากวิธีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่มีออกซิเจน (anaerobic digestion) เป็นพลังงานสะอาดช่วยแก้ปัญหาวิกฤติพลังงานรักษาสิ่งแวดล้อม เพราะสามารถลดปริมาณก๊าซมีเทน (methane) ที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซทำลายชั้นโอโซนหรือที่รู้จักในชื่อก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) มีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน 25 GWP (global warming potential: GWP)

นอกเหนือจากการผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่มีออกซิเจน (anaerobic digestion) ยังสามารถช่วยลดปัญหาที่เกิดจากสิ่งขับถ่ายและสิ่งปฏิกูลจากสัตว์ เช่น ปัญหากลิ่นเหม็นจากมูลสัตว์ ซึ่งเกิดจากสารระเหยอินทรีย์ (volatile organic compounds) กรดไขมันสายโซ่สั้น และสารระเหยที่มีคาร์บอน (carbon) ไนโตรเจน (nitrogen) และ ซัลเฟอร์ (sulfur) เป็นองค์ประกอบ กลิ่นเหล่านี้สามารถกระจายออกทันทีหลังจากสัตว์ขับถ่ายออกมา ก๊าซที่สัตว์ขับถ่ายออกมาส่งผลกระทบต่อสุขภาพของคนและสัตว์โดยตรง เช่นทำให้ตาลาย วิงเวียน หมดสติ เมื่อได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide) มากกว่า 40,000 ppm ก๊าซแอมโมเนีย

(ammonia) จากมูลสด 100-200 ppm ทำให้สัตว์จาม น้ำลายฟูมปาก กินอาหารน้อยลง และก๊าซไฮโดรซัลไฟด์ (hydrosulphite) กระบวนการย่อยอาหารแบบไม่มีออกซิเจน (anaerobic digestion) สามารถกำจัดกลิ่นเหม็น แหล่งแพร่กระจายของ พยาธิบางชนิด เชื้อโรคต่างๆ ที่อาจติดต่อคนหรือสัตว์เลี้ยง การนำของเสียจากมูลสัตว์หมักก๊าซชีวภาพ (biogas) สามารถลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเพราะของเสียจากมูลสัตว์ส่วนมากถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลองทำให้เกิดการเน่าเสียพืชน้ำแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว เพราะได้รับธาตุไนโตรเจน (nitrogen) และฟอสฟอรัส (phosphorus) ส่งผลให้คุณภาพน้ำด้อยลง และอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่พื้นที่เพาะปลูกโดยรอบ ดั้งนั้นกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) ดังกล่าว สามารถ แก้ปัญหาพลังงาน สังคม และสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการย่อยสสารอินทรีย์แบบไม่มีออกซิเจน (anaerobic digestion) ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักสารอินทรีย์โดยมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียเช่นจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (methane-producing bacteria) หรือเมทาโนเจน (methanogen) และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (acid-producing bacteria) ช่วยย่อยในภาวะไม่มีอากาศ กระบวนการนี้ จุลินทรีย์ต่างๆ ทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ให้มีขนาดเล็กลง จากโครงสร้างที่ซับซ้อน เป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยลง

กระบวนการหมักย่อยในสภาวะไม่มีอากาศ (anaerobic digestion) แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน

1. ไฮโดรลิซิส (hydrolysis) สารอินทรีย์ (เศษพืชผัก เนื้อสัตว์) มีองค์ประกอบสำคัญคือ คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) ไขมัน (fat) และโปรตีน (protein) แบคทีเรียจะปล่อยเอ็นไซม์เอกซ์ตราเซลลูลาร์ (extra cellular enzyme) มาช่วยละลายโครงสร้างโมเลกุลอันซับซ้อนให้เล็กลงเป็นโมเลกุลเชิงเดี่ยว (monomer) เช่น การย่อยสลายแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส การย่อยสลายไขมันเป็นกรดไขมัน และการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน
2. แอซิดิฟิเคชั่น (acidification) หรือ แอซิโดเจเนซิส (acidogenesis) การย่อยสลายอินทรีย์เชิงเดี่ยว (monomer) เป็นกรดระเหยง่าย (volatile fatty acid) กรดคาร์บอน (carbon acid) แอลกอฮอลล์ (alcohol) คาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide) แอมโมเนีย (ammonia) และ ไฮโดรเจน (hydrogen)
3. อะซิเจเนซิส (acetogenesis) เปลี่ยนเป็นกรดระเหยง่ายเป็นกรดอะซิติก (acetic acid) หรือเกลืออะซิเทตซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตมีเทน (methane)
4. เมทาไนเซชั่น (methanization) หรือ เมทาโนเจเนซิส (methanogenesis) กรดอะซิติก (acetic acid) และอื่นๆ จากขั้นสอง รวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide) และ ไฮโดรเจน (hydrogen) บางส่วนจะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเป็นมีเทน (methane) โดยเมทาโนเจน (methanogen)

$$CH_3COOH \text{ ---> } CH_4 + CO_2$$

กรดอะซิติก (acetic acid) ---> มีเทน (methane) คาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide)

$$2CH_3CH_2OH + CO_2 \text{ ---> } CH_4 + 2CH_3COOH$$

เมทานอลคาร์บอนไดออกไซด์ (methanolcarbondioxide) ---> มีเทน (methane) กรดอะซิติก (acetic acid)

$$CO_2 + 4H_4 \text{ ----------> } CH4_4 + 2H_2O$$

คาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide) ไฮโดรเจน (hydrogen) ---> มีเทน (methane) น้ำ(water)

กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ (biogas)

ก๊าซชีวภาพ หรือ ไบโอก๊าซ (biogas) คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ (organic substance) โดยที่จุลินทรีย์ (microorganism) อยู่ในสภาวะปราศจากออกซิเจน (non-oxygen) ในขณะที่ย่อยสลาย จะเกิดก๊าซกลุ่มหนึ่ง ส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (methane; CH_4) ประมาณ 50-70 เปอร์เซนต์ คาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide; CO_2) ประมาณ 36-40 เปอร์เซนต์ ไนโตรเจน (nitrogen; N_2) ไฮโดรเจน (hydrogen; H_2) และก๊าซอื่นๆ อีกเล็กน้อย ประมาณ 1-3 เปอร์เซนต์ ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่มากที่สุด มีคุณสมบัติไม่มีสี ไม่มีกลิ่น เบากว่าอากาศ และติดไฟได้ แต่ที่มีกลิ่นเหม็น เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogensulfide; H_2S) หรือก๊าซไข่เน่า ซึ่งเมื่อจุดไฟเผาแล้วกลิ่นเหม็นจะหายไป

กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ (biogas) แสดงตามสมการดังต่อไปนี้

$C_6H_{13}O_5 + xH_2O$ ---> $COOH - (CH_2)_n$ ----------> $4CH_4 + 2CO_2$

มูลและของเสีย + น้ำ --------> ส่วนผสมของกรดไขมันระเหย ---> มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์

ปัจจัยและสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่ส่งผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas)

การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซมีปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (operating temperature) เมทาโนเจน (methanogen) ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิต่ำมากหรือสูงมากได้ อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส (celsius) แบคทีเรีย (bacteria) จะหยุดทำงาน อุณหภูมิในกระบวนการย่อยสลายแบ่งออกเป็นสองระดับ ตามสายพันธุ์ (species) ของเมทาโนเจน (methanogen) ได้แก่ เมโซฟิลิก (mesophilic) และ เทอร์โมฟิลิก (thermophilic) อุณหภูมิการทำงานที่เหมาะสมของเมโซฟิกลิก 20 - 45 องศาเซลเซียส เทอร์โมฟิลิก ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิการทำงานที่เหมาะสมของเทอร์โมฟิลิก 50 - 52องศาเซลเซียส แต่อาจทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 70 องศาเซลเซียส แบคทีเรียเมโซฟิลิกมีจำนวนสายพันธุ์ (species) มากกว่าเทอร์โมฟิลิก นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงต่อสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิกอีกด้วย ทำให้ระบบหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้เมโซฟิลิก เสถียรกว่า แต่ขณะเดียวกันอุณหภูมิซึ่งสูงกว่าในระบบที่ใช้ เทอร์โมฟิลิกก็เป็นช่วงเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซสูงกว่า ข้อเสียอีกข้อของระบบเทอร์โมฟิลิก คือต้องใช้พลังงานจากภายนอกมาเพิ่มความร้อนในระบบ
- ค่าความเป็นกรด ด่าง (pH value) หรือค่า pH ที่เหมาะสมในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ผลิตก๊าซชีวภาพ คือ pH ประมาณ 7-7.2 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการหมักช่วงการหมักด้วย เพราะช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรด จะสร้างกรดจำนวนมากและทำให้ค่า pH ลดลง ซึ่งถ้าค่า pH ต่ำกว่า 5 กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์จะหยุดทำงาน หรืออีกนัยหนึ่งคือแบคทีเรียตาย เมทาโนเจน (methanogen) อ่อนไหวต่อความเป็นกรดด่างมาก และจะไม่เจริญเติบโตหาก pH ต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของแอมโนเนีย (ammonia) จะมีมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้นอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบมีความเสถียร ค่า pH อยู่ระหว่าง 6.8-8
- อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของสารอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 8-30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมอยู่ที่ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก ไนโตรเจนจะถูกเมทาโนเจน (methanogen) นำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซน้อย แต่ถ้าคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต่ำมาก จะทำให้ไนโตรเจนมีมากก่อให้เกิดเป็นแอมโนเนีย (ammonia) ซึ่งจะไปเพิ่มค่า pH สูงขึ้น ถ้า pH สูงถึง 8.5 จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรีย (bacteria) ส่งผลให้จำนวนเมทาโนเจน (methanogen) ลดลง นอกจากนี้หากคาร์บอนต่อไนโตรเจนอยู่นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่น เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (carbondioxide) สูงขึ้น อย่างไรก็ตามวัตถุสารอินทรีย์ที่นำมาหมักมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อ

ไนโตรเจนสูงสามารถนำมาผสมกับวัตถุสารอินทรีย์ที่มีคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำได้ เพื่อให้ได้วัตถุดิบสารอินทรีย์ที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่ต้องการ

- ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (retention time) ขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติม ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน รวมถึงรูปแบบของระบบการหมักและถังหมัก หากระยะเวลาในถังหมัก กักเก็บสั้นเกินไป จะทำให้แบคทีเรียผลิตก๊าซน้อย นอกจากนี้แบคทีเรียยังถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไป ส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียลดลง ทำให้แบคทีเรียที่เหลือย่อยสารอินทรีย์ในถังหมักไม่ทัน และ อาจทำให้ค่า pH ในถังหมักลดลง ขณะเดียวกัน ถ้าระยะเวลากักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก ประมาณ 14-60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ค่า ปริมาณของแข็ง (total solid content;TSC) อุณหภูมิ (temperature) ขนาด (scale) ประเภทของบ่อหมัก (digester) และปริมาณ (volume) ของสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาการหมักเป็นตัวบ่งชี้แบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไรโดยที่ไม่มีการเติมอาหาร ปริมาณของแข็ง ของสารอินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ แบ่งออกเป็นสองระดับคือ ปริมาณของแข็งสูง (high - solid) สูงกว่า 20 % และปริมาณของแข็งต่ำ (low - solid) ต่ำกว่า 15 % ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมสารอินทรีย์ปริมาณของแข็งสูง (high - solid) ใช้พลังงานมากในการสูบน้ำตะกอน (slurry) แต่เนื่องจากในระบบปริมาณของแข็งสูง (high - solid) มีความเข้มข้นของน้ำในถังหมักสูง ส่งผลให้ใช้พื้นที่น้อยกว่า ในทางกลับกัน ถังหมักปริมาณของแข็งต่ำ (low - solid) ใช้พลังงานต่ำ ในการสูบน้ำตะกอน (slurry) สามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปได้ แต่ก็ต้องใช้พื้นที่มากกว่า เนื่องจากปริมาตรต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การที่น้ำตะกอนมีความใส ทำให้การหมุนเวียนและการกระจายตัวของแบคที่เรียและสารอินทรีย์ดีขึ้น ส่งผลให้การย่อยและการผลิตก๊าซเร็วขึ้น

- การคลุกเคล้า (mixing) การคลุกเคล้าตะกอน น้ำ และสารอินทรีย์ เป็นสิ่งสำคัญเพราะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้แบคที่เรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้เกิดก๊าซชีวภาพเร็วขึ้นและมีปริมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอน (slurry) และตะกอนลอย (scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง

- สารอาหาร (nutrient) ที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโต นอกเหนือจากคาร์บอน (carbond) และไฮโดรเจน (hydrogen) แล้วยังมี ไนโตรเจน (nitrogen) ซัลเฟอร์ (sulfur) ฟอสฟอรัส (phosphorus) โปรแตสเซียม (potassium) แคลเซียม (calcium) อีกด้วย และมีธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย เช่น เหล็ก แมงกานีส ลิบดินัม สังกะสี โคบอลต์ ซิลิเนียม ทังสเตน และนิเกิล เป็นต้น แต่ขยะอินทรีย์โดยทั่วไปมีธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับสมดุลพอเพียง ในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใดๆ ลงไป

- สารยับยั้งและสารพิษ (inhibiting and toxic materials) เช่น กรดไขมันระเหย ไฮโดรเจน หรือ แอมโมเนีย รวมถึงธาตุไอออน สารพิษ โลหะหนัก สารทำความสะอาดต่างๆ เช่น สบู่ น้ำยาล้างต่างๆ และยาปฏิชีวนะ สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการผลิตก๊าซของแบคทีเรีย ธาตุไอออนในปริมาณน้อย เช่น โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ แอมโมเนีย สามารถช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้เช่นกัน แต่ถ้ามีปริมาณมากจะส่งผลทำให้เกิดความเป็นพิษได้ และยังมีโลหะหนักบางปรเภท เช่น ทองแดง นิเกิล โคเมียม สังกะสี ตะกั่ว และ อื่นๆ สามารถช่วยการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่ถ้ามีความเข้มข้นสูงส่งผลทำให้เกิดความเป็นพิษได้เช่นกัน

- อัลคาลินิตี้ (alkalinity) ค่าอัลคาลินิตี้ หมายถึง ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง ค่าที่เหมาะสมต่อการหมักประมาณ 1000-5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอร์เนต ($CaCO_3$)

- ชนิดและแบบของบ่อก๊าซชีวภาพ (biogas plant)

บ่อก๊าซชีวภาพ แบ่งตามลักษณะการทำงาน ลักษณะของเสียที่เป็นวัตถุดิบ และประสิทธิภาพการทำงานได้ 2 ชนิด

1. บ่อหมักช้าหรือบ่อหมักของแข็ง บ่อหมักช้าที่มีการสร้างใช้งานทั่วไป มี 3 แบบ

1.1 แบบยอดโดม (fined dome digester)

1.2 แบบฝาครอบลอย (floating drum digester) หรือแบบอินเดีย (indian digester)

1.3 แบบพลาสติกคลุมราง (plastic cover ditch) หรือแบบปลั๊กโฟลว์ (plug flow digester)

2. บ่อหมักเร็วหรือบ่อบำบัดน้ำเสีย แบ่งได้ 2 แบบ

2.1 แบบบรรจุตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน (anaerobic filter) หรืออาจเรียกตามชื่อย่อว่า แบบเอเอฟ (AF) ตัวกลางที่ใช้ ได้จากวัสดุหลายชนิด เช่น ก้อนหิน กรวด พลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ไม้ไผ่ตัดเป็นท่อน เป็นต้น ในลักษณะของบ่อหมักเร็ว จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนตัวกลางที่ถูกตรึงอยู่

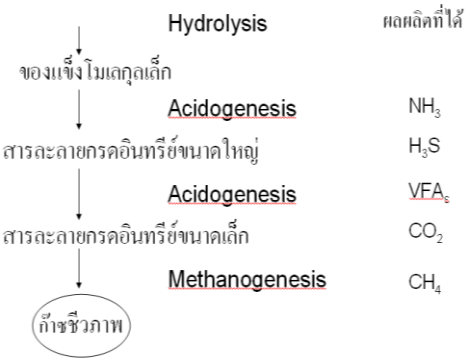


Figure 1 Overall methanogenic decomposition scheme

2.2 แบบยูเอเอสบี (UASB หรือ Upflow Anaerobic Sludge Blanker) บ่อหมักเร็วใช้ตะกอนของสารอินทรีย์ (sludge) ที่เคลื่อนไหวภายในบ่อหมักเป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์เกาะลักษณะการทำงานของบ่อหมักเกิดขึ้น โดยการควบคุมความเร็วของน้ำเสียให้ไหลเข้าบ่อหมักจากด้านล้างขึ้นสู่ด้านบนตะกอนส่วนที่เบาจะลอยตัวไปพร้อมกับน้ำเสียที่ไหลล้นออกนอกบ่อตะกอนส่วนที่หนัก จะจมลงบ่อ

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) ได้มาจากจากมูลหนู มูลกระต่าย และเศษอาหาร เศษรองพื้น Figure 2 มีปริมาณ 20 - 25 กิโลกรัมต่อวัน



Figure 2 Rat , Rabbit dung and wastes from laboratory room

อุปกรณ์การทดลอง ใช้ถังหมักก๊าซชนิดแบบฝาครอบลอย (floating drum digester) ปริมาตร 2 (m^3) ลูกบาศก์เมตร แบบเติมวัสดุด้านบน ระยะเวลาการกักเก็บมูลหนู มูลกระต่าย และเศษอาหาร เศษรองพื้น ในถังหมัก 15 วัน อุณหภูมิ 33 - 37 องศาเซลเซียส pH ประมาณ 7 - 8 ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1



Figure 3 Floating drum digester

ขั้นตอนการทดลอง

1. เก็บตัวอย่างก๊าซจากเครื่องหมัก Figure 4 ซึ่งต่อท่อออกมาจากเครื่องหมัก ผ่านชุดกรองก๊าซ Figure 5





Figure 4 Biogas sampling



Figure 5 Biogas filter

2. ตรวจวัด วิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ (biogas) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (gas chromatography) Figure 6



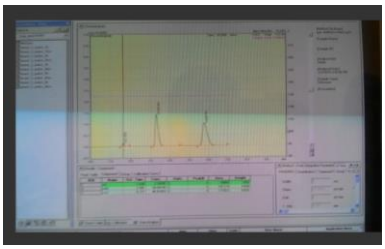


Figure 6 Gas Chromatography

3. ทดลองกระบวนการเผาไหม้ ก๊าซชีวภาพ (biogas) ต้มน้ำ 1 ลิตร ตาม Figure 7 เปรียบเทียบกับ เชื้อเพลิงก๊าซปิโตรเลียมเหลว (liquid petroleum gas; LPG) และ เตาไฟฟ้า (electric cook)



Figure 7 Water Test Biogas , LPG and Electric cook boil 1 liter

ผลการวิจัย

ผลจากการหมักวัตถุสารอินทรีย์ (มูลหนู มูลกระต่าย และเศษอาหาร เศษรองพื้น) ในถังหมักสำเร็จรูปขนาดปริมาตร 2 ลูกบาศก์เมตร ในถังหมัก 15 วัน ได้ผลการทดลองดังนี้

1. ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพ (biogas) เฉลี่ยประมาณ 0.5 - 0.8 ลูกบาศก์เมตร (m^3)
2. ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพ (biogas) ประกอบด้วย
   2.1 ก๊าซมีเทน (methane) 50.84 เปอร์เซ็น
   2.2 ก๊าซมีคาร์บอนไดออกไซค์ (carbon dioxide) 46.42 เปอร์เซ็น
   2.3 ก๊าซไนโตรเจน (nitrogen) 2.74 เปอร์เซ็น
3. ผลการทดลองต้มน้ำ 1 ลิตร
   3.1 ก๊าซชีวภาพ (biogas) ใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 5.13 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
   3.2 ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (liquid petroleum gas; LPG) ใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 3.02 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
   3.3 เตาไฟฟ้า (electric cook) ใช้เวลา 4.49 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

วิจารณ์ผลการวิจัย

- ควรเติมมูลหนู มูลกระต่าย และเศษอาหาร เศษวัสดุรองพื้น อย่างน้อยอาทิตย์ละครั้ง (มูลผสมกับน้ำ 1:1)
- ห้ามใส่สารเคมี เช่น ผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน คลอรีน เพราะจะทำให้จุลินทรีย์ตาย
- ควรมีเครื่องบรรจุ เช่น ปั๊มอัดอากาศ เก็บก๊าซ ใส่ในถังเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน และสามารถเคลื่อนย้าย
- ปุ๋ยที่ได้จากหมักจากมูลหนู มูลกระต่าย และเศษอาหาร เศษวัสดุรองพื้น เบื้องต้นควรนำไปใช้กับพืชประเภท ไม้ดอก ไม้ประดับ หรือพืชคุมดิน เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากมูลหนู มูลกระต่าย และเศษอาหาร เศษวัสดุรองพื้น เมื่อผ่านกระบวนการหมักตามขั้นตอนแล้วพบว่า มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิง สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิง อื่นๆ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ไฟฟ้า ฯลฯ ส่วนกากที่เหลือจากการหมักก๊าซสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ย Figure 8 ดีกว่าปุ๋ยพืชสด (ปุ๋ยคอก) เนื่องจากในขณะที่มีการหมัก เกิดการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ให้กลายเป็นแอมโมเนียที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่ายกว่า และดีกว่าปุ๋ยเคมีด้านคุณสมบัติปรับปรุงดินให้มีสภาพดีขึ้นอย่างยั่งยืน

ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม การนำเอามูลหนู มูลกระต่าย และเศษอาหาร เศษวัสดุรองพื้น มาหมักในบ่อก๊าซชีวภาพเป็นการช่วยกำจัดมูลสัตว์ และเศษอาหาร เศษวัสดุรองพื้น ที่ไม่ต้องการ ซึ่งทำให้เกิดกลิ่นเหม็นและมีแมลงวัน

ในบริเวณนั้นลดลง ทำให้ผู้ที่อาศัยในบริเวณนั้นมีสุขภาพอนามัยดีขึ้น และยังช่วยป้องกัน มูลสัตว์ และเศษอาหาร เศษวัสดุรองพื้นต่างๆ ไม่ให้ถูกชะล้างลงไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ



Figure 8 Fertilizer from Rat, Rabbit dung and Wastes

เอกสารอ้างอิง

[1] เอกสารประกอบการฝึกอบรมก๊าซชีวภาพ. กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพฯ.2559

[2] สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2553. คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิต การควบคุมและการใช้ก๊าซชีวภาพ(Biogas) สำหรับโรงงานอุสหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

[3] Kifah Ai-Imarah, Mudher Hani, Taha Majed, Ismassl Mohammed and Weleed Moufak. 2016. Portable Solar Anaerobic Digestion Pilot Plant for Biogas Production. Centre for science & technology of the non- aligned and other developing countries (NAM S&T CENTER). New Delhi India.

[4] David P. Chynoweth,John M.Owens and Robert Legrand. 2001. Renewable methan from anaerobic digestion of biomass. Pergamon Journal of Renewable Energy. 2-7 p.

[5] Z.Recebli, S. Selimli, M. Ozkaymak and O.Gonc. 2015. Biogas Production from animal manure. Journal of Engineering Science and Technology. 725-727 p.

[6] Chisty E. Manyi-Loh, Sampson N. Mamphweli, Edson L. Meyer, Anthony I. Okoh, Golden Makaka and Michael. 2015. Investigation into the Biogas Production Potential of Dairy Cattle Manure. Journal of Clean Energy Tecchnologies. 328-330 p.

FC71

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ไข่

Removal of hydrogen sulfide in biogas from laying hens manure

ศรุติวงศ์ บุญคง[1*] ชัยพฤกษ์ หงษ์ลัดดาพร[1] สว่าง กุลวงษ์[1] สุธาสินี ครุฑธกะ[1] และสมิง ศรีกา[2]
[1]สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000
[2] คลินิกเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพแบบถุงหมักพีวีซีจากมูลไก่ไข่ วางแผนการวิจัยแบบสุ่มสมบูรณ์ ใช้บ่อก๊าซชีวภาพแบบถุงหมักพีวีซีขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 5 บ่อ นำมูลไก่ไข่ผสมน้ำในบ่อเติมโดยใช้สัดส่วน 1:1 โดยปริมาตร (ขนาด 20 ลิตร) ทำการเติมทุกวันเป็นเวลา 28 วัน ใช้ตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 4 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (ไม่ใช้ตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์) ถ่าน ฝอยเหล็ก และเม็ดเคลือบสารเคมี เก็บข้อมูลก๊าซ ประกอบด้วย มีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกซิเจน (O_2) BAL (ก๊าซอื่นๆ) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) โดยใช้เครื่อง BIOGAS 5000

ผลการวิจัยพบว่าองค์ประกอบของก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจน จากมูลไก่ไข่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีเทนมีค่าร้อยละ 62.8, 66.0, 66.4 และ 65.2 ตามลำดับ คาร์บอนไดออกไซด์มีค่าร้อยละ 28.1, 28.3, 27.9 และ 28.7 ตามลำดับ ออกซิเจนมีค่าร้อยละ 1.2, 1.4, 1.4 และ 1.4 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการวัดปริมาณไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่า T4 มีการดูดซับไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด รองลงมาคือ T3 และ T2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) มีค่าเท่ากับ 86.8, 598.0, และ 602.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นจากการวิจัยนี้สรุปได้ว่าเม็ดเคลือบสารเคมีเป็นตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ดีที่สุด สามารถช่วยลดการกัดกร่อนโลหะและลดก๊าซพิษได้

คำสำคัญ: ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซชีวภาพ มูลไก่ไข่

*Corresponding author: Tel.: 088-3093875. E-mail address: Sarutty_21@hotmail.com

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพกำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากการลดลงของปริมาณเชื้อเพลิงของโลก ทำให้ทุกประเทศให้ความสนใจกับการผลิตพลังงานทดแทนโดยใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ภายในประเทศเพื่อผลิตพลังงานมาใช้ทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีของเสียและวัสดุต่างๆ จากภาคเกษตรกรรมอยู่ทั่วไป เช่น มูลสัตว์ หรือพืชต่างๆ การผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหล่านี้จึงมีความเหมาะสมสำหรับประเทศไทย [1]

การเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว มีทั้งระบบการเลี้ยงแบบฟาร์ม ขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และระบบการเลี้ยงแบบ รายย่อย ปัจจุบันการเลี้ยงสัตว์กระจายอยู่ตามชนบททุกแห่งหน โดยเฉพาะการเลี้ยงแบบรายย่อย ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ของชุมชน ส่งผลให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมทั้งภายในบริเวณฟาร์ม พื้นที่เลี้ยงสัตว์และชุมชนใกล้เคียงเป็นอย่างมาก เช่น ปัญหามลภาวะของกลิ่น เน่าเสีย แมลงวัน และพาหะนำโรคต่างๆ เป็นต้น โดยทั้งส่วนของมูลและปัสสาวะที่ขับถ่ายออกจากตัวสัตว์ ทางฟาร์ม หรือผู้ประกอบการจำเป็นต้องกำจัดทิ้งออกไป ทำให้มีค่าใช้จ่าย

เพิ่มขึ้น การกำจัดสิ่งปฏิกูล (มูลและปัสสาวะ) จากสัตว์เหล่านี้ หากใช้วิธีการที่เหมาะสมจะช่วยลดปัญหามลภาวะที่กล่าวมาข้างต้นได้อย่างดี การกำจัดมูลและปัสสาวะจากสัตว์ด้วยระบบก๊าซชีวภาพ ถือว่าเป็นวิธีที่เหมาะสม สามารถใช้ได้ทั้งฟาร์มขนาดใหญ่และฟาร์มเกษตรกรรายย่อยตามชุมชนต่างๆ นอกจากนี้ภายหลังการบำบัด ยังได้ก๊าซมีเทน และกากตะกอน ซึ่งเป็นผลพลอยได้ โดยก๊าซมีเทน ที่ได้นั้น สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานสำหรับการหุงต้ม การให้ความร้อน เป็นพลังงานฉุดมอเตอร์ หรือกิจกรรมอื่นๆ ภายในครัวเรือนได้ ส่วนกากตะกอนที่เกิดขึ้นจะสามารถนำไปผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้อย่างมีคุณภาพ อย่างไรก็ตามการทำบ่อก๊าซชีวภาพอย่างง่ายๆ สำหรับเกษตรกรรายย่อย โดยประยุกต์ใช้วัสดุ อุปกรณ์ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นมาใช้ในการจัดทำบ่อสำหรับกักเก็บมูลและก๊าซ บ่อหมักก๊าซชีวภาพขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร มีความเหมาะสมกับครัวเรือนเกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์แบบเศรษฐกิจพอเพียง เลี้ยงแบบรายย่อย เช่น เลี้ยงสุกร 10-20 ตัวโคกระบือ 5-20 ตัว โคนมโคขุน 3-5 ตัว หรือสัตว์ปีก 150-200 ตัว การหมักดังกล่าวสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้วันละประมาณ 2-3 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเพียงพอต่อการใช้หุงต้ม โดยสามารถทดแทนก๊าซ LPG ได้ไม่น้อยกว่าเดือนละ 1 ถัง หรือประมาณ 300-400 บาท หรือเท่ากับปีละ 3,600-4,800 บาทต่อ ครัวเรือน นอกจากนี้ ยังได้กากตะกอน ที่ผ่านการย่อยสลายแล้วมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์อีกด้วย

การเลี้ยงไก่ ถือว่ามีความสำคัญเกี่ยวเนื่องกับการผลิตอาหารเป็นสำคัญ ซึ่งเป็นสิ่งที่ทุกคนจะต้องบริโภคไม่ว่าจะเป็นไข่ไก่ หรือเนื้อไก่ ซึ่งเป็นอาหารที่มีราคาถูกมีประโยชน์และมีคุณค่าทางโภชนาการสามารถหาซื้อได้ง่าย ในการเลี้ยงไก่สิ่งที่เป็นปัญหาและอุปสรรคในการผลิตที่สำคัญคือ การจัดการของเสียที่เกิดขึ้นจากไก่ หรือมูลไก่ โดยไก่ส่วนใหญ่จะเลี้ยงไก่ไว้ในกรงมูลไก่ที่เกิดขึ้นจะกองอยู่และเกิดการสะสม หากไม่มีการโกยทิ้งหรือปล่อยสะสมไว้เกิน 4 วัน จะทำให้ก๊าซแอมโมเนียในมูลไก่ระเหยออกมากและส่งผลกระทบต่อไก่ที่เลี้ยงไว้ [2] ถ้านำมูลไก่ไปใช้เพื่อเป็นอาหารของปลาก็จะประสบปัญหาน้ำในบ่อปลาเน่าเสียได้ง่าย สำหรับการขายมูลไก่เพื่อนำไปทำปุ๋ยต้องนำไปตากแห้งก่อน ซึ่งถ้าเป็นหน้าฝนก็จะประสบปัญหาเพราะไม่สามารถตากแห้งได้ และยังก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบในเรื่องของกลิ่นในช่วงระหว่างการหมักหรือตากแห้งได้ ซึ่งเมื่อคิดกับราคาปุ๋ยหมักที่ขายได้อาจจะไม่คุ้มค่า เพราะระหว่างการตากมูลไก่จะส่งผลกระทบในเรื่องของเชื้อโรค และพาหะนำเชื้อโรค เนื่องจากในกระบวนการตากมีแมลงวันมาเกาะ ทำให้มีแมลงวันเพิ่มมากขึ้น ปัจจุบันมีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ในฟาร์มไก่โดยจะทำการเก็บกวาดมูลสัตว์ในบริเวณโรงเรือนออกให้หมดทุกวัน และนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆต่อไป เช่น การเลี้ยงปลา เพาะหนอนผลิตไส้เดือน ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืช ใช้เลี้ยงไรแดง และการนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ เป็นต้น ดังนั้นการนำไปผลิตเป็นก๊าซชีวภาพจะเป็นการเพิ่มมูลค่ามากยิ่งขึ้น เป็นการสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อประชาชนและต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นการอนุรักษ์พลังงานด้วยอีกทางหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามองค์ประกอบของก๊าซนั้น จะประกอบด้วย มีเทนร้อยละ 60-70 ที่เหลือเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือ ก๊าซไข่เน่า (ก๊าซพิษ) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ ซึ่งเมื่อไฮโดรเจนซัลไฟด์รวมไอน้ำจะเป็นกรดซัลฟูริกหรือกรดกำมะถัน มีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะ ทำให้เตาหรือเครื่องยนต์เป็นสนิมและผุกร่อนได้ นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพหากสูดดมเป็นเวลานานๆ การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากก๊าซชีวภาพจึงมีความจำเป็น ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้ชุดดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ไข่

วิธีการวิจัย

การวางแผนการวิจัย

การวิจัยนี้วางแผนการวิจัยแบบสุ่มสมบูรณ์ ใช้บ่อก๊าซชีวภาพแบบถุงหมักพีวีซีขนาด 8 ลูกบาศก์เมตร นำมูลไก่ไข่ผสมน้ำในบ่อเติมโดยใช้สัดส่วน 1:1 โดยปริมาตร [3] (ขนาด 20 ลิตร) ทำการเติมทุกวันเป็นเวลา 28 วัน โดยใช้ตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 4 กลุ่ม จำนวน 5 บ่อ โดยบันทึกข้อมูลทุก 30 นาที จำนวนบ่อละ 3 ครั้งต่อกลุ่ม เก็บข้อมูลก๊าซโดยใช้เครื่อง BIOGAS 5000 บันทึกข้อมูลจากทั้ง 5 บ่อ โดยใช้ตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 4 กลุ่ม ดังนี้

T 1 กลุ่มควบคุม (ไม่ใช้ตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์)

T 2 ใช้ถ่านเป็นตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

T 3 ใช้ฝอยเหล็กเป็นตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

T 4 ใช้เม็ดเคลือบสารเคมีเป็นตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การเตรียมวัสดุดูดซับ

1. การเตรียมถ่านจากไม้มะขาม คัดขนาดให้มีขนาดใกล้กัน แล้วไปนำไปตากแดดให้แห้ง
2. การเตรียมฝอยเหล็ก (เศษฝอยเหล็กจากโรงกลึง) นำฝอยเหล็กมาวางไว้ในสภาพที่มีอากาศปล่อยไว้จนเกิดสนิม
3. ผสมทรายกับปูน ผสมน้ำพอปั้นเม็ดได้ นำส่วนผสมเทลงในหลุมถาดเพาะกล้าแบบกรวย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ลึก 1 เซนติเมตร ใช้หลอดกาแฟ เจาะรูตรงกลาง ทิ้งให้ปูนแข็งตัว 1-2 วัน จากนั้นเตรียมสารละลาย $FeCl_3$ จำนวน 162 กรัม ละลายในน้ำ 1 ลิตร และเตรียมสารละลาย NaOH จำนวน 120 กรัม ละลายในน้ำ 1 ลิตร แช่เม็ดดูดซับในสารละลาย $FeCl_3$ นาน 20-30 นาที จากนั้นนำเม็ดที่ได้ไปแช่ในสารละลาย NaOH นาน 20-30 นาที (250 เม็ด) จากนั้นนำไปผึ่งลมให้แห้ง

การเตรียมคอลัมน์

การเตรียมคอลัมน์สำหรับการบรรจุวัสดุในการดูดซับ โดยใช้ท่อพีวีซีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 นิ้ว ความยาว 50 เซนติเมตร โดยทำการติดตั้งหัวก๊อกพีวีซีขนาด 4 หุน บริเวณด้านบนตรงกลางของท่อเพื่อทำเป็นทางก๊าซเข้า และบริเวณด้านล่างติดตั้งก๊อกทองเหลืองเหมือนด้านบนเพื่อทำเป็นบริเวณส่งผ่านก๊าซตัวอย่างเข้าเครื่อง BIOGAS 5000 เพื่อตรวจวิเคราะห์

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยจะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ตามแผนการวิจัยแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Test โดยใช้โปรแกรม SAS [4]



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาของโครงการ ฟาร์มเกษตรกรผู้เลี้ยงไก่ไข่ อ.วังสะพุง จ.เลย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพแบบถุงหมักพีวีซีจากมูลไก่ไข่ โดยใช้ตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 4 กลุ่ม (T1, T2, T3 และ T4) พบว่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ประกอบด้วย มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) โดย มีเทน มีค่าร้อยละ 62.8, 66.0, 66.4 และ 65.2 ตามลำดับ คาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าร้อยละ 28.1, 28.3, 27.9 และ 28.7 ตามลำดับ ออกซิเจน มีค่าร้อยละ 1.2, 1.4, 1.4 และ 1.4 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการวัดปริมาณ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่า T1 มีค่ามากที่สุดรองลงมา คือ T2, T3, และ T4 ตามลำดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.01$) มีค่าเท่ากับ 1004.8, 602.0, 598.0 และ 86.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้เม็ดเคลือบสารเคมีเป็นตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดีที่สุด ดังแสดงใน Table 1

Table 1 The composition of biogas by different adsorbent materials

Parameter	T1	T2	T3	T4	SEM
CH_4 (%)	62.8	66.0	66.4	65.2	1.2
CO_2 (%)	28.1	28.3	27.9	28.7	0.4
O_2 (%)	1.2	1.4	1.4	1.4	0.08
BAL (other gas)	7.9^a	4.3^c	4.3^c	4.7^b	0.01
H_2S (ppm)	1004.8^a	602.0^b	598.0^b	86.8^c	10.5

^{a,b,c} Value on the same row under each main effect with different superscripts differ significantly ($P<0.01$)

จากการศึกษาของ วงศ์วิวรรธ ธนูศิลป์ และ สุนันทา เลาวัณย์ศิริ [5] ได้ศึกษาการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้วัสดุดูดซับที่แตกต่างกัน ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (AC) ขี้กลึงเหล็กปรับสภาพ (FH) ขี้กลึงเหล็กไม่ปรับสภาพ (FA) และถ่านกัมมันต์ร่วมกับขี้กลึงเหล็กไม่ปรับสภาพ (AF) โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากระบบก๊าซชีวภาพแบบ Anaerobic Covered Lagoon พบว่าก๊าซชีวภาพจากระบบก๊าซชีวภาพแบบ Anaerobic Covered Lagoon ที่วัดได้ก่อนตัวกลางวัสดุดูดซับ AC, FH, FA และ AF ประกอบด้วย ก๊าซมีเทนร้อยละ 42.60, 44.10, 44.70 และ 43.70 ตามลำดับ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 54.80, 54.50, 54.70 และ 55.50 ตามลำดับ ก๊าซออกซิเจน 0.00 และ ก๊าซอื่นๆร้อยละ 0.06, 01.40, 06.00 และ 0.809 ตามลำดับ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1,334, 1,403, 1,205 และ 1,080 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ตัวกลาง AC, FH, FA และ AF พบว่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนดูดซับด้วยตัวกลาง มีค่าเท่ากับ 1,334, 1,403, 1,205 และ 1,082 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยเมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ผ่านการกำจัดโดยใช้วัสดุดูดซับพบว่าความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเหลือเท่ากับ 937.5, 1,187.4, 358.8 และ 610.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ของวัสดุดูดซับ AC, FH, FA และ AF ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เท่ากับร้อยละ 29.72, 15.37, 70.22 และ 43.61 ของวัสดุดูดซับ AC, FH, FA และ AF ตามลำดับ วัสดุดูดซับ FA มีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุด ณ สภาวะคงที่ เนื่องจาก FA เป็นสนิมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ [6] เป็นสารประกอบระหว่างเหล็กกับออกซิเจน เกิดเป็นไฮเดรตเฟอริกออกไซด์ เมื่อรวมตัวกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เกิดเป็นสารประกอบเหล็กซัลเฟต จึงทำให้เกิดกระบวนการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของวัสดุดูดซับ FA มีประสิทธิภาพมากที่สุด ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์รองลงมาคือ AF ซึ่งเป็นการใช้วัสดุดูดซับ AC ร่วมกับ FA ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลำดับที่สามคือ AC เนื่องจากช่วงแรก AC จะมีความสามารถในการกำจัดที่ดี แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไป

ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะสูงขึ้นและความสามารถในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของ AC จะถึงจุดอิ่มตัวเร็ว ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลำดับที่สี่คือ FH เนื่องจาก FH มีการปรับสภาพด้วยกรดเพื่อที่จะเร่งปฏิกิริยาให้เกิดสนิม โดยกรด HCl ความเข้มข้นร้อยละ 15 เนื่องจากกรดมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไม่ค่อยดี โดยการนำเอาวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางในการดูดซับควรคำนึงถึงราคาต้นทุนของวัสดุดูดซับด้วย ดังนั้น FA เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ประโยชน์ในการดูดซับก๊าซ แต่อย่างไรก็ตามการใช้คอลัมน์สำหรับการบรรจุวัสดุในการดูดซับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร ความยาววัสดุดูดซับ 10 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กอาจส่งผลให้การดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าสู่จุดอิ่มตัวได้เร็ว ดังนั้นจากการวิจัยนี้จึงได้ปรับให้มีขนาดของคอลัมน์มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นทำให้การดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ผลดียิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ไข่ พบว่าการใช้เม็ดเคลือบสารเคมีเป็นตัวดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ได้ผลดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการใช้ถ่านและผ่อยเหล็กก็สามารถลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เช่นกัน หาได้ง่ายในท้องถิ่น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์และมีความเหมาะสมในการใช้ก๊าซชีวภาพระดับครัวเรือนได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เครือข่ายวิจัยภูมิภาค: ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (วช.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยในครั้งนี้ คลินิกเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย สำหรับอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย และมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย สำหรับงบประมาณสนับสนุนในการนำเสนอผลงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สุพล บ่อคุ้ม และ สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์. (2557). “อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของการหมักแบบไร้อากาศสองขั้นตอนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ จากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง1”. **ประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15.** วันที่ 28 มีนาคม 2557 ณ วิทยาลัยการปกครองท้องถิ่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[2] สิริชัย แย้มแบน. (2554). **การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่ไข่ด้วยระบบบ่อหมักรางของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[3] เพชรรัตน์ ใจบุญ. (2558). การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ร่วมกับหญ้าข้าวนก. **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8.** วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558. ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ :มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[4] SAS Institute Inc. (2001). **SAS System (Release 8.2)**, Cary, NC. USA.

[5] วงศ์วิวรรธ ธนูศิลป์ และ สุนันทา เลาวัณย์ศิริ. (2555) การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพโดยใช้ถ่านกัมมันต์และเหล็ก. **การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9.** วันที่ 6-7 ธันวาคม 2555 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

[6] สมชัย อัครทิวา. (2546). **ความรู้พื้นฐานวิศวกรรมของปฏิกิริยาเชิงเร่ง.** สำนักพิมพ์ท๊อป. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, เคมีวิทยา เล่ม 2 : หลักทฤษฎีและสมบัติของสสาร.



นายศรุติวงศ์ บุญคง (วท.ม. สัตวศาสตร์)
อาจารย์สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
สาขางานวิจัยที่สนใจ การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ โภชนศาสตร์สัตว์ สรีวิทยาทางการสืบพันธุ์

FC77

การผลิตน้ำร้อนจากเตาเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับศูนย์พัฒนาเด็กเล็กในพื้นที่ อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่

Hot water generation using the biomass stove for the child development center in Omkoi District, Chiang Mai

วรพจน์ โพธาเจริญ* นิธิพัฒน์ ตลึงจิตร รุ่งนภา จุลศักดิ์ พสุ ปราโมกข์ชน และชยานนท์ สวัสดีนฤนาท
วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50300

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตน้ำร้อนจากขยะชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่ในพื้นที่อำเภออมก๋อยเป็นการกำจัดขยะชีวมวลโดยใช้ให้เกิดประโยชน์ พร้อมทั้งช่วยลดปัญหาการเผาทิ้งในที่โล่งและลดปัญหาหมอกควันจากการใช้เตาเชื้อเพลิงชีวมวลต้นแบบซึ่งนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) มาติดตั้งกับปล่องไอเสียของเตาเชื้อเพลิงชีวมวลขนาด200 ลิตร เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผามาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำจนได้เป็นน้ำร้อนที่พร้อมใช้งาน โดยได้ทดลองผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในกิจกรรมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก (ศพด.) ในพื้นที่ ได้แก่ การทำความสะอาดเครื่องมือเครื่องใช้ขวดนม ช้อน ส้อม ตลอดจนภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็กเล็กเพื่อเป็นการฆ่าเชื้อโรค การใช้น้ำร้อนผสมกับน้ำให้เป็นน้ำอุ่นเพื่อใช้ทำความสะอาดร่างกายเด็กเล็ก จากผลการศึกษาการผลิตน้ำร้อนจากเตาเชื้อเพลิงชีวมวลด้วย การจำกัดปริมาณเชื้อเพลิงจำนวน 30 กิโลกรัม และทำการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบที่ 1 ลิตร/นาที, 2 ลิตร/นาที และ 3 ลิตร/นาที ตามลำดับ พบว่า ณ อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบที่ 1 ลิตร/นาทีผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย86°C ณ อัตราการไหลที่ 2 ลิตร/นาทีผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย83°C และ ณ อัตราการไหล 3 ลิตร/นาที ผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 65°C ทั้งนี้ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ ณ อัตราการไหลที่ 1 และ 2 ลิตร/นาที เหมาะสำหรับการนำไปใช้ล้างทำความสะอาดเครื่องมือเครื่องใช้ และภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็กเล็ก และ ณ อัตราการไหลที่ 3 ลิตร/นาที ซึ่งผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิเฉลี่ย65°C ได้ปริมาณน้ำร้อนเท่ากับ 180 ลิตร/ชั่วโมง เหมาะสำหรับการใช้ทำความสะอาดร่างกายของเด็กเล็ก เนื่องจากได้ปริมาณน้ำร้อนที่มีปริมาณมากและมีอุณหภูมิที่เหมาะสมเพียงพอต่อการนำไปผสมเป็นน้ำอุ่นเพื่อชำระล้างสิ่งปรกตามร่างกายเพื่อเป็นการสนับสนุนและส่งเสริมสุขลักษณะที่ดีของเด็กเล็ก ช่วยเสริมสร้างให้มีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรงต่อไป

คำสำคัญ: ความร้อนทิ้ง ชีวมวล เตาผลิตน้ำร้อน ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก

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

บทนำ

อำเภออมก๋อยตั้งอยู่ทางตอนใต้ของจังหวัดเชียงใหม่มีสภาพภูมิอากาศหนาวเย็นตลอดทั้งปี โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูหนาวอยู่ระหว่าง 15 -20 °Cและอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ประมาณ 2–4 °C จากสภาพภูมิประเทศที่เป็นเขตภูเขาสูง ทำให้การคมนาคมเข้าถึงได้ยาก ชาวบ้านตั้งถิ่นฐานกระจัดกระจาย จึงทำให้ขาดแคลนแหล่งพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนสำหรับใช้ภายในครัวเรือน ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ทำให้มีเศษวัสดุเหลือทิ้งทาง

การเกษตรจำนวนมากและกำจัดทิ้งด้วยการเผาในที่โล่ง ทำให้เกิดปัญหาฝุ่นควันปัญหามลภาวะทางอากาศ และปัญหาหมอกควันตามมา

ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก (ศพด.)เป็นภารกิจสำคัญด้านหนึ่งขององค์การบริหารส่วนตำบลอมก๋อยในการดูแลและพัฒนาสุขภาวะของเด็กเล็ก ทั้งด้านร่างกาย อารมณ์ สังคม และจิตใจ ตลอดจนเตรียมความพร้อมด้านการศึกษาในระดับก่อนปฐมวัยที่อยู่ภายในพื้นที่การดำเนินงานของ ศพด. มีความต้องการใช้น้ำร้อนในปริมาณมากสำหรับ การทำความสะอาดเครื่องมือเครื่องใช้ ขวดนม ช้อนส้อม และภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็กเล็ก เพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อโรคและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดภาวะท้องเสีย ท้องร่วงในเด็กเล็กได้ และการใช้น้ำร้อนไปผสมกับน้ำเย็นเป็นน้ำอุ่น สำหรับใช้อาบน้ำเด็กเล็ก ซึ่งเดิม ศพด. ใช้วิธีต้มน้ำแบบใช้เตาอั้งโล่ ทำให้มีการใช้ฟืนเป็นจำนวนมาก เพื่อต้มน้ำให้ร้อนและให้ได้ปริมาณเพียงพอสำหรับใช้ในกิจกรรมดังกล่าว การใช้เตาเชื้อเพลิงชีวมวลที่พัฒนาขึ้นโดยนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) มาติดตั้งกับปล่องไอเสียเพื่อนำพลังงานความร้อนจากการเผามาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นเทียบเท่าอุณหภูมิของน้ำร้อนจากการต้มน้ำด้วยเตาอั้งโล่ แต่สามารถผลิตน้ำร้อนได้ในปริมาณมากขึ้น ด้วยการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทดแทนการใช้ฟืน จึงถือเป็นการกำจัดขยะชีวมวลโดยใช้ให้เกิดประโยชน์ดีกว่าการกำจัดทิ้งด้วยการเผาในที่โล่ง เป็นการช่วยลดปัญหามลภาวะทางอากาศและปัญหาหมอกควัน และยังเป็นการเสริมสร้างสุขลักษณะที่ดีแก่เด็กเล็กให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีทางหนึ่ง

เตาเชื้อเพลิงชีวมวลขนาด 200 ลิตร เป็นเตาที่ใช้สำหรับกำจัดขยะชีวมวลประเภทกิ่งไม้ ใบไม้แห้ง และเศษวัชพืช การใช้เตาเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นมีข้อดีกว่าการเผาในที่โล่งแจ้ง เนื่องจากตัวเตาได้ออกแบบให้มีการควบคุมปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาให้เหมาะสม จึงก่อให้เกิดมลพิษต่ำ และมีควันน้อย ทั้งนี้เตาเผายังมีต้นทุนต่ำ และหาซื้อได้ง่าย เหมาะสำหรับกำจัดขยะชีวมวลสำหรับภาคครัวเรือนได้ดี

อย่างไรก็ตามในกระบวนการเผาไหม้ขยะชีวมวลภายในเตาเชื้อเพลิงชีวมวลนั้น จะเกิดพลังงานความร้อนเหลือทิ้ง ซึ่งมีอุณหภูมิที่สูงกว่า 400°C ที่ปล่อยออกมาโดยไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่จึงได้คิดค้น ออกแบบและทดลองนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) มาติดตั้งกับปล่องไอเสียของเตาเชื้อเพลิงชีวมวลขนาด200 ลิตร เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผามาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ จนได้เป็นน้ำร้อนที่พร้อมนำไปใช้งาน [1]

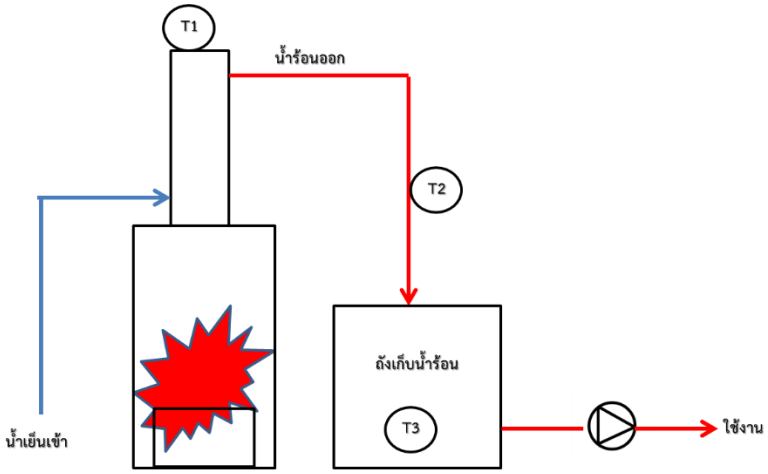
วิธีการวิจัย

การทดลองผลิตน้ำร้อนจากเตาเชื้อเพลิงชีวมวล(แสดงดังภาพที่ 1) ได้ทำการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเย็นที่ไหลเข้าระบบที่ 1 ลิตร/นาที, 2 ลิตร/นาที และ 3 ลิตร/นาทีโดยได้กำหนดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงครั้งละ 30 กิโลกรัม และกำหนดตำแหน่งการเก็บข้อมูลอุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้นจำนวน 3 จุด ได้แก่ จุดที่ 1 อุณหภูมิของปล่องไอเสีย(T1) จุดที่ 2อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากปล่องไอเสีย(T2) และจุดที่ 3อุณหภูมิของน้ำร้อนที่อยู่ถังเก็บน้ำร้อนที่พร้อมนำไปใช้งาน (T3) แสดงดังภาพที่ 2

เมื่อทำการทดลองและเก็บข้อมูลอุณหภูมิความร้อน ณ จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จุดที่มีอัตราการไหลของน้ำเย็นที่เข้าระบบต่างกัน3 ระดับนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้Analysis of Variance: ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%ด้วยโปรแกรม SPSS



ภาพที่ 1 เตาผลิตน้ำร้อนด้วยเชื้อเพลิงชีวมวล

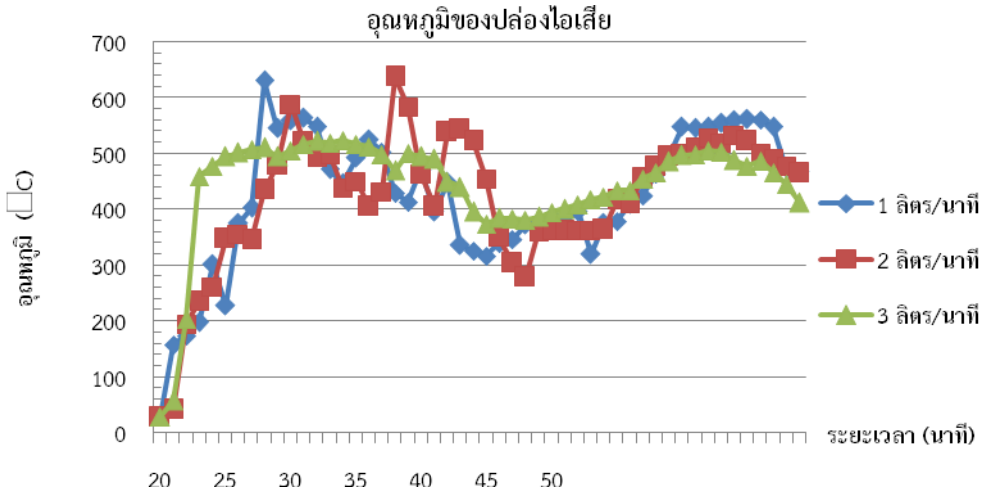


ภาพที่ 2 แสดงรูปแบบการทำงานของเตาและจุดเก็บตัวอย่างอุณหภูมิ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองผลิตน้ำร้อนด้วยเตาเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงสำหรับการเผาที่ 30 กิโลกรัมต่อครั้งอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำเย็นก่อนเข้าระบบโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 32°Cณ อัตราการไหลของน้ำที่ต่างกัน3 ระดับ และทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิความร้อนจำนวน 3 จุดซึ่งผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

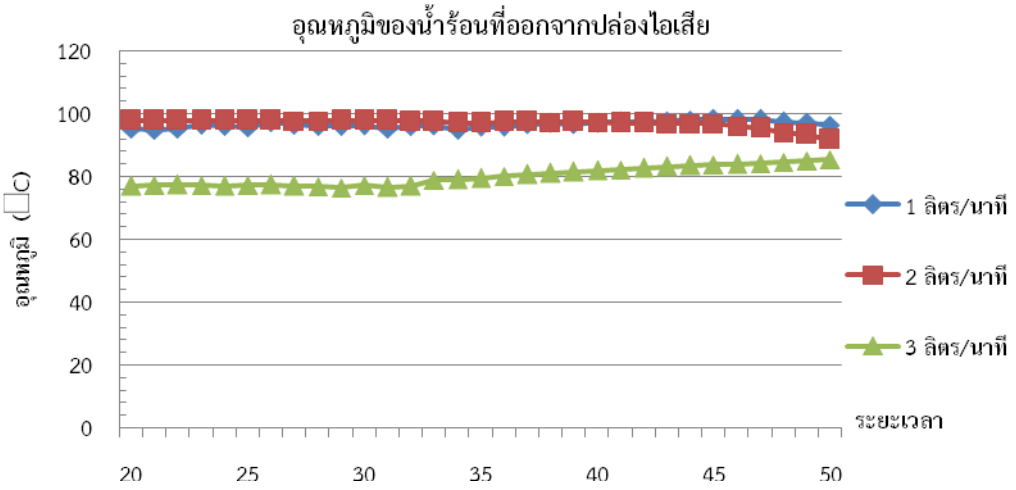
จุดเก็บตัวอย่างอุณหภูมิที่ 1: อุณหภูมิของปล่องไอเสีย (T1)



ภาพที่ 3 แสดงอุณหภูมิของปล่องไอเสียของเตา ณ อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบที่ 1,2 และ 3 ลิตร/นาที

จากภาพที่3 เมื่อมีการเผาไหม้ของชีวมวลและเกิดพลังงานความร้อนจนอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิคงตัว (ช่วงระหว่างนาทีที่ 20 จนถึงนาทีที่ 50)พบว่า อุณหภูมิของปล่องไอเสีย ณ อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบที่ 1, 2 และ 3 ลิตร/นาทีมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ ที่ 437°C , 449°Cและ 445°C ตามลำดับ ทั้งนี้การที่อุณหภูมิของปล่องไอเสียไม่คงที่โดยมีการขึ้นลงเป็นระยะนั้นเนื่องมาจากการเติมเชื้อเพลิงเป็นช่วงๆ โดยช่วงแรกของการเติมเชื้อเพลิง อุณหภูมิจะค่อยๆ สูงขึ้น จนเมื่อเชื้อเพลิงหมดไปอุณหภูมิจะลดลง และจะสูงขึ้นอีก หากมีเติมเชื้อเพลิงไปเรื่อยๆ ซึ่งในที่นี้ได้กำหนดปริมาณเชื้อเพลิง 30 กิโลกรัมต่อครั้ง

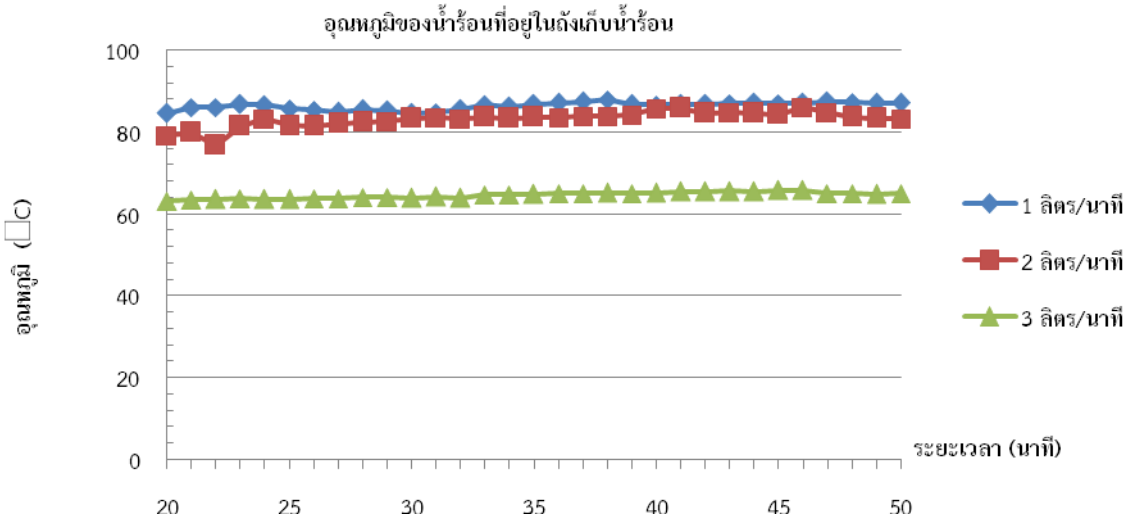
จุดเก็บตัวอย่างอุณหภูมิที่ 2: อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากปล่องไอเสีย (T2)



ภาพที่4 แสดงอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากปล่องไอเสีย ณ อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบที่ 1, 2 และ 3 ลิตร/นาที

จากภาพที่4เมื่อมีการเผาไหม้ของชีวมวลและเกิดพลังงานความร้อน จนอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิคงตัวพบว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากปล่องไอเสีย ณ อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบที่ 1, 2 และ 3 ลิตร/นาทีมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 96°C , 97°Cและ 80°Cและมีปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้เท่ากับ 60, 120 และ 180 ลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ

จุดเก็บตัวอย่างอุณหภูมิที่ 3: อุณหภูมิของน้ำร้อนที่อยู่ถังเก็บน้ำร้อนที่พร้อมนำไปใช้งาน (T3)



ภาพที่5 แสดงอุณหภูมิของน้ำร้อนที่อยู่ถังเก็บน้ำร้อนที่พร้อมนำไปใช้งาน ณ อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบที่ 1, 2 และ 3 ลิตร/นาที

จากภาพที่ 5 เมื่อมีการเผาไหม้ของชีวมวลและเกิดพลังงานความร้อน จนอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิคงตัวพบว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนที่อยู่ถังเก็บน้ำร้อนที่พร้อมนำไปใช้งาน ณ อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบที่ 1, 2 และ 3 ลิตร/นาทีมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 86°C, 83°Cและ 65°Cโดยมีปริมาณน้ำร้อนที่ผลิตได้เท่ากับ 60, 120 และ 180 ลิตร/ชั่วโมงตามลำดับ

จากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นได้ว่า การผลิตน้ำร้อนจากเตาเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถผลิตน้ำร้อน (ที่อยู่ในถังพักเพื่อเตรียมนำไปใช้งานต่อไป (T3))ที่มีอุณหภูมิระหว่าง 65°C ถึง 86°C และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากปล่องไอเสีย (T2) ที่มีอุณหภูมิระหว่าง 80°C ถึง 97°C ซึ่งแปรผกผันกับอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบ กล่าวคือเมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบจะทำให้อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ลดลงแต่สามารถผลิตน้ำร้อนที่ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบ แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบมีผลต่ออุณหภูมิและปริมาณของน้ำร้อนที่ผลิตได้ แต่สำหรับอุณหภูมิความร้อนจากการเผาไหม้ที่ปล่องไอเสีย ไม่มีผลต่ออุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้ เนื่องจากอุณหภูมิที่ปล่องไอเสียมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันทุกอัตราการไหลของน้ำเย็นที่เข้าระบบและเมื่อพิจารณาผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิของน้ำร้อนที่อยู่ถังเก็บน้ำร้อน(T3) ซึ่งเป็นน้ำร้อนที่พร้อมนำไปใช้งานได้พบว่า อัตราการไหลของน้ำเข้าระบบที่ 1 และ 2 ลิตร/นาทีอุณหภูมิของน้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%แต่มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของน้ำที่อัตราการไหลที่ 3 ลิตร/นาทีอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากอัตราการไหลของน้ำเข้าระบบที่เป็นปัจจัยสำคัญต่ออุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้แล้ว ชนิด ขนาดและความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการเผาเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิของน้ำร้อนเช่นกันและหากต้องการผลิตน้ำร้อนในปริมาณเพิ่มขึ้น ให้เพิ่มระยะเวลาในการเผาและเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลให้มากขึ้น

สำหรับการใช้งานน้ำร้อน ณ อัตราการไหลที่ 1 และ 2 ลิตร/นาที ที่มีอุณหภูมิของน้ำร้อนอยู่ที่ 86°C และ 83°Cซึ่ง น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 65°Cจะสามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียบางชนิดได้ [2] ดังนั้น น้ำร้อนที่ผลิตได้ ณ อัตราการไหลที่ 1 และ 2 ลิตร/นาที จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้ล้างทำความสะอาดสำหรับเครื่องมือเครื่องใช้ ขวดนมช้อน ส้อม และภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็กเล็กได้ เพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อโรคและแบคทีเรีย และสร้างเสริมสุขอนามัยที่ดีให้แก่เด็ก เนื่องจากมีอุณหภูมิที่เหมาะสม และปริมาณน้ำร้อนที่ได้เพียงพอต่อการนำไปใช้

สำหรับน้ำร้อน ณ อัตราการไหลที่ 3 ลิตร/นาที ซึ่งมีอุณหภูมิของน้ำร้อนอยู่ที่ 65°Cและได้ปริมาณน้ำร้อนเท่ากับ 180 ลิตร/ชั่วโมง เหมาะสำหรับการทำไปใช้ทำความสะอาดร่างกายของเด็กเล็ก เนื่องได้ปริมาณน้ำร้อนที่มีปริมาณมากและมีอุณหภูมิที่เหมาะสมเพียงพอต่อการนำไปผสมเป็นน้ำอุ่นเพื่อชำระล้างสิ่งปรกตามร่างกาย เพื่อเป็นสนับสนุนและส่งเสริมสุขลักษณะที่ดีของเด็กเล็ก ช่วยเสริมสร้างให้มีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรงต่อไป

สรุปผลการวิจัย

การใช้ขยะชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาเชื้อเพลิงชีวมวล เป็นวิธีการหนึ่งในการกำจัดขยะชีวมวลที่จะช่วยลดปัญหาการเผาทิ้งในที่โล่ง และปัญหาหมอกควัน ทั้งยังสามารถผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ในกิจกรรมของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก ได้แก่การใช้น้ำร้อนในการทำความสะอาดเครื่องมือเครื่องใช้ ขวดนม ช้อน ส้อม และภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็กเล็กเพื่อเป็นการฆ่าเชื้อโรค การใช้น้ำร้อนผสมกับน้ำให้เป็นน้ำอุ่นเพื่อใช้ทำความสะอาดร่างกายเด็กเล็ก เพื่อเป็นสนับสนุนและส่งเสริมให้เด็กเล็กภายในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กมีสุขภาพอนามัยที่ดี และมีสุขภาพร่างกายที่แข็งแรงปราศจากโรคภัย ซึ่งระบบต้นแบบการวิจัยครั้งนี้สามารถใช้เป็นต้นแบบการเรียนรู้เพื่อขยายผลไปสู่ชุมชนอื่น เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตของสมาชิกในชุมชนโดยเฉพาะเด็กเล็กต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
องค์การบริหารส่วนตำบลอมก๋อยและศูนย์พัฒนาเด็กเล็กสบอมแฮด ต.อมก๋อย อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

[1] วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย.(2560).โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการแปรรูปขยะชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน และลดปัญหาการเผาในที่โล่งแจ้งในพื้นที่ อ.อมก๋อย จ. เชียงใหม่.

[2] รวีวรรณ ศรีทองและภารดี ช่วยบำรุง.(2557). จำนวนแบคทีเรียรวมบนช้อนส้อมที่จุ่มลวกในน้ำร้อนและการปนเปื้อนแบคทีเรียจากน้ำร้อนสู่ช้อนส้อม,ธรรมศาสตร์เวชสาร.14(1).



Session3. สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

NC16

การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยลมร้อนในท่อตรงแนวตั้ง

Drying Agricutural Products by Hot Air in Vertical Tube

รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล* และทินนรัตน์ บูขุนทด
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นโครงงานที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยโครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาการอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิล และแบบไม่มีฟิล ซึ่งในการทดลองจะมีส่วนประกอบหลักคือ ฟิลที่จะบรรจุอยู่ในท่อตรงแนวตั้ง ในฟิลจะประกอบไปด้วยแกนที่มีรัศมี 15 มม. และในใบฟิลมีระยะพิตช์ห่างกันพิตช์ละ 30 มม. จากการคำนวณหาอัตราการสูญเสียในท่อทั้งการสูญเสียหลักและการสูญเสียรองต้องใช้พัดลมแรงดันสูงขนาด 1.76 กิโลวัตต์ ในการเป่าลำเลียงข้าวไปในระบบการอบแห้ง และในการทำความร้อนเพื่อใช้ในระบบอบแห้งมีภาระความร้อนอยู่ที่ 30-45 องศาเซลเซียส จากการคำนวณหาภาระการทำความร้อนจะต้องใช้ฮีทเตอร์ขนาด 2 กิโลวัตต์ ในการทำความร้อนที่ใช้อบแห้ง และในการลำเลียงผลิตภัณฑ์ไปในการอบแห้งจะใช้มอเตอร์ขนาด 0.25 แรงม้า มีอัตราทดที่ 1:80 จากการทดลองพบว่า ในการอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิลมีความสามารถในการลดความชื้นได้มากกว่าการอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งแบบไม่มีฟิลที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นได้มากกว่าถึง 1.43 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

*Corresponding author: Tel.: 095-168-7764 E-mail address: wiwattanasirikulr@gmail.com

1.บทนำ

เนื่องจากข้าวเปลือกเหนียว ที่เราได้จากการเก็บเกี่ยวมาส่วนมากมักมีความชื้นอยู่ค่อนข้างสูงกว่ามาตรฐานในการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งจึงพบปัญหาขายไม่ค่อยได้ราคา และถูกกดราคาจากนายหน้าค้าข้าว และส่งผลทำให้คุณภาพไม่ได้ตามมาตรฐานสากล จึงไม่เหมาะกับการลงทุนมากนัก ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการไล่ความชื้นด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การนำไปผึ่งแดด แต่ก็มักจะมีปัญหาตามมาคือ ต้องใช้พื้นที่ในการตากค่อนข้างมากและยังมีปัญหาทางด้านสภาพอากาศเข้ามาเป็นปัจจัยเพิ่มเติมด้วย

จากปัญหาข้างต้น จึงได้มีการคิดค้นสิ่งประดิษฐ์เครื่องมือมาช่วย โดยเครื่องจะมีประสิทธิภาพที่ดีแต่จะมีข้อจำกัดในการทำงานคือ จะได้ปริมาณข้าวเหนียวออกมาได้ปริมาณน้อยกว่ามาตรฐานและยังมีการกำหนดปริมาณวัสดุจึงส่งผลให้มีการใช้เวลาในการลดความชื้นข้าวเปลือกยาวนานมากกว่าเดิม

จากปัญหาต่างๆ ที่ได้พบผู้จัดทำจึงได้สร้างเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนขึ้นมาเพื่อลดพื้นที่และความเสี่ยงจากภาวะต่างๆ รวมถึงเวลาที่ใช้ก็จะลดน้อยลงไป ทำให้เกษตรกร และห้างร้านอุตสาหกรรมต่างๆ มีมาตรฐานไปในทางเดียวกันเป็นมาตรฐานสากลยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งของข้าวเปลือกเหนียว

1.2.2 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนในท่อตรงแนวตั้ง

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการอบแห้งของข้าวเปลือกเหนียว ในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิลและไม่มีฟิล

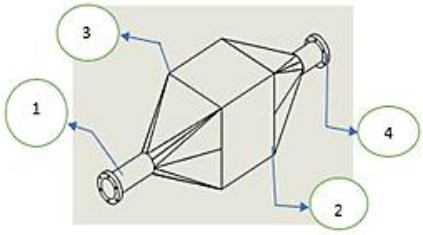
2. วิธีการออกแบบ

2.1 ออกแบบเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ในท่อตรงแนวตั้ง



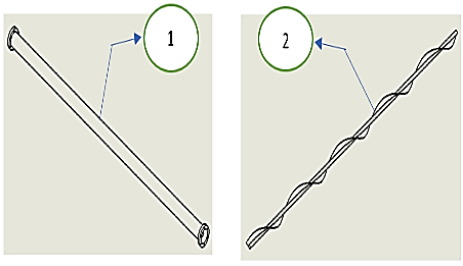
ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในท่อตรงแนวตั้ง

ทำการออกแบบเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรในท่อตรงแนวตั้ง ซึ่งในการออกแบบทางผู้จัดทำจะเน้นในส่วนของความปลอดภัยมาเป็นอันดับแรก ความแข็งแรงทนทาน ใช้งานได้ง่าย



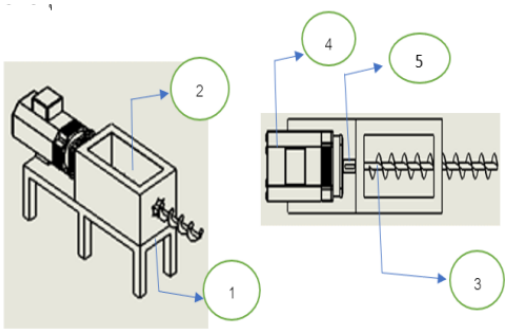
ภาพที่ 2 ห้องบรรจุเครื่องให้ความร้อน

โครงสร้างเหล็กทรงกลมหมายเลข 1 ขนาด 3 in หนา 1 mm ยาวข้างละ 260 mm เชื่อมเข้ากับกล่องบรรจุตัวทำความร้อนหมายเลข 2 กว้าง 350 mm ยาว 300 mm หนา 2 mm เพื่อไว้ยึดติดกับตัวให้ความร้อนเพื่อไว้ยึดติดกับตัวให้ความร้อนเพื่อความแน่นหนา ก่อนตัวเข้ากล่องบรรจุความร้อนในหมายเลข 3 มีแผ่นลดเหลี่ยมยาว 275 mm ยาว 2 mm และหมายเลข 4 ที่ปลายท่อมีแผ่นเพลส กว้าง 305 mm หนา 7 mm เจาะรู 6 รู เพื่อการใส่สกรูในการยึดแน่นและง่ายต่อการยึดต่อ



ภาพที่ 3 ท่อและฟิลที่ใช้ในการบรรจุในท่อ

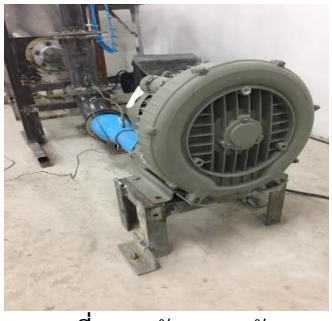
ท่อทรงกลมหมายเลข 1 ขนาด 3 in ยาว 2.4 m หนา 1mm มาพร้อมกับหน้าแปลนที่เอาไว้ถอด หรือประกอบได้ง่ายภายในจะบรรจุฟิลหมายเลข 2 หนา 1 mm ยาว 2.4 m ระยะพิลห่างกัน 30 cm เพื่อใช้เสมือนเป็นตัวหน่วงระยะทางในการอบแห้งในท่อตรงแนวตั้ง



ภาพที่ 4 ชุดลำเลียงผลิตภัณฑ์ในการอบแห้ง

ภาพที่ 4 แสดงชุดลำเลียงผลิตภัณฑ์ในการอบแห้งหมายเลข 1 เป็นชุดโครงสร้างฐานประกอบด้วยเหล็กฉากยาว 1050 mm หนา 2mm เพื่อรองรับน้ำหนักในการบรรจุผลิตภัณฑ์การอบแห้งและชุดขับเคลื่อน หมายเลข 2 ห้องบรรจุผลิตภัณฑ์ในการอบแห้งมีขนาดกว้าง 30 cm ยาว 55 cm สูง 30 cm จะขนถ่ายวัสดุด้วยสกรู หมายเลข 3 มีความยาว 85 cm ระยะพิห่างกัน 5 cm มาพร้อมกับมอเตอร์ หมายเลข 4 ขนาด 1/2แรง พูเล่ย์ทดหมายเลข 5 ทดในอัตรา 1 : 80 ในการขนถ่ายวัสดุ

2.2 ผลของการดำเนินการสร้าง



ภาพที่ 5 ชุดพัดลมแรงดันสูง

การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบท่อตรงแนวตั้งภายในแบบที่มีฟิลและไม่มีฟิลจะใช้พัดลมแรงดันสูงขนาด 1.75 kw ให้แรงดันขนาด 200mbar ด้วยรอบการทำงาน 3445 rpm



ภาพที่ 6 ชุดให้ความร้อนที่ทำการส่งความร้อนผ่านพัดลมแรงดันสูง

ก่อนที่อากาศจะผ่านเข้าสู่พัดลมแรงดันสูงไปเข้าในระบบการอบแห้งจะมีการอุ่นอากาศก่อนเข้าไป โดยมีตัวให้ความร้อนขนาด 2 kw ใส่อยู่ในกล่องบรรจุขนาด 36x8x 49cmต่อเข้ากับท่อ 3in ก่อนลดขนาดท่อเป็น 2in เพื่อเข้าสู้พัดลมแรงดันสูง



ภาพที่ 7 กล่องใส่บรรจุข้าวเพื่อรอการลำเลียง

ในการลำเลียงวัสดุเพื่อเข้าไปสู่กระบวนการในการอบแห้งแบบมีฟิลและไม่มีฟิล จะถูกบรรจุอยู่ในกล่องขนาด 39x 39cm สูง 30cm มีสกรูแบบพิทสั้นที่ใช้ในการลำเรียงมีระยะพิทยาว 75cm ระยะห่างระหว่างพิท ห่างพิทละ 15 cm ลำเลียงผ่านกล่องบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าไปในท่อขนาด 3in ยาว 35cm
แบบสามทางเพื่อลำเลียงเข้าระบบการอบแห้งต่อไป

2.3 วิธีทดสอบเครื่องอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิลและไม่มีฟิล

2.3.1 ทดสอบการอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งแบบไม่มีฟิล

1. เปิดโบล์เวอร์

2. เปิดเครื่องขนถ่ายข้าวให้เข้าสู้เครื่องอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งโดยไม่มีฟิลและทำการอบแห้งข้าวเป็นระยะเวลา 5min (ใช้อุณหภูมิห้อง) แล้วทำการบันทึกผลการทดลองลงในตารางการทดลอง

3. ทำตามข้อที่ แต่ให้ใช้ตัวทำความร้อนที่อุณหภูมิ 2 35,40 , 45 ^{o}C

4. นำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการทดลองแบบ 2.3.2

2.3.2 ทดสอบการอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิล

1. เปิดพัดลมโบล์เวอร์

2. เปิดเครื่องขนถ่ายข้าวให้เข้าสู้เครื่องอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งโดยทำการอบแห้งข้าวเป็นระยะเวลา 5 min (ใช้อุณหภูมิห้อง)แล้วทำการบันทึผลการทดลองลงในตารางการทดลอง

3. ทำตามข้อที่ แต่ให้ใช้ตัวทำความร้อนที่อ 2ุณหภูมิ 35,40 , 45 ^{o}C

4. นำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการทดลองแบบ 2.3.1

2.4 ผลการทดลองเครื่องอบแห้งท่อตรงแนวตั้ง

ตารางที่ 1 ตารางผลการทดลองเครื่องอบแห้งท่อตรงแนวตั้งแบบไม่มีฟิล

ครั้งที่ทำการทดลอง	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (℃)	มวลในการอบแห้ง		ความชื้นที่ลดลง (%w.d)
			มวลวัตถุเริ่มต้น (%w.b)	มวลวัตถุที่แห้ง (%w.b)	
1	15	28.5	13	11.31	1.69
2	15	35	16	13.44	2.56
3	15	40	20	16	4
4	15	45	23	17.71	5.29

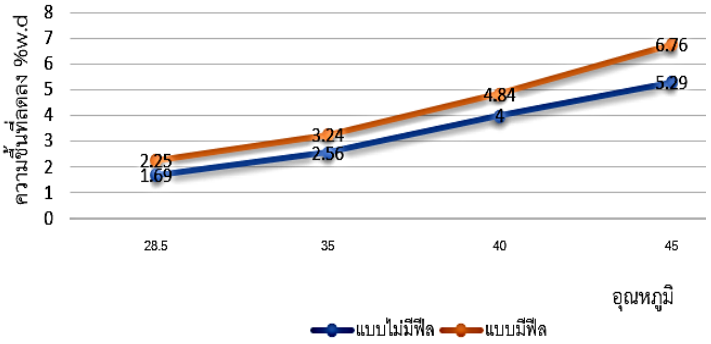
การอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งแบบไม่มีฟิลมีปริมาตรการไหล 1.75 kg/min ซึ่งในการทดลองได้กำหนดเวลาในการทดลองเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในอุณหภูมิที่แตกต่างกันไปโดยจากตารางผลการทดลองที่เวลา 15 min การอบแห้งที่ดีที่สุดอยู่ที่ 45 °C สามารถทำให้ความชื้นลดลงได้ 5.29 % w.d

ตารางที่ 2 ตารางผลการทดลองเครื่องอบแห้งท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิล

ครั้งที่ทำการทดลอง	เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (℃)	มวลในการอบแห้ง		ความชื้นที่ลดลง (%w.b)
			มวลวัตถุเริ่มต้น (%w.b)	มวลวัตถุที่แห้ง (%w.b)	
1	15	29.8	15	12.75	2.25
2	15	35	18	14.76	3.24
3	15	40	22	17.16	4.84
4	15	45	26	19.24	6.76

การอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิลมีปริมาตรการไหล 1.4 kg/min ซึ่งในการทดลองได้กำหนดเวลาในการทดลองเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในอุณหภูมิที่แตกต่างกันไปโดยจากตารางผลการทดลองที่เวลา 15min การอบแห้งที่ดีที่สุดอยู่ที่ 45 °C สามารถทำให้ความชื้นลดลงได้ 6.76 %w.d

2.5 การเปรียบเทียบการอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิลและไม่มีฟิล



ภาพที่8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นที่ลดลง

จากกราฟเปรียบเทียบผลการทดลองการอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิลและไม่มีฟิลจะเห็นได้ว่าในการทดลองที่อุณหภูมิห้องและ 35 °C เปอร์เซนต์การอบแห้งจะไม่มีความแตกต่างกันมากนักแต่จะเห็นได้ชัดที่เวลา 15 min อุณหภูมิ 45 °C การอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งแบบไม่มีฟิลลดความชื้นไปได้ 29.5% w.d และแบบมีฟิลลดความชื้นไปได้ 6.76% w.d จึงสรุปผลการทดลองจากกราฟได้ว่า ณ เวลา และอุณหภูมิในการอบแห้งที่เท่ากันการอบแห้งแบบใช้ฟิลมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบไม่มีฟิล

3.การคำนวณการสูญเสียเพื่อใช้ในการออกแบบระบบอบแห้ง

3.1 การสูญเสียทั้งหมด

$h_{L\,รวม}$= 312.4+30.82+24.49+240+1499.98+3201+39.67

h_L = 5.3483 m-air

Safety facter =1.15

h_L = 5.3483 x 1.15= 6.150

$\Delta P_t = \rho_a g h_L$

= (1.094)(9.81)(6.150)

=35.73 Pa

3.2 คำนวณหาการใช้ Blower

$$\text{ประสิทธิภาพทางกล} = \frac{\text{อัตราการไหลของอากาศ x ความดันรวม}}{\text{BP}}$$

$$= \frac{35.73 \times 0.01955}{0.5}$$

=1.318

Bower มีขนาด $= \frac{1.318}{746} = 1.767 \times 10^{3}$

ดังนั้นเลือก Bower ขนาด 1.76kW

ภาระความร้อน 30° อากาศสูงสุดการอบแห้ง 45°

$$Q = m_a x c_p x \Delta T$$

Q = 1.02 kW x safetyfactor 1.5 Q = 1.53 kW

จะได้ค่า Q =1.63kWดังนั้นในการออกแบบจะเลือกขนาดของฮีตเตอร์เท่ากับ 2kWเพื่อให้ง่ายต่อการจัดซื้อตามท้องตลาด

4. สรุป

การศึกษาเครื่องอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งเพื่อใช้ในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ในการทดลองครั้งนี้ใช้เป็นข้าวเปลือกเหนียวในการทดองลดความชื้น ในการทดลองจะทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นก่อนและหลังการอบแห้งข้าวเปลือกเหนียวในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิลและไม่มีฟิลในระยะเวลาที่ใช้อบเท่ากันรวมไปถึงการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งในการอบแห้งข้าวเปลือกเหนียวโดยใช้การอบผลิตภัณฑ์แบบ การพาความร้อนเพื่อที่จะใช้ในการลดความชื้นของข้าวเปลือกเหนียวรวมไปถึงการเปรียบเทียบหาเปอร์เซ็นต์ในการลดความชื้นระหว่างเครื่องอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิลและไม่มีฟิลในการเปรียบเทียบเป็นหลักสำคัญ

จากเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกเหนียวในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิลและไม่มีฟิล โดยมีส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งนี้จะมีการดูดอากาศโดยจะใช้พัดลมแบบแรงดันสูงจะดูดอากาศจากตัวทำความร้อนที่อุ่นอากาศก่อนเข้าพัดลมแรงดันสูงมีขาด 36x8x 49cm ให้กำลังไฟฟ้า 2kw จำนวน ตัวหลังจากนั้นจะไหลเข้าท่อกลมขนาด 2 1 in ซึ่งจะมีท่อร่วมสำหรับใช้ในการลำเลียงข้าวเปลือกเหนียวในการที่จะนำไปอบแห้งต่อในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิลและ

ไม่มีฟิลสูง 2.40m จากนั้นจะไหลลงอย่างอิสระลงมาที่กล่องรอลำเลียงขึ้นไปอบแห้งอีกครั้งขนาด 39xเซนติเมตร สูง 39 30cm จากนั้นข้าวเปลือกเหนียวก็จะถูกลำเลียงไปอบแห้งอีกจนกว่าจะครบตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้

จากตารางผลการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกเหนียวในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิลและไม่มีฟิลที่มีขอบเขตของการศึกษาไปในทิศทางเดียวกันคือ ใช้เวลาและอุณหภูมิในการอบแห้งแบบควบคุมที่เวลา 15min ที่อุณหภูมิในการอบอุณหภูมิห้อง และ 45 40 35 $^{\circ}$C ผลปรากฏว่าการอบแห้งข้าวเปลือกเหนียวในท่อตรงแนวตั้งแบบไม่มีฟิล ที่อุณหภูมิอุณหภูมิห้อง และ 45 40 35 $^{\circ}$C สามารถลดความชื้นจากเดิมได้ 1.69,2.56 ,4 , 5.29 %w.d การอบแห้งข้าวเปลือกเหนียวในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิลที่อุณหภูมิ อุณหภูมิห้อง และ 45 40 35 $^{\circ}$C สามารถลดความชื้นจากเดิมได้ 2.25, 3.24, 4.84 ,6.76 %w.d การอบแห้งในแบบที่มีฟิลสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าแบบที่ไม่มีฟิลก็เพราะว่าแบบที่มีฟิลจะสามารถชะลอเวลาในการเคลื่อนที่ของวัสดุไปในฟิลที่ห่างกัน 30cm ที่ระยะพิทช์ ทำให้วัสดุที่ใช้ในการอบแห้งได้สัมผัสกับลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งได้นานกว่าแบบไม่มีฟีน ดังนั้นจากผลการทดลองเครื่องอบแห้งในท่อตรงแนวตั้งแบบมีฟิลและไม่มีฟิลสามารถสรุปได้ว่าแบบมีฟิลมีความสามารถลดความชื้นได้มากกว่าแบบไม่มีฟิล

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จลงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดีผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน คือท่านอาจารย์ ดร.รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล และท่านอาจารย์ ดร.ศักดิ์ชัย ดรดี ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ทั้งความรู้อันเป็นประโยชน์ คำแนะนำ และการส่งเสริมช่วยเหลือตลอดมาจนกระทั่งโครงงานนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงลงได้ และนอกจากนั้นยังต้องขอขอบพระคุณท่านอาจารย์จักรี วิชัยระหัด ผู้อำนวยการโครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณาจารย์ในคณะฯ คณาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และบุคคลท่านอื่นๆ ที่ได้ให้การช่วยเหลือแต่มิได้เอ่ยนามในที่นี้

ขอขอบคุณ คุณ วิสันต์ ฝาชัยภูมิ ผู้ร่วมสร้างงานปริญญานิพนธ์ และคอยช่วยเหลือจนกระทั่งโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง ที่ได้ให้การสนับสนุน ส่งเสริม ช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ และคอยกระตุ้นเตือนแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา จนกระทั่งประสบความสำเร็จด้วยดี

6.บรรณานุกรม

พรชัย จงจิตรไพศาล, สกรูขนถ่ายวัสดุ, ภาควิชาเทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เนตรทิพย์ คู่คงวิริยะพันธ์, การเลือกใช้เครื่องกวนที่เหมาะสม, วารสารเทคนิค 2 ธันวาคม 2528 .

Arun S. Mujumdar. (2000). Drying Technology in Agriculture and Food Sciences. India. Science Publishers Inc. Enfield, NH, USA.

Bunyawanichakul; G.J. Walker; J.E. Sargison; P.E. Doe. 2007). Modelling and Simulation of Paddy Grain (Rice) Drying in a Simple Pneumatic Dryer. Biosystems Engineering; 96 (3), 335–344.

Brooker D B; Bakker-Arkema F W; Hall C W 1992 .Drying and Storage of Grains and Oilseeds . AVI Book Publishing, New York.

Evgeny Rabinovich, and Haim Kalma 2011 .Flow regime diagram for vertical pneumatic conveying and fluidized bed systems Powder Technology; 207, 119–133

Fumihiko Tanaka, Toshitaka Uchino, Daisuke Hamanaka, and Griffiths GregoryAtungulu. 2008 .Mathematical modeling of pneumatic drying of rice powder .Journal of Food Engineering 88 492–498.

K.S.Rajan, S.N .Srivastava , B .Pitchumani, and B .Mohanty .2006.Simulation of gas–solid heat transfer during pneumatic conveying : Use of multiple gas inlets along the duct . International Communications in Heat and Mass Transfer; 33, 1234–1242.

K. S . Rajan,S . . Srivastava, B . Pitchumani,andK.Dhasandhan 2008 . Experimental study of thermal effectiveness in pneumatic conveying heat exchanger . Applied Thermal Engineering; 28 , 1932–1941.

K. S . Rajan, K . Dhasandhan, S. N . Srivastava, and B . Pitchumani 2008 . Studies on gas–solid heat transfer during pneumatic conveying . International Journal of Heat and Mass Transfer; 51, 2801–2813.

Lalit R . Verma, and M. Tsang Mui Chung, (1 9 9 3). Pneumatic conveying of grains. Louisiana state Uninersity .Journal HAW.PAC .AGRI; 4, 1-13.

M.Guner2007 Pneumatic conveying characteristics of some agricultural seeds . Food Engineering .vol . 80 (3), June 2007, pp .904-913.

Y.Zheng, J.R .Pugh, D .McGlinchey,and R.O .Ansell) .2008 .Simulation and experimental study of gas-to -particle heat transfer for non-invasive mass flow measurement .Measurement; 41,

ZHOU Jin-song, LUO Zhong-yang, GAO Xiang, NI Ming-jiang, and CEN Ke-fa .2002 .Effect of particle loading on heattransfer enhancement in agassolid suspension cross flow .Jounl of Zhejiang University SCIence; 3,4, 381 –386.

NC26

การเปรียบเทียบสมรรถนะในการจัดการขยะแบบวิธีมาตรฐานเปรียบเทียบกับการจัดการขยะแบบทั่วไป

Comparing Solid Waste Management Capabilities by Standard Method and General waste management

สุริยงค์ ประชาเขียว* และกนกพงษ์ ศรีเที่ยง
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 57120

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดการขยะในปัจจุบันเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งในประเทศไทยเนื่องจากปริมาณขยะที่เพิ่มสูงขึ้น วิธีการกำจัดขยะจึงมีความสำคัญมากตามไปด้วย ถ้าเกิดการจัดการขยะไม่ได้เป็นไปตามมาตรฐานที่ควรจะเป็นก็ย่อมส่งผลกระทบอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่จะตามมา ทั้งทางน้ำ ทางดิน และทางอากาศ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของขยะ หาค่าความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม (Cd) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) สารหนู (As) และ ปรอท (Hg) รวมถึงศึกษาคุณภาพน้ำและดินทางด้านกายภาพและทางเคมี ได้แก่ pH Conductivity และ BOD จากบ่อกำจัดขยะของเทศบาลเชียงราย (Municipal solid waste Sanitary landfill) หรือ (MSW1) และบ่อกำจัดขยะเทศบาล อ.เชียงแสน (Municipal solid waste irregular landfill) หรือ (MSW2) และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของจุดศึกษาทั้ง 2 แหล่ง พบว่าน้ำชะขยะจาก MSW2 มีปริมาณโลหะหนักสูงกว่า MSW2 ทั้งตัวอย่างที่เป็นน้ำชะขยะและตัวอย่างดิน โดยในตัวอย่างน้ำชะขยะมีปริมาณตะกั่วและเหล็กเท่ากับ 40.9 และ 17.4 mg/l ในดินพบปริมาณ ทองแดงและนิเกิล เท่ากับ 67.1 และ 63.2 mg/l ซึ่งเป็นค่าที่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งในประเทศไทย ดังนั้นการจัดการขยะแบบการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลจะสามารถควบคุมปริมาณของเสียและสารพิษโดยเฉพาะปัญหาโลหะหนักที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากบ่อขยะได้ดีกว่าการจัดการขยะแบบการฝังกลบอย่างไม่ถูกหลัก

คำสำคัญ: ขยะมูลฝอยเทศบาล (Municipal solid waste), โลหะหนัก (Heavy metals), น้ำชะขยะ (leachate)

*Corresponding author: Tel.: 062-8898878. E-mail address: langmu@rmutl.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกและโฟมมากถึง 2.7 ล้านตัน หรือเฉลี่ย 7,000 ตันต่อวัน แบ่งเป็นถุงพลาสติกร้อยละ 80 หรือ 5,300 ตันต่อวัน หรือประมาณ 2 ล้านตัน ส่วนที่เหลือเป็นขยะโฟมประมาณ 700,000 ตัน ใช้เวลาย่อยสลายยาวนานถึง 450 ปี ทั้งนี้ พบว่าขยะพลาสติกร้อยละ 50 กำจัดไม่ถูกวิธี ที่สำคัญขยะพลาสติกและโฟมหากใช้วิธีฝังกลบจะใช้พื้นที่มากกว่าขยะปกติถึง 3 เท่า หรือหากนำไปเผาทำลายจะทำลายสิ่งแวดล้อมอย่างมาก รวมทั้งมีสารตกค้างในสิ่งแวดล้อมจำนวนมาก เนื่องจากถุงพลาสติกทำจากเม็ดปิโตรเลียม ทำให้มีการปนเปื้อนของสารตกค้างในดินและน้ำ ส่งผลก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก สาเหตุของภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน [1] การจัดการที่ไม่ถูกหลักวิชาการหรือไม่ได้มีการจัดการในเรื่องของขยะ ทำให้เกิดปัญหาการรั่วไหลหรือแพร่กระจายสารพิษเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

โดยเฉพาะน้ำเสียที่เกิดจากน้ำชะขยะมักจะปนเปื้อนไปกับแหล่งน้ำธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นน้ำบนดินหรือน้ำใต้ดิน น้ำชะขยะจากบ่อฝังกลบที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลมักจะปนเปื้อนไปด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นจำนวนมาก พบว่าหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรงถ้าหากไม่มีการควบคุมปริมาณน้ำชะขยะอย่างถูกวิธี [2] และเป็นที่ทราบกันดีว่า ขยะอันตรายและขยะอิเลคทรอนิคล้วนเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม [3]

จังหวัดเชียงรายเป็นเมืองท่องเที่ยวที่มีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและต่างชาติ มาพักผ่อนยังจังหวัดเชียงราย 1.6 ล้านคน/ปีและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี การเพิ่มขึ้นของอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวทำให้ภาครัฐจำเป็นต้องจัดให้มีระบบสาธารณูปโภคไว้รองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างเพียงพอ โดยเฉพาะปัญหาปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี เชียงรายมีพื้นที่ 60.85 ตารางกิโลเมตร จากข้อมูลปริมาณขยะที่เข้าสู่ศูนย์กำจัดขยะจังหวัดเชียงราย ปริมาณขยะมูลฝอยเฉลี่ย 80 - 82 ตัน/วัน และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นทุกปี และข้อมูลอำเภอเชียงแสนซึ่งมีพื้นที่เขตแดนติดกับประเทศเมียร์ม่าและประเทศลาวทำให้มีปริมาณนักท่องเที่ยวจำนวนมาก ส่งผลกระทบที่พบตามมาคือเรื่องของปริมาณขยะ พบว่าปริมาณขยะมูลฝอย ประมาณ 10- 12 ตัน/วัน จากข้อมูลดังกล่าวงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณของโลหะหนักจากน้ำชะขยะและสมบัติทางกายภาพ เพื่อประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาบ่อขยะของเทศบาลนครเชียงรายและบ่อขยะเทศบาลอำเภอเชียงแสน เปรียบเทียบกับการบริหารจัดการขยะฝังกลบ ซึ่งทำการวัดปริมาณโลหะหนักที่เกิดขึ้นและผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อประเมินผลกระทบที่จะเกิดขึ้นรอบๆ ชุมชน โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. เก็บตัวอย่างขยะโดยวิธีสุ่มเก็บโดยตรง (Direct Sampling)

นำขยะคลุกเคล้าและผสมกองขยะให้คละกันมากที่สุด หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างขยะมาประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นเก็บตัวอย่างลงในถุงพลาสติกปิดปากถุงให้มิดชิด หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างดินทั้ง 2 แหล่งโดยทำการสุ่มตัวอย่างให้ครอบคลุมพื้นที่ให้มากที่สุดโดยเก็บตัวอย่างทั้งหมดแหล่งละ 10 จุด ในปริมาณที่เท่า ๆ กันผสมดินให้เป็นเนื้อเดียวกัน เก็บไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดปากอย่างมิดชิด จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำโดยการเก็บตัวอย่างจากน้ำชะขยะปริมาตร 2 ลิตร ทำการแช่น้ำตัวอย่างด้วยน้ำแข็งจนกว่าจะถึงห้องปฏิบัติการ

2. การวิเคราะห์ทางกายภาพ

นำตัวอย่างดินและน้ำมาวิเคราะห์หาค่า pH และ Conductivity และ BOD

3. วิธีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ศึกษาองค์ประกอบและลักษณะสมบัติของขยะ โดยใช้วิธีสุ่มเก็บโดยตรงจากจุดพักขยะนำมาคลุกเคล้าและผสมกองขยะให้คละกันมากที่สุด หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างขยะมาประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร ตามขั้นตอน Quartering [4] แล้วทำการเก็บตัวอย่างมาคัดแยกองค์ประกอบ ดัดแปลงและอ้างอิงวิธีการตาม (ASTM Designation: D 5231-92 Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste) [5] ซึ่งแบ่งประเภทองค์ประกอบของขยะ ออกเป็น กระดาษ พลาสติก โฟม ผ้า ไม้ เศษอาหาร แก้ว กระป๋องโลหะ กระเบื้อง โลหะ ยาง และอื่นๆ การคำนวณองค์ประกอบของขยะจะคิดออกมาเป็นสัดส่วนร้อยละของขยะโดยรวมการคัดแยกองค์ประกอบขยะ การย่อยตัวอย่างน้ำ ทำโดยใช้กรดไนตริก (Nitric acid) 69 % ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมลงไปในน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร แล้วให้ความร้อนโดย hotplate จนสารละลายระเหยจนเหลือประมาณ 25 มิลลิลิตร ใช้น้ำปราศจากไอออน (Deionize water) ปรับปริมาตรจนครบ 50 มิลลิลิตร (APHA,AWWA and WEF.,1992) หลังจากนั้นนำตัวอย่างดินและน้ำที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายเรียบร้อยแล้วนำไปทำการวิเคราะห์หาโลหะหนัก ได้แก่ Fe Mn Cu Zn Cd Pb Ni As และ Hg ตามลำดับ โดยใช้เครื่อง ICP-OES [6]

4. พื้นที่โครงการ

บ่อฝังอย่างถูกหลักสุขาภิบาล ตั้งอยู่ที่บริเวณบ้านดงป่าเหมี้ยง ต.ห้วยสัก อ.เมือง เชียงราย 323 ไร่ สำหรับทำเป็นระบบกำจัดขยะแบบฝังกลบซึ่งประกอบด้วย บ่อฝังกลบขยะมูลฝอยจำนวน 5 บ่อ และมีบ่อบำบัดน้ำเสียจำนวน 3 บ่อ (MSW1) และบ่อฝังแบบไม่ถูกหลักสุขาภิบาลตั้งอยู่ที่บริเวณบ้านห้วยเกี๋ยง ต.เวียง อ.เชียงแสน จ.เชียงราย สถานที่กำจัดขยะมีพื้นที่ 100 ไร่ สำหรับทำเป็นระบบกำจัดขยะแบบฝังในหลุม ปัจจุบันใช้พื้นที่ในการกำจัดไปแล้ว 30 ไร่ (MSW2) แสดงดังภาพที่ 1



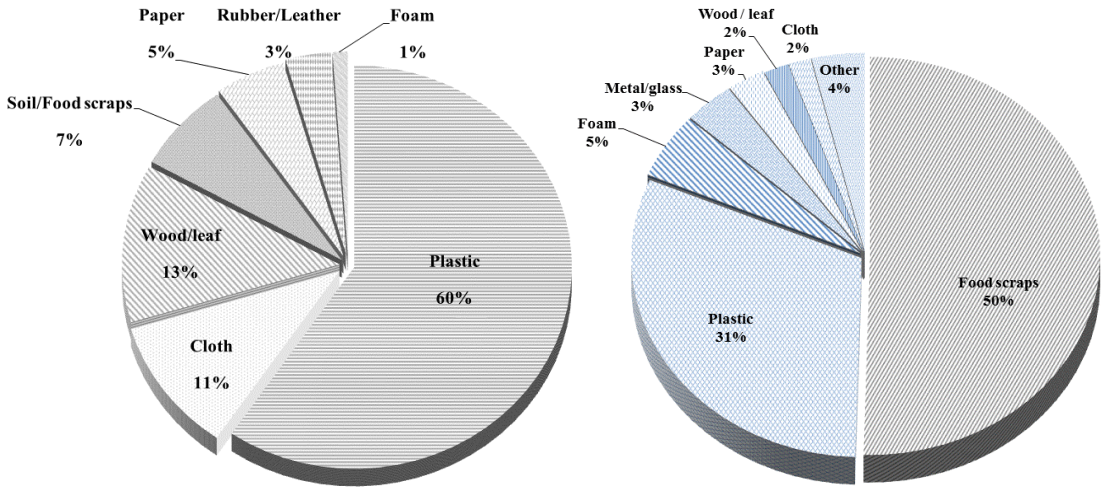
(ก) (ข)

ภาพที่ 1 (ก) พื้นที่เก็บขยะของเทศบาลเชียงราย (MSW1) และ(ข)พื้นที่เก็บขยะของ อ.เชียงแสน (MSW2)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1.การศึกษาองค์ประกอบของขยะ (sample compositions) โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างขยะแบบโดยตรง (Direct Sampling) จากจุดพักขยะทั้ง 4 จุดที่สุ่มเลือกจากทั้งหมด 6 จุด ภายในเทศบาลนครเชียงราย และจากบ่อขยะของ อ.เชียงแสน เพื่อหาองค์ประกอบขยะ (Composition) สมบัติทางกายภาพของขยะ พบว่าบ่อขยะเทศบาลนครเชียงราย มีขยะประเภทพลาสติกมีจำนวนมากที่สุดถึงร้อยละ 59.53 โดยน้ำหนัก รองลงมาคือไม้/ใบไม้ มีร้อยละ 12.70 โดยน้ำหนัก ขยะประเภทเศษผ้า 10.83 กระดาษ ยาง/หนัง โฟม มีอย่างละร้อยละ 5.23, 3.36, 1.12 โดยน้ำหนักตามลำดับ ขยะประเภท อื่นๆ มีอยู่ร้อยละ 7.22 โดยน้ำหนัก และองค์ประกอบทางกายภาพของบ่อขยะเทศบาลเวียงเชียงแสน พบว่าขยะที่มีมากที่สุดคือเศษอาหารร้อยละ 50.44 รองลงมาคือขยะพลาสติกร้อยละ 30.97 โฟมร้อยละ 5.31 โหละ/แก้ว ร้อยละ 3.54 กระดาษร้อยละ 2.65 เศษไม้ร้อยละ 1.77 และเศษผ้าร้อยละ 1.59 ตามลำดับ (แสดงดังภาพที่ 2)

เนื่องจากเทศบาลชุมชนมีขนาดแตกต่างกัน องค์ประกอบของเทศบาลเชียงรายจึงเป็นพลาสติกมาก โดยเฉพาะในประเภทบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้ง อาทิเช่น ขวดน้ำดื่ม ถุงหิ้ว ถุงใส่อาหาร ถุงขนมขบเคี้ยว กล่องใส่อาหาร แก้วกาแฟ เป็นต้น จึงก่อให้เกิดปัญหามลพิษที่มาจากขยะพลาสติก ในขณะที่ อำเภอเชียงแสนพบว่ามีองค์ประกอบเป็นเศษอาหารทิ้งจำนวนมาก เนื่องจากเป็นเมืองท่องเที่ยวและอยู่ติดขอบชายแดน



(ก) (ข)

ภาพที่ 2 (ก) องค์ประกอบของขยะจากบ่อขยะ MSW1 และ(ข)บ่อขยะ MSW2

2. ผลทางด้านเคมี และกายภาพของบ่อขยะตัวอย่าง (MSW1) บ่อขยะเทศบาลนครเชียงราย และ (MSW2) บ่อขยะของ อ.เชียงแสน โดยการเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ตามมาตรฐานห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 1

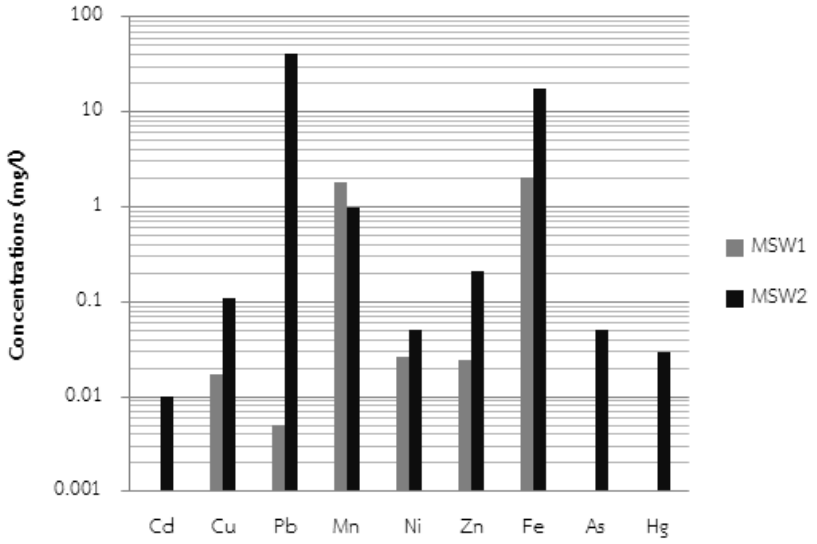
ตารางที่ 1 ผลทางการทดสอบด้านกายภาพของตัวอย่างน้ำและดินจากทั้ง 2 แหล่ง

Parameter	MSW1		MSW2	
	น้ำ	ดิน	น้ำ	ดิน
pH	7.80	8.00	7.70	7.50
Conductivity (µs/cm)	4,690	3,500	4,890	4,012
BOD (mg/l)	318.8	-	502.0	-

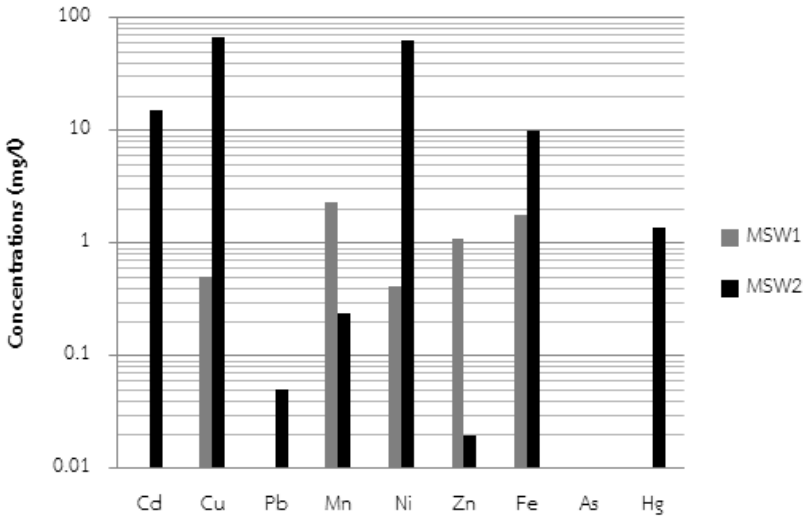
จากตารางที่ 1 พบว่าน้ำชะขยะของจุด MSW1 และ MSW2 มีค่าการนำไฟฟ้า Conductivity ที่ค่อนข้างสูง โดยเมื่อดูจากองค์ประกอบหลักของขยะจะพบว่ามีปริมาณขอบเศษอาหารในปริมาณที่สูงโดยเฉพาะจุด MSW2 เมื่อถูกชะล้างรวมกันโดยส่วนมากเป็นสารอนินทรีย์ เมื่อแตกตัวจะได้เป็นไอออนแสดงว่าน้ำนั้นมีการปนเปื้อนของสารอนินทรีย์ค่อนข้างสูง จึงมีผลต่อเนื่องกับค่า BOD อย่างเห็นได้ชัดเจนพบว่าค่า BOD ในจุด MSW1 (318.8 mg/l) และ MSW2 มีค่าที่สูง (502.0 mg/l) เนื่องมาจากความสกปรกที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์มากจึงทำให้แบคทีเรียชนิดต่างๆ มีปริมาณมากและหายใจใช้ออกซิเจนมากตามไปด้วยทำให้ค่าบีโอดีสูงขึ้น

3. ปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างน้ำชะขยะและตัวอย่างดินจาก MSW1 และ MSW2

ปริมาณโลหะหนักที่พบในบ่อขยะนั้น สืบเนื่องมาจากว่าลักษณะของขยะไม่ได้มีการแยกประเภทของขยะเสียก่อน ขยะที่พบจึงมีหลากหลายประเภทโดยเฉพาะขยะพิษ เช่น แบตเตอรรี่ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิคต่าง ๆ รวมทั้งขยะพลาสติกที่มีเม็ดสี (plastic as pigment) เป็นที่มาของ Cadmium (Cd) Nickel (Ni) Zinc (Zn) และ Lead (Pb) ขวดแก้ว เซรามิค fluorescent bulbs กระป๋องสี กระป๋องสเปร์ น้ำมันจากเครื่องยนต์ และหมึก เป็นที่มาของ Mercury (Hg) เป็นต้น ขยะเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้พบปริมาณโลหะหนักในปริมาณที่สูง โดยเฉพาะจากจุด MSW2 เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักในบ่อกำจัดขยะจากที่ต่าง ๆ



ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนัก ในตัวอย่างน้ำจากบ่อชะขยะ



ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักตัวอย่างดิน

จากภาพที่ 3 พบว่าปริมาณโลหะหนัก (Heavy metal) ของน้ำชะขยะมีปริมาณตะกั่ว (Pb) 40.90 mg/l, เหล็ก (Fe) 17.40 mg/l ตามลำดับ ในบ่อขยะ MSW2 และ แมงกานีส (Mn) 1.80 mg/l ในบ่อ MSW1 สำหรับภาพที่ 4 พบว่าปริมาณโลหะหนัก (Heavy metal) ของดินบริเวณรอบบ่อขยะ ทองแดง (Cu) 67.10 mg/kg, นิกเกิล (Ni) 63.10, แคดเมียม (Cd) 15.4 mg/kg, เหล็ก (Fe) 9.80 mg/kg, ปรอท (Hg) 1.38 mg/kg เรียงตามลำดับ ในบ่อขยะ MSW2 ในส่วนของบ่อขยะ MSW1 พบแมงกานีส (Mn) 2.30 mg/kg, เหล็ก (Fe) 1.80 mg/kg และ สังกะสี (Zn) 1.10 mg/kg ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาองค์ประกอบขยะที่เกิดขึ้นโดยทำการเปรียบเทียบองค์ประกอบขยะจากแหล่งที่มาจากจุดศูนย์กลางเมือง และเปรียบเทียบกับแหล่งที่มาขององค์ประกอบขยะที่เป็นชุมชนรอบนอก จะพบความแตกต่างของ

องค์ประกอบของขยะอย่างชัดเจน โดยในชุมชนเมืองจะพบขยะประเภทพลาสติกมากที่สุดร้อยละ60 ส่วนชุมชนรอบนอกจะพบขยะประเภทเศษอาหารมากที่สุดร้อยละ 50 ทั้งนี้ก็เนื่องมากจากความแตกต่างระหว่างจำนวนคนและกิจกรรมของแต่ละแหล่งที่มีความแตกต่างกัน รวมทั้งทำการศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักจากน้ำชะขยะและดินบริเวณบ่อบำบัดขยะจะพบว่าปริมาณโลหะหนักจาก MSW2 จะมีปริมาณโลหะหนักเกือบทั้งหมดสูงกว่า MSW1 ดังนั้นการกำจัดขยะแบบ ไม่ถูกต้องตามหลักการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลนั้น มีผลต่อปริมาณโลหะหนักที่ฟุ้งกระจายในสิ่งแวดล้อมโดยตรง เมื่อปริมาณโลหะหนักสูงก็ย่อมจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตขนาดต่างๆ รวมทั้งตัวของมนุษย์เองที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง เพื่อให้เกิดความตระหนักและเห็นความสำคัญของการกำจัดขยะให้ถูกต้องตามหลักการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช) ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย ขอขอบคุณเทศบาลเชียงรายและเทศบาลเชียงแสน และขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย สนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ. (2558). ขยะมูลฝอยชุมชน, รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศไทย ปี พ. ศ. 2558, 74 - 82

[2] ศาสตร์ตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิต. (2561). การออกแบบหลุมฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill design), ณ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

[3] พรพรรณ พนาปวุฒิกุล. (2549). ตัวการปัญหาสิ่งแวดล้อม สืบค้นเมื่อ 21 มิถุนายน 2561, จาก http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=4&ID=7

[4] Padungsirikul, P. (1992). Sampling and analysis of waste samples [In Thai]. Unpublished Document for Training on Waste Analysis. Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion.

[5] ASTM D5231-92. (2016). Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste, ASTM International, West Conshohocken

[6] APHA, AWWA, WEF. (2012). In-house method TE-CH-038 based on Standard Methods for the Examination of Water and Waste water, 22nd ed., part 3120

NC29

การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของทางเลือกการจัดการกากกาแฟ: กรณีศึกษา การเผาโดยตรงและผลิตไบโอดีเซล

Comparison of Environmental Impact of Spent Coffee Ground Residue Management Options: Case Study of Direct Combustion and Biodiesel Production

ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร[1*] และณัฐพงศ์ ตันติวิวัฒนพันธ์[2]

[1] วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

[2] ศูนย์ความเป็นเลิศการจัดการของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

บทคัดย่อ

การพัฒนาอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมผลิตกาแฟในประเทศไทย ทำให้เกิดกากกาแฟซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นเป็นเงาตามตัว ทำให้เป็นอุปสรรคของการพัฒนาอุตสาหกรรมผลิตกาแฟได้ในอนาคต แนวทางการจัดการกากกาแฟในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายแนวทาง ไม่ว่าจะเป็นการฝังกลบ การเผาเพื่อเป็นพลังงานโดยตรง หรือการสกัดน้ำมันเพื่อมาผลิตไบโอดีเซล ซึ่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของแต่ละแนวทางการจัดการมีความแตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อคำนึงถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวิธีการเผาโดยตรงเปรียบเทียบกับการนำไปสกัดน้ำมันเพื่อผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละแนวทางการจัดการจะถูกประเมินด้วยวิธีการ IMPACT 2002+ ผลลัพธ์ที่ได้บ่งชี้ว่า ผลกระทบทางด้านระบบทางด้านหายใจ (Respiratory Inorganic) ผลกระทบด้านฝนกรด (Aquatic Acidification) และผลกระทบภาวะโลกร้อน (Global Warming) ของการนำไปกากกาแฟผลิตเป็นไบโอดีเซลน้อยกว่า เมื่อเทียบกับการนำกากกาแฟไปเผาโดยตรง ร้อยละ 93.38, 86.84, และ 20.74 ตามลำดับ นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาแหล่งที่มาการเกิดผลกระทบของการผลิตไบโอดีเซล พบว่า แหล่งที่ก่อให้เกิดผลกระทบทั้งสามมากที่สุด เกิดจากการผลิตไฟฟ้า ที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ส่วนของใช้เฮกเซนนั้น มีความโดดเด่นในการก่อให้เกิดผลกระทบระบบทางเดินหายใจ และภาวะโลกร้อน จากผลการประเมินดังกล่าวสรุปได้ว่า การเลือกสกัดน้ำมันมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมทางด้าน ระบบทางด้านหายใจ ด้านฝนกรด และด้านภาวะโลกร้อน น้อยกว่าการนำไปเผาโดยตรง อย่างไรก็ตาม ในอนาคตผู้วิจัยแนะนำว่าควรคำนึงผลกระทบทางด้านต้นทุนการผลิตด้วย ซึ่งเป็นอีกตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกแนวทางการจัดการกากกาแฟ

คำสำคัญ: กากกาแฟ การประเมินวัฏจักรชีวิต ไบโอดีเซล ภาวะโลกร้อน

*Corresponding author: Tel.: 02-4416000 ext.1051. E-mail address: parnuwat.usa@rmutr.ac.th

บทนำ

ตลาดกาแฟโลกรวมทั้งตลาดภายในประเทศไทยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมามีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง สำหรับประเทศไทยโรงงานแปรรูปเมล็ดกาแฟมีความต้องการเมล็ดกาแฟเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 6.5 ต่อปี [1-2] นอกจากนั้น การเปิด AEC ตลาดกาแฟสำเร็จรูปจะมีการเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ผลของการพัฒนาอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมกาแฟ ทำให้กากของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตกาแฟเพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัวและกลายเป็นอุปสรรคปัญหาต่อ

การพัฒนาอุตสาหกรรมกาแฟของประเทศได้ [3] โดยทั่วไปตามโรงงานอุตสาหกรรมผลิตกาแฟ กากกาแฟที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต จะถูกนำไปเผาเพื่อทำลาย หรือเผาเพื่อนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ การเผาเพื่อนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ ถือเป็นวิธีการที่นิยมมากที่สุด เพราะนอกจากจะสามารถกำจัดกากกาแฟได้แล้วยังสามารถทดแทนการใช้เชื้อเพลิงของอุตสาหกรรมได้ด้วย อย่างไรก็ตาม การเผาโดยตรง อาจทำให้ได้พลังงานกลับมาได้ไม่มากเท่าที่ควร และทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมาก โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ซึ่งเป็นประเด็นที่นานาชาติกำลังรณรงค์เพื่อลดผลกระทบดังกล่าว นอกจากนั้น การเผา ยังมีโอกาสในการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO2) ที่สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ได้ หากไม่มีอุปกรณ์บำบัดมลพิษก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมที่ดีพอ [4]

การจัดการของเสีย กากกาแฟ นอกจากวิธีการเผาโดยตรงแล้ว สามารถนำไปจัดการด้วยวิธีการอื่นๆ เพื่อทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้กากของเสียเป็นเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การนำไปทำเป็นส่วนผสมน้ำมันไบโอดีเซล [5] การทำแท่งเชื้อเพลิง [6] เป็นต้น ดังนั้น เพื่อคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยที่สุดต่อการนำกากกาแฟไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน งานวิจัยนี้จึงทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวิธีการเผาโดยตรงเปรียบเทียบกับการนำไปใช้เป็นส่วนผสมน้ำมันไบโอดีเซล โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ผลที่ได้จากงานวิจัยคาดว่าจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาวิธีการจัดการกากกาแฟ ในอนาคต รวมถึงเป็นข้อมูลเบื้องต้นให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องในการตัดสินใจเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจัดการกากกาแฟไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบพลังงาน

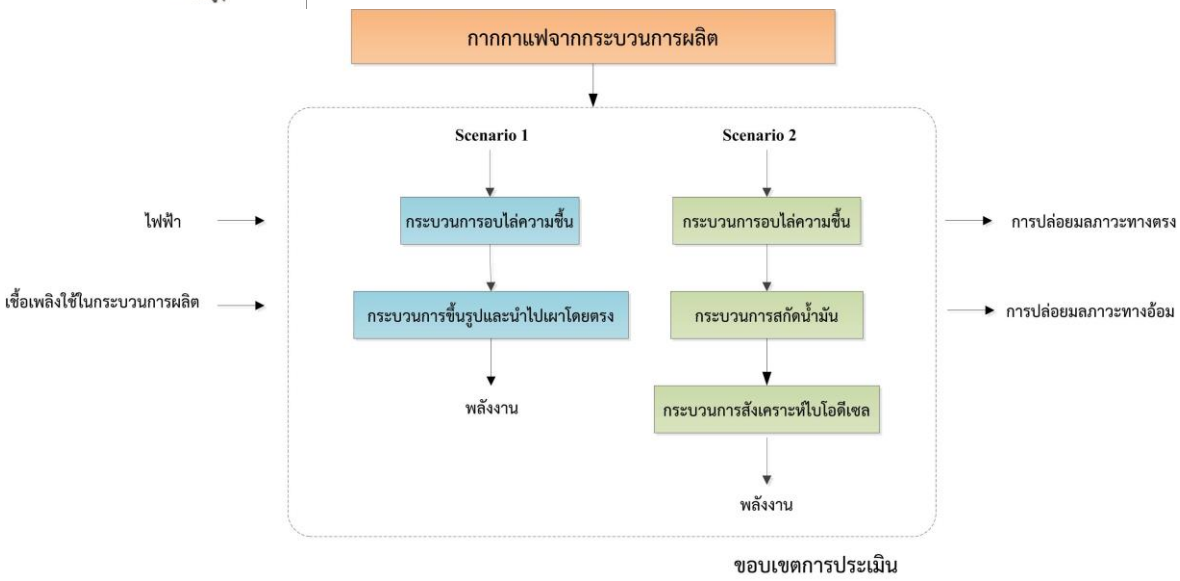
วิธีการวิจัย

ตามมาตรฐาน ISO 14040:2006 วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) การตั้งเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (2) การวิเคราะห์บัญชีมวลสารขาเข้า-ขาออก (3) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม และ (4) การแปรผล

(1) การตั้งเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ในการศึกษานี้ การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต มีวัตถุประสงค์เพื่อบ่งชี้ทางเลือกที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดในการนำกากกาแฟไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบพลังงาน

หน่วยเทียบ (Functional Unit) สำหรับการพิจารณาผลกระทบในแต่ละทางเลือก จะพิจารณาอ้างอิงกับ 1 ตันกากกาแฟที่นำไปใช้ประโยชน์ โดยข้อมูลการปลดปล่อยมลภาวะต่าง ๆ การใช้พลังงานและสารเคมี จะอ้างอิงกับหน่วยเทียบนี้

ขอบเขตการประเมิน (System boundary) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะมีขอบเขตเริ่มตั้งแต่การนำของเสียกากกาแฟมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ ตามที่ได้แสดงในภาพที่ 1 การปลดปล่อยผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างจะไม่ถูกพิจารณาในการศึกษานี้



ภาพที่ 1 ขอบเขตการประเมินในงานวิจัยนี้

(2) การจัดทำบัญชีรายการมวลสาร องค์ประกอบของกากกาแฟ ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNS/O elemental analyzer ค่าความร้อน (Heating Value) ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 1 ข้อมูลอ้างอิงต่างๆ จะพิจารณาจากฐานข้อมูลในประเทศเป็นอันดับแรก กรณีไม่มีข้อมูลอ้างอิงในประเทศ ฐานข้อมูล Ecoinvent v3.0 จะถูกใช้แทนที่

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบกากกาแฟ

การวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้น (Proximate Analysis)	
ความชื้น (%)	8.38
สารระเหยง่าย (%)	75.98
ถ่านคงตัว (%)	18.25
ค่าความร้อน (cal/g)	4417
การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบกากกาแฟ (Ultimate Analysis)	
คาร์บอน (%C)	51.74
ไฮโดรเจน (%H)	6.29
ออกซิเจน (%O)	33.68
ไนโตรเจน (%N)	2.43
ซัลเฟอร์ (%S)	0.09
เถ้า (%Ash)	5.77

การวิเคราะห์ทางเลือกการนำกากกาแฟเป็นพลังงาน (Scenario analysis)

การเผาโดยตรง (Scenario 1) สำหรับทางเลือกนี้ กากกาแฟจะถูกนำไปอบไล่ความชื้น จากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นรูปทรงกระบอกโดยมีตัวประสานเป็นกาวแป้งมันสำปะหลัง เมื่อขึ้นรูปแล้วนำไปเผาให้ความร้อนโดยตรง ในการประเมินผลกระทบที่เกิดจากการเผาไหม้ ก๊าซต่างๆ จะถูกประเมินจากสมการสตอยชิโอเมตริก ดังสมการที่ 1

$$2C_{73742}H_{106676}O_{36029}N_{2971}S_{50} + 170835O_2 \rightarrow 147484CO_2 + 100SO_2 + 5942NO_2 + 106676H_2O \quad (1)$$

การนำกากกาแฟผลิตเป็นไบโอดีเซล (Scenario 2) สำหรับทางเลือกนี้ กากกาแฟจะถูกนำไปสกัดน้ำมันออกด้วยตัวทำละลายเฮกเซน สกัดที่อุณหภูมิ 60 °C ด้วยความเร็ว 150 rpm เป็นเวลา 2 h ใน water bath shaker น้ำมัน

ที่สกัดออกมาได้จะถูกนำไปตรวจสอบหาค่าความเป็นกรดในน้ำมัน ส่วนตัวกากกาแฟหลังกระบวนการสกัดจะถูกตรวจสอบหาปริมาณน้ำมันคงเหลือโดยเครื่องสกัดแบบ Soxhlet จากนั้นน้ำมันที่ได้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล (2-step transesterification) ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะถูกตรวจสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM standard คือ ความหนืดที่ 40 °C และความเป็นกรด รวมถึงปริมาณน้ำในไบโอดีเซล โดยใช้เครื่อง KF titration และค่าความร้อน โดยเครื่อง Bomb calorimeter

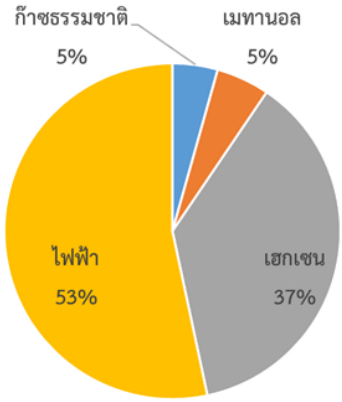
(3) การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละแนวทางการนำกากกาแฟไปใช้ประโยชน์ จะถูกคำนวณผลกระทบในระดับค่า Midpoint และค่า Damage โดยใช้กระบวนวิธีการของ IMPACT 2002+ version 2.01 [7] ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการนี้เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ผลกระทบทั้งหมดที่ประเมินจากวิธีการนี้จะประกอบด้วย 17 midpoint อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้จะเลือกศึกษาเฉพาะผลกระทบศักยภาพการทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) การเกิดความเป็นกรดของแหล่งน้ำ (Aquatic Acidification) และผลกระทบของระบบทางเดินหายใจ (Respiratory Inorganic)

(4) การแปลผล (Interpretation) ผลลัพธ์จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากทั้งสองทางเลือกจะถูกแปรผลและนำมาเปรียบเทียบเพื่อเป็นแนวทางในการนำกากกาแฟไปใช้ประโยชน์ในอนาคต

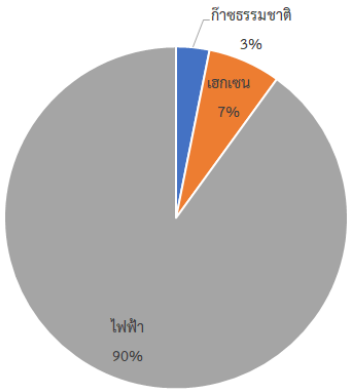
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผลกระทบ 3 กลุ่ม ได้แก่ ส่งผลกระทบทางด้านทางเดินหายใจ (Respiratory inorganics) ฝนกรด (Aquatic acidification) และภาวะโลกร้อน (Global warming) ผลการประเมินแต่ละผลกระทบแสดงได้ดังนี้

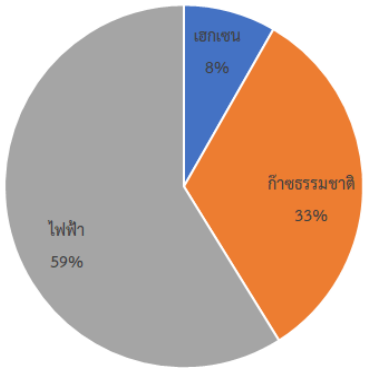
ผลกระทบทางด้านทางเดินหายใจ (Respiratory inorganics) ผลกระทบด้านนี้จะเกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซที่ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ เช่น ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เป็นต้น ซึ่งในกรณีของการนำไปเผาโดยตรง ร้อยละ 100 จะเกิดจากการเผาไหม้ ส่วนในกรณีของการนำไปทำเป็นไบโอดีเซลสามารถแสดงดังภาพที่ 2(ก) ส่วนใหญ่ผลกระทบ Respiratory inorganic เกิดจากไฟฟ้า (ร้อยละ 53) รองลงมา ได้แก่ เฮกเซน (ร้อยละ 37) ก๊าซธรรมชาติ (ร้อยละ 5) และเมทานอล (ร้อยละ 5) ตามลำดับ



(ก) Respiratory inorganic



(ข) Aquatic acidification



(ค) Global warming

ภาพที่ 2 แหล่งการเกิดผลกระทบจากการผลิตไบโอดีเซลกากกาแฟ

ผลกระทบด้านฝนกรด (Aquatic Acidification) ผลกระทบด้านนี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ แอมโมเนีย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลกระทบที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าซึ่งมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ดังแสดงในภาพที่ 2 (ข) รองลงมาได้แก่ เฮกเซน (ร้อยละ 7) และก๊าซธรรมชาติ (ร้อยละ 3) ตามลำดับ ในส่วนของการเผาโดยตรงนั้น ผลกระทบด้านนี้จะขึ้นตรงกับองค์ประกอบซัลเฟอร์ที่ตรวจพบในกากกาแฟ

ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming) ผลการประเมินภาวะโลกร้อน เกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง จากภาพที่ 3(ค) พบว่า แหล่งที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ การผลิตไฟฟ้า ร้อยละ 59 รองลงมาได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ (ร้อยละ 33%) และเฮกเซน (ร้อยละ 8%) ตามลำดับ

ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการนำของเสียกากกาแฟไปใช้ประโยชน์ในรูปพลังงาน 2 ทางเลือก คือ (1) การนำกากกาแฟไปเผาเป็นเชื้อเพลิงโดยตรง และ (2) การสกัดน้ำมันจากกาแฟแล้วนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซล ผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินขั้นตอนการกำหนดบทบาท (Characterization) แต่ละผลกระทบของการนำกากกาแฟไปใช้ประโยชน์

กลุ่มผลกระทบ	เผาโดยตรง	ไบโอดีเซล	หน่วย
Respiratory inorganics	0.0110	0.0007	kg PM2.5 eq
Aquatic acidification	0.0614	0.0081	kg SO_2 eq
Global warming	2.0138	1.5960	kg CO_2 eq

จากตารางที่ 2 สังเกตได้ว่า การนำกากกาแฟไปเผาโดยตรง ส่งผลกระทบทางด้านทางเดินหายใจ (Respiratory inorganics) ฝนกรด (Aquatic acidification) และภาวะโลกร้อน (Global warming) มากกว่า การนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซล ทั้งนี้เนื่องจากการนำไปเผาโดยตรงไม่ได้มีกระบวนการปรับสภาพเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกก่อน จึงทำให้สารบางประเภท เช่น ซัลเฟอร์ ไนโตรเจน เมื่อเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้แล้ว เกิดเป็นสารมลพิษออกมา ได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) เป็นต้น ในขณะที่กระบวนการผลิตไบดีเซล จะต้องมีการสกัดน้ำมันด้วยสารละลายเฮกเซนออกก่อน จากนั้นจึงทำการแยกน้ำมันออกจากสารละลาย ทำให้น้ำมันที่ได้มีสิ่งเจือปนน้อยกว่าวิธีการเผาโดยตรง การนำไบโอดีเซลจากกากกาแฟไปเผาไหม้จึงก่อให้เกิดผลกระทบน้อยกว่า

สรุปผลการวิจัย

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการนำกากกาแฟไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบพลังงาน 2 ทางเลือก ได้แก่ ทางเลือกที่ (1) เผาเป็นพลังงานโดยตรง และ (2) สกัดน้ำมันเพื่อนำมาทำไบโอดีเซล พบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ทางด้านระบบทางเดินหายใจ ด้านฝนกรด และด้านภาวะโลกร้อน ของการนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซล มีผลกระทบน้อยกว่าการนำไปเผาเป็นพลังงานโดยตรง ร้อยละ 93.38, 86.84, และ 20.74 ตามลำดับ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้อาจกล่าวได้ว่า การสกัดน้ำมันกากกาแฟเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซล เป็นทางเลือกที่ดีกว่าการนำไปเผาโดยตรง อย่างไรก็ตาม ในการดำเนินงานจริงในรูปแบบธุรกิจ ควรจะต้องศึกษาต้นทุนซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการลงทุนเพิ่มเติม รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมกลุ่มอื่น ๆ ที่ไม่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ เช่น ผลกระทบของสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) และผลกระทบของการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนวิจัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ ๒๕๖๑ ในโครงการวิจัยเรื่อง “การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตทางเลือกการจัดการกากกาแฟในประเทศไทย” ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) มา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2560). ยุทธศาสตร์กาแฟ ปี 2560 – 2564. สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน 2561, จาก http://www.natres.psu.ac.th/Department/PlantScience/RoC-R/newsletter.html

[2] กองข้อมูลธุรกิจ กรมพัฒนาธุรกิจการค้า (2560). ธุรกิจขายส่งกาแฟ ชา โกโก้. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2561, จาก www.dbd.go.th/download/document_file/Statisic/2559/T26/T26_201612.pdf

[3] พิชัย เอี่ยวเล็ก และกฤช สมนึก (2558). “การใช้ประโยชน์จากกากกาแฟเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแข็ง” , ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8** วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[4] นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกูล และพัชรี ปรีดาสุริยะชัย (2558). การศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี).** 7 (13), 15-26.

[5] Tuntiwiwattanapun, N., Usapein, P., & Tongcumpou, C. (2017). The energy usage and environmental impact assessment of spent coffee grounds biodiesel production by an in-situ transesterification process. **Energy for Sustainable Development**, 40, 50-58.

[6] พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น (2559). การพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านในรูปแบบเกลียวอัดเย็นสาหรับเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ในกระบวนการผลิตกาแฟชุมชนและการหาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงจากผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่ง. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง.** 9 (1), 34-48.

[7] Humbert S et al (2012) IMPACT 2002?: User guide, in draft for version Q2.21 (version adapted by Quantis). Quantis sustainability counts

NC38

ผลของขยะพลาสติกต่อการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อชุมชน

Effects of Plastic Waste on Energy Consumption and Carbon Dioxide Emissions on the Community

เสาวลักษณ์ บุญยอด[1] สมหมาย ผิวสอาด[1*] วิรชัย โรยนรินทร์[1] และวีรภรณ์ ผิวสอาด[2]
[1] สาขาวิศวกรรมพลังงานและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีธัญบุรี 12110
[2] สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีธัญบุรี 12110

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผลของขยะพลาสติกต่อการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อชุมชนเทียบกับการใช้พลาสติกชนิดย่อยสลายได้ทางชีวภาพ รวมถึงการกำจัดขยะที่ใช้ในชุมชน ซึ่งจากการศึกษาการข้อมูลพบว่า ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่นำมาใช้ในชีวิตประจำวันของคนในชุมชนผลิตจากพอลิเอทิลีนเป็นขยะที่มีไม่สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งกระบวนการผลิตพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนพบว่า จะมีการใช้พลังงานในการสังเคราะห์และมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าเมื่อเทียบกับพลาสติกชนิดย่อยสลายได้ทางชีวภาพ นอกจากนั้นได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการกำจัดขยะพลาสติกที่ใช้ในชุมชนที่นิยมใช้กันคือ การฝังกลบและการเผา โดยได้นำข้อมูลวิจัยบางส่วนจากการศึกษาของ สรศักดิ์ ชุมแวงวาปี มาศึกษาค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการกำจัดขยะเท่านั้น พบว่า วิธีการกำจัดขยะด้วยการฝังกลบจะมีค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับการกำจัดขยะด้วยการเผา แต่ถึงอย่างไรก็ตามถ้าทุกชุมชนอยากลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ควรจะใช้พลาสติกอย่างประหยัด ใช้ซ้ำ หรือควรใช้พลาสติกชนิดย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เพื่อลดการใช้สารตั้งต้นจากปิโตรเลียม ทำให้สามารถช่วยลดการใช้พลังงานฟอสซิลที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ และจะไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซที่เป็นพิษจำนวนมากที่ทำลายสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

คำสำคัญ: ขยะพลาสติก พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ กระบวนการกำจัดขยะ

Abstract

The research aims to learn about the effects of plastic waste on energy use and carbon dioxide emissions to the community compared to the use of biodegradable plastics. Including waste disposal in the community. The study found that. Most of the plastic products used in the daily life of people in the community are made of polyethylene as non-biodegradable waste. The polyethylene process is more energy efficient in synthesizing and releasing carbon dioxide compared to biodegradable plastics. In addition, the research on the waste disposal of plastic used in the community is commonly used, such as landfill and incineration. Some of the research data from the study of Sorasak Chumwangwape studied the cost of the fuel used in the garbage disposal process. It was found that the method of landfill disposal was higher than that of waste incineration. However, if all communities want to reduce costs, they should use recycled plastics or use biodegradable plastics to reduce the use of petroleum based substrates. This can reduce the amount of fossil

energy available and reduce the amount of carbon dioxide and toxic gases that destroy the environment.

Keyword: Plastic waste, Biodegradable plastic, Waste disposal

*Corresponding author: Tel.: 025493480. E-mail address: sommai.p@en.rmutt.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันนี้พลาสติกเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในการดำรงชีวิตของมนุษย์เพื่อความทันสมัยและความสะดวกสบาย เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีสมบัติเด่นหลายประการประการ เช่น ความหนาแน่นต่ำ ทนทาน และมีความยืดหยุนสูง น้ำหนักเบา โดยใช้งานตั้งแต่บรรจุภัณฑ์ต่างๆ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ ของเล่นเด็ก อุปกรณ์ก่อสร้าง นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุที่นำมาใช้ทำภาชนะ หรือของใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง เนื่องจากมีราคาถูก ส่งผลให้ปัจจุบันนี้เกิดปัญหาการจำกัดขยะพลาสติกเป็นปัญหาสำคัญของหลายชุมชน [1]

ขยะพลาสติกหรือขยะที่เกิดจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ หรือเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบประเภทเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ หรือก๊าซธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีเหล่านี้ ผลิตมาจาก ปิโตเลียมและปิโตรเคมี ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่เริ่มต้นจากน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ ไปสู่กระบวนการสังเคราะห์เป็นผลิตภัณฑ์ต่อเนื่อง และพัฒนาไปสู่วัสดุพอลิเมอร์ เส้นใย หรือพลาสติกชนิดต่างๆ ที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มานาน [2]

แหล่งที่มาของขยะพลาสติกจะมาจากการค้า อุตสาหกรรม ก่อสร้าง การเกษตร บ้านเรือน และเหมืองแร เป็นต้นโดยปัญหาขยะพลาสติกนับวันมีปริมาณการทิ้งที่เพิ่มมากขึ้น ถึงแม้จะมีการนำพลาสติกบางส่วนกลับมารีไซเคิลแต่เมื่อนำพลาสติกเหล่านั้นนำมาใช้ซ้ำหลายครั้ง คุณภาพและความสวยงามก็ลดลงและต้องคำนึงถึงความสะอาดและความปลอดภัย เมื่อเทียบการนำเอาขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่และการรีไซเคิลกับขยะพลาสติกที่ถูกทิ้งนั้นยังถือว่าเป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้นสำหรับการกำจัดขยะพลาสติกที่นิยมโดยทั่วไป คือ การฝังกลบหรือการเผาทำลาย ซึ่งวิธีการดังกล่าวส่งผลเสียกับสภาพแวดล้อม เกิดมลภาวะและเป็นอันตรายต่อมนุษย์ [1,3] แต่ในปัจจุบันได้มีการคิดค้นและพัฒนากระบวนการใหม่ รวมถึงการสร้างนวัตกรรมเพื่อลดการใช้พลาสติกซึ่งผลิตภัณฑ์จากปิโตรเคมี โดยการผลิตพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ ซึ่งสามารถสลายตัวได้เมื่อสัมผัสกับสิ่งที่มีอยู่ ในธรรมชาติ เช่น แสงอาทิตย์หรือจุลินทรีย์ เป็นต้นในขณะที่ยังคงสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานให้ใกล้เคียงกับพลาสติกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับขยะพลาสติกที่มีอยู่ในชุมชน พลังงานที่ใช้สังเคราะห์พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนรวมถึงผลของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกเปรียบเทียบกับพลาสติกที่ย่อยสลายได้ นอกจากนั้นทำการคำนวณค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการกำจัดขยะด้วยการฝังกลบและการเผาซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันในชุมชน โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถทำให้เห็นถึงการสูญเสียพลังงานที่ใช้ผลิตและทำลายขยะพลาสติก และ การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้อีกด้วย

ประเภทขยะที่พบในชุมชน

ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณขยะสูงขึ้นต่อเนื่องขึ้นทุกปี จากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี 2559 พบว่ามีปริมาณการเกิดขยะรวมกันทั้งประเทศ 27.06 ล้านตันต่อปี คิดเป็นประมาณ 74,130 ตันต่อวัน เฉลี่ยเป็นปริมาณขยะ 1.14 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ยังไม่รวมขยะตกค้างสะสมที่เพิ่มขึ้นทุกปีไม่ต่ำกว่าปีละ 10 ล้านตัน[4] โดยขยะที่เกิดขึ้น สามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพเป็น 4 ประเภท [5] ได้แก่

1. ขยะอินทรีย์ คือ ขยะที่เน่าเสียและย่อยสลายได้เร็ว สามารถนำมาหมักทำปุ๋ยได้ เช่น เศษผัก เปลือกผลไม้ เศษอาหาร ใบไม้ เศษเนื้อสัตว์ เป็นต้น

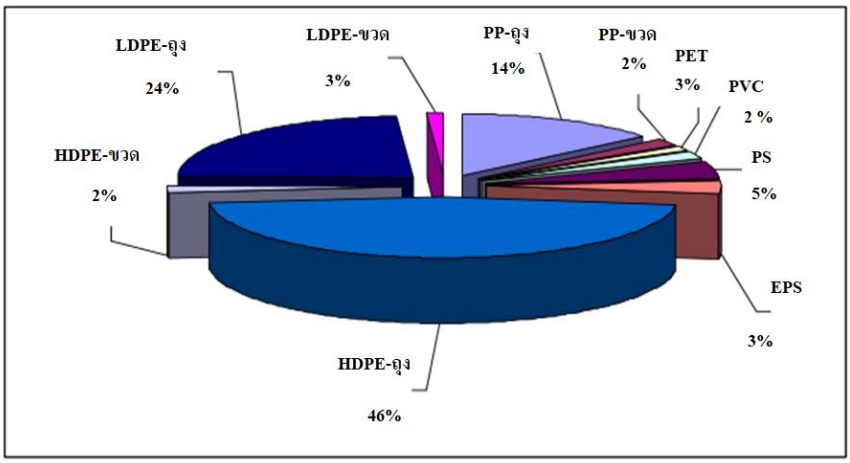
2. ขยะรีไซเคิล คือ วัสดุเหลือใช้ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ เช่น ขวดแก้ว ขวด พลาสติก กระดาษ กระป๋องเครื่องดื่ม ยางรถยนต์ กล่องเครื่องดื่มแบบ UHT เป็นต้น

3. ขยะทั่วไป คือ ขยะที่ย่อยสลายยาก และไม่คุ้มค่าสำหรับการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เช่น ห่อพลาสติกใส่ขนม ซองบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ถุงพลาสติกเปื้อนเศษอาหาร กล่องโฟมปื้อนอาหาร เป็นต้น

4. ขยะอันตราย คือ ขยะที่มีองค์ประกอบหรือปนเปื้อนวัตถุอันตรายชนิดต่างๆ เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดไฟ แบตเตอรี่โทรศัพท์ ภาชนะบรรจุสารกำจัดศัตรูพืช กระป๋องสเปรย์บรรจุสีหรือสารเคมี เป็นต้น

สถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ซึ่งประเภทขยะที่พบในชุมชนที่มากที่สุดจากมากไปหาน้อย คือ ขยะอินทรีย์ (64%) ขยะรีไซเคิล (30%) ขยะทั่วไป (3%) และขยะอันตราย (3%) ตามลำดับ[6] ขยะอินทรีย์มีมากที่สุดซึ่งสามารถกำจัดได้ง่ายเนื่องจากเป็นขยะที่เน่าเสียและย่อยสลายได้เร็ว สามารถนำมาหมักทำปุ๋ยได้ ส่วนขยะรีไซเคิล ขยะทั่วไป และขยะอันตราย โดยเฉพาะขยะที่ผลิตมาจากพลาสติกเป็นขยะที่มีไม่สามารถย่อยสลายได้ ดังนั้นจึงควรมีการจัดการที่ถูกต้อง เพื่อลดปัญหาการเกิดขยะที่มากขึ้น

ในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมามีขยะพลาสติกเกิดขึ้นประมาณ 12 % ของประมาณปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือประมาณปีละ 2 ล้านตัน มีการนำขยะพลาสติกกลับไปใช้ประโยชน์ประมาณปีละ 0.5 ล้านตัน ส่วนที่เหลือ 1.5 ล้านตัน ส่วนใหญ่เป็นเศษขยะถุงพลาสติกที่ปนเปื้อน เช่น ถุงร้อน ถุงเย็นบรรจุอาหาร ถุงหู หิ้ว เป็นต้น (ประมาณ 80 % หรือประมาณ 1.2 ล้านตัน) ซึ่งเศษขยะถุงพลาสติกที่ปนเปื้อน ต้องใช้ต้นทุนในการจัดเก็บและการล้างทำความสะอาดสูง และมีปริมาณมาก ได้แก่ ถุงพลาสติกที่ทำจากพลาสติกประเภท HDPE และ LDPE ได้แก่ ถุงร้อน ถุงเย็นที่ใช้บรรจุอาหาร ถุงหูหิ้ว เป็นต้น แสดงดังภาพที่ 1[7]



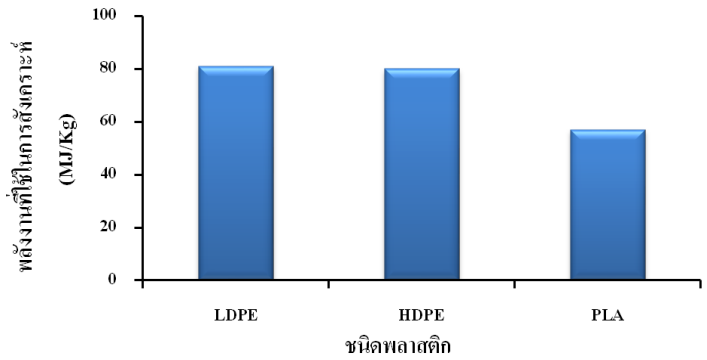
ภาพที่ 1 แสดงสัดส่วนประเภทขยะพลาสติกที่พบในระบบกำจัดขยะมูลฝอย

พลังงานที่ใช้สังเคราะห์พลาสติก [8]

พลาสติก เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นใช้แทนวัสดุธรรมชาติ บางชนิดเมื่อเย็นจะแข็งตัว เมื่อถูกความร้อนจะอ่อนตัว บางชนิดแข็งตัวถาวร ซึ่งพลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เทอร์โมพลาสติก และ เทอร์โมเซตติ้งพลาสติก ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่นำมาใช้ในชีวิตประจำวันของคนในชุมชน คือ ถุงพลาสติก ขวดใส่น้ำหรือสารเคมี ลังหรือกล่องบรรจุสินค้า ภาชนะต่าง ๆ เครื่องเล่นของเด็ก ถุงเย็น โต๊ะเก้าอี้ เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวผลิต

มาจากพอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก ซึ่งเมื่อผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาจากพอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ เมื่อนำไปฝังจะใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นเวลานานหลายร้อยปี

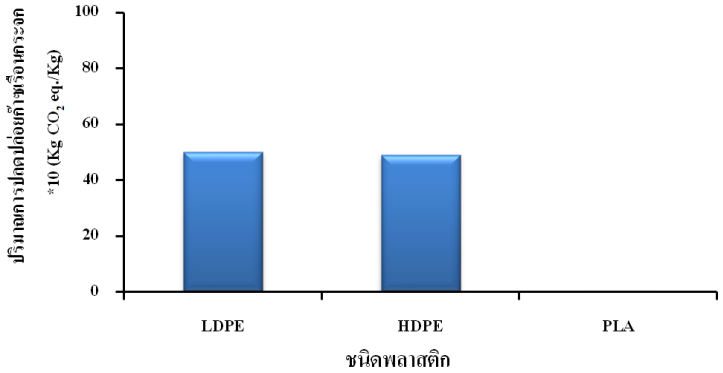
การสังเคราะหพอลิเมอร์หรือ พลาสติกขึ้นมาใช้เป็นวัสดุทดแทนการใช้โลหะ แก้วและไม้ในการใช้งานบางอย่าง ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่นำมาใช้ในชีวิตประจำวันของคนในชุมชน คือ ถุงพลาสติก ขวดใส่น้ำหรือสารเคมี ลังหรือกล่องบรรจุสินค้า ภาชนะต่าง ๆ เครื่องเล่นของเด็ก ถุงเย็น โต๊ะเก้าอี้ เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าวผลิตมาจากพอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติกมากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการสะสมของของเสียที่เปนพลาสติกก็เพิ่มระดับความรุนแรงยิ่งขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องมาจากความคงทนตอการสลายตัวโดยธรรมชาติที่ ต้องใช้เวลาเป็นร้อย ๆ ปของพลาสติก ผลิตภัณฑ์ชนิดพลาสติกได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่นำก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบมาเป็นสารตั้งต้นที่มาจากแหล่งพลังงานฟอสซิลซึ่งกำลังจะหมดไปในอนาคต โดยขั้นตอนการสังเคราะห์พลาสติกจะมีการใช้พลังงานในสังเคราะห์พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนจะใช้พลังงานการสังเคราะห์ที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เนื่องจากการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ซึ่งผลิตจากพืชธรรมชาติที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักทำให้ย่อยสลายง่ายจึงจะทำให้การใช้พลังงานลดลงซึ่งต่างจากพอลิเอทิลีนที่ได้จากปิโตรเคมีทำให้ใช้พลังงานสังเคราะห์ที่มากกว่า[9] แสดงดังภาพที่ 2 ดังนั้นปัจจุบันนี้จึงมีแนวคิดใหม่ในการผลิตพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ และใช้วัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติ (Renewable resource) นำมาทดแทนพลาสติกจากปิโตรเคมี เพื่อทำให้ใช้พลังงานลดลง



ภาพที่ 2 ผลพลังงานในการสังเคราะห์พลาสติกชนิดต่างๆ

ผลการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของพลาสติกและพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

ผลของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของพลาสติกชนิดต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ จากการศึกษาโดยวิธีประเมินวัฏจักรตั้งแต่เริ่มการผลิต จนถึงการกำจัดภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน พบว่า PLA ก่อให้เกิดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในปริมาณที่ต่ำกว่าพอลิเอทิลีน เนื่องจาก PLA เป็นพลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของPLA จะถูกใช้ไปในการเติบโตของพืชที่จะปลูกขึ้นมาใหม่ ทำให้เกิดการหมุนเวียนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในธรรมชาติ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรคาร์บอนทำให้เกิดความสมดุลของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ [9] แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ผลการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของพลาสติก

กระบวนการจำกัดขยะ

พลาสติกไม่มีทางที่จะย่อยสลายด้วยตัวมันเอง เนื่องจากเป็นสิ่งที่เราสังเคราะห์ขึ้นมา ปัญหาที่สำคัญคือ การทำลายหรือกำจัดที่ไม่ถูกวิธี ก่อให้เกิดปัญหาตามมามากมาย จากความรู้เท่าไม่ถึงการณ์และความเห็นแก่ตัวของมนุษย์ พลาสติกที่ใช้แล้ว มักถูกทิ้งเป็นขยะพลาสติก ซึ่งส่วนหนึ่งถูกนำกลับมาใช้อีกในลักษณะต่างๆ กัน และอีกส่วนหนึ่งถูกนำไปกำจัดทิ้ง โดยวิธีการต่างๆ การนำขยะพลาสติกไปกำจัดทิ้ง โดยการฝังกลบเป็นวิธีที่สะดวกแต่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพราะโดยธรรมชาติพลาสติกถูกย่อยสลายได้ยากจึงทับถมอยู่ในดินและนับวันยิ่งมีปริมาณมากขึ้นตามปริมาณการใช้พลาสติก ส่วนการเผาขยะพลาสติกก็ก่อให้เกิดมลภาวะและเป็นอันตรายอย่างมาก โดยปัจจุบันวิธีการกำจัดขยะที่นิยมใช้ คือ

1.การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) เป็นการนำขยะมูลฝอยทั้งหมดที่ไม่ได้ผ่านการคัดแยกหรือผ่านการคัดแยกมาแล้วฝังลงในบ่อหรือหลุมดินที่เตรียมไว้ จากนั้นจึงบดอัดขยะมูล ฝอยให้แน่นตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แล้วจึงนำดินที่เหมาะสมกลบทับหน้าขยะมูลฝอย บดอัดจนแน่น การฝังกลบมีอยู่ 2 แบบที่นิยมใช้ คือ แบบที่ 1 เป็นแบบขุดร่อง เป็นการฝังกลบขยะมูลฝอยในกรณีที่พื้นที่ที่ใช้เป็นพื้นที่ราบ มีระดับดินสม่ำเสมอ การฝังกลบจึงต้องทำโดยการขุดเป็นร่อง แล้วจึง ดำเนินการฝัง บดอัด กลบ แล้วบดอัดอีกครั้ง ตามเกณฑ์ที่ถูกต้อง ส่วนแบบที่ 2 เป็นแบบกลบบนพื้นที่ (Area Method) ใช้ในกรณีที่พื้นที่ฝังกลบขยะมูล ฝอยที่มีสภาพเป็นพื้นที่ลุ่มหรือพื้นที่ที่มีความลาดเอียง จึงไม่จาเป็นต้องขุดเป็นร่องเหมือนแบบแรกทำโดยการนำขยะมูลฝอยมาเทลงในส่วนที่มีระดับ ต่ำที่สุดก่อนทำจนกระทั่งเต็มพื้นที่ ซึ่งผลดีของวิธีนี้คือเมื่อดำเนินการเสร็จทั้งพื้นที่แล้วเท่ากับเป็นการปรับสภาพพื้นที่ให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การนำไปทำสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ สวนสาธารณะ เป็นต้น [10]

2.การเผาในเตาเผา (Incineration) เป็นการทำลายขยะมูลฝอยประเภทที่สามารถติดไฟได้ เช่น ขยะอินทรีย์ พลาสติก กระดาษ ไม้และเศษไม้ โดยการใช้ความร้อนในตัวของขยะเหล่านั้นเป็นตัวทำลายขยะมูลฝอยเอง โดยการเผาในที่สามารถควบคุมอากาศ และมีการบำบัดมลพิษที่เกิดจากการเผาก่อน ปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมอย่างปลอดภัย ส่วนเถ้าที่เกิดจากการเผาจะต้องนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัย ผลที่ ได้จากการเผาขยะ คือ ความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น น้ำร้อน ไอน้ำ หรือแม้แต่การผลิต กระแสไฟฟ้า [11]

เปรียบเทียบค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้การระหว่างการฝังกลบและการเผาขยะ

การกำจัดขยะจะต้องมีค่าดำเนินการที่จะต้องใช้ในการในการกำจัดขยะโดยจะคิดเฉพาะในส่วนของการนำพลังงานมาใช้ ซึ่งกระบวนการกำจัดขยะแบบการฝังกลบและการเผาขยะจะมีการใช้น้ำมัน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มีต้นกำเนิดมาจากสินแร่ฟอสซิลธรรมชาติ [12,13] เมื่อนำมาใช้แล้วจะหาหรือผลิตทดแทนไม่ได้ หรือต้องใช้เวลานานมากจึง

จะผลิตมาทดแทนได้ เป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ยิ่งไปกว่านั้น ปริมาณแหล่งพลังงานจากสินแร่ฟอสซิลมีแนวโน้มลดน้อยลงเรื่อยและคงจะต้องหมดไปในอนาคต ซึ่งการฝังกลบจะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องจักรในระบบกำจัดขยะ จากข้อมูลสถิติศูนย์กำจัดมูลฝอยเทศบาลนครขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น พบว่ามีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องจักรอุปกรณ์ในระบบกำจัดมูลฝอย 68,167 ลิตร/ปี ซึ่งมีจำนวนมูลฝอยที่ต้องกำจัดทั้งสิ้น 72,952 ตัน/ปี ดังนั้นมูลฝอย 1 ตัน จะใช้น้ำมันประมาณ 0.935 ลิตร/ตัน เมื่อพิจารณาราคาน้ำมันดีเซลโดยเฉลี่ยในปัจจุบันราคาลิตร ละ 30.35 บาท ในการกำจัดมูลฝอย 1 ตันจะต้องเสียค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้จริง ประมาณ 28.37 บาท/ตัน ส่วนมีค่าดำเนินการในการเดินระบบเผาขยะมูลฝอยดังต่อไปนี้ (1) ค่าน้ำมันและเชื้อเพลิง แบ่งเป็นค่าน้ำมันในการฝังกลบเถ้าซึ่งมี ค่าเฉลี่ยประมาณ 23.35 บาท/ตัน และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผาขยะมูลฝอยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3 บาท/ตัน [14] ดังแสดงในตารางที่ 1

การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการการฝังกลบและการเผาขยะ

การคำนวณปริมาณน้ำมันเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะดูที่ประเภทของน้ำมันที่รถใช้และปริมาณที่ใช้ สำหรับน้ำมันที่ใช้ในการฝังกลบและการเผาขยะสมมุติให้ใช้ประเภทน้ำมันดีเซล พบว่าการใช้น้ำมันดีเซลของรถบรรทุก 1 ลิตร จะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปริมาณ 2.630 กิโลคาร์บอน[15] ซึ่งการการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการการฝังกลบและการเผาขยะพบว่า การกำจัดขยะด้วยการฝังกลบจะใช้ปริมาณน้ำมันที่มากกว่าการกำจัดขยะด้วยการเผา ซึ่งส่งผลให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย แต่ในการวิจัยนี้ได้คำนวณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในส่วนของการใช้น้ำมันเท่านั้น ยังไม่ได้คำนวณระหว่างการเผาทำลายซึ่งอาจเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้การระหว่างการฝังกลบและการเผาขยะ [14]

ปี พ.ศ.	ขยะที่ต้องกำจัด ตัน/ปี	ค่าน้ำมันแบบฝังกลบ 28.37 ราคา (บาท/ตัน)	ค่าน้ำมันแบบเตาเผา 26.35 ราคา (บาท/ตัน)
2556	1,942	55,095	51,172
2557	1,958	55,548	51,593
2558	1,979	56,144	52,147
2559	2,001	56,768	52,726
2560	2,023	57,393	53,306
รวม	**9,903**	**280,948**	**260,944**

โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้ [15]

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ = ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ (ลิตร) x 2.630 (กิโลคาร์บอน)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นการระหว่างกระบวนการฝังกลบและการเผาขยะ

ปี พ.ศ.	ขยะที่ต้องกำจัด (ตัน/ปี)	ปริมาณน้ำมันที่ใช้(ลิตร/ตัน)		ปริมาณCO_2 ($kgCO_2$ /ลิตร)	
		ฝังกลบ	เผา	ฝังกลบ	เผา
2556	1,942	1,816	1,690	4,918	4,048
2557	1,958	1,831	1,703	4,958	4,084
2558	1,979	1,850	1,722	5,010	4,127
2559	2,001	1,871	1,741	5,067	4,173
2560	2,023	1,892	1,760	5,124	4,219
รวม	**9,903**	**9,260**	**8,616**	**25,077**	**20,651**

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับผลของขยะพลาสติกต่อการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อชุมชน พบว่า ขยะส่วนใหญ่จะผลิตมาจากพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนซึ่งขยะพลาสติกจะมีผลต่อการใช้พลังงานฟอสซิลตั้งแต่กระบวนการสังเคราะห์พลาสติก โดยการสังเคราะห์พลาสติกเกิดจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยใช้พลังงานสังเคราะห์ประมาณ 80 MJ/kg ซึ่งมากกว่าการสังเคราะห์พลาสติกชนิดย่อยสลายได้ ส่วนผลของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตั้งแต่เริ่มการผลิตจนถึงการกำจัดภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน พบว่าพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนมีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากกว่าพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ นอกจากนั้นเมื่อศึกษาถึงกระบวนการกำจัดขยะในชุมชนพบว่า ส่วนใหญ่มีการกำจัดขยะด้วยการฝังกลบ และเผา โดยจะไม่ได้มีการคัดแยกขยะออกก่อน เมื่อได้ขยะมาแล้วจะทำการฝังกลบ หรือเผารวมกัน โดยเมื่อนำมาคำนวณค่าใช้จ่ายในส่วนการใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการขับเครื่องจักรและพบว่า การกำจัดขยะประมาณ 9,903 ตัน/ปี ด้วยการฝังกลบและการเผาจะมีค่าใช้จ่ายน้ำมันประมาณ 280,948 และ 260,944 บาท/ตัน ปริมาณน้ำมันที่ใช้ 9,260 และ 8,616 ลิตร/ตัน และมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น 25,077 และ 20,651 $kgCO_2$ /ลิตร เมื่อคิดในระยะเวลา 5 ปี ดังนั้นถ้าต้องการลดการใช้พลังงานฟอสซิลและลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทุกคนในชุมชนควรมีส่วนร่วมในการช่วยกันใช้พลาสติกอย่างรู้คุณค่า หรือช่วยกันใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] เดช เหมือนขาว ยงยุทธ ดุลยกุล และชัยยุทธ มีงาม. (2556). “การศึกษาและออกแบบการผลิตน้ำมันดิบจากขยะพลาสติก”, ใน **การประชุมวิชาการ การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน ครั้งที่ 3 ชุมชนท้องถิ่น ฐานรากการพัฒนาประชาคมอาเซียน.**

[2] ศิริรัตน์ จิตการค้า. (2553). น้ำมันจากขยะพลาสติกและยาง รถยนต์เก่า. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี : จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.**บทความลงในหนังสือชุดเศรษฐกิจพอเพียง** .จัดโดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 19 พฤศจิกายน

[3] นำพร ปัญโญใหญ่ ทิพาพร คำแดง และ ธนศิษฏ์ วงศ์ศิริอำนวย. (2560). การผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกและการประยุกต์ใช้ใน เครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็ก .**วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม**, ฉบับที่1 เล่มที่1, เลขหน้า 85 – 97.

[4] **สถานการณ์ปัญหาขยะในประเทศไทย 06 กรกฎาคม 2561**. สืบค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2561 , จาก https://www. School of changemakers.com/knowledge/11678.

[5] สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดนครสวรรค์ พ.ศ.2560 . **แนวทางการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนสำหรับองค์ปกครองส่วนท้องถิ่น ในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์**. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2561, จาก. www.mnre.go.th/attachmen t/iu/ down load.php?WP.

[6] สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตรายกรมควบคุมมลพิษ.**รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทยปี 2559**. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2561, จาก .infofile.pcd.go.th /waste / wsthaz _ annual59.pdf.

[7] **(ร่าง) แผนจัดการขยะพลาสติกอย่างบูรณาการ (พ.ศ. 2560 – 2564).** สืบค้นเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2561, จาก www.pcd.go.th/count/lawdl.cfm?FileName=DraftWastePlan60-64.pdf.

[8] สมจิตต์ ตั้งชัยวัฒนา. **ชนิดพลาสติก** .(2558). สืบค้นเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2561, จาก www.dss.go.th/ images /st-article/pep-2-2558-Thermoplastic.pdf.

[9] **พลาสติกที่ย่อยสลายได้.** สืบค้นเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2561, จาก https://www2.mtec.or.th/th /special /biodegradable_ plastic/ plastic_envi.html.

[10] การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) ตอนที่ 1 นิยาม และการออกแบบ.(2557).จุลสารสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพออนไลน์.ฉบับที่ 3 .

[11] **ระบบขยะมูลฝอย**. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 สิงหาคม 2561, จาก www.coe.or.th/coe-2/Download /Articles/ENV/CH9.pdf.

[12] **ทฤษฎีพลังงาน**.มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ .สืบค้นเมื่อวันที่ 7 สิงหาคม 2561, จาก www.thailandenergyeducation.com /assets/media /A005.pdf.

[13] António Cardoso Marques, José Alberto Fuinhas, Diogo André Pereira. (2018). Have fossil fuels been substituted by renewables. An empirical assessment for 10 European countries. **Energy Policy** 116. pp. 257–265.

[14] สรศักดิ์ ชุมแวงวาปี. (2556). **การศึกษาทางเลือกระบบการกำจัดมูลฝอยที่เหมาะสมกับพื้นที่ เทศบาลตำบลเขื่อนอุบลรัตน์ อ.อุบลรัตน์ จ.ขอนแก่น** .โครงงานวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[15] จินต์ พันธุ์ชัยโย ณัฐการย์ วงศ์ทองเหลือ นราทิพย์ ณ ระนอง พสุพร สมบูรณ์ธนสาร อริศรา พรมิ่งมาศ และดร.รุธิร์ พนมยงค์. (2552). การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการรีไซเคิล ของอุตสาหกรรมขวดแก้ว กรณีศึกษาบริษัท บางกอกกล๊าส จำกัด. **วารสารบริหารธุรกิจ.**ปีที่ 32 ฉบับที่ 122 เมษายน-มิถุนายน .

NC43

การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในการผลิตเส้นใยกับการรีไซเคิลเส้นใยจากเศษผ้าเศษเส้นด้าย

Comparison of Energy Consumption in Fiber Production with Recycling of Fiber from Waste, Yarn Waste

ศักดา ปรีชาวัฒนสกุล* สมหมาย ผิวสอาด และวิรชัย โรยนรินทร์
สาขาวิชาพลังงานและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำขยะเสื้อผ้าเหลือใช้ในบ้านเรือนชุมชน กลับมาเข้าสู่กระบวนการผลิตอีกครั้ง โดยการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเส้นใยในอุตสาหกรรมสิ่งทอกับการใช้เครื่องจักรในการรีไซเคิลเศษผ้า,เศษเส้นด้ายที่เหลือจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการผลิตและเครื่องจักรที่ใช้ในการรีไซเคิลจากโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่าง โดยพิจารณาจากดัชนีชี้วัดค่าการใช้พลังงาน SEC (Specific Energy Consumption) ในการผลิตทั้งสองกระบวนการซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่าค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตเส้นใยที่ได้จากเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่าง มีค่าการใช้พลังงานน้อยกว่าการผลิตเส้นใยในกระบวนการปกติ แต่เมื่อพิจารณาสมบัติของเส้นใยแล้วพบว่า เส้นใยที่ได้จากการรีไซเคิลมีสมบัติเส้นใยทางสิ่งทอ ด้านขนาดความยาวและความสม่ำเสมอน้อยกว่าเส้นใยปกติ ซึ่งทำให้มีขอบเขตจำกัดการนำเส้นใยที่ผลิตได้ไปใช้งานด้านการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนการนำขยะเสื้อผ้าเหลือใช้ในบ้านเรือน, ชุมชน มาใช้จะต้องมีการพิจารณาเพิ่มเติมในเรื่องของการคัดแยกเสื้อผ้า การจำแนกชนิดของเส้นใย และความสะอาดของเสื้อผ้าที่จะนำกลับมารีไซเคิล

คำสำคัญ: เส้นใยรีไซเคิล

Abstract

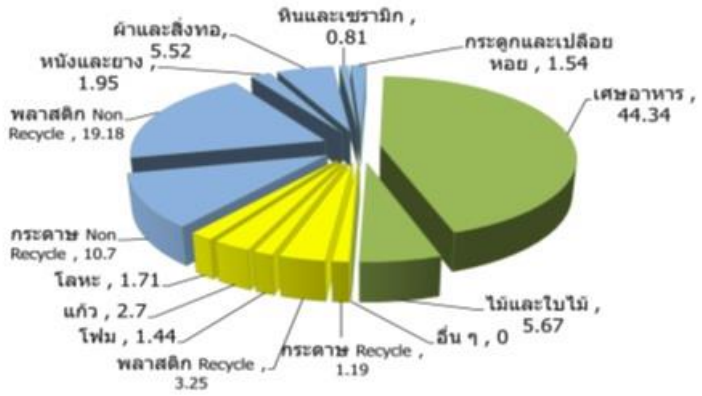
This research aims to study the feasibility of garbage collection in homes and communities. By comparing the energy values used in the fiber production process in the textile industry. with the use of machinery to recycle scrap, yarn waste. The rest of the production process in the industry.to recycle the researcher studied the production process and machinery used in recycling from the sample factory. Based on the energy consumption index SEC (Specific Energy Consumption) to produce both processes.The results of the analysis.The fibers obtained from recycling have textile fiber properties. Thesize, length and uniformity are less than regular fibers. This limits the use of manufactured fibers in the textile industry. Garbage, garbage left in the community, the use of additional garbage. Classification of fibers and clean clothes will be recycled.

Keywords: Fiber, Recycled

Corresponding author: Tel.: 089-4560852. E-mail address:: sommai.p@en.rmutt.ac.th

บทนำ

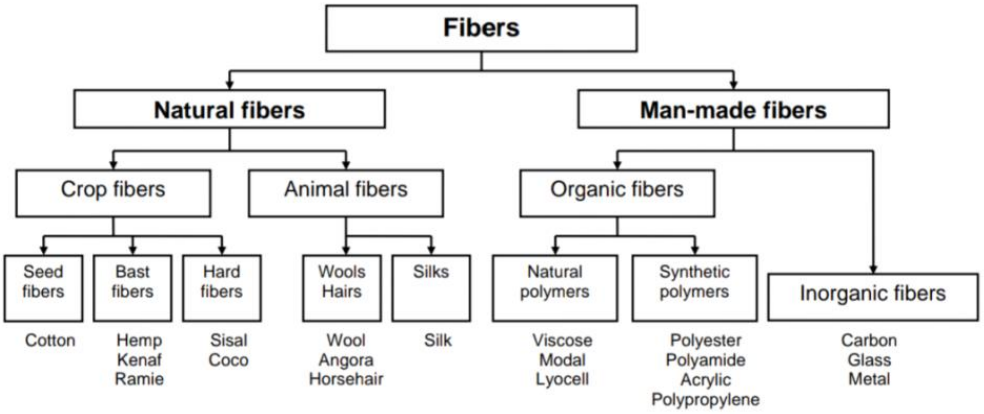
จากสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชน ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศในปี 2560 ประมาณ 27.40 ล้านตันหรือ 75,046 ตันต่อวันเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.26 จากปี 2559 เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรการขยายตัวของชุมชนเมืองพฤติกรรมการบริโภคของประชาชนและการท่องเที่ยวซึ่งมีนักท่องเที่ยวกว่า 30 ล้านคนในปี 2560ตลอดจนพฤติกรรมผู้บริโภคที่เปลี่ยนไป โดยเฉพาะตลาดแฟชั่นเสื้อผ้า, เครื่องนุ่งห่มที่ในปัจจุบันมีเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว เสื้อผ้าบางชุดใส่เพียงครั้งหรือสองครั้งแล้วแฟชั่นก็เปลี่ยนแล้ว ดังนั้นเสื้อผ้าที่ไม่ได้ใส่ก็ถูกเก็บอยู่ในตู้หรือลงกล่อง เพื่อรอไปบริจาค หรือนำไปทำผ้าขี้ริ้ว พอผ้าสกปรกมากๆก็นำไปทิ้งนี่คือจุดเริ่มต้นของปัญหาขยะจากเสื้อผ้าเหลือใช้ที่เพิ่มมากขึ้นในทุกๆปี ซึ่งขยะที่เกิดจากเสื้อผ้าที่ใช้แล้วส่งผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม เช่น การที่เสื้อผ้าลงไปอุดตันท่อระบายน้ำทำให้เกิดน้ำท่วมขัง การเผาทำลายก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งการกำจัดสามารถทำได้ยากเพราะเสื้อผ้าบางประเภทผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบของปิโตรเคมี ซึ่งคล้ายกับถุงพลาสติก ซึ่งต้องใช้เวลาในย่อยสลายเป็นร้อยๆ ปี ปกติแล้วอุตสาหกรรมสิ่งทอก็ถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่ค่อนข้างที่จะมีการปล่อยมลพิษหรือสารเคมีที่เป็นอันตรายในกระบวนการผลิตอยู่แล้วเช่น ขั้นตอนของการฟอกย้อมสี ทั้งนี้ปัญหาที่มีอยู่ก็ถูกเพิ่มเติมด้วย ขยะจากเสื้อผ้าเหลือใช้จากครัวเรือนและชุมชน ดังนั้นหลายคนมองไปที่การแปรรูป ตกแต่งเสื้อผ้าด้วยวิธีการต่างๆเพื่อให้นำกลับมาใช้ใหม่ ร่วมถึงการรีไซเคิลขยะจากเสื้อผ้าเหลือใช้ให้กลับเข้าสู่กระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมอีกครั้ง



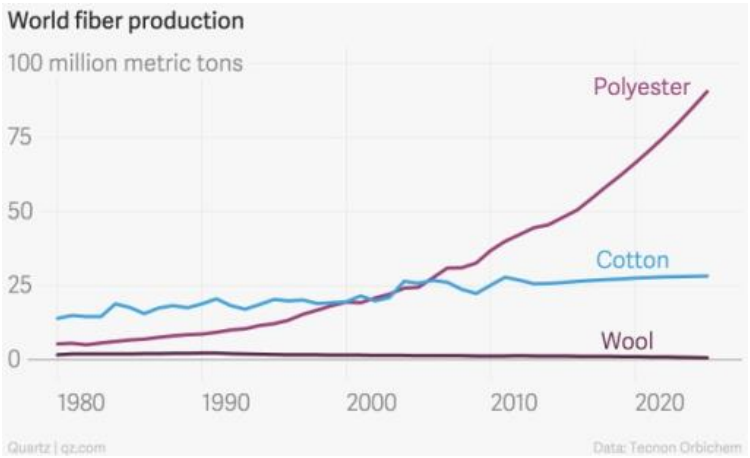
ภาพที่ 1 ภาพข้อมูลองค์ประกอบขยะของกรุงเทพมหานคร ปีพ.ศ.2554

แต่สำหรับภาคอุตสาหกรรม การผลิตก็ยังคงดำเนินต่อไปเพื่อรองรับความต้องการด้านแฟชั่น อุตสาหกรรมสิ่งทอมีขนาดอุตสาหกรรมที่ใหญ่มีการใช้แรงงานและมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงเป็นอันดับต้นๆ ของกลุ่มงานอุตสาหกรรม มีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ได้แก่ อุสาหกรรมขั้นต้น ได้แก่ ขั้นตอนกระบวนการผลิตเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ อุตสาหกรรมขั้นกลาง ได้แก่ ขั้นตอนกระบวนการผลิตเส้นด้าย การผลิตผ้า การฟอกย้อม พิมพ์และตกแต่งสำเร็จ และอุสาหกรรมขั้นสุดท้าย ได้แก่ การผลิตเครื่องนุ่งห่มหรือเสื้อผ้าสำเร็จรูป

เส้นใยสิ่งทอ นับได้ว่าเป็นวัตถุดิบหลักของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยการผลิตเส้นใยสิ่งทอในปัจจุบันมีอยู่ 2 ประเภทหลัก ได้แก่ เส้นใยที่มาจากธรรมชาติ เช่น เส้นใยฝ้าย และเส้นใยที่มาจากกระบวนการสังเคราะห์ เช่น เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ซึ่งเส้นใยดังกล่าวถือเป็นเส้นใยหลักที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอปัจจุบัน [1] โดยแนวโน้มการใช้งานเส้นใยในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีการเพิ่มขึ้นทุกปีโดยเฉพาะกลุ่มเส้นใยสังเคราะห์โพลีเอสเตอร์ [2]ที่มีความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมากในอนาคต



ภาพที่ 2การแบ่งประเภทเส้นใยที่ใช้ในงานสิ่งทอ



ภาพที่ 3แสดงความต้องการเส้นใยที่ใช้ในงานสิ่งทอที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี

จากบทความงานวิจัย [3] พบว่าค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการผลิตเส้นใยชนิดต่างๆมีการใช้พลังงานที่ความแตกต่างกันอย่างมาก เพื่อเทียบค่าพลังงานที่ใช้ผลิตต่อกิโลกรัม (**MJ/kg**) จากตารางที่1 จะเห็นว่า กลุ่มของเส้นใยธรรมชาติมีค่าการใช้พลังงานในการผลิตที่น้อยกว่ากลุ่มของเส้นใยสังเคราะห์ในปริมาณที่สูง ซึ่งทำให้ทราบว่าในอนาคตโรงงานที่ผลิตเส้นใยสังเคราะห์มีความต้องการค่าพลังงานในกระบวนการผลิตที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 ค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเส้นใยประเภทต่างๆ

Embodied Energy in production of various fibers processing	
Fibers	**Energy use in MJ per KG of fiber**
Flax	10
Cotton	55
Wool	63
Viscose	100
Polypropylene	115
Polyester	125
Acrylic	175
Nylon	250

งานวิจัยนี้เป็นการหาค่าการใช้พลังงานในการรีไซเคิลเศษผ้า, เศษเส้นด้ายที่เหลือใช้ ด้วยกระบวนการที่ใช้เครื่องตีเส้นใยเพื่อนำกลับมาใช้อีกครั้งในรูปของเส้นใยและเข้าสู่กระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมสิ่งทออีกครั้ง โดยเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในการผลิตเส้นใยใหม่ในอุตสาหกรรม เพื่อวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานที่ใช้ในการผลิตความคุ้มค่าและเพื่อเป็นแนวทางในการนำขยะเสื้อผ้าเหลือใช้ในบ้านเรือน, ชุมชนมาใช้ในกระบวนการผลิตอีกครั้ง

วิธีการวิจัย

ศึกษากระบวนผลิตและการทำงานของเครื่องตีเส้นใยของโรงงานตัวอย่าง โดยเก็บบันทึกข้อมูล พิกัดค่าต่างๆ เช่นจำนวนมอเตอร์ไฟฟ้าในเครื่องจักร ขนาดกำลัง พิกัดตามป้ายชื่อ ผลผลิตของเครื่องจักร ช่วงเวลาในการทำงาน เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงาน โดยใช้วิธีการคำนวณดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน SEC (Specific Energy Consumption) ของเครื่องจักร ในการชี้วัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตของโรงงาน

โดยหน่วยพลังงานที่นิยมใช้ในการคำนวณค่า SEC มักจะเป็นหน่วยMJ หรือ GJ และปริมาณผลผลิตขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของผลผลิต ที่นิยมใช้มักเป็นหน่วยน้ำหนัก เช่น กิโลกรัม (kg) หรือตันซึ่งในกรณีที่หาค่า SEC ของค่าพลังงานไฟฟ้ารวมให้แปลงพลังงานไฟฟ้าในหน่วย kWhให้เป็น MJ ทั้งนี้การแปลงค่าการใช้ไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของเมกะจูล (MJ) จะได้เท่ากับ 1 KW = 3.6 MJ



ภาพที่ 4 แสดงเครื่องตีเส้นใยจากเศษผ้า, เศษเส้นด้าย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการทำงานของเครื่องตีเส้นใยของโรงงานตัวอย่างพบว่า เครื่องตีเส้นใยประกอบด้วยชุดการทำงานหลายส่วนซึ่งในแต่ละส่วนใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อน ดังตารางที่ 2โดยสภาพการทำงานปกติเครื่องตีเส้นใยมีอัตราการป้อนวัตถุดิบต่อเนื่องที่เป็นเศษผ้าและเศษเส้นด้ายเฉลี่ยที่ปริมาณ 180-200 kg/ชั่วโมง โดยมีอัตราการสูญเสียของเส้นใย คิดเป็นร้อยละ 30% และการหาค่าการใช้พลังงานในการผลิต หาได้จากสมการที่1

$$\text{Total electricity consumption (KWh/kg)} = \frac{\text{Elec. (A)} + \text{Elec. (B)} + \text{Elec. (C)} + \ldots\ldots}{\text{Total Bar prod.}} \quad (1)$$

ตารางที่ 2 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ในแต่ละส่วนของเครื่องตีเส้นใย

ส่วนของมอเตอร์	Hp	KWh	จำนวน	KWh
ชุดระบบรางใส่เศษผ้า	5	3	1	3
ชุดลูกหนามรูปตัว U	25	18.3	1	18.5
ชุด Blower	30	22	1	22
ชุดลูกหนามตีเส้นใย	30	22	6	132
ระบบ Mixer	15	11	1	11
ระบบส่งเส้นใย	15	11	1	11
รวม				**197.5**

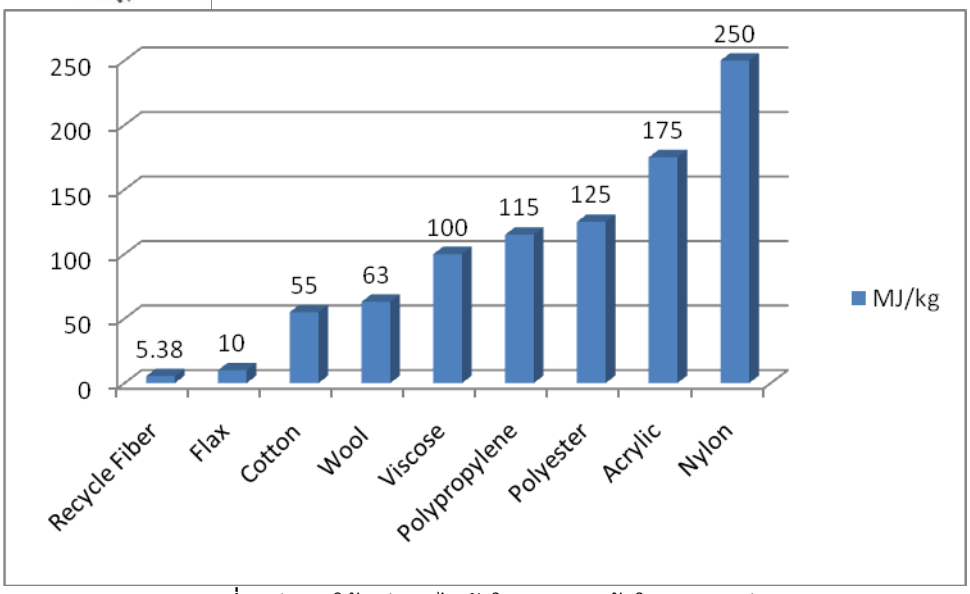
จากการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องจักร ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม พบว่าเครื่องจักรมีเวลาการทำงานที่วันละ 8 ชั่วโมง/วัน และในแต่ละเดือนมีวันทำงาน 26 วัน/เดือน โดยมีผลผลิตที่เป็นเส้นใย และค่าการใช้พลังงาน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องตีเส้นใยในการหน่วยผลิต

เดือน	ค่าพลังงาน KWh	ผลผลิต kg/เดือน	KWh/kg	MJ/kg
พฤษภาคม	41,080	27,118	1.52	5.47
มิถุนายน	41,080	27,846	1.48	5.32
กรกฎาคม	41,080	28,210	1.46	5.25
สิงหาคม	41,080	26,936	1.52	5.47
ค่าเฉลี่ย	41,080	27,527.5	1.49	5.38

โดย1 kWh = 3.6 ล้านจูล (3.6 MJ)

ในการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงาน ผู้วิจัยได้แสดงการค่าพลังงานในกระบวนการผลิตเส้นใยจากการรีไซเคิลเศษผ้า เศษเส้นด้ายด้วยเครื่องตีเส้นใยกับค่าการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเส้นใยในอุตสาหกรรมชนิดต่างๆ ดังแสดงรายละเอียดในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตเส้นใยประเภทต่างๆ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้พลังงานรวมในกระบวนการผลิตเส้นใยจากการรีไซเคิลเศษผ้า ,เศษเส้นด้าย ด้วยเครื่องตีเส้นใยโดยอาศัยการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีการคำนวณดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน SEC (Specific Energy Consumption) ของเครื่องจักร ในการชี้วัดค่าการใช้พลังงาน พบว่าการใช้พลังงานโดยรวมของเครื่องตีเส้นใย เท่ากับ 5.38MJ/kg ซึ่งน้อยกว่าค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของกระบวนการผลิตเส้นใยต่างๆที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เช่น เส้นใยฝ้าย (55 MJ/kg) เส้นใยพอลีเอสเตอร์ (125 MJ/kg) ที่ใช้เป็นเส้นใยหลักในอุตสาหกรรม

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของเส้นใยที่ผลิตได้นั้นพบว่า เส้นใยที่ได้จากเครื่องตีเส้นใยมีสมบัติความยาวและความสม่ำเสมอของเส้นใยในระดับที่ต่ำ ซึ่งเส้นใยดังกล่าวสามารถเข้าสู่กระบวนการผลิตในด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอได้บางกระบวนการเท่านั้น เช่น การผลิตผ้าไม่ทอ (Nonwovens) หรือการผลิตเส้นด้ายที่ไม่ต้องการคุณภาพเส้นใยมากนัก ทำให้ความต้องการในการใช้เส้นใยจากการรีไซเคิลเศษผ้าและเส้นด้ายมีวงจำกัด ทั้งที่การลงทุนเครื่องจักรและค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้อยกว่าเส้นใยที่ผลิตขึ้นมาใหม่และเมื่อพิจารณาถึงการนำขยะเสื้อผ้าในบ้านเรือน ชุมชน มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต พบว่าการที่จะนำมาใช้ต้องมีการคัดแยกประเภทเสื้อผ้า เช่น เสื้อผ้าที่มีซิปมีกระดุม จำแนกชนิดของเส้นใยที่ใช้ผลิตเป็นเสื้อผ้า และความสะอาดของเสื้อผ้าที่นำมาใช้ในการรีไซเคิล ซึ่งกระบวนการดังกล่าวค่อนข้างลำบากและต้องใช้แรงงานจำนวนมากในดำเนินการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณสุพลและพนักงานในบริษัททุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้ข้อมูลในการทำวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] คู่มือวิชาการสิ่งทอ.**การผลิตเส้นด้าย.** (2543). กรุงเทพฯ

[2] Andreas Bartl, **Fiber Recycling: Potential for Saving Energy and Resources**, Vienna University Of Technology

[3] What is the energy profile of the textile industry? .สืบค้นเมื่อ 11กันยายน2562, จาก https://oecotextiles.wordpress.com/2009/06/16/what-is-the-energy-profile-of-the-textile-industry/

[4] Improving profits with energy-efficiency enhancements, December 2008, **Journal for Asia on Textile and Apparel**, จาก ttp://textile.2456.com/eng/epub/n_details.asp?epubiid=4&id=3296

[5] การหาค่า SEC.**ศูนย์วิศวกรรมพลังงาน.**สืบค้นเมื่อ11กันยายน2562,จาก http://www.me.psu.ac.th/eec/jn4.html

[6] เป็นธิดา มณีโชติ, จันทนา จันทโร, และไชยะ แช่มช้อย. (2554). การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม : TSIC33,36,37 และ 38 **วารสารวิจัยพลังงาน**8,2(2554):12-19

[7] สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร.(2554). เมืองสีเขียว,ข้อมูลองค์ประกอบขยะของกรุงเทพมหานคร. สืบค้นเมื่อ 12กันยายน2562,จากhttp://bangkokgreencity.bangkok.go.th/greencity/waste.aspx

NC51

ผลกระทบจากการให้บริการวิชาการตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิต ณ ชุมชนบ้านโป่งสอตำบลน้ำกุ่ม อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก

Impact of academic services applying sufficiency economy theory for quality of life under a project of studying Pong Sor's villagers, located in Namkum subdistrict, NakornThai District, Phitsanulok.

วีระบูลย์กิตติ ชุมพรผ่อง[1,2] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1,2*] อนุพล อัคพิน[1] ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ[1,2] มลวิภา เมืองพระฝาง[1,2]
ธีรภัทร์ พุ่มพลอย[1,3] และเฉลิมชัย สังโยคะ[1,2]
[1]โครงการจัดตั้งสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000
[2]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000
[3] สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งเน้นนำเสนอผลกระทบจากการให้บริการวิชาการตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตภายใต้โครงการศึกษาและพัฒนาคุณภาพชีวิตของชุมชนบ้านโป่งสอ ตำบลน้ำกุ่ม อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงโดยในการให้บริการวิชาการในครั้งนี้มีผู้เข้าร่วมทั้งสิ้น 100 คน ประกอบด้วยผู้นำชุมชน ครู นักเรียนระดับประถมศึกษา และประชาชนทั่วไป ซึ่งในการให้บริการวิชาการในแต่ละครั้งต้องมีการติดตามและประเมินผลของการให้บริการวิชาการอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทราบถึงผลที่เกิดขึ้นจากการให้บริการวิชาการครั้งนั้นๆ และให้ทราบถึงการนำไปใช้ประโยชน์ของผู้รับบริการวิชาการ โดยในการติดตามและประเมินผลในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยใช้แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง และมุ่งเน้นสัมภาษณ์เฉพาะผู้ที่เข้ารับบริการวิชาการในครั้งนี้เท่านั้น ซึ่งจากผลการวิเคราะห์แบบสัมภาษณ์ พบว่า ด้านมิติทางสังคม ผู้นำชุมชน ครู นักเรียนระดับประถมศึกษา และประชาชนทั่วไป สามารถนำความรู้ไปปรับใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรต่างๆ มีการปรับปรุงผลผลิตให้มีคุณภาพมากขึ้น สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งเรียนรู้ โดยเรียนรู้จากแหล่งประสบการณ์จริงและได้ลงมือปฏิบัติจริงด้านมิติทางเศรษฐกิจ สามารถแปรรูปทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด สร้างอาชีพให้กับคนในชุมชน โดยสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ มีการจำหน่ายเพื่อสร้างรายได้ให้กับคนในชุมชน และลดค่าใช้จ่ายในการดำรงชีวิตประจำวัน ด้านมิติทางวัฒนธรรม ครู นักเรียน และประชาชนทั่วไปยังคงวัฒนธรรมการใช้ชีวิตเช่นเดิม และสามารถนำความรู้ที่ได้รับจากดำเนินการบริการวิชาการไปใช้ให้เข้ากับวัฒนธรรมของชุมชน ด้านมิติทางสิ่งแวดล้อม ลดการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้ และร่วมกันฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมให้อุดมสมบูรณ์ และด้านมิติทางสุขภาพ ครู นักเรียน และประชาชนทั่วไป มีการเสริมสร้างพัฒนาการทางความคิดทำให้สุขภาพจิตใจ และสุขภาพร่างกายแข็งแรง

คำสำคัญ: ผลกระทบ การให้บริการวิชาการ หลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง

Abstract

The total number of participants is 100 included community leaders, teachers, primary students and villagers. Tracking and evaluation are incorporated consecutively as part of academic services in order to tracking the project beneficiaries. On tracking and evaluation stage, structural

interviewing format and interviewing of directed beneficiaries are used as parts of this research instruments. The findings from interviewing analysis shows that in social dimension the community leaders, teachers primary students and villagers are able to processing agricultural products, improving products' quality and practicing from learning sites economic dimension, villagers are able to processing natural resources to achieve their most advantages and fulfilling community members with more occupations, gaining incomes and reducing cost of livings. Cultural dimension, living styles as in traditional ways are still remaining and applying among teachers, students and villagers. Environmental dimension, encroaching on forests are decreased and villagers are together restoring natural resources as richness.Physical dimension, mental and physical status are strengthening and improved among teaches students and also normal villagers.

Key words: size of effect / academic services / sufficiency economy theory

*Corresponding author: Tel.: 081-7178093. E-mail address: nattawutkhao@gmail.com

บทนำ

ทรัพยากรมนุษย์เป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาประเทศ การส่งเสริม สนับสนุนให้ประชาชน มีชีวิตที่ดีขึ้น ไม่ว่าจะทางด้านวัตถุ ทางด้านสังคม ทางด้านเศรษฐกิจ ทางด้านความก้าวหน้าของเทคโนโลยี เพื่ออำนวยความสะดวกสบายในชีวิตแก่พลเมือง รวมถึงการส่งเสริมทางด้านร่างกาย และสภาพจิตใจ ต่างก็เป็นประเด็นที่มุ่งส่งเสริมคุณภาพชีวิตของประชาชนทั้งสิ้น สำหรับกำลังพัฒนาอย่างประเทศไทยเล็งเห็นความสำคัญ "มนุษย์หรือคนในสังคมเป็นหลัก" ดังจะเห็นได้จากแผนพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2550-2554) มีแนวทางการพัฒนาบนพื้นฐานของการให้ "คนเป็นศูนย์กลางการพัฒนา" และได้กำหนดวิสัยทัศน์ว่า "มุ่งพัฒนาสู่สังคมที่เข้มแข็ง และมีศักยภาพเพื่อความอยู่ดีมีสุขของคนไทยที่ยั่งยืน" และได้กำหนดประเด็นยุทธศาสตร์การวิจัยเพื่อการพัฒนาคนและสังคมที่มีคุณภาพคนเป็นศูนย์กลางของการพัฒนา[1]การบริการวิชาการสู่สังคมถือเป็นพันธกิจสถาบันอุดมศึกษาเพื่อพัฒนาประเทศซึ่งมุ่งเน้นความเข้มแข็งของรากฐาน นั่นคือ ความเข้มแข็งของชุมชน ซึ่งนับว่ามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาประเทศเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะในด้านการเป็นกลไกขับเคลื่อน เพื่อการแก้ไขปัญหาความยากจน การพัฒนาคุณภาพชีวิต การลดผลกระทบทางเศรษฐกิจและ สังคมในชุมชนอันเนื่องมาจากการเกิดวิกฤติทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ตลอดจนการเป็นรากฐานที่สำคัญของการพัฒนาในทุกด้านๆ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรมการเมือง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ฯลฯ [2]

สภาพเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้คนไทยตกอยู่ในภาวะเดือดร้อน ทั้งปัญหาด้านเศรษฐกิจและปัญหาสังคม ซึ่งนับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากสังคมไทยจะให้ความสำคัญกับระบบเศรษฐกิจแบบทุนนิยม จนทำให้คนทำทุกวิถีทางเพื่อให้ได้ในสิ่งที่ต้องการ บางคนถึงกับสละจรรยาบรรณในวิชาชีพ นำความรู้ความสามารถของตนไปแสวงหาผลประโยชน์โดยไม่คำนึงถึงความเดือดร้อนที่จะเกิดกับคนอื่นในสังคม ขอเพียงให้ตนเองได้รับประโยชน์สูงสุดก็พอ ทุกคนต้องการที่จะตอบสนองความต้องการของตนเอง จึงเกิดการแข่งขันกันเพื่อให้ได้เงินตราโดยไม่จำกัดรูปแบบ [3] แนวคิดเศรษฐกิจพอเพียงเป็นปรัชญาที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงมีพระราชดำรัสแก่พสกนิกรชาวไทยมาโดยตลอดตั้งแต่ปี พ.ศ. 2517 และภายหลังวิกฤตเศรษฐกิจ พ.ศ. 2540 ได้ทรงเน้นย้ำเป็นแนวทางการแก้ไขเพื่อให้รอดพ้น และสามารถดำรงอยู่ได้อย่างมั่นคงและยั่งยืนภายใต้กระแสโลกาภิวัตน์ และความเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของสังคมไทยก็กลายเป็นอุดมการณ์สำหรับคนทุกชนชั้นในสังคมไทยที่อยากใช้ชีวิตแบบทาง

สายกลาง และต่อมาในปี พ.ศ. 2549 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงพระราชทานปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงไว้ว่า “เศรษฐกิจพอเพียงเป็นปรัชญาชี้ถึงแนวการดำรงอยู่และปฏิบัติตนของประชาชนในทุกระดับ ตั้งแต่ระดับครอบครัว ระดับชุมชนจนถึงระดับรัฐ ทั้งในการพัฒนาและบริหารประเทศให้ดำเนินไปในทางสายกลางโดยเฉพาะการพัฒนาเศรษฐกิจเพื่อให้ก้าวทันโลกยุคโลกาภิวัตน์ ความพอเพียง หมายถึง ความพอประมาณ ความมีเหตุผล รวมถึงความจำเป็นที่จะต้องมีระบบภูมิคุ้มกันในตัวที่ดีพอสมควร ต่อการมีผลกระทบใด ๆ อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งภายนอกและภายใน ทั้งนี้จะต้องอาศัยความรอบรู้ ความรอบคอบ และความระมัดระวังอย่างยิ่งในการนำวิชาการต่าง ๆ มาใช้ในการวางแผนและดำเนินการทุกขั้นตอน และขณะเดียวกันจะต้องเสริมสร้างพื้นฐานจิตใจของคนในชาติ โดยเฉพาะเจ้าหน้าที่ของรัฐ นักทฤษฎี และนักธุรกิจในทุกระดับให้มีจิตสำนึกในคุณธรรมความซื่อสัตย์สุจริต และให้มีความรอบคอบเพื่อให้สมดุลและพร้อมต่อการรองรับการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและกว้างขวางทั้งด้านวัตถุ สังคมสิ่งแวดล้อม และวัฒนธรรมจากโลกภายนอกได้เป็นอย่างดี” [4]

การติดตามและประเมินผลกระทบในการบริการวิชาการสู่สังคมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของประโยชน์ จึงเป็นเรื่องสำคัญที่สะท้อนผลที่เกิดต่อเนื่องจากผลผลิต และยังตอบสนองต่อตัวบ่งชี้การประกันคุณภาพการศึกษา ในองค์ประกอบที่ 5 การบริการทางวิชาการสู่สังคม ซึ่งมีหลักการสำคัญคือ การบริการทางวิชาการแก่สังคมเป็นหนึ่งในภารกิจหลักของสถาบันอุดมศึกษา สถาบันพึงให้บริการทางวิชาการแก่ชุมชน สังคม และประเทศชาติในรูปแบบต่างๆ ตามความถนัดและในด้านที่สถาบันมีความเชี่ยวชาญ การให้บริการทางวิชาการอาจให้เปล่าโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายหรืออาจคิดค่าใช้จ่ายตามความเหมาะสม โดยให้บริการทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชน หน่วยงานอิสระ หน่วยงานสาธารณะชุมชน และสังคมโดยกว้าง รูปแบบการให้บริการทางวิชาการมีความหลากหลาย เช่น การอนุญาตให้ใช้ประโยชน์ทรัพยากรของสถาบัน เป็นแหล่งอ้างอิงทางวิชาการ ให้คำปรึกษา ให้การอบรม จัดประชุมหรือสัมมนาวิชาการ ทำงานวิจัยเพื่อตอบคำถามต่างๆ หรือเพื่อชี้แนะสังคม โดยสถาบันยังได้รับประโยชน์ในด้านต่าง ๆ คือ เพิ่มพูนความรู้และประสบการณ์ของอาจารย์อันจะนำมาสู่การพัฒนาหลักสูตร มีการบูรณาการเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านการจัดการเรียนการสอนและการวิจัย พัฒนาตำแหน่งทางวิชาการของอาจารย์ สร้างเครือข่ายกับหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งเป็นแหล่งงานของนักศึกษาและเป็นการสร้างรายได้ของสถาบันจากการให้บริการทางวิชาการด้วย [5] เพื่อให้ทราบถึงผลลัพธ์และผลกระทบจากโครงการศึกษาและพัฒนาคุณภาพชีวิตของชุมชนบ้านโป่งสอ ตำบลน้ำกุ่ม อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก ตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงจึงจำเป็นในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น เพื่อเสริมสร้างชีวิตความเป็นอยู่ของคนในชุมชนให้ดีขึ้น มีความสุข และมั่นคง รวมทั้งการเสริมสร้างฐานรากของสังคมให้โครงสร้างสังคมโดยรวมแข็งแรง มั่นคง และรองรับการพัฒนาประเทศให้มี ความมั่นคงและยั่งยืนได้ต่อไป

วิธีการวิจัย

ผลกระทบจากการให้บริการวิชาการตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตการสัมภาษณ์ผลกระทบในครั้งนี้ถือว่าผู้เข้ารับบริการวิชาการทั้งหมดมีผลต่อผลลัพธ์และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการให้บริการวิชาการในการสัมภาษณ์ผลกระทบในครั้งนี้มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คณะวิจัยได้ดำเนินการให้บริการวิชาการ โดยมีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 5 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ผู้นำชุมชนจำนวน 4 คน
กลุ่มที่ 2ครู จำนวน 8 คน
กลุ่มที่ 3นักเรียนระดับประถมศึกษา จำนวน 23 คน
กลุ่มที่ 4 ประชาชนทั่วไป จำนวน 60 คน
กลุ่มที่ 5ผู้ให้บริการวิชาการ จำนวน 5 คน

รวมจำนวนผู้เข้าร่วมทั้งสิ้น 100 คน ซึ่งแต่ละกลุ่มสัมภาษณ์โดยใช้แบบสัมภาษณ์ ซึ่งเป็นการเลือกแบบเฉพาะเจาะจงโดยพิจารณาจากการเข้าร่วมรับบริการวิชาการ ความตั้งใจในการทำกิจกรรมที่เห็นถึงผลลัพธ์และผลกระทบได้อย่างชัดเจน

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เป็นแบบสัมภาษณ์ผลกระทบจากการให้บริการวิชาการตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตซึ่งปรับปรุงมาจากแบบสัมภาษณ์ผลกระทบที่เป็นประโยชน์จากโครงการบริการวิชาการสู่สังคมของนิคม นาคอ้าย[6] 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/พื้นที่ที่ได้รับการให้บริการวิชาการ และมิติผลกระทบทางสุขภาพ มี 1 ตัวบ่งชี้ คือ สุขภาพของผู้รับบริการวิชาการ

ส่วนที่ 2 สัมภาษณ์ผู้ให้บริการวิชาการ 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 4นำแบบประเมินการประเมินผลกระทบมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ เพื่อสรุปผลการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 ผลการสัมภาษณ์ผู้นำชุมชน

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
<u>มิติผลกระทบทางสังคม</u> ตัวบ่งชี้ที่ 1	- ชุมชนสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปปรับใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรต่างๆให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม - มีการปรับปรุงผลงานให้มีคุณภาพมากขึ้นกว่าเดิม โดยการติดตั้งเทอร์มอมิเตอร์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ การสานตะแกรงเพื่อเป็นที่วางของภายในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ - การแปรรูปทรัพยากรธรรมชาติในรูปแบบต่างๆ
ตัวบ่งชี้ที่ 2	-การทำงานร่วมกันระหว่างโรงเรียนและชุมชน - เกิดการถ่ายทอดความรู้ระหว่างคนในชุมชน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	- แหล่งเรียนรู้ยังคงดำรงอยู่ และเป็นประโยชน์ต่อคนในชุมชน
<u>มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ</u> ตัวบ่งชี้ที่ 1	- สร้างผลิตภัณฑ์ของชุมชน - ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ สะอาด และปลอดภัยต่อผู้บริโภค

ตัวบ่งชี้ที่ 2	- สร้างรายได้ให้กับคนในชุมชน - ลดค่าใช้จ่ายในการดำรงชีวิตประจำวัน
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม	- สามารถนำไปใช้เข้ากับวัฒนธรรมของตนเอง โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	- ลดการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เพิ่มจากเดิม - การใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างรู้คุณค่า
มิติผลกระทบทางสุขภาพ	- สุขภาพร่างกายแข็งแรง ไม่มีโรคภัย

ตารางที่ 2 ผลการสัมภาษณ์ครู

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 1	- นำไปใช้เป็นแหล่งเรียนรู้นอกห้องเรียนให้กับนักเรียน - ปรับปรุงแหล่งเรียนรู้ให้มีคุณภาพดีขึ้น - บุคลากรในโรงเรียนช่วยกันดูแลรักษาแหล่งเรียนรู้
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- หน่วยงานรัฐ และเอกชนร่วมกัน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	- เป็นแหล่งเรียนรู้ที่มีประโยชน์ต่อนักเรียนอย่างมาก
มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ ตัวบ่งชี้ที่ 1	- การถนอมอาหารที่สะอาดและปลอดภัย - การแปรรูปทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- การจัดการเรียนการสอนโดยใช้แหล่งเรียนรู้ที่มีต่างๆ มาใช้ให้เกิดประโยชน์ - ลดงบประมาณในการสร้างแหล่งเรียนรู้
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม	- สามารถนำไปปรับใช้ให้เข้ากับวัฒนธรรมการของตนเอง โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	- นักเรียนช่วยกันดูแลรักษาความสะอาดแหล่งเรียนรู้
มิติผลกระทบทางสุขภาพ	- สุขภาพร่างกายและสุขภาพจิตของบุคลากรในโรงเรียนดีขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการสัมภาษณ์นักเรียน

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 1	- สร้างความน่าสนใจให้กับการเรียน - การเรียนรู้จากแหล่งประสบการณ์จริง - สนุกกับการเรียน
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- หน่วยงานรัฐ และเอกชนเข้ามาช่วยกัน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	-แหล่งเรียนรู้ที่ได้ลงมือปฏิบัติจริง
มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ ตัวบ่งชี้ที่ 1	- สร้างสรรค์ชิ้นงานจากการใช้แหล่งเรียนรู้ที่มีให้เกิดประโยชน์
ตัวบ่งชี้ที่ 2	-ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินชีวิตประจำวัน
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม	- ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	-ปลูกจิตสำนึกในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ
มิติผลกระทบทางสุขภาพ	- มีสุขภาพจิตที่ดี เสริมสร้างพัฒนาการทางความคิด

ตารางที่ 4 ผลการสัมภาษณ์ประชาชนทั่วไป

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม	- ครูจัดการเรียนการสอนได้น่าสนใจมากยิ่งขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 1	- นักเรียนได้โอกาสเรียนรู้จากแหล่งรู้ต่างๆ มากยิ่งขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- หน่วยงานรัฐ เอกชน และคนในชุมชนร่วมกัน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	- แหล่งในการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ให้กับชุมชน
มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ	- สร้างอาชีพให้กับคนในชุมชน
ตัวบ่งชี้ที่ 1	
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- มีรายได้เพิ่มขึ้น -ลดค่าใช้จ่ายในชีวิตประจำวัน
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม	- สามารถนำไปใช้เข้ากับวัฒนธรรมของตนเอง โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	-ลดพื้นที่ทำการเกษตรลงจากเดิม - พื้นที่ป่าได้รับการฟื้นฟู
มิติผลกระทบทางสุขภาพ	- สุขภาพสมบูรณ์แข็งแรง

ตารางที่ 5 ผลการสัมภาษณ์ผู้ให้บริการวิชาการ

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม	- ได้ความรู้เกี่ยวกับการบริหารจัดการและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติบริเวณพื้นที่ป่าต้นน้ำ
ตัวบ่งชี้ที่ 4	
ตัวบ่งชี้ที่ 5	-พัฒนาเอกสารและคู่มือที่ใช้ในการให้บริการวิชาการให้มีความทันสมัยมากขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 6	- ได้รับการยอมรับจากผู้รับบริการวิชาการ และภาคีเครือข่ายทั้งภาครัฐและเอกชนที่ทำงานร่วมกัน

อภิปรายผล

การประเมินผลกระทบจากการให้บริการวิชาการตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตสอดคล้องกับ A.K. Akellaและคณะ [7] ที่ได้ทำการศึกษาในผลกระทบ 5 มิติ ดังนี้

1. ผลกระทบทางสังคม ชุมชนบ้านโป่งสอ สามารถนำความรู้ที่ได้รับจากดำเนินการบริการวิชาการไปปรับใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรต่างๆให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม มีการปรับปรุงผลผลิตให้มีคุณภาพมากขึ้นกว่าเดิม นำไปใช้เป็นแหล่งเรียนรู้นอกห้องเรียนให้กับนักเรียน ครู และชุมชน โดยเรียนรู้จากแหล่งประสบการณ์จริงและได้ลงมือปฏิบัติจริง

2. ผลกระทบทางเศรษฐกิจ ชุมชนสามารถแปรรูปทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด สร้างอาชีพให้กับคนในชุมชน โดยสามารถสร้างผลิตภัณฑ์ มีการจำหน่ายเพื่อสร้างรายได้ให้กับคนในชุมชน และลดค่าใช้จ่ายในการดำรงชีวิตประจำวัน

3. ผลกระทบทางวัฒนธรรมสามารถนำความรู้ที่ได้รับจากดำเนินการบริการวิชาการไปใช้ให้เข้ากับวัฒนธรรมของชุมชน โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของคนในชุมชน

4. ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมีการปลูกจิตสำนึกของคนในชุมชนในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ โดยลดการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้ และร่วมกันฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมให้อุดมสมบูรณ์

5. ผลกระทบทางสุขภาพ มีการเสริมสร้างพัฒนาการทางความคิดทำให้สุขภาพจิตใจ และสุขภาพร่างกายแข็งแรงไม่มีโรคภัย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณที่ปรึกษาโครงการ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่วิจัยจากคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม นักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ชั้นปีที่ 3 คณะครุศาสตร์ โครงการจัดตั้งสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามหน่วยงานราชการ และหน่วยงานเอกชนต่าง ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำ และข้อมูลสนับสนุนเพื่อจัดทำคู่มือฝึกอบรมสำหรับการดำเนินโครงการในครั้งนี้ ทำให้การดำเนินโครงการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2549). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2550-2554). กรุงเทพฯ: สำนักนายกรัฐมนตรี, สำนักงานคณะกรรมการพัฒนา การเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.

[2] วรวิทย์ อวิรุทธ์วรกุล และ ธีระพงษ์ มาลัยทอง. การพัฒนาดัชนีชี้วัดความเข้มแข็งของชุมชน.กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ; 2551.

[3] อารีย์ เชื้อเมืองพาน. 2551. วิถีชีวิตแบบเศรษฐกิจพอเพียง: ทางรอดพ้นกับดักทางเศรษฐกิจและสังคม. วารสารแม่โจ้ปริทัศน์. ปีที่ 9 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน – ธันวาคม 2551: 9 - 11.

[4] สุภัทรา บุญปัญญโรจน์. 2550. ภาวะบริโภคนิยมของวัยรุ่นไทย : ปัจจัยผลักดันสู่สังคมไทย.วารสารรามคำแหง. ฉบับมนุษยศาสตร์ ปีที่ 27 ฉบับที่ 1: 1-2.

[5] สำนักมาตรฐานและการประกันคุณภาพการศึกษา.คู่มือการประกันคุณภาพระดับคณะ ปีการศึกษา 2555. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม : สำนักมาตรฐานและการประกันคุณภาพการศึกษา ; 2555.

[6] นิคม นาคอ้าย. การประเมินผลกระทบที่เป็นประโยชน์จากโครงการบริการวิชาการสู่สังคมประจำปีงบประมาณ 2555-2556. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม : สถาบันวิจัยและพัฒนา ; 2557.

[7] 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 – สกุลว่าที่ร้อยตรี วีระบูลย์กิตติ ชุมพรผ่อง
วัน-เดือน-ปี เกิด19สิงหาคม2535
สถานที่อยู่ปัจจุบัน 59/5 หมู่ที่ 2 ตำบลเนินมะปราง อำเภอเนินมะปรางจังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65190
ประวัติการศึกษา 2559 ปริญญาตรี ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไปมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อปริญญาโท สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

NC72

อิทธิพลของค่าความเป็นกรดและด่างต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผักเหลือทิ้ง

Effect of pH on biogas production of vegetable scraps

ปนัดดา เมฆโต[1] ตุลา มุกทั่ง[1] และฐิติพร เจาะจง[1*]
[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของค่าความเป็นกรดและด่างต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผักเหลือทิ้ง โดยใช้อัตราส่วนของเศษผักกาดขาวต่อจุลินทรีย์ เท่ากับ 80:20 g/mg หมักในขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 ml ระยะเวลาการหมัก 15 วัน โดย ในการทดลองได้ปรับค่า pH ออกเป็น 3 ค่า ได้แก่ 6.5, 7.0 และ 7.5 เพื่อศึกษาอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทน (CH_4) โดยทำการวัดอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ และใช้เครื่องวัดก๊าซชีวภาพรุ่น GFM416 วัดปริมาณก๊าซมีเทนจากผลการทดลองพบว่าค่า pH 7.5 มีการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด เท่ากับ 1,558.50 ml และมีปริมาณก๊าซมีเทน เท่ากับ 53.95% ซึ่งจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่า pH 7.5 จึงทำให้มีประสิทธิภาพในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์เพื่อผลิตอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นสูงสุด

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ, ค่าความเป็นกรดและด่าง, จุลินทรีย์

*Corresponding author: Tel.: 099-2492917. E-mail address: titiporn_ant@psru.ac.th

บทนำ

การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ก่อให้เกิดปัญหามลพิษในด้านต่างๆ โดยเฉพาะปัญหาขยะจากการอุปโภคบริโภคที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกๆวัน จึงเป็นปัญหาที่สำคัญในการจัดการกับขยะและของเสียเหล่านี้ วิธีการกำจัดขยะของเสียที่นิยมใช้คือ การเทกองกลางแจ้ง การฝังกลบ การเผา และการหมักเป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน ซึ่งแต่ละวิธีจะประสบกับปัญหาที่แตกต่างกัน เช่น การเทกองกลางแจ้งบนพื้นให้เกิดการย่อยสลายตามธรรมชาตินั้น จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็น เป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค รวมทั้งก่อให้เกิดความรำคาญต่อประชาชนที่พักอาศัยอยู่บริเวณใกล้เคียงด้วย ส่วนการฝังกลบต้องใช้พื้นที่ในการฝังกลบมาก เกิดการปนเปื้อนของน้ำชะขยะลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน และอาจถูกต่อต้านจากประชาชนในพื้นที่นั้นได้ ส่วนการเผาโดยใช้เตาเผาต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ไม่ว่าจะเป็นค่าก่อสร้างและค่าดูแลซ่อมบำรุง นอกจากนั้นยังก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์อีกด้วย และการหมักเป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดินหรือที่เรียกว่าปุ๋ยหมักนั้น พบว่าผลผลิตที่ได้อยู่ในอัตราที่ต่ำไม่คุ้มทุนและไม่เป็นที่นิยมมากนัก หลายประเทศจึงหาวิธีการกำจัดขยะหรือหาแหล่งพลังงานอื่นเพื่อใช้แทนการเทกองกลางแจ้ง การฝังกลบ การเผา และการหมักเป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน ซึ่งวิธีการกำจัดขยะที่ได้รับความสนใจ ได้แก่ การหมักขยะของเสียหรือการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยที่การผลิตก๊าซชีวภาพนั้นได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เพราะในการผลิตก๊าซชีวภาพนอกจากจะได้พลังงานแล้วยังสามารถลดปริมาณของเสียลงได้อีกด้วย

ก๊าซชีวภาพเริ่มมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในแถบชนบทของหลายประเทศ ซึ่งได้มาจากการหมักขยะของเสียชนิดต่างๆ เช่น เปลือกกล้วย เปลือกสับปะรด มูลวัว ขยะจากบ้านเรือน ผักผลไม้ เป็นต้น ในประเทศไทย พบว่าขยะ

ในของเสียจากเทศบาลประกอบด้วยปริมาณผักเหลือทิ้งอยู่ 25.75 % ที่เหลือเป็นกระดาษ แก้ว พลาสติก โลหะ ใบไม้ และอื่นๆ [1] โดยเศษผักเหลือทิ้งส่วนใหญ่มาจากร้านขายผักเป็นจำนวนมาก รองลงมาเป็นร้านอาหาร และการประกอบอาหารในครัวเรือน จึงมีความน่าสนใจที่จะนำเศษผักเหลือทิ้งเหล่านี้มาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพโดยวิธีการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีปัจจัยอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน จุลินทรีย์แต่ละชนิดจึงมีช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน [2] จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการศึกษาค่าความเป็นกรด – ด่าง ที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของกองขยะทั่วไปและขยะอินทรีย์ พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่าง ที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพดีที่สุด คือค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.5 [3] ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพจากเศษผักเหลือทิ้ง เพื่อหาค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีความเหมาะสมต่อการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด

วิธีการวิจัย

1. วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์	
1. เศษผักกาดขาว	2. มูลวัว
3. ตู้อบ	4. ถ้วยครูซิเบิล
5. โถดูดความชื้น	6. เครื่องชั่งดิจิตอล
7. บีกเกอร์	8. เครื่องปั่น
9. กระบอกตวง	10. เครื่องพีเอชมิเตอร์
11. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้น 2 โมลาร์)	12. เครื่องวัดก๊าซชีวภาพรุ่น GFM416
13. ชุดถังหมักขนาด 1,000 มิลลิลิตร	

2. ขั้นตอนการเตรียมจุลินทรีย์และเศษผักกาดขาวบดละเอียด

2.1 เตรียมจุลินทรีย์ โดยนำมูลวัวผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 แล้วนำไปหมักเป็นเวลา 5-7 วัน

2.2 เตรียมผักกาดขาวบดละเอียด โดยการนำผักกาดขาวมาบดให้ละเอียด

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ของตัวอย่างจุลินทรีย์กับเศษผักกาดขาวที่บดละเอียดก่อนผสม

3.1 นำถ้วยครูซิเบิลกับเม็ดซิลิกาเจลไปอบที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พักทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักนำตัวอย่างจุลินทรีย์กับเศษผักกาดขาวที่บดละเอียด ปริมาณ 1 กรัม ใส่ในถ้วยครูซิเบิล แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พักทิ้งไว้ให้เย็นชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกค่า เพื่อนำไปคำนวณหาค่า %TS จากสมการที่ 1

$$\%TS = \frac{A-B}{C} \times 100 \qquad (1)$$

โดย TS คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (mg/L)

A คือ น้ำหนักของตัวอย่างและถ้วยระเหย (mg)

B คือ น้ำหนักของถ้วยระเหย (mg)

C คือ ปริมาณน้ำตัวอย่างที่ใช้ (mg)

4. ขั้นตอนการหมักและตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

4.1 นำเศษผักกาดขาวกับจุลินทรีย์บดละเอียดผสมกันในอัตราส่วน 80:20 g/mg โดยใช้ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) 15 % ของขนาดขวดรูปชมพู่ 1,000 ml ใช้ผักกาดขาวบดละเอียด ปริมาณ 328.2 g ร่วมกับจุลินทรีย์ ปริมาณ 252.1 g จากนั้นเทผสมเข้าด้วยกัน แล้วนำน้ำเปล่าเทผสมจนถึง 1,000 ml ของบีกเกอร์

4.2 กำหนดค่า pH ของเศษผักกาดขาวบดละเอียดกับจุลินทรีย์ในชุดที่ 1, 2 และ 3 โดยกำหนดค่า pH เท่ากับ 6.5, 7.0, และ 7.5 ตามลำดับ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลาร์ เพื่อปรับค่า pH และใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์วัดค่า pH ส่วนชุดที่ 4 ไม่ต้องปรับค่า pH

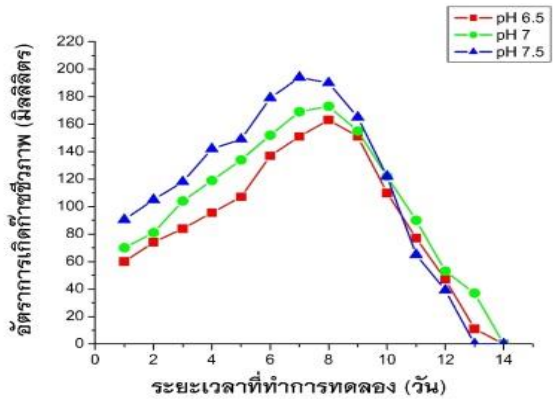
4.3 เทลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 ml ปิดปากขวดให้สนิทและนำสายยางต่อระหว่างขวดหมักกับ ถังก๊าซเพื่อวัดปริมาณก๊าซชีวภาพในแต่ละวัน

5. ขั้นตอนการเก็บผลอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและปริมาณมีเทน

5.1 ทำการเก็บก๊าซชีวภาพโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ นำน้ำที่ได้ในแต่ละวันใส่กระบอกตวง และเก็บปริมาณก๊าซมีเทนด้วยเครื่องชีวภาพรุ่น GFM416 แล้วจดบันทึกข้อมูลทุกวัน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

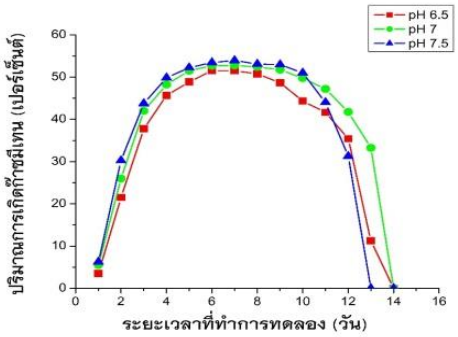
จากภาพที่ 1 พบว่าที่ pH 6.5 มีค่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมากขึ้นเมื่อระยะเวลามากขึ้นจนมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมากสุดเท่ากับ 163.00 ml ในวันที่ 8 ของการทดลอง และหลังจากนั้นอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพลดลงอย่างต่อเนื่องจนไม่มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในวันที่ 14 ซึ่งอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมที่ได้เท่ากับ 1,267.50 ml การทดลองค่า pH 7.0 มีค่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมากขึ้นเมื่อระยะเวลามากขึ้นจนมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมากสุดเท่ากับ 173.00 ml ในวันที่ 8 ของการทดลอง และหลังจากนั้นอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพลดลงอย่างต่อเนื่องจนไม่มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในวันที่ 14 ซึ่งอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมที่ได้เท่ากับ 1,459.00 ml และการทดลองค่า pH7.5 มีค่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมากขึ้นเมื่อระยะเวลามากขึ้นจนมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมากสุด เท่ากับ 194.00 ml ในวันที่ 7 ของการทดลอง และหลังจากนั้นอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพลดลงอย่างต่อเนื่องจนไม่มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในวันที่ 13 ซึ่งอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมที่ได้เท่ากับ 1,558.50 ml ในการทดลองพบว่าค่า pH ทั้ง 3 ค่า มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงแรกของการทดลองเนื่องจากในช่วงแรกมีปริมาณสารอินทรีย์มากในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีในช่วงแรกหลังจากวันที่ 7 และ 8 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพลดลงอย่างต่อเนื่องจนไม่มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น เนื่องจากในระบบสารอินทรีย์มีปริมาณลดลงทำให้จุลินทรีย์ไม่มีสารอาหารในการเจริญเติบโตเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ [3]



ภาพที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่า pH ที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองพบว่า ที่ค่า pH 7.5 มีค่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด เท่ากับ 1,558.50 ml เนื่องจากก๊าซชีวภาพจะถูกผลิตได้ดี เมื่อมีความเป็นกรด-ด่างอยู่ในระดับด่างอ่อนๆ กล่าวคือมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7.5 มีความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จึงทำให้มีประสิทธิภาพในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นสูงสุด และจุลินทรีย์ในกระบวนการสร้างมีเทน ไม่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับค่า pH ต่ำกว่า 6.0 หรือมากกว่า 8.0 จุลินทรีย์กลุ่มนี้อาจจะเกิดอาการช็อกหยุดการเจริญเติบโตชั่วคราวทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายลดลง [5, 6]

จากภาพที่ 2 พบว่าค่า pH ทั้ง 3 ค่า มีปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) เกิดในวันแรกมีปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่ากับ 3.50% 5.50% 6.25 % ตามลำดับ เนื่องจากในช่วงแรกการย่อยสลายสารอินทรีย์อยู่ในกระบวนการของ ไฮโดรไลซีส (Hydrolysis) อะซิโดเจนีซีส (Acidogenesis) และอะซิโตเจนีซีส (Acetogenesis) ที่มีจุลินทรีย์สร้างกรดในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้เกิด กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดวาเลอริก กรดแลคติก และไฮโดรเจน เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ และปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อมีค่า pH ที่เพิ่มสูงขึ้น [7] ในช่วงระยะเวลาในวันที่ 7 การทดลองค่า pH 6.5 มีค่าปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) เท่ากับ 51.50 % การทดลองค่า pH 7.0 มีค่าปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) เท่ากับ 52.75 % และการทดลองค่า pH 7.5 มีค่าปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) เท่ากับ 53.95 % ตามลำดับ



ภาพที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่า pH ที่ทำให้เกิดปริมาณก๊าซมีเทน

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองพบว่า ที่ค่า pH 7.5 มีค่าปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) เกิดขึ้นสูงสุด เท่ากับ 53.95 % เนื่องจากในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน จะย่อยสลาย กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดวาเลอริก กรดแลคติก และไฮโดรเจน ที่ได้จากกระบวนการสร้างกรด จุลินทรีย์ที่เป็นตัวสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก โดยเฉพาะค่า pH ต่ำกว่า 6 ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ จุลินทรีย์สร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีอยู่ในระดับด่างอ่อนๆ กล่าวคือมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7.5 [7] นอกจากนี้จุลินทรีย์สร้างมีเทนต้องการสารอาหารที่โครงสร้างไม่ซับซ้อนในการดำรงชีพ ดังนั้นการเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นตัวสร้างมีเทนจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของจุลินทรีย์ในขั้นตอนไฮโดรไลซีส (Hydrolysis) และการสร้างกรด โดยจุลินทรีย์ทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน [2]

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองอิทธิพลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผักเหลือทิ้ง พบว่าค่า pH 7.5 มีการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด โดยมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสะสม เท่ากับ 1,558.50 ml และมีปริมาณก๊าซมีเทนเท่ากับ 53.95 % ซึ่งจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่า pH 7.5 จึงทำให้มีประสิทธิภาพในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์เพื่อผลิตอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนฯ. **สถานการณ์เศษขยะปัจจุบันในประเทศไทย.** (2557). จาก : http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=1841:2010-09-22-07-02-07&catid=128” (วันที่สืบค้นข้อมูล 18 กรกฎาคม 2557).

[2] กรมโรงงานอุตสาหกรรม.(2553). **คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิต การควบคุมคุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas)**. สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

[3] ตระกูลศักดิ์ เสนานิคม. (2553). **การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากกองขยะ**. สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[4] กลิ่นปทุม ปัญญาปิง. (2555). **ศักยภาพการย่อยสลายให้ก๊าซมีเทนของก้านและใบไม้หลายชนิด สาขาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม.คณะวิศวกรรมศาสตร์** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่.

[5] Margarita Andreas Dareioti, AikateriniloannisVavouraki, Michael Kornaros. (2014). Effect of pH on the anaerobic acidogenesis of agroindustrial wastewaters for maximization of biohydrogen production: A lab-scale evaluation using batch test. **Bioresource Technology**. 162. 218-227.

[6] ซัยวานี จิใจ, ชัยรัตน์ ศิริพัธนะ. (2559). **การผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการหมักร่วมระหว่างมูลไก่กับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตขนมจีน**. คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร : มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

[7] พัชรี อินธนู, จิตติยา แทนคำ. (2560). การย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้อากาศของสารอินทรีย์ประเภทเศษอาหารเข้มข้นในกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร**. (11)(1) , 92-101.

NC78

ผลของอาหารเสริมต่อการผลิตไบโอไฮโดรเจนจากกล้วยหอมโดยจุลินทรีย์ในน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์

Effect of Endo-nutrients on Bio-hydrogen Production from Cavendish Banana by Microbial Consortium in Bioreactor Effluent

โสภี พันอินทร์[1] ชยานนท์ สวัสดีนฤนาท[1] พสุ ปราโมกข์ชน[1, 2] และหทัยทิพย์ สินธุยา[1*]
[1] สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 50180
[2] ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 50180

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมอาหารเสริมในการผลิตไบโอไฮโดรเจนโดยการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่เตรียมโดยการหมักจากกล้วยหอมกับจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ ทำการทดลองโดยการผสมน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์กับกล้วยหอมปั่นในอัตราส่วน 1:1 (w/w) โดยปรับค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นให้มีค่าเท่ากับ 5.5 นำไปทำปฏิกิริยาในเครื่องเขย่าสารควบคุมอุณหภูมิ 35 °C ที่ความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 103 ชั่วโมง จากผลการทดลองแสดงว่ากระบวนการหมักที่ไม่มีการเติมอาหารเสริมสามารถผลิตก๊าซสะสมได้น้อยกว่ากระบวนการหมักที่มีการเติมอาหารเสริม แต่กระบวนการหมักที่ไม่มีการเติมอาหารเสริมสามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้มากกว่า โดยพบว่ามีความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนสูงสุดเท่ากับ 34.83% (47.39 mlH_2) และเทียบเท่าค่าความร้อนสูง (HHV) เท่ากับ 0.56 kJ และพบว่าหลังจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจนมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดี ($COD_{removed}$) เท่ากับ 19.64%

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of endo-nutrient on bio-hydrogen production via anaerobic digestion fermented from Cavendish banana with microbial consortium from bioreactor effluent. Experimental study was carried out by mixing of bioreactor effluent with blended Cavendish banana at a ratio of 1:1 (w/w). The Initial pH value was adjusted to 5.5. The fermentation was done at 35 °C in the shaker incubator at a speed of 150 rpm for 103 hours. The results showed that, even though the fermentation without endo-nutrients could produce accumulation gas lower than the fermentation with endo-nutrients, higher hydrogen gas concentration was obtained from the fermentation without endo-nutrients. The maximum gas concentration was found to be 34.83% (47.39 mlH_2) with energy of higher heating value (HHV) equivalent to of 0.56 kJ. After the hydrogen production process was completed, $COD_{removed}$ was 19.64%.

คำสำคัญ: กล้วยหอม อาหารเสริม น้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน

*Corresponding author: Tel.: 093-2840993. E-mail address: hathaithip_nin@cmru.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันการศึกษาการผลิตก๊าซไฮโดรเจนเป็นที่สนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนเป็นพลังงานสะอาด ให้พลังงานที่สูงประมาณ 33.3-39.4 kWh/kg โดยเมื่อเทียบกับพลังงานเชื้อเพลิงอื่น เช่น การขนส่งด้วยเครื่องยนต์เบนซิน พบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด 65% ในขณะที่เครื่องยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยเชื้อเพลิงเบนซินสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเพียงแค่ 25% เท่านั้น [1] ก๊าซไฮโดรเจนเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถใช้ทดแทนพลังงานฟอสซิล โดยกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical processes) กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยใช้อุณหภูมิสูง (Thermal processes) กระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยกระบวนการหมักแบบใช้แสง (Photo fermentation) และกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนโดยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้แสง (Dark fermentation) ซึ่งกระบวนการแบบไม่ใช้แสงนี้เป็นกระบวนการที่นิยมเป็นอย่างมากในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน เนื่องจากเป็นวิธีการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ใช้ต้นทุนต่ำ สามารถควบคุมระบบการหมักได้ง่าย [2] วิธีการหมักทางชีวภาพแบบไม่ใช้แสงเกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศ โดยเป็นการทำงานของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศ ซึ่งทำให้เกิดกรดอินทรีย์และก๊าซไฮโดรเจนขึ้น [3-4] ระบบการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพการบำบัดค่าซีโอดีของเสียอินทรีย์ โดยปริมาณค่าซีโอดีของวัตถุดิบมีผลต่ออัตราการผลิตก๊าซไบโอไฮโดรเจน นอกจากนี้ยังสามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้จากพืชประเภทชีวมวล เช่น เศษเหลือใช้ทางการเกษตร กากอุตสาหกรรม และน้ำเสีย โดยประเทศไทยในปี พ.ศ. 2560 มีปัญหาเรื่องกล้วยหอมล้นตลาด ซึ่งทางรัฐบาลช่วยเหลือรับซื้อในจำนวนจำกัดทำให้ราคาตกต่ำ [5] ส่งผลให้มีจำนวนกล้วยหอมตกค้างรอการกำจัดทิ้งเป็นจำนวนมาก บางส่วนถูกนำไปเป็นอาหารสัตว์ ทั้งนี้ กล้วยเป็นของเสียเหลือทิ้งที่มีน้ำตาลและเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไฮโดรเจนโดยวิธีการทางชีวภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากกล้วยหอม โดยทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมระหว่างน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ที่เติมอาหารเสริมและไม่เติมอาหารเสริม ซึ่งหัวเชื้อจากน้ำเสียเป็นแหล่งของจุลินทรีย์กลุ่มผสมที่สามารถผลิตไฮโดรเจนได้มีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ไฮโดรจีเนสและวิถีการผลิตไฮโดรเจนโดยจุลินทรีย์ [6] งานวิจัยนี้นอกจากจะได้พลังงานไฮโดรเจนที่เป็นพลังงานสะอาดแล้วยังช่วยลดปัญหาจากขยะอินทรีย์ที่มาจากกล้วยหอมได้อีกทางหนึ่งด้วย โดยสามารถนำมาต่อยอดในประเทศไทยเพื่อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทน: AEDP 2015 ซึ่งเป็นการพัฒนาเพื่อผลิตพลังงานทดแทนที่เหมาะสม โดยพิจารณาถึงประโยชน์ทางด้านสังคม และสิ่งแวดล้อมของชุมชน [7]

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้มีการเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์ การเตรียมอาหารเสริม การทดลองเพื่อผลิตก๊าซไฮโดรเจนและการวิเคราะห์ข้อมูล ดังต่อไปนี้

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

การเตรียมกล้วยหอมโดยทำการหั่นเป็นชิ้นเล็กประมาณ 2-3 cm แล้วนำไปปั่นให้ละเอียดผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน กล้วยหอม 400 g ต่อ น้ำ 400 g ทำการปั่นด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 30 sec โดยกล้วยหอมที่ผ่านการปั่นใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตไบโอไฮโดรเจน ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายของเหลวของกล้วยหอมที่ผ่านการปรับสภาพเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธี Phenol-sulfuric acid [8] และส่วนที่เหลือได้จัดเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อป้องกันการเน่าเสีย

การเตรียมหัวเชื้อ

หัวเชื้อจุลินทรีย์ คือ น้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ (Waste from bioreactor) ซึ่งเป็นน้ำทิ้งขาออกจากกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากระบบถังปฏิกรณ์ CSTR โดยน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ไม่ต้องผ่านการปรับสภาพหัวเชื้อ เนื่องจากเป็น

เชื้อที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจน จากนั้นนำหัวเชื้อมาทำการปรับความเป็นกรดด่างเป็น 5.5 เติมก๊าซอาร์กอนเพื่อไล่ออกซิเจนออกจากหัวเชื้อและปิดฝาขวดดูแรน เพื่อทำการเลี้ยงในสภาพไร้อากาศและเป็นกระตุ้นเชื้อจุลินทรีย์โดยนำไปไว้ที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้เป็นหัวเชื้อในการหมักร่วมกับกล้วยหอมเพื่อผลิตไบโอไฮโดรเจน

การเตรียมอาหารเสริม

เตรียมอาหารเสริมสำหรับการผลิตไบโอไฮโดรเจนโดยชั่ง NH_4HCO_3 5240 mg, K_2PO_4 125 mg, $MgCl_2•6H_2O$ 100 mg, $MnSO_4•6H_2O$ 15 mg, $FeSO_4•7H_2O$ 25 mg, $CuSO_4•5H_2O$ 5 mg, $CoCl_2•5H_2O$ 0.125 mg, และ $NaHCO_3$ 6720 mg ละลายในน้ำกลั่น DI ผสมให้เข้ากันแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 L โดยมีการเติมอาหารเสริมจากปริมาตรในการหมักจริง 70 mL ต่อ 0.07 ml ของอาหารเสริม [9]

การผลิตไบโอไฮโดรเจนจากกล้วยหอม

งานวิจัยนี้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อประเมินศักยภาพทางการผลิตไบโอไฮโดรเจนจากกล้วยหอมร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์น้ำเสียถังปฏิกรณ์ โดยการทำทดลองแบบแบทช์ในขวดแก้วขนาด 235 ml โดยเติมกล้วย (35 g) และหัวเชื้อ (35 g) ในอัตราส่วน 1:1 (w/w) และเติมอาหารเสริมในอัตราส่วน 1 mL/L โดยมีการหมัก 2 แบบ เพื่อทำการเปรียบเทียบ ได้แก่ (กล้วยหอม + น้ำเสียจากถังปฏิกรณ์) และ (กล้วยหอม + น้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ + อาหารเสริม) ทำการปรับ pH เริ่มต้นให้มีค่าเท่ากับ 5.5 ด้วย 1N HCl หรือ 1N NaOH ทำการไล่อากาศภายในขวดออกด้วยการเติมก๊าซอาร์กอนเข้าไปแทนที่ขวดละ 5 นาที เพื่อให้ขวดอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน ปิดฝาขวดทดลองด้วยจุกยางแล้วปิดด้วยอะลูมิเนียมแคปนำไปตั้งไว้ที่อุณหภูมิ 35 °C ในเครื่อง Orbital shaker incubator ความเร็วในการกวน 150 rpm เป็นเวลา 103 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ติดตามผลการทดลอง โดยวัดปริมาตรของก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยใช้หลอดฉีดยาแล้ววิเคราะห์หาความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC) นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาตรไฮโดรเจนสะสมโดยใช้สมการ Mass balance equation รายงานผลแสดงในหน่วย mL/L [10]

วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊ส โดยแก๊สโครมาโตกราฟี ชนิดตัวตรวจวัดค่าการนำความร้อน (GC-TCD) โดยอุณหภูมิการฉีดสาร ตัวตรวจวัด และคอลัมน์ เท่ากับ 40 °C, 40 °C และ 28 ± 1 °C ตามลำดับ ก๊าซอาร์กอนถูกใช้เป็นก๊าซพาที่ความดัน 2 bar ส่วนสำหรับปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ถูกกำหนดโดยผลิตภัณฑ์สด โดยนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนของแข็งที่ระเหยได้ (VS) ได้จากการหาน้ำหนักตัวอย่างแห้งที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างการผลิตก๊าซไบโอไฮโดรเจนประกอบด้วย ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Chemical oxygen demand, COD) ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) และวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง ก่อน-หลังการผลิตไบโอไฮโดรเจน นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาค่า pH, TS, VS, COD ของวัตถุดิบในขวดหมัก $\%COD_{removed}$ ดังสมการที่ 1 [11]

$$\%COD_{removel} = \frac{COD_i - COD_f}{COD_i} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ COD_i และ COD_f คือค่าซีโอดีก่อนและหลังการผลิตก๊าซไบโอไฮโดรเจนตามลำดับ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ก่อนการทำการหมักก๊าซไฮโดรเจนโดยวิธีทางชีวภาพแบบไม่ใช้แสง ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซไบโอไฮโดรเจน ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยผลการทดสอบ พบว่า ค่าผลของซีโอดีทั้งหมด (T-COD) ของหัวเชื้อน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์มีค่า 33.7 g/L จากการเลือกใช้น้ำเสียจากถังปฏิกรณ์กับกล้วยหอมเป็นวัตถุดิบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ยัง พบว่า กล้วยหอมมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) มีค่าเท่ากับ 16.8 g/L มีค่าสูงเมื่อเทียบกับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากเปลือกสับปะรดที่มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 9.8 g/L [12] โดย

ค่าพีเอช (pH) ของกล้วยหอมและน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์มีค่าเท่ากับ 4.16 และ 4.88 ตามลำดับ ซึ่งค่าพีเอชวัตถุดิบค่อนข้างต่ำในการผลิตก๊าซไบโอไฮโดรเจน จึงจำเป็นต้องปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้มีค่าเท่ากับ 5.5 เนื่องจากเหมาะสมในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Karen T. ที่สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนสูงสุดเมื่อใช้ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5.5 [13]

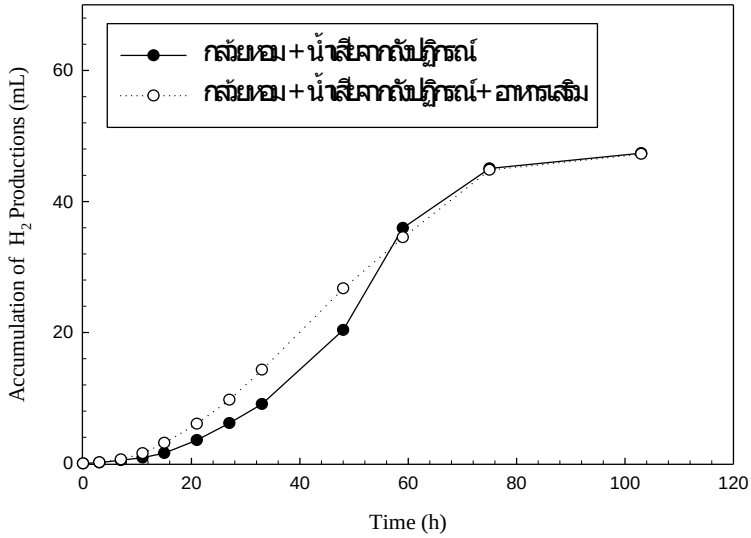
ตารางที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักก๊าซไบโอไฮโดรเจน

วัตถุดิบ	pH	T-COD (g/L)	Total sugar (g/L)	NH_3 - N (mg/L)	TS (g/L)	VS (g/L)
กล้วยหอม	4.16	48.21	16.8	0.34	12.53	33.4
น้ำเสียจากถังปฏิกรณ์	4.88	33.7	25.0	283.67	1.45	2.02

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี ความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมด ก่อนและหลังการผลิตก๊าซไบโอไฮโดรเจน ผลการทดลองพบว่า หลังการผลิตก๊าซไบโอไฮโดรเจน ปริมาณน้ำตาลลดลง เนื่องจากในระหว่างการหมักจุลินทรีย์ได้ใช้น้ำตาลที่มีอยู่ในกล้วยหอมมาใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งเป็นกระบวนการในขั้นตอนของอะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis) คือ การเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายให้เป็นกรดอะซิติก หรือ เกลืออะซิเทต โดยการทำงานของอะซิโตจินิกแบคทีเรีย (Acetogenic bacteria) ที่มาจากหัวเชื้อน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ เป็นปฏิกิริยาสำคัญในการไม่ให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหย และก๊าซไฮโดรเจน ในปริมาณมากพอที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาขั้นต่อไป เมื่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนสิ้นสุด จะทำให้ปริมาณน้ำตาลในระบบลดลง และจากความสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงให้เห็นได้ว่าจุลินทรีย์ใช้น้ำตาลเพิ่มมากขึ้นเพื่อนำไปผลิตก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่า น้ำตาลบางส่วนไม่ได้ถูกนำไปสร้างก๊าซไฮโดรเจนเพียงอย่างเดียว แต่ถูกนำไปสร้างเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ซึ่งน้ำเสียเป็นแหล่งของจุลินทรีย์กลุ่มผสมที่สามารถผลิตไฮโดรเจนได้ นอกจากน้ำเสียยังมีจำพวกมูลสัตว์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อน ซึ่งสามารถเปลี่ยนมูลสัตว์ที่มีสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซไฮโดรเจนได้ ทั้งนี้ยังพบว่ามีจุลินทรีย์กลุ่ม *Clostridium* sp. ในมูลสัตว์ซึ่งจุลินทรีย์กลุ่มนี้มีความสามารถในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ [14]

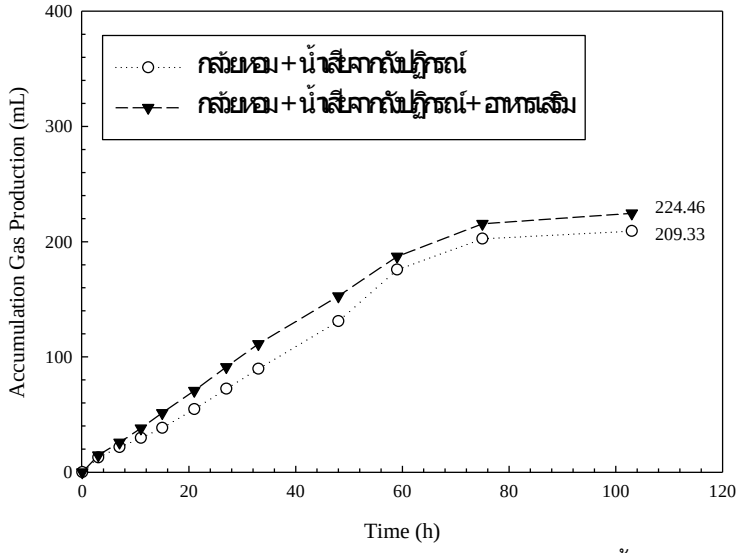
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดี และความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมด ก่อนและหลังการผลิตก๊าซไบโอไฮโดรเจน

ตัวอย่าง	COD_i (mg/L)	COD_f (mg/L)	$COD_{removed}$ (%)	ปริมาณน้ำตาลก่อนการหมัก (g/L)	ปริมาณน้ำตาลหลังการหมัก (g/L)
กล้วยหอม+น้ำเสียจากถังปฏิกรณ์	48.29	38.81	19.64	8.07	1.15
กล้วยหอม+น้ำเสียจากถังปฏิกรณ์+อาหารเสริม	40.83	33.73	17.40	8.03	1.18

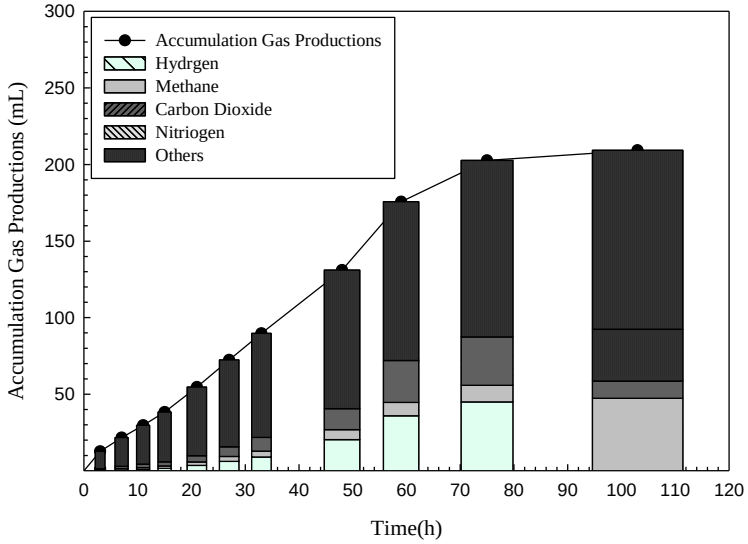


ภาพที่ 1 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนจากการหมักกล้วยกับน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมอาหารเสริม และไม่เติมอาหารเสริม

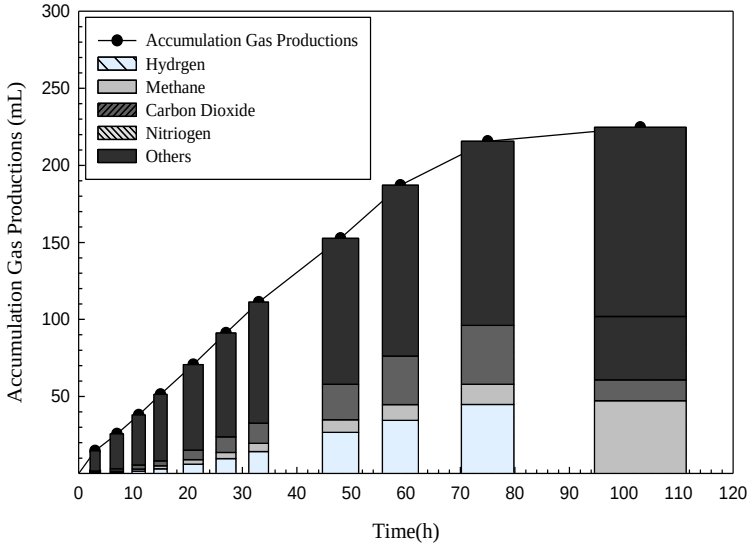
จากการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากกล้วยหอมร่วมกับน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ พบว่า ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากการหมักแบบไม่เติมอาหารเสริมมีค่าใกล้เคียงกันกับการหมักแบบเติมอาหารเสริม โดยมีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 47.39 และ 47.26 H_2ml ตามลำดับ ดังแสดงภาพที่ 1 การหมักกล้วยหอมกับน้ำเสีย ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมดในการทดลองที่ไม่มีอาหารเสริมสูงกว่ามีอาหารเสริม ซึ่งมีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน โดยการหมักแบบไม่มีการเติมอาหารเสริมและแบบมีการเติมอาหารเสริมมีค่าความเข้มข้นของปริมาณก๊าซไฮโดรเจน เท่ากับ 34.83 กับ 29.82% ตามลำดับ และค่า COD $_{removed}$ มีค่าเท่ากับ 19.64 กับ 17.40% ตามลำดับ โดยการเติมอาหารเสริมส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าแบบไม่เติมอาหารเสริมจาก 8.07 ลดลงเป็น 8.03 g/L ดังแสดงตารางที่ 2 ทั้งนี้การผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากกล้วยหอมโดยใช้น้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาณซีโอดีเริ่มต้นมีค่าน้อย และเป็นระบบการหมักแบบแบตช์ ทำให้ความสามารถผลิตก๊าซที่เกิดจากการหมักใช้ระยะเวลาสั้นอยู่ที่ 103 ชั่วโมง แต่ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนมีค่าคงที่



ภาพที่ 2 ปริมาณก๊าซสะสมไบโอไฮโดรเจนของการหมักกล้วยหอมร่วมกับน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์



ก (1)



ก (2)

ภาพที่ 3 ปริมาตรก๊าซสะสม และองค์ประกอบแก๊สที่เกิดจากกระบวนการหมักกล้วยหอม
ก (1) ไม่มีการเติมอาหารเสริม ก (2) เติมอาหารเสริม

จากการศึกษาปริมาตรก๊าซสะสม และองค์ประกอบแก๊สที่เกิดจากกระบวนการหมักกล้วยหอม โดยทำการเปรียบเทียบผลของการเติมอาหารเสริมกับไม่มีการเติมอาหารเสริม พบว่า การหมักโดยการเติมอาหารเสริมและการหมักโดยไม่เติมอาหารเสริมสามารถผลิตก๊าซสะสมเท่ากับ 224.46 และ 209.33 ml ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งแบบการไม่มีเติมอาหารเสริมทำให้ผลิตก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 47.39 11.28 33.67 และ 116.99 ml ตามลำดับ ส่วนแบบเติมอาหารเสริม มีเท่ากับ 47.26 13.60 41.04 และ 122.77 ml ตามลำดับ ซึ่งอาหารเสริมที่เติมไม่สามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนสูงขึ้น แต่ถูกนำไปสร้างเป็นผลิตภัณฑ์อื่นร่วมด้วย เช่น กรดไขมันระเหยง่าย แอลกอฮอล์ เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยการหมักโดยไม่เติมอาหารเสริม และเติมอาหารเสริม มีค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจน 34.83% (47.39 H_2ml) และ 29.82% (47.26 H_2ml) ตามลำดับ และเทียบเท่า

ค่าความร้อนสูง (HHV) เท่ากับ 0.56 kJ อ้างอิงจากประสิทธิภาพการแปลงพลังงานคำนวณจากความหนาแน่นและค่าความร้อนของก๊าซ H_2 ได้แก่ 0.09 kg/m^3 และ 143 kJ/g ตามลำดับ [15]

สรุปผลการวิจัย

จากการหมักกล้วยหอมร่วมกับหัวเชื้อน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์เพื่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจน พบว่าการเติมอาหารเสริมสามารถช่วยเพิ่มการผลิตก๊าซสะสม แต่สำหรับการผลิตไบโอไฮโดรเจนนั้น การหมักแบบไม่มีการเติมอาหารเสริมและแบบมีการเติมอาหารเสริมมีค่าความเข้มข้นของปริมาณก๊าซไฮโดรเจน เท่ากับ 34.83 กับ 29.82% ตามลำดับ และค่า COD $_{removed}$ มีค่าเท่ากับ 19.64 กับ 17.40% ตามลำดับ ซึ่งจากเติมอาหารเสริมทำให้สร้างกรดไขมันระเหยง่ายขึ้น โดยค่ากรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความเป็นกรดด่างลดลงแล้วมีผลยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ผลิตไฮโดรเจนเปลี่ยนเป็นสร้างก๊าซอื่น ๆ แทนการสร้างก๊าซไฮโดรเจน ทั้งนี้การเติมอาหารเสริมไม่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นเมื่อใช้หัวเชื้อเป็นน้ำเสียจากถังปฏิกรณ์ สุดท้ายนี้วัตถุดิบที่ได้จากกล้วยหอมมีความเป็นไปได้ และมีศักยภาพในการผลิตก๊าซไบโอไฮโดรเจน โดยการทดลองเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษา ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มการผลิตก๊าซไฮโดรเจน ให้ได้ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนเพียงพอต่อการใช้ประโยชน์ และสามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้ดี จึงมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาสู่ระดับปฏิบัติการและระดับอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง

[1] P. P. Edwards, V. L. Kuznetsov, W. I. David, and N. P. Brandon, (2008). Hydrogen and fuel cells: towards a sustainable energy future. **Energy policy**. 36, 4356-4362.

[2] D. Das and T. N. Veziroglu, (2008). Advances in biological hydrogen production processes. **International journal of hydrogen energy**. 33, 6046-6057.

[3] A. Ghimire, L. Frunzo, F. Pirozzi, E. Trably, R. Escudie, P. N. Lens*, et al.*, (2015). A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: process parameters and use of by-products. **Applied Energy**. 144, 73-95.

[4] S. R. B. Baldursson, (2006). BioHydrogen: bioprospecting: thermophilic hydrogen producing anaerobes in Icelandic hot-springs.

[5] ไพศาล กะกุลพิมพ์, (2560) การจัดการผลิตและการตลาดกล้วยหอมทองของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกล้วยหอมทองวังหลวง อำเภอเฝ้าไร่ จังหวัดหนองคาย. **Journal of Graduate School of Commerce-Burapha Review**.12, 45-56.

[6] S. V. Mohan, V. L. Babu, and P. Sarma, (2007). Anaerobic biohydrogen production from dairy wastewater treatment in sequencing batch reactor (AnSBR): effect of organic loading rate. **Enzyme and Microbial Technology**. 41, 506-515.

[7] โฆษิตกิตติ วงศ์ดวงฤดี, (2017). พลังงานคลื่นในประเทศไทย: นโยบาย และความเหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า. **Srinakharinwirot Engineering Journal**. 11.

[8] M. R. Rover, P. A. Johnston, B. P. Lamsal, and R. C. Brown. (2013). Total water-soluble sugars quantification in bio-oil using the phenol–sulfuric acid assay. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 104, 194-201.

[9] C. Y. Lin and C. H. Lay, (2005). A nutrient formulation for fermentative hydrogen production using anaerobic sewage sludge microflora. **International Journal of Hydrogen Energy**. 30, 285-292.

[10] Y. Zhang and J. Shen, (2006). Effect of temperature and iron concentration on the growth and hydrogen production of mixed bacteria. **International Journal of Hydrogen Energy**. 31, 441-446.

[11] M. Hassan, W. Ding, J. Bi, E. Mehryar, Z. A. A. Talha, and H. Huang, (2016). Methane enhancement through oxidative cleavage and alkali solubilization pre-treatments for corn stover with anaerobic activated sludge. **Bioresource technology**. 200, 405-412.

[12] เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์, (2017). ผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง เริ่มต้นที่มีต่อการผลิตไฮโดรเจนจากเปลือกสับปะรดโดยกลุ่มจุลินทรีย์ในมูลวัว. **Research Journal Phranakhon Rajabhat: Science and Technology**. 12, 13-23.

[13] K. Trchounian and A. Trchounian, (2013). Escherichia coli hydrogenase 4 (hyf) and hydrogenase 2 (hyb) contribution in H_2 production during mixed carbon (glucose and glycerol) fermentation at pH 7.5 and pH 5.5, **International Journal of Hydrogen Energy**.38, 3921-3929.

[14] D. Girija, K. Deepa, F. Xavier, I. Antony, and P. Shidhi, (2013). Analysis of cow dung microbiota-a metagenomic approach.

[15] G. Peixoto, J. L. R. Pantoja-Filho, J. A. B. Agnelli, M. Barboza, and M. Zaiat, (2012). Hydrogen and methane production, energy recovery, and organic matter removal from effluents in a two-stage fermentative process, **Applied biochemistry and biotechnology**. 168, 651-671.

NC99

การปลดปล่อยเสียงและแผนที่เส้นเสียงเท่าของฟาร์มกังหันลมขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 80 เมกกะวัตต์

Noise Emissionand Noise Contour Mapof Wind Farm 80 MW installed capacity

สมพล ชีวมงคลกานต์[1*] ชนะ จันทร์ฉ่ำ[2] และจอมภพ แววศักดิ์[3]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210
[2]ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210
[3] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปลดปล่อยเสียงของฟาร์มกังหันลมขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 80 เมกกะวัตต์ในพื้นที่อำเภอซับใหญ่ของจังหวัดชัยภูมิโดยอาศัยการจำลองแบบเสียงที่ปลดปล่อยออกมาจากกังหันลมขนาดใหญ่ และแบบจำลองการแผ่กระจายของเสียงภายใต้การลดทอนเนื่องจากอิทธิพลของสภาพแวดล้อมเชิงพื้นที่เพื่อทำนายระดับความดังของเสียงที่ระดับพื้นดินและจัดทำแผนที่เสียงเท่า (Noise Contour Map) ราย 6 เดือนตั้งแต่มกราคม-มิถุนายน 2560 และทำการตรวจวัดเสียงดังรบกวนระหว่างวันที่ 22 - 25 มิถุนายน 2560 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตลอดระยะเวลา 3 วันต่อเนื่องพบว่า การปลดปล่อยเสียงจากแหล่งกำเนิดของเครื่องกังหันลมผลิตไฟฟ้า ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 80 เมกะวัตต์ มีการปลดปล่อยเสียงดังออกมาบริเวณโคนเสาของกังหันลม (Tower) (WTG 01- WTG 32) มีค่าอยู่ระหว่าง 47.71 – 48.80 dB(A)แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าผลการทำงานของกังหันลมในพื้นที่ของโรงไฟฟ้า ไม่มีผลกระทบและก่อให้เกิดมลพิษทางเสียง โดยใช้ข้อมูลลมจากเสาวัดลมที่ครอบคลุมระยะเวลา 6 เดือน พบว่าระดับความดังของเสียงที่ระดับพื้นดิน (Ground Level) ที่ระยะไม่เกิน 100 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 46-50 dB(A) นอกจากนี้ เมื่อระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงกังหันลมเพิ่มมากขึ้น (100-500 เมตร) ระดับความดังของเสียงมีค่าอยู่ในช่วง 41-46 dB(A) โดยที่ระยะห่างจากต้นกังหันลมเกินกว่า 1 กิโลเมตร ระดับความดังของเสียงจะมีค่าลดลงน้อยกว่า 40 dB(A) ซึ่งอาจจะได้รับผลกระทบจากเสียงเนื่องจากเสียงแวดล้อม (Ambient Noise) อื่นๆ

คำสำคัญ: มลพิษทางเสียง ฟาร์มกังหันลม การจำลองแบบ

*Corresponding author:Tel.: 093-5803501. E-mailaddress:dung_ding19@hotmail.com

บทนำ

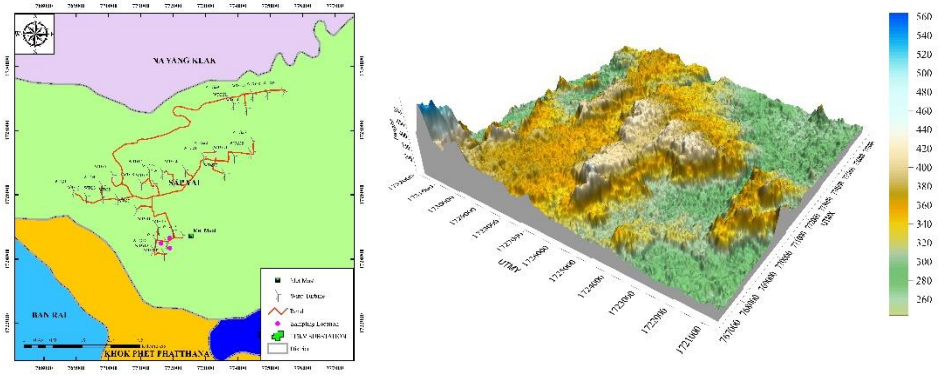
การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมในรูปแบบของฟาร์มกังหันลมขนาดใหญ่กำลังได้รับความนิยมทั่วโลก [1] และในประเทศไทย ปัจจุบันมีการติดตั้งฟาร์มกังหันลมขนาดใหญ่ทั้งในรูปแบบของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กมาก (Very Small Power Producer: VSPP) ที่มีกำลังการผลิตติดตั้งไม่เกิน 10 เมกกะวัตต์ และรูปแบบของผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer: SPP) ที่มีกำลังการผลิตติดตั้งไม่เกิน 90 เมกกะวัตต์โดยการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าอาจจะส่งผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การปลดปล่อยมลพิษทางเสียง ทัศนียภาพและการมองเห็น การใช้ประโยชน์ที่ดิน และเงากะพริบ เป็นต้นแต่การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมถือเป็นแหล่งพลังงานสะอาด (Green Energy) และมีความยั่งยืนใน

ด้านพลังงานเนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่ไม่สิ้นสุด [2] โดยพลังงานลมเป็นแหล่งพลังงานที่มีอัตราการใช้เติบโตที่สุดในบรรดาพลังงานหมุนเวียนด้วยกันทั่วโลกการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าอาจจะส่งผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการทางานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าทำให้เกิดเสียงดังจากสองแหล่ง เริ่มจากระบบกลไก (Gearbox/Generator) และการหมุนของใบกังหัน [4] ประเทศไทยมีการเจริญเติบโตของฟาร์มกังหันลมที่เพิ่มขึ้นเกือบทุกภูมิภาคอาทิเช่นในภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ถึงแม้ว่าการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานลมซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่สะอาด มีการหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลาโดยไม่จากัด (Renewable Energy) ไม่มีการปล่อยก๊าซ CO_2 และก๊าซพิษอื่นๆ เหมือนกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานฟอสซิล การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมไม่มีผลกระทบด้านคุณภาพอากาศที่เคยส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนโดยรอบโรงไฟฟ้า ทำให้เกิดการยอมรับในการพัฒนาโครงการในหลายๆ พื้นที่ อย่างไรก็ตาม การดำเนินการผลิตไฟฟ้าพลังงานลมขนาดใหญ่ในลักษณะที่มีกังหันลมหลายตัวในพื้นที่เดียวกันหรือเรียกว่า “ทุ่งกังหันลม” (Wind farm) ก็อาจส่งผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมได้ โดยเฉพาะผลกระทบในช่วงการดำเนินการ ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ตัดสินใจลงทุนจะต้องพิจารณาถึงผลกระทบดังกล่าวที่อาจเกิดขึ้นในช่วงการดำเนินการเพื่อป้องกันและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจส่งผลกระทบต่อชุมชนในพื้นที่โดยรอบและชุมชนใกล้เคียงเพื่อให้เกิดการอยู่ร่วมกันได้อย่างยั่งยืน จึงต้องมีการทดสอบหรือตรวจวัดค่าเพื่อยื่นยันว่าผลที่ได้นั้นไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบของฟาร์มกังหันลม

วิธีการวิจัย

1.พื้นที่ศึกษา

ที่ตั้งของโรงไฟฟ้าฟาร์มพลังงานลม ที่ตาบลซับใหญ่ อำเภอซับใหญ่ จังหวัดชัยภูมิ บนพื้นที่ประมาณ 35 ไร่ โดยแบ่งเป็นพื้นที่ติดตั้งกังหันลม 32 ไร่ และสถานีไฟฟ้าย่อย 3 ไร่แสดงดังรูปที่ 1 โดยทำการจำทำแผนที่เสียงเท่า (Noise Contour Map) ราย 6 เดือนตั้งแต่มกราคม-มิถุนายน 2560 และทำการติดตั้งอุปกรณ์ด้วยวัดเสียจริงภายในฟาร์มกังหันลมขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 80 MW



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาของโครงการภายในขอบเขต 20x20 ตารางกิโลเมตร (km^2) และลักษณะภูมิประเทศ 3 มิติบริเวณพื้นที่ศึกษาของโครงการ

2.การวิเคราะห์แหล่งทรัพยากรลม

ใช้การวิเคราะห์แหล่งทรัพยากรลมได้อาศัยแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในโปรแกรม WindSim แบบจำลองนี้มีความสามารถในการคำนวณการไหลแบบปั่นป่วนที่อยู่ใกล้พื้นผิวของภูมิประเทศ โดยการแก้สมการนาเวียร์-สโตกส์ ภายใต้สมมุติฐานของของเหลวแบบอัดตัวไม่ได้ ความปั่นป่วนจะถูกนำมาพิจารณาโดยแบบจำลอง การแก้สมการ Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) และความแตกต่างของความปั่นป่วนที่นำมาใช้ในการศึกษานี้โดยใช่ค่า $k-\varepsilon$ ของค่ามาตรฐานจากรูปแบบคงที่

3.การวิเคราะห์แผนที่เส้นเสียง

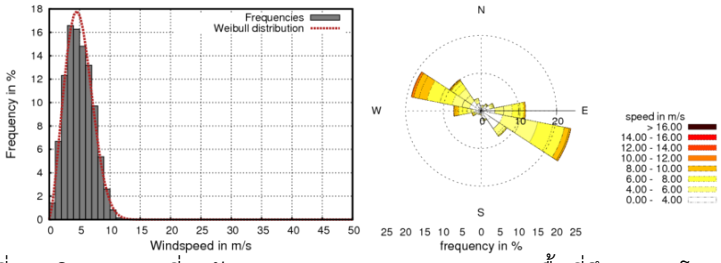
นอกจากนี้ การจัดทำแผนที่เส้นเสียงเท่าจะอาศัยแบบจำลองการดูดกลืนเสียง (NoiseAbsorption Model) จากบรรยากาศโดยรอบในพื้นที่ศึกษาของโครงการ ซึ่งอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูปWindFarmer V.4.2.2 ร่วมกับข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ข้อมูลคุณลักษณะการปลดปล่อยเสียงของกังหันลมที่ระดับอัตราเร็วลมต่างๆ จากผู้ผลิตกังหันลมผลิตไฟฟ้า ข้อมูลอัตราเร็วลมเชิงพื้นที่ระดับจุลภาค (ความแยกชัด 50 m) ที่ระดับความสูงศูนย์กลางส่วนหมุน (Hub Height) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน พ.ศ. 2557 และโปรแกรมการวิเคราะห์ภูมิสารสนเทศ สำหรับการจัดทาแผนที่เส้นเสียงเท่า (Noise Contour Mapping)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

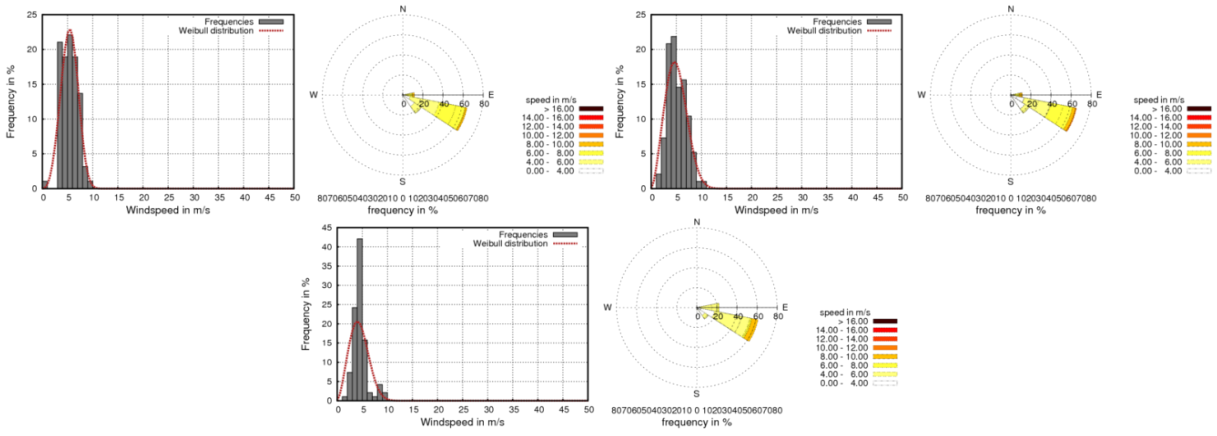
ในการวิเคราะห์การปลดปล่อยเสียงอันเนื่องมาจากการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานลมในพื้นที่ศึกษาภายในขอบเขต 20x20 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 1จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลลมภูมิอากาศลมตรวจวัดอย่างน้อย 1 ปี โดยการวิเคราะห์การแจกแจงไวล์บุลล์ (Weibull Distribution) และผังลม (Wind Rose) แสดงดังรูปที่ 3-4สำหรับเป็นข้อมูลนำเข้าให้กับการจำลองแบบการปลดปล่อยเสียง ส่วนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ราย 6 เดือน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตำแหน่งเสาวัดลมเสมือนในพื้นที่ศึกษาของโครงการ

Climatology name	representative period	Measurement height (m)	Average wind speed (m/s)
Met Mast	01/01/2017 00:00 - 30/06/2017 23:45	120.00	4.94

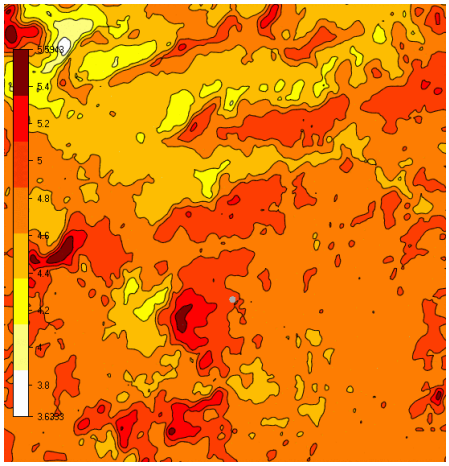


รูปที่ 3 ภูมิอากาศลมที่ระดับความสูง 120 เมตร (AGL) ของพื้นที่ศึกษาของโครงการ

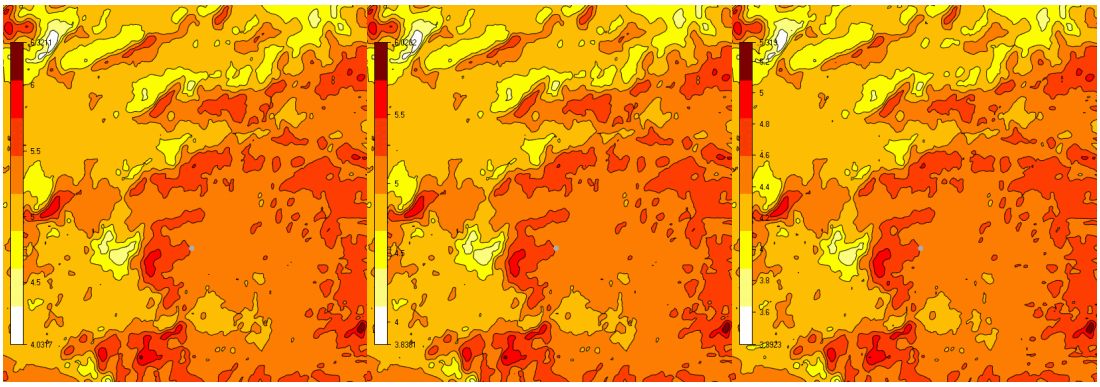


รูปที่ 4 ภูมิอากาศลมที่ระดับความสูง 120 เมตร (AGL) วันที่ 22-24มิถุนายน 2560

การแจกแจงไวล์บุลล์ดังกล่าวถูกนำไปสร้างแผนที่แหล่งทรัพยากรลมที่ระดับความสูง 120 เมตร โดยอาศัยข้อมูลลมที่ระดับความสูง 120 เมตร (AGL) จากเสาวัดลมเสมือนดังกล่าว ในพื้นที่โดยรอบ 20X20 ตารางกิโลเมตร โดยอาศัยแบบจำลองการไหลของลมในระดับจุลภาคแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่การติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าทั้งหมดจำนวน 32 ต้น โดยทำการวิเคราะห์แบบ Single Mast Calculation และมีแผนที่ลมระดับจุลภาคที่ความแยกชัด 50 เมตรแสดงดังรูปที่ 5-6



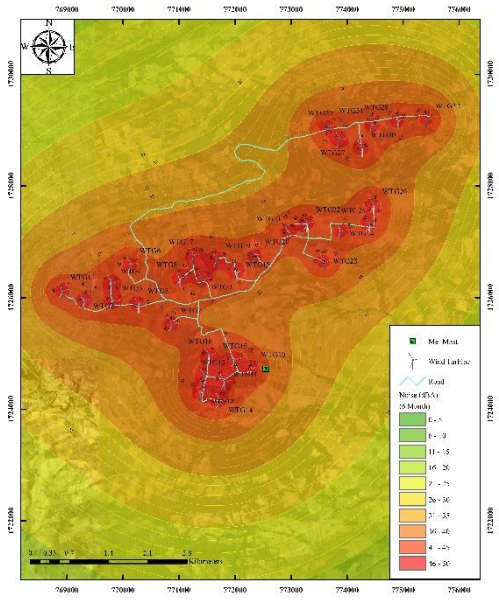
รูปที่ 5 แผนที่ทรัพยากรลมที่ระดับความสูง 120 เมตร เหนือระดับพื้นดิน
ขนาดพื้นที่ 20X20 ตารางกิโลเมตร ในพื้นที่ศึกษาของโครงการ



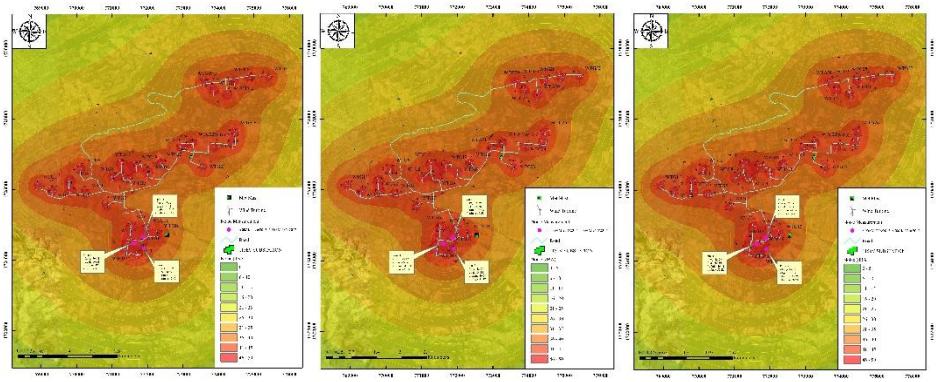
รูปที่ 6 แผนที่ทรัพยากรลมที่ระดับความสูง 120 เมตร เหนือระดับพื้นดิน
ขนาดพื้นที่ 20X20 ตารางกิโลเมตร เมื่อวันที่ 22-24 มิถุนายน 2560

ผลการวิเคราะห์การปลดปล่อยเสียงจากการแหล่งกำเนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันลม ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 80 เมกะวัตต์ และขนาดกำลังการผลิตติดตั้งต้นละ 2.5 เมกะวัตต์ ภายใต้ทรัพยากรลมจากแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณซึ่งทำนายอัตราเร็วลมเชิงพื้นที่ออกมาในรูปแบบของแผนที่ลมระดับจุลภาคโดยใช้ข้อมูลสถิติลมที่ได้ดำเนินการตรวจวัดจากเสาวัดลมในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีอัตราเร็วลมเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 3.63-5.59 เมตร/วินาที เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวเข้าสู่แบบจำลองการปลดปล่อยเสียง โดยการเดินทางของคลื่นเสียงและการดูดกลืนจากสภาพแวดล้อมของโปรแกรม Wind Farmer พบว่า การปลดปล่อยเสียงจากแหล่งกำเนิดของเครื่องกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 80 เมกะวัตต์ มีการปลดปล่อยเสียงดังออกมาบริเวณโคนเสาของกังหันลม (Tower) (WTG

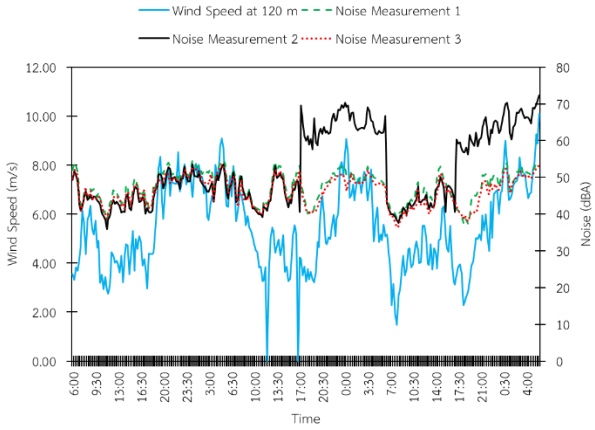
01- WTG 32) มีค่าอยู่ระหว่าง 47.71 – 48.80 dB(A)และเมื่อพิจารณาระยะทางที่ห่างจากบริเวณโคนเสาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันลมพบว่า ความดังของเสียงมีค่าลดลงและแปรผกผันกับระยะทางอย่างชัดเจนจากงานวิจัยฟาร์มกังหันลมที่ตั้งอยู่ในภาคใต้ของอิตาลีได้รับการจำลองโดยใช้ข้อมูลแหล่งเดียวสำหรับแต่ละกังหันใช่คุณสมบัติทางเรขาคณิตและเสียงมีการจำลองหลายอย่างที่แสดงให้เห็นว่าระดับเสียงในสภาวะความเร็วลมโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 55 dBAในบริเวณใกล้เคียงกับกังหันและลดลงตามระยะทาง ของพื้นที่ความเร็วลมสูงประมาณ 10-11 เมตร/วินาที[5]จะเห็นได้ว่าการทำงานของกังหันทั่วไปจะปลดปล่อยแสงใต้โคนกังหันลมอยู่ในช่วง 50 dBAในระยะ 100 เมตร



รูปที่ 7 ระดับความดังของเสียงบริเวณพื้นที่ศึกษาของโครงการ ณ ระดับพื้นดินของระยะเวลา 6 เดือน



รูปที่ 8 ระดับความดังของเสียงบริเวณพื้นที่ศึกษาของโครงการ ณ ระดับพื้นดิน
วันที่ 22-25 มิถุนายน 2560



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความดังของเสียงกับอัตราเร็วความเร็วของลม
ระหว่างวันที่ 22 – 25 มิถุนายน 2560

จากผลการวิเคราะห์แผนที่เส้นเสียงเท่า (Noise Contour Map) โดยพิจารณาข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพเสียงระหว่างวันที่ 22 - 25 มิถุนายน 2560 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตลอดระยะเวลา 3 วันต่อเนื่องดังรูปที่ 9 สรุปผลการศึกษาได้ว่าแนวโน้มของผลการปลดปล่อยเสียง (Noise Emission) ไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากเป็นช่วงระยะเวลาในการตรวจวัดคุณภาพเสียงใกล้เคียงกันจากผลการตรวจวัดคุณภาพเสียงจะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราเร็วลมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น การปลดปล่อยเสียงจากการทำงานของกังหันลมก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามและเมื่ออัตราเร็วลมมีค่าลดลง การปลดปล่อยเสียงของกังหันลมก็มีค่าลดลงเช่นเดียวกัน ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นหรือการลดลงของการปลดปล่อยของเสียงเนื่องจากการทำงานของกังหันลมไม่ได้สัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นเนื่องจากมีองค์ประกอบอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้องนั่นคือสภาพพื้นที่โดยรอบของตำแหน่งจุดวัด ทิศทางของลมและอื่นๆ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ระดับความดังของเสียงบริเวณพื้นที่ศึกษา แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าผลการทำงานของกังหันลมในพื้นที่ ไม่มีผลกระทบและก่อให้เกิดมลพิษทางเสียง โดยใช้ข้อมูลลมจากเสาวัดลมที่ครอบคลุมระยะเวลา 6 เดือน พบว่าระดับความดังของเสียงที่ระดับพื้นดิน (Ground Level) ที่ระยะไม่เกิน 100 เมตร มีค่าอยู่ในช่วง 46-50 dB(A) นอกจากนี้ เมื่อระยะห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงกังหันลมเพิ่มมากขึ้น (100-500 เมตร) ระดับความดังของเสียงมีค่าอยู่ในช่วง 41-46 dB(A) โดยที่ระยะห่างจากต้นกังหันลมเกินกว่า 1 กิโลเมตร ระดับความดังของเสียงจะมีค่าลดลงน้อยกว่า 40 dB(A) ซึ่งอาจจะได้รับผลกระทบจากเสียงเนื่องจากเสียงแวดล้อม (Ambient Noise) อื่นๆ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานลม-แสงอาทิตย์ ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง) สำหรับการเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการและบริษัท ชัยภูมิ วินด์ฟาร์ม จำกัด สำหรับการเอื้อเฟื้อข้อมูลในการวิจัยศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Global Wind Energy Council. (2016). Global Wind Report Annual Market Update.
[2] ทรงกฤษณ์ ประภักดี. (2553). กังหันลมผลิตไฟฟ้า: มุมองด้านสิ่งแวดล้อม. วารสารสิ่งแวดล้อม ปีที่ 13 เล่มที่ 3.
[3] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. (2560). ระบบฐานข้อมูล SPP/VSPP.
http://www.erc.or.th/ERCSPP/default.aspx?x=0&muid=23&prid=41 สืบค้นเมื่อ 25 เมษายน 2560.

[4] Arkadiusz R., (2016). ISO9613-2 as a guideline for noise mapping of wind turbines, modelling vs measurements. CNOSSOS-EU vs ISO9613-2 for noise mapping of wind turbine. INTER-NOISE 2016. Hamburg.

[5] Ruggiero A.,Quartieri J.,Guarnaccia C., andHloch S. (2015). Noise PollutionAnalysis ofWind Turbines in RuralAreas. Int. J. Environ. Res., 9(4):1277-1286

[6] Punch J., Pabst D. (2010). Wind turbine noise: what audiologists should know. Audiology Today. 22, 20-31.

[7]Bakker, R.H. Pedersen, E. van den Berg, G.P. Stewart, R.E. Lok, W. Bouma, J. (2012). Effects of wind turbine sound on health and psychological distress. Sci. Total Environ. 425, 42–51.

[8] Knopper, L.D. Ollson, C.A. (2011). Health effects and wind turbines: A review of the literature. Environmental Health, Open Access, http://www.ehjournal.net/content/ 10 / 1 / 7 8 , doi: 10.1186/1476-069X-10-78.

[9] Mihăilă, J. M.; Bigan, C.; Panduru, V. (2014). Mathematical modelling of noise mappingat wind turbine farms. Applied Sciences . 2014, Vol. 16, p48-55. 8p.



Session4. นวัตกรรมพลังงานทดแทน

IE04

การศึกษาลู่ทางการลงทุนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวลโดยใช้วัตถุดิบจากเศษไม้

PRE-FESIBILITY STUDY OF BIOMASSPOWER PLANT PROJECT USING WOOD SCRAPT

รัฐศาสตร์ วรรณเศวต[1] และสุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน[2]
Rathasart Wansweat[1],SuthasRatanakuakangwan[2]
สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย[1]
สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย[2]

บทคัดย่อ

การผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลที่ได้จากเศษชีวมวลของเสียจากกระบวนการผลิตก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถจะนำพลังงานหมุนเวียนที่สะสมในรูปเชื้อเพลิงแข็งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ผ่านกระบวนการจัดการด้วยความร้อน ผลลัพธ์คือการกำจัดของเสีย ลดปริมาณชีวมวลทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนนี้ ยังคงเป็นประโยชน์ต่อการรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์ จากการศึกษาพบว่า กลุ่มจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนืออันได้แก่ จังหวัด อุดรธานี หนองคายกาฬสินธุ์ และขอนแก่น เป็นแหล่งปลูกยูคาลิปตัสที่มีขนาดใหญ่ของประเทศไทย ทำให้มีปริมาณวัตถุดิบมากที่สุดในประเทศ เป็นที่มาของพื้นที่จะดำเนินการศึกษาในสารนิพนธ์นี้

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมากการแปรรูปผลผลิตเหล่านี้ จะมีวัสดุเหลือใช้ออกมาจำนวนหนึ่ง สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานชีวมวลได้ โดยรัฐบาลได้มีนโยบายส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลมาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2532 ตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็กมาก (Very Small Power Producers : VSPPs) ที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนร่วม โดยนำพลังงานความร้อนที่เหลือจากกระบวนการผลิตไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อขายเข้าระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) รวมถึงการรับซื้อไฟฟ้าจากเอกชนรายเล็กที่ผลิตไฟฟ้าจากกากหรือเศษวัสดุเหลือใช้ จากการเกษตรหรือจากการผลิตผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหรือการเกษตร ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากกากหรือเศษวัสดุเหลือใช้ จากการเกษตร รวมถึงขยะมูลฝอยและไม้จากการปลูกป่าเป็นเชื้อเพลิง

จากปัญหาดังกล่าวเป็นที่มาของการศึกษาปัญหาประเภทเศษของเสียจากอุตสาหกรรมเพื่อดำเนินการลดมวลอุตสาหกรรม ผลพลอยได้คือนำพลังงานความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเผามาผลิตกระแสไฟฟ้า สารนิพนธ์นี้เลือกศึกษาเทคโนโลยีระบบกังหันไอน้ำที่มีความสามารถเผาใหม่ได้สมบูรณ์มาเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าการลงทุนในโครงการดังกล่าว ซึ่งมีเงินลงทุนที่สูงดังนั้น งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาปัจจัยของความเสี่ยงในการลงทุนในโครงการที่เหมาะสมกับระบบเทคโนโลยีดังกล่าวต่อไป

คำสำคัญ: แขนงการลงทุน โรงไฟฟ้าชีวมวล การศึกษาลู่ทางการลงทุน

Abstract

Electricity from biomass derived from waste biomass waste from the production process, it is another way to bring renewable energy to accumulate in the solid fuel can be recycled through the process of dealing with the heat output. The disposal of waste reduce the amount of biomass to make electricity from this renewable energy. Still useful to preserve the human environment, the

study found that a group of provinces in the Northeast, including Udon Thani and KhonKaen, NongKhaisin is a growing eucalyptus at large in Thailand. The quantities of raw materials in the country. The area of study is conducted. In this thesis.

Since Thailand is an agricultural country, so there is an agricultural product. The waste materials out of one can be used as biomass energy by the government's policy to encourage the production of electricity from biomass. Since 2532 Power purchase policy from small independent power producer (Very Small Power Producers: VSPPs) with energy production. Electricity and heat by heat left over from the manufacturing process used to produce electricity for sale into the system sales of the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) to purchase electricity from independent small. The production of electricity from waste or residues. From agriculture or manufacturing. Industrial or agricultural products, processed from waste or residues from agriculture and waste, and wood. Reforestation is fired.

Issues such as the origin of the substances studied in this paper to study the problem of scrap waste from industry to industry to reduce mass. What is the byproduct heat from combustion to produce electricity thematic study this technology steam turbines. With the ability to burn up completely new ways to increase the value of investing in such projects. The investments are so high, the thematic focus of this study. Risk factors Invest in the right projects with the technology further.

Keywords*:* Investment; Biomass Power Plant; Pre-Feasibility Study

*Corresponding author: E-mail address: r.wansweat@yahoo.com.au, rsuthas@yahoo.com

บทนำ

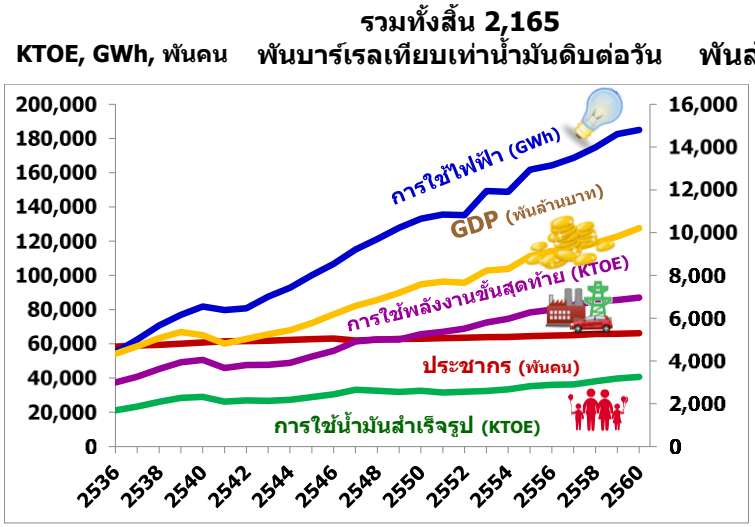
แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558 -2579 (Thailand Power Development Plan; PDP 2015) [1]ไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง เกิดจากแหล่งพลังงานที่ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุน แหล่งพลังงานที่นำมาใช้เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ พลังน้ำ พลังความร้อน พลังกังหัน พลังจากเครื่องยนต์ดีเซล และพลังงานธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะนำพลังงานจากแหล่งต่างๆ มาเป็นวัตถุดิบใส่เข้าไปในโรงงานผลิต (Plant) ซึ่งเป็นตัวกลางทำหน้าที่เปลี่ยนรูปพลังงานวัตถุดิบให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า โรงงานผลิตกำลังไฟฟ้า (Electric Power Plant) หรือโรงไฟฟ้า (Power Plant) แหล่งพลังงานที่นำมาผลิตไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1.พลังงานฟอสซิล อาทิเช่น ถ่านหิน/ลิกไนต์ ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดิบ และน้ำมันสำเร็จรูป เป็นต้น และ

2 พลังงานหมุนเวียน อาทิเช่น แสงอาทิตย์ ลม น้ำ พลังงานชีวมวลก๊าซธรรมชาติ ขยะ พลังงานความร้อนใต้พิภพ และคลื่นเป็นต้น

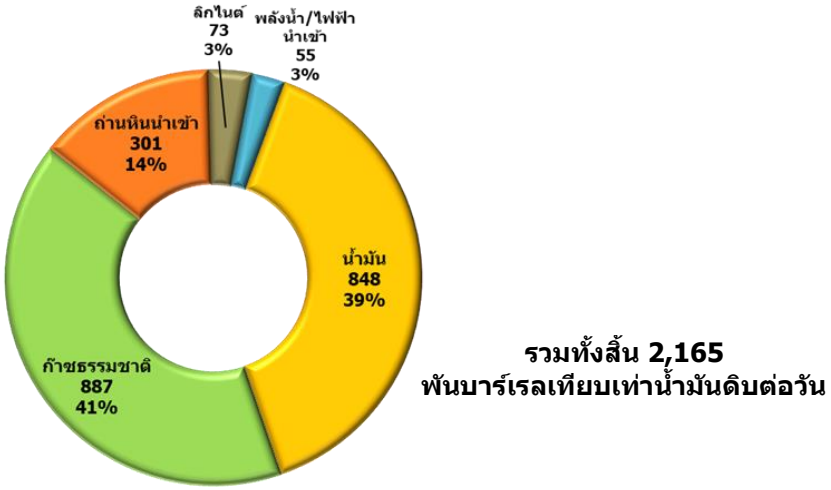
พลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาพื้นฐานทางเศรษฐกิจ เพื่อสนับสนุนให้มีการพัฒนาในสาขาเศรษฐกิจในด้านอื่นๆ ในด้านอุตสาหกรรม ธุรกิจ การเกษตร การสื่อสารและการบริการต่างๆ ให้สามารถขยายตัวไปได้อย่างรวดเร็ว ถ้าหากประเทศไทยมีความมั่นคงทางด้านแหล่งพลังงาน ราคาไฟฟ้าที่เหมาะสม มีคุณภาพและมาตรฐานที่สูง เหล่านี้จะเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างความมั่นใจให้นักลงทุนเข้ามาลงทุน หรือขยายงานต่อไป การใช้

พลังงานไฟฟ้าจึงถือเป็นตัวชี้วัดทางอ้อมด้านเศรษฐกิจ ยิ่งตัวเลขผลิตภัณฑ์ มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product-GDP) มากขึ้น ก็ยิ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น การมีพลังงานที่เพียงพอและมีราคาที่สามารถหาซื้อได้ มีส่วนสำคัญในการช่วยลดปัญหาความยากจน พัฒนาสวัสดิการทางสังคมให้แก่ประชาชน และช่วยยกระดับมาตรฐานการครองชีพ จะเห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ซึ่งมีการขยายตัวในลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 1



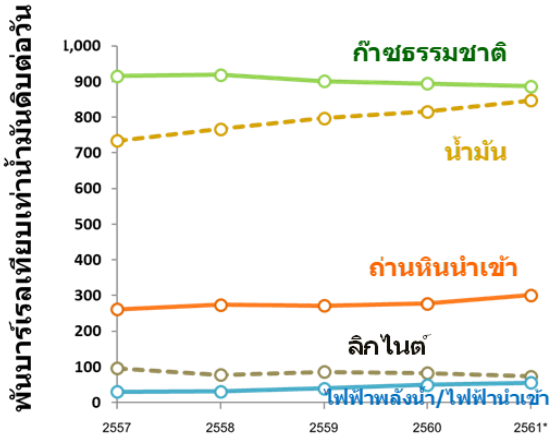
ภาพ1:ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ[2]

ด้วยเหตุนี้ การผลิตไฟฟ้าจึงต้องมีการวางแผนและดำเนินการให้สอดคล้องกับความต้องการใช้ไฟฟ้า เพื่อรองรับการขยายตัวของประชากร และการขยายตัวของเศรษฐกิจ ในปี พ.ศ. 2561ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของไทยเท่ากับ 185,066กิกะวัตต์ - ชั่วโมง เพิ่มขึ้นร้อยละ 14% เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2560 และตามแผนพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าของภาครัฐ ความต้องการใช้ไฟฟ้าของไทยในปี พ.ศ. 2555 -2573 จะเพิ่มจาก 175,069 กิกะวัตต์ - ชั่วโมง เป็น 346,767 กิกะวัตต์ - ชั่วโมง ในปีพ.ศ. 2573 โดยเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 4.13 ต่อปี ซึ่งตั้งอยู่บนสมมติฐานการเติบโตของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP) ระหว่างปีพ.ศ. 2536 - พ.ศ. 2560 เพิ่มเฉลี่ยร้อยละ 4.4 ต่อปีสำหรับเชื้อเพลิงที่นำมาผลิตไฟฟ้านั้นคำนึงถึงการที่ต้องมีแหล่งสำรองเชื้อเพลิงที่มีปริมาณเพียงพอและแน่นอน มีการกระจายแหล่งและชนิดของเชื้อเพลิง เพื่อลดความเสี่ยงในการจัดหา มีราคาที่เหมาะสมและมีเสถียรภาพ เมื่อนำมาผลิตไฟฟ้าแล้วสามารถควบคุมมลพิษให้อยู่ในมาตรฐาน และต้องใช้ทรัพยากรพลังงานภายในประเทศที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด ประเทศไทยได้มีการสำรวจพบแหล่งก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย และนำมาใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 โดยนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า และในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อทดแทนการใช้ถ่านหิน และน้ำมันเตา ซึ่งมีราคาสูงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ขณะเดียวกันต้องเผชิญความผันผวนของราคาน้ำมันตลอด ซึ่งเสี่ยงต่อความมั่นคงของพลังงาน กระทรวงพลังงาน, ม.ป.ป. เนื่องจากก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่ดีที่สุดสำหรับโรงไฟฟ้า เป็นที่ยอมรับกันทั่วโลกว่าโรงไฟฟ้าพลังงานก๊าซธรรมชาติดีกว่าโรงไฟฟ้าพลังงานถ่านหินและน้ำมัน เนื่องจากมีต้นทุนการลงทุนที่ต่ำกว่า และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมากสำหรับประเทศไทยข้อมูล ตั้งแต่ ม.ค. - มิ.ย 2561 ไทยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้าเป็นสัดส่วนที่มากถึงร้อยละ 41 ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพ2: การผลิตไฟฟ้าแยกตามชนิดของเชื้อเพลิง ม.ค. - มิ.ย 2561[3]

การที่ประเทศไทยมีความต้องการก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้าเป็นสัดส่วนที่สูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น และมีความต้องการอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณก๊าซธรรมชาติที่สามารถจัดหาได้จากแหล่งในประเทศไม่เพียงพอ ส่งผลให้ต้องนำเข้าก๊าซธรรมชาติจากแหล่งยานาดา และเยตากุนของสหภาพพม่า มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 รวมทั้งมีการผลิตและนำเข้าก๊าซธรรมชาติจากพื้นที่การผลิตร่วมไทยมาเลเซียเมื่อปี พ.ศ. 2551 และตั้งแต่ พ.ศ. 2554 ได้นำเข้าก๊าซธรรมชาติในรูปก๊าซเหลว (Liquefied Natural Gas: LNG) ถ้าประเทศไทยยังขุดก๊าซในปริมาณที่เทียบเท่ากับปัจจุบันคือ ปีละ 1 ล้านลูกบาศก์ฟุต แต่ไม่มีการขุดพบปริมาณสำรองเพิ่ม ประเทศไทยจะเหลือก๊าซธรรมชาติไว้ใช้ในประเทศอีก 10 ปีเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3: ปริมาณการผลิต และปริมาณการสำรองก๊าซธรรมชาติ ปี พ.ศ. 2561[4]

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาพทั่วไปของการใช้เศษต้นยูคาลิปตัส เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลไม่เกิน 10 เมกะวัตต์
2. เพื่อศึกษาศักยภาพในการลงทุนสร้างโรงงานไฟฟ้าชีวมวลไม่เกิน 10 เมกะวัตต์

ขอบเขตการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษาการลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวล เป็นพื้นที่ อ.สร้างคอม จ. อุดรธานี พื้นที่ส่วนตัว 25 ไร่ โดยประมาณ พื้นที่ติดกับทางหลวงแผ่นดิน 2329 เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่เกษตรมีการปลูกต้นยูคาลิปตัสประมาณ 1,500 ไร่ เป็นพื้นที่อยู่ใกล้วัตถุดิบ ในอำเภอที่ใกล้เคียง และโรงงานที่รับซื้อวัตถุดิบ

2. ศึกษาโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดไม่เกิน10 เมกะวัตต์ในด้านความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคของการใช้เทคโนโลยี ระบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) โดยใช้เศษของเสียจากการผลิตจากการตัดเศษไม้ยูคาลิปตัส เป็นเชื้อเพลิงตามปริมาณวัตถุดิบในปัจจุบัน เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าและจำหน่ายให้แก่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในรูปแบบผู้ผลิตโรงงานไฟฟ้าขนาดเล็กมาก

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการตลาด
2. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและรายละเอียดที่เกี่ยวข้องด้านบริหารการจัดการ
3. ศึกษาข้อมูลด้านเงินลงทุนระบบโรงไฟฟ้าชีวมวลแบบสตีมเทอร์ไบน์ CAPEX(Capital Expenditure) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ OPEX(Operating Expenses)รายได้จากขายไฟฟ้า(Electricity Sales)
4. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานและรายละเอียดที่เกี่ยวข้องด้านบริหารการจัดการ
5. ศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนการประเมินต้นทุนทางการเงิน โดยแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์
6. การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ของโครงการ
7. สรุปผลและเสนอแนะ

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

เศษไม้ที่ได้จากการแปรรูปไม้ในการบวนการผลิตแปรรูปไม้ยูคาลิปตัสเป็นส่วนใหญ่ในสัดส่วน 20% ของปริมาณการผลิตต่อวันและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้คือปริมาณของเสียที่ได้จากการผลิตที่สะสมในปริมาณ 5,600 ตัน โดยประมาณ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร หนังสือ และเว็บไซต์ของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบไปด้วยสภาพทั่วไปของยูคาลิปตัส รวบรวมข้อมูลจากกรมวิชาการเกษตร และกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ในด้านข้อมูลการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีสตีมเทอร์ไบน์ รวบรวมข้อมูลจากโครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล สำนักงานการส่งเสริมการถ่ายทอดเทคโนโลยี สำนักปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, กรมพัฒนาพลังทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน[5]

การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Analysis)[6] เป็นการศึกษาเพื่อตอบวัตถุประสงค์ในข้อที่ 1 และ 2 และนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือสถิติอย่างง่าย เช่นค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และนำเสนอด้วยการเขียนบรรยายโดยมีรูปภาพประกอบ โดยการศึกษาเชิงพรรณนา จะแบ่งเนื้อหาที่จะทำการศึกษาประกอบไปด้วย

- ความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค เพื่อการศึกษาการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีสตีมเทอร์ไบน์ คือกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง ประเภทเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง การประยุกต์ใช้ก๊าซเชื้อเพลิง และเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า

การวิเคราะห์เชิงปริมาณ(Quantitative Method) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยเครื่องมือทางด้านการเงินมาใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ การประมาณการงบกระแสเงินสด (Cash Flow) การคำนวณค่าต้นทุนเงินเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average Cost of Capital: WACC) การประเมินค่าโครงการลงทุน จะใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจลงทุนในการสร้างโรงไฟฟ้าว่า มีความคุ้มค่าที่จะลงทุนหรือไม่ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์

ผลการวิจัย

จากการประมาณการต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการโดยงบกระแสเงินสดนั้น สามารถประเมินความคุ้มค่าของโครงการ และทุกหลักเกณฑ์ได้ทำการคิดลดให้กระแสเงินสดเป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยกำหนดอัตราส่วนลดที่เหมาะสม และสอดคล้องกับความเสี่ยงของการลงทุนด้วยต้นทุนเงินทุนเฉลี่ยถ่วงน้าหนักที่ร้อยละ 10.38 ซึ่งสามารถคำนวณเกณฑ์การตัดสินใจทางด้านการเงินได้คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV) มีค่าเท่ากับ 204,687,625บาท อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) มีค่าเท่ากับร้อยละ 16.71% และสำหรับการวิเคราะห์ความไวโดยพิจารณาจากราคาซื้อวัตถุดิบในราคา 800 บาทต่อตัน โดยมีผลการตัดสินใจ ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อนำมาพิจารณาในการตัดสินใจลงทุนพบว่าค่า NPV ที่ได้มีค่าน้อยกว่าศูนย์ค่า IRR และมีค่าน้อยกว่า WACC เพราะฉะนั้นการลงทุนในโครงการสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดไม่เกิน 10 เมกะวัตต์โดยใช้ไม้จากต้นยูคาลิปตัส เป็นเชื้อเพลิงหลักจึงมีความคุ้มค่าในการลงทุน และจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถคำนวนค่าผลตอบแทนทางการเงินได้จากภาพที่ 4

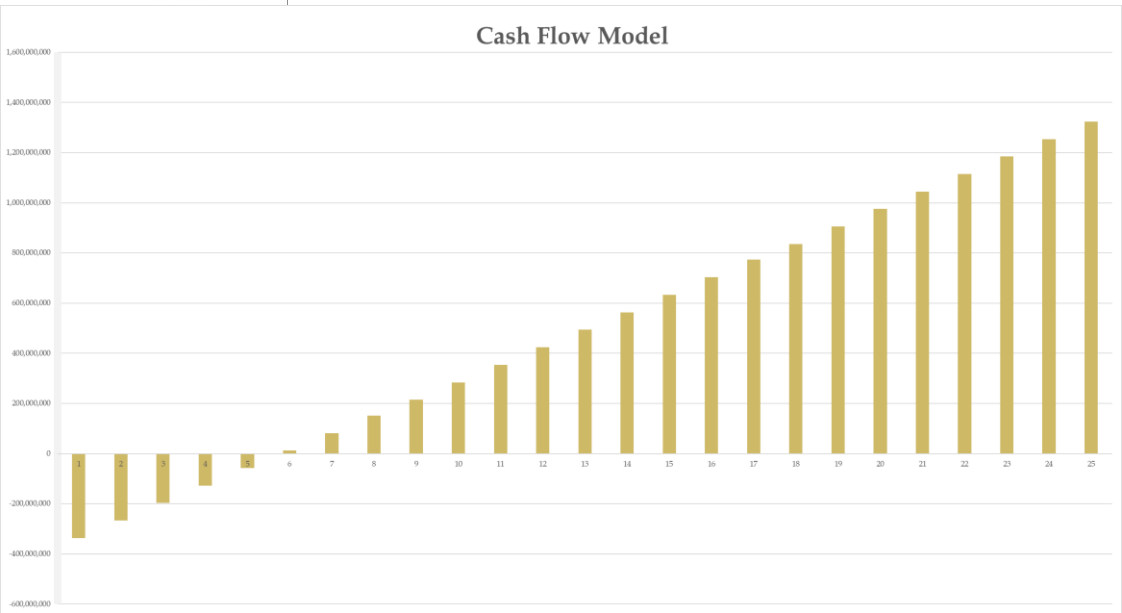
$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{NB_t}{(1+WACC)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{IC_t}{(1+WACC)^t} \quad (1)$$

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{NB_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{IC_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (2)$$

$$WACC = (W_e \times K_e) + [W_d \times K_d \times (1-Tax)] \quad (3)$$

ตาราง 1: ผลการวิเคราะห์ทางการเงิน

ตัวชี้วัด	ค่าจากการประมาณการ	หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจ	การตัดสินใจ
NPV	204,687,625	NPV ≥0	ลงทุน
IRR	16.71%	IRR ≥WACC	ลงทุน



ภาพที่ 4: กราฟผลการวิเคราะห์ทางการเงิน (Cash Flow Model), ที่มาจากการคำนวณ

Interest Rate of Return	NPV	Raw Materials Cost (บาท ต่อ ตัน)					
	204,687,625	800	900	1,000	1,100	1,200	1,300
	5%	569,489,160	285,355,238	1,221,315	-282,912,607	-567,046,530	-851,180,452
	6%	478,856,535	221,144,075	-36,568,386	-294,280,846	-551,993,306	-809,705,766
	7%	400,733,962	165,797,725	-69,138,512	-304,074,749	-539,010,986	-773,947,222
	8%	333,054,442	117,850,954	-97,352,534	-312,556,022	-527,759,510	-742,962,998
	9%	274,131,747	76,108,542	-121,914,662	-319,937,867	-517,961,072	-715,984,277
	10%	222,584,700	39,591,573	-143,401,553	-326,394,680	-509,387,807	-692,380,934
	11%	177,277,421	7,495,049	-162,287,324	-332,069,696	-501,852,069	-671,634,441
	12%	137,272,020	-20,845,665	-178,963,349	-337,081,034	-495,198,718	-653,316,403
	13%	101,791,002	-45,981,496	-193,753,993	-341,526,490	-489,298,987	-637,071,484
	14%	70,187,290	-68,370,927	-206,929,144	-345,487,361	-484,045,578	-622,603,795
	15%	41,920,242	-88,397,004	-218,714,250	-349,031,495	-479,348,741	-609,665,986
	16%	16,536,385	-106,380,989	-229,298,363	-352,215,738	-475,133,112	-598,050,486
	17%	-6,346,094	-122,593,364	-238,840,633	-355,087,903	-471,335,172	-587,582,442

ภาพ5: การวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis), ที่มาจากการคำนวน

อภิปรายผลและสรุปผล

ผลสรุปจากการศึกษาวิเคราะห์NPV, IRR และความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) นั้นข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ทางการเงินของการประมาณค่าความน่าจะเป็น การใช้ดุลพินิจเกี่ยวกับตัวเลขต่างๆ ตลอดจนข้อสมมติพื้นฐานที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งสรุปได้ว่าความอ่อนไหวด้านราคารับซื้อไม่เกิน 800 บาท ต่อตันนั้นมีศักยภาพที่จะลงทุนในเกณฑ์ในการตัดสินใจ โดยพิจารณาจากค่า NPVที่ 204,687,625 และ IRRที่ 16.71%มาพิจารณาพร้อมกันเนื่องจากภาครัฐให้ความสำคัญในเรื่องของเทคโนโลยีและพลังงานทดแทนมากกว่าผลตอบแทนทางการเงิน แต่การวิเคราะห์ในงานวิจัยนีจึงเน้นผลตอบแทนทางการเงินที่คุ้มค่ามากที่สุดจากการศึกษาการใช้เศษต้นยูคาลิปตัส เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลไม่เกิน 10 เมกะวัตต์เห็นว่าแหล่งพื้นที่ที่ได้ศึกษานั้นมีศักยภาพในการรับซื้อวัตถุดิบ รวมถึงการลงทุนในธุรกิจพลังงานประเภทชีวมวล ซึ่งบรรลุวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้

ข้อเสนอแนะ

โดยผลของการศึกษาในกลุ่มของผู้วิจัยจะมองว่าปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จมากที่สุดคือ ด้านวัตถุดิบ และในกลุ่มของผู้ประกอบการจะมองว่าปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จมากที่สุดคือ ด้านผลประกอบการรายได้ กฎหมายและนโยบายซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาโรงไฟฟ้าชีวมวลและสนับสนุนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโรงไฟฟ้าชีวมวลซึ่งภาครัฐควรมีการพิจารณาสนับสนุนการเพิ่มหน่วยอัตราการซื้อรายไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมกับต้นทุนปัจจุบันและส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกไม้ชนิดโตเร็วนอกจากนั้นภาครัฐควรมีการสนับสนุนให้รับซื้อไฟฟ้าโดยอิงราคาจากวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตไฟฟ้าตามความเป็นจริง และมีการควบคุมปริมาณโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีแผนสำหรับการก่อตั้งในอนาคตตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าฉบับปรับปรุงครั้งที่3 พ.ศ. 2555–2573

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณาจารย์ ที่ปรึกษา โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน เป็นอย่างสูงที่ช่วยให้ความรู้ ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำต่างๆ อย่างดี ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยนี้ ให้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดีขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการ และคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์ ทุกท่านที่เสียสละเวลาในการสอบสารนิพนธ์นี้ และขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยบัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน คณาจารย์ บุคลากร เพื่อน พี่ และรุ่นน้องที่ช่วยในการนี้จบสำเร็จลุล่วงอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (พ.ศ.2551 - 2565). (**2558**). แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (พ.ศ. 2558 - 2579)., (PDP2010 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3), 1 - 93.

[2] ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2561. สถานการณ์พลังงานปี 2560 และแนวโน้มปี 2561 (Online).http://www.eppo.go.th/images/Infromation_service/public_relations/forecast/Energy2016-Forcast 2017. pdf, 19 ธันวาคม 2560.

[3] สถานภาพการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตพลังงานในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อวันที่ 3 กันยายน 2561, จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.): http://webkc.dede.go.th/webmax/node/153.

[4] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2561). EPPO : Energy Database (Online). http://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/electricity-statistic?issearch=1&isc=1&ordering=order&category_id=855&xf_33=4 , 3 กันยายน 2561.

[5] ไชยา สถิรยากร. (2549). การผลิตไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ โดยใช้พลังงานชีวมวลสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาธุรกิจอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[6] กฤษพนธิ์ เพี้ยนศรี. (2546). ฐานข้อมูลศักยภาพพลังงานจากชีวมวล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

IE17

การศึกษาผลการผลิตแก๊สชีวภาพจากการหมักผสมระหว่างมูลโคหมักร่วมกับเปลือกหัวหอมโดยใช้ถังหมักแบบกลิ้งในแนวตั้ง

Study biogas production from co-digestion of cow dung and onion peel by using vertical rolling tank

ชัยยุทธ ไชยงาม[1*] รัตนชัย ไพรินทร์[2] และณัฏฐ์กาศ ยปนันทน์[1]
[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140
[2] สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
49 ซอยเทียนทะเล 25 ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150

บทคัดย่อ

หัวหอมได้ถูกนำมาใช้ปรุงเป็นอาหารในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก เปลือกหัวหอมที่ปลอกออกมาจะเป็นขยะที่ต้องนำไปกำจัด ส่วนถังหมักแก๊สชีวภาพที่ใช้กันทั่วๆไปเป็นการหมักแบบนิ่ง (Batch) ทำให้เกิดแก๊สมีเทนได้ช้า ส่วนถังที่ติดตั้งมีใบกวนมีปัญหาการรั่วซึมของถังหมัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ 1.การกำจัดเปลือกหอมโดยนำไปหมักผลิตแก๊สชีวภาพร่วมกับมูลโค 2.ออกแบบถังหมักที่เป็นถังกลิ้งในแนวตั้งด้วยมือ งานวิจัยเริ่มจากการหมักร่วมระหว่างมูลโคกับเปลือกหอมจะหมักแบบนิ่ง (Batch) ที่อัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 ใช้ถังหมักขนาด 6 ลิตร จากนั้นจะใช้อัตราส่วนที่ดีที่สุดมาใช้ในถังกลิ้งขนาด 30 ลิตร การกลิ้งถังในแนวตั้งด้วยมือแบบกลับไปกลับมาได้แบ่งเวลาการกลิ้งถังเป็นเวลา 1 นาที, 3 นาที และ 5 นาที/ 1 ครั้ง/วัน ถังหมักที่กลิ้ง 1 นาที/ 2 ครั้ง/วัน และถังหมักแบบไม่มีการกลิ้ง ศึกษาปัจจัยการเกิดแก๊สชีวภาพได้แก่ ระยะเวลาการหมัก, ค่า pH,อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและ เปอร์เซ็นต์มีเทนผลของการทดลองถังหมักแบบนิ่ง (Batch) ที่อัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 เกิดแก๊สมีเทน 79.66%, 22.51% และ 29.22% ตามลำดับ ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 1:1เพราะปริมาณแก๊สมีเทนมากที่สุดได้ขยายผลนำมาหมักในถังหมักขนาด 30 ลิตร เวลาการหมัก36 วันผลการทดลองพบว่า ถังกลิ้ง1 ครั้ง/วันเป็นเวลา 1 นาที,3 นาที และ 5 นาทีเกิดแก๊สมีเทนเฉลี่ย 70.14%, 70.29% และ 71.06% ปริมาณแก๊สชีวภาพที่มีเทน 55% รวม 21132.60ml, 40446.00mlและ 31390.80mlตามลำดับ ถังหมัก 1 นาที/ 2ครั้ง/วัน ได้แก๊สมีเทน53.30%ปริมาณแก๊สชีวภาพรวม 22825.60ml ถังหมักแบบไม่มีการกลิ้ง ได้แก๊สมีเทน41.59% ปริมาณแก๊สชีวภาพรวม21598.40mlช่วงเวลาที่เหมาะสมในการกลิ้งคือที่เวลา 3 นาที/ 1 ครั้ง/วันได้ปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพและเกิดแก๊สมีเทนใช้งานได้ ซึ่งเกิดปริมาณแก๊สมีเทนน้อยกว่าการกลิ้งเวลา 5 นาที/ 1 ครั้ง/วันแต่ใช้เวลาการกลิ้งที่น้อยกว่าทำให้ใช้พลังงานน้อยลงระยะเวลาที่เกิดแก๊สมีเทนเร็วกว่าถังแบบไม่กลิ้ง 14 วัน พลังงานที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นการเจียวหอม ที่แก๊สมีเทน 70.80% คิดเป็นค่าความร้อน 24.81 MJ/m^3 หรือเทียบเท่ากับพลังงานไฟฟ้า 1.4 kwh

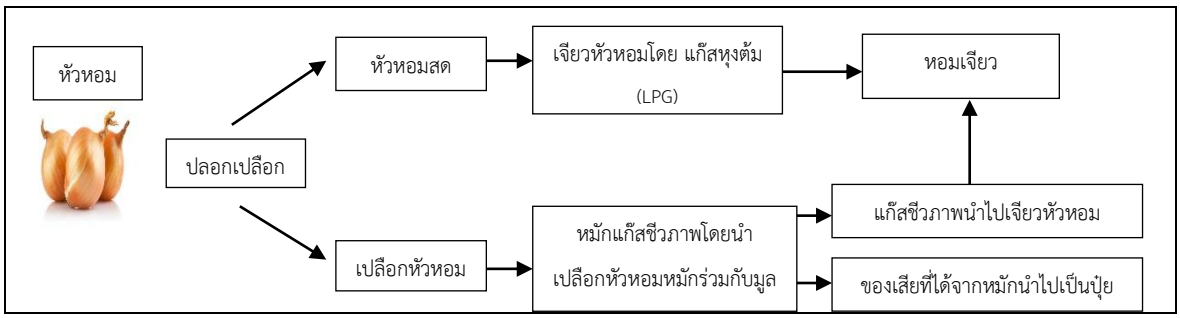
คำสำคัญ: เปลือกหัวหอม มูลโคถังกลิ้งในแนวตั้งด้วยมือระยะเวลาและจำนวนครั้งในการกลิ้งปริมาณแก๊สมีเทน

*Corresponding author: Tel.: 090-9933-733. E-mail address: chaiyut.ch@mail.kmutt.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมซึ่งมีการเลี้ยงสัตว์และปลูกพืชทางการเกษตรเป็นจำนวนมากปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณการเลี้ยงโคเนื้อและโคนมจำนวน 4,876,228 และ 584,327 ตัวตามลำดับ (ข้อมูลเกษตรกร/ปศุสัตว์ปีงบประมาณพ.ศ. 2560) [1] เนื่องจากโคได้มีการขับถ่ายของเสียออกจากตัวมีปริมาณที่มากมูลโคที่กองทิ้งไว้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดแก๊สมีเทนซึ่งเกิดเป็นแก๊สเรือนกระจกดังนั้นหากมีการนำของเสียจากมูลโคมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแก๊สชีวภาพก็จะสามารถจัดการของเสียที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้พลังงานทดแทนได้ใช้อีกการปลูกหัวหอมใหญ่ได้มีการเพาะปลูกในประเทศไทยมีปริมาณในปี 2560 มีเนื้อที่ 9,861 ไร่และมีผลผลิต 42,677 ตัน/ปี [2] ได้นำหัวหอมมาทำการแปรรูปมาเป็นอาหารด้วยปลอกเปลือกออกแล้วนำหัวหอมไปเจียวโดยใช้พลังงานจากแก๊สหุงต้ม(LPG) เพื่อนำมาประกอบอาหารทำให้เปลือกหัวหอมเป็นขยะโดยประมาณจากการปลอกเปลือกหัว 1 ลูกจะได้ปริมาณเปลือกหอมที่น้อยกว่า 1% ของน้ำหนักหัวหอม ถ้าคิดที่ปริมาณเปลือกหัวหอมร้อยละ 1% จะได้ปริมาณเปลือกหัวหอม 426.67 ตัน/ปีซึ่งของเสียจากการเกษตรนั้นก่อให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็นเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรคและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเปลือกหัวหอมที่ปลอกออกมาจะเป็นขยะที่ต้องนำไปกำจัดจึงได้นำมาหมักแก๊สชีวภาพร่วมกับมูลโคถังหมักทั่วไปเป็นแบบนิ่ง (Batch) ทำให้เกิดแก๊สชีวภาพได้ช้า ส่วนถังที่ติดตั้งมีใบกวนมีปัญหาการรั่วซึมของถังหมักทำให้มีอากาศเข้าไปภายในถังหมักทำให้ไม่เป็นการหมักแบบไร้อากาศจึงได้มีแนวคิดที่จะเปลี่ยนจากการติดใบกวนมาเป็นการกลิ้งในแนวตั้งด้วยมืองานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยการเกิดแก๊สชีวภาพที่มีผลต่อกระบวนการหมักในสภาวะแบบไม่มีออกซิเจนคืออุณหภูมิ, ค่าpH,อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) และการกวน[3]แนวคิดของงานวิจัยนี้ดังภาพที่ 1

การเคลื่อนที่แบบการกลิ้ง (Rolling Motion, without slipping) หรือการหมุนรอบแกนที่เคลื่อนที่การเคลื่อนที่แบบกลิ้งคือการเคลื่อนที่โดยวัตถุจะมีการหมุน (Rotation) และมีการเคลื่อนที่ (translation) ไปพร้อมๆกันแต่ไม่ใช่การไถลตัวอย่างเช่นล้อรถจักรยานล้อรถยนต์เป็นต้น [4] การกลิ้งถังไปและกลับในงานวิจัยนี้ได้แนวคิดมาจากเครื่องซักผ้าที่หมุนไปและกลับเพื่อทำให้เสื้อผ้าสะอาดซึ่งมีเฟืองตัวเล็กนี้จะขับเฟืองตามให้หมุนและบนเฟืองตามหมุนไปจะทำให้ก้านต่อเคลื่อนที่กลับไปกลับมา [5] และการหมุนไปและกลับทำให้การคลุกเคล้าได้มากขึ้นถ้าการหมุนไปในทิ้งทางเดียวที่จะให้สารในถังเข้ากันแต่จะทำให้แยกชั้นกันมากกว่าเหมือนกับเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ทำหน้าที่แยกชั้นของสารทำให้เลือกวิธีการกลิ้งไปและกลับเพื่อที่จะเพิ่มปริมาณแก๊สชีวภาพและลดเวลาการเกิดแก๊สชีวภาพให้สั้นลง



ภาพที่ 1 วิธีการแปรรูปเปลือกหัวหอมและแนวคิดของงานวิจัยนี้

วิธีการวิจัย

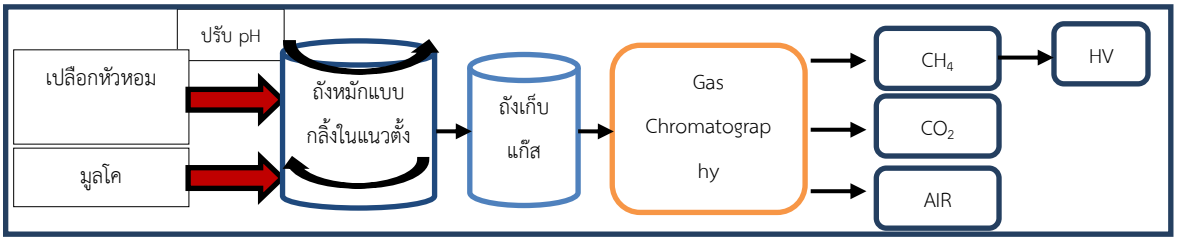
การเตรียมถังหมักแก๊สชีวภาพและถังเก็บแก๊ส

ใช้ถังหมักในงานวิจัยมี 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ถังหมักขนาด 6 ลิตร โดยใช้ถังเก็บแก๊สชีวภาพมีขนาด 550 มิลลิลิตรดังภาพที่ 2(ก) สำหรับการหมักแบบนิ่ง (Batch)ถังหมักแบบที่ 1 ใช้หมักเพื่อหาอัตราส่วนของการหมักร่วมระหว่างมูลโคกับเปลือกหัวหอมที่เหมาะสมแบ่งอัตราส่วนผสมคือ 1:1, 1:2 และ 1:3โดยที่ใช้เปลือกหัวหอมมากกว่ามูลโค เพื่อที่จะเพิ่มปริมาณของเปลือกหัวหอมในการหมักให้มากขึ้นกำจัดเปลือกหัวหอมที่เป็นขยะได้ส่วนถังหมักแบบที่ 2 คือ ถังหมักขนาด 30 ลิตร โดยใช้ถังเก็บแก๊สชีวภาพขนาด 30 ลิตรใช้สำหรับถังกลิ้งในแนวตั้งด้วยมือดังภาพ ที่ 2(ข)ได้นำอัตราส่วนที่ 1:1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เกิดแก๊สมีเทนได้ดีที่สุดเพื่อนำถังไปกลิ้งในแนวตั้งแบบไปกลับโดยเริ่มจากการปรับสภาพทำโดยมีการวัดค่า pH ของน้ำหมักก่อนการทดลอง ซึ่งส่วนมากจะได้ค่า pH ต่ำกว่า 7 เพราะว่าเปลือกหัวหอมมีค่าความเป็นกรด จากนั้นทำการปรับค่า pH เริ่มต้นให้เท่ากับ 10 เพื่อให้น้ำหมักมีสภาพเป็นเบสและค่า pH เริ่มต้นเท่าๆกันตลอดทุกๆการทดลอง ซึ่งเป็นสภาวะที่จุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์เพื่อสลายสารอินทรีย์เพื่อใช้เป็นอาหารได้ดี โดยการใช้ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้ดี มีราคาถูก และมีความเป็นเบสแก่ในการปรับสภาพ ทำการทดลองโดยหมักแบบกะ (Batch Fermentation) ไม่มีการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ เป็นระยะเวลา 45-60 วัน [6] แสดงดังภาพที่ 3ได้มีการตรวจวัดค่าด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ซึ่งใช้คอลัมน์แบบ Active Carbon 30/60 SS ขนาดคอลัมน์3 mm I.D. x 2m คอลัมน์มีอุณหภูมิเท่ากับ100 องศาเซลเซียสแก๊สตัวพา (Carrier Gas) ที่ใช้ในการทดลองนี้คือแก๊สฮีเลียมวิธีการวัดปริมาณแก๊สชีวภาพโดยการแทนน้ำคิดจากปริมาตรจากความสูงของถังเก็บแก๊สมีการวัดทุกวันและเอาแก๊สออกเพื่อให้มีการผลิตแก๊สใหม่เพื่อวัดวันต่อวันปริมาณแก๊สชีวภาพที่ได้ต้องนำไปตราวจวัดหาค่าเปอร์เซ็นต์มีเทนและเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ได้แสดงตัวอย่างโครมาโทแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ดังภาพที่4



(ก) (ข)

ภาพที่ 2 ก. ถังหมักขนาด 6 ลิตรถังเก็บแก๊สขนาด 550 มิลลิลิตร ข. ถังหมักขนาด 30 ลิตร ถังเก็บแก๊สขนาด 30 ลิตร



ภาพที่ 3วิธีการทำการหมักในถังหมักแบบกลิ้งและการวิเคราะห์ผล



ภาพที่ 4 ตัวอย่างโครมาโทแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

การออกแบบและประกอบเครื่องกลิ้งถังในแนวตั้งหมุนแบบไปและกลับ

การออกแบบได้แนวคิดมาจากเครื่องซักผ้าโดยมีการกลิ้งถังในแนวตั้งโดยทีเครื่องซักผ้าใช้มอเตอร์ในการกลิ้งแต่งานวิจัยนี้ไม่ต้องการให้ใช้พลังงานจากไฟฟ้าในการกลิ้งถังจึงได้เปลี่ยนมาใช้พลังงานโดยใช้กลิ้งด้วยมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบตัวเครื่องกลิ้งถังในแนวตั้งหาได้จากอุปกรณ์ทางการเกษตร ได้แก่ 1. มู่เล่ 2. ตุ๊กตาลูกปืนท่อสูบน้ำ 3. สายพาน 4. เพลากับลูกปืน 6. เหล็กฉาก(Angle Bars) ขนาด 1-1/2 นิ้ว หลักการกลิ้งแบบไปและกลับโดยใช้เวลาการกลิ้งเป็นตัวกำหนด ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เครื่องกลิ้งถังในแนวตั้ง

ศึกษาระยะเวลาการกลิ้งและจำนวนครั้งในการกลิ้งต่อวัน

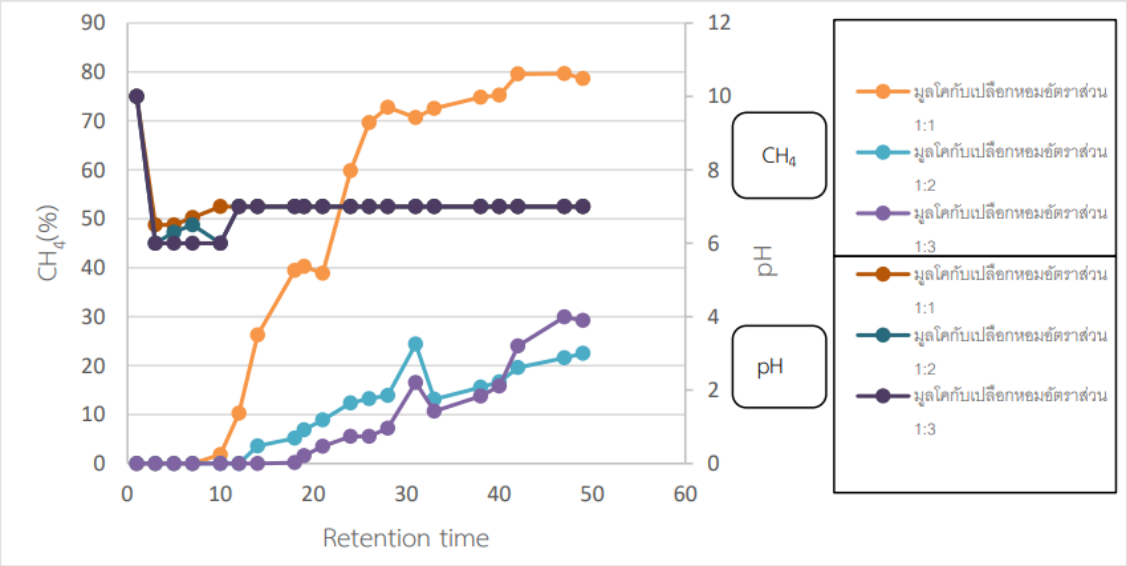
ทำการหมักมูลโคร่วมกับเปลือกหัวหอมอัตราส่วนที่ 1:1 การปรับ pH เท่ากับ 10 ถังที่ใช้ในการหมักคือถังขนาด 30 ลิตรและถังเก็บแก๊สชีภาพถังที่ใช้ 30ลิตรเช่นกัน โดยที่งานวิจัยนี้ได้กำหนดเวลาในการกลิ้งไป-กลับครั้งละ 30 วินาที แล้วกลิ้งกลับโดยทันที รวมกลิ้งไปกลับจะใช้เวลา 1 นาทีในการกลิ้งถังในแนวตั้งการทดลองแบ่งออกเป็น 5 ทดลองเพื่อหาระยะเวลาการกลิ้งและจำนวนครั้งในการกลิ้งต่อวัน ถังที่ 1 คือ กลิ้งระยะเวลา 1 นาที/ 1 ครั้ง/วัน ถังที่ 2 คือ กลิ้งระยะเวลา 3 นาที/ 1 ครั้ง/วัน ถังที่ 3 คือ กลิ้งระยะเวลา 5 นาที/ 1 ครั้ง/วัน ถังที่ 4 คือ กลิ้งระยะเวลา 1 นาที/ 2 ครั้ง/วัน ถังที่ 5 ไม่มีการกลิ้งถัง เพื่อมาเปรียบเทียบเพื่อหาความเหมาะสมในการผลิตแก๊สชีวภาพ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทดลอง ได้แก่ ค่า pH ระยะเวลาในการหมัก อุณหภูมิ และวิเคราะห์ สัดส่วนของแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลของการเปรียบเทียบของถังหมักอัตราส่วนการหมักระหว่างมูลโคกับเปลือกหัวหอมที่1:1, 1:2, 1:3

จากการทดลองอัตราส่วนที่เกิดมีเทนมากที่สุดคืออัตราส่วนที่1:1 เกิดแก๊สมีเทนสูงสุดที่79% และเวลาที่เกิดแก๊สที่เกิน50% เร็วกว่าที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:3จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการหมักร่วมระหว่างมูลโคกับเปลือก

หัวหอม ผลพบว่าการเกิดแก๊สมีเทนเกิดจากมูลโคเพราะมีค่า C/N ratio ที่เหมาะสมซึ่งอยู่ในช่วง 10-30 โดยC/N Ratio มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มากกว่า เปลือกหัวหอมนั้นไม่สามารถเกิดแก๊สมีเทนได้มากตามที่ต้องการใช้งานได้ เนื่องจากเปลือกหัวหอมมีค่า pH 5-6 [7] ในการหมักครั้งแรกได้ทำการปรับ pH เท่ากับ 10 และต้องทำการปรับค่า pH ขึ้นเท่ากับ 7-8 หลังจาก 12 วัน ค่า pH จะเท่ากับ 7 คงที่ตลอดดังในภาพที่6



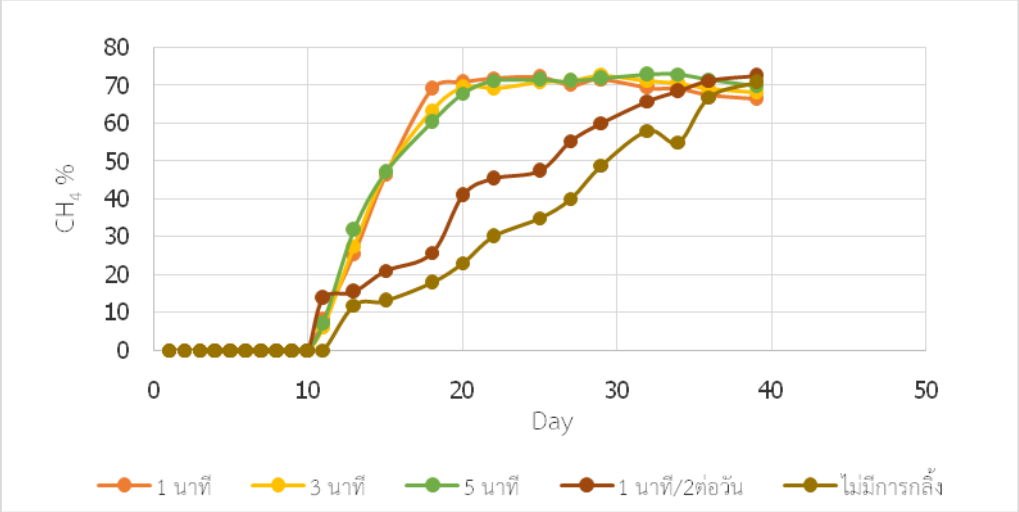
ภาพที่ 6การเกิดแก๊สมีเทนและการวัดค่า pH

ผลของระยะเวลาการกลิ้งและจำนวนครั้งในการกลิ้งต่อวัน

การทดลองถังหมักที่มีการกลิ้งนั้นแบ่งออก 5 แบบ แบบที่ 1 ใช้เวลาในการกลิ้ง 1 นาที/ 1 ครั้ง/วันแบบที่ 2 ใช้เวลาในการกลิ้ง 3 นาที/ 1 ครั้ง/วันแบบที่ 3 ใช้เวลาในการกลิ้ง 5 นาที/ 1 ครั้ง/วันแบบที่ 4 ใช้เวลาในการกลิ้ง 1 นาที/ 2 ครั้ง/วัน แบบที่ 5 ไม่มีการกลิ้ง ผลที่ได้จากการทดลองช่วงระยะเวลาหลัง 10 วันแก๊สมีเทนเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องแล้วมีแนวโน้มจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ระยะเวลาในการกลิ้งถังหมัก แบบที่ 1, 2 และ 3 เกิดมีเทนที่ใกล้เคียง ใช้เวลาในการกลิ้งนานแปลว่าต้องใช้พลังงานในการกลิ้งมากขึ้น แบบที่ 5 การเกิดแก๊สมีเทนไม่สูง จำนวนครั้งในการกลิ้งมีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ จากการทดลองการกลิ้ง 1 ครั้ง/วันระยะเวลาเกิดแก๊สมีเทน55% ที่ 9 วัน เร็วกว่าการกลิ้ง 2 ครั้ง/วัน เพราะการกลิ้งมากไปทำให้อาหารของจุลินทรีย์หมดและเกิดแก๊สชีวภาพน้อยลงส่วนถังหมักแบบไม่กลิ้งมีผลต่อการเกิดแก๊สมีเทนใช้เวลานานกว่าถังหมักแบบกลิ้งในแนวตั้งด้วยมือ ถังกลิ้งทำให้เกิดแก๊สมีเทน 55% ที่ 18 วัน ถังไม่กลิ้งใช้เวลา 32 วัน ถังที่มีการกลิ้งเกิดแก๊สมีเทนและมีแก๊สชีวภาพที่ใช้งานได้เร็วกว่า 14 วัน ดังภาพที่ 7และถังในแบบที่ 2 ได้ค่าแก๊สมีเทนเฉลี่ย 70.80% และได้ค่าแก๊สชีวภาพรวม 40446mlทำให้การคลุกเค้ากันได้ดีมากขึ้นใช้พลังงานในการกลิ้งไม่มากเกินไป ได้เก็บผลการทดลองเปรียบเทียบกับ แบบที่ 1 แบบที่ 3 แบบที่ 4 และ แบบที่ 5 ระยะเวลาในการหมักที่ 36 วัน ดังตารางที่ 1

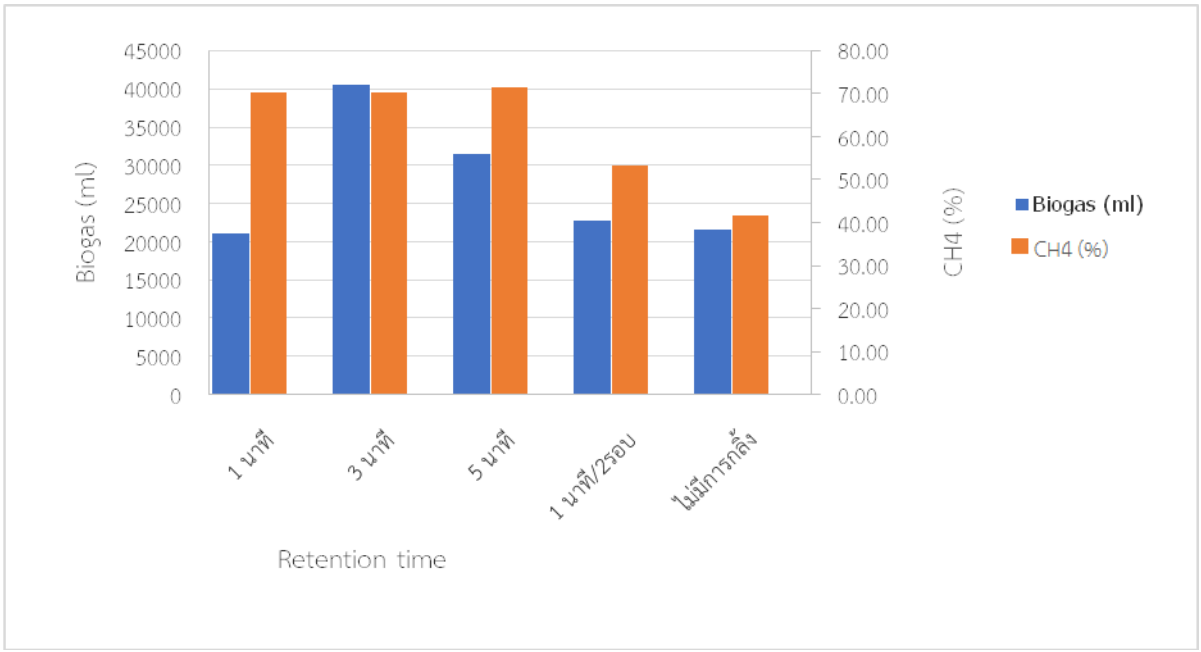
Condition	CH_4 (%)	Total biogas (ml)
3 นาที/ 1 ครั้ง/วัน(แบบที่ 2)	70.29	40446.00
5 นาที/ 1 ครั้ง/วัน (แบบที่ 3)	71.06	31390.80
1 นาที/ 1 ครั้ง/วัน(แบบที่ 1)	70.14	21132.60
1 นาที/ 2 ครั้ง/วัน (แบบที่ 4)	53.30	22825.60
ไม่มีการกลิ้ง(แบบที่ 5)	41.59	21598.40

ตารางที่ 1 แสดงค่าถังแบบที่ 2 เปรียบเทียบแก๊สมีเทนเฉลี่ยและปริมาณแก๊สชีวภาพรวม ถังแบบที่ 1, 3, 4 และ 5



ภาพที่ 7 ปริมาณแก๊สมีเทนที่ตรวจวิเคราะห์หลังจากการหมัก 36วัน

ผลการทดลองได้เก็บค่าปริมาณแก๊สชีวภาพที่มีเทน 55% ของการหมักแต่ละถัง ถังกลิ้งแบบที่ 1, 2 และ 3 เก็บค่าปริมาณแก๊สชีวภาพวันที่ 18 ถังหมักแบบที่ 4 เก็บค่าปริมาณแก๊สชีวภาพวันที่ 27 ถังหมักแบบที่ 5 เก็บค่าปริมาณแก๊สชีวภาพวันที่ 32 เมื่อเปรียบเทียบถังกลิ้งแบบที่ 2 จึงเหมาะกับการนำไปใช้งานเพราะมีค่าเฉลี่ยมีเทนและปริมาณแก๊สชีวภาพรวมสูงดังภาพที่ 8 ระยะเวลาในการหมัก 36 วันเท่ากันการกลิ้งถังทำให้คลุกเคล้าตะกอน น้ำ และสารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วน เพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง และยังส่งผลทำให้อุณหภูมิภายในระบบกระจายอย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรีย(Mesophilic) กับอาหารคลุกเคล้ากันทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้น ส่งผลให้การเกิดแก๊สชีวภาพเร็วขึ้นและมากขึ้นถังหมักที่ไม่มีการกลิ้งอุณหภูมิภายในถังจะสูงตรงกลางถัง



ภาพที่ 8 ปริมาณแก๊สชีวภาพรวมและแก๊สมีเทนวันที่ 36 วันในการหมัก

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองการหมักร่วมระหว่างเปลือกหัวหอมกับมูลโคแบ่งอัตราส่วนคือ1:1, 1:2 และ 1:3 ที่เหมาะสมที่สุดอัตราส่วน 1:1ได้แก๊สมีเทน 79% มากที่สุด ถ้าปริมาณเปลือกหัวหอมมากกว่าทำให้เป็นกรดมากเกินไป ทำให้เกิดแก๊สได้น้อยจึงนำอัตราส่วน 1:1 หมักในถัง 30 ลิตรโดยมีการกลิ้งในแนวตั้งด้วยใช้มือแบบกลิ้งไปกลับ จะทำให้แบคทีเรีย(Mesophilic) กับอาหารคลุกเคล้ากันทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้น ส่งผลให้การเกิดแก๊สชีวภาพเร็วขึ้นและมากขึ้น ในการกลิ้งที่ 1 นาที, 3นาที, 5นาที/ 1 ครั้ง/วัน, 1นาที/ 2 ครั้ง/วันและ ไม่มีการกลิ้ง ผลของการหมักวันที่ 36 วัน เกิดแก๊สมีเทนเฉลี่ย70.14%, 70.29%, 71.06%,53.30%และ 41.59% ปริมาณแก๊สชีวภาพที่มีเทน 55% รวม21132.60ml, 40446ml, 31390.80ml, 22825.60mlและ 21598.40ml ตามลำดับ จำนวนครั้งในการกลิ้งในแนวตั้งแบบกลิ้งไปกลับที่เหมาะสมคือ 3 นาที/ 1 ครั้ง/วันถังที่มีการกลิ้งทำให้เกิดแก๊สมีเทนเร็วกว่า 14 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับถังไม่กลิ้ง และมีปริมาณแก๊สชีวภาพที่มากกว่า แก๊สมีเทนที่ 70.29% คิดเป็นค่าความร้อน 24.81 MJ/m^3เทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 1.4 kwhสามารถนำไปใช้แทนพลังงานด้านเชื้อเพลิงเช่น การเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion) ทดแทนแก๊สหุงต้ม (LPG)ในกระบวนการเจียวหอมหรือการเผาไหม้ภายใน (Indirect combustion) ทดแทนน้ำมันเบนซินหรือดีเซลในเครื่องยนต์สันดาปภายใน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่สนับสนุนงบประมาณเพื่อทำการวิจัยแก่คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยีและสถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบวิทยาเขตบางขุนเทียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำการวิจัย

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ พบว่าซึ่งมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบอยู่ในแก๊สชีวภาพ จึงมีแนวคิดที่จะแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากแก๊สมีเทน โดยใช้หลักการแยกแก๊สโดยอาศัยน้ำหนักมวลโมเลกุลของแก๊สที่ต่างกัน จึงมีความสนใจที่นำแก๊สชีวภาพใส่ในท่อตรงยาวและปล่อยให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สมีเทนแยกออกจากกันโดยธรรมชาติ

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมปศุสัตว์กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. **ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ระดับประเทศ**ปี 2560.สืบค้นเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2561,จาก http://ict.dld.go.th/th2/index.php/th/report/447-report-thailand-livestock/report servey2558-1/870-report-survey58-1.

[2] สถิติการเกษตรของประเทศไทย.2559**. จำนวนการปลูกหัวหอม.**สืบค้นเมื่อ 18 กุมภาพันธ์ 2560,จากhttp:// www.oae.go.th.

[3] เครือข่ายความร่วมมือเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. **เอกสารประกอบการอบรมแก๊สชีวภาพ**.สืบค้นเมื่อ 16 กุมภาพันธ์2561, จาก http://www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/20111261832311.pdf.

[4] **การเคลื่อนที่แบบหมุน**. สืบค้นเมื่อ 18 กุมภาพันธ์2561, จาก http://elearning.tu.ac.th/sc133/doc_download/number11-12_250749.pdf.

[5] ทิตวรรณเลิศลักษณ์.**สิ่งประดิษฐ์ทางฟิสิกส์ตอนเครื่องซักผ้า**สืบค้นเมื่อ 27 กุมภาพันธ์2561, จาก http://www.scimath.org/lesson-physics/item/7284-2017-06-14-14-03-19.

[6] Zheng, Y., Pan, Z., and Zhang, R.,(2009), "Overview of Biomass Pretreatment for Cellulosic Ethanol Production", **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Vol.2, No.3, pp.51-68.

[7] Rowena T. Romano, Ruihong Zhang,(2008),"Anaerobic digestion of onion residuals using a mesophilic anaerobic phased solids Digester", **Bio resource Technology**,Vol.35, No.0, pp.4174-4179.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นาย ชัยยุทธ ไชยงาม
วันเดือนปีเกิด	07 มิถุนายน 2530
	ประวัติการศึกษา
ระดับมัธยมศึกษา	โรงเรียนไทรน้อยจังหวัดนนทบุรีปีการศึกษา 2547
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ปีการศึกษา 2553
ระดับปริญญาโท	กำลังศึกษาสาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

IE18

การเปรียบเทียบการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สชีวภาพโดยใช้แคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้า

Comparison of decreased carbon dioxide in biogas using calcium oxide and ash

ธวัลรัตน์ ผโลทัยสิทธิ์[1] และรัตนชัย ไพรินทร์[2,]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

[2] สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
49 ซอยเทียนทะเล 25 ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150

บทคัดย่อ

แก๊สชีวภาพมีองค์ประกอบหลักคือแก๊สมีเทนร้อยละ 60 และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 40เมื่อนำแก๊สชีวภาพไปใช้งาน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีผลทำให้ค่าความร้อนที่ได้มีค่าต่ำลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สชีวภาพโดยการใช้ขี้เถ้าเปรียบเทียบกับสารเคมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยขี้เถ้าที่นำมาใช้ได้มาจากการเผาฟางข้าวเนื่องจากเป็นวัสดุเหลือทิ้ง หาได้ง่ายและมีปริมาณขี้เถ้าสูงหลังจากเผาในงานวิจัยนี้ได้ทำการหมักมูลโคน้ำหนัก 550 กรัมในถังหมักปริมาตร 6 ลิตรเป็นระยะเวลา 45 วัน ไม่มีการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ถังหมัก (Batch Fermentation)โดยปรับpH เริ่มต้นเท่ากับ 10 ด้วยสารละลาย NaOHเพื่อให้มีสภาพเป็นเบส ซึ่งเป็นสภาวะที่จุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นอาหารเตรียมแคลเซียมออกไซด์จำนวน 50 กรัมละลายในน้ำ 550 มิลลิลิตร (9%W/V) และขี้เถ้าจากการเผาฟางข้าวจำนวน 50 กรัมละลายในน้ำ 550 มิลลิลิตร (9%W/V)ใส่ลงในถังเก็บแก๊สชีวภาพเพื่อลดสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อทำการหมักถึงระยะเวลา 45 วัน นำแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าจากฟางข้าวไปเผาโดยมีอุณหภูมิการเผาประมาณ 700 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 20 นาทีเพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แล้วจะได้แคลเซียมออกไซด์กลับมาและเป็นการไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออก จากนั้นนำแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าที่ได้จากการเผานำกลับมาลดสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อีกครั้งผลการทดลองพบว่า แก๊สชีวภาพที่ไม่ได้มีการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยสัดส่วนมีเทนเท่ากับ 65.58% คิดเป็นค่าความร้อนประมาณ 23.5 MJ/m^3แต่เมื่อทำการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้แคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้ามีค่าเฉลี่ยสัดส่วนมีเทนเท่ากับ 85.89%, 89.36% ตามลำดับ เมื่อทำการเผาแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าเพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แล้วนำกลับมาลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อีกครั้งมีค่าเฉลี่ยสัดส่วนมีเทนเท่ากับ 78.12%, 80.41% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าขี้เถ้าจากการเผาฟางข้าวสามารถลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่าแคลเซียมมอออกไซด์เนื่องจากขี้เถ้าซึ่งมีออกไซด์ของโลหะต่างๆไปละลายน้ำ สารประกอบออกไซด์เหล่านั้นจะกลายเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์ เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายเบสสามารถทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยสัดส่วนมีเทนเพิ่มขึ้นประมาณ 15-20% คิดเป็นค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นในแก๊สชีวภาพประมาณ 6-8 MJ/m^3ดังนั้นเมื่อลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมีปริมาณแก๊สมีเทนที่สูงขึ้นถึง 90% จะทำให้แก๊สชีวภาพมีค่าความร้อนที่สูงขึ้นถึง 32 MJ/m^3ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นแก๊สไบโอมีเทนอัดเพื่อใช้ในรถยนต์ต่อไปได้

คำสำคัญ: การลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์/ มูลโค/ ฟางข้าว/ แคลเซียมออกไซด์/ ขี้เถ้า

*Corresponding author: Tel.: 084-6998-269. E-mail address: tawanrat.palothaisit@kmutt.ac.th

บทนำ

แก๊สชีวภาพ (Biogas) เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ชนิดหนึ่งที่สามารถดำเนินการผลิตและใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานจากฟอสซิลได้ โดยมีการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนมากขึ้น ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579)[1]การเลี้ยงสัตว์ทำให้มีของเสียเป็นจำนวนมาก มูลโคถือเป็นของเสียที่สามารถนำไปผลิตแก๊สชีวภาพได้ดีซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการเกิดแก๊สชีวภาพและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เมื่อนำของเสียมาผ่านกระบวนการหมักในสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ด้วยแบคทีเรียหลายชนิดซึ่งจะทำให้เกิดแก๊สชีวภาพโดยผ่านกระบวนการหมัก 4 ขั้นตอน[2] คือ (1) Hydrolysis สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็ก (2-3) Acidogenesis and Acetogenesis สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ของการย่อยในขั้นตอนแรก จะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก(Acitic Acid) และกรดโพรไพโอนิก (Propionic Acid) โดยแบคทีเรียสร้างกรด ซึ่งกรดที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือ กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้อีกด้วย (4) Methanogenesis ในกระบวนการสร้างแก๊สมีเทน จะสร้างจากกรดอะซิติก แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) ที่ได้จากกระบวนการสร้างกรด โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน ซึ่งการสร้างแก๊สมีเทนแบ่งเป็น 2 แบบ แบบแรกจะเกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นแก๊สมีเทน โดยคิดเป็นร้อยละ 70 และแบบที่สองเกิดจากการรวมตัวกันของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน กลายเป็นแก๊สมีเทน คิดเป็นร้อยละ 30 โดยการหมักทั่วๆไปจะได้แก๊สชีวภาพที่มีองค์ประกอบ ได้แก่ แก๊สมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-75 เปอร์เซ็นต์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 25-50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปัญหาของแก๊สชีวภาพนั้นเกิดจากการที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)เป็นส่วนผสมของแก๊สชีวภาพส่งผลทำให้ค่าความร้อน(Heating Value) ต่ำลงและยังส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง โดยแก๊สชีวภาพจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร จะได้ค่าความร้อนเท่ากับ 21.5 MJ/m^3[3] สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนพลังงานฟอสซิลโดยเทียบเท่ากับ แก๊สหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม น้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร น้ำมันเตา 0.55 ลิตร พลังงานไฟฟ้า 1.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมง[4] ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยคือการลดสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สชีวภาพลง โดยการใช้แคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าจากการเผาฟางข้าว เนื่องจากแคลเซียมออกไซด์มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีฤทธิ์เป็นด่างแก่ pH 14 สามารถทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดังสมการที่ (1)

$$CaO + CO_2 \text{----}> CaCO_3 \quad (1)$$

อีกทั้งฟางข้าวถือเป็นของเหลือทิ้งจากการเก็บเกี่ยวจากเมล็ดข้าวออกไปแล้วทำการเผาฟางข้าวทิ้ง เมื่อเผาฟางข้าวจะได้สารระเหย 74.4% ถ่านคงตัว 18.3% เถ้า 7.3% และค่าความร้อนประมาณ 18,000 kJ/kg[4] ทำให้มีปริมาณขี้เถ้าเป็นจำนวนมากโดยจะมีส่วนประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆอีกมากมีฤทธิ์เป็นด่างสามารถทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ และเมื่อใช้แคลเซียมออกไซด์ในการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แล้วสามารถนำแคลเซียมออกไซด์ไปเผาเพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออก(Reuse) ดังสมการ (2)

$$CaCO_3 \xrightarrow{\text{เผา}} CaO + CO_2 \quad (2)$$

แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะสลายตัวออกที่อุณหภูมิประมาณ 800-900 องศาเซลเซียสเมื่อทำการใช้ขี้เถ้าในการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แล้วจึงนำขี้เถ้าไปเผาดังสมการ (3)สำหรับการเผาฟางข้าว

$$\text{ขี้เถ้าจากฟางข้าว} \text{----}> \text{Ash} + \text{ไอน้ำ} + CO_2 \quad (3)$$

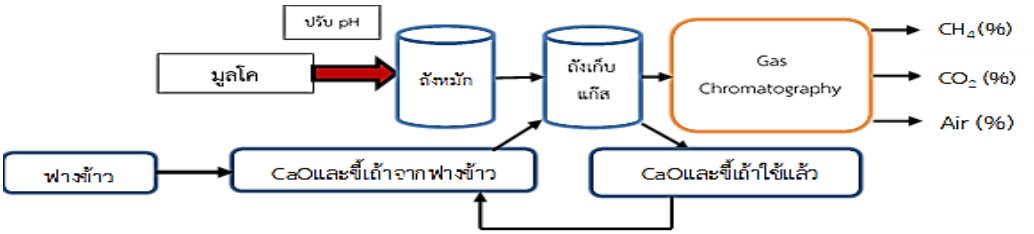
โดยขี้เถ้ามีองค์ประกอบของซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นส่วนใหญ่ในการเผาขี้เถ้านั้นจึงเป็นการเผาเพียงแค่ไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำที่ขี้เถ้าได้ดูดซับเอาไว้ออกไม่สามารถทำลายโมเลกุลของซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ได้ เนื่องจากซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 1,700 องศาเซลเซียส[5] เมื่อนำขี้เถ้าไปทำการ

เผาแล้วนำกลับมาใช้ในการลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ สาเหตุที่ทำแบบนี้เนื่องจากสามารถใช้ความร้อนที่ได้จากการเผาฟางข้าวมาใช้ประโยชน์และสามารถนำขี้เถ้ากลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก สำหรับในการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายแบบวิวิธภัณฑ์เป็นแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้ามีข้อดีคือสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการนำไปเผาโดยแก๊สชีวภาพที่ผ่านการลดสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์หรือปรับปรุงคุณภาพแล้ว หากมีปริมาณแก๊สมีเทนมากกว่า 90% สามารถนำไปอัดเป็นแก๊สเรียกว่า CBG (Compressed Biomethane Gas) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ต่อไปได้

วิธีการวิจัย

การเตรียมถังหมักแก๊สชีวภาพและถังเก็บแก๊ส

ใช้ถังหมักในการหมักมูลโคสด จำนวน 550 กรัม ผสมกับน้ำประมาณ 5 ลิตร เพื่อให้ได้ปริมาตรการหมัก 5.5 ลิตร วัดค่า pH ของน้ำหมักก่อนการทดลอง ซึ่งส่วนมากจะได้ค่า pH ต่ำกว่า 7 จากนั้นทำการปรับค่า pH เริ่มต้นให้เท่ากับ 10 ด้วยสารละลาย NaOH เพื่อให้น้ำหมักมีสภาพเป็นเบสและทำให้ pH เริ่มต้นมีค่าเท่ากันตลอดการทดลอง ซึ่งเป็นสภาวะที่จุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์เพื่อสลายสารอินทรีย์เพื่อใช้เป็นอาหารได้ดี ทำการทดลองโดยหมักแบบกะ (Batch Fermentation) ไม่มีการเติมสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ เป็นระยะเวลา 45 วัน ส่วนถังเก็บแก๊ส ใช้วิธีการแทนที่น้ำ โดยถังเก็บมีขนาด 550 cm^3 เตรียมแคลเซียมออกไซด์จำนวน 50 กรัมละลายในน้ำ 550 มิลิลิตร (9%W/V) และขี้เถ้าจากฟางข้าวจำนวน 50 กรัมละลายในน้ำ 550 มิลลิลิตร (9%W/V) เพื่อปรับลดสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อทำการหมักถึงระยะเวลา 45 วัน นำแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าจากฟางข้าวไปเผาเพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ดังสมการ (2) จะเห็นได้ว่าหลังจากเผาแล้วจะได้แคลเซียมออกไซด์กลับมา จากนั้นนำแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าที่ได้จากการเผานำกลับมาใช้ในการลดสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อีกครั้งพร้อมตรวจวัดสัดส่วนของแก๊สชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ดังตัวอย่างในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แนวคิดในการดำเนินงานวิจัย

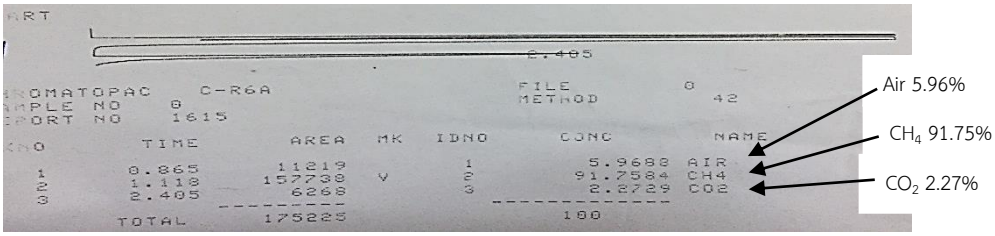
ศึกษาการเผาฟางข้าวเพื่อหาปริมาณขี้เถ้า

เตรียมขี้เถ้าจากฟางข้าวโดยใช้ฟางข้าวในการเผา1000กรัมเผาที่อุณหภูมิประมาณ700 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 20 นาทีจากนั้นคำนวณหาปริมาณขี้เถ้าดังสมการ (4)

$$(\text{น้ำหนักขี้เถ้า}/\text{น้ำหนักฟางข้าว}) \times 100 \quad (4)$$

ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเกิดแก๊สชีวภาพจากมูลโค

ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทดลอง ได้แก่ ค่า pH ระยะเวลาในการหมัก อุณหภูมิ[6-7]วัดปริมาณแก๊สชีวภาพที่ได้นำไปตรวจวัดหาค่าเปอร์เซ็นต์มีเทน และวิเคราะห์สัดส่วนของแก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นด้วย เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ซึ่งใช้คอลัมน์ แบบ Active Carbon 30/60 SS ขนาดคอลัมน์ 3 mm I.D. x 2m คอลัมน์มีอุณหภูมิเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส แก๊สตัวพา (Carrier Gas) ที่ใช้คือ แก๊สฮีเลียม ดังตัวอย่างในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตัวอย่างโครมาโทแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ศึกษาค่า pH ของสารละลายแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าจากฟางข้าวในการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

เตรียมสารละลายแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้า โดยทำการศึกษา pH ที่มีผลต่อการทดลอง เมื่อละลายแคลเซียมออกไซด์ลงในน้ำจะได้สารละลายแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งไม่เป็นเนื้อเดียวกัน สารละลายจะมีความขาวขุ่น เมื่อทิ้งไว้ช่วงหนึ่งสารละลายจะตกตะกอนที่ก้นถังเมื่อละลายขี้เถ้าลงในน้ำจะได้น้ำขี้เถ้า ซึ่งไม่เป็นเนื้อเดียวกัน สารละลายจะมีสีน้ำตาลขุ่น เมื่อทิ้งไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่งสารละลายจะตกตะกอนที่ก้นถังและคำนวณหาปริมาณของคาร์บอเนตที่ถูกกำจัดจากการเผาแสดงดังสมการ (5)

$$Carbonate\ content\ (\%wt.) = \frac{\frac{wt.loss}{M_{CO_2}} \times M_{CaCO_3}}{initial\ wt.\ of\ the\ sample} \times 100 \qquad (5)$$

ศึกษาสัดส่วนแก๊สมีเทนโดยการนำแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าจากฟางข้าวกลับมาใช้ลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

จากงานวิจัยของศิวรินทร์[8] ในงานวิจัยนี้จึงเลือก แคลเซียมออกไซด์จำนวน 50 กรัมและขี้เถ้าจำนวน 50 กรัม ละลายในน้ำ 550 มิลลิลิตรในการศึกษาการนำแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้ากลับมาใช้ซ้ำในการลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทดลองในการนำแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าจากฟางข้าวกลับมาใช้ซ้ำในการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

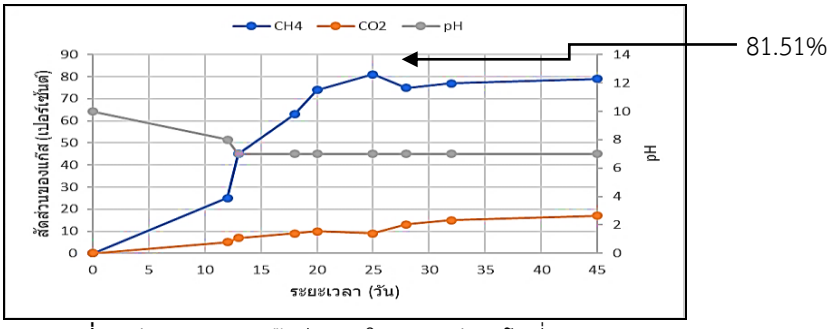
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลศึกษาการเผาฟางข้าวเพื่อหาปริมาณขี้เถ้า

หลังจากนำฟางข้าว 1000 กรัม เผาที่อุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 20 นาที จะได้ปริมาณขี้เถ้า250 กรัม คิดเป็น 25%

ผลการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเกิดแก๊สชีวภาพจากมูลโค

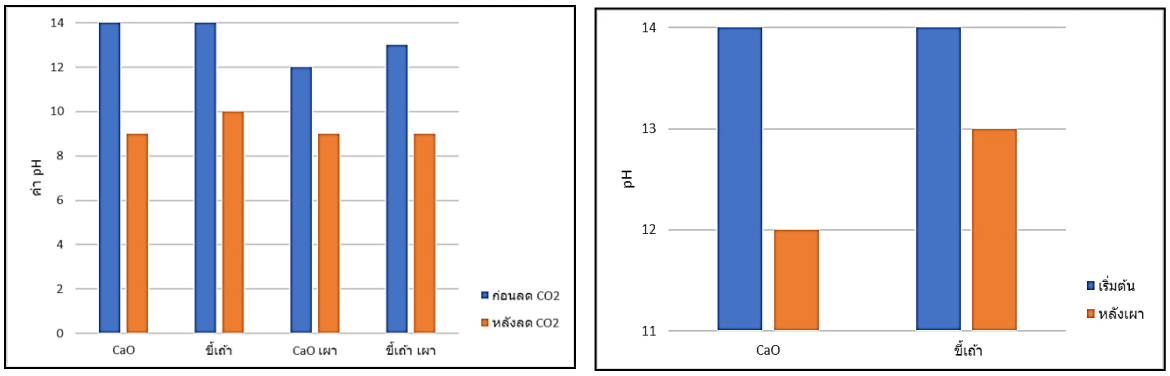
ที่สภาวะปกติ พบว่า การหมักมูลโคสามารถผลิตแก๊สชีวภาพโดยมีpH เริ่มต้นเท่ากับ 7 และปรับ pH เพื่อเพื่อให้น้ำหมักมีสภาพเป็นเบสเป็นสภาวะที่จุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์เพื่อสลายสารอินทรีย์เพื่อใช้เป็นอาหารได้ดี มีปริมาณแก๊สมีเทนเฉลี่ย 65.58% ซึ่งมีแก๊สมีเทนสูงสุดใน วันที่ 22 ของการหมักเท่ากับ 81.51% มีค่า pH เฉลี่ยในการหมัก คือ 7.1 อุณหภูมิในการหมักเฉลี่ย คือ 31 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาในการหมัก 45 วันดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 อัตราการเกิดแก๊สชีวภาพในการหมักมูลโคที่สภาวะปกติ

ผลการศึกษาค่า pH ของสารละลายแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าจากฟางข้าวในการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

เมื่อเตรียมแคลเซียมออกไซด์จำนวน 50 กรัมละลายในน้ำ 550 มิลลิลิตร และขี้เถ้าจำนวน 50 กรัมละลายในน้ำ 550 มิลลิลิตรในถังเก็บแก๊ส โดยอาศัยหลักการของการแทนที่น้ำของแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นpH เริ่มต้นของแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าเท่ากับ 14เมื่อทำการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นระยะเวลา 25 วัน pH ของแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าลดลงเหลือ 9 และ 10 ตามลำดับ เนื่องจากแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าได้ดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีความเป็นกรดเอาไว้ทำให้มี pH ลดลง หลังจากนั้นทำการเผาแคลเซียมออกไซด์เพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออก มีปริมาณคาร์บอเนตที่ถูกกำจัดในแคลเซียมออกไซด์ 50.90% และเผาขี้เถ้าด้วยฟางข้าวเพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกทำให้มี pH ของแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าเพิ่มขึ้นเป็น12 และ 13 ตามลำดับ จากผลข้างต้น pH หลังจากการเผามีค่าต่ำกว่า pH เริ่มต้น แสดงว่าการเผาสามารถไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปได้ไม่หมด ทำให้แคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าบางส่วนอยู่ในรูปของเกลือคาร์บอเนตจากนั้นนำแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าที่ผ่านการเผามาทำการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อีกครั้งเป็นระยะเวลา 25 วัน ค่า pH ของแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าลดลงเหลือเท่ากับ9หมายความว่าที่แคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้ายังดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้อยู่แต่ประสิทธิภาพน้อยลงกว่าครั้งแรก ทำให้มี pH ลดลงดังภาพที่ 4(ก)โดยแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้ามี pH เริ่มต้นเท่ากับ 14 และเมื่อนำแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าไปเผา pH ลดลงเหลือ 12 และ 13 ตามลำดับ เนื่องจากมีการเผาที่อุณหภูมิต่ำและเวลาในการเผาสั้นเกินไป ทำให้มี pH ต่ำกว่า pH เริ่มต้น ดังภาพที่ 4 (ข)



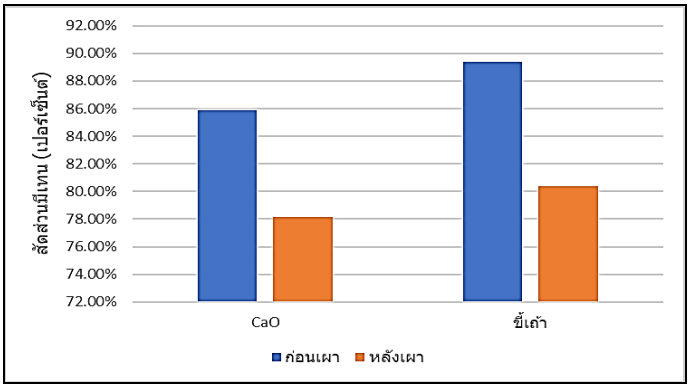
(ก) (ข)

ภาพที่ 4 ก. pH ของสารละลายแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าจากฟางข้าวในการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ข. pH ของสารละลายแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าจากฟางข้าวเริ่มต้นและหลังเผา

ผลการศึกษาสัดส่วนแก๊สมีเทนโดยการนำแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้าจากฟางข้าวกลับมาใช้ลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

เริ่มทำการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในวันที่ 20หลังจากการหมักและทำการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นระยะเวลา 25 วัน เริ่มตั้งแต่การหมัก 45 วันใช้แคลเซียมออกไซด์จำนวน 50 กรัมละลายในน้ำ 550 มิลลิลิตรในถังเก็บแก๊สโดยอาศัยหลักการของการแทนที่น้ำของแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น แก๊สมีเทนเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 81.90% หลังจากทำการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีสัดส่วนแก๊สมีเทนเฉลี่ย85.89% เพิ่มขึ้นประมาณ 4.65%เมื่อเทียบกับมีเทนเริ่มต้นเนื่องจากสารละลายแคลเซียมออกไซด์ทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะได้แคลเซียมคาร์บอเนต ดังนั้นแก๊สที่อยู่ในถังเก็บแก๊สจะมีสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงและมีแก๊สมีเทนเพิ่มขึ้น และเมื่อนำแคลเซียมออกไซด์ที่ใช้แล้วไปทำการเผาเพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับไว้แล้วนำกลับมาใช้ลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อีกครั้งโดยมีแก๊สมีเทนเริ่มต้นเท่ากับ 75.72%พบว่ามีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าการใช้แคลเซียมออกไซด์ในครั้งแรก ทำให้มีสัดส่วนแก๊สมีเทนเฉลี่ย 78.12%เพิ่มขึ้นประมาณ 3.70%เมื่อเทียบกับมีเทนเริ่มต้นและเมื่อใช้ขี้เถ้าจำนวน 50 กรัม

ละลายในน้ำ 550 มิลลิลิตรในถังเก็บแก๊ส โดยอาศัยหลักการของการแทนที่น้ำของแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังเก็บแก๊ส แก๊สมีเทนเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 80.81% หลังจากทำการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีสัดส่วนแก๊สมีเทนเฉลี่ย 89.36% เพิ่มขึ้นประมาณ 9.57%เมื่อเทียบกับมีเทนเริ่มต้นเนื่องจากเมื่อนำขี้เถ้าซึ่งมีออกไซด์ของโลหะต่างๆไปละลายน้ำ สารประกอบออกไซด์เหล่านั้นจะกลายเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์ เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายเบสสามารถทำปฏิกิริยากับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และเมื่อนำขี้เถ้าที่ผ่านการเผาเพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับไว้กลับมาใช้ลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อีกครั้ง แก๊สมีเทนเริ่มต้นเท่ากับ 76.72%พบว่ามีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าการใช้ขี้เถ้าในครั้งแรก ทำให้มีสัดส่วนแก๊สมีเทนเฉลี่ย 80.41%เพิ่มขึ้นประมาณ 4.59%เมื่อเทียบกับมีเทนเริ่มต้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการนำแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้ากลับมาใช้อีกครั้งพบว่า ขี้เถ้ามีความสามารถในการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากกว่าแคลเซียมออกไซด์แต่แคลเซียมออกไซด์มีประสิทธิภาพในการนำกลับมาใช้ดีกว่าขี้เถ้าเพราะความสามารถในดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง 0.95% ในขณะที่ความสามารถในดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของขี้เถ้าลดลง 4.97%เมื่อเทียบกับครั้งแรก ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบค่าสัดส่วนมีเทนเฉลี่ยระหว่างแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้า

สรุปผลการวิจัย

แก๊สชีวภาพที่ไม่ได้มีการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยสัดส่วนมีเทนเท่ากับ 65.58% คิดเป็นค่าความร้อนประมาณ 23.5MJ/m^3การนำแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้ามาลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ครั้งแรกพบว่ามีค่าเฉลี่ยของสัดส่วนแก๊สมีเทน 85.89%, 89.36% ตามลำดับซึ่งพบว่า ขี้เถ้าจากฟางข้าวมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแคลเซียมออกไซด์ในการลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อนำแคลเซียมออกไซด์มาเผาเพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีปริมาณคาร์บอเนตที่ถูกกำจัดในแคลเซียมออกไซด์ 50.90%และนำขี้เถ้าจากฟางข้าวมาเผาเพื่อไล่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แล้วนำมาลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ครั้งที่สองมีค่าเฉลี่ยสัดส่วนมีเทน78.12%, 80.41% ตามลำดับแต่ถ้าคิดในเชิงการนำกลับมาใช้พบว่าแคลเซียมออกไซด์มีประสิทธิภาพในการนำกลับมาใช้ดีกว่า โดยหลังจากการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แล้วมีค่าเฉลี่ยสัดส่วนมีเทนเพิ่มขึ้นประมาณ 15-20% คิดเป็นค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นในแก๊สชีวภาพประมาณ 6-8 MJ และเมื่อมีปริมาณแก๊สมีเทนที่สูงขึ้นถึง 90% จะสามารถนำไปผลิตเป็นแก๊สไบโอมีเทนอัดเพื่อใช้ในรถยนต์ต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สนับสนุนงบประมาณเพื่อทำการวิจัยแก่คณะผู้ทำการวิจัย ขอขอบคุณคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี และสถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ วิทยาเขตบางขุนเทียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำการวิจัย

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาถึงอุณหภูมิ, ระยะเวลาในการเผา ค่า pH ที่มีผลกระทบต่อการนำแคลเซียมออกไซด์และขี้เถ้ากลับมาใช้ซ้ำในการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สชีวภาพและสีของแคลเซียมออกไซด์หลังการเผา

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2579 (AEDP2015).**สืบค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2561, จาก http://www.eppo.go.th/index.php/ th/plan-policy/tieb/aedp.

[2] **ทฤษฎีเบื้องต้นของระบบแก๊สชีวภาพ.**สืบค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2561, จาก http://www.fristweb.net/handsite/biogas/teasdee.html

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. (2557). **แก๊สชีวภาพความเป็นมาของโครงการ.** สืบค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2561, จาก http://biogas.dede.go.th/biogas/web_biogas/

[4]มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.2555. การใช้ประโยชน์จากฟางข้าว:กรณีศึกษาบรรจุภัณฑ์ สำหรับผลผลิตทางการเกษตร.สืบค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2561, จาก http://sutir.sut.ac.th:8080 /sutir/bitstream/ 123456789/ 5684 /1 /Fulltext.pdf

[5] ซิลิกา (silica/SiO2) และประโยชน์ซิลิกา. สืบค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2561, จาก http://www.siamchemi.com/ซิลิกา

[6]Deublein, D. and Steinhauser A. (2008).**General aspects of the recovery of biomass in the future, Biogas from Waste and Renewable Resources**. WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinhein, Germany, P. 112,118.

[7] Nghiem, L. Nguyen, T. Manassa, P. Fitzgerald, S. Dawson, M. and Vierboom, S. (2014).**Co-digestion of sewage sludge and crude glycerol for on-demand biogas production**. International Biodeterioration & Biodegradation, Vol.95, 160-166.

[8] ศิวรินทร์ธิวรรณ์. (2560). **การปรับปรุงคุณภาพแก๊สชีวภาพโดยการลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในการหมักมูลโค**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประวัติผู้เขียนบทความ

ชื่อ-สกุล	นายธวัลรัตน์ ผโลทัยสิทธิ์
วัน เดือน ปีเกิด	1 ตุลาคม 2534
ระดับมัธยมศึกษา	โรงเรียนเบญจมราชานุสรณ์ จังหวัดนนทบุรี
ระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรมคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ปีการศึกษา 2556
ระดับปริญญาโท	กำลังศึกษาสาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

IE20

การออกแบบเครื่องฉีดพ่นยาสำหรับติดตั้งบนรถไถขนาดเล็ก

Design of Spaying System for Installation on Small Plow

ณัฒฒญา นาจำเริญ พงศธร เพ็ชรขี้เหล็ก และรุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล*
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นโครงงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องฉีดพ่นยาสำหรับติดตั้งบนรถไถขนาดเล็กและการปลูกพืช เป็นจำนวนมากเช่น ข้าว ข้าวโพด อ้อย เป็นต้นและในการทำการเกษตร โดยทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงข้อผิดพลาด รวมถึงหาวิธีการปรับปรุงที่เกิดขึ้นตั้งแต่อดีต มาตลอดจนปัจจุบัน ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการแก้ปัญหามาดังกล่าวมานานก็ตาม แต่ในเวลานี้ศัตรูพืชก็ยังปรากฏในแปลงพืชทุกหนแห่ง และระบาดทำร้ายพืชพันธุ์อยู่ต่อไป โดยไม่มีท่าทีว่าจะกำจัดให้หมดสิ้นไปและมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นอีกด้วย สร้างผลกระทบให้เกิดความเสียหายอย่างมากแก่เกษตรกรเป็นจำนวนมาก ผู้จัดทำจึงได้มีการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยออกแบบเครื่องฉีดพ่นยาสำหรับติดตั้งบนรถไถขนาดเล็กเพื่อลดความดันของน้ำยาสารเคมีที่พ่นออกมาไม่คงที่ อัตราการพ่นน้ำยาสารเคมีไม่มีความแน่นอนซึ่งขึ้นอยู่กับการทำงานของผู้ใช้ จะทำให้สามารถลดต้นทุน แรงงาน ลดระยะเวลาในการทำงาน และ มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้เครื่องมือ โดยทำการทดลองพบว่าความสามารถในการฉีดพ่นช่วงอัตราการไหล 2 ลิตรต่อนาที พบว่าในการฉีดพ่นด้วยอัตราการไหล ลิตรต่อนาที ใช้เวลาเฉลี่ยต่อรอบอยู่ที่ 26.86 นาที โดยสามารถฉีดพ่นได้ประมาณ 4.64 ไร่ ที่ความสามารถในการฉีดพ่นช่วงอัตราการไหล 4 ลิตรต่อนาที พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ยต่อรอบอยู่ที่ 20.25 นาที โดยสามารถฉีดพ่นได้ประมาณ 3.323 ไร่ และที่ความสามารถในการฉีดพ่นช่วงอัตราการไหล 7 ลิตรต่อนาที ใช้เวลาเฉลี่ยต่อรอบอยู่ที่ 13.65 นาที โดยสามารถฉีดพ่นได้ประมาณ 2 ไร่

คำสำคัญ : การฉีดพ่น การออกแบบเครื่องฉีดพ่นยาสำหรับติดตั้งบนรถไถ

*Corresponding author: Tel.: 095-168-7764 E-mail address: wiwattanasirikulr@gmail.com

1.บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นส่วนมาก ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน พบว่า มีการปลูกพืช เป็นจำนวนมากเช่น ข้าว ข้าวโพด อ้อย เป็นต้นและในการทำการเกษตรนั้น จะทำในพื้นที่จำนวนหลายสิบไร่ การทำเกษตรจะพบมีปัญหามากมาย คือ จะมีศัตรูพืชมาทำลาย แมลงทำลายพืชผล ชาวเกษตรกรนั่นมีวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตั้งแต่อดีต มาตลอดจนปัจจุบัน ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการแก้ปัญหามาดังกล่าวมานานก็ตาม แต่ในเวลานี้ศัตรูพืชก็ยังปรากฏในแปลงพืชทุกหนแห่ง และระบาดทำร้ายพืชพันธุ์อยู่ต่อไป โดยไม่มีท่าทีว่าจะกำจัดให้หมดสิ้นไปและมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้นอีกด้วย และยังสร้างผลกระทบให้เกิดความเสียหายอย่างมาก แก่เกษตรกรเป็นจำนวนมากเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว เกษตรกรส่วนใหญ่จะนิยมใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดพืชศตรู ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ หรือเครื่องจักรกล มาช่วยในการฉีดพ่น โดยเครื่องมือนี้ต้องมีประสิทธิภาพเพียงพอ เกษตรกรส่วนมากจะใช้เครื่องมือฉีดพ่นแบบใช้แรงงานของคนและเครื่องพ่นขนาดปานกลางใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลัง เครื่องพ่นที่กล่าวมานั้น มีข้อจำกัดในการ

ใช้งาน คือ ความดันของน้ำยาสารเคมีที่พ่นออกมาไม่คงที่ อัตราการพ่นน้ำยาสารเคมีไม่มีความแน่นอนซึ่งขึ้นอยู่กับการทำงานของผู้ใช้ ขนาดของละอองน้ำยาสารเคมีไม่มีความสม่ำเสมอ ไม่สามารถฉีดบนบริเวณกว้าง ผู้ใช้มีโอกาสได้รับสารเคมีโดยตรง ใช้เวลาในการทำงานนาน มีต้นทุนที่มาก ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้คนและเกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อม

จากปัญหาที่เกษตรกรได้พบนั้น ผู้จัดทำจึงได้สร้างเครื่องฉีดพ่นยาสำหรับติดตั้งบนรถไถขนาดเล็กเพื่อลดความดันของน้ำยาสารเคมีที่พ่นออกมาไม่คงที่ อัตราการพ่นน้ำยาสารเคมีไม่มีความแน่นอนซึ่งขึ้นอยู่กับการทำงานของผู้ใช้ จะทำให้สามารถลดต้นทุน แรงงาน ลดระยะเวลาในการทำงาน และมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้เครื่องมืออีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างระบบฉีดยาขนาด 160 L สำหรับติดตั้งในรถไถขนาดเล็ก

1.2.2เพื่อศึกษาระบบหัวฉีด ขนาดและการเลือกปั๊มให้เหมาะสมกับระบบ

1.2.3 เพื่อให้สามารถเพิ่มความเร็วของการฉีดพ่นยาในแปลงเกษตร

1.2.4 หาอัตราการไหลของหัวฉีด ในช่วงอัตราการพ่นที่ 2 4 และ 7 l/min

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ออกแบบหัวฉีด จำนวน6 หัว

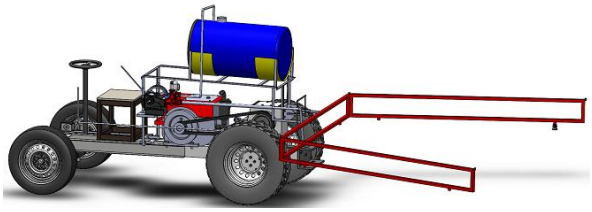
1.3.2 ออกแบบระบบท่อและเลือกปั๊มสำหรับฉีด1.3.3 ออกแบบฐานรองรับถังและแขนติดตั้งหัวฉีด

2.วิธีการดำเนินงาน

2.1วิธีการดำเนินงาน

ทำการศึกษาระบบฉีดพ่นสารเคมีเพื่อติดตั้งบนรถไถขนาดเล็กในโครงการนี้จะออกแบบระบบหัวฉีดให้มีประสิทธิภาพกว่าการฉีดพ่นโดยการใช้แรงงานมนุษย์ เพื่อลดเวลาในการฉีดพ่นลดต้นทุนในการฉีดพ่น และลดความเสี่ยงที่จะได้รับสารพิษของสารเคมีโดยโครงการนี้จะออกแบบเพื่อนำไปติดตั้งบนรถไถแบบนั่งขับขนาดเล็ก

2.1.1 การออกแบบระบบฉีดพ่นสารเคมีเพื่อติดตั้งบนรถไถขนาดเล็กในโครงการนี้ จะออกแบบระบบหัวฉีดให้มีประสิทธิภาพกว่าการฉีดพ่นโดยการใช้แรงงานมนุษย์ เพื่อลดเวลาในการฉีดพ่นลดต้นทุนในการฉีดพ่น และลดความเสี่ยงที่จะได้รับสารพิษของสารเคมี



ภาพที่ 1 เครื่องพ่นสารเคมีเพื่อติดตั้งบนรถไถขนาดเล็ก

2.1.2จัดเตรียมอุปกรณ์ และตรวจสอบว่าวัสดุที่ต้องนำมาใช้ครบหรือไม่เพราะจะทำให้การทำงานเป็นไปตามแผนที่ผู้จัดตั้งทำงานได้วางไว้เพื่อให้การทำงานออกมาอย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ทำเครื่องพ่นยา

2.1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน การติดตั้งปั๊มให้พูเล่ของปั๊มนั้นตรงกับพูเล่ของหัวรถไถ เพื่อจะใส่สายพานให้เหมาะสม ที่จะสามารถขับเคลื่อนการทำงานของปั๊มได้



ภาพที่ 3 ติดตั้งปั๊มให้พูเล่ของปั๊มนั้นตรงกับพูเล่ของหัวรถไถ

2.1.4 ทำการติดตั้งถังขนาด160ลิตร โดยทำการเจาะรูถัง 3 ตำแหน่ง รูที่ 1 รูดูดน้ำไปปั๊ม เพื่อดูดน้ำออกจากถังไปยังเครื่องปั๊มโดยใช้สายยาง รูที่ 2 รูย้อนกลับ เพื่อให้น้ำย้อนไหลกลับมาขณะเครื่องทำงาน เพื่อป้องกันแรงดันที่มากเกินไปอาจทำให้ปั๊มเกิดการเสียหายได้ รูที่ 3 รูเติมน้ำ ใช้สำหรับเติมน้ำและผสมสารเคมี รูจะมีขนาดใหญ่กว่าทุกรู เพื่อต้องการให้มีพื้นที่ในการผสมสารเคมีและเติมน้ำเข้าไปได้ง่ายขึ้น



ภาพที่ 4 ติดตั้งถังขนาด160ลิตร โดยทำการเจาะรูเพื่อเดินระบบสายยาง

2.1.5 การวางถังน้ำขนาด160ลิตร วางถังไว้บนรถไถ ทำมุมเอียง 5 องศา โดยมีเหล็กมาประคองถังและทำการใช้เหล็กล็อคถังน้ำ เพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ของถังขณะใช้งาน



ภาพที่5 ติดตั้งถังขนาด160 ลิตร

2.1.6 เมื่อติดตั้งปั๊มเสร็จเรียบร้อย ขั้นตอนต่อไปนำสายยางมาต่อใส่ปั๊มและใช้ท่อทองเหลืองสามทางมาประกอบ 3 ตำแหน่ง



ภาพที่ 6 นำสายยางมาต่อใส่ปั๊มและใช้ท่อทองเหลืองสามทาง

2.1.7 ขั้นตอนต่อไป นำหัวฉีดมาประกอบกับท่อทองเหลืองและประกอบเข้ากับสายยาง จำนวน 6 ตำแหน่งโดยการวางตำแหน่งของหัวฉีดจะอยู่บนก้านฉีดยาก้านบนสุดให้คงที่ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการพ่นยา และวางหัวฉีดยาให้ขนานกับพื้น



ภาพที่ 7 ติดตั้งหัวฉีดจำนวน 6 หัว

2.1.8 เมื่อทำการประกอบเสร็จเรียบร้อย เราจึงนำมาทดลองหัวฉีดก่อนทดลองจริง เพื่อป้องกันการพบปัญหาและมาแก้ไขปัญหาให้เรียบร้อย ทำให้เครื่องพ่นยาสมบูรณ์แบบ



ภาพที่ 8 ทดลองหัวฉีดก่อนทดลองจริง

2.2 วิธีการทดสอบ

ทำการตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่องพ่นยาที่ได้ทำการออกแบบเครื่องฉีดพ่นยาสำหรับติดตั้งบนรถไถขนาดเล็กให้เรียบร้อยจากนั้นบรรจุน้ำที่จะทำการทดลองลงในถังทำการฉีดเปรียบเทียบกับแบบโยกโดยการฉีดพ่น น้ำ160 ลิตรเท่ากันจับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นแล้วก็เปรียบเทียบกันบันทึกพื้นที่ในการพ่นในแต่ละครั้งและทำการสรุปผลการทดลองลงในตารางบันทึกผล



ภาพที่ 10 ลักษณะการฉีดพ่นยา

สูตรในการหาอัตราการไหล

$$Q = AV$$

เมื่อ Q = ปริมาณการไหล, (m^2/s)

A = พื้นที่หน้าตัด(m^2)

V = ความเร็วในการไหล (m/s)

สูตรในการหาเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number)

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu}$$

เมื่อ Re = จำนวนเลขเรย์โนลด์

V = ความเร็วการไหล (m/s)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)

ρ = วามหนาแน่นของของไหวค (kg/m^3)

μ = ความหนืดของของไหล

การสูญเสียจากการไหลภายในทอ

การสูญเสียหลัก

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ h_f = การสูญเสียหลัก

F = ตัวประกอบของแรงเสียดทาน

L = ความยาวของท่อช่วงที่พิจารณา (m)

V = ความเร็วเฉลี่ยของของไหล (m/s)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)

การสูญเสียรอง

$$h_m = K\frac{V^2}{2g}$$

เมื่อ h_m = การสูญเสียรอง

K = สัมประสิทธิ์การสูญเสียรอง

2.3 ผลการทดสอบ

2.3.1 ผลการทดลอง ช่วงอัตราการไหล 2l/min

ตารางที่ 1 พื้นที่ที่ฉีดพ่นได้ช่วงอัตราการไหล 2l/min

ค่าอัตราการไหลโดยใช้น้ำ 160 L			
ทดสอบ ครั้งที่	**เวลาที่ใช้ (min)**	**พื้นที่/ไร่**	**พื้นที่/ (ตรม.)**
1	25.44	4.573	7,320
2	26.78	4.665	7,464
3	28.36	4.689	7,503
ค่าเฉลี่ย	26.86	4.64	7,429

จากตารางที่ 1 ผลการทดลองหาความสามารถในการฉีดพ่นช่วงอัตราการไหล 2 ลิตร/นาทีใช้เวลาเฉลี่ยต่อรอบอยู่ที่ 26.86 นาที โดยสามารถฉีดพ่นได้ประมาณ 4.64ไร่ โดยอัตราการไหลที่ 2 ลิตร/นาทีจะเหมาะกับการใช้งานประเภท การพ่นปุ๋ยหรือยาให้กับพืชขนาดเล็กที่พึ่งปลูกหรือหยอดเมล็ดพันธุ์ ซึ่งอัตราการพ่นสารเคมีจะเบาเหมาะสำหรับพืชที่พึ่งทำการเพาะปลูก

2.3.2 ตารางการทดลอง ช่วงอัตราการไหล 4 l/min

ตารางที่ 2 พื้นที่ที่ฉีดพ่นได้ช่วงอัตราการไหล 4l/min

ค่าอัตราการไหลโดยใช้น้ำ 160 L			
ทดสอบ ครั้งที่	**เวลาที่ใช้ (min)**	**พื้นที่/ไร่**	**พื้นที่/ (ตรม.)**
1	18.82	3.233	5,172
2	20.18	3.313	5,301.5
3	21.76	3.424	5,479.5
ค่าเฉลี่ย	20.25	3.323	5,317.67

จากผลการทดลองหาความสามารถในการฉีดพ่นช่วงอัตราการไหล 4l/minที่ตารางที่ 2 พบว่าในการฉีดพ่นด้วยอัตราการไหล 4 l/min ใช้เวลาเฉลี่ต่อรอบอยู่ที่ 20.25 นาที โดยสามารถฉีดพ่นได้ประมาณ 3.323ไร่ หรือประมาณ 5,317ตารางเมตร โดยอัตราการไหลที่ 4 l/minจะเหมาะกับการใช้งานประเภท พืชที่กำลังเติบโต เช่น อ้อย มันสำประหลัง โดยต้องผสมในอัตราส่วนที่กำหนดไว้

2.3.3 ตารางการทดลอง ช่วงอัตราการไหล 7 l/min

ตารางที่ 3 พื้นที่ที่ฉีดพ่นได้ช่วงอัตราการไหล 7l/min

ค่าอัตราการไหลโดยใช้น้ำ 160 L			
ทดสอบครั้งที่	**เวลาที่ใช้ (min)**	**พื้นที่/ไร่**	**พื้นที่/(ตรม.)**
1	12.19	1.89	3,024
2	13.58	1.96	3,139
3	15.19	2.16	3,456
ค่าเฉลี่ย	13.65	2.003	3,206.33

จากผลการทดลองหาความสามารถในการฉีดพ่นช่วงอัตราการไหล 7l/minที่ตารางที่ 3พบว่าในการฉีดพ่นด้วยอัตราการไหล 7 l/min ใช้เวลาเฉลี่ต่อรอบอยู่ที่ 13.65 นาที โดยสามารถฉีดพ่นได้ประมาณ 2.003ไร่ โดยอัตราการไหลที่ 2 l/minจะเหมาะกับการใช้งานประเภท ฉีดพ่นยาฆ่าหญ้า และปรับสภาพหน้าดินไปในตัวโดยการผสมสารอินทรีย์หรือสารเคมีจะต้องเจือจางในสัดส่วนที่พอเหมาะ

สรุปผล

โครงงานนี้เป็นโครงงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องฉีดพ่นยาสำหรับติดตั้งบนรถไถขนาดเล็กการปลูกพืชเป็นจำนวนมากเช่น ข้าว ข้าวโพด อ้อย เป็นต้นและในการทำการเกษตรโดยทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงข้อผิดพลาด รวมถึงหาวิธีการปรับปรุงที่เกิดขึ้นตั้งแต่อดีต มาตลอดจนปัจจุบัน ผู้จัดทำจึงได้มีการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการออกแบบเครื่องฉีดพ่นยาสำหรับติดตั้งบนรถไถขนาดเล็กโดยทำการทดลองในการฉีดพ่นช่วงอัตราการไหล 2 l/min พบว่าในการฉีดพ่นด้วยอัตราการไหล 2 l/min ใช้เวลาเฉลี่ยต่อรอบอยู่ที่ 26.86 นาที โดยสามารถฉีดพ่นได้ประมาณ 4.64 ไร่ การทดลองที่การฉีดพ่นช่วงอัตราการไหล 4l/min พบว่าใช้เวลาเฉลี่ยต่อรอบอยู่ที่ 20.25 นาที โดยสามารถฉีดพ่นได้ประมาณ 3.323 ไร่ และการทดลองที่การฉีดพ่นช่วงอัตราการไหล 7 l/min ใช้เวลาเฉลี่ยต่อรอบอยู่ที่ 13.65 นาที โดยสามารถฉีดพ่นได้ประมาณ 2 ไร่ ดังนั้นงานวิจัยเรื่องการออกแบบเครื่องฉีดพ่นยาสำหรับติดตั้งบนรถไถขนาดเล็กสามารถลดความดันของน้ำยาสารเคมีที่พ่นออกมาไม่คงที่ อัตราการพ่นน้ำยาสารเคมีไม่มีความแน่นนอน สามารถทำให้ลดต้นทุน แรงงาน ลดระยะเวลาในการทำงาน และมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้เครื่องมือ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จลงตามวัตถุประสงค์ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณที่ปรึกษา คือท่านอาจารย์ ดร. รุ่งตะวันวิวัฒนาศิริกุล และท่านอาจารย์วรเชษฐ์ แสงสีดา ที่ได้ให้ทั้งความรู้อันเป็นประโยชน์ คำแนะนำ และการส่งเสริมช่วยเหลือตลอดมา จนกระทั่งประสบความสำเร็จลุล่วงลงได้ และนอกจากนั้นยังต้องขอขอบพระคุณท่านอาจารย์จักรี วิชัยระหัดผู้อำนวยการโครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และคณาจารย์ในคณะฯ คณาจารย์ในสาขาวิชาฯ และบุคคลท่านอื่นๆ ที่ได้ให้การช่วยเหลือแต่มิได้เอ่ยนามในที่นี้

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง ที่ได้ให้การสนับสนุน ส่งเสริม ช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ และคอยกระตุ้นเตือนแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา จนกระทั่งประสบความสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] **การประดิษฐ์เครื่องพ่นยาเอนกประสงค์ต่อพ่วงท้ายรถฟาร์มแทรกเตอร์.**ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาหารสัตว์สุราษฎร์ธานี

[2] **เครื่องพ่นยาพ่วงหลังรถไถ.**สาขา ช่างยนต์ คณะ ช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีพายัพและบริหารธุรกิจ

[3] ชนะชัย แสงลีพิศิษฐ์ สุทธิศักดิ์ สุขสกุลปัญญา และวรกุล หลี่จ๊ะ.2555.**การทำสิ่งประดิษฐ์**

[4] นิคม มีมานะ และประทีป นาครอด.2548.**ศึกษาพัฒนาเครื่องพ่นสารเคมี.**สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ.

IE21

การประยุกต์รถไถนาเดินตามให้สามารถนั่งขับสำหรับการใช้งานในแปลงเกษตร

The Application of walking tractor to ride the drive for use in agricultural plots

กฤษนัณจ์ แพงด้วง และรุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล*
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลโครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ167 ต.นาฝาย อ.เมือง จ.ชัยภูมิ 36000

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นโครงงานที่เกี่ยวข้องกับรถไถเดินตามขนาดเล็ก โดยโครงงานมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาระบบบังคับเลี้ยว ซึ่งได้ดัดแปลงจากรถไถนาเดินตามให้เป็นแบบนั่งขับนี้ มีส่วนประกอบหลักคือ โครงสร้างรับน้ำหนักของชิ้นส่วนของรถ (แคสซี) ความเร็วมากที่สุดที่จะไม่ทำให้รถพลิกคว่ำขณะเข้าโค้ง ระบบบังคับเลี้ยวผลการคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วงจากการออกแบบและสร้างรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กได้ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วง h คือ ความสูงของตำแหน่งศูนย์ถ่วงเหนือพื้นดิน เท่ากับ 51.63 ซม. และ l1 คือ ระยะห่างตามแนวยาวจากกึ่งกลางแกนเพลาล้อหลังไปยังจุดศูนย์ถ่วง 77.41 ซม. การคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วงของรถแทรกเตอร์ขณะเติมน้ำลงในถังฉีดยาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วง h คือ ความสูงของตำแหน่งศูนย์ถ่วงเหนือพื้นดิน เท่ากับ 52.23 ซม. และ l1 คือ ระยะห่างตามแนวยาวจากกึ่งกลางแกนเพลาล้อหลังไปยังจุดศูนย์ถ่วง 33.90 ซม. และความเร็วมากที่สุดที่จะไม่ทำให้รถพลิกคว่ำขณะเข้าโค้งจะใช้ความเร็วไม่เกิน 10.36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และการหาความสามารถในการเลี้ยวรถแทรกเตอร์เมื่อปฏิบัติตามในขั้นตอนการทดสอบแล้วได้ค่ารัศมีวงเลี้ยวที่แคบที่สุดเท่ากับ 3.92 เมตร และส่วนที่ยื่นออกไปยาวที่สุดเท่ากับ 5.11 เมตร โดยใช้ความเร็วประมาณ 0.6 เมตรต่อวินาที ซึ่งไม่เกินความที่จะทำให้รถไม่พลิกคว่ำ

คำสำคัญ: ระบบบังคับเลี้ยว ความเร็วที่ไม่พลิกคว่ำ

*Corresponding author: Tel.: 095-168-7764 E-mail address: wiwattanasirikulr@gmail.com

บทนำ

ในปัจจุบันเกษตรกรได้ให้ความสำคัญเครื่องจักรกลเกษตรต่างๆเข้ามาทุ่นแรงงานเพื่อความสะดวกสบายของเกษตรกรเป็นอย่างแพร่หลาย ซึ่งเครื่องทุ่นแรงประเภทรถไถเดินตามมีความนิยมใช้กันมากในปัจจุบัน แต่รถไถเดินตามก็ยังไม่สะดวกต่อการใช้งานเพราะต้องเดินตามรถไถเพื่อการควบคุมการบังคับเลี้ยว สำหรับในการทำนาที่มีสภาพเป็นโคลนทำให้เดินตามรถไถได้ลำบาก เกษตรกรที่ทำงานเตรียมดินจึงเกิดความเมื่อยล้าและลำบากในการทำงานมาก ถึงแม้ปัจจุบันจะมีการนำเข้ารถแทรกเตอร์จากต่างประเทศและสามารถผลิตรถแทรกเตอร์ภายในประเทศเพื่อจำหน่าย แต่รถแทรกเตอร์เหล่านี้ยังมีราคาที่สูง ไม่คุ้มค่ากับการใช้งานในที่ดินที่เกษตรกรครอบครองอยู่ ประกอบกับเกษตรกรส่วนใหญ่มีรถไถเดินตามประจำบ้านอยู่แล้ว ดังนั้น การพัฒนารถไถเดินตามที่มีอยู่ ให้เป็นรถไถแบบนั่งขับขนาดเล็ก สำหรับเป็นแนวทางปรับปรุงรถไถที่เกษตรกรมีรถไถเดินตามอยู่ตามบ้านเรือนให้สามารถสะดวกสบายในการใช้งานโดยไม่ต้องเดินตามอีก และถึงแม้ยังมีการปรับปรุงรถไถเดินตามของชาวบ้านทั่วไปอยู่ ดังนั้นการปรับปรุงรถไถเดินตามมาเป็นรถไถเดินตามแบบนั่งขับขนาดเล็กและจะได้ใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมเพื่อพิจารณาสิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึง คือระบบบังคับเลี้ยว

ขนาดของแซสซี ระยะห่างของฐานล้อ การปรับปรุงระบบส่งกำลังและระบบควบคุมความเร็วซึ่งมีผลต่อการหักเลี้ยว นอกจากนี้ โครงการนี้ยังออกแบบรถไถนาเดินตามให้สามารถติดตั้งเครื่องมือสำหรับทำการเกษตรอีกด้วย

1. วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.1 เพื่อศึกษาระบบบังคับเลี้ยว การออกแบบแซสซีและจุดศูนย์ถ่วงของรถไถนาแบบประยุกต์

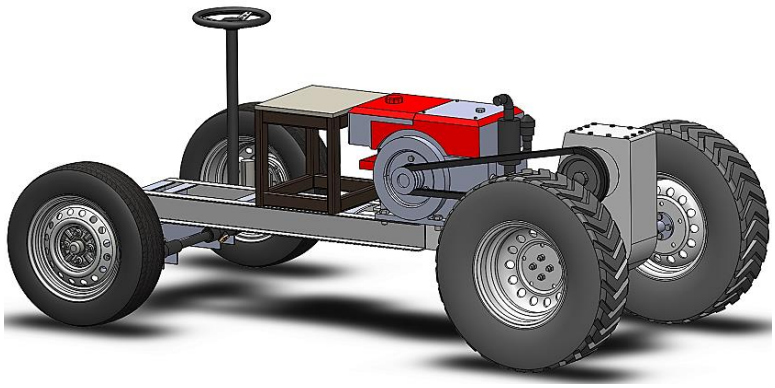
1.2 เพื่อประยุกต์รถไถนาเดินตามแบบนั่งขับให้สามารถทำงานในแปลงเกษตรได้

1.3 เพื่อประยุกต์รถไถนาเดินตามให้สามารถติดตั้งอุปกรณ์ทำเกษตร

2.วิธีการดำเนินงาน

2.1 วิธีการดำเนินงาน

ผู้จัดทำได้ทำการศึกษารถไถเดินตามแบบนั่งขับขนาดเล็กในโครงการนี้จะออกแบบโดยยึดโครงสร้างหลักของรถไถเดินตาม (แซสซี) และใช้อุปกรณ์ที่ติดมากับรถไถเดินตามเดิมเช่นเบรกและระบบส่งกำลังเป็นต้นเพื่อให้ยังคงลักษณะการใช้งานให้คล้ายกับรถไถเดินตามให้มากที่สุดแต่จะเปลี่ยนตำแหน่งการวางต่างๆ ขึ้นมาใหม่ผู้ออกแบบยังได้ออกแบบระบบบังคับเลี้ยวขึ้นมาใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานที่ต่างไปจากรถไถเดินตามโดยอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบขึ้นมาใหม่จะประกอบเข้ากับโครงรถไถเดินตามโดยมีการเชื่อมเพียงเล็กน้อยเพื่อประโยชน์ในภายภาคหน้าเมื่อต้องการเปลี่ยนจากรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กมาเป็นรถไถเดินตามโครงการนี้จึงเป็นประโยชน์มากสำหรับเป็นต้นแบบในการพัฒนารถไถเดินตามให้มาเป็นรถไถนาเดินตามแบบนั่งขับ



ภาพที่ 1 การออกแบบรถไถเดินตามแบบนั่งขับโดยใช้โปรแกรม Solid work

ทำการออกแบบรถไถเดินตามแบบนั่งขับขนาดเล็กโดยใช้โปรแกรม Solid work ซึ่งในการออกแบบทางผู้จัดทำจะเน้นในส่วนของความปลอดภัยมาเป็นอันดับแรกความแข็งแรง ทนทานใช้งานได้ง่าย

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง

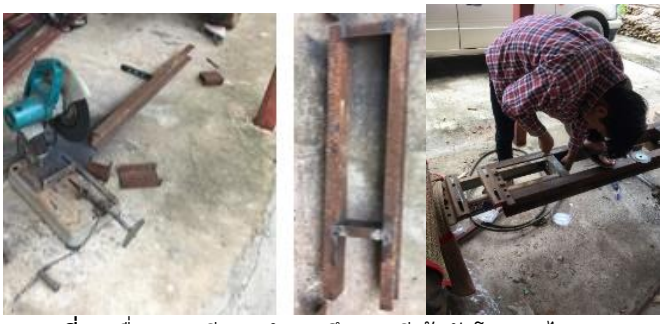
อุปกรณ์ในการสร้างนั้นหลักๆ จะประกอบไปด้วย พวงมาลัยรถ ล้อรถจำนวน 4 ล้อ เครื่องของรถไถ เหล็กตัวซี ชุดคอม้า ชุดบังคับเลี้ยว และลูกหมาก



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ทำรถไถเดินตามแบบนั่งขับ

2.3 วิธีการสร้างรถไถเดินตามแบบนั่งขับ

1.ทำการตัดเหล็กและเชื่อมแคชซีจากนั้นทำการยึดแคชซีที่เชื่อมไว้มายึดโดยการขันน็อต เพื่อประโยชน์ในภายภาคหน้าเมื่อต้องการเปลี่ยนจากรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กมาเป็นรถไถเดินตาม



ภาพที่ 3 เชื่อมแคชซีและทำการยึดแคชซีเข้ากับโครงรถไถ

2.ทำการเชื่อมคานหน้าเข้ากับชุดคอม้าและทำการติดตั้งล้อหน้าเข้ากับดุมล้อที่ติดอยู่กับคอม้า



ภาพที่ 4 เชื่อมคานหน้าเข้ากับชุดคอม้า

3.ทำการเจาะรูเพื่อที่จะยึดคันส่งเข้ากับคานหน้าและทำการยึดลูกหมากเข้ากับปีกนก



ภาพที่ 5 ยึดคันส่งเข้ากับคานหน้าและยึดลูกหมากเข้ากับปีกนก

4.ทำการเชื่อมพวงมาลัยเข้ากับตัวคันส่งและติดตั้งเก้าอี้



ภาพที่ 6 เชื่อมพวงมาลัยเข้ากับตัวคันส่ง

5.ทำการเชื่อมต่อระบบเกียร์รถไถเดินมาจากข้างหลังมาไว้ข้างหน้าเพื่อที่จะได้ทำการเข้าเกียร์เวลานั่งขับได้สะดวกสบายมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 7 เชื่อมต่อระบบเกียร์รถไถเดิน

2.4 ขั้นตอนการทดสอบการหาค่าความสามารถในการเลี้ยว

ตรวจสอบระยะห่างระหว่างช่วงล้อหน้าและช่วงล้อหลังและระยะห่างระหว่างเพลาหน้าจนถึงเพลาหลังขับรถแทรกเตอร์ด้วยความเร็วประมาณ 0.6 m/s บนพื้นคอนกรีตหรือยางมะตอยเลี้ยวรถเป็นวงกลม 360 องศาให้แคบที่สุดโดยไม่ใช้เบรกบันทึกเส้นผ่านศูนย์กลางการเลี้ยวแคบที่สุดและเส้นผ่านกลางแคบที่สุดของส่วนที่ยื่นออกมานอกที่สุดจำนวน 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยแล้วจึงทำการบันทึกค่า



ภาพที่ 8 การทดสอบการหาค่าความสามารถในการเลี้ยว

2.5 วิธีการการหาจุดศูนย์ถ่วงและมุมพลิกคว่ำของรถแทรกเตอร์

ตรวจสอบระยะห่างระหว่างช่วงล้อหน้าและช่วงล้อหลังและระยะห่างระหว่างเพลาหน้าจนถึงเพลาหลังขับรถแทรกเตอร์ด้วยความเร็วประมาณ 0.6 m/s บนพื้นคอนกรีตหรือยางมะตอยเลี้ยวรถเป็นวงกลม 360°ให้แคบที่สุดโดยไม่ใช้เบรกบันทึกเส้นผ่านศูนย์กลางการเลี้ยวแคบที่สุดและเส้นผ่านกลางแคบที่สุดของส่วนที่ยื่นออกมานอกที่สุดจำนวน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยแล้วจึงทำการบันทึกค่า

$$l_2 = \frac{w_1 l}{w}$$

$$l_1 = \frac{(W - w)(T_f + T_r)}{4(W)}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}\frac{(r_1 - r_2)}{l}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left[\frac{(y + r_2 - r_1)\cos\theta_1}{l}\right]$$

$$'l = l\frac{\cos\theta_2}{\cos\theta_1}$$

$$h = r_1 + \frac{l_1 - (l_1/\cos\theta)}{\tan\theta_1}$$

โดยที่

l คือ ระยะความกว้างฐานล้อ (cm)

l_1คือ ระยะห่างตามแนวยาวจากกึ่งกลางแกนเพลาล้อหลังไปยังจุดศูนย์ถ่วง (cm)

l_2 คือ ระยะห่างตามแนวราบจากแกนกลางของรถไปยังตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถ (cm)

w คือ น้ำหนักของรถแทรกเตอร์ (kg)

w_1คือ น้ำหนักที่ลงตำแหน่งล้อหน้าของรถแทรกเตอร์ (kg)

hคือ ความสูงของตำแหน่งศูนย์ถ่วงเหนือพื้นดิน (cm)

r_1คือ ความสูงของจุดกึ่งกลางล้อหลัง (cm)

r_2คือ ความสูงของจุดกึ่งกลางล้อหน้า เหนือพื้นดิน (cm)

r_1'คือ ความสูงของจุดกึ่งกลางล้อหน้าเหนือพื้นดินขณะที่ล้อหน้าถูกยกขึ้น (cm)

r_2' คือ ความสูงของจุดกึ่งกลางล้อหน้าเหนือพื้น ดินขณะที่ล้อหน้าถูกยกขึ้นบนความสูง y (cm)

y คือ ความสูงของล้อหน้าที่ถูกยกเหนือระดับพื้นดิน (cm)

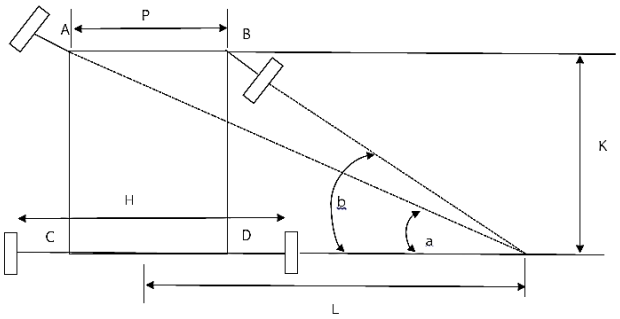
T คือ ระยะทรีด (cm)

ความสัมพันธ์ของมุมเลี้ยวและระยะความกว้าง

$$\cot(a) = \frac{L - 0.5(P)}{K}$$

$$\cot(a) = \frac{L + 0.5(P)}{K}$$

$$\cot(a) - \cot(b) = \frac{P}{K}$$



ภาพที่9 ความสำพันธ์ของมุมเลี้ยวกับระยะต่างๆ

รัศมีการเลี้ยวของล้อหน้านอก

$$R = K\,\mathrm{cosec}(b) - d = K\,\mathrm{cosec}(b) - 0.5(T - P)$$

รัศมีการเลี้ยวของล้อหน้าล้อใน

$$R = K\,\mathrm{cosec}(a) - d = K\,\mathrm{cosec}(a) - 0.5(T - P)$$

รัศมีการเลี้ยวของล้อหลังล้อใน

$$R = L - (H/2)$$

รัศมีการเลี้ยวของล้อหลังล้อนอก

$$R = L + (H/2)$$

โดยที่

T คือ ความกว้างของสลักล้อหน้า (mm)

K คือ ความยาวของช่วงล้อหน้าถึงล้อหลัง (mm)

P คือ ความกว้างของช่วงล้อหน้า (mm)

H คือ ความกว้างของช่วงล้อหลัง (mm)

L คือ ระยะจากกึ่งกลางที่เพลาหลังถึงจุดกึ่งกลางของการเลี้ยว (mm)

b คือ มุมเลี้ยวของล้อด้านใน (องศา)

a คือ มุมเลี้ยวของล้อด้านนอก (องศา)

3. ผลการทดลอง

ผลของการดำเนินโครงการซึ่งจะประกอบไปด้วยผลการสร้างรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก หาค่าความสามารถในการเลี้ยวรถแทรกเตอร์เป็นการทดลองของล้อรถ สำหรับการหาค่าความสามารถในการเลี้ยงรถบนพื้นที่ ที่แตกต่างกันเพื่อมาเปรียบเทียบให้เหมาะกับการใช้งานของแต่ละพื้นผิว

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบหาค่าความสามารถในการเลี้ยวรถแทรกเตอร์บนพื้นคอนกรีต

ค่าความสามาในการเลี้ยวบนพื้นคอนกรีต						
ครั้ง	เลี้ยวซ้าย			เลี้ยวขวา		
	ส่วนที่แคบที่สุด (m)	ส่วนที่ยื่นออกยาวที่สุด (m)	ระยะเวลาต่อรอบ (s)	ส่วนที่แคบที่สุด (m)	ส่วนที่ยื่นออกยาวที่สุด (m)	ระยะเวลาต่อรอบ (s)
1	4.05	5.12	40.57	4.01	5.16	41.81
2	4.06	5.14	40.69	4.01	5.11	40.39
3	4.04	5.13	41.13	4.05	5.13	41.80
เฉลี่ย	4.05	5.13	40.79	4.02	5.13	41.33

จากผลการทดสอบหาค่าความสามารถในการเลี้ยวรถแทรกเตอร์บนพื้นคอนกรีตโดยใช้ความเร็ว 0.62 m/s พบว่า ในการเลี้ยวซ้ายส่วนที่แคบที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 m และส่วนที่ยื่นออกที่ยาวที่สุดเท่ากับ 5.13 m โดยใช้เวลา 40.79 s ส่วนการเลี้ยวขวาส่วนที่แคบที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 4.02 m และส่วนที่ยื่นออกที่ยาวที่สุดเท่ากับ 5.13 m โดยใช้เวลา 41.33 s ซึ่งจากการทดสอบพบว่าค่าความสามารถในการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวมีรัศมีที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาค่าความสามารถในการเลี้ยวรถแทรกเตอร์บนพื้นดิน

ค่าความสามาในการเลี้ยวบนพื้นดิน						
ครั้งที่	เลี้ยวซ้าย			เลี้ยวขวา		
	ส่วนที่แคบที่สุด (m)	ส่วนที่ยื่นออกยาวที่สุด (m)	ระยะเวลาต่อรอบ (s)	ส่วนที่แคบที่สุด (m)	ส่วนที่ยื่นออกยาวที่สุด (m)	ระยะเวลาต่อรอบ (s)
1	3.92	5.12	40.27	3.94	5.13	41.61
2	3.92	5.11	40.30	3.92	5.12	40.29
3	3.93	5.11	41.11	3.94	5.13	41.81
เฉลี่ย	3.92	5.11	40.56	3.93	5.13	41.23

จากผลการทดสอบหาค่าความสามารถในการเลี้ยวรถแทรกเตอร์บนพื้นดินโดยใช้ความเร็ว 0.6 m/s พบว่า ในการเลี้ยวซ้ายส่วนที่แคบที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 3.92 m และส่วนที่ยื่นออกที่ยาวที่สุดเท่ากับ 5.11 m โดยใช้เวลา 40.56 s ส่วนการเลี้ยวขวาส่วนที่แคบที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 3.93 m และส่วนที่ยื่นออกที่ยาวที่สุดเท่ากับ 5.12 m โดยใช้เวลา 41.23 s ซึ่งจากการทดสอบพบว่าค่าความสามารถในการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวมีรัศมีที่ใกล้เคียงกัน

3.1 การคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วง

3.1.1 การคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วง

การคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วงพบว่า ผลการคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วงจากการออกแบบและสร้างรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กได้ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วง h คือ ความสูงของตำแหน่งศูนย์ถ่วงเหนือพื้นดิน เท่ากับ 51.63 cm และ l1 คือ ระยะห่างตามแนวยาวจากกึ่งกลางแกนเพลาล้อหลังไปยังจุดศูนย์ถ่วง 77.41 cm

3.1.2 การคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วงของรถแทรกเตอร์ขณะเติมน้ำลงในถังฉีดยา

การคำนวณหาจุดศูนย์ถ่วงของรถแทรกเตอร์ขณะเติมน้ำลงในถังฉีดยาตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วง h คือ ความสูงของตำแหน่งศูนย์ถ่วงเหนือพื้นดิน เท่ากับ 52.23 cm และ l1คือ ระยะห่างตามแนวยาวจากกึ่งกลางแกนเพลาล้อหลังไปยังจุดศูนย์ถ่วง 33.90 cm

4. สรุป

โครงงานนี้เป็นโครงงานที่เกี่ยวข้องการปรับปรุงรถไถนาเดินตามมาให้เป็นรถไถแบบนั่งขับขนาดเล็ก จากการทดสอบรถไถนาเดินตามมาให้เป็นรถไถแบบนั่งขับขนาดเล็กสามารถทำงานได้ตามขอบเขตคือสามารถใช้งานปรับปรุงระบบส่งกำลังและหาจุดศูนย์ถ่วงของรถไถนาเดินตามมาให้เป็นรถไถแบบนั่งขับขนาดเล็กและหาความสามารถในการเลี้ยวซึ่งการทดสอบจะแบ่งไปตามหัวข้อต่างๆ คือการทดสอบหาจุดศูนย์ถ่วงโดยการคำนวณ การทดสอบหาค่าความสามารถในการเลี้ยวรถแทรกเตอร์โดยการหาความเร็วจากการคำนวณ โดยการหาจุดศูนย์ถ่วงและมุมพลิกคว่ำของรถแทรกเตอร์ ผลที่ได้จากการคำนวณจะได้ค่าจุดศูนย์ถ่วง คือมีความสูงของตำแหน่งศูนย์ถ่วงเหนือพื้นดิน เท่ากับ 51.63 cmและระยะห่างตามแนวยาวจากกึ่งกลางแกนเพลาล้อหลังไปยังจุดศูนย์ถ่วง 77.41cm และจุดศูนย์ถ่วงของรถแทรกเตอร์ขณะเติมน้ำลงในถังฉีดยามีความสูงของตำแหน่งศูนย์ถ่วงเหนือพื้นดิน เท่ากับ 52.23cm และ คือ ระยะห่างตามแนวยาวจากกึ่งกลางแกนเพลาล้อหลังไปยังจุดศูนย์ถ่วง 33.90cmการหาความสามารถในการเลี้ยวรถแทรกเตอร์เมื่อปฏิบัติตามในขั้นตอนการทดสอบแล้ว ได้ค่ารัศมีวงเลี้ยวที่แคบที่สุดเท่ากับ 3.92m และส่วนที่ยื่นออกไปยาวที่สุดเท่ากับ 5.11 m ซึ่งเมื่อเทียบกับการหาค่ารัศมีวงเลี้ยวที่ได้รัศมีวงเลี้ยวที่แคบที่สุดเท่ากับ 4 m รัศมีวงเลี้ยวที่ยื่นออกไปยาวที่สุดเท่ากับ 5m ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และความเร็วมากที่สุดที่จะไม่ทำให้รถพลิกคว่ำขณะเข้าโค้งจะใช้ความเร็วไม่เกิน 10.36km/hr

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จลงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา คือท่านอาจารย์ ดร.รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล และท่านอาจารย์ ดร.พงษ์ภูไท อุดมอริยทรัพย์ ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ทั้งความรู้อันเป็นประโยชน์ คำแนะนำ และการส่งเสริมช่วยเหลือตลอดมาจนกระทั่งนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงลงได้ และนอกจากนั้นยังต้องขอขอบพระคุณท่านอาจารย์จักรี วิชัยระหัด ผู้อำนวยการโครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณาจารย์ในคณะฯ คณาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และบุคคลท่านอื่นๆ ที่ได้ให้การช่วยเหลือแต่มิได้เอ่ยนามในที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กัมปนาท แสงสุวรรณ.2556. การปรับปรุงระบบส่งกำลังรถไถเดินตามให้ได้กับแทรกสี่ล้อขนาดเล็ก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพเชียงใหม่.

[2] ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์.2538. กลศาสตร์ยานยนต์.นนทบุรี.

[3] ณัฐวุฒิ ปิงธิวัทธิกร ศรีบุญปวง สมบัติ บัวเงา.2555. การออกแบบและพัฒนารถแทรกเตอร์ตีนตะขาบขนาดเล็กโดยใช้ชุดเกียร์รถไถเดินตาม. สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพเชียงใหม่.

[4] เผด็จ แสนเกษม.2521. กลศาสตร์ยานยนต์.กรุงเทพฯ.บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

[5] มนตรี พิรุณเกษตร.2558. กลศาสตร์ของวัสดุ.กรุงเทพฯ: วิทยาพัฒน์ จำกัด.

[6] สันธาร นาควัฒนานุกูลม, จารุวัฒน์ มงคลธนทรรศ, ดนัย ศารทูลพิทักษ์.2548.วิจัยและพัฒนาอุปกรณ์งานเขตกรรมสำหรับไร่อ้อยพ่วงท้ายรถไถเดินตาม.สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม.

IE22

การศึกษาผลของการเจาะรูฐานเตาเพื่อเพิ่มการระบายอากาศเพื่อการประหยัดเชื้อเพลิงแก๊ส

พรหมพักตร์ ดาวัลต์[1*] อมรรัตน์ ตาดี[1] ปวีณา สุวรรณรัตน์[1] ชูพงศ์ ไชยหลาก[2] อรณัญช์ ทองกร[2]
และธีระพงษ์ บุญรักษา[3]
[1] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี กรุงเทพฯ 10170
[2] แผนกวิจัยและตรวจทดลอง กรมพลาธิการทหารอากาศ กรุงเทพฯ 10210
[3] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

บทคัดย่อ

บทความวิจัยเรื่องการออกแบบฐานเตาหุงต้มเพื่อลดปริมาณแก๊สหุงต้มฉบับนี้ เป็นการนำเสนอการศึกษาและการออกแบบวัสดุที่นำสร้างเป็นฐานเตา เพื่อให้ฐานเตามีอายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยวัสดุที่ใช้ทำฐานเตาใช้เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steels) ซึ่งเหล็กกล้าไร้สนิมนี้จัดเป็นวัสดุที่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูง ดังนั้นจึงทำให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น และการออกแบบฐานเตาเพื่อให้ประหยัดพลังงาน ลดปริมาณการใช้แก๊สหุงต้มในการหุงต้มด้วยการเจาะช่องระบายอากาศรอบฐานเตา เพื่อเป็นการระบายความร้อนจากการหุงต้ม และทำการเก็บผลวิจัยโดยเปรียบเทียบกับฐานเตากลมทึบ ในการต้มน้ำเปล่าปริมาณ 6 ลิตร ณ ความดันแก๊สที่ 35 ปอนด์/ตารางนิ้ว จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 95 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าฐานเตาแบบเจาะช่องระบายอากาศใช้ปริมาณแก๊สหุงต้ม 21 มิลลิลิตร และฐานเตาแบบกลมทึบใช้ปริมาณแก๊ส 46 มิลลิลิตร จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่าการใช้เตาหุงต้ม ร่วมกับฐานเตาแบบเจาะช่องระบายอากาศ สามารถลดปริมาณแก๊สได้มากกว่าฐานเตาแบบทึบ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์อยู่ที่ 54.35 % ทำการคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อยู่ที่ 173,000 บาท และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เป็น 54.6 %

คำสำคัญ: ฐานเตา เหล็กกล้าไร้สนิม แก๊สหุงต้ม

*Corresponding author: Tel.: 095-361-1555. E-mail address: Promphak.dawan@gmail.com

บทนำ

ในปัจจุบัน “เตาแก๊ส” ถือเป็นสิ่งสำคัญอันดับต้นๆ ในห้องครัว เพราะครัวส่วนใหญ่ในประเทศไทยนิยมใช้เตาแก๊สในการหุงต้ม ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเตาแก๊สได้มีการพัฒนามากขึ้นเรื่อย ๆ ทางภาคครัวเรือนนั้นถือได้ว่าเป็นแหล่งบริโภคแก๊สหุงต้มมากที่สุด เพราะเป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่รวดเร็ว จึงสามารถอำนวยความสะดวกได้เป็นอย่างดี ในปัจจุบันได้มีการเล็งเห็นความสำคัญของในเรื่องความปลอดภัย และประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง และเพื่อเป็นการลดอัตราปริมาณการใช้แก๊สในแต่ละวัน อีกทั้งยังเป็นการลดการปริมาณการใช้แก๊ส ช่วยรักษาสภาพแวดล้อม ลดมลพิษทางอากาศลงอีกด้วย

ฐานเตาแก๊ส เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่นิยมใช้ร่วมกับเตาแก๊สหุงต้ม คนส่วนใหญ่มักเข้าใจว่าฐานเตาจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนของเตาแก๊สได้ดี แต่ในความเป็นจริงคือ เมื่อฐานเตาได้รับความร้อนจากแก๊สที่ปล่อยออกมานั้น เมื่อใช้งานไปได้เป็นเวลาหนึ่ง จะทำให้ฐานเตาเกิดการผุกร่อนได้ง่าย และอายุการใช้งานของฐานเตาก็จะสั้นลงตามไปด้วย จึงทำให้เกิดการคิดค้นหาสิ่งต่าง ๆ ที่จะทำให้ฐานเตามีความทนทานและมีความปลอดภัยในการใช้งานใช้แก๊สในครัวเรือน ทั้งนี้ยังต้องเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดอัตราการใช้ปริมาณของแก๊สด้วย และได้เกิดแนวทางการพัฒนารูปแบบของฐานเตาแก๊ส

ขึ้นมาใหม่ เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาการผุกร่อนของฐานเตาแก๊ส และเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดอัตราการใช้ปริมาณของแก๊ส ฐานเตาแก๊สเป็นอุปกรณ์ที่เป็นเครื่องครัวชิ้นหนึ่งที่มีความจำเป็นที่จะใช้ร่วมกับเตาแก๊สในการหุงต้มสำหรับทุกครัวเรือน และในปัจจุบันได้รับการออกแบบให้มีความหลากหลายมากขึ้นเพื่อตอบสนองการใช้งานหลายๆ ลักษณะงาน ฐานเตาที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นฐานเตาแบบทึบที่ทำจากเหล็ก(Iron) ฐานลักษณะนี้ถูกออกแบบมาให้ใช้งานในบ้านที่เน้นทำอาหารในชีวิตประจำวัน จึงใช้งานง่ายและสะดวก ปลอดภัย และราคาไม่แพง แต่เตาชนิดนี้มีอายุการใช้งานที่สั้น เกิด การผุกร่อนได้ง่าย อีกทั้งเมื่อใช้ร่วมกับเตาแก๊สยังประหยัดปริมาณแก๊สหุงต้มไม่ได้เท่าที่ควร

ดั้งนั้นทางด้านคณะผู้ทำการวิจัยจึงศึกษาทฤษฎีการไหม้ของเชื้อเพลิงหุงต้ม และการนำเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steels) มาใช้ในการสร้างฐานเตา และได้มีการเจาะช่องระบายอากาศให้กับฐานเตาเพื่อเป็นการระบายความร้อนบางส่วนออกสู่ภายนอก เพื่อให้ฐานเตาไม่ได้รับความร้อนสูงจนเกินไป ลดอัตราการผุกร่อน และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น [1] โดยทำการเก็บผลวิจัยโดยเปรียบเทียบระหว่างฐานเตาแบบเจาะช่องระบายอากาศกับฐานเตาแบบกลมทึบ ในการต้มน้ำเปล่าปริมาณ 6 ลิตร ณ ความดันแก๊สที่ 35 ปอนด์/ตารางนิ้ว จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 95 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาอัตราการประหยัดพลังงาน และการลดปริมาณการใช้พลังงานเมื่อใช้ฐานเตาแบบเจาะช่องระบายอากาศร่วมกับเตาแก๊สหุงต้ม

วิธีการวิจัย

ในการทำการวิจัยเรื่องการออกแบบฐานเตาหุงต้มเพื่อลดปริมาณแก๊สหุงต้มนี้ คณะผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการทำการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักๆ คือ 1. ทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 2. ทำการสร้างนวัตกรรม ทำการทดลอง และบันทึกผลการทดลอง จะอธิบายขั้นตอนการทำการวิจัยโดยดังนี้

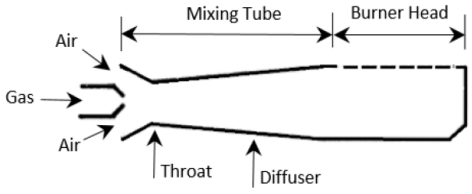
1.ทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 ศึกษาพื้นฐานทางวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นฐานเตา

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steels) คือ เหล็กกล้าที่มีปริมาณโครเมียมไม่น้อยกว่าร้อยละ 10.5 (ต้องการสามารถเกิด Passive Film ที่ผิวได้) และยังมีธาตุผสมอื่น ๆ อีกด้วย เช่น นิกเกิล โมลิบดีนัม ทั้งนี้เพื่อให้ความต้านทานการกัดกร่อนในสิ่งแวดล้อมโลหะแบบต่าง ๆได้ดี งานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะสร้างฐานเตาด้วยวัสดุที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิม [1]

1.2 ศึกษาหลักการทำงานของเตาแก๊สหุงต้ม

เตาหุงต้มแอลพีจีมาตรฐานประกอบด้วยส่วนหลัก 3 ส่วนคือท่อผสม (Mixing Tube) หัวเผา (Burner Head) และหัวฉีดแก๊ส (Injection Orifice) ท่อผสมส่วนใหญ่ทำจากเหล็กหล่อโดยออกแบบให้มีลักษณะเป็นคอคอด (Throat) ในบริเวณทางเข้าของแก๊สและอากาศส่วนแรกเพื่อผลทางด้านพลศาสตร์ของการไหลในท่อส่วนหัวเตาส่วนใหญ่จะทำจากทองเหลืองรูปร่างมีหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและ มีรูในแนวรัศมีทำหน้าที่กระจายแก๊ส (Burner Port) โดยเปลวไฟจะติดอยู่เหนือรูเพื่อส่งถ่ายความร้อนไปยังภาชนะหุงต้มซึ่งวางอยู่ด้านบน [2]



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของเตาหุงต้มมาตรฐาน[3]

เตาแก๊สมีหลักการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ท่อที่เราเห็นต่อพ่วงจากตัวถังมายังเตานั้นคือท่อที่แก๊สจากถังจะถูกส่งจ่ายเข้าไปภายในเตา เรียกว่า “ท่อนำแก๊สหลัก” ซึ่งบนท่อนำแก๊สหลักนี้จะมีวาล์วหัวจุดนำ, วาล์วควบคุมแก๊สเข้าหัว

เตา และวาล์วควบคุมแก๊สเตาอบติดตั้งอยู่ เมื่อเราเปิดวาล์วควบคุมแก๊สเข้าหัวเตา แก๊สจากท่อนำแก๊สหลักจะไหลเข้าสู่ห้องผสมอากาศ ความเร็วของแก๊สที่ไหลเข้ามาในห้องผสมอากาศจะดึงดูดให้อากาศไหลเข้ามาผสมกับตัวมันได้เองในขณะที่มันไหลเข้าสู่หัวเตา จนกระทั่งเมื่อมาถึงหัวเตาแล้วจะมีส่วนผสมส่วนหนึ่งไหลเข้าไปในท่อเล็กด้านข้าง ซึ่งภายในจะมีหัวจุดนำเพื่อจุดส่วนผสมนี้ให้ติดไฟขึ้นได้ในที่สุด

1.3 ศึกษาทฤษฎีการเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ซึ่งวัตถุที่เผาไหม้ได้จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่น(Oxidation reaction) กับออกซิเจน (O_2) พร้อมกับปลดปล่อยความร้อนออกมา ในขณะเดียวกันก็จะแปรสภาพไปเป็นสารประกอบออกไซด์หรือผลิตภัณฑ์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) การเผาไหม้ ที่ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์และก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ [4]

1.4 ศึกษาทฤษฎีการออกแบบรูเจาะ ระยะห่างระหว่างรู

จากการศึกษาพบว่า ลักษณะมุมเงยของรูแก๊สไหลออก และลักษณะการออกแบบรูแก๊สไหลออกเป็นตัวแปรที่สำคัญในการเพิ่ม ประสิทธิภาพ) ที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดจะแปรผันตามขนาดของหัวเตา การเจาะรู แก๊สไหลออกให้ถี่ในแนวเดียวกัน และมีพื้นที่รูรวม ให้ใกล้เคียง กับหัวเตาต้นแบบ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้มากโดยใช้ หลักการตามที่กล่าวมา พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้เป็น 5 - 9% เนื่องจากจำนวนรูแก๊สไหลออกที่ซ้อนกันอยู่ในแนว เดียวกัน ได้ชักนำให้เกิดการพาความร้อนเพิ่มขึ้น การออกแบบให้รูแก๊สไหลออกเอียงเข้าสู่ศูนย์ จะทำให้ลดการสูญเสียเชื้อเพลิงออกสู่ด้านข้างภาชนะลง รวมทั้งยังมี การเผาไหม้สมบูรณ์จากการออกแบบให้มี port area ใกล้เคียงกับหัวเตาต้นแบบ ทำให้ปริมาณ แก๊สที่อกมาเหมาะสมกับปริมาณอากาศ[5]

1.5 ศึกษาทฤษฎีหลักการไหลของอากาศ

การติดตั้งระบบการหมุนเวียนความร้อนและออกแบบให้เกิดขบวนการถ่ายเทความร้อนแบบผสมโดยการแผ่รังสีและการพาความร้อน มีผลทำให้เกิดลักษณะเด่นพิเศษคือ เป็นเตาแก๊สหุงต้มที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเตาแก๊สหุงต้มมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป โดยมีค่าสูงกว่าประมาณ 10 % (โดยเฉลี่ย) ดังนั้นจึงทำให้ประหยัดพลังงานหรือแก๊สหุงต้มได้มากกว่า นอกจากนี้ยังแล้วยังให้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ดีกว่า ให้แก๊สมลภาวะ เช่น แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ CO ที่น้อยกว่าและเกิดได้ยากกว่าเป็นการเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ชีวิตในครัวเรือนในขณะที่กำลังประกอบการปรุงอาหารเพราะร่างกายได้รับแก๊ส CO น้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในครัวที่ค่อนข้างปิดทึบการระบายอากาศไม่ค่อยดี ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าสิ่งประดิษฐ์คิดค้นเตาแก๊สหุงต้มประสิทธิภาพสูงนี้สามารถช่วยประหยัดพลังงาน ควบคู่ไปกับการช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและเพิ่มคุณภาพชีวิตไปพร้อม ๆ กันอย่างแท้จริง [6]

1.6 การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1.6.1 การคำนวณหาค่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์และต้นทุนของโครงการในแต่ละปี สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$NPV = \sum_{t=o}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

โดย n = จำนวนปีที่ใช้ประเมินโครงการ

B_t = ผลประโยชน์ในปีที่ t

C_t = ต้นทุนในปีที่ t

r = อัตราส่วนลด

*ถ้า NPV > 0 แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

1.6.2 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) หมายถึงอัตราคิดลด (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์เท่ากับมูลค่า สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$IRR = \sum_{t=o}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=o}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

หรือ

$$NPV = \sum_{t=o}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} = 0$$

โดยที่ i คือ IRR อัตราผลตอบแทนภายใน

*ปัจจุบันของต้นทุน ถ้า IRR มีค่ามากกว่าต้นทุนของเงินลงทุน แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน [7]

2. ทำการสร้างนวัตกรรม

2.1 สร้างฐานเตา โดยวัสดุที่ใช้ทำเป็นฐานเตาใช้เป็นสเตนเลส เกรด 304 ดังภาพที่ 2 ก. และทำการเจาะช่องระบายอากาศให้กับฐานเตาเพื่อเป็นการระบายความร้อนบางส่วนออกสู่ภายนอก เพื่อให้ฐานเตาไม่ได้รับความร้อนสูงจนเกินไป ลดอัตราการผุกร่อน และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น [1] ใช้ร่วมกับหัวเตาเหล็กหล่อ เกรด FC 30 และใช้ระบบส่งแก๊สในการให้พลังงานความร้อน ดังภาพที่ 2ข.



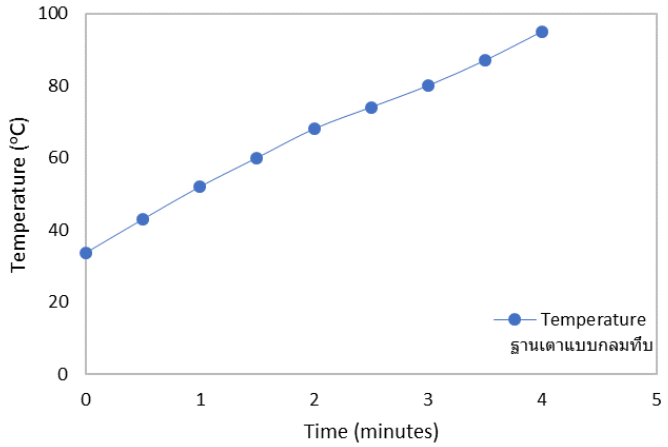
(ก) (ข)

ภาพที่ 2 ก. ฐานเตาสเตนเลส ทรงกลมทึบ ข. ฐานเตาสเตนเลส แบบมีช่องระบายอากาศ

2.2 นำกระทะอะลูมิเนียมขนาด 80 เซนติเมตร เติมน้ำลงในกระทะปริมาตร 6 ลิตร จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ และจุดไฟแก๊ส ต้มน้ำให้เดือดอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จับเวลาและวัดปริมาณการใช้แก๊สด้วยมิเตอร์วัดปริมาณแก๊ส จากนั้นบันทึกการใช้ปริมาณแก๊สที่ใช้และเวลาที่ทำให้น้ำเดือดที่ 95 องศาเซลเซียส

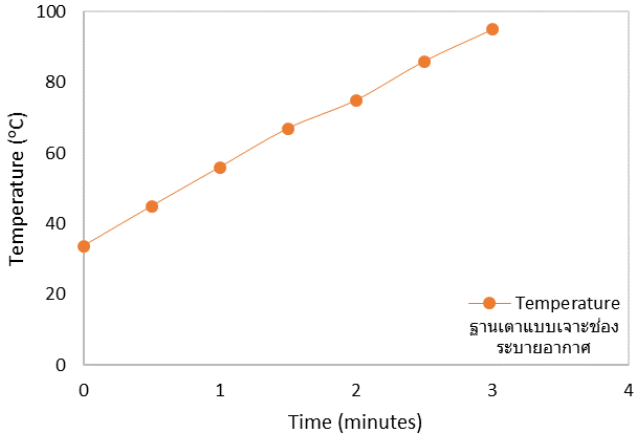
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การทำการวิจัยเรื่องการออกแบบฐานเตาหุงต้มใช้ร่วมกับเตาหุงต้ม เพื่อลดปริมาณแก๊สหุงต้มนี้ คณะผู้วิจัยได้สร้างนวัตกรรมฐานเตาแก๊สหุงต้ม และได้ทำการทดลองใช้ โดยกรณีศึกษากรณีแรก ได้ทำการใช้ฐานเตาสแตนเลส แบบทึบร่วมกับเตาแก๊สหุงต้ม ในการต้มน้ำปริมาตร 6 ลิตร ตั้งแต่อุณหภูมิห้อง จนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในการต้มน้ำจนกระทั่งอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ของการใช้ฐานเตาสแตนเลสแบบกลมทึบ

จากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ฐานเตาสแตนเลสแบบทึบร่วมกับเตาแก๊สหุงต้ม ทำการต้มน้ำ จากอุณหภูมิห้องจนถึง 95 องศาเซลเซียสใช้เวลา 4 นาที และได้ทำการใช้ฐานเตาสแตนแบบเจาะช่องระบายอากาศร่วมกับเตาแก๊สหุงต้ม ในการต้มน้ำปริมาตร 6 ลิตร ตั้งแต่อุณหภูมิห้อง จนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4 ใช้เวลา 3 นาที ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่า ฐานเตาแบบทึบอยู่ 1 นาที



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในการต้มน้ำจนกระทั่งอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ของการใช้ฐานเตาสแตนเลสแบบเจาะช่องระบายอากาศ

จากนั้นทำการวัดปริมาณการใช้แก๊สหุงต้มที่ปริมาตรน้ำ 6 ลิตร อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 นาที ณ แรงดันแก๊สที่ 35 ปอนด์/ตร.นิ้ว ของฐานเตาทั้ง 2 แบบ แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้แก๊สหุงต้มเมื่อใช้เตาแก๊วร่วมกับฐานเตาทั้ง 2 แบบ

ฐานเตา	ปริมาตรน้ำที่ใช้ในการทดลอง (ลิตร)	อุณหภูมิ (°C)	แรงดันแก๊ส (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	เวลาที่ใช้ (นาที)	ปริมาณการใช้แก๊ส
ฐานเตาแบบกลมทึบ	6	95	35	3	46
ฐานเตาแบบเจาะช่องระบายอากาศ	6	95	35	3	21

ทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานของการใช้เตาแก๊สหุงต้มร่วมกับฐานเตาทั้ง 2 แบบ จากสมการที่ 3

$$\text{Energy Saving} = = \frac{(V_{G1} - V_{G2})}{V_{G2}} x\ 100\% \quad (3)$$

โดยที่ V_{G1} ปริมาณแก๊สที่ใช้ไปของเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ร่วมกับฐานเตาแบบทึบ

V_{G2} ปริมาณแก๊สที่ใช้ไปของเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ร่วมกับฐานเตาแบบเจาะช่องระบายอากาศ

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าฐานเตาแบบเจาะช่องระบายอากาศเมื่อใช้ร่วมกับเตาแก๊สหุงต้ม ใช้แก๊สไป 21 มิลลิลิตร ซึ่งน้อยกว่าฐานเตาแบบทึบเมื่อใช้ร่วมกับเตาแก๊สหุงต้ม ใช้แก๊สไป 46 มิลลิลิตร อยู่ 25 มิลลิลิตร และผลการคำนวณการหาเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานพบว่าฐานเตาแก๊สแบบเจาะช่องระบายอากาศเมื่อใช้ร่วมกับเตาแก๊สหุงต้ม จะสามารถประหยัดประหยัดพลังงานได้มากกว่าฐานเตาแบบทึบคิดเป็นเปอร์เซ็นต์อยู่ที่ 54.35

ทำการคำนวณผลการตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์ จากสมการที่ 1 และ 2 ได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อยู่ที่ 173,000 บาท และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เป็น 54.6 % จะเห็นได้ว่าค่าทั้งสองบ่งบอกถึงความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ความมั่นคงและการพัฒนาประเทศ

สรุปผลการวิจัย

จากการทำการวิจัยเรื่องการออกแบบฐานเตาเพื่อใช้ร่วมกับเตาแก๊สหุงต้มในการลดปริมาณแก๊สหุงต้ม โดยคณะผู้วิจัยได้สร้างฐานเตาด้วยวัสดุสแตนเลส 2 แบบ คือ แบบทึบและแบบเจาะช่องระบายอากาศ จากการทำการวิจัยพบว่าเมื่อใช้แก๊สหุงต้ม ร่วมกับฐานเตาต้นแบบทั้ง 2 แบบ และนำมาทดลองเพื่อหาปริมาณการใช้แก๊ส ในการต้มน้ำปริมาตร 6 ลิตร ตั้งแต่อุณหภูมิห้อง จนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ที่ความดันแก๊ส 35 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ฐานเตาสแตนเลสแบบทรงกลมทึบใช้แก๊สไป 4 นาที มากกว่าฐานเตาสแตนเลสแบบมีช่องอากาศอยู่ 1 นาที และเมื่อทำการวัดปริมาณแก๊สที่ใช้ไปของเตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ร่วมกับฐานเตาทั้ง 2 แบบพบว่า เตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ร่วมกับฐานเตาสแตนเลสแบบมีช่องอากาศใช้ปริมาณแก๊สไป 21 มิลลิลิตร ซึ่งน้อยกว่า เตาแก๊สหุงต้มที่ใช้ร่วมกับฐานเตาสแตนเลสแบบกลมทึบอยู่ 25 มิลลิลิตร คิดเป็นเปอร์เซ็นการประหยัดพลังงานอยู่ที่ 54.35 % คิดความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์จะได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อยู่ที่ 173,000 บาท และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เป็น 54.6 %

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณกรมพลาธิการทหารอากาศที่ได้ให้สนับสนุนด้านการสร้างฐานเตา และเอื้อเฟื้อสถานที่ให้คณะผู้วิจัยได้เก็บผลการทดลอง และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรีที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ทศพร แก้ววิจิตร, (2553) ผลของชนิดและสภาพผิวสำเร็จของเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีต่อความต้านทานการกัดกร่อนในบรรยากาศที่แตกต่างกัน /. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,:ม.ป.ท.

[2] ณัฐวุฒิ รังสิมันตุชาติ, (2544) การประยุกต์ใช้วัสดุพรุนเพื่อการประหยัดพลังงานในเตาแก๊สหุงต้ม, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[3] ฐกฤต ปานขลิบ “อุปกรณ์ประหยัดพลังงานสำหรับเตาแก๊สหุงต้มและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอีเล็กทริค”, วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2557,หน้าที่ 49-57.

[4] ทฤษฎีการเผาไหม้, ตารางฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2561 สืบค้นจาก: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook.

[5] อภินันต์ นามเขต* ทานุรัฐ ช้ายขวา อำไพศักดิ์ ทีบุญมา “การปรับปรุง สมรรถนะของเตาแก๊สหุงต้มเชื้อเพลิงแก๊สชีวภาพ”, วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 หน้าที่ 69-80.

[6] ธันยบูรณ์ ถาวรวรรณ์ “การศึกษาแบบจำลองพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านทรงกระบอกตันแบบ 2 มิติ ด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ”, วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2560) หน้าที่ 38-50.

[7] เยาวเรศ ทับพนธุ์. (2551). การประเมินโครงการตามแนวทางเศรษฐศาสตร์.กรุงเทพฯ: สานักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

IE27
ทบทวนเทคโนโลยีการผลิตชีวมวล
Review of Biomass Production Technology

ดวงกมล เรือนงาม*
วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑลสาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมลฑล จังหวัดนครปฐม 73170

บทคัดย่อ

พลังงานถือว่าเป็นปัจจัยหนึ่งในการดำรงชีวิต ปัจจุบันพลังงานฟอสซิลกำลังหมดไป พลังงานทางเลือกหรือพลังงานหมุนเวียนจึงมาแทนที่ ประเทศไทยอุดมไปด้วยพืชพันธุ์ธรรมชาติหลากหลายชนิดซึ่งเป็นแหล่งสะสมของธาตุคาร์บอน ดังนั้นจึงมีโอกาสใช้พืชหรือชีวมวลเหล่านี้ในการผลิตเป็นพลังงานชีวมวลซึ่งมีมากมายหลายรูปแบบ ดังนั้นงานฉบับนี้จึงรวบรวมเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตชีวมวล ซึ่งจะเป็นพื้นฐานสำหรับผู้สนใจที่จะนำความรู้ในส่วนนี้ไปพัฒนาต่อยอดต่อไป อีกทั้งได้เสนอผลการผลิตชีวมวลจากเทคโนโลยีใหม่ล่าสุด ได้แก่ เทคโนโลยีไฮโดรเทอร์มอลก๊าซซิฟิเคชัน (hydrothermal gasification) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับพืชที่มีความชื้นสูง

คำสำคัญ: พลังงานหมุนเวียน ชีวมวล เทคโนโลยีการผลิตชีวมวล

*Corresponding author: Tel.: 02-02-4416000 ต่อ 1052. E-mail address: duangkamol.rue@rmutr.ac.th

บทนำ

การใช้พลังงานถือเป็นสิ่งพื้นฐานในการดำเนินชีวิต ดังนั้นการจัดการเรื่องราคา คุณภาพ และปริมาณจึงเป็นสิ่งสำคัญ การจัดการนี้รวมไปถึงการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมและปริมาณฟอสซิลที่น้อยลงไปทุกวัน ดังนั้นพลังงานทางเลือกจึงเข้ามามีบทบาทมากในปัจจุบัน พลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทน (renewable energy) ที่มาจากสารชีวมวล (biomass) เป็นพลังงานที่กำลังได้รับความสนใจเนื่องจากมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณน้อย

ประเทศไทยมีนโยบายสนับสนุนด้านพลังงานทดแทนตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจฉบับที่ 12 อีกทั้งประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นทำให้มีพืชพันธุ์ต่างๆมากมายหลากหลายชนิดที่เหลือใช้จากการเกษตร ดังนั้นการสนับสนุนเรื่องการผลิตชีวมวลจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ประเทศไทยในปัจจุบันมีการผลิตชีวมวลด้วยเทคโนโลยีแบบต่างๆหลายรูปแบบ[1] ให้เหมาะกับการนำไปใช้งานและวัตถุดิบที่แต่ละท้องถิ่นมี

ปัจจุบันงานวิจัยด้านชีวมวลได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางแต่ยังไม่ได้มีการจัดหมวดหมู่เทคโนโลยีชีวมวล ดังนั้นงานทางวิชาการฉบับนี้เขียนขึ้นเพื่อรวบรวมเทคโนโลยีการผลิตชีวมวล เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตชีวมวล

วิธีการวิจัย

1. พืชที่ใช้เป็นชีวมวล

1.1 ชีวมวลที่มีความชื้นน้อย เช่น แกลบ ฟางข้าว ยอดและใบอ้อย ลำต้นและเหง้ามันสำปะหลัง ซังและลำต้นข้าวโพด ก้านปาล์ม ปีกและรากไม้ยางพารา ซึ่งประเทศไทยมีมากถึง 19,341.27 ktoe [2]

1.2 ชีวมวลที่มีความชื้นสูง เช่น ผักตบชวา ซึ่งชีวมวลประเภทนี้ต้องมีการกำจัดน้ำออกก่อนเข้ากระบวนการแปลงสภาพชีวมวล

2. เทคโนโลยีในการผลิตชีวมวล

2.1 เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรง (Combustion) เป็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้ความร้อน โดยสารต่างๆในชีวมวลได้รับความร้อนสูงในสภาวะก๊าซและเกิดเป็นก๊าซที่มีคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ สามารถแบ่งวิธีการเผาไหม้ได้หลายรูปแบบ ได้แก่ fixed bed Moving bed Fluidized bed Rotary hearth furnace และ Burner เป็นวิธีที่นิยมเพราะเกิด NOx Sox HCl และไดออกซิน ในปริมาณต่ำ ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้นั้นนำไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าและผลิตความร้อน [3]

2.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification) เป็นการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงหรือก๊าซวัตถุดิบตั้งต้นทางเคมี (syngas) ความดันที่ใช้มี 2 ช่วง ความดันปกติ (0.1-0.12 MPa) และความดันสูง (0.5-2.5 MPa) อุณหภูมิมี 3 ช่วง อุณหภูมิต่ำ ($\leq$ 700°C) อุณหภูมิสูง (> 700°C) และอุณหภูมิสูงในการสลายตัว (จุดหลอมเหลวเถ้าและสูงกว่า) สารที่ทำให้เกิดคือ อากาศ ออกซิเจน ไอน้ำ และสารประกอบของสารเหล่านั้น หรือบางครั้งเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่าก๊าซชีวภาพ (Biogas) จะประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ สามารถให้ความร้อนได้โดยตรงและอ้อม Gasifier มีหลายแบบ ได้แก่ Fixed bed, Flow bed, Circulating flow bed, Entrained bed, Mixing bed, Rotary kiln, Twin tower และ Molten furnace [3] [4]

2.3 เทคโนโลยีไฮโดรเทอร์มอลแก๊สซิฟิเคชัน (hydrothermal gasification) เป็นการทำปฏิกิริยาของสารชีวมวลในน้ำร้อนภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงกว่า 350°C และ 20 MPa หรือบริเวณใกล้จุดวิกฤติของน้ำหรือเหนือจุดวิกฤติของน้ำ (supercritical condition) โดยชีวมวลจะถูกทำให้เป็นก๊าซด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสและไพโรไลซีส [3] วิธีนี้เหมาะกับชีวมวลที่มีปริมาณความชื้นมากเช่นชีวมวลสดซึ่งมักเป็นปัญหาในการผลิตพลังงานทางชีวภาพ ดังนั้นเทคโนโลยีด้วยการใช้น้ำภายใต้สภาวะวิกฤติยวดยิ่ง (supercritical water gasification, SCWG) จึงเป็นเทคโนโลยีที่ให้ความนิยม ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้คือ ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซมีเทน สามารถแบ่งตามลักษณะของถังปฏิกรณ์ได้เป็น 2 แบบ ได้แก่

2.3.1 การทดลองโดยระบบแบบกะ เป็นการดำเนินงานภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงและมักใช้น้ำเป็นตัวกลาง ช่วงอุณหภูมิและความดันที่ใช้มีความหลากหลายขึ้นอยู่กับตัวกลาง ในกรณีที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางจะใช้ที่อุณหภูมิและความดันมากกว่า 374°C และ 22.1 MPa ซึ่งถือว่าเป็นอุณหภูมิและความดัน ณ จุดวิกฤติของน้ำบริสุทธิ์ แผนผังการทดลองแสดงดังภาพที่ 1 [5] [6]

2.3.2 การทดลองโดยระบบต่อเนื่อง เป็นการดำเนินงานเทียบกับเวลา อุปกรณ์ที่ใช้มีความซับซ้อนกว่าแบบกะ โดยจะมีส่วนเพิ่มความดันและอุณหภูมิ แผนผังการทดลองแสดงดังภาพที่ 2 [5]

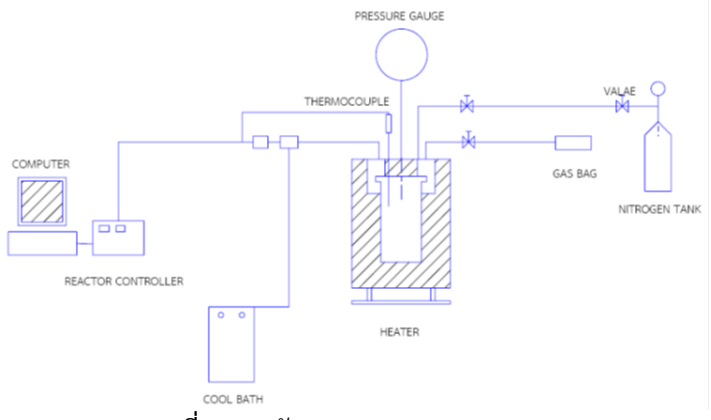
2.4 เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงเหลวและการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเหลว (liquidifcation)
ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การผลิตน้ำมันดีเซล แนฟธา เมทานอล [7] ทั้งนี้อาจหมายรวมถึง ไบโอเอทานอล ไบโอดีเซล การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ หรือบางครั้งเรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่า เชื้อเพลิงเหลวจากชีว

มวล (Bio-oil) การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวล เป็นเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ที่ใช้ในการแปรสภาพชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่มีคุณสมบัติคล้ายกับน้ำมันดิบ โดยนำชีวมวลมาผ่านกระบวนการความร้อนหรือ/และกระบวนการทางเคมีเพื่อแยกสลายสารประกอบอินทรีย์ในเชื้อเพลิงออกโดยใช้เวลาสั้นที่สุดด้วยกระบวนการที่เรียกว่า Fast Pyrolysis ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ในชีวมวล กลายเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดิบ อย่างไรก็ตามน้ำมันที่ผลิตได้จะต้องผ่านกระบวนการกลั่นและกำจัดสารพิษอีกครั้งหนึ่ง จึงจะสามารถนำไปใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากชีวมวล (Bio-Oil) ปัจจุบันในต่างประเทศได้มีการจำหน่ายเครื่องจักรสำหรับผลิตเชื้อเพลิงเป็นการพาณิชย์แล้ว สำหรับในประเทศไทยอยู่ระหว่างการศึกษาวิจัย [8] [9]

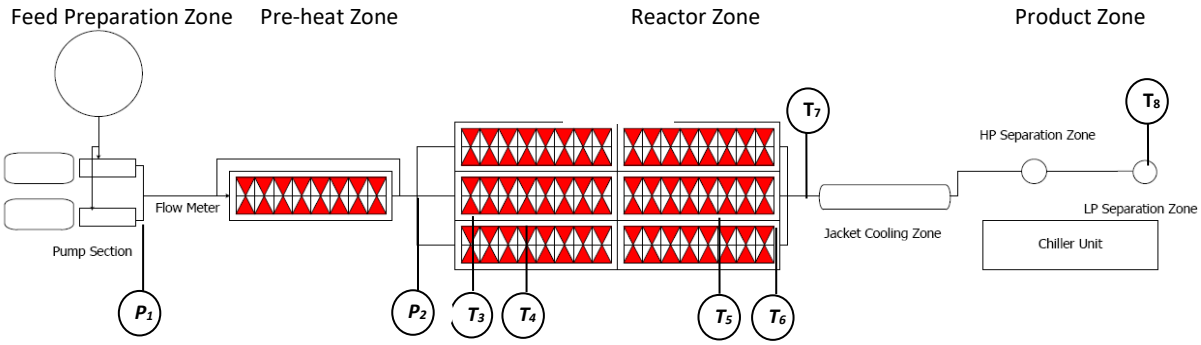
2.5 เทคโนโลยีการผลิตความร้อนร่วมจากชีวมวล (Cogeneration; COGEN หรือ Combined heat and power; CHP) เป็นการนำชีวมวลมาใช่ร่วมในการผลิตไฟฟ้าในโรงงานขนาดเล็กมาก (VSPP-COGEN หรือ VSPP-CHP) [10] หรือบางที่เรียกว่า Biomass Integrated Gasification Combine Cycle (BIGCC) เป็นเทคโนโลยีที่วิจัยพัฒนาต่อยอดมาจากเทคโนโลยีการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวล โดยการนำชีวมวลมาผ่านกระบวนการ Gasification ให้ได้ก๊าซเชื้อเพลิงชีวมวล แล้วนำก๊าซที่ได้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในระบบกังกันก๊าซ (Gas Turbine) และสามารถนำความร้อนที่ได้ไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำได้อีก ระบบผลิตพลังงานแบบนี้จะมีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานในระดับที่ค่อนข้างสูง (ประสิทธิภาพในปัจจุบัน 30% และอยู่ในการวิจัยพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้นได้ถึง 50%) แต่เนื่องจากต้นทุนของเทคโนโลยีมีราคาที่ค่อนข้างสูง และต้องนำาเข้าอุปกรณ์จากต่างประเทศเกือบทั้งหมด ในประเทศไทยจึงยังไม่มีผู้ลงทุนระบบผลิตพลังงานชนิดนี้ [8]

2.6 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซโดยการหมัก (Anaerobic Digestion Technology, Fermentation) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซมีเทนใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สำหรับการการผลิตไฟฟ้า โดยมากจะใช้สิ่งเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น มูลสัตว์ น้ำเสียจากโรงงานและมีเกี่ยวข้องกับเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย ในประเทศไทยมีการใช้เทคโนโลยีนี้กันอย่างแพร่หลายทั้งในระดับครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรม เป็นเทคโนโลยีที่ไม่แพงมากนัก [11]

2.7 เทคโนโลยีการเพิ่มความหนาแน่น (densifcation) เป็นการอัดแท่งชีวมวลให้เป็นรูปทรงต่างๆด้วยการเกาะกันระหว่างอนุภาคและแรงที่กระทำภายในอนุภาค ได้แก่ การเชื่อมประสานของแข็ง แรงกระทำระหว่างอนุภาคของแข็ง การเชื่อมประสานทางกล แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวและแรงดันแคปิลลารี และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล [12] [13]



ภาพที่ 1 แผนผังการทดลองระบบแบบกะ [5]



ภาพที่ 2 แผนผังการทดลองระบบแบบต่อเนื่อง *P* คือความดัน, *T* คืออุณหภูมิ [5]

3. การวิเคราะห์

ในขั้นต้นจะทำการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐาน ได้แก่ องค์ประกอบของชีวมวล (C H O N S Cl) จุดที่เถ้าอ่อนตัว จุดหลอมเหลวและจุดไหล ความชื้นบนผิวชีวมวล ความชื้นที่อยู่ในเนื้อหรือรูพรุน ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอน ปริมาณเถ้า ค่า calorific ต่ำและสูงของชีวมวล การวิเคราะห์ก๊าซที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องมือเทคนิคก๊าสโครมาโตกราฟี (GC, Gas Chromatography) บางครั้งมีการใช้เครื่องมือพกพาเพื่อใช้ทดสอบที่หน้างาน ตัวอย่างเช่นการทดสอบก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักขยะ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในประเทศไทยส่วนใหญ่ผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ชีวมวลที่มีความชื้นน้อย เพราะไม่ต้องกำจัดน้ำออกก่อนเข้ากระบวนการแปลงสภาพ ก่อนการทำการทดลองทุกครั้งต้องทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของชีวมวล จากนั้นทำการวิเคราะห์ว่าควรจะนำชีวมวลเข้ากระบวนการแปลงชีวมวลแบบใดโดยเลือกเทคโนโลยีที่ลดต้นทุนและให้ผลิตภัณฑ์ชีวมวลที่มีคุณภาพตรงตามมาตรฐาน เทคโนโลยีใหม่ที่สามารถผลิตก๊าซเชื้อเพลิงได้โดยไม่ต้องกำจัดความชื้นออกก่อน เหมือนเทคโนโลยีอื่นๆ ได้แก่ เทคโนโลยีไฮโดรเทอร์มอลก๊าซซิฟิเคชัน (hydrothermal gasification) [5] แต่อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวมีค่าดำเนินการค่อนข้างสูง และต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการดำเนินการ

ในปัจจุบันมีงานวิจัยฉบับหนึ่งได้ใช้วิธีดังกล่าวในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้วัตถุดิบเป็นผักตบชวาซึ่งเป็นวัชรพืชที่มีมากในท้องถิ่น เพื่อเพิ่มมูลค่าของพืชดังกล่าวจึงนำมาใช้เป็นชีวมวล งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเบื้องต้นในการหาค่าอัตราส่วนของผักตบชวาแห้งกับน้ำในระบบแบบกะเพื่อให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้โดยแปรค่าในช่วง 2.5-15% หลังผ่านกระบวนการดังกล่าวได้แก๊ส 4 ชนิด ไฮโครเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ มีเทน และคาร์บอนไดอออกไซด์ ปริมาณก๊าซที่ได้มีปริมาณมากที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วนเป็น 15% ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนน้อยลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนชีวมวลและได้ปริมาณมากสุดเมื่อใช้อัตราส่วนชีวมวลเป็น 2.5% ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือปฏิกิริยา Methanation และงานวิจัยนี้ได้ทดลองในระบบต่อเนื่อง พบว่าระบบต่อเนื่องผลิตแก๊สได้มากกว่าแบบกะประมาณ 2.7 เท่า และได้ค่าพลังงานจากก๊าซไฮโดรเจน 11.43 kWh/mole glucose

สรุปผลการวิจัย

งานนี้ได้รวบรวมและจำแนกเทคโนโลยีในการผลิตชีวมวลไว้ 7 ประเภท และได้แสดงวิธีวิเคราะห์ทั้งด้านคุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ชีวมวล การเลือกเทคโนโลยีที่หมาะสมกอรปกับต้นทุนที่เพียงพอมีส่วนทำให้สามารถลิตชีวมวลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

[1] Yılmaz, S., Selim, H. (2013). A review on the methods for biomass to energy conversion systems design. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 25, 420–430.

[2] ผศ.ดร.พงษ์ศิริ จรุยนนท์ **การสำรวจชนิดและแหล่งชีวมวลประเทศไทย** กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน สืบค้นเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2561.

[3] กระทรวงเกษตร ป่าไม้และประมงของประเทศญี่ปุ่น สมาคมสารชีวมวลเอเชีย **คู่มือสารชีวมวล แนวทางสำหรับการผลิตและการใช้สารชีวภาพ** โครงการสนับสนุนการสร้างเอเชียพันธมิตร เพื่อการเกษตรใส่ใจสสิ่งแวดล้อม สืบค้นเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2561.

[4] Panwar, N.L., Kothari, R., Tyagi, V.V. (2012). Thermo chemical conversion of biomass – Eco friendly energy routes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 16, 1801–1816.

[5] Ruen-ngam, D., Jaruyanon, P. (2018) New Batch and Continuous systems for converting Hydrogen from Water Hyacinth. **Chemical Engineering Communications**, 205 (10), 1384-1396.

[6] กนกอร หัสโรค์ และ สมบัติ ทีฆทรัพย์. (2557). การผลิตเชื้อเพลิงเหลวด้วยกระบวนการฟิสเชอร์โทร **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 1, 2557 163-170.

[7] Sert, M., Gökkaya, S.D., Cengiz, N., Ballice, L., Yüksel, M., Saglam, M. (2018) Hydrogen production from olive-pomace by catalytic hydrothermal gasification. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**. 83, 90–98.

[8] กลุ่มพลังงานชีวภาพ พลังงานชีวภาพ สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน สืบค้นเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2561 จาก http://web.senate.go.th.

[9] ธราพงษ์ รัตนสุทธิ รัชพล สันติวรากร วศกร ตรีเดช (2559) การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อย **งานประชุมทางวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติระดับชาติ ครั้งที่ 3 ประจำปี 2559**, วันที่ 25-26 พฤศจิกายน 2559 ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[10] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี **รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาแนวทางการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลด้วยระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมขนาดเล็กมาก** เสนอ สืบค้นเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2561 http://www.eppo.go.th

[11] สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน (สวค.) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน **การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียฟาร์มปศุสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรม** สืบค้นเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2561 จาก http://www2.dede.go.th/

[12] Stelte, W., Sanadi, A.R., Shang, Lei, J.K.,H., Ahrenfeldt, J., Henriksen, U.B. (2012) Recent developments in biomass pelletization –A review. **BioResources** 7(3), 4451-4490.

[13] Frodeson, S., Henriksson, G., Berghel, J. (2018) Pelletizing Pure Biomass Substances to Investigate the Mechanical Properties and Bonding Mechanisms. **BioResource** 13(1), 1202-1222

ประวัติย่อของผู้เขียนบทความ

ดวงกมล เรือนงาม (Duangkamol Ruen-ngam) จบการศึกษาปริญญาตรีทางด้านเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาฯ ระดับปริญญาโทและเอกจบการศึกษาทางด้านวิศวกรรมเคมี (ได้ทุน RGJ ในระดับปริญญาเอก) จุฬาฯ ได้เป็นนักศึกษาแลกเปลี่ยนระดับปริญญาเอกและเป็นนักวิจัยในระดับหลังปริญญาเอก ณ มหาลัยคุมาโมโต่ะ เมืองคุมาโมโต่ะ ประเทศญี่ปุ่น ภายใต้หัวข้อ การใช้ความร้อนชื้น (hydrothermal) ในการเปลี่ยนสาร hesperidin ให้เป็นสารที่มีคุณค่า เคยเป็นอาจารย์ประจำ ภาควิชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สจล. ปัจจุบันเป็นอาจารย์และนักวิจัย วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มทร.รัตนโกสินทร์ โดยทำวิจัยภายใต้หัวข้อ การผลิตพลังงานจากชีวมวล

IE36

การศึกษาเทคโนโลยีการแปรสภาพทางเคมีความร้อนของฟางข้าวเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

RICE STRAW UTILIZATION VIA THERMOCHEMICAL FOR BIOFUEL PRODUCTION: A REVIEW

ปรางค์ทิพย์ แก้วเพ็งกรอ[1*] และอรรถวุทธิ์ รื่นเริงใจ[2]
[1]วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
[2]ศูนย์ปฏิบัติการวิศวรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

บทคัดย่อ

การศึกษาเทคโนโลยีในการแปรสภาพทางเคมีความร้อนของชีวมวลในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพกำลังได้รับความสนใจมากขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ข้อได้เปรียบที่สำคัญคือการสร้างผลิตภัณฑ์หลายอย่างพร้อมกันและการใช้ประโยชน์ของชีวมวล เช่น ฟางข้าว ซึ่งเป็นการนำไปใช้ประโยชน์อย่างสมบูรณ์แบบโดยไม่ก่อให้เกิดของเสีย(Zero waste) เนื่องจากข้าวเป็นอาหารหลักที่สำคัญสำหรับหลายประเทศในเอเชีย การใช้เศษฟางข้าวเป็นเชื้อเพลิงทดแทนจึงเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและถือเป็นแนวทางในการจัดการของเสียอีกทางหนึ่ง การศึกษานี้กล่าวถึงศักยภาพของการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากฟางข้าวและการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยเทคโนโลยีต่างๆได้แก่ การนำฟางข้าวไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน แบบจำลองการแปรสภาพฟางข้าวด้วยกระบวนการทางเคมีความร้อน เทคโนโลยีการแปรสภาพฟางข้าวเป็นพลังงานชีวภาพและการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวภาพจากฟางข้าว

จากการทบทวนงานวิจัยพบว่าฟางข้าวเป็นชีวมวลที่มีศักยภาพชนิดหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสและแก๊สซิฟิเคชั่นอย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ของเหลวและแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีคุณภาพที่ไม่ดีพอ จึงควรนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มของงานวิจัยที่มีการศึกษาปรับสภาพขั้นต้นของฟางข้าวด้วยสารเคมีก่อนการนำไปแปรสภาพทางความร้อน พบว่าผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงที่ได้มีคุณสมบัติทางความร้อนที่ดีขึ้น งานวิจัยนี้ยังศึกษาคุณสมบัติของฟางข้าว ได้แก่ การวิเคราะห์แบบประมาณ แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของฟางข้าว เพื่อศึกษาศักยภาพในการแปรสภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน จากการศึกษาองค์ประกอบของฟางข้าวของประเทศไทยเปรียบเทียบกับฟางข้าวจากงานวิจัยอื่นๆของต่างประเทศพบว่า มีค่าความชื้น สารระเหย ปริมาณเถ้า และปริมาณคาร์บอนคงตัว ร้อยละ 8.25 62.70 10.65 และ18.40 ตามลำดับ ขณะที่ค่าความร้อนของฟางข้าวมีค่าเท่ากับ 16.10MJ/kgซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการแปรสภาพทางเคมีความร้อน จากความต้องการและการส่งเสริมด้านพลังงานทดแทนจากชีวมวลของภาครัฐที่เพิ่มขึ้น การศึกษางานวิจัยต่างประเทศจึงเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการพัฒนาเทคโนโลยีการแปรสภาพฟางข้าวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการศึกษาเทคโนโลยีการแปรสภาพทางความร้อน การปรับปรุงคุณภาพฟางข้าวเบื้องต้น ข้อมูลด้านจลนพลศาสตร์ของฟางข้าว และการศึกษาแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเทคโนโลยีนำฟางข้าวผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพในอนาคต

คำสำคัญ: ฟางข้าว กระบวนการทางเคมีความร้อน เชื้อเพลิงชีวภาพ แบบจำลอง

*Corresponding author: Tel.: 094-5569854. E-mail address: prangtip.kae@rmutr.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันการค้นคว้าเพื่อหาพลังงานทดแทนกำลังเป็นสิ่งที่กำลังได้รับความสนใจ โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรปริมาณมาก เศษเหลือทิ้งเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นชีวมวลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน ชะลอการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและลดผลกระทบจากการเผาทิ้งชีวมวลที่เพิ่มมากขึ้น นับว่าเป็นการลดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ จากยุทธศาสตร์ส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงานได้ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานจากชีวมวลภายในปี 2579 ซึ่งคิดเป็น 39,388Ktoe[1, 2] ปัจจุบันประเทศไทยมีศักยภาพของชีวมวลที่ยังไม่ได้มีการนำมาใช้งาน เช่น ฟางข้าว เป็นจำนวนมาก ประเทศไทยมีความพยายามในการนำฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ในรูปพลังงานมากแต่ยังประสบความสำเร็จไม่มากนัก เนื่องจากฟางข้าวเป็นชีวมวลที่มีค่าความร้อนค่อนข้างต่ำ มีความยุ่งยากในการเก็บเกี่ยว และมีค่าขนส่งที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับเศษวัสดุจากอุตสาหกรรมที่กำลังใช้กันอยู่ เช่น แกลบ เศษไม้ เปลือกปาล์มส่งผลให้ฟางข้าวกว่า 50% ต้องถูกเผาทิ้งไป และก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าฟางข้าวนับว่าเป็นชีวมวลที่มีศักยภาพเชิงพลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลอื่นๆ[3] แต่ฟางข้าวไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากเท่าที่ควร การนำมาแปรสภาพทางเคมีความร้อนจึงเป็นทางเลือกนึงที่มีการวิจัยอย่างกว้างขวางในต่างประเทศ โดยกระบวนการทางเคมีความร้อนได้แก่ การเผาไหม้โดยตรง กระบวนการไพโรไลซิส และกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น ชีวมวลหรือฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการดังกล่าว จะเกิดผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงชีวภาพ (Bio-fuel) เช่น น้ำมันชีวภาพ (Bio-oil) ของแข็งที่เหลือ (Bio-char) แก๊สเชื้อเพลิง (Syngas) ที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาเทคโนโลยีที่แปรสภาพทางเคมีความร้อนของฟางข้าวเพื่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวก่อนการนำไปใช้งาน การปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงจากฟางข้าว รวมทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นแนวทางการนำฟางข้าวไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของฟางข้าว

ชีวมวลแต่ละประเภทจะให้พลังงานจากการเผาไหม้แตกต่างกัน ตามลักษณะองค์ประกอบต่างๆโดยองค์ประกอบของฟางข้าวแต่ละชนิดแต่ละแหล่งกำเนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 1

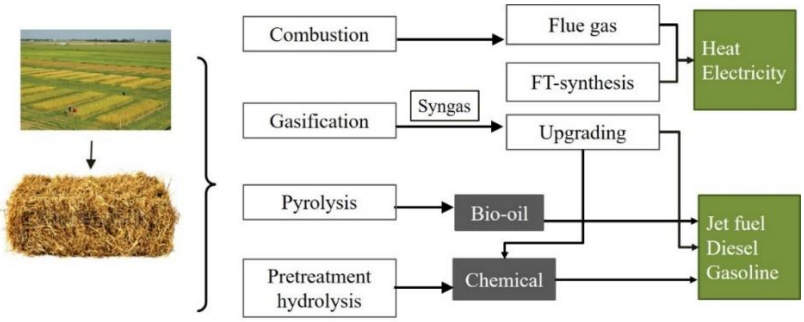
ตารางที่ 1 องค์ประกอบของฟางข้าว

องค์ประกอบของฟางข้าว	Calvo, 2012	Park 2014	Nam 2015	Im-orb2016	Liang 2017	Tran 2018	งานวิจัยนี้ 2018
Proximate (%wt)							
ความชื้น	7.40	7.30	9.2 ± 0.1	6.71	-	9.31	8.25
สารระเหย	67.90	60.84	69.3 ± 0.1	58.64	73.23	68.72	62.70
คาร์บอนคงตัว	13.00	16.61	9.01 ± 0.96	11.09	-	15.80	10.65
เถ้า	19.0	22.55	21.7 ± 1.1	23.55		15.48	18.40
Element (%wt)							
C	37.9	48.75	36.6 ± 0.20	44.4	34.03	-	41.72
H	4.6	5.98	4.9 ± 0.15	5.0	4.80	-	5.60
O	36.7	43.28	31.96	30.8	60.61	-	33.50
N	0.6	1.99	0.77 ± 0.02	0.6	0.56	-	0.78
HHV MJ/kg	-	-	14.2	-	-	12	16.10

โดยทั่วไปการนำชีวมวลมาแปรสภาพทางความร้อนจะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของชีวมวลก่อนนำมาใช้ ได้แก่การวิเคราะแบบประมาณ (proximate analysis) เพื่อศึกษาปริมาณค่าความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงตัว และขี้เถ้า ของชีวมวล ในขณะที่การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) เป็นการวิเคราะห์ที่แสดงปริมาณธาตุในชีวมวล ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารระเหยสูงของฟางข้าวถึงร้อยละ 60.84- 71.60 แสดงถึงความสามารถในการสลายตัวเป็นแก๊สได้ดี หลายงานวิจัยจึงได้ทำการศึกษาการแปรสภาพทางเคมีความร้อนของฟางข้าว งานวิจัยนี้ได้ศึกษาองค์ประกอบของฟางข้าวของประเทศไทยเปรียบเทียบกับฟางข้าวจากงานวิจัยอื่นๆของต่างประเทศพบว่ามีปริมาณสารระเหยที่สูง มีปริมาณเถ้าที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับงานฟางข้าวจากแหล่งอื่น เมื่อวิเคราะห์แบบแยกธาตุพบว่ามีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักและมีปริมาณออกซิเจนที่ไม่สูงนัก จึงเป็นชีวมวลที่มีความเหมาะสมในการนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพได้

เทคโนโลยีการแปรสภาพฟางข้าวด้วยความร้อนเป็นพลังงาน

ชีวมวลสามารถแปรสภาพเป็นพลังงานได้ 2 ทางคือ กระบวนการทางเคมีความร้อน และกระบวนการทางชีวภาพโดยกระบวนการทางความร้อนรวมถึงการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้โดยตรงเพื่อผลิตความร้อนและกระแสไฟฟ้า กระบวนการทางเคมีความร้อนประกอบด้วย การเผาไหม้ ไพโรไลซิส แก๊สซิฟิเคชัน ลิเคอแฟคชันและไฮโดรไลซิส แผนผังกระบวนการแปรสภาพทางความร้อนของฟางข้าวเป็นเชื้อเพลิงทดแทนแสดงดังภาพที่ 1งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาศักยภาพของกระบวนการไพโรไลซิสและแก๊สซิฟิเคชั่นในการผลิตเชื้อเพลิงโดยเฉพาะที่ช่วงอุณหภูมิ 500-1000 °C หลายงานวิจัยพบว่าฟางข้าวสามารถแปรสภาพเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4-8]



ภาพที่ 1 การแปรสภาพฟางข้าวเป็นพลังงาน

ในทางปฏิบัติกระบวนการไพโรไลซิสเป็นการสลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิปานกลางในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน กระบวนการนี้จะทำให้พอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงสลายตัวกลายเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่คือ น้ำมันชีวภาพ (Bio-oil) ถึง 40-70% โดยน้ำหนัก ของแข็งที่เหลือ (bio-char)และแก๊สสังเคราะห์ [9, 10] น้ำมันชีวภาพที่ได้จากการควบแน่นไอแก๊สผลิตภัณฑ์สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพและเป็นสารตั้งต้นสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีน้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสมีองค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลายมากกว่า 300 ชนิด ซึ่งองค์ประกอบของน้ำมันชีวภาพจากฟางข้าวแบ่งเป็นกลุ่มของสารประกอบ ได้แก่ furans, phenols, aromatics, alcohols, ketones, acids and pyranoglucoseสามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันเตาได้แต่ยังมีคุณภาพที่ต่ำกว่า เนื่องจากมีปริมาณของสารประกอบของออกซิเจนที่ค่อนข้างสูง ในปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่ทำการผลิตน้ำมันชีวภาพจากชีวมวลชนิดต่างๆ ร่วมกับการปรับสภาวะการทดลองและศึกษาการปรับปรุงน้ำมันชีวภาพที่เพิ่มสูงขึ้น [11-13] จากงานวิจัยของEom et al., (2013) ที่ศึกษาการไพโรไลซิสแบบรวดเร็วของฟางข้าวที่อุณหภูมิ 350-500 °C โดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพถึงร้อยละ 29-45 และเมื่อทำการปรับสภาพฟางข้าวด้วยสารเคมี (demineralized) ก่อนนำไปผ่านกระบวนการไพโรไลซิส พบว่าปริมาณน้ำมันชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 35-55 [14]Nam et al., (2015) ได้ศึกษาการไพโรไลซิสฟางข้าวโดยเปรียบเทียบกับเตาปฏิกรณ์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ bench-

scale augerbatch และ fluidized bed ที่อุณหภูมิ 500°C โดยเตาปฏิกรณ์แบบ batch ให้ผลผลิตน้ำมันชีวภาพสูงที่สุด[12]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่สนใจศึกษากระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นฟางข้าวด้วยเตาปฏิกรณ์หลายประเภท เช่น เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์ เตาปฏิกรณ์แบบไหลลง เป็นต้นเพื่อการผลิตแก๊สสังเคราะห์ (syngas) ซึ่งมีองค์ประกอบของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (H_2, CO) และเป็นแก๊สที่มีค่าความร้อนสูงมีศักยภาพในการผลิตพลังงาน โดยคณะวิจัย Udomsirichakorn et al., 2013 ได้ทำการศึกษากระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นด้วยเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์ที่อุณหภูมิ 700-900 °Cพบว่าอุณหภูมิดังกล่าวเป็นช่วงที่ได้แก๊สผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความร้อน (LHV) สูงที่สุดมีค่าในช่วง 8–15 MJ/m^3[15]อีกทั้งยังมีงานวิจัยหลายงานที่ศึกษาอัตราส่วนสมมูลในการทำปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชั่นและพบว่าที่อัตราสมมูล 0.2-0.4 ทำให้แก๊สเชื้อเพลิงที่ได้มีคุณภาพสูงที่สุด [15, 16]นอกจากนี้ Chiangat ., 2016 ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของแก๊สสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Fe/Mn โดยค่าความร้อนของแก๊สมีค่าสูงขึ้นถึง 14.76 -15.82 MJ/Nm^3[17]จากการทบทวนงานวิจัยการแปรสภาพทางความร้อนของฟางข้าวตั้งแต่ปี 2010-2018 ได้รวบรวมและแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 งานวิจัยการแปรสภาพทางความร้อนของฟางข้าว (2010–2018)

กระบวนการ /เทคโนโลยี	ผลิตภัณฑ์	ผู้แต่ง [อ้างอิง]
ไพโรไลซิสร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา	น้ำมันชีวภาพ	[4]
ไพโรไลซิสด้วยไมโครเวฟ	แก๊สไฮโดรเจน	[18]
ไพโรไลซิส(พลาสมา)	แก๊สผลิตภัณฑ์	[19]
ไพโรไลซิส	ชาร์	[20]
ไพโรไลซิสด้วยไมโครเวฟ	ชาร์	[18]
ไพโรไลซิส/ แก๊สซิฟิเคชั่น	แก๊สสังเคราะห์ (H_2, CO)	[21]
แก๊สซิฟิเคชั่นร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา	แก๊สไฮโดรเจน	[17]
ไพโรไลซิสแบบเร็ว	น้ำมันชีวภาพ, ชาร์	[14]
แก๊สซิฟิเคชั่นร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา	แก๊สไฮโดรเจน	[22]
แก๊สซิฟิเคชั่น แก๊สซิฟิเคชั่นร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา	แก๊สไฮโดรเจน	[16]
ไพโรไลซิส	น้ำมันชีวภาพ ชาร์	[23]
ไพโรไลซิส	น้ำมันชีวภาพ ชาร์	[12]
ไพโรไลซิส	น้ำมันชีวภาพ	[6]
ไพโรไลซิส (pre-treatment)	น้ำมันชีวภาพ ชาร์	[24]
แบบจำลองแก๊สซิฟิเคชั่นด้วยโปรแกรม Aspen	แก๊สผลิตภัณฑ์	[25]
แบบจำลองแก๊สซิฟิเคชั่นด้วยโปรแกรม Aspen	แก๊สไฮโดรเจน	[26]
ไพโรไลซิสด้วยไมโครเวฟ	แก๊สไฮโดรเจน	[11]
ไพโรไลซิสร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา	น้ำมันชีวภาพ	[27]
ไพโรไลซิส (TGA, kinetic)	ชาร์	[28]

แบบจำลองการแปรสภาพฟางข้าวด้วยกระบวนการทางเคมีความร้อน

ในส่วนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติและทำนายผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งในรูป ของแข็ง ของเหลว และแก๊สผลิตภัณฑ์จากกระบวนการแปรสภาพทางความร้อน ทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ สิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ข้อมูลด้านจลนพลศาสตร์ (Kinetic) ของชีวมวลหรือฟางข้าว โดยนำการไพโรไลซิสมาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ให้ผลผลิตสูงสุด เครื่องมือที่ได้รับความนิยมที่ใช้ศึกษาพารามิเตอร์ของจลนพลศาสตร์ของชีวมวล คือ เครื่องวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน (TGA) ซึ่งสามารถวิเคราะห์อัตราการสลายตัวและคำนวณค่า

พลังงานก่อกัมมันต์ (Activation energy, Ea) แฟกเตอร์ความถี่ (A) อันดับการเกิดปฏิกิริยา (n) และค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาของวัสดุหรือชีวมวลในความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันของเวลาและอุณหภูมิได้ค่าคงที่ของข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำจากงานวิจัยของ Mishra et al. (2014) ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์ของฟางข้าวด้วยเครื่อง TGA ที่อัตราการให้ความร้อน 5-40 °C/min ทำการวิเคราะห์โดยใช้ free model พบว่าค่าคงที่การสลายตัวของฟางข้าวอยู่ในช่วง 142 ถึง 170 kJ/molและ 170 ถึง 270 kJ/mol[19] นอกจากนี้ Kongkaew et al. (2015) และ Liang et al. (2017) ยังศึกษาจลนพลศาสตร์จากการไพโรไลซิสของฟางข้าว พบว่าค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถหาได้จากสมการอาร์เรเนียส และค่าพลังงานก่อกัมมันต์ที่ได้มีค่า 172.62 และ 71.74-106.26 kJ/mol ตามลำดับ ดังนั้นข้อมูลทางจลนพลศาสตร์จึงมีความจำเป็นในการนำไปใช้ในการศึกษาแบบจำลองอื่นๆ

โดยแบบจำลองที่งานวิจัยส่วนใหญ่ทำการศึกษาคือ โปรแกรม Aspen plus ได้มีการนำมาใช้ในการศึกษากระบวนการแกซิฟิเคชั่นของฟางข้าวทำนายผลิตภัณฑ์และประสิทธิภาพของระบบ จากงานวิจัยของ Im-orbet al., (2016)ได้ศึกษาผลของไอน้ำและ CO_2 ต่อการผลิตแก๊สสังเคราะห์ ซึ่งพบว่าปริมาณแก๊สสังเคราะห์มากที่สุดถึงร้อยละ 42 ที่อุณหภูมิ 700 °C และงานวิจัยของ A.M.Parvez (2016) พบว่าที่อุณหภูมิ 800-900 °C มีประสิทธิภาพมากที่สุดและ CO_2 (Oxidizing) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบแก๊สซิฟิเคชั่น[25]นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ใช้โปรแกรม computational fluid dynamics (CFD) อธิภายปรากฏการณ์ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของชีวมวลภายในเตาปฏิกิรณ์แบบเบดนิ่งฟลูอิดไดซ์ ห้องเผาไหม้ หรือเตาเผาแบบหมุนได้ [26]

สรุปผลการวิจัย

จากการทบทวนงานวิจัยด้านเทคโนโลยีการแปรสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีความร้อนของฟางข้าว โดยรวบรวมเทคโนโลยีและผลผลิตที่ได้พบว่าแนวโน้มของงานวิจัยของฟางข้าวในอนาคต คือการปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา การปรับปรุงคุณภาพของฟางข้าวเบื้องต้นด้วยสารเคมีก่อนการนำไปแปรสภาพทางความร้อน และการใช้แบบจำลองเพื่อคาดการณ์ผลิตภัณฑ์ที่ได้เปรียบเทียบกับการทดลอง ซึ่งเป็นข้อดีในด้านการลดพลังงานและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทดลอง จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของฟางข้าวของประเทศไทยในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับฟางข้าวจากงานวิจัยอื่นๆของต่างประเทศ พบว่ามีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการแปรสภาพทางเคมีความร้อน อีกทั้งข้อมูลด้านจลนพลศาสตร์ของฟางข้าว และการศึกษาแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเทคโนโลยีการนำฟางข้าวผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความอนุเคราะห์ฟางข้าวและเครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Chaichaloempreecha, A., P. Winyuchakrit, and B. Limmeechokchai, *Assessment of renewable energy and energy efficiency plans in Thailand's industrial sector.* Energy Procedia, 2017. **138**: p. 841-846.

[2] Energy, M.o., *(Alternative Energy Development Plan: AEDP2015).*

[3] Suramaythangkoor, T. and S.H. Gheewala, *Potential alternatives of heat and power technology application using rice straw in Thailand.* Applied Energy, 2010. **87**(1): p. 128-133.

[4] Balonek, C.M., et al., *Rapid ablative pyrolysis of cellulose in an autothermal fixed-bed catalytic reactor.* ChemSusChem, 2010. **3**(12): p. 1355-1358.

[5] Lim, J.S., et al., *A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. **16**(5): p. 3084-3094.

[6] Gómez-Monedero, B., et al., *Pyrolysis of red eucalyptus, camelina straw, and wheat straw in an ablative reactor.* Energy and Fuels, 2015. **29**(3): p. 1766-1775.

[7] Li, S., et al., *Study on co-pyrolysis characteristics of rice straw and Shenfu bituminous coal blends in a fixed bed reactor.* Bioresource Technology, 2014. **155**: p. 252-257.

[8] Goyal, H.B., D. Seal, and R.C. Saxena, *Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources: A review.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008. **12**(2): p. 504-517.

[9] Abraham, A., et al., *Potential of rice straw for bio-refining: An overview.* Bioresource Technology, 2016. **215**: p. 29-36.

[10] Basu, P., *Biomass gasification and pyrolysis : practical design and theory*. 2010, Burlington, MA: Academic Press. ix, 365 p.

[11] Li, H., et al., *Experimental study of microwave-assisted pyrolysis of rice straw for hydrogen production.* International Journal of Hydrogen Energy, 2016. **41**(4): p. 2263-2267.

[12] Nam, H., et al., *Experimental investigation of pyrolysis of rice straw using bench-scale auger, batch and fluidized bed reactors.* Energy, 2015. **93, Part 2**: p. 2384-2394.

[13] Kaewpengkrow, P., D. Atong, and V. Sricharoenchaikul, *Catalytic upgrading of pyrolysis vapors from Jatropha wastes using alumina, zirconia and titania based catalysts.* Bioresource Technology, 2014. **163**(0): p. 262-269.

[14] Eom, I.-Y., et al., *Comparison of pyrolytic products produced from inorganic-rich and demineralized rice straw (Oryza sativa L.) by fluidized bed pyrolyzer for future biorefinery approach.* Bioresource Technology, 2013. **128**: p. 664-672.

[15] Udomsirichakorn, J. and P.A. Salam, *Review of hydrogen-enriched gas production from steam gasification of biomass: The prospect of CaO-based chemical looping gasification.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. **30**: p. 565-579.

[16] Bhattacharya, A., A. Das, and A. Datta, *Exergy based performance analysis of hydrogen production from rice straw using oxygen blown gasification.* Energy, 2014. **69**: p. 525-533.

[17] Chiang, K.-Y., et al., *Gasification of rice straw in an updraft gasifier using water purification sludge containing Fe/Mn as a catalyst.* International Journal of Hydrogen Energy, 2013. **38**(28): p. 12318-12324.

[18] Huang, Y.-F., et al., *Microwave pyrolysis of rice straw: Products, mechanism, and kinetics.* Bioresource Technology, 2013. **142**: p. 620-624.

[19] Shie, J.-L., et al., *Bioenergy and products from thermal pyrolysis of rice straw using plasma torch.* Bioresource Technology, 2010. **101**(2): p. 761-768.

[20] Fu, P., et al., *Evaluation of the porous structure development of chars from pyrolysis of rice straw: Effects of pyrolysis temperature and heating rate.* Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2012. **98**: p. 177-183.

[21] Umeki, K., T. Namioka, and K. Yoshikawa, *The effect of steam on pyrolysis and char reactions behavior during rice straw gasification.* Fuel Processing Technology, 2012. **94**(1): p. 53-60.

[22] Udomsirichakorn, J., et al., *Effect of CaO on tar reforming to hydrogen-enriched gas with in-process CO2 capture in a bubbling fluidized bed biomass steam gasifier.* International Journal of Hydrogen Energy, 2013. **38**(34): p. 14495-14504.

[23] Park, J., et al., *Slow pyrolysis of rice straw: Analysis of products properties, carbon and energy yields.* Bioresource Technology, 2014. **155**: p. 63-70.

[24] Zhang, Y.-l., et al., *Experimental study on pyrolysis tar removal over rice straw char and inner pore structure evolution of char.* Fuel Processing Technology, 2015. **134**: p. 333-344.

[25] Parvez, A.M., I.M. Mujtaba, and T. Wu, *Energy, exergy and environmental analyses of conventional, steam and CO2-enhanced rice straw gasification.* Energy, 2016. **94**: p. 579-588.

[26] Im-orb, K., L. Simasatitkul, and A. Arpornwichanop, *Analysis of synthesis gas production with a flexible H2/CO ratio from rice straw gasification.* Fuel, 2016. **164**: p. 361-373.

[27] Liang, J., et al., *Enhancement of bio-oil yield and selectivity and kinetic study of catalytic pyrolysis of rice straw over transition metal modified ZSM-5 catalyst.* Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2017. **128**: p. 324-334.

[28] Hoang Anh, T., S. Laurent Van de, and L. Duc Dung, *Pyrolysis and Char Oxidation of Biomass and Coal Blends: Kinetic Study Using Thermogravimetric Analysis.* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018. **159**(1): p. 012035.

IE37

การวิเคราะห์มุมปะทะและการไหลวนบนผิวใบพัดกังหันลมแนวแกนนอน

Analysis of angle of attack and circulation on the HAWT blade surface

ติณณภพ แพงผม[1*] จิระศักดิ์ พุกดำ[2] และวิทยา แก้วสุริยวงค์[1]
[1]วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170
[2]คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีความพยายามในการศึกษามุมปะทะและการไหลวนบนผิวใบกังหันลมแนวแกนนอนในขณะที่ใบพัดหมุน กังหันลมแนวแกนนอนที่นำมาทดสอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางโรเตอร์ 2.4 เมตร และมีจำนวนใบพัด 3 ใบ ใบพัดแต่ละใบจะประกอบไปด้วยแพนอากาศ 4 ชนิดคือ DU91-W2-250 DU93-W-210 NACA63-618 และ NACA63-215 รายละเอียดของความเร็วลมจะถูดวัดด้วย Laser Doppler Velocimetry (LDV) ภายในอุโมงค์ลม หลังจากได้รายละเอียดของความเร็วลมบนพื้นผิวของใบพัดกังหันลมสามารถนำไปหาค่ามุมปะทะและการไหลวนบนผิวใบพัดกังหันลม ผลการศึกษาของงานวิจัยนี้พบว่ามุมปะทะที่ความเร็วปลายใบต่ำจะมีค่าสูงกว่ามุมปะทะที่ความเร็วปลายใบเหมาะสม เมื่อทำการเปรียบเทียบกับทฤษฎี BEM จะพบว่าค่ามุมปะทะใกล้เคียงกันในช่วงกลางใบถึงปลายใบ ส่วนบริเวณโคนใบพัดมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากความซับซ้อนของการไหลแบบปั่นป่วนบริเวณโคนใบพัดซึ่งทฤษฎี BEM ไม่อาจที่คำนวณได้ การคำนวณการหมุนวนบนผิวใบพัดกังหันลมในแนวกางใบให้ผลลัพธ์คือจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่จะตกลงอย่างรวดเร็วบริเวณปลายใบเนื่องจากการก่อตัวของกระแสลมวนที่ปลายใบพัด

คำสำคัญ: กังหันลมแนวแกนนอน มุมปะทะ การไหลวน อากาศพลศาสตร์

Abstract

This research attempted to study angle of attack and circulation on the horizontal axis of the wind turbine (HAWT) near the blade surface during rotating condition. The horizontal axle wind turbine has a rotor diameter of 2.4 meters with 3 blades. Each blade comprises four airfoils (DU91-W2-250, DU93-W-210, NACA63-618, and NACA63-215). Detail measurements of velocity on the blade surface were measured in a wind tunnel by Laser Doppler Velocimetry (LDV). The detail measurements of velocity can be used to find the angle of attack and the circulation on the wind turbine blade surface. The results showed that the low tip speed ratio has a high angle of attack more than the optimum tip speed ratio. When comparing with BEM theory, the results show agreement from midspan to outboard, but the inboard is noticeably different. It corresponds to complicated flow at the inboard which BEM theory cannot be the calculation. The circulation increases when approaching outboard, but the circulation decreases rapidly at the tip of the blade. It corresponds to the effect of tip vortex.

Keywords: Horizontal axis wind turbine, Angle of attack, Circulation, Aerodynamic

*Corresponding author: Tel.: 094-5734464. E-mail address: Tinnapob.phe@rmutr.ac.th

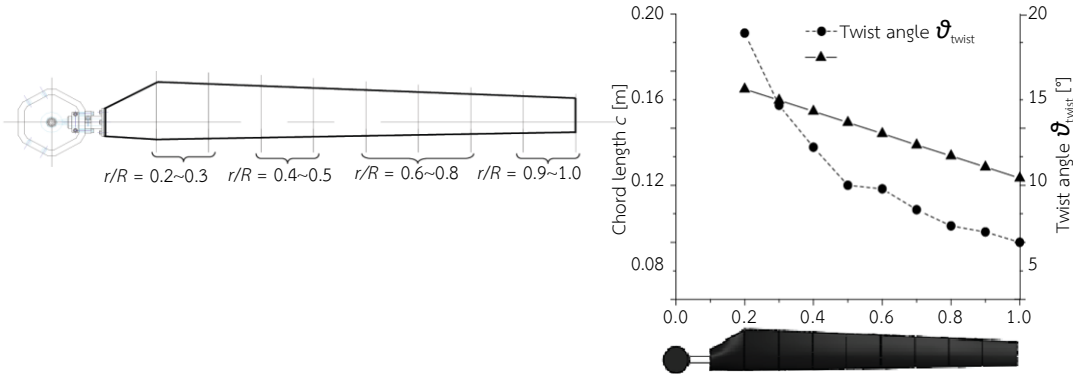
บทนำ

ในอดีตพลังงานในการขับเคลื่อนด้านอุตสาหกรรมของแต่ละประเทศขึ้นอยู่กับพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก แต่ปัจจุบันได้มีการนำพลังงานทดแทนจากธรรมชาติมาใช้ทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกันอย่างแพร่หลายอันเนื่องมาจากผลเสียจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล อาทิเช่น ปัญหาปรากฏการณ์โลกร้อน ปัญหามลพิษ และปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิง เป็นต้น ประเทศไทยได้มีนโยบายนำพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์กันมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี พ.ศ. 2551-2565 ประเทศไทยมีเป้าหมายการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายโดยการเพิ่มพลังงานทดแทนให้ถึง 20% ภายในปี พ.ศ. 2565 ซึ่งต้องการพลังงานจากลมถึง 800 เมกะวัตต์ [1] ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตพลังงานขั้นสุดท้ายจากพลังงานลมได้ไม่ถึงครึ่งหนึ่งที่ต้องการ สำหรับงานวิจัยนี้จึงเป็นหนึ่งในการวิจัยเพื่อค้นคว้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลมและนำผลการศึกษาไปต่อยอดในการทำกังหันลมที่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยปกติกังหันลมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันก็คือ กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT) และกังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine, VAWT) [2] การศึกษาเกี่ยวกับพลังงานลมในประเทศไทยในปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานลมอย่างจริงจังที่ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงานมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้ทำการพัฒนาและสาธิตต้นแบบเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วต่ำ ผลการวิจัยทำให้ประเทศไทยได้ต้นแบบกังหันลมแนวแกนนอนในการผลิตไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์ที่เหมาะกับการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3-4 เมตรต่อวินาที [3] และ นอกจากนี้ยังมีโครงการวิจัยพัฒนากังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบขนาด 50 กิโลวัตต์ การทดสอบพบว่ากังหันลมเริ่มผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาทีและได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 50 กิโลวัตต์ที่ความเร็วลม 10.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะได้กังหันลมที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดสำหรับลมเฉลี่ยในประเทศไทย [4] การศึกษาเกี่ยวกับพลังงานลมในประเทศไทยต่างประเทศสำหรับกังหันลมแนวแกนนอนมีงานวิจัยที่โดดเด่น คือการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลของอากาศโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า LDV (Laser Doppler velocimetry) [5-7] การวิจัยพบว่ากระแสลมที่กระทำกับใบพัดกังหันลมประกอบไปด้วยความเร็ว 3 ทิศทางอันได้แก่ Axial velocity , Tangential velocity, และ Span-wise velocity นอกจากนี้การทดสอบยังค้นพบว่า ความเร็วในแนวกางใบ หรือ Span-wise velocity เกิดจากแรงหนีศูนย์กลางขณะที่ใบพัดกังหันลมหมุน อย่างไรก็ตามได้มีนักวิจัยพยายามพัฒนาโรเตอร์ของกังหันลมโดยการศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงกระแสลม เปรียบเทียบกับการคำนวณทางด้านตัวเลขโดยการใช้ทฤษฎี Blade Element Momentum (BEM) ผลการทดสอบและการคำนวณทางด้านตัวเลขมีความแตกต่างกันเนื่องจากความซับซ้อนของความเร็วลัพธ์ 3 มิติที่เกิดจากการหมุนของใบพัด [8] สำหรับงานวิจัยนี้จะนำข้อมูลและพฤติกรรมการไหลของอากาศที่ตรวจวัดได้จาก Laser Doppler velocimetry มาวิเคราะห์มุมปะทะและการไหลวนบนผิวใบพัดกังหันลมว่ามีพฤติกรรมอย่างไรตามตลอดแนวกางใบจากบริเวณโคนใบถึงปลายใบ

อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

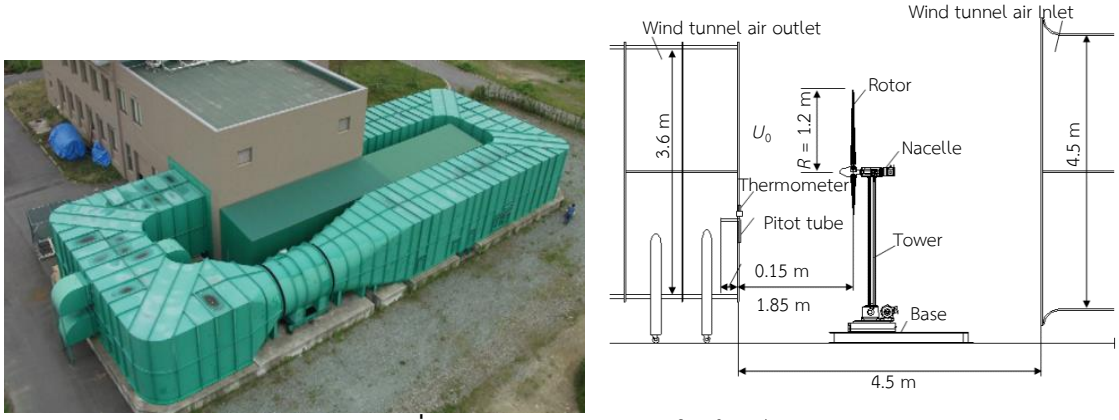
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นกังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT) ชนิดแบบ 3 ใบพัด โรเตอร์ของกังหันลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตรดังแสดงในภาพที่ 1 ในแต่ละใบพัดจะประกอบไปด้วยแพนอากาศ 4 ชนิด (DU91-W2-250 DU93-W-210 NACA63-618 และ NACA63-215) แพนอากาศทั้ง 4 ชนิดทำมาจากโพลียูรีเทน รูปร่างของใบพัดออกแบบใช้ทฤษฎี Blade Element Momentum (BEM) ตัวใบพัดมีการบิดและเรียวทีละนิดจนถึงปลายใบ ตำแหน่งของโคนใบพัดเริ่มต้นที่ตำแหน่ง r/R = 0.1 แพนอากาศทั้ง 4 ชนิดจะวางตำแหน่งตามแกนกางใบพัด ตำแหน่งของแพนอากาศซึ่งเริ่มต้นที่ตำแหน่ง r/R = 0.2 โดยตำแหน่ง r/R = 0.2 – 0.3 ใช้ DU91-W2-250 r/R = 0.4 – 0.5 ใช้ DU93 W-210 r/R = 0.6 – 0.8 ใช้ NACA63-618 และ r/R = 0.9 – 1.0 ใช้ NACA63-215

ตามลำดับ การกระจายมุมบิดและความยาวคอร์ดของใบพัดจะเห็นว่าลักษณะของใบพัดที่ใกล้โคนจะมีมุมบิดมากและมีขนาดความยาวคอร์ดมากด้วย มุมบิดของใบพัดจะค่อยๆ บิดน้อยลงและค่อยๆ ลดความยาวคอร์ดลงทำให้ใบพัดมีลักษณะเรียวปลาย



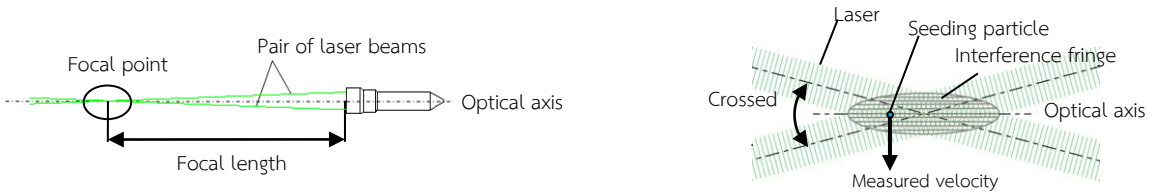
ภาพที่ 1 ตำแหน่งของแพนอากาศ และ การกระจายมุมบิดและความยาวคอร์ด

ภาพที่ 2 แสดงลักษณะภายนอกและภายในของอุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบ อุโมงค์ลมเป็นชนิดไหลวน (Circular Wind Tunnel) ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมิเอะ ประเทศญี่ปุ่น บริเวณด้านในอุโมงค์ลมจะมีพื้นที่ทดสอบซึ่งเป็นลักษณะเปิดโล่ง ช่องทางออกของกระแสลมมีลักษณะเป็นวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.6 เมตร และช่องทางเข้ากระแสลมมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง 4.5 เมตร x ยาว 4.5 เมตร อุโมงค์ลมใช้พัดลมกำลัง 400 กิโลวัตต์ในการผลิตกระแสลมโดยสามารถปรับความเร็วกระแสลมได้สูงสุดถึง 30 เมตรต่อวินาที โรเตอร์ถึงช่องทางออกของกระแสลมมีระยะ 1.8 เมตร ความเร็วสามารถวัดค่าได้ด้วยท่อปิโตต์ งานวิจัยในครั้งนี้ใช้กระแสลมคงที่ 7 เมตรต่อวินาที ความเข้มข้นของความปั่นป่วนน้อยกว่า 0.5% การหมุนของใบพัดควบคุมด้วยเซอร์โวมอเตอร์



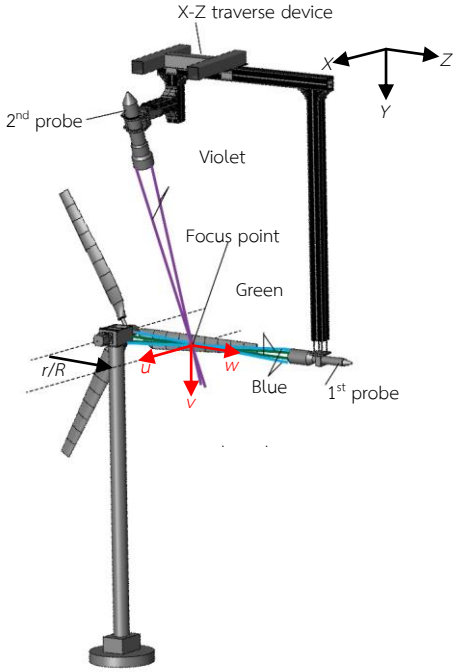
ภาพที่ 2 แสดงภายนอกและภายในอุโมงค์ลม

สำหรับเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลมในอุโมงค์ลมจะใช้ Laser Doppler Velocimetry (LDV) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความเร็วของลมชนิดหนึ่งที่ใช้ประโยชน์ธรรมชาติที่เรียกว่าปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler effect) ข้อดีของการวัดความเร็วด้วย LDV คือระบบสามารถสร้างปริมาตรที่ใช้ในการวัดความเร็ว (Measuring volume) โดยการตัดกันของเลเซอร์สองเส้นที่ความยาวคลื่นเท่ากัน (Pair of laser beams) ที่ตำแหน่งโฟกัส (Focal length) ซึ่งระบบ LDV จะไม่มีการรบกวนการไหลในปริมาตรของ Measuring volume ในขณะที่วัด นอกจากนี้อุณหภูมิ ความดัน และข้อจำกัดทางกายภาพ ไม่สามารถส่งผลกระทบต่อการวัดด้วยวิธี LDV การสร้างปริมาตรการวัดและลักษณะของปริมาตรการวัดแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การสร้างปริมาตรวัดความเร็วของเทคนิค LDV

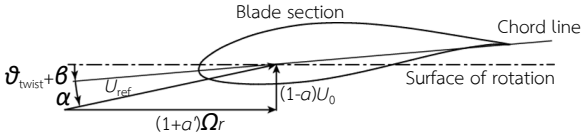
สำหรับระบบ LDV ที่จะใช้ในการวัดส่วนประกอบความเร็ว (Velocity components) ในแกน *X Y* และ *Z* บริเวณผิวของใบพัดนั้นต้องใช้หัวเลเซอร์ LDV 2 หัวติดตั้งในแนวแกนนอนและแนวแกนตั้งดังภาพที่ 4 งานวิจัยนี้เพื่อที่จะสามารถวัดส่วนประกอบความเร็วใน 3 แกนพร้อมๆ กันจึงประยุกต์ใช้หัวเลเซอร์ 2 หัวพร้อมกับใช้คู่ของแสงเลเซอร์ 3 คู่ ในการหาส่วนประกอบความเร็วในแต่ละแกนหัวเลเซอร์จะติดตั้งบนอุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในระนาบ *X-Z* มุมหมุนของโรเตอร์ (Azimuth angle) สามารถตรวจวัดได้อย่างแม่นยำโดยใช้ single reset pulse



ภาพที่ 4 กังหันลมและตำแหน่งการวางหัวเลเซอร์

การวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในหัวข้อนี้การคำนวณมุมปะทะทั้งจากวิธีการทดสอบจาก LDV และการคำนวณจากทฤษฎี BEM จะนำมาเปรียบเทียบกันที่สภาวะความเร็วปลายใบต่ำ (λ = 3.7) และสภาวะความเร็วปลายใบเหมาะสม (λ = 5.2) ซึ่งเป็นสภาวะความเร็วปลายใบที่กังหันลมให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุด คือ 0.43 ภาพที่ 4 แสดงแผนภาพภาคตัดขวางใบพัด จากรูปจะเห็นความสัมพันธ์ระหว่างมุมปะทะและสามเหลี่ยมความเร็ว (Velocity triangle)



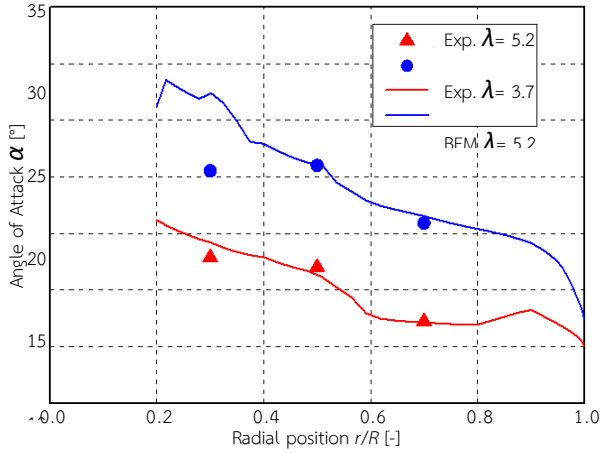
ภาพที่ 4 แผนภาพความเร็ว

มุมปะทะ α สามารถหาจากสมการ

$$\alpha = \tan^{-1}\left[\frac{(1-a)U_0}{(1+a')\Omega r}\right] - (\theta_{twist} + \beta) \quad (1)$$

เมื่อ α = มุมปะทะ [°]
β = มุมพิตช์ (= -2) [°]
a' = Tangential induced factor [-]
r = ระยะรัศมี [m]
θ_{twist} = มุมบิดของใบพัดที่ตำแหน่งใดๆ [°]
a = Axial induced factor [-]
Ω = ความเร็วเชิงมุม (1/s)
U_0 = กระแสลมหลัก (= 7) [m/s]

ภาพที่ 5 แสดงมุมปะทะจากข้อมูลการวัดโดย LDV ที่ระยะ r/R = 0.3 0.5 และ 0.7 และมุมปะทะจากทฤษฎี BEM ที่ระยะ 0.2 < r/R < 1.0 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามุมปะทะในสภาวะทำงานที่ความเร็วปลายใบต่ำ (λ = 3.7) จะมีค่าสูงกว่าความเร็วปลายใบเหมาะสม (λ = 5.2) เนื่องจากมุมปะทะที่สูงทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศบนผิวใบพัดเป็นวงกลม (Vortex) ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ป้ออย่างรุนแรงในสภาวะนี้ เมื่อพิจารณามุมปะทะที่ระยะ r/R = 0.5 และ 0.7 เกือบจะมีค่าเท่ากับการคำนวณจากทฤษฎี BEM ซึ่งเราสามารถบอกได้ว่าทฤษฎี BEM สามารถพยากรณ์มุมปะทะได้อย่างคร่าวๆ จากช่วงกลางใบพัดถึงปลายใบพัด ระยะ r/R = 0.3 ทฤษฎี BEM ไม่สามารถคำนวณได้ถูกต้อง เนื่องจากการไหลแบบซับซ้อนของความเร็วลัพธ์ 3 มิติของสภาวะการหมุนจริงของกังหันลม และบริเวณโคนใบจะมีผลกระทบจากแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) โดยมีผลต่อกระแสลมในทิศทางแนวกางใบพัด (Span-wise direction) ซึ่งทฤษฎี BEM สามารถคำนวณความเร็วลัพธ์ได้เพียง 2 มิติเท่านั้น



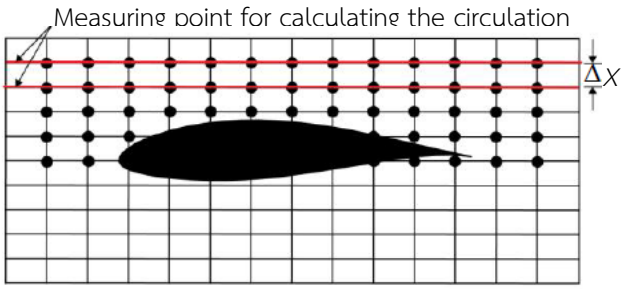
ภาพที่ 5 มุมปะทะ

การไหลวนบนผิวใบพัดกังหันลมสามารถคำนวณได้จากสมการความเร็วเหนี่ยวนำดังสมการที่ 2

$$\Gamma = 2\pi\left(\frac{\partial(1/\Delta v)}{\partial x}\right)^{-1} \quad (2)$$

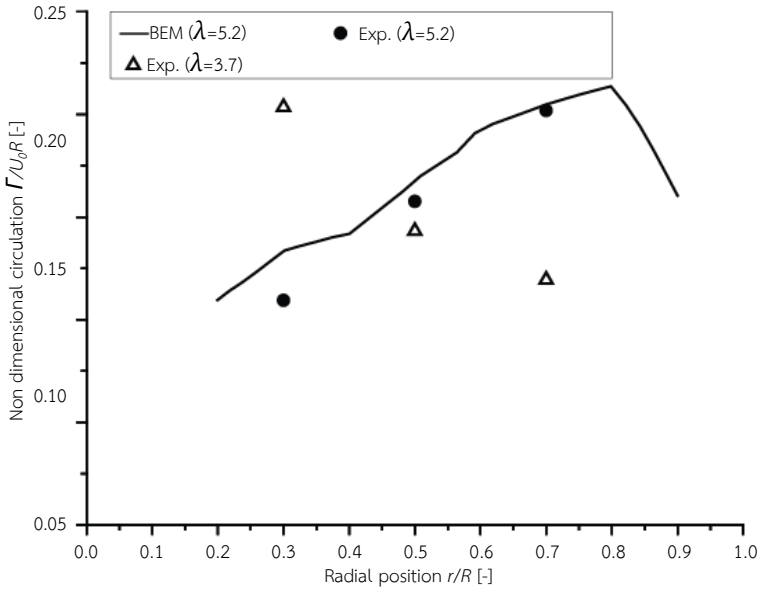
เมื่อ Γ = การไหลวนบนผิวใบพัด [m/s^2] v = ความเร็วสัมผัสเหนี่ยวนำ [m/s]
X = ตำแหน่งในระยะแนวแกน X [m]

ในการคำนวณการไหลวนบนผิวใบพัดจะใช้ข้อมูลจากการวัดความเร็วลมจาก LDV โดยการคำนวณจะต้องตั้งพื้นที่ควบคุม (Control volume) ดังภาพที่ 6 จุดสีดำในรูปแสดงถึงตำแหน่งการวัดจาก LDV ส่วนเส้นสีแดงแสดงถึงตำแหน่งการวัดที่ใช้ในการคำนวณซึ่งเมื่อแทนค่าในสมการที่ 2 จะได้ผลของการคำนวณการไหลวนบนผิวใบพัดได้ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 6 การตั้งพื้นที่ควบคุมในการคำนวณการไหลวนบนผิวใบพัดกังหันลม

จากภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่าการทำนายการไหลวนบนผิวใบพัดที่สภาวะความเร็วปลายใบเหมาะสม (λ=5.2) ด้วยทฤษฎี BEM จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆตามแนวกางใบจนถึงที่ระยะ r/R = 0.8 จากนั้นจะลดลง ซึ่งเหตุผลของปรากฏการณ์นี้คือการก่อตัวของกระแสมวนที่ปลายใบพัด การคำนวณการไหลวนบนผิวใบพัดที่สภาวะความเร็วปลายใบเหมาะสม (λ=5.2) จากข้อมูลจาก LDV จะพบว่าค่าของการไหลวนบนผิวใบพัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใกล้ปลายใบพัด สำหรับในกรณีการคำนวณการไหลวนบนผิวใบพัดที่สภาวะความเร็วปลายใบต่ำ (λ=3.7) จากข้อมูลจาก LDV จะพบว่าจะมีลักษณะคล้ายๆกับกรณีความเร็วปลายใบเหมาะสมแต่มีค่าต่ำยกเว้นบริเวณ r/R = 0.3 เหตุผลที่ตำแหน่ง r/R = 0.5 และ r/R = 0.7 มีค่าการไหลวนบนผิวใบพัดต่ำก็เพราะการที่มีมุมปะทะที่สูงทำให้เกิดการลดลงของแรงยกและเพิ่มแรงต้านทำให้เกิดปรากฏการณ์ป้อ (Stall) ส่วนเหตุผลที่ r/R = 0.3 มีค่าที่สูงสำหรับสภาวะความเร็วปลายใบต่ำ (λ=3.7) ข้อสันนิษฐานน่าจะมาจากรูปร่างใบพัดที่หนาพร้อมทั้งมีชายปีกหน้าที่แข็งที่อและการมีกระแสลมไหลในแนวกางใบจากอิทธิผลของแรงหนีศูนย์กลางในตำแหน่งนี้ทำให้ช่วยลดการแยกชั้นขอบเขตของอากาศดังนั้นอาจทำให้ปรากฏการณ์ป้อ (Stall) ไม่เกิดขึ้นในตำแหน่งนี้จึงมีค่าการไหลวนบนพื้นผิวใบพัดสูง



ภาพที่ 7 การไหลวนบนผิวใบพัดกังหันลมตามแนวกางใบ

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบในอุโมงค์ลมพบว่าใบพัดต้นแบบให้ผลสรุปดังนี้

1. มุมปะทะที่สภาวะความเร็วปลายใบต่ำจะมีค่ามุมปะทะที่สูงเนื่องจากปรากฏการณ์ป้อส่งผลให้กระแสลมบนพื้นผิวใบพัดมีความปั่นป่วนในทิศทางการไหลและกระแสลมไม่ยึดติดกับผิวใบพัดและไหลออกจากผิวใบพัด
2. การไหลวนบนผิวใบพัดในสภาวะความเร็วปลายใบที่เหมาะสมมีค่าที่สูงกว่าสภาวะความเร็วปลายใบต่ำ
3. การไหลวนบนผิวใบพัดจะลดลงอย่างรวดเร็วบริเวณปลายใบเนื่องจากการก่อตัวของกระแสมวนที่ปลายใบพัด
4. ทฤษฎี BEM สามารถทำนายตัวแปรทางอากาศพลศาสตร์ได้คร่าวๆบริเวณกลางใบพัดถึงปลายใบพัด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ขอแสดงความขอบคุณ Prof. Dr. Takao Maeda หัวหน้าห้องวิจัย Fluid Engineering for Energy and Environment Laboratory แห่ง Mie University เป็นอย่างสูงที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิจัยนี้ และขอแสดงความขอบคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ของทางห้องวิจัยที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551 - 2556).** กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). **สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม – มีนาคม 2560.** กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

[3] วิรชัย โรยนรินทร์ (2551). **รายงานการศึกษาวิจัยพัฒนาสาธิตต้นแบบเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วต่ำ.** คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธัญบุรี

[4] วิรชัย โรยนรินทร์ (2552). **รายงานโครงการวิจัยเพื่อพัฒนากังหันลมผลิตไฟฟ้าต้นแบบขนาด 50 กิโลวัตต์.** คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธัญบุรี

[5] Phengpom, T., Kamada, Y., Maeda, T., Matsuno, T., Sugimoto, N. (2016). Analysis of Wind Turbine Pressure Distribution and 3D Flows Visualization on Rotating Condition. **Journal of Engineering (IOSRJEN)**. 6(2), 18-30.

[6] Phengpom, T., Kamada, Y., Maeda, T., Murata, J., Nishimura, S., and Matsuno, T. (2015). Experimental investigation of the three-dimensional flow field in the vicinity of a rotating blade. **Journal of Fluid Science and Technology**. 10 (2), Paper No.15-00313, 16 pages.

[7] Phengpom, T., Kamada, Y., Maeda, T., Murata, J., Nishimura, S., and Matsuno, T. (2015). Study on Blade Surface Flow around Wind Turbine by Using LDV Measurements. Journal of Thermal Science. 24 (2)' 131-139.

[8] 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.

IE39

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพระดับชุมชนด้วยจุลินทรีย์

สาณท ทองสุจริตพันธ์[1*] วิสูตร์ ยังพลขันธ์[1] และพรชัย ใจสม[2]
[1]ทีมพัฒนาพลังงานเพื่อสังคมฝ่ายกิจการเพื่อสังคม บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน)
[2]ตำบลสันทราย อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่

บทคัดย่อ

เนื่องด้วยชุมชนตำบลสันทราย หมู่บ้านสันฮกฟ้า เป็นชุมชนที่เข้าร่วมโครงการนวัตกรรมระบบผลิตและส่งจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรสำหรับชุมชน เมื่อปี 2560 ร่วมกับ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) และมหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนและลดมลภาวะทางกลิ่นที่เกิดขึ้นจากมูลสุกร โครงการดังกล่าวได้ประสบความสำเร็จในการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยบ่อ Fix Dome 100 ลูกบาศก์เมตร สามารถส่งจ่ายก๊าซชีวภาพได้รวมทั้งสิ้น 40 หลังคาเรือน

ในปี 2561 ทางตำบลสันทราย ร่วมกับ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) และสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (NIA) จึงมีโครงการวิจัยเชิงปฏิบัติการในเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ผ่านการคัดสายพันธุ์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพส่งจ่ายไปใช้ยังหมู่บ้านท่ามะเกี๋ยง 60 หลังคาเรือน ซึ่งเป็นหมู่บ้านที่อยู่ใกล้เคียงกับหมู่บ้านสันฮกฟ้า โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพให้เพียงพอต่อการใช้งานรวมทั้งสิ้น 100 ครัวเรือน ทำให้ชุมชนสามารถลดการใช้ก๊าซแอลพีจีได้9,108 กิโลกรัมต่อปีอีกทั้งยังสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 109.27 tCO_2e อีกด้วย

งานวิจัยนี้ เป็นการใช้จุลินทรีย์ที่ผ่านการคัดสายพันธุ์จากมหาวิทยาลัยแม่โจ้[1]ที่ผ่านการแยกเป็นไอโซเลตต่างๆก่อนจะนำเอาเชื้อไอโซเลตที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (S5-2) มาใช้เติมในบ่อหมักของฟาร์มไข่มุกสมใจ หมู่บ้านสันฮกฟ้า ตำบลสันทราย เพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ในกระบวนการหมักซึ่งจะส่งผลให้เกิดก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น ในงานวิจัยนี้ จะทำการตรวจวัดอัตราการเกิดก๊าซและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยทำการตรวจวัดค่า pH, BOD_5, COD, TKN, TSS, VSS, Alkalinity และ VFA ตามมาตรฐาน (Standard Methods for the examination of Waste Water, APHA, AWWA&WEF,22nd edition, 2012) โดยทำการวัดทั้งก่อนเติมและหลังเติมจุลินทรีย์เข้าสู่ระบบ จากผลการทดลองพบว่า หลังจากเติมจุลินทรีย์เข้าสู่ระบบ ด้วยอัตรา 50 ลิตรต่อวัน จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศได้ 9.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น ถึง 48.5 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ ฟาร์มสุกร จุลินทรีย์

*Corresponding author: Tel.: 087-7990462. E-mail address: sanot.t@pttplc.com

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยในยุคปัจจุบัน มีการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังมีการเจริญเติบโตด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จากสถานการณ์การใช้พลังงานของประเทศไทย พบว่าประเทศไทยมีการใช้พลังงานในช่วง 4 เดือนแรกของปี พ.ศ.2561 มีปริมาณ 28,853พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

ซึ่งเพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปี พ.ศ.2560 ร้อยละ 8.0 คิดเป็นมูลค่ากว่า 431,784ล้านบาทโดยมีการใช้ก๊าซธรรมชาติร้อยละ 6.6 ของการใช้พลังงานทั้งหมด [3] ทั้งนี้ทรัพยากรด้านพลังงานนั้นมีปริมาณจำกัด หากมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องตามการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ อาจทำให้ประเทศไทยในอนาคตประสบปัญหาด้านการขาดแคลนพลังงานในที่สุด

โดยในปัจจุบันประเทศไทยให้ความสำคัญกับการพัฒนาพลังงานทดแทนในหลากหลายรูปแบบ ภายใต้หลักการเปลี่ยนวัตถุดิบที่เหลือใช้หรือของเสียเพื่อลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมควบคู่กับการผลิตเป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ หนึ่งในรูปแบบที่น่าสนใจและมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ กระบวนการหมักของของเสียแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งปัจจุบันกระบวนการดังกล่าวนิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อาทิเช่น โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม โรงงานสุรา เป็นต้น โดยนำก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักไปใช้ในการปั่นไฟเพื่อใช้ในโรงงานหรือขายให้กับการไฟฟ้า ในขณะเดียวกันเจ้าของฟาร์มปศุสัตว์ในประเทศไทยเริ่มนิยมใช้กระบวนการหมักแบบไร้อากาศเพื่อใช้ประโยชน์ในชุมชนเพิ่มมากขึ้นโดยปัจจุบัน หมู่บ้านสันฮกฟ้า ตำบลสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ มีการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรเพื่อส่งจ่ายก๊าซให้กับครัวเรือนใช้งานเป็นเชื้อเพลิงความร้อนแทนก๊าซ LPG แล้วรวมทั้งสิ้น 40 ครัวเรือน โดยบ่อก๊าซชีวภาพในหมู่บ้านสันฮกฟ้า มีขนาด100 ลูกบาศก์เมตร

ตามที่บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (ปตท.) มีหน้าที่รับผิดชอบในฐานะองค์กรที่สร้างความมั่งคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศด้วยการส่งเสริมและพัฒนาชุมชนให้สามารถพึ่งตนเองด้านพลังงานทดแทน ตลอดจนขยายผลสู่ชุมชนและสังคมทั่วประเทศ โดยได้รับมอบหมายในการทำหน้าที่ส่งเสริมและพัฒนาชุมชนต้นแบบที่มีระบบการจัดการพลังงาน โดยประชาชนมีส่วนร่วมทั้งนี้ ทาง ปตท. ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพของบ่อก๊าซชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์แบบไร้อากาศที่ผ่านการคัดสายพันธุ์ เพื่อเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพให้รองรับการใช้งานของชุมชน

ดังนั้นในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองโดยการเติมเชื้อจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบคัดสายพันธ์ลงในบ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบ Fix Dome ที่ฟาร์มไข่มุกสมใจ หมู่บ้านสันฮกฟ้า เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานของหมู่บ้านท่ามะเกี๋ยงที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงให้เพิ่มมากขึ้นอีก 60 ครัวเรือน โดยทำการติดตามผลอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและอัตราการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งเป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการร่วมกับชุมชนสามารถใช้ก๊าซชีวภาพควบคู่ไปกับการทำการวิจัย

วัตถุประสงค์ในการดำเนินงานวิจัย

1. เพื่อเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร ด้วยจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบคัดสายพันธุ์
2. เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรระดับชุมชน
3. เพื่อลดค่าใช้จ่ายให้กับครัวเรือน ที่ขยายระบบก๊าซชีวภาพ

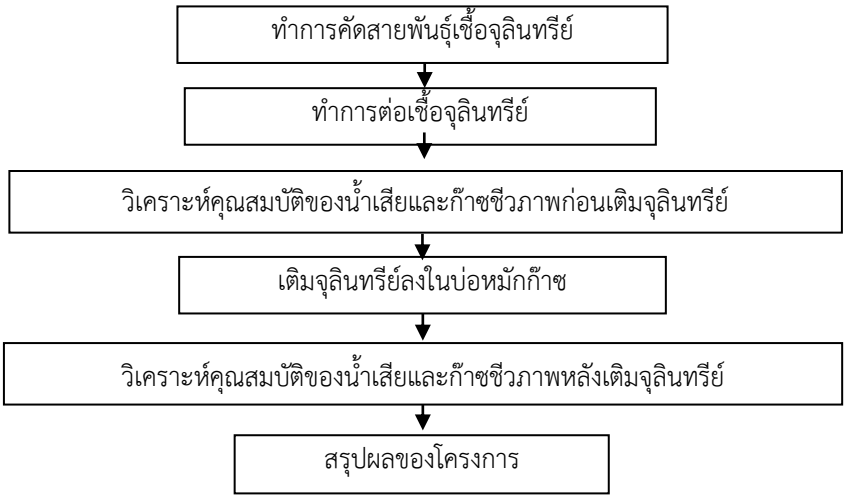
ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1.ใช้เชื้อจุลินทรีย์คัดสายพันธุ์ในการเพิ่มอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ

2.วิเคราะห์ประสิทธิภาพการย่อยสลายของเชื้อจุลินทรีย์ โดยมีพารามิเตอร์ pH, MLSS, MLVSS, COD, BOD_5, VFA และ Alkalinity

วิธีการวิจัย

1.แผนการดำเนินงาน



ภาพที่ 1ภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

2. การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์แบบคัดสายพันธุ์

2.1 การคัดเชื้อจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ

จากงานวิจัยของ ดร.ฐปณ ชื่นบาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เรื่อง การคัดเลือกและผลิตจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนแบบเม็ดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแบบไม่ใช้ออกซิเจนนั้น เป็นจุลินทรีย์ที่นำมาคัดสายพันธ์และทำให้บริสุทธิ์ โดยการคัดแยกเพียงเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีทั้งสิ้น 4 ไอโซเลต อันได้แก่ S5-2, S5-3, S5-7.2 และ BP1-7 โดยจุลินทรีย์ทั้ง 4 ไอโซเลตดังกล่าวมีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศทั้งสิ้น แสดงดังดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2 อัตราการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์

ไอโซเลต	เวลาที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด (ชั่วโมง)
S5-2	22
S5-3	26
S5-7.1	32
BP1-7	22

โดยจากงานวิจัยพบว่า เชื้อจุลินทรีย์ S5-2 มีอัตราในการเจริญเติบโตสูงที่สุดที่วันที่ 21 ซึ่งสามารถ เชื้อกลุ่มดังกล่าวมีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีในน้ำเสียได้สูงถึง 82 เปอร์เซ็นต์นั่ โดยสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุดที่ 721.3 ลิตรต่อกิโลกรัมของแข็งที่ระเหยได้ [1] ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการเพิ่มปริมาณของก๊าซชีวภาพให้เพียงพอต่อการใช้งาน

2.2 การต่อเชื้อจุลินทรีย์

หลังจากที่ได้เชื้อที่ผ่านการคัดสายพันธ์แบบเข้มข้นเรียบร้อยแล้ว ก่อนจะทำการเติมลงสู่บ่อหมักก๊าซชีวภาพที่ฟาร์มไข่มุกสมใจหมู่บ้านสันฮกฟ้าจำเป็นต้องมีการต่อเชื้อจุลินทรีย์หรือกระตุ้นให้เชื้อจุลินทรีย์เกิดการทำงานที่มีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้จะใช้กากน้ำตาลและน้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอน (C-Source) เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้

คาร์บอนในการเจริญเติบโต (Heterotroph) และปุ๋ยไนโตรเจนเป็นแหล่งไนโตรเจน (N-Source) โดยการเติมให้มี COD:N เท่ากับ 100:2.2 [4] เพื่อให้ปริมาณธาตุอาหารมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งมีส่วนผสมได้แก่น้ำสะอาด จุลินทรีย์กากน้ำตาลน้ำตาลทราย และ ปุ๋ยไนโตรเจน (46-0-0) ละมีขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 2แผนภาพแสดงการต่อเชื้อจุลินทรีย์

3. การเติมเชื้อจุลินทรีย์

หลังจากทำการคำนวณภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของระบบและจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงทำการนำเชื้อจุลินทรีย์ที่ผ่านการกระตุ้นไปเติมลงในบ่อหมักก๊าซชีวภาพ โดยมีแผนการเติมในช่วงต้นเดือนของเดือนพฤษภาคม กรกฎาคม และกันยายน โดยเว้นระยะเวลาในการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์เป็นเวลา 1 เดือน อีกทั้งยังเป็นการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์น้ำเสีย ประเมินผลการทดสอบ และสังเกตการณ์ทำงานของระบบ โดยแผนการเติมจุลินทรีย์และวิเคราะห์ผล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2แผนการดำเนินงาน

กิจกรรมที่ปฏิบัติ	ช่วงเวลาในการดำเนินโครงการ (เดือน/สัปดาห์)																							
	พค				มิย				กค				สค				กย				ตค			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1) การเติมเชื้อจุลินทรีย์																								
2) จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบ																								
3) เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์น้ำเสีย																								
4) ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์																								

การเติมเชื้อจุลินทรีย์ในทุกต้นเดือนนั้น จะทำการเติมครั้งละ 200 ลิตร โดย แบ่งเป็น 5 วัน โดยเติม 20, 30, 50 และ 100 ลิตร ตามลำดับอย่างไรก็ตาม การเติมจุลินทรีย์จะเติมควบคู่กับการเติมมูลสุกรในสภาวะปกติ และมีการเปิดให้หมู่บ้านสันฮกฟ้าใช้ก๊าซชีวภาพตามปกติอีกด้วย ดังนั้น การดำเนินการจำเป็นต้องดูแลอย่างใกล้ชิดเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อการใช้งานก๊าซชีวภาพของหมู่บ้าน

4. การตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

ในงานวิจัยนี้ จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการวิเคราะห์อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำเสียภายใต้มาตรฐานStandard Methods for the examination of Waste Water, APHA, AWWA&WEF,22nd edition, 2012 โดยมีพารามิเตอร์ได้แก่ pH, BOD_5, CODTKN,VSS,TSS, VFAและ Alkalinity

ผลการวิจัย

ในการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพนั้น แบ่งออกเป็น 3 ระยะ ตามช่วงเวลาที่กำหนด (ตารางที่ 2) โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลองระยะที่ 1(พ.ค – มิ.ย) การทดลองระยะแรกนั้น หลังจากมีการเติมจุลินทรีย์ลงในบ่อหมักก๊าซชีวภาพที่ฟาร์มไข่มุกสมใจพบว่า บ่อเก็บก๊าซชีวภาพมีปริมาณก๊าซลดลงอย่างเห็นได้ชัด (แสดงดังภาพที่ 2)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 ก. บ่อเก็บก๊าซก่อนการเติมเชื้อ ข. บ่อเก็บก๊าซหลังการเติมเชื้อ

โดยบริเวณบ่อดึงกากตะกอน มีปริมาณกากตะกอนที่น้อยลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้ทางทีมงานจึงได้ทำการเก็บน้ำไปวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของการลดลงของก๊าซชีวภาพ และได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 3ผลการตรวจวัดน้ำเสียของการทดลองระยะที่ 1[5]

ตัวอย่างน้ำ	pH	COD (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	TSS (mg/L)
น้ำเข้า	7.91	10,800	9,000	8,920
น้ำออก	8.05	8,400	7,500	3,500

จากผลการทดลองระยะที่ 1 จะเห็นได้ว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD อยู่ที่ 22.2 เปอร์เซ็นต์ และมีตะกอนสะสมอยู่ในระบบ 60.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหากมีการดึงกากตะกอนออกจากระบบที่ไม่สม่ำเสมอหรือในปริมาณที่ไม่มากพอ ก็อาจทำให้เกิดการอุดตัน และส่งผลต่อระยะเวลากักพักของน้ำเสียได้ ในช่วงเวลาปกติบ่อหมักของฟาร์มไข่มุกสมใจ ซึ่งจะมีระยะเวลาในการย่อยสลายของจุลินทรีย์อยู่ประมาณ 18 วัน ดังนั้นหากเกิดตะกอนสะสมในบ่อ จะส่งผลให้ปริมาตรของการเก็บน้ำในบ่อลดลงและส่งผลให้ระยะเวลาของน้ำที่อยู่ในบ่อลดลงตามไปด้วย จุลินทรีย์จึงมีเวลาในการย่อยสลายไม่เพียงพอนั่นเอง ทั้งนี้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทำการแก้ไขก่อนทำการทดลองในระยะที่ 2 โดยการดูดตะกอนออกจากระบบติดต่อกันเป็นเวลา 2อาทิตย์ และจึงเริ่มทดลองในระยะที่ 2 ต่อไป

การทดลองระยะที่ 2และ 3 (ก.ค – ต.ค)

หลังจากทราบสาเหตุปัญหาในการทดลองระยะที่ 1 ทางทีมงานจึงได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการดูดตะกอนในเดือนกรกฎาคมเพื่อเพิ่มปริมาตรในการกักเก็บน้ำเสียและสังเกตการพบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นบริเวณบ่อเก็บก๊าซชีวภาพอย่างเห็นได้ชัด โดยมีการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อทำการตรวจวัดก่อนการเติมเชื้อเข้าสู่ระบบ ดังตารางที่ 4

จากผลการวิเคราะห์น้ำเสียก่อนการเติมจุลินทรีย์ (ตารางที่ 4) พบว่า หลังจากแก้ไขปัญหาการสะสมตะกอนเรียบร้อยแล้ว ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ 88.7 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า VFA เท่ากับ 314mg/L, Alkalinity

อยู่ที่ 2,030 mg/L และ VFA/Alkalinity เท่ากับ 0.15ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและย่อยสลายของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ [6]นอกจากนี้ ยังมีการตรวจวัดอัตราการเกิดก๊าซก่อนการเติมเชื้อจุลินทรีย์เข้าสู่ระบบ โดยก่อนการเติมเชื้อมีอัตราการเกิดก๊าซอยู่ที่ 46.35 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน[7]

จากผลการวิเคราะห์น้ำเสียหลังการเติมเชื้อจุลินทรีย์ (ตารางที่ 5)พบว่า หลังเติมเชื้อจุลินทรีย์แบบคัดสายพันธุ์เรียบร้อยแล้ว ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิม 98.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการเกิด Gas เพิ่มขึ้นเป็น 68.83 ลูกบาศก์เมตรต่อวันหรือคิดเป็น48.5 เปอร์เซ็นต์[7] โดยมีค่า VFA เท่ากับ 160mg/L, Alkalinity อยู่ที่ 1,790 mg/L และ VFA/Alkalinity เท่ากับ 0.09

ตารางที่ 4ผลการตรวจวัดน้ำเสียของการทดลองระยะที่ 2และ 3 (ก่อนการเติมเชื้อจุลินทรีย์)[5]

สถานะ	ตัวอย่างน้ำ	pH	COD (mg/L)	BOD_5 (mg/L)	TSS (mg/L)
ก่อนเติมจุลินทรีย์	น้ำเข้า	6.7	6,568	2,768	4,970
	น้ำออก	7.00	743	117	636
หลังเติมเชื้อจุลินทรีย์	น้ำเข้า	6.9	33,348	6,500	20,510
	น้ำออก	6.9	645	140	545

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่า จุลินทรีย์ S5-2 ที่ผ่านการคัดสายพันธุ์ สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศได้ 9.4 เปอร์เซ็นต์ซึ่งส่งผลให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพที่เพิ่มขึ้น ถึง 48.5เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อพารามิเตอร์ในระบบ จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ที่ผ่านการคัดสายพันธุ์นั้นสามารถทำงานร่วมกับจุลินทรีย์จากมูลสุกรตามธรรมชาติ และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างไรก็ตาม เนื่องจากเป็นการวิจัยในเชิงปฏิบัติการที่มีการทดสอบในฟาร์มหมูและมีการใช้งานก๊าซชีวภาพของหมู่บ้านสันฮกฟ้าอย่างต่อเนื่อง จึงขึ้นอยู่กับปัจจัยควบคุมและสภาพแวดล้อมต่างๆ อาทิเช่น การดึงกากตะกอนออกจากระบบ ปริมาณมูลสุกรที่เข้าระบบ เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้นอกจากจะเป็นการทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ S5-2 แล้ว ยังเป็นการชี้ให้เห็นถึงผลกระทบของการสะสมของกากตะกอนในระบบที่มากจนเกินไปและวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เพื่อเป็นกรณีศึกษาให้กับผู้ประกอบการและชุมชนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] นายฐปณชื่นบาล และคณะ. (2550). **การคัดเลือกและผลิตจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนแบบเม็ดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรแบบไม่ใช้ออกซิเจน**.วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต.เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยแม่โจ้สืบค้นเมื่อวันที่ 18 เมษายน2561,จาก http://www.energy.mju.ac.th

[2]E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton, L.S. Clesceri. (2012). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition**. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มิถุนายน 2561

[3]กรมพัฒนาพลังงานทดแทน (กระทรวงพลังงาน). (2561).**สถานการณ์ของพลังงานในประเทศไทยเดือน มกราคม-เมษายน 2561**สืบค้นเมื่อวันที่ 23 สิงหาคม 2561 จาก http://www.dede.go.th/

[4] สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน(กระทรวงพลังงาน). (2553). **การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียฟาร์มปศุสัตว์และโรงงานอุตสาหกรรม**สืบค้นเมื่อวันที่ 26กรกฎาคม 2561 จาก http://www.dede.go.th/

[5]สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์. (2561). **รายงานผลการทดสอบน้ำเสีย**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[6] สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย (กระทรวงอุตสาหกรรม). (2553).**คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบ การผลิตการควบคุมคุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ** สืบค้นเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม 2561 จาก www.industry.go.th/

[7]สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์. (2561). **รายงานผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

IE42

การศึกษาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อที่การไหลแบบราบเรียบโดยใช้น้ำและของไหลกราฟีนนาโนเป็นสารทำงาน

The Study of Convective Heat Transfer Coefficient inside Circular Tube with Laminar Flow by using Water and GrapheneNanofluid as a Working Fluid

ภานุวัฒน์ ทิมอยู่[1] สราวุธ พลวงษ์ศรี[1*] และสุรศักดิ์ กุยมาลี[2]
[1]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290
[2] สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ยาว 1 m ให้ความร้อนที่ผิวท่อสม่ำเสมอ (Uniform heat flux) ใช้ของไหลกราฟีนนาโนที่ความเข้มข้น 0.1%w เป็นสารทำงานเปรียบเทียบกับน้ำปราศจากไอออน โดยทำการศึกษาภายใต้สภาวะการไหลแบบราบเรียบที่อัตราการไหลของสารทำงาน 120 170 และ 220 cm^3/min จากการทดลองพบว่า การใช้สารทำงานที่เป็นของไหลกราฟีนนาโนสามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อ 40% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นสารทำงาน โดยการใช้ของไหลกราฟีนนาโนเป็นสารทำงานมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนอยู่ในช่วงประมาณ 600-800 $W/m^2{\cdot}K$สูงกว่ากรณีที่สารทำงานเป็นน้ำปราศจากไอออนเป็นสารทำงานทุกอัตราการไหลโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในอยู่ในช่วงประมาณ 400-600 $W/m^2{\cdot}K$

คำสำคัญ: ของไหลกราฟีนนาโน สัมประสิทธิ์การพาความร้อนการไหลแบบราบเรียบ การให้ความร้อนที่ผิวท่อสม่ำเสมอ

*Corresponding author:Tel.: 086-657-0186. E-mail address: Saravooth@hotmail.com

บทนำ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายทั้งใน ภาคอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า กระบวนการผลิต การขนส่งและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น สารทำงานที่นิยมใช้ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีหลายชนิดขึ้นกับรูปแบบ และช่วงอุณหภูมิการใช้งาน เช่น น้ำ เอทิลีนไกลคอลน้ำมันเป็นต้น ในการพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นมีหลายวิธี วิธีหนึ่งคือการเลือกใช้สารทำงานที่มีสมบัติด้านการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสม ตัวอย่าง เช่นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ต้องการออกแบบให้มีขนาดเล็กหรือต้องการลดขนาดพื้นที่การถ่ายเทความร้อนลงให้เหมาะสมกับพื้นที่การใช้งาน ประกอบกับในอนาคตพลังงานจะเป็นสิ่งที่หาได้ยากและมีมูลค่าสูงขึ้น มีงานวิจัยเกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการเลือกใช้สารทำงานให้เหมาะสม เช่น การเติมอนุภาคของโลหะที่มีขนาดเล็กระดับนาโนเมตรลงไปในของไหลพื้นฐานซึ่งทำให้ได้ของไหลที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น[1] อนุภาคของแข็งระดับนาโนจะถูกแขวนลอยในสารทำงานเรียกว่าของไหลนาโน การใช้อนุภาคนาโนในของไหลเพื่อเพิ่มสมบัติทางความร้อนให้สูงขึ้นได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก สารแขวนลอยดังกล่าวเรียกว่า nanofluids เนื่องจากมีขนาดระดับนาโนเมตรมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ดีเยี่ยม โดยมีค่าการนำความร้อนที่ดีเช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ดี ทำให้เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานทางด้านความร้อน โดย Phanindra

และคณะ[2]ทำการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการถ่ายโอนความร้อนและการไหลเวียนของของเหลวนาโนที่ประกอบด้วยน้ำมันหม้อแปลง และอนุภาคของ Al_2O_3/Cu ความเข้มข้น 0.10 % นำไปใช้ในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ ซึ่งท่อด้านในทำด้วยทองแดงที่มีการนำความร้อนสูง จากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในตัวแลกเปลี่ยนความร้อนท่อร่วมจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 10.34% เมื่อเทียบกับน้ำมันบริสุทธิ์ ส่วน Siva Eswara Raoและ คณะ [3] ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของของไหล Al_2O_3 /water nano fluid ที่มีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (shell and tube heat exchanger) พบว่า เมื่อความเข้มข้นโดยปริมาตรเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าการนำความร้อน ความหนาแน่นและความหนืดของของเหลวนาโนเพิ่มขึ้น และเมื่อจำนวน Reynolds number ลดลง มีผลทำให้แฟกเตอร์เสียดสีลดลง (friction factor) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยรวมสูงที่สุดเท่ากับ 1190.76 W/m^2·K สำหรับ Al_2O_3/water nano fluid ที่ความเข้มข้น 2.5% ที่อัตราการไหลของมวล 0.946 L/s และอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยรวมของน้ำเท่ากับ 218.29W/m^2·K ที่อัตราการไหลของมวล0.113 L/s

นอกจากอนุภาคโลหะนาโนต่างๆเช่น อะลูมินา ไทเทเนียม ทองแดงออกไซด์และซิลิคอนไดออกไซด์ที่ถูกนำมาใช้ในการเตรียมสารนาโนฟลูอิดแล้ว พบว่ากราฟีนนาโนสามารถให้ค่าการนำความร้อนสูงกว่าเมื่อเทียบกับสารนาโนฟลูอิดอื่น ๆ [4] เมื่อพิจารณาจากค่าการนำความร้อนของโลหะพบว่า ทองแดงมีค่าการนำความร้อน 4 W/cm.K ส่วนกราฟีนจะมีค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 50 W/cm.K [5]ซึ่งสูงกว่าทองแดงประมาณ 12.5 เท่า โดย HosseinAkhavan-Zanjaniและ คณะ [6] ได้ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลกราฟีนนาโน ในลักษณะการไหลแบบราบเรียบภายในท่อ มีการให้ฟลักซ์ความร้อนที่ผนังท่ออย่างสม่ำเสมอ พบว่าที่ความเข้มข้น 0.02% โดยปริมาตร ที่ Reynolds Number เท่ากับ 1,850 สามารถเพิ่มค่าการนำความร้อน 10.3% และเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน 14.2% เมื่อเทียบกับน้ำ

จากประโยชน์ของของไหลนาโนที่ช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหล และศักยภาพการนำความร้อนที่สูงกว่าโลหะของกราฟีนนาโน งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาคุณลักษณะในการถ่ายเทความร้อนของของไหลกราฟีนนาโนภายใต้สภาวะการไหลแบบราบเรียบ ในท่อทรงกลมภายใต้การให้ความร้อนที่ผิวท่อทองแดงอย่างสม่ำเสมอ (uniform heat flux) ที่อุณหภูมิของสารทำงานเริ่มต้นเข้าระบบแตกต่างกัน และศึกษาผลของอุณหภูมิสารทำงานและอัตราการไหลที่ส่งผลต่อค่าการพาความร้อนของของไหลกราฟีนนาโนเทียบกับน้ำ

วิธีการวิจัย

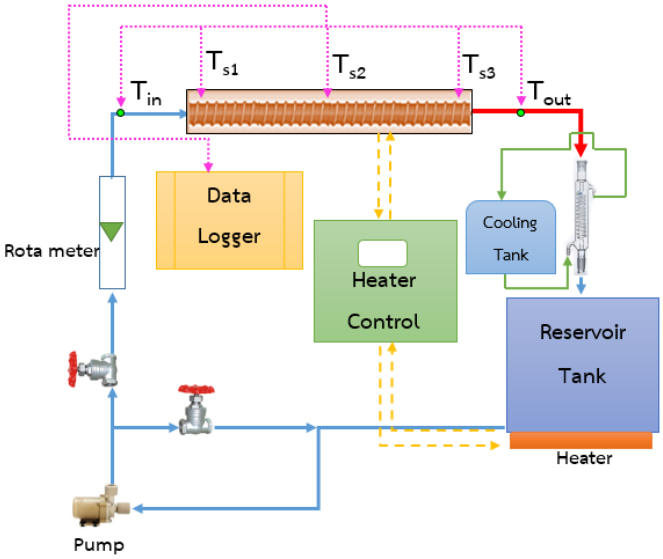
การทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อทองแดงนั้น จะต้องทำการเตรียมสารทำงานกราฟีนนาโนที่ความเข้มข้น 0.10%w โดยใช้วิธีการเตรียม 2 ขั้นตอน โดยการเตรียมผงกราฟีนนาโนที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 2 µm x2 µm x 2 nm จำนวน 3 gผสมเข้ากับน้ำปราศจากไอออน 3 Literด้วยเครื่องอัลตร้าโซนิคที่ความถี่ 40kHz เป็นเวลา 90 min รักษาอุณหภูมิสารทำงานไม่ให้เกิน 35°Cจะได้สารทำงานที่มีความเข้มข้น 0.10 %wหลังจากนั้นนำสารทำงานที่ได้เทลงในถังพักสารทำงาน (Reservoir tank)ขนาด 5 Liter ที่หุ้มฉนวนความร้อนถังป้องกันการสูญเสียความร้อนติดตั้งฮีตเตอร์ชนิดแผ่นขนาด 400W ภายใต้ถังเพื่อช่วยควบคุมอุณหภูมิสารทำงานเริ่มต้นให้อยู่ที่ 35 45 55 และ 65 °Cสารทำงานจะไหลเวียนในระบบโดยปั๊มDV ขนาด 12 V ซึ่งควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ที่ 120 170 และ 220 cm^3/min ด้วยชุดวัดอัตราการไหล (Rotameter)เมื่อสารทำงานไหลผ่านเข้าชุดท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ที่พันด้วยขดลวดไฟฟ้าขนาด 80 W เพื่อให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวท่อสม่ำเสมอ (Uniform heat flux)และมีการหุ้มฉนวนบริเวณผิวท่อเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนหลังจากผ่านชุดท่อทองแดงสารทำงานจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากนั้นจะทำการลดอุณหภูมิสารทำงานด้วยชุดระบายความร้อนแบบท่อแก้วเพื่อให้สารทำงานมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับสารทำงานในถังพัก เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state condition) จะทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 30 วินาที เช่น

อุณหภูมิสารทำงานที่เข้าและออกจากท่อทองแดง อุณหภูมิผิวภายนอกท่อทองแดง อัตราการไหลของสารทำงาน โดยตำแหน่งการวัดแสดงดังภาพที่ 1เปรียบเทียบกับชุดทดสอบอีก 1 ชุด ที่ใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นสารทำงาน เพื่อนำข้อมูลต่างๆไปวิเคราะห์ค่าผลต่างอุณหภูมิสารทำงานเข้าและออกท่อทองแดง ค่าความร้อนที่สารทำงานได้รับ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อทองแดงของสารทำงาน

การให้ความร้อนด้วยขดลวดความร้อนสม่ำเสมอกับท่อทองแดง (Uniform heat flux) ดังภาพที่ 2 ความร้อนจะถ่ายเทจากขดลวดไฟฟ้าสู่ผนังด้านนอกท่อทองแดง และเกิดการถ่ายเทสู่ผนังด้านใน จากนั้นสารทำงานก็จะรับพลังงานความร้อนจากผนังด้านในโดยการพาความร้อน โดยสารทำงานไหลเข้าท่อทองแดงด้วยอุณหภูมิ T_{fi}และออกจากท่อทองแดงด้วยอุณหภูมิ T_{fo}ความร้อนที่สารทำงานได้รับสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 6 ของ Duffie and Beckman [7]

$$Q = \dot{m}C_p(T_{fo} - T_{fi}) \quad (1)$$

โดย Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W) $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลของของสารทำงานในระบบ (m/s) T_{fi} คือ อุณหภูมิสารทำงานก่อนเข้าท่อทองแดง (°C) T_{fo} คือ อุณหภูมิสารทำงานหลังออกจากท่อทองแดง (°C)

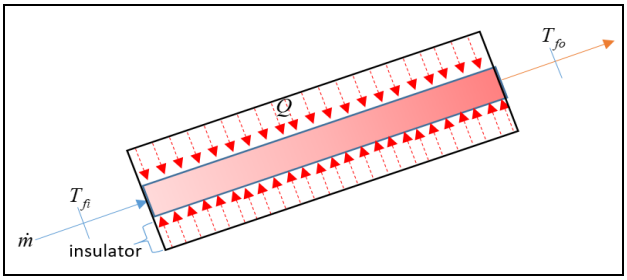


ภาพที่ 1ระบบทดสอบสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนในท่อทรงกลม[8] ดังสมการที่ 2

$$h = \frac{Q}{(A_T)(T_s - T_f)} \quad (2)$$

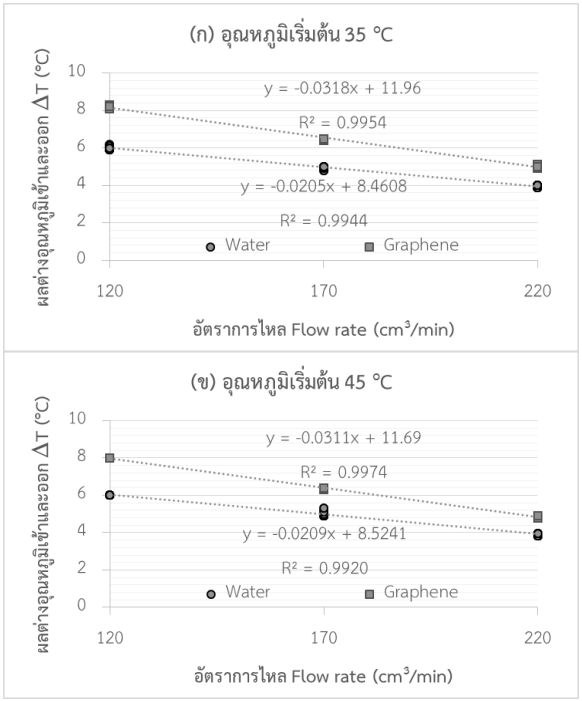
โดย h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของสารทำงานในท่อ (W/m^2·K) A_T คือ พื้นที่ภายในท่อทองแดง (m^2) T_s คือ อุณหภูมิผิวท่อทองแดงด้านนอกเฉลี่ย (°C) T_f คืออุณหภูมิสารทำงานเฉลี่ย (°C)

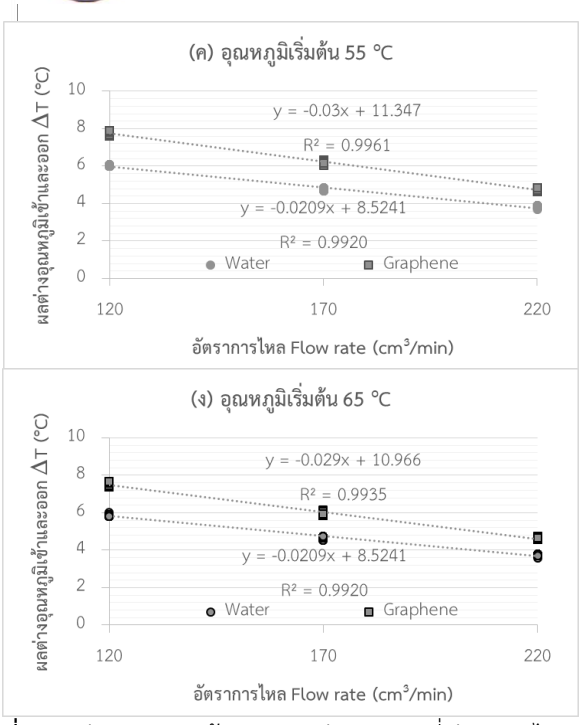


ภาพที่ 2ลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากฮีตเตอร์สู่สารทำงานภายในท่อทองแดงทรงกลม

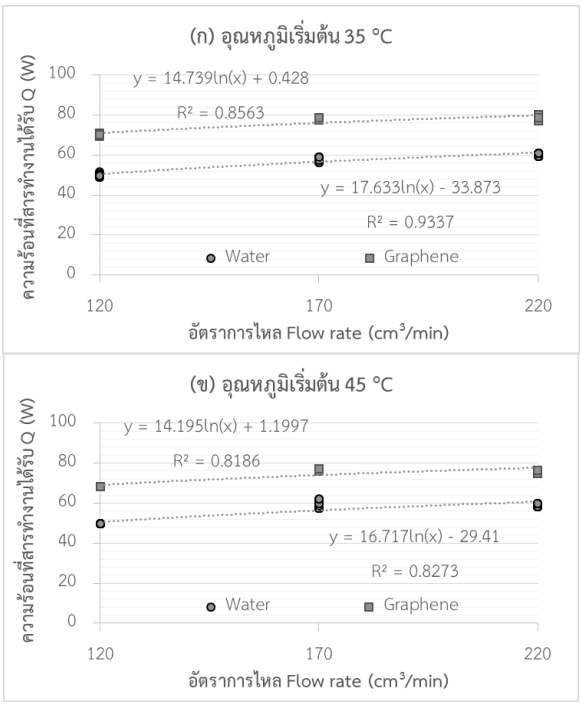
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

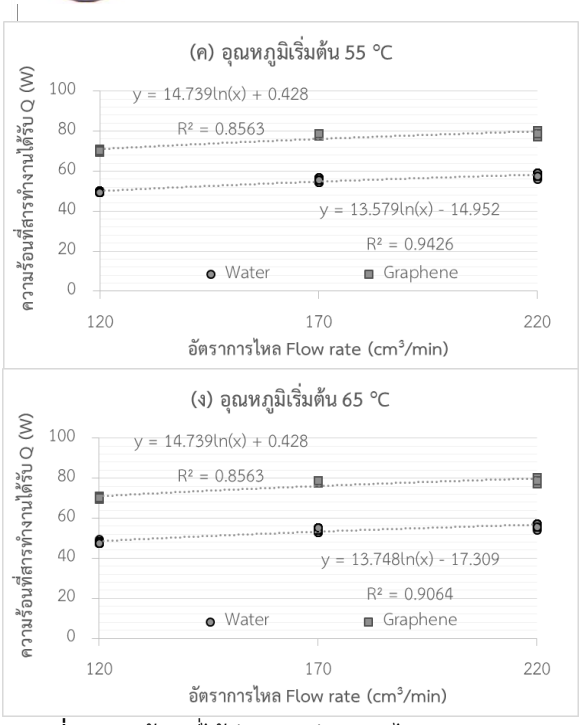
ในการทดสอบเพื่อหาผลต่างอุณหภูมิเข้าและออกท่อทองแดง จะใช้ของไหลกราฟีนนาโนที่ความเข้มข้น 0.10%w ที่อัตราการไหล 120 170 และ 220 cm^3/min โดยทำการเพิ่มอุณหภูมิของสารทำงานเริ่มต้นเข้าท่อทองแดงที่ 35 45 55 และ 65 °C เปรียบเทียบกับน้ำ ดังแสดงภาพที่ 3จะเห็นได้ว่า ผลต่างอุณหภูมิของสารทำงานที่ใช้ของไหลกราฟีนนาโนให้ค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานในทุกช่วงของอุณหภูมิสารทำงานเริ่มต้น ซึ่งผลต่างอุณหภูมิจะลดลงตามอัตราการไหลที่เพิ่มสูงขึ้น โดยพบว่าอุณหภูมิสารทำงานเริ่มต้นเข้าท่อทองแดง 35°Cที่อัตราการไหล 120 cm^3/min กรณีที่เป็นของไหลกราฟีนนาโนให้ผลต่างอุณหภูมิเข้าและออกสูงที่สุดเท่ากับ 8.20 °C เพิ่มขึ้นถึง 36.21% เมื่อเทียบกับน้ำมีค่าเท่ากับ 6.02 °C ดังภาพที่ 3(ก)และเมื่อพิจารณาตามอุณหภูมิเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นที่ 35 45 55 และ 65 °Cที่อัตราการไหล 120 cm^3/minผลต่างของอุณหภูมิสารทำงานที่เข้าและออกท่อทองแดงในกรณีที่ใช้ของไหลกราฟีนนาโนจะลดลงจาก 8.20 8.00 7.76 และ 7.53 °C ตามลำดับ เนื่องมาจากอุณหภูมิสารทำงานสูงขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสารทำงานเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลต่างอุณหภูมิเข้าและออกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น





ภาพที่ 3 ผลต่างอุณหภูมิเข้าและออกท่อทองแดงที่อัตราการไหลต่างๆ

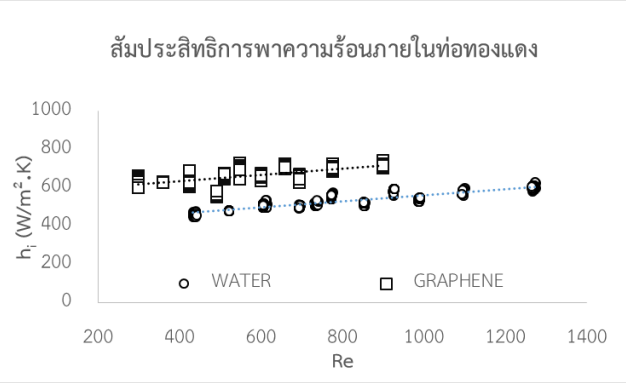




ภาพที่ 4ความร้อนที่ได้รับ และอัตราการไหลของสารทำงาน

จากภาพที่ 4 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่สารทำงานได้รับตามอัตราการไหลของสารทำงานที่เพิ่มขึ้น พบว่า เมื่ออัตราการไหลของสารทำงานเพิ่มขึ้นค่าความร้อนที่สารทำงานได้รับจะเพิ่มขึ้นตาม เมื่อพิจารณาระหว่างสารทำงานที่เป็นของไหลกราฟีนนาโนเทียบกับน้ำจะเห็นได้ว่ากรณีที่ใช้ของไหลกราฟีนนาโนเป็นสารทำงานความร้อนที่สารทำงานได้รับสูงกว่ากรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานทุกช่วงอุณหภูมิของสารทำงานเริ่มต้น โดยที่อุณหภูมิสารทำงานเริ่มต้นเท่ากับ 35°C ที่อัตราการไหล 220 cm^3/min กรณีที่ใช้ของไหลกราฟีนนาโนเป็นสารทำงานความร้อนที่สารทำงานได้รับสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 78.79 W เพิ่มขึ้นจากกรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน 30.36 % โดยกรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงานมีค่าเท่ากับ 60.44 W ดังแสดงในภาพที่ 4(ก) และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิสารทำงานที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความร้อนที่สารทำงานได้รับลดลงเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมจะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น ที่อุณหภูมิเริ่มต้น 35°C ให้ค่าความร้อนสูงที่สุด รองลงมาเป็นที่อุณหภูมิ 45 55 และ 65 °C ตามลำดับ

จากภาพที่ 5แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อทองแดงต่อเลขเรย์โนลด์ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ โดยพบว่า เมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น(อัตราการไหลเพิ่มขึ้น)ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อเพิ่มสูงขึ้นตาม และยังพบว่ากรณีที่สารทำงานเป็นของไหลกราฟีนนาโนให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อสูงกว่ากรณีที่สารทำงานเป็นน้ำปราศจากไอออน โดยกรณีที่สารทำงานเป็นของไหลกราฟีนนาโนจะมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนอยู่ในช่วงประมาณ 600-800 $W/m^2{\cdot}K$ส่วนกรณีที่สารทำงานเป็นน้ำปราศจากไอออนจะมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนอยู่ในช่วงประมาณ 400-600 $W/m^2{\cdot}K$ เพิ่มขึ้นประมาณ 200 $W/m^2{\cdot}K$ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น 40% โดยเฉลี่ย และจะสังเกตได้ว่าสารทำงานที่เป็นของไหลกราฟีนนาโนจะมีช่วงของเลขเรย์โนลด์ต่ำกว่าน้ำ เนื่องมาจากของไหลกราฟีนนาโนมีค่าความหนาแน่นที่สูงกว่าน้ำและมีค่าความหนืดมากกว่า ทำให้มีช่วงของเลขเรย์โนลด์ที่ต่ำกว่า



ภาพที่ 5สัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อทองแดง

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบการใช้ของไหลกราฟีนนาโนขนาดอนุภาคประมาณ 2 μm x 2 μm x 2 nm ที่ความเข้มข้น 0.10 %w และน้ำปราศจากไอออนเป็นสารทำงานในท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ให้ความร้อนต่อพื้นที่ผิวท่อสม่ำเสมอ(Uniform heat flux) ด้วยขดลวดไฟฟ้าขนาด 80 W ทดสอบที่อัตราการไหลแบบราบเรียบ 120 170 และ 220 cm^3/min ควบคุมอุณหภูมิสารทำงานเริ่มต้นให้อยู่ที่ 35 45 55 และ 65 °C เพื่อหาคุณลักษณะในการถ่ายเทความร้อนภายในท่อ โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า

เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นความร้อนที่สารทำงานได้รับจะเพิ่มสูงขึ้นไปด้วย โดยกรณีใช้ของไหลกราฟีนนาโนเป็นสารทำงานที่อัตราการไหล 220 cm^3/min สารทำงานได้รับความร้อนสูงที่สุดที่ 78.79 W รองลงมาเป็นที่อัตราการไหล 170 cm^3/min และ 120 cm^3/min และมีค่าสูงกว่ากรณีการใช้น้ำเป็นสารทำงาน เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อพบว่า ของไหลกราฟีนนาโนมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อประมาณ600-800 $W/m^2{\cdot}K$ สูงกว่ากรณีใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นสารทำงานที่มีค่า 400-600 $W/m^2{\cdot}K$ ซึ่งคิดเป็นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในท่อเพิ่มขึ้น 40%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการให้ความสนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทดลอง สถานที่สำหรับทำวิจัย รวมทั้งทุนสนับสนุนจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2559 และทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2560 กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สนพ.) รวมทั้งขอขอบคุณหน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ (SEE-U)วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาในทุกด้าน

เอกสารอ้างอิง

[1] Dongsheng Wen, Y. D. (2004). Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions. **Heat and Mass Transfer.** 47, 5181–5188.

[2] Phanindra, Y. Kumar, S. D. andPugazhendhi, S. (2018). Experimental Investigation on Al_2O_3& Cu/Oil Hybrid Nano fluid using Concentric Tube Heat Exchanger. **Materials Today.** 5 (15), 12142-12150.

[3] Siva Eswara Rao, M.Sreeramulu, D. Rao,C.J. andRamana, M.V. (2017). Experimental Investigation on Forced Convective Heat Transfer. **International Conference on Advancements in Aeromechanical Materials for Manufacturing.** 4 (11), 8717–8723.

[4] Bahiraei, M.Heshmatian, S.and Keshavarzi, M. (2018). Multi-attribute optimization of a novel micro liquid block working with green graphenenanofluid regarding preferences of decision maker. **Applied Thermal Engineering.** 143 (11), 11-21.

[5] วิศณุสรรค์ชาติอารยะวดี. (2013). แกรฟีน ตอนที่ 1: การสังเคราะห์คาร์บอนรูปแบบใหม่.**NARESUAN PHAYAO JOURNAL.** 6, 10-24

[6]Hossein, A.Z. Majid, S.A. Mohsen, M. Farhad, S.and Ahadi, M. (2016). Experimental investigation of laminar forced convective heat transfer of Graphene–water nanofluid inside a circular tube. **International Journal of Thermal Sciences.**100 (11), 316-323.

[7] John A. Duffie and William A. Beckman. (1980). **Solar Engineering of Thermal Process.**New York, USA.: John Wiley & Sone.

[8] ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2014). **HEAT TRANSFER.**เชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

IE44

การศึกษาผลกระทบของมุมเอียงของเสาต่อประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมขนาดเล็กแบบชนิดทุ่นลอยน้ำ

Study on the effect of angle of tower inclination on the performance of a small floating wind turbines.

วงศกร วิเศษสัจจา[1*] วิรชัย โรยนรินทร์[1] และเดชา อินทร์โท่โล่[2]
[1]ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาผลกระทบของมุมเอียงต่อประสิทธิภาพของกังหันลมของเสาบนทุ่นลอยน้ำ (float tower) ขนาดใบกังหันมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 84 เซนติเมตร โดยเป็นการทดสอบภายในอุโมงค์และสมการเชิงทฤษฎีของกังหันลม ซึ่งมีตัวแปรที่สำคัญที่นำมาศึกษา คือองศาของการเอียงตัวของเสากังหันเนื่องจากการลอยอยู่ในน้ำนั้นทำให้กังหันลมไม่มีเสถียรภาพ และจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพโดยตรง และจะนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบผลการทดลองของเสาแบบยึดตรึง (fixed tower) ซึ่งทดสอบโดย ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางขอใบกังหันที่เท่ากัน ซึ่งในการทดสอบนั้นได้ทำการทดสอบด้วยความเร็วลมตั้งแต่ 1.7 – 6 เมตรต่อวินาทีและจะหาค่าเฉลี่ยของความเร็วลมที่ 5 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วลมเฉลี่ยในเมืองไทย โดยหาค่าเฉลี่ยด้วยการทำการทดลอง 10 ครั้ง ผลจากการศึกษาพบว่า เสาแบบทุ่นลอยน้ำนั้นมีค่าเฉลี่ยองศาการเอียงอยู่ที่ 5 องศา และมีรอบต่อนาทีจำนวนเฉลี่ย 1192 รอบ โดยที่มีความเร็วของใบพัดกังหันเฉลี่ยที่ 124.84 rad/s และโมเมนบิดเฉลี่ยที่ 0.119 Nm ซึ่งมีค่าเฉลี่ยมากกว่าเสาแบบยึดตรึง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของรอบต่อนาทีที่ 1032 และความเร็วของใบพัดกังหันเฉลี่ยที่ 108.14 rad/s แต่มีค่าเฉลี่ยโมเมนบิดมากกว่าที่ 0.28 Nm

คำสำคัญ: กังหันลมลอยน้ำ พลังงานทดแทน กังหันลมขนาดเล็ก

Abstract

This research is to study on the effect of the angle of tower inclination on the performance of a small floating wind tower, which the blade diameter is 84 cm. The experiment would be analyzed by wind tunnel and theoretical equations. The primary factor that affects the floating tower is the inclined angle that makes the tower tilt, which cause the wind turbine unable to obtain fully wind power. The experimental data will be compared with fixed tower data from Rajamangala University of Technology Thanyaburi with the same blade diameter. The test would be started from wind speeds of 1.7-6 m/s, but the average wind speed of 5 m/s will keep testing for ten times due to Thailand average wind speeds are around 4-5 m/s. Therefore, the results from wind speed of 5 m/s found that the average inclined angle is 5 degrees, the rotational speed is 1192 rpm, angular speed is 124.84 rad/s and torque is 0.119 Nm, which the overall performances are better than fixed tower

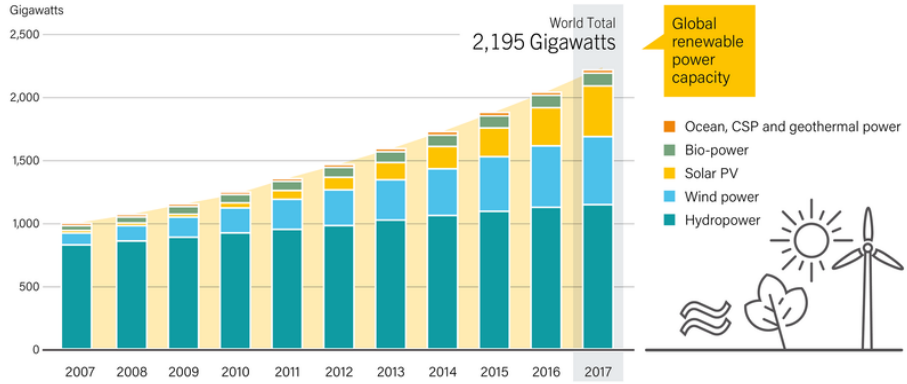
with the results of rotational speed is 1032 rpm and angular speed is 108.14 rad/s, however, the torque of fixed tower is better with the value of 0.28 Nm.

Key Words: Floating wind turbine, Renewable energy, Small wind turbine

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

บทนำ

เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานหลักในการผลิตพลังงานมากกว่าร้อยละ 80 ของการใช้พลังงานทั่วโลกซึ่งทำให้เกิดความเสียหายที่สำคัญต่อสิ่งแวดล้อมโดยมลพิษและนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่เรียกว่าพลังงานหมุนเวียนจึงเป็นแหล่งพลังงานทดแทนซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่จำกัด เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและคุ้มค่า ตามรายงานของ Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) 2017 เทคโนโลยีพลังงานทดแทนเช่นพลังงานลมพลังงานแสงอาทิตย์ ชีวมวล น้ำ และพลังงานความร้อนใต้พิภพ ผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 26.5% หรือ 2,195 GW ปี พ. ศ. 2560 ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งผลิตพลังงานลม 539 GW และการผลิตพลังงานลมนอกชายฝั่งที่ 18.8 GW [1] กังหันลมที่ติดตั้งทั่วโลกสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพียงพอสำหรับการใช้ไฟฟ้าทั่วโลกมากกว่า 5% อีกทั้งพลังงานลมได้รับเลือกให้เป็นยุทธศาสตร์ด้านพลังงานในอนาคตแทนที่จะเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานนิวเคลียร์ในหลายประเทศ [2]



ภาพที่ 1 กำลังการผลิตพลังงานทดแทนทั่วโลกระหว่างปี 2007-2017 [1]

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเสาแบบทุ่นลอยน้ำสำหรับกังหันลมขนาดเล็ก โดยที่จะใช้ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเสาแบบทุ่นลอยน้ำและเสาแบบยึดตรึง จากงานวิจัยเดิมของศูนย์พลังงาน มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี โดยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบที่เท่ากัน

พลังงานลม

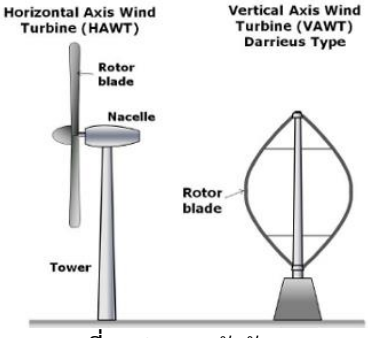
พลังงานลมสามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้โดยใช้กังหันลมเพื่อแปลงพลังงานจลน์ของลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ลมพัดผ่านใบพัดสร้างแรงยกซึ่งทำให้ใบพัดหมุน ใบพัดเชื่อมต่อกับเพลาขับซึ่งจะเปลี่ยนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า จุดตั้งฟาร์มกังหันลมที่ดีที่สุดอยู่ที่ยอดเนินเรียบ ภูเขากลม ชายฝั่ง และช่องว่างภูเขาที่เปรียบเสมือนอุโมงค์ลม[3] ในภาพที่ 2 ความเร็วลมเฉลี่ยของ ประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 4-5 เมตรต่อวินาที โดยมีความเร็วเริ่มต้นในการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 3-4 เมตรต่อวินาทีและกำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดที่ 12 เมตรต่อวินาที ซึ่ง เหมาะสำหรับกังหันลมขนาดเล็ก ในปี พ. ศ. 2560 กำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมทั้งหมดของไทยอยู่ที่ 627 เมกะวัตต์ [4]

THAILAND WIND POWER CLASSES

Elevation		1.1	1.2	1.3	1.4	2	3	4	5	6	7
10 m	m/s	0	2.8	3.6	4.0	4.4	5.1	5.6	6.0	6.4	7.0	9.4
	W/m^2	0	25	50	75	100	150	200	250	300	400	1,000
30 m	m/s	0	3.3	4.1	4.7	5.2	5.9	6.5	7.0	7.4	8.2	11.0
	W/m^2	0	40	80	120	160	240	320	400	480	640	1,600
50 m	m/s	0	3.6	4.4	5.1	5.6	6.4	7.0	7.5	8.0	8.8	11.9
	W/m^2	0	50	100	150	200	300	400	500	600	800	2,000

ภาพที่ 2 ประเภทพลังงานลมของประเทศไทย [5]

กังหันลมมี 2 ประเภท ได้แก่ กังหันลมแนวนอน (Horizontal Axis Wind Turbines) และกังหันลมแกนแนวตั้ง (Vertical Axis Wind Turbines) ดังแสดงในรูปที่3 การใช้งานที่อยู่อาศัยต้องใช้กำลังไฟฟ้า ประมาณ 400 วัตต์ ถึง 100 กิโลวัตต์ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ด้านไฟฟ้า [6]



ภาพที่ 3 ประเภทกังหันลม [6]

กังหันลมลอยน้ำ

กังหันลมนอกชายฝั่งมีการพัฒนาเพื่อให้กังหันลมได้รับพลังงานมากที่สุด เนื่องจากพื้นผิวมหาสมุทรเรียบและไม่มีสิ่งกีดขวางดังนั้นความเร็วลมจะสูงมาก อย่างไรก็ตามในความลึกที่มากขึ้นในมหาสมุทรกังหันลมลอยอาจมีต้นทุนทางเศรษฐกิจและต้นทุนการติดตั้งต่ำกว่าโครงสร้างแบบฝังโครงสร้างใต้พื้นทะเล [7] และยังคงมีความท้าทายที่สำคัญบางอย่างเนื่องจากการออกแบบกังหันลมแบบลอยน้ำจะมีความซับซ้อนมากในการบำรุงรักษา จะมีราคาแพงและลำบากเนื่องจากต้องใช้เฮลิคอปเตอร์หรือเรือเพื่อขนส่งช่างเทคนิคและอุปกรณ์สำหรับการบำรุงรักษา นอกจากนี้จะมีการสูญเสียพลังงานในสายส่งเนื่องจากระยะทางของทุ่นลอยน้ำห่างไกลจากสายส่ง [8] เนื่องจากสายส่งมีระยะทางไกลจากชายฝั่ง ดังนั้นการใช้ประโยชน์ของกังหันลมลอยน้ำนั้นสามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในเกาะ และสามารถผลิตไฟฟ้าใช้สำหรับแท่นขุดเจาะต่างๆกลางทะเล อีกทั้งยังสามารถผลิตไฟฟ้าให้สำหรับระบบกรองน้ำจากทะเล และยังสามารถเป็นสถานีชาร์จไฟฟ้ากลางทะลำหรับเรือประมงและเรือสำรวจทางทะเล

ในปัจจุบันมีกังหันลมลอยอยู่หลายตัวในระยะการปฏิบัติงานและระยะการพัฒนา ประการแรก WindFloat ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Principle Power ด้วยการออกแบบแพลตฟอร์มชนิด spar-submersible มีต้นแบบแรกที่เรียกว่า WF1 ซึ่งมีกำลังการผลิต 2 เมกะวัตต์ ในปี 2554 ซึ่งอยู่ห่างจากชายฝั่ง Agucadoura 5 กิโลเมตร ในประเทศโปรตุเกส และในอนาคต WindFloat รุ่นถัดไปจะได้รับการพัฒนาขึ้นโดยคำนึงถึงขนาดและสมรรถนะสูงสุดถึง 5-8 เมกะวัตต์ [16] ประการที่สองมหาวิทยาลัย Maine ได้รับการติดตั้งต้นแบบ VolturnUS 1: 8 ซึ่งเป็นรูปกังหันขนาด 1: 8 ของกังหันลมขนาด 6 เมกะวัตต์ที่มีการออกแบบแพลตฟอร์มชนิด spar-submersible และได้กลายเป็นกังหันลมลอยน้ำอันแรกในอเมริกาที่ผลิตไฟฟ้าผ่านสายส่งใต้น้ำไปยัง Central Maine Power ในปี 2013 [9] ประการที่สาม บริษัท Statoil ได้เปิดตัวโครงการ Hywind ในปี พ. ศ. 2560 ซึ่งเป็นฟาร์มกังหันลมแบบลอยตัวแห่งแรกในประเทศสกอตแลนด์ที่มี

รูปแบบชนิด spar-buoy ฟาร์มตั้งอยู่ใน North Sea ประมาณ 30 กิโลเมตร จากชายฝั่งสกอตแลนด์ นอกจากนี้โครงการประกอบด้วยกังหันลมขนาด 6 เมกกะวัตต์จำนวน 5 ต้น และมีขนาดกำลังการผลิตรวม 30 เมกะวัตต์เพื่อรองรับการใช้ไฟฟ้าจำนวน 20,000 ครัวเรือน [10]

ฐานรากที่ลอยตัวจะต้องทำงานในสภาพอากาศแปรปรวน แพลตฟอร์มนี้จะได้รับการออกแบบมาเพื่อต่อต้านการเปลี่ยนแปลงแบบไดนามิกและโหลดหลากหลายประเภท ฐานรากที่ลอยน้ำสำหรับกังหันลมลอยน้ำมีจำนวน 3 ประเภท คือ spar-buoy, spar-submersible และ tension leg platform ดังแสดงในภาพที่ 4



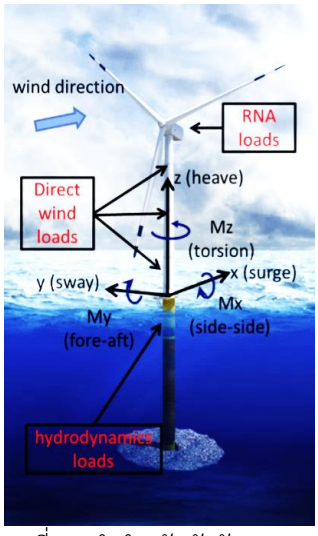
ภาพที่ 4 แนวความคิดพื้นฐานของกังหันลมลอยน้ำ [11]

Spar buoy เป็นรูปทรงกระบอกที่มีที่ถ่วงน้ำหนักเพื่อความมั่นคงแพลตฟอร์ม ความมั่นคงจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วงต่ำกว่าจุดศูนย์กลางของการลอยตัวในมหาสมุทร นอกจากนี้เพื่อเพิ่มศูนย์กลางการลอยตัวส่วนบนของโครงสร้างเบากว่าส่วนล่างของโครงสร้าง เนื่องจาก spar buoy เป็นแพลตฟอร์มแบบกระบอกสูบ ดังนั้นจึงง่ายต่อการสร้างและความมั่นคง อย่างไรก็ตามเนื่องจากโครงสร้างขนาดใหญ่ อาจทำให้เกิดปัญหาระหว่างการขนส่งและติดตั้ง นอกจากนี้แพลตฟอร์มเหล่านี้สามารถใช้งานได้ที่ความลึกของมหาสมุทรมากกว่า 100 เมตร [12]

Spar submersible เป็นแพลตฟอร์มที่มีการลอยตัวที่มั่นคงแบบกึ่งลอยกึ่งจมอยู่บริเวณพื้นผิวมหาสมุทร และทอดสมออยู่กับก้นทะเล โครงสร้างขนาดใหญ่และหนักเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับความมั่นคง และเมื่อการกระทำของการดึงมีค่าต่ำ จะช่วยปรับปรุงการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายและง่ายต่อการติดตั้ง [12]

Tension leg platform เป็นโครงสร้างกึ่งลอยตัว และความมั่นคงจะเกิดขึ้นจากความตึงของสายเอ็นของสมอที่ยึดกับก้นทะเล ดังนั้นจึงทำให้โครงสร้างมีขนาดเล็กและเบา อย่างไรก็ตามระบบเส้นเอ็นและระบบยึดจะได้รับความเค้นมากขึ้นเนื่องจากการออกแบบโครงสร้าง แพลตฟอร์มนี้มีอาจมีความยากลำบากระหว่างการติดตั้ง และอาจได้รับอันตรายจากการปฏิบัติงานหากสายเอ็นไม่ทำงาน [12]

ชนิดของแรงที่กระทำสำหรับกังหันลมลอยน้ำ



ภาพที่ 5 แรงที่กระทำสำหรับกังหันลมลอยน้ำ [13]

แรงน้ำหนักบรรทุกจร (Live load)

- แรงพลศาสตร์ (Aerodynamic loads) จาก Rotor nacelle assembly (RNA) คือกำลัง และต้นกำเนิดของโมเมนต์ของใบพัดและถูกส่งผ่านทางตัวขับเคลื่อนยนต์และแผ่นโลหะของฐานของเครื่องยนต์
    - แรงที่เกิดขึ้นเป็นระยะ (Periodic loads) จะเกิดจากความไม่สมดุลของโครงสร้างและความปั่นป่วนของกระแสลมและน้ำ
    - แรงของการปฏิบัติงานตามปกติ (Normal operational loads)
- แรงลาก (Drag loads) จากการกระทำโดยตรงของลมบนเสาและการไหลของลมหมุนวนที่อาจเกิดขึ้น
- แรงเฉื่อย (Inertial loads) เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนของระบบ (เช่น เนื่องจากความเร่งของมวล RNA) โดยสภาพแวดล้อมของลมปั่นป่วนและแรงเฉือน โดยคุณสมบัติของแรงเฉื่อยและโครงสร้างแบบพลศาสตร์ของโรเตอร์แบบหมุนและการสั่นของโครงสร้างพื้นฐาน เฉพาะในกรณีของโครงสร้างพื้นฐานแบบลอยน้ำ
- แรงมาจากการติดตั้ง (Loads from installation methods) เช่น การยก การคว่ำ และการซ่อมบำรุงรักษา (รวมถึงความเป็นไปได้ในการลงจอดเครื่องบินสำหรับซ่อมบำรุง)
- แรงอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic loads) ในส่วนของเสา เช่น คลื่น กระแสน้ำ และแรงน้ำแข็ง
- แรงแผ่นดินไหว (Seismic loads)
- แรงจากผลกระทบ (Loads from impacts) เช่น จากการเดินเรือ การควบคุมยานพาหนะต่างๆ การจอดเครื่องบินสำหรับซ่อมบำรุง
- แรงจากการดำเนินการของอุปกรณ์ควบคุมการทำงานและการควบคุม (Loads from actuation of operation and control devices) เช่น ชุดลูกปืนหมุนส่ายหาลม เบรก กลไกการควบคุมแรงบิด

แรงน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead loads)

- แรงโน้มถ่วง (Gravitational loads) รวมถึงน้ำหนักตัวของโครงสร้างและน้ำหนักของเสา

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบกำลังการผลิตของกังหันลม

สมการของกำลังในการผลิตของพลังงานลมสามารถอธิบายได้ดังนี้:

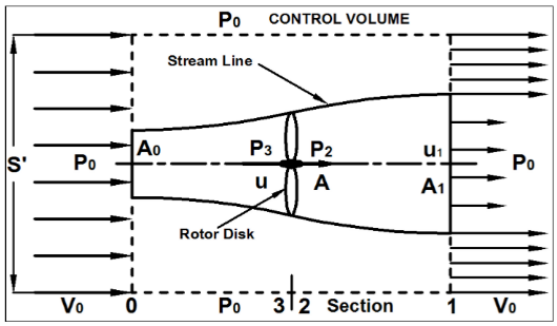
$$P_W = \frac{1}{2}\rho A V^3 C_P \quad (1)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (1.225 kg/m^3)

A = พื้นที่กวาด (m^2)

V = ความเร็วลม (m/s)

C_p = สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม



ภาพที่ 6 หลักการของทฤษฎี Momentum Theory [15]

ทฤษฎีการวิเคราะห์โดยใช้หลักการของ Momentum Theory นั้น ในเบื้องต้นจะต้อง ทำการตั้งสมมุติฐาน (Assumption) ขึ้นมาก่อน ดังนี้

1. ลมที่พัดเข้ามาวิเคราะห์จะต้องมีการไหลที่สม่ำเสมอต่อเนื่อง (Steady, Homogeneous Wind Flow) 2. ไม่มีสิ่งกีดขวางการไหลของทางเข้าและทางออกของอุโมงค์ที่ใช้ในการทดสอบ (No Obstruction to Wind Flow Either Upstream or Downstream) 3. การเคลื่อนที่ของลมไม่มีการปั่นป่วนที่ตัวใบกังหันลม (Uniform Flow Velocity at Rotor) 4. ลมที่ไหลเข้ามาวิเคราะห์ต้องคิดว่าเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible Wind Flow) จึงไม่มีผลในเรื่องของอุณหภูมิ (Temperature Effect) มาเกี่ยวข้องในการวิเคราะห์

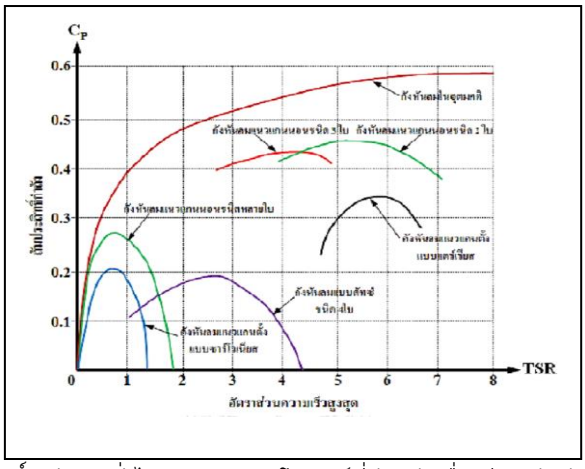
วิเคราะห์ภาพที่ 6 มีตัวแปรใดบ้างที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์กังหันลมทุก ๆ ชนิด ตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องทราบคือ S' เท่ากับพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดที่เราใช้อยู่ในขอบเขตของการ วิเคราะห์ปริมาตรทั้งหมดของระบบ (Control Volume) ในการวิเคราะห์ทฤษฎีของ Momentum นั้นเราสมมุติว่าความหนาแน่นของอากาศที่ อุณหภูมิห้องฟ้าปกติมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.225 kg/m^3 และจากกฎของการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuity Equation) นั้น การไหลต้องเท่ากันทั้งระบบ นั่นคือ $Q = A*V$ จะได้ $V_0A_0 = uA = U_1A_1$ และจากกฎของเบอร์นูลี โดยวิเคราะห์ในส่วนของความดันอย่างเดียวตั้งแต่ส่วน ที่ 0 ถึงส่วนที่ 3 และจากส่วนที่ 2 ถึงส่วนที่ 1 ของภาพที่ 6

ทฤษฎีการออกแบบใบกังหันลม โดยใช้ Momentum Theory ในการศึกษาพลังงานจากลมนั้นสูตรการคำนวณที่จำเป็นต้องใช้โดยทั่วๆ ไป ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของกังหันลม โดยใช้ทฤษฎี ของหลักการที่เรียกว่า Momentum Theory โดยศึกษารายละเอียดของการวิเคราะห์ตามหลักการ ซึ่งในการออกแบบใบกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้นใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าย่อมมีความสำคัญเป็น อย่างยิ่งในการคัดเลือกขนาดต่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของทั้งระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ซึ่งหากการออกแบบมีความผิดพลาดสูง ก็ย่อมทำให้การทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าผิดพลาดและอาจเกิดการเสียหายตามมาได้ The Betz's limit, Cp เป็นฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นหมายถึงประสิทธิภาพของพลังงานกลที่ดึงออกมาจากพลังงานลม ค่าสัมประสิทธิ์กำลังขึ้นอยู่กับตัวแปรสองตัวแปรคืออัตราส่วนความเร็วปลาย (Tip speed ratio) และ Pitch angle ซึ่ง หมายถึงมุมของใบมีดตามแกนเส้นแวง [15]

สมการ Tip speed ratio (TSR) สามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้

$$TSR = \frac{U}{V} = \frac{\Omega R}{V} = \frac{2\pi NR}{V60} \quad (2)$$

เมื่อ U = ความเร็วสัมผัส (m/s) V = ความเร็วลม (m/s) Ω = ความเร็วของใบพัดกังหัน (rad/s) N = ความเร็วรอบของกังหันลม (rpm) R = รัศมีของใบพัดกังหัน (m) ค่าเฉลี่ยของ C_p สำหรับกังหันความเร็วสูงจะอยู่ที่ประมาณ 0.4 - 0.5 และสำหรับกังหันความเร็วต่ำอยู่ที่ 0.2 - 0.4[15] ค่าของอัตราส่วนความเร็วปลายที่เกี่ยวกับประสิทธิภาพของพลังงานโรเตอร์สามารถแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานทั่วไปของประเภทโรเตอร์ที่ต่างกันเมื่อเทียบกับอัตราส่วนความเร็วปลาย

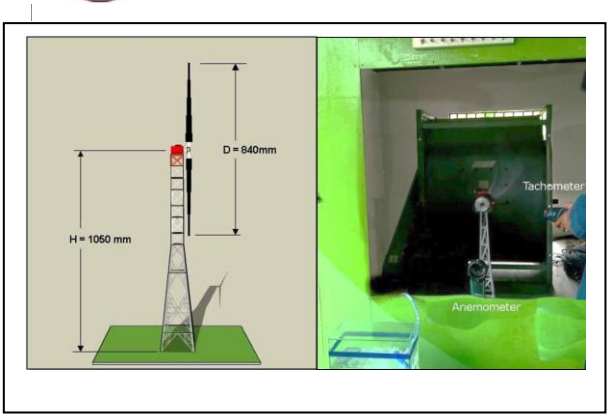
การออกแบบเพลาโมเมนต์บิด (Torque) เป็นส่วนที่สำคัญที่ทำให้เกิดความเค้นเฉือนขึ้นเพลา ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด และกำลัง เพลาทำหน้าที่ถ่ายทอดกำลังจากส่วนหนึ่งไปยังอีกส่วนหนึ่ง กำลัง คืออัตราการทำงาน ดังนั้นกำลังที่เกิดจากแรงบิด หรือโมเมนต์บิด

$$\tau = \frac{P}{\Omega} \quad (3)$$

เมื่อ τ = โมเมนต์บิด (Nm) P = กำลังงาน (W) Ω = ความเร็วเชิงมุมของใบกังหัน (rad/s)

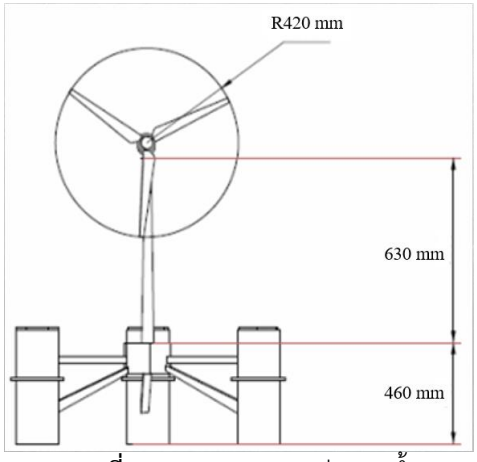
วิธีการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพด้านพลศาสตร์ของเสาบนทุ่นลอยน้ำ ขนานเส้นผ่านศูนย์กลางใบ 84 เซนติเมตร เพื่อนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพลศาสตร์กับเสาแบบยึดตรึงที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบเท่ากัน ดังในภาพที่8 งานวิจัยนี้ทดลองในอุโมงค์ลมที่ ศูนย์วิจัยพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังแสดงในรูภาพที่ 8 และจะนำงานวิจัยกังหันลมบนบกของศูนย์พลังงานมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้



ภาพที่ 8 งานวิจัยเสาแบบยึดตรึง ของศูนย์วิจัยพลังงาน มทร.ธัญบุรี (ซ้าย) และ การทดลองในอุโมงค์ลม ขวา)

จากวิจัยในภาพที่ 8 มีการทดลองสามครั้งเพื่อวัดการหมุนใบพัดโดยใช้ความเร็วลมที่ต่างกันเพื่อวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าความเร็วเริ่มต้น ค่ารอบต่อนาทีของกังหันลม ค่าอัตราส่วนความเร็วสูงสุด และความเร็วเชิงมุม อัตราส่วนความเร็วปลายได้มาจากการใช้สูตรการคำนวณหาพลังงานลมขั้นพื้นฐานโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเท่ากับ 0.35



ภาพที่ 9 ขนาดของเสาบนทุ่นลอยน้ำ

การวิจัยจะวัดค่าความเร็วลมที่ 5 เมตรต่อวินาที เป็นจำนวน 10 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าประสิทธิภาพต่างๆ เนื่องจากลมในประเทศไทยเป็นลมเฉลี่ยที่ 4-5 เมตรต่อวินาที ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นในการวัดลมค่าที่สูง ในการวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ เครื่องวัดความเร็วลมและตัววัดองศาการเอียงของเสาบนทุ่นลอยน้ำ ดังในภาพ 12 เพื่อให้ได้ค่ารอบต่อนาทีของกังหันลมในความเร็วต่างๆ ค่าองศาการเอียง และค่าอัตราส่วนความเร็วสูงสุด เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าของเสาแบบยึดตรึง โดยที่ไม่พิจารณาค่าของแรงคลื่นที่มีกระทบต่อทุ่นลอยน้ำ สมการเชิงทฤษฎีที่จะนำมาคำนวณประสิทธิภาพของเสาบนทุ่นลอยน้ำคือ สมการผลิตพลังงานของกังหัน สมการค่าอัตราส่วนความเร็วสูงสุด และสมการการออกแบบเพลาโมเมนต์บิด



ภาพที่ 10 การทดสอบจริงในอุโมงค์ลมและการวัดค่าจากอุโมงค์ลม

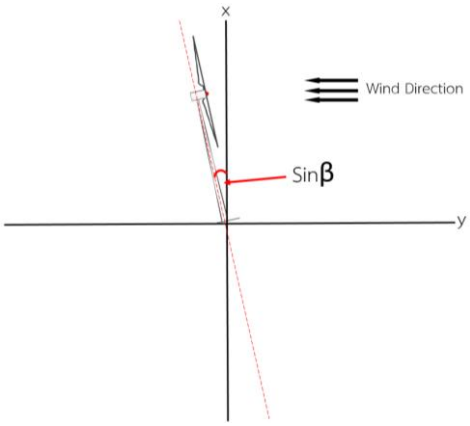
สมการเชิงทฤษฎีของเสาบนทุ่นลอยน้ำที่นำมาใช้เพื่อเก็บข้อมูล มีดังนี้

$$P_w = \frac{1}{2}\rho A V^3 C_p sin\beta \quad (4)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (1.225 kg/m^3) A = พื้นที่กวาด (m^2) = Π x 0.42^2 = 0.55417 m^2

V = ความเร็วลม (m/s) C_p = สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม = 0.35 sinβ = มุมเอียงของเสาบนทุ่นลอยน้ำ

สมมุติฐานว่าเมื่อกังหันตั้งฉากกับแกน y เท่ากับ sin 90° มีค่าเท่ากับ 1 เป็นค่าเริ่มต้น ดังนั้นเมื่อกังหันเอียงค่า sinβ จึงมีค่าเพิ่มขึ้นจากมุมเอียงของกังหันเท่ากับ sinβ + มุมเอียงของเสา ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 สมมุติฐานของการเกิดมุมเอียงของกังหันลมลอยน้ำ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

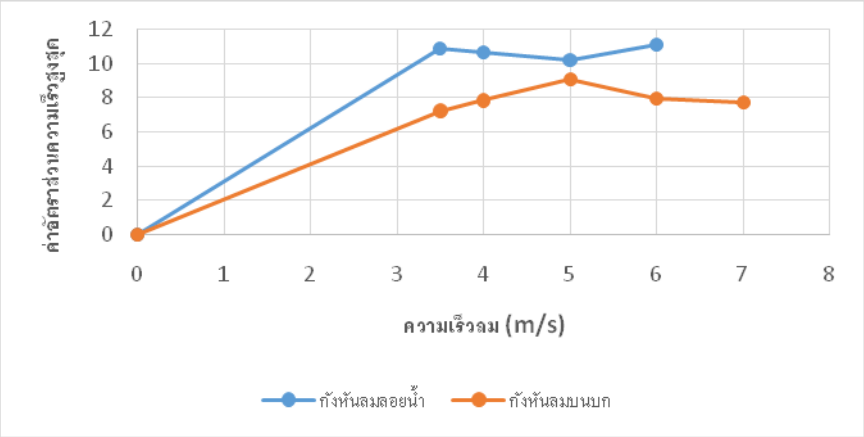
จากผลการทดสอบโดยอุโมงค์ลมโดยตั้งค่าความเร็วลมเริ่มต้นที่ 1.7 เมตรต่อวินาที ถึง 6.0 เมตรต่อวินาที และได้ค่าตัวแปรต่างๆ ดังที่แสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 แสดงค่าเร็วลมต่อค่าตัวแปรต่างๆ ของเสาบนทุ่นลอยน้ำ

ความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)	รอบต่อนาที (rpm)	องศามุมเอียง (องศา)	ความเร็วเชิงมุม (rad/s)	ค่าอัตราส่วนความเร็วสูงสุด
1.7	378	1	39.27	9.70
2.0	418	1	43.77	9.19
2.5	592	2	62.00	10.42
3.0	685	2	71.73	10.04
3.5	867	3	90.79	10.90
4.0	970	3	101.58	10.67
4.5	1097	4	114.88	10.72
5.0	1192	5	124.82	10.49
5.5	1340	7	140.32	10.72
6.0	1512	10	158.34	11.09

ตารางที่ 2 แสดงความเร็วลมต่อค่าพลังงานที่ผลิตได้จากเสาแบบยึดตรึงและเสาบนทุ่นลอยน้ำ

ความเร็วลม ข (เมตรต่อวินาที)	พลังงานลมเสาแบบยึดตรึง (C_p=0.35) (Watt)	พลังงานลมเสาบนทุ่นลอยน้ำ (C_p=0.35)*(องศา) (Watt)
1.7	0.58	0.58
2.0	0.95	0.95
2.5	1.86	1.86
3.0	3.21	3.21
3.5	5.10	5.10
4.0	7.60	7.58
4.5	10.82	10.79
5.0	14.85	14.80
5.5	19.76	19.61
6.0	25.66	25.27



ภาพที่ 12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วลม กับค่า ความเร็วปลายใบกังหันสองชนิด

เนื่องจากประเทศไทยมีแรงลมเฉลี่ยที่ 4-5 เมตรต่อวินาที ดังนั้นการทดสอบค่าของเสาบนทุ่นลอยน้ำจึงได้ดำเนินการต่อเพื่อหาค่าตัวแปรจากเสาบนทุ่นลอยน้ำจากความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที เพื่อเปรียบเทียบกับเสาแบบยึดตรึงดังในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 แสดงค่าตัวแปรที่เกิดขึ้นจากความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที ของเสาบนทุ่นลอยน้ำ

ครั้งที่	รอบต่อนาที (rpm)	ความเร็วของใบพัดกังหัน (rad/s)	โมเมนต์บิด (Nm)	องศามุมเอียง (องศา)
1	1160	121.47	0.122	5
2	1126	117.91	0.126	5
3	1292	135.30	0.109	5
4	1148	120.22	0.123	5
5	1164	121.89	0.121	5
6	1230	128.81	0.115	5
7	1180	123.57	0.120	5
8	1154	120.85	0.122	5
9	1294	135.51	0.109	5
10	1173	122.84	0.120	5
ค่าเฉลี่ย	**1192**	**124.84**	**0.119**	**5**

ตารางที่ 4 แสดงค่าตัวแปรที่เกิดขึ้นจากความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที ของเสาแบบยึดตรึง

ครั้งที่	รอบต่อนาที (rpm)	ความเร็วของใบพัดกังหัน (rad/s)	โมเมนต์บิด (Nm)
1	1033	108.18	0.28
2	1040	108.91	0.28
3	1025	107.34	0.28
ค่าเฉลี่ย	**1033**	**108.14**	**0.28**

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการทำงานของเสาบนทุ่นลอยน้ำ โดยมีการเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของเสาแบบยึดตรึงที่มีขนาดเท่ากันของ ศูนย์วิจัยพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พบว่าเสาบนทุ่นลอยน้ำมีค่ารอบต่อนาทีและค่าอัตราส่วนความเร็วสูงสุดมากกว่าเสาแบบยึดตรึง โดยเฉพาะที่ค่าความเร็วลมที่ 5 เมตรต่อวินาที ที่เป็นค่าเฉลี่ยของแรงลมในประเทศไทย โดยที่ค่าเฉลี่ยของค่ารอบต่อนาทีนั้นมีค่า 1192 rpm และมีค่าความเร็วของใบพัดกังหันที่ 124.84 rad/s ซึ่งมีค่าสูงกว่ากังหันลมบนบกที่มีค่ารอบต่อนาทีที่ 1033 rpm และค่าความเร็วของกังหันที่ 108.14 rad/s อย่างไรก็ตามค่าพลังงานที่ผลิตได้ของเสาบนทุ่นลอยน้ำนั้นมีค่าคล้ายคลึงกับเสาแบบยึดตรึง เนื่องจากค่าตัวแปรของมุมเอียงของเสานั้นไม่มากพอที่จะทำให้ประสิทธิภาพของเสาบนทุ่นลอยน้ำลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ท่านคณาจารย์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อสนับสนุนและ ให้ความรู้ และให้คำปรึกษาสำหรับบทความนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ใน การจัดหาห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการดำเนินการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] Renewable Energy Network for the 21st Century (REN21). (2018). **Renewables 2018 Global Status Report**

[2] World Wind Energy Association (WWEA). (2017). **Wind Power Capacity Reaches 539 GW, 52,6 GW Added in 2017**

[3] Lehr, J. H. and Keeley, J. W, (2016). **Alternative Energy and Shale Gas Encyclopedia**. New Jersey, Wiley.

[4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, Thailand (2018). **สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน (Percentage of Alternative Energy Consumption)**

[5] The Department of Alternative Energy Development (DEDE). (2017). **Wind power and its potential in Thailand**

[6] Coherent Application Threads. (2018). **Types of Wind Turbines**

[7] American Bureau of Shipping (ABS). (2012). **Floating Wind Turbines**

[8] PMI Underwater Cable Solutions. (2016). **Pros and Cons of Floating Platforms in Marine Renewable Energy** จาก

[9] Principle Power. (2015). **WindFloat** [12] The University of Maine. (2013). **VolturnUS 1:8**

[10] National Geographic. (2017). **Watch The World's First Floating Wind Farm Ride The Wave**

[11] International Renewable Energy Agency (IRENA). (2016). **Floating Foundations: A Game Changer for Offshore Wind Power**

[12] Carbon Trust. (2015). **Floating Offshore Wind: Market & Technology Review**

[13] Ng, C. and Ran, L. (2016). **Offshore Wind Farms Technologies, Design and Operation.** Woodhead Publishing, 285-287.

[14] Cao, H. (2011). **Aerodynamics Analysis of Small Horizontal Axis Wind Turbine Blades by Using 2D and 3D CFD Modelling**.

[15] ผศ.ดร. วิรชัย โรยนรินทร์. (2017) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, **วิศวกรรมกังหันลม**. 123-142 สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน 2561.

[16] Principle Power. (2015) **WindFloat**

IE46

ตู้อบพริกพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทลเลอร์

Chilies dryer from Solar Power of Temperature Control with Microcontroller

ปรีชา สมหวัง* เทวิล สกุลบุญยงค์ เอกบดี เมืองกลาง เด่น คอกพิมาย เกษม พรมรินทร์ และกฤษฎา ทาสันเทียะ
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000

บทคัดย่อ

พริกเป็นพืชผักที่มีความสำคัญในการประกอบอาหารประจำวันของคนไทยในกลุ่มนิยมรับประทานอาหารที่มีรสชาติค่อนข้างเผ็ด จึงนิยมปลูกพริกเพื่อบริโภคในครัวเรือนและมีการปลูกพริกเพื่อการค้าเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปเครื่องปรุงแต่งรส แต่ปัญหาพบว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมของการปลูกพริกที่ให้ปริมาณผลผลิตมากที่สุดคือช่วงฤดูฝนจนทำให้ผลผลิตล้นตลาด ส่งผลให้ผลผลิตเน่าเสียและราคาผลผลิตตกต่ำ เกษตรกรจึงจำเป็นต้องหาวิธีถนอมอาหารและเพิ่มมูลค่าผลผลิตด้วยวิธีการตากแห้ง ซึ่งสามารถเก็บพริกแห้งได้เป็นระยะเวลานานและแปรรูปเป็นเครื่องปรุงรสได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องอบแห้ง โดยศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน การลดความชื้น และการอบแห้ง ทดแทนวิธีการตากพริกในที่โล่งแจ้งและเป็นอุปกรณ์ช่วยเสริมในการอบแห้งของพริกเพื่อประหยัดเวลาในการตากพริก แก้ไขปัญหาที่เกิดจากสิ่งสกปรก ฝุ่นละอองที่ปลิวมากับอากาศ ป้องกันการรบกวนจากสัตว์และแมลง การสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงผลผ่านโทรศัพท์มือถือ โดยใช้แผ่นอะคริลิคใส ขนาดความหนา 3.3 มิลลิเมตร ทำการติดตั้งแผ่นอะคริลิคใสในตำแหน่งที่ฝาปิดด้านบนของตู้และด้านข้างทั้ง 4 ข้าง เพื่อให้โปร่งแสงสำหรับรับแสงอาทิตย์ ส่วนพื้นของตู้อบเป็นสีดำเพื่อดูดกลืนความร้อนภายในตู้อบ ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการตากแห้งโดยวิธีธรรมชาติและการอบแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ การทดลองในช่วงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 55 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส จำนวน 18 ชั่วโมงทุกกลุ่มการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพความชื้นและคุณภาพสีของพริกแห้งหลังอบแห้ง โดยนำพริกสดชั่งน้ำหนักก่อนการทดลองจำนวน 2 กิโลกรัมต่อการทดลอง เชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตระหว่างโทรศัพท์มือถือกับโปรแกรมประยุกต์ Blynk เพื่อใช้สำหรับแสดงอุณหภูมิและความชื้นภายในและภายนอกเครื่องอบแห้ง ทำการตั้งค่าอุณหภูมิตามแผนการทดลอง ทำการบันทึกอุณหภูมิภายในและภายนอกตู้อบทุก ๆ 1 ชั่วโมง ผลการทดลองทำให้ทราบว่าอุณหภูมิภายในตู้อบสามารถให้ความร้อน 2 เท่าของอุณหภูมิภายนอก การอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่ให้คุณภาพดีที่สุดกว่ากลุ่มอื่นสีแดงของพริกที่ระดับ 14.38 และความชื้นของพริกแห้ง 24.3 % ตู้อบพริกมีประสิทธิภาพดีเยี่ยม ต้นทุนต่ำ เกษตรกรสามารถสร้างเป็นตู้อบพริกลดปัญหาการเน่าเสียของพริกในช่วงฤดูฝนได้

คำสำคัญ: พริก พลังงานแสงอาทิตย์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ แผ่นอะคริลิค

*Corresponding author: Tel.: 044 233 000. E-mail address: preecha.so@rmuti.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันพริกเป็นพืชผักที่มีความสำคัญในการประกอบอาหารประจำวันของคนไทยในกลุ่มนิยมรับประทานอาหารที่มีรสชาติค่อนข้างเผ็ด [1] จึงนิยมปลูกพริกเพื่อบริโภคในครัวเรือนและมีการปลูกพริกเพื่อการค้าเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปเครื่องปรุงแต่งรส การแปรรูปพริกส่วนหนึ่งต้องการพริกแห้งสำหรับเป็นวัตถุดิบทำให้เกษตรกรต้องจัดหาวิธีการต่างๆ ที่ทำให้พริกแห้งมีปริมาณและคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภค ส่วนใหญ่อาศัยการตากแห้งหรืออบแห้งหลังการเก็บเกี่ยว โดยวัตถุประสงค์ของการอบแห้งก็เพื่อ ลดความชื้นและเพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์ และเพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้มีมูลค่าสูงขึ้น การอบแห้งทั่วไปในประเทศไทยยังคงใช้การตากแดดตามธรรมชาติ [2] ซึ่งการตากแดดโดยการคัดเลือกพริกนำมาตากแดดบนแผ่นบางหรือภาชนะที่สะอาดใช้เวลาตากประมาณ 5 แดด จากพริกสด 3-4 กิโลกรัม จะได้พริกแห้ง 1 กิโลกรัม ซึ่งประสบปัญหาผลผลิตเปียกชื้นในช่วงฤดูฝนทำให้เกิดเชื้อรา การปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกต่างๆและความเสียหายอันเนื่องมาจากการรบกวนของสัตว์ สีของพริกแห้งไม่แดงสวยงามสม่ำเสมอทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพต่ำ การแก้ปัญหาสีพริกแห้งไม่สวยด้วยวิธีลวกน้ำร้อนก่อนตากแดด โดยการนำพริกสดไปลวกน้ำก่อนนาน 15 นาที แล้วนำไปตากแดดประมาณ 5 แดด วิธีนี้ทำให้สีพริกแห้งสวยและไม่ขาวด่าง ถึงแม้มีการพัฒนาเครื่องอบแห้งเชิงกลเพื่อนำมาใช้แก้ปัญหา แต่เครื่องอบแห้งแบบนี้มีราคาแพง เกษตรกรรายย่อยไม่สามารถจัดหาได้ นอกจากนี้เครื่องอบแห้งเชิงกลต้องใช้แหล่งพลังงานจากเชื้อเพลิงราคาค่อนข้างสูง และการใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวยังก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถทดแทนเครื่องอบแห้งเชิงกลได้ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญยิ่งต่อการรักษาคุณภาพ สีพริกแห้งสีแดงสม่ำเสมอ ลดการสูญเสีย ลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้เปล่า ปราศจากมลภาวะและมีอย่างไม่จำกัด โดยเฉพาะในประเทศแถบร้อนอย่างประเทศไทย อีกทั้งเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่ไม่ซับซ้อน เกษตรกรสามารถทำเป็นอุตสาหกรรมในครอบครัวได้ กลไกการทำแห้งคือเมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าพริกที่เปียก ความร้อนถูกถ่ายเทไปยังผิวของพริกและน้ำในพริกจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ โดยทั่วไปอัตราแห้งของพริกได้แบ่งเป็น 2 ช่วง ได้แก่ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (Constant-rate regime) ซึ่งเป็นช่วงแรกของการอบแห้ง และช่วงอัตราการแห้งลดลง (Falling-rate regime) ซึ่งต่อจากช่วงแรก [3]

ในช่วงอัตราการแห้งคงที่ (Constant-rate regime) ปริมาณความชื้นของพริกมีค่าสูงกว่าปริมาณความชื้นวิกฤติ การระเหยของน้ำเกิดขึ้นที่ผิวของพริก ลักษณะการระเหยคล้ายกับการระเหยน้ำจากภาชนะ เมื่อผ่านกระแสอากาศไปบนตัวพริก ความร้อนสัมผัสจากอากาศจะถ่ายเทยังพริก และน้ำจะระเหยจากพริกไปยังอากาศ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดที่ผิวพริกเท่านั้น สามารถเขียนอัตราการแห้งในช่วงเวลานี้เป็นรูปสมการ ได้ดังนี้ [4]

$$\frac{dM}{dt} = \left[\frac{h_c A}{L}\right](T_c T_{sur}) \quad (1)$$

เมื่อ $\frac{\mathrm{dM}}{\mathrm{dt}}$ คืออัตราการแห้งคงที่ ส่วน h_c คือการนำความร้อนของฟิล์มอากาศอยู่เหนือผิวพริก *A* คือพื้นที่ผิวของพริก *L* คือความร้อนแฝงของน้ำในพริก T_c อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง และ T_{sur} คืออุณหภูมิที่ผิวของพริก สำหรับช่วงที่อัตราแห้งลดลง (Falling-rate regime) ปริมาณความชื้นของพริกมีค่าต่ำกว่าปริมาณความชื้นวิกฤติ น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในตัวพริกมาที่ผิวในลักษณะของเหลวหรือไอน้ำ และน้ำที่ผิวจะระเหยไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง และถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในพริก สามารถทำให้เกิดเกรเดียนท์ความชื้นและเกรเดียนท์อุณหภูมิภายในพริก อุณหภูมิของพริกที่มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ โดยทั่วไปสามารถเขียนอัตราแห้งในรูปสมการได้ดังนี้ [4]

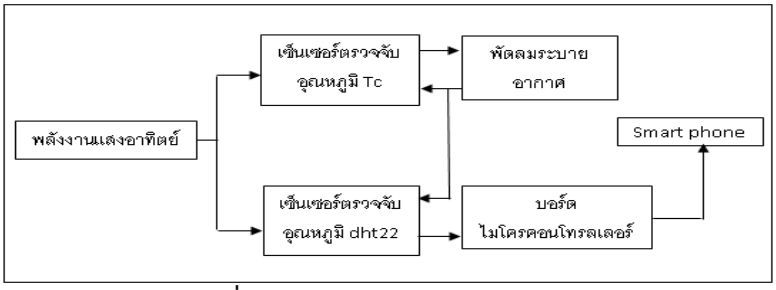
$$\frac{dM}{dt} = k(\mathrm{M}-\mathrm{M}_c) \quad (2)$$

เมื่อ *M* คือความชื้นสมดุลของพริก *k* คือค่าคงที่การอบแห้ง โดยปริมาณความชื้นที่อยู่ในพริกสามารถบอกด้วยร้อยละความชื้นหรือเปอร์เซ็นต์ M_C ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นคือน้ำหนักของพริก ณ เวลาที่ต้องการทราบความชื้น และน้ำหนักสุดท้ายของพริกที่ได้จากการอบแห้งถือว่าเป็นความชื้นเหลืออยู่ [4-5] ผลของการอบแห้งมีผลต่อพริกในด้านต่าง ๆ ทำให้สูญเสียคุณค่าของโปรตีนซึ่งมากน้อยนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการอบพริกให้แห้ง ถ้าใช้เวลานานเกินไปและอุณหภูมิที่สูงเกินโปรตีนก็เปลี่ยนสภาพและคุณค่าทางโภชนาการลดลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเพื่อทำให้พริกแห้งสามารถใช้ประโยชน์จากโปรตีนได้มากกว่า มีผลกระทบต่อคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากเกิดปัญหาเรื่องการเปลี่ยนแปลงสีของพริกที่ตากแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาล มีผลต่อเม็ดสีในพริก กายภาพที่เปลี่ยนไปสีของพริกก็เปลี่ยนไป เม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์และแอนโธไซยานินก็ซีดจางลง ถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานาน [6]

เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีส่วนประกอบด้วยแผงรับแสงอาทิตย์ซึ่งทำด้วยวัสดุใส เมื่อแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่เป็นรังสีคลื่นสั้น ตกลงบนแผงรังสีนี้แล้วก็สามารถทะลุผ่านไปยังวัสดุสีดำภายในตู้และเปลี่ยนเป็นรังสีความร้อน ซึ่งความร้อนนี้จะไปกระทบกับพริกทำให้น้ำในพริกระเหยออกมา และผ่านออกไปทางช่องระบายอากาศของตู้อบหรือโรงอบมีผลทำให้พริกแห้ง ข้อดีสำหรับการใช้ตู้อบที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์คือ ได้พริกแห้งสีสวยและสม่ำเสมอ สะอาด เพราะสามารถควบคุมไม่ให้ฝุ่นละอองหรือแมลงเข้าได้ ใช้เวลาน้อยกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ ทำให้ประหยัดเวลาในการตากแดดได้ประมาณหนึ่งในสาม สุดธิดา และคณะ [7] ได้นำเสนอวิธีการสร้างเครื่องอบแห้งโดยใช้พลังงานร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์แบบตู้ ซึ่งมีฝาผนังรอบด้านทั้งสี่ด้านปิดทึบ ฝาด้านบนทำด้วยกระจก ด้านล่างและด้านข้างเจาะรูเพื่อให้อากาศระบายสามารถลดเวลาในการตากแห้งได้น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของการตากแห้งแบบธรรมชาติ เมื่อปรับปรุงหลังคาห้องอบให้เป็นตัวรับรังสีและติดพัดลมดูดอากาศ 2 เครื่อง เพื่อดูดอากาศจากช่องระหว่างตู้หลังคา เพื่อควบคุมลมเข้าและออกจากตู้อบ ภายในห้องอบประกอบด้วย 2 ตู้ ตู้แรกเป็นตู้อบให้แห้ง ตู้หลังเป็นตู้อบให้ความชื้นลดลง โดยอากาศจะผ่านตู้อบแรกไปตู้อบหลัง มีการควบคุมอุณหภูมิการอบไม่ให้เกิน 49 °C ผลการทดลอง พบว่าสามารถลดความชื้นจาก 54% เหลือ 12% เมื่อใช้เวลาในตู้อบแรก 3 ชั่วโมง

วิธีการวิจัย

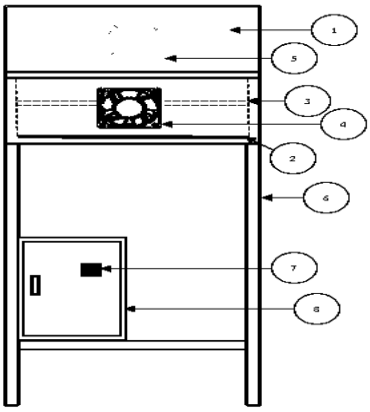
จากปัญหาเครื่องอบแห้งพลังงานเชิงกลมีราคาค่อนข้างแพง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับแสงอาทิตย์โดยตรงผ่านแผ่นอะคริลิคชนิดใส ที่เหมาะสมกับสภาพอากาศในประเทศไทยที่มีแสงแดดเพียงพอต่อการทำตู้อบแห้งความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้ โดยมีโครงสร้างการทำงานในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างการทำงานของตู้อบพริก

ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้ใช้หลักการไหลเวียนอากาศร้อน เพื่อระบายความชื้นด้วยวิธีธรรมชาติ กล่าวคือ เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ส่องผ่านแผ่นอะคริลิคชนิดใส กระทบกับแผ่นเหล็กสีดำซึ่งอยู่ภายในตู้จะทำหน้าที่ดูดกลืนความร้อนสะสมไว้ ทำอุณหภูมิในตู้อบแห้งสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียส อากาศร้อนภายในตู้จะถ่ายเทความชื้น ที่มีอยู่ในพริกสดให้ระเหยออกมา เกิดการลอยตัวสูงขึ้นออกไป และถูกดูดไปพร้อมกับการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้พัดลมระบาย

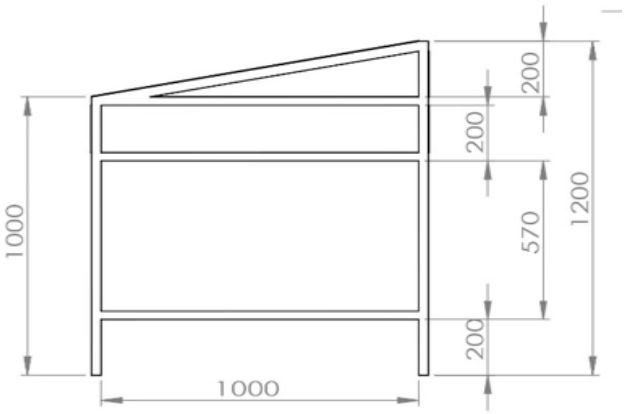
อากาศให้อุณหภูมิอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ทางด้านหลังของตู้อบแห้งช่วยให้การอบแห้ง แห้งเร็วกว่าแบบทั่วดังแสดงโครงสร้างตู้อบในภาพที่ 2



ลำดับที่	รายการ
1	แผ่นอคิลิค
2	แผ่นรับรังสี
3	ตะแกรง
4 , 5	พัดลม
6	โครงสร้าง
7	จอแสดงอุณหภูมิ
8	ตู้ควบคุม

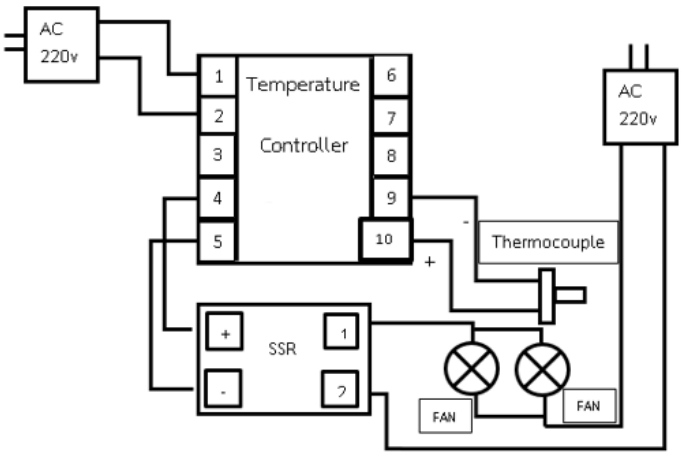
ภาพที่ 2 โครงสร้างตู้อบพริก

การทำตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ง่ายต่อการรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้ใช้แผ่นอะคริลิคใส ขนาดความหนา 3.3 มิลลิเมตร โดยติดตั้งแผ่นอะคริลิคใสในตำแหน่งที่ฝาปิดด้านบนของตู้และด้านข้างทั้ง 4 ข้างเพื่อให้โปร่งแสงสำหรับรับแสงอาทิตย์ได้เป็นวงกว้างมากที่สุด ส่วนพื้นด้านล่างเป็นสีดำเพื่อให้ดูดกลืนนความร้อน การจัดทำตะแกรงสำหรับวางผลผลิตพริก ใช้ตาข่ายอลูมิเนียมทำเป็นถาดรองรับผลผลิตพริกที่สามารถถอดออกได้โดยไม่ยึดติดกับโครงสร้างของตู้อบ ทำมุมเอียง 20 องศากับแนวระดับดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การรับแสงความร้อนจากแสงอาทิตย์

การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบด้วยวิธีการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิไว้ภายในตู้ แล้วเชื่อมต่อสัญญาณไปยังชุดควบคุมอุณหภูมิสำหรับเพื่อตั้งค่าอุณหภูมิตามความต้องการ และติดตั้งพัดลมระบายความร้อนด้านข้างฝั่งละหนึ่งตัวรวมเป็นจำนวน 2 ตัว เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิภายในตู้ให้คงที่สม่ำเสมอ การตั้งค่าการทำงานของพัดลมเมื่ออุณหภูมิสูงเกินค่าที่กำหนดไว้ ชุดควบคุมจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับพัดลมทำงานเพื่อระบายความร้อน แต่เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดค่าไว้ชุดควบคุมจะงดจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับพัดลมทันทีแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 วงจรการควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบ

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทดลองประกอบด้วย พริกสดจำนวน 8 กิโลกรัม แบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่มๆละ 2 กิโลกรัมเท่าๆ กัน กลุ่มการทดลองที่ 1 ใช้วิธีตากแดดตามธรรมชาติ กลุ่มการทดลองที่ 2 ใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส กลุ่มการทดลองที่ 3 ใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และกลุ่มการทดลองที่ 4 ใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทดลองจำนวน 18 ชั่วโมงเท่ากันทุกกลุ่มการทดลอง ทำการบันทึกอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายในตู้ทุก 1 ชั่วโมงเหมือนกันทุกกลุ่มการทดลอง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดลองเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการอบพริกด้านความชื้นและคุณภาพสีพริกแห้งหลังการอบ ซึ่งเปรียบเทียบการทดลองทั้งหมด 4 กลุ่มการทดลองคือ การตากแดดตามธรรมชาติ การอบที่อุณหภูมิ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากการศึกษาพบว่าอุณหภูมิสูงสุดสำหรับการอบพริกแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถอบได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งต้องมีอุณหภูมิภายนอกตู้อบมากกว่า 35 องศาเซลเซียส จึงจะสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้คงที่ตามต้องการ [7-8] แต่ปัญหาจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายนอกคงที่ขณะทำการทดลองอุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิคงที่ภายในตู้อบโดยไม่ส่งผลกระทบที่อุณหภูมิภายในตู้ 60 องศาเซลเซียส ดังแสดงข้อมูลตัวอย่างการบันทึกอุณหภูมิในช่วงเวลาระหว่างวันในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างอุณหภูมิภายในและภายนอก

เวลา	อุณหภูมิอบแห้งที่ 60°C	
	อุณหภูมิภายใน	อุณหภูมิภายนอก
09.00 น.	57.5°C	30°C
10.00 น.	59.8°C	32°C
11.00 น.	60.4°C	32°C
12.00 น.	60.7°C	34°C
13.00 น.	61.3°C	35°C
14.00 น.	62.6°C	35°C
15.00 น.	60.1°C	32°C
16.00 น.	60.3°C	31°C
17.00 น.	58.5°C	29°C

ผลจากการทดลองทั้ง 4 กลุ่มการทดลอง ระยะเวลาการทดลองจำนวน 18 ชั่วโมงเท่ากันทุกกลุ่มการทดลองทำให้ทราบว่ากลุ่มที่ตากแดดตามธรรมชาติมีประสิทธิภาพต่ำที่สุดหลังสิ้นสุดการทดลองมีค่าความชื้นที่ 35.5% และมีสีเป็นรอยด่างดำเป็นจุดสีไม่เป็นสีแดงสม่ำเสมอ ส่วนผลการทดลองในกลุ่มที่อบด้วยอุณหภูมิ 55 องศาเซเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยได้ความชื้นหลังสิ้นสุดการทดลองที่ 24.3% และให้ค่าสีของสีแดงสม่ำเสมอที่สุดในระดับค่า 14.38 หลังจากเพิ่มอุณภูมิการทดลองที่ 60 องศาเซลเซียส ทำให้ความชื้นลดลงที่ 21.0% แต่ส่งผลกระทบต่อสีแดงของพริกแห้งหลังการอบทำให้สีดำคล้ำ สีไม่สวยงาม ดังแสดงข้อมูลรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าความชื้นและค่าสีในพริกแห้ง

วิธีการอบแห้ง	ค่าความชื้น (ฐานเปียก)	ค่าสี			ระยะเวลา
		L	a	b	
ตากแดดตามธรรมชาติ	35.5%	22.28	11.35	3.94	18 ชม.
อบที่อุณหภูมิ 50°C	26.8%	24.60	12.81	5.19	18 ชม.
อบที่อุณหภูมิ 55 °C	24.3%	26.10	14.38	5.99	18 ชม.
อบที่อุณหภูมิ 60 °C	21.0%	23.05	12.76	5.24	18 ชม.

L * a * b * หรือ สี Lab เป็นระบบแทนค่าสีโดยใช้หลักการตามทฤษฎีสีคู่ตรงข้าม ซึ่งประกอบด้วย 3 คู่สีด้วยกัน คือ [8-9]

ค่า L * เป็นค่าที่บอกความสว่างของสี นั้นคือขาวกับดำ

ค่า a * เป็นค่าที่บอกความเป็นสีเขียวหรือสีแดง

ค่า b * เป็นค่าที่บอกความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน

เมื่อเปรียบเทียบการใช้ตู้อบพริกและการตากพริกจากแดดตามธรรมชาติ พริกที่ได้จากตู้อบมีสีแดงสดกว่าและสีของพริกสม่ำเสมอกว่าการตากพริกจากแดดตามธรรมชาติอย่างชัดเจน

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองตู้อบพริกพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นอะคริลิคใสขนาดความหนา 3.3 มิลลิเมตร ทำการติดตั้งแผ่นอะคริลิคใสในตำแหน่งที่ฝาปิดด้านบนของตู้และด้านข้างทั้ง 4 ข้างเพื่อให้โปร่งแสงสำหรับรับแสงอาทิตย์ ส่วนพื้นเป็นสีดำเพื่อดูดกลืนความร้อนภายในตู้อบ การทดลองแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มการทดลอง ใช้พริกสดในการทดลองกลุ่มละ 2 กิโลกรัม ระยะเวลาในการทดลอง 18 ชั่วโมงทุกกลุ่ม ผลจากการทดลองทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของตู้อบพริกพลังงานแสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นระดับอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในด้านคุณภาพของสีแดงหลังการอบแห้งที่ระดับ 14.38 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความชื้นหลังการอบลดลง แต่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสีแดงทำให้มีสีดำคล้ำ

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีคณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของพริกแห้งในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] จิราวดี สุแดงน้อย และเพียรศักดิ์ ภักดี. (2554). การจัดการการผลิตและการตลาดพริกสดของเกษตรกรตำบลแหลมทอง อำเภอภักดีชุมพล จังหวัดชัยภูมิ. **วารสารวิจัย มข. (บศ.)** 11 (4). หน้า 173-182.

[2] ศิรินุช จินดารักษ์ และกลยุทธ ทะกอง. (2557). "เครื่องอบแห้งและคั่วพริกสดแบบถังหมุน", ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7**, วันที่ 12-14 พฤศจิการยน 2557 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล. หน้า 362-367.

[3] พัฒนาภรณ์ ใจอุตม์. (2542). **การอบพริกขี้หนูด้วยเครื่องอบแห้งระบบสลับหมุนเวียนลมร้อน.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[4] K. Tagong, C. Phanlek, S. Jindarak and P. Ammatachaya. (2016). "Rotary dryer and roaster for fresh chili by using heat energy from LPG," **International Conference on Cogeneration, Small Power Plants and District Energy (ICUE)**, 14-16 Sept, Bangkok, pp. 1-4.

[5] รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล. (2561). “การอบแห้งพริกด้วยห้องอบสูญกาศ”, ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32**, วันที่ 3-6 กรกฎาคม 2561 ณ โรงแรม มุกดาหาร แกรนด์ อ. เมือง จังหวัดมุกดาหาร. หน้า 866-872.

[6] เกียงศักดิ์ นักผูก และไมตรี เยาวรัตน์. (2551). ออกแบบและทดสอบเครื่องลดความชื้นพลังงานร่วมของก๊าซหุงต้มและพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับพริกสด. **วารสารวิชาการเกษตร.** ปีที่ 26 ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน. หน้า 72-81.

[7] สุดธิดา อินผล อุปวิทย์ สุวคันธกุล และโอภาส สุขหวาน. (2551). การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. **วารสารวชาการอุตสาหกรรมศึกษา.** ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน. หน้า 71-81.

[8] สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี. (2560). การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.** ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน. หน้า 1-10.

[9] Patiporn Temiyakul, Paul W.J. Taylor and Orarat Mongkolporn. (2012). Differential Fruit Maturity Plays an Important Role in Chili Anthracnose Infection. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.** ปีที่ 22 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม. หน้าที่ 494-504.

IE48

ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล กรณีศึกษา โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก จังหวัดกำแพงเพชร

Factors affecting the cost of transportation of biomass fuels Case study of small biomass power plant in Kamphaeng-Phet province.

พิสุทธิ์ ภูวญาณพงศ์ และประพิธาริ์ ธนารักษ์*
วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับโรงไฟฟ้าขนาดเล็กในจังหวัดกำแพงเพชร โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษาเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล รวมถึงศึกษาข้อมูลพื้นฐานสำหรับการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กในจังหวัดกำแพงเพชร ผลการศึกษา พบว่า จังหวัดกำแพงเพชรมีพื้นที่ทำเกษตรกรรมขนาดใหญ่โดยปริมาณผลผลิตอ้อยมีสูงที่สุดและมีสัดส่วนชีวมวลเหลือใช้สูงที่สุด และมีปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับโรงไฟฟ้าขนาดเล็กในจังหวัดกำแพงเพชร ได้แก่ 9 ปัจจัย คือ ลักษณะภูมิประเทศ ระยะทาง ราคาน้ำมัน ลักษณะชีวมวล/ขนาด ยานพาหนะ เวลาการขนส่ง คลังสินค้า สภาพภูมิอากาศ และ นโยบาย ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล

คำสำคัญ: ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่งชีวมวล, โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็ก

*Corresponding author: Tel.: 055-963182. E-mail address: prapitat@nu.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาทางด้านพลังงาน เป็นปัญหาที่มีผลกระทบต่อประเทศไทยเป็นอย่างมาก โดยเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาผลิตไฟฟ้า ได้แก่ น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเชื้อเพลิงดังกล่าวมีอยู่อย่างจำกัดและกำลังจะหมดไปในอนาคต ทำให้ราคาของเชื้อเพลิงมีความผันผวนตามความต้องการที่เพิ่มมากขึ้น และถึงแม้ว่าจะมีความพยายามเป็นอย่างมากที่จะผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแต่ก็ยังคงคิดได้เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่ามากและยังประสบปัญหาจากกลุ่มนักอนุรักษ์ธรรมชาติอีกด้วย ซึ่งตอนนี้ในหลายประเทศให้ความสนใจในการแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ๆมากขึ้น เพื่อทดแทนพลังงานในโลกที่มีอยู่อย่างจำกัด

จากปริมาณการใช้พลังงานในประเทศไทยที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องมาตลอดหลายปีและแหล่งเชื้อเพลิงภายในประเทศไม่เพียงพอต่ออัตราการผลิตและการบริโภคไฟฟ้าของประชากร รัฐบาลจึงจำเป็นต้องจัดหาพลังงานทางเลือกเพื่อนำมาทดแทนพลังงานฟอสซิลที่กำลังลดลงและมีแนวโน้มจะหมดไปในอนาคต ซึ่งแหล่งพลังงานทางเลือกที่ว่านี้ คือ พลังงานทดแทน โดยเป็นพลังงานที่เกิดหรือทดแทนพลังงานส่วนที่ใช้ไปแล้วได้ เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ น้ำ ลม และพลังงานชีวมวล เป็นพลังงานทางเลือกซึ่งได้รับการพัฒนาให้เกิดประโยชน์ในด้านพลังงานสำหรับประเทศไทย โดยรัฐบาลได้มีการกำหนดแผนพัฒนาพลังงานทดแทนในระยะ 20 ปีต่อจากนี้ (2558-2579) โดยมีจุดมุ่งหมายให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาพลังงานทดแทนให้มีความมั่นคงทางด้านพลังงาน, ด้านเศรษฐกิจและด้านสิ่งแวดล้อม

เพื่อทดแทนการใช้พลังงานฟอสซิลได้ในอนาคต โดยนโยบายของรัฐบาลจะเน้นการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพื่อให้เกิดการประยุกต์ใช้ทรัพยากรในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งจะช่วยลดอัตราการนำเข้าด้านพลังงานและยังเพิ่มความมั่นคงในด้านพลังงานอีกด้วย [1]

โดยพลังงานชีวมวลเป็นอีกหนึ่งทางเลือกของพลังงานทดแทนที่ได้รับความสนใจจากรัฐบาลเป็นอย่างมาก รองจากพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจุบันประเทศไทยมีศักยภาพทางด้านชีวมวลสูงมากเนื่องมาจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ทำให้มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังมีสภาพภูมิอากาศเอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของพืชชีวมวล จึงมีความหลากหลายทางด้านเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้พลังงานชีวมวลเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในธุรกิจพลังงานทดแทนเป็นอันดับต้นๆ ดังนั้นเพื่อความคุ้มค่าทางด้านการลงทุนของภาคเอกชนและผู้สนใจจึงมีความจำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์ปัจจัยที่จะส่งผลต่อต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล

เนื่องจากจังหวัดกำแพงเพชรอยู่ในเขตภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย เป็นจังหวัดที่ประชาชนประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีพื้นที่เกษตรกรรมมากที่สุดจังหวัดหนึ่งของภาคเหนือ ซึ่งทำให้มีปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งจำนวนมาก ส่งผลให้จังหวัดกำแพงเพชรมีศักยภาพมากพอที่จะเป็นแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวล และในปี 2560 ที่ผ่านมาจังหวัดกำแพงเพชรมีโครงการสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวลแห่งใหม่ ในรูปแบบ SPP Hybrid Firm ขนาด 20 เมกกะวัตต์ ทำให้ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่งชีวมวลของโรงไฟฟ้าดังกล่าวในจังหวัดกำแพงเพชรเพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการต้นทุนการขนส่ง

วิธีการวิจัย

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ เอกสารหนังสือ บทความ วิทยานิพนธ์ เว็ปไซต์ออนไลน์จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาจัดอยู่ในช่วง ปี พ.ศ. 2553-2561 โดยนำมาวิเคราะห์เชิงพรรณนา เพื่อรวบรวมข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล รวมถึงศึกษาข้อมูลพื้นฐานสำหรับการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลของโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก 20 MW แห่งใหม่ในจังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งได้รับการพิจารณาคำขอเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ. 2560 มีกำหนดการวันจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเชิงพาณิชย์ที่ระบุในสัญญาซื้อขายไฟฟ้า วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ.2564[2] และทำการศึกษาสภาพแวดล้อมเส้นทางการคมนาคมรอบโรงไฟฟ้าโดยโปรแกรมแผนที่ Google Map

สมการคำนวณอัตราการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลผลิตไฟฟ้า[3]

$$M = \frac{(P_o \times 3600 \times OH)}{(\eta_e \times LHV)} \quad (1)$$

M = ปริมาณการใช้ชีวมวล (t/year), Po = กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ(kW), 3600 = วินาทีในหนึ่งชั่วโมง, OH = ชั่วโมงการทำงานต่อปี(h/year), η_e = ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานชีวมวล, %, LHV = ค่าความร้อนต่ำสุด, (kJ/kg)

การประเมินปริมาณการเกิดชีวมวล[4]

ปริมาณชีวมวลที่เกิด (ตัน/ปี) = ปริมาณผลผลิต (ตัน/ปี) x สัดส่วนชีวมวลต่อปริมาณผลผลิต (ตันชีวมวล/ตันผลผลิต) (2)

ปริมาณชีวมวลที่เกิด (ตัน/ปี) = ปริมาณพื้นที่โค่น (ไร่/ปี) x สัดส่วนชีวมวลต่อพื้นที่โค่น (ตันชีวมวล/ไร่) (3)

สมการวัตถุประสงค์[5]

$$\text{Minimize COST} = C_1X_1 + \ldots\ldots C_xX_x \quad (4)$$

C คือ ราคาวัตถุดิบในแต่ละเดือนที่จัดหารวมค่าขนส่งแล้ว (บาท)

X คือ ปริมาณวัตถุดิบแต่ละประเภทที่จัดหา (ตัน)

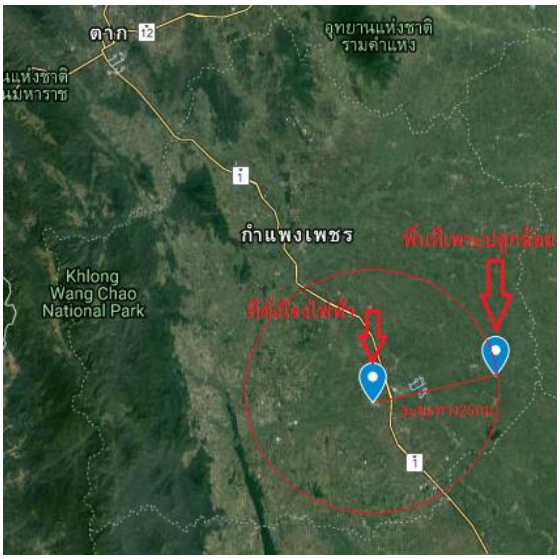
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

พื้นที่เพาะปลูก ผลผลิต และปริมาณชีวมวลในจังหวัดกำแพงเพชร

ตารางที่ 1 แสดงพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตทางการเกษตรของจังหวัดกำแพงเพชร ปี 2558/59[6-7]

ผลผลิตการเกษตร	เนื้อที่เพาะปลูก(ไร่)	ผลผลิต(ตัน)	ชีวมวล	สัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิต (ตัน/ตันผลผลิต)	จำนวนชีวมวลคงเหลือ (ตัน)
ข้าวนาปี	1,196,302	683,801	แกลบ	0.23	157,274
			ฟางข้าว	1.19	813,723
ข้าวนาปรัง	251,070	145,637	แกลบ	0.23	33,496
			ฟางข้าว	1.19	173,308
อ้อย	641,772	7,091,581	ใบและยอด	0.20	1,418,3
			ชานอ้อย	0.30	2,127,4
มันสำปะหลัง	701,222	2,337,078	ต้นและใบ	0.12	280,449
			เหง้า	0.09	210,337
ยางพารา	40,675	3.617	กิ่งและก้าน	0.25	0.904
ปาล์มน้ำมัน	5,094	3,319	ใบและทาง	0.27	896
			ทลายปาล์ม	0.21	697

ตารางที่ 1 แสดงพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตทางการเกษตรของจังหวัดกำแพงเพชร พบว่าในจังหวัดกำแพงเพชร มีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวนาปีมากที่สุดถึง 1,196,302 ไร่ ในขณะที่อ้อยที่มีพื้นที่เพาะปลูกเป็นอันดับที่ 3กลับให้ผลผลิตทางการเกษตรมากที่สุด แสดงให้เห็นถึงชีวมวลคงเหลือจากพืชอ้อยมีปริมาณและความหนาแน่นสูงที่สุดในจังหวัดกำแพงเพชร บ่งบอกถึงศักยภาพทางด้านชีวมวลโดยใช้อ้อยเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับโรงไฟฟ้าและอาจมีเชื้อเพลิงประเภทอื่นร่วมด้วยในปริมาณที่เหมาะสม



ภาพที่ 1 ที่ตั้งโรงไฟฟ้าและสถานที่เพาะปลูกพืชอ้อย

แสดงพื้นที่ตั้งโรงไฟฟ้าและพื้นที่ปลูกอ้อย โดยโรงไฟฟ้ามีระยะทางห่างจากพื้นที่ปลูกอ้อยแบบกระจายตัวส่วนใหญ่ประมาณ 25 กิโลเมตร ลักษณะเส้นทางส่วนใหญ่เป็นถนนลาดยางและมีทางลูกรังด้วยบางส่วน

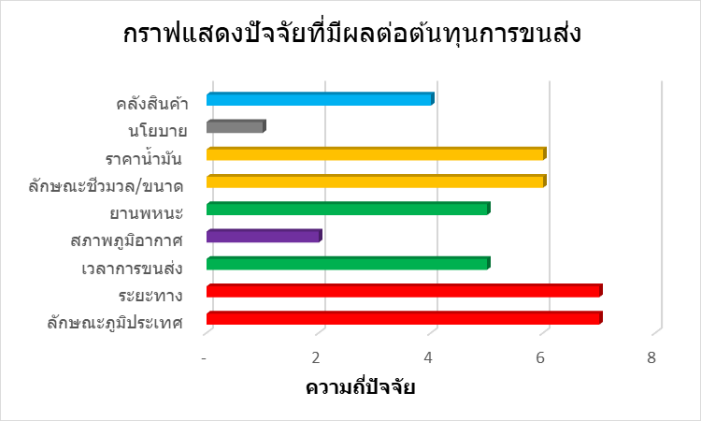
ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนเชื้อเพลิงชีวมวล

ต้นทุนการขนส่ง คือต้นทุนที่ประกอบด้วยต้นทุนหลายประเภท คือ ต้นทุนคงที่ เป็นต้นทุนที่ค่าใช้จ่ายไม่เปลี่ยนแปลงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงของผลผลิต ต้นทุนผันแปร คือต้นทุนที่มีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของผลผลิต และต้นทุนเที่ยวกลับเป็นต้นทุนที่รวมค่าเสียโอกาสของพาหนะหลังจากกลับจากการส่งสินค้า โดยต้นทุนเหล่านี้จะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ จากการศึกษาปัจจัยต้นทุนการขนส่งจากบทความต่างๆที่ผ่านมา ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่งมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ตารางความถี่ของปัจจัยที่มีผลต่อการขนส่งชีวมวลในแต่ละบทความวิจัย

ชื่อผู้วิจัย	ลักณะภูมิประเทศ	ระยะทาง	เวลาการขนส่ง	สภาพภูมิอากาศ	ยานพาหนะ	ลักษณะชีวมวล/ขนาด	ราคาน้ำมัน	นโยบาย	คลังสินค้า
Donald J. Bowersox และ David J.Closs[8]	/	/				/			
มณิสรา บารมีชัย, บุศรินทร์ ศรีสตรียานนท์[9]	/			/	/	/			
Ismail J. Ismail, Madishetti Srinivas & Hawa Tundui[10]	/	/							
Henry Vega[11]		/			/	/		/	/
Tasminur Mannan Adnan , Amit Das[12]	/				/				
Annika Knutsson[13]							/		
นิเวศน์ เหมวชิรวรากร[14]							/		
อริศรา ผลวจิตร์ และ วาสนา ศิลป์รุ่งธรรม[15]	/				/				/
ธนภร จิรพัฒน์ดำรง, ไชยยศ ไชยมั่นคง[16]			/						
ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร[17]			/			/	/		
อำพล นววงศ์เสถียร, สุรัตน์ จันทองปาน, ฎาฎะณี วุฒิภดาดร, สิทธิชัย ฝรั่งทอง, ธิปัตย์ โสตถิวรรณ์และ ชัญญญาณ์ ป้อมสา[18]			/						/
อำพล นววงศ์เสถียร, สุรัตน์ จันทองปาน, ฎาฎะณี วุฒิภดาดร, สิทธิชัย ฝรั่งทอง, ธิปัตย์ โสตถิวรรณ์และ ชัญญญาณ์ ป้อมสา[19]		/	/						/
พชรรร เศรษฐยานนท์[20]	/								
ฉมามาศ ประยงค์[21]	/		/		/				
ศกร แสนนิล และ ปิติ กันตังกุล[22]		/							
ทองพูน ทองดี และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส[23]		/							
กฤษนนท์ สนธิ[24]						/	/		
Erin Searcy, Peter Flynn, Emad Ghafoori and Amit Kumar[25]		/		/					
รวมพล จันทศาสตร์ และ อัสรียาภรณ์ สง่าอารีย์กุล[26]							/		
ศาสตร์ศิลป์ รสสุคนธ์สกุล และ ธีระ ฤทธิรอด[27]						/	/		
รวมความถี่ปัจจัย	**7**	**7**	**5**	**2**	**5**	**6**	**6**	**1**	**4**

ตารางที่ 2 แสดงความถี่ของปัจจัยที่มีผลต่อการขนส่งชีวมวลในแต่ละบทความ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่ง จากบทความวิจัยที่ผ่านมา



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความถี่ปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนการขนส่ง

ภาพที่ 2 แสดงความถี่ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่ง พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่งมากที่สุดอันดับ 1 ได้แก่ 2 ปัจจัย ลักษณะภูมิประเทศ และระยะทาง เนื่องจาก ปัจจัยลักษณะภูมิประเทศมีผลโดยตรงต่อต้นทุนการขนส่ง เช่น ภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นทางโค้งจำนวนมาก ลักษณะพื้นที่ที่มีทางลาดชันขึ้นเขา ลักษณะทางที่เป็นถนนดินลูกรัง มีหลุมบ่อจึงเป็นอุปสรรคอย่างสูงในการขนส่ง ปัจจัยด้านระยะทาง มีผลต่อต้นทุนการขนส่ง เพราะ ระยะทางเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อต้นทุนการขนส่ง เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับต้นทุนผันแปร คือ ค่าแรง เชื้อเพลิงและการบำรุงรักษา ยิ่งระยะทางไกลมากเท่าไรก็จะมีต้นทุนผันแปรเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่งรองลงมา อันดับ 2 มี 2 ปัจจัย ได้แก่ ราคาน้ำมัน และ ลักษณะชีวมวล/ขนาด ปัจจัยด้านราคาน้ำมัน ส่งผลต่อต้นทุนสำหรับการขนส่งอย่างมาก เนื่องจากการขนส่งส่วนใหญ่จะใช้การขนส่งทางถนนเป็นหลัก และเมื่อราคาน้ำมันมีความผันผวนจะทำให้ต้นทุนในการบริหารด้านโลจิสติกส์ขาดเสถียรภาพ และปัจจัยลักษณะชีวมวล/ขนาด ของชีวมวลนี้เป็นปัจจัยสำคัญในแง่ของค่าการขนส่งและค่าการเก็บรักษา ชีวมวลบางชนิด เช่น ฟางข้าวหรือแกลบ จะมีความหนาแน่นน้อยจึงมีปัญหาในการขนส่งมาก เนื่องจากชีวมวลบางชนิดนี้ในการขนส่งจะมีปริมาณต่อน้ำหนักต่ำ จึงส่งผลให้ต้องเพิ่มรอบการขนส่งทำให้ต้นทุนการขนส่งเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ปัจจัยที่มีผลอันดับ 3 ได้แก่ 2 ปัจจัย คือ เวลาการขนส่ง และ ยานพาหนะ ปัจจัยด้านเวลาการขนส่งมีผลกระทบ เช่น หากเลือกเวลาในการขนส่งสินค้าช่วงกลางวัน อาจเจอสภาพการจราจรติดขัดได้ หรือในขณะที่มีการจราจรคับขันอาจเกิดอุบัติเหตุได้ง่ายทำให้เสียเวลาในการส่งสินค้าจึงเป็นการเพิ่มต้นทุนทางด้านการขนส่ง ปัจจัยด้านยานพาหนะ เป็นสิ่งที่กำหนดพื้นที่ในการขนส่งและค่าภาษีต่างๆ หากระยะทางใกล้ ควรใช้รถประเภทหนึ่งหรือระยะทางไกลควรใช้รถอีกประเภทหนึ่ง ปัจจัยที่มีผลอันดับ 4 ได้แก่ ปัจจัยด้านคลังสินค้า เป็นศูนย์รวบรวมและพักสินค้า เพื่อความสะดวกในการขนย้ายไปยังรถบรรทุก เพื่อให้ไม่เสียเวลาในการขนย้ายสินค้า ปัจจัยที่มีผลอันดับ 5 ได้แก่ ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศ เนื่องงจากการขนส่งทางบกบางครั้งกำหนดเวลาแน่นอนไม่ได้ ขึ้นอยู่กับสภาพการจราจรและดินฟ้าอากาศ ปัจจัยที่มีผลอันดับ 6 ได้แก่ ปัจจัยด้านนโยบาย คือ ค่าใช้จ่ายด้านเงินเดือนพนักงาน ค่าตอบแทนคนขับรถ คนลำเลียงสินค้า เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

จังหวัดกำแพงเพชรมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นแหล่งเพาะปลูกพืชผลทางการเกษตรตั้งอยู่ในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย ซึ่งข้าวนาปีมีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุดในจังหวัดกำแพงเพชร แต่กับพบว่าอ้อยเป็นพืชที่มีผลผลิตมากที่สุด อีกทั้งยังมีชีวมวลเหลือทิ้งจากอ้อยสูงที่สุด ได้แก่ ใบและยอดอ้อย มีปริมาณ 1,418,316 ตัน และชานอ้อย มีปริมาณ 2,127,474 ตัน และปัจจัยหลักที่ส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวล เรียงลำดับจากปัจจัยที่มีผลมากที่สุดไปยังน้อยที่สุด 9 ปัจจัย คือ ลักษณะภูมิประเทศ ระยะทาง ราคาน้ำมัน ลักษณะชีวมวล/ขนาด ยานพาหนะ เวลาการขนส่ง คลังสินค้า สภาพภูมิอากาศ และ นโยบาย ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นแนวทางในการ

พัฒนาและแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อต้นทุนการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลได้ในอนาคต เนื่องจากราคาต้นทุนเชื้อเพลิงชีวมวลมีผลโดยตรงต่อต้นทุนโดยรวมของโรงไฟฟ้าชีวมวล ซึ่งหมายความว่าหากสามารถลดปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการแปรปรวนของต้นทุนการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลได้มากย่อมส่งผลต่อผลประกอบการของโรงไฟฟ้าชีวมวลเท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่อำนวยความสะดวกแก่การค้นคว้าในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] นโยบายและแผน. (2557), **นโยบายด้านพลังงานของกระทรวงพลังงานและแผนบูรณาการพลังงานระยะยาว.** สืบค้นเมื่อ 28 กันยายน 2561, จาก http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/tieb

[2] ศูนย์ข้อมูลด้านพลังงาน. (2561), **ระบบฐานข้อมูล SPP&VSPP.** สืบค้นเมื่อ 28 กันยายน 2561, จาก http://www.erc.or.th/ERCSPP/ListViewDetail.aspx?RowID=22729

[3] สหัถยา ทองสาร. (2560), **หนังสือประกอบการเรียนการสอนรายวิชา Bioenergy,** วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000.

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556), **การประเมินปริมาณการเกิดชีวมวล.** สืบค้นเมื่อ 6 ตุลาคม 2561, จาก http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html

[5] ศกร แสนนิล และปิติ กันตังกุล. (2560), **การจัดการวัตถุดิบสำาหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กมาก กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล จังหวัดปราจีนบุรี.** วิศวกรรมสาร มก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[6] สำนักงานเกษตรจังหวัดกำแพงเพชร. **ข้อมูลพืชจังหวัดกำแพงเพชรและการผลิตพืชจังหวัดกำแพงเพชร ปี 2558/2559.** สืบค้นเมื่อ 28 กันยายน 2561, จาก http://www.kamphaengphet.doae.go.th/

[7] พุฒชิาติ คิดหาทอง วีรินทร์ หวังจรินิรันดร และอัจฉริยา สุริยะวงค์.(2557). **“การศึกษาศักยภาพเชิงพื้นที่ของชีวมวลสำหรับผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย”** , วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน) 2557, วันที่ 4 มกราคม 2557 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 63-76.

[8] Donald J. Bowersox and David J.Closs. (2555). **Supply Chain Logistics Management. M. Bixby Cooper, and John C. Bowersox.**

[9] มณิสรา บารมีชัย, บุศรินทร์ ศรีสตรียานนท์. (2556). **ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่งสินค้า.** เผยแพร่เมื่อ วันพุธ, 29 พฤษภาคม 2556. สืบค้นเมื่อ 30 กันยายน 2561, จากhttp://www.logistics.go.th/index.php/news-information/bol-article/885-1-gujranwala-32

[10] Ismail J. Ismail, Professor Madishetti Srinivas and Dr Hawa Tundui. (2558). **Transaction Costs and Market Participation Decisions of Maize Smallholder Farmers in Dodoma Region, Tanzania.** Global journal of biology agriculture and health sciences. Global Institute for Research and Education.

[11] Henry Vega. (2551). **The Transportation Costs of Fresh Flowers: A Comparison between Ecuador and Major Exporting Countries.** Vice Presidency for Sectors and Knowledge Integration and Trade Sector. Working Paper 06. Int.

[12] Tasminur Mannan Adnan and Amit Das. (2560). **Developing an Optimization Model for Reducing the Transportation Costs of River Vessels (Case Study: Lafarge Surma Cement**

Ltd.). International Journal of Mechanical Engineering and Automation. J. Mech. Eng. Autom. Int.

[13] Annika Knutsson. (2551). **The Future Development of Transportation Costs - A Study for Volvo Logistics**. Engineering Logistics Master of Science Thesis. Lund institute of technology.

[14] นิเวศน์ เหมวชิรวรากร. (2561). **เล่นกับราคาน้ำมัน.** สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2561,จาก http://www.bangkokbiznews.com/blog/detail/644747.

[15] อริศรา ผลวิจิตร์ และวาสนา ศิลป์รุ่งธรรม. (2561). **ปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนทางธุรกิจของบริษัทโลจิสติกส์ ในภาคกลางของประเทศไทย.** วารสารวิชาการการตลาดและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2561. 28-42.

[16] ธนภร จิรพัฒน์ดำรง และไชยยศ ไชยมั่นคง. (2560). **ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้บริการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ กรณี SEALITE GROUP.** บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาการจัดการโลจิสติกส์ วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก.

[17] ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร. (2557). **การลดต้นทุนการขนส่งโดยการจัดเส้นทางพาหนะที่เหมาะสม กรณีศึกษาธุรกิจเครื่องดื่มชานม.** วารสารปัญญาภิวัฒน์ ปีที่ 5 ฉบับพิเศษ ประจำเดือนพฤษภาคม 2557. 272-279.

[18] อำพล นววงศ์เสถียร, สุรัตน์ จันทองปาน, ฎาฎะณี วุฒิภดาดร, สิทธิชัย ฝรั่งทอง, ธิปัตย์ โสตถิวรรณ์ และชัญญญาณ์ ป้อมสา. (2557). **ต้นทุนการขนส่งรวมต่อเนื่องหลายรูปแบบที่มีผลต่อการเลือกรูปแบบการขนส่งของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในจังหวัดสมุทรปราการ.** วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 24 ฉบับที่ 1 ม.ค.- เม.ย. 2557. 135-145.

[19] อำพล นววงศ์เสถียร, สุรัตน์ จันทองปาน, ฎาฎะณี วุฒิภดาดร, สิทธิชัย ฝรั่งทอง, ธิปัตย์ โสตถิวรรณ์ และชัญญญาณ์ ป้อมสา. (2559). **การวิเคราะห์ปัจจัยและความยืดหยุ่นของปัจจัยในการเลือกรูปแบบการขนส่งของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในจังหวัดสมุทรปราการ.** วารสารพัฒนบริหารศาสตร์. ปีที่ 56 ฉบับที่ 1/2559, 109-135.

[20] พชรรร เศรษฐยานนท์. (2554). **การจัดการโลจิสติกส์ที่ส่งผลต่อผลประกอบการของร้านดอกไม้ ในเขตกรุงเทพมหานคร.** บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

[21] ฉมามาศ ประยงค์. (2555). **การปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งละกระจายสินค้า กรณีศึกษา บริษัท ซี-โปร โลจิสติกส์ แอนด์ ดิสทริบิวชั่น จำกัด.** บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

[22] ศกร แสนนิล และปิติ กันตังกุล. (2560), **การจัดการวัตถุดิบสำาหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กมาก กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล จังหวัดปราจีนบุรี.** วิศวกรรมสาร มก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[23] ทองพูน ทองดี และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส(2555). **การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการมอบหมายเส้นทางแบบหลายลำาดับขั้น หลายต้นกำเนิดและหลายจุดประสงค์: กรณศึกษาโรงงานผลิตเอทานอลจากชานอ้อยและกากมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. อุบลราชธานี.

[24] กฤษนนท์ สนธิ(2556). **การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์และรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นสำหรับการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวล กรณีศึกษาจังหวัดสุพรรณบุรี.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี.

[25] Erin Searcy, Peter Flynn, Emad Ghafoori and Amit Kumar(2007). **The Relative Cost of Biomass Energy Transport.** Mechanical Engineering University of Alberta. Canada.

[26] รวมพล จันทศาสตร์ และ อัสรียาภรณ์ สง่าอารีย์กุล(2557). **ปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์ของไทย กรณีศึกษาผู้ประกอบการด้านโลจิสติกส์ ที่จดทะเบียนกับสมาคมผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ.** วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์. ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2557, 9-15.

[27] ศาสตร์ศิลป์ รสสุคนธ์สกุล และ ธีระ ฤทธิรอด(2560). **การวิเคราะห์ต้นทุนด้านโลจิสติกส์สำหรับผู้ประกอบกิจการขนส่งเอกชน กรณีศึกษา หจก. บุรีรัมย์พนมรุ้งขนส่ง.** Journal of Community Development Research (Humanities and Social Sciences) 2017; 10(3).

IE53

Efficiency of the vertical axis wind turbine pump a case studies: Bung Boraphet nature and wildlife education center at the Bung Boraphet waterfowls park in Nakhon Sawan Province

Thirayu Pinthong[1*], Komain maimun[2] and Piyalap Manakit[3]

[1]Energy Engineering Branch, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, Nakhon Sawan, 60000, Thailand

[2]Industrial and Environmental Management Engineering Branch, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, Nakhon Sawan, 60000, Thailand

[3]Electromechanic Manufacturing Engineering Branch, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, Nakhon Sawan, 60000, Thailand

Abstract

The purpose of this research is to study the efficiency of the vertical axis wind turbine pumping system. The pump test at the Bung Boraphet nature and wildlife education center in the Bung Boraphet waterfowls park, Nakhon Sawan Province. The using data from the wind speed recordings, the test area is input to the SOLIDWORK FLOW SIMULATION CFD Analysis program to analyze the probability of rotation of the vertical axis wind turbine used in the test. When analyzing the program, it was found that the right-hand side of the turbine blade, which is the same direction of wind, has higher wind speed than the left-hand blade. As a result, the wind velocity occurs at each position of the turbine blade. It can be concluded that the blade can rotate in a clockwise direction. It has designed and built a vertical axis wind turbine to pump water. A 4-meter high wind turbine is delivered with a shaft of 1 inch through the sprocket to gear the piston pump. The suction pipe size is 1 inch, the head is 5 meters, the tank is 400 liters. The result was recorded in 7 days test from 08.00 to 17.00 hours. The maximum wind speed of 2.83 meters per second. The minimum speed is 2.11 meters per second. The average wind speed is 2.49 meters per second. The maximum speed of turbine blade is 18.01 RPM, the minimum turbine blade speed is 13.43 RPM, the average turbine blade speed is 15.85 RPM. In addition, the maximum torque is 121.50 Nm, the minimum torque is 67.54 Nm, the average torque is 94.06 Nm. The average efficiency of the pumping system with the wind turbine is 0.66.The pumping capacity per test cycle is 68.04 liters.

Keywords: Efficiency, vertical axis wind turbine, pump

*Corresponding author: Tel.: 086-6795141. E-mail address: volt-energy@hotmail.com

Introduction

Wind is a naturally occurring source of clean energy. It can be used indefinitely. Humans try to implementation for a long time. The sails used wind for sailing. The kinetic energy in the wind changes into mechanical energy for the rice mills by grinding or pumping wind energy application. The discovery of windmill rice mills, the mills are commonly used in high mountain areas by the Afghans to coat the grain in the early 7th century BC. The rice mill that used the horizontal spiral wind axis found in the Persian and Tibetan regions around 1000 BCE. The rice mill has spread to the Mediterranean and middle of the European country. The horizontal rotary rice mill found in England around 1150. France in 1180, Belgium in 1190, Germany in 1222 and Denmark in 1259 [1]. In the mid 18th century, the wind Multi-blade turbines were designed in the United States. The diameter of the rotating section starts at 1 meter. Most of the water pumped for agriculture uses wind turbines with metallic blades, the better shape of engineering designs and higher performance. The wind turbines were installed to pump more than 6 million water systems into the United States. Between 1859 and 1930 [2], for Thailand, the Department of Alternative Energy Development of Thailand and energy conservation reported that the potential of wind power in Thailand is 44 Tera-watt hours per year. Based on the data of wind power potential of Thailand is low potential compare with European countries. However, the folk wisdom of the Thai people, the wind turbine is used to draw water from low to high, including windmill turbines that used in rice farms and salt pans. The rural pumping for consumption and for agriculture. So the development of wind turbines for pumping for the wind energy potential areas is another way to develop alternative energy for maximum benefit. A study of research in Thailand involving the pumping of wind turbines was pumping turbine that was built for Mae Pang District Municipality. The turbine test at the Mae Nam stream showed that the flow rate at the head of the 5-meter water was 8.95 liters per minute. The maximum power output of the turbine was 94.85 watts, which was 7.71 percent of the turbine's mechanical efficiency [3]. There is also a research project that tests and evaluates wind turbine axes for pumping. Turbine blades rotate at an average speed was 2 meters per second that pumped at an average speed of 2.5 meters per second or more. The maximum speed measured at 3.9 meters per second and can pump 25.2 liters per hour in one year. The turbine pumped water for the average 220,752 liters per year at the height of the head of 8 meters [4]. The study of wind turbine pumping at a height of 9 meters, the diameter of the 20 blades is 4 meters. The blades are straight blades with a 4-degree angle. It can work at a minimum wind speed of 2 meters per second with the camshaft. The single-stroke piston from the wind turbine test designed worked well. The average flow rate is 20.4 liters per minute, average wind speed is 3.1 meters per second [5]. From research studies, it can be seen that a wind turbine is a machine that can receive the kinetic energy from the motion of the wind to transform into mechanical energy. In this research, mechanical energy is used directly in pumping. Wind Turbines can be divided into two types of axes: Vertical Axis Turbine (VAWT) is a wind turbine with a spindle

and a rotor perpendicular to the horizontal movement of the wind. Horizontal Axis Turbine (HAWT) is a wind turbine with a vertical axis parallel to the horizontal movement of the wind. The propeller is perpendicular to the wind. In this research, a vertical axis turbine (VAWT) was used for the research. The test area in this study was Bung Boraphet, Nakhon Sawan Province. In the Savannah Tropical Climate Influence of the southwest monsoon, the rainfall is prevalent in the rainy season. The northeast monsoon, it is cold and arid in winter. The summer is hot. The average annual temperature is 28.4 degrees Celsius, the average relative humidity is 69.6%. The average rainfall is 1,081.9 mm/year. Bung Boraphet has an area of approximately 2.75 million rai or 4,400 sq.km. The deepest water level is about 5 meters. The low water level in August and peak in October. The water surface is approximately 62,500 rai (100 sq.km.) in the lake. There are about 10 small islands about 900 rai (1.44 sq.km.). Due to the deposition of water plants. It is the largest freshwater pond in Thailand. It covers an area of 132,737 rai, covering 3 districts namely Amphoe Muang Nakhon Sawan, Tha Tako, and Chum Saeng. In the past, Bung Boraphet was named "The North Sea" or "Big Pond" because there are many animals and plants. It is also a tourist attraction in Nakhon Sawan [6]. There are areas around the lake with a lot of trees. The pond has no electricity installed. It is not possible to pump water from the Borapet to water the trees. For this reason, the research team has studied the possibility of pumping water from wind turbines and designed to build a wind turbine pumping water. To study the efficiency of pumping at the Bung Boraphet Wildlife and Nature Education Center in the Bung Boraphet waterfowl, Nakhon Sawan Province. The government office can use the water in Bung Boraphet without electricity. It also promotes the use of alternative energy in tourist destinations so that tourists and villagers in the community are aware of the use of renewable energy in the community for maximum benefit.

Research Methodology

This research has chosen a place to test based on the principle of windswept sea breeze because of the difference in ground and water temperatures. The different heat dissipation properties. This research chose Bung Boraphet, Nakhon Sawan Province is testing because of the coastal area and it is always windy. The simulation used in this study was SOLIDWORK FLOW SIMULATION CFD Analysis software [7]. It was used to analyze the possibility of rotary motion of vertical axial-axis turbine blade. The average wind speed was recorded during the first 7 days of the survey and the wind speed was recorded. The average wind speed is 2.38 meters per second. Then the average wind velocity was calculated as the input of the program SOLIDWORK FLOW SIMULATION CFD Analysis. When analyzing the program, it was found that the right-hand side of the turbine blade, which is the same direction as the wind, has higher wind speed than the left-hand blade. As a result of the wind speed, each position of the turbine blade can be concluded that the average wind speed in the test area The turbine blade can be rotated. It has started to design and build a vertical axis wind turbine. The test took 7 days from 08:00 to 17:00, and recorded the results every 20 minutes. The wind turbine was used to pump water. The structure of the turbine blade is

used to connect one inch of steel to support the wind blade. The wind turbine blade made of zinc sheets. 40 cm wide, 2.30 m length, 1.20 cm high. The details are as shown in Figure 1 and Figure 4. Figure 2 shows the installation of the shaft to wind turbine. Figure 3 shows the design of a mechanical transmission unit from a turbine shaft to a piston stroke pump. Figure 5 shows the composition of the vertical axis wind turbine and piston pump. A 4-meter high wind turbine is delivered with a shaft of 1 inch through the sprocket to gear the piston pump. The suction pipe size is 1 inch, the head is 5 meters, the tank is 400 liters. Figure 6 shows the Tanks that used for testing. Figure 7 shows the water head level results. Figure 8 shows the vertical axis wind turbine pumps assemble.

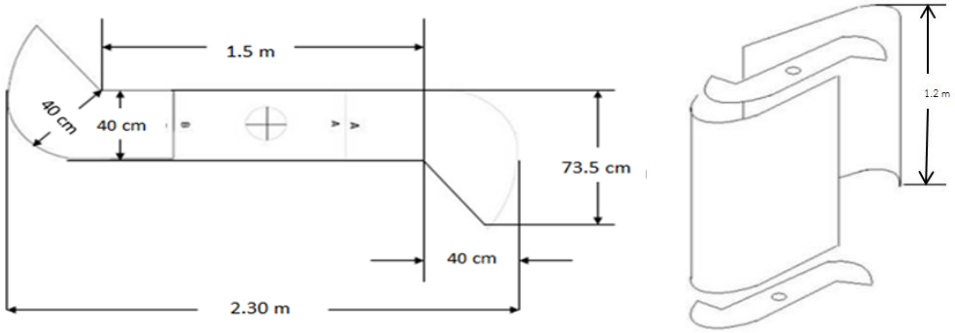


Figure 1 vertical axis wind turbine blade design.

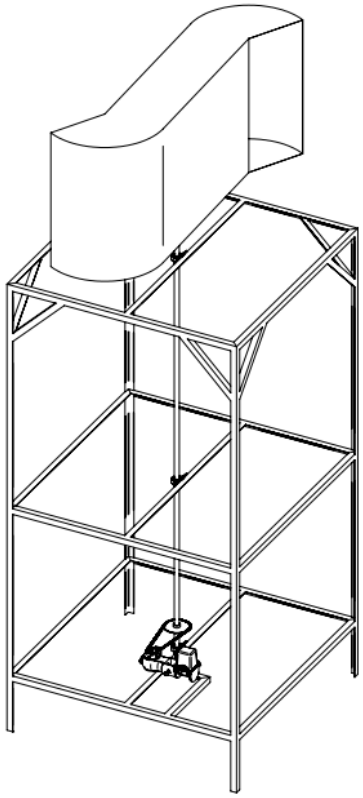


Figure 2 the installation of shaft to wind turbine.

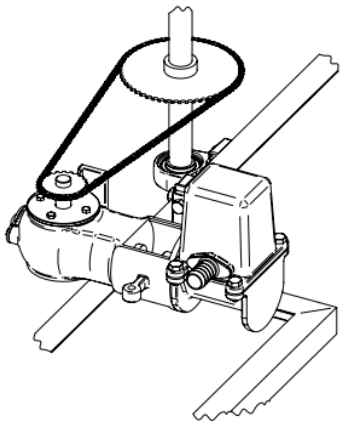


Figure 3 the design of a mechanical transmission unit from a turbine shaft to a piston stroke pump.



Figure 4 the wind turbine zinc sheets blade.





Figure 5 Composition of vertical axis wind turbine and piston pump.



Figure 6 the water tank.



Figure 7 the water head level results.



Figure 8 the vertical axis wind turbine pumps assemble.

Analysis of test results

This study analyzes the data obtained from the results of the parameters as follows:

$$A = b \times h \quad (1)$$

A is the area of wind turbine blade (m^2)

b is the width of the wind turbine blade (m)

h is the depth of the wind turbine blade (m)

The Water force applied to any object can be calculated from the equation as follows:

$$F = (1/2)\rho AV \quad (2)$$

A is the area of the wind turbine blade (m^2)

ρ is the density of air (1.225 kg/m^3)

V is wind speed (m/s)

The Energy efficiency of wind turbines can be calculated from the equation as follows:

$$Y = P_{out}/P_{in} \quad (3)$$

Y is the efficiency of the wind turbine

P_{out} is output power (W)

P_{in} is input power from wind (W)

The power of the wind turbine can be calculated from the equation as follows:

$$P_{in} = (2\P TN)/60 \quad (4)$$

P_{in} is the input power of the wind turbine (W)

T is the average wind torque (N-m)

N is the average wind speed (rpm)

The wind speed of windmills can be calculated from the equation as follows:

$$N = (60 \times V_T)/2\P r \quad (5)$$

N is the wind speed of the wind turbine (rpm)

V_T is the wind speed (m/s)

r is the radius of the wind turbine (m)

$$I = Z_2/Z_1 = n_1/n_2 \quad (6)$$

i is the gear rate

Z is the cog number of the gear

n is the cycle speed

$$P_{out} = \rho gQH \quad (7)$$

P_{out} is output power pumping (W)

ρ is the density of the water (kg/m^3)

Q is the pumping rate of the pump (m^3/s)

H is the total head of the pump (m)

Research results and discussion

The results showed that The average wind speed in 7 days. The average wind velocity was calculated as the input data through the SOLIDWORK FLOW SIMULATION CFD analysis program to analyze the probability of rotational motion of the vertical axis turbine blade used in the test. The average wind speed used in the data input is 2.38 meters per second. The simulation results show that when the wind is passing through the wind turbine at 0 degrees with a constant wind speed of 2.38 meters per second. It is found that the front wind turbine right and left wind speed is similar. However, the right side is the wind trap into the wind. Some of the wind pass the in the wind turbine that resulting in the pressure of the right turbine as shown in Figure 9

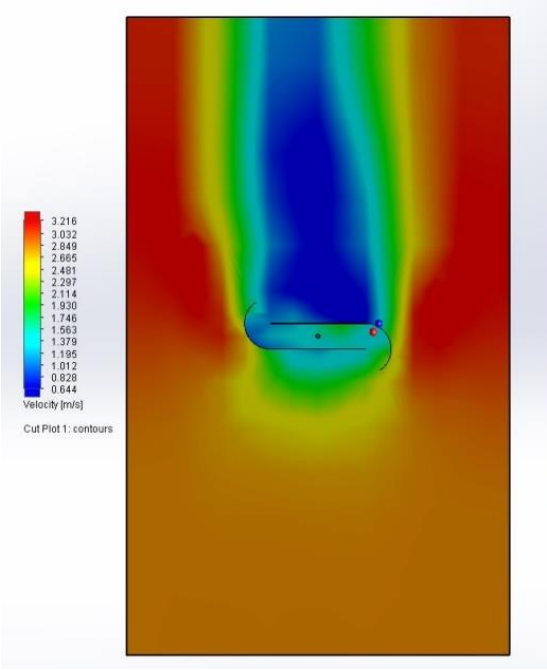


Figure 9 the wind flow through the turbine blade at 0 degrees with a constant wind speed of 2.38 meters per second. (Flow simulation with CFD analysis by Solidwork)

The wind flowed through the turbine blade at a 45-degree angle with a constant wind speed of 2.38 meters per second. It found that the front of the right turbine blade is 2.057 meters per second. In front of the left side, the wind speed was 1.584 meters per second. The pressure at both sides of the turbine blade is uneven that cause the rotational motion of the turbine blade as shown in Figure 10.

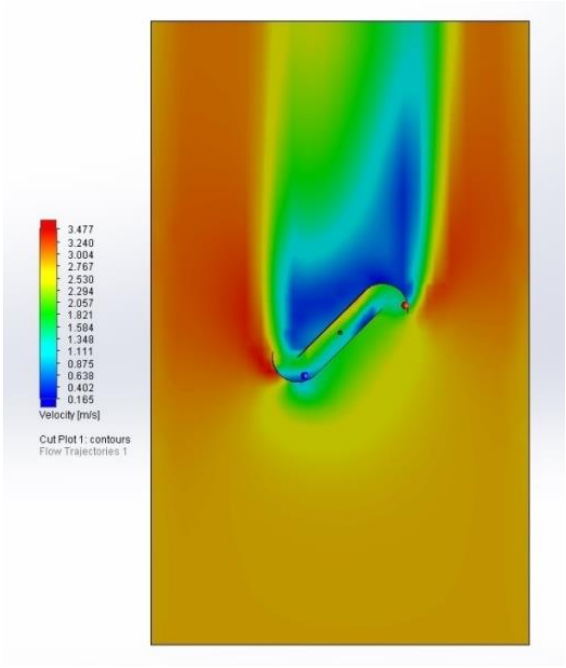


Figure 10 the wind flow through the turbine blade at a 45 degree angle with a constant wind speed of 2.38 meters per second. (Flow simulation with CFD analysis by Solidwork)

The wind flow passes through the turbine blade at 90 degrees with a constant wind speed of 2.38 meters per second (Flow simulation CFD Analysis by Solidwork). It was found that the right side of the wind turbine blade had a velocity of 2.665 m / s. The left side of the blades are facing the speed of 1.930 meters per second. The pressure at both ends of the turbine blades differ, the turbine blades will rotate more in the rotation as shown in Figure 11

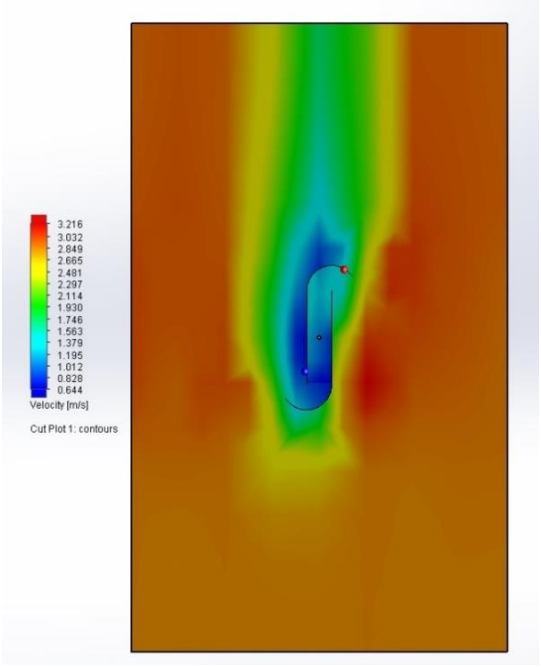


Figure 11 the wind flow through the turbine blade at 90 degrees with a constant wind speed of 2.38 meters per second. (Flow simulation with CFD analysis by Solidwork)

The wind flowed through the wind turbine blade at 135 degrees with a constant wind speed of 2.38 meters per second. It was found that the wind turbine was rotating and rotated with the wind for the next rotation. It was found that the wind in the wind turbine at the right of the speed of 2.114 meters per second, resulting in the rotation of the details as shown in Figure 12.

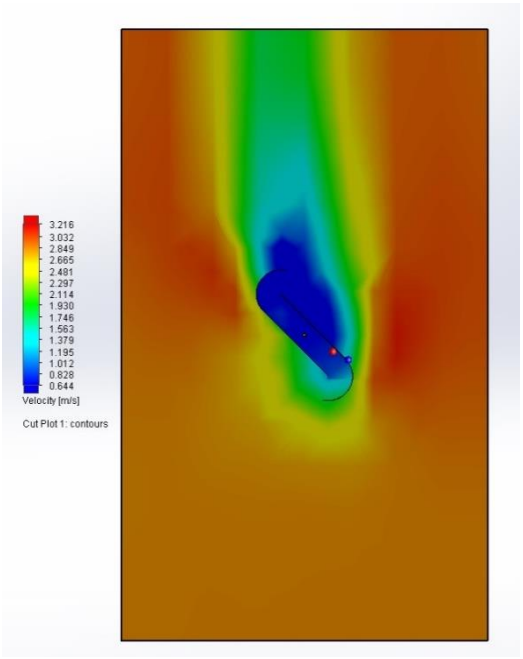


Figure 12 the wind flow through the turbine blade at 135 degrees with a constant wind speed of 2.38 meters per second. (Flow simulation with CFD analysis by Solidwork)

From the simulation of the flow of air by the computer program (flow simulation CFD Analysis by Solidwork), the right hand of the turbine blade, which is the wind side, has higher wind speed than the left-hand wind. As a result of the wind speed at each location of the turbine blade, it is concluded that the turbine blade can rotate in clockwise direction. The results from the flow simulation of CFD analysis by Solidwork, this led to the design and construction of a pumping system using vertical axis wind turbines. The details are shown in Figure 13.

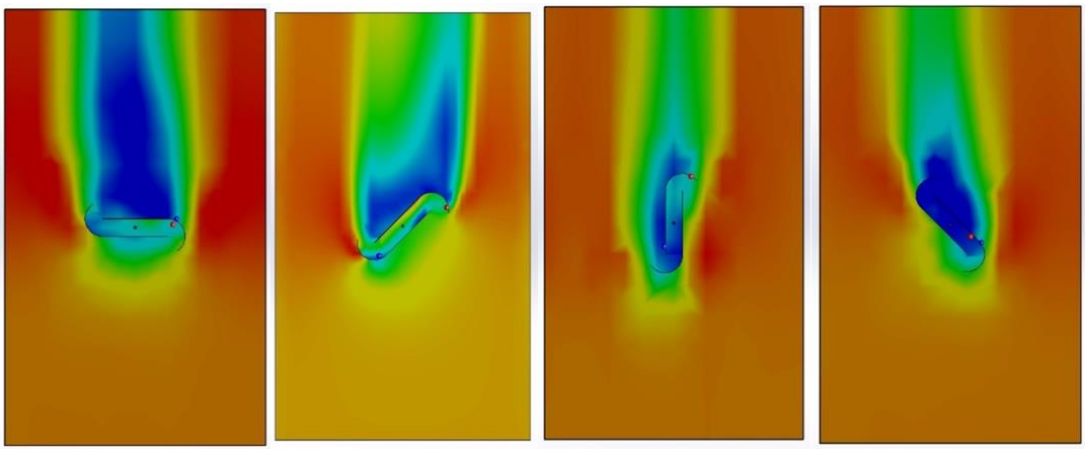


Figure 13 the wind flow through the turbine blade at angles of 0, 45, 90 and 135 degrees with a constant wind speed of 2.38 meters per second. (Flow simulation with CFD analysis by Solidwork)

Table 1 Test results for average wind turbine pumping during the 7-day test from 8:00 am to 5:00 pm

time	Wind speed (m /s)	Wind Turbine Speed (RPM)	Pumping rate using wind turbine pumping (m^3/s)	Torque (N.m)	The power of the wind turbine (W)	Pumping power (W)	Efficiency
8.00	2.11	13.43	0.0009	67.54	94.99	44.15	0.46
8.30	2.13	13.56	0.0012	68.83	97.72	58.86	0.60
9.00	2.15	13.68	0.0012	70.13	100.50	58.86	0.59
9.30	2.29	14.57	0.0015	79.56	121.43	73.58	0.61
10.00	2.16	13.75	0.0013	70.78	101.90	63.77	0.63
10.30	2.47	15.72	0.0020	92.56	152.38	98.10	0.64
11.00	2.38	15.15	0.0011	85.93	136.32	53.96	0.40
11.30	2.46	15.66	0.0014	91.81	150.53	68.67	0.46
12.00	2.48	15.78	0.0019	93.31	154.24	93.20	0.60
12.30	2.54	16.16	0.0020	97.88	165.70	98.10	0.59
13.00	2.42	15.40	0.0019	88.85	143.31	93.20	0.65
13.30	2.63	16.74	0.0021	104.94	183.95	103.01	0.56
14.00	2.70	17.18	0.0030	110.60	199.03	147.15	0.74
14.30	2.83	18.01	0.0034	121.50	229.19	166.77	0.73
15.00	2.76	17.56	0.0035	115.57	212.60	171.68	0.81
15.30	2.53	16.10	0.0022	97.11	163.75	107.91	0.66
16.00	2.82	17.95	0.0039	120.65	226.77	191.30	0.84
16.30	2.57	16.36	0.0022	100.20	171.64	107.91	0.63
17.00	2.83	18.01	0.0039	121.50	229.19	191.30	0.83
Average	2.49	15.85	0.0021	94.06	156.11	103.01	0.66

Table 1 shows the maximum wind speed of 2.83 meters per second. The minimum is 2.11 meters per second. The average is 2.49 meters per second. The maximum turbine blade speed was 18.01 rpm, the lowest was 13.43 rpm, the average was 15.85 rpm, the maximum pumping rate using wind turbine pumping was 0.0039 cubic meters per second. The lowest is 0.0009 cubic meters per second. The average is 0.0021 cubic meters per second. The maximum torque was 121.50 Nm, the lowest was 67.54 Nm, the average was 94.06 Nm. The maximum power from the wind turbine was 229.19 watts, the lowest was 94.99 watts, the average was 156.11 watts. The maximum output power pumping is 191.30 watts, the lowest is 44.15 watts, the average is 103.01 watts. The average efficiency of the pumping system with the wind turbine is 0.66. The water can be pumped at the water level of 5 m. The water volume is 68.04 liters per test.

Conclusion

The result from the simulation of the flow of air by the computer program (flow simulation CFD Analysis by Solidwork), the right hand of the turbine blade, which is the wind side, has higher wind speed than the left hand wind. As a result of the wind speed at each location of the turbine blade, it is concluded that the turbine blade can rotate in clockwise direction. This led to the design and construction of a pumping system using vertical axis wind turbines. The 7-day wind turbine was found to have an average wind speed of 2.49 meters per second. The pumping rate is at 0.0021

cubic meters per second. The average torque is 94.06 Nm. The power output of the turbine blade is 156.11 watts. The pumping power is 103.01 watts. The efficiency of 0.66 is 68.04 liters per the test cycle. The suggestion of this research is the addition solar energy to the pumping system that will increase the volume of water per day.

Acknowledgments

Thank you for the Institute of Research and Development, Nakhon Sawan Rajabhat University to funding for research. Thanks for the energy engineering, Industrial Technology Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology Nakhon Sawan Rajabhat University. Finally, thanks to the Bung Boraphet Nature and Wildlife education Center In the Bung Boraphet waterfowl, Nakhon Sawan Province that supports the tools and equipment used in the research to complete the task well.

References

[1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2561). **Guide to the Development and Investment of Wind Turbines for Electricity.** : Ministry of Energy

[2] Jompob Waewsak. (2558). **Wind Energy**. Bangkok : Chulalongkorn University Press

[3] Samantha Dawnwiangkan et al. (2556). **Design and construction of wind turbine, vertical spindle, propeller type. To apply to pumping water**. Rajamangala University of Technology Lanna

[4] Narubet Nusaipetch and Surin Somprasert. (2555). **Testing and evaluation of wind turbine axis for Pumping.** The 14th TSAE National Conference and the 6th TSAE International Conference : TSAE 2013

[5] Chatchai punya et al. (2555). **Wind turbine pumping**. Faculty of Engineering Department of Mechanical Engineering Srinakharinwirot University

[6] Thirayu Pinthong and Komain maimun. (2559). **Analysis of Efficiency and Development of Solar Energy Boat for Nakhonsawan Bueng Boraphet by Ecotourism with Natural Vehicle.** Proceedings The 8th Science Research Conference. 30-31 May 2016. University of Phayao.

[7] Wasan Janyuag. (2559). **SOLIDWORKS FLOW SIMULATION CFD Analysis by SOLIDWORKS.** AppliCAD Co., Ltd.

IE55

การอบแห้งอาหารทะเลโดยใช้โรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์

Drying Seafood Using by Greenhouse Method

ศรีมา แจ้คำ[1*] ระวิน สืบค้า[2] กรรณพต แก้วสอน[2] และสหภัทร ชลาชัย[3]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 20110

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 20110

[3] สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งอาหารทะเลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะช่วยลดระยะเวลาการอบแห้งอาหารทะเลให้สั้นลงและที่สำคัญ อาหารทะเลอบแห้งที่ได้มีความสะอาดปลอดภัยต่อผู้บริโภค ปราศจากแมลงรบกวน ฝุ่นละออง เหมาะสำหรับกลุ่มเกษตรกรแปรรูปอาหารทะเล และยังสามารถประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นได้ ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งอาหารทะเลโดยใช้โรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์โดยมีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 5 ตารางเมตร ขนาดโรงเรือนทั้งหมดกว้าง 3 เมตร ยาว 4 เมตร มีถาดใส่ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 12 ถาด ความจุรวมของผลิตภัณฑ์ 50 กิโลกรัม ทำการทดสอบอาหารทะเลคือ หอยแมลงภู่ กุ้ง และปลาทู โดยมีการทดสอบเปรียบเทียบกับการตากแห้งแบบปกติ เพื่อหาอัตราการลดความชื้นของอาหารทะเล และคุณภาพด้านสี

จากการทดลองพบว่า ในการอบแห้งอาหารทะเลให้เป็นตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ซึ่งต้องมีความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 20%w.b. การอบแห้งด้วยโรงเรือนจะใช้เวลาที่สั้นกว่า โดยเฉลี่ยจะลดเวลาได้ประมาณ 2 ชั่วโมงในการอบกุ้ง หอยแมลงภู่ และปลา เพราะว่าสามารถลดความชื้นในช่วงเวลาเย็นที่ไม่มีแสงอาทิตย์ได้ด้วย ในขณะที่การตากแห้งต้องอาศัยแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ที่สำคัญ การอบแห้งอาหารทะเลด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ จะได้อาหารทะเลแห้งที่มีความสะอาด ปลอดภัยต่อการบริโภค คุณภาพด้านสีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับวิธีการตากแห้งแบบดั้งเดิม

คำสำคัญ: การอบแห้ง โรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ อาหารทะเล

*Corresponding author: Tel.: 096-7432241. E-mail address: srima_j@hotmail.com

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยมีพื้นที่ส่วนหนึ่งติดชายฝั่งทะเล สินค้าส่วนหนึ่งที่ทำรายได้ให้กับประเทศจึงเป็นสินค้าที่แปรรูปมาจากอาหารทะเล ที่ผ่านมาทำรายได้มูลค่าหลายร้อยล้านบาท รายได้ชาวประมงส่วนใหญ่มาจากการจำหน่ายอาหารทะเล (สดและแห้ง) วิธีการทำแห้งของเกษตรกรในปัจจุบัน มักจะนำอาหารทะเลที่ได้ไปตากแดดบนลานคอนกรีตและตาข่ายเขียวที่ใช้ดักปลา โดยใช้แรงงานคนคอยพลิกกลับเพื่อให้อาหารทะเลนั้นแห้งอย่างทั่วถึง ในแต่ละครั้งจะใช้เวลาประมาณ 1-2 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ถ้าเป็นฤดูฝนจะใช้เวลาในการตากแห้งที่นานกว่าฤดูร้อนมาก ทั้งนี้เพราะว่าอากาศในฤดูฝนมีความชื้นมากกว่าในฤดูร้อน ซึ่งการตากแดดนั้นจะทำให้อาหารทะเลแห้งที่ได้ไม่สะอาด อาจมี

การปนเปื้อนของฝุ่น และจุลินทรีย์บางประเภท ส่วนการใช้เครื่องอบแห้งนั้นจะพบเฉพาะโรงงานที่มีขนาดใหญ่ และมีราคาสูงมาก เกษตรกรไม่สามารถซื้อมาใช้เองได้ ขณะนี้ยังมีนักวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวข้องกับการอบแห้งอาหารทะเลไม่มากนัก ดังนั้นจึงขาดข้อมูลที่เหมาะสมในการออกแบบเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมกับเกษตรกร ซึ่งต้องมีราคาถูก ใช้งานง่าย ระยะเวลาในการอบแห้งต้องสั้นลง คุณภาพตรงตามความต้องการของตลาด และประหยัดพลังงาน และเมื่อได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับวิธีการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีความเหมาะสมในการอบแห้งอาหารทะเลบางชนิด (ปลาหมึก ปลากะตัก) มากที่สุด กล่าวคือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีสดกว่า ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่าเมื่อเทียบกับการตากแดดปกติ ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ใช้งานง่าย และยังประหยัดพลังงานอีกด้วย

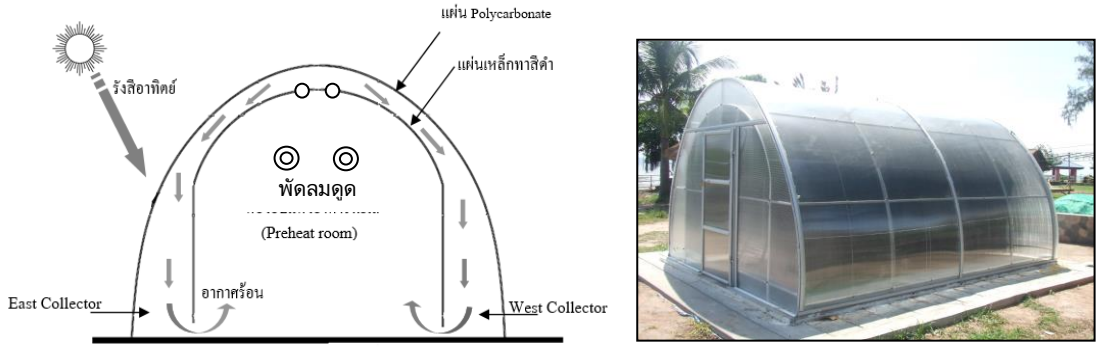
วิธีการแปรรูปอาหารทะเลด้วยวิธีการตากแห้ง จะใช้เวลาค่อนข้างนาน เกษตรกรพบว่า จะใช้เวลาถึง 20-30 ชั่วโมง ถ้าแดดดีๆ แต่ถ้ามีเมฆ อากาศครึ้ม จะใช้เวลาถึง 48 ชั่วโมง ข้อเสียอีกอย่างของการตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์ คือ ความสะอาดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ อาจจะมีฝุ่นละอองลอยมาปนกับอาหารทะเล และอุตสาหกรรมประเภทนี้จำเป็นต้องอาศัยแรงลมพัดผ่านตลอดเวลานอกจากจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วขึ้นแล้ว ยังช่วยระบายในเรื่องกลิ่น เพราะสัตว์ประเภทนี้เมื่อนำไปตากแดดสักระยะหนึ่งพอเริ่มแห้งความชื้นจากตัวมันจะระเหยออกมามีกลิ่นคาวของตัวมันเอง ฉะนั้นหากไม่มีลมพัดผ่านก็จะทำให้กลิ่นคาวนั้นวนเวียนอยู่ภายในเมื่อแห้งสนิทแล้วก็จะทำให้กลิ่นยังคงติดอยู่ จะทำให้เหม็นคาวมาก ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับกลุ่มแปรรูปอาหารทะเล

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ทำการศึกษาวิจัยและสร้างเครื่องอบแห้งอาหารทะเลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก ซึ่งคาดว่าจะช่วยลดระยะเวลาการอบแห้งอาหารทะเลให้สั้นลง อาหารมีความสะอาดปลอดภัยต่อผู้บริโภค ใช้งานง่าย ราคาถูก เหมาะสำหรับกลุ่มเกษตรกรแปรรูปอาหารทะเลและยังสามารถประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆที่ต้องการอบแห้งโดยทั่วไป

วิธีการวิจัย

การออกแบบเริ่มต้นเชิงแนวคิดที่จะพัฒนาระบบอบแห้งอาหารทะเลด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เริ่มจากการพิจารณาจากการทำแห้งแบบเดิมที่เกษตรกรใช้ คือ การตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติ ซึ่งมีข้อเสียเรื่องความสะอาด ที่มาจากฝุ่นละออง แมลงวัน เป็นต้น ดังนั้นจึงออกแบบระบบให้เป็นโรงอบแห้งแบบโปร่งแสง เพื่อให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านแล้วเก็บความร้อนไว้ภายใน โรงอบแห้งต้องปิดมิดชิดเพื่อป้องกันแมลงเข้าไป ดังนั้นโรงอบแห้งนี้นอกจากจะทำให้อุณหภูมิภายในห้องอบสูงขึ้นแล้ว ยังป้องกันฝุ่นละอองและแมลงต่างๆ

ผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างของตัวเรือนกระจกเป็นห้องสี่เหลี่ยมยาว หลังคาเป็นรูปโค้งซึ่งสร้างง่ายไม่สิ้นเปลืองวัสดุและทนต่อแรงลม โครงของเครื่องอบแบบเรือนกระจกประกอบด้วยโครงเหล็ก ที่ยึดติดกับพื้นคอนกรีตเพื่อให้แข็งแรงและทนต่อสภาพอากาศ มีประตูอยู่ด้านหน้า เพื่อความสะดวกในการนำผลิตภัณฑ์เข้าและออก โดยหลักการ คือ ความร้อนในโรงอบแห้งได้มาจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านแผ่นโปร่งแสงเข้ามา ทำให้เกิดการสะสมความร้อนภายในและถูกถ่ายเทไปสู่ห้องอบแห้งอาหารทะเล โดยในตัวเรือนกระจกจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังภาพที่ 1 ส่วนด้านข้างจะเป็นส่วนสะสมความร้อนด้านตะวันออก (East Collector Zone) และด้านตะวันตก (West Collector Zone) และส่วนที่อยู่ตรงกลางเป็นส่วนของห้องอบแห้งและส่วนสะสมความร้อน (Preheat Room) ที่มีชั้นวางถาดสำหรับใส่อาหารทะเลวางอยู่ อากาศร้อนที่ถูกดูดผ่านจากส่วนที่เป็น Collector Zone ทั้งสองข้างเข้าไปเพื่อลดความชื้นของอาหารทะเล จะถูกดูดออกไปทิ้งยังภายนอกโรงเรือนด้วยพัดลมดูดอากาศ



ภาพที่ 1 โซนการอบแห้งของโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เนื่องจากอาหารทะเลซึ่งวัตถุดิบส่วนใหญ่จะมีลักษณะค่อนข้างแบน จึงได้นำเอาทฤษฎีการอบแห้งแบบชั้นบางมาใช้ในการคำนวณออกแบบโรงเรือน ดังนั้นจะกำหนดว่าเครื่องแห้งนี้สามารถอบแห้งอาหารทะเลที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 75%w.b. ได้ครั้งละประมาณ 50 กิโลกรัม โดยทำการอบแห้งให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 20%w.b. ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จากการกำหนดดังกล่าวสามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำในผลิตภัณฑ์ จากสมการ

$$m_w = m_i\left(\frac{M_i - M_f}{100 - M_f}\right) \quad (1)$$

เมื่อ m_w คือ มวลของน้ำที่ต้องการระเหย[kg], m_i คือ มวลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง [kg], M_i คือ ความชื้นของผลิตภัณฑ์[% w.b.] และ M_f คือ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ [% w.b.]

ในการทดลองอบแห้งอาหารทะเลมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและเก็บข้อมูลต่างๆ ดังนี้ 1. สายเทอร์มอคัปเปิลชนิด เค (K type thermocouple) สำหรับใช้วัดอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ในโรงอบแห้ง(ก) 2. เครื่องวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (Pyranometer) แบบเทอร์มอไพล์ (Thermopile) รุ่น CM11 ของ Kipp & Zonen (ข) 3. เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ Yokogawa (30 Channel) (ค) 4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล สำหรับชั่งน้ำหนักอาหารทะเล(ง) 5. ตู้อบไฟฟ้า สำหรับหามวลแห้งของอาหารทะเล(จ) 6. อุปกรณ์วัดความเร็วลมแบบ Hot wire(ฉ) 7. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb Temperature) (ช) และ 8.อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแวดล้อม (Ambient Temperature) (ซ)



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้เก็บผลในการทดลอง

ในการทดลองอบแห้งอาหารทะเลด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้น อาหารทะเลที่ใช้อบแห้งคือ กุ้ง ปลาทู และหอยแมลงภู่ ซึ่งขั้นตอนการเตรียมวัสดุอบแห้งและวิธีการอบแห้งมีดังนี้

การเตรียมกุ้ง ขั้นที่ 1 นำกุ้งทะเลมาล้างให้สะอาด แล้วใส่ตะกร้า ผึ่งไว้ให้สะเด็ดน้ำ ขั้นที่ 2 ต้มน้ำ ใส่เกลือเม็ดประมาณ 15 - 20 กรัม ต่อน้ำ 5 ลิตร เมื่อน้ำเดือดนำกุ้งลงไปต้มให้สุก รอประมาณ 15- 20 นาที ใช้สวิงตักกุ้งขึ้นใส่ภาชนะ พักไว้ให้สะเด็ดน้ำอีกประมาณ 20 -30 นาที ขั้นที่ 3 การอบแห้ง นำกุ้งที่ต้มสุกมาวางบนตะแกรงตาข่าย จากนั้น

นำเข้าโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ต้องคอยพลิกกุ้งทุกๆ ครึ่งชั่วโมงเพื่อให้กุ้งแห้งสม่ำเสมอ กุ้งที่นำมาทดลองต้องเป็นกุ้งที่สด ไม่แช่น้ำแข็ง เพราะถ้ากุ้งสด จะทำให้กุ้งมีสีแดงสวย และมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ ในขั้นตอนการล้างก่อนทำการต้ม จะต้องเลือกเศษลูกปลาเล็กๆ ที่ติดมาออกให้หมด เพราะเศษลูกปลาตัวเล็ก จะทำให้กุ้งมีกลิ่นคาวได้

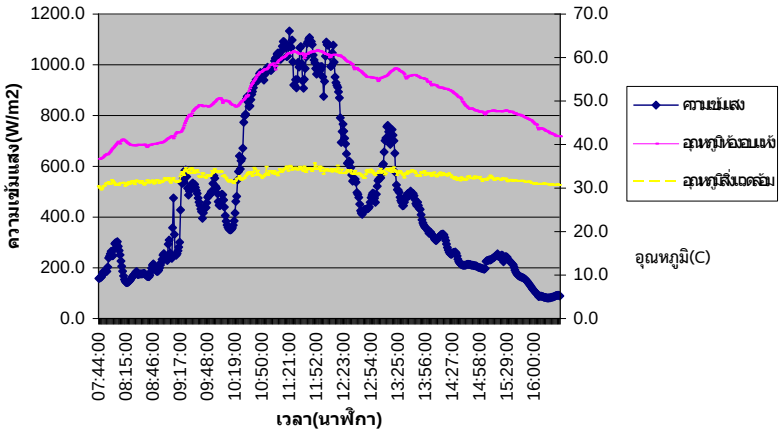
การเตรียมปลาทูและหอยแมลงภู่ ขั้นตอนแรกนำปลาทูมาผ่าครึ่ง โดยนำไส้ทิ้งให้หมด สำหรับหอยแมลงภู่นำมาแกะเอาเนื้อหอยออก แล้วนำไปแช่น้ำไว้ ประมาณ 15 นาที จากนั้นนำปลาทูและหอยแมลงภู่ที่ได้ไปวางเรียงบนตะแกรง แล้วนำตะแกรงเข้าไปในห้องอบแห้ง ปิดประตูห้องอบแห้งให้สนิทเพื่อป้องกันแมลงและสัตว์ต่างๆ เข้าไปภายในในการอบแห้งอาหารทะเลความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ ที่สามารถจะเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้โดยไม่เสียหายจากเชื้อรา คือ ความชื้นต้องเกินร้อยละ 20 ของน้ำหนัก ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม



ภาพที่ 3 การเตรียมผลิตภัณฑ์ในการอบแห้ง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

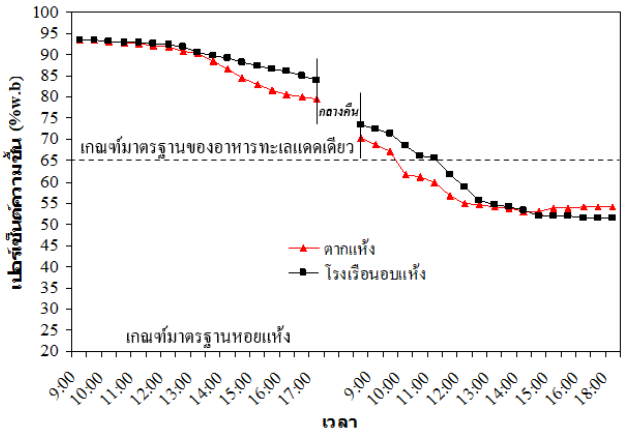
จากภาพที่ 4. แสดงกราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเทียบกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม พบว่า มีความแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน โดยเฉลี่ยแล้วจะแตกต่างกันประมาณ 8 °C และจะมีความแตกต่างกันมากที่สุดในช่างเวลา 11.00 -12.00 น. มากกว่า 15 °C ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าว รังสีอาทิตย์มีความเข้มมากที่สุด ซึ่งก็ถือได้ว่าสอดคล้องกับอุณหภูมิที่วัดได้จากการทดลอง จากข้อสังเกตในกราฟ ความแตกต่างอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งกับสิ่งแวดล้อมช่วงเช้าจะน้อยกว่าในช่วงเย็น ซึ่งก็เป็นผลเนื่องมาจากความร้อนที่สะสมภายในห้องอบแห้งนั่นเอง



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

ผลการอบแห้งหอยแมลงภู่ในภาพที่ 5 ความชื้นเริ่มต้น 93.32% w.b. วันแรกของการอบแห้งหอยแมลงภู่วิธีการตากแห้งมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ กล่าวคือ ความชื้นของหอยแมลงภู่ลดลงเร็วกว่า ในขณะที่ความชื้นของหอยแมลงภู่ที่อบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์จะลดลงอย่างช้าๆ ทั้งนี้เพราะว่าความชื้นส่วนใหญ่จะเกาะอยู่บริเวณผิวของวัสดุอบแห้งและเมื่อความร้อนจากแสงอาทิตย์สัมผัสและลมร้อนที่พัดผ่านโดยตรงจึงทำความชื้นภายในวัสดุอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งแตกต่างจากการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความร้อนจากแสงอาทิตย์ต้องผ่านแผ่นโพลีคาบอเนตก่อนแล้วสะสมความร้อนอยู่ในช่องว่างรับรังสีส่งผลให้อุณหภูมิในบริเวณดังกล่าวสูงขึ้น แต่งยังไม่ได้สัมผัสกับอาหารทะเลโดยตรง เพราะว่ามีแผ่นเหล็กทาสีดำคลุมอีกชั้นหนึ่ง

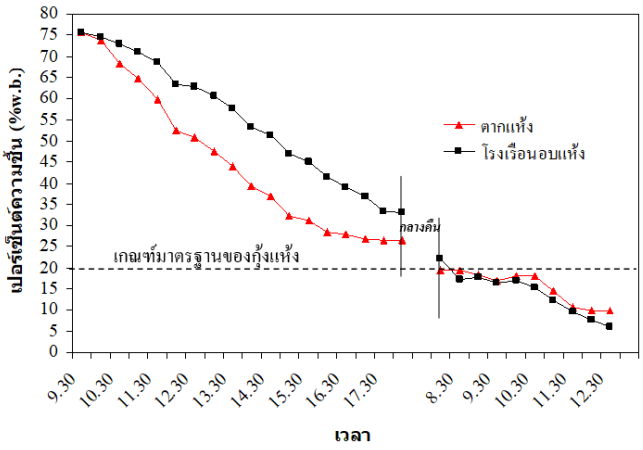
ความร้อนจะสัมผัสกับอาหารทะเลโดยใช้พัดลมระบายอากาศดูดความร้อนที่สะสมอยู่รอบๆ แผ่นเหล็กที่ทาสีดำ(แหล่งสะสมความร้อน) ซึ่งมีอุณหภูมิสูงตามความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น การอบแห้งอาหารทะเลจะเกิดขึ้นโดยการใช้พัดลมระบายอากาศนำลมร้อนที่สะสมอยู่บริเวณรอบๆ แผ่นเหล็ก ไหลเข้าด้านล่างผ่านชั้นถาดวัสดุ (อาหารทะเล) นำอากาศชื้นออกสู่ภายนอกโรงเรือน จึงทำให้ในช่วงแรกของการอบแห้งความชื้นของอาหารทะเลลดลงในอัตราที่ต่ำกว่าวิธีการตากแห้ง แต่เมื่อความเข้มของแสงอาทิตย์ลดลง ความร้อนที่สะสมอยู่บริเวณแผ่นเหล็กทาสีดำ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศแวดล้อม จึงส่งผลให้อัตราการอบแห้งของการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์สูงกว่าการตากแห้ง แต่ถ้าเปรียบเทียบความชื้นสุดท้ายของมาตรฐานอาหารทะเลแดดเดียว (ไม่เกิน 65%w.b.) เวลาที่ใช้ในการอบแห้งของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ถ้าทำเป็นอาหารทะเลแห้ง ซึ่งมีความชื้นไม่เกิน 20%w.b. แนวโน้มการอบแห้งด้วยโรงเรือนจะใช้เวลาที่สั้นกว่า เพราะว่าสามารถลดความชื้นในช่วงเวลาเย็นที่ไม่มีแสงอาทิตย์ได้ด้วย ในขณะที่การตากแห้งต้องอาศัยแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว เมื่อถึงเวลาตอนเย็นความชื้นจะไม่ลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าช่วงเย็นความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกสูงกว่าช่วงเวลากลางวัน จึงทำให้ไม่สามารถลดความชื้นได้ ซึ่งแตกต่างจากโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีอุณหภูมิภายในสูงกว่าภายนอกเนื่องจากมีความร้อนสะสมอยู่ภายในโรงเรือนจำนวนหนึ่งส่งผลให้อุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าภายนอก จึงทำให้สามารถลดความชื้นอาหารทะเลได้ในช่วงเวลาดังกล่าว



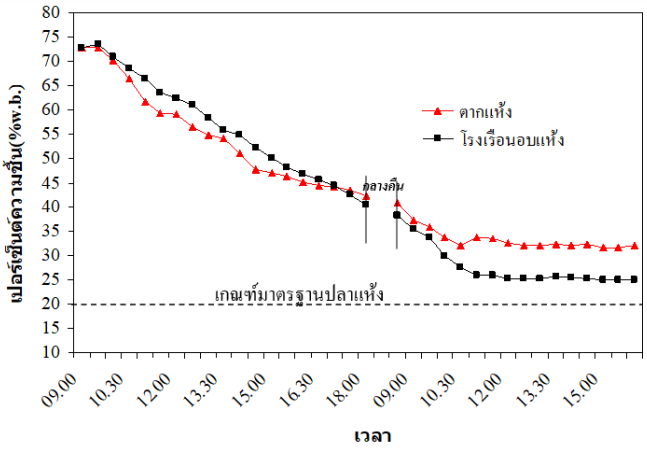
ภาพที่ 5 เปรียบเทียบการอบแห้งหอยแมลงภู่โดยใช้โรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์

จากภาพที่ 6 ผลการอบแห้งกุ้งทรายที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 75%w.b. ด้วยวิธีการตากแห้งและอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าอัตราการอบแห้งของกุ้งที่ตากแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์มากในวันแรกของการอบแห้ง แต่ในวันที่สองของการอบแห้ง อัตราการอบแห้งของกุ้งที่อบแห้งด้วยโรงเรือนกลับสูงกว่าวิธีการตากแห้ง อาจเป็นเพราะว่าความชื้นที่อยู่บริเวณผิวกุ้งที่ระเหยออกได้ง่ายได้ออกไปหมดแล้วในวันแรก ในวันที่สองคงเหลือเฉพาะความชื้นที่อยู่ในตัวกุ้งซึ่งจะระเหยออกจากตัวกุ้งได้ยากกว่า ทำให้ความชื้นลดลงในอัตราที่ต่ำกว่า และในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีการระบายความร้อนที่สะสมอยู่บริเวณรอบๆ (สูงกว่าอากาศแวดล้อม) อย่างต่อเนื่อง ผ่านชั้นถาดใส่วัสดุอบแห้ง ส่งผลให้ความชื้นของวัสดุสามารถลดลงได้มากกว่าการตากแห้ง

ผลการแห้งปลาทูที่ใช้เวลาอบแห้งสองวันแสดงดังภาพที่ 7 พบว่าเส้นลักษณะการอบแห้งมีความคล้ายกันกับการอบแห้งหอยแมลงภู่และกุ้ง จากการทดลองอบแห้งอาหารทะเลด้วยโรงเรือนพบว่าความเข้มแสงอาทิตย์มีอิทธิพลโดยตรงต่ออัตราการอบแห้งอาหารทะเลมาก ข้อดีของการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อีกทั้งยังทำให้อาหารทะเลสะอาดกว่าวิธีการตากแห้งมาก ไม่มีการปนเปื้อนของฝุ่นละออง และจุลินทรีย์ ปลอดภัยต่อการนำไปบริโภคมากกว่า



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบการอบแห้งกุ้งโดยใช้โรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบการอบแห้งปลาทูโดยใช้โรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง

Drying process		Color						
		L	a	b	DL	Da	Db	DE
ปลาทู	ตากแดด	23.01	9.7	12.68	5.11	4.62	3.81	7.87
	โรงเรือน	24.83	8.92	11.76				
หอยแมลงภู่	ตากแดด	35.04	5.21	16.02	0.27	4.47	1.85	7.40
	โรงเรือน	35.31	9.68	17.87				
กุ้ง	ตากแดด	48.94	13.13	27.84	5.96	4.8	3.94	9.65
	โรงเรือน	46.41	11.49	24.7				

การทดสอบคุณภาพด้านสี ทดสอบสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ KONICA MINOLTA รุ่น CM-3500d เป็นการทดสอบสีแบบ L,a,b โดยจะนำค่าความแตกต่างของสีผลิตภัณฑ์ก่อนการอบแห้งและหลังจากอบแห้งมาเปรียบเทียบกัน เพื่อดูว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งที่สภาวะใดมีค่า DE น้อยที่สุด ซึ่งจะถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้งมากที่สุด โดยใช้แสง daylight ที่6,500 k ในการวัดสี

$$DE = \sqrt{DL^2 + Da^2 + Db^2} \quad (2)$$

โดยที่ DE คือ ความแตกต่างกันของสี, DLคือ ความแตกต่างของความสว่าง, Da คือความแตกต่างของความเป็นสีแดงถึงเขียว และ Db คือความแตกต่างของความเป็นสีเหลืองถึงน้ำเงิน

จากการทดสอบคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งในตารางที่ 1 พบว่าลักษณะของสีผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้โรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อเทียบกคุณภาพด้านสีของการตากแห้งแบบดั้งเดิม อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อสังเกตค่า DE จะเห็นว่ามีความแตกต่างกันไม่มากนักอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์กับวิธีการตากแห้ง พบว่าในช่วงแรกวิธีการตากแห้งจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่า เพราะว่าความชื้นส่วนใหญ่จะเกาะอยู่บริเวณผิวของวัสดุอบแห้งและเมื่อความร้อนจากแสงอาทิตย์สัมผัสและลมร้อนที่ค่อนข้างแรงพัดผ่านโดยตรง จึงทำความชื้นภายในวัสดุอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งแตกต่างจากการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความร้อนจากแสงอาทิตย์ต้องผ่านแผ่นโพลีคาบอเนตก่อนแล้วสะสมความร้อนอยู่ในช่องว่างรับรังสีส่งผลให้อุณหภูมิในบริเวณดังกล่าวสูงขึ้น แต่ยังไม่ได้สัมผัสกับอาหารทะเลโดยตรง เพราะว่ามีแผ่นเหล็กทาสีดำคลุมอีกชั้นหนึ่ง ความร้อนจะสัมผัสกับอาหารทะเลโดยใช้พัดลมระบายอากาศดูดความร้อนที่สะสมอยู่รอบๆ แผ่นเหล็กที่ทาสีดำ ซึ่งมีอุณหภูมิสูงตามความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น การอบแห้งอาหารทะเลจะเกิดขึ้นโดยการใช้พัดลมระบายอากาศนำลมร้อนที่สะสมอยู่บริเวณรอบๆ แผ่นเหล็ก ไหลเข้าด้านล่างผ่านชั้นถาดผลิตภัณฑ์ นำอากาศชื้นออกสู่ภายนอกโรงเรือน จึงทำให้ในช่วงแรกของการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์มีอัตราที่ต่ำกว่าวิธีการตากแห้ง แต่เมื่อความเข้มของแสงอาทิตย์ลดลง ความร้อนที่สะสมอยู่แผ่นเหล็กทาสีดำกับแผ่นโพลีคาบอเนต ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศแวดล้อม ช่วยให้อัตราการอบแห้งของการอบแห้งด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์สูงกว่าวิธีการตากแห้ง แต่ถ้าเปรียบเทียบความชื้นสุดท้ายของมาตรฐานอาหารทะเลแดดเดียวซึ่งไม่เกิน 65%w.b. เวลาที่ใช้ในการอบแห้งของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน

สำหรับอาหารทะเลแห้งที่เป็นปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ซึ่งต้องมีความชื้นไม่เกิน 20%w.b. การอบแห้งด้วยโรงเรือนจะใช้เวลาที่สั้นกว่า โดยเฉลี่ยจะลดเวลาได้ประมาณ 2 ชั่วโมงในการอบกุ้ง หอยแมลงภู่ และปลา เพราะว่าสามารถลดความชื้นในช่วงเวลาเย็นที่ไม่มีแสงอาทิตย์ได้ด้วย ในขณะที่การตากแห้งต้องอาศัยแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ที่สำคัญ การอบแห้งอาหารทะเลด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ จะได้อาหารทะเลแห้งที่มีความสะอาดปลอดภัยต่อการบริโภค คุณภาพด้านสีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับวิธีการตากแดดแบบดั้งเดิม

เอกสารอ้างอิง

[1] Janjai,S. and Kaewparsert,T.(2006). Design and performance of a solar tunnel dryer with a polycarbonate cover. **International Energy Journal 7**, pp. 187-194.

[2] D. Jain and G.N. Tiwari, (2004). Effect of greenhouse on crop drying under natural and forced convection II. Thermal modeling and experimental validation. **Energy Conversion and Management**, Vol. 45, pp. 2777-2793.

[3] Janjai, S., Lamlert, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Boonrod, Y., Haewsungcharern, M., Bala., B.K., Nagle, M., Muller, J. (2009). Solar drying of peeled longan using a side loading type solar tunnel dryer: Experimental and simulated performance, **Drying Technology 27**. 595-605.

[4] D. Jain, (2005). Modeling the performance of greenhouse with packed bed thermal storage on crop drying application. **Journal of Food Engineering**. Vol. 71, pp. 170-178.

IE56

การอบแห้งเนื้อไก่ด้วยระบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

Chicken Drying using Superheated Steam

ศรีมา แจ้คำ[1*] ระวิน สืบค้า[2] กรรณพต แก้วสอน[2] และสหภัทร ชลาชัย[3]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 20110

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 20110

[3] สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยี คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งเนื้อไก่ โดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน โดยทำการทดลองอบแห้งเนื้อไก่ที่อุณหภูมิ 120-160 °C เพื่อลดความชื้นจากความชื้นเริ่มต้น 330 % มาตรฐานแห้ง ให้เหลือความชื้น 20% มาตรฐานแห้ง ซึ่งเครื่องอบแห้งเนื้อไก่สามารถอบเนื้อไก่ได้ครั้งละ 50 กิโลกรัม คุณภาพเนื้อไก่ที่นำมาใช้ประเมินคือ คุณสมบัติด้านสี การหดตัว และการคืนตัวของผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งเนื้อไก่ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความจุ 50 กิโลกรัม อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 140°C เนื่องจากมีคุณภาพด้านสีและอัตราการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อัตราการหดตัวอยู่ที่ 69% และการคืนตัวอยู่ที่ 49% มีอัตราการอบแห้งที่ 25.98 กิโลกรัมน้ำระเหยต่อชั่วโมง ความสิ้นเปลืองพลังงาน 3.19 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย และมีประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งสูงสุดอยู่ที่ 81.4 %

คำสำคัญ: การอบแห้ง เนื้อไก่อบแห้ง ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

*Corresponding author: Tel.: 096-7432241. E-mail address: srima_j@hotmail.com

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการบริโภคเนื้อไก่ในชีวิตประจำวันเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเนื้อไก่ ยุ่ยนุ่ม ย่อยง่าย ปรุงอาหารได้หลายชนิด เนื้อไก่มีรสชาดดีเพราะมีความเป็นกรดและน้ำหวานในเลือดที่แทรกอยู่ตามเนื้อไก่ นอกจากนี้เนื้อไก่ยังดูดซับเครื่องปรุงรสเข้าไปซุ่มอยู่ในเนื้อได้ดีจึงทำให้อาหารมีรสชาติเข้มข้นดีกว่าเนื้อสัตว์ชนิดอื่นๆ และยังเป็นแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางอาหารสูง เช่น โปรตีน ซึ่งในโปรตีนจะมีกรดอะมิโนหลายชนิด มีวิตามินเกลือแร่หลายชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกายและมีแคลอรีต่ำและเนื้อไก่นับว่ามีผู้นิยมบริโภคสูงขึ้นทั่วโลก เนื่องจากการบริโภคเนื้อไก่สูงมากขึ้นในปัจจุบันจึงได้มีการผลิตเนื้อไก่มากเกินความต้องการจึงจำเป็นต้องมีการถนอมหรือแปรรูปเนื้อไก่เพื่อเก็บรักษาด้วยวิธีการต่างๆซึ่งจะช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษา และทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์รวมทั้งคุณค่าทางอาหารไม่สูญเสียไป ในปัจจุบันปริมาณความนิยมในการบริโภคอาหารแห้งอาหารกึ่งสำเร็จรูปมีมากขึ้น เนื่องจากความสะดวกสบายในการซื้อบริโภคและสามารถเก็บได้เป็นระยะเวลานาน การนำเนื้อไก่มาแปรรูปด้วยวิธีการอบแห้งเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารกึ่งสำเร็จรูป เช่น โจ๊กกึ่งสำเร็จรูปนั้น จะสามารถเพิ่มคุณค่าให้เนื้อไก่ได้ ซึ่งนอกจากการอบแห้งแล้วยังอีกหลายวิธี คือ การตากแห้ง โดยใช้แสงแดด แต่ใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน และยังมีปัญหาทางด้านคุณภาพของ

ผลิตภัณฑ์เนื่องจากฝุ่นและแมลง ด้วยเหตุนี้จึงได้นำไอน้ำร้อนยวดยิ่งมาใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้งแทนแสงแดดและอากาศร้อน เครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งลดเวลาในการอบแห้งได้ด้วย

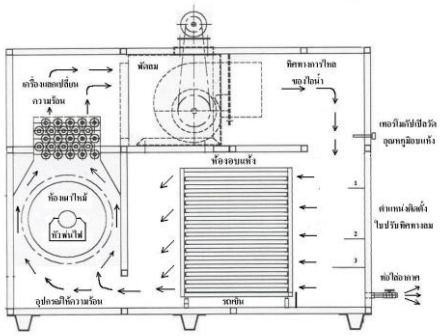
สุดาทิพย์ คงขำ[1] ได้ศึกษาการอบแห้งเนื้อไก่ปรุงรสแบบสองขั้นตอน คือ การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งตามด้วยปั๊มความร้อน และเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงอย่างเดียว เนื้อไก่ก่อนทำการอบแห้งจะปรุงรสด้วยเครื่องปรุงรสซึ่งมีความเข้มข้น 2% โดยมวล และการอบแห้งเนื้อไก่ปรุงรสจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 240-280%d.b. จนกระทั่งมีความชื้น 40%d.b. พบว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงขั้นตอนเดียวนั้นจะใช้เวลาในการอบแห้งที่เร็วกว่าการอบแห้งแบบสองขั้นตอน โดยที่การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะอบแห้งได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ คุณภาพด้านสีของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงขั้นตอนเดียวนั้นพบว่า ที่อุณหภูมิสูงจะให้ค่าสีแดงมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ณรงค์ อึ้งกิมบ้วน[3] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งเนื้อหมูด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน โดยทำการศึกษาจลนศาสตร์ของการอบแห้งสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นการเปลี่ยน แปลงสีของผลิตภัณฑ์ภายใต้เงื่อนไขการทดลอง คือ อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน 130, 140, 150 และ160°C ความเร็วตัวกลางเท่ากับ 2.1 m/s และความดันของระบบอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 106 kPa พบว่าเมื่อทำการอบแห้งเนื้อหมูด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จะให้อัตราการอบแห้งต่ำกว่าเมื่ออบแห้งด้วยอากาศร้อน เนื่องจาก ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของเนื้อหมูเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง มีค่าน้อยกว่าเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ในขณะที่เนื้อหมูที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะมีสีแดงเข้มกว่าเมื่อผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ดลฤดี [2] ได้สร้างเครื่องอบแห้งแบบตู้ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน เพื่อทดลองศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งและคุณภาพของกุ้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยทำการทดลองอบแห้งกุ้งขาวที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 120-180°C และอุณหภูมิลมร้อน 70-140°C เพื่อลดความชื้นจากประมาณ 82% w.b. ให้เหลือประมาณ 20% w.b. และพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการอบแห้ง คุณภาพกุ้งหลังการอบแห้งที่นำมาใช้ในการประเมินคือการหดตัว สี และการประเมินด้วยประสาทสัมผัสโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เหมาะสมต่อการอบแห้งกุ้งอยู่ในช่วงระหว่าง140-160°C และอุณหภูมิอินเวอร์ชัน ของกุ้งน่าจะอยู่ประมาณ140°C และช่วงอุณหภูมิดังกล่าวพบว่าคุณภาพของกุ้งในด้านต่าง ๆ อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และทวีชัย [4] ได้สร้างเครื่องอบแบบตู้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพื่อทดลองศึกษาจลนพลศาสตร์ การอบแห้งหน่อไม้เปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับการ อบแห้งด้วยลมร้อน พบว่าอัตราการ อบแห้งหน่อไม้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120°C มีค่าต่ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน และมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นอยู่ในช่วง 140-160°C ดังนั้นอุณหภูมิอินเวอร์ชั่นจะอยู่ในช่วงประมาณ 140-160°C ซึ่งอัตราการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและลมร้อนที่อุณหภูมิสูงนั้น จะมีค่าสูงกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ทำนายอัตราการอบแห้งซึ่งมีสมมติฐาน การแพร่ความชื้นและการถ่ายเทมวลที่ผิวเป็นกลไกควบคุมการ อบแห้งสามารถทำนายการอบแห้งได้ค่อนข้างดีทั้งการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและลมร้อน จากผลการคำนวณอัตราการอบแห้งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าความเร็วที่เหมาะสมในการอบแห้งหน่อไม้อยู่ในช่วง 1.5-2 m/s คุณภาพในด้านสีของหน่อไม้หลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและลมร้อน โดยใช้อุณหภูมิสูงตลอดการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดีนักเมื่อเทียบกับหน่อไม้แห้งที่มีจำหน่าย ขณะที่สีของหน่อไม้จากการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิต่ำอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

วิธีการวิจัย

ในการอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งนั้น ลักษณะของวิธีการอบแห้งที่ใช้จะเป็นแบบกะ (batch) เครื่องอบแห้งที่ใช้เป็นเครื่องอบแห้งแบบตู้ (Cabinet dryer) ชนิดถาดอยู่กับที่ ดังแสดงในภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งประกอบด้วย พัดลม ห้องอบแห้ง และอุปกรณ์ให้ความร้อน ซึ่งติดตั้งหัวพ่นไฟ (Burner) โดยใช้แก๊ส LPG เป็นแหล่งให้ความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการอบแห้ง ไอน้ำที่นำมาใช้ในการอบแห้งได้จากการระเหยน้ำของวัสดุที่นำมาอบแห้ง โดยมีหลักการทำงาน

ของเครื่อง อบแห้งแบ่งออกเป็น3ช่วงดังนี้ ในช่วงแรกเป็นการอุ่นอากาศในเครื่องอบแห้งให้ร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งช่วงที่2เป็นการอบแห้งวัสดุโดยเริ่มต้นเป็นการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ขณะเดียว กันวัสดุก็ถูกทำให้ร้อนจนถึง 100°C ซึ่งจะเกิดการระเหยของน้ำขึ้นภายใต้ความดันบรรยากาศ ไอน้ำที่ระเหยออกมาจากวัสดุจะผสมกับอากาศแล้วถูกระบายออกไปบางส่วนทางท่อไล่อากาศ และในขณะเดียวกันก็จะทำการอบแห้งไปพร้อมๆกัน ทำให้สัดส่วนของอากาศภายในเครื่องอบแห้งลดลงจนถึงช่วงที่อากาศถูกระบายออกไปหมด ช่วงที่ 3 เป็นการอบแห้งด้วยไอน้ำเพียงอย่างเดียว และจะทำการอบแห้งต่อไปจนลดความชื้นสุดท้ายได้ตามที่ต้องการ





ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งระบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

ในส่วนการทดลองอบแห้งเนื้อไก่ ก่อนการทดลองสิ่งที่ต้องทำทุกครั้งคือการเตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้ง โดยทำความสะอาดภายในห้องอบและถาดให้เรียบร้อย ถังแก๊สเชื้อเพลิงให้พร้อม ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและกำลังงานไฟฟ้า และตั้งอุณหภูมิที่เครื่องไว้ที่อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง ส่วนเนื้อไก่ก็ทำความสะอาดเนื้อไก่ด้วยการล้างน้ำ โดยเนื้อไก่ที่ใช้จะหั่นในทิศทางตั้งฉากกับกล้ามเนื้อเพื่อให้น้ำภายในเนื้อไก่เคลื่อนที่ออกจากเนื้อไก่ในทิศทางขนานกับกล้ามเนื้อ โดยจะหั่นให้มีลักษณะเป็นแผ่นมีขนาดกว้าง 3 cm ยาว 10 cm และหนา 3 mm และก่อนการทดลองอบแห้งจะทำการอุ่นอากาศในเครื่องอบให้มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งประมาณ 20°C เพื่อป้องกันการกลั่นตัวของน้ำขณะทำการอบแห้งในช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง ในการอบแห้งจะทำการอบแห้งเพียงช่วงเดียวหมายถึงอบแห้งอย่างต่อเนื่องจากความชื้นเริ่มต้นจนถึงความชื้นสุดท้าย อุณหภูมิที่ใช้ 120°C ,140°C และ 160°C ตามลำดับ

คุณภาพด้านสี สีของเนื้อไก่จะวัดด้วยเครื่องวัดสีอาหาร (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Color Flex ซึ่งจะวัดค่าสีของเนื้อไก่ตามระบบ Hunterในเทอมของตัวแปร L, a, b โดยที่ค่า L แสดงค่าความสว่าง (Lightness) a แสดงค่าสีแดงและสีเขียว และ b แสดงค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยจะทำการทดสอบเนื้อไก่หลังการอบแห้งทั้ง 3 อุณหภูมิ วัดสีตัวอย่างละ 5 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

คุณภาพด้านการหดตัว คุณภาพด้านการหดตัวของเนื้อไก่สดและเนื้อไก่หลังการอบ แห้งจะใช้วิธีการแทนที่ปริมาตรในของเหลว โดยของเหลวที่ใช้ทดสอบคือn-heptane[$CH_3(CH_2)_5CH_3$] เป็นของเหลวที่มีคุณสมบัติจะไม่ซึมเข้าไปในเนื้อของผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ

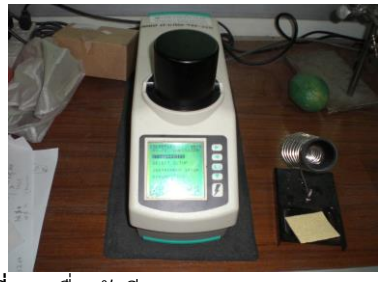
$$\%\,\text{Shrinkage} = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ V_o คือ ปริมาตรเนื้อไก่ก่อนการอบแห้ง (m^3) และ V คือ ปริมาตรเนื้อไก่หลังการอบแห้ง (m^3)

คุณภาพด้านการคืนตัว คุณภาพด้านการคืนตัวหลังการอบแห้งของเนื้อไก่ที่อุณหภูมิต่างๆ ทำการทดสอบโดยการนำเนื้อไก่หลังการอบแห้ง มาแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 90°C และนำมาชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล (อ่านค่าได้อย่างละเอียด 0.01 กรัม) ทุกๆ 1 นาที และทำการบันทึกค่าไว้ จะนำมาชั่งน้ำหนักจนครบ 15 นาที

$$\%\,\text{Re hydration} = \frac{W - W_d}{W_d} \times 100 \quad (2)$$

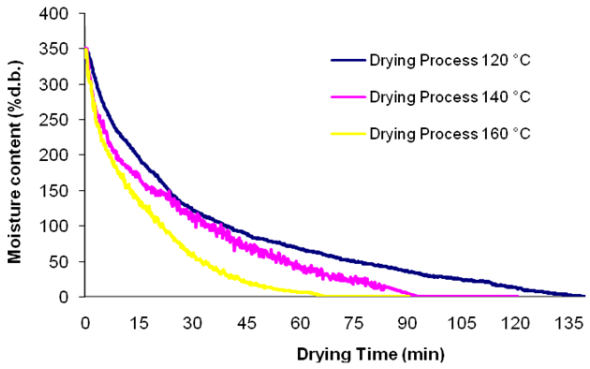
โดยที่ W_d คือ น้ำหนักของเนื้อไก่หลังการอบแห้งก่อนที่จะนำมาแช่น้ำร้อน (g) และ W คือ น้ำหนักของเนื้อไก่หลังการอบแห้งที่ผ่านการแช่น้ำร้อนที่เวลาใดๆ (g)



ภาพที่ 2 เครื่องวัดสีอาหาร(Spectrophotometer)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ภาพ 3 แสดงอัตราการลดความชื้นของเนื้อไก่ เมื่อการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 ,140 และ 160°C พบว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 ,140 และ160 °C จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 310-350 %d.b. จนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 20 %d.b. จะใช้เวลาในการอบแห้ง 113 ,80 และ 60 นาที ตามลำดับ สังเกตได้ว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของเนื้อไก่ในการอบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เนื่องจาก การการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงผลต่างของอุณหภูมิระหว่างไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับเนื้อไก่มีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งไปยังเนื้อไก่ได้มากกว่าส่งผลให้น้ำภายในเนื้อไก่ระเหยออกมาได้ดีกว่า ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง คือที่อุณหภูมิ160 °C ใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140 และ 120°C



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบอัตราการลดความชื้นของเนื้อไก่ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 140 และ 160°C

จากการทดสอบคุณภาพด้านสีของการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง สามารถอธิบายได้ดังนี้ สารสีในเนื้อสัตว์ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยโปรตีน 2 ชนิด คือ ฮีโมโกลบิน ซึ่งเป็นสารสีในเม็ดเลือดและไมโอโกลบิน ซึ่งเป็นสารสีในกล้ามเนื้อ ไมโอโกลบินจะมีส่วนสำคัญมากในการเปลี่ยนแปลงสีต่างๆ ในเนื้อสัตว์โดยตรง ซึ่งสีของมัดกล้ามเนื้อจะแตกต่างกัน เนื่องมาจากปริมาณไมโอโกลบินไม่เท่ากัน ซึ่งสัตว์ที่มีอายุมากและมัดกล้ามเนื้อที่มีกิจกรรมมากกว่ามัดกล้ามเนื้อที่ไม่ค่อยมีกิจกรรม จะมีสีเข้มมากกว่า โดยถ้ากล้ามเนื้อมีสีเข้มมากกว่ามักจะมีสัดส่วนของ red fiber มากกว่า white fiber ส่วนเนื้อไก่ที่มีสีขาวเทาถึงแดงด้านๆ เนื่องจากมีปริมาณ white fiber มากกว่า red fiber นั่นเอง ไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อจะทำหน้าที่เหมือนเป็นคลังเก็บออกซิเจนไปสู้กล้ามเนื้อในร่างกาย ซึ่งไมโอโกลบินประกอบไปด้วย Iron porphyria compound และ ฮีม ซึ่งจะอยู่ร่วมกันกับโปรตีนโกลบิน โดยฮีมจะทำหน้าที่ในการยึดเกาะออกซิเจน ในขณะที่โปรตีนโกลบินทำหน้าที่ห้อหุ้มฮีม และเมื่อนำเนื้อไก่มาทำการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิต่างๆ เมื่อ

เนื้อไก่ได้รับความร้อน กลุ่มโปรตีนโกลบินเกิดการแปลงสภาพ ซึ่งส่งผลให้โปรตีนโกลบินไม่สามารถปกป้องฮีมไว้ได้ และฮีมก็เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะวาเลนซีของธาตุเหล็ก จากสภาวะเฟอรัสไปเป็นเฟอริก ซึ่งส่งผลทำให้เนื้อไก่มีสีขาวเทาถึงแดงด้านๆ จะเปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ จากตารางที่ 1 พบว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิสูงจะให้ค่า L น้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และจะให้ค่า a สูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ส่วนค่า b นั้นจะไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก จึงนำเสนอเฉพาะค่า L และ a เนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิตัวกลางมากขึ้นก็จะทำให้ค่า L น้อยลง ส่วนค่า a เมื่ออุณหภูมิตัวกลางมากขึ้นก็จะทำให้ค่า a มากขึ้น เนื่องมาจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดปฏิกริยาสีน้ำตาล ได้มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านสีของเนื้อไก่หลังการอบแห้ง

Drying Process	Color		
	L	a	b
เนื้อไก่หลังอบ 120 °C	31.45	7.82	10.97
เนื้อไก่หลังอบ 140 °C	30.36	8.37	10.99
เนื้อไก่หลังอบ 160 °C	29.94	9.20	10.99

จากการทดสอบคุณภาพด้านการหดตัวของเนื้อไก่หลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า เนื้อไก่ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลทำให้เกิดการหดตัวมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้ไมโอไฟบลิลลาโปรตีนเกิดการจับตัวกันแน่นมากกว่าจึงทำให้มีการหดตัวมากกว่า

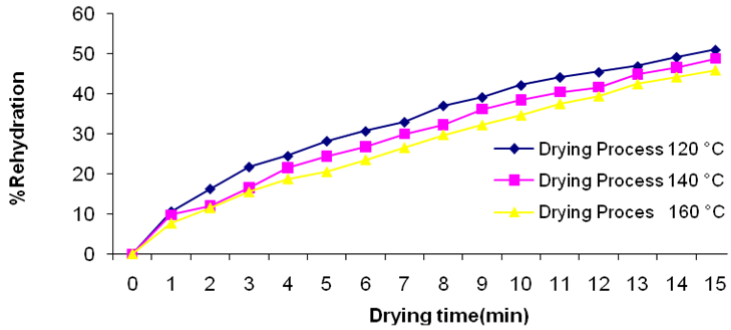
ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของเนื้อไก่หลังการอบแห้ง

Drying Process	% Shrinkage
เนื้อไก่หลังอบ 120 °C	61
เนื้อไก่หลังอบ 140 °C	69
เนื้อไก่หลังอบ 160 °C	70

การทดสอบคุณภาพด้านการคืนตัวของเนื้อไก่หลังอบแห้ง ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแต่ละอุณหภูมิ ทำโดยแช่ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90°C และนำมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 1 นาที บันทึกค่าจนครบ 15 นาที โดยค่าการคืนตัวของเนื้อไก่หลังอบแห้งเมื่อเวลาผ่านการทดสอบการคืนตัวเป็นระยะเวลา 15 นาทีแสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 4 การคืนตัวของเนื้อไก่หลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิต่ำคือ อุณหภูมิที่ 120°C จะมีการคืนตัวได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงคือ 140°C และ 160°C ตามลำดับ เนื่องมาจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะทำให้โปรตีนในเส้นใยย่อย เกิดการจับตัวกันแน่นและแข็งตัวมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นโมเลกุลของน้ำไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปตามช่องว่างของเส้นใยย่อยและเส้นใยกล้ามเนื้อได้ง่ายนัก

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์การคืนตัวของเนื้อไก่หลังการอบแห้ง

Drying Process	% Rehydration
เนื้อไก่หลังอบ 120 °C	51
เนื้อไก่หลังอบ 140 °C	49
เนื้อไก่หลังอบ 160 °C	46



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบการคืนตัวของเนื้อไก่ที่อุณหภูมิอบแห้ง 120, 140 และ 160°C

จากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งเนื้อไก่ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120 ,140 และ 160°C จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 314-347 %db จนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 20 %d.b. ใช้เวลาในการอบแห้ง 113 ,80 และ 60 นาที น้ำหนักของเนื้อไก่ที่ใช้ 50 kg. ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อสมรรถนะในการอบแห้งดังแสดงในตาราง 4.5 โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C เครื่องอบแห้งสามารถทำการลดความชื้นเนื้อไก่ได้สูงสุด 20.57 kg water evap./h ความสิ้นเปลืองพลังงานปฐมภูมิจำเพาะต่ำสูงสุด 5.424 MJ/kg water evap. และประสิทธิภาพการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 47.93% อุณหภูมิ 140°C เครื่องอบแห้งสามารถทำการลดความชื้นเนื้อไก่ได้สูงสุด 25.98 kg water evap./h ความสิ้นเปลืองพลังงาน 3.194 MJ/kg water evap. และประสิทธิภาพการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 81.4% และที่อุณหภูมิ 160°C เครื่องอบแห้งสามารถทำการลดความชื้นเนื้อไก่ได้สูงสุด 27.35 kg water evap./h ความสิ้นเปลืองพลังงาน 2.78 MJ/kg water evap. และประสิทธิภาพการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 93.27% จะสังเกตได้ว่า ที่การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเครื่องอบแห้งสามารถทำการลดความชื้นเนื้อไก่ได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำและมีการสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่า

สรุปผลการวิจัย

อัตราการอบแห้ง จากผลการทดลอง พบว่าที่อุณหภูมิ 160°C สามารถลดความชื้นของเนื้อไก่ได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 140°C และ120°C รวมถึงมีการสิ้นเปลืองพลังงานน้อยและประสิทธิภาพการอบแห้งมีค่าสูงกว่า จากผลการทดสอบคุณภาพด้านสี พบว่าที่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอยู่ที่ 140°C ซึ่งคุณภาพด้านสีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ด้านการหดตัว พบว่าอุณหภูมิตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้งในแต่ละกระบวนการมีผลต่อคุณภาพด้านการหดตัวของเนื้อไก่ โดยที่เนื้อไก่ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 160°C และ 140°C เกิดการหดตัวมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120°C คุณภาพด้านการคืนตัวพบว่า การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120°C และ140°C มีการคืนตัวได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 160°C สำหรับสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง จากการทดสอบพบว่า พบว่าอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อสมรรถนะในการอบแห้ง โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิที่ 140°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งเนื้อไก่ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเนื่องจากคุณภาพเนื้อไก่อยู่ในเกณฑ์รับได้ และเครื่องอบแห้งสามารถทำการลดความชื้นเนื้อไก่ได้สูงสุด 25.98 kg water evap./h ความสิ้นเปลืองพลังงาน 3.19 MJ/kg water evap. และประสิทธิภาพการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 81.4%

เอกสารอ้างอิง

[1] สุดาทิพย์ คงขำ.(2549). **การอบแห้งเนื้อไก่ปรุงรสด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งร่วมกับปั๊มความร้อน.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน. คณะพลังงานและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[2] ดลฤดี ใจสุทธิ์. (2543). **การอบแห้งกุ้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรม ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 95 หน้า.

[3] ณรงค์ อึ้งกิมบ้วน,(2547). การอบแห้งเนื้อหมูด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน, **การประชุมวิชาการครั้งที่ 5 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย**,26-27 เมษายน 2547

[4] ทวีชัย วงศ์ศักดิ์ไพโรจน์. (2543). **การอบแห้งหน่อไม้ด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง**. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 92 หน้า.

IE57

การเปรียบเทียบการลดความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดระหว่างการอบด้วยเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารีและการตากเมล็ดข้าวโพดบนลานตาก

Comparison of dehumidification and temperature of corn seeds during drying with rotary hot air dryer and drying of corn seeds on drying pavement

อำนาจ ประจง*
สาขาวิชาไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
นครสวรรค์ 60000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารีและเปรียบเทียบความชื้นที่ลดลงและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพด ระหว่างการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบโรตารีกับการตากเมล็ดข้าวโพดบนลานตากโดยวิธีธรรมชาติ โดยออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารี ตัวถังทรงกระบอกสำหรับการหมุนทำจากสแตนเลสชนิด 304 ถังมีความยาว 1 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เมตร มอเตอร์สำหรับการหมุนถังอบแห้ง 0.4 กิโลวัตต์ 1 เฟส พัดลมดูดความร้อนและระบายความชื้น ขนาด 220/240 โวลต์ 50/60 เฮิร์ต 0.10 แอมแปร์ 22 วัตต์ จำนวน 4 ตัว ฮีตเตอร์ทำความร้อนแบบครีบขนาด 3,000 วัตต์ ใช้สวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายเพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ เพื่อป้อนไฟฟ้าเข้าชุดควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยควบคุมระบบการอบแห้งแบบหมุนด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, 60 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เมล็ดข้าวโพด 30 กิโลกรัมต่อ 1 ครั้งในการอบทดสอบเทียบกับการตากบนลานตาก ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก ให้ได้ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก ผลการทดสอบพบว่า การตากเมล็ดข้าวโพดบนลานตาก ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ในการลดความชื้นให้ได้ ร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก ซึ่งใช้เวลามากกว่าการลดความชื้นด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบโรตารีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 60 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลา 9 ชั่วโมง 8 ชั่วโมง และ 7 ชั่วโมง ในการลดความชื้นให้ได้ ร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 31.392 กิโลวัตต์ชั่วโมง 27.904 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 24.416 กิโลวัตต์ชั่วโมง ประสิทธิภาพการอบแห้ง 0.242, 0.277 และ 0.327 และมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 9.309 MJ/kg-water evaporated, 8.120 MJ/kg-water evaporated และ 6.883 MJ/kg-water evaporated

คำสำคัญ: อบแห้ง เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบโรตารี ประสิทธิภาพ เมล็ดข้าวโพด

*Corresponding author: Tel.: 086-0703362. E-mail address: amnaj0846827491@gmail.com

บทนำ

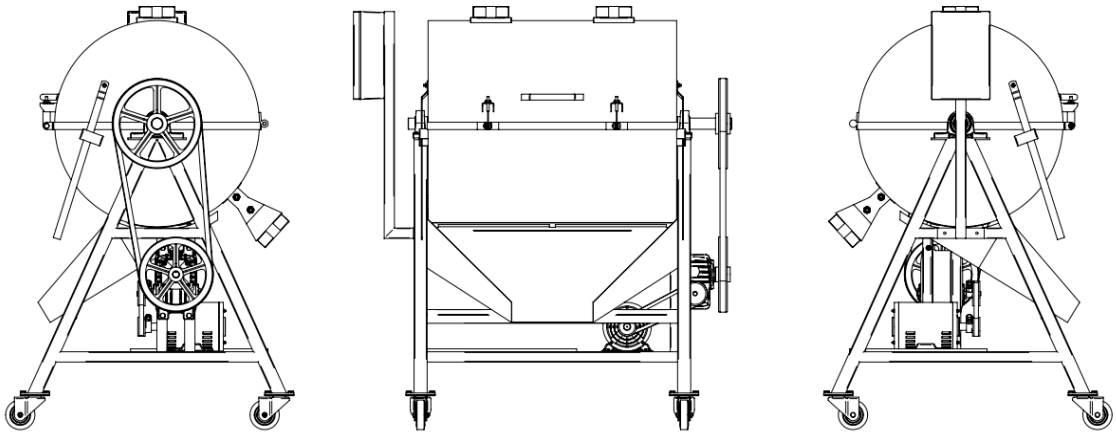
ข้าวโพดสามารถเพาะปลูกได้ในหลายพื้นที่ทั่วโลก เริ่มตั้งแต่ที่ประเทศแคนาดา มีละติจูดที่ 58 องศา ผ่านเขตโซนร้อนลงมาจนถึงเขตตอนใต้ที่ละติจูด 35-40 องศา ข้าวโพดเป็นพืชไร่ที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ซึ่งมีระดับเดียวกันกับน้ำทะเลไปจนถึงบริเวณที่มีพื้นที่ระดับสูงกว่าน้ำทะเล 3,000 - 3,900 เมตร ในประเทศเปรูและเม็กซิโกแหล่งผลิตข้าวโพดที่สำคัญของโลก ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นประเทศที่มีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตข้าวโพดมาก

ที่สุด เป็นอันดับหนึ่งของโลก ลำดับที่มีผลผลิตมากรองเป็นอันดับต่อมาได้แก่ประเทศ สาธารณรัฐประชาชนจีน บราซิล สหภาพยุโรป อาร์เจนติน่า เม็กซิโก ยูเครน อินเดีย แอฟริกาใต้ และแคนาดา สำหรับประเทศไทย ข้าวโพดสามารถเพาะปลูกและเจริญเติบโตได้ดีในทุกภาค ในปี พ.ศ. 2556 จังหวัดเพชรบูรณ์ เลย นครราชสีมา ตาก และน่าน จัดเป็น 5 จังหวัดแรกในประเทศไทยที่มีพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตข้าวโพดมากที่สุดในประเทศไทย สามารถเรียงตามลำดับได้ดังนี้ พื้นที่เพาะปลูก 1.08, 0.82, 0.81, 0.68, และ 0.62 ล้านไร่ ตามลำดับ และมีผลผลิตรวม 0.73, 0.56, 0.60, 0.45 และ 0.40 ล้านตัน ตามลำดับ และในแต่ละจังหวัดในประเทศไทยสามารถเรียงลำดับตามปริมาณการผลิตจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ ในเขตพื้นที่ภาคกลาง เพาะปลูกข้าวโพดมากที่ จังหวัดเพชรบูรณ์ นครสวรรค์ พิษณุโลก ลพบุรี และสระบุรี ในส่วนของภาคเหนือ ปลูกมากที่จังหวัดตาก น่าน เชียงราย พะเยา และเชียงใหม่ ในส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปลูกมากที่จังหวัดเลย นครราชสีมา สระแก้ว และชัยภูมิ และภาคใต้ปลูกมากที่จังหวัดสงขลา สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช [1] การเพาะปลูกข้าวโพดในประเทศไทย ใน 1 ปี สามารถปลูกได้ปีละ 2 ครั้ง และมีระยะช่วงเวลาเก็บเกี่ยวตรงกับช่วงต้นฤดูฝนกับปลายฤดูฝน ดังนั้นผลผลิตที่ได้จึงเสี่ยงต่อการมีความชื้นสูง และมีปัญหาในเรื่องของการจัดเก็บรักษา ซึ่งโดยปกติถ้าเมล็ดข้าวโพดมีความชื้นสูงเกิน ร้อยละ 16 มาตรฐานเปียกในระหว่างการเก็บรักษาจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของรา คือ Aspergillus flavus และ Aspergillus pariciticus ซึ่งเชื้อราทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติทั้งในดินและอากาศ จะทำให้เกิดสารพิษ อะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) B1, B2, G1 และ G2 ซึ่งจะสร้างความเสียหายให้กับผลิตภัณฑ์และยังส่งผลต่อราคาผลผลิตที่จะจำหน่าย ดังนั้นการลดความชื้นเมล็ดข้าวโพด การเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพดที่ถูกต้อง จึงมีความสำคัญในการป้องกันการเกิดและเจริญเติบโตของเชื้อราในโรงเก็บและการเกิดสารพิษอะฟลาทอกซินในเมล็ดข้าวโพดอย่างมีประสิทธิภาพ [2] การลดความชื้นเมล็ดข้าวโพดโดยทั่วไปและพบว่าเกษตรกรและผู้ประกอบการรับซื้อข้าวโพดจะใช้วิธีตากแสงอาทิตย์บนลานตาก และต้องคอยใช้รถกลับเมล็ดข้าวโพดบนลานตากเพื่อให้ความร้อนทั่วถึงเมล็ดข้าวโพด และจะต้องใช้พื้นที่ ระยะเวลา และแรงงานมาก และมีข้อจำกัดเกี่ยวกับสภาวะอากาศที่ไม่สามารถควบคุมได้ การลดความชื้นในเมล็ดข้าวโพดสามารถประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบหมุนได้ มีลักษณะการใช้งานสะดวก สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงๆ และสามารถอบแห้งได้อย่างต่อเนื่องในปริมาณมากๆ ทั้งที่วัสดุความชื้นที่ป้อนเข้ามีอุณหภูมิไม่คงที่ [3] ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบหมุนประกอบด้วยลักษณะถังในการหมุนเป็นทรงกระบอก และสามารถใส่เมล็ดพืชด้านบนถังทรงกระบอกและเมล็ดพืชแห้งจะถูกนำออกด้านล่าง ภายในตัวถังมีตัวตักติดอยู่ตามแนวนอน เมื่อถังหมุนเมล็ดพืชจะถูกตักขึ้นไปตามเส้นรอบวงแล้วตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อปะทะกับกระแสอากาศร้อน โดยส่วนใหญ่ในการอบแห้งจะใช้เมล็ดพืชผ่านกระแสอากาศร้อนเพื่อไล่ความชื้น การตกของเมล็ดพืชนั้นทำให้เมล็ดพืชเคลื่อนที่ไปตามแนวนอนของตัวถังซึ่งจะมีความลาดเอียงเล็กน้อย การเคลื่อนที่ของเมล็ดพืชยังมาจากการพัดพาของกระแสอากาศอีกด้วย ลักษณะการไหลของกระแสอากาศกับเมล็ดพืชแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ แบบการไหลตามกัน และการไหลแบบสวนทางกัน การเลือกชนิดไหนนั้นขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาอบแห้งเพื่อลดความชื้น ถ้าวัสดุมีความไวต่อความร้อนควรใช้แบบไหลตามกัน เนื่องจากวัสดุจะสัมผัสกับอากาศที่ไม่ร้อนมากนัก เมล็ดพืชจัดเป็นวัสดุที่มีความไวต่อความร้อน [4] ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบโรตารีให้มีลักษณะการไหลของอากาศเป็นแบบไหลตามกัน และจากข้อมูลที่ผู้วิจัยได้ศึกษาพบว่ามีงานวิจัยที่ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดให้ความร้อนโดยอ้อม พบว่า ให้อัตราการอบแห้งสูงสุดและมีคุณภาพข้าวเปลือกดีกว่าตากแดด [5] และสามารถใช้แบบจำลองแบบลอการิทึมอธิบายการอบแห้งได้ว่า คุณภาพข้าวเปลือกสำหรับการอบแห้งแบบให้ความร้อนโดยตรงมีคุณภาพดีกว่าการอบแห้งแบบตากในร่ม และดีกว่าการอบแห้งโดยให้ความร้อนโดยอ้อม [6] และอีกงานวิจัยพบว่า การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบหมุนชนิดให้ความร้อนโดยอ้อมจะสิ้นเปลืองพลังงาน 5.6 MJ ต่อกิโลกรัมน้ำที่ระเหย [7] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบโรตารี มาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด เพื่อศึกษาถึงการลดลงของความชื้น อุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดระหว่างการอบแห้ง การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้ง ประสิทธิภาพการอบแห้ง รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อ

ลดความชื้นของเมล็ดข้าวโพดเทียบกับการตากเมล็ดข้าวโพดบนลานตากซึ่งไม่สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมได้ และต้องใช้แรงงานในการกลับพลิกเมล็ดข้าวโพดตลอดการอบแห้ง ประโยชน์ของงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นแนวทางให้เกษตรกรที่เพาะปลูกข้าวโพด สามารถนำความรู้ในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์สร้างเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารีไปใช้เองได้ในชุมชน รวมถึงช่วยให้เกษตรกรสามารถขายเมล็ดข้าวโพดได้ราคาสูงขึ้นเนื่องจากค่าความชื้นของเมล็ดข้าวโพดเป็นไปตามระดับความชื้นที่ต้องการของผู้รับซื้อภาคเอกชน ซึ่งคาดว่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับชุมชนที่เพาะปลูกข้าวโพด

วิธีการวิจัย

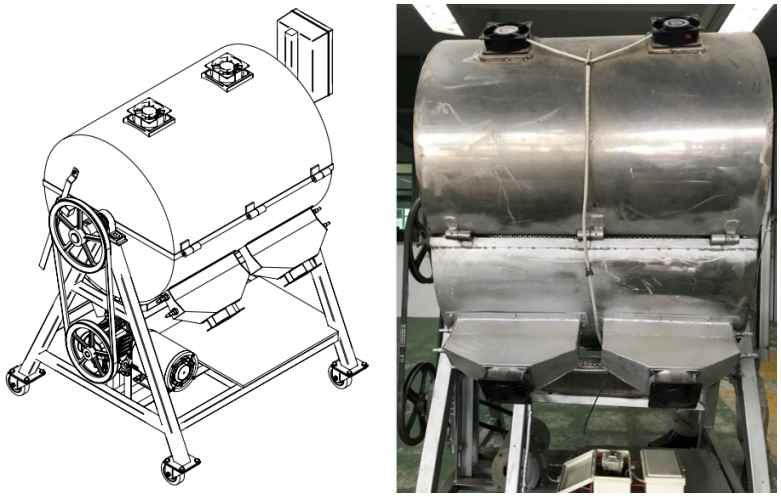
อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยการอบแห้งเมล็ดข้าวโพด 2 แบบ ได้แก่ 1) การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดบนลานตากโดยวิธีธรรมชาติ โดยทำการทดสอบ 3 ครั้ง เริ่มตากเมล็ดข้าวโพดบนลานตากตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึงเวลา 17.00 น. เมื่อครบระยะเวลาการตากในการทดสอบ ถ้าค่าความชื้นของเมล็ดข้าวโพดยังลดลงไม่ถึงความชื้นที่กำหนดไว้ จะนำมาตากบนลานตากในวันถัดไปในเวลาเดียวกัน จนเมล็ดข้าวโพดได้ความชื้นร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก และทำการบันทึกผลการทดสอบทุกๆ 1 ชั่วโมง เพื่อวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดที่ทดสอบ ในแต่ละครั้งการทดสอบใช้เมล็ดข้าวโพดน้ำหนักเริ่มต้น 30 กิโลกรัมและมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก และทำการอบแห้งโดยตากบนลานตากโดยวิธีธรรมชาติ ให้ความชื้นสุดท้ายเหลือร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก ทำการทดสอบ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อวิเคราะห์ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดให้ได้ความชื้นตามกำหนด 2) เครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารี การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งนี้ ใช้ถังทรงกระบอกสำหรับการหมุนทำจากสแตนเลสชนิด 304 มีขนาดถังมีความยาว 1 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เมตร มอเตอร์สำหรับการหมุนถังอบแห้ง 0.4 กิโลวัตต์ 1 เฟส รายละเอียดดังภาพที่ 1และภาพที่ 2 พัดลมดูดความร้อนและระบายความชื้น ขนาด 220/240 โวลต์ 50/60 เฮิร์ต 0.10 แอมแปร์ 22 วัตต์ จำนวน 4 ตัว ดังภาพที่ 3 ฮีตเตอร์ทำความร้อนแบบครีบขนาด 3,000 วัตต์ ดังภาพที่ 4 และใช้สวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายเพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ เพื่อป้อนไฟฟ้าเข้าชุดควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยควบคุมระบบการอบแห้งแบบหมุนด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส, 60 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เมล็ดข้าวโพด 30 กิโลกรัมต่อ 1 ครั้งในการอบทดสอบ ดังภาพที่ 6 เทียบกับการตากบนลานตาก ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก ให้ได้ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก ทำการทดสอบที่ระดับอุณหภูมิละ 3 ครั้ง เพื่อค่าเฉลี่ยระยะเวลาการอบแห้ง โดยการบันทึกค่าความชื้นทำการบันทึกผลการทดสอบโดยใช้เครื่องวัดความชื้น 200 GRAIN TYPES MOISTURE METER PM-650 (6501) ทำการบันทึกผลเพื่อให้ได้ค่าความชื้นตามกำหนดในงานวิจัยดังภาพที่ 7 และบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบโรตารีด้วยมัลติมิเตอร์ เพื่อนำมาหาค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งและค่าประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิต่างๆที่กำหนดไว้ในการทดสอบ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 1 การออกแบบเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารี



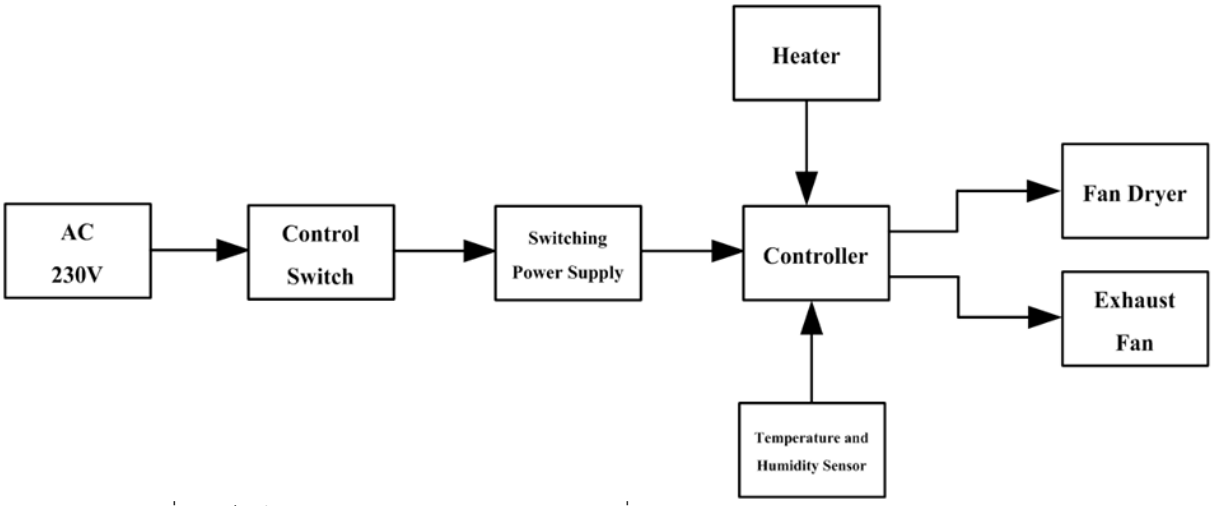
ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารี



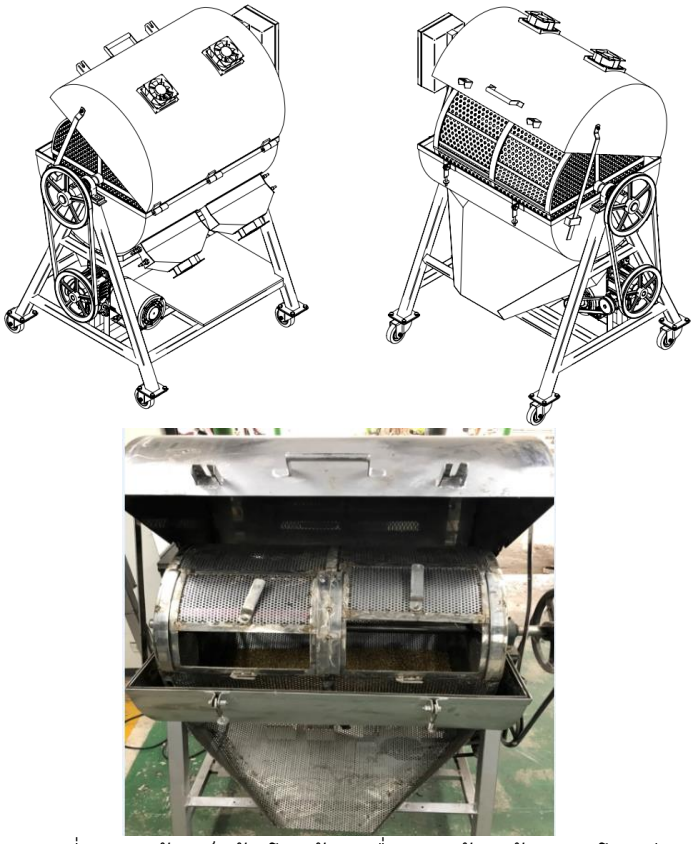
ภาพที่ 3 ติดตั้งพัดลมดูดความร้อนและระบายความชื้นจำนวน 4 ตัว



ภาพที่ 4 ติดตั้งฮีตเตอร์ทำความร้อนแบบครีบขนาด 3,000 วัตต์



ภาพที่ 5 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมการอบแห้งที่ อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 6 อบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบโรตารี



ภาพที่ 7 บันทึกค่าความชื้นด้วยเครื่อง 200 GRAIN TYPES MOISTURE METER PM-650 (6501)



ภาพที่ 8 บันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง

วิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบในงานวิจัยนี้ใช้เมล็ดข้าวโพดจากเกษตรกรในเขตจังหวัดนครสวรรค์ที่ทำการเริ่มเพาะปลูกจนถึงช่วงเก็บเกี่ยวใช้ระยะเวลา 105-110 วัน จะทำให้เมล็ดข้าวโพดมีความชื้นสูง ร้อยละ 40 หลังจากนั้นจะนำเมล็ดข้าวโพดมาทำความสะอาดคัดแยกสิ่งเจือปนออก เมื่อความชื้นเริ่มต้นเป็นตามที่ต้องการทดสอบ ก่อนเริ่มการทดสอบจะนำเมล็ดข้าวโพดมาวางผึ่งอากาศในสภาพอากาศอุณหภูมิห้องก่อนทดสอบ วิธีการทดสอบในการอบแห้งด้วยการตากที่ลานตาก เริ่มจากนำเมล็ดข้าวโพดมาชั่งน้ำหนักให้ได้ปริมาณ 30 กิโลกรัม นำไปเกลี่ยเพื่อตากบนลานตาก จากนั้นเริ่มจับเวลาการอบแห้งจนกว่าความชื้นของเมล็ดข้าวโพดจะลดลงที่ร้อยละ 14 มาตรฐานปียก เพื่อหาความชื้นหลังการอบแห้งจำนวน 3 ซ้ำ และในระหว่างการอบแห้งจะทำการสุ่มวัดค่าความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดทุกๆ ชั่วโมง และในส่วนของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบโรตารี เริ่มจากการนำเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการทำความสะอาดแยกสิ่งเจือปน และมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 ปริมาณ 30 กิโลกรัม มาเข้าเครื่องอบแห้งแบบโรตารีคือการให้เมล็ดข้าวโพดสัมผัสกับอากาศร้อนในเครื่องอบแห้งแบบโรตารีนี้ ในการอบแห้งได้กำหนดอุณหภูมิของอากาศร้อนไว้ที่ 3 ระดับ คือ 50 องศาเซลเซียส 60 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้เมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิแต่ระดับ จะบันทึกค่าความชื้นของเมล็ดข้าวโพด อุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพด ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอบแห้ง และชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังจากได้ความชื้นสุดท้ายตามที่ต้องการในการทดสอบ เพื่อนำข้อมูลที่บันทึกได้มาวิเคราะห์หาการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบ แห้งและประสิทธิภาพการอบแห้งในการอบแห้งที่อุณหภูมิระดับต่างๆตามที่กำหนดในการทดสอบ ในการอบแห้งที่อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับได้ทำการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้ ได้วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆตามสมการดังนี้

1. กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$P = VI \quad (1)$$

P คือ กำลังไฟฟ้า (W), V คือ แรงดันไฟฟ้า (V), I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

2. ความชื้นมาตรฐานเปียก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$M_w = (w-d)x100/w \quad (2)$$

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก ($\%_{wb}$), w คือ มวลของวัสดุชื้น (kg) และ d คือ มวลแห้งของวัสดุ (kg)

3. การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง คือ ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้อบแห้งเทียบกับมวลน้ำที่ระเหย 1 กิโลกรัม สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(MJ/kgH_2O_{evap}) = พลังงานทั้งหมดในการอบแห้ง (MJ)/มวลทั้งหมดที่ลดลง (kg) (3)

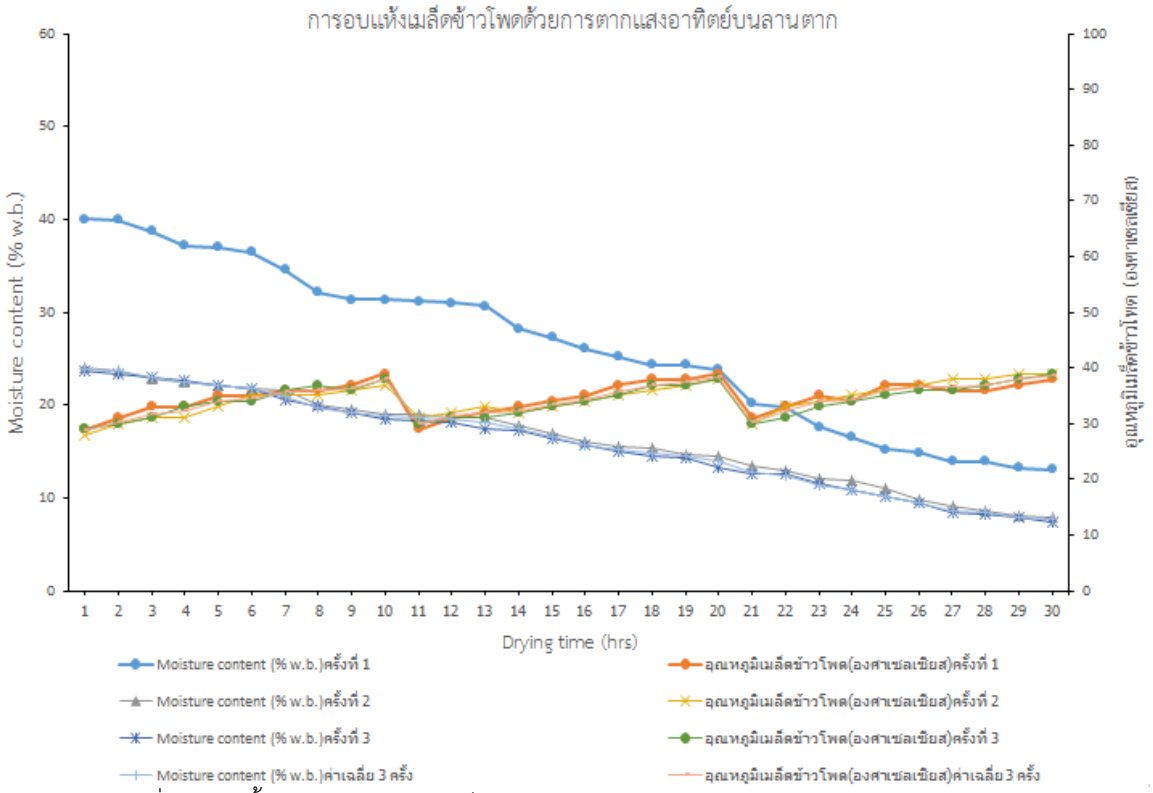
4. ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของค่าตัวแปร ตามสมการที่ 4

$$y = (w*h_{fg})/Q_E \quad (4)$$

y คือ ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง, w = ปริมาณน้ำระเหย (kg), h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำในวัสดุ (MJ/kg), Q_E คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอบแห้งผลิตภัณฑ์ (MJ)

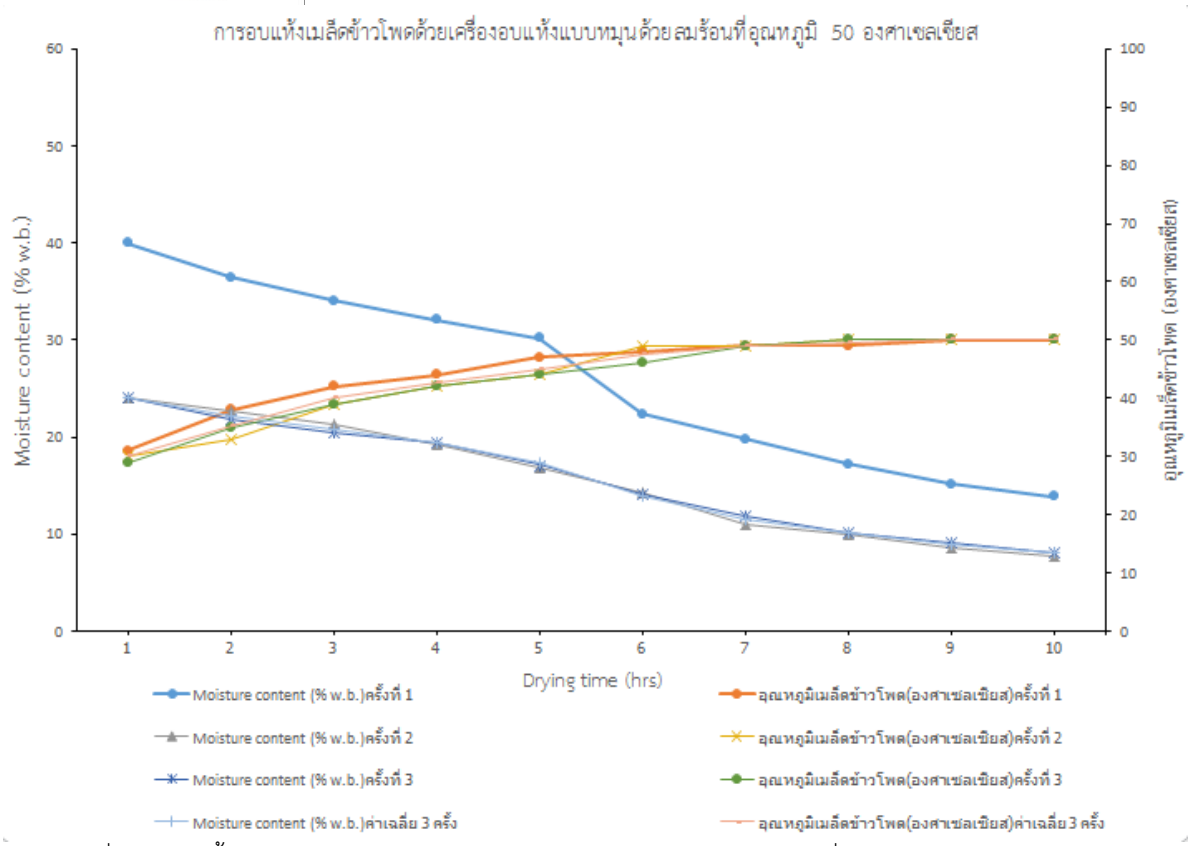
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดสอบพบว่า จากการกำหนดค่าความชื้นเริ่มต้นทั้ง 3 ครั้ง ที่ทำการทดสอบการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียกและอบแห้งเพื่อลดความชื้นให้เมล็ดข้าวโพดมีความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก ด้วยวิธีการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดบนลานตากโดยวิธีธรรมชาติ การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดบนลานตากนี้จะเริ่มนำเมล็ดข้าวโพดมาตากบนลาน ตั้งแต่เวลา 8.00 น.-17.00 น. คิดเป็นการทดสอบ 9 ชั่วโมงต่อ 1 วัน ถ้าค่าความชื้นเมล็ดข้าวโพดยังไม่ถึงค่าตามที่กำหนดในการทดสอบ จะนำมาอบแห้งตากบนลานตากในวันถัดไปที่เวลาเดียวกัน โดยนับระยะเวลาการอบแห้งจะนับจำนวนชั่วโมงต่อเนื่องกัน จากการทดสอบครั้งที่ 1 พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเริ่มต้น 29 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 26 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพดได้ร้อยละ 13.9 มาตรฐานเปียก และเมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 37 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง 18 กิโลกรัม การทดสอบครั้งที่ 2 พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเริ่มต้น 28 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 28 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพดได้ร้อยละ 13.6 มาตรฐานเปียก และเมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 39 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง 17.5 กิโลกรัม และการทดสอบครั้งที่ 3 พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเริ่มต้น 29 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 26 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพดได้ร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก และเมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 36 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง 18.1 กิโลกรัม จากผลการทดสอบด้วยวิธีการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยการตากบนลานตากจะต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 3 วัน โดยที่ใน 1 วันสามารถตากแสงอาทิตย์ได้ 9 ชั่วโมง จึงจะสามารถลดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวโพดจากร้อยละ 40 เหลือ ร้อยละ 14 ได้ รายละเอียดดังภาพที่ 9



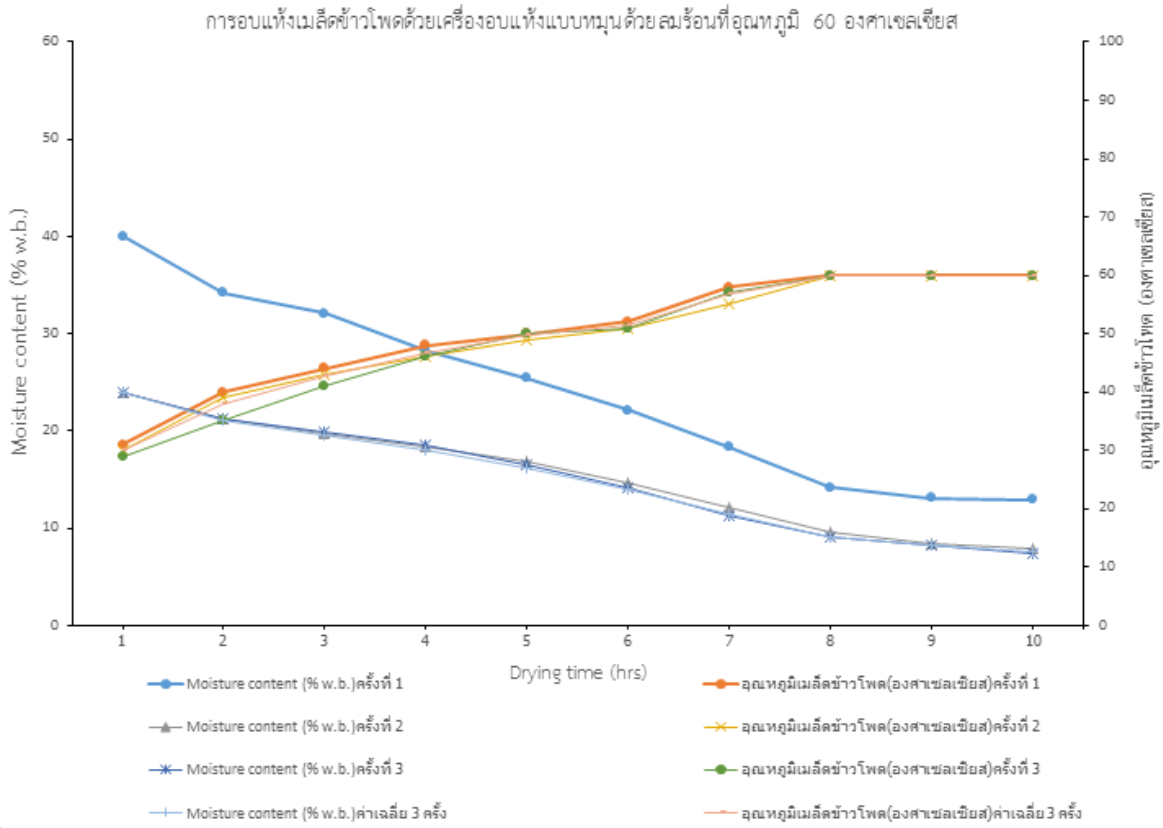
ภาพที่ 9 ความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดด้วยวิธีการอบแห้งด้วยการตากแสงอาทิตย์บนลานตาก

ผลการทดสอบการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบโรตารี เมื่อควบคุมอุณหภูมิลมร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อกำหนดค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวโพดที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง โดยให้เมล็ดข้าวโพดมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียกและอบแห้งเพื่อลดความชื้นให้เมล็ดข้าวโพดมีความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก จากการทดสอบครั้งที่ 1 พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเริ่มต้น 31 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 9 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพดได้ร้อยละ 13.9 มาตรฐานเปียก และเมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 50 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง 18.1 กิโลกรัม การทดสอบครั้งที่ 2 พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 9 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพดได้ร้อยละ 12.8 มาตรฐานเปียก และเมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 50 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง 17.6 กิโลกรัม และการทดสอบครั้งที่ 3 พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเริ่มต้น 29 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 9 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพดได้ร้อยละ 13.4 มาตรฐานเปียก และเมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 50 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง 17.9 กิโลกรัม จากการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง เมื่อเทียบระยะเวลาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยการตากบนลานตาก พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารี ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียสใช้เวลาการอบแห้งได้น้อยกว่า 3 เท่า รายละเอียดดังภาพที่ 10



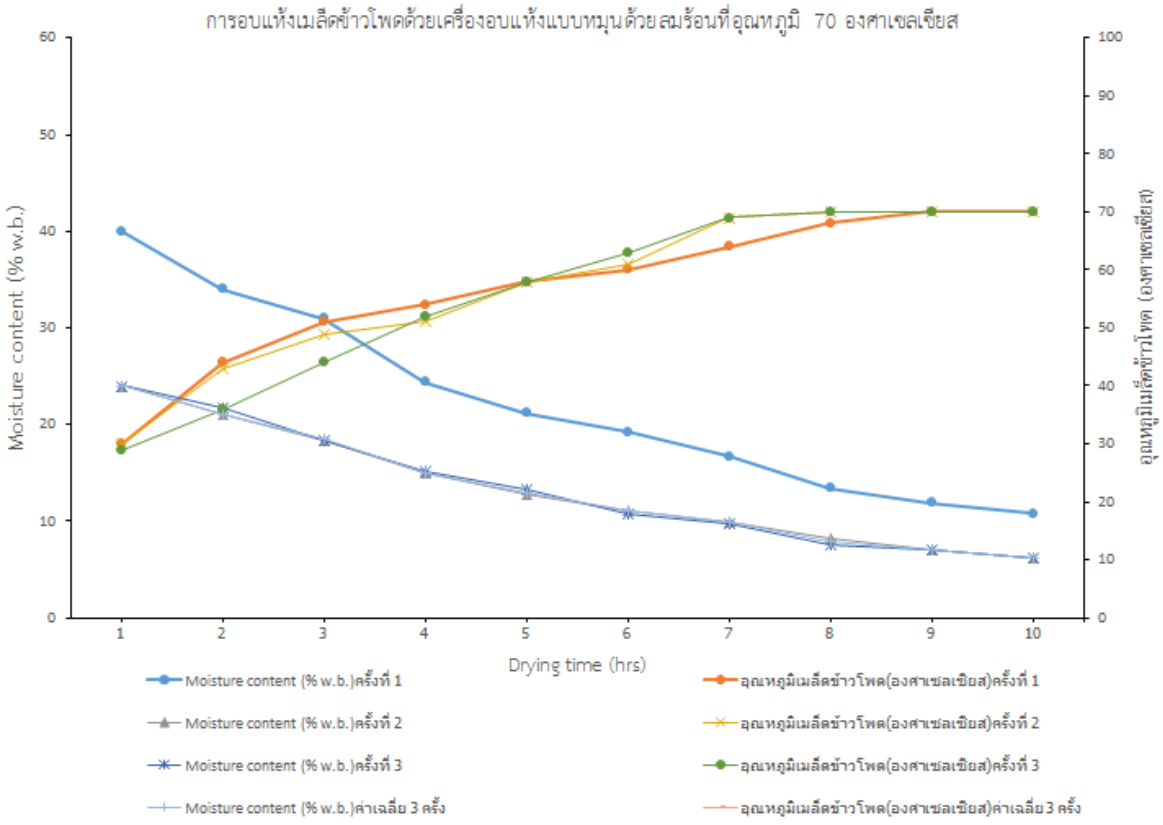
ภาพที่ 10 ความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดอบแห้งด้วยลมร้อนแบบโรตารีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบโรตารี เมื่อควบคุมอุณหภูมิลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อกำหนดค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวโพดที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง โดยให้เมล็ดข้าวโพดมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียกและอบแห้งเพื่อลดความชื้นให้เมล็ดข้าวโพดมีความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก จากการทดสอบครั้งที่ 1 พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเริ่มต้น 31 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพดได้ร้อยละ 13.1 มาตรฐานเปียก และเมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 60 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง 17.1 กิโลกรัม การทดสอบครั้งที่ 2 พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพดได้ร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก และเมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 60 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง 18 กิโลกรัม และ การทดสอบครั้งที่ 3 พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเริ่มต้น 29 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพดได้ร้อยละ 13.8 มาตรฐานเปียก และเมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 60 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง 17.8 กิโลกรัม จากการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง เมื่อเทียบระยะเวลาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยการตากบนลานตากพบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารี ควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียสใช้เวลาการอบแห้งได้น้อยกว่าประมาณ 3 เท่า และสามารถใช้เวลาอบแห้งเมล็ดข้าวโพดน้อยกว่า ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง รายละเอียดดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดอบแห้งด้วยลมร้อนแบบโรตารีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบโรตารี เมื่อควบคุมอุณหภูมิลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อกำหนดค่าความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวโพดที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง โดยให้เมล็ดข้าวโพดมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียกและอบแห้งเพื่อลดความชื้นให้เมล็ดข้าวโพดมีความชื้นสุดท้ายที่ร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก จากการทดสอบครั้งที่ 1 พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 7 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพดได้ร้อยละ 13.4 มาตรฐานเปียก และเมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 68 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง 17.3 กิโลกรัม และการทดสอบครั้งที่ 2 พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพดได้ร้อยละ 13.8 มาตรฐานเปียก และเมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 70 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง 17.9 กิโลกรัม และ การทดสอบครั้งที่ 3 พบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณ 30 กิโลกรัม ที่ค่าความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเริ่มต้น 29 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นสุดท้ายของเมล็ดข้าวโพดได้ร้อยละ 12.5 มาตรฐานเปียก และเมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสุดท้ายที่ 70 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง 16.5 กิโลกรัม จากการทดสอบทั้ง 3 ครั้ง เมื่อเทียบระยะเวลาการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยการตากบนลานตากพบว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารี ควบคุมอุณหภูมิที่ 70 องศาเซลเซียสใช้เวลาการอบแห้งได้น้อยกว่าประมาณ 3 เท่า และสามารถใช้เวลาอบแห้งเมล็ดข้าวโพดน้อยกว่า ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง และน้อยกว่าควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมงรายละเอียดดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดอบแห้งด้วยลมร้อนแบบโรตารีที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

จากการทดสอบการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบโรตารี ควบคุมอุณหภูมิลมร้อน ที่ 50 องศาเซลเซียส 60 องศาเซลเซียส 70 องศาเซลเซียส ที่แต่ละอุณหภูมิจำนวน 3 ซ้ำพบว่า ค่าเฉลี่ยของการทดสอบการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบโรตารี เมื่อควบคุมอุณหภูมิลมร้อน ที่ 50 องศาเซลเซียส การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณเริ่มต้น 30 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเมล็ดข้าวโพดเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นของเมล็ดข้าวโพดได้ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 13.4 อุณหภูมิสุดท้ายเมล็ดข้าวโพด 50 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 9 ชั่วโมง น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังอบแห้ง 17.86 กิโลกรัม มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพัดลมดูดความร้อนและพัดลมระบายความชื้น รวมกันมีกำลังไฟฟ้า 88 วัตต์ มอเตอร์สำหรับการหมุนถังทรงกระบอก 400 วัตต์ และฮีตเตอร์ชนิดครีบทำความร้อน 3,000 วัตต์ เปิดตลอดการอบแห้ง 9 ชั่วโมง คิดรวมเป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 31.392 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็น 113.0112 MJ มวลทั้งหมดของเมล็ดข้าวโพดที่ลดไปตลอดการทดสอบ 12.14 กิโลกรัม ดังนั้น การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเท่ากับ 9.309 MJ/kg-water evaporated เมื่อความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำในวัสดุมีค่า 2.257 MJ/kg ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 0.242

ค่าเฉลี่ยของการทดสอบการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบโรตารี เมื่อควบคุมอุณหภูมิลมร้อน ที่ 60 องศาเซลเซียส การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณเริ่มต้น 30 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเมล็ดข้าวโพดเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นของเมล็ดข้าวโพดได้ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 13.6 อุณหภูมิสุดท้ายเมล็ดข้าวโพด 60 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 8 ชั่วโมง น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังอบแห้ง 17.63 กิโลกรัม มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพัดลมดูดความร้อนและพัดลมระบายความชื้น รวมกันมีกำลังไฟฟ้า 88 วัตต์ มอเตอร์สำหรับการหมุนถังทรงกระบอก 400 วัตต์ และฮีตเตอร์ชนิดครีบทำความร้อน 3,000 วัตต์ เปิดตลอดการอบแห้ง 8 ชั่วโมง คิดรวมเป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 27.904 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็น 100.454 MJ มวลทั้งหมดของเมล็ดข้าวโพดที่ลดไปตลอดการทดสอบ 12.37 กิโลกรัม ดังนั้น การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเท่ากับ

8.120 MJ/kg-water evaporated เมื่อความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำในวัสดุมีค่า 2.257 MJ/kg ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 0.277

ค่าเฉลี่ยของการทดสอบการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบโรตารี เมื่อควบคุมอุณหภูมิลมร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณเริ่มต้น 30 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเมล็ดข้าวโพดเริ่มต้น 29.7 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นของเมล็ดข้าวโพดได้ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 13.2 อุณหภูมิสุดท้ายเมล็ดข้าวโพด 70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 7 ชั่วโมง น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังอบแห้ง 17.23 กิโลกรัม มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพัดลมดูดความร้อนและพัดลมระบายความชื้น รวมกันมีกำลังไฟฟ้า 88 วัตต์ มอเตอร์สำหรับการหมุนถังทรงกระบอก 400 วัตต์ และฮีตเตอร์ชนิดครีบทำความร้อน 3,000 วัตต์ เปิดตลอดการอบแห้ง 7 ชั่วโมง คิดรวมเป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 24.416 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็น 87.897 MJ มวลทั้งหมดของเมล็ดข้าวโพดที่ลดไปตลอดการทดสอบ 12.77 กิโลกรัม ดังนั้น การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเท่ากับ 6.883 MJ/kg-water evaporated เมื่อความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำในวัสดุมีค่า 2.257 MJ/kg ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 0.327

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารี จากข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ในวันจันทร์ที่ 22 ตุลาคม พ.ศ. 2561 พบว่า ราคารับซื้อเมล็ดข้าวโพดที่ความชื้นต่ำกว่า 14.5% เฉลี่ยกิโลกรัมละ 7.21 บาท และราคาการรับซื้อเมล็ดข้าวโพดที่มีค่าความชื้นสูงเกินกว่า 14.5% เฉลี่ยกิโลกรัมละ 5.71 บาท[8] ต้นทุนการสร้างเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารี มีราคา 30,000 บาท ในการทดสอบในงานวิจัยนี้ได้ทำการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดครั้งละ 30 กิโลกรัมเพื่อลดความชื้นให้ต่ำกว่า 14% ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งเฉลี่ย 8 ชั่วโมงต่อการอบแห้ง 1 ครั้ง สามารถทำให้ขายเมล็ดข้าวโพดได้ราคาที่สูงขึ้นกว่าเมล็ดข้าวโพดที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการอบแห้งเพื่อลดความชื้น อยู่ที่ 1.5 บาทต่อกิโลกรัม ในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารี ใน 1 วัน สามารถทำการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดได้ 3 ครั้งๆละ 30 กิโลกรัม รวมปริมาณเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งได้ 90 กิโลกรัมต่อ 1 วัน สามารถอบแห้งเมล็ดข้าวโพดได้ 32,850 กิโลกรัมต่อปี เมื่อเมล็ดข้าวโพดผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารี สามารถทำให้ขายเมล็ดข้าวโพดได้ในระดับราคา ที่มีค่าความชื้นต่ำกว่า 14.5% ซึ่งจะสามารถขายเมล็ดข้าวโพดได้ในราคาขายเมล็ดข้าวโพดที่มีค่าความชื้นเกิน 14.5% อยู่ที่ 49,275 บาทต่อปี เมื่อการลงทุนสร้างเครื่องอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยลมร้อนแบบโรตารีในงานวิจัยนี้ มีต้นทุน 30,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 0.60 ปี

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบทั้ง 3 ครั้งในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดบนลานตากโดยใช้ปริมาณเมล็ดข้าวโพด 30 กิโลกรัม ที่ความชื้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก ลดความชื้นให้เหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก ใช้ระยะเวลาการอบแห้งทั้งหมด 27 ชั่วโมง มีอุณหภูมิเมล็ดข้าวโพดสุดท้ายที่ 37 องศาเซลเซียส น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้ง 17.86 กิโลกรัม และการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบโรตารี ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณเริ่มต้น 30 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเมล็ดข้าวโพดเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นของเมล็ดข้าวโพดได้ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 13.4 อุณหภูมิสุดท้ายเมล็ดข้าวโพด 50 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 9 ชั่วโมง น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังอบแห้ง 17.86 กิโลกรัม มีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเท่ากับ 9.309 MJ/kg-water evaporated ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 0.242 ซึ่งใช้ระยะเวลาการอบแห้งน้อยกว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดตากแสงอาทิตย์บนลานตาก 18 ชั่วโมง และการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบโรตารี ควบคุมอุณหภูมิลมร้อน ที่ 60 องศาเซลเซียส การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณเริ่มต้น 30 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเมล็ดข้าวโพดเริ่มต้น 30 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นของเมล็ดข้าวโพดได้ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 13.6 อุณหภูมิ

สุดท้ายเมล็ดข้าวโพด 60 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 8 ชั่วโมง น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังอบแห้ง 17.63 กิโลกรัม มีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเท่ากับ 8.120 MJ/kg-water evaporated ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 0.277 ซึ่งใช้ระยะเวลาการอบแห้งน้อยกว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดตากแสงอาทิตย์บนลานตาก 19 ชั่วโมง และใช้ระยะเวลาการอบแห้งน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง และมีค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 1.189 MJ/kg-water evaporated และมีประสิทธิภาพการอบแห้งมากกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบโรตารีควบคุมอุณหภูมิลมร้อน ที่ 70 องศาเซลเซียส การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดปริมาณเริ่มต้น 30 กิโลกรัม ที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 40 มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเมล็ดข้าวโพดเริ่มต้น 29.7 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นของเมล็ดข้าวโพดได้ความชื้นสุดท้ายร้อยละ 13.2 อุณหภูมิสุดท้ายเมล็ดข้าวโพด 70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 7 ชั่วโมง น้ำหนักเมล็ดข้าวโพดหลังอบแห้ง 17.23 กิโลกรัม มีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าเท่ากับ 6.883 MJ/kg-water evaporated เมื่อความร้อนแฝงของการระเหยของน้ำในวัสดุมีค่า 2.257 MJ/kg ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 0.327 ใช้ระยะเวลาการอบแห้งน้อยกว่า การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดตากแสงอาทิตย์บนลานตาก 18 ชั่วโมง และใช้ระยะเวลาการอบแห้งน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมงและ 1 ชั่วโมง และมีค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส 2.426 MJ/kg-water evaporated และ 1.237 MJ/kg-water evaporated และมีประสิทธิภาพการอบแห้งสูงกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสและ 60 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดควบคุมอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาการอบแห้งน้อยที่สุด มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด และมีประสิทธิภาพการอบแห้งมากที่สุดเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยวิธีการตากเมล็ดข้าวโพดบนลานตาก และอบแห้งเมล็ดข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบโรตารีที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 และ 60 องศาเซลเซียส

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย และขอขอบคุณสาขาไฟฟ้าอุตสาหกรรม ภาคเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับใช้ในวิจัยจนทำให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. **ข้าวโพด : แหล่งปลูก** สืบค้นเมื่อ 21 มิถุนายน 2560,จาก https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=8635

[2] จักรมาส เลาหวณิช และสุพรรณ ยั่งยืน. (2553). การเปรียบเทียบความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดระหว่างการอบแห้งด้วยอินฟราเรดและลมร้อน. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.** 41(3/1)(พิเศษ): 185-188(2553).

[3] ไพบูรย์ โรจน์วิบูลย์ชัย และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2535). การอบแห้งข้าวโพดด้วยเครื่องอบแห้งแบบหมุน : แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และแนวทางการอบแห้ง. **ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย.)** ปีที่ 26 ฉบับที่ 1: 50-9(2535).

[4] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2529. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหาร. **คณะพลังงานวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี**, กรุงเทพฯ

[5] ยงยุทธ พืชกมุทร. 2529. เครื่องอบแห้งแบบหมุน รายงานการประชุมทางวิชาการประจำปีครั้งที่ 24, วันที่ 27-29 มกราคม 2529, **มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.** น 15-27

[6] Espanto, I.H., S.C. Andals, A.T.Belonio and Y.W. Jeon. 1985 Performance evaluation of IRRI batch-type rotary drum dryers. Research and development on system and Linkages for a Viable

Grain Post-harvest Industry in the Humid Tropics, **The ASEAN Crop Post-Harvest Programme,** pp. 261-268, by Semple, R.L. and A.S. Frio (eds).

[7] Jindal, V.K. AND B.T Molano. 1987. Design and development of an axial flow rotary dryer for paddy. **Consultative Work-shop on Grain Drying and Milling in ASEAN,** 24-27 Nov , Bangkok.

[8] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. **สถานการณ์การผลิตและตลาดรายสัปดาห์ : ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์** สืบค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2561, จาก https://www.ryt9.com/s/oae/2904175

IE60

การออกแบบและพัฒนาระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร

Design and development of Solar Pumping Mobile Unit for Agriculture

กิตติ อภิชัยไพบูลย์* วนารัตน์ กรอิสรานุกูล และธนิท เรืองรุ่งชัยกุล
สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต
99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อการออกแบบและพัฒนาระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตรโดยออกแบบสำหรับปั๊มขนาดไม่ต่ำกว่า3 แรงม้าใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 250 วัตต์ จำนวน 10 แผง ต่ออนุกรมกัน เป็นระบบที่ไม่ใช้แบตเตอรี่ มีอินเวอร์เตอร์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงแรงดัน 360 โวลต์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์ 3 เฟส สามารถพับเก็บหลังจากการใช้งานได้เพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้ายการทดสอบเบื้องต้นโดยการสูบน้ำที่ระดับความสูง 2 เมตรพบว่ามีอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ย 7.07 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ประสิทธิภาพของระบบฯเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเฉลี่ยร้อยละ 60 ประสิทธิภาพของระบบฯเปรียบเทียบกับความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยร้อยละ 11การประเมินความพึงพอใจของการใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตรพบว่า โครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบควบคุมมีรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนสามารถนำไปต่อยอดยอดใช้งานเองได้ง่าย ต่อพ่วงไปใช้งานสะดวก โดยมีสิ่งที่ควรพัฒนาคือขนาดของรถพ่วง น้ำหนักและขนาดของปั๊มสูบน้ำให้มีขนาดเล็กลงกว่าตัวต้นแบบณ ปัจจุบัน

คำสำคัญ: ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เคลื่อนย้าย

*Corresponding author: Tel.: 0957726593. E-mail address: lmojojojol13@gmail.com

บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการทำการเกษตร ซึ่งปกติพื้นที่การเกษตรอยู่ห่างไกลออกไปจากชุมชน ทำให้ไม่มีสายไฟฟ้าเข้ามาถึง[1] ส่วนใหญ่จึงต้องอาศัยเครื่องสูบน้ำที่ใช้พลังงานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำสูง เกษตรกรจึงเริ่มนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เพื่อการสูบน้ำมากขึ้น กล่าวคือ มีการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ซึ่งมีราคาถูกลงมากในปัจจุบัน) ผลิตกระแสไฟฟ้าส่งไปยังมอเตอร์เพื่อให้เครื่องสูบน้ำสามารถทำงานได้ อย่างไรก็ตามการติดตั้งใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ในแปลงเกษตรที่ห่างไกล ทำให้เกิดความกังวลต่อความเสียหายหรือเกิดการสูญหายได้

ดังนั้นเพื่อเป็นการนำน้ำจากแหล่งน้ำในพื้นที่มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับการเกษตร จึงเป็นที่มาของการออกแบบและพัฒนาระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร เพื่อเป็นต้นแบบให้เกษตรกรสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ตามต้องการสะดวกต่อการใช้งานในหลายพื้นที่ อีกทั้งป้องกันการสูญหายของอุปกรณ์สูบน้ำ ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ชุมชน เกษตรกรสามารถทำการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถสร้างงาน สร้างอาชีพเสริม สร้างเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และขยายผลให้กับชุมชนในพื้นที่อื่น ๆ ได้ต่อไป

วิธีการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร นี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

1) **การเก็บรวบรวมข้อมูลระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้าย**

โดยศึกษาข้อมูลเบื้องของต้นแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายที่มีในประเทศไทยและต่างประเทศ

2) **หลักการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับสูบน้ำเพื่อการเกษตร**

การออกแบบนี้คำนึงถึงการนำไปประยุกต์ใช้ของเกษตรกรสามารถนำไปใช้งานได้ง่าย มีหลักการดังต่อไปนี้

1) สามารถบรรทุกของ เช่น อุปกรณ์ทำการเกษตร อุปกรณ์สำหรับสูบน้ำ

2) โครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ซับซ้อนใช้งานสะดวก สามารถนำไปขยายผลต่อยอดได้

3 ระบบควบคุมของระบบสูบน้ำใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยากสำหรับเกษตรกร

3) **ทดสอบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร**

3.1ทดสอบการสูบน้ำเบื้องต้นที่ระดับความสูง2 เมตร

โดยเก็บค่าอัตราการไหลของน้ำจากเครื่องวัดอัตราการไหลความเข้มของแสงอาทิตย์มาวิเคราะห์และนำมาแสดงในรูปแบบกราฟ

3.2การคำนวณประสิทธิภาพ

3.2.1 คำนวณประสิทธิภาพของระบบฯเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง

= กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ/กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง

3.2.2คำนวณประสิทธิภาพของระบบฯเปรียบเทียบกับความเข้มแสงอาทิตย์

= (กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ/พื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง)/ความเข้มแสงอาทิตย์ขณะทดสอบ

3.3แบบประเมินความพึงพอใจของการใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร

ใช้แบบสอบถามในการประเมินเพื่อให้คะแนนความพึงพอใจ โดยให้กลุ่มตัวอย่างทำการทดลองใช้งานจริง ได้แก่ความสะดวกในการต่อรถพ่วงไปใช้งาน การกางและเก็บแผงเซลล์แสงอาทิตย์ น้ำหนักและขนาดของปั๊มสูบน้ำ(หอยโข่ง) ในการเคลื่อนย้ายใช้งาน การใช้งานระบบควบคุม รวมถึงได้สอบถามถึงความพึงพอใจต่อขนาดของชุดอุปกรณ์รถพ่วง โครงสร้างที่ใช้รองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำไปประยุกต์ต่อยอดใช้งานเป็นต้น

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1.การศึกษาต้นแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้าย

จากการศึกษาต้นแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายทั้งในและนอกประเทศ มีข้อมูลดังนี้

1.1 ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์บนรถพ่วง 4 ล้อเคลื่อนที่ ดำเนินการโดย สำนักงานจังหวัดน่านกระทรวงพลังงาน ลักษณะการใช้งานเป็นการกางแผงฯเปิดออกทางด้านข้างขนาดกำลังไฟฟ้ารวม 1,600 วัตต์ดังภาพที่ 1



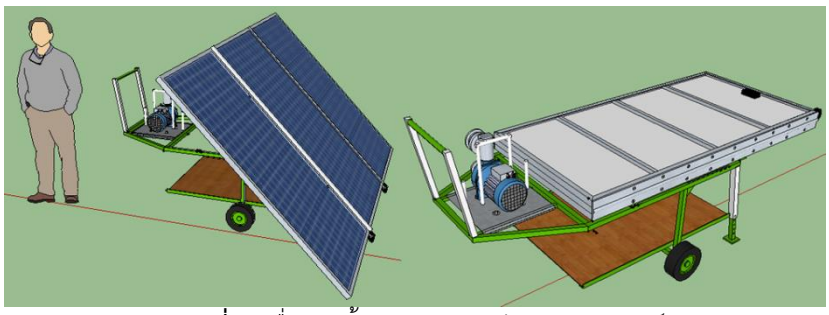
ภาพที่ 1 ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์บนรถพ่วง 4 ล้อเคลื่อนที่

1.2 ระบบชลประทานแบบเคลื่อนย้าย (First Mobile Solar Cell Irrigation System)ขนาดกำลังไฟฟ้ารวม 3.2 กิโลวัตต์ สามารถสูบน้ำได้ลึกมากกว่า 150 เมตร ดำเนินการโดย Mr. NenadLihtar [2] ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2ระบบชลประทานแบบเคลื่อนย้าย

1.3เครื่องสูบน้ำแบบพกพาพลังงานแสงอาทิตย์ออกแบบโดย Mr. balázsgábornagy ขนาดกำลังไฟฟ้ารวม 900 วัตต์ ใช้กับปั๊มขนาด 750 วัตต์ โดยอัตราสูบน้ำอยู่ที่ 0.45 ลูกบาศก์ต่อนาที [3] ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3เครื่องสูบน้ำแบบพกพาพลังงานแสงอาทิตย์

2. การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับสูบน้ำเพื่อการเกษตร

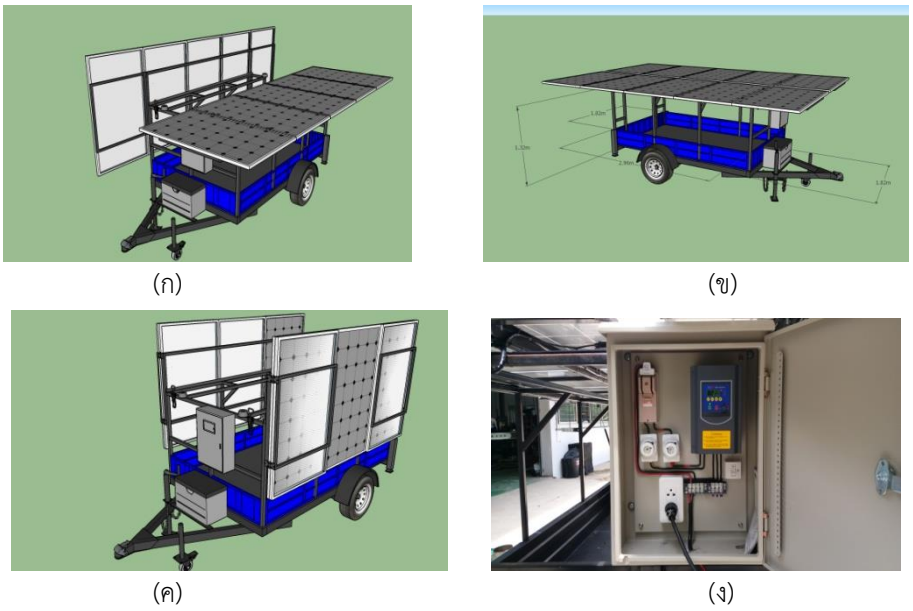
ระบบนี้ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยตรง ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 250 วัตต์จำนวน 10 แผง ต่ออนุกรมกัน เพื่อใช้กับขนาดปั๊มไม่ต่ำกว่า 3 แรงม้าให้สามารถทำงานได้ โดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบปรับความถี่ตามความเข้มแสงอาทิตย์เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แรงดัน 360 โวลต์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแรงดัน 220 โวลต์ 3 เฟสโครงสร้างรองรับแผงฯ มีความกว้าง 1.8 เมตร ความยาว 2.9 เมตร(ภาพที่ 4-ก)เพื่อให้สะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและใช้งาน โดยแบ่งออกเป็นฝั่งละ 5 แผง(ภาพที่ 4-ข) สามารถพับเก็บแผงฯไว้ด้านข้าง หลังจากการใช้งาน (ภาพที่ 4-ค)ระบบควบคุมใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน ดังภาพที่ 4-ง

3. การทดสอบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร

ทำการทดสอบเบื้องต้นโดยวัดความเข้มแสงอาทิตย์ขณะทดสอบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้าย โดยวัดอัตราการไหลของน้ำที่ได้ ซึ่งใช้ปั๊มสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์หรือปั๊มหอยโข่ง (Centrifugal Pump) (ภาพที่ 5-

ก) ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า 3 เฟส โดยทดสอบสูบน้ำที่ระดับความสูง 2 เมตร เป็นเวลา 3 วันตั้งแต่ 9.00 น. ถึง 16.00 น. (ภาพที่ 5-ข) นำค่าความเข้มแสงอาทิตย์ขณะทดสอบ และค่าอัตราการไหลของน้ำที่ระดับความสูง 2 เมตร ที่บันทึกมาวิเคราะห์ผลเฉลี่ย ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 6

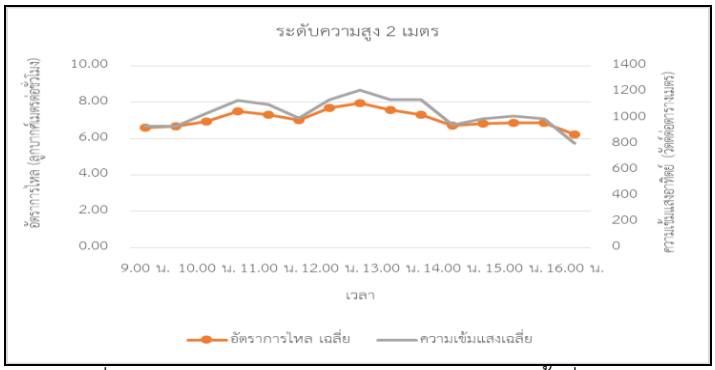
จากกราฟพบว่าอัตราการไหลของน้ำแปรผันตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์ กล่าวคือ เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์สูง จะทำให้อัตราการไหลของน้ำที่สูบได้เพิ่มขึ้น แต่ถ้าความเข้มแสงอาทิตย์น้อยจะทำให้อัตราการไหลของน้ำที่สูบได้ลดลงตาม ไปด้วยโดยมีอัตราการไหลเฉลี่ยประมาณ 7.07 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพของระบบฯเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเฉลี่ยร้อยละ 60 ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 4 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับสูบน้ำเพื่อการเกษตร



ภาพที่ 5การทดสอบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร



ภาพที่ 6 กราฟเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์และอัตราการไหลของน้ำที่ระดับความสูง 2 เมตร



ภาพที่ 7 ประเมินความพึงพอใจของการใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร

เวลา	กระแสไฟฟ้า (A)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กำลังไฟฟ้า (W)	กำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ (W/m²)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²)	ประสิทธิภาพของระบบฯเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง (%)	ประสิทธิภาพของระบบฯเปรียบเทียบกับความเข้มแสงอาทิตย์ (%)
9.00 น.	5.5	292	1,606	97	823	64	12
9.30 น.	5.4	292	1,577	95	820	63	12
10.00 น.	5.5	292	1,606	97	829	64	12
10.30 น.	5.5	292	1,606	97	907	64	11
11.00 น.	5.5	292	1,606	97	964	64	10
11.30 น.	5.4	292	1,577	95	1,010	63	9
12.00 น.	5.5	293	1,612	97	1,022	64	10
12.30 น.	5.3	292	1,548	94	1,013	62	9
13.00 น.	5.4	292	1,577	95	1,000	63	10
13.30 น.	5.2	292	1,518	92	945	61	10
14.00 น.	5	292	1,460	88	878	58	10
14.30 น.	4.8	292	1,402	85	772	56	11
15.00 น.	4.6	292	1,343	81	725	54	11
15.30 น.	4.4	292	1,285	78	671	51	12
16.00 น.	4.2	292	1,226	74	613	49	12
					เฉลี่ย	60	11

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำแบบประเมินความพึงพอใจของการใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตรกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 20 คน (ภาพที่ 7) ซึ่งได้ผลประเมิน ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 8

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจของการใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร

คะแนนความพึงพอใจ	น้อยที่สุด (1)	น้อย (2)	ปานกลาง (3)	มาก (4)	มากที่สุด (5)
ตัวรถพ่วงพลังงานแสงอาทิตย์					
-การต่อรถพ่วง (ต่อพ่วงรถกระบะไปใช้งาน) สะดวก	2	0	6	8	4
-ขนาดรถพ่วงนำไปใช้งานได้สะดวก	3	6	3	5	3
แผงเซลล์แสงอาทิตย์					
-โครงสร้างง่ายไม่ซับซ้อน (สามารถนำไปทำเองได้)	1	0	6	5	8
-การกางและเก็บแผงฯสามารถทำคนเดียวได้สะดวก	6	2	2	5	5
-น้ำหนักไม่มาก (ใช้กำลังในการยกแผงฯ)	5	3	6	2	4
ปั๊มสูบน้ำ (หอยโข่ง) การเคลื่อนย้ายใช้งานสามารถทำคนเดียวได้					
-น้ำหนักของปั๊ม	3	6	6	4	1
-ขนาดของปั๊ม	0	8	7	3	2
ระบบควบคุม					
-ระบบควบคุมใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน	0	0	8	5	7



ภาพที่ 8 กราฟความพึงพอใจของการใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร

การทดสอบความพึงพอใจพบว่าจากคะแนนเต็ม 5 คะแนน ได้คะแนนดังนี้

- การต่อรถพ่วงได้ค่าเฉลี่ย 3.6 คะแนน สามารถต่อพ่วงรถกระบะหรือรถไถ ได้สะดวก
- ขนาดรถพ่วงได้ค่าเฉลี่ย 3 คะแนน มีพื้นที่สำหรับใส่อุปกรณ์ได้เยอะแต่ถ้าสามารถลดขนาดของรถพ่วงให้เล็กกว่านี้ จะนำไปใช้งานในพื้นที่ขนาดเล็กได้ดีกว่าขนาดตัวรถต้นแบบปัจจุบัน
- โครงสร้างรอบรับแผง ได้ค่าเฉลี่ย 4 คะแนน ผู้ทดสอบสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายนำไปทำและใช้งานเองได้โดยไม่ยุ่งยาก
- การกางและเก็บแผงฯ ได้ค่าเฉลี่ย 3.1 คะแนน สามารถกางและเก็บได้โดยสามารถทำงานเพียงคนเดียวได้สะดวก
- น้ำหนักของการยกแผงฯใช้งาน ได้ค่าเฉลี่ย 2.9 คะแนน ต้องออกแรงยกหรือใช้กำลังในการยกมากโดยผู้ทดสอบมีข้อแนะนำให้ใช้ระบบไฮดรอลิคช่วยในการพัฒนาต่อยอด
- น้ำหนักของปั๊ม ได้ค่าเฉลี่ย2.7 คะแนนปั๊มมีน้ำหนักมากเคลื่อนย้ายเพียงคนเดียวได้ลำบาก
- ขนาดของปั๊มได้ค่าเฉลี่ย 3 คะแนน ปั๊มมีขนาดใหญ่เกินไป มีคำแนะนำว่าควรหาขนาดที่เล็กกว่าโดยประสิทธิภาพการทำงานใกล้กับตัวต้นแบบ
- ระบบควบคุม ได้ค่าเฉลี่ย 4 คะแนน ระบบควบคุมใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน ใช้งานเช่นเดียวกับเครื่องสูบน้ำไฟฟ้าทั่วๆไป

สรุปผลการวิจัย

ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตรหลังการทดสอบการสูบน้ำมีอัตราการไหลที่ระดับความสูง 2 เมตรเฉลี่ยที่ 7.07 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมงประสิทธิภาพของระบบฯเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเฉลี่ยร้อยละ 60ประสิทธิภาพของระบบฯเปรียบเทียบกับความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยร้อยละ 11และการประเมินความพึงพอใจของการใช้งานระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายสำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตรพบว่า โครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบควบคุมมีรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนสามารถนำไปต่อยอดได้ต่อพ่วงไปใช้งานสะดวก โดยมีสิ่งที่ควรพัฒนาต่อคือ ขนาดของรถพ่วง น้ำหนักและขนาดของปั๊มสูบน้ำ ควรออกแบบให้มีขนาดเล็กลงกว่าตัวต้นแบบ ณ ปัจจุบัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดสอบและขอขอบคุณ มูลนิธิพลังที่ยั่งยืน ที่ให้ทุนสนับสนุนในการสร้างระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้ายและให้ยืมเครื่องมือในการตรวจวัดอัตราการไหลในการทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. (ม.ป.ป.). **ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์** สืบค้นเมื่อ 4เมษายน 2560,จาก http://www.sugarzone.in.th/know/know5.asp.

[2] NenadLihtar. (2015.). **First mobile solar cell irrigation system** สืบค้นเมื่อ 28กันยายน2560,จาก https://www.linkedin.com/pulse/first-mobile-solar-cell-irrigation-system-nenad-lihtar

[3] BalázsGábor Nagy. (2013). **Solar Panel Powered Portable Water Pump**สืบค้นเมื่อ 28กันยายน2560,จาก https://www.jovoto.com/projects/greenpeacechallenge/ideas/31347?page=1

ประวัติผู้เขียนบทความ



นายกิตติ อภิชัยไพบูลย์
วท.บ. เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

IE66

การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปิด

Closed cycle Dryer for Drying Zingibermontanum

หฤทัย บงแก้ว[1] บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล[2] และศิรินุช จินดารักษ์[1*]
[1] สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 65000
[2]สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) 12120

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันพืชสมุนไพรจัดเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่ต่างประเทศกำลังหาทางลงทุนและคัดเลือกสมุนไพรไทยไปสกัดหาตัวยาเพื่อรักษาโรคบางโรคและมีหลายประเทศที่นำสมุนไพรไทยไปปลูกและทำการค้าขายแข่งกับประเทศไทย สมุนไพรหลายชนิดที่เราส่งออกเป็นรูปของวัตถุดิบ[1] คือ พืชสมุนไพรอย่างไพล ชื่อวิทยาศาสตร์ Zingibermontanum ซึ่งจัดอยู่ในพืชวงศ์ขิงที่นิยมนำมาใช้ส่วนมากในปัจจุบันมีสรรพคุณรักษา แก้ฟกช้ำ บวม เคล็ด ยอก ปวดเมื่อย ขับลมท้องเดิน ช่วยขับระดูหรือประจำเดือนของสตรี เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปิดซึ่งมีข้อดี คือ ช่วยในการรักษาลักษณะทางกายภาพของไพล คือ สี กลิ่นโดยจะทำการหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบแห้งระบบปิดที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งระบบเปิด อบแห้งที่สภาวะอุณหภูมิ 50 °C การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบเปิด โดยไพลจะมีความหนาไม่เกิน 5 มิลลิเมตร น้ำหนักเริ่มต้น 2 กิโลกรัม มีความชื้นเริ่มต้น 675 %db ระยะเวลาในการอบแห้ง 19 ชั่วโมง อัตราการอบแห้งเฉลี่ยประมาณ 35.00 %db/hr มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 26.23 $kJ / kg_{H_2O_{evap}}$ และมีความชื้นสุดท้าย 10 %dbการอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งสมุนไพรระบบปิด น้ำหนักเริ่มต้น 4 กิโลกรัม มีความชื้นเริ่มต้น 600 %db ระยะเวลาในการอบแห้ง 24 ชั่วโมง อัตราการอบแห้งเฉลี่ยประมาณ 24.58 %db/hr มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 9.93 $kJ / kg_{H_2O_{evap}}$ และมีความชื้นสุดท้าย 10 %db ซึ่งเครื่องอบแห้งสมุนไพรนี้สามารถประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 62 และเพิ่มผลผลิตเป็น 2 เท่า เมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งสมุนไพรระบบเปิด

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งสมุนไพรระบบปิด อัตราการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะไพล

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

บทนำ

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย ใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย วัสดุอบแห้งมีหลายชนิด ผลผลิตที่ผ่านกระบวนการอบแห้งส่วนใหญ่จะสามารถเก็บรักษาไว้ระยะเวลายาวนานได้ [3]

วิธีการอบแห้งที่นิยมใช้กันตั้งแต่สมัยโบราณถึงปัจจุบัน คือ การตากตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และมีค่าใช้จ่ายน้อย เนื่องจากเป็นการอาศัยความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ในการลดความชื้นให้กับวัสดุที่ต้องการอบแห้ง แต่วิธีนี้มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการอบแห้ง คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง ซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความชื้นในอากาศแวดล้อม คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีการปนเปื้อนจาก ฝุ่นละออง นก และแมลง จึงมีการพัฒนาการอบแห้งให้มีคุณภาพมากขึ้น

การพัฒนาเทคนิคการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์และลดระยะเวลาในการอบแห้งแต่การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นระยะเวลาในการอบแห้งได้น้อยมาก จึงมีการพัฒนาเทคนิคของเครื่องอบแห้งขึ้นหลากหลายเทคนิค เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานความร้อน คือ ความร้อนจากชีวมาล และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้า คือ ลมร้อน อินฟรา เรด และไมโครเวฟ เป็นต้น โดยเครื่องอบแห้งส่วนใหญ่จะใช้พลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์และความร้อนจากแหล่งความร้อนอื่นเสริม เนื่องจากต้องการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้ง แต่เครื่องอบแห้งดังกล่าวยังมีปัญหาเรื่องการเคลื่อนย้ายไม่สะดวกต่อการใช้งาน จึงมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานไฟฟ้าขึ้น ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก และสามารถควบคุมอุณหภูมิและลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ แต่เครื่องอบแห้งพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นระบบเปิดมีการอากาศร้อนทิ้งตลอดการอบแห้ง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งเป็นอย่างมาก

ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งระบบปิด โดยใช้ลมร้อนเป็นแหล่งความร้อน และสามารถนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยในระบบจะใช้คอยล์ร้อนเป็นแหล่งพลังงานความร้อนเสริม และคอยล์เย็นในการลดความชื้นในอากาศ หรือดึงความชื้นสัมพัทธ์ออก โดยเครื่องอบแห้งระบบปิดนี้จะสามารถลดระยะเวลาในกระบวนการอบแห้ง เพิ่มขึ้นภาพให้กับผลิตภัณฑ์ และประหยัดพลังงานในการอบแห้งได้ เนื่องจากเป็นการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ในการอบแห้ง

พรพิมล กันทะวงศ์ สราญรัตน์ เชาวะนะ และอุเทน ขันทะบุตร [4] ศึกษาการควบคุมตู้อบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัว โดยเครื่องอบแห้งแบบใหม่ประกอบด้วยห้องอบแห้งขนาด 0.5 x 0.5 x 1 m^3 ที่สามารถบรรจุผลผลิตได้จำนวน 7 ถาด เครื่องอัดไอขนาด 9,000 btu/h และสารทำงานคือ R-22 ในส่วนการทดสอบทำการทดลองอบแห้งวงจรอากาศแบบปิด เครื่องอบแห้งแบบใหม่ ที่มีระบบสมองกลฝังตัวโดยใช้บอร์ด ARDUINO MEGA 2560 เป็นตัวควบคุมเครื่องอบแห้ง พบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 45-55 °C ความเร็วก่อนเข้าห้องอบแห้ง 0.7 m/s ใช้เวลาอบแห้ง 7 ชั่วโมง จะได้ อัตราการอบแห้งเฉลี่ย 0.693 Kg water/h

วณิช หอมมณี อนิรุทธิ์ เกตุอินทร์ และอธิวัฒน์ ปินตามูล [5] ออกแบบและศึกษาการอบแห้งมันฝรั่งแผ่นโดยใช้น้ำมันแลกเปลี่ยนความร้อนระบบปิด โดยมีขนาดห้องอบแห้ง 0.64X1.34X0.84 ลูกบาศก์เมตร ใช้พัดลมเป่าอากาศแบบใบพัดโค้งหน้า มีอัตราการไหล 0.42 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 2.41 กิโลวัตต์ หม้อต้มน้ำมันร้อนทำจากสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 350X450 มิลลิเมตร เก็บสะสมน้ำมันร้อนได้ 60 ลิตร ปั๊มน้ำมันมีอัตราการไหล 0.16 กิโลกรัมต่อวินาที มอเตอร์ 0.19 กิโลวัตต์ และหัวเตาแก๊สแบบอินฟราเรด 3.45 กิโลวัตต์ สามารถอบแห้งได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม บรรจุใส่ถาด ถาดละ 1 กิโลกรัม จำนวน 10 ถาด มีเงื่อนไขความชื้นเริ่มต้นประมาณ 600-650 % (dry basis) อบแห้งจนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ10-15 % (dry basis)

หฤทัย บงแก้ว และคณะ [6] การเปรียบเทียบกระบวนการอบแห้งสมุนไพรโดยใช้รังสีอินฟราเรดเทียบกับลมร้อน ได้ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งสมุนไพรตระกูลขิง 6 ชนิด คือ ขิง ข่า ขมิ้นชัน ขมิ้นอ้อย ไพล และว่านชักมดลูก เงื่อนไขที่ใช้ในการอบแห้ง คือ ที่อุณหภูมิ 40°C50 °Cและ 60°Cที่ความเร็วลม 1.5 m/s แหล่งความร้อนที่ใช้ คือ ลมร้อน และรังสีอินฟราเรด เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษานี้มีขนาดห้องอบแห้ง 0.52 x 0.52 x 0.56 m^3 จากการศึกษา พบว่า แหล่งความร้อนที่เหมาะสมของการอบแห้งสมุนไพรทั้ง 6 ชนิด คือ รังสีอินฟราเรด เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งขิง ข่า ขมิ้นชัน ขมิ้นอ้อย ไพล และว่านชักมดลูก คือ 50°C 50 °C 50 °C 60 °C 50 °C และ 60°C ตามลำดับ โดยมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสำหรับการอบแห้ง คือ 28.84MJ/kg H_2Oevap 31.05 MJ/kg H_2Oevap 27.10 MJ/kg H_2Oevap 33.27 MJ/kg H_2Oevap 27.14 MJ/kg H_2Oevap 30.37 MJ/kg H_2Oevap สำหรับการอบแห้งขิง ข่า ขมิ้นชัน ขมิ้นอ้อย ไพล และว่านชักมดลูก ตามลำดับ และจากรายงานการวิจัยเรื่อง สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับพืชตระกูลขิง ที่นำมาใช้ในศาสตร์การแพทย์แผนไทยฯ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ถึงองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ทำให้ทราบวิธีการอบแห้งที่สามารถคงปริมาณสารสำคัญไว้ได้มากที่สุด พบว่า การ

อบแห้งสมุนไพรพืชตระกูลขิง 6 ชนิด คือ ขิง ข่า ขมิ้นชัน ขมิ้นอ้อย ไพล และว่านชักมดลูก พบว่า การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งมีปริมาณสารสำคัญคงเหลือมากกว่าการอบแห้งตามธรรมชาติ และผลการควบคุมคุณภาพสมุนไพรพบว่าสมุนไพรทุกชนิดมีค่าโลหะหนักน้อยกว่ามาตรฐานกำหนดและมีปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแต่หากเก็บไว้ระยะหนึ่ง อาจจะมีปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากส่วนประกอบที่เป็นน้ำมันหอมระเหย และเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของไพลอบแห้งตามธรรมชาติกับไพลที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง พบว่าการตากแห้งไพลตามธรรมชาติจะเหลือปริมาณสารเคมีน้อยกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง โดยสารเคมีที่หายไปของการอบแห้งตามธรรมชาติ คือ 9-(Iodomethyl)anthracene, 6-methyl-3-thio-4-methyl-1,2,4- triazine-5-one, 3-(4'-Methoxyphenylazo)-1,2,4- oxadiazol-5-one[11]

จากงานวิจัยของ หฤทัย บงแก้ว นินนาท อินทฤทธิ์ และศิรินุช จินดารักษ์เป็นการอบแห้งพืชสมุนไพรตระกูลขิง 6 ชนิด คือ ขิง ข่า ขมิ้นชัน ขมิ้นอ้อย ไพล และว่านชักมดลูก ด้วยเครื่องอบแห้งระบบเปิด โดยสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งสมุนไพร คือ อุณหภูมิ 50 °Cและในการเปรียบเทียบสาระสำคัญและองค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพรตากแห้งตามธรรมชาติกับอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า การตากแห้งไพลตามธรรมชาติจะเหลือปริมาณสารเคมีน้อยกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง ดังนั้นจึงนำมาประยุกต์ในงานวิจัยนี้ โดยทำการอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปิด ที่อุณหภูมิ 50 °Cทำการเปรียบเทียบกับการอบแห้งระบบเปิด เพื่อแสดงให้เห็นถึงการประหยัดพลังงานของเครื่องอบแห้งระบบปิด

วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปิดที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ร้อยละ 50 เปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่ไม่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยมีวิธีดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1. เครื่องอบแห้งระบบเปิดดังรูปที่ 1

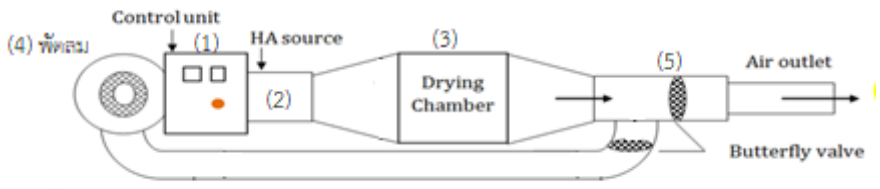
1) ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งประกอบด้วยตู้ควบคุมการทำงานของขดลวดความร้อนและความเร็วรอบมอเตอร์ (1) เพื่อใช้สำหรับควบคุมการให้ความร้อนของขดลวดไฟฟ้าเป็นไปตามที่กำหนดและควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์พัดลมสำหรับการกำหนดอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง

2) แหล่งกำเนิดความร้อนเป็นห้องสี่เหลี่ยมติดตั้งขดลวดไฟฟ้ามีจำนวน 3 ตัวมีขนาด 1000 W ต่อกันแบบขนาน (2)

3) ห้องอบแห้งเป็นห้องสี่เหลี่ยมมีขนาด 52 x 52 x 56 m^2ภายในห้องอบแห้งบรรจุผลิตภัณฑ์สดได้ 2 kg ชั้นวางถาดสูง 38 cm กว้าง 41 cm ยาว 49.7 cm มี 3 ชั้นแต่ละชั้นห่างกัน 13 cm และสูงจากพื้น 13 cm ถาดวางสมุนไพรมีขนาด 40 x 49.1 x 2 cm^3(3)

4) ท่อนำอากาศร้อนออกจากเครื่องอบแห้งทำหน้าที่ระบายอากาศร้อนที่อยู่ในห้องอบแห้งออกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11 cm และยาว 262 cm (5)

5) การไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งเป็นแบบบังคับ โดยใช้พัดลมที่สามารถควบคุมได้ (4)



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมของเครื่องอบแห้งระบบเปิด

2. เครื่องอบแห้งระบบปิดดังรูปที่ 2

ในงานวิจัยนี้สร้างเครื่องอบแห้งระบบปิดให้มีสามารถอบแห้งไพลได้ 4 กิโลกรัมสด เนื่องจากต้องการเพิ่มกำลังการผลิตการอบแห้งไพล และพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปิดเพื่อเป็นการอบแห้งไพลในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก โดยพัฒนาจากเครื่องอบแห้งระบบเปิดที่มีความสามารถอบแห้งไพลได้เพียง 2 กิโลกรัมสด และช่วยลดการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งไพล ซึ่งเครื่องอบแห้งระบบปิดมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

1)ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งประกอบด้วยตู้ควบคุมการทำงานของขดลวดความร้อนและความเร็วรอบมอเตอร์(1)เพื่อใช้สำหรับควบคุมการให้ความร้อนของขดลวดไฟฟ้าเป็นไปตามที่กำหนดและควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์พัดลมสำหรับการกำหนดอัตราการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งและส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบความชื้น (2) เพื่อใช้สำหรับควบคุมการดึงความชื้นในอากาศร้อนเป็นไปตามที่กำหนด และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศร้อนของกระบวนการอบแห้ง

2) แหล่งกำเนิดความร้อนในงานวิจัยนี้จะใช้ฮีตเตอร์ หรือขดลวดไฟฟ้า (3) ที่มีขนาด 3,500 วัตต์ คือ สร้างเป็นกล่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาด 40x40x140cm^3 ในกล่องจะมีฮีตเตอร์ ใบพัดลม และมอเตอร์ (4) สามารถควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้งได้ตามที่กำหนด คือ ไม่เกิน 70 ^{O}C

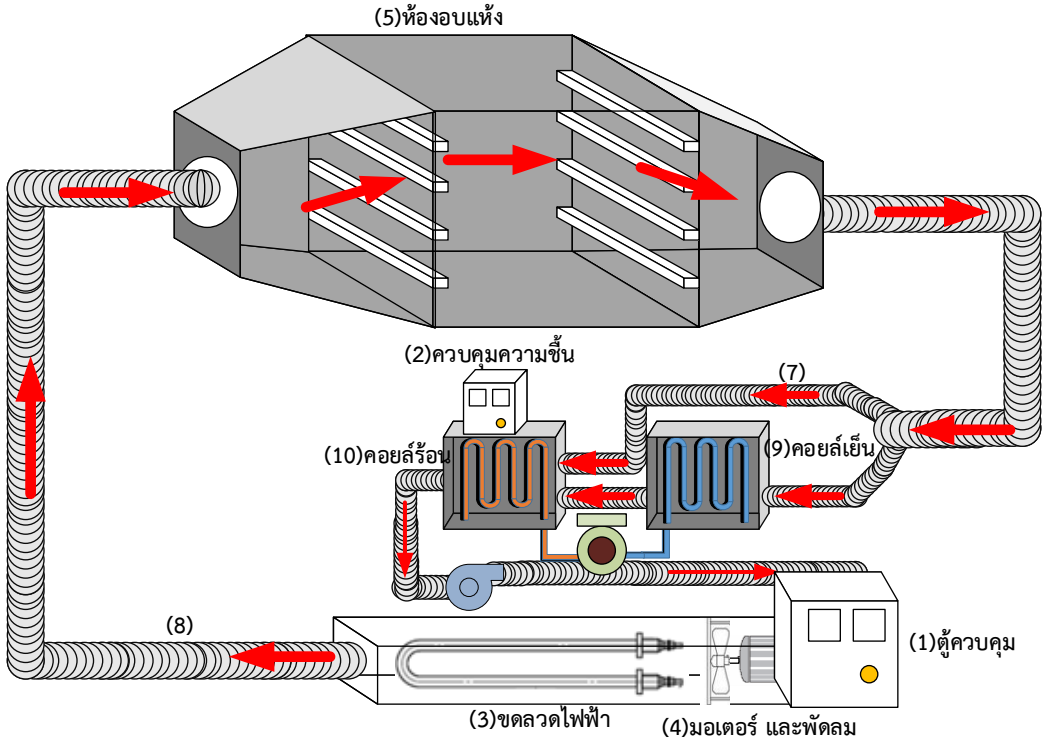
3) ห้องอบแห้ง (5) จะมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลียมจัตุรัสมีขนาด 1x1 x 1 ลูกบาศก์เมตร มีชั้นวางวัตถุดิบทั้งหมด 4 ชั้น แต่ละชั้นมีขนาด 1x0.8 ตารางเมตร อบแห้งไพลได้ประมาณ 4 กิโลกรัมสด และการไหลเวียนของอากาศภายในเครื่องอบแห้งเป็นแบบบังคับ

4) ท่อนำอากาศร้อนออกจากเครื่องอบแห้งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง17 cm (6) และท่อนำอากาศจะแยกออกเป็น 2 ทาง มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm (7)

5) ระบบควบคุมความชื้นเครื่องอบแห้งระบบปิด ในงานวิจัยนี้ใช้คอมเพรสเซอร์ขนาด 12,000 Btu คอยล์เย็น (9) ที่ใช้ในการรับอากาศร้อนมีขนาด 18x20x20cm^3 ทำหน้าที่ในการดึงความชื้นออกจากอากาศร้อน คอยล์ร้อน (10) มีลักษณะเป็นแบบรังผึ้งสำหรับตู้แช่อะลูมิเนียม 4 แถว มีพื้นที่รับอากาศขนาด 16x28x28 cm^3 ทำหน้าที่เป็นแหล่งความร้อนเสริมในเครื่องอบแห้งระหว่างดึงความชื้นออก และสารหล่อเย็นที่ใช้ในระบบ คือ 134A

6) หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งระบบปิด คือ ในเครื่องอบแห้งจะมีการไหลของอากาศภายในเป็นแบบบังคับโดยใช้พัดลม มีฮีตเตอร์ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานความร้อนของเครื่องอบแห้ง โดยอากาศร้อนจะไหลผ่านผิววัตถุดิบแบบขนาน ซึ่งการอบแห้งจะเป็นแบบระบบปิด คือ จะมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยอากาศร้อนจะหมุนเวียนในห้องอบแห้ง โดยจะทำการวัดโดยใช้โมดูล SHT 11 เป็นเซนเซอร์วัดความชื้น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศร้อนมีค่าตามที่กำหนด คือ ร้อยละ 50 จะทำการดึงความชื้นออกจากอากาศร้อน โดยใช้คอยล์เย็นที่มีความสามารถในการลดความชื้นในอากาศ หรือดึงความชื้นสัมพัทธ์ออก และคอยล์ร้อนเป็นแหล่งพลังงานความร้อนเสริมเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กลับอากาศ เนื่องจากอากาศที่ถูกดึงความชื้นออกจากอุณหภูมิต่ำลงมาก ดังนั้นจึงใช้คอยล์ร้อนเป็นแหล่งความร้อนเสริมเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กลับอากาศ ก่อนที่อากาศจะไหลผ่านฮีตเตอร์เพื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศให้สูงขึ้น

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า อากาศร้อนที่ออกจากห้องอบแห้งจะถูกแบบออกเป็น 2 ทาง คือ ไหลผ่านคอยล์เย็นร้อยละ 50 และไหลเข้าคอยล์ร้อนร้อยละ 50 ซึ่งการไหลของอากาศนี้ไปคอยล์เย็นจะไม่มีการดึงความชื้นออก เนื่องจากถึงความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าตรามที่กำหนด คือ ร้อยละ 50 คอยล์เย็นถึงจะทำงาน



ภาพที่ 2 ไดอะแกรมของเครื่องอบแห้งระบบปิด

3. การทดสอบความเป็นไปได้เชิงเทคนิคของเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบ

ในการทดสอบเครื่องอบแห้งไพลทั้ง 2 ระบบเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบแห้งไพลระบบปิด จะมีการเก็บข้อมูล ดังต่อไปนี้

— วัดอุณหภูมิอากาศ ณ ตำแหน่งต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิที่ออกจากคอยล์ร้อน อุณหภูมิก่อนเข้าห้องอบแห้ง อุณหภูมิห้องอบแห้ง อุณหภูมิออกจากห้องอบแห้ง และอุณหภูมิที่เข้าคอยล์ร้อน โดยทำการบันทึกค่าอุณหภูมิทุกๆ 1 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิที่ห้องอบแห้งจะควบคุมตามสภาวะที่กำหนด คือ 50°C

— วัดความชื้นสัมพัทธ์ ณ ตำแหน่งต่างๆ ได้แก่ ความชื้นอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง ความชื้นอากาศภายในห้องอบแห้ง และความชื้นอากาศที่ออกจากเครื่องอบแห้ง โดยจะทำการบันทึกค่าความชื้นทุกๆ 1 ชั่วโมง

— ชั่งน้ำหนักสมุนไพรระหว่างการอบแห้งทุก 1 ชั่วโมง เพื่อหาความเปลี่ยนแปลงความชื้นของสมุนไพรในระหว่างการอบแห้ง จนได้น้ำหนักสุดท้ายที่ความชื้นไม่เกิน ร้อยละ 10 มาตรฐานแห้ง

— วัดความเร็วลมของอากาศก่อนทำการอบแห้งเพื่อนำมาคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

— วิเคราะห์ความชื้นของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการอบแห้ง โดยการนำตัวอย่างเข้าตู้อบแห้งควบคุมอุณหภูมิ 103°Cเป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อคำนวณหาความชื้นของผลิตภัณฑ์

— แหล่งพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งสมุนไพร คือ พลังงานไฟฟ้า ใช้สำหรับคอยล์ร้อน คอยล์เย็น คอมเพรสเซอร์ และแหล่งความร้อน

3.1 ทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบศึกษาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของไพล คือ ที่อุณหภูมิ 50°Cโดยเครื่องอบแห้งระบบปิดจะทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ และทดสอบการทำงานของคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นและอัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ที่ร้อยละ 50 โดยมีขั้นตอนการเตรียม ดังต่อไปนี้

1) การหาความชื้นเริ่มต้น

การหาความชื้นเริ่มต้นตามมาตรฐาน AOAC (1995) โดยสุ่มตัวอย่างจากสมุนไพรที่หั่น 10 กรัม 3 ตัวอย่าง เข้าตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 °Cเป็นเวลา 72 ชั่วโมง สมการที่ใช้ในการคำนวณหาความชื้นเริ่มต้น คือ

$$M_W = \frac{w-d}{d} x100 \quad (1)$$

เมื่อ d คือ มวลของวัสดุแห้งที่ไม่มีความชื้น (kg)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

w คือ มวลของวัสดุเปียก (kg)

2) การเตรียมไพลสด จะทำการอบแห้งสตัวอย่าง คือ ไพล โดยมีขั้นตอนการเตรียม ดังต่อไปนี้

— ล้างสมุนไพรให้สะอาด

— หั่นโดยให้ความหนาของชิ้นสมุนไพรไม่เกิน 0.50 เซนติเมตร

3) การศึกษาสภาวะอบแห้งสมุนไพรที่เหมาะสม ตัวแปรที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ อุณหภูมิที่ 50°C และกำหนดสภาวะการดึงความชื้นออกจากอากาศร้อน จะอยู่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 50

4) วิเคราะห์ข้อมูลความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสมุนไพรระบบปิด (รีไซเคิลอากาศร้อน) และเครื่องอบแห้งที่ปล่อยอากาศร้อนออกจากเครื่อง โดยจะพิจารณาจากระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ปริมาณความชื้นที่ลดลงของวัสดุอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องอบแห้งสมุนไพรระบบปิด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ดัชนีพลังงาน สำหรับการวิเคราะห์เชิงพลังงานของเครื่องอบแห้ง และสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งสมุนไพร โดยคำนวณความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจากสมการ (ค่าคงที่ 3.6 คือ แฟกเตอร์การแปลงหน่วยจาก kW-h เป็น $MJ/kg_{H2Oevap}$)

$$SEC = \frac{3.6E_p}{m_{in}-m_f} \quad (2)$$

เมื่อ m_{in} และ m_f คือ มวลของวัสดุก่อนอบแห้งและมวลของวัสดุหลังอบแห้ง ตามลำดับ เป็นกิโลกรัมน้ำระเหย ($kg_{H2Oevap}$)

E_p คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ เป็นกิโลวัตต์- ชั่วโมง (kW-h)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์การอบแห้งสมุนไพรตระกูลขิง 1 ชนิด คือ ไพล โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50 °Cและอัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ที่ร้อยละ 50 โดยใช้ปริมาณอากาศร้อนในเครื่องอบแห้ง คือ 0.23 m^3/s ซึ่งในการศึกษานี้จะทำการเปรียบเทียบการอบแห้งจากเครื่องอบแห้ง 2 ระบบ คือ เครื่องอบแห้งระบบปิดที่เป็นการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ และเครื่องอบแห้งระบบเปิด ศึกษาแนวทางการใช้พลังงาน และการประหยัดพลังงานของเครื่องอบแห้งสมุนไพรระบบปิด พิจารณาถึงระยะเวลาในการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งจากเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบซึ่งในการวิเคราะห์นี้ จะกล่าวถึง 1) ลักษณะทางกายภาพของไพลอบแห้งคือ สี รูปร่าง เปรียบเทียบกับไพลสดและไพลอบแห้งที่มีขายตามท้องตลาด2) ผลกระทบของอุณหภูมิ อัตราการอบแห้ง และ 3) ความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

1. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของสมุนไพรอบแห้ง

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของสมุนไพรอบแห้งตระกูลขิง 1 ชนิด คือ ไพล ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบปิดและเครื่องอบแห้งระบบเปิดเปรียบเทียบกับไพลอบแห้งที่มีขายตามท้องตลาด สามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้ คือ ตารางที่ 1แสดงถึงลักษณะรูปร่างของไพลอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบ ที่อุณหภูมิ 50 °C

ตาราง 1 เปรียบเทียบสีและรูปร่างของไพลอบแห้งจากเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบ ที่อุณหภูมิ 50 °C

	อัตราอัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ (ร้อยละ)	สีของผลิตภัณฑ์และรูปร่าง	ผลการเปรียบเทียบ
ไพลสด	-		เปลือกมีสีน้ำตาลแกมเหลือง เนื้อด้านในมีสีเหลืองถึงสีเหลืองแกมเขียว
ไพลอบแห้งท้องตลาด	-		ชิ้นสมุนไพรมีลักษณะสีคล้ำไม่สม่ำเสมอ
ไพลอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบเปิด	0		มีลักษณะสีเหลืองสดกว่าสมุนไพรอบแห้งตามท้องตลาด มีรูปร่างหดตัวเล็กน้อย
ไพลอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบปิด	50		มีลักษณะสีเหลืองสด รูปร่างบิดงอเล็กน้อย

จากตารางที่ 1 พบว่า สีของไพลอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบ พบว่ามีสีที่ใกล้เคียงกับสมุนไพรสดและมีสีที่ดีกว่าไพลอบแห้งที่มีตามท้องตลาด จากการสังเกตรูปร่างของไพลอบแห้งจากเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบ การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบเปิดจะมีรูปร่างใกล้เคียงกับไพรสดมากว่าเครื่องอบแห้งระบบปิด เนื่องจากเป็นการหดตัวเล็กน้อย แต่ไพลที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบปิดมีการบิดงอ

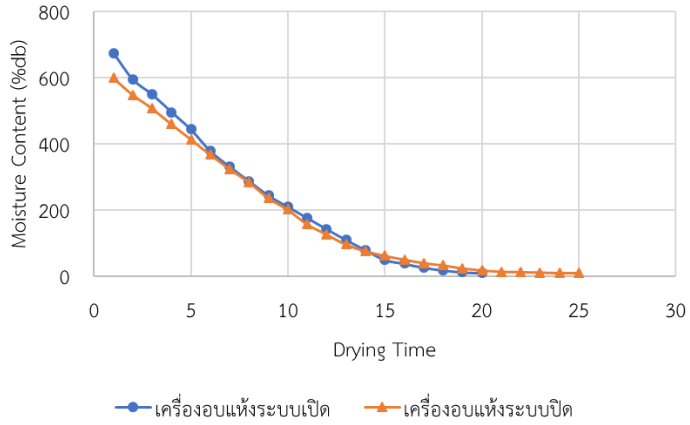
2. การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง

ในการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ถึง ผลกระทบของอุณหภูมิ และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ โดยจะทำการวิเคราะห์ ดังนี้

2.1 ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อระยะเวลาในการอบแห้ง

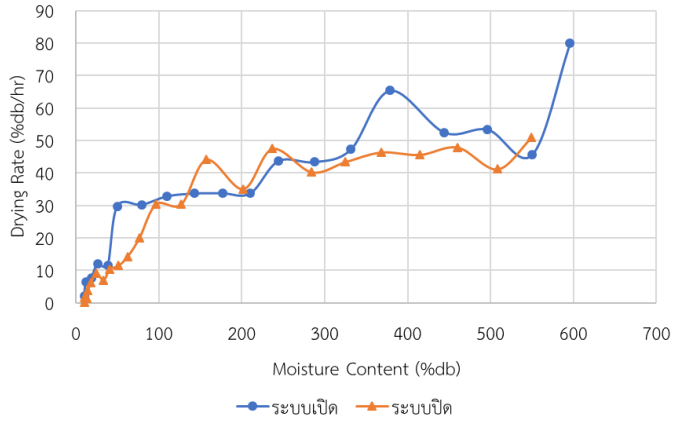
จากการอบแห้งผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งสมุนไพร โดยอัตราการอบแห้งจะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง คือ อัตราการอบแห้งจะแปรผกผันกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง สมุนไพรในงามวิจัยนี้จะทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C จากเครื่องอบแห้ง 2 ระบบ คือ เครื่องอบแห้งระบบปิดที่เป็นการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ และเครื่องอบแห้งระบบเปิด และศึกษาถึงการใช้พลังงาน และความสามารถในการประหยัดพลังงานของเครื่องอบแห้งระบบปิดที่มีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ที่อัตราร้อยละ 50 ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งไพลจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบ

จากรูปที่ 3 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของไพลเทียบกับเวลา พบว่า การอบไพลที่อุณหภูมิ 50 °C จากเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบ คือ เครื่องอบแห้งระบบปิดที่เป็นการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ และเครื่องอบแห้งระบบเปิด จะมีการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งแตกต่างกัน คือ 19 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบปิดจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งมากกว่าเครื่องอบแห้งระบบเปิดร้อยละ 20.83



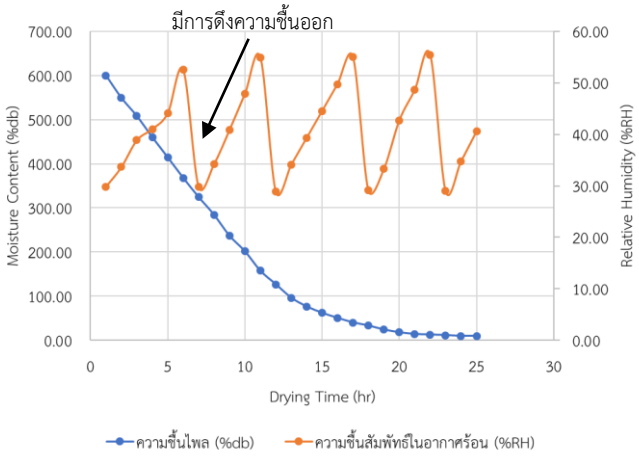
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระหว่างการอบแห้งไพลจากเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบ ที่อุณหภูมิ 50°C

จากรูปที่ 4 เป็นกราฟแสดงอัตราการอบแห้งไพลเทียบกับปริมาณความชื้น พบว่า อัตราการอบแห้งจะแปรผันตรงกับความชื้น นั่นคือ อัตราการอบแห้งมีค่าสูงเมื่อความชื้นมีค่าสูง จากรูปที่ 4 จะเห็นว่า อัตราการอบแห้งไพลที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบ คือ เครื่องอบแห้งระบบปิดที่เป็นการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ และเครื่องอบแห้งระบบเปิดที่ปล่อยอากาศร้อนออกร้อยละ 100 ของการอบแห้งเปรียบเทียบกันที่อุณหภูมิ 50 °C โดย 14 ชั่วโมงแรกของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบเปิด คือ ไม่มีอัตราการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ พบว่า ปริมาณความชื้นของไพลจะมีการลดลงอย่างรวดเร็วและลดลงอย่างสม่ำเสมอ โดยมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยประมาณ 43.36 %db/hrและช่วงระยะเวลา 5 ชั่วโมงสุดท้ายของการอบแห้งอัตราการอบแห้งจะลดลงช้าๆ เนื่องจากปริมาณความชื้นของไพลน้อย ซึ่งมีอัตราการอบแห้งแห้งเฉลี่ยประมาณ 7.95 %db/hrและได้ความชื้นสุดท้ายของไพล คือ 10.19 %db แต่การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบปิดที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมงแรก พบว่า ปริมาณความชื้นมีการลดลงอย่างสม่ำเสมอโดยมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยประมาณ 41.95 %db/hrและช่วงระยะเวลา 12 ชั่วโมงสุดท้ายจะมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยอยู่ที่ 7.21 %db/hrและได้ความชื้นสุดท้ายของไพล 10.06 %db



ภาพที่ 4 อัตราการอบแห้งไพลจากเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบ ที่อุณหภูมิ 50°C

จากกราฟรูปที่ 5เป็นกราฟแสดงผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไพลและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศร้อนในระหว่างการอบแห้งไพลจากเครื่องอบระบบปิดพบว่า การอบแห้งไพลที่อุณหภูมิ 50°Cด้วยเครื่องอบแห้งระบบปิด มีการกำหนดให้ระบบดึงความชื้นออก เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในเครื่องอบแห้งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 50 โดยระบบควบคุมความชื้นจะทำงาน คือ ให้อากาศร้อยละ 50 ไหลผ่านคอยล์เย็นที่ทำหน้าที่ในการดึงความชื้นออกจากอากาศ การดึงความชื้นระบบจะทำการดึงความชื้น 1-2 นาที ซึ่งสามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศร้อนจากร้อยละ 50 ให้เหลือประมาณร้อยละ 30 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 5



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศร้อนในระหว่างการอบแห้งไพลจากเครื่องอบระบบปิด

3. ความสิ้นเปลืองพลังงานของกระบวนการอบแห้ง

จากการทดลองอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบ คือเครื่องอบแห้งระบบปิดที่เป็นการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ และเครื่องอบแห้งระบบเปิด ที่สภาวะอุณหภูมิ 50 °C ซึ่งมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งสมุนไพรทั้ง 2 ระบบ ดังต่อไปนี้

ตาราง2ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งไพล

เครื่องอบแห้ง	อุณหภูมิ (°C)	Recycle (%)	น้ำหนักของวัตถุดิบ(kg)		ระยะเวลาในการอบแห้ง (hr)	SEC $MJ/kg_{H_2O_{evap}}$	ระยะเวลาในการอบแห้ง (hr)
			น้ำหนักเริ่มต้น	น้ำหนักสุดท้าย			
ระบบปิด	50	50	4	0.63	24	9.93	24
ระบบเปิด	50	-	2	0.28	19	26.23	19

จากตารางที่ 3 พบว่า การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบปิดจะใช้เวลานานกว่าเครื่องอบแห้งระบบเปิด แต่ความสิ้นเปลืองงานจำเพาะในกระบวนการอบแห้งของเครื่องอบแห้งระบบปิดน้อยกว่าถึงร้อยละ 38 ดังนั้น เครื่องอบแห้งระบบปิดที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถนำมาอบแห้งสมุนไพร และสามารถประหยัดพลังงานได้

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเครื่องอบแห้งสมุนไพรระบบปิด เพื่อทำการหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบแห้งระบบปิดที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งระบบเปิด โดยในงานวิจัยนี้ใช้ใช้สมุนไพรตระกูลขิง 1 ชนิด ในการอบแห้ง คือ ไพล ในสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °Cสามารถสรุปได้ดังนี้

- การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งระบบเปิด โดยไพลจะมีความหนาไม่เกิน 5 มิลลิเมตร น้ำหนักเริ่มต้น 2 กิโลกรัม มีความชื้นเริ่มต้น 675 %db ระยะเวลาในการอบแห้ง 19 ชั่วโมง อัตราการอบแห้งเฉลี่ยประมาณ 35.00 %db/hr มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 26.23 $kJ/kg_{H_2O_{evap}}$ และมีความชื้นสุดท้าย 10 %db

- การอบแห้งไพลด้วยเครื่องอบแห้งสมุนไพรระบบปิด โดยไพลจะมีความหนาไม่เกิน 5 มิลลิเมตร น้ำหนักเริ่มต้น 4 กิโลกรัม มีความชื้นเริ่มต้น 600%db ระยะเวลาในการอบแห้ง 24 ชั่วโมง อัตราการอบแห้งเฉลี่ยประมาณ 24.58%db/hr มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 9.93$kJ/kg_{H_2O_{evap}}$ และมีความชื้นสุดท้าย 10 %db ซึ่งเครื่องอบแห้งสมุนไพรนี้สามารถประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 62 เมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งสมุนไพรระบบเปิด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ และ ดร.บริสุทธิ์ จันทรวงศ์ไพศาล ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำงานวิจัยนี้ขอขอบพระคุณสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)ที่ได้สนับสนุนการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] เกร็ดความรู้.net. สมุนไพรไทยและสมุนไพรน่ารู้ 1,500+ ชนิด!! พร้อมสรรพคุณและประโยชน์. สืบค้นเมื่อ 30 กรกฎาคม 2560, จาก http://www.เกร็ดความรู้.net/สมุนไพรไทย/

[2] นายรังสรรค์ ชุณหวรากรณ์. โลกแห่งสมุนไพร. สืบค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2560, จาก http://www.angelfire.com/ri2/rangsan/important.html

[3] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2537). **การอบแหงเมล็ดพืช.** กรุงเทพฯ : คณะพลังงานและวัสดุสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[4] พรพิมล กันทะวงศ์ สราญรัตน์ เชาวะนะ และอุเทน ขันทะบุตร.(2557).**การควบคุมตู้อบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนด้วยระบบสมองกลฝังตัว**.ปริญญานิพนธ์.สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่.

[5] วณิช หอมมณี อนิรุทธิ์ เกตุอินทร์ และอธิวัฒน์ปินตามูล.(2557).**การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งมันฝรั่งแผ่นโดยใช้น้ามันแลกเปลี่ยนความร้อนระบบปิด.**ปริญญานิพนธ์.สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

[6] หฤทัย บงแก้ว. (2558). **การเปรียบเทียบกระบวนการอบแห้งสมุนไพรโดยใช้รังสีอินฟราเรดเทียบกับลมร้อน**. ปริญญานิพนธ์.สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[7] วณิศา ทุ้ยแป. **ระบบลดความชื้นโดยใช้คอยล์ร้อนและคอยล์เย็นควบคุมแบบอัตโนมัติ : กรณีศึกษาเครื่องอบแห้งระบบปิด**. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ฟิสิกส์ประยุกต์. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[8] นำชัย ห้วยทราย.(2560).**การสร้างเครื่องอบไฟฟ้าชนิดรังสีอินฟราเรดช่วงไกลแบบระบบปิด**.การประชุมวิขาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9.

[9] เทวรัตน์ ทิพยวิมล. (2551). **การนำพลังงานไมโครเวฟมาใช้ร่วมกับการอบแห้งเพื่อทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมเกษตร. คณะวิศวกรรมศาสตร์ . มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[10] ลีหย๊ะ สนิโซ.(2552).**การพัฒนาเครื่องอบแห้งชั้นบางระบบปิดโดยใช้เทคนิคสนามไฟฟ้าแรงดันสูง**.วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏชยะลา.ปีที่ 4.ฉบับที่ 2.หน้า 65-69.

[11] นินนาท อินทฤทธิ์และศิรินุช จินดารักษ์. (2552).**โครงการสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับพืชตระกูลขิง ที่นำมาใช้ในศาสตร์การแพทย์แผนไทยฯ**. มหาวิทยาลัยนเรศวร.กองทุนภูมิปัญญาการแพทย์แผนไทยสถาบันการแพทย์แผนไทยกรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก

IE69

การวัดพลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์บริเวณริมฝั่งแม่น้ำโขง ที่ตำบลไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม

Water, Wind and Solar Power Measurement on the Mekong River At Chai BuriThaUthen District NakhonPhanom Province

ณัฐพงษ์ เกตวงษา*
วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศรีสงคราม มหาวิทยาลัยนครพนม นครพนม 47210

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการวัดพลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์บริเวณริมฝั่งแม่น้ำโขง ที่ตำบลไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม เพื่อทดสอบเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นและแสดงผลการวัดแบบเวลาจริงโดยออกแบบและทดลองเครื่องมือวัดพลังงาน ระบบควบคุม การรับส่งข้อมูล การบันทึกข้อมูลเข้าฐานข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ต ผลการทดลองพบว่าเครื่องวัดที่สร้างขึ้นมีความผิดพลาด 5 เปอร์เซ็นต์ และผลการทดลองติดตั้งเครื่องวัดริมน้ำโขงพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้มีค่าเฉลี่ย 621.895 วัตต์ต่อตารางความหนาแน่นของพลังงานน้ำ 1.92 วัตต์ต่อตารางเมตรความหนาแน่นของพลังงานลม 127.40 วัตต์ต่อตารางสามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาการออกแบบระบบพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับพื้นที่

คำสำคัญ: เครื่องวัดพลังงานน้ำ เครื่องวัดพลังงานลม เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ แม่น้ำโขง

*Corresponding author: E-mail address: c_hot-king@hotmail.com

บทนำ

ในพื้นที่จังหวัดนครพนมมีแม่น้ำโขงไหลผ่าน ซึ่งเป็นแหล่งอารยะธรรมของคนมาช้านาน และได้ใช้ประโยชน์กับแม่น้ำสายนี้มาก เช่น เกษตรกรรม ประมง อุปโภค บริโภค เป็นต้น อีกทั้งการสร้างเขื่อนผลิตการแสไฟฟ้าในแม่น้ำโขงที่แบ่งออกเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกจะเป็นตอนบน คือ มณฑลยูนนาน ของประเทศจีนและทิเบต ส่วนทางตอนล่าง คือ ช่วงพรมแดนไทย-ลาว และกัมพูชา ซึ่งถ้าดูเพียงแค่ในเขตของมณฑลยูนนาน จะพบว่า มีโครงการสร้างเขื่อนถึง 14 เขื่อน โดยปัจจุบันจีนสร้างเขื่อนในแม่น้ำโขงเสร็จแล้ว 6 เขื่อน และเขื่อนที่ 7 กำลังเริ่มทำการก่อสร้าง ถ้ารวมการสร้างเขื่อนที่จะมีขึ้นทั้งหมดในแม่น้ำโขงรวมทั้งสิ้น 28 โครงการการสร้างเขื่อนส่งผลกระทบโดยตรงต่อการอพยพของปลา เนื่องจากปลาในลุ่มแม่น้ำโขงส่วนใหญ่มักเป็นปลาอพยพที่อาศัยระดับน้ำในช่วงฤดูฝนเป็นตัวบ่งชี้ให้วางไข่ ซึ่งจะส่งผลต่อในเรื่องความมั่นคงทางอาหารที่จะลดน้อยลง และกระทบต่ออาชีพประมงและเกษตรกรรม รวมทั้งกิจกรรมอื่นๆ ของชุมชนริมน้ำที่เกี่ยวข้องกับแม่น้ำโขง [1]

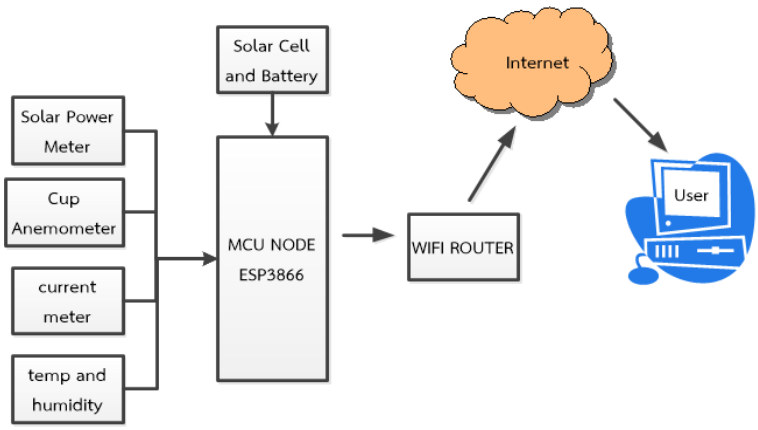
ปรัชญา แสงศรีจันทร์ และเก่งกมล วิรัตน์เกษม [2]ได้ประเมินศักยภาพและการจัดการความพร้อมของชุมชนท้องถิ่นในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานน้ำ พบว่าข้อมูลจากการสำรวจศักยภาพและความคิดเห็นจากผู้นำชุมชน จำนวน 200 ชุมชน พลังงานแสงอาทิตย์มีศักยภาพสูงสุด พลังงานลม และพลังงานน้ำตามลำดับ สิริวัชร บุญวิชัย [3] ได้ประดิษฐ์เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ แบบใบพัดแนวนอน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และมีความยาว 22 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อนำไปสอบเทียบกับเครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำ แบบ

อิเล็กโตรแมกเนติกส์(Electromagnetic)ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของค่าความเร็วเฉลี่ย ± 0.011 เมตรต่อวินาที และความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน ± 0.024 เมตรต่อวินาที โดยเครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ แบบใบพัดที่ประดิษฐ์ขึ้นมีราคาต่ำกว่าเครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ แบบใบพัดตามท้องตลาด 80% อนุจิตร จันทศรี [4] สร้างเครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย ใช้ใบพัดแบบลูกถ้วยชนิด 3 ใบ โดยใช้ขดลวดจำนวน 3 ขดต่อแบบอนุกรมวางอยู่ในแนวระดับทำมุมกัน 120 องศา ใช้ แม่เหล็กติดแกนของกังหันจำนวน 3 แท่ง ทำมุม 120 องศา ในการศึกษานี้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความต่างศักย์ไฟฟ้า ผลการทดลองพบว่า เครื่องมือวัดความเร็วลมเริ่มทำงานที่ความเร็วลม 0.8เมตรต่อวินาที ความเร็วลมกับความต่างศักย์ไฟฟ้า ความเร็วรอบกับความต่างศักย์ไฟฟ้า มีความสัมพันธ์กันแบบโพลิโนเมียลกำลังสามความเร็วรอบกับความเร็วลม มีความสัมพันธ์กับแบบเชิงเส้นความเร็วลมกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบ มีค่าเฉลี่ย 0.96 เสาวรีย์อนุณรัตนวงศ์ และฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล[5] ได้ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซล่าเซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์ โดยวัดแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ขนาดเล็ก 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากไพรานอร์มิเตอร์มาตรฐาน มาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ พบว่าผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.13 และ 1.19 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผงโซล่าเซลล์ขนาด 3 โวลต์ และ 5 โวลต์ตามลำดับ

จากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าเครื่องมือวัดความเร็วลม เครื่องมือวัดความเร็วน้ำ และเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถสร้างเองได้โดยใช้วัสดุภายในประเทศ เนื่องจากพื้นที่บริเวณแม่น้ำโขงขาดการพัฒนาพลังงานขนาดเล็กมีแสงแดดตลอดลำน้ำ มีกระแสลมพัดตามฤดูการ และน้ำโขงไหลจะไหลตลอดปี ซึ่งทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงประโยชน์ดังกล่าว จึงมีแนวความคิดในวัดพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำไฟฟ้าจากแม่น้ำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากทรัพยากรที่มีอยู่ ให้เหมาะสมกับพื้นที่และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการสำรวจบันทึกผลที่เกิดขึ้นเพื่อพิจารณาการออกแบบระบบพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับพื้นที่

วิธีการวิจัย

งานวิจัยการวัดพลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์บริเวณริมฝั่งแม่น้ำโขง ที่ตำบลไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนมมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการวัดพลังงานน้ำพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากเครื่องมือวัดดังกล่าวมีราคาค่อนข้างสูง จึงมีแนวความคิดสร้างเครื่องมือวัดและระบบควบคุมขึ้นขากวัสดุที่หาได้ภายในประเทศการออกแบบเครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะต้องติดตั้งและใช้งานในพื้นที่จริง และเก็บข้อมูลต่าง ๆ ในพื้นที่ห่างไกล ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลต่างๆ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลจากเครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดแสงอาทิตย์ เครื่องวัดความเร็วน้ำ วัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ใช้พลังงานจากแผงโซล่าเซลล์และแบตเตอร์รี่ เพื่อส่งข้อมูลต่างๆผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตและบันทึกข้อมูลต่างๆลงในฐานข้อมูล ผู้ใช้งานสามารถเข้าใช้ฐานข้อมูลได้ตลอดเวลาทุกสถานที่ โดยมีระบบการทำงานแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1ระบบการทำงานเครื่องมือวัด

เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Solar meter) เลือกใช้เซ็นเซอร์แสง โมเดล GY-30 มีคุณสมบัติดังนี้ ใช้เซ็นเซอร์รุ่น BH1750FVI แหล่งจ่ายไฟ 3-5 v ย่านความเข้มแสง 0-65535 lx เชื่อมต่อแบบ IIC และออกแบบโครงสร้างชุดป้องกันสภาวะต่างๆ ทำจากวัสดุ PLA จากเครื่องพิมพ์สามมิติ การสอบเทียบเครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นกับแผงโซล่าเซลล์ Sun Solar Ecotechชนิด mono crystalline ขนาด 10 w โดยต่อโหลดตัวต้านทาน 9.5 โอห์ม วัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า จากนั้นเทียบกับกราฟประสิทธิภาพของโซล่าเซลล์ต่อความเข้มแสง ผลการทดลองพบว่าเครื่องวัดแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นสามารถวัดพลังงานแสงอาทิตย์ได้ โดยมีความผิดพลาดเฉลี่ย0.69%

เครื่องวัดความเร็วลมในงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย เนื่องจากสภาพของแม่น้ำโขงที่ทิศทางลมเปลี่ยนแปลงได้ง่าย และสามารถวัดความเร็วลมได้จากทุกทิศทาง เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดความเร็วลม เลือกใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลเป็นการนับจำนวนรอบต่อเวลา และการออกแบบถ้วยแบบ 3 ใบวัสดุทำจากเหล็กไร้สนิม เครื่องวัดความเร็วลมที่สร้างขึ้นสอบเทียบกับเครื่องวัดความเร็วลม VICTOR รุ่น 818 โดยใช้พัดลมตั้งพื้นขนาด 24 นิ้ว ทดสอบระดับความเร็วและระยะทางที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่าที่ช่วงความเร็ว 1.2-3.4 m/s มีความผิดพลาดเฉลี่ย4.65 %จากค่าความเร็วลมที่วัดได้สามารถคำนวณพลังงานจากลมได้จาก สมการความหน้าแน่นกำลังลม (Wind Power Density) [6] ดังนี้

$$P = \frac{1}{2} P_a V^3 \qquad (1)$$

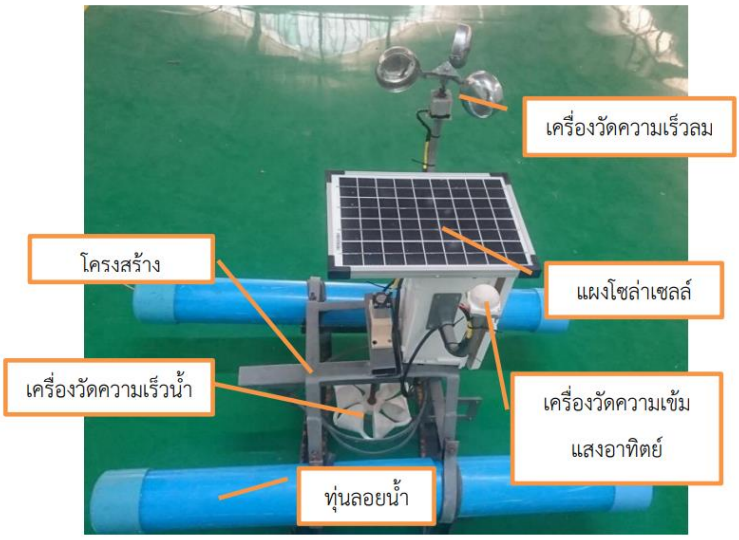
เมื่อ P คือ ความหนาแน่นกำลังลม (วัตต์ต่อตารางเมตร)

P_a คือ ความหน้าแน่นของอากาศ (มีค่า 1.225 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

V คือ อัตราเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

เครื่องวัดความเร็วน้ำในงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้เครื่องวัดความเร็วน้ำแบบถ้วย เนื่องจากสามารถวัดความเร็วน้ำได้จากทุกทิศทาง การออกแบบถ้วยแกนตั้ง จำนวน 6 ใบ มีแกนเพลายาวเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์เพื่อป้องกันน้ำ การสอบเทียบเครื่องวัดความเร็วน้ำ ทำได้โดยกำหนดระยะทางกับเวลาของการเคลื่อนที่ของวัตถุน้ำหนัก จากนั้นคำนวณความเร็วน้ำเป็นจุดอ้างอิงแล้วจึงสอบเทียบเครื่องวัดความเร็วน้ำ โดยนับจำนวนการหมุนต่อเวลา และเปรียบเทียบความเร็วน้ำดังกล่าว สามารถคำนวณพลังงานน้ำได้จากสมการที่ (1) โดยแทนค่า P_aคือความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ออกแบบสร้างแพที่ใช้ทุนลอยจากท่อ PVC ขนาด 3 นิ้ว ยาว 1 เมตรจำนวน 2 อัน โครงสร้างทำจากเหล็กแบนขนาด 1 นิ้ว เคลือบผิวด้วยสีกันสนิม มีหางเสือทางด้านหลังช่วยในการบังคับทิศทาง ชุดเครื่องวัดความเร็วลมมีโครงเหล็กป้องกันเศษวัสดุที่มากับน้ำไม้ให้เกิดความเสียหายแก่ใบพัดส่วนอุปกรณ์ควบคุม แบตเตอร์รี่บรรจุในกล่องกันน้ำ และแผงโซล่าเซลล์ติดตั้งด้านบนของกล่องกันน้ำแสดงดังภาพที่ 3.9 และ 3.10



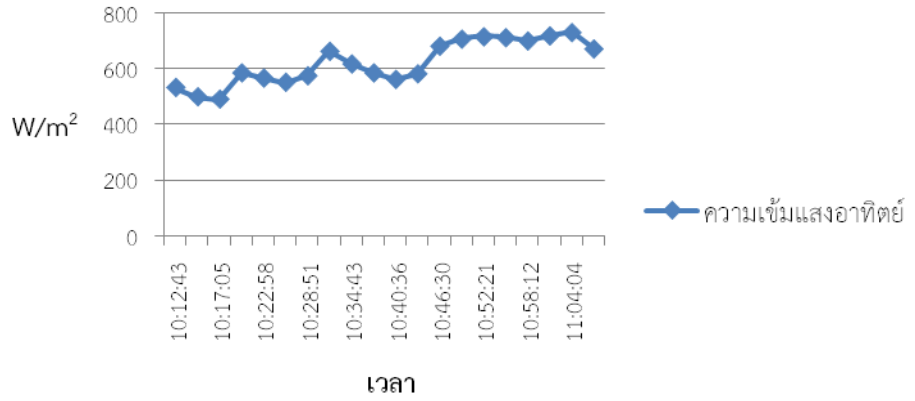
ภาพที่ 2 เครื่องวัดพลังงานจากแม่น้ำ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

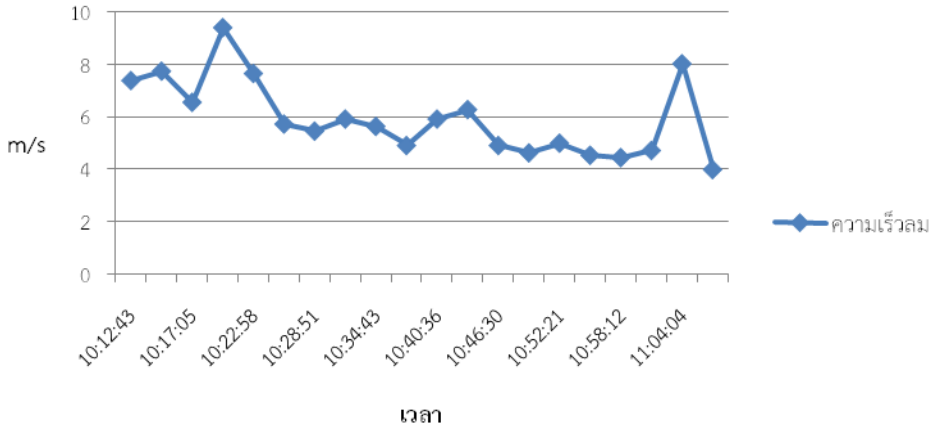
ทดสอบใช้งานเครื่องวัดพลังงานแม่น้ำ ทำการทดสอบ ณ ริมแม่น้ำโขง ตำบลไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม ที่ตำแหน่ง 17°39'15.3"N 104°27'49.1"E ในวันที่ 6 เมษายน 2561 แสดงดังภาพที่ 3 โดยการทดลองนี้เก็บข้อมูลความเร็วน้ำ ความเร็วลม ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ในทุกๆ 3 นาที เพื่อหาค่าสูงสุด ต่ำสุด ค่าเฉลี่ย ของพลังงานแต่และด้าน เครื่องมือวัดติดตั้งห่างจากตลิ่งประมาณ2 เมตร มีผลการทดลองดังนี้



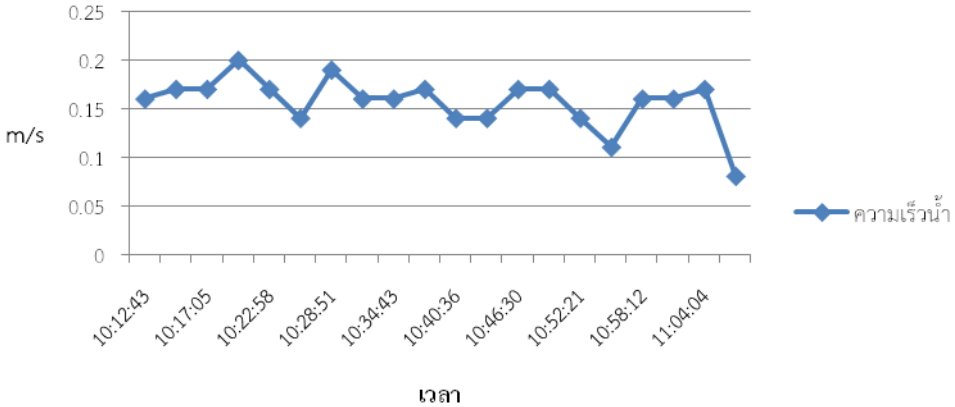
ภาพที่ 3 การทดสอบเครื่องมือวัดพลังงานแม่น้ำ ณ ตำบลไชยบุรี อำเภอท่าอุเทน จังหวัดนครพนม



ภาพที่ 4ผลการทดลองวัดความเข้มแสงอาทิตย์



ภาพที่ 5ผลการทดลองวัดความเร็วลม



ภาพที่ 6 ผลการทดลองวัดความเร็วน้ำ

จากภาพที่ 4 ผลการทดลองวัดพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า ค่าเฉลี่ย 621.895 W/m^{2}ค่าสูงสุด 730.78 W/m^{2}ค่าต่ำสุด 489.38 W/m^2 จากภาพที่ 5 ผลการทดลองความเร็วลมพบว่า มีค่าเฉลี่ย 5.925 m/s ค่าสูงสุด 9.392 m/s ค่าต่ำสุด 3.97 m/s เมื่อนำค่าเฉลี่ยมาคำนวณความพลังงานลมความหนาแน่นกำลังลมในสมการที่ (1)จะได้ 127.40วัตต์ต่อตารางเมตร จากภาพที่ 6 ผลการทดลองความเร็วน้ำค่าเฉลี่ย 0.1565 m/s ค่าสูงสุด 0.2 m/s ค่าต่ำสุด 0.08 m/เมื่อนำค่าเฉลี่ยมาคำนวณความพลังงานน้ำความหนาแน่นกำลังน้ำในสมการที่ (1)จะได้ 1.92วัตต์ต่อตารางเมตรและผลการทดสอบอุณหภูมิ ค่าเฉลี่ย 31.165องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ ค่าเฉลี่ย 65.72 %

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยการวัดพลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์บริเวณริมฝั่งแม่น้ำโขง ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ พลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้มีค่าเฉลี่ย 621.895 W/m^2 พลังงานน้ำที่วัดได้มีความเร็วน้ำเฉลี่ย 0.1565m/s ความหนาแน่นของพลังงานลม127.40วัตต์ต่อตารางเมตร ผลการทดลองความเร็วน้ำค่าเฉลี่ย 0.1565 m/s หนาแน่นของพลังงานน้ำ 1.92 วัตต์ต่อตารางเมตร เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาพบว่า พลังงานแสงอาทิตย์ให้พลังงานสูงที่สุด พลังงานลม และพลังงานน้ำตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่วันและช่วงเวลาที่ใช้ในการวัด ในอนาคตควรวัดค่าในตลอดทั้งปีเพื่อได้ผลของข้อมูลที่สมบูรณ์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้ ขอขอบคุณ ทุนวิจัยหน้าใหม่ ปีงบประมาณ 2560มหาวิทยาลัยนครพนม สนับสนุนงานวิจัยดังกล่าวจนประสบผลและขอบคุณอาจารย์และนักศึกษา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศรีสงคราม มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] THAIPUBLICA (2561) ภัยคุกคามระบบนิเวศแม่น้ำโขง ผลกระทบจากโครงการเขื่อนตอนบนในประเทศจีน สืบค้นจาก https://thaipublica.org/2014/04/threats-to-rivers/

[2] ปรัชญา แสงศรีจันทร์ และเก่งกมล วิรัตน์เกษม (2558) การประเมินศักยภาพและการจัดการความพร้อมของชุมชนท้องถิ่นในการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานน้ำ. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 2 “งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น” วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2558 ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติฉลองสิริราชสมบัติ 60 ปี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

[3] สิริวัชร บุญวิชัย กิตติพงษ์ ตุมกูล และธัญดร ออกวะลา “การประดิษฐ์เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำแบบใบพัด” ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน พ.ศ. 2555

[4] อนุจิตร จันทศรี เครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย โรงเรียนนิคมควนขนุนวิทยา หมู่ 1 ต.ลานข่อย อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง 93110 พ.ศ. 2553

[5] เสาวรีย์ อนุณรัตนวงศ์ และฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล การออกแบบอัลกอริทึมสำหรับแผงโซล่าเซลล์เพื่อใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์. การประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้ง ที่ 10 วันที่ 27-28 มีนาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

[6] วรพงศ์ พวงแก้วและคณะการประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานลมและความเป็นไปได้ในการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานลมขนาด 0.225-0.75 เมกะวัตต์ ตามแนวชายฝั่งทะเลของจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดสงขลา. วารสารมหาวิทยายาลัยทักษิณ ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 ตุลาคม 2552 – มกราคม 2553

IE73

การปรับปรุงเตาก๊าซชีวมวล

Gasifier Stove Improvement

ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล* ภัทรดนย์ พันธุ์ดี และเบญจวรรษ กล้าวิจารณ์
สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบและปรับปรุงเตาก๊าซชีวมวลแบบ Top-Lit Updraft Gasifier โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งการปรับปรุงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการนำอากาศเข้าไปใช้ในการเผาไหม้ในเตา และส่วนการนำขี้เถ้าหลังการใช้งานออกจากเตา ในส่วนของการนำอากาศเข้าได้ทำการติดตั้งช่องระบายอากาศที่มีแผ่นกั้นเพื่อปรับปริมาณอากาศที่จะไหลเข้าไปในเตา และส่วนของการนำขี้เถ้าออก ได้ทำการเจาะช่องว่างขนาดใหญ่ที่ก้นเตาเดิมที่ปิดสนิทและใช้แผ่นสังกะสีปิดแทนโดยสามารถถอดแผ่นสังกะสีออกเพื่อเปิดช่องว่างที่ก้นเตาให้สามารถถ่ายเอาขี้เถ้าออกได้ จากการทดสอบใช้งานเตาก๊าซชีวมวลหลังปรับปรุงพบว่าสามารถปรับปริมาณอากาศที่เข้าไปใช้ในการเผาไหม้ได้ตามความต้องการและสามารถนำขี้เถ้าออกจากเตาได้สะดวกขึ้น

คำสำคัญ: เตาก๊าซชีวมวล Gasifier Stove

*Corresponding author: Tel.: 084 752 8947. E-mail address: tutanit@hotmail.com

บทนำ

ประเทศไทยถือเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งในกระบวนการทางการเกษตรที่ต่อเนื่องด้วยการแปรรูปอุตสาหกรรมการเกษตรจะเกิดของเหลือทิ้งซึ่งเป็นอินทรียสารหรือที่เรียกว่าชีวมวล เช่น แกลบจากการสีข้าว (0.21-0.23 ตัน/ตันผลผลิต) ชานอ้อยจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย (0.28-0.29 ตัน/ตันผลผลิต) เศษไม้จากการแปรรูปไม้ยางพาราหรือไม้ยูคาลิปตัส (3 ตัน/ไร่) เป็นต้น [1] ชีวมวลเหล่านี้จึงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่มีกระจายอยู่ทั่วประเทศสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้มในครัวเรือนได้ โดยรูปแบบหนึ่งที่จะนำเศษชีวมวลมาใช้ประโยชน์คือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาก๊าซชีวมวล (Gasifier Stove)

การใช้เตาก๊าซชีวมวลมีหลักการ คือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงในที่ที่จำกัดปริมาณอากาศให้เกิดความร้อนบางส่วนเพื่อไปเร่งปฏิกิริยาต่อเนื่องอื่นๆ แล้วเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่สามารถติดไฟได้ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และสารระเหยต่างๆ ซึ่งก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้นี้เรียกว่า Producer Gas [2] โดยประโยชน์ของเตาก๊าซชีวมวลมีหลายประการ เช่น ประหยัดเชื้อเพลิงเนื่องจากเชื้อเพลิงมาจากของเหลือทางการเกษตร สามารถหาได้ง่ายในชุมชน ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเหมือนการใช้ก๊าซหุงต้มและไฟฟ้า ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานจากเตาก๊าซหุงต้ม และขี้เถ้า (แกลบดำ) ที่ได้จากการเผาไหม้ของเตาก๊าซชีวมวล สามารถนำใช้ปรับปรุงดินทำให้ดินร่วนซุยดี รักษาความชื้นในดินและเป็นปุ๋ยใส่พืชต่างๆ ได้

อย่างไรก็ตามเตาก๊าซชีวมวลยังคงมีข้อจำกัดอยู่บางประการ คือ ไม่สามารถควบคุมหรือปรับระดับความแรงของลมเพื่อใช้ในการเร่งหรือลดการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในเตา ซึ่งการเพิ่มปริมาณอากาศมีผลต่อการเผาไหม้ดีขึ้น [3] รวมทั้งขี้เถ้าที่ตกลงสู่ใต้เตาไม่สามารถทิ้งได้โดยง่าย เนื่องจากต้องยกทั้งเตาแล้วเทออกทางปากเตา โดยต้องรอให้เตา

มีอุณหภูมิลดต่ำลงก่อน ดังนั้นผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะปรับปรุงเตาก๊าซชีวมวลเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทำให้การใช้เตาก๊าซชีวมวลมีความสะดวกน่าใช้งาน อันจะนำไปสู่การส่งเสริมให้นำเตาก๊าซชีวมวลมาใช้งานแพร่หลายยิ่งขึ้น ซึ่งการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ปรับปรุงระบบการนำอากาศเข้าไปใช้ในการเผาไหม้ และปรับปรุงระบบนำขี้เถ้าออกจากเตาก๊าซชีวมวล โดยศึกษาปรับปรุงจากเตาก๊าซชีวมวลชนิดทรงกระบอกอากาศไหลขึ้น (Top-Lit Updraft Gasifier หรือ Inverted Downdraft Gasifier) และใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง เท่านั้น

วิธีการวิจัย

การศึกษาปรับปรุงเตาก๊าซชีวมวล นี้ แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

1) การเก็บรวบรวมข้อมูลและการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

โดยศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ หลักการทำงาน และการใช้งานเตาก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น จากตำรา หนังสือ และงานวิจัย

2) การปรับปรุงเตาก๊าซชีวมวล

การปรับปรุงเตาก๊าซชีวมวลแบบแนวตั้งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ การปรับปรุงระบบนำเข้าอากาศ และการปรับปรุงระบบนำขี้เถ้าออก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1) การปรับปรุงระบบนำเข้าอากาศ ปรับปรุงให้สามารถปรับระดับอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้ และทดสอบปรับช่องทางเดินอากาศโดยเลื่อนแผ่นกั้นลมขึ้น-ลง เป็น 5 ดับ คือ ปิดช่องลม 100%, ปิดช่องลม 75%, ปิดช่องลม 50%, ปิดช่องลม 25%, ปิดช่องลม 0% วัดปริมาณการไหลของอากาศบริเวณปากเตาและช่องระบายอากาศ ขณะไม่มีเชื้อเพลิง (แกลบ) และไม่ใส่เชื้อเพลิงจากเครื่องวัดความเร็วลม (Vane Anemometer วัดขณะไม่ใส่เชื้อเพลิง, Hot Wire Anemometer วัดขณะใส่เชื้อเพลิง)

2.2) การปรับปรุงระบบนำขี้เถ้าออก ปรับปรุงให้สามารถนำขี้เถ้าออกมาได้ง่ายขึ้น และทำการทดสอบระยะเวลาในการนำขี้เถ้าออกเทียบกับเตาก๊าซชีวมวลแบบเดิม

3) การทดสอบเตาก๊าซชีวมวลหลังการปรับปรุง

ในการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาก๊าซชีวมวลสามารถทำได้ด้วยการต้มน้ำ (Water Boiling Test) :ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1) เตรียมการทดลองโดยนำแกลบ (ค่าความร้อน 13.52 MJ/kg) ใส่ลงด้านบนของห้องเผาไหม้ (บันทึกผล) จากนั้นชั่งน้ำหนักน้ำ 2 ลิตร หรือ 2 กิโลกรัม (บันทึกผล) ใส่ลงในหม้อต้ม วัดอุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำ (บันทึกผล)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษานี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) ศึกษาลักษณะและการใช้งานของเตาก๊าซชีวมวลเดิม 2) การปรับปรุงเตาก๊าซชีวมวล และ 3) การทดสอบเตาก๊าซชีวมวลหลังการปรับปรุง

1) เตาก๊าซชีวมวลเดิม

เตาก๊าซชีวมวลเดิมเป็นแบบ Top-Lit Updraft Gasifier ซึ่งใช้งานโดยจุดเชื้อเพลิงให้เผาไหม้จากด้านบนลงด้านล่างและมีพัดลมเป่าให้อากาศเข้าเตาจากด้านล่างขึ้นด้านบนสวนทางกับการเผาไหม้เชื้อเพลิง จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Inverted Downdraft Gasifier มีลักษณะเป็นเตาทรงกระบอก 2 ชั้น ชั้นในใส่เชื้อเพลิง (แกลบ) ชั้นนอกเป็นส่วนป้องกันความร้อน ใช้วิธีการนำเข้าเชื้อเพลิงชีวมวลจากข้างบนและนำออกขี้เถ้าจากข้างบนเช่นกัน โดยการยกเตาเพื่อเทขี้เถ้าจากก้นเตาออกทางปากเตา ด้านล่างมีช่องนำเข้าอากาศสี่เหลี่ยมขนาด 1 x 2 นิ้ว ต่อด้วยพัดลมขนาด 12 โวลต์เพื่อนำเข้าอากาศ ด้านบนมีถาดสำหรับวางภาชนะหุงต้ม ดังภาพที่ 1 จากการทดสอบใช้งานพบว่าไม่สามารถควบคุม

ปริมาณอากาศที่เข้าไปใช้ในการเผาไหม้ได้ ทำให้ไม่สามารถปรับระดับความแรงของไฟที่จะให้ในการหุงต้มให้เหมาะสมได้ อีกทั้งยังมีปัญหาเรื่องการนำขี้เถ้าออกจากเตาเมื่อเชื้อเพลิงถูกใช้เผาไหม้หมด ทำให้การใช้งานเตาไม่มีความต่อเนื่อง เพราะต้องรอให้เตาเย็นก่อนที่จะยกเตาไปเทขี้เถ้าออก



ภาพที่ 1 เตาก๊าซชีวมวลเดิม (Top-Lit Updraft Gasifier)

2) การปรับปรุงเตาก๊าซชีวมวล

การปรับปรุงเตาก๊าซชีวมวลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนของระบบนำเข้าอากาศ และ ส่วนของการนำขี้เถ้าออก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1) การปรับปรุงระบบนำเข้าอากาศ เตาก๊าซชีวมวลเดิมไม่สามารถปรับระดับความแรงของลมเพื่อใช้ในการเร่งหรือลดการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในเตา จากปัญหาดังกล่าวได้มีการออกแบบโดยใช้วิธีการย้ายตำแหน่งการติดตั้งพัดลมนำเข้าอากาศ และต่อท่อเพื่อเพิ่มช่องระบายอากาศออกจากเตาเป็นรูปตัว ‘T’ ทำให้แบ่งอากาศที่เข้าไปสู่ตัวเตาก๊าซชีวมวลได้ โดยสามารถกำหนดระดับอากาศที่เข้าสู่เตาด้วยการปรับแผ่นโลหะบางที่กั้นภายในช่องระบายอากาศ ให้อยู่ในระดับต่างๆ ตามความต้องการดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การปรับปรุงระบบนำเข้าอากาศ

2.2) การปรับปรุงระบบนำขี้เถ้าออก เตาก๊าซชีวมวลเดิมขี้เถ้าที่ตกลงสู่ใต้เตาไม่สามารถทิ้งได้โดยง่าย โดยต้องยกทั้งเตาแล้วเทจากก้นเตาออกทางปากเตา และต้องรอให้เตามีอุณหภูมิลดต่ำลงก่อน จากปัญหาดังกล่าวได้มีออกแบบโดยให้มีช่องด้านใต้เตาเพื่อให้ขี้เถ้าสามารถตกลงสู่ถาดรองขี้เถ้าที่จะสอดอยู่ใต้เตาซึ่งอยู่ระหว่างโครงสร้างเหล็กรองรับถาดรองขี้เถ้ากับตัวเตาก๊าซชีวมวล ดังภาพที่ 3

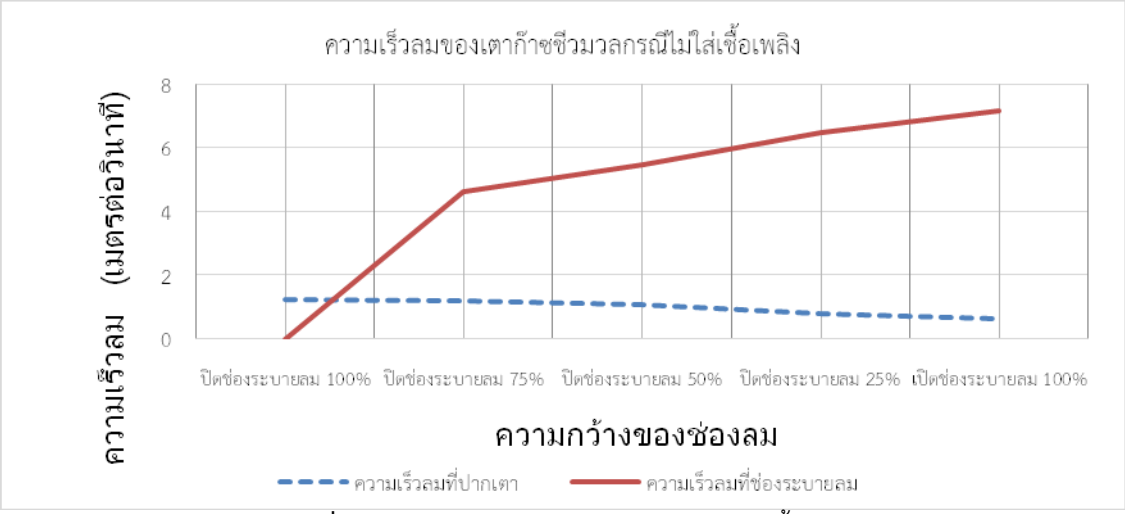


ภาพที่ 3 การปรับปรุงระบบนำขี้เถ้าออก

3) การทดสอบเตาก๊าซชีวมวล

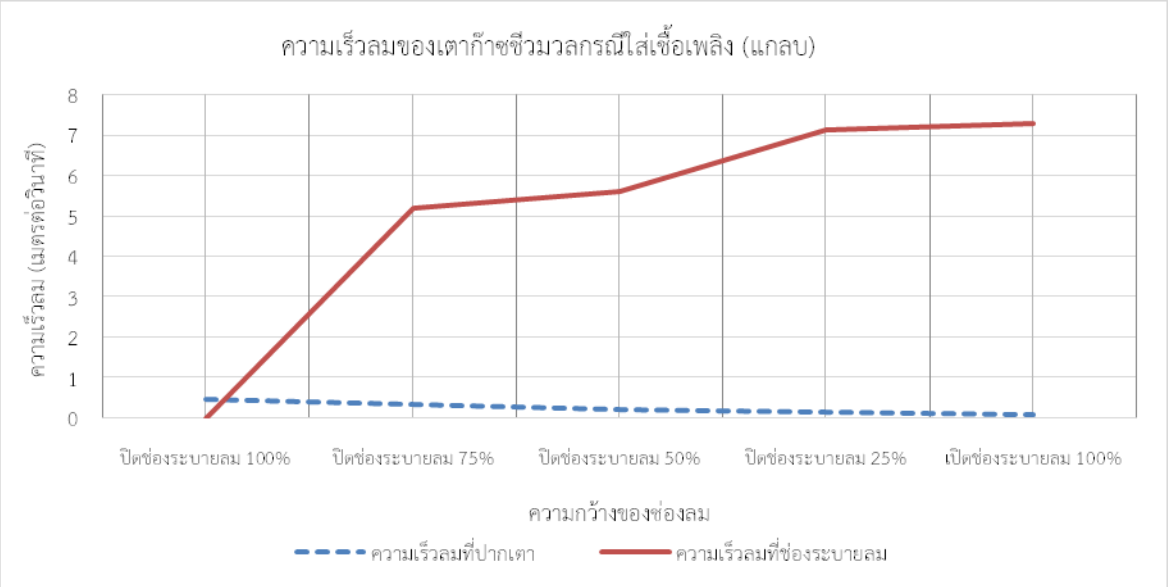
หลังจากปรับปรุงเตาก๊าซชีวมวล ได้ทำการทดสอบการใช้งานทั้ง 2 ส่วน คือ ระบบนำเข้าอากาศ และ ระบบนำขี้เถ้าออก มีผลการทดสอบดังนี้

3.1) ระบบนำเข้าอากาศ พบว่า ความเร็วลมที่ปากเตาขณะไม่ใส่เชื้อเพลิง แปรผกผันกับความกว้างของช่องระบายลมที่เปิดไว้ และความเร็วลมที่ช่องระบายลมจะแปรผันตรงกับความกว้างของช่องระบายลมที่เปิดไว้ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความเร็วลมของเตาก๊าซชีวมวล กรณีไม่ใส่เชื้อเพลิง

ส่วนความเร็วลมขณะใส่เชื้อเพลิง (แกลบ) ก็มีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีไม่ใส่เชื้อเพลิง โดยความเร็วลมที่ปากเตาจะลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง เนื่องจากมีแกลบเป็นสิ่งกีดขวางทางลม ส่วนความเร็วลมที่ช่องระบายลมจะมีความเร็วที่มากขึ้นเป็นผลมาจากการที่ลมเข้าไปในเตาได้น้อยลง ส่งผลให้ความเร็วลมออกมากขึ้น ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ความเร็วลมของเตาก๊าซชีวมวลกรณีใส่เชื้อเพลิง (แกลบ)

การทดสอบต้มน้ำ พบว่า อุณหภูมิสูงสุด ที่ทำได้ในการทดสอบแต่ละครั้งแปรผกผันกับความกว้างของช่องระบายลมที่เปิดไว้ หรือยิ่งเปิดช่องระบายลมมากเท่าไหร่จะทำให้อุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงเตาสามารถปรับระดับความร้อนได้ตามความต้องการ เหมาะสมกับการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น ดังตารางที่ 1 และในกรณีที่ไม่ปิดช่องระบายลม (เปิดช่องระบายลม 100%) พบว่า ระดับการเผาไหม้ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยอุณหภูมิลดต่ำมากจน และแกลบจะหยุดเผาไหม้ได้ เนื่องจากอากาศถูกระบายออกนอกเตาทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้

ตารางที่ 1 อุณหภูมิขณะทดสอบต้มน้ำ

แผ่นปรับช่องระบายลม	อุณหภูมิของน้ำในหม้อ (°C)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
ปิดช่องระบายลม 100%	96	89	91	92.00	3.61
ปิดช่องระบายลม 50%	80	78.5	82	80.17	1.76
เปิดช่องระบายลม 100%	59.5	56	60	58.50	2.18

3.2) ระบบนำขี้เถ้าออก จากการปรับปรุงพบว่า มีความสะดวกสบายในการใช้งานเตาก๊าซชีวมวลมากขึ้น เนื่องจากไม่ต้องออกแรงยกเตาทั้งเตาซึ่งมีน้ำหนักมากเพื่อไปเทขี้เถ้าทิ้ง รวมทั้งไม่ขาดความต่อเนื่องในการใช้งานเตาก๊าซชีวมวลเนื่องจากไม่จำเป็นต้องรอให้เตามีอุณหภูมิลดลง เช่น เตาเดิมที่ต้องรอถึง 20-30 นาทีแล้วจึงยกทั้งเตาไปเทขี้เถ้าทิ้ง ซึ่งเตาที่ปรับปรุงใหม่สามารถดึงถาดรองขี้เถ้าไปเทได้ทันทีหลังจากใช้งานเสร็จและสามารถเติมเชื้อเพลิงใหม่เพื่อใช้งานต่อได้อย่างต่อเนื่อง

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา ออกแบบ และปรับปรุงเตาก๊าซชีวมวลชนิดอากาศไหลขึ้น ได้ทำการศึกษา 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ระบบนำเข้าอากาศ และระบบนำขี้เถ้าออก สรุปได้ว่า การปรับปรุงระบบนำเข้าอากาศ สามารถปรับระดับได้เป็นอย่างดี โดยระดับที่ปิดช่องระบายลม 100% มีระดับอากาศใกล้เคียงกับก่อนปรับปรุง แต่ที่ระดับปิดช่องระบาย 50% และเปิดช่องระบายอากาศจะทำให้อากาศเข้าไปใช้ในเตาลดลง ส่งผลให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงลดลงด้วย ในส่วนของระบบนำขี้เถ้าออกสามารถใช้งานได้ดีขึ้นกว่าเตาเดิม สามารถนำขี้เถ้าออกได้ทันทีหลังใช้งาน โดยไม่ต้องรอให้เตาเย็นลง ข้อจำกัดมี

เพียงต้องใช้การขยับแท่นรองขี้เถ้าหลายๆรอบ จนกว่าขี้เถ้าจะร่วงไปยังถาดรองขี้เถ้าจนหมด หรืออาจต้องใช้แท่งไม้ยาวๆ เพื่อเขี่ยให้ขี้เถ้าหล่นไปสู่ถาดรองรับด้านล่าง

การศึกษานี้ทำให้สามารถควบคุมความร้อนของเตาได้ แต่การปรับช่องระบายลมยังไม่สะดวกนัก ควรมีการปรับปรุงออกแบบให้สามารถควบคุมการปิด-เปิดช่องระบายลมให้สะดวกขึ้น รวมถึงอาจนำอุปกรณ์ควบคุมทางไฟฟ้าเข้ามาใช้เพื่อปรับระดับความแรงของพัดลมแทนการใช้ช่องระบายลม

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2554). **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 4 พลังงานชีวมวล** สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2560, จาก http://webkc.dede.go.th/testmax/file/1062.

[2] ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (2554). **เอกสารการประชาสัมพันธ์โครงการหมู่บ้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** สืบค้นเมื่อ 21 กันยายน 2560, จาก www.clinictech.most.go.th/online/techlist/attachFile/ 2012371026231.pdf

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

ประวัติผู้เขียนบทความ

ผศ.ดร.ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล
Doctor of Philosophy (Ph.D.) Energy Planning and Management
ปัจจุบัน: หัวหน้าสาขา/อาจารย์ประจำ สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

IE76

การออกแบบและพัฒนารถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Design and Development of a Solar Tricycle Mini Truck

ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล* และ กฤชนนท์ สวนจันทร์
สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและประดิษฐ์รถซาเล้งไฟฟ้าโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถใช้งานได้หลากหลายวัตถุประสงค์ทั้งการขับเคลื่อนบรรทุกขนย้ายสิ่งของและใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น โครงสร้างตัวรถดัดแปลงจากรถซาเล้งถีบเดิม โดยติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบดุมล้อ ขนาด 1,000 วัตต์ ที่ล้อหลังเพื่อเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน สามารถขับเคลื่อนได้ทั้งการใช้เท้าปั่นและใช้มอเตอร์ไฟฟ้า มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งเป็นหลังคาที่ด้านบนของกระบะบรรทุก ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อประจุเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่สำหรับใช้งาน มีระบบไฟเพื่อความปลอดภัยในการขับขี่ประกอบด้วยไฟส่องสว่างด้านหน้า-ด้านท้ายและไฟเลี้ยว อีกทั้งมีระบบการจ่ายไฟไปใช้งานที่สามารถปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็น 12 โวลต์ 24 โวลต์ หรือ 48 โวลต์ ตามความเหมาะสมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่จะใช้งาน

การทดสอบสมรรถนะการใช้งาน พบว่า รถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประดิษฐ์ขึ้น ใช้งานได้น่าพึงพอใจ โดยการขับเคลื่อนบนทางราบสามารถบรรทุกน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 500 กิโลกรัม และในขณะที่ไม่มีภาระน้ำหนักบรรทุกสามารถทำความเร็วได้ไม่น้อยกว่า 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทดสอบขับเคลื่อนขึ้นทางลาดชันพบว่า ที่ความลาดชันร้อยละ 5 (ประมาณ 3 องศา) สามารถขับเคลื่อนขึ้นได้โดยผู้ขับขี่ไม่ต้องใช้กำลังปั่นช่วยเมื่อมีภาระน้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 50 กิโลกรัม และหากผู้ขับขี่ออกแรงปั่นช่วยจะสามารถบรรทุกน้ำหนักได้ถึง 300 กิโลกรัม

คำสำคัญ: จักรยานไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์

*Corresponding author: Tel.: 084 752 8947. E-mail address: tutanit@hotmail.com

บทนำ

รถซาเล้งหรือรถบรรทุกสามล้อถีบถูกประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้ขนส่งสิ่งของหรือสินค้าที่มีน้ำหนักไม่มาก และมีระยะทางการขนส่งไม่ไกลนัก เป็นรถสามล้อใช้แรงคนถีบ ผู้ขับขี่อยู่ด้านหลังกระบะบรรทุก และต่อมาได้มีการดัดแปลงนำเครื่องรถมอเตอร์ไซค์มาติดกับรถสามล้อถีบเพื่อทุ่นแรงและสามารถขนส่งสิ่งของได้ในระยะทางที่ไกลขึ้น จนกลายเป็นรถสามล้อเครื่องที่มีการใช้งานและได้รับความนิยมแพร่หลายมากขึ้น เพราะนอกจากใช้งานได้ในระยะทางไกลกว่าแล้วยังสามารถทำความเร็วได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามรถสามล้อเครื่องต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ มีการปลดปล่อยไอเสียหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ [1]

ปัจจุบันได้มีการประดิษฐ์รถจักรยานไฟฟ้าออกมาใช้งานกันในหลายประเทศ รวมถึงในประเทศไทย ซึ่งเป็นการนำรถจักรยานมาทำการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อเป็นต้นกำลังช่วยในการขับเคลื่อน แต่ยังคงมีบันไดสำหรับการใช้เท้าปั่น

ดังนั้นผู้ขับขี่สามารถใช้งานได้ทั้งการขับเคลื่อนโดยใช้แรงจากผู้ขับขี่เองหรือใช้กำลังจากมอเตอร์ จักรยานไฟฟ้าสามารถวิ่งทำความเร็วได้ถึง 24 to 40 กม/ชม ขึ้นอยู่กับกฎหมายที่กำหนดในแต่ละประเทศ การใช้งานรถจักรยานไฟฟ้าและมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้าสามารถช่วยผ่อนแรงผู้ขับขี่จากการใช้เท้าปั่นจักรยานได้และไม่ต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายเรื่องน้ำมันเชื้อเพลิง [2]

การวิจัยนี้จึงมีความสนใจนำแนวความคิดเรื่องจักรยานไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับรถซาเล้งหรือรถสามล้อสำหรับขนส่งสิ่งของ และประยุกต์นำเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ของรถซาเล้งไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้ ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เทคโนโลยีที่สะอาด เป็นมิตรกับสภาพแวดล้อม ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถใช้งานขนส่งสิ่งของทั่วไปโดยไม่ต้องใช้แรงงานคนถีบ ช่วยผ่อนแรงผู้ใช้และลดความเหนื่อยล้า ทำให้การทำงานมีความสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น ซึ่งอีกเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับช่วยลดความเหนื่อยล้าให้ผู้ที่ใช้งานรถซาเล้งสามล้อถีบทั่วไป และสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเกษตรกรเพื่อการขนย้ายอุปกรณ์/เครื่องมือการเกษตรขนาดเล็กหรือปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ย สารป้องกัน/กำจัดศัตรูพืช รวมถึงขนส่งผลผลิตที่ผลิตได้โดยไม่ต้องใช้พาหนะที่ต้องใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกทางหนึ่ง โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบพัฒนาและประดิษฐ์รถซาเล้งไฟฟ้าสำหรับขนสิ่งของและใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์อื่นโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน

วิธีการวิจัย

การออกแบบและพัฒนารถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ นี้ แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

1) การออกแบบและประดิษฐ์รถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบ

การออกแบบรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวคิดมาจากการใช้งานรถจักรยานไฟฟ้า ซึ่งนำมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้ในการขับเคลื่อนโดยไม่ต้องใช้เครื่องยนต์ทำให้ไม่ต้องสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง หรือไม่ต้องออกแรงถีบโดยผู้ขับขี่เองทำให้ลดความเมื่อยล้าของผู้ขับขี่ซาเล้งถีบ โดยงานวิจัยนี้ได้นำรถซาเล้งถีบมาปรับปรุงต่อยอดโดยออกแบบให้ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าที่ดุมล้อหลังของรถซาเล้งถีบเดิม และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ด้านบนของกระบะบรรทุกซึ่งสามารถใช้เป็นหลังคาได้ในตัว และทำการติดตั้งแบตเตอรี่ที่อานหลังของรถซาเล้งทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และจ่ายไฟฟ้าให้อุปกรณ์ต่างๆ

2) การทดสอบรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การทดสอบรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบความเร็วในการขับขี่ และ การใช้พลังงานในการขับขี่รถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

- การทดสอบความเร็วของรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ โดยวัดความเร็วในการขับเคลื่อนจากเครื่องมือวัดความเร็วจักรยาน ยี่ห้อ CATEYE ที่ติดตั้งเซนเซอร์ไว้ที่ซี่ลวดล้อหลัง และต่อสายสัญญาณมาแสดงผลที่หน้าจอด้านหน้า โดยทำการทดสอบขับเคลื่อนบนทางราบและขึ้นทางลาดชัน (ร้อยละ 10.50 และ ร้อยละ 5.25) ขณะปิดระบบการประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงแบตเตอรี่ ซึ่งทดสอบการขับเคลื่อนรถเปล่า (ไม่มีน้ำหนักบรรทุก) และมีภาระน้ำหนักบรรทุก โดยเพิ่มน้ำหนักครั้งละ 50 กิโลกรัม จนถึง 500 กิโลกรัม

- การทดสอบการใช้กระแสไฟฟ้าขณะขับเคลื่อนรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าขณะขับเคลื่อนที่ความเร็วคงที่ ที่ 5 10 15 และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยอ่านค่าจากแอมมิเตอร์ที่ติดตั้งไว้ที่แผงควบคุมการจ่ายไฟที่ด้านหน้าผู้ขับขี่ ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 กรณี คือ 1) ปิดระบบการชาร์จและไม่มีภาระบรรทุก

2) ปิดระบบการชาร์จและมีภาระบรรทุก 100 กิโลกรัม 3) เปิดระบบการชาร์จและไม่มีภาระบรรทุก และ 4) เปิดระบบการชาร์จและมีภาระบรรทุก 100 กิโลกรัม

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษานี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การออกแบบและปรับปรุงรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2) การทดสอบรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และ 3) ค่าใช้จ่ายในการสร้างรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การออกแบบและปรับปรุงรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

รถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบถูกสร้างขึ้นตามแนวคิดในวิธีการวิจัย มีขนาดกระบะบรรทุก 70 x 90 เซนติเมตร ขนาดวงล้อหน้า 26 x 2½ นิ้ว วงล้อหลัง 26 x 1¾ นิ้ว ขยายความกว้างของตะเกียบล้อหลังจาก 10 เซนติเมตร เป็น 13 เซนติเมตร เพื่อติดตั้งมอเตอร์ ต่อโครงสร้างเหล็ก 4 เสา เพื่อวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 250 วัตต์ (Polycrystalline silicon (V_{mp} 36 โวลต์ I_{mp} 8 แอมแปร์) จำนวน 2 แผ่นเป็นหลังคา ใช้แบตเตอรี่แบบรอบลึก (Deep cycle) ขนาด 40 แอมป์ 4 ลูก ติดตั้งบนอานหลังของรถซาเล้ง ขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบดุมล้อ (DC Hub Motor) ขนาด 1,000 วัตต์ 48 โวลต์ ที่ติดตั้งเข้ากับวงล้อด้านหลัง ดังภาพที่ 1ก

หลังจากประกอบรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบเรียบร้อย นำมาทดสอบขับขี่เบื้องต้น พบว่ารถซาเล้งมีเสถียรภาพต่ำลง เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีน้ำหนักมาก และกว้างเกินไป ทำให้เมื่อหันเลี้ยว รถซาเล้งสูญเสียสมดุลและอาจพลิกคว่ำได้ง่าย จึงปรับปรุงรถซาเล้งโดยลดขนาดล้อหน้าเป็น 18 x 2.75 นิ้ว และเปลี่ยนล้อหลังเป็นล้อรถมอเตอร์ไซด์ ขนาด 17 x 1.4 นิ้ว ปรับปรุงโครงสร้างรองรับแบตเตอรี่ให้แข็งแรงและทำฝาปิดเพื่อความปลอดภัย ลดความสูงของโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เหลือ 1.4 เมตร และเปลี่ยนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็น Polycrystalline silicon (V_{mp} 18 โวลต์ I_{mp} 5.6 แอมแปร์) จำนวน 4 แผ่น ทำให้ขนาดหลังคาเล็กลงจากเดิม 1.64 x 1.99 ตารางเมตร (40 กิโลกรัม) เป็น 2.26 x 1.33 ตารางเมตร (32.4 กิโลกรัม) จากการปรับปรุงข้างต้น ทำให้รถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีจุดศูนย์ถ่วง (CG) ต่ำลง ดังภาพที่ 1ข ส่งผลให้เสถียรภาพในการขับขี่ดีขึ้น และช่วยลดแรงต้านทานที่ล้อขับเคลื่อนลง



(ก) รถซาเล้งฯ ต้นแบบ



(ข) รถซาเล้งฯ ที่ปรับปรุง

ภาพที่ 1 รถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การใช้งานรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถใช้งานได้หลากหลาย ทั้งการขับเคลื่อนบรรทุกขนย้ายสิ่งของและใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าได้ มีการเชื่อมต่อวงจรให้สามารถสลับเลือกแรงดันไฟฟ้าให้เป็น 24 โวลต์ หรือ 48 โวลต์ได้ โดยแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ ใช้ขับเครื่องสูบน้ำแบบสูบชัก ที่ใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 500 วัตต์ ได้ประมาณ 4 ชั่วโมง แรงดันไฟฟ้า 48 โวลต์ ใช้ขับเคลื่อนรถซาเล้ง ไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง และอีกส่วนหนึ่งต่อ

ผ่านตัวลดแรงดันไฟฟ้า จาก 48 โวลต์ เป็น 12 โวลต์ สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า ได้แก่ ไฟหน้า ไฟท้าย ไฟสัญญาณ รวมถึงอุปกรณ์อื่นๆ เช่น หลอดไฟแสงสว่างขนาด 12 วัตต์ (1 แอมป์)

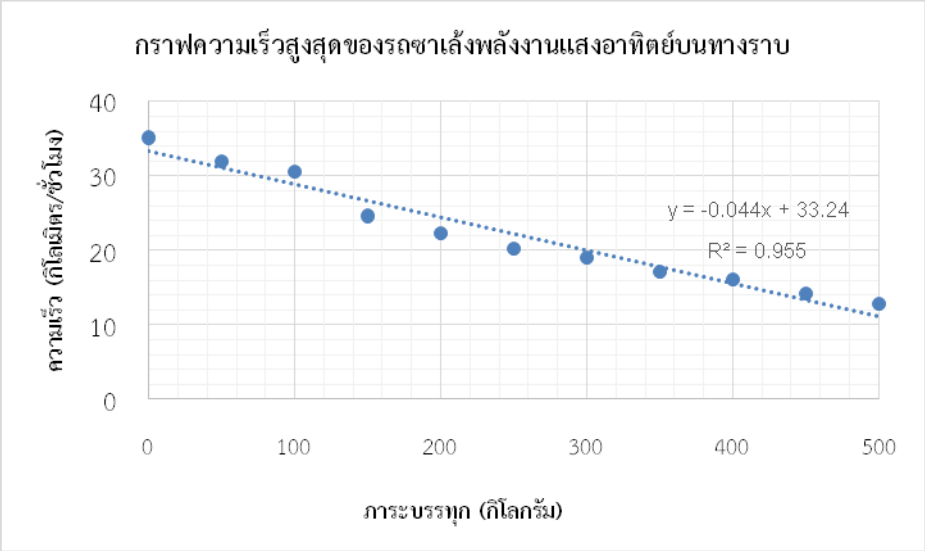
2) การทดสอบรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2.1) ความเร็วของรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การทดสอบขับเคลื่อนบนทางราบ เมื่อไม่มีน้ำหนักบรรทุกสามารถทำความเร็วสูงสุดได้ 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเมื่อเพิ่มภาระน้ำหนักบรรทุกขึ้น ความเร็วของรถซาเล้งฯจะค่อยๆ ลดลง โดยที่ภาระบรรทุก 500 กิโลกรัม ความเร็วสูงสุดจะลดลงเหลือ 12.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 1 และกราฟในภาพที่ 2

ตารางที่ 1 ความเร็วสูงสุดของรถซาเล้งพลังงานแสงอาทิตย์ บนทางราบที่ระยะทาง 280 เมตร

ภาระบรรทุก(ก.ก.)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ความเร็วสูงสุด (ก.ม./ช.ม.)	35.0	32.0	30.6	24.5	22.3	20.2	19.0	17.1	16.1	14.2	12.8



ภาพที่ 2 กราฟความเร็วสูงสุดของรถซาเล้งพลังงานแสงอาทิตย์บนทางราบ

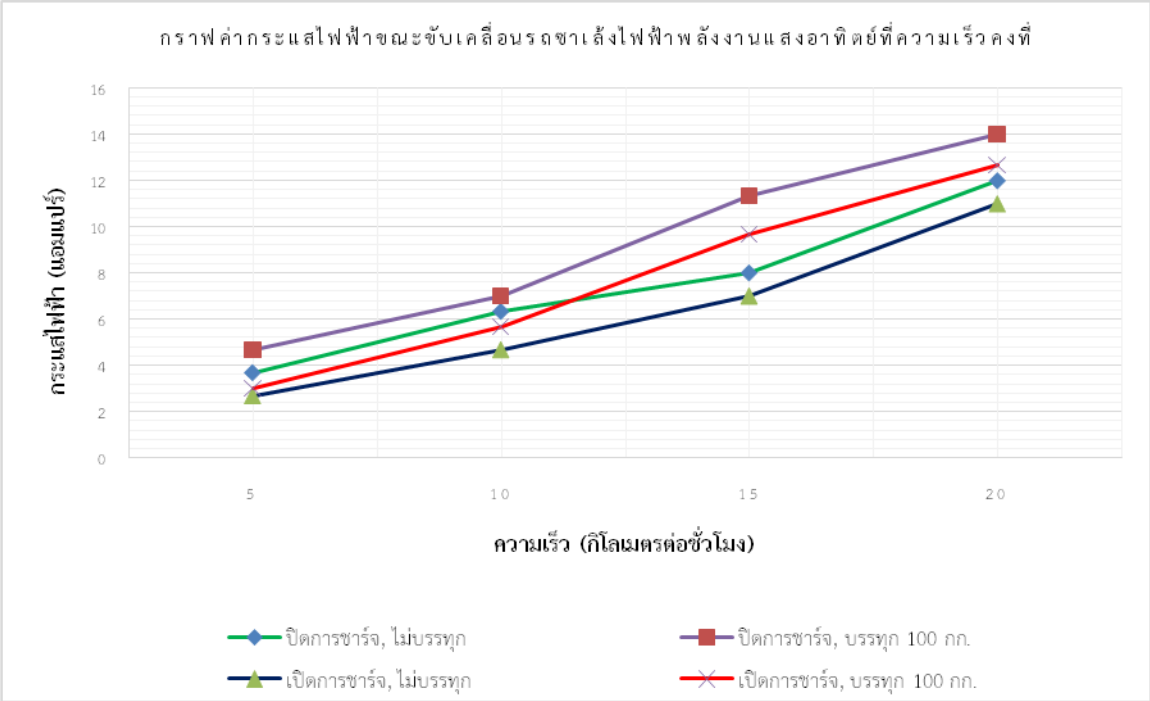
การขับเคลื่อนขึ้นทางลาดชัน โดยออกตัวขณะรถหยุดนิ่งอยู่กับที่ พบว่า ที่ทางลาดชัน ร้อยละ 5.25 โดยผู้ขับขี่ไม่ออกแรงปั่นช่วย รถซาเล้งฯ สามารถขับเคลื่อนขึ้นได้โดยมีน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 50 กิโลกรัม ที่ความเร็ว 3.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ถ้าหากมีการออกแรงปั่นช่วยจะสามารถบรรทุกน้ำหนักได้ถึง 300 กิโลกรัม สามารถขึ้นทางลาดชันดังกล่าวได้ที่ความเร็ว 0.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนที่ทางลาดชัน ร้อยละ 10.5 หากไม่ออกแรงปั่นช่วย รถซาเล้งฯ ไม่สามารถไต่ขึ้นทางลาดชันดังกล่าวได้ ซึ่งหากมีการปั่นช่วยจะสามารถขึ้นได้ที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 50 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจากมาตรฐานงานสะพานทางแยกต่างระดับของกรมทางหลวง กำหนดให้มีความลาดชัน ร้อยละ 4-6 [5] ซึ่งจะเห็นได้ว่ารถซาเล้งฯ สามารถขับเคลื่อนขึ้นทางลาดชันดังกล่าวได้โดยอาจต้องออกแรงช่วยปั่นจากผู้ขับขี่ ซึ่งขึ้นอยู่กับภาระน้ำหนักบรรทุก

2.2) กระแสไฟฟ้าขณะขับเคลื่อนรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในการทดสอบการใช้พลังงาน พบว่า กรณีที่มีภาระบรรทุกจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการขับเคลื่อนมากกว่ากรณีที่ไม่มีภาระน้ำหนักบรรทุก และเมื่อเปิดระบบการชาร์จจะทำให้ใช้กระแสไฟฟ้าในการขับเคลื่อนน้อยลง ดังภาพที่ 3

ตารางที่ 2 ความเร็วของรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในการขึ้นทางลาดชัน

ความลาดชัน		ความเร็ว (กิโลเมตร/ชั่วโมง)						
		0 ก.ก.	50 ก.ก.	100 ก.ก.	150 ก.ก.	200 ก.ก.	250 ก.ก.	300 ก.ก.
5.25%	ไม่ปั่นช่วย	6.0	3.6	ขึ้นได้ 6.7 เมตร	0	0	0	0
(3 องศา)	ปั่นช่วย	9.5	6.9	6.2	5.8	5.4	4.1	0.5
10.50%	ไม่ปั่นช่วย	0	0	0	0	0	0	0
(6 องศา)	ปั่นช่วย	5.5	3.2	ขึ้นได้ 3.5 เมตร	0	0	0	0



ภาพที่ 3 กระแสไฟฟ้าขณะขับเคลื่อนรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากกราฟจะเห็นว่าในการขับเคลื่อนที่ความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในทุกกรณี และที่ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับกรณีที่เปิดการชาร์จ จะใช้กระแสไฟฟ้าในการขับเคลื่อนน้อยกว่า 5 แอมแปร์ ซึ่งน้อยกว่ากระแสไฟฟ้าที่ประจุกลับลงแบตเตอรี่ เท่ากับว่าสามารถขับเคลื่อนรถซาเล้งฯ ได้โดยใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวโดยไม่ต้องใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ความเร็วในการขับเคลื่อนสูงขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ใช้จะสูงขึ้นตามไปด้วย โดยที่ความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การที่มีระบบการชาร์จจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะช่วยให้สามารถยืดระยะเวลาการขับเคลื่อนให้ยาวนานขึ้นได้ส่งผลให้มีระยะทางในการขับเคลื่อนสูงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

3) ค่าใช้จ่ายในการสร้างรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

รถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น (หลังจากปรับปรุงแล้ว) มีค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์รวมประมาณ 44,000 บาท (คิดราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 15 บาทต่อ 1 วัตต์ และไม่รวมค่าแรงในการติดตั้งอุปกรณ์) มีค่าใช้จ่ายหลัก ได้แก่ ค่ารถซาเล้งถีบ ค่ามอเตอร์ไฟฟ้า ค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าแบตเตอรี่ และส่วนประกอบอื่นๆ (เหล็กโครงสร้าง อุปกรณ์ระบบไฟ และอุปกรณ์ระบบเบรก) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์สำหรับสร้างรถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	รถซาเล้งถีบ	10,000	1	10,000
2	มอเตอร์ ขนาด 1,000 วัตต์ พร้อมชุดควบคุม	9,500	1	9,500
3	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 100 วัตต์	1,500	4	6,000
4	แบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ 40 แอมป์-ชั่วโมง	2,600	4	10,400
5	อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ	8,000	1	8,000
	รวม			**43,900**

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ ทำการออกแบบพัฒนาและประดิษฐ์รถซาเล้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับขนส่งสิ่งของและเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้อุปกรณ์อื่น โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน โดยได้ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบดุมล้อ ขนาด 1,000 วัตต์ ที่ล้อหลังเพื่อเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน ซึ่งสามารถทำงานได้หลากหลายทั้งการขับเคลื่อนบรรทุกขนย้ายสิ่งของ การสูบน้ำ และใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นได้ การทดสอบใช้งานพบว่า สามารถใช้งานเป็นที่น่าพึงพอใจ โดยทำความเร็วไม่น้อยกว่า 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บรรทุกน้ำหนักได้ไม่เกิน 500 กิโลกรัม สามารถขับเคลื่อนขึ้นทางลาดชันร้อยละ 5 โดยไม่ออกแรงช่วยปั่น แต่ต้องออกแรงช่วยปั่นเมื่อขึ้นทางลาดชันร้อยละ 10 ที่ภาระบรรทุกไม่เกิน 50 กิโลกรัม โดยเมื่อเปิดระบบการชาร์จและขับเคลื่อนที่ความเร็ว 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง ใช้กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 5 แอมแปร์ ซึ่งน้อยกว่ากระแสไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้ากลับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามการศึกษาครั้งนี้ยังไม่ครอบคลุมถึงการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จึงมีข้อเสนอแนะให้มีการศึกษาในประเด็นดังกล่าวเพิ่มเติมเพื่อความสมบูรณ์ของการศึกษาซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อสาธารณชนในวงกว้างต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Marketeer. (2557). **รู้มะ ตุ๊กตุ๊ก ซาเล้ง ช้างน้อยต่างกันยังไง**. MARKETEER CONTENT 2. สืบค้นเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2558, จาก http://marketeer.co.th/2014/12/tuktuk-car/.

[2] ebikr.com. (2012). **ประวัติจักรยานไฟฟ้า.** สืบค้นเมื่อ 16 มกราคม 2559 จาก http://blog.ebikr.com/posts/147

[3] eBikethaikit.com. (ม.ป.ป.) **จักรยานไฟฟ้า เพื่อศึกษาและใช้งาน.** สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2559 จาก http://www.ebikethaikit.com/เรียนรู้สร้างจักรยานไฟฟ้า-980.page

[4] ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์. (2555). จักรยานไฟฟ้าพาหนะส่วนบุคคลที่ใช้พลังงานในการขับเคลื่อนที่ถูกที่สุด. **วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.** 65 (2), 80-89.

[5] กรมทางหลวง. (ม.ป.ป.). **มาตรฐานชั้นทาง**. สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2559, จาก http://www.doh.go.th/doh/th/details/standard/standard1.html

IE92

แบบจำลองการอบแห้งปลาสลิดด้วยอากาศร้อน

Drying Model of Snake Skin Gourami Using Hot Air

กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์[1*] ศรีมา แจ้คำ[1] ทัศพันธ์ สุวรรณทัต[2] และนเรศ นาใต้[1]
[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก20110
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก20110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาสลิดด้วยอากาศร้อน โดยใช้ปลาสลิดแดดเดียวแร่เอาก้างออก แล้วอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียสและความเร็วของอากาศร้อนประมาณ 2 เมตรต่อวินาที จากผลการทดลอง พบว่า การอบแห้งปลาสลิดด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของปลาสลิดได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนั้นยังพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลจากสมการของ Modified Page สามารถทำนายผลการอบแห้งปลาสลิดได้ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2=0.9977) สูงที่สุด และมีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE=0.0186) และค่าการลดลงไคกำลังสอง (χ^2= 0.00037) ต่ำที่สุด

คำสำคัญ: สมการเอมพิริคัล ปลาสลิด อากาศร้อน

*Corresponding author: Tel.: 086-386-1885 E-mail address: k_yong28@hotmail.com

บทนำ

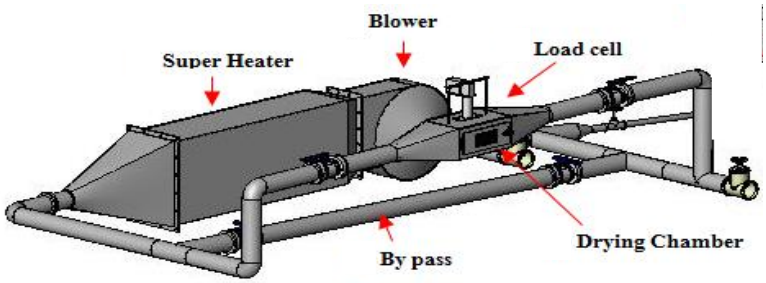
ปลาสลิด (Snake Skin Gourami) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *TrichogasterPectoralis*เป็นปลาน้ำจืดที่เลี้ยงกันมากแถบภาคกลางของประเทศไทย ปลาสลิดที่ขายอยู่ตามตลาดส่วนใหญ่เป็นปลาสลิดแดดเดียวสามารถนำไปประกอบอาหารได้หลายวิธี เช่น การทอดเป็นวิธีการทำให้ปลาสุกและมีกลิ่นหอมจึงเป็นที่นิยมมากที่สุดนอกจากวิธีการทอดแล้ว การอบแห้งวัสดุด้วยอุณหภูมิสูงจะทำให้วัสดุอบแห้งสุกและแห้งไปพร้อมกันซึ่งเครื่องอบแห้งแบบใช้อากาศร้อนสามารถใช้แหล่งความร้อนได้หลากหลายแหล่ง เช่น ฮีทเตอร์ไฟฟ้า เชื้อเพลิงจาก ชีวมวล และการใช้พลังงานร่วมระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์กับฮีทเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้นเครื่องอบแห้งแบบอากาศร้อนสามารถนำไปอบแห้งวัสดุทางการเกษตรได้ทั้งเนื้อสัตว์และผลไม้ [1]ซึ่งการอบแห้งวัสดุด้วยอากาศร้อนเป็นวิธีการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน โดยความร้อนจากอากาศร้อนจะถ่ายเทไปสู่ผิวของวัสดุด้วยการพาความร้อน และความร้อนที่ผิววัสดุได้รับจะถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนเข้าสู่ภายในวัสดุ ซึ่งจะทำให้น้ำภายในวัสดุมีแรงดันไอสูงขึ้นและถูกขับออกมาภายนอก และเมื่อเนื้อวัสดุมีอุณหภูมิสูงเกิน 100 องศาเซลเซียส น้ำภายในวัสดุจะเริ่มเดือดและทำให้วัสดุสุกไปด้วย ดังนั้นการอบแห้งปลาสลิดด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูงจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการอบแห้งปลาสลิด เพราะการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงนอกจากเป็นการลดความชื้นของวัสดุให้ต่ำลงแล้วยังเป็นการทำให้วัสดุที่อบแห้งสุกได้อีกด้วย ซึ่งสามารถนำไปรับประทานได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทอดนอกจากนี้การทำนายพฤติกรรมการอบแห้งเป็นสิ่งสำคัญในการจำลองการอบแห้งให้มีความเหมาะสมกับวิธีการและวัสดุแต่ละชนิด ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้เทคนิคและวิธีการต่างๆ ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุระหว่างการอบแห้ง แบบจำลองเอมพิริคัลเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการทำนายพฤติกรรมการอบแห้ง เนื่องจากสามารถทำนายอัตราส่วนความชื้นได้ค่อนข้างดี [2, 5] ดังนั้นในงานวิจัยนี้มี

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาสลิดด้วยอากาศร้อนและหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายพฤติกรรมการอบแห้ง

วิธีการวิจัย

อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องอบแห้งอากาศร้อนที่ใช้ในการทดลองดังภาพที่ 1 ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ 1) พัดลม (Blower) แบบแรงเหวี่ยงใบพัดโค้งหลังมอเตอร์ขนาด 0.746 กิโลวัตต์ สามารถปรับความเร็วรอบของพัดลมได้ 2) อุปกรณ์ให้ความร้อน (Super heater) ขนาด 4.5 กิโลวัตต์ ควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องควบคุมแบบ PID มีค่าความถูกต้อง ±0.1°C3) เครื่องบันทึกน้ำหนัก (Load cell) ของผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้งมีค่าความถูกต้อง ±0.1 กรัมและห้องอบแห้ง (drying chamber)



ภาพที่ 1เครื่องอบแห้งอากาศร้อน

วิธีการทดลอง

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ ปลาสลิดแดดเดียว นำมาแร่เอาก้างออก ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 252-263 มาตรฐานแห้ง นำมาอบแห้งที่ความเร็วอากาศร้อนประมาณ 2 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิอากาศร้อน140 160 และ180องศาเซลเซียสโดยบันทึกน้ำหนักด้วยเครื่องบันทึกน้ำหนัก (Load cell) ทุกๆ 1 นาทีในช่วง 5 นาทีแรก หลังจากนั้นบันทึกทุกๆ 10 นาทีและหยุดการทดลองเมื่อน้ำหนักของปลาสลิดเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แล้วนำปลาสลิดไปคำนวณหาความชื้น (moisture content, MC)ตามสมการที่ (1)

$$MC = \frac{w_t - d}{d} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ MCคือ ความชื้น (ร้อยละมาตรฐานแห้ง) w_t คือ น้ำหนักปลาสลิดที่เวลาใดๆ (กรัม) และ d คือ น้ำหนักแห้งของปลาสลิด (กรัม)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัล

การวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลที่เหมาะสม โดยนำค่าอัตราส่วนความชื้นดังสมการที่ (2) ที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์หรือค่าคงที่ตามรูปแบบสมการที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งจะสมมติให้ความชื้นสมดุลของวัสดุมีค่าเท่ากับศูนย์เนื่องจากเป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (2)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (ร้อยละมาตรฐานแห้ง) M_e คือ ความชื้นสมดุล (ร้อยละมาตรฐานแห้ง) และ M_i คือ ความชื้นเริ่มต้น (ร้อยละมาตรฐานแห้ง)

จากงานวิจัยของ Togrul (2005)[5] ได้ใช้รูปแบบของสมการ Arrhenius ดังสมการที่ (3) ในการกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์หรือค่าคงที่ (constants and coefficients, coc) เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิการอบแห้ง ดังนั้นรูปแบบของสมการในตารางที่ 1 จึงถูกดัดแปลงโดยสมการที่ (3) และมีรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลที่จะใช้ในการวิเคราะห์สมการอบแห้งปลาสลิดดังตารางที่ 2

$$\text{Arrhenius type, coc} = a\ exp\left(\frac{-b}{8.314T}\right) \quad (3)$$

เมื่อ a และ b คือ ค่าคงที่ และ T คือ อุณหภูมิการอบแห้ง (K)

ตารางที่ 5แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัล

ชื่อสมการ	รูปแบบสมการ	อ้างอิง
Lewis	MR=exp(-kt)	[3]
Page	MR=exp(-kt^n)	[4]
Modified Page	MR=exp(-$(kt)^n$)	[5]
Two-term	MR=a exp(-k_0t)+b exp(-k_1t)	[6]
Henderson and Pabis	MR=a exp(-kt)	[5]
Logarithmic	MR=a exp(-kt)+c	[5]
Wang and Singh	MR=1+at+bt^2	[7]
Midilli	MR=a exp(-kt^n)+bt	[8]

ตารางที่ 2แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลที่ดัดแปลงจากสมการในตารางที่ 1

ชื่อสมการ	รูปแบบสมการ
Lewis	$MR = \exp\left(-\left(k_0 \exp\left(\frac{-k_1}{8.314T}\right)\right)t\right)$
Page	$MR = \exp\left(-\left(k_0 \exp\left(\frac{-k_1}{8.314T}\right)\right)t^{\left(n_0 \exp\left(\frac{-n_1}{8.314T}\right)\right)}\right)$
Modified Page	$MR = \exp\left(-\left(k_0 \exp\left(\frac{-k_1}{8.314T}\right)t\right)^{\left(n_0 \exp\left(\frac{-n_1}{8.314T}\right)\right)}\right)$
Two-term	$MR = a_0 \exp\left(\frac{-a_1}{8.314T}\right) \exp\left(-\left(k_0 \exp\left(\frac{-k_1}{8.314T}\right)\right)t\right) + b_0 \exp\left(\frac{-b_1}{8.314T}\right) \exp\left(-\left(n_0 \exp\left(\frac{-n_1}{8.314T}\right)\right)t\right)$
Henderson and Pabis	$MR = a_0 \exp\left(\frac{-a_1}{8.314T}\right) \exp\left(-\left(k_0 \exp\left(\frac{-k_1}{8.314T}\right)\right)t\right)$
Logarithmic	$MR = a_0 \exp\left(\frac{-a_1}{8.314T}\right) \exp\left(-\left(k_0 \exp\left(\frac{-k_1}{8.314T}\right)\right)t\right) + \left(c_0 \exp\left(\frac{-c_1}{8.314T}\right)\right)$
Wang and Singh	$MR = 1 + a_0 \exp\left(\frac{-a_1}{8.314T}\right)t + b_0 \exp\left(\frac{-b_1}{8.314T}\right)t^2$
Midilli	$MR = a_0 \exp\left(\frac{-a_1}{8.314T}\right) \exp\left(-\left(k_0 \exp\left(\frac{-k_1}{8.314T}\right)\right)t^{\left(n_0 \exp\left(\frac{-n_1}{8.314T}\right)\right)}\right) + b_0 \exp\left(\frac{-b_1}{8.314T}\right)t$

* a_0 a_1 b_0 b_1 c_0 c_1 k_0 k_1 L_0 L_1 n_0และ n_1คือ ค่าพารามิเตอร์หรือค่าคงที่ และ t คือ เวลาในการอบแห้ง (นาที)

การหารูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลที่เหมาะสมกับการทำนายกระบวนการอบแห้ง ซึ่งการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรต่างๆ ในสมการใช้เทคนิคการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear regression) ซึ่งมีดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการทำนายสมการทางคณิตศาสตร์ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error, RMSE) และค่าการลดลงไคกำลังสอง (Chi-square, χ^2) โดยสมการที่ให้ค่า R^2 สูงที่สุด และให้ค่า RMSE และ χ^2

ต่ำที่สุด จะเป็นสมการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ค่า RMSE และ χ^2 มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\left[\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{exp,i} - MR_{pre,i}\right)^2\right]} \quad (4)$$

$$x^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(MR_{exp,i} - MR_{pre,i}\right)^2}{N-p} \quad (5)$$

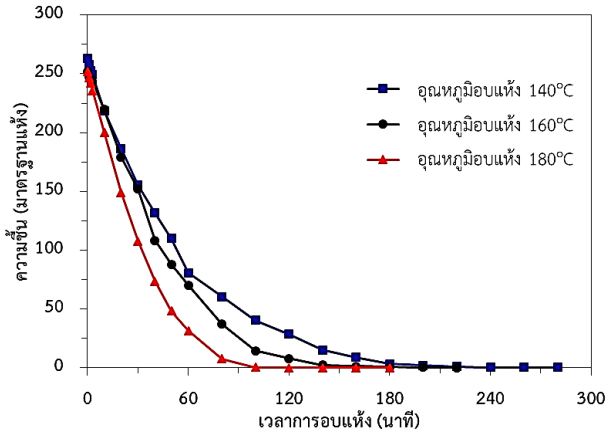
เมื่อ $MR_{exp,i}$คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง $MR_{pre,i}$คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการคำนวณ N คือ จำนวนข้อมูลในการทดลอง และ p คือ จำนวนพารามิเตอร์ในแต่ละสมการ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น

ภาพที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปลาสลิดกับเวลาที่อุณหภูมิการอบแห้ง 140 160 และ 180 องศาเซลเซียสจากผลการทดลองพบว่า ความชื้นของปลาสลิดลดลงตามระยะเวลาการอบแห้ง โดยในช่วงแรกที่ปลาสลิดยังมีความชื้นสูงอยู่ ความร้อนส่วนใหญ่ที่ถ่ายเทให้ปลาสลิดจึงใช้ในการระเหยน้ำทำให้ความชื้นของปลาสลิดลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาในการอบแห้งผ่านไปประมาณ 60 นาที ความชื้นของปลาสลิดจะลดลงอย่างช้าๆ จนสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจาก 140 เป็น 160 และ 180 องศาเซลเซียส จะทำให้เพิ่มอัตราการอบแห้งและใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลดีขึ้น ดังนั้นที่อุณหภูมิอบแห้ง 180 องศาเซลเซียส ความชื้นจะลดลงเร็วที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยที่สุด และที่อุณหภูมิอบแห้ง 180 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 140 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิอบแห้ง 160 องศาเซลเซียส โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 50 และ 30ตามลำดับ

การอบแห้งปลาสลิดจากความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 252-263 มาตรฐานแห้ง ให้มีความชื้นสุดท้ายที่ต้องการประมาณร้อยละ15-20 มาตรฐานแห้ง สามารถทราบเวลาในการอบแห้งจนได้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการได้จากเส้นอัตราการอบแห้ง โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศร้อน140 160 และ180องศาเซลเซียสจะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ70 100 และ 140 นาที ตามลำดับ



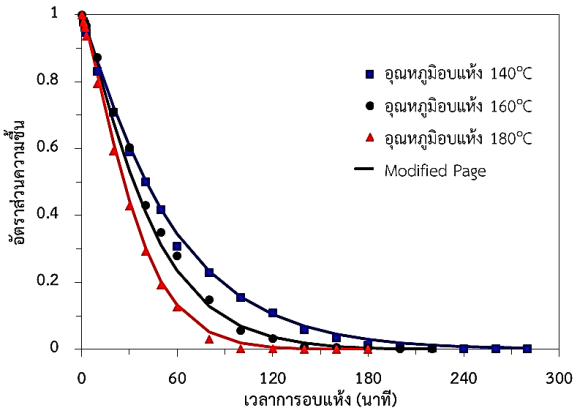
ภาพที่ 2การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปลาสลิดที่อุณหภูมิ 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัล

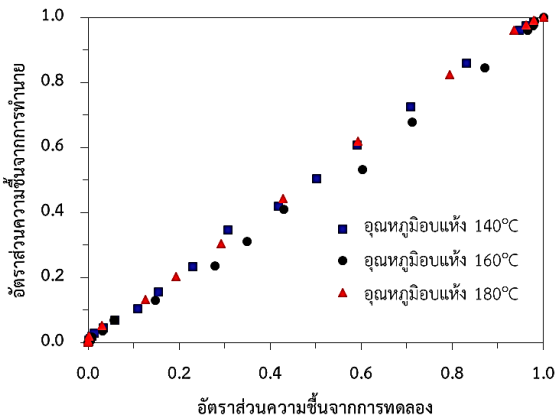
เมื่อนำข้อมูลการทดลองอบแห้งปลาสลิดที่อุณหภูมิอากาศร้อน 140 160 และ 180 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น โดยใช้สมการในตารางที่ 2 ได้ค่าคงที่ของสมการดังตารางที่ 3 พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลของ Modified Page มีความเหมาะสมในการทำนายการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความชื้นได้ดีที่สุด เนื่องจากมีค่า R^2เท่ากับ 0.9977 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด ค่า RMSE เท่ากับ 0.0186 และค่า χ^2 เท่ากับ 0.00037 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลของWang and Singh มีความสัมพันธ์กับผลการทดลองต่ำที่สุด คือ มีค่า R^2เท่ากับ 0.9714 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด ค่า RMSE เท่ากับ 0.0661 และค่า χ^2 เท่ากับ 0.00472 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลทั้ง 8 แบบ ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น มีค่า R^2อยู่ในช่วง 0.9714-0.9977 ค่า RMSE อยู่ในช่วง 0.0186-0.0661 และค่า χ^2อยู่ในช่วง 0.00037-0.00472

ตารางที่ 3ค่าคงที่ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัล

ชื่อสมการ	ค่าคงที่ของสมการ				R^2	RMSE	χ^2
Lewis	k_0=4.65423	k_1=19137.65			0.9936	0.0314	0.00102
Page	k_0=0.010507	k_1=-134.6883	n_0=4.74402	n_1=4965.654	0.9975	0.0248	0.00066
Modified Page	k_0=4.16043	k_1=18771.90	n_0=8.87348	n_1=7199.690	0.9977	0.0186	0.00037
Two-term	a_0=25.140 b_0=-24.1788	a_1=-1449.86 b_1=-1491.604	k_0=0.02150 n_0=0.01854	k_1=920.7087 n_1=420.4914	0.9957	0.0256	0.00077
Henderson and Pabis	a_0=1.34154	a_1=977.5290	k_0=6.56380	k_1=20281.30	0.9944	0.0292	0.00092
Logarithmic	a_0=2.04205 c_0=-98247657.93	a_1=2409.090 c_1=80284.81	k_0=1.91010	k_1=16075.99	0.9960	0.0246	0.00068
Wang and Singh	a_0=-2.99521	a_1=19285.11	b_0=1.45336	b_1=37319.86	0.9714	0.0661	0.00472
Midilli	a_0=0.74206 n_0=4.10906	a_1=-1037.77 n_1=4414.70	k_0=0.01342 b_0=-0.00002	k_1=966.7127 b_1=-15.6443	0.9973	0.0203	0.00048



ภาพที่ 3เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ของผลการทดลองและผลการทำนายตามรูปแบบ Modified สมการของ Modified Page



ภาพที่ 4เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายตามรูปแบบสมการของ Page กับอัตราส่วนความชื้นจากผลการทดลอง

เมื่อนำค่าคงที่จากตารางที่ 3 ของสมการ Modified Page มาแทนค่าลงในสมการในตารางที่ 2 จะได้ดังสมการที่ (6) คำนวณผลที่ได้ จากนั้นนำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลา และ อัตราส่วนความชื้นจากการทำนายกับอัตราส่วนความชื้นจากผลการทดลอง

$$MR = \exp\left(-\left(4.16043\ \exp\left(\frac{-18771.90}{8.314T}\right)t\right)^{\left(8.87348\ \exp\left(\frac{-7199.69}{8.314T}\right)\right)}\right) \quad (6)$$

จากภาพที่ 3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นกับเวลา ของผลการทดลองและผลการทำนายตามรูปแบบสมการของ Modified Page และภาพที่ 4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายตามรูปแบบสมการของ Modified Page กับอัตราส่วนความชื้นจากผลการทดลอง พบว่า แบบจำลองตามรูปแบบสมการของ Modified Page สามารถทำนายอัตราส่วนความชื้นได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง

สรุปผลการวิจัย

การอบแห้งปลาสลิดด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 120 140 และ 160องศาเซลเซียสจากผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิการอบแห้งมีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาสลิด โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น นอกจากนี้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลจากสมการของ Modified Page สามารถทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาสลิดได้ดีที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2=0.9977) สูงที่สุด และมีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE=0.0186) และค่าการลดลงไคกำลังสอง (χ^2=0.00037) ต่ำที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกที่ให้การสนับสนุนการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Somjai, T., Achariyaviriya, S., Achariyaviriya, A. and Namsanguan, K. (2009). Strategy for longan drying in two-stage superheated steam and hot air. **Journal of Food Engineering**. 95. 313-321.

[2]Dhanushkodi, S., Wilson V.H. and Sudhakar, K. (2017). Mathematical modeling of drying behavior of cashew in a solar biomass hybrid dryer. **Resource-Efficient Technologies**. 3, 359-364.

[3] Lui, Q. and Bakker-Arkema, F.W. (1997). Stochastic modeling of grain drying, part 2; modeldevelopment.**Journal of Agricultural Research**. 66, 275-280.

[4] Sharma, G.P. and Prasad, S. (2001). Drying of garlicclovesbymicrowave-hot air combination.**Journal of Food Engineering**. 50. 99-105.

[5] Togrul, H. (2005). Simple modeling of infrared drying of fresh apple slices.**Journal of Food Engineering**. 71, 311-323.

[6] Ruiz, C.A., Rojas, S.and Lopez, R.L. (2008). Mathematicalmodeling of thin-layer infrared drying of wet olivehusk. **Chemical Engineering and Processing**. 47,1810-1818.

[7] Ozdemir, M. andDevres, Y.O. (1999). The thin layerdrying characteristics of hazelnuts during roasting.**Journal of Food Engineering**. 42, 225-233.

[8] Midilli, A., Kucuk, H. and Yapar, Z. (2 0 0 2) . A new model for single-layer drying. **Drying Technology**.20(7), 1503-1513.

IE94

การศึกษาและเปรียบเทียบการอบแห้งสมุนไพรด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลและอากาศร้อน

Study and Comparison Herb Drying Using Vacuum combined Far Infrared Radiation and Hot Air

ศรีมา แจ้คำ[1*] กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์[1] จิรวัฒน์ สิตรานนท์[1] และทัศพันธ์ สุวรรณทัต[2]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 20110

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 20110

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลและอากาศร้อน โดยสมุนไพรที่ทำการอบแห้ง คือ ข่าหั่นบางประมาณ 2-3 mm และใบมะกรูด ควบคุมความดันสุญญากาศ 5 kPa และ 15 kPa อุณหภูมิควบคุมภายในห้องอบ 45°C และ 55°C สำหรับการอบแห้งแบบลมร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 45°C และ 55°C เช่นกัน โดยทำการอบแห้งข่าและใบมะกรูดที่มีความชื้นเริ่มต้น 820%d.b. และ 170%d.b. ตามลำดับ จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 5%d.b. คุณภาพของสมุนไพรที่นำมาใช้ประเมินคือคุณภาพสี และปริมาณน้ำมันหอมระเหย จากการทดลองพบว่าการอบแห้งสมุนไพรที่ความดัน 5 kPa อุณหภูมิควบคุม 55°C ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อน ผลของความดันและอุณหภูมิมีต่อการอบแห้งที่ความดันต่ำและอุณหภูมิสูงเป็นผลให้เวลาในการอบแห้งลดลง ระบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดจึงมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการใช้อากาศร้อนที่ความดันบรรยากาศ สำหรับสภาวะที่เหมาะสมนั้นผลิตภัณฑ์จะต้องมีรูปร่างและคุณภาพด้านสีที่ดีที่สุดก่อน เนื่องจากเป็นสิ่งสำคัญในการตัดสินใจของผู้บริโภค การอบแห้งข่าที่สภาวะความดัน 15 kPa อุณหภูมิควบคุม 55°C และการอบแห้งใบมะกรูดที่สภาวะความดัน 15 kPa อุณหภูมิควบคุม 45°C จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและสีน้อยที่สุด เมื่อนำข่าและใบมะกรูดมาสกัดหาปริมาณน้ำมันหอมระเหย ได้น้ำมันหอมระเหยประมาณ 0.0928 % และ 0.7849 %โดยมวล ตามลำดับ และผลของเวลาที่ใช้ในการอบแห้งต่อปริมาณน้ำมันหอมระเหยยังพบอีกว่าถ้าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งนานขึ้น ปริมาณน้ำมันหอมระเหยของสมุนไพรจะลดลง

คำสำคัญ: สุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล สมุนไพร อากาศร้อน

*Corresponding author: Tel.: 096-7432241. E-mail address: srima_j@hotmail.com

บทนำ

ข่าและมะกรูด นอกจากจะเป็นเครื่องเทศที่นิยมบริโภคกันเป็นประจำแล้ว ยังถือว่าเป็นสมุนไพรพื้นบ้านที่อยู่คู่กับคนไทยมาอย่างยาวนาน ข่ามีสรรพคุณทางยาคือ ช่วยบรรเทาอาการปวดตามข้อ บรรเทาอาการปวดหลอดลม อักเสบ บรรเทาอาการปวดท้อง ท้องร่วง ฆ่าเชื้อบิด ช่วยย่อยอาหาร บรรเทาอาการท้องอืดท้องเฟ้อ บรรเทาอาการของโรคผิวหนัง กลาก เกลื้อน แก้ลมพิษ และบรรเทาอาการปวดฟัน สำหรับมะกรูดมีสรรพคุณทางยาคือ ผิวผลสดและผลแห้ง สามารถแก้ลมหน้ามืด แก้วิงเวียน บำรุงหัวใจ ขับลมลำไส้ ขับระดู ผลมีรสเปรี้ยวแก้ไอ ขับเสมหะ แก้น้ำลาย

เหนียว ฟอกโลหิต รากมีรสเย็นจืดแก้พิษฝีภายใน แก้เสมหะ แก้ลมจุกเสียด น้ำมะกรูดมีรสเปรี้ยวกัดเสมหะ ใช้ดองยาเป็นยาฟอกโลหิตสำหรับสตรี ใบมีรสหอมแก้ไอ แก้อาเจียนเป็นดลหิต แก้ช้ำใน และดับกลิ่นคาว เป็นต้น

ในปัจจุบัน ความจำเป็นของการแปรรูปสินค้าทางการเกษตร มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเกษตรกรรมของไทย เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตรต่างๆที่มีอยู่ในประเทศ ให้สามารถส่งออกสู่ตลาดโลก เกษตรกรส่วนใหญ่ทำการเก็บรักษาผลผลิตที่ได้ด้วยการตากแดด ซึ่งถือเป็นวิธีที่ง่ายและต้นทุนต่ำที่สุด แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ผลิตผลทางการเกษตรที่ได้ไม่สะอาด และอาจมีการปนเปื้อนของฝุ่นและแบคทีเรีย อีกทั้งต้องใช้เวลาในการตากเพื่อลดความชื้นนานหลายวัน เนื่องจากไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิ และความเข้มของรังสีอาทิตย์ได้ อีกทั้งในช่วงกลางคืนหรือในช่วงฤดูฝน ก็เป็นอุปสรรคส่งผลให้ไม่สามารถแปรรูปผลผลิตได้ เป็นผลทำให้ผลผลิตเกิดความเสียหาย ดังนั้นเครื่องอบแห้งจึงมีบทบาทสำคัญในการแปรรูปสมุนไพร โดยสามารถรักษาคุณภาพของสมุนไพรด้วยการควบอุณหภูมิที่เหมาะสม และลดระยะเวลาในการอบแห้ง ทำให้คุณภาพของสมุนไพรในด้านสี ปริมาณน้ำมันหอมระเหย สารออกฤทธิ์ที่เป็นสรรพคุณทางยายังคงเหมือนเดิม รวมทั้งลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์

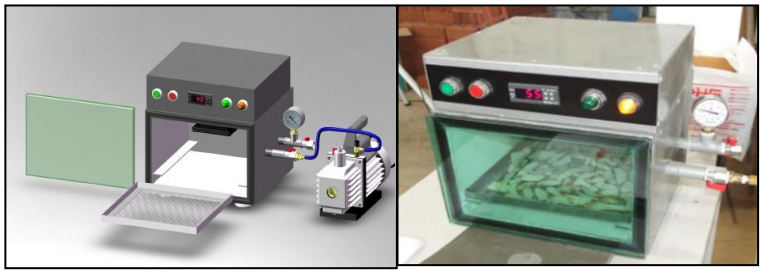
สิทธิชัย และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งเห็ดหอม ด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด รวมทั้งหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ โดยอบแห้งเห็ดหอมขนาดเส้นผ่านศูนย์ประมาณ 4 - 5 cm จากผลการทดลอง พบว่าที่ 70 °C และความดันสัมบูรณ์ 10 kPa สามารถอบแห้งเห็ดหอมได้เร็วที่สุดโดยใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 250 นาที และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 9.09 kWh/kg และปริมาณน้ำอิสระหลังอบแห้งทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าน้อยกว่า 0.6 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอาหารแห้ง อำไพศักดิ์ และศักชัย[2] ได้ทำการอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อลดความดันสัมบูรณ์หรือเพิ่มอุณหภูมิของการอบแห้ง จะมีผลทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลง เพชรรัตน์ และคณะ [3] ได้ศึกษาการนำรังสีอินฟราเรดไกลเข้ามาร่วมในการอบแห้งเนื้อลำไยด้วยลมร้อน และปั๊มความร้อน จากผลการทดลองพบว่า การนำรังสีอินฟราเรดไกลเข้ามาใช้ร่วมกับการอบแห้งเนื้อลำไยด้วยลมร้อนหรือปั๊มความร้อน ช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งให้มากขึ้น และลดเวลาในการอบแห้งลง[5] ได้ทดลองเปรียบเทียบอบแห้งหัวหอมส่วนใบ ด้วยอินฟราเรดไกลภายใต้สภาวะสุญญากาศ กับการอบแห้งด้วยอินฟราเรดไกลร่วมกับลมร้อน จากการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้หลอดอินฟราเรดเพิ่มขึ้น หรือความดันในห้องอบ แห้งลดลง รวมถึงการอบแห้งด้วยอินฟราเรดไกลภายใต้สภาวะสุญญากาศจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่ากรณีการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลร่วมกับลมร้อนนอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่อกำลังไฟฟ้า ป้อนให้หลอดอินฟราเรดมีค่าน้อยๆ หัวหอมที่อบแห้งด้วยอินฟราเรดไกล ภายใต้สภาวะสุญญากาศจะมีศักยภาพในการคืนตัวมากกว่า แม้จะหดตัวมากกว่ากรณีอบแห้งด้วย รังสีอินฟราเรดไกลร่วมกับลมร้อน [6] ได้ศึกษาการอบแห้งขิ้นกล้วยหอม โดยใช้รังสีไมโครเวฟร่วมกับสภาวะสุญญากาศที่ความดัน จากการทดลองพบว่า การใช้รังสีไมโครเวฟในการอบแห้งนั้นสามารถช่วยลดเวลาในการอบแห้งได้เป็นอย่างดี และถ้าหากลดความดันลงเรื่อยๆ ก็จะช่วยลดเวลาในการอบแห้งลงตามลำดับ ศรีมา แจ้คำ [4] ได้ศึกษาการอบแห้งผลไม้และสมุนไพรโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมอินฟราเรดไกล จากการทดลองพบว่า สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้อย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการใช้ปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว และการใช้อินฟราเรดไกลไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบพัฒนาและศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลและอากาศร้อน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ทั้งด้านระยะเวลาการอบแห้ง มาตรฐานด้านสี และน้ำมันหอมระเหย โดยทำศึกษาในกรณีของข่าและใบมะกรูดเป็นสมุนไพรตัวอย่างเพื่อประยุกต์ใช้ในพืชสมุนไพรชนิดอื่นต่อไป

วิธีการวิจัย

การทดลองการอบแห้งนี้ได้ใช้ตัวอย่างสมุนไพรในการทดลองคือ ข่าหั่นบางความหนา 2-3 มิลลิเมตร และใบมะกรูด โดยทำการทดลองที่สภาวะดังนี้ คือ (1) ความดัน 15 kPa อุณหภูมิ 45°C (2) ความดัน 15 kPa อุณหภูมิ 55°C (3) ความดัน 5 kPa อุณหภูมิ 45°C (4) ความดัน 5 kPa อุณหภูมิ 55°C (5) อากาศร้อน 45°C และ (6) อากาศร้อน 55°C ทำการทดลองโดยหั่นข่าหนาประมาณ 2-3 มม.สำหรับใบมะกรูดเด็ดก้านออกให้เหลือแต่ใบ และให้นำบางส่วนเข้าไปอบแห้งในตู้อบแห้งแบบลมร้อน เพื่อเป็นข้อมูลในการความค่าความของผลิตภัณฑ์ จากนั้นนำผลิตภัณฑ์เข้าในตู้อบแห้งพร้อมทำการเปิดเครื่องแล้วตั้งค่าการทดลองตามสภาวะต่างๆ ที่กำหนด ทำการบันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ทุกๆ 30 นาที เมื่อได้ความชื้นสุดท้ายตามที่กำหนด ก็ปิดเครื่องอบแห้ง แล้วบันทึกน้ำหนักหลังการอบแห้งไว้

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองมีดังนี้ (1) เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล ประกอบด้วยปั๊มสุญญากาศ (liquid ring) ขนาดมอเตอร์ 1/3 HP ทำความดันได้ถึง 10 Pa(วัดจากความดันศูนย์สัมบูรณ์) ซึ่งมีอัตราการทำสุญญากาศได้มากกว่าขอบเขตในการศึกษา อัตราการไหลที่ 6 m^3/hr ภายในมีแท่งรังสีอินฟราเรดขนาด 250 W จำนวน 1 แท่ง ยี่ห้อ infrapara รุ่น EL-2-250, 220 V, 380°C, 122x122 x55 mm พร้อมด้วยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความดันดังภาพที่ 1 (2) เครื่องชั่งแบบดิจิตอล รับน้ำหนักได้สูงสุด 2,100 กรัม และอ่านค่าได้ละเอียด 0.01 กรัม และ (3) ตู้อบลมร้อน (Hot-air Oven) สำหรับหาความชื้นของผลิตภัณฑ์

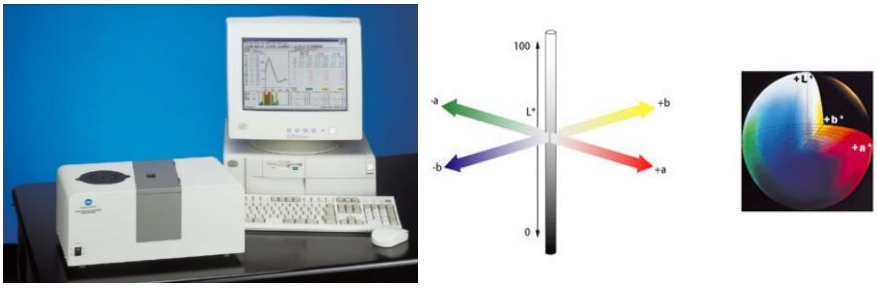


ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

การทดสอบคุณภาพด้านสี ทดสอบสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ KONICA MINOLTA รุ่น CM-3500d เป็นการทดสอบสีแบบ L,a,b โดยจะนำค่าความแตกต่างของสีผลิตภัณฑ์ก่อนการอบแห้งและหลังจากอบแห้งมาเปรียบเทียบกัน เพื่อดูว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งที่สภาวะใดมีค่า DE น้อยที่สุด ซึ่งจะถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้งมากที่สุด โดยใช้แสง daylight ที่6,500 k ในการวัดสี ดังภาพที่ 2

$$DE = \sqrt{DL^2 + Da^2 + Db^2} \quad (1)$$

โดยที่ DE คือ ความแตกต่างกันของสี, DLคือ ความแตกต่างของความสว่าง, Da คือความแตกต่างของความเป็นสีแดงถึงเขียว และ Db คือความแตกต่างของความเป็นสีเหลืองถึงน้ำเงิน



ภาพที่ 2 เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ KONICA MINOLTA รุ่น CM-3500d และแกนบอกสี

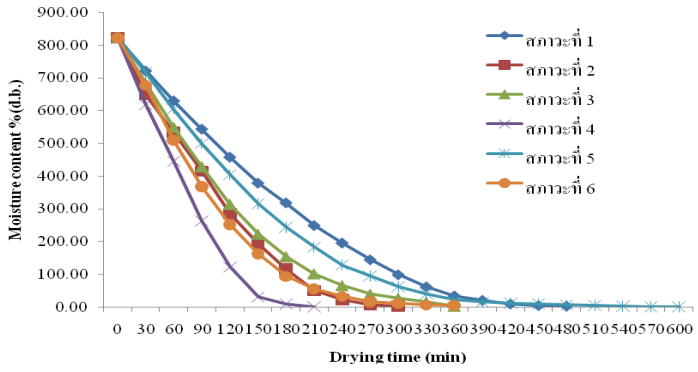
การทดสอบหาปริมาณน้ำมันหอมระเหย ทำการสกัดน้ำมันหอมระเหย ด้วยวิธีการกลั่นไอน้ำ ทำได้โดยการให้ไอน้ำผ่านพืชสมุนไพรที่ต้องการสกัดที่อยู่ในหม้อกลั่น น้ำมันระเหยจะถูกสกัดออกมาพร้อมกับไอน้ำซึ่งจะผ่านไปตามท่อและถูกทำให้เย็นเก็บไว้ในขวด น้ำมันระเหยจะแยกตัวออกจากน้ำทำให้แยกออกได้ง่าย ได้น้ำมันหอมระเหยและน้ำสมุนไพร ดังภาพที่ 3 แล้วนำน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียดสูง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP224S



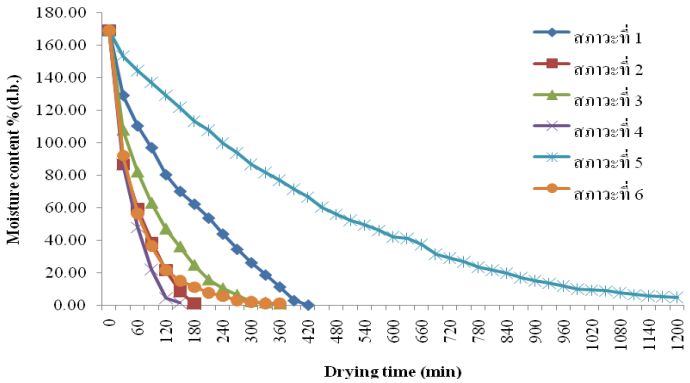
ภาพที่ 3 การสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่นไอน้ำ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบ การอบแห้งสมุนไพรกรณีของข่าและใบมะกรูด ด้วยแทคนิคการแผ่รังสีอินฟราเรดไกลภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศกับอากาศร้อนในสภาวะต่างๆดังได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยจะทำการศึกษาอัตราการอบแห้ง คุณภาพด้านสีและปริมาณน้ำมันหอมระเหยเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้งและหลังจากการอบแห้ง



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งข่าในสภาวะต่างๆ



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งใบมะกรูดในสภาวะต่างๆ

จากภาพที่ 4 และ 5 ผลที่ได้สอดคล้องกันคือ ที่สภาวะสุญญากาศต่ำที่สุดและอุณหภูมิสูงที่สุด จะให้อัตราการลดลงของความชื้นสูงที่สุด ในสภาวะที่ 4 ซึ่งอบแห้งภายใต้สภาวะความดัน 5 kPa และอุณหภูมิ 55°C ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุดน้ำที่ผิวของสมุนไพรจะระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสภาวะสุญญากาศ น้ำจะงดูดความร้อนในเนื้อสมุนไพรเป็นความร้อนแฝงในการระเหยน้ำ ทำอุณหภูมิในเนื้อสมุนไพรลดลง น้ำที่ยังคงมีอยู่ในเนื้อสมุนไพรก็จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำที่สภาวะสุญญากาศโดยที่ความดันสุญญากาศ 15 kPa และ 5 kPa น้ำจะมีจุดเดือดอยู่ที่ 55°C และ 35°C ตามลำดับ ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วงเริ่มต้นมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อสมุนไพรมีอุณหภูมิสูงขึ้น จนถึงจุดเดือดของน้ำที่สภาวะสุญญากาศนั้นๆ น้ำในสมุนไพรก็จะเดือดพล่าน และระเหยเป็นไอออกมาอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการอบแห้งที่ความดันต่ำ (5 kPa) จึงทำให้เกิดการเดือดพล่านของน้ำในสมุนไพร และเกิดความดันไอของไอน้ำสูงทำให้น้ำแพร่ออกจากเนื้อสมุนไพรได้มาก ส่วนสภาวะที่ 5 และ 6 ซึ่งเป็นการอบแห้งด้วยอากาศร้อนในสภาวะบรรยากาศ การลดลงของความชื้นจะค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยเฉพาะสภาวะที่ 5 ซึ่งอบแห้งด้วยอากาศร้อน 45°C จะใช้เวลาในการอบแห้งยาวนานที่สุดทั้งข่าและใบมะกรูด โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำอย่างใบมะกรูด เส้นกราฟที่ได้ค่อนข้างชัดเจนมากในภาพที่ 5

แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมที่สุด จำเป็นต้องนำผลของการเปลี่ยนรูปร่างและคุณภาพของสีมาใช้ในการตัดสิน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ดีที่สุดก่อน แล้วนำมาวิเคราะห์ร่วมกับอัตราการอบแห้ง สีของสมุนไพรก่อนและหลังทำการอบแห้ง จะทำการทดสอบสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ KONICA MINOLTA รุ่น CM-3500d โดยเครื่องจะแสดงผลเป็นค่าสี L,a,b และนำค่าที่ได้มาหาค่าความแตกต่างของสี (DE) ดังแสดงผลในตารางที่1 สำหรับปริมาณน้ำมันหอมระเหยของสมุนไพรก่อนและหลังทำการอบแห้ง ทำการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่องสกัดแบบไอน้ำ โดยน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จะนำไปชั่งน้ำหนักและคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณภาพด้านสีของสมุนไพร

ชนิด	สภาวะ	L	a	b	DE
ข่า	ข่าสด	68.87	1.57	17.41	-
	1	68.30	5.70	21.02	5.51
	2	71.44	4.54	19.28	4.35
	3	67.56	6.85	20.00	6.03
	4	68.01	6.80	19.44	5.68
	5	70.00	5.89	19.75	5.04
	6	69.58	5.34	19.58	4.41
มะกรูด	ใบมะกรูดสด	41.32	-9.33	24.99	-
	1	42.39	-7.56	24.47	2.13
	2	46.23	-3.82	24.76	7.38
	3	43.74	-7.86	23.23	3.33
	4	46.08	-4.57	26.01	6.81
	5	45.36	-5.28	22.07	6.42
	6	42.29	0.76	22.87	10.36

จากผลการทดสอบคุณภาพของตามตารางที่ 1 กำหนดให้สีของสมุนไพรหลังอบแห้งที่ดีที่สุด คือเมื่ออบแห้งแล้วมีความแตกต่างของสีของสมุนไพรก่อนอบแห้งน้อยที่สุด (DE) ซึ่งข่าที่อบแห้งด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลแล้วค่า DE มีค่าน้อยที่สุดคือสภาวะที่ 2 ที่ความดัน 15 kPa อุณหภูมิ 55°C มีค่า DE เท่ากับ 4.35 และรูปร่างเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าสภาวะการอบแห้งที่เป็นสุญญากาศมากเกินไปที่ 5 kPa ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการอบสูงกว่าจุดเดือดทำให้รูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง และระยะเวลาในการอบที่ยาวนานก็เป็นผลให้สี

เปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน สำหรับการอบแห้งแบบลมร้อน DE มีค่าน้อยที่สุดคือสภาวะที่ 6 อุณหภูมิ 55˚C มีค่า DE เท่ากับ 4.41 ซึ่งให้ค่าความแตกต่างที่น้อยกว่าสภาวะที่ 5 อุณหภูมิ 45˚C แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ในความชื้นสุดท้ายที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากสภาวะที่ 5 ใช้เวลาในการอบแห้งยาวนานกว่า สำหรับใบมะกรูดค่อนข้างจะไวต่ออุณหภูมิในการาอบแห้งค่อนข้างมาก จะเห็นว่าการช้าอุณหภูมิสูงในทุกสภาวะจะทำให้สีเปลี่ยนค่อนข้างชัดเจน และสภาวะการอบแห้งที่เป็นสุญญากาศมากเกินไปที่ 5 kPa ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการอบสุงกว่าจุดเดือดทำให้รูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงได้เช่นเดียวกับข่า สภาวะที่ดีที่สุดคือสภาวะที่1 สำหรับลมร้อน สภาวะที่ดีที่สุดคือสภาวะที่ 5 จากนั้นได้นำสภาวะที่ดีที่สุดของการอบแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลและของลมร้อนไปทำการทดสอบหาปริมาณน้ำมันหอมระเหย

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยของสมุนไพร

ชนิด	สภาวะ	ปริมาณน้ำมันหอมระเหย (%โดยมวล)
ข่า	ข่าสด	0.2811
	2	0.0927
	6	0.0928
มะกรูด	ใบมะกรูดสด	0.7971
	1	0.7849
	5	0.6213

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากข่าที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองแบบ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณค่อนข้างจะต่างกันมากกับข่าสด สำหรับใบมะกรูดการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลให้ผลที่ดีกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาในการอบแห้งสภาวะที่ 5 ค่อนข้างยาวนานกว่าจึงทำให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้ลดลงด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับใบมะกรูดสดก็ยังถือว่าแตกต่างกันน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับข่าสด



ภาพที่ 6 ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งทั้ง 6 สภาวะ(เรียงจากซ้ายไปขวาตามลำดับ)

สรุปผลการวิจัย

การอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อน สรุปได้ว่าผลของความดันและอุณหภูมิมีผลโดยตรงกับอัตราและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ที่ความดันสุญญากาศที่ต่ำและอุณหภูมิการอบแห้งที่สูง จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด สำหรับการอบแห้งข่าสภาวะที่ดีที่สุดคือ 15 kPa และอุณหภูมิ 55˚C ทั้งอัตราการอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงของสี แต่โดยเฉลี่ยแล้วสีอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกัน

เนื่องจากตัวผลิตภัณฑ์มีสีที่ค่อนข้างจะเข้มอยู่แล้ว ส่วนผลของการสกัดน้ำมันหอมระเหยถือว่าแตกต่างกันน้อยมากอย่างไม่มีนัยสำคัญในการอาบทั้งสองแบบ แต่ค่อนข้างต่างกันมากเมื่อเทียบกับข่าสด

สำหรับการอบแห้งใบมะกรูด ในส่วนผลการเปลี่ยนแปลงของสีพบว่าอุณหภมิที่สูงจะทำให้การมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน เนื่องจากเป็นพืชใบเขียว การลดความดันสุญญากาศมากเกินไปถึงแม้จะทำให้อัตราการอบแห้งสูงแต่ก็ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร่างและมีการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพสี ส่วนน้ำมันหอมระเหยจะลดลงตามอุณภูมิที่สูงและระยะเวลาในการอบแห้งที่ยาวนานเช่นกัน การอบแห้งใบมะกรูด สภาวะที่ 15 kPa และอุณหภูมิ 45°C ถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อนและสภาวะอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] สิทธิชัย รุ่งสว่าง, ศรีมา แจ้คำ, ณรงค์ อึ้งกิมบ้วน และ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์. (2559). การอบแห้งเห็ดหอมด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด. **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12**. พิษณุโลก มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[2] อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และ ศักชัย จงจำ. (2553). การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, 15(2): 76-86.

[3] เพชรรัตน์ ใจบุญ, อดิศักดิ์ นาถกรณกุล, และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2550). การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งลำไยด้วยเทคนิคต่างๆ, **การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อม และวัสดุ**, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร.

[4] ศรีมา แจ้คำ. (2546). **การอบแห้งผลไม้และสมุนไพรโดยใช้ปั๊มความร้อน ร่วมกับอินฟราเรดไกล.**วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร.

[5] Mongpraneet, S., Abe, T., & Tsurusaki, T. (2002). Accelerated drying of welsh onion by far-infrared radiation under vacuum condition. **Journal of food engineering**, 55: 147-156.

[6] Nidhal, M., & Mohammed, F. (2002). Microwave vacuum drying of banana slices. **Drying Technology**. 20(10): 2055–2066.

IE96

นวัตกรรมโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน ระบบทำความเย็นสารละลายธาตุอาหาร ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

Innovation of Soilless Culture Greenhouse Thermoelectric Refrigeration System for Nutrient Solution Using Solar Energy

ธีรพจน์ แนบเนียน[1*] วีระชาติ จริตงาม[1] ถิรายุ ปิ่นทอง[2] โกเมน หมายมั่น[2] และปิยลาภ มานะกิจ[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนานวัตกรรมโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน ระบบทำความเย็นสารละลายธาตุอาหาร ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยออกแบบและสร้างโรงเรือน ติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 500 W สำหรับจ่ายพลังงานให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 56.853 kWh/เดือน การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของชุดทดลอง A และ ชุดทดลอง B สำหรับปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค โดยชุดทดลอง A เป็นระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำด้วยชุดทำความเย็นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก ที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส ชุดทดลอง B เป็นระบบที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิน้ำ พบว่าชุดทดลอง A มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 24.65 องศาเซลเซียส ชุดทดลอง B มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.43 องศาเซลเซียส การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช โดยการเก็บข้อมูลความสูงทรงพุ่ม ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวราก ตามช่วงอายุของผักสลัดระหว่างที่ผักสลัดอายุ 24 – 45 วัน พบว่าผลการทดสอบชุดทดลอง A มีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ดีกว่า ชุดทดลอง B เนื่องจากอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารและความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเจริญเติบโต

คำสำคัญ: พืชไร้ดิน เทอร์โมอิเล็กทริกส์ พลังงานแสงอาทิตย์

*Corresponding author: Tel.: 081-7071306. E-mail address: t.tru@hotmail.com

บทนำ

เกษตรกร จังหวัดนครสวรรค์ ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพทำไร่ผักเนื่องจากอาศัยอยู่ริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา โดยมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 4,490 ไร่ [1] เพื่อขายส่ง การเพาะปลูกมีการใช้สารเคมีและยาฆ่าแมลงในการทำสวน ซึ่งมีผลเสียต่อผู้บริโภคและตัวเกษตรกร การปลูกพืชไร้ดิน จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการแนะนำให้เกษตรกรได้ศึกษา เพื่อยกระดับผลผลิตทางการเกษตร ในขณะที่กระแสของการบริโภคผักปลอดสารพิษกำลังได้รับความนิยมในสังคม จึงเป็นช่องทางการเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนอีกทางหนึ่ง ดิเรก ทองอร่าม [2] ได้กล่าวว่า การปลูกพืชไร้ดิน คือ วิธีการปลูกพืชเลียนแบบการปลูกพืชบนดินโดยไม่ใช้ดินเป็นวัสดุปลูก แต่เป็นการปลูกพืชในสารละลายที่มีธาตุอาหารครบถ้วน โดยให้รากพืชสัมผัสกับสารอาหารโดยตรง การปลูกในโรงเรือนที่สามารถควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เป็นไปตามที่พืช ผัก ผลไม้ ที่ปลูกต้องการ จะช่วยควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ให้มีสภาวะพอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืชได้ จะทำให้สามารถเพาะปลูกพืช ผัก ผลไม้ ได้อย่างมีคุณภาพและมีปริมาณตามที่ต้องการในครัวเรือน

เพื่อเป็นการแก้ปัญหาการใช้สารเคมี ยาฆ่าแมลงและเพิ่มประสิทธิภาพในการปลูกพืชแบบไร้ดิน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการพัฒนานวัตกรรมโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน ระบบทำความเย็นสารละลายธาตุอาหาร ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้นำเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกส์เข้ามาใช้ทำความเย็นสารละลายธาตอาหารแทนการใช้ระบบอัดไอ เพื่อให้สอดคล้องกับการประหยัดพลังงานในปัจจุบัน และสามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชให้เหมาะสมกับชนิดของพืชที่ทำการปลูก คือ สามารถควบคุมปริมาณของธาตุอาหารให้เหมาะสม ควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ป้องกันเชื้อโรคที่จะเกิดขึ้นในโรงเรือน เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรหันมาผลิตพืชผักปลอดสารพิษ บริโภคในครัวเรือนและเป็นทางเลือกในการดำเนินการเชิงธุรกิจจำหน่ายในจังหวัดหรือส่งออกต่อไป

วิธีการวิจัย

1. ศึกษาปัญหาและประสิทธิภาพโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน ที่ทำอยู่ในปัจจุบันและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเลือกรูปแบบที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. การออกแบบโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน ระบบทำความเย็นสารละลายธาตุอาหาร ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย

2.1 การออกแบบคำนวณหาขนาดเทอร์โมอิเล็กทริกส์

การถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็น (Heat Pumped at cold Surface, Q_c) คำนวณได้จาก [3],[6]

$$Q_c = (\alpha I T_c - 0.5 I^2 R - K_t \Delta T) \quad (1)$$

เมื่อ Q_c คือ การทำความเย็นที่ด้านเย็น (W)

α คือ สัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค (0.0444 VK^{-1})

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

T_c คือ อุณหภูมิด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กตริก (K)

R คือ ความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กตริก (2.545 Ω)

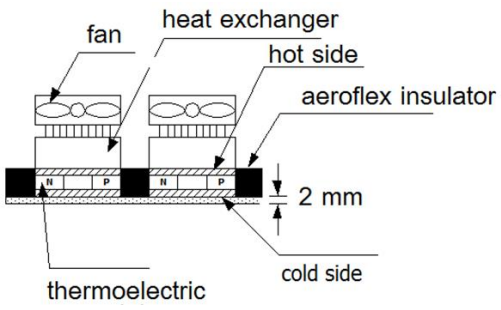
K_t คือ ค่าสภาพนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กตริก (0.495 WK^{-1})

ΔT คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (K)

ประสิทธิภาพในการทำความเย็น (COP) คำนวณได้จาก [3], [6]

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}} \quad (2)$$

เมื่อ P_{in} คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์โมอิเล็กตริก (W)



ภาพที่ 1 การออกแบบติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกส์ [3]

2.2 การออกแบบคำนวณหาขนาดเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จาก [9]

$$\eta_A = \frac{E_A}{H_i A_C}$$

เมื่อ η_A คือ ประสิทธิภาพพลังงานแสงอาทิตย์

E_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWp)

H_i คือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ (kWh/m^2)

A_c คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ สามารถคำนวณได้จาก [9]

$$Y_A = \frac{E_A}{P_o}$$

เมื่อ Y_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/kWp)

P_o คือ กำลังการผลิตติดตั้ง (Wp)

3. การสร้างโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน ระบบทำความเย็นสารละลายธาตุอาหาร ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 2



(ก) แผงเซลล์แสงอาทิตย์



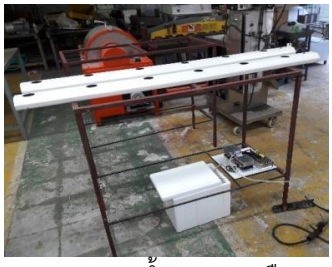
(ข) ชุดระบบควบคุมแบตเตอรี่



(ค) เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล



(ง) โรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน



(จ) รางน้ำเพาะปลูกพืช



(ช) ชุดควบคุมระบบจ่ายไฟฟ้า

ภาพที่ 2 ส่วนประกอบโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการทดสอบวัดแรงดันและกระแส ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชาร์ตเจอร์ แบตเตอรี่และเทอร์โมอิเล็กทริก เวลา 09.00 น. ถึง 17.00 น. โดยจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่า อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 1 ชั่วโมง เท่ากับ 0.18951 kWh คิดเป็นพลังงานที่ประหยัด 1 เดือน เท่ากับ 56.853 kWh แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เวลา	แผงเซลล์แสงอาทิตย์		ชาร์ตเจอร์		แบตเตอรี่		เทอร์โมอิเล็กทริก		
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (Ah)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (kWh)
09.00	15.69	7.21	12.7	4.6	12.5	45	12.4	1.4	0.01736
10.00	19.59	9.21	13.0	5.3	12.5	45	12.7	1.5	0.01905
11.00	24.68	11.73	13.1	5.4	12.7	45	13.1	1.5	0.01965
12.00	32.66	13.21	13.8	5.4	12.9	45	13.4	1.6	0.02144
13.00	28.33	12.66	13.5	5.4	12.8	45	13.3	1.6	0.02128
14.00	21.32	8.42	13.2	5.3	12.7	45	13.3	1.6	0.02128
15.00	15.12	7.41	12.6	5.3	12.4	45	12.8	1.5	0.01920
16.00	13.45	6.12	12.1	5.4	12.4	45	12.3	1.5	0.01845
17.00	10.73	5.81	11.5	4.9	12.0	45	12.9	1.4	0.01806
อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 1 ชั่วโมง									0.18951
อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 10 ชั่วโมง 1 วัน									1.8951
อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า 10 ชั่วโมง 30 วัน									56.853

2. การทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

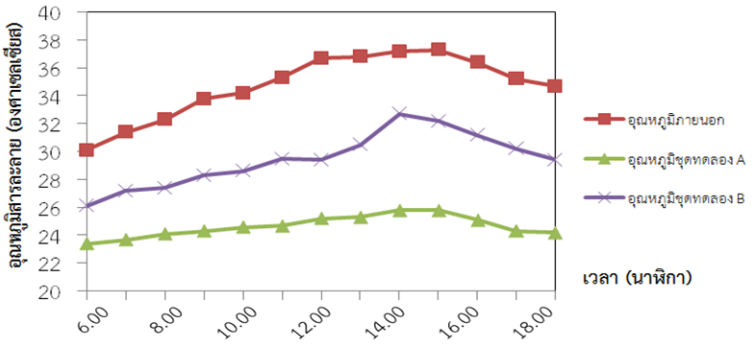
การทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก พบว่า ที่เวลา 25-30 นาที อุณหภูมิเริ่มคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำร้อน มีค่าเฉลี่ย 89.63 องศาเซลเซียส การลดอุณหภูมิของน้ำเย็น มีค่าเฉลี่ย 4.22 องศาเซลเซียส ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น มีค่าเฉลี่ย 85.41 องศาเซลเซียส และค่าค่าประสิทธิภาพในการทำความเย็น (COP) มีค่าเฉลี่ย 0.40 โดยกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ มีค่าเฉลี่ย 17.24 วัตต์ [7-8] แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

Time (min)	V (V)	I (A)	P (W)	T_{Hot} (°C)	T_{Cold} (°C)	ΔT (°C)	COP
10	12.29	1.4	17.21	87.57	3.98	83.59	0.40
15	12.30	1.4	17.22	89.17	4.45	84.72	0.40
20	12.41	1.4	17.38	94.10	4.78	89.32	0.39
25	12.41	1.4	17.38	94.08	4.75	89.33	0.39
30	12.41	1.4	17.38	94.09	4.76	89.33	0.39
ค่าเฉลี่ย	12.31	1.4	17.24	89.63	4.22	85.41	0.40

3. การเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของชุดทดลอง A และ ชุดทดลอง B

โดยชุดทดลอง A เป็นระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำด้วยชุดทำความเย็นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก สำหรับปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค ที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส ชุดทดลอง B เป็นระบบที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิน้ำ โดยทำการเก็บผลของอุณหภูมิตั้งแต่ 06.00 นาฬิกา ถึง 18.00 นาฬิกา พบว่าอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยมีค่าอยู่ที่ 34.72 องศาเซลเซียส ชุดทดลอง A มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 24.65 องศาเซลเซียส ชุดทดลอง B มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.43 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายของชุดทดลอง A และชุดทดลอง B

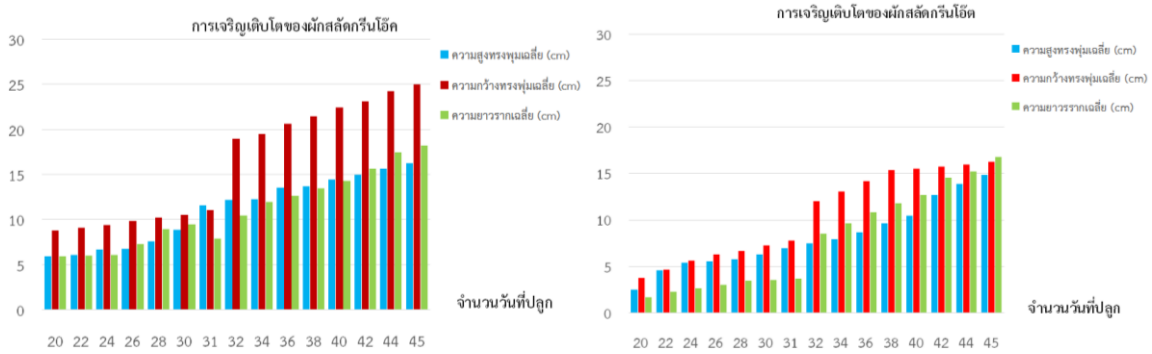
4. การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คของชุดทดลอง A และชุดทดลอง B

โดยการเก็บข้อมูลความสูงทรงพุ่ม ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวราก ตามช่วงอายุของผักสลัดระหว่างที่ผักสลัดอายุ 24 – 45 วัน และบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตแต่ละช่วงอายุของผักสลัด เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของความเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คระหว่างชุดทดลอง A และ ชุดทดลอง B แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คของชุดทดลอง A และชุดทดลอง B

อายุพืช (วัน)	วัน/เดือน/ปี	ชุดทดลอง A			ชุดทดลอง B		
		ความสูงทรงพุ่มเฉลี่ย (cm)	ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย (cm)	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)	ความสูงทรงพุ่มเฉลี่ย (cm)	ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย (cm)	ความยาวรากเฉลี่ย (cm)
24	10/เม.ย./61	6.73	9.41	6.13	5.41	5.58	2.66
31	17/เม.ย./61	11.58	11.08	7.91	6.91	7.75	3.66
38	24/เม.ย./61	13.75	21.51	13.5	9.61	15.33	11.75
45	1/พ.ค./61	16.25	25.01	18.25	14.82	16.25	16.75

การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค ที่อายุ 45 วัน ชุดทดลอง A ความสูงทรงพุ่มเฉลี่ย 16.25 เซนติเมตร ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย 25.01 เซนติเมตร และความยาวรากเฉลี่ย 18.25 เซนติเมตร ชุดทดลอง B ความสูงทรงพุ่มเฉลี่ย 14.82 เซนติเมตร ความกว้างทรงพุ่มเฉลี่ย 16.25 เซนติเมตร และความยาวรากเฉลี่ย 16.75 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าผักสลัดกรีนโอ๊คของชุดทดลอง A มีอัตราการเจริญเติบโตกว่าชุดทดลอง B เนื่องจากมีการควบคุมอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหาร [4-5] แสดงดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5



(ก) ชุดทดลอง A (ข) ชุดทดลอง B

ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คของชุดทดลอง A และชุดทดลอง B



(ก) ชุดทดลอง A (ข) ชุดทดลอง B

ภาพที่ 5 ภาพเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คของชุดทดลอง A และชุดทดลอง B

5. ประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของระบบโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน

จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมและความเป็นไปได ในการลงทุนสร้างโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน ระบบทำความเย็นสารละลายธาตุอาหาร ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พิจารณาค่า NPV B/C Ratio และ IRR พบว่ามีความเหมาะสมในการลงทุน ถาพิจารณาราคาขายโดยทั่วไปของผักไรดินที่ 45-50 บาท จะมีจุดคุ้มทุนที่ 4-5 ปี ถาสามารถแบ่งจำหน่ายปลีกได ในราคารวมถึงกิโลกรัมละ 65 บาท ก็จะมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 3-4 ปี ดังนั้นการทำตลาดเพื่อให้ไดราคาขายสูงเป็นสิ่งสำคัญในการดำเนินธุรกิจนี้และจะต้องมีการบริหารจัดการต้นทุน เช่น เรียนรูการผสมปุ๋ยน้ำเองโดยไมใช้ปุ๋ยน้ำสำเร็จรูป เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและออกแบบสร้างโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน ระบบทำความเย็นสารละลายธาตุอาหาร ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 500 W สามารถจ่ายให้กับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 56.853 kWh/เดือน การทดลองเปรียบเทียบอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารของชุดทดลอง A และ ชุดทดลอง B สำหรับปลูกผักสลัดกรีนโอ๊ค โดยชุดทดลอง A เป็นระบบควบคุมอุณหภูมิน้ำด้วยชุดทำความเย็นโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก ที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส ชุดทดลอง B เป็นระบบที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิน้ำ พบว่าชุดทดลอง A มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 24.65 องศาเซลเซียส ชุดทดลอง B มีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.43 องศาเซลเซียส การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช โดยการเก็บข้อมูลความสูงทรงพุ่ม ความกว้างทรงพุ่ม และความยาวราก ตามช่วงอายุของผักสลัดระหว่างที่ผักสลัดอายุ 24 – 45 วัน พบว่าผลการทดสอบชุดทดลอง A มีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่ดีกว่า ชุดทดลอง B เนื่องจากอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารและความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการเจริญเติบโต

จากผลงานวิจัยพบว่าการเพาะปลูกพืชไร้ดิน โดยรักษาอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารให้อยู่สภาวะที่เหมาะสมส่งผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของพืช สอดคล้องกับข้อมูลของ [2] โรงเรือนต้นแบบมีส่วนสำคัญในการช่วยลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนและทำให้ผลผลิตดีกว่าโรงเรือนทั่วไปเนื่องจากอุณหภูมิสารละลายธาตุอาหารและความชื้นมีผลต่อการเจริญเติบโต สอดคล้องกับข้อมูลของ [9] เมื่อติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ เข้าไปในระบบจะส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในการเพาะปลูกพืชลดลง โดยสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 62% ทำให้ต้นทุนการเพาะปลูกพืชลดลงและมีระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 5 ปี ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัย ควรศึกษาเกี่ยวกับตัวแปร ด้านแสงกับการเจริญเติบโตของพืชและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะของพืช

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนานวัตกรรมโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน ระบบทำความเย็นสารละลายธาตุอาหาร ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริกส์ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นโครงการที่จัดทำขึ้นโดยได้รับการสนับสนุนจากเงินงบประมาณประจำปี พ.ศ.2561 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โครงการวิจัยนี้ดำเนินการและสำเร็จไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กลุ่มเกษตรกร. (2561). **พื้นที่เพาะปลูกพืชไร่**. นครสวรรค์: สำนักงานเกษตร จังหวัดนครสวรรค์.

[2] ดิเรก ทองอร่าม. (2550). **การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน: กลักการจัดการการผลิตและเทคโนโลยีการผลิตเชิงธุรกิจในประเทศไทย.** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ : พิมพ์ดีการพิมพ์.

[3] ทศวรรษ สีตะวัน. (2558). **เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก.** ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] ธนากร น้ำหอมจันทร์ และ อติกร เสรีพัฒนานนท์. (2557). **ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดิน แบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับสเปรย์ละอองน้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้.** วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย, 8(1), 98-111

[5] อภิรัฐ ปิ่นทอง. (2553). **เอกสารอบรมการปลูกพืชไร้ดิน**. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี

[6] Amir,Y.F. and Aliakbar,A. (2014). **Analysis of a symbiotic thermoelectric system for power generation and liquid preheating.** Applied Thermal Engineering, Vol. 71, pp. 501-507.

[7] Benlloch-Gonzalez, M., Quintero, J.M., Suarez, M. P., Sanchez-Lucas, R., Fernandez-Escobar, R. et al.,

(2016). **Effect of moderate high temperature on the vegetative growth and potassium allocation in olive plants**. J Plant Physiol 207 : 22-29.

[8] Del Sagrado, J., J. A. Sánchez, F. Rodríguez and M. Berenguel, (2016). **Bayesian networks for greenhouse temperature control**. Journal of Applied Logic 17 : 25-35.

[9] Ntinas, G. K., Koukounaras, A. and Kotsopoulos, T., (2015). **Effect of energy saving solar sleeves on characteristics of hydroponic tomatoes grown in a greenhouse.** Scientia Horticulturae 194 : 126-133.

IE98

การสำรวจแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทยโดยการตรวจวัด

A Survey of Tidal Energy Resource along the Coast of Andaman Sea in Thailand based on Measurement

ณฐกร สุวรรณโณ[1*] พงษ์ศักดิ์ มะขามป้อม[1] จอมภพ แววศักดิ์[2] ชนะ จันทร์ฉ่ำ[3] และสมพล ชีวมงคลกานต์[3]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง) พัทลุง 93210
[2] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง) พัทลุง 93210
[3] ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง) พัทลุง 93210

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทยโดยอาศัยการตรวจวัดบริเวณ 4 สถานี ประกอบด้วย ปากแม่น้ำระนอง ช่องปากพระ ปากแม่น้ำกระบี่ และบริเวณแม่น้ำตรัง โดยทำการตรวจวัดกระแสใต้น้ำและความลึก โดยใช้ Current Meter Vale Port Model 106 ผลการศึกษาพบว่ามีอัตราเร็วกระแสใต้น้ำเฉลี่ย สูงสุดเท่ากับ 4.5 m/s บริเวณจังหวัดระนอง ซึ่งมีศักยภาพสูงที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าโดยการติดตั้งกังหันใต้น้ำมากที่สุดรองลงมาบริเวณปากแม่น้ำกระบี่ มีอัตราเร็วกระแสใต้น้ำเฉลี่ย 0.37 m/s และความลึกเฉลี่ย 3.94 m ส่วนบริเวณแม่น้ำตรังมีอัตราเร็วกระแสใต้น้ำเฉลี่ย 0.29 m/s และความลึกเฉลี่ย 4.31 m ช่องปากพระมีอัตราเร็วกระแสใต้น้ำเฉลี่ย 0.23 m/s และความลึกเฉลี่ย 5.7 m มีความเร็วกระแสใต้น้ำมีค่ารองลงมาตามลำดับ

คำสำคัญ:กระแสใต้น้ำ น้ำขึ้นน้ำลง กังหัน

Abstract

This research is to study the tidal energy resource along the coast of Andaman Sea in Thailand based on measurement. The study area consists of 4 stations, namely, Phuket – Phangnga, Krabi, Ranong and Trang. Underwater current and depth were measured using a current meter Vale Port Model 106. Results showed that the maximum underwater current is equal to 4.5 m/s in Ranong. This has a great potential to be used to generate electricity by installing underwater turbines. Whereas underwater currents in Phangna - Phuket is 0.37 m/s and an average depth of 3.94 m. The average speed for underwater current in Krabi is 0.29 m/s and an average depth of 4.31 m. The underwater currents with the speed of 0.23 m/s and an average depth of 5.7 m were found in Trang respectively.

Keywords: Underwater Current, Tidal, Hydro Turbine

*Corresponding author: Tel.: 094-0641011. E-mail address: 602995009@tsu.ac.th

บทนำ

ในอดีตได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลง โดยอาศัยข้อมูลการตรวจวัดจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ และกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งมีการติดตั้งสถานีตรวจวัดระดับน้ำขึ้น-น้ำลง จำนวน 14 แห่งตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทย อย่างไรก็ตามการตรวจวัดดังกล่าวมักจะเป็นการเก็บบันทึกเพื่อนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์สำหรับกิจการของกองทัพเรือและกรมอุตุนิยมวิทยา โดยมักจะแสดงผลออกมาในรูปของค่ารายวัน ซึ่งไม่เหมาะต่อการนำมาประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงที่จำเป็นจะต้องทราบกระแสน้ำ (Underwater Current) ด้วย รวมทั้งการเก็บข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงเวลา เช่น ราย 10 นาที อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาในอดีตได้บ่งชี้ว่าพื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามันมีศักยภาพสูงกว่าพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทย [1] เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของระดับท้องทะเลและลักษณะเปิดทางทะเลนั่นเอง

การประเมินศักยภาพของพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงระดับมหภาคซึ่งมีความแยกชัดอยู่ในระดับ 10-20 km พบว่าตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทยมีศักยภาพของพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงสูงกว่าฝั่งทะเลอ่าวไทย ปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาวิจัยเพื่อประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงในประเทศไทยเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างจริงจัง โดยในแผนพัฒนาพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan (AEDP)) ได้มีการตั้งเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานในทะเล 2 MW ภายในปี พ.ศ. 2564 ไม่ว่าจะเป็นพลังงานจากคลื่น (Wave Power) หรือจากน้ำขึ้น-น้ำลง (Tidal Power) [2]

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จะเป็นการการสำรวจแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทยตั้งแต่จังหวัดระนอง จังหวัดพังงา-ภูเก็ต จังหวัดกระบี่ และจังหวัดตรัง ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางอุทกศาสตร์ทางทะเลที่มีความเหมาะสมในการประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลง เนื่องจากมีพื้นที่ลำน้ำตามแนวชายฝั่งทะเลบรรจบกับทะเลเปิด คือ ทะเลอันดามัน ซึ่งมีระดับของท้องทะเลที่ลึกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตามแนวชายฝั่งทะเลอ่าวไทยและลักษณะของทะเลกึ่งปิด

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทยในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานจากน้ำขึ้น – น้ำลง

วิธีการวิจัย

1. อุปกรณ์และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย

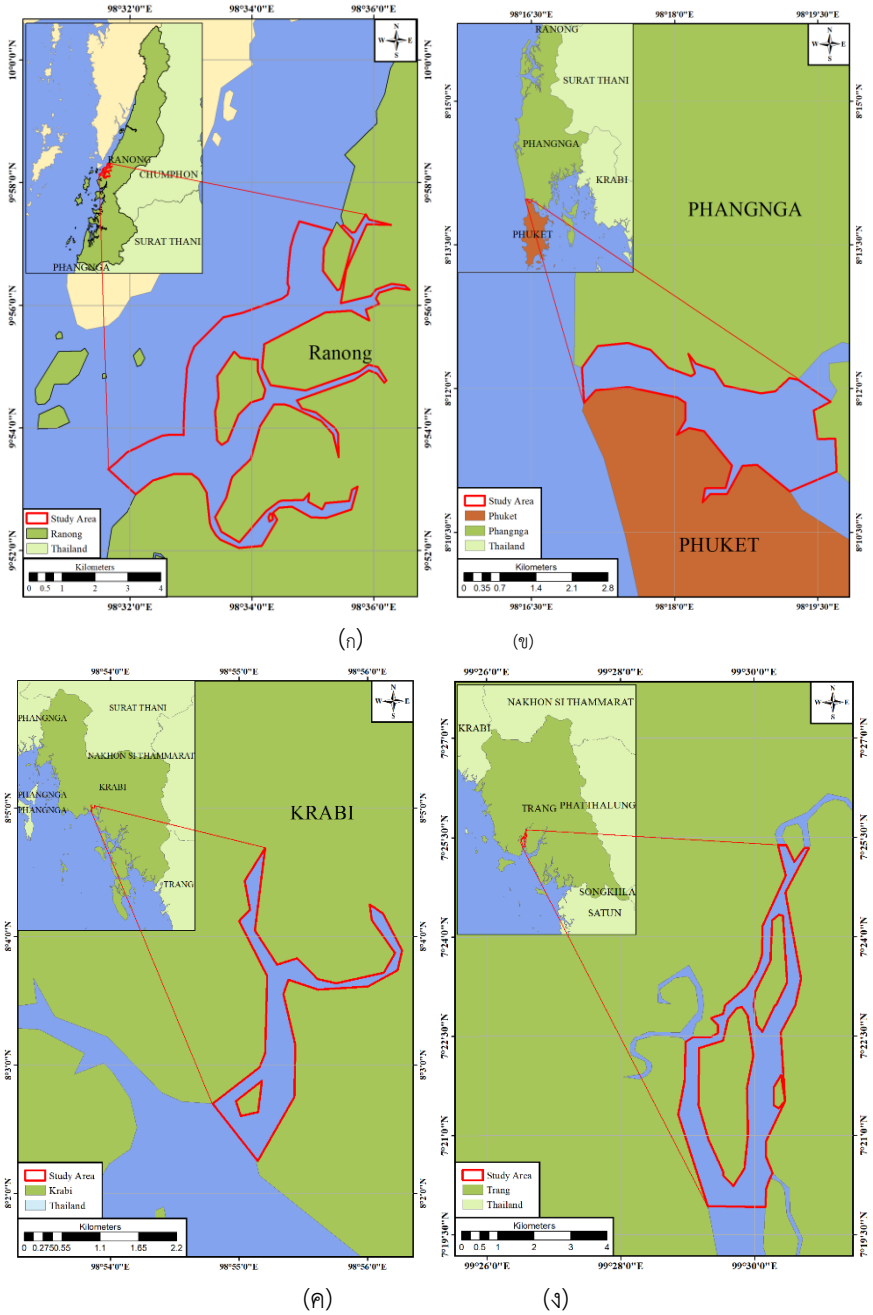
อุปกรณ์ที่จะใช้ในงานวิจัยนี้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสน้ำและระดับน้ำขึ้น-น้ำลง โดยใช้ Current MeterValePortModel 106 แสดงดังรูปที่ 1 เพื่อวัดกระแสน้ำบริเวณปากแม่น้ำ กลางลำน้ำและต้นน้ำ



ภาพที่ 1 อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดกระแสน้ำและระดับน้ำขึ้น-น้ำลง
รุ่น ValePort Model 106Current Meter

2. การออกแบบการทดลอง

ในการตรวจวัดกระแสใต้น้ำได้ดำเนินการออกแบบจุดตรวจวัดเพื่อตรวจวัดข้อมูลทางกายภาพที่มีความละเอียดสูงในพื้นที่ศึกษาของโครงการทั้ง 4 แสดงดังรูปที่ 2 โดยทำการตรวจวัดอัตราเร็วและระดับความลึกเพื่อเป็นฐานข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลอง SMS ต่อไป



(ก) (ข)

(ค) (ง)

ภาพที่ 2 การกำหนดจุดตรวจวัดข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาก) ระนอง ข) ภูเก็ต – พังงา ค) กระบี่ ง) ตรัง

1. การจัดเตรียมข้อมูลเชิงพื้นที่ต่างๆ ของโครงการ ได้แก่ แผนที่ดิจิตอล GDEM ตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทย แผนที่ดิจิตอล Bathymetry แผนที่ Land Cover Land Use (LCLU) ของพื้นที่ตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทย และข้อมูลดิจิตอลประกอบอื่นๆ

2. จัดเตรียมพื้นที่ต้องห้าม (Constraint) ต่างๆ ในรูปแบบ Shape File สำหรับ Arc GIS ตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทยในพื้นที่ศึกษาของโครงการ ได้แก่ พื้นที่อุทยานทางทะเล พื้นที่แนวปะการัง พื้นที่เขตอนุรักษ์

ต่างๆ พื้นที่ต้องห้ามตามกฎหมายของกระทรวงต่างๆ เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่เป็นไปได้สำหรับการพัฒนาโครงการ (Possible Area)

3. ดาวน์โหลดฐานข้อมูลภูมิอากาศ ADCIRC Tidal Database, ฐานข้อมูล SST และฐานข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นและเกี่ยวข้อง

4. สำรวจพื้นที่เพื่อกำหนดจุดตรวจวัดให้เหมาะสมกับสภาพและลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาต่างๆ ของโครงการ ได้แก่ แม่น้ำกระบุรี จังหวัดระนอง ช่องปากพระ จังหวัดภูเก็ต-พังงา แม่น้ำกระบี่ จังหวัดกระบี่ และแม่น้ำตรัง จังหวัดตรัง

5. ติดต่อหน่วยงานทางราชการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อแจ้งกำหนดการและตำแหน่งการตรวจวัดกระแสน้ำและระดับน้ำขึ้น-น้ำลง ได้แก่ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่นที่ดูแลพื้นที่ศึกษา กรมเจ้าท่า กรมการขนส่งทางน้ำ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ อุตุนิยมวิทยาทางทะเล และพลังงานจังหวัด

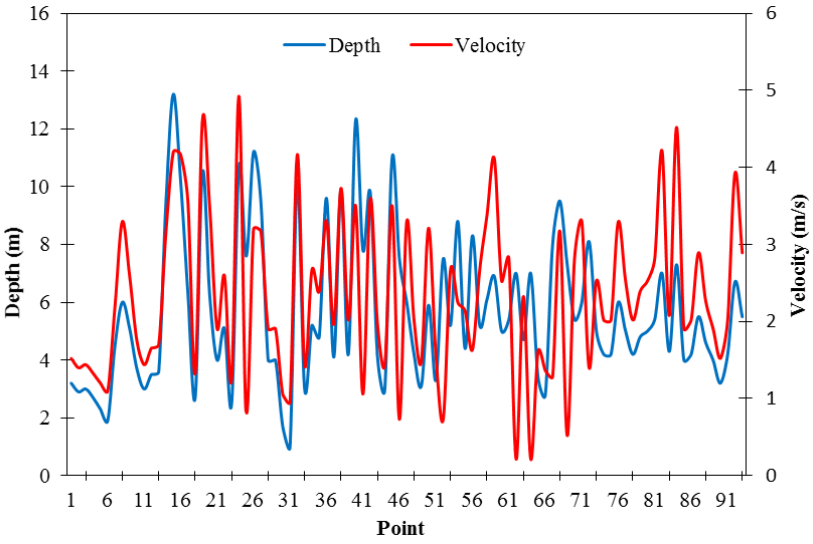
6. สำรวจพื้นที่เพื่อกำหนดจุดตรวจวัดให้เหมาะสมกับสภาพและลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาต่างๆ ของโครงการ ได้แก่ แม่น้ำกระบุรี จังหวัดระนอง ช่องปากพระ จังหวัดภูเก็ต-พังงา แม่น้ำกระบี่ จังหวัดกระบี่ และแม่น้ำตรัง จังหวัดตรัง

7. ทำการตรวจวัดข้อมูลกระแสน้ำและระดับน้ำขึ้น-น้ำลงโดยใช้อุปกรณ์ValePort ของแต่ละสถานี จำนวน 4 สถานี ระหว่างเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ.2561

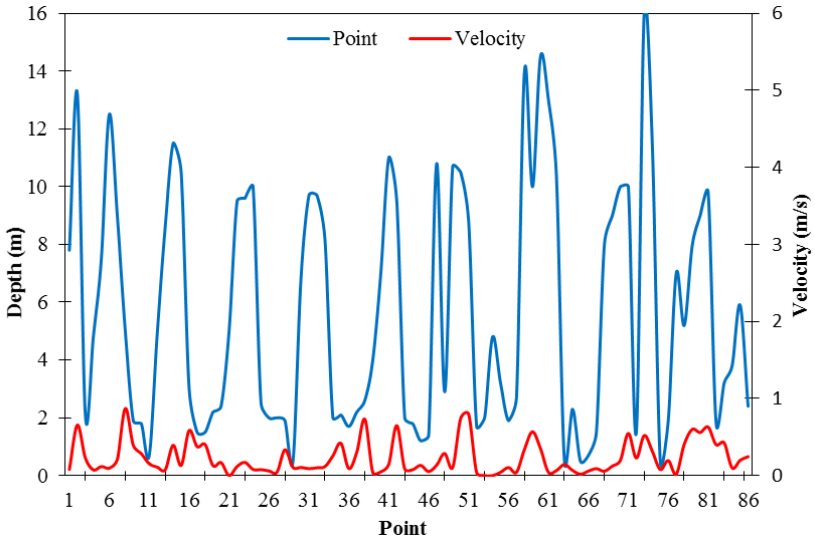
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการตรวจวัดกระแสใต้น้ำของทั้งพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 สถานี คือ ปากแม่น้ำระนอง ช่องปากพระ ปากแม่น้ำกระบี่ และบริเวณแม่น้ำตรัง พบว่าช่องปากพระมีกระแสใต้น้ำมีค่าอัตราเร็วเฉลี่ย 0.23m/s และความลึกเฉลี่ย 5.7 m ปากแม่น้ำกระบี่มีกระแสใต้น้ำมีค่าอัตราเร็วเฉลี่ย 0.37m/s และความลึกเฉลี่ย 3.94m บริเวณแม่น้ำตรังมีกระแสใต้น้ำมีค่าอัตราเร็วเฉลี่ย 0.29m/s และความลึกเฉลี่ย 4.31m

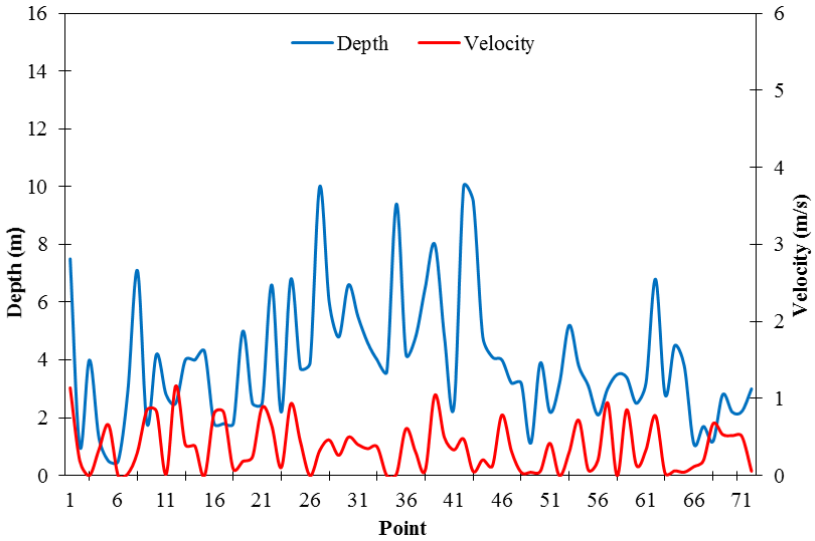
โดยที่กระแสใต้น้ำมีค่าอัตราเร็วสูงสุดเท่ากับ 4.5 m/s บริเวณจังหวัดระนอง ซึ่งมีศักยภาพสูงที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าโดยการติดตั้งกังหันใต้น้ำ โดยสถานีอื่นๆ มีอัตราเร็วของกระแสใต้น้ำไม่เกิน 1 m/s โดยแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3 - 6ตามลำดับ



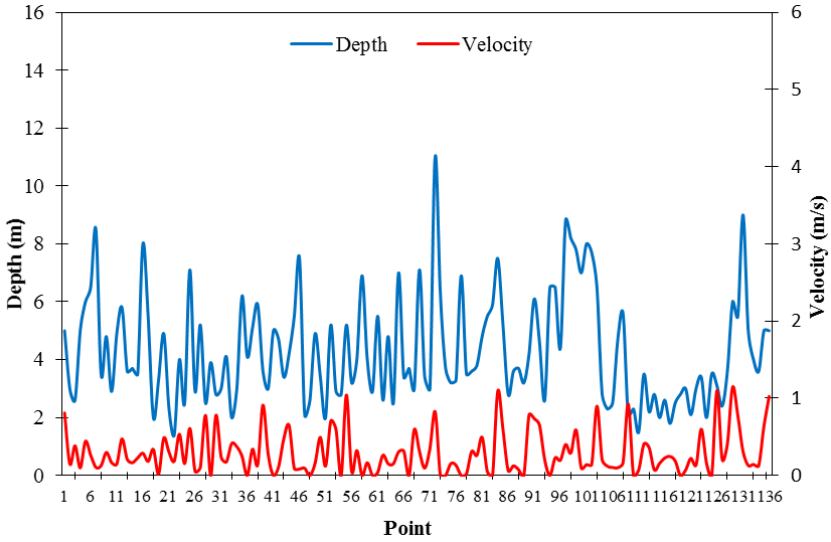
ภาพที่ 3 ความลึกและอัตราเร็วกระแสน้ำบริเวณปากแม่น้ำระนองจังหวัดระนอง



ภาพที่ 4 ความลึกและอัตราเร็วกระแสน้ำบริเวณช่องปากพระ จังหวัดภูเก็ต



ภาพที่ 5ความลึกและอัตราเร็วกระแสน้ำบริเวณปากน้ำกระบี่ จังหวัดกระบี่



ภาพที่ 6 ความลึกและอัตราเร็วกระแสน้ำบริเวณแม่น้ำตรัง จังหวัดตรัง

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการการศึกษาแหล่งพลังงานจากน้ำขึ้น-น้ำลงตามแนวชายฝั่งทะเลอันดามันของประเทศไทยโดยการตรวจวัดผลการตรวจวัดกระแสใต้น้ำของทั้งพื้นที่ศึกษาทั้ง 4 สถานี คือ ปากแม่น้ำระนอง ช่องปากพระ ปากแม่น้ำกระบี่ และบริเวณแม่น้ำตรัง พบว่ากระแสใต้น้ำมีค่าอัตราเร็วสูงสุดเท่ากับ 4.5 m/s บริเวณจังหวัดระนอง ซึ่งมีศักยภาพสูงที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าโดยการติดตั้งกังหันใต้น้ำมากที่สุด รองลงมาบริเวณปากแม่น้ำกระบี่ มีกระแสใต้น้ำมีค่าอัตราเร็วเฉลี่ย 0.37 m/s และความลึกเฉลี่ย 3.94 m ส่วนบริเวณแม่น้ำตรังมีกระแสใต้น้ำมีค่าอัตราเร็วเฉลี่ย 0.29 m/s และความลึกเฉลี่ย 4.31 m ช่องปากพระ มีกระแสใต้น้ำมีค่าอัตราเร็วเฉลี่ย 0.23 m/s และความลึกเฉลี่ย 5.7 m มีความเร็วกระแสใต้น้ำมีค่ารองลงมาตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม และสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่สนับสนุนบุคลากรและอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] นิคม อ่อนสี, ปราโมทย์ โศจิศุภร. (2553). การประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลเวียนของกระแสน้ำบริเวณหาดขนอม-หมู่เกาะทะเลใต้ (Application of Numerical Model for Water Circulation around Had Khanom-Mu KoThale Tai). วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 23-30.

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2555 - 2564.กระทรวงพลังงาน, (2558).

[3] iEnergyGURU, เทคโนโลยีพลังงานจากมหาสมุทร (Ocean Energy Technology) แหล่งข้อมูล https://ienergyguru.com/2015/10/พลังงานมหาสมุทร/, เข้าดูเมื่อ วันที่ 08/09/2561.

IE100

ความอ่อนไหวของการจำลองแบบการผลิตไฟฟ้าของฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน

The Sensitivity of Offshore Wind Farm Simulation in the Northern Gulf of Thailand

ชนะ จันทร์ฉ่ำ[1*] สมพล ชีวมงคลกานต์[1] และจอมภพ แวงศักดิ์[1,2]
[1] ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง) พัทลุง 93210
[2] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง) พัทลุง 93210

บทคัดย่อ

การศึกษาความอ่อนไหวของการจำลองแบบการผลิตไฟฟ้าของฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยอาศัยผลจากการจำลองแบบจากแบบจำลองการไหลของลมแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) และแบบจำลองบรรยากาศ WRF ร่วมกับโมเดลกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยทำการจำลองฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลในรูปแบบของ SPP ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 72-90 MW พบว่าสามารถผลิตไฟฟ้ารายปีได้ในช่วง 157.1-287.2 GWh/year มีอัตราความสามารถในการผลิตไฟฟ้าในช่วงร้อยละ 24.2-36.4 การสูญเสียเนื่องจากอิทธิพลของเวก มีค่าในช่วงร้อยละ 4.0-5.9 ผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองทางการเงินในกรณีฐาน พบว่า อัตราส่วนระหว่างต้นทุนและรายได้ มีค่าอยู่ในช่วง 1.2-1.24 มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าอยู่ในช่วง 196.98-2,701.72 ล้านบาท อัตราผลตอบแทนการลงทุนภายในทางการเงินอยู่ในช่วงร้อยละ-1.62-5.14 และระยะเวลาคืนทุน 14-21 ปี นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์ในกรณีการผิดพลาดจากการประเมินผลของแบบจำลอง พบว่า การประเมินโดยใช้แบบจำลองการไหลของลมแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) และแบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงเส้น (Linear Model) เมื่อประมาณให้ค่าอัตราเร็วลมลดลงและเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 และ 10 อัตราความสามารถในการผลิตไฟฟ้าลดลงร้อยละ 12 และร้อยละ 23 ตามลำดับ ข้อมูลข้างต้นสามารถตระเตรียมเพื่อประโยชน์ในการพัฒนากรอบความคิดด้านความยั่งยืนด้านพลังงานของประเทศต่อไป

คำสำคัญ: แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ แบบจำลองคณิตศาสตร์เชิงเส้น แบบจำลองบรรยากาศ WRF ฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่ง

Abstract

The aim of this paper is to present the sensitivity of offshore wind farm simulation in the Northern Gulf of Thailand. This work is done based on simulation by using CFD wind flow model, application of WRF atmospheric model, and coupling to wind turbine generator models. The simulation of offshore wind farm is considered the SPP wind farm with installed capacity of 72-90 MW. Results showed that the offshore wind farm could produce an annual energy production of 157.1-287.2 GWh/year corresponding to the capacity factor in the range of 24.2-36.4%. Wake loss was in the range of 4.0-5.9%. For the base case, the benefit cost ratio was in the range of 1.20-1.24, the net present value was the range of 196.98-2,701.72 MTHB, the financial internal rate of return was in the range of -1.62-5.14% and the payback period was in the range of 14-21 years. For the case

of underestimated wind speed prediction using either CFD wind flow model or linear wind flow model, the wind speed was considered to decrease or increase about 5 or 1 0 % resulting in decreasing and increasing of the capacity factor in the range of 12 or 23%. This finding could be used as information for the development of offshore wind farm towards the national sustainable alternative energy development plan.

Key Word: computational fluid dynamic model, linear model, Research and forecasting, offshore wind farm**.**

*Corresponding author: Tel.: 074-609600. E-mail address: chi_phy_tsu@hotmail.com

บทนำ

ผลกระทบต่อชุมชนเกิดขึ้นจากการพัฒนาตามนโยบายของภาครัฐ เช่น ผลกระทบจากการสนับสนุนให้เกิดการใช้พลังงานทดแทน ไม่ว่าจะเป็นการปรับแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าให้มีการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน การเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็น 6,000 เมกะวัตต์ และจากพลังงานลม เป็น 3,002 เมกะวัตต์ เมื่อกล่าวถึงการพัฒนาอันเกี่ยวเนื่องกับชุมชน หลายพื้นที่ในชุมชนชนบท กลายเป็นพื้นที่สำหรับพัฒนาเป็นแหล่งพลังงานเพื่อสนับสนุนการเจริญเติบโตของชุนชมเมือง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากข้อมูลของโรงไฟฟ้าพลังงานลมและแสงอาทิตย์ สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน [1] โดยหลายพื้นที่ตั้งในพื้นที่เกษตรกรรม ในขณะที่มีการดำเนินกิจการด้านพลังงานทดแทนไปพร้อมกัน เช่น ฟาร์มกังหันลมผลิตไฟฟ้า ห้วยบ่ง และโรงไฟฟ้าพลังงานในพื้นที่ ซับใหญ่ เมื่อกล่าวถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับชุมชนโดยรอบ มีทั้งมิติด้านบวกและด้านลบ โดยด้านลบเป็นเรื่องของสภาพแวดล้อมในชุมชนที่เปลี่ยนไปในระยะก่อสร้างและระยะการดำเนินการผลิต เพื่อลดผลกระทบดังกล่าว การพิจารณาพื้นที่พัฒนาโครงการเพื่อลดผลกระทบเบื้องต้นควรพิจารณาให้รอบด้าน ทั้งเงื่อนไขด้านเทคนิคและเงื่อนไขด้านเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้ปัญหากฎหมายมีความสำคัญไม่แพ้กัน ดังที่เคยปรากฏเป็นข่าวในอดีตเรื่องการใช้พื้นที่ในเขตปฏิรูปการเกษตร นอกจากมิติด้านลบแล้วยังมีมิติด้านบวกกล่าวคือ ในกรณีที่มีการดำเนินการโครงการมีความต้องการบุคลากรในการทำงานหลายตำแหน่งงาน หรือในกรณีใช้สินค้าและบริการภายในชุมชนจะสร้างรายได้ทางอ้อมให้กับชุมชน ปัจจุบันพลังงานลม ขยายตัวอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงปี 2001-2017 การผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลเพิ่มขึ้นในปี 2017 ถึงร้อยละ 30 หรือ สำหรับภาพรวมมีการเติบโตในปี 2017 ที่ 52,492 เมกะวัตต์ ส่งผลให้ผลรวมของการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าทั่วโลกรวมเป็น 539,123 เมกะวัตต์ โดยกำลังผลิตติดตั้งของไฟฟ้าพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลรวม 18,814 เมกะวัตต์ทั่วโลก [2] ประเทศไทยปัจจุบันมีกำลังผลิตติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าบนฝั่ง 633 เมกะวัตต์ การประยุกต์ประโยชน์จากพลังงานลมนอกชายฝั่งทะเลกำลังอยู่ในขั้นตอนการศึกษาวิจัย ทั้งในบริเวณทะเลอ่าวไทยและทะเลอันดามัน [3-7] เพื่อลดผลกระทบทางด้านลบของโครงการเช่นการใช้ประโยชน์ที่ดิน บทความนี้นำเสนอ แนวทางในการศึกษาปัญหาข้างต้น โดยได้ศึกษาการแปรผันของตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อโครงการโดยตรงเช่นการเปลี่ยนแปลงพลังงานลม ซึ่งจะช่วยให้เห็นแนวทางในการพัฒนาโครงการเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

วิธีการวิจัย

1. ฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน

การประยุกต์แผนที่ลมที่ได้จากแบบจำลองบรรยากาศ WRF โดยพิจารณาให้เป็นเสาวัดลมเสมือน (Visual Met Mast) ที่ระดับความสูง 137 m และจัดทำภูมิอากาศลม (OWC) ที่ระดับความสูง 137 m พบว่ามีอัตราเร็วลม 4.75 m/s

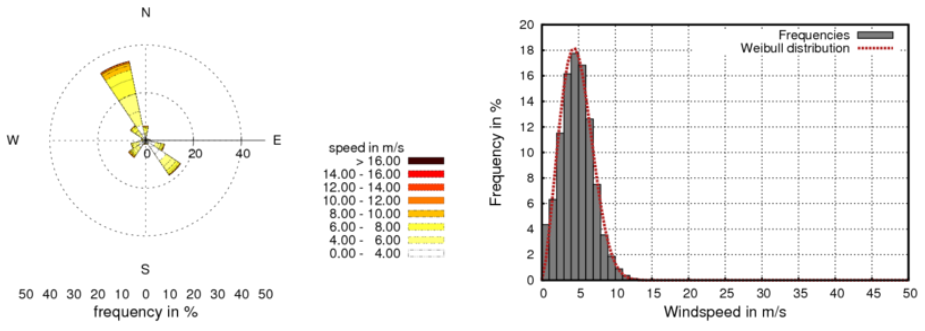
และลมส่วนใหญ่พัดจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ แสดงดังรูปที่ 1 สำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ทำการประยุกต์ มีขนาดพิกัด 3.3-9.5 MW คุณลักษณะของกังหันผลิตไฟฟ้าแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1 การจำลองฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 72-90 MW โดยพิจารณา แหล่งลมดี ความลึกของน้ำทะเล ระยะห่างจากชายฝั่ง ระยะห่างจากสายส่ง ปริมาณภาระความต้องการไฟฟ้าในพื้นที่ เส้นทางเดินเรือ และแนวสายเคเบิลสื่อสาร โดยพิจารณาในความสำคัญกับแหล่งลมดี และไม่อยู่ในระยะกันชนตามเงื่อนไขข้างต้น ในที่นี้จึงได้คัดเลือกพื้นที่บริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของอ่าวไทยรูปตัว ก เพื่อจำลองฟาร์มกังหันลม จากการจัดเรียงกังหันลมผลิตไฟฟ้าคำนึงถึงระยะกันชนสายเคเบิลสื่อสาร เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อกิจกรรมการเดินเรือและการสื่อสารในระยะ 1 km แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3

2. อิทธิพลของแบบจำลองเวก

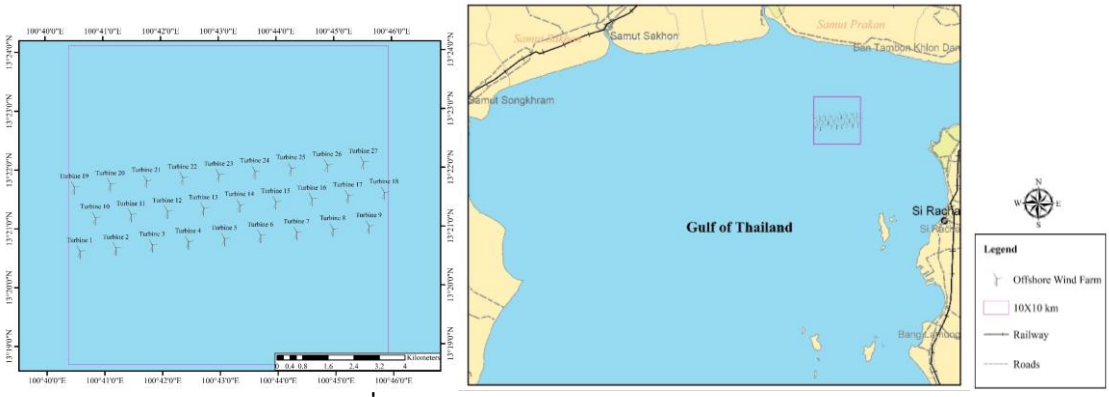
การจัดเรียงกังหันลมในแบบจำลองการไหลของลมแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแบบเมทริกมีระยะห่างขนาด 9DX8D และยังได้ทำการศึกษาอิทธิพลของเวก จำนวน 3 รูปแบบได้แก่แบบจำลองของ N.O. Jensen แบบจำลองของ Larsen และแบบจำลองขึ้นกับอัตราการขยายตัวของเวก (Wake Expansion Model) เพื่อให้เห็นผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าจากฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเล โดยพฤติกรรมทางด้านอากาศพลศาสตร์ของกังหันลมจะทำให้เกิดเวกขนาดใหญ่ ทางด้านหลังของกังหันลมเมื่อลมเคลื่อนที่ผ่านกังหันลมเป็นผลให้กังหันลมผลิตไฟฟ้าตัวที่อยู่ด้านหลังได้รับกระแสลมที่มี อัตราเร็วลมต่ำกว่าและมีความเข้มข้นความปั่นป่วน (Turbulence Intensity) สูงกว่าในบริเวณที่เกิดเวก อัตราเร็วลมที่ต่ำกว่าก็จะส่งผลให้กังหันลมผลิตไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าได้ต่ำกว่าอีกด้วย โดยในที่นี้นำเสนอผลจากการจำลองอิทธิพลยองเวก ที่ได้รับผลกระทบน้อยที่สุด เพื่อนำข้อมูลวิเคราะห์ทางการเงินต่อไป

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้าสำหรับการจำลองแบบฟาร์มกังหันลม

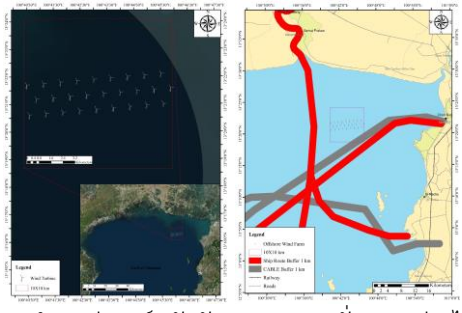
WTG	Rotor Diameter (m)	Hub Height (m)	Rated Capacity (kW)	Cut in Speed (m/s)	Rated Speed (m/s)	Cut off Speed (m/s)	Swept Area (m^2)
V126	126	137	3,300	3.0	12.0	22.0	9,852
G128	128	120	5,000	3.0	15.0	25	12,868
RE 5.0	126	100	5,000	3.0	11.0	25	12,469
V164	164	137	8,000	4.0	13.0	25	11.124
V164	164	137	9,500	4.0	13.0	25	21,124



ภาพที่ 1 ภูมิอากาศลมที่ระดับความสูง 120 m (AGL) ของพื้นที่ศึกษาของโครงการ



ภาพที่ 2 การจัดเรียงของฟาร์มกังหันลม (9DX8D)



ภาพที่ 3 (a) ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงตำแหน่งฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทย (b) ตำแหน่งฟาร์มกังหันลมกับขอบเขตการจารจรทางน้ำและแนวเคเบิลใต้น้ำ

3. การวิเคราะห์แบบจำลองทางการเงินของฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน

3.1 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: BCR) เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนของโครงการ

3.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการ (ผลประโยชน์ของโครงการ) กับกระแสเงินสดจ่ายหรือต้นทุนของโครงการ ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ

3.3 อัตราผลตอบแทนการลงทุนภายในทางการเงิน (Financial Internal Rate of Return: FIRR) คือ อัตราผลตอบแทนการลงทุนภายใน

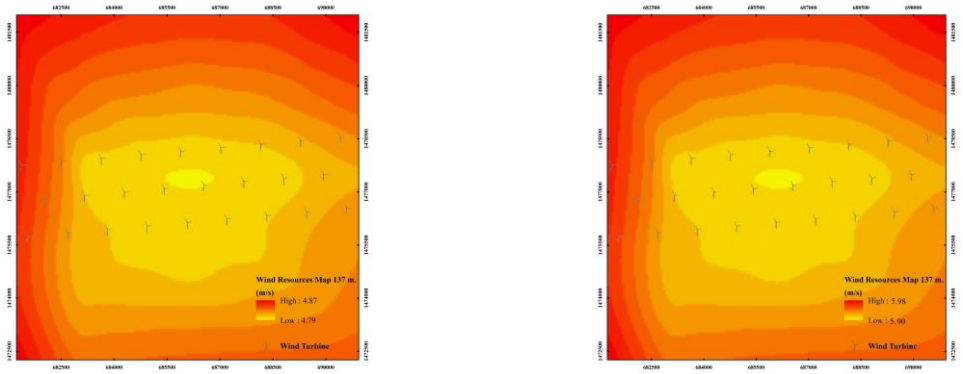
3.4 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PBP) ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสม จากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับมูลค่าในการลงทุนทั้งหมด สำหรับสมมตติฐานทางการเงินที่เป็นตัวแปลนำเข้าแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมมุติฐานทางการเงินสำหรับวิเคราะห์แบบจำลองทางการเงิน

รายการตัวแปร	ค่าพารามิเตอร์
ต้นทุนการติดตั้ง (USD/kW)	2,400
ค่าบำรุงรักษาและค่าดำเนินการ (O&M) (US/KW)	75
อัตราแลกเปลี่ยน (THB/USD) อ้างอิงวันที่ 2/04/2561 : ธนาคารแห่งประเทศไทย	31.3564
อัตราตราดอกเบี้ยเงินกู้ (%) อ้างอิงวันที่ 2/04/2561 : ธนาคารแห่งประเทศไทย	7.245
อัตราคิดลด (%)	5
สัดส่วนเงินกู้	70:30
ระยะเวลาผ่อนชำระ (ปี)	10
อัตราภาษีปีที่ 0-8 (%)	0
อัตราภาษีปีที่ 9-14 (%)	15
อัตราภาษีปีที่ 15-20 (%)	30
อัตรารับซื้อไฟฟ้าเฉลี่ย (THB/kWh)	3.8681
วิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อค่าคาปาซิตี้แฟ็คเตอร์ (%)	-10, -5,0,+5,+10
วิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อต้นทุนการติดตั้ง (%)	-10, -5,0,+5,+10

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

แบบจำลองการไหลของลมแบบพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณที่ระดับความแยกชัด 50 m ร่วมกับการจัดเรียงกังหันลมผลิตไฟฟ้าภายในพื้นที่ขนาด 10X10 km^2 ซึ่งมีอัตราเร็วสูงสุด 4.79 m/s แสดงดังรูปที่ 4 (a) ผลการจำลองแบบฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลจากแบบจำลองการไหลพลศาสตร์เชิงคำนวณควบคู่กับแบบจำลอง MC2/MS-Micro ที่ระดับความแยกชัดความแยกชัด 50 m ร่วมกับการจัดเรียงกังหันลมผลิตไฟฟ้าภายในพื้นที่ขนาด 10X10 km^2 ซึ่งมีอัตราเร็วสูงสุด 5.98 m/s ดังรูปที่ 4 (b)



(ก) (ข)

ภาพที่ 4 แผนที่ทรัพยากรลมที่ระดับความสูง 137 m เหนือระดับพื้นดิน ในพื้นที่ 10X10 km^2 ในพื้นที่ศึกษาของโครงการ (ก) แบบจำลองการไหลของลมแลลพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (ข) แบบจำลอง MC2/MS-Micro

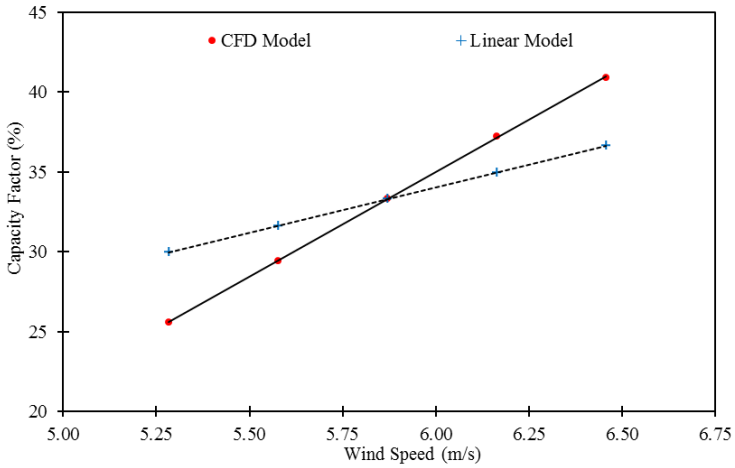
ตารางที่ 3 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีของฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลจากแบบจำลองเวก Larsen

Wake Model	Turbine Type	Hub Height (m)	No. of turbine	Capacity (MW)	Gross AEP (GWh/y)	Wake losses (%)	AEP with wake losses (GWh/y)	Capacity factor (%)
Wake Model 2	V126	137.0	27	89.1	273.3	4.9	259.8	33.3
	G128	100.0	18	90.0	203.5	6.1	191.0	24.2
	RE 5.0 MW	100.0	18	90.0	299.0	4.0	287.2	36.4
	V164 8.0 MW	137.0	11	88.0	197.7	5.5	186.8	24.2
	V164 9.5 MW	137.0	9	72.0	167.1	5.9	157.1	24.9

การจำลองโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 72-90 MW สามารถผลิตไฟฟ้ารายปี ในช่วง 157.1-287.2 GWh/year มีอัตราความสามารถในการผลิตไฟฟ้าในช่วงร้อยละ 24.2-36.4 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3 การสูญเสียเนื่องจากอิทธิพลของเวก มีค่าในช่วงร้อยละ 4.0-5.9 พลังงานไฟฟ้าผลิตรายปีเป็นตัวแปลเบื้องต้นร่วมกับสมมุติฐานทางการเงินดังตารางที่ 5 เพื่อวิเคราะห์แบบจำลองการเงินในกรณีฐาน ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างรายได้และต้นทุนมีค่าในช่วง 1.02-1.24 มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าในช่วง 196.98-2,701.72 ล้านบาท อัตราผลตอบแทนการลงทุนภายในทางการเงินอยู่ในช่วงร้อยละ-1.62-5.14 และระยะเวลาคืนทุน 14-21 ปี แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4 เนื่องจากการประเมินอัตราเร็วลมส่งผลต่อการวิเคราะห์ดัชนีทางการเงิน และการแปรผันของอัตราเร็วลมสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานลม อัตราเร็วลมเป็นตัวแปรสำคัญที่สุด เนื่องจากการจำลองบรรยากาศในการประเมินศักยภาพพลังงานลมอาจมีความคลาดเคลื่อน ซึ่งจะส่งผลต่ออัตราความสามารถในการผลิตไฟฟ้า เพื่อเป็นการศึกษาความผิดพลาดจากการประเมินผลแบบจำลอง ในที่นี้ทำการศึกษาในกรณีการประเมินผิดพลาดเพิ่มเติมอีก 4 กรณี จากรูปที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วลมที่ส่งผลกระทบต่ออัตราความสามารถในการผลิตไฟฟ้าเมื่อประมาณการผิดพลาดน้อยลงร้อยละ 5 และ 10 อัตราความสามารถในการผลิตไฟฟ้าลดลงร้อยละ12 และ ร้อยละ 23 ตามลำดับ ในกรณีที่มีค่าความสามารถในการผลิตไฟฟ้าลดลงร้อยละ10 ส่งผลให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนภายในทางการเงินมีค่าเป็นลบ หรือเป็นอัตราการสูญเสียเงินทุนนั่นเอง ซึ่งเกิดจากการประเมินลมผิดพลาดจากแบบจำลอง เป็นการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบเชิงเส้น การนำข้อมูลความอ่อนไหวของดัชนีทางการเงิน เนื่องจากการผิดพลาดของการประมาณอัตราเร็วลม เป็นแนวทางพัฒนาโครงการพลังงานลมในอนาคตต่อไป

ตารางที่ 4 ดัชนีทางการเงินของการผลิตติดตั้งฟาร์มกังหันลมผลิตไฟฟ้าในบริเวณตอนบนของอ่าวไทย (กรณีฐาน)

คาปาซิตี้แฟ็กเตอร์	BCR	NPV (ล้านบาท)	FIRR (%)	PBP (ปี)	LCOE (บาท/kWh)
C.F.-10%	1.02	196.98	-1.62	>20	2.37
C.F.-5%	1.07	823.17	0.01	20	2.24
Base	1.13	1,449.35	1.67	18	2.13
C.F.+5%	1.19	2,075.53	3.38	16	2.03
C.F.+10%	1.24	2,701.72	5.14	14	1.94



รูปที่ **6** ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วลมและคาปาซิตี้แฟ็คเตอร์

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความอ่อนไหวของการจำลองแบบการผลิตไฟฟ้าของฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนบน โดยอาศัยผลจากการจำลองแบบจากแบบจำลองของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ของโมเดลกังหันลมผลิตไฟฟ้า การประยุกต์ใช้แผนที่ลมที่ได้จากแบบจำลองบรรยากาศซึ่งในที่นี้ได้นำข้อมูลจากแบบจำลอง WRF การจำลองฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 72-90 MW พบว่า โรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้ารายปี ในช่วง 157.1-287.2 GWh/year มีอัตราความสามารถในการผลิตไฟฟ้าในช่วงร้อยละ 24.2-36.4 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3 การสูญเสียเนื่องจากอิทธิพลของเวก มีค่าในช่วงร้อยละ 4.0-5.9 การวิเคราะห์แบบจำลองทางการเงินในกรณีฐานพบว่า อัตราส่วนระหว่างต้นทุนและรายได้ มีค่าในช่วง 1.2-1.24 มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าในช่วง 196.98-2,701.72 ล้านบาท อัตราผลตอบแทนการลงทุนภายในทางการเงินอยู่ในช่วงร้อยละ -1.62-5.14 และระยะเวลาคืนเงิน 14-21 ปี การศึกษาในกรณีการผิดพลาดจากการประเมินผลแบบจำลอง พบว่า เมื่อประมาณลมเพิ่มขึ้นและลดลงร้อยละ 5 และ 10 อัตราความสามารถในการผลิตไฟฟ้าลดลงร้อยละ12 และ ร้อยละ 23 ตามลำดับ การศึกษาความอ่อนไหวของดัชนีทางการเงินอันเนื่องมาจากการผิดพลาดของการประมาณอัตราเร็วลม ในกรณีที่มีค่าความสามารถในการผลิตไฟฟ้าลดลงร้อยละ10 ส่งผลให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนภายในทางการเงินมีค่าเป็นลบ หรือเป็นอัตราการสูญเสียเงินทุนนั่นเอง ซึ่งเกิดจากการประเมินลมผิดพลาดจากแบบจำลอง เป็นข้อมูลสำคัญช่วยในการพัฒนาโครงการพลังงานลมในอนาคต และอาจลดผลกระทบและความขัดแย้งจากชุมชนที่มีการพัฒนาเป็นพื้นที่สำหรับผลิตพลังงานลมในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) สำหรับการสนับสนุนงบประมาณการวิจัย และ ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

เอกสารอ้างอิง

[1] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, "ERCSPP," 1 October 2018. [Online]. Available: http://www.erc.or.th/ERCSPP/default.aspx?x=0&muid=23&prid=41.

[2] Global Wind Energy Councl, "Global Wind Report ; Annual Wind report 2017," 2018.

[3] Jompob Waewsak, Mathieu Landry, and Yves Gagnon, "Offshore wind power potential of the Gulf of Thailand," Renewable Enegy, vol. 81, pp. 609-626, 2015.

[4] Chana Chancham, Jompob Waewsak, and Yves Gagnon, "Offshore wind resource assessment and wind power plant optimization in the Gulf of Thailand," Energy, vol. 139, pp. 706-731, 2017.

[5] "Offshore Wind Resource Assessment in Thailand," in SEGA7 , Bangkok, Montree Runtodsang, Jompob Waewsak, Chana Chancham and Yves Gagnon.

[6] Montree Runtodsang Chana Chancham, and jompob Waewsak, "The Development of Mesoscale Wind Map of Andaman Sea and Gulf of Thailand using Atmospheric Modeling," in Conference on Energy Technology Network of Thailand (E-nett14), Rayong, 2018.

[7] Montree Runtodsang, Chana Chancham, Jompob Waewsak, and Yves Gagnon, "Offshore Wind Resource Assessment in Thailand," in The 7 th International Conference on Sustainable Energy and Green Architecture (SEGA 07), Bangkok, 2018.



Session5. การจัดการพลังงานในชุมชน

ME11

การประเมินปริมาณการใช้พลังงานและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตข้าวกล้องไรเบอรรีย์ กรณีศึกษา บ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่

The Evaluation of EnergyConsumption and Carbon Footprint of Brown Riceberry Production Case study in WangPong, MaeRim, ChiangMai

ยินนิตรา คำนึงผล[1] วรวรรณ เพชรอุไร[2] นิมิต ขยัน[3] และธเนศ ไชยชนะ[1]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

[2] คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

[3]เกษตร หมู่ที่ 6 บ้านวังป้อง ต.เมืองแก้ว อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยการผลิตปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ ในพื้นที่ทำการศึกษาคือกลุ่มเกษตรบ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ ทำการข้อมูลปัจจัยการผลิตในขั้นตอนต่างๆ ประกอบด้วย ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกขั้นตอนการเพาะปลูกขั้นตอนการดูแลรักษา ขั้นตอนการเก็บเกี่ยว/การตากข้าว ขั้นตอนการขนส่ง สีข้าว ขั้นตอนการบรรจุ ซึ่งข้อมูลที่ทำการเก็บประกอบด้วย พื้นที่ทำงาน เวลาที่ใช้ในการทำงาน (ชั่วโมง) จำนวนแรงงานคน (คน)แรงงานสัตว์ (ชนิด/ตัว)ชนิด ขนาดกำลัง (hp.) ของเครื่องจักรกลเกษตรชนิด ปริมาณ (ลิตร) ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่อง จักรกลเกษตรระยะทางการขนส่ง (km)ปริมาณผลผลิต (kg) ขนาดและชนิดของเครื่องสีข้าว ระยะเวลาในการสีข้าวปริมาณผลผลิตข้าวสาร จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปัจจัยการผลิต โดยการใช้ค่าพลังงานเทียบเท่า (Energy Equivalent) และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)ผลการศึกษาพบว่าในการผลิตข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่บรรจุถุงขนาด 1kgมีการใช้ปัจจัยการผลิตประกอบด้วยเวลาในการดำเนินงานรวมเท่ากับ 48.68ชั่วโมง/คน/ไร่ น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นดีเซล 3.45 ลิตร/ไร่ น้ำมันเบนซิล/แก๊สโซฮอล์0.14 ลิตร/ไร่ ไฟฟ้า 5.75kW-h/ไร่ มีการใช้เมล็ดพันธ์สำหรับเพาะปลูก 10kg/ไร่ ใส่ปุ๋ยรวม 37kg/ไร่ ใช้สารคมี 0.2kg/ไร่ และได้ผลผลิตเฉลี่ย 675kg/ไร่ จากปัจจัยการผลิตคิดเป็นปริมาณการใช้พลังงานค่าเท่ากับ 3.41 MJ (2,303.19MJ/ไร่) และปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 0.375kg CO_2eq(253.19kg CO_2eq/ไร่)

คำสำคัญ: ข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ ปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คาร์บอนฟุตพริ้นท์

*Corresponding author: Tel.: 081-5306768. E-mail address: Tanatecha@hotmail.com

บทนำ

การใช้ปัจจัยการผลิตต่างๆ ในการผลิตสินค้าเกษตรนอกจากจะหมายถึงต้นทุนในการผลิตแล้วยังส่งผลถึงการใช้พลังงานและมีการสร้างมลพิษต่างๆให้เกิดขึ้นตามมาด้วย เช่น การใช้รถไถนา ก็ต้องมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง มีค่าใช้จ่ายและก็ก่อให้เกิดการปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม เป็นต้น ดังนั้นการพิจารณาปัจจัยการผลิตและกระบวนการในการผลิตอย่างละเอียดก็จะให้ทราบค่าต้นทุนการผลิต ปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยแก๊สที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Greenhouse Gas, GHG) จากการใช้พลังงาน ทั้งนี้ปริมาณการปล่อยก๊าซที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตนิยมนำเสนอเป็นค่า Carbon Footprint (CF: คาร์บอนฟุตพริ้นท์)หรือที่บางท่านเรียกว่า Carbon profile (ข้อมูลรวมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) ซึ่งคือปริมาณรวมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเรือนกระจก อื่นๆ ที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์หรือบริการ (ตามข้อกำหนด ISO 14040) ตลอดวัฏจักรชีวิต ทั้งนี้ แหล่งกำเนิดของก๊าซดังกล่าวมาจากกิจกรรมต่างๆ เช่นการใช้ไฟฟ้า การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล สำหรับกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมและกสิกรรม เป็นต้นคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็น"การวัด"ผลกระทบของผลิตภัณฑ์และบริการจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมเชิงปริมาณโดยใช้ตัวบ่งชี้ โอกาสในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) ทั้งนี้องค์กร Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC ได้กำหนดค่า GWP ของก๊าซต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในระยะเวลาที่กำหนด อาทิ 20, 100, 500 ปี เป็นต้น [1]

อีกทั้งในปัจจุบันหลายประเทศได้มีมาตรการที่เกี่ยวกับ “ภาษีคาร์บอน (CarbonTax)” ภาษีที่เก็บจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจัดเป็นภาษีสิ่งแวดล้อมประเภทที่สะท้อนต้นทุนที่สังคมจะต้องแบกรับผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเนื่องมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ หรือที่เรียกว่าต้นทุนคาร์บอนที่เกิดแก่สังคม (Social Cost of Carbon : SCC) ซึ่งเป็นเครื่องมือเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการกำหนดราคาโดยอัตราภาษีคาร์บอนจะต้องไม่ต่ำกว่าค่า SCC เพื่อป้องกันมิให้สังคมต้องแบกรับภาระความเสียหาย ปัจจุบันมีการใช้มาตรการภาษีคาร์บอนในหลายประเทศของยุโรป เช่น ฟินแลนด์ สวีเดน เดนมาร์ก เนเธอร์แลนด์ นอร์เวย์ อิตาลี สหราชอาณาจักร สโลวีเนีย และล่าสุดออสเตรเลีย แถลงว่าจะมีการเก็บภาษีคาร์บอน ตัวการปัญหาโลกร้อนในอัตราตายตัวตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม ปี ค.ศ. 2012 โดยเริ่มต้นที่ 23 ดอลลาร์ออสเตรเลียต่อ 1 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ ในช่วง 3 ปีแรก เป็นต้น สำหรับประเทศไทย ในฐานะผู้รับจ้างผลิตและผู้ส่งออกสินค้าจึงได้รับผลกระทบจากมาตรการคาร์บอนฟุตพริ้นท์อย่างไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ [2] เนื่องจากเริ่มมีการเรียกร้องให้สินค้าที่นำเข้าจากประเทศไทยต้องติดเครื่องหมายคาร์บอนฟุตพริ้นท์ด้วย โดยประเทศไทยเริ่มมีการดำเนินกิจกรรมด้านคาร์บอน ฟุตพริ้นท์ใน 2 รูปแบบ คือ การวิจัยเพื่อพัฒนาการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ และการออกฉลากคาร์บอนซึ่งหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบดูแลคือองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) โดยมีผู้เชี่ยวชาญจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และสถาบันการศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชนทำหน้าที่ให้คำปรึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแก่ภาคอุตสาหกรรม ซึ่งมีการดำเนินโครงการนำร่องเมื่อเดือน เมษายน พ.ศ. 2552เป็นต้นมาณ วันที่26 มิ.ย. 2558มีผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการอนุมัติให้ใช้เครื่องหมายคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แล้วจำนวน 1,570 ผลิตภัณฑ์ จาก 363 บริษัทและมีผลิตภัณฑ์ที่ยังอยู่ในระหว่างการอนุญาตให้ใช้เครื่องหมายคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ มี 972 ผลิตภัณฑ์ จาก 220 บริษัท [3]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยการผลิต ปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยมีพื้นที่ทำการศึกษาคือกลุ่มเกษตรบ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

วิธีทำการวิจัย

1. คัดเลือกเกษตรกรและพื้นที่สำหรับการเก็บข้อมูล
2. จัดทำแบบสอบถามสำหรับเก็บข้อมูล
3. เก็บข้อมูลการเพาะปลูกและปัจจัยการผลิตในขั้นตอนต่างๆประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกขั้นตอนการเพาะปลูกขั้นตอนการดูแลรักษาขั้นตอนการเก็บเกี่ยว/การตากข้าวขั้นตอนการขนส่งสีข้าวขั้นตอนการบรรจุทั้งนี้ข้อมูลที่ทำการเก็บประกอบด้วยพื้นที่ทำงานเวลาที่ใช้ในการทำงาน (ชั่วโมง) จำนวนแรงงานคน (คน)แรงงานสัตว์ (ชนิด/ตัว)ชนิดขนาดกำลัง (hp.)ของเครื่องจักรกลเกษตรชนิดปริมาณ (ลิตร) ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องจักรกลเกษตรระยะทางการขนส่ง(km)ปริมาณผลผลิต (kg) ขนาดและชนิดของเครื่องสีข้าวระยะเวลาในการสีข้าวปริมาณผลผลิตข้าวสาร และข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล
4. วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปัจจัยการผลิต โดยการใช้ค่าพลังงานเทียบเท่า และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ในการคำนวณ

ขอบเขตการดำเนินงาน

1. การดำเนินงานจะครอบคลุมขั้นตอนต่างๆ ประกอบด้วย ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่เพาะปลูก ขั้นตอนการเพาะปลูก ขั้นตอนการดูแลรักษา ขั้นตอนการเก็บเกี่ยว/การตากข้าว ขั้นตอนการขนส่ง สีข้าว และขั้นตอนการบรรจุ
2. ผลผลิตเป็นข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ขนาด 1 กิโลกรัม
3. พื้นที่ทำการศึกษาคือกลุ่มเกษตรบ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่
4. ข้อมูลในปีการเพาะปลูก 2559
5. การสีข้าวเกษตรกรจะใช้เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ที่มีกำลังขนาด 1 แรงม้า
6. การบรรจุถุงโดยใช้เครื่องบรรจุถุงสุญญากาศขนาดเล็ก
7. การเพาะปลูกเป็นแบบการปลูกข้าวนาดำ

ตารางที่ 1 ค่า Energy Equivalent ที่ใช้ในการประเมินปริมาณการใช้พลังงาน

ชนิดของพลังงาน	สัมประสิทธิ์พลังงาน		Ref.
คน	1.96	MJ/คน/hr	[4]
สัตว์	10.10	MJ/ ตัว/hr	[4]
น้ำมันดีเซล	43.3	MJ/ลิตร	[5]
น้ำมันเบนซิน	39.7	MJ/ลิตร	[5]
ไฟฟ้า	14.4	MJ/kW-h	[5]
เครื่องยนต์			[6-8]
- ปั๊มน้ำ	13.59	MJ/ไร่	
- รถไถนาเดินตาม	70.31	MJ/ไร่	
- รถไถนาแบบนั่ง	337.62	MJ/ไร่	
- รถเกี่ยวนวด	708.96	MJ/ไร่	
ปุ๋ย N	76	MJ/kg	[9]
ปุ๋ย P (P_2O_5)	14	MJ/kg	[9]
ปุ๋ยK(K_2O)	10	MJ/kg	[9]
ปุ๋ยคอก	0.303	MJ/kg	[10]
ยาปราบศัตรูพืช	120	MJ/kg	[11]

ชนิดของพลังงาน	สัมประสิทธิ์พลังงาน		Ref.
เมล็ดข้าว	0.703	MJ/บาท	[12]

ตารางที่ 2 ตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)

ปัจจัยการผลิต	หน่วย	Emission Factor (kg CO2 eq./หน่วย)	Ref.
เบนซิน/แก๊สโซลีน	Liter	0.7069	[14]
ดีเซล (Diesel)	Liter	2.7446	[14]
LPG	Liter	1.7226	[14]
ไฟฟ้า	kW-h	0.6093	[14]
Ethanol	kg	6.5236	[14]
ปุ๋ยอินทรีย์	kg	0.1097	[14]
Fertilizer N	kg	3.3036	[14]
Fertilizer P	kg	1.5716	[14]
Fertilizer K	kg	0.4974	[14]
lime, $CaCO_3$	kg	1.0676	[14]
สารเคมี	kg	7.285	[14]
รถตู้บรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก วิ่งแบบปกติ 100% Loading	km	0.214	[14]
การใช้รถแทรกเตอร์ล้อขนาด 45 แรงม้า	hr	28.1601	[14]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ปัจจัยการผลิต

ในการปลูกข้าว 1 ฤดูกาล (4 เดือน) มีการใช้ปัจจัยการผลิตประกอบด้วยเวลาในการดำเนินงานรวมเท่ากับ 48.68ชั่วโมง/คน/ไร่ น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นดีเซล 3.45ลิตร/ไร่ น้ำมันเบนซิล/แก๊สโซฮอล์0.14 ลิตร/ไร่ ไฟฟ้า 5.75kW-h/ไร่ มีการใช้เมล็ดพันธ์สำหรับเพาะปลูก 10kg/ไร่ ใส่ปุ๋ยรวม 37kg/ไร่ ใช้สารเคมี 0.2kg/ไร่ และได้ผลผลิตเฉลี่ย 675kg/ไร่ ทั้งนี้อัตราการใช้ปัจจัยการผลิตในขั้นตอนต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3

2. อัตราการใช้พลังงาน

ปริมาณการใช้พลังงาน (อัตราการใช้พลังงาน) สำหรับการผลิตข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่บรรจุถุงขนาด 1kg มีค่าเท่ากับ 3.41 MJ หรือหากพิจารณาต่อพื้นที่การเพาะปลูกจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,303.19MJ/ไร่ โดยเป็นพลังงานที่พิจารณาได้จากปัจจัยทางด้านพลังงานชนิดต่างๆ คือ แรงงาน62.26MJ/ไร่ น้ำมันเชื้อเพลิง264.71MJ/ไร่ ไฟฟ้า 49.39MJ/ไร่ เครื่องยนต์หรือเครื่องจักรกลทางการเกษตร1,074.10MJ/ไร่ ปุ๋ย828.72MJ/ไร่ และสารเคมี24.00 MJ/ไร่ และเมื่อพิจารณาตามขั้นตอนการดำเนินงานแล้วพบว่า ขั้นตอนการบำรุงรักษามีอัตราการใช้พลังงานสูงที่สุดคิดเป็น 42.79% ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีในการผลิตดังนั้นหากสามารถปรับวิธีการเพาะปลูกมาเป็นวิธีการเพาะปลูกแบบปลอดสารพิษ หรือแบบอินทรีย์ ก็จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานลงและยังเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้อีกทางหนึ่งด้วย ส่วนขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานรองลงมาเป็นขั้นตอนการเก็บเกี่ยวคิดเป็น 35.54% ดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 1

3. ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่บรรจุถุงขนาด 1kg มีค่าเท่ากับ 0.375kg CO_2eq หรือเท่ากับ 253.19 kg CO_2eq/ไร่ โดยเป็นปริมาณในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ 7.25kg CO_2eq/ไร่ ขั้นตอนการปลูก 27.08kg CO_2eq/ไร่ ขั้นตอนการบำรุงรักษา208.39kg CO_2eq/ไร่ ขั้นตอนการเก็บเกี่ยว6.86kg CO_2eq/ไร่ และขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยว3.61kg CO_2eq/ไร่ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การใช้ปัจจัยการผลิตในขั้นตอนและกิจกรรมต่างๆ ของการผลิตข้าวไรซ์เบอร์รี่บรรจุถุงขนาด 1kg

ขั้นตอนและกิจกรรม		อัตราการทำงาน (ชั่วโมง/คน/ไร่)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง		เมล็ดพันธุ์ (kg/ไร่)	อัตราการใช้ปุ๋ย (kg/ไร่)	อัตราการใช้สารเคมี (kg/ไร่)	ผลผลิต (kg/ไร่)
การเตรียมพื้นที่	ไถดะ	0.62	D	1		-	-	-
	ไถแปร	0.56	D	0.87		-	-	-
	ทำเทือก	0.49	D	0.77		-	-	-
การปลูก	ตกกล้า	0.29	-	-	10	-	-	-
	ถอนและตัดต้นกล้า	2.71	-	-	-	-	-	-
	ดำนา	0.79	-	-	-	-	-	-
การบำรุงรักษา	การสูบน้ำ	1.7	D	0.81	-	-	-	-
	การใช้ปุ๋ยเคมี	2.33	-	-	-	37	-	-
	การใช้สารเคมี	0.24	B	0.14	-	-	0.2	
การเก็บเกี่ยว		0.64	D	2.5	-	-	-	675
หลังการเก็บเกี่ยว	การขนส่ง	1.25	D	0.04	-	-	-	-
	การตากข้าว	0.82	-	-	-	-	-	-
	การสีข้าว	35.49	E	2.13	-	-	-	-
	การบรรจุถุง	0.75	E	3.62	-	-	-	-
	รวม	48.68	D B E	3.45 0.14 5.75	10	37	0.2	675

หมายเหตุ D= น้ำมันดีเซล (ลิตร/ไร่) B= น้ำมันเบนซิล/แก๊สโซฮอร์ (ลิตร/ไร่) E= ไฟฟ้า (kW-h/ไร่)

ตารางที่ 4 การใช้พลังงานในขั้นตอนและกิจกรรมต่างๆ ของการผลิตข้าวไรซ์เบอร์รี่บรรจุถุงขนาด 1kg

ขั้นตอนและกิจกรรม		อัตราการใช้พลังงาน (MJ/ไร่)							
		แรงงาน	น้ำมันเชื้อเพลิง	ไฟฟ้า	เครื่องยนต์	ปุ๋ย	สารเคมี	รวม	
การเตรียมพื้นที่	ไถดะ	1.22	43.30	-	70.31	-	-	114.83	328.52
	ไถแปร	1.10	37.67	-	70.31	-	-	109.08	
	ทำเทือก	0.96	33.34	-	70.31	-	-	104.61	
การปลูก	ตกกล้า	0.57	-	-	-	-	-	0.57	7.43
	ถอนและตัดต้นกล้า	5.31	-	-	-	-	-	5.31	
	ดำนา	1.55	-	-	-	-	-	1.55	
การบำรุงรักษา	สูบน้ำ	3.33	35.07	-	70.31	-	-	108.72	985.63
	ใส่ปุ๋ย	4.57	-	-	-	828.72		833.29	
	สารเคมี	0.47	5.56	-	13.59	-	24.00	43.62	
การเก็บเกี่ยว		1.25	108.25	-	708.96	-	-	818.46	
หลังการเก็บเกี่ยว	ขนส่ง	2.45	1.52	-	70.31	-	-	74.28	163.15
	ตากข้าว	1.61	-	-	-	-	-	1.61	
	สีข้าว	36.77	-	10.51	-	-	-	47.28	
	บรรจุถุง	1.10	-	38.88	-	-	-	39.98	
รวม		62.26	264.71	49.39	1,074.10	828.72	24.00	2,303.19	



รูปที่1 สัดส่วนการใช้พลังงานแบ่งตามขั้นตอนการผลิตข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่บรรจุถุงขนาด 1kg

ตารางที่ 3 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่บรรจุถุงขนาด 1kg

ขั้นตอน	ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (kg CO_2eq/ไร่)	สัดส่วน (ร้อยละ)
การเตรียมพื้นที่	7.25	2.86
การปลูก	27.08	10.70
การบำรุงรักษา	208.39	82.31
การเก็บเกี่ยว	6.86	2.71
หลังการเก็บเกี่ยว	3.61	1.43
รวม	253.19	100.00
ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อผลผลิต (kg CO2 eq/kg)	0.375	

สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยการผลิตปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ โดยมีพื้นที่ทำการศึกษาคือกลุ่มเกษตรบ้านวังป้อง อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ สามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

1. มีการใช้ปัจจัยการผลิตประกอบด้วยเวลาในการดำเนินงานรวมเท่ากับ 48.68ชั่วโมง/คน/ไร่ น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นดีเซล 3.45ลิตร/ไร่ น้ำมันเบนซิล/แก๊สโซฮอล์0.14 ลิตร/ไร่ ไฟฟ้า 5.75kW-h/ไร่ มีการใช้เมล็ดพันธุ์สำหรับเพาะปลูก 10kg/ไร่ ใส่ปุ๋ยรวม 37kg/ไร่ ใช้สารเคมี 0.2kg/ไร่ และได้ผลผลิตเฉลี่ย 675kg/ไร่
2. ปริมาณการใช้พลังงาน (อัตราการใช้พลังงาน) สำหรับการผลิตข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่บรรจุถุงขนาด 1kg มีค่าเท่ากับ 3.41 MJ หรือเท่ากับ 2,303.19 MJ/ไร่
3. ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่บรรจุถุงขนาด 1kg มีค่าเท่ากับ 0.375kg CO_2eqหรือเท่ากับ253.19kg CO_2eq/ไร่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Sustainable Energy Technology Research Laboratory, SRE, MJU (SETR-Lab)
โครงการ การประเมินการใช้พลังงานและคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับการผลิตข้าวไรซ์เบอร์รี่อินทรีย์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่
เกษตรกรผู้ผลิตข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ ชุมชนบ้านวังป้อง หมู่ที่ 6 ต.เหมืองแก้ว อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

[1] United Nations Framework Convention on Climate Change,Global Warming Potential, GWP), http://unfccc.int, 3/7/2015
[2] ยุวนันท์สันติทวีฤกษ์, กุลวรางค์สุวรรณศรีและกฤษดาบำรุงวงศ์. Carbonfootprintมาตรการสิ่งแวดล้อมใหม่ที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ของภาคการส่งออกไทย,ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ. โครงการการศึกษาทิศทางงานวิจัยและการพัฒนาด้านCarbon Footprint ของสวทช.
[3] สำนักพัฒนาธุรกิจองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2558).บริษัทและผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นทะเบียนคาร์บอนฟุตพริ้นท์.สืบค้นจาก http://thaicarbonlabel.tgo.or.th [เมื่อ3 กรกฎาคม2558]
[4] รายงานพลังงานของประเทศไทยThailand Energy Situation, 2548, ค่าการเปลี่ยนหน่วย (Conversion Factor), ปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิงค่าความร้อนสุทธิ,กระทรวงพลังงาน
[5] Dipankar De, Singh R.S. and Hukun Chandra, 2001, Technological impact on energy consumption in fed soybean cultivation in Madhya Pradesh, *Applied Energy,* V 70, 193-213.
[6] ธเนศ ไชยชนะ, 2547, การวิเคราะห์การใช้พลังงานในการปลูกข้าวในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
[7] Samootsakorn P, 1982, Energy Budgeting for Thai Rice Agriculture, Ph.D. Thesis, Reading University.
[8] Siam KubotaThailand co., ltd, Data ofWorking tractor (15 – 24 hp.) and Driving tractor (80 – 110 hp.), http://www.kubota.com
[9] KasetPhattana Group, Thailand, Data of harvesting tractor, 126 M1 T. Smokae, Muang, Phitsanulok province, Thailand, 56000, http://www.kpn.co.th

[10] PieroVenturi and GianpietroVenturi, 2003, Analysis of energy comparison for crops in Europeanagricultural systems, *Biomass & Bioenergy*, Faculty of agricultural,University of Bologna. Italy.

[11] Ibrahin Gezer, 2003, Use of energy and labor in Apricot Agriculture in Turkey, *Biomass & Bioenergy*, V 24: 251-219.

[12] Mandal M.G, Suda, K.P, Ghosh, P.K, Hati, K.M and Bandyopadhyay K.K, 2002, Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production system in central India, *Biomass and Bioenergy*, V 23: 337-345.

[13] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2556, ค่า Emission Factor โดยแบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรมUPDATE: มิถุนายน 2559

ME34

การประเมินการการจัดการพลังงานด้วยการใช้นวัตกรรมเชิงพลังงานในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง

Assessment of energy management by using energy innovation in production process of Mushroom for Ban-Saun Mae-Tha Community Enterprise Lampang for Mushroom Cultivation and Processing

รวิภา ยงประยูร* วราคม วงค์ชัย ธิดารักษ์ ปู่ย่า จารุวรรณ ทินวัง ศิริกาญจน์ วิบูลย์ผลและพรทิพา สิงห์แก้ว
สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 52100

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการจัดการพลังงานด้วยนวัตกรรมเชิงพลังงานในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเห็ดบ้านสวนแม่ทะ ซึ่งประกอบด้วย เตาผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบสามกลับ เตาแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลงรุ่นสุดพลัง และตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อรวบรวมข้อมูลการประเมินนำไปใช้เป็นแนวทางในการขอฉลากคาร์บอน

ผลจากการประเมินเมื่อนำนวัตกรรมทั้ง 3 ชนิดมาใช้ ณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านสวนแม่ทะ ต.สิริราช อ.แม่ทะ จ.ลำปาง พบว่า เตานึ่งเห็ดแบบท่อ 3 กลับ สามารถลดการใช้ฟืนในกระบวนการนึ่งโคนเห็ดได้ถึงร้อยละ 35.6 คิดเป็น 483 กิโลกรัม/ปี สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้น สามารถลดการใช้แก๊สหุงต้มได้ 33 ถัง/ปี และเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง “รุ่นสุดพลัง” มาใช้ร่วมกับหัวแก๊สแบบ ทู อิน วัน ในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ดนางฟ้า พบว่า มีปริมาณการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ร้อยละ 81.70 ส่วนแก๊สชีวมวลมีปริมาณการใช้อยู่ที่ร้อยละ 18.30 ผลการประหยัดการใช้แก๊สหุงต้มในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบทั้งหมดสามารถประหยัดแก๊สหุงต้มได้ การทอดลดลงได้ 8 ถัง/ปี อบแห้งลดลงได้ 33 ถัง/ปี รวมลดการใช้แก๊สหุงต้มในกระบวนการทั้งหมด 41 ถัง สามารถลดการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 20.418 $kgco_2eq$/ปี เมื่อคำนวณค่าพลังงานในการผลิตข้าวเกรียบเห็ดนางฟ้าต่อถุงเท่ากับ 12.78 MJ มูลค่าต้นทุนข้าวเกรียบต่อถุง ถุงละ 40 กรัม คิดเป็นเงิน 8 บาทต่อถุง สามารถลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้ถึงร้อยละ 10 ซึ่งเป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อนำไปขึ้นทะเบียนฉลากลดคาร์บอนให้กับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบเห็ดในลำดับต่อไป

คำสำคัญ: นวัตกรรมเชิงพลังงาน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง

*Corresponding author: Tel.: 081-9986523. E-mail address: sauraya_y@hotmail.com

บทนำ

ข้อเสนอโครงการวิจัยการประเมินการการจัดการพลังงานด้วยการใช้นวัตกรรมเชิงพลังงานในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง มีการดำเนินกิจกรรมการเพาะและแปรรูปเห็ดนางฟ้า ตั้งแต่ปี 2524 ถึง ปัจจุบัน รวม 36 ปี ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดและอบกรอบ ได้แก่ เห็ดสวรรค์, เห็ดสามรส, เห็ดแดดเดียว, เห็ดอบกรอบสมุนไพร, ข้าวเกรียบเห็ด และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการนึ่งให้สุกแล้ว ได้แก่ แหนมเห็ด อีกทั้งในกระบวนการผลิตเห็ดนางฟ้าซึ่งเป็นแหล่งป้อนวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการแปรรูป ล้วนแล้วแต่ใช้พลังงานความร้อนทั้งจากแก๊สหุงต้ม, ไม้ฟืน และซังข้าวโพดในปริมาณมหาศาล อ้างอิงจากการสำรวจข้อมูลกลุ่มวิสาหกิจชุมชนและเครือข่ายวิสาหกิจชุมชน/กลุ่มOTOP/โรงเรียนที่สมัครเข้าร่วมโครงการ ศูนย์เรียนรู้พลังงานทางเลือกในการดำรงชีวิตตามวิถีลำปางตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงของจังหวัดลำปาง โดยสำนักงานพลังงานจังหวัดลำปาง พบว่ากลุ่มวิสาหกิจดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแก๊สหุงต้ม 22,800 บาท ต่อเดือน และค่าใช้จ่ายจากการใช้ฟืน 13,500 บาทต่อเดือน แต่เมื่อมีการนำเอานวัตกรรมเชิงพลังงานของโครงการ คือ เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลแบบไหลลง “รุ่นสุดพลัง” ไปใช้ในกระบวนการนึ่งให้สุก สามารถลดใช้พลังงานในกระบวนการได้เกินกว่าร้อยละ 8 โดยการประเมินอย่างคร่าวๆ ซึ่งนอกเหนือจากนวัตกรรมเชิงพลังงานที่ทางกลุ่มวิสาหกิจได้ทำการติดตั้งและใช้งานจริงจากโครงการของพลังงานจังหวัดลำปางแล้ว ยังมีนวัตกรรมเชิงพลังงานอีก 2 ชิ้นที่ทางกลุ่มได้นำมาใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าของตน ได้แก่ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก และ ระบบนึ่งเห็ดแบบประหยัดฟืน อีกทั้งกลุ่มวิสาหกิจนี้มีการวางแผนที่จะขยายตลาดไปสู่ต่างประเทศมากขึ้นจึงเล็งเห็นความสำคัญในการจัดทำข้อมูลการจัดการพลังงานของกระบวนการผลิต เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ได้รับ “ฉลากคาร์บอน” และ “คาร์บอนฟุตปริ้น” ตามลำดับ



ภาพที่ 1 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง

ค่าพลังงานในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ดทั้งหมดของบ้านสวนแม่ทะ อ.แม่ทะ จ.ลำปาง จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นโดยคณะผู้ทำวิจัยระหว่างเดือน กันยายน – ตุลาคม 2560 พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ย เท่ากับ 28,991.6 MJ และค่าพลังงานความร้อนโดยเฉลี่ย เท่ากับ 134,578.08 MJ

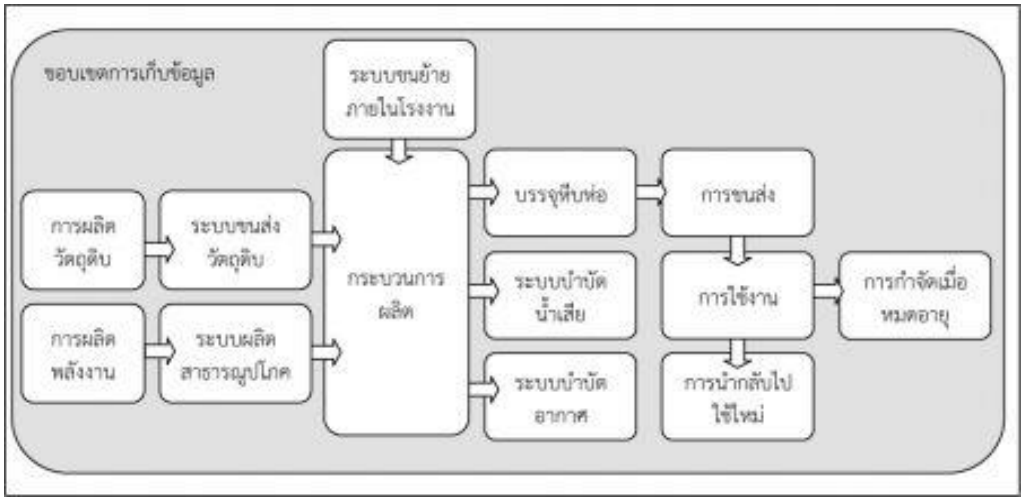
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.เพื่อประเมินการจัดการพลังงานด้วยนวัตกรรมเชิงพลังงานในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเห็ดบ้านสวนแม่ทะ ประกอบด้วย เตาผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบสามกลับ เตาแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลงรุ่นสุดพลัง และตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2. เพื่อรวบรวมข้อมูลการประเมินใช้เป็นแนวทางขอฉลากคาร์บอน

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

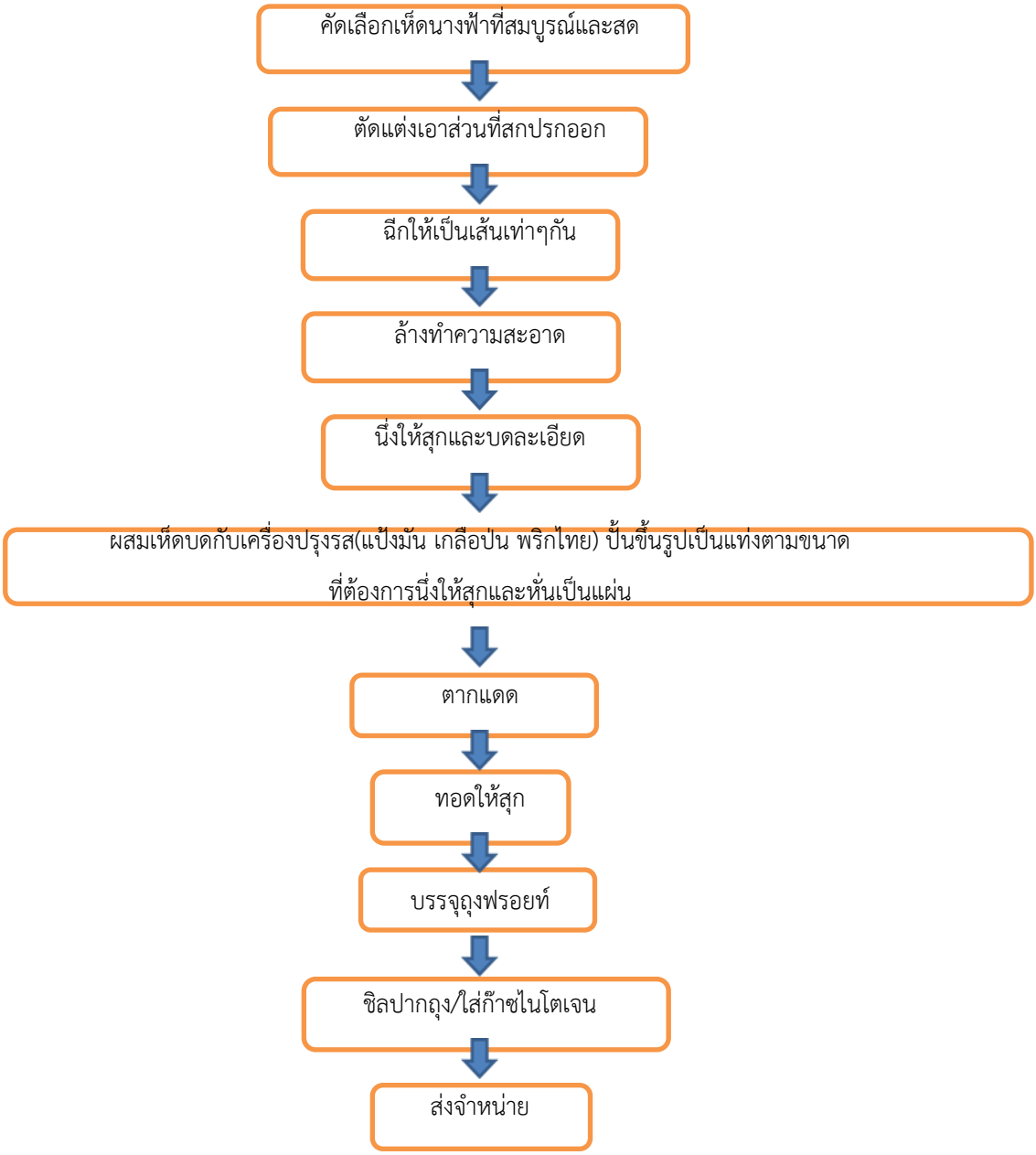
การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ / แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและการประเมินโอกาสที่จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขอนามัยของชุมชน เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดการกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave จะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ (ธรรมชาติ) จนถึงขั้นตอนการทำลายซาก การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave ใช้ได้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบในช่วงการใช้งานได้อย่างชัดเจน เช่น ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างของขอบเขตการเก็บข้อมูลแบบ Cradle to Grave แสดงดังภาพ



ภาพที่ 2การกำหนดขอบเขตการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Cradle to Grave
(ที่มา : กระบวนการ LCA กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม /องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน, 6 กันยายน 2561)

แผนผังการไหลของกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบเห็ด ของ
กลุ่มวิสาหกิจเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ดตั้งแต่การคัดเลือกเห็ดนางฟ้าที่สมบูรณ์และสด – การส่งจำหน่ายในท้องตลาด



ภาพที่ 3 กระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบเห็ดของกลุ่มวิสาหกิจเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง

ความหมายของฉลากคาร์บอน (Carbon Label) [1]

ฉลากคาร์บอน คือ ฉลากที่แสดงระดับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ บรรยากาศต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต อันเนื่องมาจากการใช้ไฟฟ้า เชื้อเพลิงฟอสซิล และของเสียในรูปของกากของเสีย น้ำเสีย และมลพิษทางอากาศจากวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA)ฉลากคาร์บอนในประเทศไทยแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. ฉลากคาร์บอนฟุตพริ้น (Carbon Footprint Label) ฉลากคาร์บอนฟุตพริ้น ที่แสดงบนสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ นั้น เป็นการแสดงข้อมูลให้ผู้บริโภคได้ทราบถึงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เหล่านั้นมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาปริมาณเท่าไหร่ ตั้งแต่กระบวนการหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการกำจัดเมื่อกลายเป็นของเสีย ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค และกระตุ้นให้ผู้ประกอบการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีในการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น การใช้คาร์บอนฟุตพริ้นยังช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลกด้วย เนื่องจากขณะนี้ในหลายประเทศเริ่มมีการนำคาร์บอนฟุตพริ้นมาใช้กับสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งในอังกฤษ ฝรั่งเศส สวิสเซอร์แลนด์ แคนาดา ญี่ปุ่น และเกาหลี เป็นต้น และมีการเรียกร้องให้สินค้าที่นำเข้าจากประเทศไทยต้องติดเครื่องหมายคาร์บอนฟุตพริ้นด้วย นอกจากนี้ หากประเทศไทยมีการดำเนินโครงการและเก็บข้อมูลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ชัดเจน
2. ฉลากลดคาร์บอน (Carbon Reduction Label)ฉลากลดคาร์บอน คือ เครื่องหมายลดคาร์บอนฟุตพริ้นของผลิตภัณฑ์ หรือ ฉลากลดโลกร้อน เป็นฉลากที่แสดงว่าผลิตภัณฑ์ได้ผ่านการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นแล้ว และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งเป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่ง กระบวนการผลิต การใช้งาน และการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังใช้ โดยมีรูปแบบสำหรับการประเมินประกอบด้วย การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นของผลิตภัณฑ์ใน ปีปัจจุบัน การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นของผลิตภัณฑ์ในปีฐาน (Base Year) การเปรียบเทียบคาร์บอนฟุตพริ้นของผลิตภัณฑ์ในปีปัจจุบันกับปีฐาน และนำผลการเปรียบเทียบพิจารณาตามเกณฑ์การประเมิน เพื่อขึ้นทะเบียนฉลากคาร์บอน ซึ่งเป็นเครื่องหมายลดคาร์บอนฟุตพริ้นของผลิตภัณฑ์ เมื่อผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนดสามารถติดฉลากคาร์บอนบนผลิตภัณฑ์ หรือเผยแพร่บนสื่อต่างๆได้



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4 (ก) ฉลากคาร์บอนฟุตพริ้น (ข) และ (ค) ฉลากลดคาร์บอน
(ที่มา: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (มหาชน), 2550)

การคิดค่าพลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า มีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าได้จากผลคูณระหว่างความต่างศักย์ กับกระแสไฟฟ้า โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (1)การคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้า สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$\text{หน่วยไฟฟ้า} = (\text{กำลังไฟฟ้า(วัตต์)} \times \text{ระยะเวลา(ชั่วโมง)})/1000 \quad (1)$$

แก๊สเรือนกระจก green house gas) หรือ GHG คือ แก๊สในบรรยากาศที่ดูดซับและปลดปล่อยรังสีภายในช่วงความถี่(คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า)อินฟราเรดร้อน ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนบางส่วนออกสู่ห้วงอากาศภายนอกและปลดปล่อยความร้อนกลับสู่พื้นผิวโลก ขบวนการนี้จึงเป็นสาเหตุพื้นฐานของปรากฏการณ์เรือนกระจก การนำควณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากสมการที่ (2)

$$GHG(co_2) = A \times EF \quad (2)$$

GHG = ปริมาณก๊าซเรือนกระจก

A = ข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก

EF = ค่าสัมประสิทธิการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (มีหน่วยเป็น kg co_2eq/หน่วย)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุรเชษฐ์ กล้าณรงค์ และสมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ (2560) บทความนี้เป็นการศึกษาและการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นในการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพจากระบบยูเอเอสบีขนาดเล็กซึ่งเป็นกลุ่มที่ผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุด การผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตไฟฟ้ามีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมา งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาและประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ มีการจัดเก็บข้อมูลการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากร พลังงาน และสารเคมี ต่างๆที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงการปลดปล่อยมลพิษและของเสียต่างๆ โดยมีขอบเขต ในการศึกษาแบบ Cradle to Gate (B2B) จากการศึกษาพบว่า คาร์บอนฟุตพริ้นของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ มีค่าเท่ากับ 0.544 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ1กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยกระบวนการที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือ กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ โดยมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้น 0.439 กิโลกรัม คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าคิดเป็น 80.7% ของปริมาณการปลดปล่อยทั้งหมด ยังมีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นต่ำกว่ากระแสไฟฟ้าจากสายส่ง ซึ่งมีคาร์บอนฟุตพริ้น 0.609 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อ 1กิโลวัตต์-ชั่วโมง [2]

รัตนาวรรณ มั่งคั่ง และคณะ (2554) บทความนี้เป็นการศึกษาการวิเคราะห์และจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นของผลิตภัณฑ์ข้าวสำหรับการติดฉลากคาร์บอน เพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจคาร์บอนต่ำในการบรรเทาภาวะโลกร้อน คาร์บอนฟุตพริ้นเป็นเครื่องมือในการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการผลิต มีการประยุกต์ใช้คาร์บอนฟุตพริ้นในผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นการกระตุ้นให้ผู้บริโภคเกิดความตระหนักและมีส่วนร่วมในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ทำการศึกษา คือ ข้าวสารหอมมะลิ ขนาดบรรจุ 5 กิโลกรัม เส้นหมี่แห้งและเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง ขนาดบรรจุ 250 กรัม ครอบคลุมตั้งแต่การปลูกข้าว การสีข้าว การผลิตภาชนะบรรจุ และการจัดจำหน่ายไปยังผู้ซื้อ ตลอดจนการขนส่งที่เกี่ยวข้องในทุกขั้นตอน ผลการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นของผลิตภัณฑ์ข้าวสารหอมมะลิ 5 กิโลกรัม พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม มีค่าเป็น 39 กิโลกรัมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยพบว่าขั้นตอนการปลูกข้าว มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดคิดเป็น 97% จำแนกได้ว่าการจัดการเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ควรให้ความสำคัญกับขั้นตอนการปลูกข้าวเป็นสำคัญ ส่วนผลการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นผลิตภัณฑ์เส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง ขนาด 250 กรัม พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวม มีค่าเป็น 1.9 และ 1.7 กิโลกรัมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยพบว่าขั้นตอนการปลูกข้าวและการผลิตเส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด คิดเป็น 45/51% และ 43/52% ของปริมาณทั้งหมด จำแนกได้ว่าการจัดการเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ควรให้ความสำคัญกับขั้นตอนการปลูกข้าวและขั้นตอนการผลิตเส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งเป็นสำคัญ การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้น พบว่า คุณภาพของข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการปลูกข้าว และข้อมูลการผลิตเส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง มีความสำคัญอย่างมากต่อขนาดคาร์บอนฟุตพริ้น จึงควรให้ความสำคัญกับความถูกต้องของข้อมูลปฐมภูมิและแหล่งที่มาของข้อมูลทุติยภูมิที่ใช้[3]

วิริยะ อนันต์ประดิษฐ์ และคณะ (2559) บทความนี้เป็นการศึกษาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานทดแทนจากผักตบชวาภายใต้การประเมินด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมจากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้น โดยพิจารณาจากปริมาณ

คาร์บอนฟุตพริ้นที่เกิดขึ้นในขั้นตอนกระบวนการผลิตพลังงานจากผักตบชวาเทียบกับพลังงานที่ผลิตได้ 5 เทคโนโลยีคือ การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง การผลิตน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว การผลิตแก๊สชีวภาพ การผลิตเอทานอล และการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวา พบว่าการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวา โดยการนำผักตบชวามาทำการอบแห้งโดยโรงเรือนพลาสติก มีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นน้อยที่สุด คือ 0.380kg co_2 – eq หากพิจารณาด้านพลังงานร่วมกับด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า การผลิตแก๊สชีวภาพมีการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นต่อพลังงานที่ได้รับน้อยที่สุดคือ 0.432 g co_2 – eq/KJ [4]

วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยประกอบไปด้วย ขั้นตอนดำเนินงานจำนวน 4 ขั้นตอน ได้แก่

1.เก็บข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตทั้งหมด ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านสวนแม่ทะ ต.สิริราช อ.แม่ทะ จ.ลำปาง ซึ่งประกอบไปด้วยการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน โดยการประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้านั้น จะประเมินจากพลังงานที่เครื่องจักรใช้ในการทำงานระยะเวลาหนึ่งมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง(kWh) หาได้จากหน่วยไฟฟ้า โดยใช้เครื่องมือในการตรวจวัดค่าไฟฟ้าโดยเพาเวอร์มิเตอร์กับเครื่องจักร ห้องบรรจุ ตู้แช่แข็ง และอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งหมดของกลุ่ม สำหรับการประเมินการใช้พลังงานความร้อนนั้นจะใช้การตรวจวัดด้วยการนับจำนวนถังแก๊สหุงต้ม ซึ่งแก๊สหุงต้ม 1 ถัง จะใช้ในกระบวนการผลิตได้นาน 4 ชั่วโมง

2.ประเมินการใช้พลังงานของเตาผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ด แบบท่อสามกลับ ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง “รุ่นสุดพลัง” โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 เตาผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบท่อสามกลับ ติดตั้งอยู่ ณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านสวนแม่ทะ ต.สิริราช อ.แม่ทะ จ.ลำปาง เพื่อลดใช้แก๊สหุงต้ม และไม้ฟืน อยู่ในขั้นตอนการนึ่งโคนเห็ดที่จะนำมาเป็นส่วนผสมของข้าวเกรียบเห็ด

2.2 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ติดตั้งอยู่ ณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านสวนแม่ทะ ต.สิริราช อ.แม่ทะ จ.ลำปาง ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและแก๊สหุงต้มอยู่ในขั้นตอนการตากข้าวเกรียบเห็ดให้แห้งก่อนนำไปทอด

2.3 เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง “รุ่นสุดพลัง” ติดตั้งอยู่ ณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านสวนแม่ทะ ต.สิริราช อ.แม่ทะ จ.ลำปาง เพื่อลดใช้แก๊สหุงต้มในขั้นตอนการทอดข้าวเกรียบเห็ด



(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 5 การใช้นวัตกรรมเชิงพลังงานในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านสวนแม่ทะฯ
(ก)เตาผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบท่อสามกลับ(ข) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
(ค) เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง “รุ่นสุดพลัง”

3.เปรียบเทียบการลดใช้พลังงานระหว่าง ก่อน –หลังจากนำนวัตกรรมทั้ง 3 ชนิดมาใช้

3.1 ค่าพลังงานรวมที่ใช้ต่อปีในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ดทั้งหมดก่อนการนำนวัตกรรมมาใช้ต่อมวลข้าวเกรียบเห็ดคำนวณจากหาค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดก่อนใช้นวัตกรรมเชิงพลังงานมาใช้ในกระบวนการผลิต

3.2 ค่าพลังงานรวมต่อปีจากการใช้นวัตกรรมทั้ง 3 ชนิดในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ดต่อมวลข้าวเกรียบเห็ด

คำนวณจากค่าพลังงานรวมทั้งหมดของเตาผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบท่อสามกลับ ค่าพลังงานรวมทั้งหมดของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าพลังงานรวมทั้งหมดของเครื่องผลิดแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง“รุ่นสุดพลัง”

3.3 ผลการประหยัดของค่าพลังงานรวมของค่าพลังงานที่ใช้ต่อปีกับสัดส่วนค่าพลังงานรวมต่อปี

- คำนวณจากผลต่างของค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดก่อนใช้นวัตกรรมเชิงพลังงาน ในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ด กับ ค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดหลังจากใช้นวัตกรรมเชิงพลังงาน ในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ด จะได้ผลลัพธ์เป็นผลการประหยัดพลังงานในกระบวนการผลิตแบบรายปี

- ผลประหยัดพลังงานรวมของกระบวนการผลิตรายปีคำนวณหาการลดแก๊สหุงต้มในกระบวนการผลิตต่อปี จากค่าพลังงานความร้อนทั้งหมดให้เป็นสัดส่วน (%) ของกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ด

- ผลการคำนวณการลดการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตต่อปี คำนวณจากค่าการลดใช้แก๊สหุงต้มรายปีที่เกิดจากการนำนวัตกรรมมาใช้ใน กระบวนการผลิต

- ค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตข้าวเกรียบเห็ดนางฟ้าต่อถุง

4.ผลการประหยัดพลังงานทั้งหมดก่อน –หลัง การนำนวัตกรรมเชิงพลังงานมาใช้ มาคำนวณเป็นการลดแก๊สหุงต้มในกระบวนการผลิตต่อปี

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ค่าพลังงานเดิมทั้งหมดในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ดนางฟ้าของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเห็ดและแปรรูปเห็ดบ้านสวนแม่ทะ อ.แม่ทะ จ.ลำปาง พบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 28,991.6 MJ/ปี และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้งานมากที่สุด คือ ตู้แช่แข็ง 4 เครื่อง 3บาน ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 19,732.4 หรือ 68% และมีการใช้แก๊สหุงต้มสำหรับทอดและนึ่งข้าวเกรียบเห็ดก่อนนำนวัตกรรมมาใช้ 155 ถัง/ปี ซึ่งให้ค่าพลังงานความร้อน 114,607 MJ และเมื่อนำมาจำแนกประเภทของพลังงาน พบว่า สัดส่วนค่าความร้อนและไฟฟ้ารายปีของกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ด พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 24% และ ค่าพลังงานความร้อนมีค่าเท่ากับ 76%

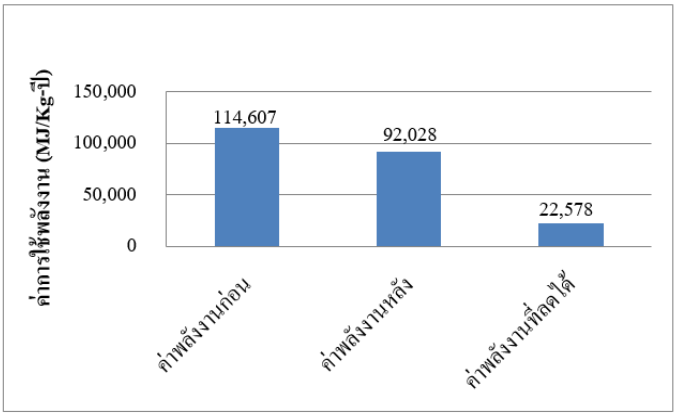
2.ผลการประเมินการใช้พลังงานของเตาผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบท่อสามกลับ , ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง “รุ่นสุดพลัง”

2.1 เตาผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบท่อสามกลับการนึ่งให้สุกเป็นขั้นตอนหนึ่งในการทำข้าวเกรียบ ซึ่งแต่เดิมนั้นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้ใช้เตานึ่งแบบ 200 ลิตร ในการนึ่งทำให้เกิดปัญหาการใช้ฟืนและน้ำในปริมาณมาก ผู้วิจัยได้นำนวัตกรรมเตาผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบท่อสามกลับ มาใช้เพื่อลดการใช้ฟืนและน้ำในขั้นตอนการนึ่งดังกล่าวโดยกลุ่มวิสาหกิจได้ทำการนึ่งโคนเห็ดที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำข้าวเกรียบเห็ด จำนวน 508 กิโลกรัม/ปี โดยทำการนึ่งจำนวน 2 เดือนต่อครั้ง ครั้งละ 85 กิโลกรัม พบว่า ปริมาณการใช้ฟืนในการนึ่งโคนเห็ดเพื่อทำข้าวเกรียบเห็ดนางฟ้าในระยะเวลา5ชั่วโมงต่อครั้งของเตาแบบถัง200ลิตร เปรียบเทียบกับการใช้เตานึ่งแบบท่อ3กลับ สามารถลดการใช้ฟืนได้ถึง 35.6% หรือ 483 กิโลกรัมต่อปี จะเห็นได้ว่าสามารถลดการใช้น้ำได้ถึง 93.59% หรือ 60กิโลกรัมต่อปี โดยค่าความสูญเสียของค่าพลังงานความร้อนในห้องนึ่งเท่ากับ 2.56 MJ. โดยค่าพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 6,233.16 MJ ต่อ ปี

2.2 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ การทำให้แห้งเป็นขั้นตอนหนึ่งในการทำข้าวเกรียบ ซึ่งแต่เดิมนั้นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดบ้านสวนใช้ ผู้วิจัยจึงได้นำนวัตกรรมตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้งเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและแก๊สหุงต้มในขั้นตอนดังกล่าวพบว่า การตากแห้งข้าวเกรียบเห็ดใช้ระยะเวลา 3 วัน คิดเป็น 72 ชั่วโมง โดยมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของ จ. ลำปาง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.61 MJ/m^2-day โดยขนาดของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีความกว้าง 8 เมตร ความยาว 20 เมตร คิดเป็นพื้นที่เท่ากับ 160 m2 เมื่อนำค่าพลังงานของแสงอาทิตย์มาคำนวณโดยนำ 18.61 MJ/m^2-day ×8 m. ×20 m. มีค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 2,977.6 MJ.

2.3 เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง “รุ่นสุดพลัง”ค่าพลังงานความร้อนของเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง “รุ่นสุดพลัง” เท่ากับ 82,817.28 MJ

3. ผลการประหยัดพลังงานทั้งหมดก่อน –หลัง การนำนวัตกรรมเชิงพลังงานมาใช้ในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ด พบว่า ค่าพลังงานทั้งหมดก่อน –หลัง การนำนวัตกรรมเชิงพลังงานมาใช้ในของกระบวนการผลิต ข้าวเกรียบเห็ดสามารถประหยัดพลังงานได้ทั้งหมดเท่ากับ 22,578.96 MJ/Kg-ปี โดยค่าพลังงานรวมทั้งหมด ก่อนใช้นวัตกรรมเท่ากับ 114,607 MJ หลังใช้นวัตกรรมเท่ากับ 92,028.04 MJ /Kg-ปี



ภาพที่ 6แสดงสัดส่วนพลังงานทั้งหมดก่อน –หลัง การนำนวัตกรรมเชิงพลังงานมาใช้ในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ด

เมื่อนำนวัตกรรมเชิงพลังงาน จำนวน 3ชนิด ได้แก่ เตาผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ด แบบท่อ 3 กลับ, ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง“รุ่นสุดพลัง”มาใช้ในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ด พบว่า สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่อปีเท่ากับ 10%

4.ผลการประหยัดพลังงานทั้งหมดก่อน –หลัง การนำนวัตกรรมเชิงพลังงานมาใช้ สามารถลดการใช้แก๊สหุงต้มในกระบวนการผลิต615 kg/ปี คิดเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังนี้

การปล่อยก๊าซเรือนจากการได้มาซึ่ง LPG = 615 x 0.4122 = 253.50 kgCO_2eq/ปี

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ LPG = 615 x 3.1100 =1,912.65 kgCO_2eq/ปี

ดังนั้นสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ = 2,166.15 kgCO_2eq/ปี

เมื่อนำมาคำนวณเป็นการลดใช้พลังงานทั้งหมดในกระบวนการผลิตต่อปี จะได้ว่า

ค่าพลังงาน ในการผลิตข้าวเกรียบเห็ดนางฟ้าต่อถุง=(92,028.04 MJ/ปี)/(7,200 ถุง/ปี) = 12.78 MJ/ปี

ต้นทุนข้าวเกรียบต่อถุง ถุงละ 40 กรัม คิดเป็นเงิน 8 บาท/ถุง

สรุปผลการวิจัย

โครงงานวิจัยเรื่อง การประเมินการจัดการพลังงานด้วยการใช้นวัตกรรมเชิงพลังงานในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมิน การจัดการพลังงานด้วยนวัตกรรมเชิงพลังงานในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเห็ดบ้านสวนแม่ทะ ประกอบด้วย เตาผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบสามกลับ เตาแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลงรุ่นสุดพลัง และตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเพื่อรวบรวมข้อมูลการประเมินนำไปใช้เป็นแนวทางในการขอฉลากคาร์บอนให้กับผลิตภัณฑ์

พบว่า เมื่อนำเตานึ่งเห็ดแบบท่อ 3 กลับมาใช้ในกระบวนการนึ่งโคนเห็ด จะเห็นได้ว่า สามารถลดการใช้ฟืนได้ถึง 35.6% หรือ 483 กิโลกรัม/ปี ลดการใช้น้ำได้ถึง 93.59% หรือ 60กิโลกรัม/ปี เมื่อนำนวัตกรรมเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานในการตากข้าวเกรียบเห็ดดิบมีค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 2,977.6 MJ และเมื่อนำเตาแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง “รุ่นสุดพลัง” มาใช้รวมกับแก๊สหุงต้มในการทอดข้าวเกรียบเห็ด พบว่า สามารถลดปริมาณการใช้
แก๊สหุงต้มได้ถึง 8% ค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งหมดก่อน –หลังการใช้นวัตกรรมเชิงพลังงานมาใช้ในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ด สามารถประหยัดพลังงานได้ทั้งหมดเท่ากับ 22,578.96MJ/kg-ปี และค่าพลังงานรวมทั้งหมด ก่อนใช้นวัตกรรมเชิงพลังงาน เท่ากับ 114,607 MJ.หลังใช้นวัตกรรมเชิงพลังงาน เท่ากับ 92,028.04 MJ /Kg-ปี

ผลการประหยัดการใช้แก๊สหุงต้มในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบทั้งหมดสามารถประหยัดแก๊สหุงต้มได้การทอดซึ่งลดลงได้ 8 ถัง อบแห้งลดลงได้ 33 ถัง รวมลดการใช้แก๊สหุงต้มในกระบวนการทั้งหมด 41 ถัง สามารถ ลดการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ถึง253.50 $kgCO_2eq$ เมื่อคำนวณค่าพลังงานในการผลิตข้าวเกรียบเห็ดนางฟ้าต่อถุงเท่ากับ 12.78 MJ มูลค่าต้นทุนข้าวเกรียบต่อถุง ถุงละ 40 กรัมคิดเป็นเงิน 8 บาทต่อถุง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรูปเห็ดบ้านสวนแม่ทะ จังหวัดลำปาง และกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มส่งเสริมอาชีพเศรษฐกิจพอเพียง (การเพาะเห็ด) ต.บ้านโป่ง อ.งาว จ.ลำปาง ที่ให้ข้อมูลและสถานที่ในการทำวิจัยและทุนสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ประจำปี 2560 ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ฉลากคาร์บอน องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) http://www.tgo.or.th (2550)

[2] สุรเชษฐ์ กล้าณรงค์ และ สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์. (2560).การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพจากระบบยูเอเอสบีขนาดเล็ก.การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่10. 29-30 พฤศจิกายน-1ธันวาคม 2560 : มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

[3] รัตนาวรรณ มั่งคั่ง และคณะ (2554). การวิเคราะห์และจัดการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ข้าวสำหรับการติดฉลากคาร์บอน เพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจคาร์บอนต่ำในการบรรเทาภาวะโลกร้อน. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

[4] วิริยะ อนันต์ประดิษฐ์ และคณะ (2559) .การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการนำผักตบชวาเพื่อผลิตพลังงานทดแทน.การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12. 8-10 มิถุนายน 2559ณ โรงแรม วังจันทน์ริเวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร

ME40

การวิเคราะห์ศักยภาพด้านพลังงานของเปลือกมังคุด

Energypotential Analysis ofMangosteenShell

นรินทร์ ปิ่นแก้ว[1] จอมภพ แววศักดิ์[2] ธีรเดช ใหญ่บก[2] เสริมสุข บัวเจริญ[1] และธเนศ ไชยชนะ[1,]

[1]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่ 50290

[2] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จ.พัทลุง93210

บทคัดย่อ

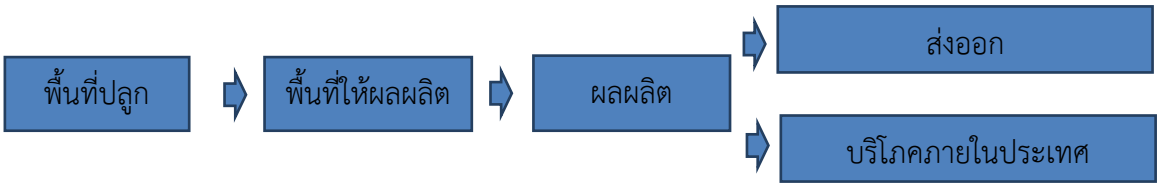
งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพทางด้านพลังงานของเปลือกมังคุดของประเทศไทย โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณเปลือกมังคุดที่ได้จากการบริโภคภายในประเทศ สัดส่วนของเปลือกมังคุดต่อผลมังคุด ความชื้น และค่าความร้อนของเปลือกมังคุด ผลการศึกษาค่าพลังงานที่ได้จากเปลือกมังคุดพบว่าในปี พ.ศ. 2559มีการบริโภคมังคุดในประเทศ 45,321 ตัน คิดเป็นเปลือกมังคุดที่สัดส่วน 69.07±4.12% โดยมวลของมังคุดทั้งผล เทียบเท่ากับ 48,123.83 ตัน ที่ปริมาณความชื้น 67.62% มาตรฐานเปียก หรือ 16,773.41 ตันแห้ง (ความชื้น 7.1%wb) นอกจากนั้นพบว่าค่าความร้อนของเปลือกมังคุดแห้งพบว่ามีค่าเท่ากับ 19,583.50±111.25kJ/kg ดังนั้นศักยภาพทางด้านพลังงานของเปลือกมังคุดแห้งในปี พ.ศ.2559 มีค่าเท่ากับ60.49TJ

คำสำคัญ: เปลือกมังคุด ค่าความร้อน ศักยภาพทางด้านพลังงาน

*Corresponding author: Tel.: 081-5306768. E-mail address: Tanatecha@hotmail.com

บทนำ

มังคุดเป็นผลไม้สำคัญของประเทศไทยซึ่งมีพื้นที่ปลูกมากในภาคใต้และภาคตะวันออกโดยเฉพาะในจังหวัดจันทบุรี ชุมพรและนครศรีธรรมราช และมังคุดจะออกผลผลิตเป็นจำนวนมากในช่วงเดือน พฤษภาคม ถึง สิงหาคม มีอัตราผลผลิตประมาณ 400 – 600 kg/ไร่ และจากรายงานของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรและกรมศุลกากร พบว่าในปี พ.ศ.2555มีผลผลิตมังคุดออกมาเท่ากับ 203,633 ตัน และมีการส่งออก 149,398 คิดเป็น 73.37% ดังแสดงในตารางที่ 1พื้นที่เพาะปลูกและปริมาณผลผลิตมังคุดดังนั้นจะเห็นได้ว่าจากผลผลิตมังคุดที่เกิดขึ้นจะมีผลผลิตส่วนหนึ่งที่ส่งออกและอีกส่วนเป็นการบริโภคภายในประเทศดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งสัดส่วนจะมีความแตกต่างกันในแต่ละปีขึ้นอยู่ภาวะด้านราคาและการตลาด



ภาพที่ 1 การพิจารณาปริมาณมังคุด

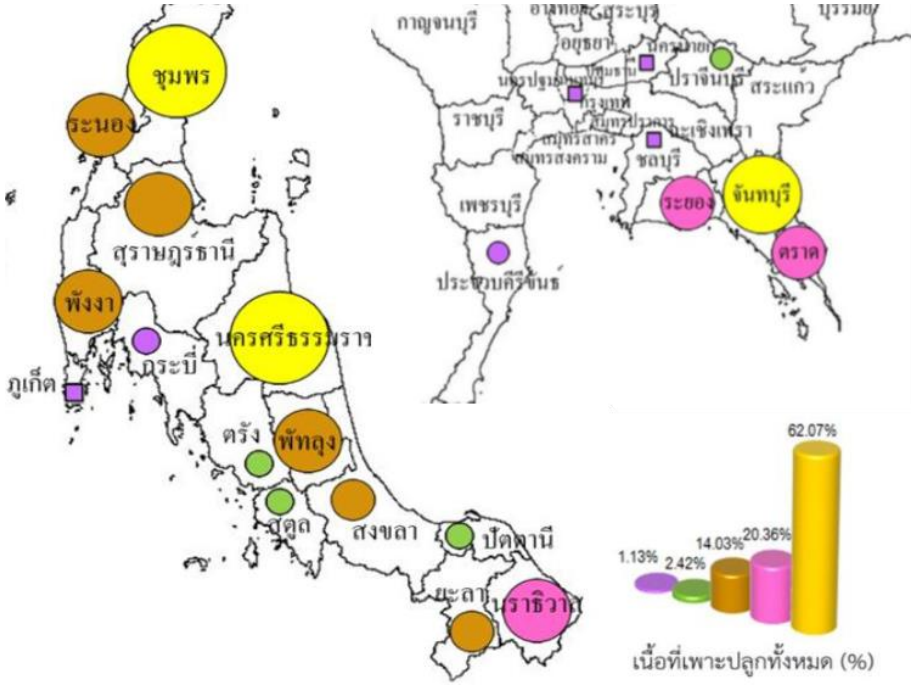
เมื่อพิจารณาพื้นที่เพาะปลูกมังคุดพบว่ามีพื้นที่เพาะปลูกหลักใน 2 แหล่งคือ พื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศในจังหวัดชุมพร นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี พัทลุง พังงา ระนอง จันทบุรี ระนอง และตราด เป็นต้น ดังแสดงภาพที่ 2 ดังนั้นหากมีการจัดเก็บชีวมวลจากมังคุดก็จะสามารถดำเนินการได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามเปลือกของมังคุดจะไม่ได้เกิด ณ พื้นที่เพาะปลูกแต่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีการปริโภค ทั้งนี้ยังมีชีวมวลจากมังคุดประเภทมังคุดตกเกรดที่สามารถทำการจัดเก็บได้ซึ่งวัสดุชีวมวลชนิดนี้จะเกิดขึ้น ณ พื้นที่เพาะปลูก ซึ่งโดยปกติจะมีมังคุดตกเกรดเกิดขึ้นประมาณ 10% ของผลผลิตทั้งหมด

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการประเมินศักยภาพพลังงานของเปลือกมังคุดโดยประเมินจากความน่าจะเป็นในการจัดเก็บได้ในอัตราส่วนต่างๆ ซึ่งพิจารณาจากมังคุดที่บริโภคภายในประเทศ และประเมินศักยภาพพลังงานจากการพิจารณาจากค่าความร้อนของเปลือกมังคุด

ตารางที่ 1 พื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตของมังคุด

ปี พ.ศ.	เนื้อที่ให้ผล (ไร่)[1]	ผลผลิต (ตัน)[1]	อัตราผลผลิต (กก/ไร่)[1]	ปริโภคภายในประเทศ (ตัน)[2]	ส่งออก (ตัน)[2]
2552	399,438	270,554	677	159,254	111,300
2553	405,622	250,508	618	130,936	119,572
2554	410,266	146,315	357	36,800	111,717
2555	406,555	203,633	501	69,674	148,844
2556	409,462	279,263	682	63,398	215,182
2557	412,605	289,359	701	93,521	195,108
2558	414,999	199,861	482	21,171	178,689
2559	441,108	190,899	433	14,285	176,614

ที่มา; [1]ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร และ [2]กรมศุลกากร



ภาพที่ 2 แหล่งเพาะปลูกมังคุดในประเทศไทย

ที่มา; ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. รวบรวมปริมาณของมังคุดที่มีการบริโภคภายในประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 – 2559
2. ประเมินสัดส่วนของเปลือกมังคุดต่อผลมังคุด
3. วิเคราะห์ค่าความชื้นของเปลือกมังคุด
4. วิเคราะห์การศูนย์เสียน้ำ (มวล) ของเปลือกมังคุดในภาวะปรกติใต้ร่มเงาของต้น
5. ประเมินปริมาณของเปลือกมังคุดสดที่เกิดขึ้นทั้งหมด และประเมินปริมาณของเปลือกมังคุดสดที่อัตราการจัดเก็บได้ 25% 50% 75% และ 100%
6. ประเมินปริมาณของเปลือกมังคุดแห้งที่เกิดขึ้นทั้งหมด และประเมินปริมาณของเปลือกมังคุดสดที่อัตราการจัดเก็บได้ 25% 50% 75% และ 100%
7. วิเคราะห์ค่าความร้อนของเปลือกมังคุดโดยวิธีการต้มน้ำ (Water Boiling Test, WBT)
8. วิเคราะห์ค่าความร้อนของเปลือกมังคุดตามมาตรฐานASTM D3173-11 และASTM D5865-11a
9. วิเคราะห์ศักยภาพด้านพลังงานของเปลือกมังคุด

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

อัตราส่วนเปลือกมังคุด

พิจารณามังคุดแต่ละกลุ่มตามความสุก คือ สุกมาก สุก ค่อนข้างสุก และเขียว ซึ่งเป็นมังคุดที่สามารถรับประทานได้แล้ว มาทำการพิจารณาปริมาณโดยมวลของผล เนื้อ และเปลือกดังรูปที่ 3 ทั้งนี้เพื่อพิจารณาถึงความสุกต่อสัดส่วนของเปลือก (โดยมวล) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2 และภาพที่ 4 พบว่า กรณีมังคุดที่มีผลส่วนมากเป็นสีน้ำตาล (สุก) สัดส่วนของเปลือกมีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่า 66.5-67.5 % โดยมวลของมังคุดทั้งผล (เนื้อ+เปลือก) ที่ความชื้น 66.8-67.4% มาตรฐานเปียก และเมื่อพิจารณาที่เปลือกแห้ง (ความชื้น 0%) พบว่าสัดส่วนของเปลือกมีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่า 22-23% โดยมวลของมังคุดทั้งผลมังคุดเขียวมีสัดส่วนโดยมวลของเปลือกที่สูงที่สุดคือเฉลี่ยเท่ากับ 75.23±3.16% โดยมวลของมังคุดทั้งผลที่ความชื้น 69.35±2.22% มาตรฐานเปียก และมวลของเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 22.32±0.48% โดยมวลของมังคุดทั้งผลที่ความชื้น 0%

การพิจารณาศักยภาพด้านปริมาณของเปลือกมังคุดที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถแจกแจงตามระดับความสุกๆ ได้ ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยในการพิจารณาในขั้นตอนต่อๆ ไป นั้นคือ สัดส่วนโดยมวลของเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 69.07±4.12% โดยมวลของมังคุดทั้งผลที่ความชื้น 67.62±1.19%wb และ มวลของเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 22.32±0.48% โดยมวลของมังคุดทั้งผลที่ความชื้น 0%

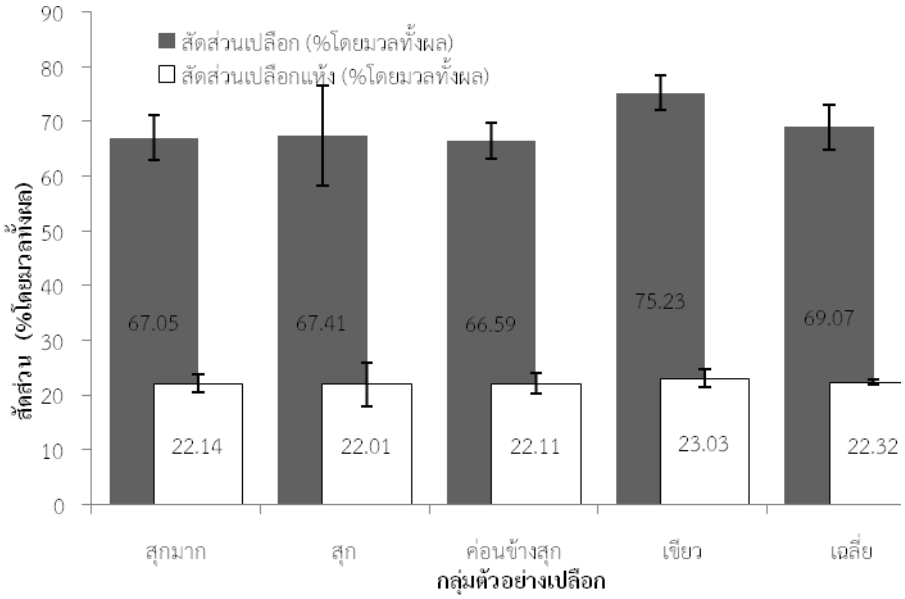


สุกมาก สุก ค่อนข้างสุก เขียว

ภาพที่ 3มังคุดที่นำมาพิจารณาสัดส่วนของเปลือก (มังคุดที่สามารถรับประทานได้)

ตารางที่ 2สัดส่วนเปลือกมังคุด

กลุ่มตัวอย่าง	สัดส่วนมวลเปลือกต่อมวลทั้งผล (%)	สัดส่วนมวลเปลือกแห้งต่อมวลทั้งผล (%)	ความชื้นเปลือก (%wb)
สุกมาก	67.05±4.07	22.14±1.69	66.91±2.82
สุก	67.41±9.13	22.01±3.99	67.40±3.15
ค่อนข้างสุก	66.59±3.29	22.11±1.82	66.80±2.13
เขียว	75.23±3.16	23.03±1.60	69.35±2.22
เฉลี่ย	**69.07±4.12**	**22.32±0.48**	**67.62±1.19**



ภาพที่ 4แสดงสัดส่วนเปลือกมังคุด

ความหนาแน่นของเปลือกมังคุดและการสูญเสียมวล

นำเปลือกมังคุดสดที่ความชื้นเฉลี่ย 67.62±1.19%wb มาทำการศึกษาค่าความหนาแน่นและทำการศึกษาการสูญเสียมวลเมื่อทิ้งไว้ในที่ร่มเงาของต้นไม้ (จำลองมังคุดที่อยู่ใต้โคนต้น) ผลการพิจารณาพบว่าที่ความชื้นเฉลี่ย 67.62±1.19%wb เปลือกมังคุดมีความหนาแน่นเฉลี่ย 443.69±3.77 kg/m^3 ดังแสดงผลในตารางที่ 3

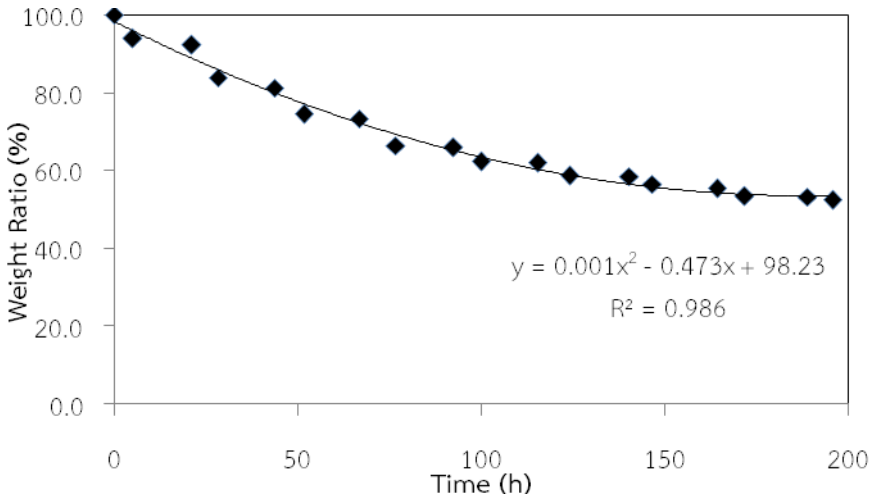
ผลการพิจารณาการสูญเสียมวลเมื่อทิ้งไว้ในที่ร่มเงาของต้นไม้ โดยใช้เวลา 196 ชั่วโมง พบว่าจากมวลเริ่มต้นคิดเป็นอัตราส่วนมวล 100% พบว่าในช่วงแรก (24 ชั่วโมงแรก) มีอัตราการสูญเสียมวลหรือการลดลงของมวลคิดเป็น 5.7% ของมวลในชั่วโมงก่อนหน้า และในช่วงหลังอัตราการสูญเสียมวลหรือการลดลงของมวลคิดเป็น 3.1% ของมวลในชั่วโมงก่อนหน้าทั้งนี้อัตราการสูญเสียมวลของเปลือกมังคุดในที่โล่งแสดงดังภาพที่ 5

ศักยภาพด้านปริมาณของเปลือกมังคุด

จากผลการดำเนินงานในขั้นตอนข้างต้น พบว่าสัดส่วนโดยมวลของเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 69.07±4.12% โดยมวลของมังคุดทั้งผลที่ความชื้น 67.62±1.19%wbและ มวลของเปลือกแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 22.32±0.48% โดยมวลของมังคุดทั้งผลที่ความชื้น 0% ดังนั้นนำมาพิจารณาศักยภาพทางด้านปริมาณของเปลือกมังคุดทั้งกรณีเปลือกมังคุดสด (ความชื้น 67.62±1.19%wb) และเปลือกมังคุดแห้ง (ความชื้น 7.1%wb) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 โดยผลการประเมินพบว่าในแต่ละปีศักยภาพทางด้านปริมาณของเปลือกมังคุดจะขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตและปริมาณการส่งออก (ส่วนที่ส่งออกไม่สามารถนำมาประเมินปริมาณเปลือก) และในตารางที่ 4 ได้แสดงศักยภาพทางด้านปริมาณในกรณีที่อัตราการจัดเก็บได้ในอัตราต่างๆ กัน

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นของเปลือกมังคุดสด (ความชื้นเฉลี่ย 67.62±1.19% มาตรฐานเปียก)

กลุ่มตัวอย่างที่	ความหนาแน่น (kg/m^3)
1	442.43
2	450.27
3	443.10
4	441.70
5	440.93
เฉลี่ย	**443.69±3.77**



ภาพที่ 5ลักษณะการสูญเสียน้ำ (มวล) ของเปลือกมังคุดในที่โล่ง

ศักยภาพพลังงานของเปลือกมังคุด

ผลการทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงโดยวิธีการต้มน้ำ (WBT) พบว่าเปลือกมังคุดมีค่าความร้อนเฉลี่ย 14,781.30±1,393.76kJ/kg สำหรับการทดสอบโดยวิธีการตามมาตรฐาน ASTM D3173-11 และASTM D5865-11a โดยส่งทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่าเปลือกมังคุดมีค่าความร้อน 19,583.50±111.25kJ/kg

ผลการประเมินศักยภาพพลังงานของเปลือกมังคุดของประเทศไทยแสดงดังตารางที่ 4 โดยพบว่าในปี พ.ศ. 2555 มีศักยภาพพลังงานเท่ากับ 328.48TJ ที่อัตราการจัดเก็บ 100% และมีค่าน้อยลงที่อัตราการจัดเก็บที่น้อยลง ซึ่งที่อัตราการจัดเก็บได้ที่ 25% จะมีศักยภาพพลังงานเท่ากับ 82.12TJ จากข้อมูลในตารางที่ 1 และ 4 รวมกับข้อมูลราคาขายของมังคุด พบว่า ในปีที่ราคาขายมังคุดสดสูง นั้นมีผลเนื่องจากความต้องการของต่างประเทศสูง หรือมีการส่งออกที่สูง ดังนั้นปริมาณมังคุดที่เหลือบริโภคในประเทศก็จะมีปริมาณที่ต่ำ จึงส่งผลให้ปริมาณของเปลือกมังคุดที่เกิดขึ้นในประเทศมีค่าต่ำลง ดังผลการประเมินในปี พ.ศ.2559 ที่มีปริมาณเปลือกมังคุดเกิดขึ้นในประเทศ 3,088.91 ตัน (ความชื้น 7.1% wb) และเมื่อประเมินเป็นพลังงานจะมีค่าเท่ากับ 60.49TJ

ตารางที่ 4ศักยภาพด้านพลังงานของเปลือกมังคุดของประเทศไทย

ปี พ.ศ.	ผลผลิตมังคุด (ตัน)	ปริมาณที่บริโภคภายในประเทศ (ตัน)	ปริมาณเปลือกมังคุด(x1,000 ตัน)* สัดส่วนการจัดก็บ				ศักยภาพพลังงานเปลือกมังคุด (TJ) สัดส่วนการจัดก็บ			
			0.25	0.50	0.75	1.00	0.25	0.50	0.75	1.00
2552	270,554	159,254	8.61	17.22	25.83	34.44	168.59	337.19	505.78	674.38
2553	250,508	130,936	7.08	14.16	21.23	28.31	138.62	277.23	415.85	554.46
2554	146,315	36,800	1.99	3.98	5.97	7.96	38.96	77.92	116.87	155.83
2555	203,633	69,674	3.77	7.53	11.30	15.07	73.76	147.52	221.28	295.04
2556	279,263	63,398	3.43	6.85	10.28	13.71	67.12	134.23	201.35	268.46
2557	289,359	93,521	5.06	10.11	15.17	20.22	99.01	198.01	297.02	396.02
2558	199,861	21,171	1.14	2.29	3.43	4.58	22.41	44.83	67.24	89.65
2559	190,899	14,285	0.77	1.54	2.32	3.09	15.12	30.25	45.37	60.49

* ความชื้น 7.1% wb

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อประเมินศักยภาพพลังงานของเปลือกมังคุดในประเทศไทย สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตของเปลือกมังคุดที่เกิดขึ้นในประเทศประกอบด้วยราคาของผลมังคุดปริมาณการส่งออกและอัตราการจัดได้
2. สัดส่วนโดยมวลของเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 69.07±4.12% โดยมวลของมังคุดทั้งผลที่ความชื้น 67.62±1.19%wb และมวลของเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 22.32±0.48% โดยมวลของมังคุดทั้งผลที่ความชื้น 0%
3. เปลือกมังคุดมีความหนาแน่นเฉลี่ย443.69±3.77 kg/m^3ที่ความชื้นเฉลี่ย67.62±1.19%มาตรฐานเปียก
4. ค่าความร้อนของเปลือกมังคุดแห้งมีค่าเท่ากับ19,583.50±111.25kJ/kg
5. ปีพ.ศ.2559มีการบริโภคมังคุดในประเทศ14,285 ตันคิดเป็นเปลือกมังคุดเท่ากับ3,088.91 ตันที่ปริมาณความชื้น67.62%มาตรฐานเปียกหรือ16,773.41ตันที่ความชื้น7.1%มาตรฐานเปียก
6. ศักยภาพทางด้านพลังงานของเปลือกมังคุดแห้งในปีพ.ศ.2559มีค่าเท่ากับ60.49TJ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Sustainable Energy Technology Research Laboratory, SRE, MJU (SETR-Lab)
ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ (วิทยาเขตพัทลุง)
กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, รายงานข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจการเกษตรปี 2555

[2] พงษ์ศักดิ์จิตตบุตร, สมบัติบางประการของแท่งเชื้อเพลิงแข็งจากแกลบผสมกลีเซอรีน, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยทักษิณวิทยาเขตพัทลุง, 2551

[3] รุ่งโรจน์พุทธีสกุล.(2553). การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสาปะหลัง. ปริญญานิพนธ์กศ.ม (อุตสาหกรรมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[4] ประสานสถิตย์เรืองศักดิ์และคณะ (2547). การผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชันโดยใช้โมลาสเป็นตัวประสาน. กรุงเทพฯ: คณะพลังงานและวัสดุมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าธนบุรี.

[5] พุทธิธรแสงรุ่งเรืองและคณะ (2549). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้พื้นที่จังหวัดนนทบุรี. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.

[6] อภิรักษ์สวัสดิ์กิจและคณะ (2551). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมซังข้าวโพดและกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่นโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน.กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีปทุม

[7] Husain.Z., Zainac., Z. and Abdullah., Z. (2002). Briquetting of plam fiber and shell from the processing of plam nut to plam Oil. Biomass and Bioenergy, 22,505-509.

[8] ธวัชชัยเทพนวล, สุวิทย์เพชรห้วยลึกและปิติพานิชายุนนท์, การผลิตอิฐดินซิเมนต์ผสมเปลือกมังคุด, เอกสารในงาน Thailand Research Expo 2011, สถาบันวิจัยแห่งชาติ (วช.), กรุงเทพมหานคร

[9] http://www.otopnetwork.com/index.php?option=com_content&task=view&id=45&Itemid=70 [1/20/2013]

[10] ธเนศไชยชนะและมัสยาหลงสมัน.(2554). การศึกษาองค์ประกอบที่ติดไฟได้และค่าความร้อนของถ่านไม้อัดแท่ง. ปริญญานิพนธ์วท.บ(ฟิสิกส์ประยุกต์- พลังงาน).พัทลุง: มหาวิทยาลัยทักษิณ.

[11] ธีรพจน์พุทธิกีกฎวีวงศ์.(2549).ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากต้นถั่วเหลือง.ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. สืบค้นเมื่อ22 พฤษภาคม2556

[12] ศุภวิทย์ลวณะสกล, ชูกฤษเขียวเพชร, วิษณุธรเอี่ยมประชาและวุฒิชัยเพชรเกื้อ,2546,ปริญญานิพนธ์เรื่องการศึกษาเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดดาวน์ดราฟท์,ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีจ.ปทุมธานี, 2546

[13] อัจฉราอัศวรุจิกุลชัย (2555).ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง.สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม2556

ME47

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณการใช้แก๊สหุงต้ม ของหัวเตาต้นแบบ J-160 และเตา KB-10

Comparison of the Efficiency of Reducing LPG consumption of the KB-10 and J-160

พรหมพักตร์ ดาวัลต์[1*] ชัยวัฒน์ กัลยาพรม[1] เหมือนขวัญ พันธุ์เมือง[1] ชูพงศ์ ไชยหลาก[2] อรณัญช์ ทองกร[2]
และกวีพจน์ วรเนตรสุทธิกุล[3]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี กรุงเทพฯ 10170

[2] แผนกวิจัยและตรวจทดลอง กรมพลาธิการทหารอากาศ กองทัพอากาศ กรุงเทพฯ 10210

[3] สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพฯ 10210

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาการลดการใช้แก๊สหุงต้มระหว่างหัวเตาต้นแบบ J-160 และหัวเตาแบบเดิม KB-10 โดยการต้มน้ำเปล่าปริมาณ 6 ลิตร ณ ความดันแก๊สที่ 35 ปอนด์/ตารางนิ้ว จากการนำเตาต้นแบบให้หน่วยประกอบอาหารกองพันทหารอากาศโยธิน 2 กรมทหารอากาศโยธินรักษาพระองค์ ทำการทดลองเพื่อบันทึกปริมาณการใช้แก๊ส พบว่าหัวเตาต้นแบบ J-160 ใช้เวลาในการต้มน้ำเปล่าจากอุณหภูมิห้อง จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 95 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2.5 นาที ใช้ปริมาณแก๊สไป 22 มิลลิลิตร และหัวเตาแบบ KB-10 ใช้เวลาในการต้มน้ำเปล่าจากอุณหภูมิห้อง จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 95 องศาเซลเซียสเช่นกัน แต่ใช้ระยะเวลา 3 นาที และใช้ปริมาณแก๊สไป 42 มิลลิลิตร จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่าการใช้เตาหุงต้มหัวเตาแบบ KB-10 ใช้ปริมาณแก๊สไป 42 มิลลิลิตร และหัวเตาแบบ J-160 ใช้ปริมาณแก๊สไป 22 มิลลิลิตร ซึ่งน้อยกว่าหัวเตาแบบ KB-10 อยู่ 20 มิลลิลิตร นำมาคำนวณประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน พบว่าหัวเตาแบบ J-160 สามารถลดปริมาณแก๊สได้มากกว่าฐานหัวเตาแบบ KB-10 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์อยู่ที่ 52.38 เปอร์เซ็นต์ และทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยการคำนวณค่า ได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อยู่ที่ 82,000 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เป็น 20.4 เปอร์เซ็นต์ และค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C radio) เท่ากับ 1.33

คำสำคัญ: หัวเตาแบบK-10, หัวเตาแบบ J-160, แก๊สหุงต้ม

*Corresponding author: Tel.: 095-361-1555. E-mail address: Promphak.dawan@gmail.com

บทนำ

กรมพลาธิการทหารอากาศ มีหน้าที่ในการวางแผนการปฏิบัติ อำนวยการ ประสานงาน ติดตาม กำกับการพัฒนาและดำเนินการเกี่ยวกับกิจการด้านพลาธิการ การโภชนาการและบริการ และการพัสดุพลาธิการ กับมีหน้าที่จัดการความรู้ ควบคุม ประเมินผล และตรวจตรากิจการในสายวิทยาการด้านพลาธิการและพัสดุ มีเจ้ากรมพลาธิการทหารอากาศเป็นผู้บังคับบัญชารับผิดชอบ และอยู่ภายใต้สังกัดของกองทัพอากาศ

หนึ่งในภารกิจของกรมพลาธิการทหารอากาศ คืองานด้านโภชนาการและบริการ ซึ่งจัดขึ้นที่โรงเลี้ยงทหารของกองทัพอากาศ ภายในโรงจัดเลี้ยงนั้น จะมีอุปกรณ์ที่สำคัญในการประกอบอาหาร นั้นก็คือเตาแก๊สหุงต้ม ซึ่งในแต่ละปีกองทัพอากาศได้เสียงบปริมาณในการจัดซื้อแก๊สหุงต้มจำนวนมาก และอีกทั้งเมื่อใช้งานเตาแก๊สหุงต้มไปเป็นระยะเวลา 1 ปี จะพบว่าเตาแก๊สหุงต้มเริ่มมีการผุกร่อนของหัวเตา และมีการใช้ปริมาณของแก๊สที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้มีการใช้งบประมาณจัดซื้อแก๊สหุงต้มและซ่อมบำรุงหัวของเตาแก๊สเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัย จึงได้ร่วมกับแผนกวิจัยและตรวจทดลอง ของกรมพลาธิการทหารอากาศ กองทัพอากาศได้คิดค้น ปรับปรุง และพัฒนาหัวเตาแก๊สหุงต้ม เพื่อให้สามารถลดปริมาณแก๊สหุงต้ม ภายในโรงเลี้ยงของกองทัพอากาศและยืดอายุการใช้งานของหัวเตาแก๊สหุงต้มให้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดงบประมาณในการจัดซื้อแก๊สหุงต้มในแต่ละปี และลดงบประมาณการจัดซื้อและซ่อมบำรุงในส่วนของหัวเตาแก๊ส จะได้นำงบประมาณไปพัฒนาในส่วนอื่นของกองทัพอากาศต่อไป

วิธีการวิจัย

ทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

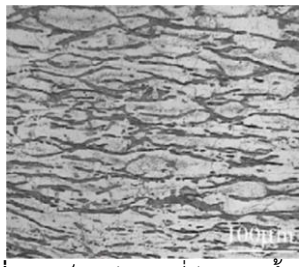
1.1 ศึกษาพื้นฐานทางวัสดุที่นำมาใช้เป็นหัวเตา

1.1.1 เหล็กหล่อเทา (Gray cast iron)

เป็นเหล็กหล่อโครงสร้างทางจุลภาคภายหลังการหล่อมา จะประกอบไปด้วยเฟสกราฟไฟต์และโครงสร้างพื้นฐานจำพวกเฟอร์ไรท์ หรือเพริท์ไรท์ หรือทั้งเฟอร์ไรท์ และเพริท์ไรท์ สาเหตุที่เรียกชื่อว่าเหล็กหล่อเทาเพราะผิวชิ้นงานที่เกิดการแตกหักจะมีสีเทา[1] พื้นผิวของเหล็กหล่อเทาที่ผ่านการขึ้นรูปแสดงดังภาพที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทั่วไปของเหล็กหล่อเทา

คุณสมบัติทั่วไปของเหล็กหล่อเทา
- มีความแข็งไม่สูงสามารถกลึงใส ตกแต่งให้ได้ขนาดตามต้องการได้ง่าย
- มีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ และมีความสามารถในการไหลดีสามารถหล่อให้ได้รูปร่างชนิดซับซ้อนได้ง่าย
- มีอัตราการขยายตัวน้อย สามารถใช้ทำส่วนประกอบของเครื่องจักรกลที่ต้องการรูปร่างและขนาดที่แน่นอน
- มีความต้านทานต่อแรงอัด และรับการสั่นสะเทือนได้ดี ใช้ทำแท่นรองรับอุปกรณ์เครื่องมือกลต่าง ๆ
- สามารถที่จะปรับปรุงคุณสมบัติความต้านทานแรงดึงได้มากขึ้นอยู่กับการปรับปรุงส่วนผสมและการอบชุบทำให้ใช้งานได้กว้างขวาง



ภาพที่ 1 เหล็กหล่อเทาที่ผ่านการขึ้นรูป [2]

1.2 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง [3]

ทฤษฎีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

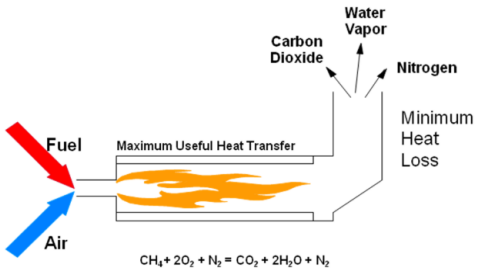
1.2.1 การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ สมการเคมีที่สมดุลที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการเผาไหม้แสดงดังสมการที่ 1-3

$$C + O_2 = CO_2 + HEAT \quad (1)$$

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O + HEAT \quad (2)$$

$$S + O_2 = SO_2 + HEAT \quad (3)$$

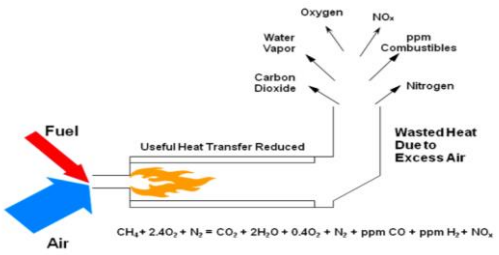
เตาเผาที่มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ จะเห็นได้ว่าสมการด้านล่างภาพที่ 2 หลังจากการทำปฏิกิริยาแล้วคือ $CO_2 + 2H_2O + N_2$ ซึ่งเป็นไปตามสมการเคมีที่สมดุลที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการเผาไหม้ และจะได้สิ่งที่ออกมาจากปล่องหลังการเผาไหม้คือ CO_2, H_2O, N_2 ทำให้ได้พลังงานสูงสุดคือ 23,861 BTU/lb



ภาพที่ 2 กระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์[3]

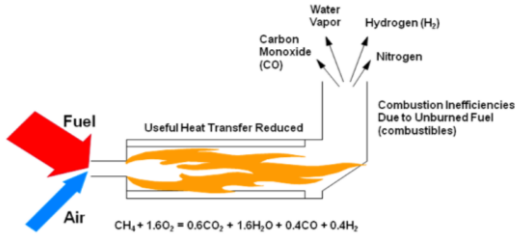
1.2.2 การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์แบบใช้อากาศมากเกินไป

ภาพที่ 3 เป็นเตาเผาที่มีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์แบบใช้อากาศมากเกินไป จะเห็นได้ว่าสมการด้านล่างภาพหลังจากการทำปฏิกิริยาแล้วคือ $CO_2 + 2H_2O + 0.4O_2 + N_2 + ppm\ CO + ppm\ H_2 + NOX$ ซึ่งมีก๊าซที่ไม่ได้อยู่ในสมการเคมีที่สมดุลได้แก่ 0.4O2, ppm CO, ppm H2, NOX ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเป็นผลให้ได้พลังงานลดลงเหลือ 22,500 BTU/lb สูญเสีย 5.7%



ภาพที่ 3 กระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์แบบใช้อากาศมากเกินไป [3]

1.2.3 การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์แบบใช้เชื้อเพลิงมากเกินไป

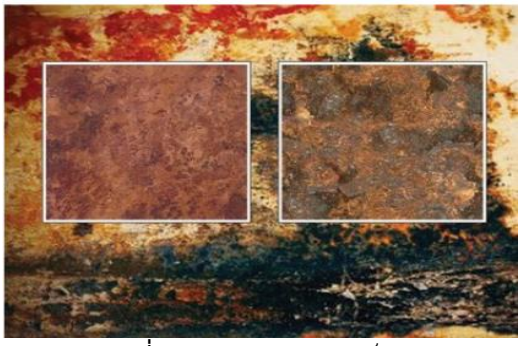


ภาพที่ 4 กระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์แบบใช้เชื้อเพลิงมากเกินไป [3]

จากภาพที่ 4 เป็นเตาเผาที่มีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์แบบใช้เชื้อเพลิงมากเกินไป จะเห็นได้ว่าสมการด้านล่างภาพหลังจากการทำปฏิกิริยาแล้วคือ $0.6CO_2 + 1.6H_2O + 0.4CO + 0.4H_2$ ซึ่งมีก๊าซที่ไม่ได้อยู่ในสมการเคมีที่สมดุลได้แก่ $0.4CO$, $0.4H_2$ ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเป็นผลให้ได้พลังงานลดลงเหลือ 15,500 BTU/lb สูญเสีย 35%

1.3 การเกิดสนิมและการผุกร่อนของวัสดุ

สนิม (rust) เป็นโลหะส่วนที่มีการเปลี่ยนสภาพไปจากเดิม เนื่องจากได้รับปฏิกิริยาเคมีที่มีอากาศ น้ำ หรือความร้อนเป็นตัวการสำคัญทำให้โลหะมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิม เช่น สีที่เปลี่ยนไป มีความแข็งแรงลดลง และทำให้เกิดการผุกร่อน ตัวอย่างที่เราพบเห็นอยู่บ่อย ๆ ได้แก่ เหล็ก จะมีสนิมอยู่ 2 ชนิด คือ สนิมสีน้ำตาลอมแดง หรือ สนิมสีแดง และสนิมสีดำ นอกจากนี้โลหะแต่ละชนิดจะมีสีสนิมที่แตกต่างกันด้วย เป็นปฏิกิริยาที่พบเห็นได้ง่ายๆ กับสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบ แต่เป็นปฏิกิริยาที่ แก๊ส NO_2 ในอากาศ เมื่อถูกแสดงอาทิตย์จะสลายตัวเป็นแก๊ส NO และอะตอมอิสระของออกซิเจน เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ อาจจะกินเวลายาวนาน เกิดขึ้นเมื่อมีเหล็กสัมผัสกับน้ำและความชื้น โดยจะค่อยๆ สึกกร่อน ซึ่งสามารถรวมตัวกับแก๊ส O_2 เป็น O_3 กลายเป็นเหล็กออกไซด์ หรือที่เรารู้จักกันว่า สนิมเหล็ก ($Fe_2O_3.H_2O$) สังเกตได้จากสีและลักษณะอื่น ๆ ที่แตกต่างจากเหล็ก (Fe) [4] ปฏิกิริยาการเกิดสนิมของเหล็กแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเกิดสนิมของเหล็ก [4]

1.4 หลักการคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตา

หลักการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน ในกรณีศึกษางานวิจัยนี้ใช้หลักการ การทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเตาหุงต้มในครัวเรือนใช้กับก๊าซปิโตรเลียมเหลว” (มอก.2312-2549) เฉพาะการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มในครัวเรือนใช้กับก๊าซปิโตรเลียมเหลว จะประหยัดพลังงานประสิทธิภาพสูง ต้องมีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนตั้งแต่ร้อยละ 53.0 ขึ้นไป/1 หัวเตา[5] สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน ได้ดังสมการ (4)

$$\eta = \frac{m \times C \times (t_2 - t_1)}{V \times Q} \times \frac{t_g}{298} \times \frac{101.3}{B + P_m - S} \times 100 \qquad (4)$$

เมื่อ η คือ ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเป็นร้อยละ

m คือ มวลของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ (กิโลกรัม)

C คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำที่ใช้ทดสอบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.004186 เมกะจูลต่อกิโลกรัม-เคลวิน

t_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (เคลวิน)

t_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ (เคลวิน)

V คือ ปริมาณของก๊าซที่ใช้ทดสอบ (ลูกบาศก์เมตร)

Q คือ ค่าความร้อนทางต่ำของก๊าซที่ใช้ทดสอบ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรที่ความดัน 101.3 กิโลพาสคัลและอุณหภูมิ 298 เคลวิน)

T_g คือ อุณหภูมิของก๊าซทดสอบในมาตรวัดปริมาณก๊าซในระหว่างทดสอบ (เคลวิน)

B คือ ความดันบรรยากาศในขณะทดสอบ (กิโลพาสคัล)

P_m คือ ความดันของก๊าซทดสอบในมาตรวัดปริมาณก๊าซในระหว่างทดสอบ (กิโลพาสคัล)

S คือ ความดันของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิ t_g (กิโลพาสคัล)

1.5 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ [6]

1.5.1 การคำนวณหาค่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์และต้นทุนของโครงการในแต่ละปี สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5

$$NPV = \sum_{t=o}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (5)$$

โดย n = จำนวนปีที่ใช้ประเมินโครงการ

Bt = ผลประโยชน์ในปีที่ t

Ct = ต้นทุนในปีที่ t

r = อัตราส่วนลด

ถ้า NPV > 0 แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

1.5.2 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) หมายถึงอัตราคิดลด (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์เท่ากับมูลค่า สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$IRR = \sum_{t=o}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=o}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} \quad (6)$$

หรือ

$$NPV = \sum_{t=o}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} = 0$$

โดยที่ i คือ IRR อัตราผลตอบแทนภายใน

ปัจจุบันของต้นทุน ถ้า IRR มีค่ามากกว่าต้นทุนของเงินลงทุน แสดงว่าโครงการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

1.5.3 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio:B/C ratio) เป็นดัชนีทางเศรษฐกิจที่แสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนของมูลค่าเงินปัจจุบันของผลประโยชน์กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนโครงการ โดยค่า B/C มากกว่า 1 หมายถึงโครงการจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าที่จะลงทุน

$$\frac{B}{C} = \frac{B_o + \frac{B_1}{(1+r)} + \frac{B_2}{(1+r)^2} + \ldots + \frac{B_n}{(1+r)^n}}{C_o + \frac{C_1}{(1+r)} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \ldots + \frac{C_n}{(1+r)^n}} \quad (7)$$

B/C วัดอัตราผลตอบแทนของการลงทุน ทำการลงทุนเมื่อค่า B/C > 1

B/C ไม่สามารถขนาดของการเพิ่มสวัสดิการได้

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณการใช้แก๊สหุงต้มระหว่างหัวเตาแบบ KB-10 แสดงดังภาพที่ 6 และหัวเตาแบบ J-160 โดยการต้มน้ำเปล่าปริมาณ 6 ลิตร ณ ความดันแก๊สที่ 35 ปอนด์/ตารางนิ้ว ตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งอุณหภูมิถึง 95 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 นาที และทำการเปรียบเทียบปริมาณแก๊สหุงต้มที่ใช้ในการหุงต้ม แสดงดังตาราง



(ก)



(ข)

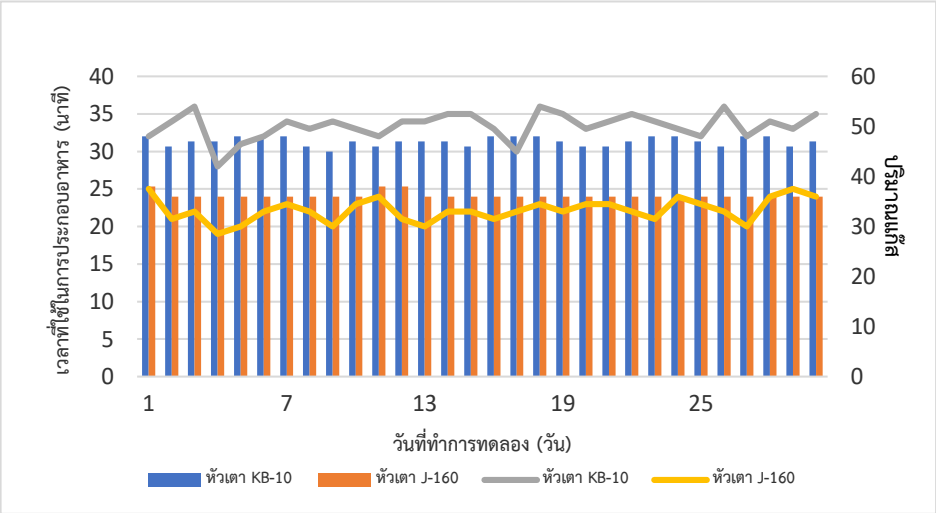
ภาพที่ 6 (ก) Self-aspirating burner KB-10 (ข) Self-aspirating burner J-160

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้แก๊ส ของหัวเตา KB-10 และ หัวเตา J-160

หัวเตา	ปริมาตรน้ำที่ใช้ (ลิตร)	อุณหภูมิ (°C) ก่อนต้ม	อุณหภูมิ (°C) หลังต้ม	แรงดันแก๊ส (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	เวลาที่ใช้ (นาที)	ปริมาณการใช้แก๊ส (มิลลิลิตร)
หัวเตา K-10	6	35.4	95	35	3	42
หัวเตา J160	6	35.4	95	35	2.5	22

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า หัวเตา J-160 ใช้แก๊สในการต้มน้ำ ณ อุณหภูมิห้อง จนถึง 95 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณแก๊สไป 22 มิลลิลิตร ซึ่งน้อยกว่า หัวเตาแบบ KB-10 ที่ใช้ปริมาณแก๊สไป 42 มิลลิลิตร และหัวเตา J-160 ใช้แก๊สในการต้มน้ำ ณ อุณหภูมิห้อง จนถึง 95 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2.5 นาที ซึ่งน้อยว่า หัวเตาแบบ KB-10 ที่ใช้เวลา 3 นาที อยู่ 30 วินาที

ทำการทดลองใช้หัวเตาทั้งสองแบบ ประกอบอาหารในโรงเลี้ยงทหารจริง เป็นเวลา 1 เดือนแล้วเปรียบเทียบปริมาณการใช้ปริมาณแก๊สของหัวเตาทั้งสองแบบ และทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประกอบอาหาร แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้แก๊ส และเวลาที่ใช้ในการประกอบอาหาร ในการประกอบอาหารที่โรงเลี้ยงทหารกองทัพอากาศ เป็นเวลา 1 เดือน ของหัวเตา KB-10 และ หัวเตา J-160

และเมื่อนำหัวเตาทั้งสองไปใช้ในการประกอบอาหารของโรงเลี้ยงทหารจริงเป็นเวลา 1 เดือน พบว่า หัวเตา J-160 ใช้ปริมาณแก๊สอยู่ที่ 1,086 มิลลิลิตร และหัวเตา KB-10 1,141 มิลลิลิตร เมื่อใช้หัวเตา J-160 และเวลาที่ใช้ในการประกอบอาหาร หัวเตา J-160 ใช้เวลา 665 นาที และหัวเตา KB-10 ใช้เวลา 1002 นาที จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้หัวเตา J-160 สามารถประหยัดพลังงานและประหยัดเวลาในการทำอาหารได้อีกด้วย

และทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยการคำนวณค่า ได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อยู่ที่ 82,000 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เป็น 20.4 เปอร์เซ็นต์ และค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C radio) เท่ากับ 1.33 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่าค่า NPV มีค่ามากกว่า 0 IRR มากกว่าร้อยละ 30 และ B/C ratio มากกว่า 1 ถือการใช้หัวเตาแบบ J160 สามารถประหยัดงบประมาณได้มากกว่าการใช้หัวเตา แบบ KB10

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณการใช้แก๊สหุงต้มของหัวเตา KB-10 และหัวเตา J-160 ทำการเก็บผลการวิจัย พบว่าหัวเตาแบบ J-160 สามารถประหยัดแก๊สหุงต้มได้มากกว่าหัวเตาแบบ KB-10 และเมื่อทำการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการใช้หัวเตาทั้งสองพบว่า หัวเตาแบบ หัวเตาแบบ J-160 มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ที่ 58 เปอร์เซ็นต์ และหัวเตาแบบ KB10 อยู่ที่ 36.2 และจากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณการใช้แก๊สหุงต้มระหว่างหัวเตาแบบ KB-10 และหัวเตาแบบ J-160 โดยการต้มน้ำเปล่าปริมาณ 6 ลิตร ณ ความดันแก๊สที่ 35 ปอนด์/ตารางนิ้ว ตั้งแต่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 95 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3 นาที จากผลการทดลองพบว่า หัวเตา J-160 ใช้แก๊สในการต้มน้ำ ณ อุณหภูมิห้อง จนถึง 95 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณแก๊สไป 22 มิลลิลิตร ซึ่งน้อยกว่า หัวเตาแบบ KB-10 ที่ใช้ปริมาณแก๊สไป 42 มิลลิลิตร และหัวเตา J-160 ใช้แก๊สในการต้มน้ำ ณ อุณหภูมิห้อง จนถึง 95 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2.5 นาที ซึ่งน้อยว่า หัวเตาแบบ KB-10 ที่ใช้เวลา 3 นาที อยู่ 30 วินาที และเมื่อนำหัวเตาทั้งสองไปใช้ในการประกอบอาหารของโรงเลี้ยงทหารจริงเป็นเวลา 1 เดือน พบว่า หัวเตา J-160 ใช้ปริมาณแก๊สอยู่ที่ 1,086 มิลลิลิตร และหัวเตา KB-10 1,141 มิลลิลิตร เมื่อใช้หัวเตา J-160 ลดปริมาณแก๊สได้ 55 มิลลิลิตร และเวลาที่ใช้ในการประกอบอาหาร หัวเตา J-160 ใช้เวลา 665 นาที และหัวเตา KB-10 ใช้เวลา 1002 นาที จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้หัวเตา J-160 สามารถลดเวลาในการประกอบอาหาร 337 นาที และทำการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยการคำนวณค่า ได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อยู่ที่ 82,000 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เป็น 20.4 เปอร์เซ็นต์ และค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C radio) เท่ากับ 1.33 ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณกรมพลาธิการทหารอากาศที่ได้ให้สนับสนุนด้านการสร้างฐานเตา และเอื้อเฟื้อสถานที่ให้คณะผู้วิจัยได้เก็บผลการทดลอง และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรีที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] รัตน บริสุทธิกุล และ อุษณีย์ กิตกำธร. **โลหกายภาพ3**. หน่วยวิจัยการประยุกต์ใช้ความรู้ทางโลหะวิทยาสาหรับการขึ้นรูปโลหะ (IMIARU) สาขาวิชาวิศวกรรมโลหะการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[2] Wang Wei, Jing Tianfu, et.,al., Properties of a gray cast iron with oriented graphite flakes, J. of Materials Proc. Tech. 182, 2007, 593-597.

[3] การเผาไหม้เชื้อเพลิง[ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2561 สืบค้นจาก:http://www.unithai.co.th/knowledge-detail.php?id=811.

[4] ปฏิกิริยาการเกิดสนิมเหล็กและการผุกร่อนของโลหะ[ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2561 สืบค้นจาก: http://www.krusarawut.net/wp/?p=17662.

[5] การทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน, “มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเตาหุงต้มในครัวเรือนใช้กับก๊าซปิโตรเลียมเหลว” (มอก.2312-2549) เฉพาะการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อน เอกสารประกอบ 2 หน้าที่ 1 - 4.

[6] เยาวเรศ ทับพนธุ์ (2551). การประเมินโครงการตามแนวทางเศรษฐศาสตร์.กรุงเทพฯ: สานักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ME62

การประยุกต์ใช้เครื่องอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรดระยะไกลเพื่อลดการใช้พลังงานในการผลิตกะหรี่ปั๊บ

Application of Far Infrared Radiation Oven to Decrease Energy in Curry Puff Production

ปรีชา ศรีประภาคาร[1*] ปิยณัฐ หงส์กังวาน[2] และพิสิษฏ์ มณีโชติ[2]
[1] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150
[2]วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เพื่อศึกษาปริมาณการใช้แก๊สหุงต้มของเครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลในการอบผลิตภัณฑ์แทนการทอดด้วยน้ำมัน โดยมีกลุ่มเป้าหมายคือ วิสาหกิจ อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี ซึ่งได้มีการผลิตกะหรี่ปั๊บโดยใช้วิธีการทอดด้วยน้ำมัน ซึ่งใช้ปริมาณแก๊สหุงต้มสูงถึง 1.2 กิโลกรัมต่อรอบ ซึ่งเป้าหมายของการนำเครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลมาประยุกต์ใช้นั้นเพื่อต้องการลดปริมาณการใช้แก๊สหุงต้ม เพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานในการผลิตและเพิ่มคุณภาพของกะหรี่ปั๊บ ผลการศึกษาพบว่าหลังจากการใช้เครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลนั้นใช้ปริมาณแก๊สหุงต้มเพียง 0.8 กิโลกรัมต่อรอบ ซึ่งปริมาณการใช้แก๊สหุงต้มในการผลิตนั้นลดลงถึงร้อยละ 33 ต่อรอบ คุณภาพของกะหรี่ปั๊บที่ได้นั้นมีระดับความพึงพอใจมากและคุณภาพของกะหรี่ปั๊บที่ได้ ทั้งสี กลิ่นและรสชาติที่ผลิตออกมามีความสม่ำเสมอมากกว่าการทอดแบบเดิม

คำสำคัญ: รังสีอินฟราเรดระยะไกล แก๊สหุงต้ม กะหรี่ปั๊บ

Abstract

The purpose of this research is to study the amount of LPG using in the Far Infrared Radiation (FIR) Oven to baked curry puff compare with traditional fired. Focus on curry puff production of small and micro community enterprise in MuakLek district saraburi province. The traditional fired use LPG 1.2 kg. The aim of application FIR oven to decrease amount of LPG , energy cost and improve the curry puff quality. The result show that FIR oven used LPG is 0.8 KG and decrease LPG in production 33 percentage. The curry puff quality have is a high level satisfaction. The characteristics of curry puff as color and taste are better than traditional fired.

Keyword: Far Infrared Radiation (FIR), LPG, Curry puff

*Corresponding author: Tel.: 081-8814599. E-mail address: sriprapakhan@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญไม่ว่าจะเป็นการใช้ชีวิตประจำวัน รวมไปถึงการใช้ในส่วนต่างๆ เช่น เศรษฐกิจ อุตสาหกรรมการศึกษา การคมนาคมซึ่งความต้องการพลังงานนั้นมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้นการจัดการพลังงานและเทคโนโลยีจึงเป็นส่วนสำคัญในการนำพลังงานที่มีอยู่จำกัดไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่าที่สุด จากสถานการณ์พลังงานของประเทศไทยในเดือนมกราคมถึงเดือนกรกฎาคม ปี 2561 พบว่าการผลิตพลังงานภายในประเทศลดลงร้อยละ 3.1 สวนทางกับการนำเข้าพลังงานของประเทศรวมเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 5.7 รวมไปถึงการใช้พลังงานของประเทศนั้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.9ซึ่งการสัดส่วนการใช้พลังงานนั้นการใช้น้ำมันสูงที่สุด ไฟฟ้า ก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน ตามลำดับ จากการนำเข้าพลังงานที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ต้นทุนด้านพลังงานสูงขึ้น

จากต้นทุนด้านพลังงานที่สูงขึ้น วิสาหกิจชุมชน อำเภอมวกเหล็กจังหวัดสระบุรี ได้มีผลิตภัณฑ์กะหรี่ปั๊บนั้นต้องการที่จะลดต้นทุนในการผลิตสินค้า จึงต้องการหาแนวทางในการลดต้นทุนด้านพลังงานและเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการเปลี่ยนจากการทอดมาเป็นการอบแทน

ดังนั้น คณะวิจัยจึงประยุกต์งานวิจัยและเทคโนโลยีเตาอบแบบรังสีอินฟราเรดระยะไกล ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของกลุ่มวิสากิจได้

วิธีการวิจัย

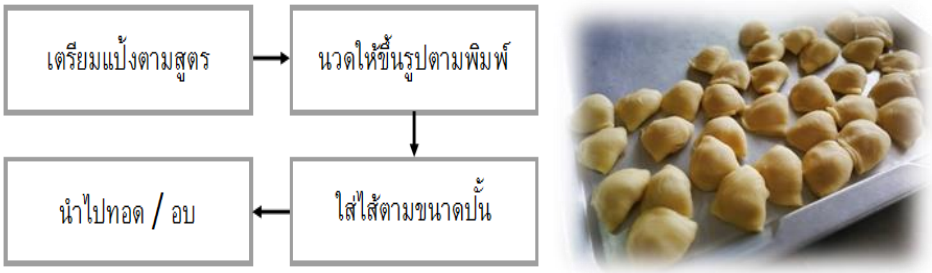
1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการทางความร้อนในอุตสาหกรรมอาหารด้วยเทคนิคการแผ่รังสีอินฟราเรด โดยมีความยาวคลื่นระหว่าง 2.5-3.0 ไมโครเมตรมักถูกใช้ในรูปของตัวทำความร้อน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรดจะส่งผลให้เกิดความร้อนโดยผ่านทางอากาศและถูกดูดกลืนโดยอาหารหรือผลิตภัณฑ์ คุณลักษณะเด่นจากรังสีอินฟราเรดได้แก่ถ่ายเทความร้อนสู่อาหารอย่างมีประสิทธิภาพ เข้าไปทำให้ความร้อนในระดับโมเลกุลจึงสามารถช่วยให้การลดความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลงได้เร็ว ลดเวลาของกระบวนการการ ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลงจากการใช้เชื้อเพลิงลดลง การรักษาระดับอุณหภูมิของอากาศภายในอุปกรณ์โดยรอบคงที่อยู่ในระดับปรกติไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสีย

2. การเตรียมวัตถุดิบ อุปกรณ์วิธีการทดลอง

การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยนั้น คือ ทำกะหรี่ปั๊บขนาดที่ใช้จำหน่ายตามปรกติ จากวิสาหกิจชุมชน อำเภอมวกเหล็กจังหวัดสระบุรีตามกระบวนการ



ภาพที่ 1กระบวนการผลิต และกะหรี่ปั๊บที่ใช้ในการอบ

วิธีการผลิตกะหรี่ปั๊บแบบเดิม

การผลิตกะหรี่ปั๊บในแบบเดิมโดยใช้การทอดจำเป็นที่จะต้องให้ความร้อนแก่น้ำมันก่อนการทอด ซึ่งข้อเสียของการทอดคือการควบคุมความร้อนที่ยากและการให้ความร้อนไม่ทั่วถึงทั้งหมด ส่งผลให้คุณภาพของกะหรี่ปั๊บที่ได้และยังสิ้นเปลืองแก๊สในส่วนของการให้ความร้อนแก่น้ำมันเพื่อเตรียมใช้งานอีกด้วย ในหนึ่งรอบสามารถผลิตกะหรี่ปั๊บได้จำนวน

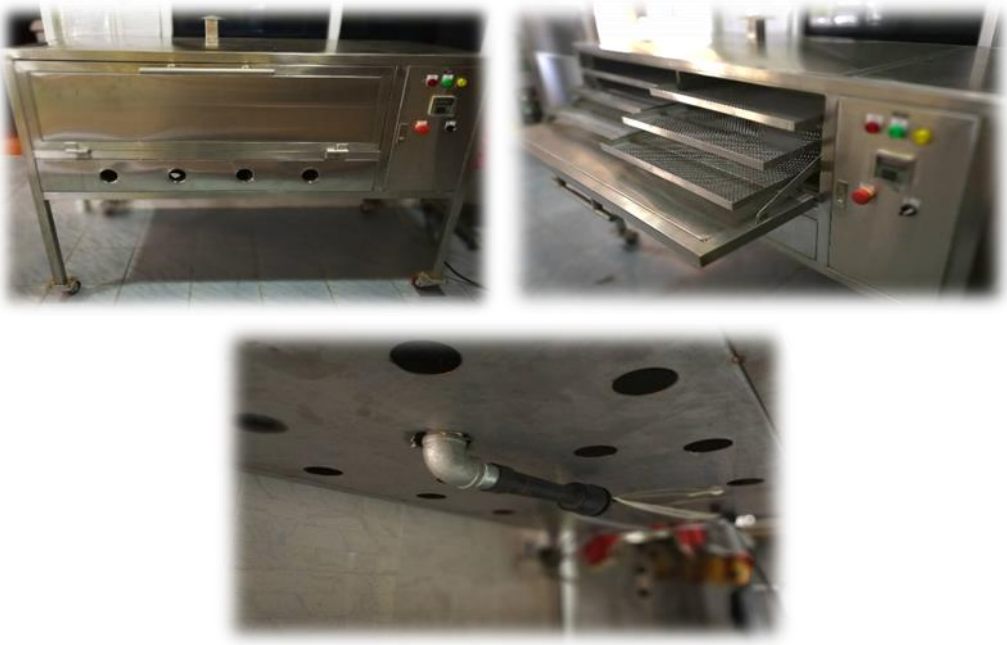
300 ตัว มีปริมาณการใช้พลังงานโดยใช้แก๊สหุงต้มสูงถึง 1.2 กิโลกรัม และพลังงานไฟฟ้า 10 หน่วย ซึ่งคิดเป็นต้นทุนในการผลิตเท่ากับ 30.8 บาทต่อรอบ



ภาพที่ 2 การทอดแบบเดิม

เครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกล

เครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งมีหลักการให้ความร้อนแก่ห้องอบแห้งในลักษณะเดียวกัน คือ ใช้แก๊สหุงต้มโดยจะแตกต่างกันที่เครื่องอบจะอาศัยแผ่นเซรามิกผลิตมาจากซิลิกอนคาไบด์เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน โดยการอบแห้งแผ่นเซรามิกจะได้รับความร้อนจากแก๊สหุงต้มซึ่งท่อนำแก๊สและหัวแก๊สจะเป็นอุปกรณ์จ่ายเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนแก่แผ่นเซรามิกทางด้านล่าง ส่วนของห้องอบแห้งมีขนาด 176 x 200 x 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ประกอบด้วยชั้นสำหรับวางถาดอบ 3ชั้น มีระยะห่างชั้นละ 10 เซนติเมตร และมีช่องระบายอากาศ มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม มีหลังคาเป็นทรงจั่ว และกล่องควบคุมด้านข้าง



ภาพที่ 3 เครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกล

3. วิธีการทดลอง

ในบทความนี้จะนำเสนอการเปรียบเทียบการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้ม, ความแตกต่างทางกายภาพของผลิตภัณฑ์หลังทำการอบ ระหว่างการทอดด้วยน้ำมันแบบเดิมและเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกล

เปรียบเทียบการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้ม

1.ในการอบแห้งเริ่มนำกะหรี่ปั๊บที่เตรียมไว้เข้าเครื่องอบแห้งโดยให้ความร้อนจากแผ่นเซรามิก

2. เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกลอบแบบเต็มศักยภาพได้6ถาดซึ่งสามารถอบได้ทั้งหมด 300 ชิ้น

3.ชั่งน้ำหนักแก๊สหุงต้มก่อนอบและหลังอบรวมถึงหลังจากอุ่นเครื่องอบเพื่อทำการอบแห้ง

4.กำหนดเงื่อนไขในการอบแห้งคือความหนาของกะหรี่ปั๊บ 1 เซนติเมตร

5. ทำการตรวจสอบคุณภาพ สี กลิ่น รสชาติทางประสาทสัมผัสหลังการอบโดย ผู้จัดจำหน่ายจำให้กลุ่มแม่บ้านในกลุ่มวิสาหกิจมาทำการทดสอบในแต่ละรอบการผลิต โดยทางประสาทสัมผัสใช้วิธีการการรับประทาน สีใช้ลักษณะการสังเกตุ และกลิ่นใช้ลักษณะการดม ร่วมกับการรับประทาน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

บทความนี้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้มโดยปริมาณพลังงานที่ใช้คำนวณได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

ปริมาณพลังงานที่ใช้= ค่าความร้อนของแก๊สหุงต้มX มวลของแก๊สหุงต้มที่ใช้ (1)

โดยปริมาณพลังงานที่ใช้คิดจากปริมาณน้ำหนักแก๊สที่ใช้ในการอบแห้ง, ค่าความร้อนของแก๊สหุงต้ม เท่ากับ 26.6 เมกะจูลต่อลิตร

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณแก๊สหุงต้ม ของเครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลและการทอดแบบเดิม

การทดสอบ	ปริมาณแก๊ส (กิโลกรัม)	
	เครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกล	การทอดแบบเดิม
1	0.8	1.2
2	0.8	1.3
3	0.8	1.2

จากตารางที่ 1 แสดงปริมาณแก๊สหุงต้ม ของเครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลและการทอดแบบเดิม พบว่าปริมาณแก๊สหุงต้มที่ใช้ในการอบกะหรี่ปั๊บด้วยเครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลนั้นเพียง 0.8 กิโลกรัมต่อรอบ ซึ่งต่างจากการผลิตแบบเดิมโดยการทอดนั้นใช้ปริมาณแก๊สหุงต้มสูงถึง 1.3 กิโลกรัมต่อรอบ เนื่องจากการทอดนั้นต้องมีการอุ่นน้ำมันเพื่อเตรียมการทอดและการควบคุมความร้อนทองน้ำมันทำให้ปริมาณแก๊สหุงต้มที่ใช้นั้นไม่เท่ากันในแต่ละรอบด้วย

ตารางที่ 2 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ของเครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลและการทอดแบบเดิม

การทดสอบ	ค่าพลังงาน (เมกะจูล)	
	เครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกล	การทอดแบบเดิม
1	38.73	58.1
2	38.73	62.94
3	38.73	58.1

ตารางที่ 2 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ของเครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลและการทอดแบบเดิม พบว่าเครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดนั้นใช้พลังงานทั้งหมด 38.73 เมกะจูล ในการทอดแบบเดิมนั้นใช้พลังงานเฉลี่ย 59 เมกะจูลซึ่งเครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลนั้นใช้พลังงานน้อยกว่าการทอดถึง 20.6 เมกะจูลซึ่งคิดเป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้ร้อยละ 33.3 จากค่าพลังงานที่ใช้ในการทอด

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า เครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลนั้นสามารถอบกะหรี่ปั๊บด้วยปริมาณเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้มเพียง 0.8 กิโลกรัม แต่การทอดกะหรี่ปั๊บแบบเดิมใช้เชื้อเพลิงแก๊สหุงต้มสูงถึง 1.2 กิโลกรัม การเปลี่ยนมาใช้เครื่องอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลนั้นส่งผลให้สามารถลดปริมาณเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้มได้ถึง 0.4 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 33.3ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตในด้านพลังงานจาก 30.8 บาทต่อรอบ เหลือเพียง 21.3 บาทต่อรอบ โดยกะหรี่ปั๊บที่ผลิตได้นั้นมีคุณภาพเป็นที่พึงใจมาก โดยการทดสอบสี และรสชาติเทียบเท่าผลิตภัณฑ์เดิมตามมาตรฐานของวิสาหกิจชุมชนแต่ในการทดสอบกลิ่นพบว่ามีกลิ่นที่ยังคงอยู่มากกว่าเมื่อเทียบกับการทอด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พิสิษฏ์ มณีโชติ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำที่เป็นประโยชน์ในกระบวนการทดลอง ขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชน อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี ที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยด้วยดี รวมถึงสำนักงานพลังงานจังหวัดสระบุรีและขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวในการทำวิจัยในครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] เสาวลักษณ์ยอดวิญญูวงส์พิสิษฏ์มณีโชติวิกาณต์วันสูงเนินภาคินมณีโชติ. (2557). “การเปรียบเทียบการใช้ เชื้อเพลิงก๊าซแอลพีจีของตู้อบแห้งรังสีอินฟราเรดระยะไกลกับเตาอบเดิม” ,ใน**การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 7 ประจาปี 2557**, วันที่ 12-14 พฤศจิกายน 2557 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์วิทยาเขตวังไกลกังวลอาเภอหัวหินจังหวัดประจวบคีรีขันธ์. : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์วิทยาเขตวังไกลกังวล

[2] กิ่งกานต์พันธุวาณิชย์. (2552). **การศึกษาการแผ่รังสีอินฟาเรดระยะไกลของเซรามิกโดยใช้แก๊สชีวภาพเพื่อใช้ในการอบแห้ง**. วิทยานิพนธ์วท. 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] KamileSavas and ArzuBasman. (2016). **Infrared drying: A promising technique for bulgur** production. Journal of Cereal Science 68. 31-37.

ME63

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวที่สภาวะปราศจากออกซิเจน ซึ่งเร่งปฏิกิริยาด้วยของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง

Optimization of biogas production in an anaerobic fermentation enhanced with rumen fluid

พิสิษฏ์ มณีโชติ[1] สรุชัย อาจกล้า[2] และอัญชลีภรณ์ ศรีษะธาตุ[1*]

[1] สาขาวิชาพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

[2] สาขาวิชาเคมี คณะศิลปศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด ร้อยเอ็ด 45000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักก๊าซชีวภาพระหว่างของแข็งฟางข้าว และของเหลวฟางข้าวโดยใช้หลักการเบื้องต้นของ In vitro gas production technique ทดลองในขวดแก้วขนาด 60 มิลลิลิตร หมักที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 420 นาที ใช้ของแข็งฟางข้าว และของเหลวฟางข้าว 0.2 กรัม ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง 40 %(v/v) พบว่าปริมาตรก๊าซชีวภาพของเหลวฟางข้าวเกิดขึ้นสูงสุด 1.25 มิลลิลิตร นำของเหลวฟางข้าวมาทดลองต่อโดยกำหนดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องต่างกัน พบว่าที่ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง 10 %(v/v) เกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด 0.35 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบผลข้อมูลจากการทดลองพบว่าของเหลวฟางข้าวมีปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพสูงกว่าของแข็งฟางข้าว

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ ของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง

*Corresponding author: Tel.: 088-3525869. E-mail address: anchaleepon.61062649@gmail.com

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมากผลผลิตที่สำคัญ ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และปาล์มน้ำมัน ซึ่งภายหลังการเก็บเกี่ยวพืชทางการเกษตรต่างๆเหล่านี้ จะมีเศษวัตถุดิบเหลือใช้ เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น ที่เราเรียกว่า ชีวมวล (Biomass) สามารถนำชีวมวลมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์จำพวกที่ไม่ชอบออกซิเจน โดยจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทนนี้จะใช้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนเป็นสารอาหาร และให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไอน้ำ วัตถุดิบชีวมวลอีกหนึ่งประเภทที่สนใจนำมาทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ฟางข้าว (Rice straw) [2] ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 65 ล้านไร่ หรือประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งประเทศ ได้ผลผลิตข้าว 24 ล้านตัน มีฟางข้าวเฉลี่ยประมาณปีละ 25.45 ล้านตัน ปริมาณฟางข้าวมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือคือจำนวน 13.7 และ 9.1 ล้านตันต่อปี รองลงมาคือภาคกลางและภาค

ตะวันออกมีจำนวนฟางข้าว 6.2 ล้านตันต่อปี และพื้นที่ปลูกข้าว 1 ไร่ มีปริมาณฟางข้าว โดยเฉลี่ยปีละ 650 กิโลกรัม [1] จึงนับได้ว่าเป็นแหล่งวัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ งานวิจัยนี้จึงได้สนใจนำฟางข้าวที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน [4] ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักสภาวะปราศจากออกซิเจน โดยทั่วไปการหมักก๊าซชีวภาพใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย (Hydraulic Retention Time, HRT) นานกว่า 20 วัน ซึ่งใช้เวลานานมาก ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการลดระยะเวลาการหมักก๊าซชีวภาพ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งสามารถนำมาแก้ปัญหาพลังงานในประเทศและลดปัญหาการเผาหลังฤดูเก็บเกี่ยวได้

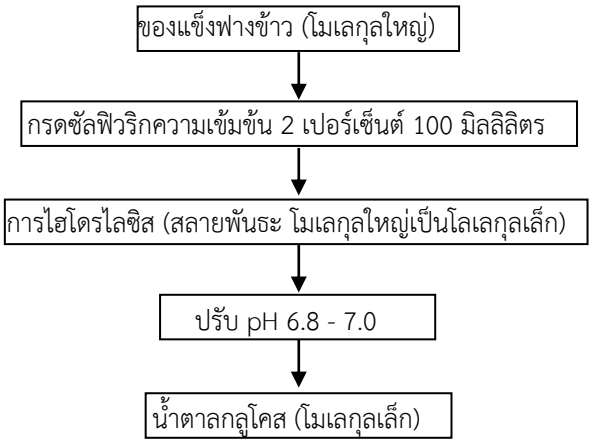
วิธีการวิจัย

1. วัสดุและอุปกรณ์

การทดลองนี้ใช้ฟางข้าวที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตของชาวนาในบริเวณโดยรอบของมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด นำฟางข้าวมาตากแห้งปั่นและร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาด 1 มิลลิเมตร ตัวเร่งปฏิกิริยาเตรียมได้จากสารละลายบัฟเฟอร์ และแร่ธาตุอาหารหลักผสมกับของเหลวจากกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง อุปกรณ์ที่ใช้ในการหมัก ได้แก่ ขวดแก้วปริมาตร 60 มิลลิลิตร พร้อมจุกยางพลาสติกเจาะรูได้ เข็มฉีดยาพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร สายยางใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร เครื่องปั่น และกระบอกแก้ฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร

2. เงื่อนไขการทดลอง

การเตรียมของแข็งฟางข้าว นำฟางข้าวแห้งปั่นให้ละเอียดนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร การเตรียมของเหลวฟางข้าว นำฟางข้าวมาย่อยเพื่อให้ได้น้ำตาลกลูโคส โดยชั่งของแข็งฟางข้าวที่ร่อนแล้ว 5 กรัม เติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนจับเวลาหลังการเดือด 30 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้องนำไปวัดค่า pH ให้อยู่ในช่วง 6.8 - 7.0 กระบวนการปรับฟางข้าวที่เป็น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ด้วยกรดผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส ดังแสดงตามแผนผัง [3]



การทดลองที่ 1 ทดสอบเพื่อทราบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพระหว่างของแข็งฟางข้าว และของเหลวงฟางข้าว
การทดลองที่ 2 นำผลที่ดีที่สุดจากชุดการทดลองที่ 1 มาหมักก๊าซชีวภาพต่อเพื่อหาปริมาณที่ดีที่สุดที่สามารถเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด

3. การทดลองผลิตก๊าซชีวภาพ

การทดลองที่ 1 การเตรียมของแข็งฟางข้าว นำฟางข้าวแห้งมาปั่นให้ละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร จากนั้นเตรียมของเหลวฟางข้าวนำฟางข้าวที่เตรียมได้จากของแข็งฟางข้าว ชั่งของแข็งฟางข้าวที่ปั่นแล้ว 0.5 กรัม เติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ 100 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนจับเวลาหลังการเดือด 30 นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่า pH ปรับให้อยู่ในช่วง 6.8 - 7.0 เมื่อย่อยเสร็จแล้วจะได้เป็นน้ำตาลกลูโคส เพื่อนำไปทำการหมักก๊าซชีวภาพ นำของเหลวฟางข้าวความเข้มข้น 0.2 กรัม ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง 40 %(v/v) บรรจุลงขวดทดลองขนาด 60 มิลลิลิตร ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เวลาการทดลองหมัก 420 นาที หมักของแข็งฟางข้าว และของเหลวฟางข้าวในสัดส่วนที่เท่ากันทั้งหมด เพื่อทดลองว่าระหว่างของแข็งฟางข้าว และของเหลวฟางข้าวหาปริมาตรการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด



รูปที่ 1 ของแข็งฟางข้าว

การทดลองที่ 2 จากผลการทดลองชุดการทดลองที่ 1 พบว่าของเหลวฟางข้าวมีปริมาตรก๊าซชีวภาพสูงกว่าของแข็งฟางข้าว ฉะนั้นจึงเลือกของเหลวฟางข้าวมาศึกษาต่อ โดยใช้ของเหลวฟางข้าว 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, และ 0.5 กรัม ตามลำดับ ตัวเร่งปฏิกิริยาของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง 40 %(v/v) บรรจุลงขวดทดลองขนาด 60 มิลลิลิตร ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เวลาการหมัก 420 นาที เพื่อวิเคราะห์หาของเหลวฟางข้าวที่ให้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสูงสุด จากนั้นทดลองนำของเหลวฟางข้าวที่ให้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสูงสุดมาหมักก๊าซชีวภาพต่อ โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง 0.5, 1, 2.5, 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 %(v/v) ตามลำดับ โดยเลือกของเหลวฟางข้าวที่ให้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสูงสุด 0.2 กรัม บรรจุลงขวดทดลองขนาด 60 มิลลิลิตร ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เวลาการหมัก 420 นาที เพื่อวิเคราะห์หาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องเพิ่มประสิทธิภาพการหมักก๊าซชีวภาพที่ให้ปริมาตรสูงสุด

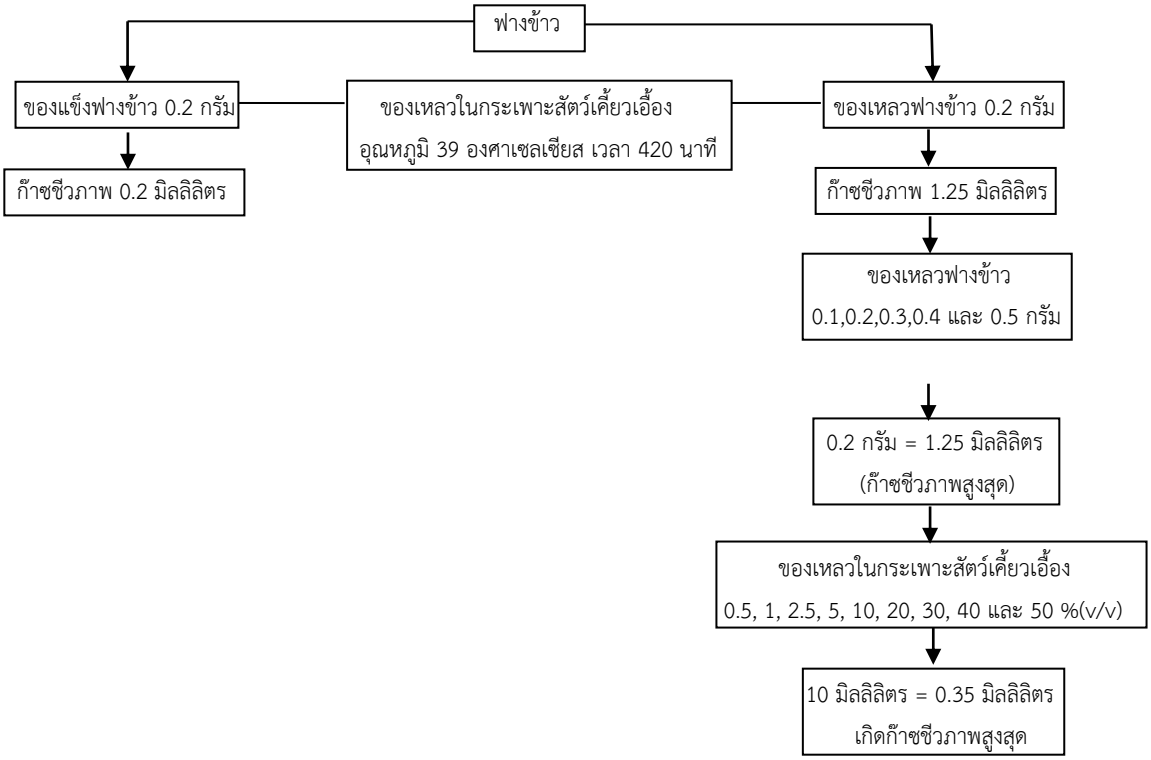


รูปที่ 2 ของเหลวฟางข้าว



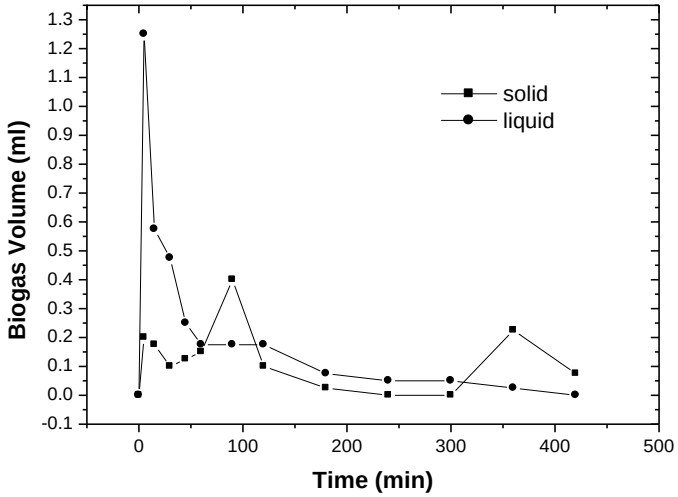
รูปที่ 3 การทดลองหมักก๊าซชีวภาพในขวดแก้ว

แผนผังแสดงประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพระหว่างของแข็งฟางข้าว และของเหลวฟางข้าว



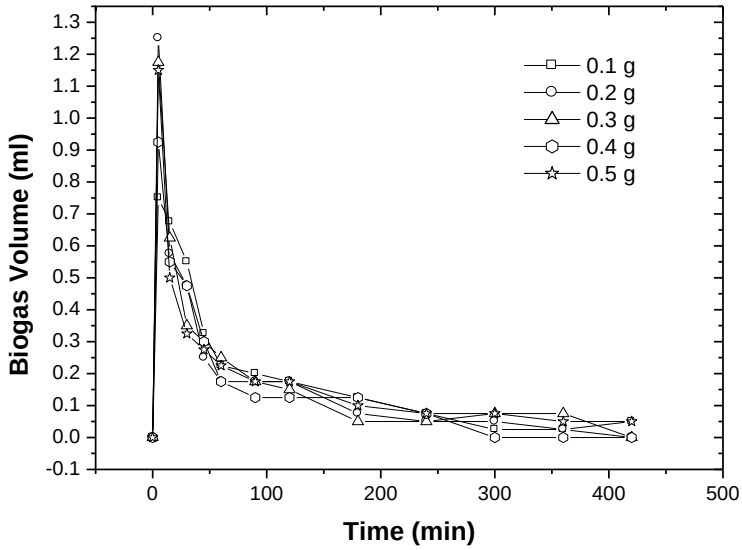
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดลองการเกิดก๊าซชีวภาพระหว่างของแข็งฟางข้าว และของเหลวฟางข้าว จากรูปที่ 4 พบว่าของเหลวฟางข้าวผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาตรสูงกว่าของแข็งฟางข้าว เนื่องจากการหมักในกระบวนการย่อยสลายปราศจากออกซิเจนจากน้ำตาลกลูโคสจะถูกย่อยสลายได้ดีกว่าเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วบวกกับกรดไขมันระเหยง่ายที่มีปริมาณน้อยลง ทำให้ความหลากหลายของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นตามค่าความเป็นกรด – ด่าง ปริมาตรก๊าซชีวภาพจึงสูงกว่าของแข็งฟางข้าว ช่วยลดระยะเวลาในการหมักก๊าซชีวภาพ และผลิตก๊าซชีวภาพได้สูง



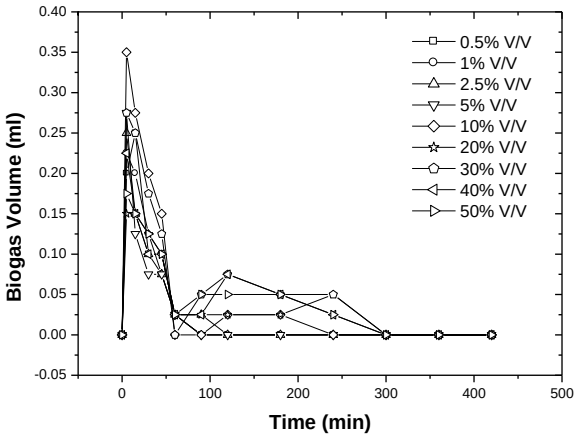
รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบปริมาตรก๊าซชีวภาพระหว่างของแข็งฟางข้าว และของเหลวฟางข้าว

ผลการทดลองของเหลวฟางข้าวปริมาตรก๊าซชีวภาพที่ได้ 0.75, 1.25, 1.17, 0.925, และ 1.15 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นหลังเวลาที่ 5นาที และเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเวลาที่ 420 นาที เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการเกิดก๊าซชีวภาพพบว่าที่ปริมาณสารตั้งต้น 0.2 กรัม ผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาตรสูงสุด 1.25 มิลลิลิตร ดังแสดงในรูกที่ 5 ทดสอบด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ F-test two-sample for variances พบว่าไม่แตกต่างกับการทดลองที่ใช้ของเหลวฟางข้าว 0.3-0.5 กรัม อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ค่า P เท่ากับ 0.01 ปริมาณของเหลวฟางข้าว 0.2 กรัม มีประสิทธิภาพสำหรับการหมักก๊าซชีวภาพสูงกว่าปริมาณของเหลวฟางข้าว 0.3-0.5 กรัม เนื่องจากการทำงานของฟางข้าวที่ย่อยด้วยกรดเป็นน้ำตาลกลูโคสก่อนการนำไปหมักก๊าซชีวภาพ จะช่วยเปลี่ยนโครงสร้างจากเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เป็นน้ำตาลกลูโคส มีผลทำให้จุลินทรีย์การหมักก๊าซชีวภาพสามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพที่สภาวะปราศจากออกซิเจน ดังนั้นการทดลองนี้จึงใช้ปริมาณของเหลวฟางข้าว 0.2 กรัม เพื่อทดลองด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องต่อไป



รูปที่ 5 แสดงปริมาตรก๊าซชีวภาพที่ปริมาณของเหลวฟางข้าวแตกต่างกัน

ผลการทดลองพบว่าปริมาตรก๊าซชีวภาพที่ได้ 0.2, 0.225, 0.25, 0.275, 0.35, 0.15, 0.275, 0.225, และ 0.175 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นหลังเวลาที่ 5 นาที เริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึง 420 นาที ในทุกความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการเกิดก๊าซชีวภาพ พบว่าที่ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง 10 %(v/v) ปริมาตรก๊าซชีวภาพสูงสุด 0.35 มิลลิลิตร ดังแสดงตาม รูปที่ 6 ทดสอบด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ F-test two-sample for variances พบว่าไม่แตกต่างกับการทดลองที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง 20 - 50 %(v/v) อย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น ค่า P เท่ากับ 0.01 เนื่องจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวอื้อง 10 %(v/v) ช่วยลดปริมาณของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง ลดระยะเวลาการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยงเอื้องน้อยแต่สามารถให้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสูง



รูปที่ 6 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่ตัวเร่งปฏิกิริยาของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องแตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพการหมักก๊าซชีวภาพโดยฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคส 0.2 กรัม ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง 10 %(v/v) หมักที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เวลาการหมัก 420 นาที ปริมาตรก๊าซชีวภาพสูงสุด 0.35 มิลลิลิตร ซึ่งให้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสูงกว่าของแข็งฟางข้าวใช้ของเหลวฟางข้าวและตัวเร่งปฏิกิริยาของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องน้อย แต่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด ในระยะเวลาสั้น ดังนั้น การนำฟางข้าวมาเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคส และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของเหลวในกระเพาะสัตว์เคี้ยวเอื้องช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้ สามารถนำไปส่งเสริมให้เกษตรกรที่มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ใบอ้อย ต้นข้าวโพด มาผลิตก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่เพื่อลดการเผาหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งเป็นสาเหตุการเกิดมลพิษที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ สำเร็จลุลวงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิสิษฏ์ มณีโชติ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความกรุณา เอาใจใส่อย่างยิ่ง จนงานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรชัย อาจกล้า ที่ปรึกษาร่วมที่อนุเคราะห์คำแนะนำวิธีในการปฏิบัติการวิเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัย และขอบพระคุณสถานที่ในการทำการทดลองและเก็บข้อมูล สาขาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด ทำให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] มูลนิธิเกษตรรักษ์สิ่งแวดล้อม (ประเทศไทย) (2560). ข้าว

[2] อภิชาติ ศรีภัย และ เสาวลักษณ์ แย้มหมื่นอาจ. (2554). การใช้ประโยชน์จากเปลือกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อเป็นการหยาบสำหรับโคขาวลำพูน. ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำสาขาวิชาสัตวศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[3] Palmqvist, E. and Hahn-Hagerdal, B. 2002. Fermentation of Lignocel-lulosic Hydrolysates.I: Inhibition and Detoxification. Bioresource Tech V. 74: 17-24

[4] Teghammar, A., Karimi, K., Horváth, I. S., and Taherzadeh, M. J. (2012). Enhanced biogas production from rice straw, triticale straw and softwood spruce by NMMO pretreatment. Biomass and Bioenergy 36: 116-120

ME65

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการอบแห้งผักตบชวา

Pay Back Period of Dried Water Hyacinth with Solar greenhouse dryer

ธัญวรัตม์ ประเดชบุญ[1] หฤทัย บงแก้ว[1] ชัยสิทธิ์ สนิทไทย[2] และศิรินุช จินดารักษ์[1*]
[1] สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 65000
[2] สำนักงานพลังงานจังหวัดอุตรดิตถ์ ศาลากลางจังหวัดอุตรดิตถ์ 53000

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันชุมชนบ้านป่าเซ่า จังหวัดอุตรดิตถ์ ประสบปัญหาด้านผลผลิตของผักตบชวาอบแห้งที่ขาดตลาดในช่วงฤดูฝน จึงมีการส่งเสริมเทคโนโลยีการอบแห้ง โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีเตาซุปเปอร์อั้งโล่เป็นแหล่งความร้อนเสริม ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษาการอบแหงผักตบชวาและการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของโรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตผักตบชวาอบแห้งโดยใช้เตาซุปเปอร์อั้งโล่เป็นแหล่งความร้อนเสริม เพื่อให้สามารถผลิตผักตบชวาอบแห้งได้มากขึ้นเพื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่นอนแมว โดยใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด กว้าง 3 m ยาว 4 สูง 2 m โดยพบว่า อุณหภูมิภายในโรงอบแห้งค่าเฉลี่ย 50°C ที่สภาวะอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 30°C โดยที่ผักตบชวาสดมีความชื้นเริ่มต้น 91%wb ลดลงเหลือวามชื้นสุดท้าย 12%wb ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง ซึ่งใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าแบบการตากแห้งกลางแจ้ง โดยการตากแบบดั้งเดิมใช้ระยะเลา 32 ชั่วโมง มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนจำเพาะ 7.8 MJ/kgผักตบชวา ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการผลิตผักตบชวาแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแหล่งพลังงานความร้อนเสริม พบว่าต้นทุนการอบแห้งผักตบชวามีมูลค่า 80.4 บาท/กิโลกรัม ผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 170,560 บาท/ปี และจุดคุ้มทุนจากการใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 9 เดือน 4 วัน

คำสำคัญ: โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ผักตบชวา ด้านเศรษฐศาสตร์ จุดคุ้มทุน

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

บทนำ

ปัจจุบันการแพร่กระจายของผักตบชวาในแหล่งน้ำในชุมชน เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในชุมชนโดยผักตบชวามีอัตราการเจริญเติบโตสูง มีความทนทานต่อทุกสภาพแวดล้อม มีการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วทำให้เกิดปัญหาตามแหล่งน้ำ อาทิ เช่น กัดขวางทางเดินน้ำ และอาจทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินซึ่งทำลายแหล่งที่อยู่อาศัยของปลาตามธรรมชาติ [1] จึงมีแนวทางในการนำผักตบชวามาแปรรูปทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆโดยเปลี่ยนวัชพืชที่ไม่คุณค่าให้กลายเป็นพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจได้ และเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนได้อย่างดี โดยผักตบชวาเป็นพืชที่มีเส้นใยแข็งแรงซึ่งสามารถนำมาเป็นสิ่งทอ และวัสดุจัก-สานได้ [2] โดยปัญหาที่พบของการทำวัสดุจักสารคือ ไม่สามารถหาวัตถุดิบคือผักตบชวาแห้งได้ในฤดูฝน ในชุมชนกลุ่มรักพลังงานบ้านห้วยบง ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมืองอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ มีการซื้อขายผักตบชวาแห้ง และนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่นอนแมว ดังนั้นเทคโนโลยีการอบแห้งจึงมีบทบาทสำคัญในการผลิตผักตบชวาแห้งของชุมชน จึงมีการส่งเสริมเทคโนโลยีการอบแห้งโดยสำนักงานพลังงานจังหวัดอุตรดิตถ์ ภายใต้โครงการเพิ่มสมรรถนะด้านการบริหารและการจัดการพลังงานครบวงจรในชุมชนระดับตำบลและวิสาหกิจชุมชนระดับตำบลประจำปี ในงานวิจัยนี้

ใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เตาซุปเปอร์อั้งโล่เป็นแหล่งความร้อนเสริม เนื่องจากในช่วงฤดูฝนโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งไม่สูงมากพอ ดังนั้นจึงมีการหาแหล่งความร้อนมาเสริมในโรงอบแห้ง จึงได้นำเตาซุปเปอร์อั้งโล่มาเป็นแหล่งความร้อนเสริม ซึ่งแหล่งความร้อนที่นำมาใช้นี้สามารถหาได้ง่าย ราคาย่อมเยา และคนในชุมชนสามารถใช้ได้สะดวก โดยมีงานวิจัยของวันไชย คำเสน และคณะ [3] ออกแบบและสร้างโรงเรือนอบแห้งพลังงานร่วมด้วยรังสีแสงอาทิตย์และไฟฟ้า ใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตเป็นส่วนรับรังสีแสงอาทิตย์ มี 2 ระบบ คือ ระบบการทำงานแบบธรรมดา เป็นการอบแห้งโดยใช้รังสีแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวในการอบแห้ง เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน และระบบการทำงานแบบอัตโนมัติ เป็นการใช้รังสีแสงอาทิตย์และรังสีอินฟราเรดจากหลอดไฟฟ้าในการอบแห้ง สามารถทำงานได้ต่อเนื่องตลอดทั้งวันทั้งคืน เพื่อการอบใช้เวลาน้อยที่สุด ซึ่งทั้งสองระบบมีการใช้พัดลมดูดอากาศในการระบายความชื้นของอากาศ แบบอัตโนมัติ จากผลการทดสอบอุณหภูมิและความชื้นของโรงเรือนอบแห้งพลังงานร่วมด้วยรังสีแสงอาทิตย์และไฟฟ้าที่สร้างขึ้น อุณหภูมิภายในโรงเรือนอบแห้งด้วยรังสีแสงอาทิตย์สูงกว่าภายนอกสูงสุด 20 °C และเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่จัดทำขึ้นกับโรงเรือนแบบดั้งเดิม แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่จัดทำขึ้นสูงกว่าโรงเรือนแบบดั้งเดิม และมลฤดี บุญยะศรี [4] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก จลนพลศาสตร์การอบแห้ง และคุณภาพของเนื้อหมูอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกที่ได้มีการพัฒนาขึ้น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกหลังคากึ่งทรงกระบอกและปกคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต มีพัดลมระบายอากาศ ซึ่งใช้พลังงานจากแผงโซล่า-เซลล์ขนาด 30 วัตต์ เมื่อพิจารณาจลพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อหมูที่ได้ พบว่า อยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และความเร็วลมมีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองของ Page สามารถทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อหมูได้ดีที่สุด โดยผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่า การอบแห้งเนื้อหมูด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 1.15 ปี

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการอบแห้งผักตบชวาและการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เตาซุปเปอร์-อั้งโล่แหล่งความร้อนเสริมของผักตบชวา เพื่อคิดจุดคุ้มทุนในการนำผักตบชวาที่ได้ไปแปรรูปเป็นที่นอนแมว ซึ่งจุดประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาความคุ้มค่าจุดคุ้มทุนและความเหมาะสมในการลงทุนโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการวิจัย

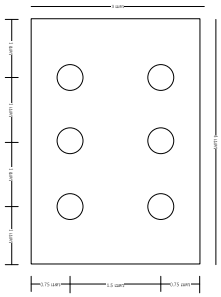
ในการอบแห้งผักตบชวาสด โดยผักตบชวาที่ใช้อายุ 70 cm (3 – 5 เดือน) และโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้นี้มีขนาด กว้าง 3 m ยาว 4 สูง 2 m แสดงดังภาพที่ 1 โดย โครงสร้างของเรื่องอบแห้ง เป็นแบบเรือนกระจกรูปพาราโบลาโดม ตัวเรื่องอบแห้งคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต โดยมีขนาดกว้าง 3 m ยาว 4 m สูง 2 m ซึ่งภายในประกอบด้วยชั้นวางผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดราวเหล็กกว้าง 2 m ยาว 1.5 m สูง 1.4 m แขวนได้ 3 ราว ใช้ 2 ชั้นแขวนผลิตภัณฑ์ ในการอบแห้งแต่ละครั้งใช้ปริมาณผักตบชวา 50 กิโลกรัม ใช้ส่วนของลำต้นที่ตัดใบและโคนออก ผ่าเป็น 2 ส่วนตามแนวยาว แบ่งเป็นมัด มัดละ 8 - 10 ต้น ซึ่งแหล่งความร้อนเสริมใช้เตาซุปเปอร์อั้งโล่จำนวน 6 เตาทำการวัดอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยกำหนดตำแหน่งของวัดอุณหภูมิเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหลังโรงอบแห้ง ส่วนกลาง และส่วนหน้า โดยส่วนด้านหน้าของโรงอบแห้งจะวัดอุณหภูมิ 3 จุด คือ ด้านซ้าย ด้านขวา และตรงกลาง ในการวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท ทำการทดลองวันที่ 16 กรกฎาคม 2561 มีสภาพอากาศที่ไม่มีพลังงานแสงอาทิตย์ และมีฝนตก จึงต้องใช้เตาซุปเปอร์อั้งโล่เป็นแหล่งพลังงานความร้อนเสริมและควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้ง



ภาพที่ 1 โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



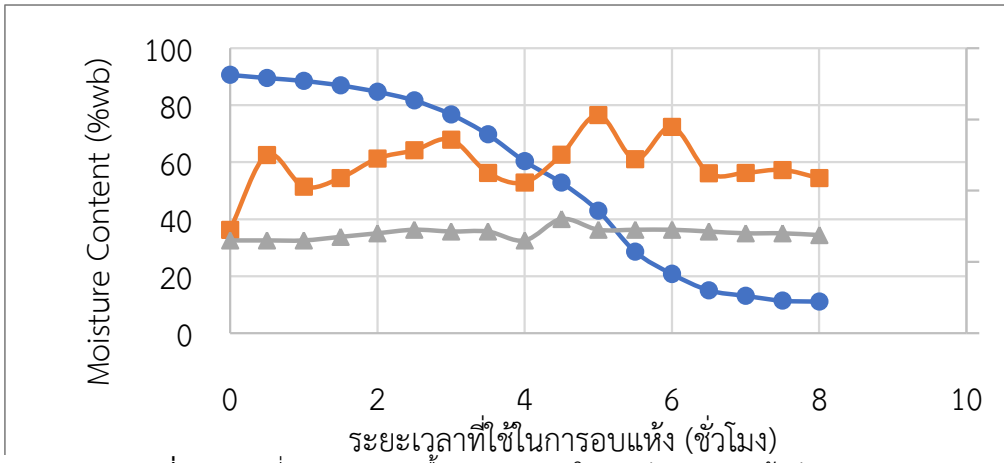
ภาพที่ 2 การอบแห้งผักตบชวาสด



ภาพที่ 3 ตำแหน่งการวางเตา

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการทดลองเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอากาศภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในโรงอบแห้ง และอุณหภูมิแวดล้อมโดยสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผักตบชวา โดยทำการอบแห้งผักตบชวาด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยความชื้นเริ่มต้น 91%wb ความชื้นร้อยละ 12%wb อ้างอิงความชื้นมาจากความต้องการของชาวบ้านที่นำผักตบชวาไปทำที่นอนแมว ซึ่งก่อนการอบแห้งจะมีการผ่าผักตบชวาที่มีวามยาวไม่น้อยกว่า 70 cm ออกเป็น 2 ส่วน ตามแนวยาว และการตากผักตบชวานี้จะเป็นการตากแบบแขวนภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ครั้งละประมาณ 50 กิโลกรัม ผลการอบแห้งผักตบชวาด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ในวันที่ท้องฟ้าปิด โดยใช้เตาซุปเปอร์อั้งโล่เป็นแหล่งความร้อนและควบคุมอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งให้อยู่ในช่วง 45 - 55 °C โดยอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 50°C และมีอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 30°C ผักตบชวามีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยประมาณร้อยละ 9.83 ของมาตรฐานเปียกต่อชั่วโมง โดยการอบแห้งผักตบชวาใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง ถ่านที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 13 กิโลกรัม เติมถ่านทุกๆ 30 นาที สามารถลดน้ำหนักของผักตบชวาจาก 50 กิโลกรัม เหลือน้ำหนักประมาณ 5.5 กิโลกรัม จากกราฟรูปที่ 4 แสดงผลอุณหภูมิ และการเปลี่ยนแปลงของความชื้นต่อระยะเวลาในการอบแห้งผักตบชวา พบว่า ปริมาณความชื้นของผักตบชวาจะมีการเปลี่ยนแปลง โดย 150 นาทีแรก ปริมาณความชื้นของผักตบชวาจะค่อยๆ ลดลงไม่มากนักเมื่อเทียบกับช่วงหลัง เนื่องจากความชื้นภายในโรงอบแห้งช่วงแรกสูง ทำให้การลดลงของปริมาณความชื้นของผักตบชวาเกิดขึ้นช้า เมื่อระยะเวลาการอบแห้งช่วง 240 นาที พบว่า ปริมาณความชื้นของผักตบชวาจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความชื้นภายในโรงอบแห้งน้อย และอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเฉลี่ยประมาณ 50 °C ซึ่งทำให้อากาศร้อนภายในโรงอบแห้งสัมผัสกับผิวผักตบชวาที่มีความชื้นสูง ทำให้ปริมาณความชื้นลดลงได้เร็ว และผักตบชวามีการระเหยน้ำออกอย่างต่อเนื่อง และเมื่อเวลาในช่วง 120 นาที ปริมาณความชื้นจะลดลงอย่างช้าๆ เนื่องจากว่าช่วงนี้เป็นช่วงที่ความชื้นของผักตบชวาเหลือน้อย และผิวของผักตบชวาเริ่มแห้ง และการระเหยน้ำภายในผักตบชวาออกมาที่ผิวจึงช้าลง



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิในระหว่างการอบแห้งผักตบชวา

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เตาซุปเปอร์อั้งโล่เป็นแหล่งความร้อนเสริม ซึ่งมุ่งเน้นการผลิตผักตบชวาแห้งเพื่อนำไปแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่นอนแมว โดยมีสมมติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนและจุดคุ้มทุน ในกระบวนการผลิตที่นอนแมวจากผักตบชวาอบแห้ง สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. ข้อมูลพื้นฐานการผลิตของกลุ่มรักพลังงานบ้านห้วยบง ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมืองอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์

1) ใช้ผักตบชวาอบแห้งผลิตที่นอนแมว

2) ผลตอบแทนจากการผลิตที่นอนแมวเท่ากับ 95 บาท/ชิ้น

3) ในช่วงฤดู (4 เดือน) จะซื้อผักตบชวาแห้ง กิโลกรัมละ 70 บาท

2. การวิเคราะห์ต้นทุนสำหรับการอบแห้งผักตบชวา

1) ทำการอบแห้งสัปดาห์ละ 5 ครั้ง ได้ผักตบชวาอบแห้งครั้งละ 5 กิโลกรัม ซึ่งใน 1 ปีใช้โรงอบ 52 สัปดาห์ หรือเท่ากับ 260 วัน ดังนั้นจึงสามารถผลิตผักตบชวาแห้งได้ 1,300 กิโลกรัม/ปี

2) ต้นทุนในการอบแห้ง 130,000 บาท อายุการใช้งาน 10 ปี ดังนั้น ต้นทุนค่าโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 13,000 บาท/ปี

3). แหล่งผลิตความร้อนเสริมใช้ถ่านไม้ราคา 8 บาท/กิโลกรัม โดยในการอบแห้งจะใช้ถ่านไม้ 13 กิโลกรัม/ครั้ง ภายใต้สมมติฐานการใช้แหล่งพลังงานความร้อนเสริมร้อยละ 50 ของเวลาที่ใช้งาน ดังนั้นค่าใช้จ่าด้านแหล่งพลังงานความร้อนเสริมเท่ากับ 13,520 บาท/ปี

4). ค่าแรงในการอบแห้งผักตบชวา 1 วัน/ครั้ง โดยมีค่าแรงวันละ 300 บาท ดังนั้น ค่าใช้จ่ายสำหรับค่าแรงเท่ากับ 78,000 บาท/ปี

5). ต้นทุนการผลิต = ต้นทุนค่าโรงเรือน + ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง + ต้นทุนค่าแรง

= 10 + 10.4 + 60

= 80.4 บาทต่อกิโลกรัม

จากต้นทุนการผลิตผักตบชวาอบแห้ง พบว่าค่าใช้จ่ายในการอบแห้งจะเน้นไปที่ค่าแรงที่ใช้สำหรับการอบแห้ง คือ 60 บาท/กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 72 ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด

เมื่อเปรียบเทียบถึงการซื้อผักตบชวาอบแห้งที่สามารถซื้อได้ในราคากิโลกรัมละ 70 บาท แต่ค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้จ่ายสำหรับการอบแห้งด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะอยู่ที่ 80.40 บาท นั่นคือ แพงกว่าที่ซื้อผักตบจากท้องตลอดเท่ากับ 10.40 บาท หรือร้อยละ 19 เมื่อเทียบกับราคาซื้อ แต่ผลผลิตที่ได้จากโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะมี

คุณภาพที่สม่ำเสมอควบคุมคุณภาพของผลผลิตได้ดีกว่าผักตบชวาจากท้องตลาด สามารถทำการอบแห้งได้ในช่วงฤดูฝน ทำให้ไม่เกิดการาดแคลนวัตถุดิบ

เมื่อพิจารณาการคิดต้นทุนในการผลิตที่นอนแมวจากผักตบชวาแห้งซึ่งจะสามารถคิดจุดคุ้มทุนภายใต้สมมติฐานดังนี้

1. ผลิตที่นอนแมวได้สัปดาห์ละ 10 ชิ้น เนื่องจากระยะเวลาที่ทำการอบแห้งจะใช้เวลาทั้งสิ้น 4 วัน

2. ถ้าอบแห้งผักตบชวาด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการใช้แหล่งพลังงานความร้อนเสริมนี้ จะลดระยะเวลาในการอบแห้งได้เหลือเพียง 1 วัน เพิ่มกำลังการผลิตได้เป็น 30 ชิ้น/สัปดาห์ จากการซื้อผักตบชวากิโลกรัมละ 70 บาท ทำให้ผลตอบแทนจากการผลิตที่นอนแมวด้วยวิธีการวิธีการดั้งเดิม ชิ้นละ 95 บาท

3. ผลตอบแทนจากการผลิตที่นอนแมวด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จะลดลงเหลือ 84.6 บาท/ชิ้น

4. วิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน ดังนี้

1) การผลิตแบบวิธีการดั้งเดิมได้ผลผลิต 10 ชิ้น/สัปดาห์ ดังนั้น จะสามารถผลิตได้ 520 ชิ้น/ปี จึงมีผลตอบแทนเท่ากับ 49,400 บาท/ปี

2) เมื่อมีการอบแห้งด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถเพิ่มผลผลิตได้เป็น 2,600 ชิ้น/ปี มีผลตอบแทน 219,960 บาท/ปี

ดังนั้น ผลตอบแทนการลงทุนที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนจากวิธีดั้งเดิมมาใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผลต่างของผลตอบแทนทั้งหมดจากโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กับวิธีดั้งเดิม เท่ากับ 170,560 บาท/ปี

$$\text{จุดคุ้มทุน} = \frac{\text{ต้นทุนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์}}{\text{ผลตอบแทนการลงทุน}}$$

$$= \frac{130,000}{170,560}$$

จุดคุ้มทุน = 0.76 หรือ 9 เดือน 4 วัน

จุดคุ้มทุนจากการใช้โรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ คือ 9 เดือน 4 วัน แต่เป็นจุดคุ้มทุนที่มีการเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นจาก 10 ชิ้น/สัปดาห์ เป็น 30 ชิ้น/สัปดาห์ นั่นคือ จะต้องมีการขยายตลาด เพื่อเพิ่มการขายและให้สินค้าขายได้มากยิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

ในการอบแห้งผักตบชวาโดยใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีเตาซุปเปอร์อั้งโล่เป็นแหล่งความร้อนเสริมนั้น ผักตบชวาสดมีความชื้นเริ่มต้น 91%wb ลดลงเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 12%wb โดยใช้ระยะเวลา 8 ชั่วโมง จากการตากแห้งดั้งเดิม 32 ชั่วโมง (4วัน) ซึ่งลดระยะเวลาในการตากแห้งแบบดั้งเดิมได้ร้อยละ 75 โดยอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งเฉลี่ยและอุณหภูมิอากาศแวดล้อมเท่ากับ เท่ากับ 50 °C และ 30 °C ตามลำดับ และใช้พลังงานในการอบแห้งคิดเป็น 7.8 MJ/kgผักตบชวา

ปริมาณการผลิตที่นอนแมวจากผักตบชวาโดยใช้โรงอบพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตได้มากกว่าเดิม 3 เท่า เนื่องจากลดระยะเวลาในการผลิตจาก 4 วัน เหลือเพียง 1 วัน ทำให้ต้นทุนการผลิตที่นอนลดเหลือ 84.6 บาท/ชิ้น และมีการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 2,600 ชิ้น/ปี และผลตอบแทนการลงทุนเมื่อเปลี่ยนจากวิธีธรรมชาติมาใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็น 170,560 บาท/ปี โดยจุดคุ้มทุนจากการใช้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 9 เดือน 4 วัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานพลังงานจังหวัดอุตรดิตถ์ ที่อำนวยความสะดวกและให้คำปรึกษาในเรื่องของอุปกรณ์และจัดหาสถานที่ และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณ กลุ่มรักพลังงานบ้านห้วยบง ตำบลป่าเซ่า อำเภอเมืองอุตรดิตถ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดหาวัตถุดิบ และอำนวยความสะดวกในการทำงานและสถานที่

เอกสารอ้างอิง

[1] ฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงชลประทาน. ชีววิทยาของผักตบชวา. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.irrigation.go.th. เข้าดูเมื่อ 5/10/2561

[2] สมพร วาสะสิริ. (2557). ผืนผ้าจากเส้นใยผักตบชวาผสมด้าย. **วารสารศิลปกรรมศาสตร์วิชาการ วิจัย และงานสร้างสรรค์**. 1 (1), 210-227

[3] วันไชย คำเสน และคณะ. (2556). **โรงเรือนอบแห้งพลังงานร่วมด้วยรังสีแสงอาทิตย์และไฟฟ้า**.การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54.

[4] มลฤดี บุญยะศรี. (2554). **การอบแห้งเนื้อหมูด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ME80

การออกแบบระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

The Design of Solar ElectricIrrigation System for Melon Cultivation in Greenhouse

สลิลรัตน์ ประสพฤกษ์* สุเพชร จิรขจรกุล และธนิท เรืองรุ่งชัยกุล
สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต
99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

การศึกษานี้จัดทำขึ้นเพื่อออกแบบและติดตั้งระบบให้น้ำแบบน้ำหยดกับเมล่อนทั้งหมด 600 ต้นในโรงเรือนขนาด 6 x 18 เมตร จำนวน 2 โรงเรือน โดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์รวม 300 วัตต์ (Polycrystalline silicon) แบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน ประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่แบบรอบลึก (Deep cycle) แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ 150 แอมป์-ชั่วโมง จำนวน 2 ลูก ใช้งานกับไฟฟ้าแรงดันต่ำ 24 โวลต์ เพื่อสูบน้ำเข้าถังเก็บน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำแบบชัก (มอเตอร์กระแสตรง) ขนาด 24 โวลต์ จำนวน 1 เครื่อง โดยใช้ลูกลอยเพื่อตรวจสอบระดับน้ำในถังเก็บน้ำ ในส่วนของการให้น้ำในโรงเรือนใช้เครื่องสูบน้ำแบบชัก และเครื่องสูบน้ำหอยโข่ง ขนาด 24 โวลต์ เพิ่มแรงดันน้ำในแต่ละโรงเรือน ประสิทธิผลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ โดยผ่านตัวควบคุมการประจุไฟฟ้า มีค่าร้อยละ 43.15 (1,035 Wh/day) เมื่อติดตั้งแล้วระบบสามารถทำงานได้ดี สามารถใช้งานได้ในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง และรองรับการใช้งานร่วมกับระบบให้น้ำอัตโนมัติ

คำสำคัญ: การให้น้ำ เมล่อน โรงเรือน เซลล์แสงอาทิตย์

*Corresponding author: Tel.: 082 636 8128. E-mail address: salilrat1994@gmail.com

บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่เกษตรกรรมคิดเป็น 46.53% ของพื้นที่ทั้งหมดภายในประเทศ [1] และประชากรส่วนใหญ่ยังคงทำอาชีพเกษตรกรรม ภาคการเกษตรจึงมีบทบาทที่สำคัญมากในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ จึงต้องมีการพัฒนาศักยภาพการผลิต และผลผลิตทางการเกษตรให้ดียิ่งขึ้น การทำการเกษตรมีปัจจัยที่สำคัญคือการให้น้ำพืช ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อการปลูกพืชให้เจริญเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูง ตลอดจนเพื่อให้ได้ผลประโยชน์จากน้ำชลประทานอย่างเต็มที่ [2] เราจึงควรออกแบบและจัดการระบบการให้น้ำให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

เมล่อนเป็นพืชเศรษฐกิจประเภทแตงอีกชนิดหนึ่งที่กำลังเป็นที่นิยมในการบริโภค เนื่องจากมีรสชาติดี เนื้อนุ่ม หวานฉ่ำมีกลิ่นหอม ใช้ประกอบของหวานและเครื่องดื่มหลายชนิด จึงเป็นที่ต้องการของตลาด อีกทั้งยังมีราคาดีการปลูกเมล่อนส่วนใหญ่มักปลูกภายในโรงเรือนระบบปิด เพราะสามารถควบคุมโรค ให้น้ำได้ง่าย มีผลผลิตสูงกว่าแบบปลูกกลางแจ้ง ในการติดตั้งระบบให้น้ำ เกษตรกรจำเป็นต้องจ่ายค่าไฟฟ้ารายเดือน เพราะระบบการให้น้ำ (เครื่องสูบน้ำ ตัวควบคุมเวลาการให้น้ำ) ทำงานด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ อีกทั้งถ้าเกษตรกรต้องการติดตั้งโรงเรือนในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบสายส่งไฟฟ้าสูงขึ้น

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และมีศักยภาพค่อนข้างสูงในประเทศไทย การประยุกต์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานของระบบการให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความเหมาะสมกับเกษตรกร โดยออกแบบให้ระบบไม่มีความซับซ้อน สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาออกแบบระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ขอบเขตการศึกษา

1)การศึกษานี้ออกแบบเพื่อให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนทรง กจำนวน 2 โรงเรือน แต่ละโรงเรือนมีขนาด6 x 18 เมตร จำนวน 600 ต้น (โรงเรือนละ 300 ต้น) ที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

2) การศึกษานี้ใช้ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แรงดันต่ำ (24 โวลต์)

วิธีการวิจัย

การศึกษาออกแบบระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

1)การเก็บรวบรวมข้อมูลและการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

โดยศึกษาข้อมูลจากการสัมภาษณ์และงานวิจัยเกี่ยวกับความต้องการน้ำของเมล่อน ระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนของเกษตรกร และการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับการให้น้ำพืช

2) การออกแบบระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ต้องคำนึงถึงองค์ประกอบดังต่อไปนี้

2.1) การวางระบบน้ำภายในโรงเรือน พิจารณาจากการสำรวจ และสัมภาษณ์เกษตรกร ถึงระบบให้น้ำที่มีความเหมาะสมกับพืช (เมล่อน)

2.2) ระบบสูบน้ำและท่อน้ำ ศึกษาจากงานวิจัย ออกแบบให้เพียงพอต่อความต้องการน้ำของพืช ใช้งานได้สะดวก ราคาเหมาะสมกับเกษตรกร

*2.3) วงจรควบคุมการให้น้ำ*โดยให้ระบบสามารถทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ และรองรับระบบให้น้ำแบบอัตโนมัติต่อไปในอนาคต อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ไม่ครอบคลุมถึงวงจรควบคุมการให้น้ำพืช

3) การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ศึกษาข้อมูลเพื่อออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้กล่องควบคุมระบบไฟฟ้าแบบpulse width modulation(PWM)โดยใช้แบตเตอรี่แบบรอบลึก (Deep cycle) ควบคู่กับการใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนซึ่งมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้ามากกว่าการติดตั้งแบบอยู่กับที่ร้อยละ 30-40[3]โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนของธนิท เรืองรุ่งชัยกุล และวัชระวิชญ์ เจียรวรรณ์ [4] ซึ่งโครงสร้างและวงจรควบคุมดังกล่าวไม่ซับซ้อน ติดตั้งได้ง่าย อุปกรณ์หาได้ง่ายในท้องตลาดทั่วไป และมีต้นทุนไม่สูงมากทำการติดตั้งระบบภายในแปลงเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การออกแบบระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การออกแบบระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์2) การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และ 3) ค่าใช้จ่ายระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1) การออกแบบระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการสำรวจและสัมภาษณ์เกษตรกร สามารถออกแบบระบบให้น้ำเมล่อนได้ดังต่อไปนี้

1.1) ระบบน้ำภายในโรงเรือน จากการศึกษาพบว่า เมล่อนเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อน มีความต้องการใช้น้ำทั้งหมด 2 ลิตรต่อต้นต่อวัน[5-7]คิดเป็น 600 ลิตรต่อโรงเรือนต่อวัน ในส่วนของการให้น้ำพืชมีด้วยกัน 4 รูปแบบ คือ 1) การให้น้ำทางผิวดิน (Surface Irrigation) 2) การให้น้ำทางใต้ผิวดิน (Subsurface Irrigation) 3) การให้น้ำแบบฉีดฝอยหรือฝนเทียม (Sprinkler Irrigation) และ 4) การให้น้ำแบบหยด (Drip or Trickle Irrigation)ซึ่งระบบให้น้ำพืชที่มีความเหมาะสมกับเมล่อนในโรงเรือน คือ การให้น้ำแบบหยด เพราะเป็นระบบที่ใช้น้ำน้อย ให้น้ำในเขตรากพืชโดยไม่สิ้นเปลือง และสอดคล้องกับการใช้งานของเกษตรกรส่วนใหญ่

1.2) ระบบสูบน้ำและท่อน้ำ โรงเรือนที่ใช้เป็นโรงเรือนทรง ก ขนาด 6 x 18 เมตร จำนวน 2 โรงเรือนติดกัน ผู้วิจัยจึงออกแบบให้ใช้เครื่องสูบน้ำ 2 ชนิด คือ เครื่องสูบน้ำแบบชัก (Piston Pump) และเครื่องสูบน้ำหอยโข่ง (Centrifugal Pump) เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบการทำงาน จากการศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แรงดันต่ำสำหรับน้ำประปาในบ้านพักอาศัย[8]พบว่าเครื่องสูบน้ำแบบชักมีอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ย35.96 ลิตรต่อนาทีและเครื่องสูบน้ำหอยโข่งมีอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ย29.33 ลิตรต่อนาที ซึ่งสามารถคำนวณหาระยะเวลาที่ต้องใช้ในการสูบน้ำสำหรับการให้น้ำเมล่อนได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1ระยะเวลาการใช้งานเครื่องสูบน้ำต่อวันของโรงเรือนเมล่อน

อุปกรณ์	อัตราการไหลของน้ำ (ลิตรต่อนาที)	ความต้องการน้ำของเมล่อน (ลิตรต่อโรงเรือน)	ระยะเวลาใช้งาน (ชั่วโมงต่อวัน)
1. เครื่องสูบน้ำแบบชัก (เข้าถัง)	35.96	1,200	0.56 (33.37 นาที)
2. เครื่องสูบน้ำแบบชัก (โรงเรือน1)	35.96	600	0.28 (16.69 นาที)
3. เครื่องสูบน้ำหอยโข่ง (โรงเรือน2)	29.33	600	0.34 (20.46 นาที)

ในการศึกษานี้ได้ทำการติดตั้งถังเก็บน้ำบนดินขนาด 1,000 ลิตรในแต่ละโรงเรือน ในส่วนของเครื่องสูบน้ำเข้าถัง เลือกใช้เครื่องสูบน้ำแบบชัก เพราะเครื่องสูบน้ำแบบชักสามารถสร้างแรงดันน้ำได้สูง [9] และติดตั้งชุดกรองน้ำแบบตะแกรงต่อขนานกัน (เพื่อลดความสูญเสียอัตราการไหลของน้ำ) ก่อนเข้าถังเก็บน้ำ

ระบบท่อน้ำ ใช้ท่อน้ำ PVC ขนาด 1 นิ้วเพื่อส่งน้ำเข้าและออกจากถังเก็บน้ำ ท่อน้ำหลังจากเครื่องสูบน้ำใช้ท่อตามขนาดของเครื่องสูบน้ำแต่ละชนิด คือ ขนาด ¾ นิ้วสำหรับเครื่องสูบน้ำหอยโข่ง และขนาด 1 นิ้วสำหรับเครื่องสูบน้ำแบบชัก โดยลดขนาดเหลือ ¾ นิ้วเพื่อจ่ายน้ำในโรงเรือนทั้ง 2 โรงเรือน แล้วแยกเป็นท่อย่อยโดยใช้ท่อ PE ขนาด 16 มิลลิเมตร เป็น 5 แถวย่อยเพื่อเชื่อมต่อกับหัวน้ำหยด ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1ระบบสูบน้ำและท่อน้ำ

2) การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษาพบว่าการปลูกเมล่อนในโรงเรือน เมล่อนจะมีความต้องการใช้น้ำ 2 ลิตรต่อต้นต่อวัน ซึ่งแต่ละโรงเรือนปลูกเมล่อนจำนวน 300 ต้น ดังนั้นจึงมีการใช้น้ำ 600 ลิตรต่อโรงเรือน และนำค่ามาวิเคราะห์เพื่อออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

*2.1) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวัน*จากข้อมูลข้างต้น การศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แรงดันต่ำสำหรับน้ำประปาในบ้านพักอาศัย[8] พบว่าเครื่องสูบน้ำขนาด 12 โวลต์ ใช้กระแสไฟฟ้า 18 แอมแปร์ คิดเป็น 216 วัตต์ ซึ่งใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบสำหรับการศึกษานี้ เมื่อคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในโรงเรือนในระบบให้น้ำพบว่ามีการใช้เครื่องสูบน้ำแบบชัก 2 ตัว เครื่องสูบน้ำหอยโข่ง 1 ตัว โซลินอยด์วาล์ว 4 ตัว รวมพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด 258.26 วัตต์ชั่วโมงต่อวัน ดังแสดงในตารางที่2

ตารางที่ 2 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของโรงเรือนเมล่อน

อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ระยะเวลาใช้งาน (ชั่วโมงต่อวัน)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์ชั่วโมงต่อวัน)
1. เครื่องสูบน้ำแบบชัก (เข้าถัง)	216	0.56(33.37นาที)	120.96
2. เครื่องสูบน้ำแบบชัก (โรงเรือน1)	216	0.28(16.69นาที)	60.48
3. เครื่องสูบน้ำหอยโข่ง (โรงเรือน2)	216	0.34(20.46นาที)	73.44
4. โซลินอยด์วาล์ว 2 ตัว (เข้าถัง)	4 (2W x 2)	0.54 (33 นาที)	2.16
5. โซลินอยด์วาล์ว 1 ตัว (โรงเรือน1)	2	0.27 (16 นาที)	0.54
6. โซลินอยด์วาล์ว 1 ตัว (โรงเรือน2)	2	0.34 (20 นาที)	0.68
	รวม		**258.26**

*2.2) ความเหมาะสมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์*จากข้อมูลข้างต้น ซึ่งต้องการกำลังไฟฟ้า 216 วัตต์ การศึกษานี้จึงออกแบบให้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (P_{PV}) ขนาด 300 วัตต์ 36 โวลต์จำนวน 1แผ่นกำหนดให้ชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด (PSH) เท่ากับ 4ชั่วโมงต่อวัน ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ ($\eta_{ระบบ}$) เท่ากับ ร้อยละ 74 *(ประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (η_{PV}) ร้อยละ 90 ของกำลังสูงสุด ประสิทธิภาพของสายส่ง (η_{wiring}) ร้อยละ 97 ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ($\eta_{battery}$) ร้อยละ 85)*[10]มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ($Energy_{use}$) 258.26วัตต์-ชั่วโมงต่อวันสามารถวิเคราะห์หาความเหมาะสมของขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้จากสมการที่ 1

$$P_{PV}\,(W) \times PSH \times \eta_{ระบบ} \geq Energy_{use} \quad (1)$$

$$300\,(W) \times 4\,(h/day) \times 0.74 \geq 258.26\ Wh/day$$

$$888 Wh/day \geq 258.26\ Wh/day$$

จากการคำนวณข้างต้นจะเห็นได้ว่า พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ มีค่ามากกว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องสูบน้ำต้องการ ดังนั้น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 1 แผ่น จึงมีความเหมาะสม

อย่างไรก็ตามหลังจากการติดตั้งระบบและทดสอบใช้งานเบื้องต้น พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องสูบน้ำหอยโข่งแตกต่างจากที่ออกแบบไว้ คือใช้กระแสไฟฟ้า 14 แอมแปร์ เป็นผลทำให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนไป ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งเมื่อคำนวณขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการ พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์ ยังคงพอเพียงต่อการใช้งาน

ตารางที่ 3 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันของโรงเรือนเมล่อนที่ใช้งานจริง

อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ระยะเวลาใช้งาน (ชั่วโมงต่อวัน)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (วัตต์ชั่วโมงต่อวัน)
1. เครื่องสูบน้ำแบบชัก (เข้าถัง) 1200 L	216 (24V x 9A)	0.56 (33.37 นาที)	120.96
2. เครื่องสูบน้ำแบบชัก (โรงเรือน1) 600 L	216 (24V x 9A)	0.28 (16.69 นาที)	60.48
3. เครื่องสูบน้ำหอยโข่ง (โรงเรือน2) 600 L	336 (24V x 14A)	0.34 (20.46 นาที)	114.24
4. โซลินอยด์วาล์ว 2 ตัว (เข้าถัง)	4 (2W x 2)	0.54 (33 นาที)	2.16
5. โซลินอยด์วาล์ว 1 ตัว (โรงเรือน1)	2	0.27 (16 นาที)	0.54
6. โซลินอยด์วาล์ว 1 ตัว (โรงเรือน2)	2	0.34 (20 นาที)	0.68
	รวม		**299.06**

*2.3) ขนาดความจุของแบตเตอรี่*เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีขนาด 300 วัตต์ (36 โวลต์) จึงเลือกใช้แบตเตอรี่แบบรอบลึก (Deep cycle)12 โวลต์ต่ออนุกรมกัน 2 ลูก ให้มีแรงดันไฟฟ้ารวมกัน 24 โวลต์ เพื่อความเหมาะสมกับขนาดแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการศึกษานี้กำหนดให้มีอัตราการจ่ายไฟไปใช้งาน ($Dis_{battery}$) ร้อยละ 0.50[8]และออกแบบเผื่อสำหรับวันที่ไม่มีแดด 3 วัน สามารถคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ ($Ah_{battery}$) ได้ดังสมการที่ 2

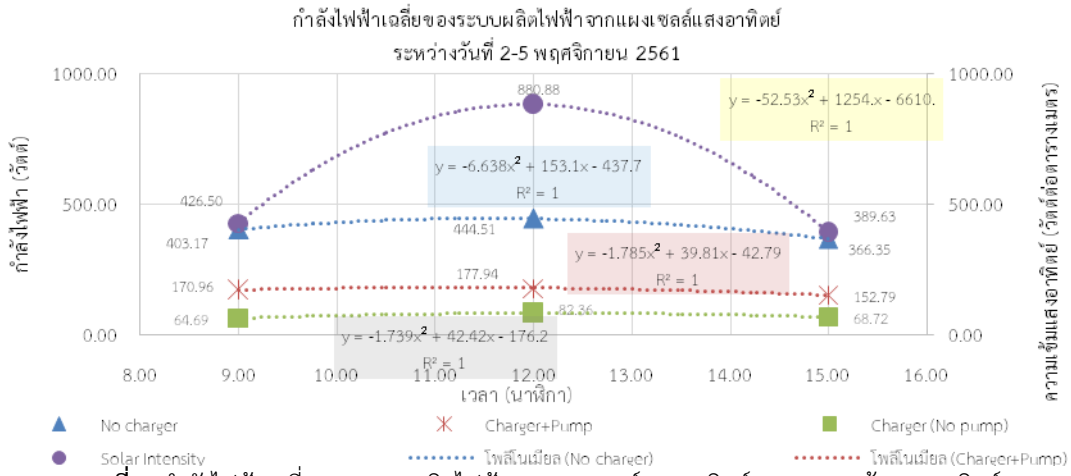
$$Ah_{battery} \times Volt_{battery} \times \eta_{battery} \times Dis_{battery} \geq Energy_{use} \times \text{จำนวนวันที่ไม่มีแดด} \quad (2)$$

$$Ah_{battery} \times 24\ (V) \times 0.85 \times 0.50 \geq 299.06\ Wh/day \times 3$$

$$Ah_{battery} \geq 87.96\ Ah$$

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษาเลือกใช้แบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์150 แอมป์-ชั่วโมงต่ออนุกรม 2 ลูก ให้แรงดันไฟฟ้าเป็น 24 โวลต์ ซึ่งมากกว่าค่าที่คำนวณได้ข้างต้น

หลังจากการติดตั้งระบบและทดสอบใช้งานเบื้องต้น ได้ทำการวัดกำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ในช่วงเวลา 9.00 – 15.00 น. ระหว่างวันที่ 2-5 พฤศจิกายน 2561 พบว่าการประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่โดยไม่ผ่านตัวควบคุมการประจุไฟฟ้า(No charger) ผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดเนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่เต็มที่ ในส่วนของการประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่โดยผ่านตัวควบคุมการประจุไฟฟ้าพร้อมเปิดการใช้งานเครื่องสูบน้ำ (charger+pump)สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้น้อยกว่ากรณีข้างต้น แต่ผลิตกำลังไฟฟ้าสูงกว่าการประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่โดยผ่านตัวควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยไม่เปิดการใช้งานเครื่องสูบน้ำ (charger (no pump)) เนื่องจากความจุแบตเตอรี่ใกล้เต็ม ตัวควบคุมการประจุไฟฟ้าจึงประจุไฟฟ้าน้อยลงด้วยดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และความเข้มแสงอาทิตย์

จากภาพที่ 3 เมื่อคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อวันจากพื้นที่ใต้กราฟ พบว่า กรณีไม่มีตัวควบคุมการประจุไฟฟ้าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 2,547.27 วัตต์ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งสูงกว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณจากกำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ค่าชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด 4 ชั่วโมงต่อวัน คือ 2,400 วัตต์ชั่วโมงต่อวัน (600 วัตต์ x 4 ชม.) ดังนั้นในระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงใช้ตัวควบคุมการประจุไฟฟ้า เพื่อลดพลังงานในการประจุไฟฟ้าให้มีความเหมาะสม และช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ แต่จะทำให้พลังงานที่ไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้น้อยลง ดังตารางที่ 4

จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การใช้งานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 1 แผ่น ในระบบสูบน้ำสำหรับเมล่อนน้อยกว่าพลังงานงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ซึ่งสามารถนำระบบดังกล่าวไปใช้งานกับพืชชนิดอื่นที่มีความต้องการน้ำมากกว่าเมล่อน (> 600 ลิตรต่อโรงเรือน) อย่างไรก็ตามในการติดตั้งใช้งานจริงของระบบนี้ ได้ทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์เพิ่มเติมอีก 1 แผ่น รวมเป็น 2 แผ่น เพื่อรองรับกับการใช้งานแสงสว่างและอื่น ๆ ในพื้นที่แปลงเกษตร ดังแสดงในภาพที่ 4

ตารางที่ 4 การผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

	กำลังไฟฟ้า (Wh)	No Charger	Charger+Pump	charger (No pump)
เวลา (นาฬิกา)	9.00 น.	403.17	170.96	64.69
	12.00 น.	444.51	177.94	82.36
	15.00 น.	366.35	152.79	68.72
พลังงานไฟฟ้า (Wh/day)		2547.27	1035.49	462.77
ประสิทธิภาพการประจุไฟฟ้า (%; PSH=4)		106.14	43.15	19.28



ภาพที่ 4ระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนแบบน้ำหยดโดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์

3) ค่าใช้จ่ายระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หลังจากการติดตั้งระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รวบรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดได้แก่ ค่าระบบสูบน้ำและท่อน้ำ ค่าวงจรควบคุม และค่าระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งไม่รวมค่าแรงงาน และค่าโรงเรือนมีต้นทุนรวมประมาณ74,590บาท (คิดที่การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผ่น) ดังตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบให้น้ำเมล่อนของเกษตรกรในจังหวัดปทุมธานี พบว่า ต้นทุนของเกษตรกรในการติดตั้งระบบประมาณ34,000 บาท ซึ่งระบบที่ออกแบบมีต้นทุนสูงกว่า แต่ไม่ต้องจ่ายค่าไฟฟ้ารายเดือน (ค่าไฟของเกษตรกรประมาณ 1,000 บาทต่อเดือน)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ ได้ศึกษา ออกแบบและติดตั้งระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน ในระบบใช้แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ มีเครื่องสูบน้ำแบบชักสูบน้ำเข้าถังเก็บน้ำและเครื่องสูบน้ำแบบชักและเครื่องสูบน้ำหอยโข่งเพิ่มแรงดันน้ำเข้าในโรงเรือนที่ติดตั้งระบบน้ำหยดเพื่อให้น้ำเมล่อน เมื่อติดตั้งแล้วระบบสามารถทำงานได้ดี ระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในโรงเรือน มีต้นทุนในการติดตั้งระบบ (ไม่รวมค่าแรง และค่าโรงเรือน) ประมาณ 74,590บาท เป็นระบบที่ไม่ต้องเสียค่าไฟฟ้า สามารถใช้งานได้ในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง และรองรับการใช้งานร่วมกับระบบให้น้ำอัตโนมัติอย่างไรก็ตาม การใช้ไฟฟ้าของระบบให้น้ำเมล่อนน้อยกว่าปริมาณไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ซึ่งสามารถใช้งานระบบให้น้ำกับพืชที่มีความต้องการน้ำมากว่า 600 ลิตรต่อวัน หรือติดตั้งระบบแสงสว่างบริเวณรอบโรงเรือนในเวลากลางคืนได้

ตารางที่ 5 ค่าใช้จ่ายระบบให้น้ำเมล่อนในโรงเรือนโดยใช้ไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคา (บาท)
ค่าระบบสูบน้ำและท่อน้ำ			
1. เครื่องสูบน้ำหอยโข่ง	1	3,200	3,200
2. เครื่องสูบน้ำแบบชัก	2	6,300	12,600
3. ถังเก็บน้ำ	2	6,800	13,600
4. ท่อน้ำและข้อต่อ	1	4,700	4,700
ค่าวงจรควบคุม			
5. กล่องควบคุมระบบไฟ	1	2,350	2,350
6. โซลินอยด์วาล์ว	4	1,100	4,400
7. ตัวควบคุมการประจุไฟ	1	540	540
ค่าระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์			
8. ชุดควบคุมติดตามดวงอาทิตย์	1	3,100	3,100
9. โครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์	1	5,900	5,900
10. แผงเซลล์แสงอาทิตย์	1	5,400	5,400
11. แบตเตอรี่	2	7,200	14,400
12. สายไฟ+ท่อเดินสายไฟ	1	4,400	4,400
รวม			**74,590**

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2558). **สถานการณ์การผลิตและการตลาดรายสัปดาห์ 6-12 เมษายน 2558** สืบค้นเมื่อ 2 กรกฎาคม2560, จาก http://www.oae.go.th/view/1/รายละเอียดภาวะเศรษฐกิจการเกษตร/851/TH-TH.

[2] ธีระพล ตั้งสมบุญ.(2549). **เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรการปรับปรุงระบบการจัดการน้ำด้านการเกษตรชลประทาน** สืบค้นเมื่อ 2 กรกฎาคม2560, จาก http://kmcenter.rid.go.th/kmc10/data/article/2554/005.pdf.

[3] กฤชนนท์ สวนจันทร์, สุเพชร จิรขจรกุล และธนิท เรืองรุ่งชัยกุล. (2560). “การออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโซลาร์ฟาร์ม” , ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10**. วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 ณ หอประชุมเฉลิมพระเกียรติ. พัทลุง : มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

[4] ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล และวัชระวิชญ์ เจียรวรรณ์. (2558). “ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนราคาถูกสำหรับบ้านพลังงานแสงอาทิตย์” , ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8**. วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[5] มนูญ ศิรินุพงศ์, และคณะ. (2559). ผลผลิตและคุณภาพของแตงเทศ 3 สายพันธุ์ในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์**3 (3), 29-34.

[6] สถานีวิทยุ ม.อ. ปัตตานี. (2559). **นักวิชาการเกษตร ม.อ.ปัตตานีทำวิจัยปลูกเมล่อนด้วยวัสดุท้องถิ่น เตรียมจำหน่ายครั้งแรกสัปดาห์หน้า แนะเกษตรกรปลูกพืชใช้น้ำน้อยรับหน้าแล้ง และปรับเปลี่ยนวิถีการผลิต**

รับมือกับสภาพอากาศแปรปรวน. สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2561, จาก http://psu10725.com/2558/?p=2254.

[7] มนูญ ศิรินุพงศ์, เสกสม พัฒนพิชัย และสุจริตส่วนไพโรจน์. (2551). พันธุ์และการปรับตัวของแตงเทศในระบบปลูกพืชไม่ใช้ดิน. **วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร.** 39 (3), 86-89.

[8] ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล, ธัญกร คำปัญญา และวาลิตา พวงจำปา. (2560). การประยุกต์ใช้ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แรงดันต่ำสำหรับน้ำประปาในบ้านพักอาศัย. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน.** 1 (1), 28-33.

[9] บริษัท อินดัสทรี้โปร จำกัด. (2561). **การเลือกใช้งานปั๊มน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน** สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2561, จาก www.industrypro.co.th/th/2018/05/04/การเลือกใช้ปั๊มน้ำ/.

[10] พินิจนันท์ สามาอาพัฒน์ และธนิท เรืองรุ่งชัยกุล. (2558). การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร. **Thai Journal of Science and Technology, Thammasat University.** 4 (3), 217-226.



ประวัติผู้เขียนบทความ

สลิลรัตน์ ประสพฤกษ์
วท.บ. เทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ปัจจุบัน:ฝ่ายวิชาการและกิจกรรมเยาวชนวิทยาศาสตร์ บ้านวิทยาศาสตร์สิรินธร

ME81

ระบบแสดงผลเพื่อการเรียนรู้และอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบไร้สายสำหรับโรงเรียนชายขอบ

Wireless Energy Monitoring Display for Learning and Energy Conservation in Rural Schools

เจษฎา ผลเจริญ[1]* ไพบูลย์ นาคมหาชลาสินธุ์[1] อัศวิน หงษ์สิงห์ทอง[2] กิตติวงศ์ ถาวรวัฒน์[2] และไพรัช ธัชยพงษ์[2]
[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120
[2]ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
112 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวงจ.ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโรงเรียนพื้นที่ห่างไกลในบริบทการเรียนการสอนผ่านระบบสื่อสารระยะทางไกล มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาชุมชนและเป็นแหล่งเรียนรู้เพื่อให้มีความทัดเทียมหรือเท่าเทียมกันในด้านการศึกษา ที่ผ่านมานั้นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะไม่ได้ผนวกรวมระบบแสดงผลพลังงานไฟฟ้าแต่จะติดตั้งประจำที่อยู่กับระบบผลิตไฟฟ้าที่มีระยะทางค่อนข้างไกล จึงส่งผลให้การดูแลรักษาและทำนุบำรุงไม่ดีเท่าที่ควร นอกจากนั้นยังขาดความร่วมมือร่วมใจในการดูแลรักษาจากคุณครูและนักเรียนอีกด้วย ทั้งนี้ผู้ดูแลระบบมักจะถูกมอบหมายเพียงไม่กี่คน บางครั้งอาจจะถูกปล่อยละเลยได้ ระบบแสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จึงถูกออกแบบมาเพื่อทำการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนในระดับที่ยอมรับได้ประกอบไปด้วย ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ค่าการใช้งานพลังงานไฟฟ้าและค่าความจุแบตเตอรี่โดยส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารไร้สายระยะใกล้ไปยังป้ายแสดงผลเพื่อให้เจ้าหน้าที่ คุณครู และนักเรียนสามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนเพื่อเป็นการเฝ้าระวัง ส่งเสริมการเรียนการสอนด้านพลังงานเพื่ออนุรักษ์พลังงานภายในโรงเรียนหากมีการใช้ไฟฟ้าเกินความจำเป็นก่อให้เกิดความสามัคคีในการอนุรักษ์พลังงานและทำให้ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกด้วย

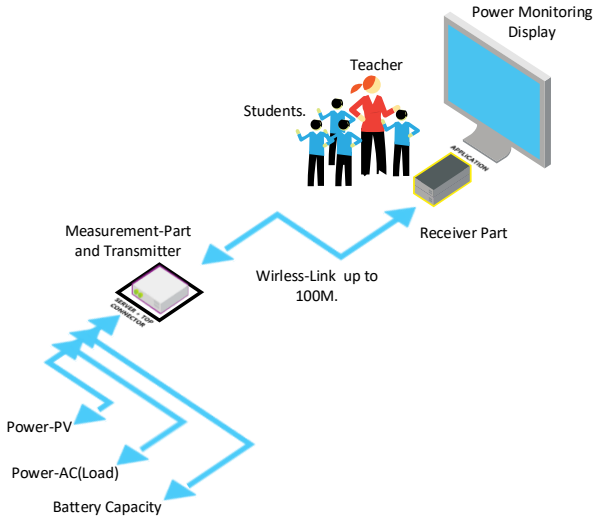
คำสำคัญ : พลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โรงเรียนชุมชนชายขอบ

*Corresponding author: E-mail address: jesada.pholcharoen@gmail.com

บทนำ

พลังงานไฟฟ้าถือได้ว่าเป็นโครงสร้างพื้นฐานหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาและยกระดับคุณภาพชีวิตประชากรทั้งเขตพื้นที่ชุมชนเมืองชุมชนชนบทและพื้นที่ชายขอบของประเทศ แต่ในเขตพื้นที่ชุมชนชายขอบในถิ่นทุรกันดารห่างไกลที่ความเจริญเข้าถึงลำบาก โดยส่วนมากมีโรงเรียนเป็นศูนย์กลางในการจัดกิจกรรมต่างๆของชุมชนซึ่งยังขาดแคลนโครงสร้างพื้นฐานนี้หรือยังมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นการสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อสนับสนุนกิจกรรมด้านการศึกษาของโรงเรียนในชุมชนชนบทได้อย่างเพียงพอจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อลดช่องว่างของความเหลื่อมล้ำทางเทคโนโลยีให้ชุมชนชนบทมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นทางศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติได้จัดทำโครงการ“การเรียนรู้ตลอดชีวิตสำหรับชุมชนชายขอบ” ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์รวมทั้งระบบการสื่อสารระยะไกลให้กับโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนเป็นจำนวนทั้งสิ้น 20โรงเรียนซึ่งก่อให้เกิดการพัฒนาการเรียนรู้เพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างมาก ทั้งนี้ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีหน้าที่จ่ายพลังงาน

ให้แก่ระบบไฟฟ้าส่องสว่างและระบบเน็ตเวิร์คภายในโรงเรียนซึ่งมีระบบสื่อการเรียนการสอนและอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โดยปัญหาที่ผ่านมานั้นระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกติดตั้งในห้องควบคุมบางครั้งอาจจะถูกปล่อยปะละเลยทำให้ระบบเสื่อมสภาพหรือเสียหายเร็วกว่าปกติ ทั้งนี้อาจจะเกิดจากการขาดผู้ชำนาญการหรือผู้ดูและระบบอย่างสม่ำเสมอ ผู้ออกแบบจึงได้ออกแบบระบบแสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งข้อมูลไร้สายไปแสดงผลเพื่อให้ทางเจ้าหน้าที่ คุณครู และนักเรียนสามารถเห็นข้อมูลค่าพลังงานอย่างชัดเจนดังภาพที่1 เพื่อเป็นสื่อการเรียนการสอนด้านพลังงานที่ทำให้เกิดความร่วมมือร่วมใจในการดูแลรักษาจากคุณครูและนักเรียน



ภาพที่ 1 ระบบแสดงผลเพื่อการเรียนรู้และอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบไร้สายสำหรับโรงเรียนชายขอบ

1. ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกออกแบบให้ตอบสนองต่อความต้องการทางไฟฟ้าของโรงเรียนสำหรับการเรียนการสอนเพื่อการเรียนรู้สำหรับชุมชนชายขอบที่ขาดแคลนไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะประกอบด้วย

1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าผลิตพลังงานไฟฟ้าจำหน่ายให้แก่ระบบทั้งหมด

1.2 ตัวชาร์จพลังงานทำหน้าที่ในการประจุกระแสไฟฟ้าไปยังตัวแบตเตอรี่

1.3 แบตเตอรี่ทำหน้าที่กักเก็บพลังงานไฟฟ้าเพื่อที่นำไปใช้งานในช่วงเวลาไม่มีพลังงานจากแสงอาทิตย์

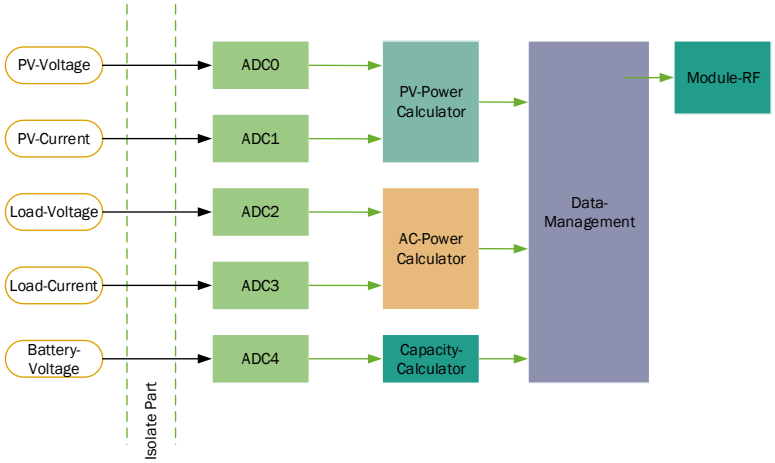
1.4 อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

2. การออกแบบระบบแสดงผลพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

2.1 ภาควัดและส่งสัญญาณ สร้างมาจากตัวอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรไฟฟ้าสื่อสารโดยภาพที่ 2 แสดงถึงส่วนประกอบการทำงานของโปรแกรมทั้งหมดที่ทำงานผ่านระบบไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ [1],[3] โดยการวัดค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงนั้นจะใช้ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงวัดด้วยวงจรแบ่งแรงดันซึ่งใช้วงจรแยกส่วนระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อป้องกันแรงดันไหลย้อนกลับระหว่างแรงดันต่ำและแรงดันสูงขนาด 400V ส่วนตัวตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้านั้นใช้ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้าตรง (Hall Sensor) ขนาด 70 A เป็นตัวตรวจจับโดยมีพิกัดการวัดอยู่ที่ 32KW ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถคำนวนได้ตามสมการที่ 1

$$P_{dc} = V_{dc} I_{dc} \quad (1)$$

V_{dc} คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง , I_{dc} คือกระแสไฟฟ้ากระแสตรง, P_{dc} คือกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อนำวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสไฟฟ้ากระแสตรงมาคูณกันจะได้เป็นกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 2ภาควัดและส่งสัญญาณ

แต่เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีความไม่แน่นอนตามสภาพอากาศจึงต้องมีการหาพื้นที่ของกำลังไฟฟ้าเทียบกับเวลาdtคือ เป็นการเก็บค่าพลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับเวลา ดังสมการที่ 2

$$P_{dc} = \frac{1}{T} \int V_{dc} * I_{dc}(dt) \quad (2)$$

และเมื่อเก็บค่ากำลังไฟฟ้าผ่านตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ไม่ต่อเนื่องกันด้วยเวลาตามภาพที่ 2 ดังนั้นกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นไปตามสมการที่ 3

$$P_{dc} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} V_{dc}(n) * I_{dc}(n) \quad (3)$$

N = จำนวนข้อมูลทั้งหมด , n = ลำดับของการเก็บข้อมูล

2.2 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ การวัดค่าพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับนั้นใช้ตัววัดแรงดันไฟฟ้ากระแสลับด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 220V/6V และใช้ตัวตรวจจับกระแสไฟฟ้าสลับแบบ CT (current transformer) ขนาด 100A โดยมีพิกัดกำลังไฟฟ้าที่วัดได้นั้นอยู่ที่ 20KW ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 4

$$P_{ac} = V_{ac} * I_{ac} * \cos\varphi \quad (4)$$

V_{ac} คือแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ , I_{ac} คือกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ,P_{ac} คือกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ, $\cos\varphi$ คือเพาเวอร์แฟคเตอร์โดยกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่วัดได้จะเป็นตามสมการที่ 5 และเมื่อเก็บค่าผ่านตัวแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอกนั้นจะเป็นไปตามสมการที่ 6

$$P_{ac} = \frac{1}{T}\int V_{ac} I_{ac}(dt) \quad (5)$$

$$P_{ac} = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} V_{ac}(n) * I_{ac}(n) \quad (6)$$

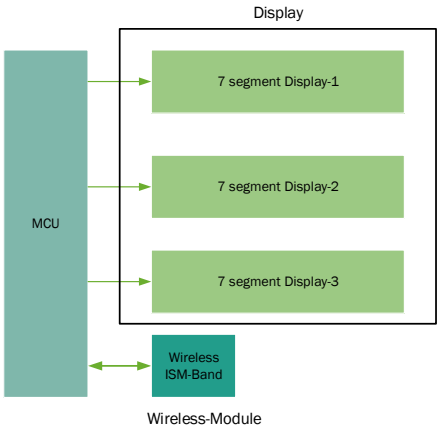
N = จำนวนข้อมูลทั้งหมด, n = ลำดับของการเก็บข้อมูล

การวัดแรงดันแบตเตอรี่นั้นจะใช้ตัวตรวจจับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรแบ่งแรงดันซึ่งใช้วงจรป้องกันแรงดันไหลย้อนกลับระหว่างแรงดันต่ำและแรงดันสูงขนาด60V โดยใช้สมการที่7วัดแรงดันแบตเตอรี่แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกราฟค่าความจุแบตเตอรี่ต่อแรงดันที่ออกโดยผู้ผลิตแบตเตอรี่ เพื่อหาค่าความจุแบตเตอรี่ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} {V_{ac}}^2(n)}{N}} \quad (7)$$

2.3 ภาคส่งสัญญาณไร้สาย ใช้โมดูลไอซีตระกูล nrf24L01 คลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 GHz แบบ ISM BAND ในการส่งข้อมูลไร้สายโดยมีระยะส่งสัญญาณอยู่ที่ประมาณ 100 เมตรบนพื้นที่โล่งโดยไม่มีสิ่งกีดขวางเป็นสื่อกลางการสื่อสารระหว่างตัววัดค่าพลังงานและป้ายแสดงผล

3. ภาครับและแสดงผลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อโมดูลไอซีตระกูล nrf24L01 ทำหน้าที่รับสัญญาณข้อมูลไร้สายมา[2],[4]แปลงเป็นข้อมูลตัวเลขแสดงผลผ่านตัว 7segmentภาพที่ 3 แสดงถึงการเชื่อมกันระหว่างโมดูลสื่อสารไร้สายและบอร์ดแสดงผลส่วนภาครับสัญญาณไร้สายที่ใช้ความถี่ 2.4 GHz แบบเดียวกันกับภาคส่งสัญญาณโดยมีระยะรับสัญญาณอยู่ที่ประมาณ 100 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสิ่งกีดขวางในพื้นที่ติดตั้ง โดยที่ภาคแสดงผลนั้นใช้ 7 segment ขนาด 1.2 นิ้วจำนวน 12 ตัวในการแสดงผลค่าพลังงานต่างๆโดยแบ่งออกเป็น ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ค่าพลังงานที่ใช้อยู่และค่าความจุแบตเตอรี่ เพื่อที่สามารถมองเห็นได้ในระยะไกล



ภาพที่ 3 ภาครับและแสดงผล

การทดสอบและผลการทดสอบ

ระบบทั้งหมดทำการติดตั้งอยู่ในพื้นที่โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านโป่งลึก *ตำบล*ห้วยแม่เพรียง *อำเภอ*แก่งกระจานจังหวัดเพรชบุรี ซึ่งมีระยะการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 70 เมตร ดังภาพที่ 4 การทดสอบจะแบ่งออกเป็น

สองส่วนโดยในส่วนแรกคือการเปรียบเทียบระบบแสดงผลที่ได้สร้างขึ้นมากับเครื่องวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเพื่อวัดผลค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับส่วนที่สองนั้นจะเป็นแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้งานของระบบทั้งหมด 17 โรงเรียน



ภาพที่ 4 ระบบแสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบไร้สายและป้ายการเรียนรู้เรื่องการอนุรักษ์พลังงาน

การทดสอบเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของระบบแสดงผลค่าพลังงาน หลังจากการทำการติดตั้งระบบเพื่อเปรียบเทียบกับค่าพลังงานของอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์กับระบบแสดงผลค่าพลังงานเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดพลังงาน โดยค่าความคลาดเคลื่อนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงสูงสุดอยู่ที่ประมาณ -3.68% มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.369% ค่าความคลาดเคลื่อนของพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับสูงสุดอยู่ที่ 7.4% มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.57% และการวัดค่าหาความจุแบตเตอรี่นั้นใช้การวัดเทียบกับแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 1%มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.2683%

การทำแบบสอบถามความพึงพอใจสำหรับการใช้งานระบบแสดงผลค่าพลังงานให้เป็นสื่อการเรียนรู้และอนุรักษ์พลังงานโดยมีจำนวนโรงเรียนทั้งหมด 17 โรงเรียนในการทำแบบสอบถามนี้ซึ่งมีหัวข้อคำถามทั้งหมด 6 ข้อโดยมีเกณฑ์วัดผลอยู่ทั้งหมด 4 ระดับ จากการทำแบบสอบถามอยู่ในเกณฑ์ที่ดี สามารถยอมรับได้ในการทำงานของระบบแสดงผลค่าพลังงานดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับความพึงพอใจสำหรับระบบแสดงผลพลังงานไฟฟ้าสำหรับชุนชนชายขอบ

	ประเมินความพึงพอใจของโรงเรียน			(จำนวน)
หัวข้อ/ ระดับ	4	3	2	1
1.แสดงผลข้อมูลได้ถูกต้องตามความเป็นจริง	17	0	0	0
2.แสดงผล/ข้อมูลทางไฟฟ้าที่เข้าใจได้ง่าย	15	2	0	0
3.สามารถนำไปติดตั้งแสดงผล/ข้อมูลตามจุดที่ต้องการได้สะดวก	15	2	0	0
4.ความสะดวกในการใช้งาน	14	3	0	0
5.ความสะดวกในการรักษา	15	2	0	0
6.ความปลอดภัยจากการใช้งาน	15	2	0	0
รวม	91	11	0	0

สรุป

จากเดิมระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ทำการติดตั้งนั้นมีปัญหาในเรื่องของการติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าจึงทำให้ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการภายในโรงเรียน นอกจากนั้นยังทำให้ระบบเสื่อมสภาพและเสียหายไวกว่าปกติ จากการทดสอบติดตั้งระบบแสดงผลพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบไร้สายสำหรับการเรียนรู้และอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงเรียนชายขอบนั้นทำให้ปัญหาในการติดตามค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่นั้น

ลดลง บุคคลากรและนักเรียนในโรงเรียนให้ความร่วมมือในการติดตามและประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ โดยการแสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้านั้นมีความคลาดเคลื่อนในระดับที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ระบบแสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้าถือเป็นสิ่งที่อำนวยความสะดวกต่อการติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงเรียน อีกทั้งยังเสริมสร้างการเรียนรู้และการอนุรักษ์พลังงานให้แก่บุคคลากรและนักเรียนทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ทั้งในทางตรงและทางอ้อม

เอกสารอ้างอิง

[1] Abubakar, S. N Khalid, M. W. Mustafa, Hussain Shareefand M. MustaphaCalibration Of ZMPT101B Voltage Sensor Module using Polynimial Regression for Acculated Load ,IGCESH 2016 , p112 - 115.

[2] AirulAzhaAbd. Rahman, N.a.A.R.A.S.A.A., Dr. GunawanWitjakson. Design of Autonomous Micro- Solar Powered Energy Harvesting System for Self- Powered Batteries-less Wireless Sensor Mote, Sensors (Basel, Switzerland), 2007.

[3] NY Dahlan, AAM Aris, MA Saidin, MJM Nadzeri, MNM Nawi, WF Abas, AF Abidin, H Mohammad, Z Zakaria, P ArshadMonitoring Development of Web-Based Real-time Energy Monitoring System for Campus University . Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering, vol. 8, 2016, pp. 157-164.

[4] เจษฎา ผลเจริญ, ไพบูลย์ นาคมหาชลาสินธุ์ (2558). การจัดการพลังงานสำหรับระบบเซ็นเซอร์โหนดไร้สายพลังงานแสงอาทิตย์ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 38.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบคุณโครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) มูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯสยามบรมราชกุมารีและโครงการไอซีทีเพื่อการเรียนรู้ตลอดชีวิตสำหรับชุมชนชายขอบในพื้นที่โครงการตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯสยามบรมราชกุมารี (รหัสP1650748 และP1650749) ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือและสถานที่ในการทำงานวิจัย

ME91

การสร้างพลังเครือข่ายภาคประชาชน สู่ความสำเร็จในการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศไทย

Establishing international cooperation networks and progress in driving the energy strategy of Thailand

ชาติ ไชยสิทธิ์[1] พิสิษฎ์ มณีโชติ[2] สำรวย ผัดผล[1] และตุนย์ ชมชื่น[1]
[1]สมาคมพัฒนาชุมชน พิจิตร 66000
[2] วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

การศึกษาเรื่อง “การสร้างพลังเครือข่ายภาคประชาชน สู่ความสำเร็จในการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ” มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างพลังเครือข่าย สู่ภาคีความร่วมมือให้เกิดพลังการขับเคลื่อนตามวิถีวัฒนธรรมของแต่ละเครือข่ายและศึกษาแนวทางการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานในทุกระดับ โดยใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพและใช้เครื่องมือการประชุมแบบระดมความคิด (Brian – storming)ประชากรวิจัยคือองค์การเครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน ใน 4 ภาค กลุ่มตัวอย่างงานวิจัยจำนวน 30 คน ผลการศึกษา พบว่าการสร้างพลังในการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงาน พบว่า ต้องมีหลักในการสร้างพลัง ในการจัดการความรู้ การสร้างพลังขับเคลื่อนทางสังคม การผลักดันในระดับนโยบายสาธารณะ การผนึกพลังความรู้ของเครือข่าย พบว่า ควรอยู่บนพื้นฐานของการพัฒนากลไกที่อิงกับสภาพของการทำงานที่เป็นรูปธรรมในพื้นที่ ก่อให้เกิดเป็นหน่วยจัดการความรู้เพื่อเป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาถิ่นจนสร้างกิจกรรมสร้างหลักสูตรการเรียนรู้ขึ้นมา โดยสร้างสถาบันการเรียนรู้ให้เป็นกลไกในการขับเคลื่อนจนเกิด “นวัตกรทางสังคม” หรือ “วิชาประชาชน” และนำไปสู่การผลักดันในระดับนโยบายตั้งแต่ละดับตำบล จังหวัดและระดับประเทศที่ผ่านกระทรวงพลังงานขึ้นไป แนวปฏิบัติในการจัดการเครือข่ายความร่วมมือเชิงระบบ การทำให้ความสามารถในการพัฒนาองค์ความรู้และทักษะ สนองความต้องการของชุมชนที่มีอยู่แล้ว มีมากขึ้นจนถึงระดับที่สามารถดำเนินกิจกรรมต่อเนื่องได้ด้วยตนเอง โดยนำแนวทางการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research-PAR) สนับสนุนให้ชุมชนได้ปฏิบัติงานร่วมกัน

คำสำคัญ: พลังเครือข่ายภาคประชาชน การผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ

Abstract

The Studying "Establishing international cooperation networks and progress in driving the country's energy strategy" aims to study to build a network of cooperation in ASEAN Economic Community and Education. Energy at all levels by using quality check methods and using brainstorming tools. The research population was the Community Energy and Environment Organization in four sectors. The research sample consisted of 30 people. The results of the study were as follows. Found

Creating a power to drive energy strategies. In the knowledge management Social Power Generation Push at public policy level. The knowledge network should be based on the

development of mechanisms based on concrete working conditions in the area. It is cause a knowledge management unit as a tool to solve local problems and create activities to create a learning curriculum by creating a learning institution as a mechanism to drive. The "Social innovation" or "Public Courses" and lead to pushing the level at the district level. Provinces and countries through the Ministry of Energy.

Network Management Practices and the ability to develop knowledge and skills. Meeting the needs of the community already exists. More to the extent that they can continue their activities on their own by conducting participatory action research. Participatory Action Research (PAR) encourages communities to work together

Keywords: Strength of people's networks, pushing of national energy policies

บทนำ

ปัจจุบันพลังงานจัดเป็นปัจจัยสำคัญต่อความมั่งคั่ง มั่นคง แต่ละประเทศจะต้องใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ ยิ่งประชากรเพิ่มขึ้นและมีมาตรฐานความเป็นอยู่ที่สูงขึ้น ยิ่งใช้พลังงานมากขึ้นทวีคูณ ความต้องการพลังงานทั่วโลกมีแนวโน้มที่จะเพิ่มเป็นสองเท่าภายในปี 2050 เมื่อเทียบกับระดับของปี 2000 ปัญหาโลกร้อนและภัยพิบัติทางธรรมชาติต่าง ๆ ปรากฏให้เห็นบ่อยครั้งขึ้นในภูมิภาคต่าง ๆ ของโลก และทวีความรุนแรงมากขึ้น เป็นปัญหาที่น่ากังวลและถือเป็นความท้าทายอันยิ่งใหญ่ของโลกขณะนี้ ซึ่งมีสาเหตุสำคัญมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่เกิดจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ยิ่งสำคัญมากขึ้น

ด้วยสภาวการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ประชาคมโลกจึงได้กำหนด ข้อตกลงด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศขึ้นที่กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส จนเกิดเป็นข้อตกลงปารีส (Paris Agreement) ซึ่งมีสาระสำคัญคือ ประเทศภาคีร่วมกันรักษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกให้ต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส ควบคู่กับการรักษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกให้น้อยลงไปอีกจนถึงต่ำกว่า 1.5 องศาเซลเซียส โดยคำนึงถึงศักยภาพของแต่ละประเทศตามสภาวการณ์ของประเทศที่แตกต่างกัน ข้อตกลงฯ ครอบคลุมการดำเนินการในประเด็นต่าง ๆ เช่น การลดก๊าซเรือนกระจก การปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเพิ่มความสามารถในการฟื้นตัวจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เมื่อวันที่ 22 เมษายน 2559 ในพิธีลงนามข้อตกลงประเทศไทยได้ร่วมลงนามด้วย ซึ่งรัฐบาลไทยได้กำหนดเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 20 – 25 ภายในปี ค.ศ. 2030 (ที่มา: www.mfa.go.th/thai_inter_org/th/services)

จากข้อมูลสถานการณ์พลังงานประเทศไทยในปี 2558 พบว่าความต้องการใช้พลังงาน เพิ่มขึ้นจากช่วงเดียวกันของปีก่อน ร้อยละ 1.3 การพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ปี 2558 อยู่ที่ระดับร้อยละ 60 เพิ่มขึ้นจากปี 2557 ร้อยละ 57 และยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศพบว่า ประเทศไทยอยู่ในอันดับที่ 24 ของโลก และถือว่าเป็นประเทศหนึ่งที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนสูงมากเมื่อเทียบกับชาติต่างๆในอาเซียน เนื่องจากไทยมีอุตสาหกรรมค่อนข้างใหญ่ ความเจริญของอุตสาหกรรม และการพัฒนาการขนส่งต้องใช้พลังงานสูง ประกอบกับประเทศไทยยังมีการพึ่งพิงเชื้อเพลิงฟอสซิล วัตถุดิบที่ก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์สูงในการผลิตไฟฟ้าเป็นหลัก จากสถิติภาพรวมการใช้พลังงานของประเทศไทยพบว่าภาคกลางและกรุงเทพฯ มีอัตราการใช้ไฟฟ้ารวมกันสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของการใช้ไฟฟ้าทั้งประเทศ ประเภทธุรกิจที่มีการใช้พลังงานพบว่า ภาคอุตสาหกรรมและภาคขนส่งจะมีการใช้พลังงานมากที่สุด คิดเป็น 70% ของการใช้พลังงานของทุกภาคเศรษฐกิจ และมีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่าง

มาก และกิจกรรมที่ต้องการน้ำมันมากที่สุดคือ ภาคการขนส่ง ถึงแม้พลังงานจะมีประโยชน์ในเชิงการผลิตและการบริโภค แต่ก็ส่งผลกระทบในเชิงลบเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งชุมชนที่อยู่ในใกล้เคียง ยังก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนสู่ชั้นบรรยากาศในทุกขั้นตอนการผลิตที่ 5.6 ล้านคาร์บอนต่อปี หรือสูงกว่าสัดส่วน 1% ของโลก

ก้าวสำคัญของการจัดการปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงที่ยิ่งใหญ่ ในระบบพลังงานและการแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่ การพัฒนาการด้านเทคโนโลยี การสร้างนวัตกรรมเพื่อพลังงานที่สะอาดขึ้นและการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นของโลก เพื่อความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม เพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในการก้าวสู่สังคมพลังงานคาร์บอนต่ำ ในอนาคตอันใกล้นี้จะเกิดระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) คือระบบโครงข่ายไฟฟ้าเข้ามาใช้ทดแทนระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีการผลิต ไฟฟ้าแบบรวมศูนย์ (Centralize Power Generation) ซึ่งมีโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ใช้พลังงานดั้งเดิม (Conventional Energy) ในการผลิตไฟฟ้าจ่ายให้ทั้งโครงข่าย ไปเป็นระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีการผลิตแบบกระจาย (Distributed Power Generation) ซึ่งมีโรงไฟฟ้าตั้งแต่ขนาดเล็กถึงใหญ่ที่ใช้พลังงานดั้งเดิมและพลังงานทดแทน (Conventional and Renewable Energy) กระจายอยู่ทั่วโครงข่ายพร้อมทั้งจ่ายไฟฟ้าในทุกระดับของโครงข่าย (ที่มา:สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน)

เพื่อให้เป็นไปตามข้อตกลงที่ปารีสและไม่ให้เกิดวิกฤตพลังงานและลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม กระทรวงพลังงาน ได้กำหนดยุทธศาสตร์อนุรักษ์พลังงาน 20 ปี(พ.ศ. 2554 - 2573) กระจายภาระความรับผิดชอบด้านการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน การส่งเสริมและพัฒนาพลังงานทดแทน โดยเฉพาะมิติของการแสวงหาหรือพึ่งพาแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อลดการพึ่งพาพลังงานจากภายนอกชุมชน การนำแหล่งพลังงานที่มีอยู่ มาเพิ่มมูลค่าการใช้งานด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม เพิ่มผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจสู่ภาคส่วนต่างๆ ของสังคมมากขึ้น การเพิ่มบทบาทของภาคเอกชนเป็นหุ้นส่วนที่สำคัญ องค์การบริหารส่วนท้องถิ่น รวมทั้งการให้หน่วยงานภาครัฐแสดงบทบาทเป็นแบบอย่างที่ดี โดยเป้าหมายลดระดับการใช้พลังงานต่อผลผลิตลงร้อยละ 25 ภายใน 20 ปี และได้พัฒนาโครงสร้างการบริหารงานภายในส่วนสำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน จัดตั้งสำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงานขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่หลักในการส่งเสริมให้ภาคประชาชนได้เข้ามามีบทบาทและมีส่วนร่วมในกิจการพลังงานมากยิ่งขึ้น เพื่อให้เกิดการยอมรับ ตั้งแต่ขั้นตอนการกำหนดนโยบาย จัดทำแผนงาน จัดทำแผนยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ

สมาคมพัฒนาชุมชนองค์กรเอกชน เป็นองค์กรภาคีหนึ่งที่ได้ร่วมกับกระทรวงพลังงานในการสนับสนุนให้เกิดการจัดการพลังงานแบบมีส่วนร่วม ที่มีบทบาทสนับสนุนการทำงานด้านวิชาการและกระบวนการเรียนรู้ให้กับหน่วยงานและประชาชนในเรื่องการกำหนดยุทธศาสตร์พลังงาน การส่งเสริมการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม(Participatory Action Research-PAR) เพื่อค้นหาโจทย์ ในการแก้ไขปัญหาในพื้นที่ การถ่ายทอดและขยายผลการใช้เทคโนโลยีในครัวเรือนและการส่งเสริมอาชีพรักษ์พลังงานด้วยเทคโนโลยีพลังงานที่เหมาะสมเพื่อการเพิ่มมูลค่าสินค้าผลิตภัณฑ์ หรือการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนเพื่อการจัดการฟาร์มเกษตรแปลงเล็กให้มีประสิทธิผลในการผลิตด้วยกระบวนการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA สู่ การยกระดับการพัฒนาอาชีพรักษ์พลังงานเชิงระบบ(Value Chain, Value added , e-commerce) และได้ทำงานร่วมกับภาคีเครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชนทั้งประเทศ เพื่อการผลักดันนโยบายสาธารณะด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมสู่การปฏิบัติ แบบมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่าย ที่ดีมีความเหมาะสมกับบริบทและสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลง มีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ร่วมวิเคราะห์สถานการณ์อย่างต่อเนื่อง พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบในด้านกระบวนการผลักดันแผนงานให้บรรลุผล คือ การดำเนินโครงการที่ไม่ต่อเนื่องและการขับเคลื่อนองค์กรเครือข่ายแบบมีส่วนร่วมกับภาคส่วนต่างๆ ซึ่งมีผลต่อการส่งต่อองค์ความรู้ในระดับชุมชน ขาดรูปแบบหรือกลไกการเชื่อมร้อยเครือข่ายภาคีความร่วมมือให้เกิดพลังการขับเคลื่อนทางสังคม ซึ่งนำไปสู่การขาดยุทธศาสตร์การ

ขับเคลื่อนเชิงหุ้นส่วนการจัดการ จึงมีผลต่อการบูรณาการแผนงานร่วมกัน และการผลักดันนโยบายพลังงานสู่การปฏิบัติแบบมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนในระดับพื้นที่อย่างเป็นรูปธรรม เหมาะสมกับบริบทและการเปลี่ยนแปลงของโลก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษา “การสร้างพลังเครือข่ายภาคประชาชน สู่ความสำเร็จในการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ” เพื่อศึกษาการสร้างพลังเครือข่าย สู่ภาคีความร่วมมือให้เกิดพลังการขับเคลื่อนทางสังคมในกิจกรรมพลังงาน ตามวิถีวัฒนธรรมของแต่ละเครือข่าย และเพื่อศึกษาแนวทางการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานในทุกระดับ ทุกมิติ แบบมีส่วนร่วม เหมาะสมกับบริบทและการเปลี่ยนแปลงของโลก ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนารูปแบบการสานพลังขับเคลื่อนทางสังคม การส่งต่อองค์ความรู้ของภาคีเครือข่าย เพื่อให้เกิดการยกระดับองค์ความรู้อย่างต่อเนื่อง ให้มีประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และมีพลังในการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานในทุกระดับ ทุกมิติ แบบมีส่วนร่วม เหมาะสมกับบริบทและการเปลี่ยนแปลงของโลกต่อไป

วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาศึกษาค้นคว้า จากเอกสารโดยศึกษาจากหนังสือ บทความ แนวคิด ทฤษฎี งานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพลังเครือข่ายภาคประชาชน สู่ความสำเร็จในการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการวิจัย แบ่งเป็น 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1. เพื่อศึกษาสภาพ ปัญหาและรูปแบบการสร้างการสร้างพลังเครือข่ายภาคประชาชน สู่ความสำเร็จในการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ ในพื้นที่ 4 ภาค คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคอีสานและภาคใต้

เครื่องมือการวิจัย เป็นการประชุมแบบระดมความคิด (Brian – storming) โดยใช้ประเด็นในการสอบถามเพื่อระดมความคิดและสรุปผลแบบมีส่วนร่วม เกี่ยวกับ สภาพ ปัญหาและรูปแบบการสร้างการสร้างพลังเครือข่ายภาคประชาชน สู่ความสำเร็จในการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ

ประชากรวิจัยคือ ภาคีเครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน ในพื้นที่ 4 ภาค คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคอีสานและภาคใต้ ภาคละ 30 คน รวม 4 ภาค จำนวนทั้งสิ้น 120 คน

กลุ่มตัวอย่างงานวิจัยแต่ละภาค จำนวน 30 คน ประกอบด้วย คณะทำงานเครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน จำนวน 10 คน ที่ปรึกษาเครือข่ายของแต่ละภาค จำนวน 2 คน สมาชิกเครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน จำนวน 14 คน หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องเช่นพลังงานจังหวัดจำนวน 2 คน หรือนักวิชาการด้านการส่งเสริมพลังงานชุมชน จำนวน 2 คน

ระยะที่ 2. เพื่อศึกษาแนวทางการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานในทุกระดับ ทุกมิติ แบบมีส่วนร่วม เหมาะสมกับบริบทและการเปลี่ยนแปลงของโลก

เครื่องมือการวิจัย เป็นการประชุมแบบระดมความคิด (Brian – storming) โดยใช้ประเด็นในการสอบถามเพื่อระดมความคิดและสรุปผลแบบมีส่วนร่วม ในแนวทางการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานในทุกระดับ ทุกมิติ แบบมีส่วนร่วม เหมาะสมกับบริบทและการเปลี่ยนแปลงของโลก

ประชากรวิจัยคือ ภาคีเครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน ในพื้นที่ 4 ภาค คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคอีสานและภาคใต้ ภาคละ 30 คน รวม 4 ภาค จำนวนทั้งสิ้น 120 คน

กลุ่มตัวอย่างงานวิจัยแต่ละภาค จำนวน 30 คน ประกอบด้วย คณะทำงานเครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน จำนวน 10 คน ที่ปรึกษาเครือข่ายของแต่ละภาค จำนวน 2 คน สมาชิกเครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน จำนวน 14 คน หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องเช่นพลังงานจังหวัดจำนวน 2 คน หรือนักวิชาการด้านการส่งเสริมพลังงานชุมชน จำนวน 2 คน

ระยะที่ 3. เพื่อสรุปบทเรียนการวิจัยในระดับเวทีกลาง

เครื่องมือในการวิจัยใช้การประชุมแบบระดมความคิด (Brian – storming) โดยให้คณะทำงานเครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน ในพื้นที่ 4 ภาค เป็นผู้เสนอผลการจัดกิจกรรมทั้งสองระยะ และให้ผู้เข้าร่วมกิจกรรมสังเคราะห์ผล สรุปบทเรียนการวิจัยในภาพรวม

ประชากรวิจัยคือ สมาชิกกลุ่มเครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน ในพื้นที่ 4 ภาค คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคอีสานและภาคใต้ จำนวนทั้งสิ้น 30 คน

กลุ่มตัวอย่างงานวิจัย จำนวน 30 คน ประกอบด้วย คณะทำงานเครือข่ายพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน 4 ภาค จำนวน 28 คน คณะกรรมการกลาง จำนวน 2 คน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การศึกษาการสร้างพลังเครือข่าย สู่ภาคีความร่วมมือให้เกิดพลังการขับเคลื่อนทางสังคมในกิจกรรมพลังงานตามวิถีวัฒนธรรมของแต่ละเครือข่าย พบว่า เครือข่ายในการขับเคลื่อนเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชนเป็นการรวมตัวของภาคประชาชนในพื้นที่ต่างๆ โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทที่มีประเด็นกิจกรรมเป็นแกนประสานเช่นกิจกรรมการพัฒนาอาชีพด้านเทคโนโลยีพลังงานหรือกลุ่มอนุรักษ์ชายฝั่ง เป็นต้น ซึ่งเป็นการรวมของปัจเจกบุคคล กลุ่มคน เข้าด้วยกันจนเกิดเป็นเครือข่ายที่มีการจัดการร่วมกันแบบหลวม โดยเครือข่ายจะมีวัตถุสงค์คล้ายๆกันที่มองเห็นความจำเป็นในการรวมพลังเพื่อแก้ไขปัญหา เมื่อทำงานร่วมกันเกิดการเรียนรู้ การแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างกันจนเป็นการยกระดับความรู้ในตนเองและนำไปสู่การจัดการปัญหาร่วมกันทั้งในกิจกรรมในระดับพื้นที่และการผลักดันแผนงานของเครือข่ายในระดับที่สูงขึ้นตามแรงผลักจากเครือข่ายหรือประเด็นร่วม ร่วมไปถึงการทำงานร่วมกับภาครัฐ หรือภาคีอื่นที่เกี่ยวข้องเกิดแนวร่วมในระดับที่สูงขึ้นไป กระบวนการขับเคลื่อนของเครือข่ายนี้นับว่ามีบทบาทที่สำคัญต่อการจัดการปัญหาและนำไปสู่การพัฒนาประเทศ เพราะเป็นพลังของการสะท้อนปัญหาหรือความต้องการในภาพรวมที่เกี่ยวข้องกับประชาชนจำนวนมาก

เมื่อเครือข่ายภาคประชาชนได้มีความตื่นตัวและปรับตัวในการพัฒนาตนเองจนเกิดเป็นองค์กรจึงเริ่มมีการพัฒนาจัดการองค์กรเครือข่ายในเบื้องต้นจะเป็นการบูรณาการแบบหลวม จนมีการพัฒนากิจกรรม เกิดการเรียนรู้ร่วมกัน มีผลงานร่วมกันจึงพัฒนาไปสู่องค์กรแบบหุ้นส่วนการจัดการมากขึ้น

ดังนั้นการสร้างพลังในการขับเคลื่อน ต้องอยู่บนพื้นฐานของการจัดการปัญหาในประเด็นร่วมเพื่อนำไปสู่การพัฒนาระบบการจัดการให้เกิดประสิทธิภาพเกิดนวัตกรรมในการจัดการร่วมกันที่สำคัญการดำเนินงานของเครือข่ายต้องมีการทำงานร่วมกันเรียนรู้ร่วมกันอย่างต่อเนื่องเพราะความเป็นเครือข่าย คือ กระบวนการที่เชื่อมโยงและการกระทำภารกิจร่วมกันการ ดังนั้นกระบวนการทำงานร่วมในประเด็นร่วม จึงเป็นยุทธวิธีที่สำคัญ ของเครือข่าย ซึ่งภารกิจร่วมของเครือข่ายจะนำไปสู่ ความเป็นภาคีร่วม นำไปสู่การเรียนรู้ร่วม และการสร้างนวัตกรรมการขับเคลื่อนในการจัดการร่วมภายใต้บริบทที่เหมาะสมตามวัฒนธรรมของแต่ละกลุ่ม แต่ละองค์กรที่เข้ามาร่วม ต้องอาศัยภาคีความร่วมมือในการดำเนินงานร่วมกันในลักษณะ เพื่อนร่วมทาง (Partnership) ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องอาศัยความพร้อม ในการดำเนินกิจกรรมแบบมีส่วนร่วมอย่างบูรณาการตามบริบทที่เหมาะสมของแต่ละภาคี ทั้งในด้านความรู้ ความเข้าใจ ทัศนคติ ทักษะ เพื่อนำไปสู่การดำเนินงานที่เป็นองค์รวม ที่สำคัญต้องสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมและการเสริมสร้างความเข้มแข็งให้กับองค์กรท้องถิ่นหรือองค์กรชุมชน ให้มีความสามารถที่จะช่วยกันแก้ไขปัญหาและพัฒนาท้องถิ่นหรือชุมชนตนเองได้ ซึ่งสอดคล้องกับธนา ประมุขกุล (2547, หน้า 37 อ้างถึงในภัทรวรรธน์ นิลแก้วบวรวิชญ์, 2559,หน้า 20) ให้ความหมายของเครือข่าย หมายถึง ภาพข่ายใยแมงมุม ซึ่งแสดงให้เห็นการถักทอโยงใยกันของเส้นใยที่พาดผ่านกันไปมาหลายเส้น หลากทิศทาง ดังนั้นเครือข่ายจึงเป็นรูปแบบการทำงานในลักษณะสร้างความร่วมมือ ประสานงานกันในแนวราบระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องด้วยสรรพกำลังอันรวมถึง คนสติ ปัญญา ความสามารถและทรัพยากร ในการทำงานเพื่อ

เอาชนะอุปสรรคที่จุดอ่อนของระบบราชการ และเป็นแนวทางที่ ตรงกันกับ แนวคิดของการพัฒนาที่ยึดพื้นที่ประสานภารกิจและร่วมทรัพยากร(Area, Function and participation) เป็นกลยุทธ์ในการพัฒนา

เพื่อให้เกิดการพัฒนาพลังขับเคลื่อนเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อม การเคลื่อนไหวทางสังคม และการสื่อสารสาธารณะร่วมกับการพัฒนากิจกรรมและความเคลื่อนไหวในบริบทใหม่เพื่อสร้างนวัตกรรม การพัฒนาภายใต้การเปลี่ยนแปลงจึงเป็นเรื่องสำคัญ การสร้างความเป็นเครือข่ายภายใต้สถานการณ์ที่เท่าทันกับการเปลี่ยนแปลง เป็นกระบวนการทำงานของเครือข่ายในรูปแบบใหม่ โดยการใช้เทคโนโลยีการสื่อสาร เข้ามาช่วยในการประสานความร่วมมือจึงเป็นเรื่องสำคัญ ภายใต้การบริหารการเปลี่ยนแปลงที่มีประสิทธิภาพขององค์กร และการใช้ยุทธศาสตร์ที่เหมาะสมแนวทางการบริหารและพัฒนา ควรดำเนินงานดังนี้

ขั้นเตรียม (Plan)

จากการวิเคราะห์บริบทองค์การที่ปฏิบัติงานอยู่เพื่อการพัฒนาโดยใช้รูปแบบ Force Field Analysis ของ Kert Lewin ทำให้ทราบถึง ปัจจัยที่เป็นแรงเสริมหรือสิ่งสนับสนุน ปัจจัยที่เป็นแรงต้านหรืออุปสรรค ทั้งภายในและภายนอก แล้วได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์กำหนดแนวทางในการแก้ปัญหาเพื่อพัฒนาองค์การหรือหน่วยงานโดยเลือกปัจจัยที่สำคัญ ซึ่งมีผลต่อการจัดการเปลี่ยนแปลง คือ

1) การเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้าง (Structure)

2) การเปลี่ยนแปลงเชิงบุคคลกร (People)

3) การเปลี่ยนแปลงเชิงเทคโนโลยี (Technology)

4) การเปลี่ยนแปลงเชิงงาน/กิจกรรม (Task/Activities)

โดยมีกระบวนการดังนี้

ขั้นตอนที่ 1. จัดตั้งคณะทำงานบริหารเครือข่าย

ขั้นตอนที่ 2. สร้างกลไกการหนุนเสริมเชิงหุ้นส่วนเชื่อมร้อยกับองค์กรเครือข่าย

ขั้นตอนที่ 3. สร้างยุทธศาสตร์การขับเคลื่อนเชิงหุ่นส่วนการจัดการ

ขั้นดำเนินการ

ขั้นตอนที่ 1. นำกลยุทธ์ไปใช้งานการขับเคลื่อนเชิงหุ่นส่วนการจัดการ

ขั้นตอนที่ 2. สร้างกิจกรรมยกระดับองค์ความรู้และการส่งต่อความรู้สู่สังคม

ขั้นตอนที่ 3. ใช้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมค้นหาคำตอบ

การขับเคลื่อนเครือข่ายให้เกิดพลัง จะต้องใช้การบริหารงานเชิงหุ่นส่วนการจัดการเชิงพหุภาคีความร่วมมือเพื่อกำหนดยุทธการเชื่อมร้อยและพัฒนากลไกการหนุนเสริมเชิงหุ้นส่วนของภาคีเครือข่าย เพื่อให้เกิดการพัฒนาพลังขับเคลื่อน การเคลื่อนไหวทางสังคม และการสื่อสารสาธารณะ การสร้างเวทีเครือข่ายควรมีการแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างกันเช่นด้านเทคโนโลยีพลังงานชุมชน การจัดการพลังงาน การเสริมสร้างความรู้หรือกรณีศึกษาในแต่ละพื้นที่เพื่อให้เกิดการพัฒนาความรู้ของผู้เข้าร่วมกิจกรรม หรือการศึกษาพื้นที่สำเร็จเป็นรูปธรรมชัดเจนและการวิเคราะห์ผลเพื่อให้เกิดการนำไปใช้ที่เหมาะสมในพื้นที่ตนเองหรือนำไปสู่การต่อยอดองค์ความรู้

การดำเนินงานของแต่ละพื้นที่ควรเอาโจทย์ของพื้นที่เป็นตัวตั้ง และพัฒนาจุดแข็งของแต่ละพื้นที่ขึ้นมาให้มีองค์ประกอบที่สมบูรณ์มากขึ้นและยังคงเอกลักษณ์ และปรัชญา(วิธีคิด)ของตนเอง โดยมีองค์ความรู้ในแต่ละส่วนของภาคีเครือข่ายเข้ามาบูรณาการตามตามเหมาะสม จุดที่สำคัญในการรับใช้ถิ่นคือการรองรับเยาวชนหรือชุมชนที่กลับถิ่นและต้องการความร่วมมือในการพัฒนาคุณภาพชีวิตหรือประเด็นที่มาความสนใจเพื่อการพัฒนาตนเองหรือชุมชนและการพัฒนายกระดับองค์ความรู้อย่างต่อเนื่อง

แสวงหาความร่วมมือ พัฒนาองค์ความรู้อย่างต่อเนื่อง และเริ่มสร้างพลังของเครือข่ายขยายไปสู่สังคมภายนอก การพัฒนามาได้จนถึงปัจจุบันเกิดขึ้นจากหัวใจของการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องใช้กระบวนการ ตามแนวทางของการจัดการ

ความรู้ (Knowledge Management) การสังเคราะห์หลอมรวมความรู้ที่ชัดแจ้งกับความรู้ที่ฝังลึก และยกระดับขึ้น โดยผ่านกระบวนการ 4 ส่วนที่เรียกว่า “เซกิ” (SECI) (Ikujiro Nonaka) ดังนี้

1. การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกัน (Socialization) เป็นการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ข้อคิดเห็น ความเชื่อ วิธีการ ฯลฯ ในลักษณะบุคคลต่อบุคคล ตัวต่อตัว

2. การสกัดความรู้ออกจากตัวตน (Externalization) เป็นการแลกเปลี่ยนความรู้ที่ฝังลึกอยู่ในตัวบุคคลไปเป็นความรู้ที่ผู้อื่นสามารถเข้าถึงได้ โดยกระบวนการต่างๆ เช่น การจับกลุ่มคุยกันเพื่อหาความคิดใหม่ๆ

3. การผนวกความรู้ (Combination) เป็นการนำเอาความรู้ที่ชัดแจ้งจากแหล่งต่างๆที่มีมากมายมารวบรวม บันทึก จัดกลุ่ม แบ่งเป็นหมวดเป็นหมู่ ทำให้เกิดเป็นความรู้ชัดแจ้งอีกระดับหนึ่ง ในรูปแบบที่สามารถเผยแพร่ได้มากยิ่งขึ้น

4. การผนึกความรู้ในตน (Internalization) เป็นการนำเอาความรู้ที่ได้รับมาด้วยวิธีต่างๆ ไปลองปฏิบัติให้เกิดความเชี่ยวชาญเป็น “การรู้จริง” สามารถประยุกต์ เป็นผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือวิธีการใหม่ๆ หรืออาจจะเป็นการปรับปรุงของเก่าที่มีให้เกิดคุณค่ามากขึ้น ซึ่งสุดท้ายจะเป็นความรู้ฝังลึกที่ยกระดับขึ้นไปในตัวบุคคล

การสร้างเครือข่ายความร่วมมือควร สร้างกลไกการบริหารจัดการผ่านภาคีความร่วมมือในพื้นที่เพื่อระดมทรัพยากรมาร่วมด้วยช่วยกันให้กิจกรรมมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะสามารถสร้างความต่อเนื่องของกิจกรรมได้ โดยอิงกับกระบวนการวิจัย 5 ขั้นตอนคือการศึกษาชุมชน การวิเคราะห์ข้อมูลสภาพ ปัญหาและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง การวางแผนดำเนินการ การดำเนินงานแบบมีส่วนร่วมและการติดตามประเมินผล

ขั้นประเมินผล/รายงาน/สร้างเครือข่าย

ขั้นตอนที่ 1. มีการติดตามและประเมินผลอย่างต่อเนื่องแบบมีส่วนร่วม

ขั้นตอนที่ 2. สรุปผลและจัดทำเป็นเอกสารรายงาน

ขั้นตอนที่ 3. ประสานความร่วมมือจัดตั้งให้เกิดระบบโครงสร้างเชื่อมร้อยโครงสร้างการทำงานกับภาครัฐในลักษณะคณะกรรมการความร่วมมือแบบพหุภาคี

ขั้นตอนที่ 4. การปรับยุทธศาสตร์และการนำไปใช้

ขั้นการปรับปรุงแก้ไข

ขั้นตอนที่ 1. วิเคราะห์ผล

ขั้นตอนที่ 2. มีการถอดบทเรียนการทำงานแบบมีส่วนร่วม

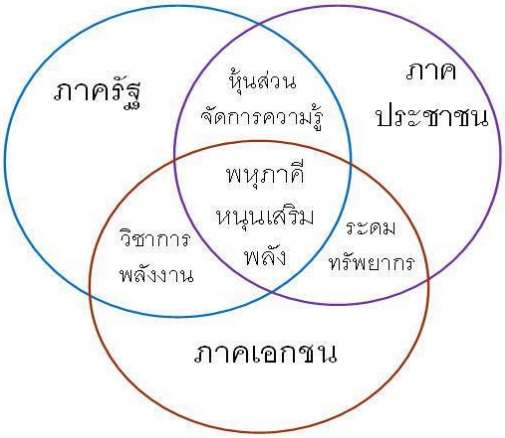
ขั้นตอนที่ 3. มีข้อเสนอแนะและเสนอแผนการปรับปรุงแก้ไข

ข้อสรุปของการศึกษาการสร้างพลังเครือข่าย สู่ภาคีความร่วมมือให้เกิดพลังการขับเคลื่อนทางสังคมในกิจกรรมพลังงาน ตามวิถีวัฒนธรรมของแต่ละเครือข่ายพบว่า

1. การดำเนินงานของแต่ละพื้นที่ควรเอาโจทย์ของพื้นที่เป็นตัวตั้ง และพัฒนาจุดแข็งของแต่ละพื้นที่ขึ้นมาให้มีองค์ประกอบที่สมบูรณ์มากขึ้นและยังคงเอกลักษณ์ และปรัชญา (วิธีคิด) ของตนเอง โดยมีองค์ความรู้ในแต่ละส่วนของภาคีเครือข่ายเข้ามาบูรณาการตามตามเหมาะสม จุดที่สำคัญในการรับใช้ถิ่นคือการรองรับเยาวชนหรือชุมชนที่กลับถิ่น และต้องการความร่วมมือในการพัฒนาคุณภาพชีวิตหรือประเด็นที่มาความสนใจเพื่อการพัฒนาตนเองหรือชุมชนและการพัฒนายกระดับองค์ความรู้อย่างต่อเนื่องในการดำเนินงานครั้งต่อไปจะเป็นการพัฒนาการเรียนรู้ระหว่างเครือข่ายให้มากยิ่งขึ้นและสรุปประเด็นในหัวข้อการสัมมนาเชิงปฏิบัติการพัฒนาเครือข่ายพลังงานชุมชนให้ชัดเจนมากขึ้นโดยเฉพาะประเด็นของการพัฒนากลไกการขับเคลื่อนเรื่องพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน และการออกแบบสถาบันการเรียนรู้ ด้านพลังงานชุมชนและสิ่งแวดล้อมชุมชนในพื้นที่ให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น

2. การผนึกพลังเครือข่ายควรอยู่บนพื้นฐานของการพัฒนากลไกที่อิงกับสภาพของการทำงานที่เป็นรูปธรรมในพื้นที่ ก่อให้เกิดเป็นหน่วยจัดการความรู้เพื่อเป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาถิ่นจนสร้างกิจกรรมสร้างหลักสูตรการ

เรียนรู้ขึ้นมาและเกิดการประสานเครือข่ายสร้างกลไกเครือข่ายเพื่อการสร้างกิจกรรมให้เกิดเป็นรูปธรรมและนำไปสู่การผลักดันในระดับนโยบายตั้งแต่ละดับตำบล จังหวัดและระดับประเทศที่ผ่านกระทรวงพลังงานขึ้นไปการเสริมสร้างความรู้หรือกรณีศึกษาในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้เกิดการพัฒนาความรู้ของผู้เข้าร่วมกิจกรรม หรือการศึกษาพื้นที่สำเร็จเป็นรูปธรรมชัดเจนและการวิเคราะห์ผล เพื่อให้เกิดการนำไปใช้ที่เหมาะสมในพื้นที่ตนเองหรือนำไปสู่การต่อยอดองค์ความรู้การขับเคลื่อนเครือข่ายเชิงหุ้นส่วนเสริมพลัง ประกอบไปด้วย ภาครัฐ ภาคเอกชน ภาคประชาชน ร่วมกำหนดทิศทางการดำเนินงาน เป็นชุดของการขับเคลื่อนแบบบูรณาการ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงโมเดลการขับเคลื่อนเครือข่ายเชิงหุ้นส่วนเสริมพลัง

3. ส่งเสริมการสร้างเวทีการเรียนรู้ที่พัฒนายกระดับการเรียนรู้หรือการย้ายความรู้ระหว่างกันและกันในรู้แบบการจัดการความรู้เช่น

1) การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกัน (Socialization)

2) การสกัดความรู้ออกจากตัวตน (Externalization)

3) การผนวกความรู้ (Combination)

4) การผนึกความรู้ในตน (Internalization)

4. สร้างสถาบันการเรียนรู้ภาคประชาชน เพื่อสร้างพลังการเรียนรู้ และเป็นหน่วยประสานความร่วมมือหรือเป็นกลไกเชื่อมร้อยเครือข่าย ให้เกิดการพัฒนาการอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดการยกระดับวิชาประชาชน การเสริมสร้างความรู้หรือกรณีศึกษาในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้เกิดการพัฒนาความรู้ของผู้เข้าร่วมกิจกรรม หรือการศึกษาพื้นที่สำเร็จเป็นรูปธรรมชัดเจนและการวิเคราะห์ผล เพื่อให้เกิดการนำไปใช้ที่เหมาะสมในพื้นที่ตนเองหรือนำไปสู่การต่อยอดองค์ความรู้

การศึกษาแนวทางการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานในทุกระดับ ทุกมิติ แบบมีส่วนร่วม เหมาะสมกับบริบทและการเปลี่ยนแปลงของโลก กำหนดหัวข้อในการศึกษาคือ

1.ปัญหาที่สำคัญที่สุดขององค์การในการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงาน พบว่า มี 3 ปัจจัย คือ

1.1 ปัจจัยสนับสนุนและกระบวนการที่ไม่เพียงพอต่อการผลักดัน ให้เกิดการทำงานที่ต่อเนื่องหรือนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีผลต่อการส่งต่อองค์ความรู้ในระดับชุมชน

1.2 ขาดกลไกการเชื่อมร้อยเครือข่ายภาคีความร่วมมือให้เกิดพลังการขับเคลื่อนทางสังคมในกิจกรรมพลังงาน ตามวิถีวัฒนธรรมของแต่ละเครือข่าย

1.3 ขาดยุทธศาสตร์การขับเคลื่อนเชิงหุ่นส่วนการจัดการ จึงมีผลต่อการบูรณาการแผนงานร่วมกัน และการผลักดันนโยบายพลังงานสู่การปฏิบัติ แบบมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน ในระดับพื้นที่อย่างเป็นรูปธรรม เหมาะสมกับบริบทและการเปลี่ยนแปลงของโลก

2. แนวคิดด้านการใช้ความรู้ในการเสริมสร้างพลัง พบว่า เป้าประสงค์ที่ต้องการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานเพื่อให้บรรลุผล ก็เพื่อให้ ชุมชนมีคุณภาพชีวิตที่ดีจากการพึ่งพาเทคโนโลยีพลังงานและสร้างศูนย์การเรียนรู้ต้นแบบ ในการขยายผลความรู้ให้กับกลุ่มเครือข่าย เพื่อให้เกิดการส่งต่อความรู้ระหว่างกันจนเกิดการยกระดับความรู้ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาอาชีพหรือพัฒนาคุณภาพชีวิตที่เท่าทันกับการเปลี่ยนแปลงเช่น

- ความรอบรู้ในวิถีการผลิตของชุมชน วิถีการผลิตของชุมชนคือ ความอยู่ดี มีสุข และคุณภาพชีวิตของชุมชนที่ประกอบไปด้วย การพัฒนาการผลิตในระบบเดิมสู่การยกระดับการพัฒนาอาชีพรักษ์พลังงานเชิงระบบ (Value Chain, Value added) ระบบเครือข่ายการตลาดออนไลน์ (e-commerce) เป็นการคิดวิเคราะห์ทั้งระบบการผลิต จากต้นทาง กลางทางและปลายทาง

- ความรอบรู้ในเรื่องพลังงานทางเลือกและสิ่งแวดล้อม ความรอบรู้ในเรื่องของพลังงานทางเลือกที่เหมาะสมและวิถีการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่ผ่านการเรียนรู้และหนุนเสริมองค์ความรู้จากเครือข่ายนักวิชาการเพื่อให้เกิดการนำไปใช้ได้อย่างเหมาะสม

- ความรอบรู้ในกระบวนการเรียนรู้ คนในชุมชนทุกกลุ่มวัย กลุ่มอาชีพ กลุ่มทางสังคม วัฒนธรรม จะมีการเรียนรู้ในวิถีการผลิต วิถีชีวิตที่ใช้พลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นแกนการพัฒนา

- ความรอบรู้ในการเป็นนักสื่อสารสาธารณะ เครื่องมือสำหรับทำงานในสังคมเครือข่าย เป็นการสื่อสารที่ทำหน้าที่ค้นหา ตรวจสอบ และเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารและ "ความเป็นจริง" ให้ "ประชาชนส่วนรวม" การส่งผ่านข้อมูลข่าวสาร และชุดความรู้ที่จำเป็นและมีความสำคัญไปยังผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เพื่อให้เกิดการไหลเวียน ความสามารถเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร การมีปฏิสัมพันธ์โต้ตอบแบบสองทาง นำไปสู่การสร้างรากฐานความรู้ ลดข้อขัดแย้ง และส่งเสริมความเข้าใจที่ตรงกันในการพัฒนา

- ความรอบรู้ในศาสตร์พระราชา (หลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง) การสร้างวิถีการผลิต วิถีการดำเนินชีวิตที่พอเพียง และทำเป็นลำดับขั้นตอน (การระเบิดจากข้างใน)

- ความรอบรู้ในการนำหลักการวิจัย โดยนำแนวทางการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research-PAR) มาใช้ศึกษาและพัฒนา การทำงานของเครือข่าย การสร้างต้นแบบ การสร้างศูนย์เรียนรู้ การพัฒนาหลักสูตรการเรียนและการสื่อสารสาธารณะ เพื่อการจัดการความรู้เรื่องการอนุรักษ์พลังงาน(EE) และส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน (RETs) โดยใช้โจทย์วิจัยในพื้นที่เป็นกรณีศึกษาเรียนรู้ บูรณาการให้เข้ากับวิถีชีวิต วิถีชุมชน โดยใช้ปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง เชื่อมโยงพลังงานกับด้านอื่นๆ เช่น เกษตรแปลงใหญ่ การตลาด และพัฒนาอาชีพรักษ์พลังงานเชิงระบบ (Value Chain, Value added) ระบบเครือข่ายการตลาดออนไลน์ (e-commerce) เป็นต้น

3.การสร้างพลังในการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานในทุกระดับ ทุกมิติ แบบมีส่วนร่วม เหมาะสมกับบริบทและการเปลี่ยนแปลงของโลก พบว่า เพื่อให้ประสิทธิภาพ ประสพผลสำเร็จในลักษณะเครือข่ายความร่วมมือ ต้องมีหลักในการสร้างพลัง ดังนี้

- การจัดการความรู้ เป็นการพัฒนาการเรียนรู้จากการปฏิบัติ การจัดเวทีแลกเปลี่ยนหรือถอด บทเรียน การวิจัยแสวงหาเครื่องมือ สื่อ กระบวนการเรียนรู้ ด้านพลังงาน ที่เหมาะสมกับวิถีชีวิตวัฒนธรรมของแต่ละองค์กรชุมชน

- การสร้างพลังขับเคลื่อนทางสังคม เป็นการพัฒนากลไกการทำงานของเครือข่าย เป็นการเสริมสร้างความร่วมมือแบบบูรณาการด้านการจัดการพลังงานเชิงวัฒนธรรมที่เชื่อมร้อยกับภารกิจ เนื้องานเดิมหรือประเด็นร่วมที่องค์กรเครือข่ายให้ความสำคัญที่เชื่อมโยงกับมิติต่างๆแบบองค์รวม พัฒนาไปสู่การสร้างพลังการขับเคลื่อนร่วมกันในเรื่องพลังงาน ภายใต้เงื่อนไขกระบวนการเคลื่อนงานตามวิถีวัฒนธรรมของแต่ละเครือข่าย
- การผลักดันในระดับนโยบายสาธารณะ ในระดับท้องถิ่นอปท. ระดับภาคทั้งในส่วนเครือข่ายงานองค์กรชุมชนหน่วยงานรัฐสู่การผลักดันในระดับนโยบายระดับประเทศ

4. การผนึกพลังความรู้ของเครือข่าย พบว่า ควรอยู่บนพื้นฐานของการพัฒนากลไกที่อิงกับสภาพของการทำงานที่เป็นรูปธรรมในพื้นที่ ก่อให้เกิดเป็นหน่วยจัดการความรู้เพื่อเป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาถิ่นจนสร้างกิจกรรมสร้างหลักสูตรการเรียนรู้ขึ้นมา โดยสร้างสถาบันการเรียนรู้ให้เป็นกลไกในการขับเคลื่อนจนเกิด “นวัตกรทางสังคม” หรือ “วิชาประชาชน” ที่เป็นองค์ความรู้ที่ผ่านการสืบค้นข้อมูล ค้นหาปัญหา นำไปแก้ไขปัญหา จนพัฒนาและสกัดเป็นวิชาที่ประชาชนสามารถนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาของชุมชนได้ จนเป็นกลไกการประสานเครือข่ายเพื่อการสร้างกิจกรรมที่เป็นรูปธรรม ใช้ความจริงประสานให้เกิดข่ายงานและนำไปสู่การผลักดันในระดับนโยบายตั้งแต่ละดับตำบล จังหวัดและระดับประเทศที่ผ่านกระทรวงพลังงานขึ้นไป

5. แนวปฏิบัติในการจัดการเครือข่ายความร่วมมือเชิงระบบ

การทำให้ความสามารถในการพัฒนาองค์ความรู้และทักษะ สนองความต้องการของชุมชนที่มีอยู่แล้ว มีมากขึ้นจนถึงระดับที่สามารถดำเนินกิจกรรมต่อเนื่องได้ด้วยตนเอง โดยนำแนวทางการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research-PAR) สนับสนุนให้ชุมชนได้ปฏิบัติงานร่วมกัน โดยการหนุนเสริมของภาคีเครือข่ายทุกระดับ ทุกองค์กร มี 6 ขั้นตอน ดังนี้

1) วิเคราะห์ชุมชน (Community Mapping) เสาะแสวงหาข้อมูลต่างๆในชุมชน เช่น ข้อมูลด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง การปกครอง และสภาพความเป็นอยู่ของคนในชุมชน เพื่อทราบปัญหาและความต้องการของชุมชนที่แท้จริง อาจใช้การสัมภาษณ์ การสังเกต การสำรวจ และการศึกษาข้อมูลจากเอกสารต่างๆ ที่มีอยู่ในชุมชนด้วย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ตรงกับความเป็นจริง

2) วิเคราะห์ข้อมูล (ปัญหา – ความต้องการ) เป็นการสนทนา วิเคราะห์ปัญหาของชุมชนร่วมกัน เป็นการนำข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากขั้นตอนการศึกษา เก็บข้อมูล มาวิเคราะห์ถึงปัญหา ความต้องการ และสภาพที่เป็นจริง ผลกระทบ ความรุนแรง และความเสียหายต่อชุมชน ที่ทำกันอยู่ในปัจจุบันได้แก่ การจัดเวทีประชาคม เพื่อค้นหาปัญหาร่วมกันของชุมชน

3) กำหนดแนวทาง/กิจกรรม (การวางแผน โครงการ) ขั้นตอนในการร่วมตัดสินใจ และกำหนดโครงการ เป็นการนำเอาปัญหาที่คนในชุมชนตระหนัก และยอมรับว่าเป็นปัญหาของชุมชน มาร่วมกันหาสาเหตุ แนวทางแก้ไข และจัดลำดับความสำคัญของปัญหา และให้คนในชุมชนร่วมกันตัดสินใจที่จะแก้ไขภายใต้ขีดความสามารถของคนในชุมชน และการแสวงหาความช่วยเหลือจากภายนอกจัดทำโครงการเสนอต่อ สพจ./จังหวัด และหรือ สสช.

4) พัฒนาชุดความรู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อการสื่อสารสาธารณะ หลักสูตรการเรียนรู้ในสถาบันการเรียนรู้ฯ (ศูนย์การเรียนรู้)และการพัฒนาองค์ความรู้ที่เกิดจากการปฏิบัติจริงจนเป็นรูปธรรมชัดเจน

5) การดำเนินงานตามแผน และโครงการฯ เป็นขั้นตอนในการดำเนินการตามแผนและโครงการโดยกำหนดผู้รับผิดชอบ ในการดำเนินการฯ

6) การติดตามและประเมินผล และถอดบทเรียน ติดตามความก้าวหน้าของงาน/โครงการที่กำลังดำเนินการตามโครงการเพื่อการปรับปรุงแก้ไขปัญหา อุปสรรคให้การดำเนินงานก้าวหน้า และถอดบทเรียนการทำงานเพื่อการขยายผลให้กับสังคมในรูปแบบของเอกสาร หนังสือ และงานวิจัย ต่อไป

สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาการสร้างพลังเครือข่าย สู่ภาคีความร่วมมือให้เกิดพลังการขับเคลื่อนทางสังคมในกิจกรรมพลังงานตามวิถีวัฒนธรรมของแต่ละเครือข่ายพบว่า การดำเนินงานของแต่ละพื้นที่ควรเอาโจทย์ของพื้นที่เป็นตัวตั้ง และพัฒนาจุดแข็งของแต่ละพื้นที่ขึ้นมาให้มีองค์ประกอบที่สมบูรณ์มากขึ้นและยังคงเอกลักษณ์ และปรัชญา (วิธีคิด) ของตนเอง โดยมีองค์ความรู้ในแต่ละส่วนของภาคีเครือข่ายเข้ามาบูรณาการตามตามเหมาะสม จุดที่สำคัญในการรับใช้ถิ่นคือการรองรับเยาวชนหรือชุมชนที่กลับถิ่น สามารถแบ่งการสร้างพลังเครือข่ายออกเป็น 3 ลักษณะคือ 1.1 การผนึกพลังเครือข่ายควรอยู่บนพื้นฐานของการพัฒนากลไกที่อิงกับสภาพของการทำงานที่เป็นรูปธรรมในพื้นที่ ก่อให้เกิดเป็นหน่วยจัดการความรู้เพื่อเป็นเครื่องมือในการแก้ไขปัญหาถิ่นจนสร้างกิจกรรมสร้างหลักสูตรการเรียนรู้ขึ้นมาและเกิดการประสานเครือข่ายสร้างกลไกเครือข่ายเพื่อการสร้างกิจกรรมให้เกิดเป็นรูปธรรมและนำไปสู่การผลักดันในระดับนโยบายตั้งแต่ละดับตำบลจังหวัดและระดับประเทศที่ผ่านกระทรวงพลังงานขึ้นไป 1.2 ส่งเสริมการสร้างเวทีการเรียนรู้ที่พัฒนายกระดับการเรียนรู้หรือการย้ายความรู้ระหว่างกันและกันในรู้แบบการจัดการความรู้เช่น 1.2.1 การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกัน (Socialization) 1.2.2 การสกัดความรู้ออกจากตัวตน (Externalization) 1.2.3 การผนวกความรู้ (Combination) 1.2.4 การผนึกความรู้ในตน (Internalization) 1.3 สร้างสถาบันการเรียนรู้ภาคประชาชน เพื่อสร้างพลังการเรียนรู้และเป็นหน่วยประสานความร่วมมือหรือเป็นกลไกเชื่อมร้อยเครือข่าย ให้เกิดการพัฒนาการอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดการยกระดับวิชาประชาชน

2. การศึกษาแนวทางการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงานในทุกระดับ ทุกมิติ แบบมีส่วนร่วม เหมาะสมกับบริบทและการเปลี่ยนแปลงของโลก พบว่า เป้าประสงค์ที่ต้องการผลักดันยุทธศาสตร์พลังงาน ให้บรรลุผล ก็เพื่อให้ ชุมชนมีคุณภาพชีวิตที่ดีจากการพึ่งพาเทคโนโลยีพลังงานและสร้างศูนย์การเรียนรู้ต้นแบบ เพื่อให้เกิดการส่งต่อความรู้ระหว่างกันจนเกิดการยกระดับความรู้ ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาอาชีพหรือพัฒนาคุณภาพชีวิตที่เท่าทันกับการเปลี่ยนแปลง โดยต้องมี 2.1ความรอบรู้ในวิถีการผลิตของชุมชน วิถีการผลิตของชุมชน- ความรอบรู้ในเรื่องพลังงานทางเลือกและสิ่งแวดล้อม 2.2ความรอบรู้ในเรื่องของพลังงานทางเลือกที่เหมาะสมและวิถีการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่ผ่านการเรียนรู้และหนุนเสริมองค์ความรู้จากเครือข่ายนักวิชาการเพื่อให้เกิดการนำไปใช้ได้อย่างเหมาะสม 2.3ความรอบรู้ในกระบวนการเรียนรู้ คนในชุมชนทุกกลุ่มวัย กลุ่มอาชีพ กลุ่มทางสังคม วัฒนธรรม จะมีการเรียนรู้ในวิถีการผลิต วิถีชีวิตที่ใช้พลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นแกนการพัฒนา 2.4 ความรอบรู้ในการเป็นนักสื่อสารสาธารณะ ให้ "ประชาชนส่วนรวม" การส่งผ่านข้อมูลข่าวสาร 2.5ความรอบรู้ในศาสตร์พระราชา (หลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง) การสร้างวิถีการผลิตวิถีการดำเนินชีวิตที่พอเพียง และทำเป็นลำดับขั้นตอน (การระเบิดจากข้างใน) 2.6ความรอบรู้ในการนำหลักการวิจัยโดยนำแนวทางการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research-PAR) มาใช้ศึกษาและพัฒนาการทำงานของเครือข่าย พัฒนาอาชีพรักษ์พลังงานเชิงระบบ (Value Chain, Value added) ระบบเครือข่ายการตลาดออนไลน์ (e-commerce) เป็นต้น

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

กรมองค์การระหว่างประเทศ กระทรวงต่างประเทศ .(2560). **ความตกลงปารีส: ก้าวสำคัญของการดำเนินการด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ**.ค้นวันที่ 20 พฤษภาคม 2560 จาก http://www.mfa.go.th/thai_inter_org/th/services

จำนง แจ่มจันทร์วงค์. (2553). **การพัฒนารูปแบบการบริหารระบบเครือข่ายเพื่อส่งเสริมคุณภาพการศึกษา. ในสถานศึกษาขั้นพื้นฐาน สังกัดสำนักงานเขตพื้นทีการศึกษากรุงเทพมหานคร**.วิทยานิพนธ์ ครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารการศึกษา. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จันทรานี สงวนนาม. (2545). **ทฤษฎีและแนวปฏิบัติในการบริหารสถานศึกษา.** กรุงเทพฯ : บริษัทบุ๊คพ้อยท์ จำกัด.

ทศพนธ์ นรทัศน์. (2551). **พลังงานชุมชน.**ค้นเมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2556).จากhttp://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 ตามหลัก**

ปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม. วิทยานิพนธ์ปริญญารัฐประศาสนศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชารัฐประศาสนศาสตร์. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

สมยศ นาวีการ. (2544). **การบริหารเพื่อความเป็นเลิศ.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บรรณกิจ.

สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2555). **โครงการประเมินผลโครงการวางแผนพลังงานชุมชนภายใต้โครงการเพิ่มสมรรถนะด้านการบริหารและจัดการพลังงานครบวงจรในชุมชนระดับตำบล ประจำปี 2545**. รายงานวิจัยเสนอต่อ สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน.

Session6. การออกแบบและจำลองการทำงานด้านพลังงาน

DE08

การใช้วัสดุทดแทนดินในเทคโนโลยีหลังคาเขียว

Using substrate culture in green roof technology

วรินทร เวียนสันเทียะ* ชุติมา จิตสุภาบุญกิจ และสมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
นครราชสีมา 30000

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันประเทศไทยต้องพบกับปัญหาสภาพอากาศที่แปรปรวน ซึ่งเกิดจากภาวะโลกร้อน (Global Warming) สาเหตุหลักมาจากกิจกรรมของมนุษย์จากปัญหาการลุกล้ำพื้นที่ธรรมชาติ เทคโนโลยีและความเจริญเติบโตของเมืองพื้นที่สีเขียวที่ลดลง ผลมาจากอาคารสำนักงานและที่อยู่อาศัยที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเพื่อให้ประเทศพัฒนาไปพร้อมกับเทคโนโลยีและการเติบโตที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ภาครัฐพยายามผลักดันให้ประชาชนเห็นถึงความสำคัญของการประหยัดพลังงานและเพิ่มพื้นที่สีเขียว ดังนั้นบทความวิจัยฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการทดลองการปลูกหญ้านวลน้อยบนหลังคาเพื่อศึกษาส่วนผสมของวัสดุปลูกทดแทนดินซึ่งจะช่วยลดภาระการรับน้ำหนักของโครงสร้างหลังคาโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^kซึ่งใช้วัสดุ 3 ชนิดคือ ขุยและใยมะพร้าว กากกาแฟ ขี้เถ้าแกลบ และกาวแป้งเปียกเป็นวัสดุประสาน ผสมในภาชนะสำหรับปลูกประเภทเมทัลชีต ขนาด 50x50x10 เซนติเมตร ความหนาของของวัสดุปลูก 5 เซนติเมตร โดยเลือกใช้หญ้านวลน้อยแบบต้นอ่อนอายุ 30-45 วัน หาอัตราส่วนที่เหมาะสมและเปรียบเทียบการเจริญเติบโตจากการลองพบว่าส่วนผสมที่ส่งผลต่อการเติบโตของหญ้าสูงที่สุดคือขุยและใยมะพร้าว:กากกาแฟ:ขี้เถ้าแกลบ 50:20:30 โดยให้การเติบโตที่ใกล้เคียงกับดิน และมีน้ำหนักเบากว่าประมาณ 7 เท่า

คำสำคัญ: หลังคาเขียว วัสดุปลูกทดแทนดิน การออกแบบการทดลอง

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

บทนำ

ปัจจุบันนี้พื้นที่สีเขียวกลายเป็นที่พักอาศัยในด้านของธุรกิจ เพื่อรับกับจำนวนประชากรในเมืองใหญ่ที่เพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นเพื่อเป็นการลดภาวะโลกร้อน Green Roof, Living Roof หรือหลังคาสีเขียว เป็นการปลูกหญ้าบนหลังคา จุดประสงค์เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในที่พักอาศัย ป้องกันความหนาวเย็น สภาพอากาศในปัจจุบัน อุณหภูมิสูงขึ้นในทุกๆ ปี ภัยธรรมชาติ ความแออัด ส่งผลให้เกิดภาวะขาดแคลนพื้นที่สีเขียว ซึ่งในปัจจุบันการปลูกพืชบนหลังคามีความเป็นไปได้ยากเนื่องจากน้ำหนักของดินและต้นทุนค่อนข้างสูง อาคารสำนักงานหรือหลังคาบ้านทั่วไปไม่ได้ออกแบบมาเพื่อรับน้ำหนัก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างหลังคาในอนาคต ดังนั้น การปลูกพืชบนหลังคาโดยใช้วัสดุทดแทนดินจึงเป็นทางเลือกสำหรับการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับชุมชนเมือง ปัจจุบัน Green Roof (หลังคาเขียว)นั้นได้ถูกนำมาแยกความหมายได้ 2 แง่ คือ

1. Green roofs ในแง่ของเทคโนโลยีอาคาร

การออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยเน้นที่วัสดุก่อสร้างและเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่คำนึงถึงการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ช่วยลดอุณหภูมิ ลดการใช้พลังงาน สร้างสภาวะน่าสบาย ส่งเสริมแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนในรูปแบบของสถาปัตยกรรมสีเขียว เช่น แผง Solar Cell เป็นต้น (รุ่งทิพย์ แสงกลาง, 2557)

2. Green roofs ในแง่ของการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ด้านบน

หลังคาที่เป็นสีเขียวจากการมีพืชพันธุ์ปกคลุมอยู่ด้านบน ไม่ว่าจะเป็นพืชพรรณคลุมดิน ไม้เลื้อย ซึ่งจะเน้นถึงการลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมโดยตรง นอกเหนือไปจากการสร้างสภาวะสบายและลดการใช้พลังงานของอาคารซึ่งสามารถแบ่งตามการใช้สอยได้อีก 3 แบบคือ

1.2.1 หลังคาเขียวที่ต้องมีการดูแลมาก (Intensive green roofs) หลังคาเขียวที่มีประโยชน์ใช้สอย เช่น สวนดาดฟ้าโรงแรม สามารถปลูกพืชทั้งชนิดเล็กและชนิดใหญ่ได้จริงเป็นพื้นที่นันทนาการของอาคาร จึงจำเป็นต้องมีชั้นดินที่หนาประมาณ30 เซนติเมตรขึ้นไป ต้องการดูแลรักษา รวมถึงต้นทุนที่มากกว่า

1.2.2 หลังคาเขียวแบบกึ่งดูแล (Semi-intensive green roofs) เป็นหลังคาเขียวที่คล้ายประเภท Extensive Green Roof ซึ่งใช้ประโยชน์ได้บ้าง และต้องการการดูแลปานกลางต้องการดินปลูกประมาณ 15 เซนติเมตร ส่งผลให้ต้องคำนึงถึงน้ำหนักที่มีผลต่อโครงสร้างอาคาร

1.2.3 หลังคาเขียวที่ต้องการการดูแลน้อยมาก (Extensive green roofs) คือ หลังคาเขียวที่เน้นประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม เป็นหลังคาที่มีความหนาของดินเพียง 1-5 นิ้ว ใช้พืชพันธุ์ขนาดเล็ก เช่น หญ้า หรือพืชคลุมดินที่ไม่โตและไม่ต้องการดินมากนัก (กนกวลี สุธีธร, 2548) โดยใช้พืชพรรณทนแล้ง เช่น ไม้อวบน้ำขนาดเล็กที่แผ่คลุมดิน ทำให้การออกแบบการก่อสร้างหรือต่อเติมอาคารไม่ใช่เรื่องยุ่งยากหรืออาจไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดูแลรักษาง่าย ต้นทุนต่ำโดยพืชที่นิยม คือ พืชในตระกูลซีดัม (Sedum sp.) หรือ ประเภทที่อวบน้ำและหญ้า

จากลักษณะของพืชบนหลังคาและประโยชน์ใช้สอยเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศของประเทศไทย บทความวิจัยนี้เลือกปลูกพืชบนหลังคาประเภท Extensive Green Roof ซึ่งการปลูกพืชบนหลังคาสามารถลดความร้อนภายในอาคารหรือที่อยู่อาศัยได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของวรวัช พวงพรศรี (2560) ทดลองปลูกหญ้านวลน้อยบนหลังคาโดยใช้ดินปลูกทั่วไป ชั้นดินปลูกหนา 3 ซม. ซึ่งวัดเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างอาคารที่ติดกรีนรูฟและไม่ติดตั้งกรีนรูฟ ดังแสดงในตารางที่1

ตารางที่1แสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้เปรียบเทียบระหว่างอาคารที่ติดกรีนรูฟ 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

หมายเหตุo = อุณหภูมิภายนอกห้องทดลอง, i = อุณหภูมิภายในห้องทดลอง, w = อุณหภูมิผิวผนังทิศตะวันตก, n = อุณหภูมิผิวผนังทิศเหนือ, t = อุณหภูมิผิวใต้หลังคาภายใน, s = อุณหภูมิผิวผนังทิศใต้

จากตาราง ช่วงเวลา 12:00-16:00 น. เป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิสูงที่สุดของวัน อุณหภูมิภายในของห้องที่ติดตั้งกรีนรูฟลดอุณหภูมิเฉลี่ย 4.3 องศาเซลเซียส ขณะที่ช่วงเวลาเดียวกันห้องที่ไม่ติดตั้งกรีนรูฟลดอุณหภูมิได้เพียง 1.7 องศาเซลเซียส ซึ่งลดได้เพียงประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ของห้องที่มีกรีนรูฟ ผลที่น่าสนใจอีกผลหนึ่งคืออุณหภูมิใต้หลังคาซึ่งมีตัวเลขที่ค่อนข้างสูงเพราะเป็นวัสดุมีพื้นที่สัมผัสที่ทำมุมตั้งฉากกับแสงแดดมากที่สุดและยังโดนแสงแดดตลอดวันจึงทำให้มีค่าอุณหภูมิวัดได้แตกต่างกันมากระหว่างห้องติดกรีนรูฟ และไม่ติด โดย ณ เวลาที่ 14:00 ต่างกันมากถึง 14.2 องศาเซลเซียส ดังนั้นจากค่าอุณหภูมิที่วัดได้ทั้งหมดในตารางข้างต้นเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิตลอดทั้งวันพบว่าห้องทดลองที่มีกรีนรูฟค่อนข้างรักษาผลต่างของอุณหภูมิภายในห้องระหว่างวันได้คงที่มากกว่าห้องที่ไม่ได้ติดตั้งกรีนรูฟ

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เลือกวัสดุปลูกในท้องถิ่นที่มีน้ำหนักเบาคุณสมบัติเหมาะสมใกล้เคียงดินสำหรับปลูกหญ้านวลน้อย โดยวิเคราะห์เลือกวัสดุปลูกจากธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต จากการศึกษาข้อมูลและการทบทวนวรรณกรรมจากหนังสือบทความงานวิจัยต่างๆ พบว่า ขุยและใยมะพร้าว ขี้เถ้าแกลบ กากกาแฟ และกาวแป้งเปียกเป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง

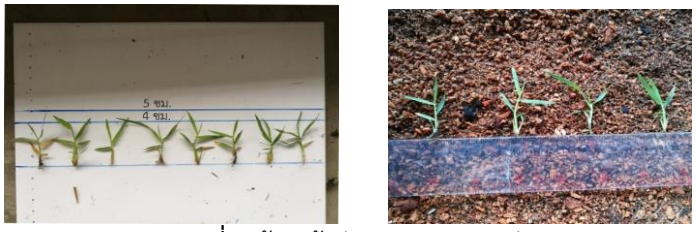
วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนของวัสดุปลูกทดแทนดินที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต เนื่องจากดินมีน้ำหนักมากสำหรับการปลูกพืชบนหลังคาอาจส่งผลต่อความเสียหายของหลังคาในระยะยาว วัสดุปลูกทดแทนดินจะช่วยลดภาระการรับน้ำหนักของโครงสร้างหลังคาทั่วไปในปัจจุบัน ซึ่งออกแบบการทดลองโดยใช้หลักการ(Design of Experiment) Factorial Design 2^kจากปัจจัย 3 ปัจจัย ทั้งหมด 8 การทดลอง ผสมและอัดวัสดุปลูกด้วยแรง 3.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จนได้ความหนา 5 เซนติเมตร (ดังภาพที่ 4)ในภาชนะปลูกเมทัลชีตขนาด 50x50x10 เซนติเมตรใช้สัดส่วนต่อน้ำหนัก อัตราส่วนตามตารางที่ 2จากนั้นรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นก่อนนำไปเตรียมปลูก โดยใช้ต้นอ่อนหญ้านวลน้อย อายุ 30-45 วัน (ดังภาพที่ 5) ปลูกวางห่างกัน 3 เซนติเมตร อนุบาลในภาชนะปลูกเป็นเวลา 7 วันจึงนำขึ้นวางบนหลังคาเป็นระยะเวลา 30 วันเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของหญ้านวลน้อยเพื่อวิเคราะห์ถึงสัดส่วนและปริมาณที่เหมาะสมบทความวิจัยนี้ไม่มุ่งเน้นประโยชน์ใช้สอยบนหลังคา โดยทดลองให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย

สูตรที่	อัตราส่วนผสม (ร้อยละ)			
	ขุยและใยมะพร้าว (Mat A)	กากกาแฟ (Mat B)	ขี้เถ้าแกลบ	กาวแป้งเปียก (Mat C)
FCA1	50	20	30	20% ของน้ำหนักวัสดุ
FCA2	60	20	20	20% ของน้ำหนักวัสดุ
FCA3	50	30	20	20% ของน้ำหนักวัสดุ
FCA4	60	30	10	20% ของน้ำหนักวัสดุ
FCA5	50	20	30	25% ของน้ำหนักวัสดุ
FCA6	60	20	20	25% ของน้ำหนักวัสดุ
FCA7	50	30	20	25% ของน้ำหนักวัสดุ
FCA8	60	30	10	25% ของน้ำหนักวัสดุ
SOIL			100	

ตารางที่ 2อัตราส่วนผสม Factorial Design 2^3 จากผลการออกแบบการทดลอง



ภาพที่ 4 ภาชนะสำหรับปลูกที่มีวัสดุปลูก หนา 5 เซนติเมตร



ภาพที่ 5 ต้นหญ้าอ่อน อายุ 30-45 วัน

การดูแลรักษาระหว่างการทดลอง

ควบคุมการรดน้ำเพื่อให้ความชุ่มชื้นแก่หญ้าครั้งละ 1.5 ลิตร (เช้าและเย็น) รวมเป็น 3 ลิตร ซึ่งมีน้ำหนักของวัสดุปลูกแสดงตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3น้ำหนักของวัสดุปลูกขนาด 50x50x5 เซนติเมตร

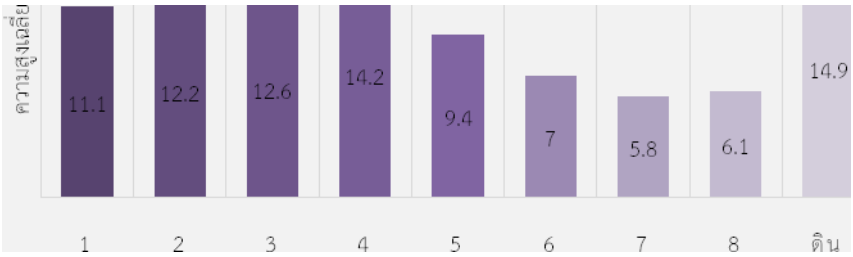
สูตรที่	อัตราส่วนผสม (กรัม)				รวม
	ขุยและใยมะพร้าว	กากกาแฟ	ขี้เถ้าแกลบ	กาวแป้งเปียก	
FCA1	715	286	429	286	1,716 กรัม
FCA2	858	286	286	286	1,716 กรัม
FCA3	715	429	286	286	1,716 กรัม
FCA4	858	429	143	286	1,716 กรัม
FCA5	715	286	429	357.5	1,787.5 กรัม
FCA6	858	286	286	357.5	1,787.5 กรัม
FCA7	715	429	286	357.5	1,787.5 กรัม
FCA8	858	429	143	357.5	1,787.5 กรัม
SOIL					7,920 กรัม

การเก็บผลการทดลอง

ติดตามการเจริญเติบโตของหญ้านวลน้อยเป็นระยะเวลา 30 วัน บันทึกความสูงของต้นหญ้า 5 ตำแหน่ง ได้แก่ มุมซ้ายบน มุมซ้ายล่าง มุมขวาบน มุมขวาล่าง และบริเวณกลางภาชนะปลูก เพื่อหาความสูงเฉลี่ย ดังแสดงในภาพที 7 จากนั้นคัดเลือกภาชนะปลูกที่หญ้านวลน้อยมีการเจริญเติบโตได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับดิน แสดงในภาพที่ 8เมื่อทำการวัดอุณหภูมิเมื่อทำการปลูกพืชบนหลังคา

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

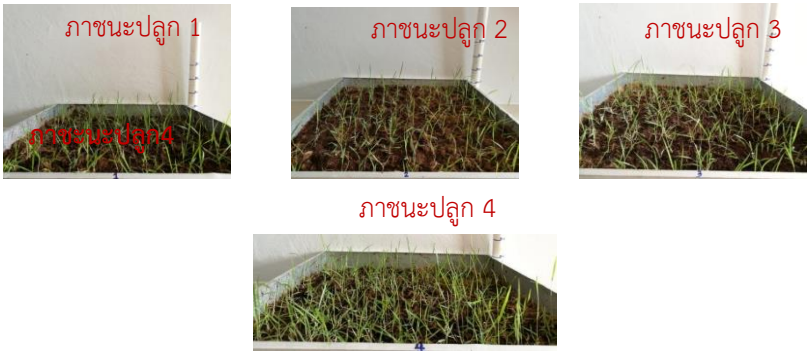
จากผลการทดลองดังภาพที่ 9 และ 10พบว่า ภาชนะปลูกที่ 4 มีอัตราส่วนของวัสดุปลูกที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตโดยเปรียบเทียบจากความสูงของหญ้านวลน้อยได้แก่ ขุยและใยมะพร้าว + กากกาแฟ + ขี้เถ้าแกลบ (50:20:30) ซึ่งใกล้เคียงกับการปลูกโดยใช้ดิน ซึ่งน้ำหนักน้อยกว่าดินถึงประมาณ 7 เท่า และพบว่าภาชนะปลูก 1-4 มีแนวโน้มการเจริญเติบโตดีกว่าภาชนะปลูกที่ 5-8



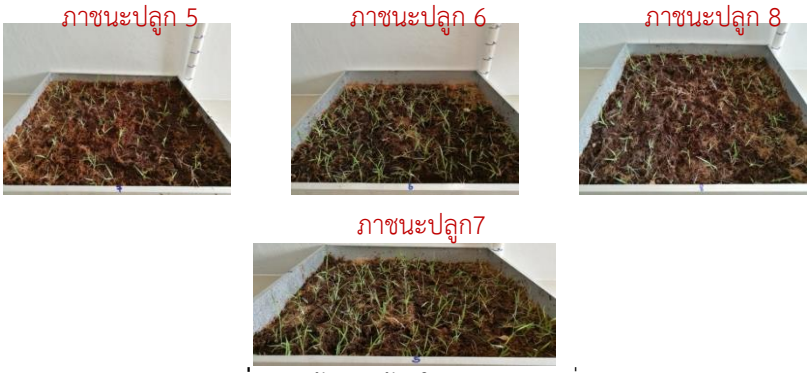
ภาพที่ 7 ความสูงเฉลี่ยของหญ้านวลน้อยที่ระยะเวลา 30 วัน



ภาพที่ 8 หญ้านวลน้อยที่ปลูกโดยใช้ดิน



ภาพที่ 9 หญ้านวลน้อยในภาชนะปลูกที่ 1-4



ภาพที่ 10หญ้านวลน้อยในภาชนะปลูกที่ 5-8

Analysis of Variance for Response (coded units)

Source	DF	Seq	SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects		3	297.87	297.87	99.292	36.52	0.000
ขุยและใยมะพร้าว		1	0.225	0.225	0.225	0.08	0.775
กากกาแฟ		1	0.625	0.625	0.625	0.23	0.635
กาวแป้งเปียก		1	297.02	297.02	297.025	109.24	0.000
2-Way Interactions		3	60.800	60.800	20.267	7.45	0.001
ขุยและใยมะพร้าว*กากกาแฟ		1	6.400	6.400	6.400	2.35	0.135
ขุยและใยมะพร้าว*กาวแป้งเปียก		1	14.400	14.400	14.400	5.30	0.028
กากกาแฟ*กาวแป้งเปียก		1	40.000	40.000	40.000	14.71	0.001
Residual Error		33	89.725	89.725	2.719		
Lack of Fit		1	3.025	3.025	3.025	1.12	0.299
Pure Error		32	86.700	86.700	2.709		
Total		39	448.400				

S = 1.64892 PRESS = 131.827

R-Sq = 79.99% R-Sq(pred) = 70.60% R-Sq(adj) = 76.35%

ภาพที่ 11การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ โปรแกรม Minitab

จากการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab พบว่าอัตราส่วนที่มีกาวแป้งเปียกน้อยให้ผลการเติบโตที่ดีกว่า นอกจากนี้ ปัจจัยร่วมระหว่าง ขุยและใยมะพร้าวxกาวแป้งเปียก และ กากกาแฟxกาวแป้งเปียก ส่งผลต่อการเติบโตอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่า R-sq (adj) = 76.35% โดยการเจริญเติบโตดีที่สุดได้แก่อัตราส่วนที่มีส่วนผสมของขุยและใยมะพร้าว60%ซึ่งมีคุณสมบัติในการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุปลูกให้ดีขึ้น เพิ่มความสามารถในการระบายน้ำและอากาศ ทำให้รากหญ้าสามารถชอนไชหาอาหารและหายใจได้ดี เพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำและอาหาร โดยมีปริมาณธาตุโพแทสเซียม (K) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสัจจา ก้อนพรหม และ และจอมยศ กิจนุกูล (2556) ที่ได้ศึกษาการปลูกหญ้านวลน้อยบนแผ่นใยมะพร้าวและพบว่าในด้านระยะเวลาปลูก หญ้านวลน้อยที่ปลูกบนแผ่นใยมะพร้าวมีอายุอยู่ได้นานกว่าไม่ใช้แผ่นใยมะพร้าว โดยหญ้าที่อยู่บนแผ่นใยมะพร้าวที่มีความหนามากกว่าจะสามารถอยู่ได้นานกว่าไม่ใช้แผ่นใยมะพร้าว

และกากกาแฟ 30% ซึ่งกากกาแฟมีธาตุอาหารหลักอย่าง N-P-K อยู่ในปริมาณสูง โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน (N) เป็นธาตุอาหารหลักที่หญ้านวลน้อย ต้องการใช้ในการเจริญเติบโตของกิ่ง ก้านและใบ ช่วยให้ใบมีสีเขียว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พาสินี สุนากร และ ทรงกลด จารุสมสมบัติ (2555) ทดลองแผ่นปลูกพืชบนหลังคา โดยใช้ส่วนประกอบหลักคือ ใยมะพร้าว และกากกาแฟสด ซึ่งกากกาแฟมีธาตุไนโตรเจนใช้ทดแทนปุ๋ยได้ดี

สำหรับภาชนะปลูกที่ 7มีความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุดในการทดลอง พบว่ามีส่วนผสมของขี้เถ้าแกลบสูงกว่าการทดลองอื่น นั่นส่งผลให้หญ้ามีความสูงน้อยที่สุด ในขณะเดียวกันขี้เถ้าแกลบมีคุณสมบัติเหมาะสมใช้เป็นวัสดุปลูกทดแทนดิน และส่งผลดีกับการงอกของลำต้น แต่ค่าความเป็นด่างสูงซึ่งคริษฐ์สพล หนูพรหม (2559) ได้ศึกษาผลของวัสดุเพาะกล้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าบรอคโคลีและพบว่า ขี้เถ้าแกลบมีค่าความเป็นด่างสูงไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืช จึงควรใช้ขี้เถ้าแกลบร่วมกับวัสดุอื่นๆตามสัดส่วนที่กำหนดจึงจะทำให้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตที่ดี ดังนั้นจากการวิเคราะห์การทดลอง ขุยและใยมะพร้าวและกากกาแฟควรใส่ในปริมาณมาก กาวแป้งเปียกควรใส่ในปริมาณน้อย ขี้เถ้าแกลบควรใส่ในปริมาณที่พอเหมาะกับสัดส่วนในการทดลอง (ดังแสดงในภาพที่ 11)

สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลอง อัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตในการปลูกพืชชนิดหญ้านวลน้อย ความหนา 5 เซนติเมตรได้แก่ ขุยและใยมะพร้าว + กากกาแฟ + ขี้เถ้าแกลบ (50:20:30) โดยให้การเติบโตที่ใกล้เคียงกับดิน และมีน้ำหนักเบากว่า ประมาณ 7 เท่า ส่งผลให้การปลูกพืชบนหลังคามีความเป็นไปได้มากขึ้น ลดผลกระทบต่อโครงสร้างอาคารหรือที่พักอาศัย สามารถเพิ่มพื้นที่สีเขียวลดปัญหาภาวะโลกร้อนลงได้

เอกสารอ้างอิง

[1] นายพุทธิพันธ์ เจริญเวศยางกูร. (2552).**ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหลังคาเขียวที่ใช้วัสดุธรรมชาติเป็นวัสดุปลูกทดแทนดิน.**วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[2] รุ่งทิพย์แสงกลาง และ ดร สิริลักษณ์ เจียรากร. (2557).**การกักเก็บคาร์บอนของหญ้าในหลังคาเขียว**.ประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 34.ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[3]นายวรวุฒิ ธนาวุฒิวัฒนา. (2552).**ประสิทธิผลในการใช้หลังคาปลูกต้นไม้เพื่อลดความร้อนสำหรับสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต.กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[4]รศ.พาสินี สุนากร และ รศ.ทรงกลด จารุสมสมบัติ.(2555). **แผ่นปลูกพืชบนหลังคา.**กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[5]สัจจา ก้อนพรหม และ และ จอมยศ กิจนุกูล. (2556).**รายงานการวิจัยการศึกษาการปลูกหญ้านวลน้อยบนแผ่นใยมะพร้าว**.ชลบุรี :มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลราชมงคลตะวันออก.

[6]คริษฐ์สพล หนูพรหม. 2559.**ผลของวัสดุเพาะกล้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่อความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าบรอคโคลี**.การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6.ภูเก็ต :มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.

[7]บาริโอ.ไม่ปรากฏปีพิมพ์.**Green Roof**สืบค้นเมื่อ 21 มิถุนายน 2560,จาก :http://www.bareo-isyss.com

[8]สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร. 2013. **หลังคาเขียวกับภาวะโลกร้อน**สืบค้นเมื่อ 10มกราคม2561,จาก: http://bangkokgreencity.bangkok.go.th

DE09

การหาอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์

Ratio Investigation of Electric Production of Wind Turbine with Solar Cell

เกรียงศักดิ์ ดอนชัย* วีระเดช จองสุรียภาส และชูชาติ ม่วงโกสัย
สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 2 57000

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์โดยทำการออกแบบสร้างและติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าจำนวน 2 ตัว กำลังไฟฟ้ารวม 300 W ร่วมกับโซล่าเซลล์กำลังไฟฟ้า 1,250 W ทำการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากทั้ง 2 แหล่ง มาวิเคราะห์หาอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้า เพื่อการศึกษาในครั้งนี้ โดยสถานที่ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือ วัดพระธาตุจอมจ้อตั้งอยู่ที่ ต.เวียง อ.เทิง จ.เชียงราย มีภูมิประเทศตั้งอยู่บนยอดเขาที่มีระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 451.05 เมตร มีความเร็วของลมเฉลี่ย 3.5 เมตร/วินาที ซึ่งมีศักยภาพในการที่จะผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมได้ มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 4.7-5.5 kWh/m^2/วัน ผลการทดลองในช่วงเดือนธันวาคม 2558 ถึง มีนาคม 2559 พบว่าอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์ที่น้อยที่สุดอยู่ที่เดือนมกราคมและกุมภาพันธ์เท่ากันที่ 0.04 : 1 ส่วนอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์ที่มากที่สุดอยู่ที่เดือนธันวาคม อยู่ที่ 0.08 : 1 ส่วนภาพรวมตลอด 4 เดือนที่ทำการทดลองอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์ที่มากที่สุดอยู่ที่ 0.05 : 1

คำสำคัญ: อัตราส่วน กังหันลม โซล่าเซลล์

*Corresponding author: Tel.: 089-4514217. E-mail address: s5400201@gmail.com

บทนำ

เป็นที่ทราบกันว่าจุดอ่อนของพลังงานลมคือความสม่ำเสมอในการผลิตพลังงาน พื้นที่ที่เหมาะสมและการบำรุงรักษาที่ยุ่งยากหากติดตั้งบนเสาสูง ส่วนจุดอ่อนของพลังงานจากโซล่าเซลล์คือสามารถผลิตพลังงานได้ในช่วงเวลาที่มีแสงเท่านั้น ดังนั้นการนำพลังงานทั้ง 2 ชนิดมาติดตั้งร่วมกันก็จะเป็นการลดจุดอ่อนดังกล่าวนั้นลงได้ แต่ยังมีการศึกษาน้อยมากในเรื่องของอัตราส่วนในการออกแบบติดตั้งว่าจะใช้แต่ละชนิดพลังงานอย่างละเท่าใดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพต่อระบบสูงสุด

ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดว่าถ้าเก็บข้อมูลการผลิตพลังงานของแหล่งพลังงานทั้ง 2 ชนิด เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ก็จะทำให้ทราบถึงอัตราส่วนการผลิตพลังงาน ของแหล่งพลังงานทั้ง 2 ชนิด ณ.สถานที่นั้น ๆ ได้ โดยสถานที่ที่จะใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือ วัดพระธาตุจอมจ้อตั้งอยู่ที่ ต.เวียง อ.เทิง จ.เชียงราย เป็นหนึ่งในพระธาตุ 9 จอมที่สำคัญของจังหวัดเชียงราย ในแต่ละปีจะมีผู้มาเยี่ยมชมและปฏิบัติศาสนกิจเป็นจำนวนมาก มีภูมิประเทศตั้งอยู่บนยอดเขาที่มีระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 451.05 เมตร จากการสำรวจพบว่ามีความเร็วของลมเฉลี่ย 3.5 เมตร/วินาที ซึ่งมีศักยภาพในการที่จะผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมได้ ส่วนทางด้านแสงอาทิตย์นั้นเนื่องจากสถานที่ตั้งของวัดพระธาตุจอมจ้อตั้งอยู่บนภูเขาและมีบริเวณที่รับแสงแดดได้ทั้งปี

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ จอมภพ และคณะ(2551) กรณีศึกษาที่จังหวัดพัทลุง การพัฒนาระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเพื่อพัฒนาระบบสูบน้ำสำหรับทำนาข้าวในพื้นที่จังหวัดพัทลุง ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปีเฉลี่ย 466.7 W/m^2 อัตราความเร็วลมเฉลี่ยต่อปี 2.94 m/s ออกแบบใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.08 กิโลวัตต์ กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิตเต็มพิกัด 1 กิโลวัตต์ พบว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้เฉลี่ยรายปีเท่ากับ 407.64 W พลังงานลมที่ผลิตได้เฉลี่ยรายปีเท่ากับ 67.47 W [1]

นภัทร และคณะ(2551) กรณีศึกษาที่จังหวัดนนทบุรี ระบบการผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid) ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมขนาดเล็ก ใช้ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี 18.2 MJ/m^2-d และความเร็วลมเฉลี่ยต่อปีเป็นประมาณ 4.57 mph ออกแบบและติดตั้งระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 1,000 W ผสมผสานกับการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อตรงเข้าระบบขนาด 1,642 W ที่มีอยู่เดิม และพัฒนาระบบเฝ้าสังเกตด้วยพีซี (PC-based monitor system) ระยะเวลาเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 3 เดือนผลการวิจัยพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานลมขนาดเล็กที่ผลิตได้เท่ากับ 5.181 kWh/d ได้จากการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เท่ากับ 5.031 kWh/d และผลิตจากพลังงานลมเท่ากับ 0.15 kWh/d [2]

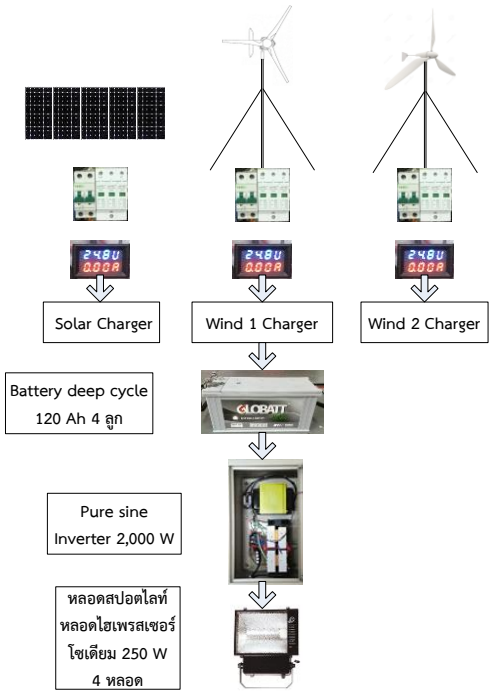
Muralikrishna et al. (2008) กรณีศึกษาที่ Poompuhar ที่ตั้ง (11o8'N, 79o51'E) รัฐทมิฬนาฑู อินเดีย มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี 5.63 kWh/m^2 และความเร็วลมเฉลี่ยต่อปีเป็นประมาณ 4.8 m/s ที่ความสูง 25 เมตร ความต้องการพลังงานของพื้นที่ 450 kWh/วัน ใช้โซล่าเซลล์ 57 kWp จำนวน 110 โมดูล วางทำมุมเอียง 15 ° กับกังหันลมขนาด 50 kW ผลิตพลังงานจากลมได้ 43,998 kWh ผลิตพลังงานจากโซล่าเซลล์ได้ 1,189,159 kWh [7]

Kun-Hyun Park et al. (2012) กรณีศึกษาที่ Jeju เกาหลีใต้ เป็นระบบ LED แสดงข้อมูลสภาพของการจราจร, สภาพอากาศและสภาพของถนน ติดตั้งโดยอิสละจากระบบไฟฟ้าอื่น ๆ มีโหลดรวม 454 W จากข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ และความเร็วลม ได้ออกแบบระบบเป็นใช้ใช้โซล่าเซลล์ 80 W กังหันลม 200 W [6]

วิธีการวิจัย

ในส่วนนี้จะเป็นการเริ่มต้นทำงานโดยจะเริ่มจากข้อมูลจุดที่ตั้ง การหาขนาดของกังหันลม การหาขนาดของโซล่าเซลล์ การหาขนาดของแบตเตอรี่ การเลือกอุปกรณ์ป้องกัน การเลือกขนาดของอินเวอร์เตอร์ การออกแบบการวางผังของอุปกรณ์และการออกแบบการเก็บข้อมูลพลังงานที่ผลิตได้ของทั้งกังหันลมและโซล่าเซลล์

วัดพระธาตุจอมจ้อตั้งอยู่ที่ ต.เวียง อ.เทิง จ.เชียงราย พิกัด GPS 19°41'04.4"N 100°11'00.0"E มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 451.05 ม. อยู่ห่างจากตัวจังหวัดเชียงรายไปทางทิศตะวันออกเป็นระยะทางประมาณ 70 กิโลเมตร มีสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักคือ “ภูชี้ฟ้า”



ภาพที่ 1 แสดงการวางผังของอุปกรณ์

จากข้อมูลที่สำรวจพบว่าจุดที่ตั้งของโครงการมีความเร็วลมเฉลี่ย 2-4 เมตร/วินาที สามารถที่จะประมาณการปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมที่ความเร็วลมเฉลี่ย 5 เมตร/วินาที ดังได้แสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมที่ความเร็วลมเฉลี่ย 5 เมตรต่อวินาที

เส้นผ่าศูนย์กลาง		กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย(W)	พลังงานเฉลี่ยต่อวัน (kWh)	แอมป์ชั่วโมง(Ah) ที่ 24 V	แอมป์ชั่วโมง(Ah) ที่ 12 V
ฟุต	เมตร				
4	1.2	20	0.5	20	40
8	2.4	100	2.5	100	200
10	3	160	4	160	320
12	3.6	250	6	250	500

ที่มา: Hugh Piggott, Wind power workshop (2011) [4]

จากตารางที่ 1 เลือกใช้กังหันลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ฟุต หรือ 2.4 เมตร ความเร็วลมเฉลี่ย 4 เมตร/วินาที ขนาด 100 W อีกตัวเป็นกังหันลมสำเร็จรูปที่ได้มาตรฐาน ISO9001:2000 และ CE มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.2 เมตร ให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 200 W จำนวน 1 ตัว ทั้ง 2 ตัวติดตั้งบนเสาสูง 3 เมตร เนื่องจากอยู่บนเขาไม่มีสิ่งบดบังทิศทางลมลมและง่ายต่อการบำรุงรักษา

การหาค่าขนาดของแผงโซล่าเซลล์ [3] สามารถหาได้จากสมการ

$$PV = \frac{E_{Load}}{\left(\frac{Q \times C \times H \times I}{S}\right)} \quad (1)$$

เมื่อ PV คือ กำลังไฟฟ้าของโซล่าเซลล์ ;W
E_{Load} คือ พลังงานไฟฟ้ารวมที่ต้องจ่าย ;W-hr/Day
Q คือ ค่าพลังงานแสงที่ได้รับ/วัน ประมาณ 4 kW-hr/m^2
C คือ ค่าความสูญเสียของเซลล์ ประมาณ 0.85
H คือ ค่าความสูญเสียเชิงความร้อน ประมาณ 0.8-0.9
I คือ ค่าประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ ประมาณ 0.8-0.9
S คือ ค่าความเข้มของแสงบนโลก ประมาณ 1 kW/m^2

จากข้อมูลที่สำรวจพบว่าจุดที่ตั้งของโครงการมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 4.7-5.5 kWh/m^2/วัน จากสมการที่ (1) จะได้

$$PV = \frac{E_{Load}}{\left(\frac{Q \times C \times H \times I}{S}\right)} = \frac{1,000}{\left(\frac{5 \times 0.85 \times 0.85 \times 0.85}{1}\right)} = 325W$$

จึงเลือกใช้แผงโซล่าเซลล์ใช้ชนิด Mono Crystalline Silicon ขนาด 250 W 24 V จำนวน 5 แผง ขนาดกำลังไฟฟ้ารวม 1,250 W

การหาขนาดของแบตเตอรี่ การเลือกใช้ระบบเก็บกักพลังงานสำหรับระบบ Stand-Alone ตามมาตรฐาน IEEE-1013 กำหนดให้มีขนาดของแหล่งพลังงานต้นกำลังเท่ากับ 1.3 เท่าของความต้องการพลังงานเพื่อให้การชาร์จแบตเตอรี่เพียงพอ [5] สามารถหาได้จากสมการ [3]

$$Q_{Batt} = \frac{P_{Load}}{V_{Batt} \times (\%DOD) \times I} \times T_{Batt} \quad (2)$$

เมื่อ Q_{Batt} คือ ความจุแบตเตอรี่ ;Ah
P_{Load} คือ กำลังไฟฟ้ารวมที่ต้องจ่าย ;W
V_{Batt} คือ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ :V
%DOD คือ ค่าระดับความลึกการคายประจุ (40-60%)
I คือ ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ ประมาณ 0.8-0.9
T_{Batt} คือ ระยะเวลาการประจุในแต่ละวัน ;ชั่วโมง

จากสมการที่ (2) จะได้

$$Q_{Batt} = \frac{P_{Load}}{V_{Batt} \times (\%DOD) \times I} \times T_{Batt} = \frac{1,000}{24 \times 0.5 \times 0.85} \times 4 = 392\,Ah$$

ดังนั้นเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิด Deep Cycle ขนาด 120 Ah 12 V จำนวน 4 ลูก ต่ออนุกรมกัน 2 ชุด เพื่อรองรับแรงดันขนาด 24 V ขนาดรวม 480 Ah

การเลือกอุปกรณ์ป้องกัน กังหันลมตัวที่ 1 ขนาดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 100 W กระแสขนาด (100/24) x 1.25=5.2 A เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ 2P 16 A DC 440 V เซอร์กิตเบรกเกอร์ผ่านมาตรฐาน IEC60947, IEC60898 (เทียบเท่า

IEC947.2) กังหันลมสำเร็จรูปตัวที่ 2 ขนาดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 200 W กระแสขนาด (200/24) x 1.25=10.41 A เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์ 2P 16 A DC 440 V เซอร์กิตเบรกเกอร์ผ่านมาตรฐาน IEC60947, IEC60898 (เทียบเท่า IEC947.2) โซล่าเซลล์ใช้ชนิด Mono Crystalline Silicon ขนาด 250 W 24 V จำนวน 5 แผง จากข้อมูลมีกระแสไฟฟ้าขนาด (8.15 x 5) x 1.25 = 50.93 A เซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 2P 63 A DC 440 V เซอร์กิตเบรกเกอร์ผ่านมาตรฐาน IEC60898 (เทียบเท่า IEC947.2) อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าป้องกันไฟกระชาก เลือกใช้ขนาด 800 V DC 40 kA PV Surge Protection Device Lightning Arrester เลือก 3 ตัว เพื่อใช้ป้องกันกังหันลม 2 ตัว และแผงโซล่าเซลล์รวม 5 แผง

การเลือกขนาดของอินเวอร์เตอร์จากขนาดโหลดไฟฟ้ากระแสสลับของระบบเป็นหลอดสปอตไลท์ชนิดหลอดไฮเพรสเซอร์โซเดียม ขนาด 250 W จำนวน 4 หลอด รวม 1,000 W เมื่อคิดเผื่อค่าความสูญเสียต่าง ๆ แล้วจึงเลือกใช้อินเวอร์เตอร์แบบ Pure Sine Wave ขนาด 2,000 W ชนิดใช้หม้อแปลงไฟฟ้า

การเก็บข้อมูลการทดลองจะแบ่งออกเป็น แบบเก็บข้อมูลรายวันเริ่มตั้งแต่ 0:00 – 24:00 น. ช่วงละ 5 นาที แบบเก็บข้อมูลรายสัปดาห์และแบบเก็บข้อมูลรายเดือน โดยบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแต่ละแหล่งด้วยกล้องวงจรปิดที่บันทึกภาพของโวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ในกล่องควบคุม แล้วกรอกข้อมูลลงในโปรแกรมสำเร็จรูป จากนั้นสรุปเป็นการผลิตพลังงานเฉลี่ยในแต่ละเดือน ปรับฐานขนาดของกังหันลมให้เท่ากับของโซล่าเซลล์ แล้วเปรียบเทียบอัตราการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแหล่งพลังงานทั้งสอง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การทดลองอยู่ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือนธันวาคม 2558 จนถึงเดือนมีนาคม 2559 จากการเก็บข้อมูลรายวัน รายสัปดาห์และรายเดือน นำมาสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แบบเก็บข้อมูลรายเดือน

เดือน	โซล่าเซลล์			กังหันลม 1			กังหันลม 2		
	E(V)	I(A)	P(W)	E(V)	I(A)	P(W)	E(V)	I(A)	P(W)
ธันวาคม	27.76	8.03	225.88	5.39	0.07	1.92	5.75	0.10	2.81
มกราคม	28.92	10.76	251.87	2.80	0.03	0.90	2.95	0.06	1.62
กุมภาพันธ์	28.55	9.30	245.64	2.25	0.04	1.08	2.42	0.05	1.35
มีนาคม	27.58	8.35	248.64	3.17	0.05	1.25	3.25	0.06	1.74
ค่าเฉลี่ย	28.20	9.11	243.01	3.40	0.05	1.29	3.59	0.06	1.88
S.D.	0.64	1.23	11.70	1.38	0.02	0.45	1.48	0.02	0.64

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์หาอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์

เดือน	Solar cell 1,250 W.		กังหันลม 300 W.		
	P(W)	Ratio	P(W)	ปรับฐานเป็น 1,250 W.	Ratio
ธันวาคม	225.88	1	4.73	19.70	0.08
มกราคม	251.87	1	2.52	10.5	0.04
กุมภาพันธ์	245.64	1	2.43	10.12	0.04
มีนาคม	248.64	1	2.99	12.45	0.05
ค่าเฉลี่ย	243.01	1	3.1675	13.19	0.05

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 3 พบว่าในช่วงระยะเวลาการทดลองตั้งแต่เดือนธันวาคม 2558 จนถึงเดือนมีนาคม 2559 อัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์ที่น้อยที่สุดอยู่ที่เดือนมกราคมและกุมภาพันธ์เท่ากันที่ 0.04 : 1 ส่วนอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์ที่มากที่สุดอยู่ที่เดือนธันวาคม อยู่ที่

0.08 : 1 ส่วนภาพรวมตลอด 4 เดือนที่เก็บข้อมูลอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์ที่มากที่สุดอยู่ที่ 0.05 : 1 สอดคล้องกับ จอมภพ และคณะ(2551) กรณีศึกษาที่จังหวัดพัทลุง การพัฒนาระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเพื่อพัฒนาระบบสูบน้ำสำหรับทำนาข้าวในพื้นที่จังหวัดพัทลุง พบว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้เฉลี่ยรายปีเท่ากับ 407.64 W พลังงานลมที่ผลิตได้เฉลี่ยรายปีเท่ากับ 67.47 W ได้อัตราส่วนการผลิตพลังงานพลังงานลม : พลังงานแสงอาทิตย์ที่ 0.15 : 1 สอดคล้องกับ นภัทร และคณะ(2551) กรณีศึกษาที่จังหวัดนนทบุรี ระบบการผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid) ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมขนาดเล็ก ผลการวิจัยพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานลมขนาดเล็กที่ผลิตได้เท่ากับ 5.181 kWh/d ได้จากการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เท่ากับ 5.031 kWh/d และผลิตจากพลังงานลมเท่ากับ 0.15 kWh/d ได้อัตราส่วนการผลิตพลังงาน กังหันลม: โซล่าเซลล์ ที่ 0.05 : 1 สอดคล้องกับ Muralikrishna et al. (2008) กรณีศึกษาที่ Poompuhar ที่ตั้ง (11°8'N, 79°51'E) รัฐทมิฬนาฑู อินเดีย ผลิตพลังงานจากลมได้ 43,998 kWh ผลิตพลังงานจากโซล่าเซลล์ได้ 1,189,159 kWh คิดเป็นอัตราส่วน 0.037 : 1 สอดคล้องกับ Kun-Hyun Park et al. (2012) กรณีศึกษาที่ Jeju เกาหลีใต้ ได้อัตราส่วนการผลิตพลังงาน กังหันลม : โซล่าเซลล์ ที่ 0.08 : 1

สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์การวิจัยในครั้งนี้คือเพื่อศึกษาอัตราส่วนของพลังงานที่ผลิตได้ของทั้งกังหันลมกับโซล่าเซลล์ พบว่า อัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าที่น้อยที่สุดอยู่ที่เดือนมกราคมและกุมภาพันธ์เท่ากันที่ 0.04 : 1 ส่วนอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์ที่มากที่สุดอยู่ที่เดือนธันวาคม อยู่ที่ 0.08 : 1 ส่วนภาพรวมตลอด 4 เดือนที่ทำการทดลองอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์ที่มากที่สุดอยู่ที่ 0.05 : 1 จากข้อตกลงเบื้องต้น และจาก Morgan *et al*. (1996) วิธีการเดือนที่เลวร้ายที่สุด จะใช้ข้อมูลของเดือนที่ได้พลังงานจากลมและแสงอาทิตย์ที่น้อยที่สุดมากำหนดขนาดของโซล่าเซลล์และกังหันลม [8]

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการหาอัตราส่วนการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมกับโซล่าเซลล์ (อารามสีเขียว) ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนกาวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา พ.ศ. 2558 (หมวดเงินอุดหนุน) ทั้งนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.ดร.สมสุดา ผู้พัฒน์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, อ.เวชยันต์ เฮงสุวนิช หัวหน้าส่วนติดตามและประเมินผลการวิจัย วช., และผศ.ดร. บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญที่ได้ให้คำเสนอแนะในการปรับปรุงข้อเสนอโครงการ

เอกสารอ้างอิง

[1] จอมภพ แววศักดิ์ และคณะ. 2551 **การพัฒนาระบบสูบน้ำแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเพื่อพัฒนาระบบสูบน้ำสำหรับทำนาข้าวในพื้นที่จังหวัดพัทลุง.** รายงานการวิจัยสาขาวิชาพิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยทักษิณ.

[2] นภัทร วัจนเทพินทร์, ไชยยันต์ บุญมี,และวิชัย มาแสง. 2551. **ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมขนาดเล็กเพื่อการศึกษา.** รายงานการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิพระนครศรีอยุธยา.

[3] ศุภชัย กวินวุฒิกุล. 2551 **การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแผงโซล่าเซลล์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์** รายงานการวิจัย คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล.

[4] Hugh Piggott. 2011. **Wind power workshop.** CAT Publications, Wales, United Kingdom.

[5] IEEE Std 1013-2000. 2000. **IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Photovoltaic (PV) Systems**. Approved 30 March 2000. New York, USA.

[6] Kun-Hyun Park, Joung-Hwan Lim and Chul-Ung Kang. 2012. **Design of Optimal Sizing for New and Renewable Hybrid Generation System for Building Traffic Information System in Energy-Isolated Areas.** Department of Mechatronics Engineering, Jeju National University, Korea.

[7] M. Muralikrishna and V. Lakshminarayana. 2008. **Hybrid (solar and wind) energy systems for rural electrification.** ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. VOL. 3, NO. 5, October.

[8] Morgan TR. 1996. **The performance and optimization of autonomous renewable energy systems.** PhD Thesis, University of Wales, Division of Mechanical Engineering and Energy Studies, Cardiff.

DE14

ระยะเวลาการบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

OPTIMAL TIME PERIOD OF MAINTENNANCE FOR SPLIT TYPE AIR CONDITIONER

เชาวลิต คำสุข[1]* และวิทยา ยงเจริญ[2]
[1]สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ลดลงส่วนใหญ่มาจากสิ่งสกปรกที่เกาะติดที่แผงคอยล์เย็น และแผงคอยล์ร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศโดยรวมลดลง ดังนั้นการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศจะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มกลับคืนมาได้ในระดับหนึ่ง โดยประสิทธิภาพที่เพิ่ม จะขึ้นอยู่กับความถี่ในการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศ ได้มีการศึกษาและจัดเก็บข้อมูลจากการเดินเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน จำนวน 2 เครื่อง โดยมีการจัดเก็บข้อมูลในระยะเวลา 6 เดือน แยกประเภทการจัดเก็บข้อมูล เป็น 2 ประเภท เครื่องปรับอากาศเครื่องที่1 ล้างทำความสะอาด1ครั้ง และทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 เดือน เป็นระยะเวลา 6 ครั้ง และ เครื่องปรับอากาศเครื่องที่2 ล้างทำความสะอาด เดือนละ1ครั้ง และทำการเก็บข้อมูล เป็นระยะเวลา 6 ครั้ง และนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ ตัวแปรอิสระที่ใช้ศึกษาคือ อุณหภูมิภายนอก ความดันขาเข้าและออกจากคอมเพรสเซอร์ และระยะเวลาในการล้างทำความสะอาด ส่วนการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนั้น คิดจากราคาค่าใช้จ่ายต่ำสุด จากการวิเคราะห์พบว่า อัตราการลดลงของประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน คือ ร้อยละ0.8 ต่อเดือน และระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน คือ ทุกๆระยะเวลา 6 เดือน

คำสำคัญ: ระยะเวลาที่เหมาะสม เครื่องปรับอากาศ การล้างทำความสะอาด

*Corresponding author: E-mail address: kchaowal@gmail.com

บทนำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปัจจุบันมีอาคารเรียนเป็นจำนวนมาก ภายในอาคารเรียนจะติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เป็นจำนวนมาก และมีความต้องการใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่เพิ่มมากขึ้นทุกปี จึงต้องมีการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนให้เหมาะสม ปัจจุบันอาคารจุฬาพัฒน์13 ใช้เป็นอาคารเรียน มีการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เป็นระยะเวลา 6 เดือนต่อครั้ง ทำให้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ และสิ้นเปลืองพลังงาน

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วน คือ 1.คอมเพรสเซอร์ (compressor) 2. คอนเดนเซอร์ (condenser) 3. เครื่องระเหย (evaporator) 4.Capillary Tube ดังนั้นหากประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ทั้ง 4 ส่วนลดลง จะทำให้การผลิตความเย็นลดลง สาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศลดลงส่วนใหญ่มาจากสิ่งสกปรกที่เกาะติดในระบบเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศ จะทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศดีขึ้น โดยประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาความถี่ในการ

ทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศ นอกจากนี้การทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศ ยังมีค่าใช้จ่ายอื่นๆ อีก เช่น ค่าน้ำยาทำความสะอาด ค่าแรงงาน เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

วิธีการวิจัย

1. ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. รวบรวมข้อมูลการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type)
3. ใช้เครื่องปรับอากาศห้องเรียน 711 เป็นเครื่องปรับอากาศอ้างอิงสำหรับเก็บข้อมูลก่อนและหลังล้างทำความสะอาด ทำความสะอาดทุกเดือนเป็นระยะเวลา 4 เดือนเพื่อใช้ปรับแก้พลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเมื่ออุณหภูมิภายนอกเปลี่ยนไป
4. ใช้เครื่องปรับอากาศห้องเรียน 709 เป็นเครื่องทดสอบการเสื่อมประสิทธิภาพสำหรับเก็บข้อมูลก่อนและหลังล้างทำความสะอาดจากนั้นเก็บข้อมูลทุกเดือนโดยไม่ทำความสะอาดจนครบ 4 เดือนแล้วจึงล้างทำความสะอาดและเก็บข้อมูลอีกครั้ง
5. นำข้อมูลที่มีในข้อ 3 และ 4 มาคำนวณและวิเคราะห์หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน
6. สรุปผลงานวิจัยและเขียนเล่มสารนิพนธ์

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย

กรณีที่ 1 เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศคงที่

เครื่องปรับอากาศทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน 30 วันต่อเดือน เครื่องปรับอากาศใช้พลังไฟฟ้า 3.6 kW คงที่ ดังนั้นจะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็น 3.6x8x30 =864 kWh คิดเป็นค่าใช้จ่าย 864x5 = 4320 บาทต่อเดือนสำหรับค่าพลังงานไฟฟ้า 5บาทต่อหน่วย

กรณีที่ 2 เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพเสื่อมลงเนื่องจากความสกปรก

ให้ประสิทธิภาพเสื่อมลงเป็นเชิงเส้นด้วยอัตรา y% ต่อเดือนหรือเครื่องปรับอากาศใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในอัตรา y% ต่อเดือนหรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ย0.5y%ต่อเดือน ค่าใช้จ่ายจะเพิ่มขึ้น 4320x0.5y/100 บาท

ค่าบำรุงรักษาล้างเครื่องปรับอากาศ 350 บาทต่อเครื่องต่อครั้ง ถ้าล้างทุกเดือนจะเสียค่าใช้จ่าย 350x12= 4200 บาทต่อปี

ค่าใช้จ่ายรวม = ค่าใช้จ่ายพลังงานที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากประสิทธิภาพเสื่อม + ค่าบำรุงรักษา

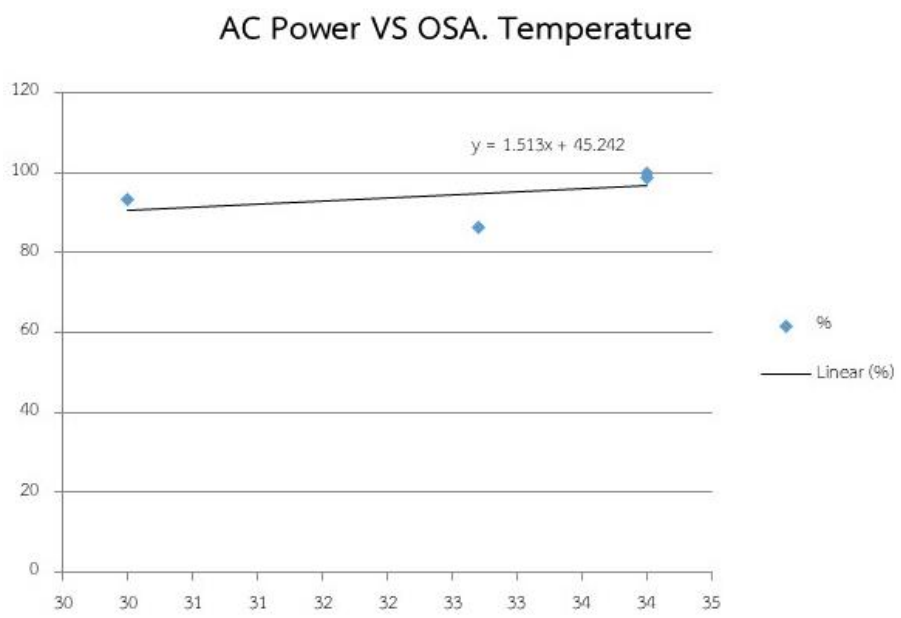
ดังนั้นค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดจะเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการล้างเครื่องปรับอากาศ [1]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ตารางที่1 และภาพที่ 1 แสดงผลการทดลองในการล้างเครื่องปรับอากาศอ้างอิงทุกๆ 1เดือนเพื่อใช้ในการปรับแก้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเนื่องจากอุณหภูมิอากาศภายนอกที่ควบคุมไม่ได้ ส่วนอุณหภูมิภายในห้อง และภาระทำความเย็นจะควบคุมให้มีค่าเท่ากับห้องที่ใช้ในการทดสอบการเสื่อมประสิทธิภาพเนื่องจากความสกปรก จากกราฟจะได้กำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิภายนอกตามสมการ y=1.513x+45.242 ซึ่งสอดคล้องกับวัฏจักรทำความเย็นเมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงขึ้นความดันของสารทำความเย็นด้านคอนเดนเซอร์จะเพิ่มขึ้นด้วยเพื่อให้มีการระบายความร้อนได้พอเพียง ทำให้งานที่คอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 1 ผลการทดลองในการล้างเครื่องปรับอากาศทุกๆ 1เดือน

Month	OSA	AC Power	
		kW	%
1	34	3.70	100
2	34	3.66	98.9
3	30	3.49	93.3
4	32.7	3.43	86.5

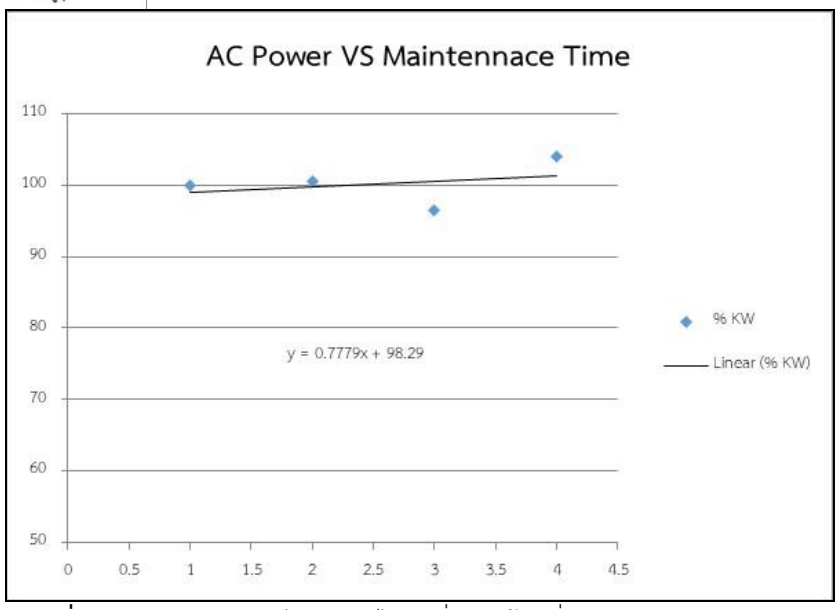


ภาพที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเครื่องปรับอากาศกับอุณหภูมิอากาศภายนอก

ตารางที่2 และภาพที่ 2 แสดงผลการทดลองกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเครื่องปรับอากาศที่ปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกกับระยะเวลา จากกราฟจะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามเวลาหรือตามความสกปรกตามสมการ y = 0.7779x+98.29 ซึ่งสอดคล้องกับวัฏจักรทำความเย็นเมื่อแผ่นกรองและคอยล์สกปรก ความดันของสารทำความเย็นด้านคอนเดนเซอร์จะเพิ่มขึ้นด้วยเพื่อให้มีการระบายความร้อนได้พอเพียง ทำให้งานที่คอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 2 ผลการทดลองที่ไม่ได้ล้างเครื่องปรับอากาศ

Month	OSA	AC Power		
		kW	kW^{cor}	%
1	34	3.56	3.56	100
2	34	3.58	3.58	100.6
3	30	3.69	3.43	104.2
4	33.5	3.86	3.7	113
Note:kW^{cor} = AC Power Corrected to OSA				

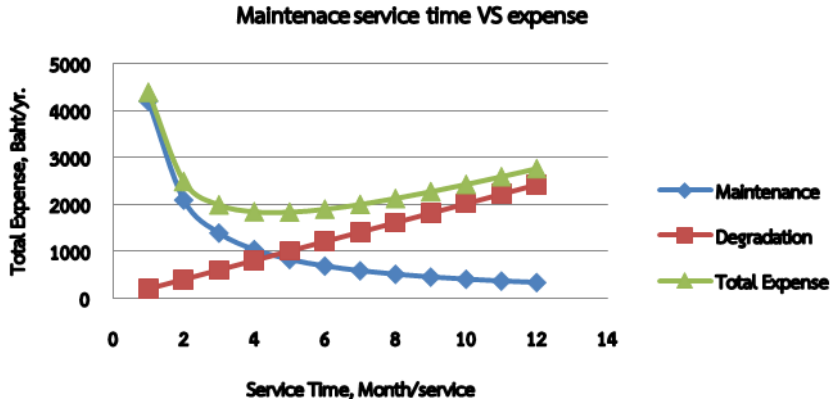


ภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเครื่องปรับอากาศกับระยะเวลา

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน หาได้จากค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการล้างเครื่องปรับอากาศกับค่าใช้จ่ายพลังงานในการใช้งานเครื่องปรับอากาศ การล้างมีค่าใช้จ่าย 350 บาทต่อครั้ง เครื่องปรับอากาศทำงานวันละ 8ชั่วโมงเดือนละ 30 วัน เครื่องปรับอากาศใช้กำลังไฟฟ้า 3.6 kW ดังนั้นเครื่องปรับอากาศจะใช้พลังงานไฟฟ้า 864 kWh ค่าไฟฟ้า 5 บาทต่อ kWh ดังนั้นเสียค่าใช้จ่าย 4320 บาทต่อเดือน ถ้าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศคงเดิมตลอดเดือน แต่เนื่องจากเครื่องปรับอากาศสกปรกทำให้ประสิทธิภาพลดลง 0.78 % ต่อเดือน ทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายพลังงานเพิ่มขึ้น จากภาพที่ 3 ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดอยู่ที่ 5 เดือนต่อครั้ง ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมในการล้างทำความสะอาดจึงเป็น 5 เดือนต่อครั้ง ซึ่งในทางปฏิบัติจะอยู่ที่ 6 เดือนต่อครั้ง

ตารางที่3สรุปผลระยะเวลาการบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

Service Time month/service	Maintenance B/yr	Degradation B/yr	Total Expense B /yr
1	4200	202	4402
2	2100	404	2504
3	1400	607	2007
4	1050	809	1859
5	840	1011	1851
6	700	1213	1913
7	600	1415	2015
8	525	1617	2142
9	467	1820	2286
10	420	2022	2442
11	382	2224	2606
12	350	2426	2776



ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองจะเห็นว่าระยะเวลาของการบำรุงรักษาที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับความสกปรกของอากาศบริเวณที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ จากการทดลองใช้ห้องเรียนเป็นสถานที่ทดสอบผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนควรทำความสะอาดอย่างน้อย 5 เดือน/ครั้งส่วนในทางปฏิบัติควรล้างทำความสะอาดทุกๆ 6 เดือน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณาจารย์ ที่ปรึกษา โดยเฉพาะ อาจารย์ ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ เป็นอย่างสูงที่ช่วยให้ความรู้ ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำต่างๆ อย่างดี ตลอดระยะเวลาในการทำสารนิพนธ์นี้ ให้สำเร็จลุล่วง ลงด้วยดีขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการ และคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์ ทุกท่านที่เสียสละ เวลา ในการสอบสารนิพนธ์ นี้ และขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย และ ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน คณาจารย์ ที่ช่วยในการจัดทำสารนิพนธ์นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] นาฏนิภา ชูจิตารมย์. (2556).**การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำความสะอาดคอมเพรสเซอร์ในเครื่องกังหันก๊าซของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม**. (สารนิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน).จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

[2] ประเวศ ทองธรรมชาติ และชัยวัฒน์ เต็งศิริวัฒนา. (2556).**การศึกษาการประหยัดค่าไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศโดยการลดอุณหภูมิของแผงระบายความร้อน.** (คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร สาขาวิชาวิทยาศาสตร์).มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา:เชียงใหม่.

[3] อาจรี ศุภสุธีกุล. (2557). การศึกษาระยะเวลาการปิดเครื่องปับอากาศที่เหมาะสมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.**วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ(สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)**,ปีที่ 6 กรกฎาคม – ธันวาคม 2557 (ฉบับที่ 12),106 – 113.

DE23

การศึกษาแบบจำลองในการคำนวณหาอายุเชิงเศรษฐกิจของสถานีไฟฟ้าแรงสูง โดยพิจารณาตามรูปแบบการจัดวางบัสบาร์ กรณีศึกษาสถานีไฟฟ้า 115/22 kV

ECONOMIC LIFE MODEL DETERMINATION FOR SUBSTATION CONSTRUCTION CONSIDERING BUS BAR ARRANGEMENT CASE STUDY 115/22 kV SUBSTATION

กรวิชญ์ ตั้งชีวะสมบัติ[1] สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน[2*]
Korawit Thangcheewasombut[1] and Suthas Ratanakuakangwan[2*]
[1]สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[2]ศูนย์ทดสอบทางวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
korawit.t@gmail.com.[1],rsuthas@yahoo.com [2]

บทคัดย่อ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิต จากความต้องการพลังงานไฟฟ้าภายในประเทศไทยที่มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลทำให้ระบบไฟฟ้าโดยรวมต้องมีการเสริมสร้างและพัฒนาความน่าเชื่อถือให้สามารถรองรับกับความต้องการทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นได้ จึงจำเป็นต้องมีการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยเพิ่มขึ้นเพื่อรองรับให้เพียงพอ สถานีไฟฟ้าย่อยเป็นส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าที่มีความสำคัญอย่างมาก เพราะเป็นจุดเชื่อมโยงของระบบไฟฟ้าและจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยในการก่อสร้างมีปัจจัยที่ควรพิจารณา ได้แก่ มูลค่าการลงทุน มูลค่าการดำเนินการและบำรุงรักษา รูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์ที่จะมีผลต่ออัตราการเกิดมูลค่าความเสียหายอันเกิดจากไฟฟ้าดับเป็นต้น นอกเหนือจากนี้ยังมีปัจจัยทางด้านสภาพเศรษฐกิจของประเทศที่ใช้พิจารณามูลค่าทางการเงินด้วย

งานศึกษาวิจัยนี้ได้วิเคราะห์สถานีไฟฟ้าย่อยกรณีตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นต้นแบบของแบบจำลองในการคำนวณหาอายุเชิงเศรษฐกิจของสถานีไฟฟ้าย่อย และเปรียบเทียบการจัดเรียงบัสบาร์ 7 รูปแบบ ได้แก่ Single bus, Single bus with sectionalized, Main and transfer bus, Breaker and a half bus, Ring bus, Double bus with transfer, Double bus single breaker และ Double bus double breaker เป็นต้น และคำนวณหาค่าการลงทุนที่เหมาะสมโดยทฤษฎีเชิงเศรษฐศาสตร์ตามแนวคิดการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุ (Life Cycle Cost: LCC)

คำสำคัญ: สถานีไฟฟ้าย่อย การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุ ความน่าเชื่อถือระบบไฟฟ้า

Abstract

Electrical energy is a fundamental factor in life. The demand for electricity in Thailand, with the growth rate increased continuously. As a result, the power system as a whole needs to strengthen and improve the reliability with all of the demands that will arise. It is necessary to have the construction of substation to accommodate enough for energy demand. Substation is the important of electrical system because, as the grid connection point of the electrical system and power distribution point to the user. In construction, there are determinant to should be considering include the investment cost, operation and maintenance cost, bus bar arrangement and power interruption cost. In addition, also consider the economics of domestic in order to assess the financial value.

This study investigated the substation case study. To use as a model for calculation the economic life of the substation and analyzed to Compare the bus bar arrangement 7 layout, Single bus, Single bus with sectionalized, Main and transfer bus, Breaker and a half bus, Ring bus, Double bus with transfer, Double bus single breaker and Double bus double breaker. Evaluate the appropriate investment by theory economics according to economics life cycle cost analysis. (Life Cycle Cost: LCC) (LCC)

Keywords: Substation, Life Cycle Cost, Reliability electrical system

*Corresponding author: E-mail address: rsuthas@yahoo.com

บทนำ

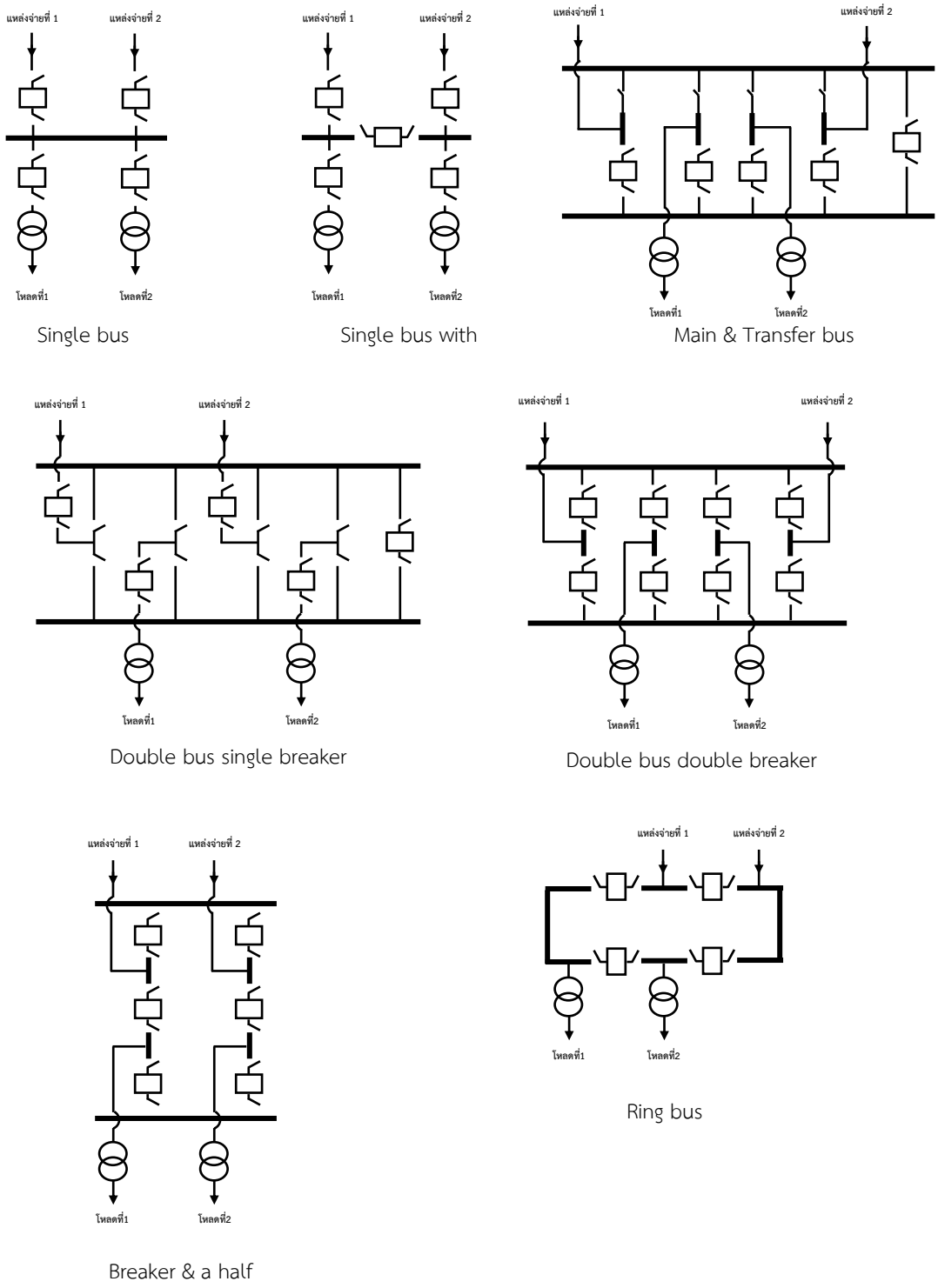
พลังงานไฟฟ้านั้นเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีวิตประจำวันและยังเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจ ในปัจจุบันพบว่ามีข้อมูลเชิงสถิติของความต้องการกำลังไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับกระทรวงพลังงานที่ได้มีการกำหนดแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า (Power Development Plan: PDP) ของประเทศไทยปี พ.ศ. 2558 – 2579 [1] โดยมีการเปรียบเทียบค่าพยากรณ์ความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศ ดังตารางที่ 1 เห็นได้ว่าตั้งแต่ปี 2555-2557 มีความต้องการกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นต่อเนื่องมาตลอด และตามที่สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานที่ได้มีการประกาศแผนงานพัฒนาระบบไฟฟ้าในภาพรวมของประเทศเพื่อรองรับการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Community) [2] เพื่อให้หน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าเตรียมรองรับบูรณาการแผนงานพัฒนาระบบไฟฟ้าในภาพรวมของประเทศไทย โดยการเสริมสร้างและพัฒนาปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าทั้งในระบบของตัวเองและในส่วนที่ต้องประสานระหว่างกันแต่ละหน่วยงานอันได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบและเกี่ยวข้องกับระบบผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่าย ได้ให้ความสำคัญยิ่งกับการก้าวเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนของประเทศไทยในส่วนของ กฟผ. กฟภ. และกฟน. ได้มีแผนสร้างความน่าเชื่อถือโดยการเปลี่ยนระบบการเดินสายไฟฟ้าของระบบจำหน่ายในเขตกรุงเทพมาเป็นเดินสายใต้ดินในท่อร้อยสายหรืออุโมงค์ และเพื่อช่วยลดความเสี่ยงอันตายต่อชีวิตและทรัพย์สินด้วย

ในส่วนของสถานีไฟฟ้าแรงสูง กฟผ. กฟภ. และกฟน. ได้มีการพัฒนาสถานีไฟฟ้าแรงสูงในเขตนครหลวงทั้งแบบ AIS และ GIS หากจุดจ่ายไฟฟ้าเกิดการขัดข้องจนไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าหรือกับระบบได้ จึงมีแผนพัฒนาปรับปรุงสถานีไฟฟ้าแรงสูงเดิมและพิจารณารูปแบบการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่เพิ่ม เพื่อให้มีความน่าเชื่อถือและยืดหยุ่นของระบบให้สามารถจ่ายไฟฟ้าโดยไม่มีปัญหาหรือมีโอกาสเกิดความขัดข้องลดลง ทั้งนี้รวมถึงนโยบายภาครัฐบาลที่ได้มีการสนับสนุนรับซื้อไฟฟ้าจากภาคเอกชนทั้งพลังงานหลักและพลังงานหมุนเวียนเข้ามา ทำให้การเชื่อมโยงระบบจำหน่ายมีความซับซ้อนมากกว่าในอดีต ทั้งโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม IPP โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม SPP โรงไฟฟ้าพลังงานทางเลือก เช่นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิต โรงไฟฟ้าพลังงานลม โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล เป็นต้น จะได้เห็นได้ว่ามีตัวแปรหลายอย่างของระบบไฟฟ้าในปัจจุบันเปลี่ยนแปลงไป จึงควรต้องมีการศึกษาและวิเคราะห์ปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีความน่าเชื่อถือมั่นและประสิทธิภาพที่ดีขึ้น รวมถึงพิจารณาต้นทุนทั้งในส่วนของมูลค่าการก่อสร้าง มูลค่าการดำเนินงานและบำรุงรักษาเหมาะสม และมูลค่าความเสี่ยง ให้เกิดคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย

ตารางที่ 1สถิติและพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าสำหรับจัดทำแผน PDP (PDP 2015: กรณีฐาน)

ปี	พลังไฟฟ้าสูงสุด			พลังงานไฟฟ้า			โหลด แฟกเตอร์	โหลด แฟกเตอร์
	เมกะวัตต์	เพิ่ม		ล้านหน่วย	เพิ่ม			
		เมกะวัตต์	%		ล้านหน่วย	%		
ค่าจริง Net: Generation								
2555	26.418.3	2,310	9.58	175,925.10	15,109	9.4	75.81	33.34
2556	27,084.50	666	2.52	177,543.80	1,619	0.92	74.63	32.88
2557	27,633.50	549	2.03	182.882.6	5,339	3.01	75.34	33.17
ค่าพยากรณ์ Net: Generation								
2558	29,051	1,418	5.13	190,285	7,403	4.05	74.77	33.11
2559	30,218	1,167	4.02	197,891	7,605	4	74.76	32.98
2560	31,385	1,167	3.86	205,649	7,758	3.92	74.8	32.75
2561	32,429	1,045	3.33	212,515	6,867	3.34	74.81	32.46
2562	33,635	1,206	3.72	220,503	7,987	3.76	74.84	32.35
2563	34,808	1,173	3.49	229,238	7,736	3.51	74.85	32.09
2564	35,775	967	2.78	234,654	6,416	2.81	74.88	31.67
2565	36,776	1,001	2.8	241,273	6,619	2.82	74.89	31.29
2566	37,740	964	2.62	247,671	6,398	2.65	74.92	30.88
2567	38,750	1,010	2.68	254,334	6,663	2.69	74.93	30.48
2568	39,752	1,002	2.59	260,764	6,430	2.53	74.88	30.04
2569	40,791	1,039	2.61	267,629	6,865	2.63	74.9	29.67
2570	41,693	903	2.21	273,440	5,812	2.17	74.87	29.16
2571	42,681	988	2.37	279,939	6,499	2.38	74.87	28.74
2572	43,489	807	1.89	285,384	5,445	1.95	74.91	28.26
2573	44,424	935	2.15	291,519	6,135	2.15	74.91	27.82
2574	45,438	1,013	2.28	298,234	6,715	2.3	74.93	27.41
2575	46,296	858	1.89	303,856	5,622	1.89	74.92	26.9
2576	47,025	729	1.58	309,021	5,164	1.7	75.02	26.36
2577	47,854	829	1.76	314,465	5,444	1.76	75.02	25.84
2578	48,713	859	1.79	320,114	5,649	1.8	75.02	25.35
2579	49,655	942	1.93	326,119	6,005	1.88	74.97	24.88
อัตราเพิ่มเฉลี่ย								
2555-2559		1,390	4.62		7,934	4.24		33.09
2560-2564		1,111	3.43		7,353	3.47		32.24
2565-2569		1,003	2.66		6,595	2.66		30.44
2570-2574		929	2.18		6,121	2.19		28.24
2575-2579		843	1.79		5,577	1.8		25.83
2557-2579		1,001	2.67		6,511	2.68		29.04

หมายเหตุ แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 (PDP2015) 30 มิถุนายน 2558



ภาพที่ 1 การจัดเรียงบัสบาร์ของสถานีไฟฟ้าย่อย

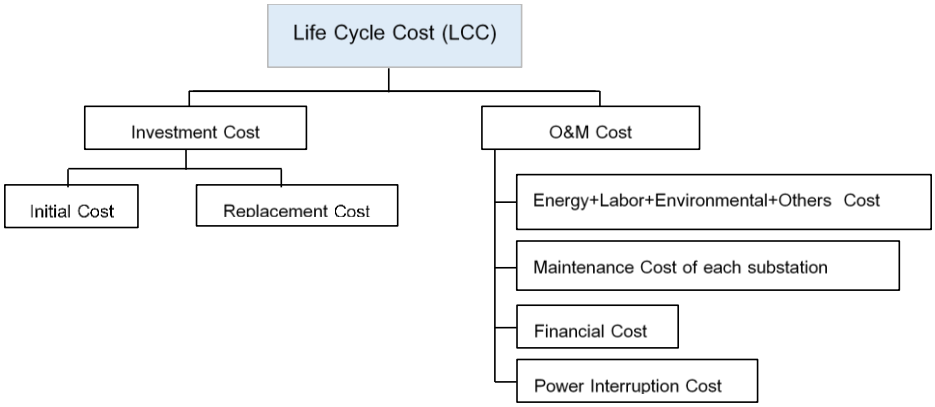
สถานีไฟฟ้าแรงสูงนั้นเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่สำคัญต่อระบบไฟฟ้า เพราะเป็นจุดเชื่อมโยงของระบบไฟฟ้าและจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า ดังนั้นการล้มเหลว (Failure) หรือ การเกิดเหตุขัดข้อง (Outage) ของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อยสามารถส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าได้ ในการออกแบบสถานีไฟฟ้าแรงสูง เริ่มจากแผนภาพเส้นเดี่ยว (Single-line diagram) โดยอ้างอิงจากสถานีไฟฟ้าย่อยต้นแบบ มีการจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในสถานีไฟฟ้าแรงสูง โดยประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก ได้แก่ ระบบตัดตอน (Switching) ระบบควบคุมและป้องกัน (Control and

protection) และระบบวัด (Metering) ซึ่งปัจจัยที่สำคัญของการออกแบบระบบไฟฟ้าแรงสูงคือการเลือกรูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์ภายในสถานีไฟฟ้าแรงสูง ได้แก่ Single bus, Single bus with sectionalized, Main and transfer bus, Breaker and a half bus, Ring bus, Double bus single breaker และ Double bus double breaker แสดงดังภาพที่ 1[3-5] เนื่องจากการจัดเรียงบัสบาร์แต่ละรูปแบบมีทั้งข้อดี ข้อเสีย ข้อจำกัด และค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่แตกต่างกันไป การเลือกรูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์ที่เหมาะสมจึงมีผลต่อความน่าเชื่อถือของสถานีไฟฟ้าแรงสูงในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า รวมถึงมีผลกับแต่ละรูปแบบ

ปัจจุบันรูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์สถานีไฟฟ้าย่อยในประเทศไทยมีหลายรูปแบบ ซึ่งได้มีการกำหนดแนวทางการเลือกรูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์ของสถานีไฟฟ้าย่อยโดยพิจารณาจากระดับแรงดันไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าย่อยและความสำคัญของสถานีไฟฟ้าย่อย เช่น สถานีไฟฟ้าย่อยที่เป็นจุดเชื่อมที่สำคัญในระบบ และสถานีไฟฟ้าย่อยในแหล่งท่องเที่ยว โดยมากเลือกรูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์แบบ Breaker and a Half และ Double bus double breaker เท่านั้น แต่ด้วยเทคโนโลยีและมูลค่าในปัจจุบัน อาจจะไม่เพียงพอจึงต้องพิจารณาในประเด็นอื่น ๆ ได้แก่

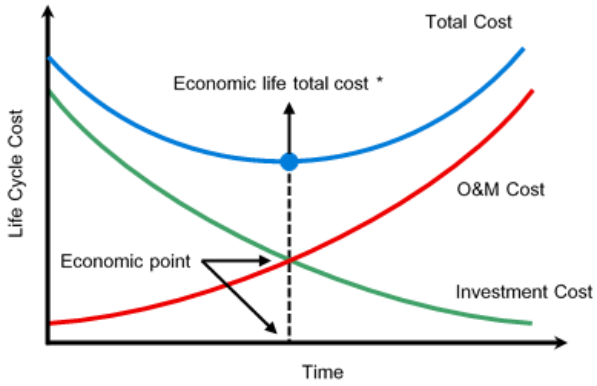
1. มูลค่าการลงทุน
2. มูลค่าจากการมูลค่าในการดำเนินงานและบำรุงรักษา
3. การวิเคราะห์มูลค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ เช่น มูลค่าความเสียหายอันเกิดจากไฟฟ้าดับ และการคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุ (Life cycle costs หรือ LCC)

ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุ (LCC) อ้างอิงตามการศึกษาวิจัย [6-11] มีความสำคัญต่อการตัดสินใจการลงทุนอย่างยิ่ง เนื่องจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุจะสะท้อนค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่าง ๆ เช่น ค่าอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายในการใช้งานและการบำรุงรักษา และมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ



ภาพที่ 2 แสดงรูปแบบการคำนวณ Life cycle cost analysis

งานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลโครงการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแรงสูงแห่งหนึ่งเป็นกรณีตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาต้นทุนการลงทุน (Investment Cost) ต้นทุนการดำเนินการ (Operation & Maintenance Cost) ต้นทุนการเงิน (Finance Cost) และมูลค่าความเสียหายอันเกิดไฟฟ้าดับ (Power Interruption Cost) โดยใช้ทฤษฎี Life Cycle Cost (LCC) แสดงดังภาพที่ 2 เป็นเครื่องมือสำหรับเปรียบเทียบต้นทุนของสถานีไฟฟ้าแรงสูงในแต่ละรูปแบบและมูลค่าความเสียหายอันเกิดจากไฟฟ้าดับของสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่ส่งผลกระทบทางด้านเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้า รวมและใช้จำนวนครั้งของดัชนีเกิดไฟฟ้าดับเป็นตัวชี้วัด นำมา plot graph เพื่อวิเคราะห์หาอายุเชิงเศรษฐกิจแสดงดังภาพที่ 3 แสดงได้ดังจุด Economic point หรือจุดที่มูลค่าการลงทุนเท่ากับมูลค่าการบำรุงรักษาดังนั้นเพื่อลดจำนวนการเกิดความเสียหายอันเกิดจากไฟฟ้าดับดังกล่าวขึ้น จึงนำไปสู่การพิจารณารูปแบบการจัดวางบัสบาร์และต้นทุนการลงทุนมาเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบ



ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนเพื่อหาอายุเชิงเศรษฐกิจ

ด้วยเป้าหมายข้างต้นทางผู้วิจัยจึงมีแผนวิเคราะห์ต้นทุนการลงทุนตลอดอายุโครงการ ในรูปแบบการจัดวางบัสบาร์ต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้เป็นรูปแบบจำลองและแนวทางการตัดสินใจการบริหารการจัดการต้นทุนสำหรับการลงทุนโครงการสถานีไฟฟ้าแรงสูงในอนาคตได้อย่างเหมาะสม

การศึกษาวิจัยนี้จะวิเคราะห์สถานีไฟฟ้าย่อยแบบใช้ฉนวนอากาศ (AIS) ทั้งหมด 7 รูปแบบ ได้แก่ 1.Single bus system 2.Single bus with sectionalized system 3.Main & transfer system 4.Double bus single breaker system 5.Double bus double breaker system 6.Breaker & a half system และ 7.Ring bus system

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาหลักการหาต้นทุนการลงทุนตลอดอายุโครงการโดยใช้หลักการเชิงเศรษฐกิจ
2. เพื่อศึกษาแบบจำลองในการคำนวณหาอายุเชิงเศรษฐกิจของสถานีไฟฟ้าแรงสูงโดยพิจารณาตามรูปแบบการจัดวางบัสบาร์

ขอบเขตการวิจัย

1. ข้อมูลทำการศึกษารูปแบบการจัดวางบัสบาร์ที่มีในประเทศไทยอันได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้านครหลวง และบริษัทเอกชนที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาคำนวณหาต้นทุนการลงทุนในแต่ละรูปแบบ
2. การศึกษาวิจัยนี้ได้ใช้สถานีไฟฟ้าย่อยจังหวัดระยอง เป็นต้นแบบการวิเคราะห์ และกำหนดอายุเชิงเศรษฐกิจของสถานีไฟฟ้าย่อย อัตราการค่าซ่อมบำรุงรักษาและดัชนีค่าความเสียหายอันเกิดจากไฟฟ้าดับ [4]
3. วิเคราะห์ต้นทุนการลงทุนและความคุ้มค่าการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแรงสูง 115 kV ตามรูปแบบการจัดวางบัสบาร์โดยใช้ทฤษฎีต้นทุนตลอดช่วงอายุ (Life Cycle Cost, LCC)
4. พิจารณาการจัดเรียงบัสบาร์ในรูปแบบมาตรฐาน 7 แบบ ได้แก่ Single bus, Single bus with sectionalized, Main and transfer bus, Breaker and a half bus, Ring bus, Double bus with transfer, Double bus single breaker และ Double bus double breaker เป็นต้น
5. พิจารณามูลค่ารูปแบบจัดเรียงบัสบาร์ต่าง ๆ จากอุปกรณ์หลักภายในสถานีไฟฟ้าย่อย 3อุปกรณ์ ประกอบด้วย เซอร์กิตเบรกเกอร์ บัสบาร์ และหม้อแปลง เป็นต้น

การศึกษาวิจัยนี้จะวิเคราะห์สถานีไฟฟ้าย่อยแบบใช้ฉนวนอากาศ (AIS) ทั้งหมด 7รูปแบบ ได้แก่ 1.Single bus system, 2.Single bus with sectionalized system, 3.Main & transfer system, 4.Double bus single breaker system, 5.Double bus double breaker system,6.Breaker & a half system, 7.Ring bus system

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาต้นทุนและการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแรงสูง 115 kV ต้นทุนการลงทุน (Investment Cost) ต้นทุนการดำเนินการ (Operation & Maintenance Cost) ต้นทุนการเงิน (Finance Cost) และมูลค่าความเสียหายอันเกิดไฟฟ้าดับ (Power Interruption Cost)
2. ศึกษารูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์ และข้อมูลสถิติการเกิดความผิดพร่องทางไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าแรงสูง115/22 kV ในแต่ละรูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์

อ้างอิงจากการศึกษาวิจัย ไชยยศ มิตรเชื้อชาติ เรื่อง การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าย่อยร่วมกับการพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ [4] ได้ใช้ทฤษฎีวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo) และวิธีการวิเคราะห์แบบมินิมัลคัตเซต (Minimal cut set method) โดยนำข้อดีของทั้ง 2 วิธีมาใช้ร่วมกัน เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าแต่ละรูปแบบและนำมาคำนวณมูลค่าความเสียหายอันเกิดจากไฟฟ้าดับตามลำดับดังราราง ที่ 2 เพื่อนำไปหามูลค่าความเสียหายอันเกิดจากไฟฟ้าดับ (Interruption Cost)

ตารางที่ 2ค่าความน่าเชื่อถือได้ของรูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์แต่ละรูปแบบ

เหตุการณ์การล้มเหลว	LOLF (ครั้ง/ปี)	LOLD (ครั้ง/ปี)	LOLP (ครั้ง/ปี)
Single bus	3.1333	28.1323	88.1468
Sectionalized single bus	3.1235	28.1835	88.0311
Main and transfer bus	2.1375	26.2140	56.0340
Breaker and a half	1.1193	35.7624	40.0289
Ring bus	2.1201	26.4281	56.0302
Double bus double breaker	1.1567	34.6196	40.0445
Double bus single breaker	2.1123	34.1034	72.0366

3. วิเคราะห์หาต้นทุนตลอดช่วงอายุจากทฤษฎี Life Cycle Cost (LCC) จากสถานีต้นแบบ และประยุกต์กับรูปแบบการจัดวางบัสบาร์แบบอื่น ๆ ที่พิจารณา

คำนวณหาต้นทุนตลอดช่วงอายุของรูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์ทั้ง 7 รูปแบบ ซึ่งกล่าวในเบื้องต้น ได้แก่ Single bus, Single bus with sectionalized, Main and transfer bus, Breaker and a half bus, Ring bus, Double bus single breaker และ Double bus double breaker สามาถคำนวณได้จากสมการ

$$LCC = C_I + (C_{O\&m} + C_{I_n} \quad (1)$$

เมื่อ LCC = ต้นทุนตลอดช่วงอายุ

= ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Cost)

= ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาต่อปี (Operation & Maintenance Cost)

C = ค่าใช้จ่ายมูลค่าความเสียหายอันเกิดจากไฟฟ้าดับ (Power Interruption Cost)

ทั้งนี้ผู้ศึกษาวิจัยได้กำหนดขอบเขตสำหรับการคำนวณ ได้แก่

1. หม้อแปลงไฟฟ้ามีขนาด 50 MVA
2. จำนวน Feeder ของสถานีไฟฟ้ามีทั้งหมด 4 Feeders
   (หม้อแปลง 2 Feeders สายส่ง 2 Feeders)
3. ไม่คำนึงถึงมูลค่าที่ดิน เนื่องจากเป็นตัวแปรที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับตำแหน่ง

การคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Cost; C_i)

กำหนดให้สถานีไฟฟ้าแรงสูงที่จังหวัดระยองมีรูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์แบบ Sectionalized single bus เป็นต้นแบบสำหรับการประมาณมูลค่าการลงทุนรวมของการจัดเรียงบัสบาร์ทั้ง 7 รูปแบบ

เนื่องจากมูลค่าการลงทุนแต่รูปแบบ จะพิจารณาที่จำนวนอุปกรณ์ที่แตกต่างกันไปตามแต่ละรูปแบบ ดังนั้นผู้ศึกษาวิจัยจึงได้กำหนดให้พิจารณาสอดคล้องตามจำนวนอุปกรณ์หลักได้แก่ 1.หม้อแปลง (Transformer) 2.เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) 3.สวิตช์ตัดตอน (Disconnected Switch) และ 4.บัสบาร์ (Bus bar) ได้มูลค่าการลงทุนดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางแสดงมูลค่าการลงทุนการจัดเรียงบัสบาร์แต่ละรูปแบบ

Arrangement	TR.	Circuit Breaker	Disconnected Switch	Busbar	Total cost(C_i)
Single bus	2	4	8	1	THB 107,510,000
Sectionalized single bus	2	5	10	1	THB 109,110,000
Main and transfer bus	2	5	10	2	THB 109,238,265
Breaker and a half	2	6	12	2	THB 110,838,265
Ring bus	2	4	8	-	THB 107,725,020
Double bus double breaker	2	8	16	2	THB 114,038,265
Double bus single breaker	2	5	18	2	THB 112,038,265

คำนวณหาเงินรายงวดที่ผู้กู้ชำระคืนให้กับผู้ให้กู้ตอนปลายงวด (PMT) ของทุก ๆ ตลอดอายุ 30 ปี จากสมการ

$$PMT = PV \times \frac{i}{1-(1+i)^{-n}} \quad (2)$$

เมื่อ PMT = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาต่อปี (Operation & Maintenance Cost)

PV = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Cost)

i = อัตราคิดลด

n = ปีที่พิจารณา (ถึงปีที่ 30 ตามอายุสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่กำหนด)

การคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาแต่ละปี (Operation & Maintenance Cost Investment Cost;$C_{O\&m}$)

การศึกษาวิจัย ไชยยศ มิตรเชื้อชาติเรื่องการประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าย่อยร่วมกับการพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์[5] กำหนดมูลค่าการบำรุงรักษามีค่าประมาณ 2-5 % ของมูลค่าการลงทุนทั้งหมด เนื่องจากโดยปกติมูลค่าการบำรุงรักษาจะเกี่ยวเนื่องกับค่าแรงมาตรฐานและเวลานั้น ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพเศรษฐกิจของประเทศ การพิจารณาจากร้อยละของมูลค่าการลงทุนทั้งหมดจึงมีความเหมาะสมมากกว่าสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C_{O\&m} = C_I \times \text{ร้อยละค่า} O\&m \text{ เทียบกับมูลค่าการลงทุน} \times (1 + \text{อัตราเงินเฟ้อ})^{n-1} \quad (3)$$

เมื่อ $C_{O\&m}$ = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาต่อปี (Operation & Maintenance Cost)

C_I = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Cost)

n = ปีที่พิจารณา (ถึงปีที่ 30 ตามอายุสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่กำหนด)

กำหนดให้

มูลค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาต่อปีให้มีค่าเป็น ร้อยละ 3

อัตราเงินเฟ้อ อ้างอิงจากรายงานนโยบายการเงินธนาคารแห่งประเทศไทยประมาณการอัตราเงินเฟ้อทั่วไปปี 2562 [12] ให้มีค่าเป็นร้อยละ 1.2

การคำนวณมูลค่าความเสียหายอันเกิดจากไฟฟ้าดับ (Power Interruption Cost;$C_{Interruption}$)

$$C_{Interruption} = \text{LOLP} \times MVA_{Expect} \times 1{,}000 \times \text{Power factor} \times Cost_{\text{กฟภ.}} \quad (4)$$

เมื่อ $C_{Interruption}$ = ค่าใช้จ่ายมูลค่าความเสียหายอันเกิดจากไฟฟ้าดับ (Power Interruption Cost)

LOLP = ความน่าจะเป็นที่ระบบจะเกิดความล้มเหลว (Loss of load probability) จากตารางที่ 2

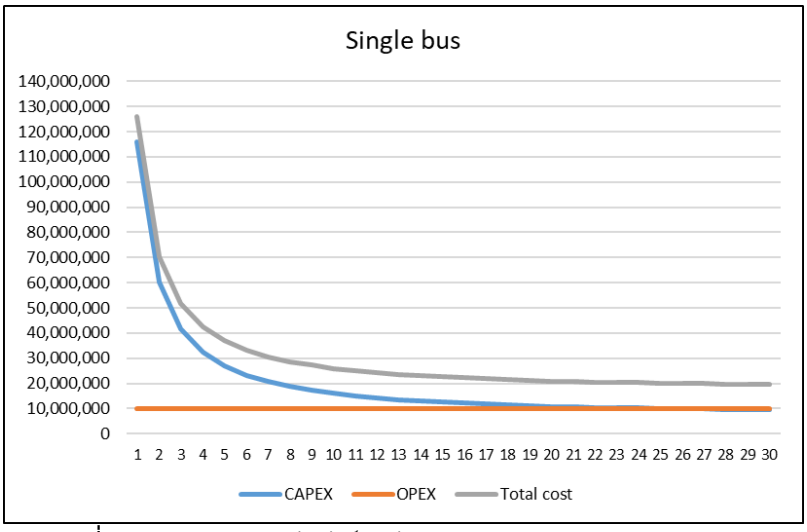
$\text{MVA}_{\text{Expect}}$ = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่หายขณะระบบเกิดความล้มเหลว (MVA) อ้างอิงตามขนาดของหม้อแปลง 50 x 2 MVA โดยปกติแล้วการจ่ายไฟฟ้าของหม้อแปลงจะอยู่ที่ 20% ของพิกัด เท่ากับ 40 x 2 MVA สมมติว่าระบบเกิดความล้มเหลว 1 unit หม้อแปลงอีกตัวจะยังสามารถจ่ายไฟฟ้าได้ที่ 50 MVA ดังนั้นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่หายไปจะเท่ากับ 30 MVA

Power factor = ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า อ้างอิงตามการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 0.85

$Cost_{กฟภ.}$ = ราคาค่าไฟฟ้า กฟภ. (บาท/kWh) อ้างอิงตามอัตราค่าไฟฟ้า TOU ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) 2560 พิกัด 22 kV ขึ้นไปเฉลี่ยประมาณ 3.00 บาท/kWh)

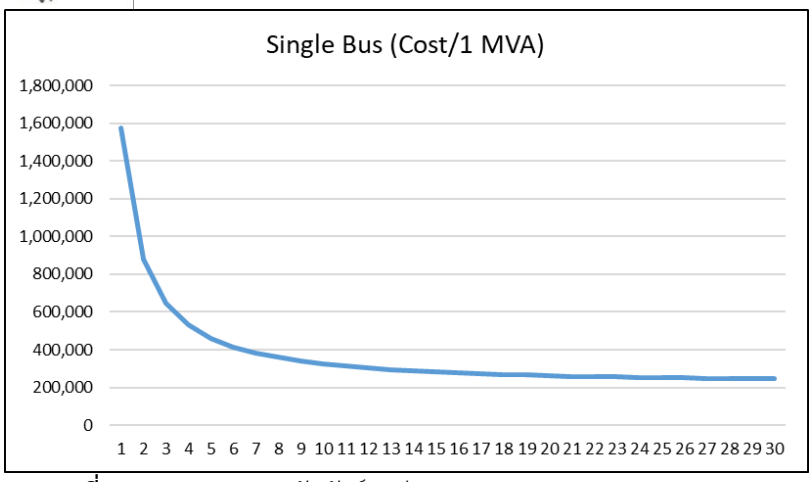
1. ออกแบบรูปแบบจำลองสำหรับการหาค่า Life Cycle Cost (LCC) ตามรูปแบบการจัดวางบัสบาร์เพื่อคำนวณหาอายุเชิงเศรษฐกิจของสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละแบบ
2. วิเคราะห์และประเมินผลจากการศึกษามูลค่าการลงทุนการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าย่อยแต่ละแบบ

ในการวิเคราะห์จะใช้ข้อมูลที่คำนวณหาจากข้อ 3 และ 4 มา เข้าสูตรในโปรแกรม Excel และPlot Graph ของมูลค่าในการลงทุน (CPEX) มูลค่าในการดำเนินการและมูลค่าบำรุงรักษา (OPEX) และหา Total Cost จากจุดตัดระหว่าง CAPEX และ OPEX ตามแนวแกนเวลา (year) จะสามารถหาได้ว่า Life Cycle Cost มีค่าเท่าใดตามทฤษฎีเชิงเศรษฐกิจที่ได้กล่าวไปในข้างต้น เพื่อวิเคราะห์ผลการวิจัยแต่ละรูปแบบ แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่ากราฟ CAPEX และ OPEX ตัดกันที่ปีที่ 25-26 นั่นคือจุด Economic point หรืออายุเชิงเศรษฐกิจของรูปแบบ single bus



ภาพที่ 3กราฟแสดงความสัมพันธ์มูลค่าการลงทุน LCC ของรูปแบบ Single bus

และนำมาหาค่าการลงทุนต่อหน่วยการผลิตที่ 80% ของ พิกัดตามอายุเชิงเศรษฐกิจได้ดังภาพที่ 4 เป็นการหามูลค่าการลงทุนต่อหน่วยของรูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์นั้น ๆ เพื่อวิเคราะห์ว่ารูปแบบใดมีต้นทุนตลอดช่วงอายุต่อปีนั้นต่ำที่สุด จะทำให้สามารถตัดสินใจการลงทุนที่เหมาะสมในสภาพวะเศรษฐกิจของประเทศ ณ เวลานั้นได้ ทั้งนี้เพื่อเป็นเงื่อนไขหนึ่งในการพิจารณาการลงทุนก่อสร้างสถานีไฟฟ้าแรงสูง ที่ต้องมีเพิ่มมากขึ้นในอนาคตตามแผนรองรับความต้องการกำลังไฟฟ้าที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์มูลค่าการลงทุน LCC ของรูปแบบ Single bus

ผลการวิจัยและอภิปราย

ประเมินผลการวิเคราะห์และทดสอบหาอายุเชิงเศรษฐกิจของสถานีไฟฟ้าแรงสูง เมื่อกำหนดให้อายุของสถานีไฟฟ้าย่อยเท่ากับ 30ปี และใช้ทฤษฎีต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการ (Life cycle cost analysis: LCC) ในการวิเคราะห์และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ โดยใช้สถานีไฟฟ้าย่อยที่จังหวัดระยองเป็นต้นแบบของรูปแบบจำลอง โดยประเมินจากต้นทุนการลงทุน (Investment Cost) ต้นทุนการดำเนินการ (Operation & Maintenance Cost) ต้นทุนการเงิน (Finance Cost) และมูลค่าความเสียหายอันเกิดไฟฟ้าดับ (Power Interruption Cost) แสดงการหาอายุเชิงเศรษฐกิจได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4อายุเชิงเศรษฐกิจของรูปแบบการจัดวางบัสบาร์แต่ละรูปแบบที่อายุ 30 ปี

Arrangement	Life Cycle Cost (LCC) @30 years
Single bus	26
Sectionalized single bus	26
Main and transfer bus	invaluable
Breaker and a half	invaluable
Ring bus	invaluable
Double bus double breaker	invaluable
Double bus single breaker	invaluable

และสามารถหามูลค่าการลงทุนต่อหน่วยการผลิต Single bus และ Sectionalized single bus ณ ปีที่ 26 และ หามูลค่าการลงทุนต่อหน่วยการผลิตMain and transfer bus, Breaker and a half bus, Ring bus, Double bus single breaker และ Double bus double breaker ณ ปีที่ 30 ได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงมูลค่าการลงทุนต่อหน่วยของรูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์แต่ละรูปแบบ

Arrangement	Cost/year/1MW
Single bus (LCC 26 y)	250,151.71
Sectionalized single bus (26 y)	252,509.47
Main and transfer bus (30 y)	217,288.57
Breaker and a half (30 y)	204,381.47
Ring bus (30 y)	215,017.16
Double bus double breaker (30 y)	209,191.96
Double bus single breaker (30 y)	236,787.17

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษารูปแบบจำอายุเชิงเศรษฐกิจตลอดช่วงอายุของสถานีไฟฟ้าย่อยโดยวิเคราะห์จากสถานีไฟฟ้าย่อยต้นแบบที่จังหวัดระยอง โดยใช้ทฤษฎีต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการ (Life cycle cost analysis: LCC) เพื่ออายุเชิงเศรษฐกิจและมูลค่าการลงทุนที่เหมาะสม ซึ่งสามารถหาอายุเชิงเศรษฐกิจของสถานีไฟฟ้าย่อยได้ในรูปแบบ Single Bus และ Sectionalized single bus คือ 26 ปี ส่วนรูปแบบอื่นไม่สามารถหาอายุเชิงเศรษฐกิจตามอายุที่กำหนด 30 ปีได้ เนื่องจากมูลค่าการดำเนินการและบำรุงรักษาและมูลค่าความเสียหายอันเกิดจากไฟฟ้าดับในปีที่ 30 ยังมีค่าน้อยกว่ามูลค่าการลงทุนอยู่ จึงสามารถใช้สถานีไฟฟ้าอีก 5 รูปแบบได้ต่อในเชิงเศรษฐกิจความคุ้มค่าได้แก่ Main and transfer bus, Breaker and a half bus, Ring bus, Double bus single breaker และ Double bus double breaker เป็นต้น

ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถหาอายุเชิงเศรษฐกิจได้ แต่ใช้ค่าการลงทุนต่อหน่วยการผลิตเพื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์รูปแบบการจัดเรียงบัสบาร์ในสถานีไฟฟ้าย่อย ทำให้สามารถระบุรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดตามมูลค่าการลงทุนได้ คือ รูปแบบการจัดเรียงแบบ Breaker and a half และ Double bus double breaker ตามลำดับ ในกรณีที่เดินสถานีไฟฟ้าแรงสูงเกินกว่า 30ปี

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณาจารย์ ที่ปรึกษา โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน เป็นอย่างสูงที่ช่วยให้ความรู้ ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำต่าง ๆ อย่างดี ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยนี้ ให้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี ขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการ และคณะกรรมการสอบสารนิพนธ์ ทุกท่านที่เสียสละเวลาในการสอบสารนิพนธ์นี้ และขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยบัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน คณาจารย์ บุคลากร เพื่อน พี่ และรุ่นน้อง รวมถึงผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางที่ช่วยในการนี้จบสำเร็จลุล่วงอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน30 มิถุนายน 2558. **แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า (Power Development Plan: P2558 - 2579DP) ของประเทศไทยปี 2558 - 2579.**

[2] ประกาศสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน 1 มีนาคม 2559. **แผนงานพัฒนาระบบไฟฟ้าในภาพรวมของประเทศเพื่อรองรับการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC)**

[3] คำผุย สุทธิสมบัติ. (2540). **การออกแบบสถานีรับจ่ายไฟฟ้านอกอาคาร 115/22 kV ที่ปากซัน จังหวัดบอริคำไซ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[4] ไชยยศ มิตรเชื้อชาติ. (2555). **การประเมินความเชื่อถือได้ของสถานีไฟฟ้าย่อยร่วมกับการพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต :จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[5] นวพล สุดเขต. (2556). **การกำหนดแผนการบำรุงรักษาอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[6] Tik Son Wong, Student Member IEEE, Jose Lopez-Roldan, Senior Member, IEEE, Tapan Saha, Senior Member,IEEE. (2015). **Development of a Life Cycle Cost Estimating Tool to Compare GIS and AIS Substation Projects.** 2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting.

[7] Douglas D. Gransberg, (2015). **Major Equipment Life-cycle Cost Analysis.** Minnesota Department of Transportation Research Services & Library: Principal Investigator Institute for Transportation Iowa State University.

[8] JunLi Zhang, Jun Xu, SuHua Qiao, Qi Wu. (). **The Application of Life Cycle Cost Theory to The Substation Design**. State grid shanghai shinan electric power Supply Company.

[9] Ingo Jeromin, Gerd Balzer, Technische Universität Darmstadt, Jürgen Backes, Richard Huber, EnBW Regional AG Stuttgart (2009). **Life Cycle Cost Analysis of transmission and distribution systems**.2009 IEEE Bucharest Power Tech Conference, June 28th - July 2nd, Bucharest, Romania.z

[10] Martin Hinow, ETH Zurich Switzerland, Mark Waldron, National Grid UK, Dr.Lorenz Muller, ABB Switzerland. (2008). **Substation Life Cycle Cost Management Supported By Stochastic Optimization Algorithm**. CIGRE 2008

[11] Martin Hinow, Martin Mevissen. (2011). **Substation Maintenance Strategy Adaptation for Life-Cycle Cost Reduction Using Genetic Algorithm.** IEEE Transaction on power delivery, Vol. 26, No.1, JANUARY 2011.

[12] ธนาคารแห่งประเทศไทย มิถุนายน 2561. **รายงานนโยบายการเงิน**

DE24

การวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานผลิตผ้าเบรก

Specific Energy Consumption Analysis and Energy conservationof brake fabric factory.

วิจิตร ไสยาศรี* พงศกร คชาพงศ์กุล และชานนท์ บุญมีพิพิธ
วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑลสาย 5 ตำบลศาลายาอำเภอพุทธมณฑลจังหวัดนครปฐม 73170

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) และสัดส่วนปริมาณพลังงานที่ใช้จริง (Energy Usage Index, EUI) ของโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมการผลิตดิสเบรกก้ามเบรกและก้ามเบรกเปล่า ซึ่งการใช้พลังงานที่มีความแตกต่างกันในการผลิตของเครื่องจักร อุปกรณ์ในโรงงานผ้าเบรกนี้เช่นกรณีของการผลิตสินค้าแบบครั้งละมากๆ (Mass Production) เป็นต้น ซึ่งต้องใช้เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตของโรงงานนี้มีความหลากหลายซึ่งส่วนใหญ่คือเครื่องอบร้อนผ้าเบรกนั้นมีอยู่หลายรุ่นที่มีขนาดและกำลังผลิตที่แตกต่างกันส่งผลให้การใช้พลังงานในการผลิตชิ้นส่วนที่มีขนาดแตกต่างและต้องใช้เครื่องจักรที่แตกต่างกันส่งผลให้ความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการใช้พลังงานกับการผลิตของโรงงานนี้ทำได้ค่อนข้างยากและต้องอาศัยการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์เชิงลึกในการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่นๆที่จะสามารถใช้เป็นตัวแทนในการจัดทำค่าพลังงานจำเพาะที่เหมาะสมของโรงงานต่อไป

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโรงงานผลิตผ้าเบรกแห่งนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 14,438,736 เมกะจูลต่อปี และพลังงานความร้อนเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 1,258,312.32 เมกะจูลต่อปี จากการวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานผลิตผ้าเบรกพบว่าการนำระบบการจัดการพลังงานมาใช้อย่างจริงจังจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้กับโรงงานได้ ซึ่งเดิมนั้นทางโรงงานไม่ให้ความสำคัญในการอนุรักษ์พลังงานเท่าที่ควรส่งผลให้ค่าพลังงานจำเพาะนั้นมีความไม่แน่นอนในแต่ละเดือนของการผลิตในรอบหนึ่งปี โดยเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลเส้นกราฟจะพบว่าในปี 2559 การผลิตก้ามเบรกรถยนต์จะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยมากที่สุดคือ 1.87±0.11 MJ/ชิ้น รองลงมาคือการผลิตดิสเบรกรถยนต์จะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยมากที่สุดคือ 0.99±0.03 MJ/ชิ้น และน้อยที่สุดคือ การผลิตก้ามเบรกรถยนต์เปล่าจะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยมากที่สุดคือ 0.25±0.01 MJ/ชิ้น ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบการผลิตต่อพลังงานที่ภายหลังจากการได้ดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานงานแล้วพบว่าในปี 2560 การใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตมีการกระจายตัวน้อยลงการผลิตก้ามเบรกรถยนต์เปล่าจะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยมากที่สุดคือ 1.57±0.05 MJ/ชิ้น รองลงมาคือการผลิตดิสเบรกรถยนต์จะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยมากที่สุดคือ 0.21±0.01 MJ/ชิ้น และน้อยที่สุดคือการผลิตก้ามเบรกรถยนต์เปล่าจะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยมากที่สุดคือ 0.91±0.03 MJ/ชิ้น ซึ่งจากการดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ผ่านมาทางโรงงานสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 1,032,125.04 MJ/ปี คิดเป็นเงิน 990,897.32 บาท/ปี

คำสำคัญ: กระบวนการผลิตผ้าเบรก การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน พลังงานจำเพาะ การจัดการพลังงาน

*Corresponding author: Tel.: 085-3620830. E-mail address: hs6ogy@gmail.com

บทนำ

อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในปี 2560-2562[1] มีแนวโน้มเติบโตดีขึ้นตามทิศทางการผลิตรถยนต์และรถจักรยานยนต์ซึ่งเป็นผลจากการฟื้นตัวของเศรษฐกิจไทยและประเทศคู่ค้าประกอบกับคาดว่าจะมีการเร่งผลิตและจำหน่ายรถEco-car ตามแผนการขอรับการส่งเสริมการลงทุนจากBOI และจะมีการผลิตรถจักรยานยนต์ขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นตามการขยายการลงทุนของค่ายรถจักรยานยนต์ระดับโลกอีกทั้งผลจากการเข้ามาลงทุนตั้งฐานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในไทยของบริษัทข้ามชาติจะช่วยหนุนให้การส่งออกชิ้นส่วนฯของไทยขยายตัวดี

โรงงานอุตสาหกรรมผลิตผ้าเบรกเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งของชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีการใช้เครื่องจักรในการขึ้นรูปและแปรรูปรวมถึงการใช้อุณหภูมิสูงในการอบส่งผลให้เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ปริมาณพลังงานสูงปัจจุบันเกิดการแข่งขันทางธุรกิจอย่างเข้มข้นและต่อเนื่องจึงต้องมีการพัฒนาศักยภาพและลดต้นทุนโดยต้นทุนที่เกิดขึ้นย่อยหนีไม่พ้นค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องส่งเสริมและเพิ่มประสิทธิภาพและการอนุรักษ์พลังงานการหาต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการผลิตเป็นการหาประสิทธิภาพของกระบวนการในปัจจุบันวิธีการหนึ่งที่นำมาใช้คิดคำนวณหาต้นทุนการใช้พลังงานคือการวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption : SEC) หรือดัชนีการใช้พลังงานสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์และต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ซึ่งตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานพ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติมพ.ศ. 2550) มาตรา9มาตรา21และมาตรา42 กำหนดให้ต้องมีการจัดทำมาตรฐานในการจัดการพลังงานทั้งสำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมซึ่งในปัจจุบันยังไม่ได้มีการจัดทำมาตรฐานเพื่อใช้สำหรับการประเมินสมรรถนะของการดำเนินการจัดการพลังงานที่ชัดเจนของโรงงานควบคุมตามที่พ.ร.บ.ฯได้กำหนดไว้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดทำมาตรฐานในการจัดการพลังงานโดยใช้รูปแบบของตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการจัดการพลังงาน (Energy Performance Indicator) เพื่อเป็นค่าอ้างอิงสำหรับประเมินสมรรถนะด้านการจัดการพลังงานของโรงงานและอาคารควบคุมตามกฎหมาย

ดังนั้นการศึกษางานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) และสัดส่วนปริมาณพลังงานที่ใช้จริง (Energy Usage Index , EUI) ของโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมการผลิตดิสเบรกก้ามเบรกด้วยการหาสมการถดถอยเชิงเส้นของการใช้พลังงานและปริมาณผลการผลิต

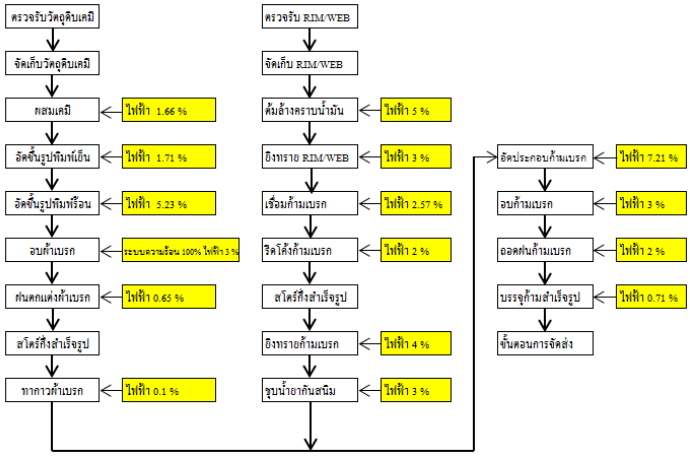
วิธีการวิจัย

การศึกษาการใช้พลังงานและวิธีการดำเนินวิจัยในที่นี้ ได้ทำการศึกษาวิจัยโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ผ้าเบรก (ชิ้นส่วนยานยนต์) ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาสมการค่าดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานจำเพาะ โดยการเก็บข้อมูลรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในระยะเวลา 2 ปี ย้อนหลัง นำมาวิเคราะห์ เพื่อจะทำให้ทราบถึงการใช้พลังงานและสามารถทำการพัฒนาดัชนีและเกณฑ์การใช้พลังงานที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

การศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน

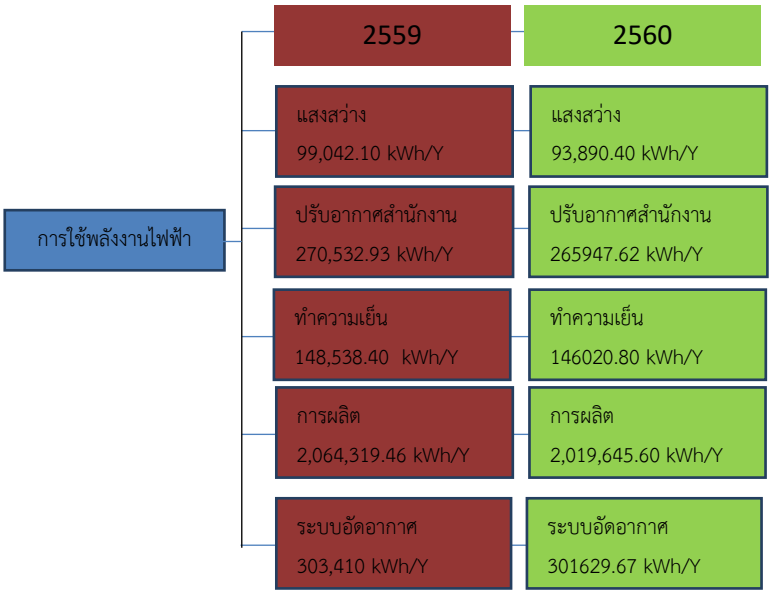
เป็นการศึกษากระบวนการผลิตและการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตผ้าเบรก โดยทำการรวบรวมข้อมูลเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานที่ผ่านมาจำนวน 1 แห่ง คือ โรงงานผลิตผ้าเบรก ในจังหวัดเพชรบุรี ซึ่งมีกระบวนการผลิตดังนี้

ขั้นตอนการวิเคราะห์เกี่ยวกับตัวแปรที่มีปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยทำการศึกษาจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็นตัวแปรต้น ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ หมายถึงตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในโรงงาน



ภาพที่ 1 ผังกระบวนการผลิตผ้าเบรกโรงงาน จ.เพชรบุรี

จากกระบวนการผลิตสามารถประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงานโดยแยกตามระบบต่างๆ ได้ดังภาพที่ 2 ดังนี้



ภาพที่ 2 ข้อมูลการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตผ้าเบรกพื้นที่ จ.เพชรบุรี

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การสำรวจข้อมูลภาคสนามการตรวจวิเคราะห์พลังงานต่อเนื่อง และ Energy Audit จำนวน 1 แห่ง นั้นเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องดำเนินการ เนื่องจากการกรอกแบบสอบถามนั้นอาจมีความ คลาดเคลื่อนได้ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่จะยืนยันผลที่แน่นอนได้คือการเข้าไปสำรวจและตรวจวัดอุตสาหกรรมแต่ละแห่งที่เข้าร่วมโครงการ โดยทีมงานที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านพลังงาน เข้าไปดำเนินงานอย่างน้อยโรงงานละ 5 ครั้ง หรือมากกว่าเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์ของการวิเคราะห์สมรรถนะด้านพลังงานในแต่ละโรงงาน โดยการหาข้อมูลผลิตภัณฑ์และการใช้พลังงานดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานของโรงงานในที่นี้หมายถึง Specific Energy Consumption (SEC) ซึ่งนิยามตามสมการที่ 1ซึ่งค่าการใช้พลังงานเฉพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) [1] เป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ (Input) และปริมาณผลผลิตที่ได้ (Output) ในช่วงเวลาเดียวกัน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$SEC = \frac{Energy(E)}{Product(Q)} \quad (1)$$

โดยที่ SEC = ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน
E = ปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในเดือนนั้น
Q = ปริมาณผลผลิตในช่วงเดียวกัน (หน่วยผลิตภัณฑ์)

โดยทั่วไปพลังงานที่ใช้มักจะประกอบด้วยพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า พลังงานที่ป้อนให้กับกระบวนการผลิตอาจเป็นพลังงานความร้อนจากไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต จากเตาเผา หรือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ ระยะเวลาที่ใช้เก็บข้อมูลอาจกำหนดเป็นวัน เดือน หรือ ปี ก็ได้ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาดังกล่าว หน่วยของค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้กันมีอย่างอย่าง เช่น ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ค่าของความร้อนเป็นเมกกะจูล (MJ) หรือ แคลลอรี่ (Cal) หรือเป็นค่าเทียบเท่าน้ำมันดิบ (TOE) ต่อหนึ่งหน่วยการผลิต เป็นต้น

การคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ คือค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของโรงงาน ค่านี้มีประโยชน์ที่จะช่วยบอกว่ามีการใช้พลังงานเฉลี่ยเท่าใดในการผลิตสินค้า 1 หน่วย การติดตามและควบคุมค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงาน เป็นวิธีการจัดการการอนุรักษ์พลังงานที่ได้ผลดีที่สุดวิธีหนึ่ง ค่าการใช้พลังงานจำเพาะหาได้โดยเอาพลังงานที่โรงงานใช้ ในช่วงเวลาที่สนใจ ซึ่งมักจะเป็นเดือน หารด้วยผลผลิตในเดือนเดียวกัน สามารถคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะของพลังงานไฟฟ้า (SEC_E) หรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะของพลังงานความร้อน (SEC_H) หรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้พลังงานรวมขึ้นอยู่กับประเภทของพลังงานที่สนใจ โดยทั่วไปเป็นค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้พลังงานรวม

$$SEC_{รวม} = SEC_E + SEC_H \quad (2)$$

โดยที่ SEC_E = ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของพลังงานความร้อน
SEC_H = ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้พลังงาน

เนื่องจากการใช้ดัชนีการวัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต หรือ ค่า SEC นั้น เป็นการนำค่าการใช้พลังงานทั้งหมดหารด้วยจำนวนผลผลิตทางกายภาพในเดือนนั้น โดยตัวผลผลิตจะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวหรือใกล้เคียงกัน เพราะในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งผลิตภัณฑ์ (หรือหนึ่งชิ้น) ใช้พลังงานในการผลิตจำนวนหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าการใช้พลังงานที่จะนำไปใช้ในการหาค่า SEC แต่เนื่องจากในโรงงานบางแห่งอาจจะมีจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายและมีหลายเกิดความคลาดเคลื่อน เช่น โรงงานผลิตผ้าเบรกนั้นมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายชนิดทำให้แต่ละกระบวนการผลิตก็จะใช้เวลาทำการผลิตไม่เท่ากัน บางขั้นตอนก็จะมีความยากง่ายในการผลิตแตกต่างกัน จึ้งต้องมีการเฉลี่ยค่าการใช้พลังงานให้เท่ากับการผลิตในตอนนั้น ๆ กับการผลิตภัณฑ์อื่นให้มีความสอดคล้องกัน จึงมีการคิดค้นเทคนิคในการเทียบหน่วยผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในหน่วยเดียวกันการเทียบหน่วยอัตราส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์หนึ่งหน่วยทำได้โดยการ เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตของ แต่ละผลิตภัณฑ์ ในที่นี่ใช้การเทียบอัตราส่วนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์หนึ่งชิ้น โดยนำผลิตภัณฑ์ที่มียอดการผลิตเฉลี่ยสูงสุดเป็นฐานตัวตั้งเพื่อเทียบหน่วย

ค่าดัชนีการใช้พลังงาน (EnergyUsage Index, EUI) [2]เป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้จริง (Actual Energy Consumption, AEC) และปริมาณพลังงานฐานหรือที่คาดว่าจะใช้ (Baseline Energy Consumption, BEC) ในช่วงเวลาเดียวกัน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$EUI = \frac{AEC - BEC}{BEC} \qquad (3)$$

โดยที่ EUI = ค่าดัชนีวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
AEC = ปริมาณการใช้พลังงานจริงซึ่งได้จากการตรวจวัด
BEC = ปริมาณการใช้พลังงานที่ได้มาจากการคำนวณ

พลังงานในที่นี้เป็นความหมายเดียวกันกับพลังงานในการคำนวณค่า SECAEC 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 กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ค่าที่สอดคล้องกับสภาพการผลิตจริง แทนการใช้ค่าเฉลี่ยหรือค่าคงที่ โดยจะแยกออกเป็นสมการ BEC ของพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนและพลังงานรวม การพัฒนาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง BEC กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จะใช้หลักการทางสถิติและการวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis) เช่นเดียวกับค่า SEC

ความผิดพลาดของข้อมูลชนิดของความผิดพลาด (Type of Errors) ความผิดพลาดคือความแตกต่างของค่าที่วัดได้กับเครื่องมือวัดกับค่าที่เป็นจริงความผิดพลาดเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุซึ่งสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆเช่นชนิดของความไม่แน่นอน (Type of Uncertainty) ความผิดพลาดชนิดSystematic (รวมถึงGross errors ชนิดSystematic) สามารถกำจัดออกไปจากข้อมูลที่วัดได้โดยใช้ค่าชดเชยที่เหมาะสมซึ่งได้จากการเทียบค่าของเครื่องมือวัดสำหรับความผิดพลาดชนิดRandom (รวมGross error ชนิดRandom) ทำให้ข้อมูลที่ได้จากการวัดมีค่าไม่แน่นอนโดยมีค่าเบี่ยงเบนจากค่าที่เป็นจริงความไม่แน่นอนของข้อมูลหรือกลุ่มของข้อมูลที่อ่านได้จากการวัดคิดเป็นระดับหรือปริมาณค่าความไม่แน่นอนซึ่งปริมาณความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัดแบ่งเป็น2 ชนิดคือ1. ความไม่แน่นอนจากการประเมินภายนอก (External Estimate of Uncertainty, UE) คือความไม่แน่นอนจากข้อกำหนดของเครื่องมือวัด 2. ความไม่แน่นอนจากการประเมินภายใน (Internal Estimate of Uncertainty, UI) คือความไม่แน่นอนจากข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดเช่นวัดปริมาณอันเดียวกันหลายๆครั้งแต่ได้ค่าที่แตกต่างกันออกไป

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, σ) คือตัวเลขที่บอกถึงความเบี่ยงเบนของกลุ่มข้อมูลจากค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์และนิยมใช้มากกว่าค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} di^2}{n}} \qquad (4)$$

- ค่าความเที่ยงตรง (Adjusted Standard deviation, S)

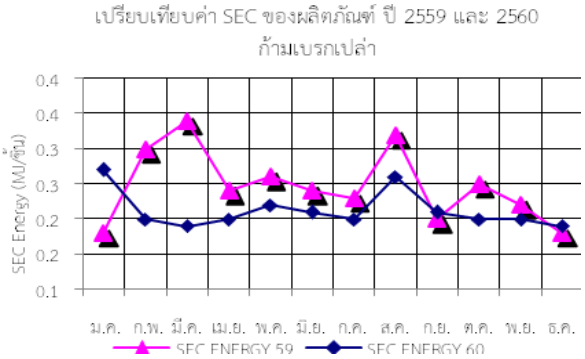
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} di^2}{n-1}} \quad (5)$$

- ค่าความไม่แน่นอนภายใน (Internal Uncertainty, U_I) ค่าความไม่แน่นอนภายในของกลุ่มข้อมูลที่วัดได้คำนวณได้จากสมการ

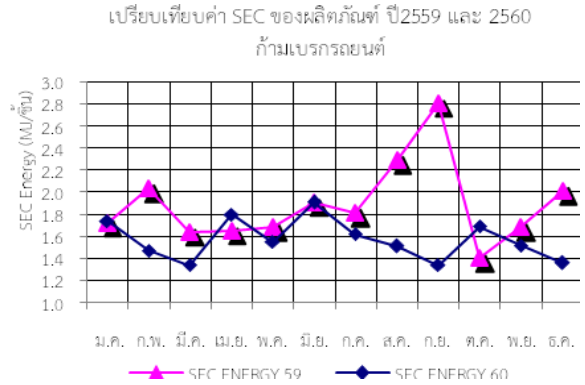
$$U = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{\sigma}{\sqrt{(n-1)}} \quad (6)$$

การวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะ (SEC)

จากการรวบรวมข้อมูลการผลิตในแต่ละเดือนในช่วงปี พ.ศ. 2559 และ พ.ศ. 2560 ของโรงงานแห่งนี้ ซึ่งโรงงานจะมีการผลิตออกเป็น 3 ผลิตภัณฑ์ คือ ผลิตก้ามเบรกรถยนต์ผลิตก้ามเปล่า และดิสเบรกรถยนต์

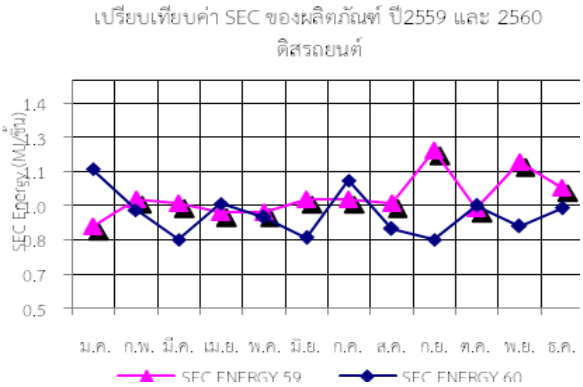


ภาพที่ 3กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าSEC ของก้ามเบรกเปล่าปี 2559 และ 2560

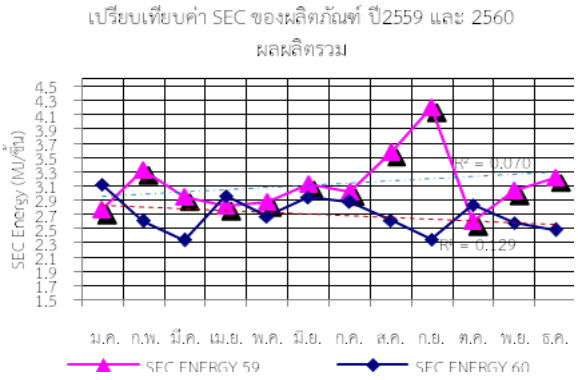


ภาพที่4กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าSEC ของก้ามเบรกรถยนต์ปี2559 และ2560

จากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบค่า SEC ของผลิตภัณฑ์ก้ามรถยนต์ ในปี2559จะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยสูงกว่าปี 2560โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.35 ซึ่งสูงกว่าในปี 2560 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.15 และมีค่าความไม่แน่นอนของ SEC ในปี 2559 1.87±0.11 โดยที่ค่าความไม่แน่นอนของ SEC ในปี 2560 อยู่ที่ 1.57±0.05 แสดงให้เห็นว่าในปี 2560 ทางบริษัทมีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตก้ามเบรกดีขึ้น ส่วนในภาพที่ 4 การเปรียบเทียบค่า SEC ของผลิตภัณฑ์ก้ามเบรกรถยนต์เปล่า ในปี2559จะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยสูงกว่าปี 2560 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.05 ซึ่งสูงกว่าในปี 2560 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.02 และมีค่าความไม่แน่นอนของ SEC ในปี 2559 อยู่ที 0.25±0.01 โดยที่ค่าความไม่แน่นอนของ SEC ในปี 2560 อยู่ที่0.21±0.01 แสดงให้เห็นว่าในปี 2560 ทางบริษัทมีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตก้ามเบรกเปล่าดีขึ้น



ภาพที่5 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าSEC ของดิสเบรกปี2559 และ2560



ภาพที่6 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าSEC ของผลผลิตรวมปี2559 และ2560

จากภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบค่า SEC ของผลิตภัณฑ์ดิสเบรกรถยนต์ ในปี2559จะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยเท่ากับในปี 2560โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.09 และมีค่าความไม่แน่นอนของ SEC ในปี 2559 อยู่ที่ 0.99±0.03โดยที่ค่าความไม่แน่นอนของ SEC ในปี 2560 อยู่ที่0.91±0.03แสดงให้เห็นว่าในปี 2560 ทางบริษัทมีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตดิสเบรกดีขึ้น ส่วนในภาพที่ 6 การเปรียบเทียบค่า SEC ของการรวมผลิตภัณฑ์ ในปี2559จะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยสูงกว่าปี 2560 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.41 ซึ่งสูงกว่าในปี 2560 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.24 และมีค่าความไม่แน่นอนของ SEC ในปี 2559 อยู่ที่3.12±0.12โดยที่ค่าความไม่แน่นอนของ SEC ในปี 2560 อยู่ที่ 2.70±0.07แสดงให้เห็นว่าในปี 2560 ทางบริษัทมีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตรวมดีขึ้น

จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตพบว่าตัวแปรในผลผลิตไม่ได้มีความสัมพันธ์กันดังเช่นที่สามารถพบได้ในการผลิตสินค้าในแต่ละกล่าวคือเมื่อโรงงานมีการผลิตที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นการใช้พลังงานมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนหรือออกจะมีแนวโน้มคงที่ (ความชันของเส้นกราฟน้อยมากจนเกือบขนานแกนนอน) และเมื่อพิจารณาสมการของเส้นกราฟตัวแทนจะพบว่าค่าR^2มีค่าน้อยกว่า 0.7 มากซึ่งบ่งบอกว่าตัวแปรต้นทั้งสองขอกราฟมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก (มีความกระจายตัวของข้อมูลสูง) หรืออาจจะแปรความหมายได้ว่าโรงงานมีการใช้พลังงานในการผลิตไม่สม่ำเสมอมากๆ

ตารางที่ 1 แสดงการประเมินค่าความไม่แน่นอนของข้อมูลของค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) ในปี2559 และ2560

รายการ	ก้ามเบรก		ก้ามเบรกเปล่า		ดิสเบรก		ผลผลิตรวม	
	ปี 59	ปี 60	ปี 59	ปี 60	ปี 59	ปี 60	ปี 59	ปี 60
ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย	0.25	0.15	0.04	0.02	0.07	0.08	0.30	0.21
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.35	0.18	0.05	0.02	0.09	0.09	0.41	0.24
ค่าความเที่ยงตรง	0.37	0.19	0.05	0.02	0.09	0.10	0.43	0.25
ค่าความไม่แน่นอน	0.11	0.05	0.01	0.01	0.03	0.03	0.12	0.07

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าข้อมูลในการชัพลังงานต่อหน่วยผลผลิตในปี 2559 จะมีค่าความไม่แน่นอนค่าที่สูงกว่าในปี2560 อันเนื่องมาจากทางโรงงานได้ดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งได้จัดทำระบบการจัดการพลังงานอย่างเป็นระบบตาม พร.บ.การส่งเสริมและอนุรักษ์พลังงานปี 2535 และฉบับปรับปรุงปี 2550 กำหนด โดยได้ดำเนินการจัดทำมาตรการการอนุรักษ์พลังงานดังนี้

ตารางที่ 2 มาตรการในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน

ลำดับที่	มาตรการ	เป้าหมายการประหยัด						ร้อยละผลประหยัด (%)	เงินลงทุน (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
		ไฟฟ้า			เชื้อเพลิง					
		กิโลวัตต์	กิโลวัตต์ชั่วโมงปี	บาท/ปี	ชนิด	ปริมาณ MJ/ปี	บาท/ปี			
ด้านไฟฟ้า										
1.	เปลี่ยนระบบดูดฝุ่นจาก Wet Scrubber มาเป็นระบบ dust collector	16.0	75,520.00	344,216.96	-	-	-	1.91	2,230,000.00	6.48
2.	ลดเวลาการเตรียมเครื่องก่อนปฏิบัติงาน(การอุ่นพิมพ์)	-	118,944.00	501,943.68	-	-	-	3.00	30,000.00	0.06
	รวม	16.0	194,464.00	846,160.64	-	-	-	4.91	-	-
ด้านความร้อน										
1.	ลดปริมาณแก๊ส LPG ที่เหลือทิ้งก้นถัง	-	-	-	LPG	52,429.68	22,853.16	0.37	8,000.00	0.35
2.	ลดเวลาการอบดิสเบรก	-	-	-	LPG	279,624.96	121,883.52	1.96	-	-
	รวม	-	-	-	LPG	332,054.64	144,736.68	2.33	-	-

จากตารางที่ 2 ทางโรงงานได้ดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยการจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานจำนวน 4 มาตรการสามารถประหยัดพลังงานได้ 1,032,125.04 MJ/ปี คิดเป็นเงิน 990,897.32 บาท/ปี

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานผลิตผ้าเบรก พบว่าการนำระบบการจัดการพลังงานมาใช้อย่างจริงจังจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้กับโรงงานได้ ซึ่งเดิมนั้นทางโรงงานไม่ให้ความสำคัญในการอนุรักษ์พลังงานเท่าที่ควรส่งผลให้ค่าพลังงานจำเพาะนั้นมีความไม่แน่นอนในแต่ละเดือนของการผลิตในรอบหนึ่งปี โดยเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลเส้นกราฟจะพบว่าในปี 2559 การผลิตก้ามเบรกรถยนต์เปล่าจะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยมากที่สุดคือ 1.87±0.11MJ/ชิ้นรองลงมาคือการผลิตดิสเบรกรถยนต์จะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยมากที่สุดคือ 0.99±0.03MJ/ชิ้น และน้อยที่สุดคือ การผลิตก้ามเบรกรถยนต์เปล่าจะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยมากที่สุดคือ 0.25±0.01 MJ/ชิ้นซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบการผลิตต่อพลังงานที่ภายหลังจากการได้ดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานงานแล้วพบว่าในปี2560 การใช้พลังงานต่อหน่วยผลิผลิตมีการกระจายตัว

น้อยลงการผลิตก้ามเบรกรถยนต์เปล่าจะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยมากที่สุดคือ1.57±0.05MJ/ชิ้นรองลงมาคือการผลิตดิสเบรกรถยนต์จะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยมากที่สุดคือ0.21±0.01 MJ/ชิ้นและน้อยที่สุดคือการผลิตก้ามเบรกรถยนต์เปล่าจะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยมากที่สุดคือ0.91±0.03MJ/ชิ้น ซึ่งจากการดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ผ่านมาทางโรงงานสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 1,032,125.04 MJ/ปี

ดังนั้นจึงอาจจะพอสรุปได้ในเบื้องต้นว่ากลุ่มข้อมูลที่มีอยู่นี้ไม่สามารถใช้คาดการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตเครื่องจักรของโรงงานผ้าเบรกนี้ได้ดังเช่นกรณีของการผลิตสินค้าแบบครั้งละมากๆ (Mass Production) ของโรงงานอาจเป็นเพราะว่าเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตของโรงงานนี้มีความหลากหลายซึ่งส่วนใหญ่คือเครื่องอบร้อนผ้าเบรกนั้นมีอยู่หลายรุ่นที่มีขนาดและกำลังผลิตที่แตกต่างกันซึ่งจะใช้พลังงานในการผลิตชิ้นส่วนที่มีขนาดแตกต่างและต้องใช้เครื่องจักรที่แตกต่างกันทำให้การหาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการใช้พลังงานกับการผลิตเครื่องของโรงงานนี้ทำได้ค่อนข้างยากและต้องอาศัยการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์เชิงลึกในการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่นๆ ที่จะสามารถใช้เป็นตัวแทนในการจัดทำค่าพลังงานจำเพาะที่เหมาะสมของโรงงานต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานดัชนีชี้วัดพลังงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ http://www2.dede.go.th/kmberc/datacenter/factory/paper/chapter3.

[2] พงศกร เกิดช้าง “การวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) กับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานน้ำแข็งซอง”การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13 วันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560

[3}พงศกร เกิดช้าง, ชานนท์ บุญมีพิพิธ “การจัดทำดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของการผลิตถุงมือยาง” การประชุมวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10, 29, 30 พฤศจิกายน – 1 ธันวาคม 2560 ณ หอประชุมเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

[4] วิชาญ นาคทอง (ทีมงาน iEnergyGuru) การกำหนดและบ่งชี้ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน แปลและเรียบเรียง ISO 50006:2014 https://ienergyguru.com

[5] พัชรมาศ นุ่มดี และคณะ “การศึกษาประสิทธิภาพและตรวจติดตามการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม”วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 8 ฉบับ ที่2554/2

[6] เป็นธิดา มณีโชติ และคณะ “การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม : TSIC 33, 36, 37 และ 38” วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 8 ฉบับ ที่2554/2

[7] นายพีรพงษ์ แก้ววิมลรัตน์ และคณะ “การพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่าในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์” วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 7 ฉบับ ที่2553/2

[8] พศวีร์ ศรีโหมด และคณะ “การวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานในอาคารเรียนของมหาวิทยาลัยศรีปทุม” การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 10 ประจาปี 2558 วันที่ 22 ธันวาคม 2558

[9] สุวิทย์ ภูลี และคณะ “การปรับปรุงงานบำรุงรักษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต” วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่9 ฉบับที่ 2555/

DE32

การใช้พลังงานและแนวคิดการออกแบบอาคารที่พักฉุกเฉินแบบถอดประกอบได้

ENERGY CONSUMPTION AND CONCEPT DESIGN FOR EMERGENCY FLAT-PACK BUILDING

สรรชัย แสงตัน[1*] และสมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์[2]
Sanchai Seangton[1] and Sompong Putivisutisak[2]
[1] สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพ 10330
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพ 10330

บทคัดย่อ

ความต้องการการใช้พลังงานในกรณีที่เกิดภัยพิบัติ เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้ประสบภัยพิบัติในพื้นที่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความต้องการการใช้พลังงานเฉลี่ย/คน/วัน ของผู้ประสบภัยพิบัติ โดยทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและออกแบบอาคารที่พักอาศัยสำเร็จรูปซึ่งติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์โดยสามารถผลิตพลังงานเพื่อรองรับผู้ประสบภัยพิบัติ 60 คน วัสดุที่ใช้ในระบบประกอบอาคารเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำและใช้พัดลมในการระบายอากาศ ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณการใช้พลังงานต่อวันประมาณ 150 kWh เฉลี่ยการใช้พลังงาน 2.5 kWh/คน/วัน วัสดุประกอบอาคารใช้โฟมโพลียูรีเทนซึ่งมีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด คือ 0.024 W/m.K เมื่อเทียบกับวัสดุฉนวนชนิดอื่นๆ ใช้พัดลมขนาด 22 นิ้วในการระบายอากาศซึ่งมีอัตราการระบายอากาศในพื้นที่พักอาศัยชั่วคราว หรือ ห้องนอน 38,382 cfm และอัตราการระบายอากาศในห้องรับประทานอาหาร 102,353 cfm ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1

คำสำคัญ : พลังงาน เขตภัยพิบัติ อาคารที่พักฉุกเฉิน

Abstract

Energy utilization in the event of disaster is an important factor that directly impacts the victims in the area. As a result, this research aims to assess the needs of the average power usage/person/day of disaster victims. Reliable design of residential solar systems, which can generate power to accommodate 60 people, is made. Building compartment is ventilated by 22-inch-diameter fans and constructed with low thermal conductivity materials (polyurethane with k = 0.024 W/m.K). It is found that the energy consumption per day is approximately 150 kWh with an average per person of 2.5 kWh. The air ventilation in residential areas or temporary bedroom is 38,382 cfm, and the rate of ventilation in dining room is 102,353 cfm which is in compliance with ASHRAE standard 62.1.

Keyword: energy, disaster area, emergency flat-pack building

*Corresponding author: E-mail address: sanchai.seangton@gmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการเกิดภัยพิบัติขึ้นอย่างต่อเนื่องและเพิ่มความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงกับผู้ที่พักอาศัยในเขตภัยพิบัติ และหนึ่งในผลกระทบนั้นคือความต้องการการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการดำเนินชีวิตของผู้ประสบภัยพิบัติ เช่น ใช้ในการทำอาหาร การให้แสงสว่าง การระบายความร้อน อุปกรณ์ปฐมพยาบาล เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานของผู้ประสบภัยพิบัติในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านพลังงาน เพื่อรองรับในกรณีที่เกิดภัยพิบัติขึ้นในอนาคต โดยพื้นที่ใช้ประโยชน์ที่จำเป็นต้องมีเป็นอย่างน้อยสำหรับผู้ประสบภัยในกรณีที่เกิดภัยพิบัติ [1] ได้แก่

1) พื้นที่สำหรับติดต่อประสานงาน เป็นพื้นที่สำหรับติดต่อประสานงานการช่วยเหลือจากภายนอกและเป็นพื้นที่สำหรับติดต่อผู้ประสบภัยพิบัติภายในพื้นที่

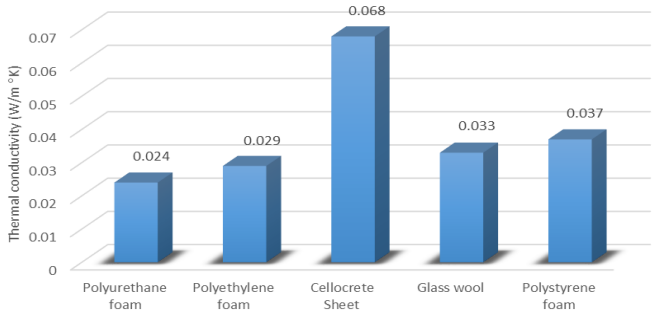
2) พื้นที่สำหรับปฐมพยาบาลเบื้องต้น เป็นพื้นที่ซึ่งมีความจำเป็นสำหรับทำการรักษาเบื้องต้นให้กับผู้ประสบภัยพิบัติและทำการส่งต่อผู้ป่วยไปยังโรงพยาบาลเพื่อทำการรักษาต่อไป

3) พื้นที่สำหรับพักผ่อน เป็นพื้นที่สำหรับให้ผู้ประสบภัยพักผ่อนเพื่อรอรับการช่วยเหลือหรือรอให้สถานการณ์เข้าสู่สภาวะปกติ

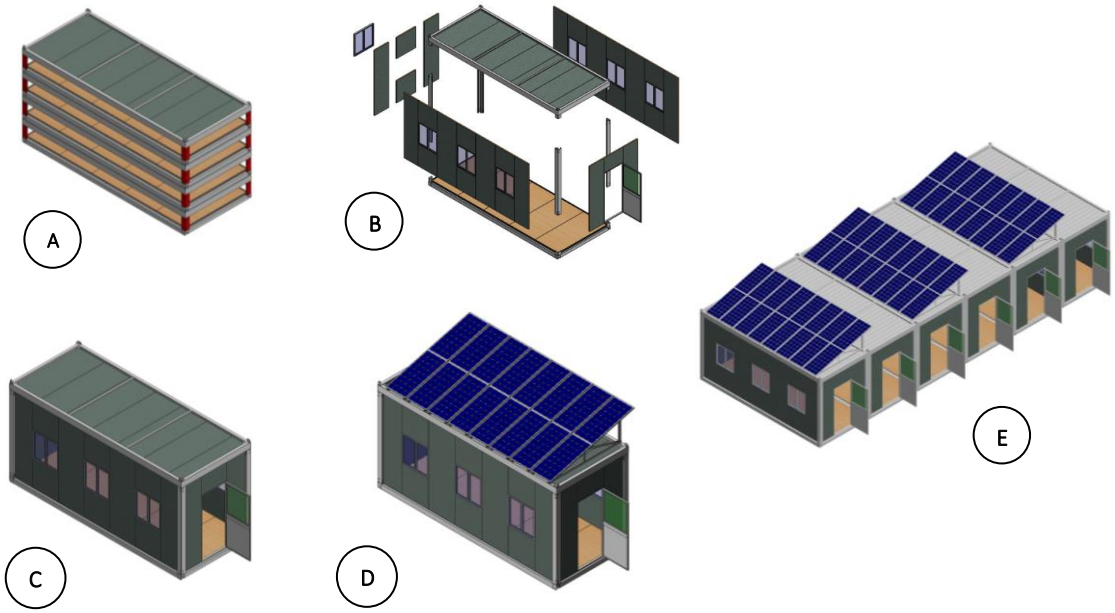
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัสดุช่วยลดความร้อนเข้าสู่อาคาร

ในการออกแบบจะเน้นระบบการผลิตระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป โครงสร้างหลักผลิตจากเหล็กรูปพรรณ พื้นกรุด้วยไฟเบอร์ซีเมนต์ ผนังทำจากเหล็กเคลือบสังกะสีภายในเป็นโฟมโพลียูรีเทน เพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งโฟมโพลียูรีเทนเป็นวัสดุฉนวนที่มีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าวัสดุฉนวนชนิดอื่นๆ มีน้ำหนักเบา แข็งแรง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ค่าการนำความร้อนสำหรับวัสดุประกอบอาคาร
(อ้างอิง : ข้อมูลจากโปรแกรม Building Energy Code BEC v.1.0.6)



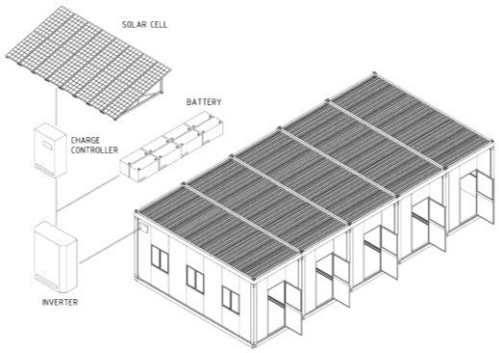
รูปที่ 2 ลักษณะมาตรฐานโครงสร้างอาคาร

ลักษณะรูปร่างมาตรฐานโครงสร้างอาคารสามารถถอดประกอบได้สามารถทับซ้อนกันได้เพื่อลดค่าการใช้พลังงานด้านการขนส่ง ดังรูปที่ 2A สามารถถอดประกอบชิ้นส่วนผนังและเสาด้วยแรงคน ไม่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในการประกอบโครงสร้างเนื่องจากมีข้อจำกัดด้านพลังงาน ดังรูปที่ 2B และ 2C สามารถนำชุดแผงโซลาร์เซลล์มาติดตั้งบนหลังคาโครงสร้างได้เพื่อสร้างพลังงานใช้ภายในพื้นที่ภัยพิบัติแบบโมดูลเดี่ยว ดังรูปที่ 2D และยังสามารถต่อขยายได้หลายๆ โมดูล ดังรูปที่ 2E

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) สำหรับผลิตพลังงานเพื่อใช้ในพื้นที่ภัยพิบัติ

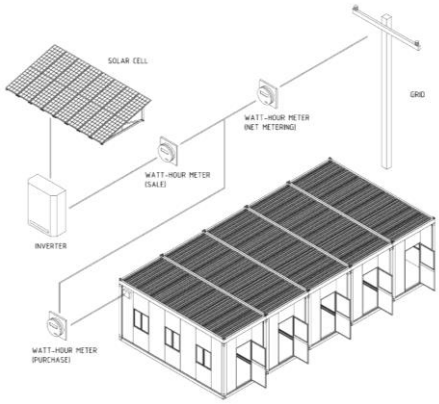
เซลล์แสงอาทิตย์สร้างจากสารกึ่งตัวนำที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะทางไฟฟ้าประจุลบ (Electron) และบวก (Hole) ขึ้น ซึ่งโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกพาหะทางไฟฟ้าออกจากกัน ดังนั้นจึงเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็คตรอนขึ้น เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าต่อไปยังโหลดทางไฟฟ้าได้ และเมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนหลายๆ เซลล์มาต่อกันก็จะได้ปริมาณไฟฟ้าที่มากขึ้น และนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ [2] เราสามารถจำแนกระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 3 แบบ [3] คือ

1) ระบบอิสระ (Stand Alone) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ เหมาะสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยมีหลักการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อมๆ กัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้นพลังงานจากแบตเตอรี่ที่ประจุไว้ในเวลากลางวันจึงถูกนำมาใช้ในเวลากลางคืน ดังรูปที่ 3



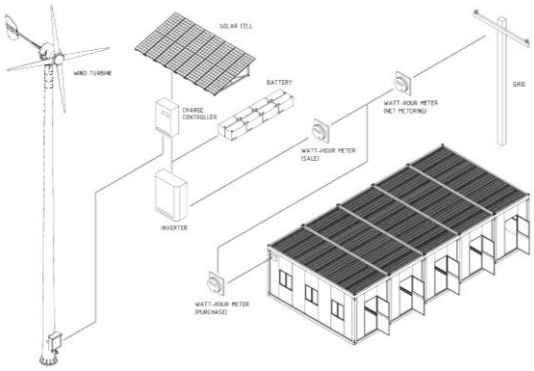
รูปที่ 3 การเชื่อมต่อระบบอิสระ

2) ระบบเชื่อมต่อสายส่ง (Grid Connected) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนกระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยตรง มีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรง โดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจะถูกจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเชื่อมต่อสายส่ง

3) ระบบผสมผสาน (Hybrid) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ เป็นต้น ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเชื่อมต่อแบบผสมผสาน

คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกันและมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงโซลาร์เซลล์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้ [4]

1) ความเข้มแสง กระแสไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูงกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น

2) อุณหภูมิ กระแสไฟเข้าจะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.5 และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลง

การออกแบบระบบโซลาร์เซลล์สำหรับผลิตพลังงานเพื่อใช้ในพื้นที่ภัยพิบัติ

การออกแบบระบบโซลาร์เซลล์ต้องออกแบบตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน เช่น ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดใด มีความต้องการกำลังไฟฟ้ากี่วัตต์ เป็นต้น จากนั้นทำการหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องแล้วจึงเลือกส่วนประกอบที่เหมาะสมตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ต้องการนำมาใช้งาน โดยคำนวณจากภาระงานของอุปกรณ์ทุกชนิดเพื่อหากำลังไฟฟ้ารวม (W) เพื่อนำค่าเหล่านี้ไปคำนวณหาค่าอื่นๆ ต่อไป เช่น เครื่องอินเวอร์เตอร์ เครื่องควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ และขนาดแผงโซลาร์เซลล์ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 เลือกใช้อุปกรณ์ปรับระบบกระแสไฟฟ้า (Inverter) การเลือกใช้เครื่องอินเวอร์เตอร์ ในกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการใช้แรงดันไฟฟ้าให้ตรงกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้าน และเป็นระบบของอุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป จึงต้องให้ค่ากำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์สูงกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้จริงเสมอ นอกจากนั้นยังต้องเผื่อกำลังสำหรับการสูญเสียพลังงานภายในของเครื่องอินเวอร์เตอร์ด้วย ซึ่งการสูญเสียโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 10-20%

ขั้นตอนที่ 3 เลือกใช้เครื่องควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ (Charge Controller) ในการออกแบบวงจรจำเป็นต้องออกแบบการจัดเก็บประจุแบตเตอรี่ด้วย สำหรับเครื่องควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ จะเป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมการชาร์จประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ เพื่อให้การชาร์จประจุมีประสิทธิภาพในการรับเข้า จ่ายออก และการเก็บพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด ตามปริมาณการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์

การหาค่าเครื่องควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ [5] สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$C_{batt} = \frac{PV}{V_{batt}} \quad (1)$$

เมื่อ

C_{batt} = ขนาดกระแสประจุ (Ampere)

PV = กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (Watt)

V_{batt} = ความต่างศักย์ของแบตเตอรี่ (Volt)

การใช้วงจรควบคุมซึ่งอยู่ภายในเครื่องควบคุมการชาร์จนี้จะเป็นรูปแบบการทำงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ในการควบคุม ในการเลือกเครื่องควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่จะต้องเป็นรุ่นที่มีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าต่ำและค่าพลังงานที่กำหนดจะต้องมีค่ากำลังไฟฟ้าที่ไม่ต่ำกว่าค่าของแผงโซลาร์เซลล์

ขั้นตอนที่ 4 เลือกใช้แบตเตอรี่ (Battery) แบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับการใช้งานในระบบโซลาร์เซลล์คือแบตเตอรี่แบบประจุสูง หรือแบตเตอรี่แบบดีพไซเคิล (Deep Cycle) ซึ่งจะมีลักษณะที่แตกต่างจากแบตเตอรี่แบบเปียกหรือแบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ทั่วไป โดยแบตเตอรี่ดังกล่าวจะเหมาะสำหรับการใช้งานกับระบบโซลาร์เซลล์ เนื่องจากภายในมีแผ่นตะกั่วที่มีขนาดที่มีความหนากว่า ทำให้ความต้านทานภายในตัวแบตเตอรี่สูง สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้แม้กระแสนั้นจะไม่สูงได้ในระยะเวลาที่นาน และไม่ทำอันตรายต่อตัวแบตเตอรี่อีกด้วย

นอกจากนี้การใช้ระบบไฟฟ้าที่ได้จากระบบโซลาร์เซลล์จะใช้ในลักษณะการจัดเก็บประจุไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ในตอนกลางวันแล้วนำพลังงานที่ได้นั้นไปใช้ในตอนกลางคืนที่ไม่มีแสงอาทิตย์ การเลือกใช้ขนาดของแบตเตอรี่จะต้องมีความเหมาะสมกับขนาดของแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งขนาดที่เหมาะสมจะอยู่ประมาณ 6-8 เท่าของขนาดแผงโซลาร์เซลล์ตามชั่วโมงการรับแสง

การหาค่าความจุแบตเตอรี่ [5] สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$Q_{batt} = \frac{P_{load}}{V_{batt} \times \%DOD \times E_{inventer}} \times T_{batt} \quad (2)$$

เมื่อ

Q_{batt} = ความจุแบตเตอรี่ (Ah)
P_{load} = กำลังไฟฟ้ารวม (Watt)
V_{batt} = ความต่างศักย์ของแบตเตอรี่ (Volt)
$\%DOD$ = ค่าระดับความลึกการคายประจุ (40-60%)
$E_{inventer}$ = ค่าประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ (0.8-0.9)
T_{batt} = ระยะเวลาการชาร์จประจุในแต่ละวัน (ชม.)

ขั้นตอนที่ 5 เลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ (Solar cell) การเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ จะพิจารณาตามความต้องการของระบบ ซึ่งแผงโซลาร์เซลล์จะมีหลายชนิด แต่ที่ได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมี 2 แบบ คือ แบบผลึกเดี่ยวซิลิกอน (Mono Crystalline) และแบบโพลีซิลิกอน (Poly Crystalline) ซึ่งข้อแตกต่างหลักๆที่เห็นได้ชัดคือ ราคาของแผงโซลาร์เซลล์แบบผลึกเดี่ยวซิลิกอน ซึ่งมีราคาสูงกว่าแต่มีประสิทธิภาพในการรับแสงอาทิตย์มากกว่า และน้ำหนักมากกว่าโซลาร์เซลล์แบบโพลีซิลิกอน โดยจะแสดงข้อดีข้อเสียของทั้งสองประเภทนี้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแผ่นโซลาร์เซลล์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

ผลึกเดี่ยวซิลิกอน (Mono Crystalline)		**โพลีซิลิกอน (Poly Crystalline)**	
ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
มีประสิทธิภาพในการรับแสงอาทิตย์มากกว่า หาอุปกรณ์ต่อพ่วงได้ง่าย ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย มีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี	หาซื้อยากและมีราคาแพง มีประสิทธิภาพต่ำในเวลาที่มีแสงน้อย มีน้ำหนักมากกว่า	หาซื้อง่าย มีราคาถูก หาอุปกรณ์ต่อพ่วงได้ง่าย มีน้ำหนักเบากว่า ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย มีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี	มีประสิทธิภาพในการรับแสงอาทิตย์น้อยกว่า มีประสิทธิภาพต่ำในเวลาที่มีแสงน้อย

การหาขนาดของแผงโซลลาร์เซลล์ [5] สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$PV = \frac{P_{load}}{\frac{QCHI}{D}} \quad (3)$$

เมื่อ

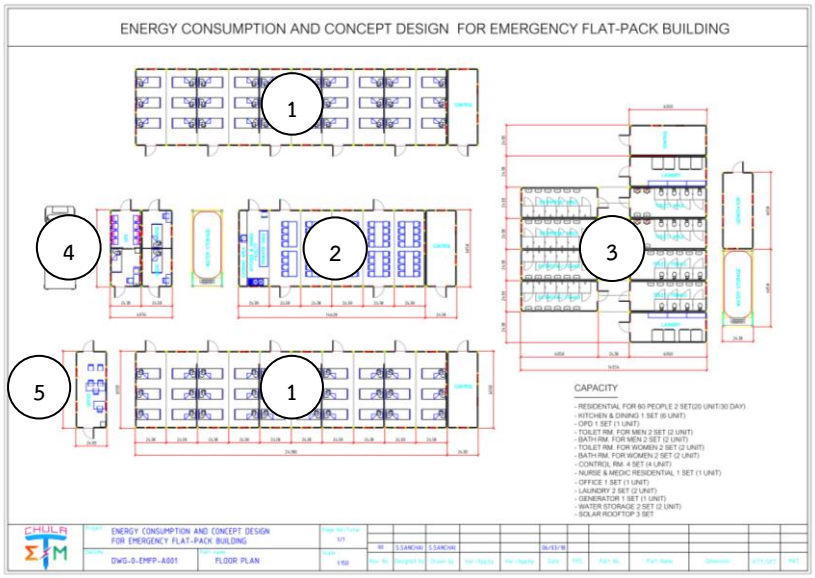
PV	=	กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (Watt)
Q	=	ค่าพลังแสงอาทิตย์ที่ได้รับต่อวัน (ประมาณ 6 kWh/m^3)
C	=	ค่าความสูญเสียของเซลล์ (ประมาณ 0.8)
H	=	ค่าความสูญเสียเชิงความร้อน (ประมาณ 0.85)
I	=	ค่าประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ (0.8-0.9)
D	=	ค่าความเข้มของแสงบนโลก (ประมาณ 1 kWh/m^3)

ขั้นตอนการดำเนินงาน

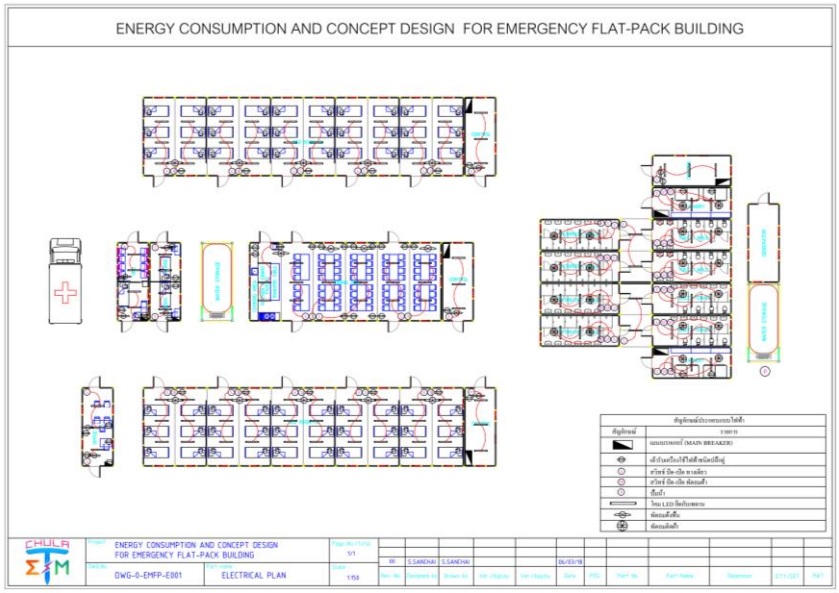
ผังบริเวณสำหรับผู้ประสบภัยพิบัติ

ในการออกแบบจัดวางผังพื้นที่เพื่อรองรับผู้ประสบภัย 60 คน จะเน้นการใช้งานภายในพื้นเป็นเป็นหลักและจะแยกส่วนพื้นที่เป็นสัดส่วน โดยแบ่งเป็น 5 พื้นที่ โดยอ้างอิง คู่มือการเลือกพื้นที่ปลอดภัยและการบริหารจัดการศูนย์พักพิงชั่วคราวสำหรับเหตุอุทกภัยในประเทศไทย โดยศูนย์เตรียมความพร้อมป้องกันภัยพิบัติแห่งเอเชีย [1] ดังรูปที่ 6

1) พื้นที่พักอาศัยชั่วคราว
2) พื้นที่รับประทานอาหาร
3) พื้นที่อาบน้ำ/ห้องน้ำ/ซักล้าง
4) พื้นที่ปฐมพยาบาลเบื้องต้น
5) สำนักงานประสานงานของคณะกรรมการศูนย์พักพิงชั่วคราว



รูปที่ 6 ผังบริเวณสำหรับผู้ประสบภัยพิบัติ



รูปที่ 7 แบบผังการวางตำแหน่งอุปกรณ์ไฟฟ้าในที่พักอาศัยสำหรับผู้ประสบภัยพิบัติ

ผังไฟฟ้าและคำนวณการใช้พลังงานในที่พื้นพักอาศัยสำหรับผู้ประสบภัยพิบัติ

ในการคำนวณการใช้พลังงานทั้งหมดควรเริ่มต้นจากการวางผังอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดก่อนหลังจากนั้นจึงทำการกำหนดขอบเขตการใช้งานไฟฟ้าของแต่ละพื้นที่และหลังจากนั้นจึงคำนวณหาปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมทั้งหมด การวางผังอุปกรณ์ไฟฟ้า ในการวางผังอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นต้องคำนึงถึงการใช้งานเป็นหลัก เพื่อให้เกิดการใช้งานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและใช้ในตำแหน่งที่จำเป็นที่สุด ดังรูปที่ 7

เมื่อวางผังอุปกรณ์ไฟฟ้าเรียบร้อยแล้วสามารถสรุปจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละพื้นที่ และปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละชนิด โดยกำหนดช่วงระยะเวลาใช้งานในแต่ละพื้นที่เพื่อง่ายต่อการจัดการการใช้พลังงาน และนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานรวมต่อวันต่อไป ดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์แต่ละชนิดในแต่ละพื้นที่

รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (kW/เครื่อง)	จำนวนที่ใช้ทั้งหมด (เครื่อง)	ตำแหน่งติดตั้ง
หลอดไฟ LED T8	0.02	131	ทุกห้อง
พัดลมตั้งพื้นขนาดกลาง 22 นิ้ว	0.197	14	ห้องนอน/ห้องรับประทานอาหาร
พัดลมตั้งพื้นขนาดเล็ก 16 นิ้ว	0.05	10	ห้องพยาบาล/ห้องพักแพทย์/ห้องพักพยาบาล/สำนักงาน/ห้องควบคุม
พัดลมติดเพดาน 16 นิ้ว	0.05	20	ห้องน้ำ/อาบน้ำ/ซักล้าง
ตู้เย็น 9 คิว	0.1	1	ห้องครัว
หม้อหุงข้าว 10 ลิตร	2.75	2	ห้องครัว
ปั๊มน้ำ 0.5 HP	0.35	1	ห้องน้ำ/อาบน้ำ/ซักล้าง
เครื่องซักผ้า 10 กก.	0.52	8	ห้องซักล้าง

ตารางที่ 3 ระยะเวลาการใช้งานของแต่ละพื้นที่

พื้นที่	ช่วงเวลาเปิด	ช่วงเวลาปิด	ระยะเวลาการใช้งาน (ชั่วโมง)	พลังงานที่ใช้ (kWh)
พื้นที่พักอาศัยชั่วคราว	18.00	06.00	12	43.8
พื้นที่รับประทานอาหาร (เช้า)	08.00	09.30	1.5	2.6
พื้นที่รับประทานอาหาร (เที่ยง)	12.00	13.30	1.5	2.6
พื้นที่รับประทานอาหาร (เย็น)	17.00	19.30	1.5	2.6
ระยะในการเตรียมอาหารในห้องครัว (เช้า,เที่ยง,เย็น)	ก่อนรับประทานอาหาร ช่วงเวลาละ 1 ชั่วโมง		3	9.36
พื้นที่อาบน้ำ/ซักล้าง (เช้า)	05.00	08.30	3.5	20.47
พื้นที่อาบน้ำ/ซักล้าง (เย็น)	18.00	21.30	3.5	20.47
พื้นที่ห้องน้ำ	เปิดตลอด		24	17.28
พื้นที่ปฐมพยาบาลเบื้องต้น	เปิดตลอด		24	8.64
สำนักงานประสานงานของคณะกรรมการศูนย์พักพิงชั่วคราว	08.00	18.00	10	1.6
ค่าเผื่อการใช้พลังงาน (คิด 15% ของพลังงานรวมในแต่ละพื้นที่)				19.41
ปริมาณการใช้พลังงานรวม				148.83 หรือ 150

อุปกรณ์โซลาร์เซลล์ ที่ใช้ในการสร้างพลังงานเพื่อรองรับในพื้นที่ผู้ประสบภัยพิบัติ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายการอุปกรณ์โซลาร์เซลล์ที่ใช้

รายการ	รายละเอียด
เครื่องควบคุมการชาร์จประจุ	12/24V 60Ah จำนวน 21 ตัว
แบตเตอรี่	12V200Ah จำนวน 47 ลูก ต่อแบบขนานเพื่อเพิ่มกระแส เป็น 120V
แผงโซลาร์เซลล์	ขนาด 340 W 24 Ah จำนวน 120 แผ่น ต่อขนานเพื่อเพิ่มกระแสเป็น 120V

อัตราการระบายอากาศภายในอาคาร

อัตราการระบายอากาศเป็นสิ่งสำคัญในการช่วยระบายอากาศเสียและความร้อนภายในอาคารออกด้านนอก เพื่อให้ผู้พักอาศัยรู้สึกเย็นสบาย ซึ่งในการคำนวณอัตราการระบายอากาศจะอ้างอิงตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1 [6] สามารถคำนวณได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$V_{bz} = R_p \times P_z \times R_a \times A_z \quad (4)$$

เมื่อ

V_{bz} = อัตราการระบายอากาศ (cfm)

A_z = พื้นที่ที่ทำการระบายอากาศ (ft^2)

P_z = จำนวนผู้อาศัยภายในห้อง (p)

R_p = อัตราการไหลของอากาศภายนอกต่อจำนวนคน (cfm/p)ดังตารางที่ 5

R_a = อัตราการไหลของอากาศภายนอกต่อพื้นที่ (cfm/ft^2) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราการระบายอากาศขั้นต่ำในพื้นที่ห้อง (ASHRAE 62.1)

ประเภทการใช้งาน	People Outdoor Air Rate R_p (cfm/p)	Area Outdoor Air Rate R_a (cfm/ft^2)
ห้องนอน	5	0.06
ห้องรับประทานอาหาร	7.5	0.18

ในการคำนวณปริมาณการระบายอากาศจะคำนวณเพียง 2 ห้องหลักๆเท่านั้น เนื่องจากผู้ประสบภัยดำเนินกิจกรรมในห้องดังกล่าวเป็นเวลานาน โดยปริมาณการระบายอากาศในพื้นที่พักอาศัยชั่วคราวหรือห้องนอนขนาดพื้นที่ 1,937 ft^2 ต้องการอัตราการระบายอากาศ 17,431 cfm และห้องรับประทานอาหารขนาดพื้นที่ 1,162 ft^2 ต้องการอัตราการระบายอากาศ 94,128 cfm ดังตารางที่ 6

สำหรับอุปกรณ์ระบายอากาศที่ใช้คือพัดลม HATARI IP22M1 ขนาด 22” (ตั้งพื้น) ซึ่งมีอัตราการระบายอากาศ 12,794 cfm/ตัว (21,750 m^3/hr/ตัว) จำนวนพัดลมที่ใช้ในพื้นที่พักอาศัยชั่วคราวหรือห้องนอน 3 ตัว มีอัตราการระบายอากาศ 38,382 cfm จำนวนพัดลมที่ใช้ในพื้นที่รับประทานอาหาร 8 ตัว มีอัตราการระบายอากาศ 102,353 cfm ดังตารางที่ 7 ซึ่งอัตราการระบายอากาศของทั้งสองห้องเป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1

ตารางที่ 6 ปริมาณการระบายอากาศ

ประเภทการใช้งาน	พื้นที่ห้อง	จำนวนผู้อาศัยภายในห้อง	Breathing Zone Outdoor Air Flow
ห้องนอน	1,937 ft^2 (180 m^3)	30 คน	17,431 cfm (29,632 m^3/hr)
ห้องรับประทานอาหาร	1,162 ft^2 (108 m^3)	60 คน	94,128 cfm (160,018 m^3/hr)

ตารางที่ 7 อัตราการระบายอากาศของพัดลมระบายอากาศที่เลือกใช้

รุ่นพัดลม	อัตราการระบายอากาศ	จำนวนพัดลมที่ใช้ในพื้นที่พักอาศัยชั่วคราว	จำนวนพัดลมที่ใช้ในพื้นที่รับประทานอาหาร
HATARI IP22M1 ขนาด 22” (ตั้งพื้น)	12,794 cfm/ตัว (21,750 m^3/hr/ตัว)	3 ตัว มีอัตราการระบายอากาศ 38,382 cfm (65,250 m^3/hr)	8 ตัว มีอัตราการระบายอากาศ 102,353 cfm (174,000 m^3/hr)

อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัยพบว่าปริมาณการใช้พลังงานในกรณีที่เกิดภัยพิบัติ ในพื้นที่ภัยพิบัติรองรับผู้ประสบภัยพิบัติ 60 คน ในระยะเวลา 30 วัน มีปริมาณการใช้พลังงานต่อวันรวมประมาณ 150 kWh เฉลี่ยการใช้พลังงานในพื้นที่ 2.5 kWh/คน/วัน โดยมีการใช้พลังงานแต่ละพื้นที่แตกต่างกันตามกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท จำนวนของเครื่องใช้ไฟฟ้าและชั่วโมงการใช้งานในพื้นที่นั้นๆ เมื่อพิจารณาพื้นที่ที่มีการใช้งานแต่ละพื้นที่พบว่าพื้นที่พักอาศัยชั่วคราวมีปริมาณการใช้พลังงานสูงสุดคือ 0.73 kWh/คน/วัน

การระบายอากาศภายในพื้นที่ใช้พัดลมโดยมีอัตราการระบายอากาศในพื้นที่พักอาศัยชั่วคราวหรือห้องนอน 38,382 cfm และอัตราการระบายอากาศในพื้นที่รับประทานอาหาร 102,353 cfm ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1

วัสดุประกอบอาคารใช้โฟมโพลียูรีเทน ซึ่งมีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด คือ 0.024 W/m.K เมื่อเทียบกับวัสดุฉนวนชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในระบบประกอบอาคาร ในกรณีที่ต้องการให้ผนังมีค่าการนำความร้อนน้อยๆ สามารถเพิ่มความหนาของผนังโฟมโพลียูรีเทนหรือเพิ่มชั้นของผนังได้โดยการกรุวัสดุปิดผิวอื่นๆ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตพลังงานภายในพื้นที่โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 340 W 24 Ah จำนวน 120 แผ่น เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้งจึงเลือกขนาดแผงโซลาร์เซลล์ที่มีกำลังไฟฟ้ามาก และต่อขนานเพื่อเพิ่มกระแสเป็น

120V เครื่องควบคุมการชาร์จประจุ ขนาด 12/24V60Ah จำนวน 21 ตัว แบตเตอรี่ 12V200Ah จำนวน 47 ลูก ต่อแบบขนานเพื่อเพิ่มกระแส เป็น 120V เครื่องควบคุมการชาร์จและแบตเตอรี่จะถูกเก็บไว้ในห้องควบคุมซึ่งจะถูกจัดวางไว้ในแต่ละพื้นที่การใช้งาน

บทสรุป

ในกรณีที่เกิดภัยพิบัติจึงจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานเพื่อตอบสนองความต้องการการใช้พลังงานของผู้ประสบภัย ซึ่งในบทความนี้จะเน้นการสร้างพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นหลัก สามารถนำอุปกรณ์โซลาร์เซลล์มาติดตั้งไว้บนหลังคาโครงสร้างอาคารได้ พื้นที่ที่เหมาะสมควรเป็นพื้นที่โล่งและไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบพลังงานอื่นๆได้

การใช้งานอาคารเป็นการใช้งานเพียงชั่วคราวเท่านั้น เมื่อเหตุการณ์เข้าสู่ภาวะปกติอาคารเหล่านี้สามารถแยกชิ้นส่วนและสามารถนำมาประกอบใหม่ได้ สามารถช่วยลดการใช้พลังงานในการผลิตใหม่หรือทำลายได้อีกด้วย สำหรับการประกอบอาคารสามารถประกอบได้ด้วยแรงคน ยึดติดกันด้วยน็อต ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่ต้องการการใช้ไฟฟ้าประกอบ ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บน้อยเนื่องจากสามารถยุบและซ้อนกันได้ซึ่งส่งผลให้ค่าบริหารการจัดเก็บน้อยลง ใช้พลังงานด้านการขนส่งน้อยเนื่องจากสามารถยุบซ้อนกันได้ อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนด้านการขนส่งโครงสร้างอาคารได้อีกด้วย ในกรณีที่เกิดภัยพิบัติในฤดูร้อน พื้นที่รับประทานอาหารสามารถถอดแผ่นผนังออกเพื่อเป็นการช่วยระบายอากาศและยังสามารถลดการใช้พลังงานในการระบายอากาศได้อีกทางหนึ่ง

ทั้งนี้ในกรณีที่เกิดภัยพิบัติ แหล่งพลังงานที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ เช่น Energy Storage, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ระบบจ่ายไฟฟ้าในพื้นที่ (ในกรณีที่ยังสามารถใช้ได้) ฯลฯ ซึ่งสามารถนำมาเชื่อมต่อกับระบบในอาคารได้โดยคำนึงถึงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อคนต่อวัน

เอกสารอ้างอิง

[1] ปาริฉัตต์ ครองขันธ์ และ วริฏฐา วรรณทอง. คู่มือการเลือกพื้นที่ปลอดภัย และ การบริหารจัดการศูนย์พักพิงชั่วคราวสำหรับเหตุอุทกภัยภายในประเทศ Manual for Inclusive Safe Site Selection and Flood Shelter Management in Thailand. จำนวน 4,000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เตรียมความพร้อมป้องกันภัยพิบัติแห่งเอเชีย, 2560.

[2] กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, คู่มือการพัฒนาการลงทุน ผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์, หน้า 8-9. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน, 2557

[3] สมพล โคศรี. 2554. ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ทกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน Smart Grid Energy Management System for Standalone Renewable Energy Power Generation. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[4] เกศินี ภาในชิต, จิตติยา ไชยแสน และ ภูวนาท พิณตะคุ. 2558. ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในชนบทห่างไกลในจังหวัดนครราชสีมา The Conversion Efficiency of Solar Cell System for Remote Rural Areas in Nakhon Ratchasima Province. วิทยาศาสตร์บัณฑิต. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

[5] ศุภชัย กวินวุฒิกุล. 2551. การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ Applied Sun Tracking system for Solar cell. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[6] ตุลย์ มณีวัฒนา. 2559. การคำนวณปริมาณการระบายอากาศตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

DE45

การเปรียบเทียบผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แบบผลึกรวมจากผู้ผลิตต่างกัน ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 5 เมกะวัตต์

A comparison Analysis of Polycrystalline PV module from Different Manufacturers in 5MW PV Power Plant

ธนพัฒน์ กุ้งทอง[1] ฤทธิชัย ราชแป้น[1] รุ่งเพชร ก่องนอก[2] และบุญยัง ปลั่งกลาง[1*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ผู้ผลิต โดยมีเป้าหมายเพื่อนำเอาผลสัมฤทธิ์ของการศึกษานี้มาเป็นข้อมูลสำหรับตัดสินใจเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในอนาคต แผงที่ใช้ในการทดสอบเป็นชนิดผลึก โดยใช้ชื่อเรียกแทนผู้ผลิตที่ใช้ในการทดสอบจากผู้ผลิตแผง ก. เปรียบเทียบกับผู้ผลิตแผง ข. ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ของแผงที่ศึกษาต่อแผง 320 วัตต์สูงสุด อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการติดตั้งในระบบเหมือนกันประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ กล่องต่อสายไฟฟ้า และขนาดสายส่งกาลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการติดตั้งมีขนาดเท่ากัน และเป็นชนิดเดียวกัน อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ขนาด 1 เมกกะวัตต์ จากการศึกษาในรอบหนึ่งปีเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานพบว่า กำลังการผลิตของผู้ผลิต ก. สามารถผลิตได้ 1,511,316.50 หน่วย/ต่อปี และผู้ผลิต ข. สามารถผลิตได้ 1,466,044.67 หน่วย/ต่อปี ตามลำดับ ซึ่งแสดงค่าผลผลิตพลังงานจากผู้ผลิต ก ได้ผลิตดีกว่าผู้ผลิต ข โดยคิดเป็นสัดส่วนของความแตกต่าง 2.996 เปอร์เซ็นต์ จากค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้น สามารถเป็นข้อมูลช่วยในการติดสินใจเลือกใช้แผงที่มีประสิทธิภาพสูงสุดมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพได้

คำสำคัญ: แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก แผง ก.และแผง ข. ผลกระทบอุณหภูมิ

Abstract

This paper presents a comparative study of the solar energy produced by two PV modules. The purpose of this study is to help properly selecting PV modules in the future. The module type for the test is Poly Crystalline, from two manufacturers, called module A compares to module B. The power consumption from each module are at the maximum rate of 320 watts. Meanwhile, Installed equipment in the system is similar to each other; Transformer, Inverter, Combiner box and all the power lines used in the installation are similar size and condition, including inverters at capacity of 1 megawatt. A study in one year round comparing energy values, it is found that module A produced 1,511,316.50 kWh/MW/year and module B produced 1,466,044.67 kWh/MW/year respectively. Thus, the energy output from manufacturer A was produced better than manufacturer B at 2.996 percent. Regarding to the difference result would help us choosing the most effective modules efficiently.

*Corresponding author: E-mail address: boonyang.p@en.rmutt.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ถูกนามาใช้ในชีวิตประจาวันมากขึ้น เพราะเป็นแหล่งพลังงานสะอาดไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีการติดตั้งอย่างแพร่หลาย ในทุกภาคของประเทศไทย เช่น การติดตั้งบนพื้นดิน และบนหลังคาอาคาร ทั้งนี้แม้การติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสองระบบที่กล่าวมา ในส่วนของภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนการใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน การผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นาไปใช้สาหรับกักเก็บพลังงานสารองยานยนต์ไฟฟ้า และมอร์เตอร์ไซด์ไฟฟ้า ฯลฯ ปัจจุบัน มีผู้ผลิตแผงวงจรแสงอาทิตย์เกิดขึ้นอย่างหลากหลายราย สามารถพบเห็นตามท้องตลาดได้ทั่วไป จากนี่เองเป็นที่มาของการศึกษาโรงงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทาการหาประสิทธิภาพของแผงโดยเจ้าของงาน เพื่อไว้เป็นข้อมูลตัดสินใจ ในการปรับปรุงเมื่อแผงเดิมชารุด เพื่อให้สมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดีขึ้น งานวิจัยนี้ทาการศึกษาจากสถานที่ติดตั้งจริงในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขนาดติดตั้ง 5 เมกะวัตต์ สหกรณ์ประมงแม่กลอง สถานที่ก่อสร้าง หมู่5 ต.ยี่สาร อ.อัมพวา จ.สมุทรสงคราม ที่มีติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์จากสองผู้ผลิตไว้ จากนั้นจึงนาค่าพลังงานที่ได้จากการผลิตของทั้ง 2 ผู้ผลิต มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกาลังการผลิตของผู้ผลิตทั้งสอง โดยทาการศึกษาบนพื้นที่ติดตั้งระบบเดียวกัน

วิธีการวิจัย

ทำการศึกษาจากโรงไฟฟ้าที่ติดตั้งจริงจากชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly crystalline capacity จากผู้ผลิตที่แตกต่างกัน ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ขนาด 1,000 กิโลวัตต์ ติดตั้งร่วมกับหม้อแปลงขนาด 1,250 kVA โดยมีค่ากาลังการผลิตรวมของระบบขนาด 3 เมกะวัตต์ โดยมีค่ากาลังการผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากผู้ผลิต ก. ขนาดอยู่ที่ 1 เมกะวัตต์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากผู้ผลิต ข. ค่ากาลังการผลิตรวมของระบบขนาด 2 เมกะวัตต์ ซึ่งค่าคุณลักษณะขอแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ได้ทาการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลจากเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2017

จากตารางที่ 1 ค่ากาลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากผู้ผลิต ก. และแผงผู้ผลิต ข. มีค่าเท่ากันอยู่ที่ 320 วัตต์สูงสุด มีค่าเท่ากัน และค่ากระแสลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแบบ มีค่าแตกต่างกันที่ประมาณ 0.05 แอมป์แปร์ ค่าผลกระทบของอุณหภูมิ ต่อค่ากระแสลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ก. อยู่ที่ - 0.04 % ซึ่งต่ากว่าชนิดแผงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ข. ซึ่งมีค่าอยู่ที่ – 0.06 % ที่ค่าอุณหภูมิคงที่

ตารางที่ 1 คุณลักษณะแผงเซลล์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

รายละเอียด	ผู้ผลิต ก.		ผู้ผลิต ข.	
	STC	NOCT	STC	NOCT
ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (*Pmax*)	320Wp	280Wp	320Wp	238Wp
ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (*Vm*)	37.4V	34.2V	37.4V	34.7V
ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (*Im*)	8.56A	6.96A	8.56A	6.86A
แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (*Voc*)	45.6V	42.7V	46.4V	43.7V
ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (*Isc*)	9.00A	7.26A	9.05A	7.30A
ค่ามาตรฐานประสิทธิภาพ *STC(%)*	16.50%		16.49%	
ค่ากำลังไฟฟ้าคลาดเคลื่อน	0-+5W		0-+3%	
ผลกระทบของอุณหภูมิ ต่อค่ากระแสลัดวงจร	-0.04% °C		-0.06% °C	
ค่าอุณหภูมิปกติขณะทำงานของ	45-+ 2°C		45-+2°C	

พื้นที่ศึกษาวิจัยผลกระทบที่เกิดจากการติดตั้ง

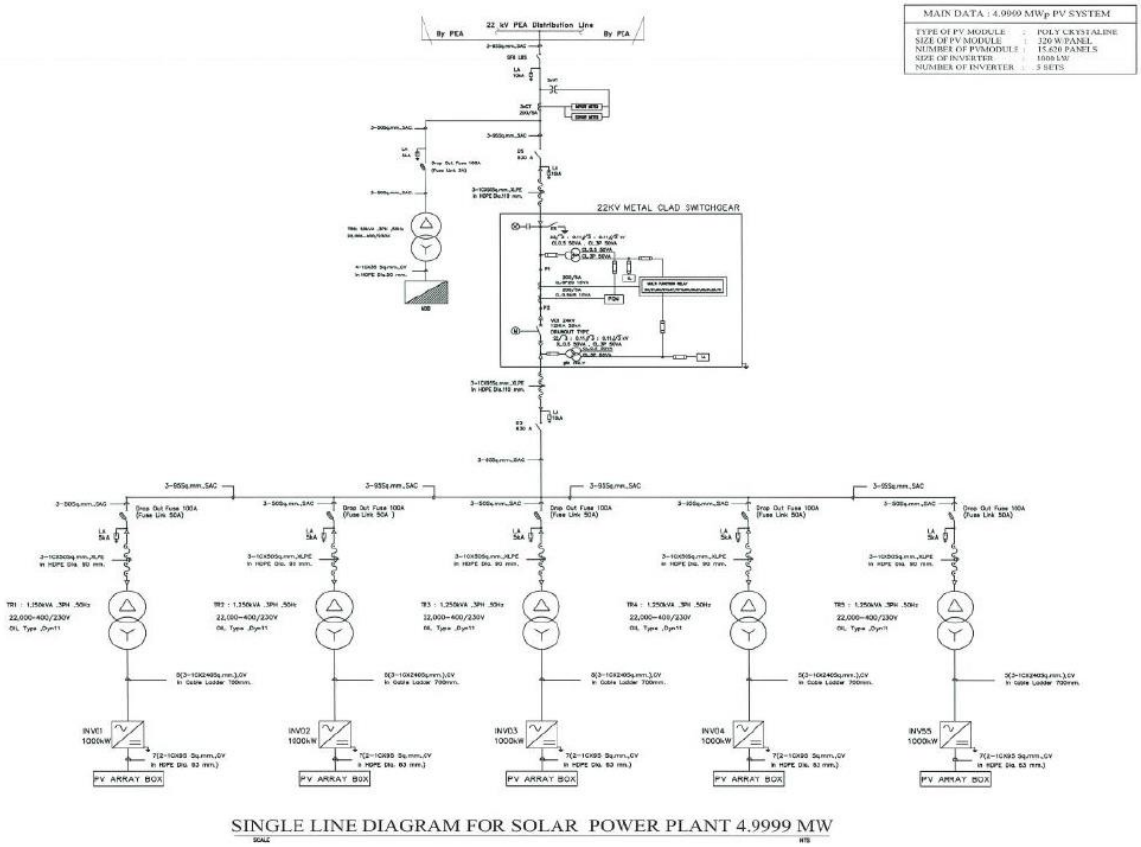
ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 เมกะวัตต์ ที่มีแหล่งผลิตจากโรงงานต่างกันถูกติดตั้งดังรูปที่ 1 เป็นแผง ก. อินเวอร์เตอร์ และแผง ข. อินเวอร์เตอร์ ในบริเวณเดียวกัน



ภาพที่ 1 สถานที่ติดตั้งจริงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ศึกษา

ภาพที่ 1 การเข้าศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการใช้งานแผงเซลล์แสงอิทตย์ที่แตกต่าง โดยมีรายละเอียดของการติดตั้งประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ก. ต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ No.1 และ 2 กลุ่มสีแดงและสีเหลือง การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ข. ต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ No.3 - 5 กลุ่มสีเขียว ม่วง และน้ำเงิน แนวการติดตั้งแผง ก. และแผง ข.แต่ละกลุ่มของอินเวอร์เตอร์ No.1-2(กลุ่มสีแดงและสีเหลือง) และ No.3-5(กลุ่มสีเขียว ม่วง และน้ำเงิน) พบว่ามุมองศาเอียงและทิศของการติดตั้งของแต่ละแผงในสถานที่จริงนั้นไปในทิศทางเดียวกัน

การติดตั้งโครงสร้างระบบไฟฟ้าแบบSingle-line diagram ซึ่งมีการต่อเชื่อมกลุ่ม PV Array แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ก. ในกลุ่มสีแดงและสีเหลือง ต่อเชื่อมกับอินเวอร์เตอร์ INV01 และ INV02 ขนาด 1000kW ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ข. ต่อเชื่อมกับอินเวอร์เตอร์ INV03, INV04 และINV05 ซึ่งมีขนาดเท่ากันที่ 1000kW กลุ่มสีเขียว ม่วง น้ำเงิน การคานวณแรงไฟฟ้าตกจากการติดตั้งจริงของระยะความยาวของสายส่งกาลังของกลุ่มอินเวอร์เตอร์ INV01 - 02 และ INV03 - 04 และINV05 แสดงดังภาพที่ 2



SINGLE LINE DIAGRAM FOR SOLAR POWER PLANT 4.9999 MW

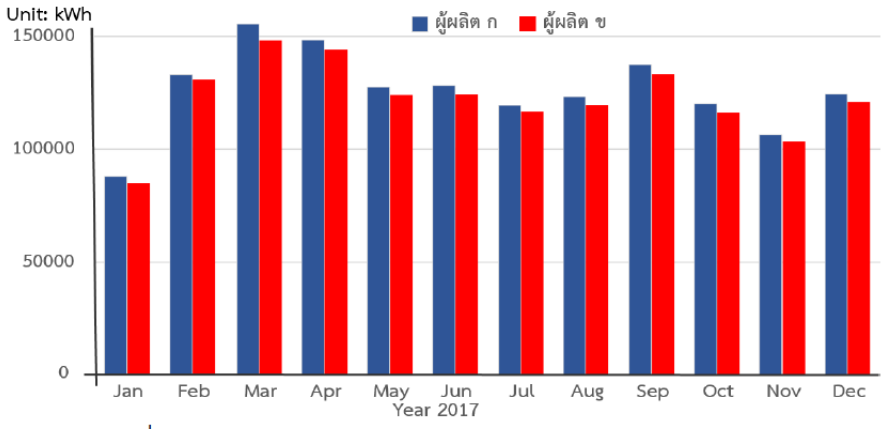
ภาพที่ 2 แสดงภาพแบบระบบไฟฟ้าซิงเกิลไลน์ไดอะแกรม INV01-05

ผลการศึกษาระบบ

ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผู้ผลิต ก. และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผู้ผลิต ข. พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ก. ให้กาลังการผลิตกาลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 1,511,316.50 หน่วย/เมกะวัตต์ ต่อปี และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ข 1,466,044.67 หน่วย/เมกะวัตต์ ต่อปี ดังแสดงปริมาณการผลิตไว้ตารางที่ 2 คุณลักษณะแผงเซลล์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 2 คุณลักษณะแผงเซลล์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

เดือน	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ก.		แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ข.		
	A-Inv.1 (kWh)	A-Inv.2 (kWh)	B-Inv.3 (kWh)	B-Inv.4 (kWh)	B-Inv.5 (kWh)
Jan	87,940.00	87,197.00	85,337.00	84,616.00	84,296.00
Feb	133,918.00	132,475.00	131,096.00	130,637.00	130,616.00
Mar	156,967.00	154,187.00	149,785.00	147,862.00	146,602.00
Apr	148,503.00	148,246.00	145,322.00	143,743.00	143,660.00
May	127,563.00	127,701.00	125,380.00	124,054.00	122,893.00
Jun	128,536.00	127,915.00	126,055.00	124,774.00	122,432.00
Jul	119,611.00	119,331.00	117,291.00	116,170.00	115,811.00
Aug	123,292.00	122,950.00	120,432.00	119,450.00	118,952.00
Sep	138,681.00	136,179.00	134,157.00	132,896.00	132,595.00
Oct	120,672.00	119,651.00	116,812.00	116,229.00	115,710.00
Nov	106,666.00	105,686.00	103,983.00	103,284.00	102,545.00
Dec	125,194.00	123,572.00	121,755.00	120,812.00	120,090.00
Grand Total	1,517,543.00	1,505,090.00	1,477,405.00	1,464,527.00	1,456,202.00
Avg./month	126,461.92	125,424.17	123,117.08	122,043.92	121,350.17



ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ยพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอิทตย์จากผู้ผลิต ก. และผู้ผลิต ข.

จากการศึกษา กาลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่แผงแผงเซลล์แสงอิทตย์ ก. และ ข. พบว่าแผงเซลล์แสงอิทตย์ ก. นั้นมีกาลังการผลิตที่มากกว่าแผงซลล์แสงอิทตย์จากผู้ผลิต ข. คิดเป็นสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ได้ 2.996 % ทั้งนี้คณะวิจัยจึงค้นหาสาเหตุที่เกิดขึ้นพบได้ว่ากาลังการผลิตไฟฟ้าที่แตกต่างกันนั้นสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพจากค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิของมาตรฐาน ISC ที่แผงแผงเซลล์แสงอิทตย์จากผู้ผลิต ก. โดยอยู่ที่ - 0.04 % ต่อองศาเซลเซียส (oC) และที่แผงเซลล์แสงอิทตย์จากผู้ผลิต ข. นั้นอยู่ที่ - 0.06 % ต่อองศาเซลเซียส เมื่อวิเคราะห์จากผลดังกล่าวที่จุดการทางานสูงสุดของแผงที่สองที่อุณหภูมิบนผิวหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 60 oC แสดงตารางที่ 2

จากการศึกษานี้โดยการจาลองการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองผู้ผลิตแบบผลิกด้วยโปรแกรม PVSYST พบว่าความแตกต่างกาลังไฟฟ้าที่สูญเสียแผง ก. น้อยกว่าแผง ข. แสดงข้อมูลให้เห็นด้านล่างตารางที่ 3 กาลังไฟฟ้าที่สูญเสีย

ตารางที่ 3 กาลังไฟฟ้าที่สูญเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ค่าเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าสูญเสีย(วัตต์)
ผู้ผลิตแผง ก.	±5 W = ±1.56%
ผู้ผลิตแผง ข.	±3%
ความแตกต่างที่เกิดขึ้น	1.44%

เป็นที่สังเกตเห็นว่าค่าความผิดพลาดของกาลังไฟฟ้าสูงมากของโมดูลจะสูญเสียกาลังพลังงานสูง ในทางกลับกันค่าความผิดพลาดของกาลังไฟฟ้าต่าพลังงานไฟฟ้าที่สร้างผลิตจออกมาจะมีค่าสูญเสียน้อยกว่าความผิดพลาดต่อกาลังไฟฟ้าสูงจากตารางเห็นได้ว่าแตกต่างกัน 1.44% ผู้ผลิตแผง ก. มีการสูญเสียที่น้อยกว่าผู้ผลิตแผง ข. จึงทาให้มีประสิทธิภาพกาลังการผลิตไฟฟ้า

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษาจากสองผู้ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ก. และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ข. ผลของการผลิตกาลังไฟฟ้าที่ได้จริงนั้นแตกต่างกันตามคุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เอง การศึกษาของงานวิจัยนี้ ทาการศึกษาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพิจารณาประสิทธิภาพที่เกิดจากอุณหภูมิ กระแสลัดวงจรของแผง ทิศและมุมของแนวติดตั้งจริงของทั้งสองแผง ก. และแผง ข.ไปในทิศทางเดียวกัน ระยะความยาวสายส่งกาลังคานวณแรงดันไฟฟ้าตกผลที่ได้ของทั้งสองแผง ก. และแผง ข.ไม่แตกต่างกัน และค่าความผิดพลาดกาลังการผลิตของแผงทั้งสองที่แตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ก. และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ข. มีความแตกต่างกันเท่ากับ 45,271.83 หน่วยต่อปี คิดเป็นเงินค่าพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันโดยคิดค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยหน่วยละ 4 บาท จะมีค่าความแตกต่างคิดเป็นเงิน 181087.33 บาทต่อปี

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัย ขอขอบพระคุณจากเจ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้าศึกษา ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทั้งหมด ตลอดจนคณาจารย์ผู้อบรมให้ความรู้ วิทยาการต่างๆ รวมทั้งคอยแนะนาตักเตือนให้อยู่ในกรอบวินัยของคนดี รวมทั้งบุพการีผู้ให้กาเนิด คณะวิจัยขออวยพรให้ทุกท่านจงประสบความสุข สุขภาพร่างกายแข็งแรง ตลอดไป

เอกสารอ้างอิง

[1] G. Cipriani, V. Di Dio, A. Marcotulli, R. Miceli, IEEE member Department of Energy University of Palermo, Italy "Manufacturing Tolerances Effects on PV Array Energy Production", A. Manufacturing tolerances mathematical model, pp.954

[2] Md Faysal Nayan1 , S.M.Safayet Ullah2 , S. N. Saif3 vDepartment of Electrical and Electronic Engineering, Ahsanullah University of Science and Technology "Comparative Analysis of PV Module Efficiency for Different Types of Silicon Materials Considering the Effects of Environmental Parameters" iCEEiCT 2016 P.2-3

[3] Huiying Zheng, Shuhui Li, Senior Member, IEEE, Ke Bao, and Dong Zhang, "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Control Strategies for Solar PV Systems"A. Effect of Temperature, P.2-3, P.4, P.5

[4] Dr.Boonyang Plangklang "Design Solar PV system" and "Principle of Photovoltaic Effect)", Temperature effect, on book Chapter3 Photovoltaic Panel(PV), P.8-10, 16-18

DE50

การจำลองเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าปลายสายของระบบจำหน่ายที่เชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

The Simulation of Stability Voltage at the End of Distribution Line connected to the PV System

ณัฐพันธ์ ถนอมสัตย์[1*] และบุญยัง ปลั่งกลาง[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 20130 E-mail: nattapan@eng.buu.ac.th
[2]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี 12110

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าปลายสายระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่เชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่พิกัดกำลังผลิต 300 กิโลวัตต์ ด้วยการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม PSCAD ทำการเปรียบเทียบคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายของระบบจำหน่ายระหว่างไม่มีการเชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ กับมีการเชื่อมต่อ ซึ่งผลจากการจำลองพบว่าแรงดันไฟฟ้าปลายสายของระบบจำหน่ายลดลง เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้น และเปรียบเทียบเมื่อเชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าปลายสายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า ระบบจำหน่าย ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ PSCAD

*Corresponding author: E-mail address: nattapan@eng.buu.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้านับว่ามีความสำคัญมากต่อการดำรงชีวิตประจำวัน ซึ่งสถานการณ์การใช้พลังงานจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ความมั่นการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่ายมีการพัฒนาขึ้นมาตามเทคโลยีในปัจจุบัน แต่บางครั้งการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ายังมีอุปสรรค กล่าวคือ ในเขตพื้นที่ชนบทที่อยู่ห่างไกลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า หรือพื้นที่ที่สายส่งไฟฟ้าเข้าไปได้อยากลำบาก ซึ่งด้วยอุปสรรคเหล่านี้ ทำให้เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งปลายสายส่งมีแรงดันไฟฟ้าที่ค่อนต่ำ [1] เป็นเหตุให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปลายสายได้รับพลังงานไฟฟ้าที่มีคุณภาพไม่ดี ซึ่งเป็นผลให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีอายุการใช้งานไม่ยืนยาว

พลังงานหมุนเวียนเป็นทางเลือกทีกำลังได้ความสนใจ เนื่องจากเป็นพลังงานทีสะอาดไม่ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม อีกทั้งมีนโยบายการสนับสนุนอย่างต่อเนื่องให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนให้มากขึ้น ด้วยการให้ผลตอบแทนด้านราคารับซือไฟฟ้าสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากพลังงานหมุนเวียนในราคาที่สูง ดังนั้นจึงมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ทั้งการใช้เอง และขายคืนเข้าสู่ระบบ

ปัจจุบัน การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นที่นิยมและแพร่หลาย การใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีตั้งแต่การผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบโซล่าฟาร์มที่สามารถผลิตได้หลายร้อยรายการเมกะวัตต์ [2] ไปจนถึงแบบติดตั้งระบบบนชั้นดาดฟ้าขนาดเล็กบนที่อาศัยอยู่ซึ่งผลิตได้เพียงไม่กี่กิโลวัตต์ เมื่อมองไปที่การประยุกต์ใช้พลังงาน

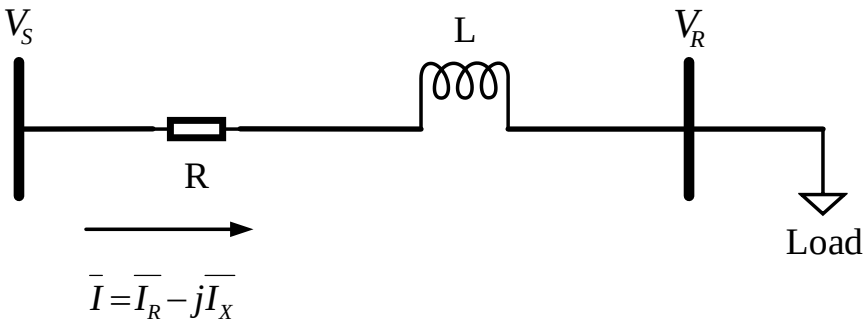
แสงอาทิตย์ทุกประเภทในระดับสูงสุด แต่ละแบบสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทหลักคือ แบบใช้งานเอง และแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

จากงานวิจัยพบว่า การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น เชื่อมต่อระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฯสามารถส่งผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าของระบบ ความถี่ และความน่าเชื่อถือ [3], [4] และ [5] โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าระบบที่มีขนาดใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามถ้ามีระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าอยู่ในตอนท้ายของตัวสายป้อน อาจสามารถช่วยแก้ปัญหาความไม่เสถียรแรงดันไฟฟ้าของระบบได้

บทความนี้จะเป็นการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังของระบบจำหน่าย โดยเปรียบแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายของระบบ ระหว่างไม่มีการเชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และมีการเชื่อมต่อ เพื่อประเมินค่าแรงดันไฟฟ้าและเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่ายที่ปลายสาย

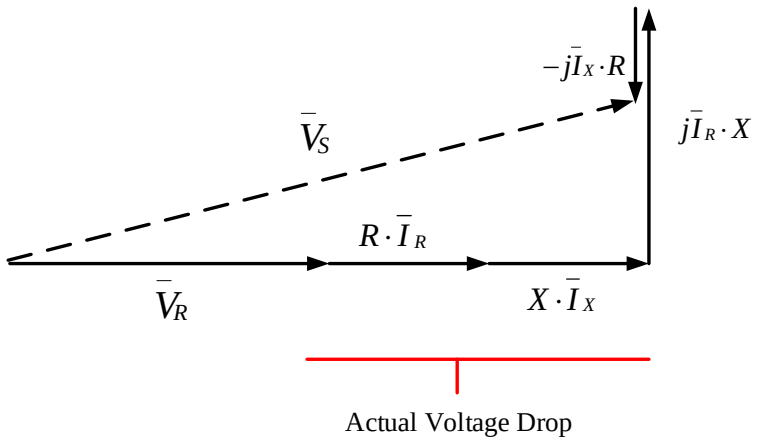
วิธีการวิจัย

จากภาพที่ 1 แสดงสายป้อนแบบง่ายที่ส่งถ่ายพลังงานไปยังโหลด โหลดมีส่วนประกอบของตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ กำหนดให้เป็น R และ X และสมมติฐานให้สายป้อนมีขนาดสั้นพอที่จะละเว้นตัวเก็บประจุ จาก KVL ของสายป้อน V_S และ V_R เป็นแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย และแรงดันไฟฟ้าที่ปลายสาย ตามลำดับ จะแสดงไว้ในสมการ และเนื่องจากโหลดเป็นตัวเหนี่ยว กระแสเฟสเซอร์จากสามารถเขียนแทนได้ $\bar{I} = \overline{I_R} - j\overline{I_X}$ [6]



ภาพที่ 1 วงจรสายป้อนแบบง่ายสำหรับการคำนวณแรงดันไฟฟ้าตก

จากรูปที่ 2 แสดงการคำนวณของแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง ดังนั้นสมการสำหรับการคำนวณแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงแสดงไว้ที่สมการ 4



ภาพที่ 2 เฟสเซอร์ไดอะแกรมสำหรับการคำนวณแรงดันไฟฟ้าตก

$$\bar{V}_S = \bar{V}_R + \bar{I}(R + jX) \quad (1)$$

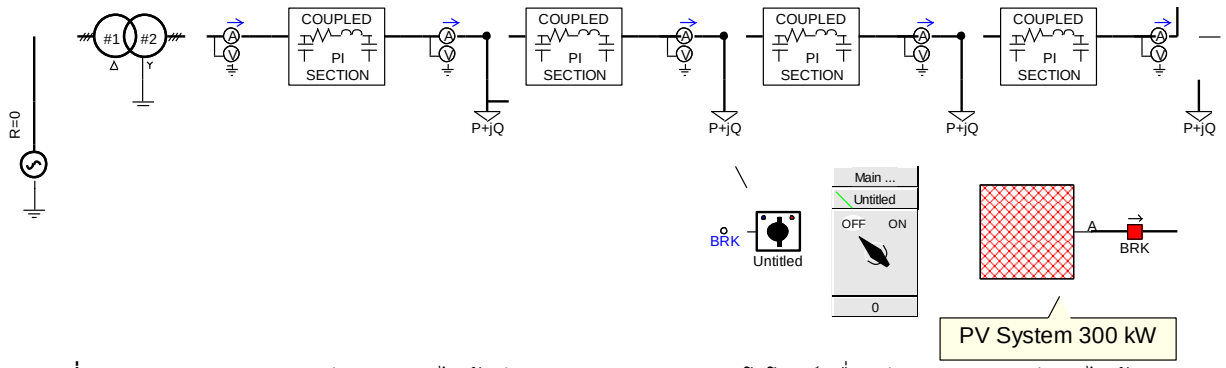
$$\bar{V}_S = \bar{V}_R + (\bar{I}_R - j\bar{I}_X)(R + jX) \quad (2)$$

$$\bar{V}_S = \bar{V}_R + R\bar{I}_R + X\bar{I}_X - j\bar{I}_X R + j\bar{I}_R X \quad (3)$$

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง V_D จะได้

$$V_D = \bar{V}_S - \bar{V}_R = R\bar{I}_R + X\bar{I}_X = I(R\cos\theta + X\sin\theta) \quad (4)$$

แบบจำลองเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าปลายสายของระบบจำหน่ายที่เชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แบบจำลองระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขนาด 380 กิโลโวลต์ เชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 3 ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีความยาวสายป้อนรวมทั้งสิ้น 2 กิโลเมตร นับจากหม้อแปลงไฟฟ้าจนถึงโหลดตัวสุดท้ายที่เชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โหลดมีค่ารวมทั้งสิ้น 40 กิโลวัตต์ 67 กิโลวาร์ และระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ มีพิกัด 300 กิโลวัตต์ 400 โวลต์ 50 เฮิร์ต

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการจำลองระบบแบ่งการจำลองเป็น 2 รูปแบบกล่าวคือ 1) จำลองกรณีไม่เชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 2) จำลองกรณีเชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

จากกรณีที่ 1 เซอร์กิตเบรคเกอร์ (BRK) อยู่ในสภาวะเปิดวงจร ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เชื่อมต่อระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฯ จะได้ผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่ระยะต่างๆ แสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แรงดันไฟฟ้าตามระยะทางสายป้อนกรณีไม่เชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ระยะทางสายป้อน (เมตร)	แรงดันไฟฟ้า (กิโลโวลต์)
0	0.385
500	0.359
1000	0.343
1500	0.333
2000	0.332

จากกรณีที่ 2 เซอร์กิตเบรคเกอร์ (BRK) อยู่ในสภาวะปิดวงจร ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฯ จะได้ผลค่าแรงดันไฟฟ้าที่ระยะต่างๆ แสดงตามตารางที่ 2

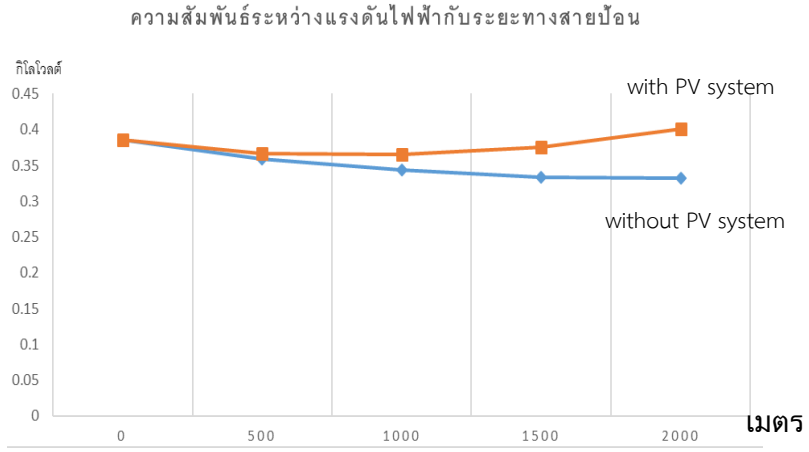
ตารางที่ 2 แรงดันไฟฟ้าตามระยะทางสายป้อนกรณีเชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ระยะทางสายป้อน (เมตร)	แรงดันไฟฟ้า (กิโลโวลต์)
0	0.386
500	0.367
1000	0.365
1500	0.375
2000	0.401

จากกรณีที่ 1 จะเห็นได้ชัดเจนว่า แรงดันไฟฟ้าในสายป้อนจะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น นั่นหมายความว่า ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ปลายสายป้อน จะได้รับแรงดันไฟฟ้าที่น้อย จนบางครั้งมีผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีความเสียหายได้

จากกรณีที่ 2 แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เข้าสู่สายป้อน แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อเทียบกับกรณีที่ 1 และยังส่งผลให้ระดับแรงดันไฟฟ้าต้นทางมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายดีขึ้นด้วย

จากทั้งสองกรณี สามารถแสดงเป็นกราฟเปรียบ ดังภาพที่ 4



สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าปลายสายระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่เชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่พิกัดกำลังผลิต 300 กิโลวัตต์ ด้วยการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม PSCAD พบว่า ในกรณีที่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่ได้เชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นั้น แรงดันไฟฟ้าที่ปลายสายป้อนจะลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับทางต้นสาย ดังนั้นผู้ใช้ไฟฟ้าที่ปลายสายจะประสบปัญหากับแรงดันไฟฟ้าไม่เพียงพอ แต่ถ้าผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเองได้ และจ่ายคืนเข้าสู่ระบบจำหน่ายผลกระทบดังกล่าวก็จะหายไป และยังช่วยเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่ายอีกด้วย แต่ยังมีข้อสังเกตุ เนื่องจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้ายังขึ้นกับปัจจัยความเข้มแสง ในวันที่แสงแดดไม่เพียงพอ เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่ายอาจจะประสบปัญหาได้ ดังนั้นการรักษาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่ายอาจจะต้องมีแนวทางที่หลากหลาย เพื่อลดปัญหาอื่นๆ ที่ตามมา

เอกสารอ้างอิง

[1] J. Duncan Glover, Mulukutla S Sarma, and Thomas J Overbye, Power System Analysis and Design, 5th ed. CT, USA: Cengage Learning, 2012.

[2] First Solar. [Online]. สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2561 จาก http://www.firstsolar.com

[3] Qiuye Sun, Zhongxu Li, and Huaguang Zhang, "Impact of Distributed Generation on Voltage Profile in Distribution System," in International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, 2009.

[4] S. A. Pourmousavi, A. S. Cifala, and M. H. Nehrir, "Impact of High Penetration of PV Generation on Frequency and Voltage in a Distribution Feeder," IEEE, 2012.

[5] Masato Oshiro, Kosuke Uchida, Tomonobu Senjyu, and Atsushi Yona, "Voltage Control in Distribution Systems Considered Reactive Power Output Sharing in Smart Grid," in International Conference on Electric Machines and Systems, 2010, pp. 458-463.

[6] Atousa Yazdani, “Modern Distribution System with PSCAD Analysis”, CRS Press 2018.

DE64

มาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพสาขาวิชาชีพพลังงานและพลังงานทดแทน สาขาอาชีพเทคโนโลยีชีวมวล และเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

Occupational Standard and Professional Qualification: Professional Energy and Renewable Energy Biomass Technology Career And biogas technology

ฉันทนา พันธุ์เหล็ก* สมชาย มณีวรรณ์ และจีรภา เพ็ชรอ่อน
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

จากความสำคัญและแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงตลาดแรงงานที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพซึ่งเป็นองค์กรหลักในการดำเนินงานจึงมีแนวความคิดในการจัดทำโครงการจัดทำมาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพสาขาวิชาชีพพลังงานและพลังงานทดแทน สาขาอาชีพพลังงานชีวภาพ โดยมีมหาวิทยาลัยนเรศวรเป็นที่ปรึกษาโครงการเพื่อดำเนินการจัดทำมาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพขึ้น เพื่อเป็นการยกระดับมาตรฐานอาชีพทางด้านพลังงานให้มีความทัดเทียมต่อนานาประเทศ และเพื่อเป็นการยกระดับคุณภาพของสายงานด้านพลังงานทดแทนให้มีความเป็นมาตรฐาน แข่งขันได้ ให้เป็นที่ยอมรับจากทั้งภายในและต่างประเทศ ซึ่งจะเป็นผลดีต่อแวดวงพลังงานของไทยได้ในระยะยาว

เบื้องต้นคณะทำงานได้ทำจัดทำมาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพ สาขาวิชาชีพพลังงานและพลังงานทดแทน สาขาพลังงานชีวภาพ 10 อาชีพ เพื่อจัดทำมาตรฐานและคุณวุฒิวิชาชีพในโครงการนี้ 1) คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ดำเนินการจัดหาวัตถุดิบ 2) คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ดำเนินการจัดการบริหารคลังวัตถุดิบ 3) คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ดำเนินการฝ่ายสาธารณูปโภค 4) คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ควบคุมกระบวนการผลิตความร้อน 5) คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ควบคุมกระบวนการผลิตไฟฟ้า 6) คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ปฏิบัติการฝ่ายวิศวกรรมและซ่อมบำรุง 7) คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ปฏิบัติงานฝ่ายทดสอบและควบคุมคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวมวล 8) คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ปฏิบัติงานฝ่ายทดสอบและควบคุมคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพ 9) คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ปฏิบัติงานด้านควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 10) คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ปฏิบัติงานด้านการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

คำสำคัญ: คุณวุฒิวิชาชีพ มาตรฐานอาชีพ เทคโนโลยีชีวมวล เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

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

บทนำ

พลังงานนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาประเทศ การพัฒนาบุคลากรทางด้านวิชาชีพก็เช่นกัน โดยเฉพาะ บุคลากรวิชาชีพทางด้านพลังงานทดแทน ซึ่งประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับนโยบายการใช้พลังงานทดแทนเพื่อสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงาน โดยได้กำหนดให้การพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นส่วนหนึ่งนโยบายพลังงานในภาพรวมที่จำเป็นต้อง บูรณาการร่วมกับแผนพลังงานอื่นๆ เพื่อให้การขับเคลื่อนสอดคล้องกัน โดยเฉพาะในการจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก. พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) นั้นได้นำค่าพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายตามแผนอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency

Plan : EEP2015) กรณีที่สามารถบรรลุเป้าหมายลดความเข้มการใช้พลังงาน (Energy Intensity) ลงร้อยละ 30 ในปี พ.ศ.2579 เมื่อ เทียบกับปี พ.ศ.2553 แล้ว คาดการณ์ความต้องการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ณ ปี พ.ศ. 2579 จะอยู่ที่ระดับ 131,000 ktoe ค่าพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสุทธิของประเทศจากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (Power Development Plan : PDP2015) ในปี พ.ศ.2579 มีค่า 27,789 ktoe ค่าพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงานความร้อนในปี พ.ศ.2579 เท่ากับ 68,413 ktoe มาเป็นกรอบในการกำหนดเป้าหมายเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน รวมทั้งพิจารณาถึงศักยภาพแหล่งพลังงานทดแทนที่สามารถนำมาพัฒนาได้ ทั้งในรูปของพลังงานไฟฟ้า ความร้อน และเชื้อเพลิง ชีวภาพภายใต้แผน AEDP2015 เป็นร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในปีพ.ศ. 2579

ดังนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ประเทศไทยจะมีการพัฒนาระบบการเรียน เพื่อให้นักเรียนนักศึกษาที่จบการศึกษามีความรู้ในด้านวิชาการที่ดีมีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับในสากล ไทยจึงใช้ระบบคุณวุฒิทางการศึกษาเป็นสิ่งวัดระดับความสามารถของบุคคลและเป็นสิ่งสำคัญในการจ้างงานทั้งในภาครัฐและเอกชนมาโดยตลอด เมื่อหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนรับผู้จบการศึกษาที่มีความรู้ทางวิชาการเข้ามาทำงานแล้ว ต้องทำการฝึกอบรมเพิ่มเติมเพื่อให้บุคลากรใหม่มีสมรรถนะที่จะสามารถทำงานให้กับองค์กรได้ต่อไปซึ่งต้องใช้เวลานาน และเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก แต่หลังจากที่ยุคสมัยได้มีการเปลี่ยนแปลงถึงภาวการณ์ในปัจจุบัน ท่ามกลางการแข่งขันที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ภาคธุรกิจต้องปรับตัวเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันทั้งโดยการลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้น โดยเฉพาะการเพิ่มสมรรถนะบุคลากรเดิม ส่วนบุคลากรใหม่ก็ต้องมีความสามารถและสมรรถนะเพียงพอที่จะเริ่มงานได้ในทันทีเช่นเดียวกัน ในขณะเดียวกันเทคโนโลยีต่างๆ ของโลกได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว บุคลากรทั้งใหม่และบุคลากรเดิมจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาปรับปรุงตัวเองอยู่เสมอ โดยต้องเรียนรู้ปรับตัวให้เท่าทันเทคโนโลยี และในขณะเดียวกันสิ่งที่สำคัญคือการศึกษา ทำความเข้าใจใจกฎหมาย กฎระเบียบ ข้อบังคับต่างๆ ที่มีการปรับปรุงขึ้นใหม่ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านพลังงานทดแทน ทางด้านชีวมวลและชีวภาพ ซึ่งมีแนวโน้มที่เติบโตอย่างชัดเจน

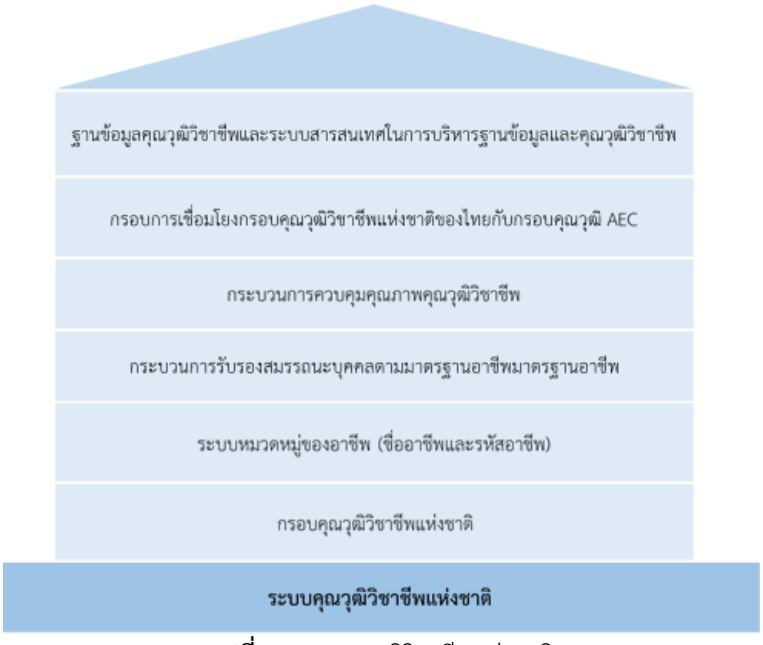
เพื่อให้กลายเป็นศูนย์กลางการเจริญเติบโตของประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) ได้นั้น ประเทศไทยจะต้องพัฒนาตัวเองให้เป็นศูนย์กลางของการกระจายความเจริญในหลายด้าน ทั้งในมิติของเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และด้านพลังงาน อันจะก่อให้เกิดการเคลื่อนย้ายแรงงานเพื่อทำงานระหว่างประเทศสมาชิกได้ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีกฎเกณฑ์หรือระบบคุณวุฒิวิชาชีพมารองรับการเคลื่อนย้ายแรงงานดังกล่าว ประเทศไทยจึงควรดำเนินการจัดทำ “มาตรฐานคุณวุฒิวิชาชีพ” เพื่อรองรับประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน ให้บุคลากรในกลุ่มอาชีพที่เกี่ยวข้องจะสามารถนำไปพัฒนาศักยภาพและสมรรถนะของตนเอง ผู้ประกอบการสามารถจ้างงานได้ตรงกับความต้องการ สถานศึกษาสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาหลักสูตรการเรียนการสอนให้ตรงกับความต้องการของผู้ประกอบการ และจะนำไปสู่การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับประเทศไทยได้ในที่สุด

จากความสำคัญและแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงตลาดแรงงานที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการจัดทำโครงการจัดทำมาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพสาขาวิชาชีพพลังงานและพลังงานทดแทน สาขาอาชีพพลังงานชีวภาพ เพื่อเป็นการยกระดับมาตรฐานอาชีพทางด้านพลังงานให้มีความทัดเทียมต่อนานาประเทศ และเพื่อเป็นการยกระดับคุณภาพของสายงานด้านพลังงานทดแทนให้มีความเป็นมาตรฐาน แข่งขันได้ ให้เป็นที่ยอมรับจากทั้งภายในและต่างประเทศ ซึ่งจะเป็นผลดีต่อแวดวงพลังงานของไทยได้ในระยะยาว

คุณวุฒิวิชาชีพ

คุณวุฒิวิชาชีพแห่งชาติมีจุดมุ่งหมายในการเป็นศูนย์กลางการรับรองสมรรถนะของกำลังคนที่มีสมรรถนะตามมาตรฐานอาชีพตอบสนองความต้องการของภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม เป็นกลไกให้บุคคลได้รับการยอมรับในความสามารถ และได้รับคุณวุฒิวิชาชีพที่สอดคล้องกับสมรรถนะประสบการณ์ และความรู้ เพื่อใช้คุณวุฒิวิชาชีพในการ

พัฒนาเจริญก้าวหน้าในอาชีพของตนในอนาคต คุณวุฒิวิชาชีพนี้สามารถเทียบเคียงและเชื่อมโยงกับระบบคุณวุฒิอื่นๆ ของประเทศได้กำหนดระบบคุณวุฒิวิชาชีพแห่งชาติ ประกอบไปด้วย



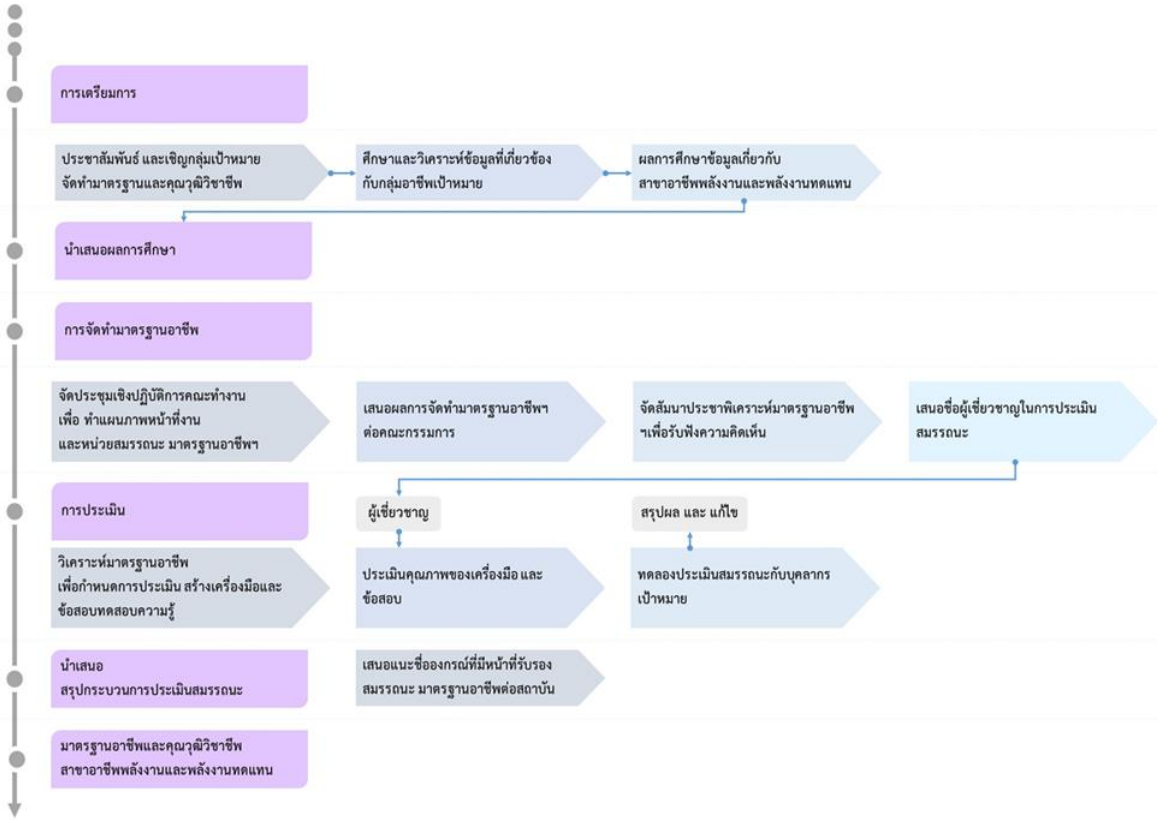
รูปที่ 1ระบบคุณวุฒิวิชาชีพแห่งชาติ

ตารางที่ 1 สรุปกรอบคุณวุฒิวิชาชีพแห่งชาติของสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (องค์การมหาชน)

ระดับ (Level)			คำอธิบายทั่วไป (Description)
ระดับ 1 National Qualification of Vocational Competence 1	Basic Skilled personnel/worker	ผู้มีทักษะเบื้องต้น	มีทักษะในการปฏิบัติงานประจำขั้นพื้นฐานทั่วไป สามารถแก้ปัญหาพื้นฐานในการปฏิบัติงานได้อย่างจำกัด โดยมีการควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด
ระดับ 2 National Qualification of Vocational Competence 2	Semi-Skilled personnel /worker	ผู้มีทักษะฝีมือ	มีทักษะกึ่งฝีมือในการปฏิบัติงานที่ถูกกำหนดไว้แล้ว สามารถแก้ปัญหาพื้นฐานที่พบเป็นประจำ โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎี เครื่องมือและข้อมูลพื้นฐานภายใต้การควบคุมแนะแนวของผู้บังคับบัญชา
ระดับ 3 National Diploma Qualification of Vocational Competence	Skilled personnel/worker	ผู้มีทักษะเฉพาะทาง	มีทักษะระดับฝีมือและเทคนิคในการปฏิบัติงาน กระบวนการคิดและปฏิบัติที่หลากหลาย สามารถแก้ปัญหาทางเทคนิคควบคู่กับการใช้คู่มือ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องภายใต้การแนะแนวของผู้บังคับบัญชา
ระดับ 4 National Advanced Diploma Qualification of Vocational Competence	supervisors, foremen, superintendents academically qualified workers, junior management	ผู้ชำนาญการในอาชีพ	มีทักษะทางเทคนิคในการปฏิบัติงาน มีทักษะทางความคิดและปฏิบัติที่หลากหลาย ครอบคลุมการปฏิบัติงาน หาข้อสรุปและการตัดสินใจแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับงานโดยใช้ทฤษฎีและเทคนิคอย่างอิสระด้วยตนเอง

ระดับ (Level)			คำอธิบายทั่วไป (Description)
ระดับ 5 National Qualification of Professional Competence	Professionally qualified, and mid-management	ผู้เชี่ยวชาญในอาชีพ	มีทักษะทางเทคนิคในการปฏิบัติงาน มีทักษะในการปฏิบัติงานที่ซับซ้อนมีส่วนร่วมในการวางแผน บริหารจัดการและกำหนดนโยบายขององค์กรโดยใช้ทฤษฎีและเทคนิคในการแก้ปัญหาอย่างอิสระ สามารถพัฒนานวัตกรรมเทคโนโลยีใหม่ๆ ได้ สามารถใชภาษาต่างประเทศและเทคโนโลยีในการปฏิบัติงานและสามารถอบรมและฝึกฝนบุคคลอื่นได้
ระดับ 6 National Qualification of Higher Professional Competence	Experienced Specialists and Senior management	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษในอาชีพ	มีทักษะในการบริหารจัดการ วิเคราะห์และประเมินเพื่อแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนและที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ โดยสามารถนำองค์ความรู้ และทักษะจากสาขาอาชีพอื่นๆ ที่มีความหลากหลายมาประยุกต์ใช้ได้ สามารถกำหนดนโยบายกลยุทธ์ขององค์กรโดยจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ
ระดับ 7 National Qualification of Advanced Professional Competence	Top management, Novel & Original	ผู้ทรงคุณวุฒิในอาชีพ	มีทักษะที่เป็นเลิศในการพัฒนาการบริหารจัดการองค์กรระบบและนวัตกรรมการทำงาน และบุคลากรอย่างต่อเนื่องตลอดจนสามารถสังเคราะห์ และประเมินเพื่อแก้ไขวิกฤตปัญหาขององค์กร กำหนดทิศทางและอนาคตและเปลี่ยนวัฒนธรรมขององค์กรได้ อย่างเป็นที่ยอมรับทั้งในระดับประเทศและนานาชาติ

วิธีการวิจัย



รูปที่ 2 วิธีการวิจัย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การจัดทำมาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพ สาขาวิชาชีพพลังงาน และพลังงานทดแทนโดยแบ่งเป็น 2 สาขาอาชีพคือ สาขาอาชีพเทคโนโลยีชีวมวล และเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

1. สาขาอาชีพเทคโนโลยีชีวมวล หมายถึง ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล บทบาทและหน้าที่ในการปฏิบัติงานของบุคคลในสาขาอาชีพเทคโนโลยีชีวมวล จะประกอบไปด้วย การจัดซื้อ จัดหาวัตถุดิบเพื่อใช้ในการบวนการผลิตฟ้า และยังต้องมีความสามารถในการประเมินคุณภาพวัตถุดิบที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีปัจจุบันของโรงงาน ต้องทราบแผนการผลิตเพื่อการวางแผนการจัดซื้อที่ถูกต้อง ป้องกันการจัดซื้อวัตถุดิบที่เกินความจำเป็นอันจะเป็นผลโดยตรงต่อการเสื่อมสถาพของวัตถุที่จัดซื้อ ทั้งนี้ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดหาวัตถุดิบยังคงต้องมีทักษะความรู้ในการเก็บรักษาวัตถุดิบให้คงสภาพดีอีกเช่นกันปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้า (Electricity Generation) มีหน้าที่ในการควบคุม ดูแลการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการผลิตอีกขั้นตอนหนึ่ง โดยต้องสามารถวางแผนการผลิตให้เป็นไปตามแผนการผลิตของโรงงาน ควบคุมดูแลเครื่องจักร แก้ไขปัญหา ซ่อมบำรุง และจัดการเรื่องความปลอดภัยของโรงงานด้วยเช่นกัน ซึ่งผู้ปฏิบัติงานในส่วนนี้ จำเป็นต้องมีประสบการณ์สูง และต้องเป็นผู้ที่สามารถปฏิบัติงานร่วมกับเครื่องจักร และระบบผลิตไฟฟ้าที่ทันสมัยได้เช่นกัน รวมถึงการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดของเสียจากการกระบวนการผลิต (Waste Management) มีหน้าที่ในการดูแล กำจัดของเสียที่เกิดจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การรับเข้าวัตถุดิบ จนกระทั่งได้มาซึ่งไฟฟ้า เช่น เถ้า มลพิษทางอากาศ หรือน้ำเสีย โดยผู้ปฏิบัติงานต้องมีความรู้ในการกำจัดของเสียอย่างถูกต้อง มีความเข้าใจในกฎระเบียบ ข้อบังคับ และกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมเช่นกัน ทั้งนี้การกำจัดของเสีย

2. สาขาอาชีพเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ หมายถึง ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพ บทบาทและหน้าที่ในการปฏิบัติงานของบุคคลในสาขาอาชีพเทคโนโลยีชีวมวล จะประกอบไปด้วย การควบคุมการทำงานของเครื่องจักรระบบลำเลียงวัตถุดิบ ดำเนินเก็บตัวอย่างส่วนผสมเพื่อส่งวิเคราะห์ตามข้อกำหนด จัดเตรียมวัตถุดิบ และส่วนผสมเพื่อใช้ในกระบวนการย่อยสลาย ทั้งด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ วิเคราะห์ และดำเนินการปรับแก้ส่วนผสมให้มีประสิทธิภาพในการผลิตอย่างต่อเนื่อง พัฒนาและขยายขีดความสามารถในการพัฒนาองค์ประกอบเคมีหรือชีวภาพเพื่อใช้ในกระบวนการย่อยสลาย และการหมัก จัดทำรายงานระบุรายละเอียดองค์ประกอบที่ใช้ในกระบวนการเพื่อจัดทำสถิติการผลิต ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรในระบบการย่อยสลายและการหมัก ควบคุมกระบวนการให้เป็นไปตามมาตรฐานของการย่อยสลายและการหมัก คัดเลือกและเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ สำรวจ ตรวจสอบและวิเคราะห์ผลจากกระบวนการย่อยและการหมักจากห้องปฏิบัติการ เพื่อวิเคราะห์ผลด้านประสิทธิภาพการผลิต และปัญหาในกระบวนการผลิต ตรวจสอบอุปกรณ์ บันทึกข้อมูล สภาพการใช้งาน และรายงานผลการดำเนินงาน บันทึกผลการตรวจสอบอุปกรณ์เพื่อวางแผนการจัดซื้ออุปกรณ์สำรอง ออกแบบแผนประเมิน และบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ตามระยะเวลาการใช้งาน ตรวจสอบอุปกรณ์ บันทึกข้อมูล สภาพการใช้งาน เพื่อวางแผนการซ่อมบำรุง จัดทำแผนการปรับเปลี่ยนและซ่อมบำรุงเครื่องจักรอุปกรณ์ ประสานงานกับเจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิต จัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องกับ สาขาอาชีพเทคโนโลยีพลังงานชีวมวล และเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย ผู้จัดการโรงงาน กระบวนการผลิต ซึ่งผู้ประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตพลังงานชีวภาพ นั้นต้องมีความรู้ความสามารถ และทักษะต่างๆ ในการประกอบอาชีพ เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด รวมทั้งจำเป็นต้องทราบกฎหมาย และข้อบังคับต่างๆ เพื่อใช้ในการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้น การจัดทำมาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพ สาขาวิชาชีพพลังงานและพลังงานทดแทน สาขาอาชีพเทคโนโลยีพลังงานชีวมวล และเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อสอดคล้องกับความต้องการของผู้ประกอบการ รวมถึงการสร้างเครือข่ายเผยแพร่มาตรฐานอาชีพ และคุณวุฒิวิชาชีพให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล ซึ่งเป็นกลไกหนึ่งในการสร้างระดับความรู้ ความสามารถของบุคคล รวมถึงสร้างความเข้มแข็งให้แก่ผู้ประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน

ชีวภาพ (ชีวมวลและก๊าซชีวภาพ) ให้มีสมรรถนะ และขีดความสามารถของแรงงานด้านพลังงานชีวภาพ (ชีวมวลและก๊าซชีวภาพ) ในอนาคต และให้มีความพร้อมรองรับให้ก้าวทันการเปลี่ยนแปลงของการพัฒนา และการแข่งขันของประเทศ

สรุปผลการวิจัย

มาตรฐานอาชีพ สาขาอาชีพเทคโนโลยีชีวมวล และเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วย 10 อาชีพ 13 ชั้น คุณวุฒิ 50 หน่วยสมรรถนะ ดังนี้

1. คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ดำเนินการจัดหาวัตถุดิบ ชั้น 3

หน่วยสมรรถนะ (หน่วยสมรรถนะทั้งหมดของคุณวุฒิวิชาชีพชั้นนี้)

PSP01 วิเคราะห์และวางแผนการจัดหาวัตถุดิบ

PSP02 ดำเนินการจัดซื้อวัตถุดิบ

2. คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ดำเนินการจัดการบริหารคลังวัตถุดิบ ชั้น 2

หน่วยสมรรถนะ (หน่วยสมรรถนะทั้งหมดของคุณวุฒิวิชาชีพชั้นนี้)

PSP03 บริหารจัดการคลังวัตถุดิบ

MR01 เฝ้าระวัง ตรวจสอบ บันทึกข้อมูล รายงานผลการดำเนินงาน และปัญหาการจัดการบริหารคลังวัตถุดิบ

3. คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ดำเนินการฝ่ายสาธารณูปโภค ชั้น 3

หน่วยสมรรถนะ (หน่วยสมรรถนะทั้งหมดของคุณวุฒิวิชาชีพชั้นนี้)

PSP04 วางแผนและจัดซื้อวัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีใช้ในกระบวนการ

PSP05 การผลิตน้ำใช้ในอุตสาหกรรม

PSP06 ควบคุมคุณภาพน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต และบริการจัดการการผลิต

4. คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ควบคุมกระบวนการผลิตความร้อน ชั้น 3

หน่วยสมรรถนะ (หน่วยสมรรถนะทั้งหมดของคุณวุฒิวิชาชีพชั้นนี้)

TP01 ดูแลการผสมวัตถุดิบ

TP02 ควบคุมการลำเลียงวัตถุดิบ

TP03 วางแผน และควบคุม ระบบลำเลียงวัตถุดิบ

TP04 ควบคุมการทำงานระบบห้องเผาไหม้

TP05 ควบคุมการทำงานระบบหม้อไอน้ำ

TP06 ดูแลและควบคุมระบบลำเลียงเถ้า

TP08 ตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องจักรอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตความร้อน

MR02 เฝ้าระวัง ตรวจสอบ บันทึกข้อมูล รายงานผลการดำเนินงาน และปัญหากระบวนการผลิตความร้อน

MR16 ซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรในกระบวนการผลิตความร้อน

5. คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ควบคุมกระบวนการผลิตความร้อน ชั้น 4

หน่วยสมรรถนะ (หน่วยสมรรถนะทั้งหมดของคุณวุฒิวิชาชีพชั้นนี้)

TP03 วางแผน และควบคุม ระบบลำเลียงวัตถุดิบ

TP07 ควบคุมดูแลเครื่องกำจัดฝุ่น

TP09 วิเคราะห์สภาพผิดปกติในกระบวนการผลิต

TP10 ควบคุมระบบจ่ายไอน้ำ

TP11 การดำเนินงานด้านการอนุรักษ์พลังงานความร้อน

MR07 วิเคราะห์และแก้ไขปัญหา ออกแบบการปรับปรุง และวางแผนการซ่อมบำรุงในกระบวนการผลิตความร้อน

MR15 ซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรในกระบวนการผลิตความร้อน

6. คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ควบคุมกระบวนการผลิตไฟฟ้า ชั้น 3

หน่วยสมรรถนะ (หน่วยสมรรถนะทั้งหมดของคุณวุฒิวิชาชีพชั้นนี้)

EP01 ควบคุมเครื่องจักรของระบบผลิตไฟฟ้า

EP02 ควบคุมการส่งจ่ายไฟฟ้า

MR03 เฝ้าระวัง ตรวจสอบ บันทึกข้อมูล รายงานผลการดำเนินงาน และปัญหาในกระบวนการผลิตไฟฟ้า

MR16 ซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรในกระบวนการผลิตไฟฟ้า

7. คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ควบคุมกระบวนการผลิตไฟฟ้า ชั้น 4

หน่วยสมรรถนะ (หน่วยสมรรถนะทั้งหมดของคุณวุฒิวิชาชีพชั้นนี้)

EP03 วางแผน ควบคุมการสั่งการดำเนินงานของสถานีผลิตไฟฟ้า

EP04 ดำเนินงานด้านการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า

MR08 วิเคราะห์และแก้ไขปัญหา ออกแบบการปรับปรุง และวางแผนการซ่อมบำรุงในกระบวนการผลิตไฟฟ้า

MR16 ซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรในกระบวนการผลิตไฟฟ้า

8. คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ปฏิบัติการฝ่ายวิศวกรรมและซ่อมบำรุงชั้น 2

หน่วยสมรรถนะ (หน่วยสมรรถนะทั้งหมดของคุณวุฒิวิชาชีพชั้นนี้)

MR11 ซ่อมบำรุงเครื่องจักรในกระบวนการผลิตขั้นต้น

MR04 เฝ้าระวัง ตรวจสอบ บันทึกข้อมูล รายงานผลการดำเนินงาน และปัญหาในการซ่อมบำรุง

9. คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ปฏิบัติการฝ่ายวิศวกรรมและซ่อมบำรุงชั้น 4

หน่วยสมรรถนะ (หน่วยสมรรถนะทั้งหมดของคุณวุฒิวิชาชีพชั้นนี้)

MR12 ซ่อมบำรุงเครื่องจักรในกระบวนการผลิตขั้นสูง

MR13 วางแผนการจัดซื้อเครื่องจักรในการซ่อมบำรุง

MR14 ทดสอบ และรายงานผลการซ่อมบำรุง

10. คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ปฏิบัติงานฝ่ายทดสอบและควบคุมคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวมวล ชั้น 3

หน่วยสมรรถนะ (หน่วยสมรรถนะทั้งหมดของคุณวุฒิวิชาชีพชั้นนี้)

LQ01 ตรวจสอบคุณภาพเชื้อเพลิง

LQ03 เตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบ

LQ04 ทดสอบ วิเคราะห์ และรายงานผล

11. คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ปฏิบัติงานฝ่ายทดสอบและควบคุมคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพ ชั้น 3

หน่วยสมรรถนะ (หน่วยสมรรถนะทั้งหมดของคุณวุฒิวิชาชีพชั้นนี้)

LQ02 เก็บตัวอย่าง

LQ03 เตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบ

LQ05 ตรวจสอบคุณภาพตัวอย่างการย่อยสลายและการหมัก

LQ06 ตรวจสอบคุณภาพก๊าซชีวภาพ

12. คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ปฏิบัติงานด้านควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ชั้น 4

หน่วยสมรรถนะ (หน่วยสมรรถนะทั้งหมดของคุณวุฒิวิชาชีพชั้นนี้)

HF01 วิเคราะห์และควบคุมองค์ประกอบในกระบวนย่อยสลายและการหมักก๊าซชีวภาพ

HF02 ควบคุมการย่อยสลายและการหมักตามวิธีการผลิตก๊าซชีวภาพ

HF03 สำรวจ ตรวจสอบ ประสิทธิภาพการย่อยสลายและการหมัก

MR05 เฝ้าระวัง ตรวจสอบ บันทึกข้อมูล รายงานผลการดำเนินงาน และปัญหาในการซ่อมบำรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

MR09 วิเคราะห์และแก้ไขปัญหา ออกแบบการปรับปรุง และวางแผนการซ่อมบำรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

MR17 ซ่อมบำรุงเครื่องจักรในด้านควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

13. คุณวุฒิวิชาชีพ อาชีพผู้ปฏิบัติงานด้านการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ ชั้น 4

หน่วยสมรรถนะ (หน่วยสมรรถนะทั้งหมดของคุณวุฒิวิชาชีพชั้นนี้)

UQC01 บริหารจัดการการผลิตและจัดเก็บก๊าซชีวภาพ

UQC02 ควบคุมระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพ

MR06 เฝ้าระวัง ตรวจสอบ บันทึกข้อมูล รายงานผลการดำเนินงาน และปัญหาในการซ่อมบำรุงในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

MR10 วิเคราะห์และแก้ไขปัญหา ออกแบบการปรับปรุง และวางแผนการซ่อมบำรุงในกระบวนปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

MR18 ซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (องค์การมหาชน) สนับสนุนทางด้านงบประมาณในการศึกษาวิจัย และโรงงาน บริษัท น้ำตาลไทยเอกลักษณ์ จำกัด จังหวัดอุตรดิตถ์ บริษัท เอราวัณเพาเวอร์ จำกัด จังหวัดหนองบัวลำภู บริษัท เยนเนรัล สตาร์ช จำกัด (GSL) จังหวัดนครราชสีมา และบริษัท ไออีซี สระแก้ว 1 จำกัด จังหวัดสระแก้ว รวมถึงผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ความช่วยเหลือ และอนุเคราะห์ข้อมูล ในการทางานวิจัยนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก. พ.ศ. 2558 – 2579. (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015)

[2] ข้อมูลภูมิสารสนเทศสถิติพลังงานทดแทน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน

[3] Joel Tallaksen, (2011), Biomass Gasification: A Comprehensive Demonstration of a Community-Scale Biomass Energy System. University of Minnesota

[4] ระบบคุณวุฒิวิชาชีพแห่งชาติ สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (องค์กรมหาชน)

[5] กระบวนการผลิตเอทานอล, บริษัท ไทยซุการ์ มิลเลอร์ จำกัด

DE68

การพัฒนาระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือ

Development of Automatic Watering System with Photovoltaic via Mobile Phone

วีระชาติ จริตงาม[1*] ภิญโญ ชุมมณี[2] และขจร อนุดิตย์[3]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ นครสวรรค์ 60000

[3]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่เชียงราย เชียงราย 57120

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการควบคุมด้วยแอพพลิเคชั่นบนโทรศัพท์มือถือซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรือเรียกว่า Internet of Things งานวิจัยนี้จึงได้นำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการเกษตร ในระบบการจ่ายน้ำแก่แปลงพืชสวนครัวให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยติดตั้งตู้ควบคุมจ่ายน้ำอัตโนมัติมีบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับประมวลผลของระบบ มีแหล่งจ่ายพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศรอบๆแปลงพืช และมีเซนเซอร์ความชื้นดินไว้ควบคุมการเปิดปิดโซลินอยด์วาล์ว ในกรณีที่ค่าความชื้นดินต่ำกว่าที่กำหนด50 %โซลินอยด์วาล์วจะเปิดให้น้ำไหลผ่านซึ่งมีปั๊มคอยสูบส่งน้ำในระบบท่อและถ้าค่าความชื้นดินสูงกว่าที่กำหนดโซลินอยด์วาล์วจะปิดไม่ให้น้ำไหลผ่านและมีโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนหรือคอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลและควบคุมระบบได้ตามที่ต้องการซึ่งประโยชน์ที่ได้ในระบบนี้ ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานและสามารถสั่งการและควบคุมอุปกรณ์ให้ทำงานตามสภาวะที่ต้องการได้เป็นอย่างดีในทุกที่ที่มีระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้อีกด้วย

คำสำคัญ: ความชื้นดิน แอพพลิชั่นบนโทรศัพท์มือ จ่ายน้ำอัตโนมัติ

*Corresponding author: Tel.: 081-6465911.E-mail address: kainsru@gmail.com, weerachat.j@nsru.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการเพาะปลูกพืชหลากหลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและความต้องการของตลาดเป็นหลัก พื้นที่หลายแห่งมีปัญหาต่างๆ เช่น ดินเค็ม ฝนตกบ่อย น้ำมาก น้ำน้อย เป็นต้น น้ำถือว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากสำหรับพืชที่ต้องการน้ำในการทำหน้าที่ต่างๆ เช่น เป็นส่วนประกอบของเซลล์ทำให้เซลล์เต่ง เป็นตัวทำละลายแร่ธาตุต่างๆในดิน ลำเลียงธาตุอาหารจากรากไปยังใบ เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิของต้นไม้ ช่วยการสังเคราะห์แสง การให้ผลผลิตของพืช เป็นต้น พืชหลายชนิดมีความต้องการน้ำไม่เท่ากัน จะให้บ่อยหรือไม่มากน้อยอย่างไร ต้องพิจารณาจากลักษณะของพืช ดิน ภูมิอากาศและการจัดการเพาะปลูก ซึ่งถ้าพืชขาดน้ำขึ้นมาจะส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชหยุดชะงักได้ และจะส่งผลไปถึงผลผลิตที่จะเกิดขึ้นจะมีจำนวนลดลงด้วย สำหรับการให้น้ำแก่พืชนั้น

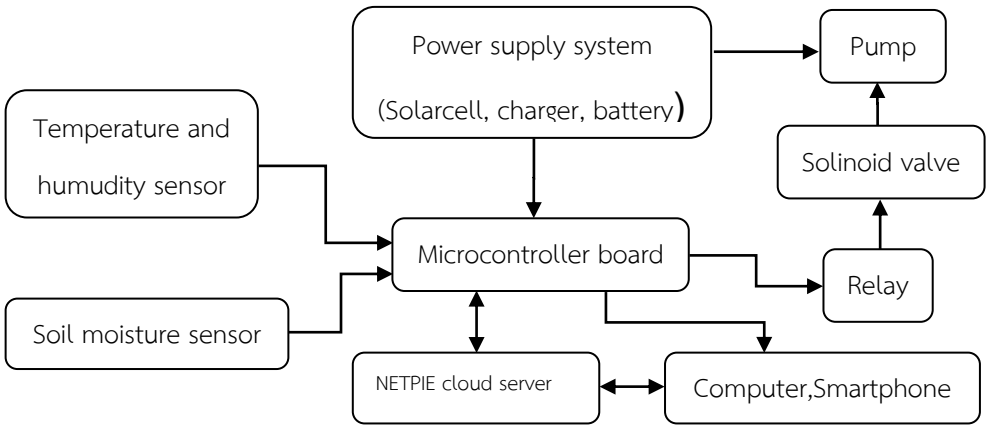
เป็นการเติมน้ำลงในช่องว่างระหว่างเม็ดดินเพื่อให้ดินมีความชุ่มชื้นพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช น้ำที่เติมลงไปจะต้องไม่มากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อรากพืช ซึ่งวิธีการให้น้ำพืชนั้นมีหลายแบบ เช่น แบบการฉีดฝอยโดยใช้แรงดันแล้วให้น้ำพ่นออกมาเป็นละอองน้ำตกลงมาบนพื้นที่เพาะปลูก แบบการปล่อยน้ำให้ขังหรือไหลไปท่วมบนผิวดินและซึมลงไปในดินโดยตรง แบบการให้น้ำแบบน้ำหยดที่ปล่อยน้ำลงที่จุดใดจุดหนึ่งหรือหลายจุดในเขตรากของพืช เป็นต้น [1] และในปัจจุบันระบบการควบคุมการให้น้ำพืชมีความหลายแบบ เช่น แบบการควบคุมโดยการพิจารณาของเกษตรกรโดยตรงที่จะให้น้ำมากน้อยตามความเหมาะสม หรือแบบควบคุมแบบอัตโนมัติที่ใช้ชุดวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าโดยเมื่อแสงมาตกกระทบที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 5-12 โวลต์ ปั๊มจะเริ่มทำงานและจะหยุดเมื่อแรงดันมากกว่า 12 โวลต์ [2] หรือแบบการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล โดยใช้โทรศัพท์รุ่นไอโฟนในระบบปฏิบัติการไอโอเอส (IOS) สั่งการให้มีการรดน้ำผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต [3] หรือแม้แต่การเขียนโปรแกรม MATHLAB ทดสอบและจำลองผลการทำงานของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่ [4] เป็นต้นและในปัจจุบันเทคโนโลยีการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการควบคุมด้วยแอพพลิเคชั่นบนโทรศัพท์มือถือซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรือเรียกว่า Internet of Things ซึ่งบทความวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคโนโลยีสมัยใหม่นำมาใช้ในการเกษตรให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยมีการจ่ายน้ำอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ให้แก่แปลงพืช ติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับค่าความชื้นของดิน และควบคุมการทำงานผ่านแอพพลิชั่นบนโทรศัพท์มือสมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอย (Andriod) ที่จะทำให้ระบบการจ่ายน้ำพืชได้อย่างเหมาะสมตามระยะเวลาที่ต้องการ

วิธีการวิจัย

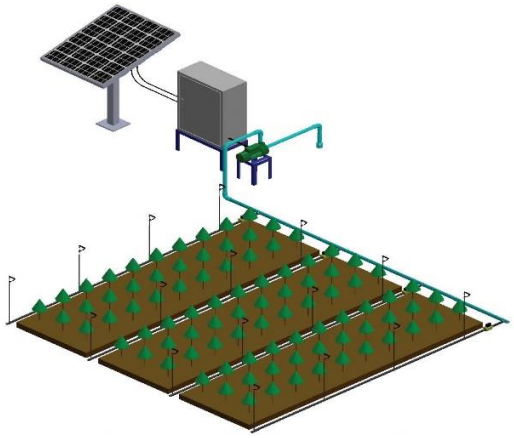
การพัฒนาระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติโดยใช้พลังงานอาทิตย์เพื่อจ่ายน้ำให้แก่แปลงพืชและมีการควบคุมผ่านแอพพลิเคชั่นบนโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ทโฟน มีวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. ศึกษาเทคโนโลยีที่ทันสมัยสำหรับการประยุกต์ใช้งานในการเกษตร
2. การออกแบบโครงสร้างการทำงานในภาพรวมของระบบ
3. ศึกษาลักษณะการงานของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบ
4. ออกแบบระบบการควบคุมในส่วนของซอฟท์แวร์
5. ทดสอบระบบ
6. สรุปผลการทำงาน

- แนวคิดการออกแบบโครงสร้างการทำงานในภาพรวมของระบบตามแผนผัง ดังภาพที่ 1 โดยโครงสร้างหลักการทำงานของระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านสมาร์ทโฟนซึ่งประกอบด้วย ชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับประมวลผลของระบบ มีชุดแหล่งจ่ายพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศรอบๆแปลงพืช และเซนเซอร์ความชื้นดินไว้ควบคุมการเปิดปิดโซลินอยด์วาล์ว ในกรณีที่ค่าความชื้นดินต่ำกว่าที่กำหนดโซลินอยด์วาล์วจะเปิดให้น้ำไหลผ่านซึ่งมีปั๊มคอยสูบส่งน้ำในระบบท่อและถ้าค่าความชื้นดินสูงกว่าที่กำหนดโซลินอยด์วาล์วจะปิดไม่ให้น้ำไหลผ่านและแสดงแผนภาพกราฟิกรวมของอุปกรณ์ในระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 แผนผังแนวคิดการออกแบบระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านสมาร์ทโฟน



ภาพที่ 2 แผนภาพกราฟิกรวมของอุปกรณ์ในระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์

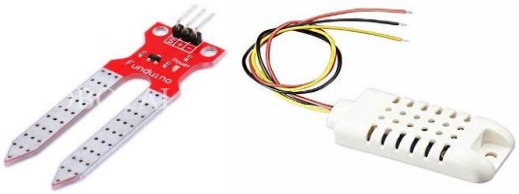
-อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์หลักที่ใช้ในระบบมีดังนี้

1) ชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller board) สำหรับในงานวิจัยนี้ เลือกใช้บอร์ดรุ่น Node MCU DevkitESP8266 ดังภาพที่ 3ซึ่งเป็นบอร์ดที่สามารถเชื่อมโยงและติดต่อสื่อสารอุปกรณ์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต (Internet of Things)



ภาพที่ 3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Node MCU Devkit)

2) เซนเซอร์ (Sensor) เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลตัวแปรต่างๆ เช่น ความชื้นดิน และความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิอากาศ เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลแสดงสถานภาพกระบวนการของระบบในขณะนั้น โดยเซนเซอร์วัดความชื้นดิน เป็นรุ่น Funduino ดังภาพที่ 4 ก และเซนเซอร์วัดความชื้นอุณหภูมิอากาศที่ใช้เป็นรุ่น DHT22 ดังภาพที่ 4 ข



(ก) เซนเซอร์วัดความชื้นดิน (ข) เซนเซอร์วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิอากาศ

ภาพที่ 4 ชุดเซนเซอร์ตรวจวัดข้อมูล

3) ชุดแหล่งจ่ายพลังงาน (Power supply unit) ทำหน้าจ่ายแรงดันและกระแสตรงให้กับบอร์ดคอนโทรลเลอร์และปั๊มน้ำสำหรับอุปกรณ์หลักในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นี้ [5] ประกอบด้วย

-แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวหรือที่รู้จักในชื่อ โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline) ดังภาพที่ 5 ก ซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิดีที่สุดประมาณ 15-18 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองวิจัยนี้ใช้แผง 100 วัตต์

-เครื่องควบคุมการชาร์จประจุ (Charge controller) ดังภาพที่ 5 ข สำหรับควบคุมแรงดันการชาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพป้องกันการเสียหายของแบตเตอรี่และยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้เพิ่มมากขึ้น

-แบตเตอรี่ชนิดที่สามารถปล่อยประจุไฟฟ้าได้มาก (Deep cycle battery) ดังภาพที่ 5 ค สามารถปล่อยประจุได้ถึง 60-80 เปอร์เซ็นต์ ของประจุรวมก่อนที่จะทำการชาร์จประจุใหม่ ในการทดลองวิจัยนี้ใช้ขนาด 45 Ah



(ก) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ข) เครื่องควบคุมการชาร์จ (ค) แบตเตอรี่

ภาพที่ 5 ชุดแหล่งจ่ายพลังงาน

4) โซลินอยด์วาล์ว (Solinoid valve) ดังภาพที่ 6 ซึ่งเป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ทำหน้าที่เปิดปิดวาล์วทางไหลเข้าออกของน้ำ วาล์วจะทำงานเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้ามา ทำให้มีการเปิดปิดการจ่ายน้ำในระบบท่อน้ำ



ภาพที่ 6 โซลินอยด์วาล์ว

5) เครื่องสูบน้ำ(Pump) ขนาด 60 วัตต์ ดังภาพที่ 7 ทำหน้าที่สูบน้ำจากแหล่งน้ำเพื่อจ่ายน้ำให้แก่แปลงพืช



ภาพที่ 7 เครื่องสูบน้ำ

-ซอฟท์แวร์ประยุกต์ที่ช่วยในการทำงานของระบบ มีดังนี้

1) Arduino IDE เป็นโปรแกรมที่ใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถใช้งานได้ทุกระบบปฏิบัติและยังเป็นอิสระจากการทำงานของระบบปฏิบัติการทุกชนิด [6] และสามารถเขียนโปรแกรมคำสั่งและคอมไพล์ เพื่อควบคุมการทำงานของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU และสามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้

2) NETPIE เป็นรูปแบบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์บนอินเทอร์เน็ต (Platform IoT) ที่พัฒนาโดยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ(NECTEC)เป็นระบบพื้นฐานที่อำนวยความสะดวกให้กับนักพัฒนาและช่วยให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ สามารถสื่อสารกันได้ ช่วยลดภาระด้านความปลอดภัยของข้อมูล และมีสถาปัตยกรรมเป็นคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (Cloud server) ในทุกองค์ประกอบของระบบ ทำให้เกิดความยืดหยุ่นและคล่องตัวสูงและช่วยให้แพลตฟอร์มมีความน่าเชื่อถือสูงนำไปใช้ซ้ำและพัฒนาต่อได้ง่าย [7] และจากการพัฒนาล่าสุดของNECTEC เพิ่มการทำงานแบบแอพพลิเคชั่นบนโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนให้สามารถควบคุมและจัดการระบบได้

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการที่ได้พัฒนาระบบจ่ายน้ำอัตโนมัตินี้ ทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ที่ทำงานประสานเป็นระบบเดียวกันโดยผลการพัฒนามีดังนี้

1.การพัฒนาระบบควบคุมและแสดงผลการทำงานบนโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟน

โดยใช้ฟังก์ชั่น Freeboard บน NETPIE ซึ่งเป็น Web application ที่สามารถสร้างหน้าปัดแสดงผล (Dashboard) ดังภาพที่ 8เพื่อแสดงผลสำหรับ IoT แอปพลิเคชั่นสามารถวางปุ่มกดสวิตช์ไว้ใช้สำหรับควบคุมอุปกรณ์และวางหน้าปัดเพื่อแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากเซนเซอร์ต่างๆ ในระบบ IoT และสามารถแสดงผลทางโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนและทางจอคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย



ภาพที่ 8แสดงส่วนควบคุมและแสดงผลการทำงานของอุปกรณ์บนระบบNETPIE cloud server

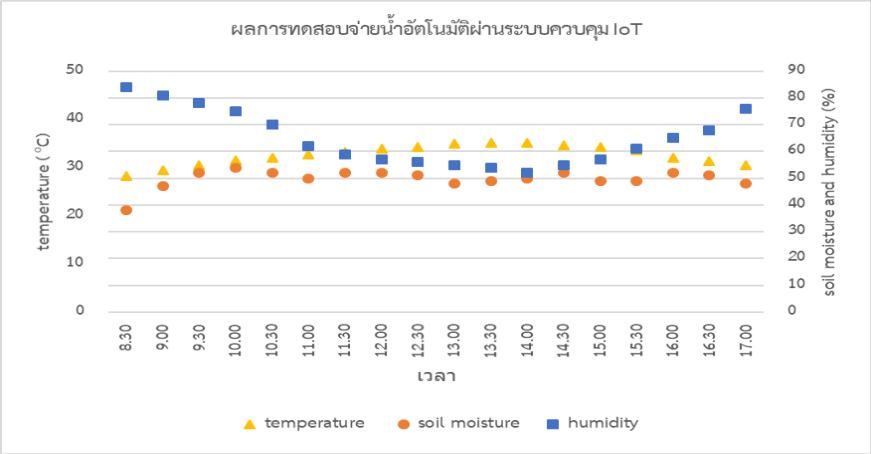
2.ผลการออกแบบพัฒนาฮาร์ดแวร์ที่ใช้ประมวลผลและควบคุมระบบ

ชุดอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์หลักที่ใช้ในระบบประกอบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์(NodeMCU DevkitESP8266) เซนเซอร์วัดความชื้นดิน (Funduino)เซนเซอร์วัดความชื้นอุณหภูมิอากาศ (DHT22) ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงส่วนฮาร์ดแวร์ที่ใช้ประมวลผลและควบคุมระบบ

3. ผลการทดสอบการทำงานของระบบ โดยการวัดค่าความชื้น อุณหภูมิของอากาศ และค่าความชื้นของดิน โดยมีผลการทดสอบระบบดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงผลการทดสอบจ่ายน้ำอัตโนมัติผ่านระบบควบคุม IoT

การทดสอบระบบนี้จะเลือกวันที่อากาศแจ่มใสไม่มีฝนตก ในเดือนสิงหาคม 2561 โดยเริ่มต้นในช่วงเช้าถึงเย็น เวลา 08.30-17.00 น. จะทำการบันทึกค่าทุกๆ 30 นาที โดยจะทำการวัดค่าสภาพแวดล้อม คืออุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนในดินของแปลงพืชจะมีการวัดค่าความชื้นดิน ซึ่งเป็นจุดหลักในการวิเคราะห์การทำงานของระบบนี้ผลการทดสอบพบว่าเริ่มต้นกำหนดค่าความชื้นดิน50% โดยถ้าค่าความชื้นดินเริ่มต้นต่ำกว่า50 % ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลส่งสัญญาณให้รีเลย์ทำงานส่งกระแสไฟไปที่โซลินอยด์วาล์วทำงานเปิดวาล์วให้น้ำไหลผ่าน โดยปั๊มจะทำงานแบบอัตโนมัติอยู่แล้วถ้าวาล์วเปิด และเมื่อดินในแปลงพืชได้รับน้ำจะทำค่าความชื้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าความชื้นมีค่าเกิน 50 % ระบบประมวลผลจะทำการสั่งให้รีเลย์หยุดทำงานเพื่อหยุดจ่ายกระแสไฟให้โซลินอยด์วาล์วและปิดวาล์วหยุดจ่ายน้ำ และหลังจากนั้นค่าความชื้นดินเริ่มลดลงจนถึงค่าที่กำหนดระบบก็จะทำงานจ่ายน้ำอีกครั้งระบบจะทำงานวนเป็นแบบนี้ทั้งวันจากการทดลองจะเห็นว่าในช่วงเช้า 8.30-09.00 น.ระบบจะมีค่าความชื้นในดินน้อยประมาณ 38%- 47%ระบบสั่งเปิดวาล์วน้ำทำให้ความชื้นในดินสูงขึ้นเรื่อยจนถึงเลยค่าที่กำหนด 50% และหลังจากนั้นระบบจะรักษาระดับค่าความชื้นดินจะอยู่ในช่วงประมาณ 48-52% ตลอดเวลา จนกระทั่งช่วงเย็นจึงปิดระบบทำงานและเริ่มเปิด

ระบบใหม่ในช่วงเช้า ลักษณะการทำงานของระบบจะเป็นแบบนี้ซึ่งข้อดีจะช่วยให้ประหยัดพลังงานของปั๊มและทรัพยากรน้ำ

สิ่งที่ต้องปรับปรุงในการวิจัยครั้งนี้

1) อุปกรณ์วัดค่าตัวแปรต่างๆ จะต้องมีคุณภาพดี ความเที่ยงตรงสูง และเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกัน
2) กรณีที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากหลายๆ ไร่ ทำให้การส่งสัญญาณของอุปกรณ์บางตัวมีปัญหา จำเป็นต้องออกแบบระบบให้ครอบคลุมและมีเสถียรภาพมากกว่านี้
3) ควรเปรียบเทียบต้นทุนการทำระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กับระบบเดิมที่จ่ายน้ำจากปั๊มโดยใช้ไฟฟ้าจากครัวเรือน เพื่อหาค่าการลดต้นทุนการผลิต ลดการใช้พลังงานที่แท้จริง

สรุปผลการวิจัย

ระบบจ่ายน้ำอัตโนมัตินี้ได้นำระบบเซลล์แสงอาทิตย์มาผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อป้อนให้แก่อุปกรณ์ในระบบให้มีกำลังไฟฟ้าไว้ใช้งานตลอด ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและสามารถใช้ในพื้นที่ที่ห่างไกลในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง สำหรับในควบคุมและแสดงผลการนั้น เลือกใช้ Netpie ซึ่งเป็นรูปแบบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์บนอินเทอร์เน็ต เป็นระบบพื้นฐานที่อำนวยความสะดวกและมีสถาปัตยกรรมเป็นคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ ในทุกองค์ประกอบของระบบ ทำให้เกิดความยืดหยุ่นและคล่องตัวสูงและช่วยให้แพลตฟอร์มมีความน่าเชื่อถือสูง และมีการทำงานแบบแอพพลิเคชั่นบนโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนให้สามารถควบคุมและจัดการระบบได้ ส่วนบอร์ดประมวลผลเลือกใช้ NodeMCU ที่สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ มีข้อมูลเข้าจากเซนเซอร์วัดความชื้นดิน และเซนเซอร์วัดความชื้นอุณหภูมิอากาศ และผลการทดสอบระบบนั้นสามารถควบคุมประมวลผลสามารถสั่งการอุปกรณ์ให้ทำงานตามสภาวะที่ต้องการได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ทางคณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณคณาจารย์และนักศึกษาสาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่ให้การสนับสนุนทั้งสถานที่ เสียสละเวลาเพื่อทดสอบงาน เก็บข้อมูล และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] อภิชาต ศรีสะอาด และพีระ ไกรแสงศรี. (2555). **แนวทางการลงทุนระบบน้ำในสวนยางพารา.** กรุงเทพฯ : นาคาอินเตอร์มีเดีย.

[2] มณฑล ฟักเอม เกียรติชัย บรรลุผลสกุล กิตติศักดิ์ คงสีไพ และอภิรักษ์ ทัดสอน. (2559). ระบบให้น้ำพืชอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์กรณีศึกษาแปลงเพาะพันธุ์ข้าว. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม.** 1 (1), 55-66.

[3] ราชิม กะมินสิน. (2557). **IoTควบคุมการรดน้ำต้นไม้.** โครงงาน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[4] ประโยชน์ คำสวัสดิ์. (2556). **การพัฒนาเครือข่ายเซนเซอร์สำหรับระบบชลประทานอัตโนมัติ.**สืบค้นเมื่อ 21 กันยายน 2561. จากhttp://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/5558/1/SUT7-709-56-12-59-Fulltext.pdf.

[5] กุลเชษฐ์ เพียรทองและคณะ. (2558). **คู่มือฝึกอบรมภาคปฏิบัติด้านพลังงานทดแทน พลังงานแสงอาทิตย์.** กรุงเทพฯ

[6] เดชฤทธิ์ มณีธรรม. (2561). **คัมภีร์การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino.**กรุงเทพฯ : วี.พริ้น (1991).

[7]พนิตา พงษ์ไพบูลย์ และคณะ. (2560). **คู่มือการใช้งาน NETPIE**. สืบค้นเมื่อ 10กุมภาพันธ์2561,จาก https://drive.google.com/drive/u/0/folders/0B9jvOTVzGjXJdFZfV3ZvcjhsUjg.

DE84

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของแบตเตอรี่ในไมโครกริดแบบแยกเดี่ยวที่ติดตั้งพลังงานทดแทน เมื่อพิจารณาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่

Cost Analysis of Battery in Standalone Microgrid with Renewable Energy by Considering Battery Lifetime

พินิจ วงศ์เดช ธีระพงษ์ บุญรักษา และบุญเรือง มะรังศรี*
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

บทคัดย่อ

ปัญหาที่สำคัญของระบบไมโครกริดที่ใช้พลังงานทดแทนผลิตไฟฟ้าเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic, PV) และกังหันลม (Wind turbine, WT) คือ ความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ แบตเตอรี่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อจัดการปัญหานี้ แต่ความผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ต้องทำงานเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่สั้นลงได้ งานวิจัยนี้ได้จำลองผลกระทบของขนาดติดตั้งแบตเตอรี่ต่ออายุการใช้งาน เพื่อหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่โดยคิดแบบมูลค่าปัจจุบัน ซึ่งประกอบไปด้วยค่าติดตั้งเริ่มต้น ค่าดูแลบำรุงรักษาและค่าติดตั้งใหม่ของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ตลอดอายุของโครงการ ผลการจำลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าอายุการใช้งานของแบตเตอรี่เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายรวมของระบบ โดยขนาดที่เหมาะสมสามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่และลดค่าใช้จ่ายให้น้อยของระบบได้

คำสำคัญ: ไมโครกริดแบบแยกเดี่ยว พลังงานทดแทน การประเมินอายุการใช้งานแบตเตอรี่

*Corresponding author: Tel.: 089-7177065. E-mail address: bmshvee@sut.ac.th

บทนำ

หลายปีที่ผ่านมา พลังงานทดแทนเริ่มได้รับความสนใจศึกษาและใช้งานกันอย่างแพร่หลายเพื่อนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากมีข้อดีหลายอย่างเมื่อเทียบกับระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานฟอสซิล อย่างไรก็ตาม ปัญหาหลักของพลังงานทดแทนคือความไม่แน่นอนของการผลิตไฟฟ้า ในการใช้งานพลังงานทดแทนในไมโครกริดแบบแยกเดี่ยว (Standalone microgrid) เช่น ในพื้นที่ห่างไกล หรือระบบที่ไม่ต้องการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย จึงจำเป็นต้องมีระบบกักเก็บพลังงานเพื่อจัดการและควบคุมให้กำลังไฟฟ้าภายในระบบมีความสมดุลระหว่างความต้องการโหลดและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดเวลา ระบบกักเก็บพลังงานที่นิยมใช้คือ แบตเตอรี่ [1] เนื่องจากมีความหนาแน่นพลังงานสูง ใช้ง่ายและมีหลากหลายชนิดและราคาให้เลือกใช้มากมายในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม ข้อด้อยที่สำคัญคือแบตเตอรี่มักจะมีอายุสั้น เมื่อเทียบกับส่วนประกอบอื่น ๆ ในไมโครกริดที่มีอายุโครงการ 20 หรือ 25 ปี เช่น เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลม ที่แทบจะไม่ได้ติดตั้งใหม่ตลอดโครงการหรือไม่ได้เสียค่าติดตั้งใหม่ทั้งหมดเหมือนแบตเตอรี่ เช่นการเปลี่ยนใบพัดของกังหันลมอาจจะใช้เสาต้นเดิมได้ ดังนั้นค่าติดตั้งใหม่ของแบตเตอรี่จึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ค่าใช้จ่ายของระบบไมโครกริดเพิ่มขึ้นได้ หากไม่มีการพิจารณาผลกระทบของปัจจัยที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่และการใช้งานที่เหมาะสม ดังนั้นหากต้องการประเมินค่าใช้จ่ายให้ใกล้เคียงความเป็นจริง จึงต้องมีการประเมินอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายและจำนวนครั้งในการติดตั้งใหม่ของแบตเตอรี่

เนื่องจากขนาดแบตเตอรี่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งาน ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงศึกษาผลของขนาดติดตั้งของแบตเตอรี่ที่มีผลต่ออายุการใช้งาน เพื่อวิเคราะห์ขนาดแบตเตอรี่ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมมีค่าน้อย โดยใช้วิธีการ Rain-flow เพื่อประเมินอายุการใช้งาน โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ขั้นตอนของงานวิจัย ผลการจำลองและการสรุปผลจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

ทฤษฎีและวิธีการวิจัย

โมเดลคณิตศาสตร์ของแบตเตอรี่

เพื่อจำลองผลการทำงานของแบตเตอรี่จำเป็นต้องศึกษาโมเดลการทำงานและขอบเขตเงื่อนไขในการทำงานของแบตเตอรี่ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กำลังไฟฟ้าที่ต้องการให้แบตเตอรี่ทำงานหาได้จากสมการสมดุลกำลังงานภายในไมโครกริด แสดงไว้ในสมการที่ 1

$$P_L - P_{PV} - P_{WT} + (P_c - P_d) = 0 \quad (1)$$

เมื่อ P_L P_{PV} และ P_{WT} คือค่ากำลังไฟฟ้าโหลด เซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลม ค่า P_c และ P_d คือค่าการอัดและปล่อยประจุกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ตามลำดับ จะได้สมการพลังงานของแบตเตอรี่แสดงในสมการที่ 2

$$E(t+\Delta t) = E(t) + (P_c \times \eta_c - P_d \times \eta_d)\Delta t \quad (2)$$

เมื่อค่า $E(t)$ คือพลังงานของแบตเตอรี่ที่เวลา t ค่า P_c คือการอัดประจุกำลังไฟฟ้า ค่า P_d คือค่าการปล่อยประจุกำลังไฟฟ้า ค่า η_c และ η_d คือค่าประสิทธิภาพการอัดและปล่อยประจุ ตามลำดับ โดยพลังงานและกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดตามสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

$$E_{\min} \le E(t) \le E_{\max} \quad (3)$$

$$-P_{\max,c} \le P(t) \le P_{\max.d} \quad (4)$$

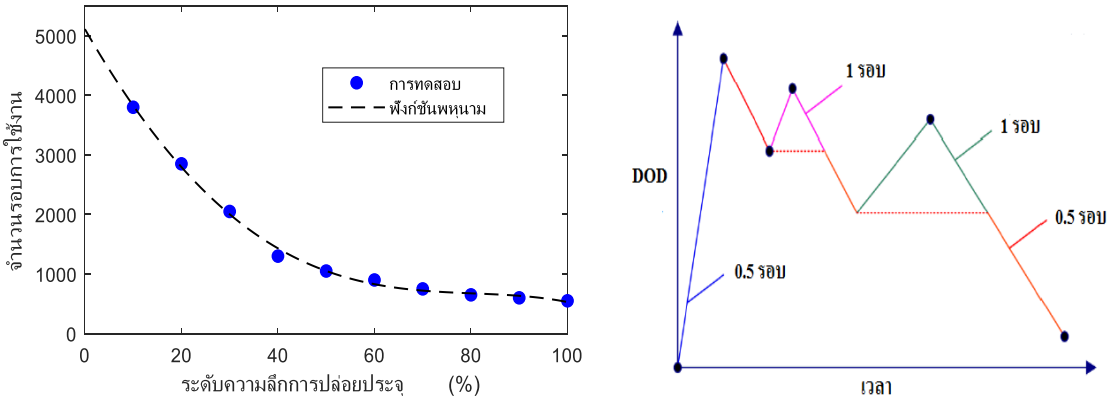
เมื่อค่า E_{min} และ E_{max} คือขอบเขตพลังงานของแบตเตอรี่ ค่า $P_{max,c}$ และ $P_{max,d}$ คือค่าขอบเขตกำลังไฟฟ้าอัดและปล่อยประจุ ตามลำดับ ดังนั้นค่าสถานะการประจุของแบตเตอรี่ (State of charge, SOC) คำนวณได้จากสมการที่ 5

$$SOC(t) = E(t) / E_{rated} \quad (5)$$

เมื่อกำหนดให้ E_{rated} คือค่าพิกัดความจุของแบตเตอรี่ โดยสามารถหาค่าสถานะระดับความลึกการปล่อยประจุ (Depth of discharge, *DOD*) ได้จาก 1-*SOC*

การประเมินอายุการใช้งานแบตเตอรี่

เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นส่วนประกอบที่มีราคาแพง การเปลี่ยนแบตเตอรี่บ่อยทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น จึงต้องมีการประเมินอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยมีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งาน เช่น ค่าความลึกการปล่อยประจุ อุณหภูมิ อัตราการชาร์จ เป็นต้น [2] ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการประเมินที่สมบูรณ์ที่รวมทุกปัจจัยไว้ด้วยกัน เพื่อความง่ายในการวิจัยเบื้องต้นจะพิจารณาเฉพาะปัจจัยหลักเท่านั้น งานวิจัยนี้ใช้วิธีการนับแบบ Rain-flow ซึ่งมีพื้นฐานจากการประเมินค่าความล้าของวัสดุ [3] โดยให้จำนวนรอบการใช้งานกับระดับความลึกการปล่อยประจุเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งได้จากการทดสอบแบตเตอรี่ตะกั่วกรดของผู้ผลิต [4] ในภาพที่ 1ก ซึ่งสามารถหาฟังก์ชันต่อเนื่องของความสัมพันธ์นี้แสดงด้วยเส้นประในรูป และตัวอย่างการนับแบบ Rain-flow ในภาพที่ 1ข



(ก) (ข)

ภาพที่ 1 (ก) จำนวนรอบการใช้งานกับระดับความลึกการปล่อยประจุของแบตเตอรี่อ้างอิง (ข) ตัวอย่างการนับ

ฟังชันก์ความสัมพันธ์ของจำนวนรอบการใช้งานกับระดับความลึกการปล่อยประจุแสดงด้วยสมการฟังก์ชันเอกโพเนนเชียลตามสมการที่ 6

$$CTF = f(DOD) = a_1 e^{-a_2 \times DOD} + a_3 e^{-a_4 \times DOD} \quad (6)$$

เมื่อ a_1, a_2, a_3 และ a_4 คือค่าสัมประสิทธ์ของฟังก์ชันเอกโพเนนเชียลมีค่าเท่ากับ 1.316×10^4, 0.135, 4528 และ 0.02312 ตามลำดับ โดยเมื่อผ่านการนับด้วยวิธี Rain-flow แล้ว ค่าเสื่อมอายุหาได้จากสมการที่ 7 [5]

$$D_B = \sum_{i=1}^{m} \frac{N_{cycle}(DOD_i)}{CTF(DOD_i)} \quad (7)$$

อายุการใช้งานในหน่วยปีหาได้จากสมการที่ 8

$$L_B = \frac{1 year}{D_{B,1year}} \quad (8)$$

เมื่อ N_{cycle} คือค่ารอบการใช้งานจริง เมื่อถูกแบ่งเป็น m ระดับ

ค่าใช้จ่ายของระบบแบตเตอรี่

ฟังก์ชันค่าใช้จ่ายของระบบแบตเตอรี่ (*TC*) แสดงไว้ในสมการที่ 9 ซึ่งประกอบไปด้วยค่าติดตั้งเริ่มต้น (*IC*) ค่าเปลี่ยนใหม่ (*RC*) และค่าบำรุงรักษาต่อปี (*OC*) โดยใช้การคิดแบบมูลค่าปัจจุบัน (Net present value, NPV) เพื่อแปลงให้ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ตลอดโครงการให้อยู่ในช่วงเวลาเดียวกันคือปัจจุบัน

$$NPV(TC) = IC + NPV(RC) + NPV(OC) \quad (9)$$

โดย

$$IC = k_E \times E_{rated} + k_P \times P_{rated} \quad (10)$$

$$NPV(RC) = \sum_{n=1}^{NR} \frac{IC}{(1+d)^{n \times L_B}} \quad (11)$$

$$NPV(OC) = k_{oc} \times IC \times \frac{(1+d)^{L_P} - 1}{L_p (1+d)^{L_P}} \quad (12)$$

เมื่อ d คืออัตราค่าเงินเฟ้อ

NR คือจำนวนการเปลี่ยนแบตเตอรี่

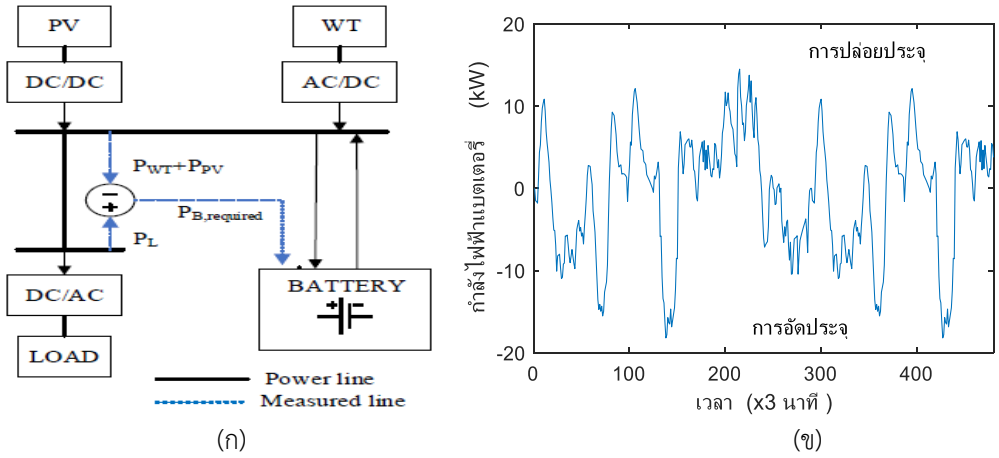
L_p คือระยะเวลาของโครงการ

k_E k_P คือตัวคูณค่าติดตั้งแบตเตอรี่ต่อ kWh และ kW ตามลำดับ

k_{OC} คือตัวคูณค่าบำรุงรักษา กำหนดให้เท่ากับ 5% ของค่าติดตั้ง

กรณีศึกษาและผลการวิจัย

ตัวอย่างของไมโครกริดแบบแยกเดี่ยวที่ใช้เป็นระบบศึกษาในงานวิจัยนี้แสดงในภาพที่ 2ก เพื่อตรวจสอบวิธีการในงานวิจัย ค่ากำลังไฟฟ้ารายวันของโหลด การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมถูกจำลองผลทุกๆ 3 นาที (480 ช่วง) โดยกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่คือผลต่างของโหลดกับการผลิต แสดงไว้ในภาพที่ 2ข และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในไมโครกริดแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยขนาดแบตเตอรี่อย่างต่ำที่ต้องติดตั้งเพื่อให้แบตเตอรี่สามารถทำงานในเงื่อนไขการทำงานที่กำหนดไว้ได้คือพิกัดกำลัง 18.6 kW และพลังงาน 82 kWh นอกจากนี้ยังพิจารณาขนาดที่ใหญ่ขึ้นในช่วง 1-3 เท่าของขนาดพลังงานเพื่อเปรียบเทียบสถานะการประจุจากผลการทำงาน (98, 106, 115, 123, 140, 164, 246 kWh) ตามลำดับ



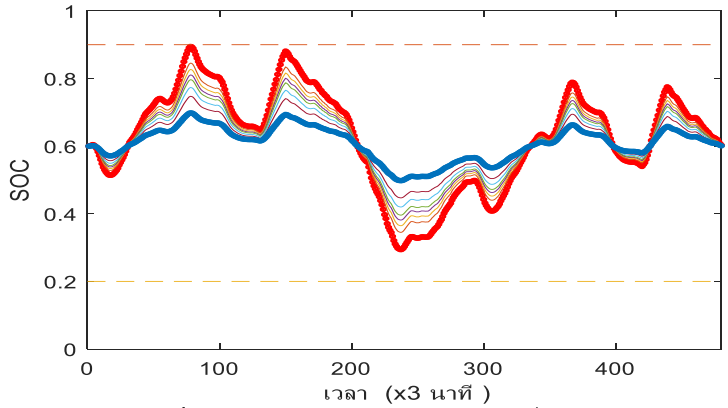
(ก) (ข)

ภาพที่ 2 ก. ไมโครกริดแบบแยกเดี่ยวตัวอย่าง ข. กำลังไฟฟ้ารายวันของแบตเตอรี่

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

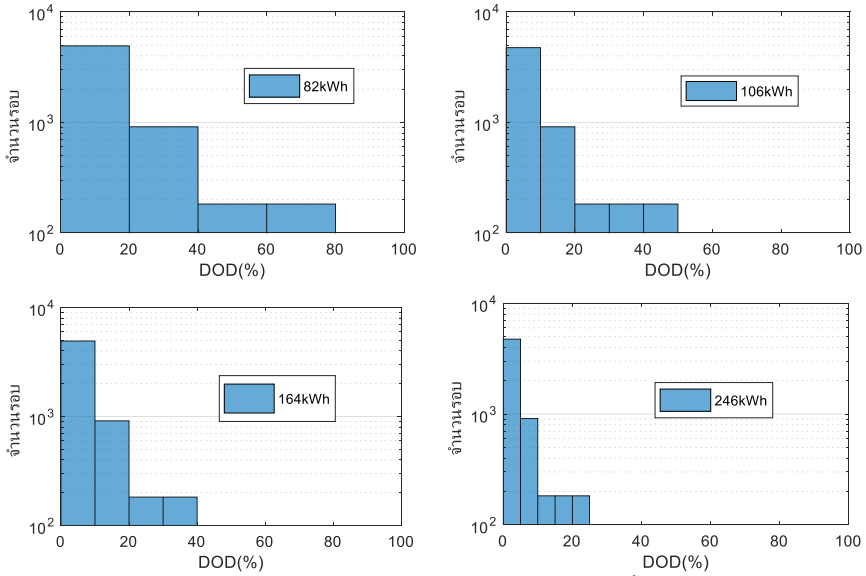
พารามิเตอร์	ค่า	พารามิเตอร์	ค่า
k_E (บาท/kWh)	9600	SOC_{max}/SOC_{min} (%)	90/20
k_P (บาท/kW)	3200	SOC_0 (%)	60
k_{OC} (บาท/kWh/ปี)	320	d (%)	5
η_c / η_d (%)	90/90	ระยะโครงการ (ปี)	20

ขั้นแรกเป็นการจำลองสถานะการปล่อยประจุของแบตเตอรี่ขนาดต่าง ๆ เมื่อทำงานในระบบ โดยแสดงไว้ในภาพที่ 3 แบตเตอรี่ขนาด 82 kWh จะทำงานในช่วง SOC 20-90% ที่กำหนด โดยมีความผันผวนมากที่สุดแสดงด้วยเส้นหนาสีแดง และแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ขึ้นจะมีสถานะการประจุที่ผันผวนน้อยกว่า ลดลงตามขนาดที่ใหญ่ขึ้นตามลำดับ โดยขนาด 246 kWh จะผันผวนน้อยสุดแสดงด้วยเส้นหนาสีน้ำเงิน



ภาพที่ 3 ค่าสถานะการประจุของแบตเตอรี่ขนาดต่าง ๆ

เมื่อทราบค่าสถานะระดับความลึกการปล่อยประจุ (เท่ากับ 1-SOC) ของแบตเตอรี่ขนาดต่าง ๆ แล้ว จะป้อนข้อมูลให้วิธีการนับ Rain-flow ผลการนับแสดงในภาพที่ 4 สังเกตุว่าแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ขึ้นสามารถลดจำนวนรอบการใช้งานที่ค่าความลึกสูง ๆ ได้ (แสดงได้เฉพาะบางขนาด) ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่เพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 4 กราฟสถิติจำนวนรอบการใช้งานด้วยวิธี Rain-flow ของแบตเตอรี่ขนาด 82 106 164 และ 246 kWh

ขั้นต่อมาวิเคราะห์ผลใช้จ่ายของระบบ พบว่าแบตเตอรี่ขนาด 82 kWh มีอายุใช้งาน 1.026 ปี และติดตั้งใหม่จำนวน 19 ครั้งตลอดโครงการ เมื่อคิดค่าใช้จ่ายโดยรวมแบบมูลค่าปัจจุบันแล้วเท่ากับ 5.6623 ล้านบาท สังเกตุว่าขนาดแบตเตอรี่ที่ใหญ่ขึ้นจะทำให้ค่าติดตั้งเริ่มต้นและค่าบำรุงมากขึ้น แต่จะเพิ่มอายุการใช้งาน ลดจำนวนครั้งการติดตั้งใหม่และลดค่าติดตั้งใหม่ลงด้วย โดยพบว่าขนาดแบตเตอรี่ 106 kWh มีค่าใช้จ่ายโดยรวมน้อยที่สุดเท่ากับ 5.429 ล้านบาท ส่วนขนาดแบตเตอรี่ที่ใหญ่เกินไปเช่น 246 kWh ทำให้ค่าใช้จ่ายมากขึ้น เท่ากับ 6.8662 ล้านบาท เนื่องจากข้อจำกัดของจำนวนหน้ากระดาษ ผลของขนาดติดตั้งต่ออายุการใช้งานและค่าใช้จ่ายของระบบสรุปไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ขนาดแบตเตอรี่และค่าใช้จ่ายของระบบ

ขนาด (kWh)	อายุ (ปี)	จำนวนติดตั้งใหม่ (ครั้ง)	ค่าติดตั้งเริ่มต้นและค่าบำรุง (ล้านบาท)	ค่าติดตั้งใหม่ (ล้านบาท)	ค่าใช้จ่ายรวม (ล้านบาท)	เพิ่ม/ลด (%)
82	1.026	19	0.437841	5.2245	5.6623	-
98	1.183	16	0.490485	4.9668	5.4573	-3.62
106	***1.252***	***15***	***0.516806***	***4.9122***	***5.4290***	***-4.12***
115	1.316	15	0.543128	5.0523	5.5954	-1.18
123	1.376	14	0.569450	4.9851	5.5546	-1.90
140	1.485	13	0.622093	5.0389	5.6610	-0.20
164	1.626	12	0.701059	5.2013	5.9023	+4.23
246	2.0	10	0.964276	5.9019	6.8662	+21.0

สรุปผลการวิจัย

จากผลการจำลองที่ได้แสดงให้เห็นความสำคัญของการประเมินอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ก่อนติดตั้งใช้งาน ซึ่งส่งผลต่อค่าใช้จ่ายของระบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เสนอการวิเคราะห์หาขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ พบว่าขนาดที่ใหญ่ขึ้นสามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ออกไปได้และทำให้ค่าติดตั้งใหม่ลดลงเมื่อคิดตามอายุของโครงการ แต่ขณะเดียวกันก็จะเพิ่มค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเริ่มต้นด้วย ขนาดติดตั้งที่เหมาะสมสามารถลดค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบเมื่อรวมทั้งค่าติดตั้งเริ่มต้น ค่าติดตั้งใหม่และค่าบำรุงรักษาได้ถึง 4.12% (106 kWh) เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายของขนาดแบตเตอรี่อย่างต่ำ หากนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ในระบบที่ใหญ่ขึ้นก็จะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จะขึ้นอยู่กับราคาแบตเตอรี่ในแต่ละระบบ ซึ่งมีแนวโน้มที่ลดลงในอนาคต อีกทั้งต้องมีการพัฒนาวิธีการประเมินอายุแบตเตอรี่ให้แม่นยำมากยิ่งขึ้นเพื่อให้การประเมินค่าใช้จ่ายของระบบมีความถูกต้องยิ่งขึ้นไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนทุนการศึกษา และแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่ผู้เขียนสืบค้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Gao, D.W. (2015), **Energy storage for sustainable microgrid**. (Amsterdam, Academic Press).

[2] Sauer, D.U., Wenzl, H. (2008). **Comparison of different approaches for lifetime prediction of electrochemical systems—Using lead-acid batteries as example**. *J. Power Sources,* vol. 176.

[3] Amzalllage, C., Gerey, J.P., Robert, J. L., Bahuaud, J. (1994). **Standardizationof the rainflow counting method for fatigue analysis**. International Journal of Fatigue, vol. 16, no. 4, pp. 287-293.

[4] Beltran, H., et al. (2016). **Ageing of Different Types of Batteries When Enabling a PV Power Plant to Enter Electricity Markets.** IECON-42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society.

[5] Beltran, H., et al.(2012). **Lithium Ion Batteries Ageing Analysis When Used in a PV Power Plant**. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2012, doi:10.1109/isie.2012.6237330.

DE85

การศึกษาลักษณะการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่รถบัสไฟฟ้า

The Study of Charging Characteristics on Electric Bus Battery

ธีระพงษ์ บุญรักษา[1] ณัฐพล ชาติสุข[1] พรหมพักตร์ ดาวัลต์[2] และบุญเรือง มะรังศรี[1*]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี กรุงเทพฯ 10170

บทคัดย่อ

รถบัสไฟฟ้าเริ่มใช้งานอย่างแพร่หลายเพราะสามารถลดมลพิษในเขตเมือง และลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ อย่างไรก็ตามรถบัสไฟฟ้าสามารถวิ่งได้ในระยะทางไกลขึ้นเมื่อมีพลังงานที่เก็บสะสมในแบตเตอรี่เพียงพอและมีการออกแบบสถานีประจุไฟฟ้าที่เหมาะสม ดังนั้นเทคโนโลยีการประจุไฟฟ้าและลักษณะการประจุไฟฟ้าจึงมีความสำคัญมาก บทความนี้เป็นการศึกษาลักษณะการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่รถบัสไฟฟ้า โดยจำลองพฤติกรรมการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนของรถบัสไฟฟ้าที่มีขนาดความจุต่างกัน ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าขนาดความจุของแบตเตอรี่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าและกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่ที่มีขนาดความจุมากกว่าใช้กระแสไฟฟ้าและกำลังงานไฟฟ้ามากกว่าแบตเตอรี่ที่มีค่าความจุน้อย เวลาในการประจุไฟฟ้าของรถบัสไฟฟ้ามีผลต่อกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า ที่ขนาดของแบตเตอรี่เท่ากัน หากใช้เวลาในการประจุไฟฟ้าน้อย ใช้กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ามากกว่าการประจุไฟฟ้าที่เวลานานกว่า สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเมื่อใช้งานรถบัสไฟฟ้า คือ การประจุไฟฟ้าซึ่งมีลักษณะการประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกันและใช้กำลังไฟฟ้าในการประจุไฟฟ้าต่างกันด้วย จึงอาจส่งผลกระทบไปยังระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับสถานีประจุไฟฟ้าที่มีผลกับแรงดันไฟฟ้าของระบบ ดังนั้น การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับสถานีประจุไฟฟ้า รวมถึงการใช้พลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานเข้ามาช่วยปรับปรุงคุณภาพของกำลังไฟฟ้าจึงต้องมีการศึกษาต่อไป

คำสำคัญ: คุณสมบัติการประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่รถบัสไฟฟ้า สถานะการประจุไฟฟ้า

*Corresponding author: Tel.: 089-7177065. E-mail address: bmshvee@sut.ac.th

บทนำ

มลภาวะทางอากาศที่เกิดจากการใช้ยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในนั้นมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งมีผลต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์ในด้านสุขภาพที่สูดหายใจเอาก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าไป อีกทั้งยังส่งผลต่อสภาวะแวดล้อมทำให้เกิดโลกร้อน แต่เมื่อไม่นานมานี้ เริ่มมีการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าได้แก่ ยานยนต์ไฟฟ้าแบบไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle) ซึ่งเป็นยานยนต์ไฟฟ้าแบบผสมผสานที่ขับเคลื่อนด้วยน้ำมันเชื่อเพลิงและไฟฟ้า ยานยนต์ไฟฟ้าแบบปลักอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) การทำงานจะคล้ายกับยานยนต์ไฟฟ้าแบบไฮบริดแต่สามารถประจุไฟฟ้าโดยการเชื่อมต่อยานยนต์ไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้า และยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle) ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียวในการขับเคลื่อน ซึ่งการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าเหล่านี้ สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและทำให้สภาพแวดล้อมในตัวเมืองดีขึ้น [1]

ปัจจุบันนี้ในเมืองใหญ่ ๆ เริ่มให้ความสำคัญกับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อลดมลพิษทางอากาศ รวมถึงการใช้งานรถบัสไฟฟ้าแทนรถเมล์ โดยประเทศจีนเป็นผู้เริ่มพัฒนาและใช้งานรถบัสไฟฟ้าที่มีทั้งรถบัสไฟฟ้าและรถบัสแบบ

ไฮบริด ซึ่งมีบริษัท BYD เป็นผู้ผลิตรถบัสรายใหญ่ที่มีการส่งออกไปขายทั่วโลก [2] ประสิทธิภาพการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่ปัจจัยหลัก คือ แบตเตอรี่ ยานยนต์ไฟฟ้าจะสามารถวิ่งได้ระยะทางที่ไกลย่อมขึ้นอยู่กับขนาดความจุของแบตเตอรี่ด้วยโดยมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการประจุไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้า ไปจนถึงผลกระทบของกระแสฮาร์มอนิกและการความคุมแรงดันไฟฟ้าขณะมีการประจุไฟฟ้า [3] การใช้งานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบตเตอรี่ เช่น สถานะการประจุไฟฟ้า (SOC) สภาวะสุขภาพ (SOH) และความจุที่เหลืออยู่เมื่อแบตเตอรี่เสื่อมลงพารามิเตอร์จะเปลี่ยนไปจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงสภาวะการทำงานทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ มีการศึกษาวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ที่ใช้งานในสภาพต่าง ๆ จำลองการประจุไฟฟ้าและการคายประจุของแบตเตอรี่ตลอดอายุการใช้งานและสามารถติดตามวิวัฒนาการของแบตเตอรี่ได้ตามอายุการใช้งาน [4] รถบัสไฟฟ้ามีข้อจำกัดที่ใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่นานพอสมควรจึงต้องมีวิธีการวางแผนต้นทุนและโครงสร้างพื้นฐานการประจุไฟฟ้าของที่เหมาะสม จากงานวิจัยที่กล่าวมาจึงนำมาสู่การศึกษาลักษณะของการประจุไฟฟ้าของรถบัสไฟฟ้าคุณสมบัติต่าง ๆ ของการประจุไฟฟ้า และวิเคราะห์จากคุณสมบัติการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่มีขนาดความจุไฟฟ้าต่างกัน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ความเป็นมาของรถบัสไฟฟ้า

รถบัสเริ่มมีการใช้งานครั้งแรกในปี ค.ศ. 1826 โดยมีชื่อว่า Omnibuses ที่สร้างขึ้นโดย Stephen Bureau ที่ต้องการรับส่งพนักงานในบริษัท [5]ในช่วงต้นศตวรรษที่ 19 ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเกี่ยวกับการพัฒนาแบตเตอรี่ไฟฟ้าเคมี มอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จึงทำให้เป็นการเริ่มต้นขั้นแรกของยานยนต์มอเตอร์ไฟฟ้าทำให้มีการปฏิวัติการเดินทางในเมืองโดยระบบสาธารณะเป็นรถบัสไฟฟ้าแบบ Trams and Trolleybusesดังแสดงในภาพที่1 ปัจจุบันแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพในการใช้งานในรถบัสไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยชุดแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ที่ให้พลังงานตลอดทั้งวันสำหรับการทำงานหรือจากสถานีประจุต้นทางถึงปลายทาง[6], [7]



(ก) (ข)

ภาพที่ 1(ก) รถราง (Trams) และ (ข) รถโทรลลี่ย์บัส (Trolleybuses) [6], [7]

ระบบประจุไฟฟ้าสำหรับรถบัสไฟฟ้า

รถบัสไฟฟ้านั้นมีการพัฒนาออกมาใช้งานในหลายรูปแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ผลิตแต่ละรายรวมถึงความต้องการใช้งานยานยนต์นั้นด้วย ซึ่งการจ่ายไฟฟ้าหรือการประจุไฟฟ้าให้กับรถบัสไฟฟ้ามีอยู่หลายเทคนิค ดังนี้

การประจุไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับรถบัสไฟฟ้า ระบบการประจุจะเป็นการนำระบบไฟฟ้า 1 เฟส หรือระบบไฟฟ้า 3 เฟส ต่อเข้ากับหัวชาร์จและเสียบเข้ากับเต้ารับของตัวรถบัสไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งหัวชาร์จจะมีมาตรฐานกำกับอยู่ตามประเทศของผู้ผลิตยานยนต์ ซึ่งเป็นการประจุไฟฟ้าแบบธรรมดา

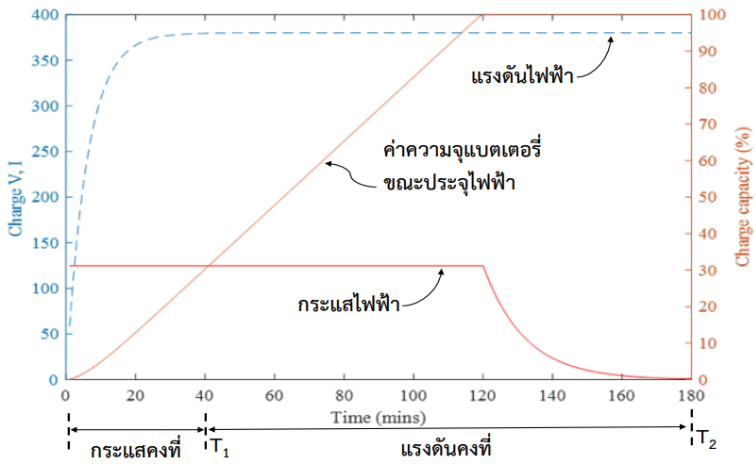
การประจุไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับรถบัสไฟฟ้าเป็นการประจุแบบเร็วในระบบไฟฟ้ากระแสตรง หรือ DC Fast Charging โดยการประจุนั้นมีอยู่หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการประจุไฟฟ้าด้วยหัวชาร์จแบบธรรมดา (Connector) เป็น

การเชื่อมต่อรถบัสไฟฟ้าเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านสายเคเบิล การประจุไฟฟ้าโดยใช้หัวชาร์จแบบแพนโทกราฟ (Pantograph) และการประจุไฟฟ้าในระบบการเหนี่ยวนำ (Wireless)

การเปลี่ยนแบตเตอรี่ (Battery Swapping) คุณลักษณะของรถบัสไฟฟ้าที่เหมาะสมในเมือง คือ รถบัสที่มีระบบการสลับเปลี่ยนแบตเตอรี่ทำให้ง่ายต่อการออกแบบเส้นทางเดินรถเพื่อให้รถบัสไฟฟ้ามีการประจุไฟฟ้าอย่างรวดเร็วและเพื่อหลีกเลี่ยงการเสียเวลาที่สถานี ดังนั้นวิธีการการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่จึงเกิดขึ้น โดยส่วนประกอบของระบบการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ของรถบัสไฟฟ้ามีส่วนประกอบคือ สถานีสับเปลี่ยนแบตเตอรี่รถบัสไฟฟ้า (Battery Swapping Station) รถบัสไฟฟ้าที่มีระบบการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ (Battery Swappable Smart Electric Bus) และระบบควบคุมของรถบัสไฟฟ้าที่ใช้ในการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ (Smart Bus Information Service) [8]

แบตเตอรี่สำหรับรถบัสไฟฟ้า

การใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า แบตเตอรี่เป็นส่วนประกอบหลักในการให้พลังงานไฟฟ้าและเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญที่สุด แบตเตอรี่ไฟฟ้า ประกอบไปด้วยเซลล์ไฟฟ้า ที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า มีขั้วไฟฟ้าบวกและลบเชื่อมด้วยสารละลายอิเล็กโตรไลต์ปฏิกิริยาเคมีระหว่างขั้วไฟฟ้าและสารละลายอิเล็กโตรไลต์จะสร้างไฟฟ้ากระแสตรง แบตเตอรี่ที่มีใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน เช่น แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery) และลิเทียมไอออน (Lithium ion battery)แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนถูกนำมาใช้ในปี 1990 และใช้ลิเทียมทรานซิชันออกไซด์โลหะสำหรับขั้วบวกและคาร์บอนที่เป็นลิเทียมสำหรับขั้วลบ อิเล็กโทรไลต์เป็นสารละลายอินทรีย์เหลวหรือของแข็งพอลิเมอร์ มีพลังงานเฉพาะ 90 Wh/kg ซึ่งแบตเตอรี่แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มีกำลังงานเฉพาะเพียง 35 Wh/kgเห็นได้ว่าหากเราใช้งานแบตเตอรี่ที่มีขนาดกำลังงานเฉพาะเท่ากัน แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดจะมีน้ำหนักมากกว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนถึง 3 เท่า โดยทั่วไปแล้วความต้องการประจุไฟฟ้าของยานยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับลักษณะการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ซึ่งแตกต่างกันไปตามชนิด ขนาด และอุณหภูมิใช้งาน[9] ภาพที่ 2แสดงคุณสมบัติการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน



ภาพที่ 2 คุณสมบัติการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

วิธีการวิจัย

โมเดลความต้องการประจุไฟฟ้าของรถบัสไฟฟ้า

การศึกษาลักษณะการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่รถบัสไฟฟ้า เมื่อมีการประจุไฟฟ้าของรถบัสไฟฟ้าแบตเตอรี่จะถูกประจุที่แรงดันคงที่และกระแสคงที่ มีลักษณะความจุเพิ่มขึ้นจนถึง 100% ตามเวลาการประจุไฟฟ้า [10] จากรูปที่ 2 แสดงคุณสมบัติการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โดยมีรูปแบบการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่กระแสคงที่โดยประมาณในช่วงเวลาที่ 0 – T_1คือ

$$v(t) = V_n\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_v}}\right) \quad (1)$$

$$i(t) = I_n \quad (2)$$

รูปแบบการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่แรงดันไฟฟ้าคงที่โดยประมาณในช่วงเวลา$T_1 - T_2$คือ

$$v(t) = V_n \quad (3)$$

$$i(t) = I_n e^{-\frac{t}{\tau_i}} \quad (4)$$

เมื่อ V_nคือ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่รถบัสไฟฟ้า τ_vคือค่าคงที่เวลาของแรงดันที่ประจุไฟฟ้า τ_iคือ ค่าคงที่เวลาของกระแสที่ประจุไฟฟ้าI_sคือ ค่าคงที่กระแสไฟฟ้าที่อยู่ในรูปเอกซ์โพเนนเชียลจนกว่าแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็มดังนั้น กำลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ระหว่างการประจุไฟฟ้าสามารถคำนวณได้โดย

$$p(t) = i(t) \times v(t)$$

$$p(t) = \begin{cases} V_n I_n\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_v}}\right) 0 \le t \le T_1 \\ V_n I_n e^{-\frac{t}{\tau_i}} T_1 \le t \le T_2 \end{cases} \quad (5)$$

ดังนั้น จะได้พลังงานทั้งหมดที่แบตเตอรี่ถูกประจุ คือ

$$w = \int p(t)\,dt = \int_0^{T_1} V_n I_n\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_v}}\right) dt + \int_{T1}^{T2} V_n I_n e^{-\frac{t}{\tau_i}}\,dt = KI_n \quad (6)$$

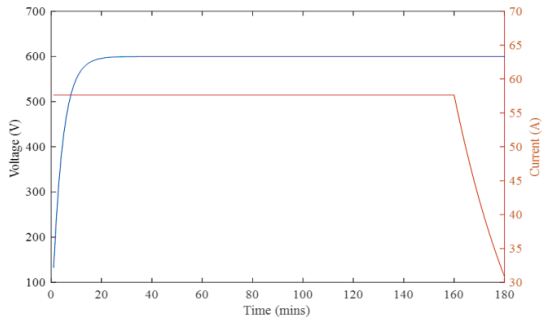
กรณีศึกษา

บทความนี้ทำการจำลองเพื่อแสดงให้เห็นถึงลักษณะการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ระบัสไฟฟ้าในกรณีศึกษาใช้แบตเตอรี่ที่ขนาดของค่าความจุแตกต่างกัน โดยใช้รถบัสไฟฟ้าProterra Transit bus แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 90 kWh และรถบัส Primove E-Bus แบตเตอรี่ 246 kWhสมมุติให้ช่วงเวลาของการประจุไฟฟ้าที่กระแสและแรงดันคงที่มีค่าเท่ากับ 5 เท่าของค่าคงที่เวลา [11], [12] จะได้

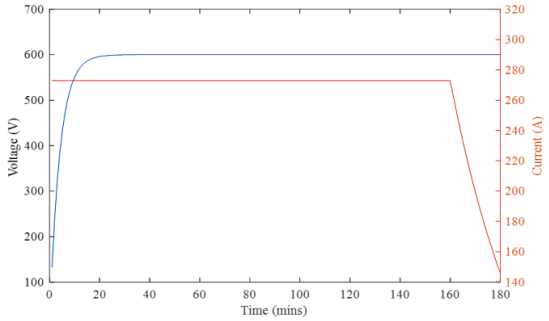
$$t_{con} = 5\tau \quad (7)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ทำการจำลองโดยใช้ประแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์หากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังงานไฟฟ้าขณะมีการประจุไฟฟ้าของรถบัสที่มีขนาดของแบตเตอรี่แตกต่างกัน ภาพที่ 3แสดงลักษณะการประจุไฟฟ้าของรถบัสไฟฟ้าที่เวลาประจุ 3 ชั่วโมง โดยภาพที่ 3(ก) เป็นลักษณะการประจุไฟฟ้าของรถบัส Primove E-Bus ขนาดแบตเตอรี่ 90 kW และภาพที่3 (ข) ลักษณะการประจุไฟฟ้าของรถบัส Proterra Transit bus ขนาดแบตเตอรี่ 426 kW เห็นได้ว่าขนาดของเป็นแบตเตอรี่เพิ่มมากขึ้น กระแสไฟฟ้าในการประจุมากขึ้นตาม ในเวลาประจุไฟฟ้าเท่ากัน

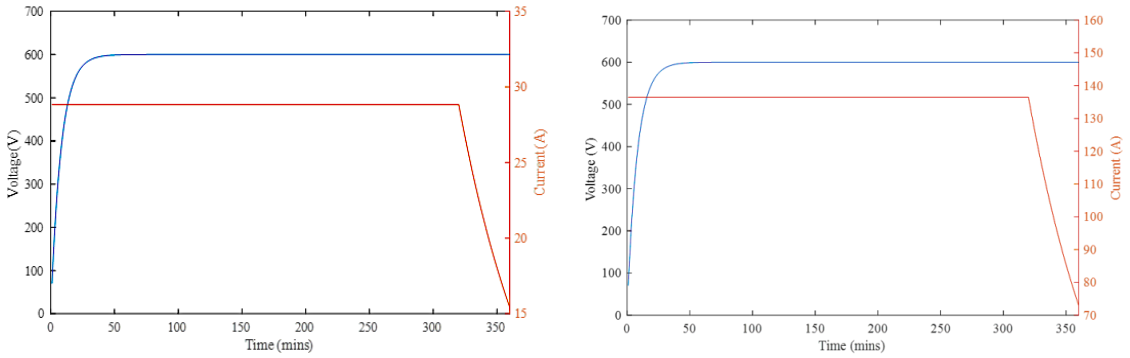


(ก)



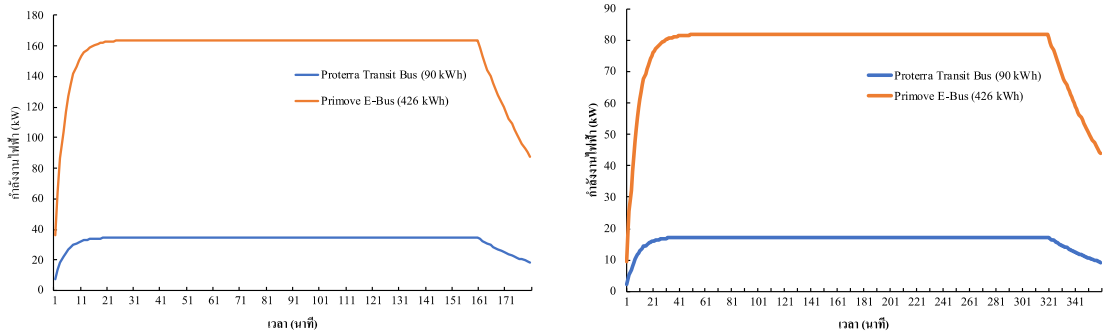
(ข)

ภาพที่ 3 ลักษณะกระแสและแรงดันขณะประจุไฟฟ้าที่เวลา 3 ชั่วโมง (ก) แบตเตอรี่ 90 kW (ข) แบตเตอรี่ 426 kW



(ก) (ข)

ภาพที่ 4 ลักษณะกระแสและแรงดันขณะประจุไฟฟ้าที่เวลา 6 ชั่วโมง (ก) แบตเตอรี่ 90 kW (ข) แบตเตอรี่ 426 kW



(ก) (ข)

ภาพที่ 5 ลักษณะของกำลังไฟฟ้าขณะประจุไฟฟ้า (ก) เวลาประจุ 3 ชั่วโมง (ข) เวลาประจุ 6 ชั่วโมง

ภาพที่ 4แสดงลักษณะการประจุไฟฟ้าของรถบัสไฟฟ้าที่เวลาประจุ 6 ชั่วโมงซึ่งเป็นการประจุไฟฟ้าแบบทั่วไป เมื่อรถบัสเข้ามาที่สถานี โดยมีแรงดันในการประจุไฟฟ้าเท่ากันจะเห็นว่ากระแสไฟฟ้าในการกระจุไฟฟ้าน้อยกว่าการประจุที่เวลา 3 ชั่วโมง ภาพที่ 5 แสดงลักษณะของกำลังไฟฟ้าขณะประจุไฟฟ้า ภาพที่ 5 (ก) แสดงลักษณะของกำลังไฟฟ้าขณะประจุไฟฟ้าที่เวลา 3 ชั่วโมง และภาพที่ 5 (ข) แสดงลักษณะกำลังไฟฟ้าขณะประจุไฟฟ้าที่เวลา 6 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้เวลาประจุไฟฟ้ามากขึ้น กำลังงานไฟฟ้าในการประจุไฟฟ้าน้อยลง และหากต้องการประจุไฟฟ้าโดยใช้เวลาน้อยเราต้องเพิ่มกระแสไฟฟ้าสำหรับการประจุไฟฟ้าจึงเป็นผลให้กำลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 1การเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าและกำลังงานไฟฟ้า

ประเภทรถบัสไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า (A)		กำลังไฟฟ้า (kW)		แรงดันไฟฟ้า (V)
เวลาในการประจุไฟฟ้า	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	6 ชั่วโมง	
Primove E-Bus (90 kWh)	57.66	28.83	34.59	17.30	600
Proterra Transit bus (426 kWh)	272.90	136.45	163.74	81.87	

ตารางที่ 2แสดงการเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าและกำลังงานไฟฟ้าขณะประจุไฟฟ้าที่เวลา 3 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง ของรถบัสไฟฟ้า Primove E-Bus ขนาดแบตเตอรี่ 90 kW และ Proterra Transit bus ขนาดแบตเตอรี่ 426 kW จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่เวลาประจุไฟฟ้าเท่ากัน แบตเตอรี่ที่มีขนาดความจุมากกว่าจะใช้กระแสไฟฟ้าและ

กำลังงานไฟฟ้ามากกว่าแบตเตอรี่ที่มีค่าความจุน้อย ที่ขนาดของแบตเตอรี่เท่ากัน หากใช้เวลาในการประจุ 3 ชั่วโมง จะใช้กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ามากกว่าการประจุไฟฟ้าที่ 6 ชั่วโมง

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้เสนอการศึกษาลักษณะการประจุไฟฟ้าของรถบัสไฟฟ้าที่มีขนาดความจุแบตเตอรี่ที่แตกต่างกัน ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า ขนาดความจุแบตเตอรี่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าและกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่ที่มีขนาดความจุมากกว่าใช้กระแสไฟฟ้าและกำลังงานไฟฟ้ามากกว่าแบตเตอรี่ที่มีค่าความจุน้อย เวลาในการประจุไฟฟ้าของรถบัสไฟฟ้ามีผลต่อกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า ที่แบตเตอรี่ขนาดเท่ากัน หากเวลาในการประจุไฟฟ้าน้อยใช้กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ามากกว่าการประจุไฟฟ้าที่เวลานานกว่า สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเมื่อใช้งานรถบัสไฟฟ้าหรือยานยนต์ไฟฟ้า คือ การประจุไฟฟ้าซึ่งมีลักษณะการประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ใช้กำลังไฟฟ้าในการประจุไฟฟ้าต่างกัน ด้วยจึงอาจส่งผลกระทบไปยังระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับสถานีประจุไฟฟ้าที่มีผลกับแรงดันไฟฟ้าของระบบ ดังนั้น การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับสถานีประจุไฟฟ้า รวมถึงการใช้พลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานเข้ามาช่วยปรับปรุงคุณภาพของกำลังไฟฟ้าจึงต้องมีการศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้การสนับสนุนในงานวิจัยนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] วรรณายงพิศาลภพ. (2560). **ประเทศไทยกับการพัฒนาเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า.**Research Intelligence: KrungsriResearch.

[2] Pintu Saini and P. K. Sarkar, **Feasibility of Electric Bus Operationin Urban Areas, Case Study-Delhi**, สืบค้นเมื่อ 21กันยายน2561,http://urbanmobilityindia.in/Upload/Conference/a409d3cd-25b7-4538-85e5-5a848f9cd290.pdf.

[3] Marco S. W. Chan, K.T. Chau and C.C. Chan, **Modeling of Electric Vehicle Chargers**, 1998 IEEE, สืบค้นเมื่อ21กันยายน2561, จาก https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=724282&tag=1.

[4] Garche, J., &Jossen, A. (2016). **Monitoring and safety tests of batteries: From state of charge (SOC) and health (SOH) to misuse, abuse and crash**.

[5] Knowledge of London, 2014., **The London Omnibus**, สืบค้นเมื่อ 21กันยายน2561, จาก http://www.knowledgeoflondon.com/buses.html [Accessed November 22, 2014].

[6] Veasey, C., (2014), **What is a Trolleybus**, สืบค้นเมื่อ 21กันยายน2561, จาก http://www.trolleybus.net/subhtml/trams-trolleybuses.htm [Accessed November 21, 2014].

[7] Hutchinson, 2005. Simon Fraser University, **Boston Trolleybus Photos**, สืบค้นเมื่อ 21กันยายน2561, จาก http://www.sfu.ca/person/dearmond/chain/Boston_photos-5.htm [Accessed November 22, 2014].

[8] **โครงการศึกษาแนวทางการจัดหารถโดยสารระบบไฟฟ้า จำนวน 200 คัน.**(2559). รายงานรายละเอียดผลการศึกษาโครงการ. องค์การขนส่งมวลชลกรุงเทพ.

[9] Larminie, J. and Lowry, J. P. (2012). **Electric vehicle technology explained**. West Sussex, J. Wiley.

[10] Boribun, B., Paolaor, P. and Kulworawanichpong, T.,**Impact of electric bus charging in power distribution systems**, ANBRE13, 25-28 August, 2013.

[11]**THE PROTERRA TRANSIT VEHICLE**.สืบค้นเมื่อ 21กันยายน2561.จากhttps://www.proterra.com.

[12] **PRIMOVE E-BUS**.สืบค้นเมื่อ 21กันยายน2561.จาก http://primove.bombardier.com/fileadmin/primove/content/GENERAL/PUBLICATIONS/English/PT_PRIMOPR_Datasheet_2015_Mannheim_EN_300dpi.pdf.

DE86

การปรับปรุงการควบคุมความถี่โหลดที่ใช้ระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสม โดยใช้แบตเตอรี่ที่มีตัวควบคุมแบบ PI

Improving Load Frequency Control for Hybrid Renewable Energy by Battery with PI Control

นิธิกร จันทร์หัวโทน ธีระพงษ์ บุญรักษา และบุญเรือง มะรังศรี*
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

บทคัดย่อ

การเบี่ยงเบนของความถี่เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นอย่างมากสำหรับระบบไฟฟ้าที่ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานแบบผสมผสาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการควบคุมความถี่โหลดของระบบไฟฟ้าที่ประกอบไปด้วยโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากกังหันลม และเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แบตเตอรีซึ่งถูกควบคุมด้วยระบบควบคุม PI เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมความถี่โหลดและใช้ PID-Tuner สำหรับหาค่าอัตราขยายที่เหมาะสมของระบบควบคุม PI โดยการจำลองนี้จะทดสอบใน 3 กรณี (1) โหลดลดลง 20 % (2) โหลดลดลง 20 % และเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น 20 % (3) เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น 20 % และกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น 20 % โดยการจำลองทั้งหมดถูกทำในโปรแกรม MATLAB/Simulink ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า ในระบบที่มีแบตเตอรี่ที่ถูกควบคุมด้วยระบบควบคุม PI นั้นสามารถทำให้ความถี่กลับสู่สเถียรภาพได้เร็วกว่าทั้ง 3 กรณีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีควบคุมแบบดั้งเดิมที่ไม่มีแบตเตอรี่

คำสำคัญ: การควบคุมความถี่โหลด ระบบผลิตกำลังไฟฟ้าแบบผสม ระบบควบคุมPI

*Corresponding author: Tel.: 089-7177065. E-mail address: bmshvee@sut.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันการใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนสำหรับผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าลดลง เนื่องจากพลังงานที่ผลิตได้นั้นมีความไม่แน่นอน ความเร็วลมเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของกังหันลมซึ่งจะเห็นได้ว่าแม้ในที่เดิม ๆ ความเร็วของลมนั้นก็ยังมีความผันผวนส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นผันผวนตามไปด้วย พลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพแวดล้อมด้วยเช่นกัน [5,6] ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่จะควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งกำเนิดแบบผสมโดยไม่ใช้เทคนิคการควบคุมขั้นสูงเนื่องจากมีความไม่สม่ำเสมอของพลังงานที่ผลิตได้จากธรรมชาติ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งกำเนิดพลังงานหมุนเวียนอาจจะส่งผลทำให้เกิดส่วนต่างของกำลังไฟฟ้าในโครงข่ายไฟฟ้าหลัก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ความถี่เกิดความผันผวน และหากมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดทางไฟฟ้าขนาดใหญ่ก็จะส่งผลต่อความถี่ด้วยเช่นกัน

ในระบบไฟฟ้าสมัยใหม่ การควบคุมการผลิตไฟฟ้าแบบอัตโนมัตินั้นเป็นหนึ่งในข้อที่สำคัญที่สุดสำหรับการบริการทางไฟฟ้า เป้าหมายหลักของการควบคุมการผลิตไฟฟ้าแบบอัตโนมัติคือการรักษาสมดุลกำลังไฟฟ้าระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และใช้ไป เพื่อให้ความถี่เบี่ยงเบนน้อยที่สุดมีหลายวิธีการที่ถูกใช้สำหรับรักษาความถี่โหลดแบบคงที่ในงานวิจัยเหล่านั้นประกอบไปด้วย การควบคุมความถี่แบบราบเรียบ การปรับปรุงกำลังไฟฟ้าที่สายเชื่อมของระบบ และ

การควบคุมความราบเรียบของกำลังไฟฟ้าที่สายเชื่อมของระบบ การควบคุมโหลดจะถูกใช้เพื่อดูดซับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในกรณีที่ระบบมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน

ในการศึกษานี้ แบตเตอรี่ที่ถูกควบคุมโดยระบบควบคุม PI จะถูกใช้เพื่อควบคุมความถี่โหลดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมความถี่โหลด พร้อมเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบดั้งเดิม [7] โดยค่าอัตราขยายจะหาได้จาก PID-Tuner ซึ่งระบบที่ถูกนำมาทดสอบจะประกอบไปด้วยโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน กังหันลมผลิตไฟฟ้า และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้ถูกแบ่งเป็น 5 หัวข้อ (1) บทนำ (2) รายละเอียดระบบไฟฟ้า (3) วิธีการออกแบบระบบควบคุม (4) การจำลองและผล (5) สรุป

รายละเอียดระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าแบบผสมประกอบด้วย โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ฟาร์มกังหันลม และ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยส่วนเบี่ยงเบนความถี่จะพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าจากองค์ประกอบทั้งหมดในระบบโดยค่าส่วนเบี่ยงเบนความถี่นี้จะต้องรักษาให้อยู่ที่ศูนย์เสมอ ด้วยเงื่อนไขที่ว่ากำลังไฟฟ้าในระบบมีความไม่แน่นอน

แบบจำลองโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน

สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจะถูกออกแบบใน Simulink ในรูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอนของสมการที่สอดคล้องกัน ประกอบด้วย ระบบควบคุมความเร็ว รูปแบบของกังหัน เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และโหลด โดยระบบควบคุมความเร็วของกังหันจะเป็นตัวควบคุมให้เกิดส่วนเบี่ยงเบนความถี่น้อยที่สุด โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบควบคุมความเร็วสามารถเขียนได้ดังนี้ [1]

$$\Delta Y_E(\mathrm{s}) = [\Delta \mathrm{P}_C(\mathrm{s}) - \Delta F(\mathrm{s})]\left[\frac{K_{SG}}{1+sT_{SG}}\right] \tag{1}$$

สัญญาณคำสั่ง $\Delta \mathrm{P}_C(\mathrm{s})$ จะเป็นตัวเริ่มดำเนินการปรับควบคุมความเร็วของกังหันเพื่อไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ผลิตกำลังไฟฟ้าให้สอดคล้องกับโหลด ตัวอย่างเช่น เมื่อโหลดลดลง กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำเป็นต้องลดลงด้วย ดังนั้นระบบควบคุมความเร็วจะดำเนินการสั่งการให้กังหันหมุนช้าลงจนกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลงพอดีกับโหลด โดยแบบจำลองเพื่อแสดงผลการเปลี่ยนแปลงความถี่ $\Delta F(\mathrm{s})$ ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2 [2]

$$\Delta F(\mathrm{s}) = [\Delta \mathrm{P}_G(\mathrm{s}) - \Delta \mathrm{P}_D(\mathrm{s})]\left[\frac{K_{PS}}{1+sT_{PS}}\right] \tag{2}$$

แบบจำลองกังหันลม

กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมนั้นจะขึ้นกับความเร็วลมเป็นหลักซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้ [1]

$$P_{WG} = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3 \tag{3}$$

ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนของกังหันลมสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 4

$$G_W = \frac{\Delta P_{WG}}{\Delta P_W} = \frac{K_W}{1+sT_W} \tag{4}$$

แบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์

กำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิโดยสามารถเขียนอธิบายได้ดังนี้ [3]

$$P_{PV}(t) = P_{STC}\left(\frac{J(t)}{J_{STC}}\right)\left[1-\alpha\Delta T\right] \quad (5)$$

เนื่องจากอุณหภูมินั้นส่งผลไม่มากในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเขียนได้ดังนี้

$$G_{PW} = \frac{\Delta P_{PV}}{\Delta J} = \frac{1}{1+sT_{PV}} \quad (6)$$

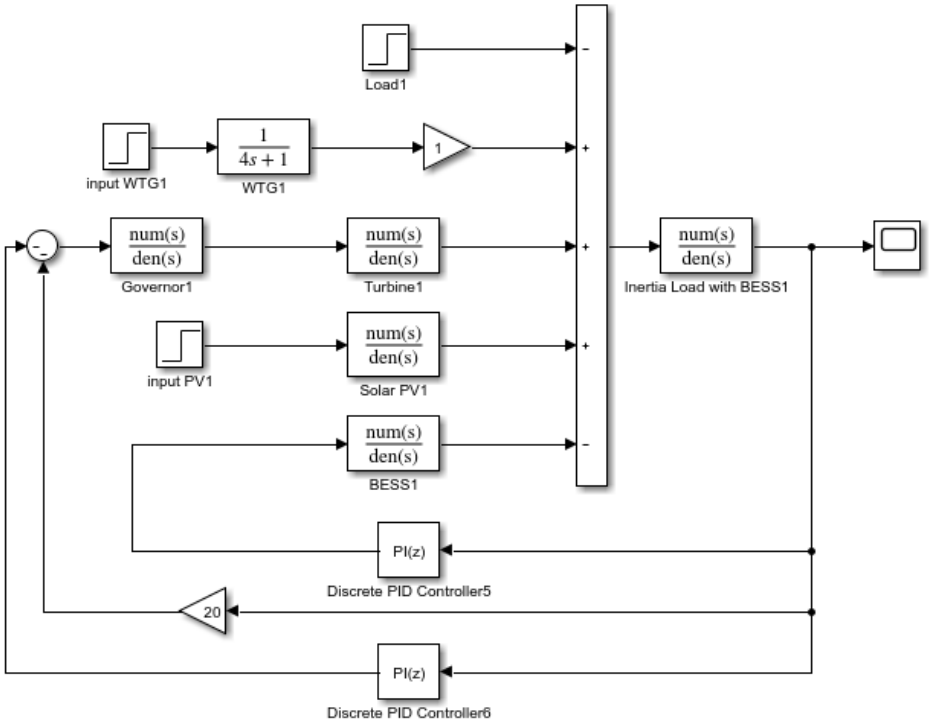
วิธีการออกแบบระบบควบคุม

ในการควบคุมนี้จะใช้ระบบควบคุม PI มาควบคุมแบตเตอรี่เพื่อรักษาให้เกิดการเบี่ยงเบนของความถี่มีค่าน้อยที่สุดซึ่งในส่วนนี้จะประกอบด้วยการออกแบบค่าอัตราขยายของระบบควบคุม PI และโมเดลจำลองของระบบทั้งหมด ระบบควบคุม PI มีค่าคงที่อยู่ 2 ตัวคือ Kp และ Ki ที่ต้องกำหนดค่าเข้าไป การเลือกค่าที่เหมาะสมจะทำให้ระบบสมดุลและได้ผลลัพธ์ตรงตามต้องการมากที่สุด ซึ่งก็คือการจูน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ [4]

- ออกแบบระบบในรูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอน
- พล็อตกราฟผลลัพธ์ที่ได้จากฟังก์ชันถ่ายโอนเพื่อสังเกตช่วงเวลาแต่ละช่วง
- ทำการปรับ Response Time และ Transient Behavior เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามต้องการ
- หลังจากได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการแล้วกดอัพเดทเพื่อให้ได้ค่า K_p และ K_I ออกมา

การจำลองและผล

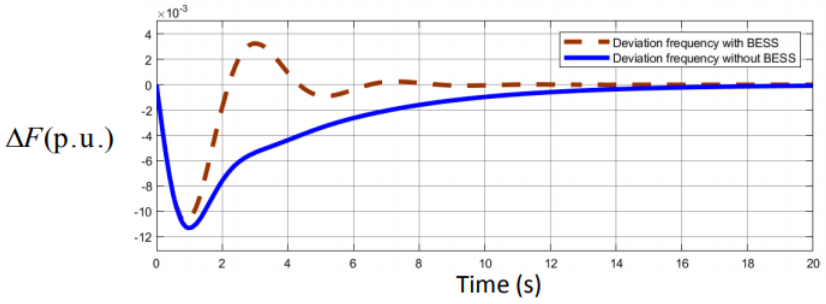
โดยแบบจำลองของระบบที่ทำการศึกษาจะแสดงในรูปที่ 1 โดยค่าอัตราขยายของตัวควบคุม PI จะแสดงในตารางที่ 1ในการจำลองนี้จะแบ่งเป็น 3 กรณีที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบควบคุม PI คือ กรณีที่ 1 โหลดลงลง 20% กรณีที่ 2 โหลดลดลง 20% และ ความเข้มแสงแดดเพิ่มขึ้น 20% กรณีที่ 3 ความเข้มแสงแดดเพิ่มขึ้น 20% และ ความเร็วลมเพิ่มขึ้น 20% ซึ่งผลที่ได้จะแสดงในรูปที่ 2



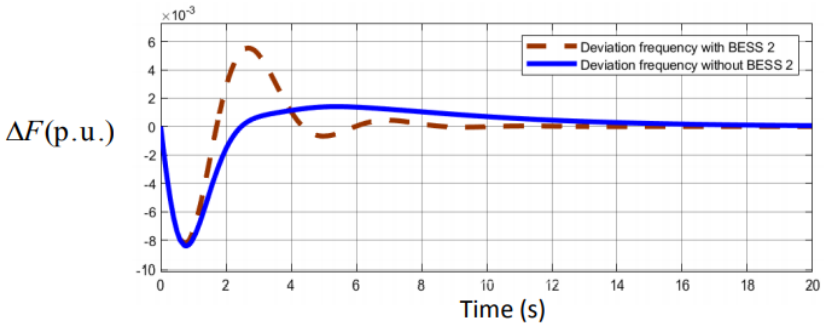
ภาพที่ 1 โมเดลจำลองของระบบที่มีการติดตั้งแบตเตอรี่และระบบควบคุม PI

ตารางที่ 1 ค่าอัตราขยายของระบบควบคุม PI

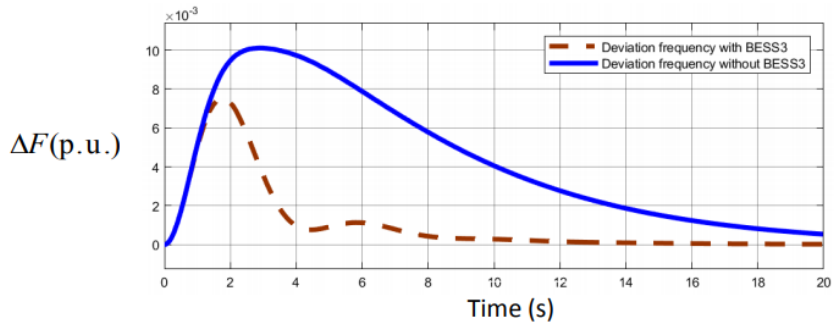
ค่าอัตราขยาย	ควบคุมโรงไฟฟ้าความร้อน กรณีไม่มีแบตเตอรี่	ควบคุมโรงไฟฟ้าความร้อน กรณีมีแบตเตอรี่	ควบคุมแบตเตอรี่
K_P	0.88	1.6	2.1
K_I	4.40	8	10.53



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 2 ผลการเปรียบเทียบการควบคุมความถี่ (ก) กรณีที่ 1 โหลดลงลง 20% (ข) กรณีที่ 2 โหลดลดลง 20% และความเข้มแสงแดดเพิ่มขึ้น 20% (ค) กรณีที่ 3 ความเข้มแสงแดดเพิ่มขึ้น 20% และ ความเร็วลมเพิ่มขึ้น 20%

จากภาพที่ 2 แสดงผลการจำลองของการปรับปรุงการควบคุมความถี่ที่ได้นำเสนอในโปรแกรม MATLAB/Simulink ซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบผสม โหลด และแบตเตอรี่ ซึ่งใช้สำหรับดูดซับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เกินจากแหล่งพลังงานทดแทนในช่วงเวลาที่โหลดน้อย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าหลังจากได้เพิ่มแบตเตอรี่ที่มีระบบควบคุม PI เข้าไปแล้วนั้นทำให้ความถี่กลับสู่สเถียรภาพได้เร็วขึ้นทั้ง 3 กรณี ที่มีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจากกังหันลม เซลล์แสงอาทิตย์และโหลด

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้นำเสนอการจำลองเปรียบเทียบการควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ใช้แหล่งกำเนิดพลังงานแบบผสมระหว่างระบบที่มีแบตเตอรีที่ถูกควบคุมด้วยระบบควบคุมPIกับแบบไม่มีแบตเตอรี โดยหาอัตราขยายของระบบควบคุมPI โดยใช้ PID-Tuner ซึ่งประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่ได้นำเสนอไปนั้นเห็นได้ชัดว่ามีประสิทธิภาพในการควบคุมความถี่โหลดดีกว่าในกรณีไม่ไม่มีแบตเตอรี่และระบบควบคุมPIที่เพิ่มเข้ามา นอกจากนี้ในการศึกษาต่อไปยังสามารถนำการควบคุมแบบอื่นมาประยุกต์ในการควบคุมแบตเตอรี่เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการควบคุมความถี่โหลดให้ดียิ่งขึ้นไปอีก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนด้านเอกสารและเว็บไซต์ที่ใช้ศึกษาประกอบการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] N. K. Kumar and I.E.S. Naidu, “Load Frequency Control for A Multi Area Power System Involving Wind, Hydro and Thermal Plants,” International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, vol. 3, no. 1, pp.1008-1013, 2014.

[2] P. Kundur, Power system stability and control, EPRI Power System Engineering Series, McGrow -Hill Inc, New York, 1994.

[3] A. Datta, G. Bhattacharya, D. Mukherjee, and H. Saha, "Modeling and simulationbased performance study of a single-stage transformerless grid-connected PVsystem in Indian ambient conditions", International Journal of Ambient Energy, vol. 37, no. 2, pp.172-183, 2016.

[4] T. (2014, September 05). PID Tuning. Retrieved from https://thaicontrol.wordpress.com/2011/11/27/pid-tuning/

[5] Solar Forecasting: Methods, Challenges, and Performance. (n.d.). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/283240263_Solar_Forecasting_Methods_Challenges_and_Performance

[6] WIND ENERGY FORECASTING - MIT. (n.d.). Retrieved from http://web.mit.edu/windenergy/windweek/Presentations/Brower_MIT_Wind_Workshop.pdf

[7] Saxena, S., & Hote, Y. V. (2018). PI Controller Based Load Frequency Control Approach for Single-Area Power System Having Communication Delay. IFAC-PapersOnLine, 51(4), 622-626. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.06.165

DE87

การศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

A Study of Fast Charging Characteristics of Electric Vehicles in Power Distribution System

ณัฐพล ชาติสุข[1] และบุญเรือง มะรังศรี[2*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

บทคัดย่อ

รถยนต์ไฟฟ้าจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เสริมหรือสถานีอัดประจุไฟฟ้า เพื่อใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่บนรถยนต์ไฟฟ้า การอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้ามีข้อเสียคือ ใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้านาน เพื่อแก้ปัญหาข้างต้น การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่า 30 นาที สามารถลดระยะเวลาในการอัดประจุไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงในการอัดประจุไฟฟ้า ดังนั้น บทความนี้ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากการบริโภคพลังงานไฟฟ้าจากการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าอาจส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ บทความนี้จึงเสนอกรณีศึกษา 3 กรณี เพื่อศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา 9 และตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน พบว่า การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าและการสูญเสียพลังงานในระบบจำหน่ายไฟฟ้าซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจน

คำสำคัญ: การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า พลังงานสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

*Corresponding author: Tel.: 089-7177065. E-mail address: bmshvee@sut.ac.th

บทนำ

รถยนต์ไฟฟ้าถือเป็นตัวเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาทดแทนรถยนต์แบบเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อแก้ปัญหาของการก่อมลพิษทางอากาศและทางเสียงของรถยนต์แบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน เนื่องจากข้อดีเด่นชัดของรถยนต์ไฟฟ้าไม่ก่อให้เกิดมลพิษและมิตรกับสิ่งแวดล้อม ข้อเสียของรถยนต์ไฟฟ้าคือ ใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้านานเมื่อเทียบกับรถยนต์แบบเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้เวลาในการเติมน้ำมันไม่กี่นาที เพื่อให้รถยนต์ไฟฟ้าใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าให้ใกล้เคียงกับรถยนต์แบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าช่วยให้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าใกล้เคียงกับรถยนต์แบบเครื่องยนต์สันดาปภายในใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าน้อยกว่า 30 นาที ซึ่งขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้า การอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นเสมือนการเพิ่มโหลดขนาดใหญ่ให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ จากการศึกษา [1-2] ได้เสนอวิธีการหาตำแหน่งที่ตั้งที่ของสถานีอัดประจุไฟฟ้า เพื่อลดผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า ลดค่าใช้จ่ายการสร้างสถานีอัดประจุไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า พบว่า การแบ่งกลุ่มของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้บริการใน

แต่ละสถานีอัดประจุไฟฟ้า ทำให้ระบุตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของสถานีอัดประจุไฟฟ้าได้ และ [3-5] นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า พบว่า การอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าจำนวนมากในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้เกิดปัญหาส่งผลกระทบต่อด้านคุณภาพไฟฟ้าและเกิดความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า จะเห็นได้ว่า [1-5] ได้ให้ความสำคัญในการลดผลกระทบของการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้น บทความนี้จึงเสนอกรณีศึกษา 3 กรณี เพื่อศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV ของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา 9 และตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน สำหรับกรณีที่ 1 รถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้าที่เวลา 07.00-07.30 น. เนื่องจากเป็นเวลาก่อนเดินทางเข้าสถานที่ทำงาน กรณีที่ 2 รถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้าที่เวลา 18.00-18.30 น. เนื่องจากเป็นเวลาหลังจากเลิกงานก่อนเดินทางกลับบ้าน และกรณีที่ 3 รถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้าที่เวลามีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แบบจำลองการอัดประจุไฟฟ้า

การอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ซึ่งลักษณะทั่วไปของการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วง 0 ถึง t_1 เป็นช่วงที่กระแสไฟฟ้าคงที่และแรงดันไฟฟ้าค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และช่วง t_1 ถึง t_2 เป็นช่วงที่แรงดันไฟฟ้าคงที่และการอัดประจุกระแสไฟฟ้าค่อย ๆ ลดลง การอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในช่วง 0 ถึง t_1 แสดงได้โดยสมการที่ (1) และรูปแบบการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในช่วง t_1 ถึง t_2 แสดงได้โดยสมการที่ (2) [6]

$$v(t) = V_n(1-e^{\frac{-t}{\tau_v}}) \text{ และ } i(t) = I_n \quad (1)$$

$$v(t) = V_n \text{ และ } i(t) = I_n e^{\frac{-t}{\tau_i}} \quad (2)$$

โดยที่ แรงดันไฟฟ้าที่คงที่ V_n คือ แรงดันไฟฟ้านอมินอลของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ค่าเวลาคงที่ τ_v และ τ_i เป็นการแสดงเส้นโค้งของการอัดประจุแรงดันไฟฟ้าและอัดประจุกระแสไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า I_n จะค่อย ๆ ลดลงจนแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนอยู่ในสภาวะอัดประจุไฟฟ้าเต็ม กำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนในระหว่างกระบวนการอัดประจุไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$p(t) = v(t)\cdot i(t) = \begin{Bmatrix} V_n I_n(1-e^{\frac{-t}{\tau_v}}) \\ V_n I_n e^{\frac{-t}{\tau_v}} \end{Bmatrix} \begin{matrix} ;0 \le t \le T_1 \\ ;T_1 < t < T_2 \end{matrix} \quad (3)$$

ค่ากระแสไฟฟ้านอมินอลสำหรับการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) โดยที่ B_{kWh} คือ ความจุของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน, kWh

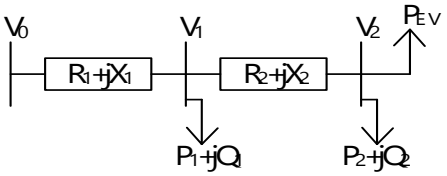
$$I_n = \frac{B_{kWh} \times 10^3 \times 3600}{K} \quad (4)$$

แบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลอย่างง่ายแสดงดังในภาพที่ 1 เพื่อทำความเข้าใจในการศึกษาแรงดันไฟฟ้าตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สำหรับกรณีการจ่ายโหลดปกติของระบบจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อพิจารณาแรงดันไฟฟ้าที่บัส 2 สามารถคำนวณแรงดันไฟฟ้าตกได้ตามสมการที่ (5) [7]

$$\Delta V_i = \frac{P_i R_i + Q_i X_i}{V_n} \text{ และ } V_2 = V_0 - (\Delta V_1 + \Delta V_2) = V_0 - \left\{ \left(\frac{P_1 R_1 + Q_1 X_1}{V_n} \right) + \left(\frac{P_2 R_2 + Q_2 X_2}{V_n} \right) \right\} \quad (5)$$

โดยที่ V คือ แรงดันไฟฟ้าตกเนื่องมาจากโหลดที่บัส i, P_i คือ โหลดกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i, Q_i คือ โหลดกำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัส i, R_i ความต้านทานของสายส่งระหว่างบัสที่ i และ i-1, X_i คือ รีแอกแทนซ์ของสายส่งระหว่างบัสที่ i และ i-1, V_n คือ แรงดันไฟฟ้านอมินอลของระบบ และ P_{EV} คือ โหลดกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้า



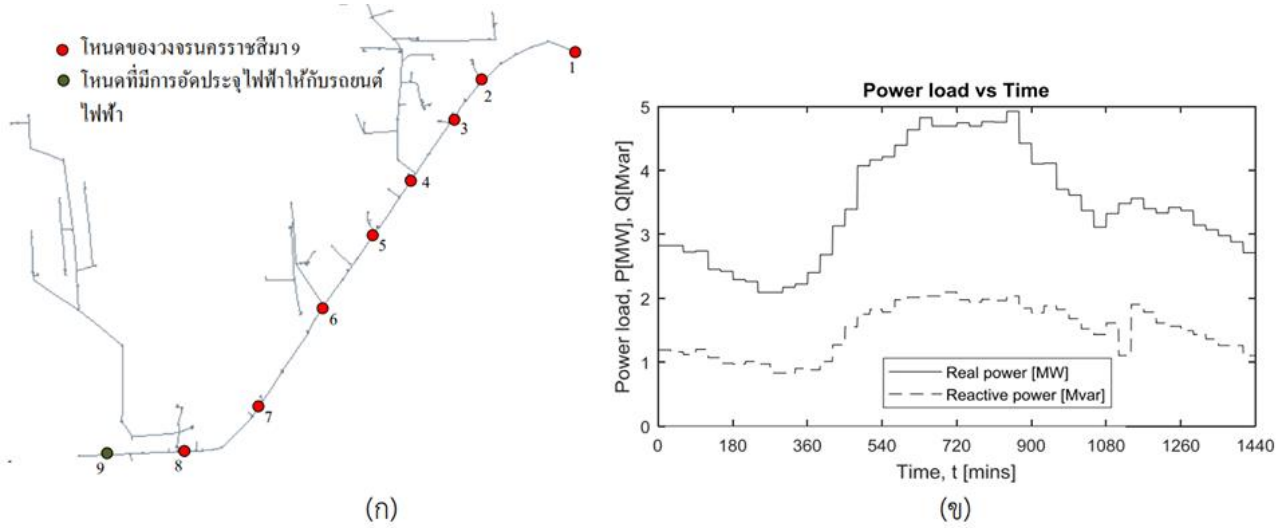
ภาพที่ 1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลอย่างง่าย

ดังนั้น จากสมการที่ (5) สำหรับกรณีการจ่ายโหลดปกติและมีการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถคำนวณแรงดันไฟฟ้าที่บัส 2 ได้ตามสมการที่ (6)

$$V_2 = V_0 - (\Delta V_1 + \Delta V_2) = V_0 - \left\{ \left(\frac{P_1 R_1 + Q_1 X_1}{V_n} \right) + \left(\frac{(P_2 + P_{EV}) R_2 + Q_2 X_2}{V_n} \right) \right\} \quad (6)$$

วิธีการจำลองของระบบ

บทความนี้ใช้ข้อมูลวงจรนครราชสีมา 9 ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV ในสถานีไฟฟ้านครราชสีมา สำหรับการจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา 9 แสดงดังในภาพที่ 2 (ก) และเส้นโค้งโหลดรายวันของระบบจำหน่ายไฟฟ้า วงจรนครราชสีมา 9 ซึ่งแสดงความต้องใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าในช่วงเวลาต่าง ๆ ของแต่ละวัน โดยที่ยังไม่มีการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าแสดงดังในภาพที่ 2 (ข) สำหรับกรณีจ่ายโหลดปกติและมีการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา 9 สมมุติให้สถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วถูกติดตั้งในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง (ปตท.ห้างหุ้นส่วนจำกัด ธนพล เอ็นเนอจี) แสดงดังในภาพที่ 2 (ก) เนื่องจากเป็นจุดที่สามารถติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มได้และยังเป็นจุดบริการน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์



ภาพที่ 2 (ก) การจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา 9 และ (ข) เส้นโค้งโหลดรายวันของระบบจำหน่ายไฟฟ้า วงจรนครราชสีมา 9

บทความนี้ใช้ข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 24 kWh สำหรับการศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว ซึ่งคุณลักษณะเฉพาะของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 24 kWh แสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะเฉพาะของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 24 kWh [8]

คุณลักษณะเฉพาะ	รายละเอียด
พิสัยการเดินทาง	ประมาณ 160 km
มอเตอร์ไฟฟ้า	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 80 kW
แบตเตอรี่	ความจุ 24 kWh
การอัดประจุไฟฟ้า	- แบบเร็ว ไฟฟ้ากระแสตรง 100 kW - ใช้เวลาประมาณ 30 นาที

การอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ซึ่งช่วงเวลาของการอัดประจุกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 5 เท่าของค่าคงที่เวลา [6] สมมุติให้ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1 MVA เพื่อจ่ายโหลดให้กับสถานีอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็ว สำหรับหัวอัดประจุไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 100 kW ของ CHAdeMO ที่แรงดันไฟฟ้า 500 V_{DC} [7] ที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ของหัวอัดประจุไฟฟ้าเท่ากับ 0.9 [6] ดังนั้น โหลดสูงสุดของรถยนต์ไฟฟ้า 1 คัน สำหรับการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วเท่ากับ 111.11 kW ดังนั้น หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1 MVA สามารถรองรับโหลดจากการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าพร้อมกันได้ไม่เกิน 9 คัน ฉะนั้น สถานีอัดประจุไฟฟ้าควรมี 9 หัวอัดประจุไฟฟ้าต่อ 1 สถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1 MVA บทความนี้จึงเสนอกรณีศึกษา 3 กรณี เพื่อศึกษาลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV และตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม MATLAB R2017a ได้แก่

กรณีที่ 1 รถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้าที่เวลา 07.00-07.30 น. เนื่องจากเป็นเวลาก่อนเดินทางเข้าสถานที่ทำงาน โดยรถยนต์ไฟฟ้าถูกอัดประจุไฟฟ้าพร้อมกันทั้ง 9 คัน

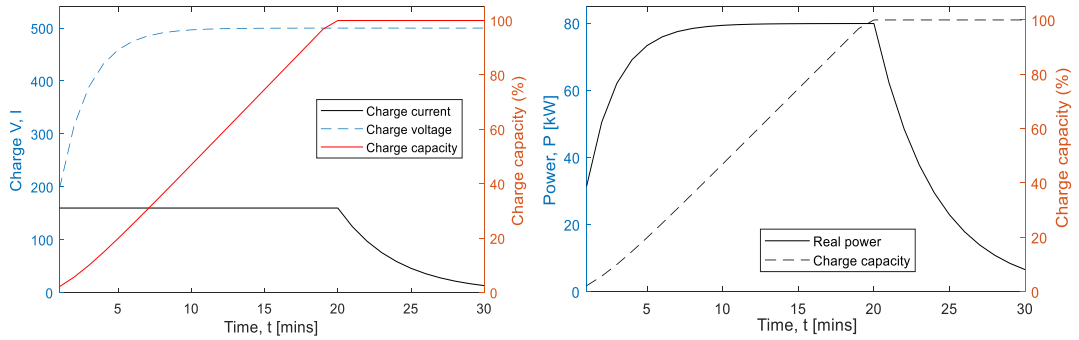
กรณีที่ 2 รถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้าที่เวลา 18.00-18.30 น. เนื่องจากเป็นเวลาหลังจากเลิกงานก่อนเดินทางกลับบ้าน โดยรถยนต์ไฟฟ้าถูกอัดประจุไฟฟ้าพร้อมกันทั้ง 9 คัน

กรณีที่ 3 รถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้าที่เวลามีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยรถยนต์ไฟฟ้าถูกอัดประจุไฟฟ้าพร้อมกันทั้ง 9 คัน

การตรวจสอบผลกระทบจากการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน [9]

ผลการจำลองและอภิปรายผล

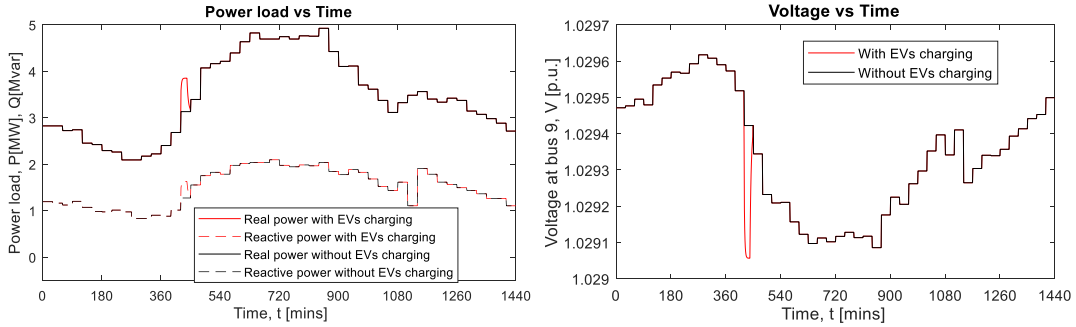
บทความนี้ใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วประมาณ 30 นาที ค่าคงที่เวลาของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จาก 20 นาทีของการอัดประจุกระแสไฟคงที่ และ 10 นาทีของการอัดประจุแรงดันไฟฟ้าคงที่ ผลจากการจำลองลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนของรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 24 kWh 1 คัน เริ่มต้นที่สถานะของแบตเตอรี่ 0 จนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังในภาพที่ 3 (ก) และ (ข)



(ก) (ข)

ภาพที่ 3 (ก) ลักษณะการอัดประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 24 kWh และ (ข) ลักษณะกำลังไฟฟ้าอัดประจุให้กับแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 24 kWh

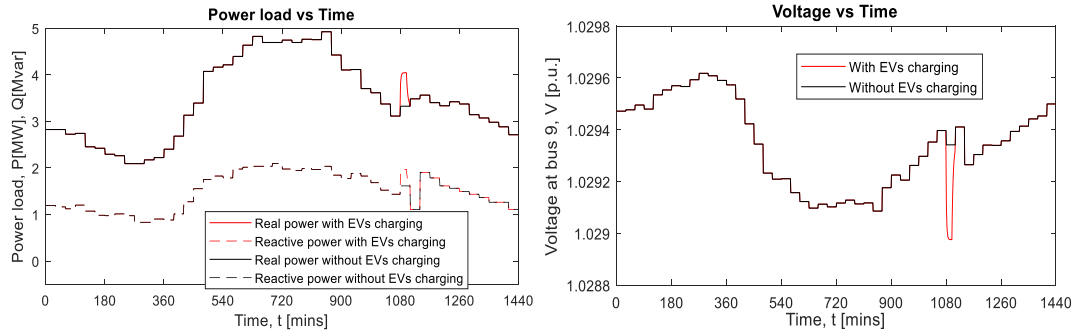
กรณีที่ 1 รถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้าที่เวลา 07.00 ถึง 07.30 น. เนื่องจากเป็นเวลาก่อนเดินทางเข้าสถานที่ทำงาน โดยรถยนต์ไฟฟ้าถูกอัดประจุไฟฟ้าพร้อมกันทั้ง 9 คัน สำหรับการจ่ายโหลดปกติและมีการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา 9 แสดงดังในภาพที่ 4 (ก) และภาพที่ 4 (ข) แสดงรูปแบบแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า



(ก) (ข)

ภาพที่ 4 สำหรับกรณีที่ 1 (ก) การจ่ายโหลดของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา 9 และ (ข) แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา 9

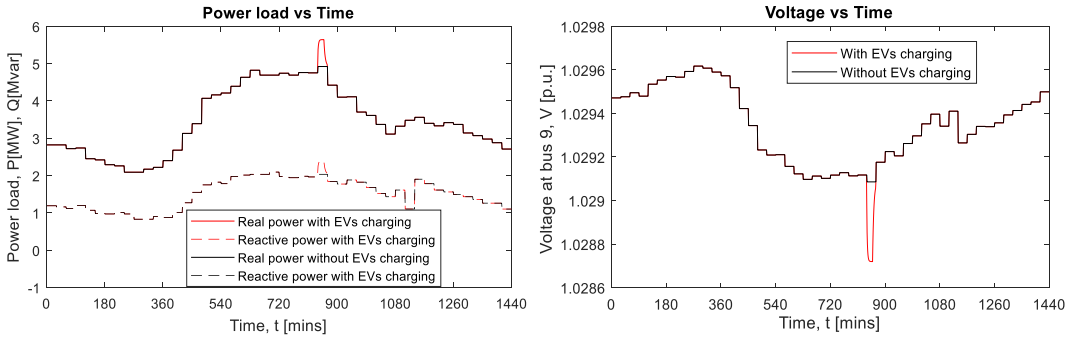
กรณีที่ 2 รถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้าที่เวลา 18.00 ถึง 18.30 น. เนื่องจากเป็นเวลาหลังจากเลิกงานก่อนเดินทางกลับบ้าน โดยรถยนต์ไฟฟ้าถูกอัดประจุไฟฟ้าพร้อมกันทั้ง 9 คัน สำหรับการจ่ายโหลดปกติและมีการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา 9 แสดงดังในภาพที่ 5 (ก) และภาพที่ 5 (ข) แสดงรูปแบบแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า



(ก) (ข)

ภาพที่ 5 สำหรับกรณีที่ 2 (ก) การจ่ายโหลดของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา 9 และ (ข) แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา

กรณีที่ 3 รถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้าที่เวลามีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยรถยนต์ไฟฟ้าถูกอัดประจุไฟฟ้าพร้อมกันทั้ง 9 คัน ณ เวลา 14.00 ถึง 14.30 น. สำหรับการจ่ายโหลดปกติและมีการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา 9 แสดงดังในภาพที่ 6 (ก) และภาพที่ 6 (ข) แสดงรูปแบบแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า



(ก) (ข)

ภาพที่ 6 สำหรับกรณีที่ 3 (ก) การจ่ายโหลดของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา 9 และ (ข) แรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา

จากการจำลองได้ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1 MVA สำหรับ 9 หัวอัดประจุไฟฟ้าใน 1 สถานีอัดประจุไฟฟ้า ซึ่งจำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าหรือจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าสามารถกำหนดโหลดสูงสุดของการอัดประจุไฟฟ้าของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าได้ ผลการจำลองพบว่า การจ่ายโหลดปกติของสถานีไฟฟ้านครราชสีมา วงจรนครราชสีมา 9 มีพลังงานสูญเสียเกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 0.0222 MWh/วัน เมื่อมีการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าตามกรณีที่ 1 ถึง 3 พบว่า พลังงานสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 0.02250, 0.02250 และ 0.02260 MWh/วัน ตามลำดับ และจากภาพที่ 1-3 แสดงให้เห็นว่า มีแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงในระบบจำหน่ายไฟฟ้าขณะทำการอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าสำหรับกรณีที่ 1 มีแรงดันไฟฟ้าตกอยู่ที่ 1.02905 เปอร์ยูนิต กรณีที่ 2 มีแรงดันไฟฟ้าตกอยู่ที่ 1.02890 เปอร์ยูนิต และกรณีที่ 3 มีแรงดันไฟฟ้าตกอยู่ที่ 1.02870 เปอร์ยูนิต จากการศึกษาทั้ง 3 กรณี แสดงให้เห็นว่า ช่วงที่อันตรายที่ส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้ามากที่สุดคือ ช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของระบบจำหน่ายไฟฟ้า เนื่องจากการบริโภคพลังงานไฟฟ้าจากการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าเป็นการเพิ่มโหลดในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการจ่ายโหลดปกติ ซึ่งในความจริงการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าลักษณะการบริโภคพลังงานไฟฟ้าจากการอัดประจุไฟฟ้าของรถยนต์ไฟฟ้าหรือการเข้าใช้บริการที่สถานีอัดประจุไฟฟ้าอาจมีเวลาที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าและจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในพื้นที่นั้น ๆ ดังนั้นการวางแผนเตรียมพร้อมติดตั้งจำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าหรือจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องมีจำนวนที่เพียงพอสำหรับความต้องการใช้บริการอัดประจุไฟฟ้าของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในพื้นที่นั้น ๆ แต่ต้องคำนึงถึงโหลดสูงสุดที่จะเกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อมีการอัดประจุไฟฟ้าของผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้า เพื่อป้องกันการเกิดโหลดเกินหรือการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (โหลดสูงสุดในแต่ละวงจรห้ามเกิน 8 MW และมาตรฐานของระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าอยู่ที่ 0.90 ถึง 1.10 เปอร์ยูนิต [10]) ซึ่งอาจนำไปสู่สภาวะไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายได้

สรุปผลการจำลอง

บทความนี้ได้เสนอกรณีศึกษา 3 กรณี สำหรับ 1 สถานีอัดประจุไฟฟ้า ซึ่งสมมุติให้หัวอัดประจุไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าถูกใช้งานพร้อมกันทั้ง 9 หัวอัดประจุไฟฟ้า โดยรถยนต์ไฟฟ้า Nissan Leaf 24 kWh ซึ่งกรณีที่ 1 รถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้าที่เวลา 07.00-07.30 น. กรณีที่ 2 รถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้าที่เวลา 18.00-18.30 น. และกรณีที่ 3 รถยนต์ไฟฟ้าเริ่มต้นอัดประจุไฟฟ้าที่เวลามีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของระบบจำหน่ายไฟฟ้า พบว่ากรณีที่ 3 ส่งผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าและพลังงานสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าร้ายแรงที่สุด เนื่องจากการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วเป็นเสมือนการเพิ่มโหลดจากการจ่ายโหลดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้าอย่างฉับพลัน ดังนั้น การวางแผนจำนวนสถานีอัดประจุไฟฟ้าหรือจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นเรื่องที่สำคัญ เนื่องจากจำนวนหัวอัดประจุไฟฟ้าสามารถกำหนดโหลดสูงสุดของการอัดประจุไฟฟ้าแบบเร็วของรถยนต์ไฟฟ้าได้ เพื่อป้องกันการเกิดโหลดเกินหรือการเกิดแรงดันไฟฟ้าตก ซึ่งอาจนำไปสู่สภาวะไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนกิตติบัณฑิต ตลอดหลักสูตรบัณฑิตศึกษา

เอกสารอ้างอิง

[1] Luo, C., Huang, Y., and Gupta, V. (2015). Placement of EV Charging Stations-Balancing Benefits Among Multiple Entities. **IEEE Transactions on Smart Grid**, 1-10.

[2] Sadeghi-Barzani, P., Rajabi-Ghahnavieh, A., and Kazemi-Karegar, H. (2014). Optimal fast charging station placing and sizing. **Applied Energy**, 125 (1), 289-299.

[3] Putrus, G. A., Suwanapingkarl, P., Johnston, D., Bentley, E. C., and Narayana, M. (2009). Impact of electric vehicles on power distribution networks. **IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference**.

[4] Ma, G., Jiang, L., Chen, Y., Dai, C., & Ju, R. (2017). Study on the impact of electric vehicle charging load on nodal voltage deviation. **Archives of Electrical Engineering**, 66(3), 495-505.

[5] Roozbeh, J., Zachary, H., Khalil, E. K., Richard, W. P., and Daniel, H. (2016). Evaluating the Impact of Electric Vehicles on the Smart Grid. **The Fifth International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications**.

[6] Banyat, B., Pade, P., and Thanatchai, K. (2013). " Impact of electric bus charging in power distribution Systems", **Advances in Nano, Biomechanics, Robotics, and Energy Research (ANBRE13)**, August 25-28, Seoul, Korea.

[7] บัณฑิต เพียดา. (2557). **การวิเคราะห์ผลกระทบการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแบบรวดเร็วต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย โดยการจำลองมอนติคาร์โล**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[8] The Electric Vehicle Database. **Nissan Leaf 24 kWh** สืบค้นเมื่อ 27 กันยายน 2561, จาก https://ev-database.uk/car/1019/Nissan-Leaf-24-kWh#charge-table.

[9] Saadat, H. (1999). **Power System Analysis**. The McGraw-Hill companies, Inc.,

[10] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2559). ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559, **โครงการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค**.

DE88

การออกแบบเส้นโค้งความเร็วเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงินในประเทศไทย

Design Speed Profile for Reducing Energy Consumption of the Bangkok MRT Blue Line

กันตินันท์ สกุลไพศาล ธีระพงษ์ บุญรักษา และบุญเรือง มะรังศรี*
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการออกแบบเส้นโค้งความเร็วของรถไฟฟ้าใต้ดินในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานในการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาที่มีความหนาแน่นของผู้โดยสารต่ำหรือช่วงเวลาไม่เร่งด่วน (Off-Peak Hours) การออกแบบเส้นโค้งความเร็วถูกออกแบบโดยการใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (Particle Swamp Optimization : PSO) ในการหาค่าความเร็วสูงสุดที่เหมาะสมในแต่ละช่วงของสถานี โดยไม่คำนึงถึงตารางเวลาการเดินรถเนื่องจากการปรับความเร็วของรถไฟฟ้านั้นส่งผลกระทบต่อตารางเวลาของรถไฟฟ้าโดยตรงและการสร้างตารางเดินรถใหม่นั้นถือว่ามีความซับซ้อนอย่างมาก กรณีศึกษาของบทความนี้ใช้เส้นทางและข้อมูลทางภูมิศาสตร์ของรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงิน ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่และเส้นโค้งความเร็วที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าเดิมที่ได้จากข้อมูลทางเทคนิคของเส้นทางที่ศึกษา ผลลัพธ์ของบทความนี้แสดงถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลื่อนที่ใน 1 รอบการวิ่งให้บริการ ซึ่งการออกแบบเส้นโค้งความเร็วใหม่สามารถลดการใช้พลังงานรวมได้ถึง 180 kWh ต่อรอบการวิ่งให้บริการ

คำสำคัญ: ออกแบบเส้นโค้งความเร็ว รถไฟฟ้าใต้ดิน วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

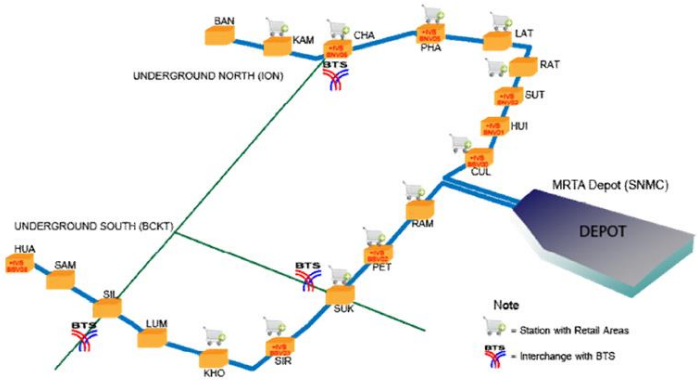
*Corresponding author: Tel.: 089-7177065. E-mail address: bmshvee@sut.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในประเทศไทยกำลังขยายออกให้ครอบคลุมทั่วกรุงเทพฯและปริมณฑล ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายประชนกรได้จำนวนมากและทำให้การเดินทางมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น แต่ต้องแลกกับการรับภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานอย่างมหาศาล ดังนั้นการลดการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่ความหนาแน่นของผู้โดยสารต่ำจึงเป็นทางเลือกที่ดีทางเลือกหนึ่ง แต่วิธีการนี้มีข้อเสียคือส่งผลกระทบทางด้านตารางเวลาเดินรถ

การออกแบบเส้นโงความเร็วของรถไฟฟ้าที่เหมาะสมในช่วงเวลาที่มีความหนาแน่นของผู้โดยสารต่ำต้องเป็นไปตามมาตรฐานการเดินรถไฟฟ้าของรถไฟฟ้ามหานครที่กำหนดไว้ว่า ความเร็วเฉลี่ยของรถไฟฟ้าต้องไม่ต่ำกว่า 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และการเดินทางระหว่างสถานีต้องต่ำกว่า 5 นาที ดังนั้นจากข้อมูลของมาตรฐานจึงถูกนำมากำหนดเป็นข้อจำกัดในการสร้างเส้นโค้งความเร็วและใช้เส้นทางสายสีน้ำเงินซึ่งมีระยะทางรวม 20 กิโลเมตร สถานีขนส่งผู้โดยสาร 18 สถานีและพิจารณาการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าแบบเดินรถขบวนเดียว เส้นทางของสายสีน้ำเงินถูกแสดงในภาพที่ 1

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่ใช้งานง่ายและเป็นที่นิยมใช้ ในปัจจุบันวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคถูกนำมาใช้แก้ปัญหาในระบบรถไฟฟ้าอยู่บ่อยครั้งในงานวิจัย ซึ่งวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่ใช้งานง่ายและเป็นที่นิยมใช้ ในปัจจุบันวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคถูกนำมาใช้แก้ปัญหาในะบบรถไฟฟ้าอยู่บ่อยครั้งดังเช่นงานวิจัย [1] ได้จำลองหาพลังงานที่ต่ำที่สุดในการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ซึ่งผลลัพธ์ได้แสดงถึงการลดการใช้พลังงานที่มีค่าตั้งแต่ 3 % - 14 % ต่อมาได้นำมาประยุกต์ใช้ในการในการปรับปรุง โดยวิธีการสร้างเส้นโค้งความเร็วขึ้นมาใหม่เพื่อลดการใช้พลังงานสามารถลดการใช้พลังงานได้สูงที่สุดถึง 25 % ดังเช่นงานวิจัยดังต่อไปนี้ [2] ได้นำเสนอโมเดลและวิธีการในการสร้างเส้นโค้งความเร็วที่เหมาะสมของรถไฟฟ้าเพื่อที่จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินทางระหว่างสถานีขนส่งผู้โดยสาร โดยการจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าไปยังสถานีต่าง ๆ เพื่อพัฒนากลยุทธ์ที่ใช้ในการขับรถไฟฟ้า โดยกลยุทธ์ในการขับรถไฟฟ้าที่ถูกพัฒนาขึ้นสามารถลดการใช้พลังงานได้ถึง 21%, [3] ได้นำเสนอวิธีการที่สามารถลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของรถไฟฟ้าโดยการสร้างเส้นโค้งความเร็วใหม่โดยใช้เวลาและตัวบ่งชี้ความสบายในการเดินของผู้โดยสารเป็นเงื่อนไขซึ่งผลลัพธ์จากการออกแบบเส้นโค้งความเร็วเพียงอย่างเดียวสามารถลดการใช้พลังงานได้ถึง 25% และ [4] ได้สร้างเส้นโค้งความเร็วที่เหมาะสมที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าโดยมีเงื่อนไขในการลดการใช้พลังงานด้วยวิธีการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยผลลัพธ์ของการจำลองระบบรถไฟฟ้า ได้แสดงถึงการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและการลดความผันผวนของแรงดันไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้า เป็นต้น



ภาพที่ 1 เส้นทางการเดินรถของรถไฟฟ้าสายสีน้ำเงิน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้ากระแสตรง

การเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าสามารถจำแนกออกเป็น 4 โหมดการทำงานได้แก่ โหมดเร่งความเร็ว โหมดคงค่าความเร็ว โหมดชะลอความเร็ว และโหมดเบรก โดยแต่ละโหมดการทำงาน พลังงานที่ใช้ในแต่ละโหมดการทำงานนั้นขึ้นอยู่กับการคำนวณด้านพลวัฒน์ของรถไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย แรงฉุดลากของหัวรถจักร แรงต้านทานการวิ่ง แรงต้านทานทางโค้งและแรงต้านทานการวิ่งขึ้น-ลงเนิน ซึ่งเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2

แรงต้านทานการวิ่ง ในการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าประกอบด้วย แรงลากทางพลศาสตร์และแรงเสียดทานของการเคลื่อนที่ ซึ่งทิศทางของแรงตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้า โดยนิยมจัดให้อยู่ในรูปของสมการเดวี่(Davis Equation)

แรงเสียดทานการเคลื่อนที่ผ่านทางโค้ง มีสาเหตุมาจาก ขอบนอกของวงล้อที่ทำหน้าที่เกาะรางรถไฟเกิดแรงเสียดทานจากการไถลและล้อด้านนอกหมุนเร็วกว่าล้อด้านในจึงทำให้ เกิดการสลิปเป็นเหตุให้แรงเสียดทานจากการไถลเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปแล้วแรงเสียดทานทางโค้ง ถูกคำนวณด้วยสมการ Roeckl’s formula

แรงต้านทานการวิ่งขึ้น-ลงเนิน โดยทั่วไปเส้นทางเดินรถของรถไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงตามสถานีขนส่งผู้โดยสารที่ถูกสร้างขึ้น การพิจารณาแรงต้านทานจากการวิ่งขึ้น-ลงเนิน โดยปกติถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบการคำนวณอย่างง่ายโดยการสมมุติให้รถไฟฟ้าทั้งขบวนเป็นมวลจุดเดียว

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่รถไฟฟ้าใช้ในการเคลื่อนที่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้บนรถไฟฟ้าถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้าและพลังงานที่ใช้ในอุปกรณ์อำนวยความสะดวก ที่ถูกใช้ในระบบแสงสว่าง เครื่องปรับอากาศ พัดลมระบายความร้อน ระบบติดต่อสื่อสาร โดยการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดเกิดจากผลรวมของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อรถไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์อำนวบความสะดวกดังสมการที่ 8 โดยพลังงานที่ใช้ในอุปกรณ์อำนวบความสะดวกจะมีค่าคงที่ ส่วนพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้านั้นจะแปรผันตามความเร็วและแรงฉุดลากของหัวรถจักรโดยประสิทธิภาพของชุดขับเคลื่อนมีผลต่อแรงฉุดลากของหัวรถจักร[5]-[6]

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

การสร้างเส้นโค้งความเร็วใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค ซึ่งสร้างขึ้นโดยคุณ Kennedy และ Eberhart ในปี พ.ศ.2538 โดยมีแรงบรรดาลใจมาจากการสังเกตุการเคลื่อนไหวของกลุ่มสัตว์เช่น ฝูงนก ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่สอดคล้องกันในเวลาที่ออกหาอาหาร ดังนั้นการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคคือการใช้ฝูงอนุภาคจำนวนมากเคลื่อนที่ไปบนพื้นที่ที่ต้องการค้นหาเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด [7] โดยที่การออกแบบเส้นโค้งความเร็วมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และข้อจำกัดดังสมการที่ (1)-(7)

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ $Minimum \quad E = \int P_t(\mathrm{v}, s) \quad ds$ (1)

ข้อจำกัด

$s(0) = 0;$ (2)

$s(t) = L$ (3)

$a \le 1.2 \quad m/s^2$ (4)

$0 \le v(s) \le speed\ \mathrm{limit(s)}$ (5)

$Trip\ time < 300\ s$ (6)

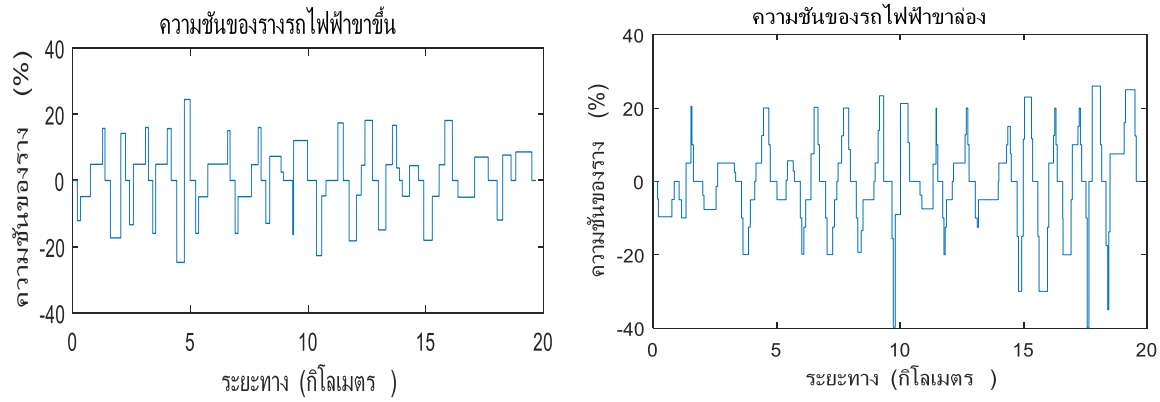
$Average\ speed > 40\ km/hrs.$ (7)

วิธีการจำลองของระบบ

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างระบบและจำลองผลลัพธ์นั้นประกอบด้วย ความชันของรางรถไฟฟ้า รัศมีความโค้งของรางรถไฟฟ้า และข้อมูลของขบวนรถไฟฟ้าที่ให้บริการในปัจจุบัน การใช้พลังงานไฟฟ้าของรถไฟฟ้าในการเคลื่อนที่ตลอดสายทั้งขาขึ้น(จากสถานีหัวลำโพงไปสถานีบางซื่อ) และขาล่อง (จากสถานีบางซื่อไปสถานีหัวลำโพง) ดังแสดงในภาพที่ 3-5 และตารางที่ 1

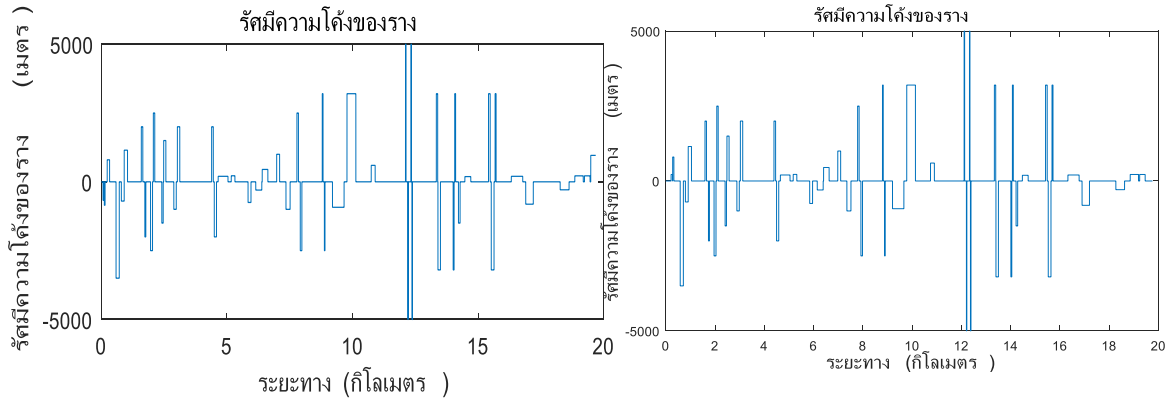
ตารางที่ 2 ข้อมูลของขบวนรถไฟฟ้า

หัวข้อ	ค่า	หน่วย
น้ำหนัก	160	Ton
อัตราเร่งและอัตราเบรกสูงสุด	1.2,1.2	m/s^2
ความเร็วสูงสุด	80	Km/hr.
Davis constant a,b,c	3.52, 30.56, 2.28	



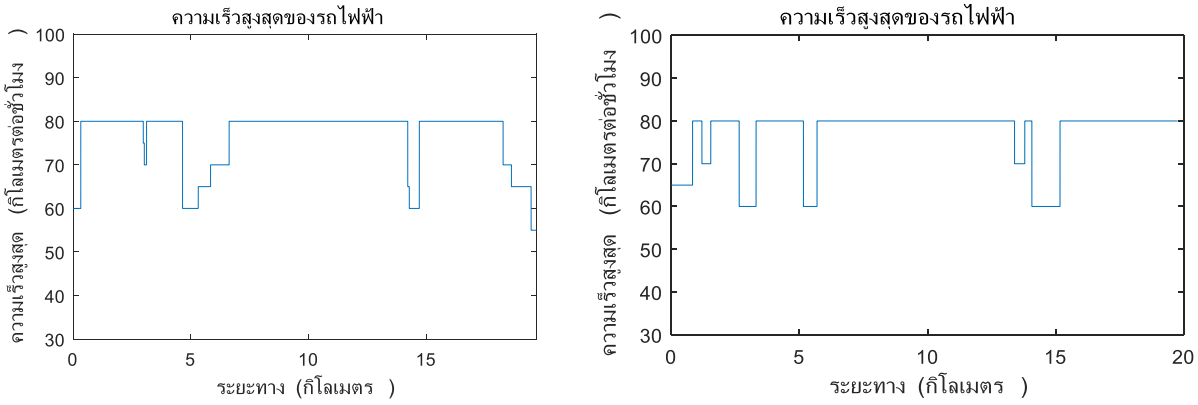
(ก) (ข)

ภาพที่ 2 (ก) ความชันของรางรถไฟฟ้าเส้นทางขาขึ้น (ข) ความชันของรางรถไฟฟ้าเส้นทางขาล่อง



(ก) (ข)

ภาพที่ 3 (ก) รัศมีความโค้งของรางรถไฟฟ้าเส้นทางขนขึ้น (ข) รัศมีความโค้งของรางรถไฟฟ้าเส้นทางขาล่อง



(ก) (ข)

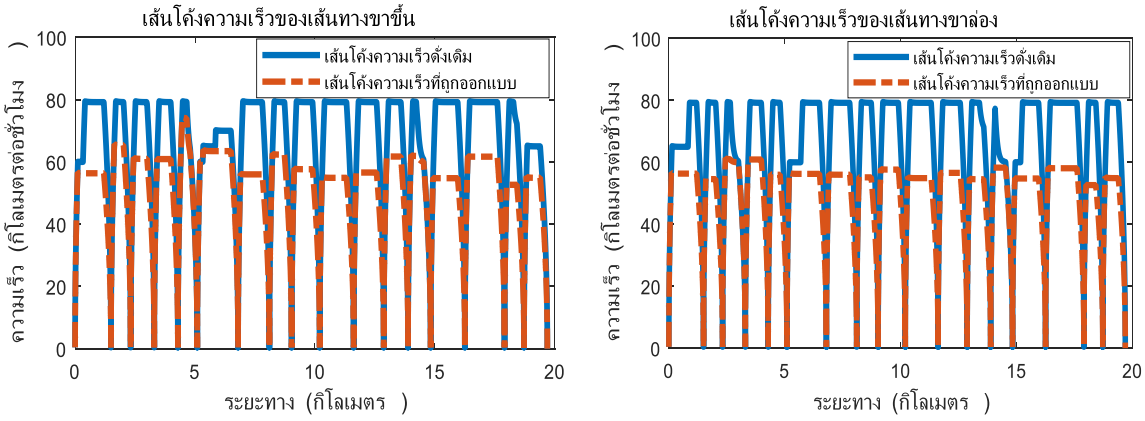
ภาพที่ 4 (ก) ความเร็วสูงสุดของรางรถไฟฟ้าเส้นทางขาขึ้น (ข) ความความเร็วสูงสุดของรถไฟฟ้าเส้นทางขาล่อง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ข้อจำกัดของรถไฟฟ้าและข้อมูลจากตารางที่ 1 สามารถนำมาสร้างระบบจำลองด้วยใช้โปรแกรม MATLAB 2016a ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแสดงเป็นเส้นโค้งความเร็วซึ่งถูกแยกออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ เส้นโค้งความเร็วดั่งเดิมและเส้นโค้งความเร็วที่ถูกออกแบบขึ้นมาใหม่

เส้นโค้งความเร็วดั่งเดิมที่ถูกจำลองขึ้นมาถูกกำหนดให้รถไฟฟ้าวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด โดยมีข้อกำหนดคือแรงบิดที่ใช้ในช่วงการเร่งความเร็วจะต้องไม่เกินค่าความเร่งสูงสุดและเส้นทางที่ใช้ในการเคลื่อนที่มี 2 เส้นทาง คือ เส้นทางขาขึ้นและเส้นทางขาล่อง มีรูปแบบของเส้นโค้งความเร็วดังภาพที่ 5 (ก)-(ข) (เส้นทึบ)

เส้นโค้งความเร็วที่ถูกออกแบบใหม่เหมาะสมสำหรับช่วงเวลาไม่เร่งด่วนเท่านั้น ซึ่งการออกแบบเส้นโค้งความเร็วเป็นการปรับลดความเร็วสูงสุดของรถไฟฟ้าลงมา โดยที่รถไฟฟ้าต้องสามารถให้บริการตามมาตรฐานที่กำหนดเอาไว้ ผลการจำลองการเส้นโค้งความเร็วที่ออกแบบขึ้นมาใหม่มีรูปแบบของเส้นโค้งความเร็วภาพรูปที่ 5 (ก)-(ข) (เส้นประ)



(ก) (ข)

ภาพที่ 5 (ก) การเปรียบเทียบเส้นโค้งความเร็วดั้งเดิมกับเส้นโค้งความเร็วที่ถูกออกแบบส่วนของขาขึ้น
(ข) การเปรียบเทียบเส้นโค้งความเร็วที่ดั้งเดิมกับเส้นโค้งความเร็วที่ถูกออกแบบส่วนของขาล่อง

ตารางที่ 2 การใช้พลังงานของรถไฟฟ้าหลังจากการใช้เส้นโค้งความเร็วที่ออกแบบใหม่

เส้นทาง	พลังงานที่ใช้ (kWh)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (minutes)
ขาขึ้น (สถานีหัวลำโพงไปสถานีบางซื่อ)	190	22
ขาล่อง(สถานีบางซื่อไปสถานีหัวลำโพง)	184	22

ตารางที่ 3 การใช้พลังงานของรถไฟฟ้าหลังจากการใช้เส้นโค้งความเร็วที่ออกแบบใหม่

เส้นทาง	พลังงานที่ใช้ (kWh)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (minutes)
ขาขึ้น (สถานีหัวลำโพงไปสถานีบางซื่อ)	119	30
ขาล่อง(สถานีบางซื่อไปสถานีหัวลำโพง)	121	28

ผลจากการปรับความเร็วส่งผลให้มีระยะเวลาในการเดินทางรวมสูงขึ้น 16 นาทีต่อรอบ โดยเวลาที่ใช้ในการเดินทางเฉลี่ยของแต่สถานีที่เพิ่มขึ้นสถานีละ 55 วินาที แต่สามารถลดการใช้พลังงานรวมของการเดินทางในแต่ละรอบได้ถึง 137 kWh ต่อรอบการวิ่งให้บริการ ซึ่งหลังจากปรับปรุงเส้นโค้งความเร็วแล้ว ความเร็วเฉลี่ยของรถไฟฟ้ามีค่า 35 km/hrs. และเวลาในการเคลื่อนที่ระหว่างสถานีไม่เกิน 300 วินาที

สรุปผลการวิจัย

จากปัญหาด้านค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของรถไฟฟ้าใต้ดินในปัจจุบัน การสร้างเส้นโค้งความเร็วที่สอดคล้องกับช่วงเวลาต่างๆของการให้บริการถือเป็นวิธีการที่เหมาะสมและไม่เสียค่าใช้จ่ายในด้านการติดตั้งอุปกรณ์เสริม และยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อเดือนอีกด้วย จากผลการทดลองปรับความเร็วแสดงให้เห็นถึงข้อดีและข้อเสียที่เกิดขึ้น โดยข้อดีที่เกิดขึ้นคือสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จำนวนมากหากพิจารณาการเดินรถไฟฟ้าแบบหลาย

ขบวน แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือ ผู้โดยสารต้องใช้เวลาในการเดินทางมากขึ้นจึงทำให้เส้นโค้งความเร็วที่ถูกออกแบบขึ้นมาใหม่สามารถใช้ได้ในช่วงเวลาที่ไม่เร่งด่วนเท่านั้น และมีผลกระทบต่อตารางเวลาเดินรถจำเป็นต้องสร้างตารางเดินรถในช่วงเวลาไม่เร่งด่วนขึ้นมาใหม่เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงรูปแบบในการเดินทางของรถไฟฟ้าหรืออาจจะต้องเพิ่มจำนวนรถที่ให้บริการในช่วงเวลาไม่เร่งด่วนเพื่อลดเวลารอคอยของผู้โดยสารให้เหมาะสมกับวิถีชีวิตคนกรุงเทพฯ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี ที่ให้คำปรึกษาพร้อมชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตลอดการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Fernandez-Rodriguez, A., Fernandez-Cardador, A., Cucala, A. P., Dominguez, M., & Gonsalves, T. (2015). Design of Robust and Energy-Efficient ATO Speed Profiles of Metropolitan Lines Considering Train Load Variations and Delays. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems,16*(4), 2061-2071. doi:10.1109/tits.2015.2391831

[2] Martinis, V. D., & Gallo, M. (2013). Models and Methods to Optimise Train Speed Profiles with and without Energy Recovery Systems: A Suburban Test Case. Procedia - Social and Behavioral Sciences,87, 222-233.

[3] Domínguez, M., Fernández, A., Cucala, A. P., & Lukaszewicz, P. (2011). Optimal design of metro automatic train operation speed profiles for reducing energy consumption. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit

[4] Su, S., Tang, T., & Wang, Y. (2016). Evaluation of Strategies to Reducing Traction Energy Consumption of Metro Systems Using an Optimal Train Control Simulation Model. Energies

[5] Mongkoldee, K., Leeton, U., & Kulworawanichpong, T. (2016). Single train movement modelling and simulation with rail potential consideration. *2016* IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII).

[6] Sumpavakup, C., Suwannakijborihan, S., Ratniyomchai, T., & Kulworawanichpong, T. (2018). Peak Demand Cutting Strategy with an On-Board Energy Storage System in Mass Rapid Transit. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering.

[7] N. (2016, April 18). [Algorithm]Particle Swarm Optimization. Retrieved from https://www.algorithmtut.com/particleswarmoptimization/

DE90

Feasibility design of three Combination Renewable Energy Solar, Wind and water on Rooftop High-Rise Building

Wichai Pettongkam*, Wirachi Roynarin and Decha Intholo
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Prathumthani 12110, Thailand

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก รวมถึงได้นำมาใช้มากขึ้นในประเทศไทย เนื่องจากรัฐบาลไทยที่มีนโยบายให้การส่งเสริมและเงินอุดหนุนที่เน้นการใช้ประโยชน์ในพื้นที่ที่มีศักยภาพของพลังงานทดแทน จังหวัดปทุมธานีเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่บริเวณส่วนกลางของประเทศไทยเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงสำหรับการนำพลังงานทดแทนมาใช้ บทความนี้นำเสนอการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำพลังงานทดแทนเช่นพลังงานแสงอาทิตย์พลังงานลมและพลังงานน้ำ มาผสมผสานใช้งานร่วมกันในอาคารสูงเช่นอาคารคอนโดมิเนียมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในอาคาร ข้อมูลประจำปีของความเร็วลม, ปริมาณน้ำฝนและความเข้มของรังสีจากแสงอาทิตย์จากผลการตรวจวัดความเร็วลมพบว่าบริเวณพื้นที่ศึกษามีความเร็วลมเฉลี่ย 3.97 เมตรต่อวินาที พลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยต่อปี 5.37 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร สำหรับตัวอาคารมีความสามารถจัดเก็บน้ำฝนบนชั้นดาดฟ้าเป็นจำนวน 354 ลูกบาศก์เมตรต่อปี การศึกษาออกแบบการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ประโยชน์จากความสูงของอาคารในการทำให้กังหันน้ำขนาดเล็ก Pico Turgo ที่ติดตั้งในอาคารสามารถผลิตไฟฟ้าได้เป็นความมุ่งหมายที่สำคัญในการศึกษาครั้งนี้ ในการศึกษานี้ได้ทำการปรับแก้ไขโครงสร้างบนชั้นดาดฟ้าของอาคารเพื่อที่จะสามารถจัดเก็บน้ำฝนได้ 57.6 ลูกบาศก์เมตรที่ระดับความสูงของอาคารที่ 21 เมตรและออกแบบให้น้ำไหลลงท่อน้ำ ถึงกังหันน้ำขนาดเล็ก Pico Turgo ที่เชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1 กิโลวัตต์ ชุดกังหันน้ำขนาดเล็กนี้ ได้ออกแบบให้มีหัวฉีดน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จำนวนสี่หัว ติดตั้งทำมุม 17 องศาของการพ่นน้ำเข้าสู่ Bucket รับน้ำ จำนวน 21 ชิ้น มีความจุรวม 0.007 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งติดตั้งอยู่โดยรอบของแผ่นจานหมุนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 430 มิลลิเมตร จากทฤษฎีคำนวณได้ปริมาณพลังงานไฟฟ้า 1,310 วัตต์ และจากการจำลองด้วยวิธี CFD Technique Simulation จะได้ปริมาณพลังงานไฟฟ้า 1,037 วัตต์ และเมื่อได้ติดตั้งทดลองใช้งานจริงผลการทดลองได้ปริมาณพลังงานไฟฟ้า 950 วัตต์ ผลการวิเคราะห์ตามประสิทธิภาพของพลังงานที่ได้จากการจำลองด้วยวิธี CFD แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของกังหันน้ำ 79.21% ในขณะที่ผลจากการทดลองจริงแสดงประสิทธิภาพ 72.51% ถึงแม้ว่าการใช้ระบบผสมผสานโดยนำพลังงานทดแทนหลายชนิดมาใช้ร่วมกันสามารถสร้างพลังงานที่สูงขึ้นกว่าที่เป็นระบบเดียว แต่เนื่องจากบางระบบของพลังงานทดแทนเช่น ระบบพลังงานน้ำมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งค่อนข้างสูง ดังนั้นเมื่อนำไปติดตั้งใช้งานร่วมกับระบบพลังงานทดแทนระบบอื่นก็ไม่สามารถจะได้พลังงานออกมาที่คุ้มค่ากับการลงทุนได้ เพราะใช้เงินลงทุนรวมของระบบผสมผสานสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ระบบพลังงานทดแทนระบบเดียวที่ให้ผลตอบแทนสูง

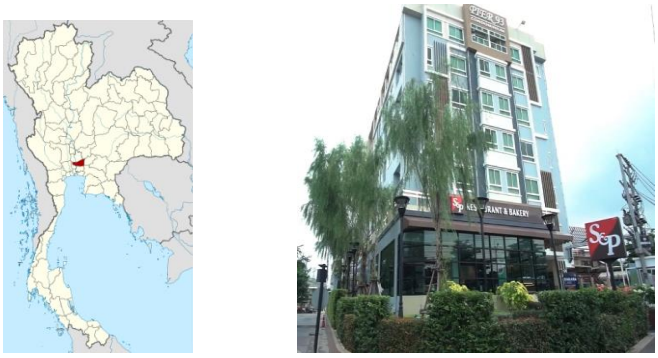
คำสำคัญ: PV solar panel, Micro wind turbine, Renewable energy, HOMER Software, Hybrid system.

*Corresponding author: E-mail address: Wichai_P@rmutt.ac.th

บทนำ

1.1 ทั่วไป

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าปัจจุบันสถานการณ์พลังงาน ได้เป็นหนึ่งในปัญหาหลักที่เชื่อมโยงไปถึงสถานการณ์สิ่งแวดล้อมด้วย ดังที่ได้เห็นตามสื่อ ประชาสัมพันธ์ต่างๆ ถึงแนวทางและการรณรงค์ให้มีการประหยัดพลังงาน การใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพและอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายทางพลังงานเพิ่มขึ้นตาม จากข้อมูลทางสถิติในปี พ.ศ.2559 ที่ผ่านมาภาคพาณิชยกรรมและที่พักอาศัยมีการใช้พลังงานอยู่ที่ 22% ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมดของประเทศ และมีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 48% โดยมีการเพิ่มขึ้น ร้อยละ 11.5 ตามการขยายตัวตามเศรษฐกิจและสภาพอากาศที่ร้อนสะสมต่อเนื่อง ส่งผลให้มีการใช้ไฟฟ้าเพื่อผลิตความเย็นเพิ่มขึ้น [1] โดยธุรกิจที่มีการใช้ไฟฟ้าในสัดส่วนที่สูง ได้แก่ ห้างสรรพสินค้า อพาร์ทเม้นท์ คอนโดมีเนียมและเกสต์เฮ้าส์ โรงแรม ขายปลีก และบริการด้านอสังหาริมทรัพย์ มีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีปัจจัยหลักมาจากมาตรการกระตุ้นเศรษฐกิจของรัฐบาล ด้วยเหตุของการเพิ่มขึ้นจากการใช้พลังงานในส่วนอพาร์ทเม้นท์ คอนโดมีเนียม การวิจัยนี้ได้ดำเนินการโดยมีการใช้พลังงานทดแทนเพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารที่พักอาศัย Pier 93 โดยตัวอาคารตั้งอยู่ที่บริเวณคลอง 4 อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานีซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 1

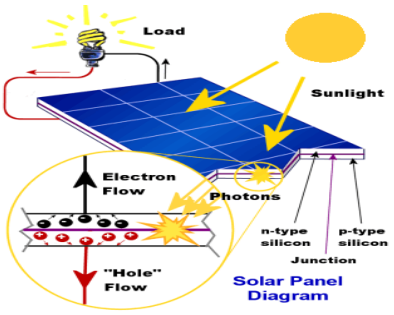


(ก) (ข)

รูปที่ 1 (ก) จังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย **(ข)** อาคาร Pier 93 จังหวัดปทุมธานี

1.2 พลังงานจากแสงอาทิตย์

การใช้พลังงานของโลกที่ได้จากรังสีดวงอาทิตย์อยู่ที่ประมาณ 15 เทราวัตต์ และ มนุษย์สามารถใช้เพียง 0.01% โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่แปลงแสงแดดเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยการฉายรังสีของดวงอาทิตย์เป็นแหล่งที่มาหลัก พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ยั่งยืนและสามารถลดการใช้พลังงานฟอสซิล ทำให้ต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพสูงของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเป้าหมายทั่วโลกในปัจจุบัน พลังงานลมเป็นรูปแบบทางอ้อมของพลังงานแสงอาทิตย์

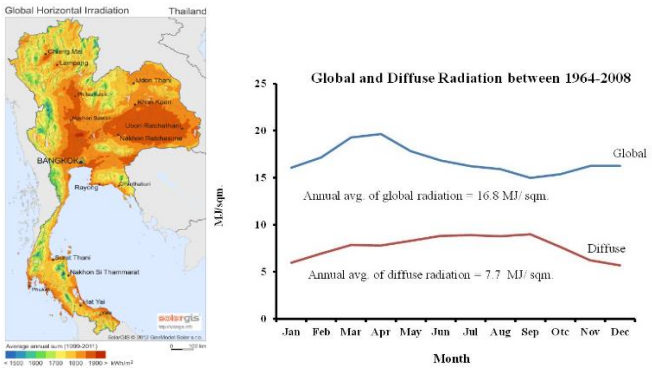


รูปที่ 2 PV cell generating electricity [2]

โดยที่วัสดุกึ่งตัวนำที่ใช้สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นั้น กระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเมื่อแสงแดดซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กระทบกับสารกึ่งตัวนำ ก็จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน ในสภาวะปกติอิเล็กตรอนจะคงสภาวะไว้ไม่เคลื่อนไหว แต่เมื่อมี

แสงมาตกกระทบพลังงานจะผลักอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่ผ่านจังชั่นซึ่งอยู่ระหว่างกึ่งกลางรอยต่อได้ ถ้าเราทำการต่อวงจรระหว่างรอยต่อ พี-เอ็น จังชั่นเข้าด้วยกัน จะทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนขึ้นได้ และการไหลของอิเล็กตรอนนี้เราเรียกว่า “กระแสไฟฟ้า” ซึ่งทำให้สามารถนำไปจ่ายให้กับโหลดไฟฟ้าได้ หรือเก็บพลังงานเข้าสะสมไว้ในแบตเตอรี่เพื่อไว้ใช้ได้เช่นกัน

รังสีรวมของดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปี ของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ 18.0 เมกกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน ข้อมูลความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทยระหว่างปีคศ.1964-2008 เฉลี่ยเท่ากับ 6.82 เมกกะจูล หรือ 4.672 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 3



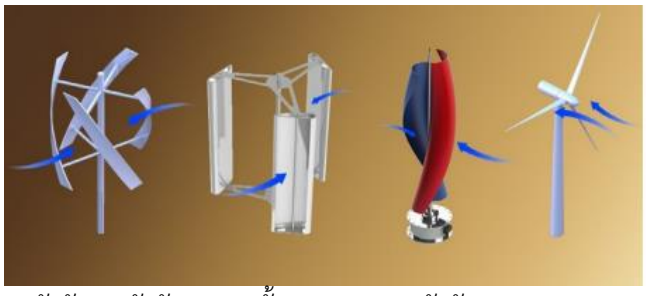
(ก) (ข)

รูปที่ 3 (ก) Average annual solar irradiation map of Thailand.

(ข) The annual average of global and diffuse solar.

1.3 พลังงานลม

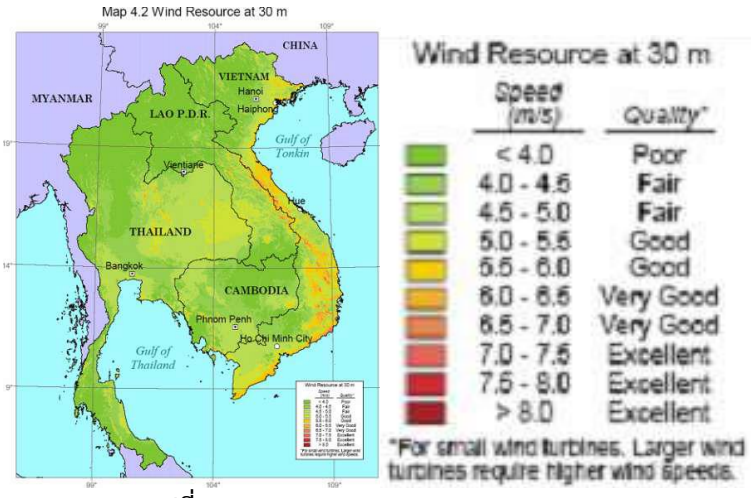
หลักการทำงานทั่วไปของกังหันลมผลิตไฟฟ้า เมื่อมีกระแสลมพัดมาปะทะกับใบพัดของกังหันลม กังหันลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมที่อยู่ในรูปแบบของพลังงานจลน์ไปเป็นพลังงานกล ใบพัดเกิดการหมุนแรงจากการหมุนของใบพัดนี้จะถูกส่งผ่านเพลาแกนหมุน ทำให้เฟืองขับเคลื่อนหรือเฟืองเกียร์ ที่ติดอยู่กับเพลาแกนหมุนๆ ตามไปด้วย เมื่อเฟืองขับเคลื่อนของกังหันลมเกิดการหมุน จะขับเคลื่อนให้เพลาแกนหมุนที่ต่อเชื่อมอยู่กับเครื่องกำเนินไฟฟ้าออกมา ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ที่ติดตั้งกังหันลม [3-6]



รูปที่ 4 แสดงประเภทของกังหันลม กังหันลมแกนตั้ง (VAWT) และกังหันลมแกนแนวนอน (HAWT) [7]

จากรูปที่ 4 แสงประเภทของกังหันลม 2 รูปแบบคือ กังหันลมแบบแกนตั้ง Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) และกังหันลมแกนแนวนอน Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)

จากข้อมูลแผนที่แสดงความเร็วลมของพื้นที่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จัดทำโดยธนาคารโลก ศึกษาศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย ลาว เวียดนามและกัมพูชา พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเร็วลมต่ำ ถึงปานกลาง แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 The Wind potential in Thailand[8]

Wind data of study area was measured and collected by the department of meteorology in Phathumtani Measuring Station. Annual Wind data is shown in Table 1

ตารางที่ 1 Wind data was measured and collected by the department of meteorology in Phathumtani

M/Y	Average Wind Velocity (m/s)	M/Y	Average Wind Velocity (m/s)	M/Y	Average Wind Velocity(m/s)
Oct/2015	2.05	Feb/2016	3.1	Jun/2016	4.76
Nov/2015	2.12	Mar/2016	4.26	Jul/2016	4.53
Dec/2015	2.3	Apr/2016	5.13	Aug/2016	6.55
Jan/2016	3.2	May/2016	5.06	Sep/2016	4.31
				Ave.	**3.94**

1.4 Water Energy Resources

ทรัพยากรน้ำเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในการขับเคลื่อนใบกังหัน เพื่อการผลิตไฟฟ้า โดยแตกต่างจากแหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติประเภทอื่นๆ ซึ่งมีปริมาณจำกัดเช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน เป็นต้น โดยวัฏจักรของน้ำเมื่อฝนตกลงมาน้ำฝนส่วนหนึ่งจะถูกเก็บกักตามที่บนพื้นผิวดิน ห้วย หนอง คลอง บึง แม่น้ำ ลำน้ำสายต่างๆ และก็จะไหลไปตามเส้นทางจนออกสู่ทะเล อีกทั้งยังเก็บกักตามพืชพันธุ์ ต้นไม้ และซึมลงสู่ใต้ดิน

พลังน้ำที่มีอยู่ในทางทฤษฎีสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้:

$$P_h = \eta_{TG} \rho g Q H_{net} \quad (1)$$

P_h is power (watts) η_{TG} is the turbine efficiency (0 < 1) ρ is water density (1000 Kg/m^3) Q is water flow rate (m^3/s) g is gravity acceleration (9.78 m/s^2) H_{net} is the net head

ปริมาณฝนตกตามที่แสดงในตารางที่ 2 พลังงานน้ำ ในการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่กังหันน้ำขนาดเล็กเพื่อสร้างกระแสไฟฟ้า ที่ใช้ความสูงจากหลังคาอาคารสูงของคอนโดมิเนียม Pier93 ซึ่งตั้งอยู่ ที่บริเวณถนนรังสิตคลอง 4 อำเภอธัญบุรีจังหวัดปทุมธานี โดยจะมีการสร้างพื้นที่กักเก็บน้ำฝน เมื่อปล่อยน้ำจากที่เก็บน้ำสู่ที่ต่ำโดยแรงดึงดูดของโลก พลังน้ำที่เกิดจากการไหลจะหมุนกังหันน้ำ (Turbine) และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

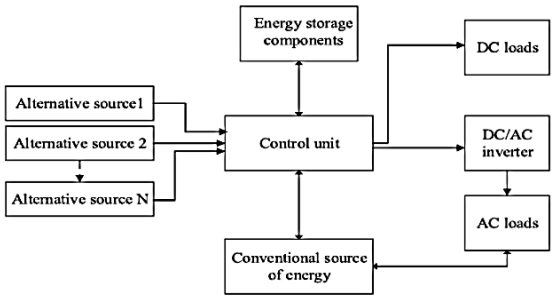
ตารางที่ 2 Thailand rainfall by district (mm) [10]

Region	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total (1Y)
North	130-210	190-280	210-280	100-140	20-40	<10	1226.3
Northeast	210-320	200-300	240-330	100-140	15-30	<10	1395.6
Central	110-190	130-210	260-340	160-200	30-50	<10	1229.7
East	260-360	190-310	290-400	200-250	40-60	<10	1903.4
Southern	90-160	100-170	110-170	230-280	330-380	210-260	2724.2

1.5 Hybrid energy

Hybridisation ของแหล่งพลังงานจะเพิ่มความน่าเชื่อถือโดยรวมของระบบเนื่องจากแหล่งพลังงานหนึ่งสามารถชดเชยความต้องการได้ตามต้องการ อย่างไรก็ตามการเลือกส่วนประกอบและขนาดที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบระบบดังกล่าว การศึกษาหลายชิ้นแสดงให้เห็นว่านอกเหนือจากการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของพลังงานแล้วระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน Hybrid Renewable Energy System (HRES) ยังช่วยเพิ่มความยั่งยืนของโลก ในการศึกษาระบบไฮบริดแบบ Photo Voltaic Distribute Generation (PV-DG) ได้ดำเนินการโดยใช้ HRES แบบแยกอิสระ 12 ชุดที่ติดตั้งสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในชนบทในจังหวัด Jujuy ของอาร์เจนตินา [11] การเปรียบเทียบระบบไฮบริดแบบ stand - alone และ grid - connected ในประเทศตุรกีได้ทำขึ้นด้วย ในอินเดียไฮบริด PV และระบบพลังงานลมกำลังเป็นที่นิยมและเริ่มเข้าสู่ตลาดพลังงานหมุนเวียนเนื่องจาก HRES มีต้นทุนที่ประหยัดเหมาะสมในการลงทุนในพื้นที่ห่างไกลซึ่งการขยายแหล่งจ่ายไฟจากระบบปกติจะมีราคาสูงจนไม่สามารถลงทุนได้ [13,14]

ระบบที่มีแหล่งพลังงานทดแทนมากกว่าสองประเภทเรียกว่า 'ระบบไฮบริด' พลังงานทดแทนสามารถเป็นระบบปิดหรือติดตั้งบนโครงข่ายได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบให้เหมาะสมกับบริเวณที่จะติดตั้งใช้งาน ระบบ HRES แสดงในรูปที่ 6 สามารถรองรับชนิดของโหลด ทั้ง AC load หรือ DC load หรือทั้งสองประเภทได้



รูปที่ 6 General HRES architecture [15]

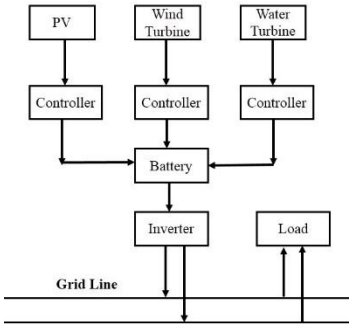
1.6 Research Scope

การศึกษาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานหมุนเวียน 3 ชนิดในอาคารสูง ของคอนโดมิเนียม เพียร์ 93 ที่ตั้งอยู่ที่คลอง 4 อำเภอธัญบุรี จ.ปทุมธานี การสำรวจต้นทุนค่าไฟฟ้าของอาคารจากพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพในการสร้างความต้องการไฟฟ้ามุ่งเน้นไปที่เทคโนโลยี Combinational เช่น Solar Photovoltaic กังหันลมและกังหันน้ำขนาดเล็ก การวิเคราะห์เชิงทดลองจากทฤษฎีและปัญหาพลังงานที่มีอยู่ในอาคาร การออกแบบระบบและประสิทธิภาพการติดตั้งค่าใช้จ่าย

METHODOLOGIES AND ASSUMPTIONS

การออกแบบระบบพลังงานทดแทนสามแบบดังแสดงในรูปที่ 7 แต่ละชนิดของพลังงานทดแทน โซล่าร์เซลล์ กังหันลมและกังหันน้ำ จะผลิตกระแสไฟฟ้าหลังจากโดยแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ หรือแปลงจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของตัวแปลง

สำหรับการประมาณค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะพิจารณาเฉพาะหลังคาที่มีศักยภาพสำหรับพื้นที่อาคารเท่านั้น สำหรับลมการติดตั้งกังหันที่หลังคา - ด้านบนของอาคาร ความเร็วลมประมาณขึ้นอยู่กับความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง 21 เมตรของอาคารซึ่งเท่ากับ 3.94 เมตร / วินาที การศึกษานี้เป็นการศึกษาระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานและศักยภาพของแหล่งพลังงานทดแทนทั้ง 3 ประเภทที่ได้ดำเนินการติดตั้งบนอาคารที่พักอาศัย และคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้า



รูปที่ 7 การออกแบบแนวคิดระบบพลังงานหมุนเวียนสามแบบ

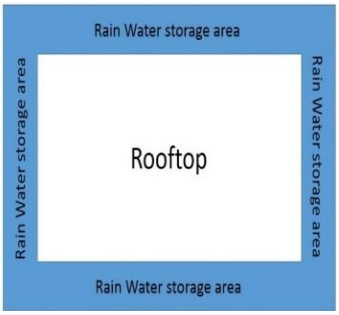
บริเวณกักเก็บน้ำได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมน้ำฝนซึ่งส่งผ่านไปยังเครื่องกังหันน้ำ โดยใช้ใบพัดแบบ Pico turbine สำหรับอาคาร Pier 93 แสดงในรูปที่ 8 (ก) พื้นที่บนชั้นดาดฟ้าถูกออกแบบมาดังแสดงในรูปที่ 8 (ข) หลังคาสามารถเก็บน้ำฝนได้ถึง 57.6 ลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในรูปที่ 8 (ค) ซึ่งพื้นที่จัดเก็บสามารถเก็บน้ำฝนได้ 354.15 ลูกบาศก์เมตรต่อปี



(ก) Pier 93 high-rise building



(ข) Roof gutter area



(ค) Water storage area on rooftop

รูปที่ 8 CondominiumPier 93 high-rise building

ตารางที่ 3 Load of public commonly use area electricity at High-Rise Pier 93 Building

Floor	LED T8 2x18W	LED T8 2x18w	LED T8 2x9w	LED 7w	LED 1x 18w	LED T8 1x9w	LED 7w
1	19	25	7	21	-	2	10
2	-	5	-	11	1	-	-
3	-	5	-	11	1	-	-
4	-	5	-	11	1	-	-
5	-	5	-	11	1	-	-
6	-	5	-	11	1	-	-
7	-	5	-	11	1	-	-
Total	38	55	14	87	6	2	10
kW	0.684	0.99	0126	0.609	0.108	0.036	0.07
24h/d	12	8	24	8	24	24	24
kWh/d	8.208	7.92	3.024	4.872	2.592	0.864	1.68
	Total kwh/d			29.16			

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณไฟฟ้าที่อาคาร Condominium Pier 93 สำหรับพื้นที่สาธารณะทั่วไป อาคารรวมทั้งหลอดไฟ LED 18 วัตต์ จำนวน 115 ชุด และ LED 9 วัตต์ จำนวน 24 ชุด โดยมีจำนวนโหลดรวมเท่ากับ 29.16 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน

2.1 การคำนวณกังหันลมขนาดเล็ก

พลังงานลมเป็นหน้าที่ของความหนาแน่นของมวลอากาศที่กวาดพื้นที่ของใบกังหันและค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ:

$$P_w = C_p \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2)$$

P_w คือพลังของกังหันลมในเมือง ประสิทธิภาพของประสิทธิภาพ ค่าทางทฤษฎีสูงสุดเรียกว่าขีดจำกัด ของ Betz ซึ่งเท่ากับ 59% ปัจจัยด้านกำลังการผลิตของกังหันลมเชิงพาณิชย์ทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 30% คือความหนาแน่นของอากาศคือความเร็วลม [10] เป็นพื้นที่ที่กวาดของกังหันลม ความเร็วลมเฉลี่ย 3.94 เมตร / วินาที ความเร็วลมเฉลี่ยต่อเดือนต่ำสุด 2.01 เมตร / วินาทีและสูงสุดคือ 6.55 เมตร / วินาที ความเร็วลมเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 3.94 เมตร / วินาที ซึ่งเพียงพอต่อการใช้พลังงานลมในพื้นที่ที่เลือกไว้ตารางที่ 4 แสดงรายละเอียดของกังหันลมขนาดเล็ก กังหันลมมีขนาดประมาณ 650 กิโลวัตต์ที่ความเร็วลม 15 เมตร/วินาที และเริ่มผลิตกระแสไฟฟ้าที่ความเร็วลม 3 เมตร / วินาที รูปที่ 9 แสดงกังหันลมขนาดเล็กที่ติดตั้งอาคาร PIER 93 เส้นผ่าศูนย์กลางใบพัดอยู่ที่ 1.8 เมตร

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของกังหันลมขนาดเล็ก

	Specifications
Weight	15 kg
Rotor Diameter	1.8 m
Rated power	650w@15m/s
Cut in	3.0 m/s
Number of blade	3
Generator	3Ø,PMG



รูปที่ 9 กังหันลมขนาดเล็ก ติดตั้งที่อาคารคอนโดมิเนียมPIER 93

2.2 การคำนวณเครื่องกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

การวิเคราะห์เชิงปริมาณมีดังต่อไปนี้ การออกแบบกังหันน้ำ Pico Tango turbine มีหัวฉีด 4 หัวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร อัตราการไหลของน้ำคือ 22.3 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง บนอาคารสูง 21 เมตร ดังนั้น ความเร็วของน้ำคือ

$$c = \varphi\sqrt{2gH} \qquad (3)$$

$= 0.97\sqrt{2x9.81x21}$=19.7 m/s $\quad where \;\; H = 21 \;\; m, \varphi \approx 0.97$

อัตราการไหลของน้ำผ่านหัวฉีดสามารถคำนวนได้ดังนี้

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2 cQ = \frac{\pi}{4} x0.01^2 x19.7 Q_K = 0.0015 \text{ m}^3/\text{s} \times 4 = 0.0062 \text{m}^3/\text{s}$$

ความเร็วหาได้จาก

$$u_1 \approx (0.46 - 0.47) c u_1 \approx (0.46 - 0.47) x19.7 \approx 9.1 \text{ m/s}$$

ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 400 รอบต่อวินาที, ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง

$$D_s = \frac{60u_1}{\pi n} = \frac{60x9.1}{\pi x400} = 0.43 \; m$$

ดังนั้น พลังงานที่สามารถผลิตได้

$$P = \rho gQH = 998x9.81x0.0062x21 = 1{,}310 \text{ kW}$$

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีที่สามารถเก็บกักได้ในพื้นที่ 354.15 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น, $1.31kW \; x \; 15.87h = 20.78 \; kWh/year$

เนื่องจากกว่าบนดาดฟ้าของตัวอาคารที่ศึกษามีพื้นที่จำกัด โดยสามารถออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ประเภทและระดับพลังงานของเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่ใช้

Type	Capacity
PV	4 กิโลวัตต์
Micro Wind Turbine	650 วัตต์ x 4 ตัว
Pico Water Turbine	1 กิโลวัตต์

ชุดทดสอบอุปกรณ์แสดงในรูปที่ 10 (ก) เครื่องวิ่งกังหันจะเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Permanent Magnet Generator (PMG) เพื่อวัดปริมาณไฟฟ้าที่สร้างขึ้น ประสิทธิภาพของกังหันสามารถวัดได้ด้วยแรงบิดของกังหันและการหมุนเพลากังหัน ดังนั้นเซ็นเซอร์แรงบิดและเซ็นเซอร์หมุนจะติดตั้งที่จุด A และ B ตามลำดับ รูปที่ 10 (ข) แสดงชุดเครื่องมือสมบูรณ์แบบแบบ 3 มิติ ได้แก่ สายท่อ, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับสูบน้ำและอ่างเก็บน้ำการไหลเวียนของน้ำ รูปที่ 10 (ค) แสดงการทดสอบต้นแบบที่แท้จริงด้วยหัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม. รูปที่ 10 (ง) แสดงน้ำจากหัวฉีดที่ส่งผลต่อถัง

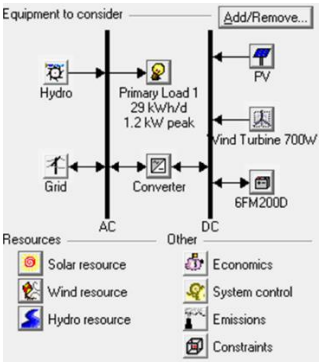


(ก) (ข) (ค) (ง)

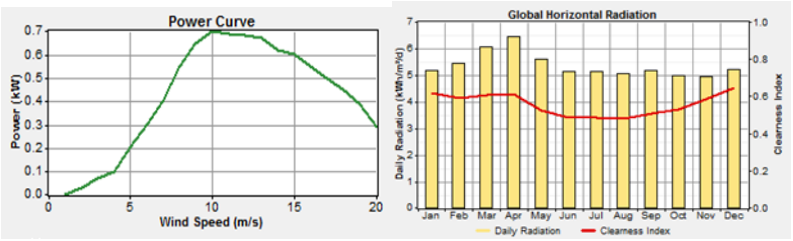
รูปที่ 10 3D model of Pico turbine testing (ก) 3D model connected set connecting to PMG, (ข) 3D water circulation system connecting with water pumping, (ค) real prototype testing apparatus, and (ง) water flow impacting the turbine blade

2.3 การใช้โปรแกรมคำนวณ Homer Commercial Program

ซอฟต์แวร์ HOMER ดังแสดงในรูปที่ 11 ได้รับการพัฒนาในห้องปฏิบัติการพลังงานทดแทนแห่งชาติ (NREL) ประเทศสหรัฐอเมริกา [15] ถึงแม้ซอฟต์แวร์ HOMER จะถูกนำมาใช้ในการศึกษาจำนวนมาก [16-21]



รูปที่ 11 Simulation Model of the PV, Wind and Water system



(ก) Power curve of micro wind turbine (ข) Global radiation of solar

รูปที่ 12 Condition input of Wind turbine and solar radiation

สมรรถนะของกังหันลมคือ 650 วัตต์ที่ความเร็วลมลมเข้า 10 เมตรต่อวินาที สำหรับการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะพิจารณาปีอุตุนิยมวิทยาทั่วไปสำหรับตำแหน่งที่ระบุ รังสีดวงอาทิตย์ประจำปีบริเวณที่ตั้งของตัวอาคารเท่ากับ 5.37 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน โดยมีค่าเฉลี่ยความชัดเจนท้องฟ้าเท่ากับ 0.68 ดังแสดงในรูปที่ 12 (ข)

2.4 Hybrid PV-Wind System Installation

รูปที่ 13 แสดงระบบไฮบริดที่อยู่บนดาดฟ้าของอาคาร Pier 39 รูปที่ 13 (ก) แสดงกังหันลมขนาดเล็ก 400 วัตต์ ซึ่งมีทั้งหมด 4 ชุด รูปที่ 13 (ข) แสดงแผงโซ่ลาร์ PV ที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคารสูงและรูปที่ 13 (ค) แสดงแผงควบคุมแบบไฮบริดโดยใช้แผงควบคุมโซล่าร์ PV และระบบกังหันลมขนาดเล็ก



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 13 ระบบไฮบริดทดลองที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคาร PIER 93 แสดงในรูปที่ 13 (ก) ระบบไฮบริด (Hybrid) บนหลังคาซึ่งประกอบด้วยกังหันลมและแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 13 (ข) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคาอาคารสูง และรูปที่ 13 (ค) แผงควบคุมระบบไฮบริด

RESULT AND DISCUSSION

3.1 Pico-Water Turbine Energy Result

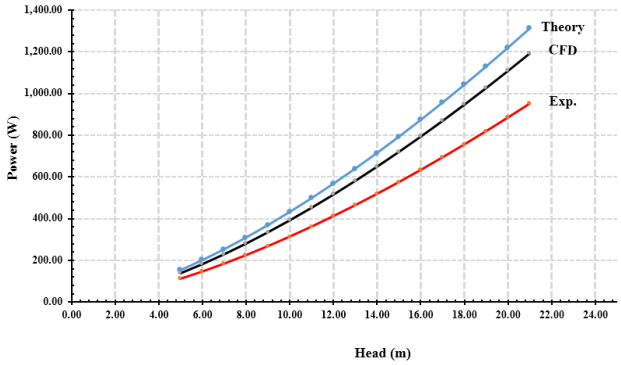
ตารางที่ 6 แสดงผลของกังหันน้ำ Turgo ที่ใช้เส้นผ่าศูนย์กลางหัวฉีดขนาด 10 มิลลิเมตร กระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจากกังหันขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและหัวน้ำ ผลการทดสอบแสดงค่าทางทฤษฎีที่ความสูงต่ำสุด 5 เมตร อัตราการไหล

ของ 11.21 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 152.24 วัตต์ ขณะที่การจำลองแบบ Computational Fluid Dynamics (CFD) สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 138.54 วัตต์ และ 101.39 วัตต์ ในการทดลองทางปฏิบัติ

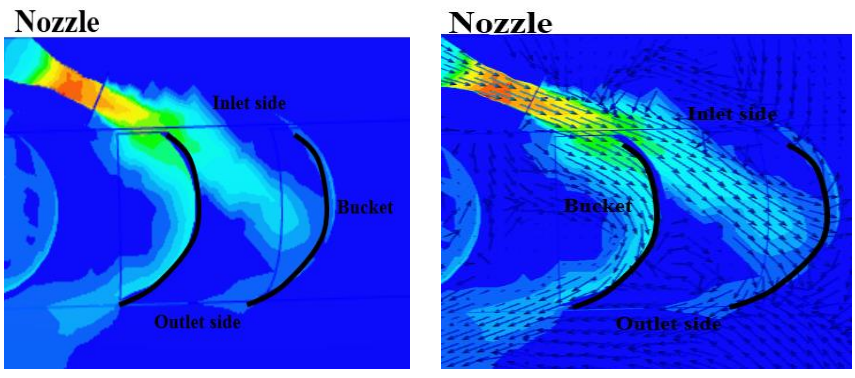
ตารางที่ 6 กำลังของกังหันน้ำ Turgo จากการคำนวณทางทฤษฎีการจำลอง CFD และการทดสอบเชิงทดลอง

Nozzle Dia. (mm)	Head (m)	Flow rate (m^3/h)	Power Theory (W)	Power CFD (W)	Power Exp. (W)
	5	11.21	152.24	138.54	101.39
	7	13.21	252.19	229.49	182.86
	9	15.02	367.66	334.57	266.59
10	11	16.61	496.78	452.07	360.22
	13	18.05	638.25	580.81	462.80
	15	19.39	791.07	719.87	573.61
	17	20.64	954.45	868.55	692.07
	19	21.83	1127.74	1026.24	817.72
	21	22.95	1310.41	1192.47	950.18

จากผลการคำนวณในตารางด้านบนกังหันน้ำ Turgo รวมถึงระยะความสูงที่ 21 เมตรซึ่งมีอัตราการไหลเท่ากับ 22.95 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึง 1310.41 วัตต์ จากการคำนวณทางทฤษฎี ขณะที่กำลังจาก CFD ประมาณ 1192.47 วัตต์ และการทดสอบต้นแบบปฏิบัติประมาณ 950.18 วัตต์ วิธีการ CFD จำลองการไหล (ω) และแรงบิด (T) ของกังหันใช้ สูตรพลังงาน $P = T\omega$ ความแตกต่างระหว่างผล CFD กับการทดสอบต้นแบบประมาณ 6.7% ดังนั้นผล CFD สามารถใช้เพื่อช่วยในการออกแบบ



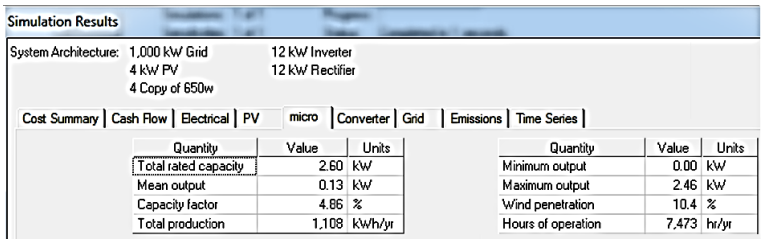
รูปที่ 14 Comparison of power output between theoretical, CFD, and experimental results



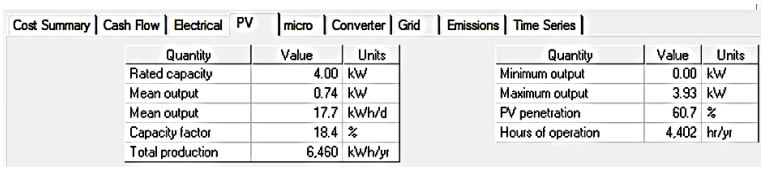
(ก) (ข)

รูปที่ 15 Velocity contours on Turgo water turbines. (ก) Flow and (ข) vector velocities

3.2 PV and wind hybrid system



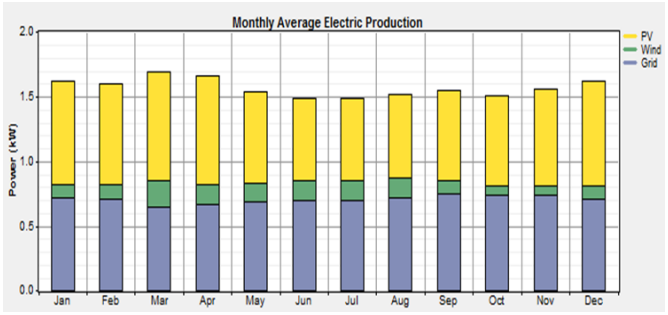
(ก)



(ข)

รูปที่ 16 Electricity production of HOMER simulation result of hybrid PV-wind system. (ก) Wind turbine and (ข) PV simulation results

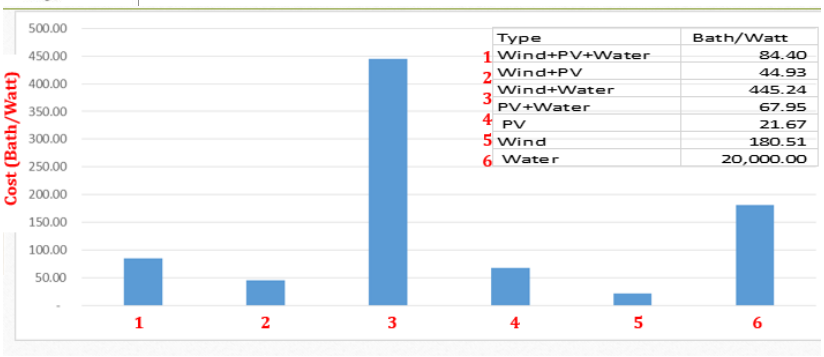
ผลผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนของระบบไฮบริดทั้งหมดของระบบซึ่งคำนวณโดยใช้ HOMER แสดงในรูปที่ 17 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพลังงานไฟฟ้ารายปีจากระบบไฮบริดที่ได้คือ 10640 กิโลวัตต์ชั่วโมง, 47% (6460 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี) ของผลิตกระแสไฟฟ้านี้ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะที่กังหันลม สามารถผลิตได้ 8% ของพลังงานทั้งหมด และไฟฟ้าจากกริดเป็นจำนวน 45% (6,187 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี) ค่าเฉลี่ยของพลังงานที่ได้จากโซล่าเซลล์ และกังหันลมมีค่าเท่ากับ 740 วัตต์ และ 130 วัตต์ ตามลำดับ มีส่วนร่วมในการผลิตพลังงานทดแทนโดยรวมเท่ากับ 52.4%



ภาพที่ 17 Monthly averages of energy output from the case study HRES, as calculated using HOMER

HOMER ผลการจำลองของพลังงานรายเดือนที่ซื้อ ค่าสูงสุดอยู่ที่ 386 วัตต์ในเดือนตุลาคมซึ่งเป็นฤดูฝนที่มีรังสีน้อยมากจากดวงอาทิตย์ ค่าต่ำสุดคือ 232 วัตต์ ในเดือนเมษายนซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนและมีรังสีสูงจากดวงอาทิตย์

พลังงานจากแสงอาทิตย์มีค่าประมาณ 6460 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี และ 5825 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี สำหรับการจำลองและผลการทดลองตามลำดับ ขณะที่พลังงานจากกังหันลมมีค่าประมาณ 1108 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี และ 812 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี สำหรับการจำลองและผลการทดลองตามลำดับ ความแตกต่างของการผลิตไฟฟ้าประมาณร้อยละ 9.87 และ 26.65 ตามลำดับจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และโรงไฟฟ้าพลังงานลมตามลำดับ



ภาพที่ 18 แสดงการคำนวณต้นทุน

จากรูปที่ 18 แสดงการคำนวณต้นทุนของระบบผลิตไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ สำหรับค่าใช้จ่ายของระบบโซล่าร์เซลล์ต่ำที่สุด ในขณะที่ระบบน้ำมีค่าสูงสุด สำหรับระบบไฮบริดของพลังงานลม - โซล่าร์เซลล์ จะต่ำที่สุด ในขณะที่ระบบพลังงานลม - น้ำมีค่าสูงสุด

สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้เราได้นำเสนอ HRES 3 รูปแบบที่นำมาใช้กับอาคาร PIER 93 ซึ่งเป็นกรณีศึกษาในอาคารสูงที่ตั้งอยู่ในจังหวัดปทุมธานี ทั้งสามแหล่งพลังงานทดแทน ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์พลังงานลมและน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4 กิโลวัตต์ พลังงานลมจากชุดกังหันลมขนาดเล็ก 650 วัตต์ และพลังงานน้ำที่ใช้กังหัน Pico จำนวน 1 กิโลวัตต์และกำลังผลิตไฟฟ้า

สำหรับการจำลองแบบ CFD ของกังหันน้ำ pico ผลของการหมุน runner (ω) และแรงบิด (T) ของกังหันจะถูกนำมาวิเคราะห์และคำนวณกำลังของกังหัน ($P = T\omega$) สำหรับหัวสูงสุด 21 เมตรและอัตราการไหล 22.95 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง กำลังไฟที่ผลิตได้อยู่ที่ประมาณ 1192.47 วัตต์และความแตกต่างระหว่างกระแสไฟฟ้า CFD กับวิธีทางทฤษฎีประมาณ 8.32% ความแตกต่างของการสร้างพลังงานระหว่าง CFD กับวิธีการของอุปกรณ์ประมาณ 20.31% ที่ชั้น PIER 93 สามารถเก็บน้ำฝนได้ประมาณ 350 ลูกบาศก์เมตรต่อปี กำลังผลิตไฟฟ้าประมาณ 950.18 วัตต์ x 15.87 วัตต์ = 15.08 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

แม้ว่าระบบไฮบริดสามารถสร้างพลังงานได้มากกว่าระบบเดียว แต่เนื่องจากเทคโนโลยีพลังงานทดแทนบางระบบมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบเดียวค่อนข้างสูง ดังนั้นเมื่อมีการติดตั้งกับระบบอื่นจะไม่คืนทุนต้นทุนที่ดีเมื่อเปรียบเทียบระบบพลังงานทดแทนชนิดเดียว

เอกสารอ้างอิง

[1] Energy Policy and Planning office, (2017). “Energy Statics of Thailand 2017,” Bangkok, Thailand. 2017

[2] Hossein Shahinzadeh, Alireza Gheiratmand, S. Hamid Fathi and Jalal Moradi : “Optimal Design and Management of Isolated Hybrid Renewable Energy System (WT/PV/ORES);A Case Study of Kish Island”, 21th Electrical Power DistributionConference, pp. 208-215,May 2016.

[3] Volker Quasching.(2005). Understanding Renewable Energy System, First Edition, Carl HanserVerlag GmbH & Co KG.

[4] Aldo V. Da Rosa, (2005). Fundamentals of Renewable Energy Processes, Elsevier Inc.

[5] European Commission, 2001, “Guidebook on the RES Power Generation Technologies,” Athens, 2001

[6] Mukund R., “Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis and Operation,” Second Edition, Taylor & Francis, 2006.

[7] Kamal Joshi, Alaknanda Ashok, and Sunita Chandel : “Optimal Economic Analysis of Hybrid Renewable Energy System”, International Conference on Advances in Computing, Communication, & Automation (ICACCA), pp. 1-5 , 2016. Regulation PEA on the terms of network connectivity, the year 2008.

[8] Global Energy Network Institute. Wind Energy Potential in Thailand. http://www.geni.org/globalenergy/library/renewable-energy-resources/world/asia/wind-asia/wind-thailand.shtml

[9] Bent Sorenson, “Renewable Energy: Its physics, engineering, use of environmental impacts, economy and planning aspects,” Third Edition.

[10] Twidell, J., Weir, T. (2015). Renewable Energy Resources. Taylor & Francis.

[11] International Energy Agency. (2015). Renewable energy medium-term market report.

[12] Flavin, C., Hull Aeck, M. (2005). Energy for Development, The Potential Role of Renewable Energy in Metting the Millennium Development Goals. REN21 Netw. 4–39.

[13] Regulation PEA on the terms of network connectivity, the year 2008.

[14] Guide for development and investment on energy production, Volume 2, Solar Energy, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy,2010

[15] Yang H, Lu L, Burnett J. Weather data and probability analysis of hybrid photovoltaic–wind power generation system in Hong Kong. Renew Energy 2003;28:1813–24. http://dx.doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00015-6.

[16] ⟨http://www.nrel/gov/HOMER⟩.

[17] Erdinc O, Uzunoglu M. (2012). Optimum design of hybrid renewable energy systems: overview of different approaches. Renew Sustain Energy Rev; 16:1412–25.

[18] BajpaiP, DashV.(2012). Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications : Areview. Renew Sustain Energy Rev; 16:2926–39.

[19] Bernal-AgustínJL,Dufo-LópezR. (2009). Simulation and optimization of stand-alone Hybrid renewable energy systems. Renew Sustain Energy; 13:2111–8

[20] Bhattacharyya S C. (2012). Review of alternative methodologies for analyzing off-grid electricity supply. Renew Sustain Energy; 16:677–94.

[21] Fathima A H, Palanisamy K. (2015). Optimization in microgrids with hybrid energy Systems —a review.Renew Sustain Energy; 45:431–46.

DE97

การเปรียบเทียบแบบจำลองฟาร์มกังหันลม ณ กังหันลมลำตะคอง

Comparison of Wind Farm Simulation at Lamtakong Wind Farm

พงษ์ศักดิ์ มะขามป้อม[1*] จอมภพ แววศักดิ์[2,3] สมพล ชีวมงคลกานต์[3] และชนะ จันทร์ฉ่ำ[3]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210
[2]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210
[3] ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาตำแหน่งติดตั้งกังหันลม ณ กังหันลมลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งใช้แบบจำลองฟาร์มกังหันลม โดยเลือกใช้แบบจำลองฟาร์มกังหันลม คือ Open Wind, Park optimization, และ Wind Farmer เพื่อทำการเปรียบเทียบว่าแบบจำลองใดที่สามารถค้นหาตำแหน่งที่สามารถติดตั้งกังหันลมแล้วผลิตไฟฟ้าฟ้าได้มากที่สุด จากการศึกษาพบว่า แบบจำลอง Open Wind สามารถระบุตำแหน่งที่มีความเร็วลมมากที่สุด ที่ระดับความสูงของดุมยึดใบพัดของกังหันลมทั้ง 3 ระดับมีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 6.35 เมตร/วินาที 6.52 เมตร/วินาที และ 6.63 เมตร/วินาที ตามลำดับกังหันลมทั้งหมดสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด 104.2 GWh/y 132.3 GWh/y และ 137 GWh/y ตามลำดับ หน่วยไฟฟ้าสุทธิที่กังหันลมทั้งหมดสามารถผลิตได้มากที่สุด 101.38 GWh/y 126.97 GWh/y และ 133.3 GWh/y ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองฟาร์มกังหันลม Open Wind สามารถระบุตำแหน่งพื้นที่ติดตั้งกังหันลมที่สามารถผลิตหน่วยไฟฟ้าได้มากที่สุด ณ กังหันลมลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา

คำสำคัญ: ฟาร์มกังหันลม แบบจำลองฟาร์มกังหันลม Open Wind, Park optimization, Wind Farmer

Abstract

This article studies the wind turbine installation location at Lam Ta Khong wind turbine, Nakhon Ratchasima. Which uses a wind farm model: Open Wind, Park optimization, and Wind Farmer, were used to compare the models that could find the locations where wind turbines could be installed and produce the most electricity. According to the study, the Open Wind model can determine the location with the highest wind speed. At the altitude of the wind turbine hub, the three wind turbines have an average speed of 6.35 m/s, 6.52 m/s and 6.63 m/s respectively. All wind turbines produce 104.2 GWh/y, 132.3 GWh/y And 137 GWh/y respectively. The total net power generated by wind turbines was 101.38 GWh/y, 126.97 GWh/y and 133.3 GWh/y respectively. If the wind turbine that can produce the most electricity at wind Lamtakong. Nakhon Ratchasima

Keywords: Wind farm, Wind farm model, Open Wind, Park Optimization, Wind Farmer

*Corresponding author: Tel.: 080-6481430. E-mail address: 602995011@tsu.ac.th

บทนำ

พลังงานลม เป็นพลังงานตามธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดดันของบรรยากาศและแรงจากการหมุนของโลก มนุษย์เราได้ใช้ประโยชน์จากพลังงานลมมานานและปัจจุบันมนุษย์จึงได้ให้ความสำคัญและนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้น โดยการใช้เทคโนโลยีกังหันลมเป็นอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้า จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของพลังงานสะอาดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และต้นทุนต่อหน่วยพลังงานยังถูกกว่าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยปรกติแล้วพลังงานลมจะทำงานได้เมื่อมีความเร็วลมตั้งแต่ 6 เมตรต่อวินาทีขึ้นไปแต่เทคโนโลยีด้านนี้ ก็ได้พัฒนาไปจนสามารถทำให้กังหันลมเริ่มทำงานได้ที่ความเร็วลมตั้งแต่ 2.5 - 3 เมตรต่อวินาทีขึ้นไปทำให้สามารถใช้ได้ในบางเขตพื้นที่ของประเทศไทย โดยพื้นที่ ๆ เหมาะสมควรเป็นเขตชายทะเลเกาะแก่งต่าง ๆ หรือทางลมภูเขา [1] แต่การสร้างฟาร์มกันหันลมต้องใช้เงินลงทุนอย่างมหาศาลจึงจำเป็นต้องศึกษาศักยภาพพลังงานลมและความเป็นไปได้ของการสร้างฟาร์มกังหันลม เพื่อป้องกันการลงทุนที่สูญเปล่า วิธีการที่ได้รับความนิยมคือ การศึกษาโดยใช้แบบจำลองทุ่งกังหันลมในซึ่งมีหลากกลายในปัจจุบัน ดังนั้นการศึกษานี้จะทำศึกษาและเปรียบเทียบแบบจำลองทุ่งกังหันลมที่มีความเหมาะสมสำหรับการสร้างทุ่งกังหันลม โดยเลือกใช้แบบจำลอง Open Wind, Park optimization, และ Wind Farmer ในการเปรียบเทียบว่าแบบจำลองใดที่สามารถค้นหาตำแหน่งที่สามารถติดตั้งกังหันลมแล้วผลิตไฟฟ้าฟ้าได้ดีที่สุด โดยจะพิจารณาความเร็วลม หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดรายปี และหน่วยไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้ทั้งหมดรายปี

วิธีการวิจัย

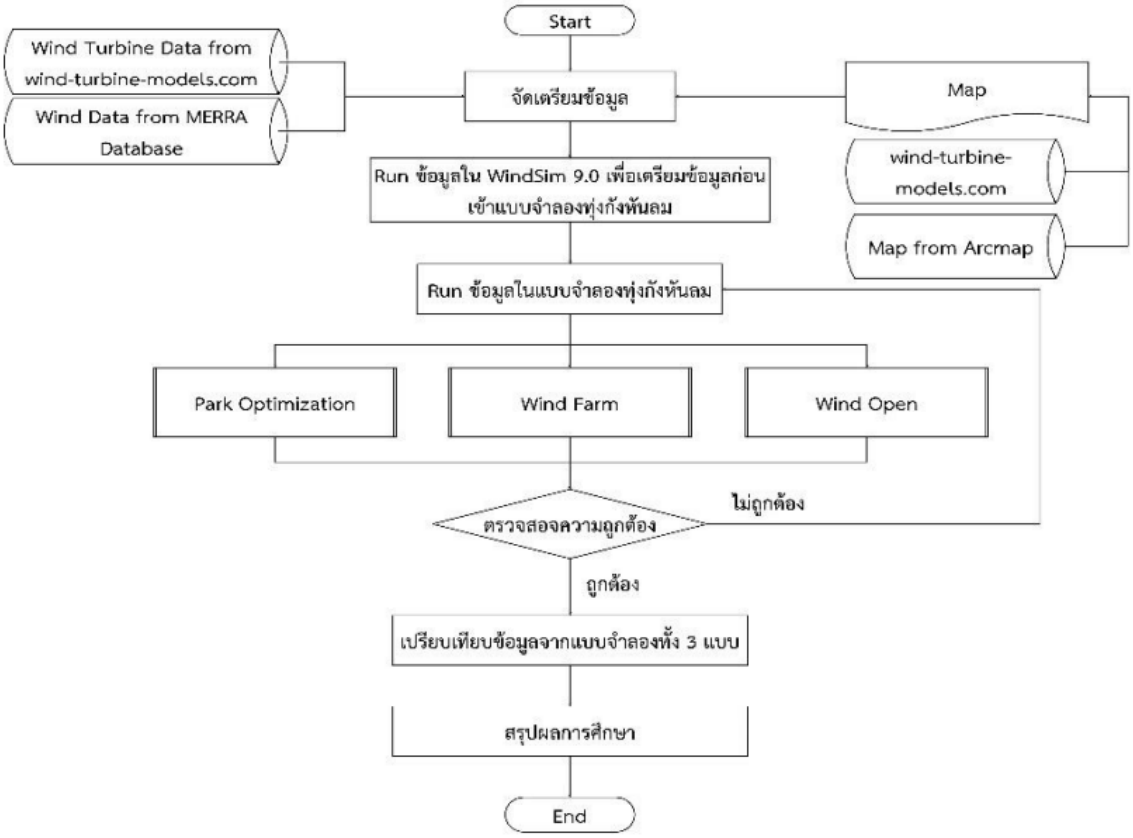
ในการศึกษานี้ได้เลือกพื้นที่ศึกษาที่กังหันลมลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมาแสดงข้อมูลพื้นที่ดังตารางที่ 1 โดยทำการวิเคราะห์ที่ช่วงระดับความสูง 3 ช่วง คือ 80-90 เมตร100-120 เมตรและ 130-150 เมตรโดยใช้กังหันลมที่ทำการคัดเลือกไว้ดังตารางที่ 2 ซึ่งใช้กังหันลมจำนวน 12 ต้นและใช้ข้อมูลความเร็วและทิศทางของลมจากฐานข้อมูล MERRA ตั้งแต่ปี 1979-2015 และใช้ โปรแกรม Arcmap 10.2 ในการเตรียมแผนที่ของพื้นที่ศึกษา โดยแผนในการศึกษามีความละเอียดที่ 50 เมตรสำหรับขั้นตอนการศึกษาในครั้งนี้จะแสดงดังภาพที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

ทุ่งกังหันลม	ที่ตั้ง	ลักษณะภูมิประเทศ	พิกัดศึกษา	
			ละติจูด	ลองจิจูด
กังหันลม ลำตะคอง	ต.คลองไผ่ อ.สีคิ้ว นครราชสีมา	เทือกเขา	14°49'00.2"N	101°33'33.3"E

ตารางที่ 2 ข้อมูลเบื้องต้นของกังหันที่ใช้ในการศึกษา

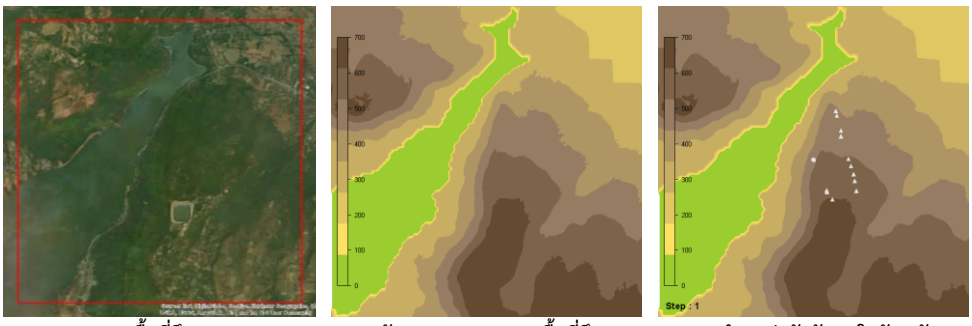
Hight Range	Manufacturer	Model	Hub Hight	Year
80-90	Vestas	V112-3.45MW	84	2015
100-120	Vestas	V126-3.45MW	117	2015
130-150	Vestas	V126-3.45MW	149	2015



ภาพที่ 1ขั้นตอนการศึกษา

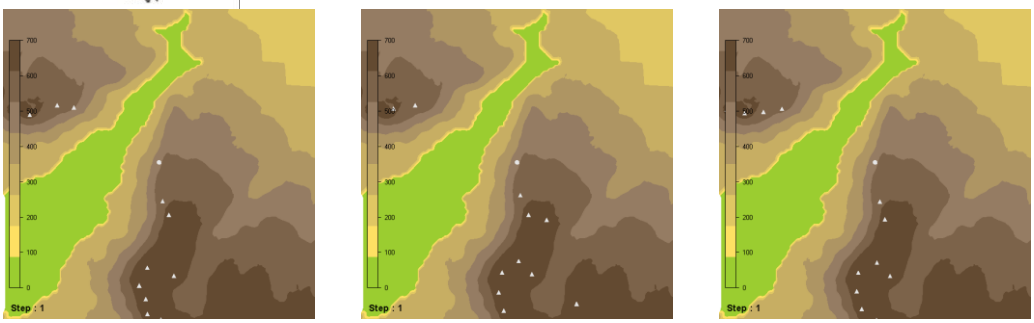
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษานี้ทำการศึกษา ณ กังหันลมลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ตำแหน่งติดตั้งกังหันลมจากพื้นที่ติดตั้งจริง และใช้กังหันลมจำนวน 12 ต้นซึ่งตำแหน่งกังหันลมของกังหันลมลำตะคองจะนำมาระบุตำแหน่งความเร็วลมของกังหันลมเฉลี่ยหน่วยไฟฟ้ารวมรายปีและหน่วยไฟฟ้าสุทธิรายปีที่กังหันลมผลิตได้ด้วยโปรแกรม WindSim 9.0เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างในการเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่น ซึ่งตำแหน่งของกังหันลมลำตะคอง แสดงดังภาพที่ 2 (ค)และตำแหน่งที่ได้จากผลแบบจำลอง Open Wind, Park Optimization, และ Wind Farmer4.2.20 ที่ระดับความสูงของระยะความสูงดุมยึดใบพัดของกังหันลม (Hub Hight) 84 เมตร 117 เมตรและ 149 เมตรแสดงดังภาพที่ 3 4 และ 5 ตามลำดับ โดยตำแหน่งของกังหันลมจากแบบจำลองจะมีลักษณะกระจาย เป็นผลเนื่องจากระดับความสูงของพื้นที่ศึกษา ซึ่งส่งผลต่อความเร็วลม



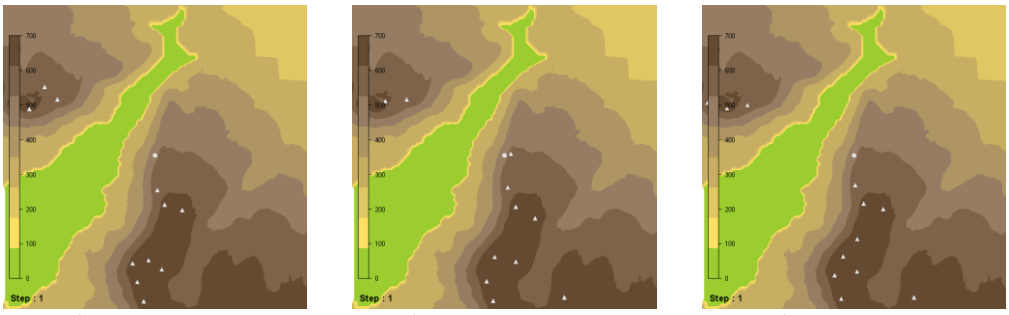
(ก) พื้นที่ศึกษา (ข) ลักษณะความสูงของพื้นที่ศึกษา (ค) ตำแหน่งกังหันลมในปัจจุบัน

ภาพที่ 2 รายละเอียดของพื้นที่ศึกษา



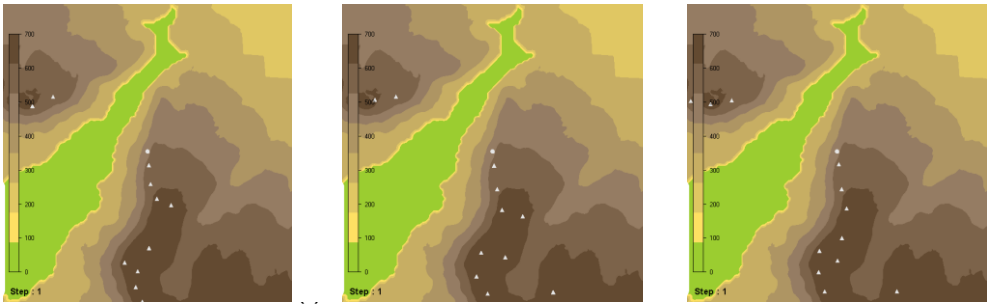
(ก) ตำแหน่งจาก Open Wind (ข) ตำแหน่งจาก Park Optimization (ค) ตำแหน่งจาก Wind Farmer

ภาพที่ 3 ตำแหน่งกังหันลมที่ระดับความสูง 84 เมตร



(ก) ตำแหน่งจาก Open Wind (ข) ตำแหน่งจาก Park Optimization (ค) ตำแหน่งจาก Wind Farmer

ภาพที่ 4 ตำแหน่งกังหันลมที่ระดับความสูง 117เมตร



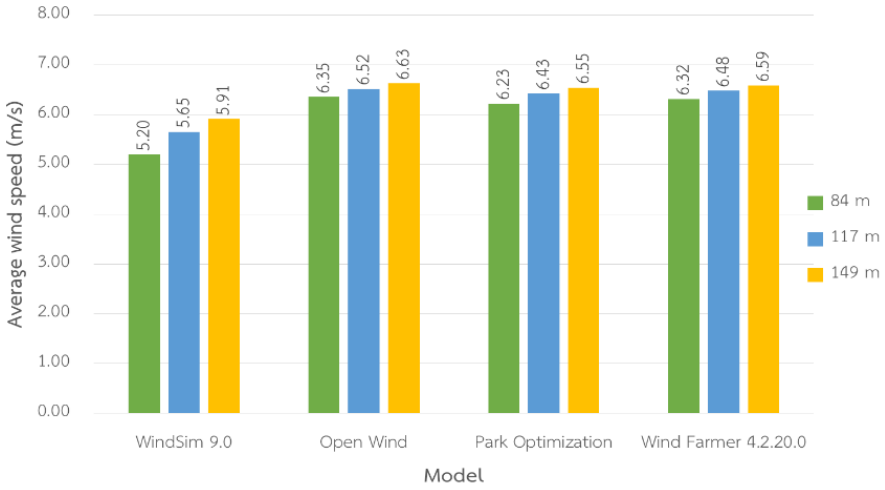
ตำแหน่งจาก Open Wind (ข) ตำแหน่งจาก Park Optimization (ค) ตำแหน่งจาก Wind Farmer

ภาพที่ 5 ตำแหน่งกังหันลมที่ระดับความสูง 149เมตร

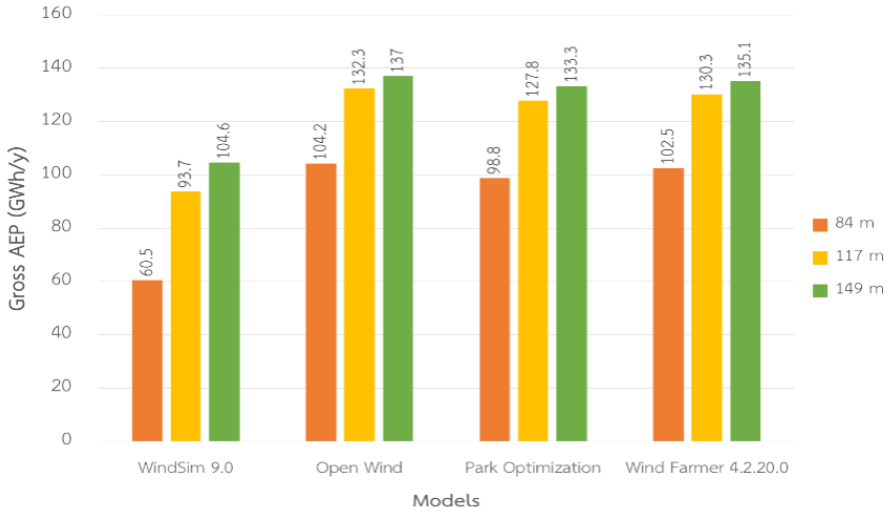
จากภาพที่ 6 จากโปรแกรม WindSim 9.0ความเร็วลมเฉลี่ยของกังหันลม 12 ต้นในตำแหน่งติดตั้งจริง ที่ระดับความสูงของดุมยึดใบพัดของกังหันลม84 เมตร 117 เมตร และ 149 เมตร มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 5.2 เมตร/วินาที5.65 เมตร/วินาทีและ 5.91 เมตร/วินาทีตามลำดับ จากแบบจำลอง Open Wind มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 6.35เมตร/วินาที6.52 เมตร/วินาทีและ 6.63เมตร/วินาทีตามลำดับจากแบบจำลอง Park Optimization มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 6.23 เมตร/วินาที6.43 เมตร/วินาทีและ 6.55 เมตร/วินาทีตามลำดับจากแบบจำลองWind Farmer 4.2.20มีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 6.23 เมตร/วินาที6.43 เมตร/วินาทีและ 6.55 เมตร/วินาทีตามลำดับโดยแบบจำลอง Open Wind สามารถระบุตำแหน่งที่มีความเร็วลมมากที่สุด ที่ระดับความสูงของดุมยึดใบพัดของกังหันลมทั้ง3 ระดับ

สำหรับหน่วยไฟฟ้าที่กังหันลมทั้งหมดผลิตได้แสดงดังภาพที่ 7 โดยไม่คำนึกถึงการสูญเสียจากพารามิเตอร์อื่น ๆ ณ ตำแหน่งติดตั้งจริงที่ระดับความสูงของดุมยึดใบพัดของกังหันลม84 เมตร 117 เมตร และ 149 เมตรสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 60.5 GWh/y 93.7 GWh/y และ 104.6 GWh/y ตามลำดับ จากแบบจำลอง Open Wind กังหันลมทั้งหมดสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด 104.2 GWh/y 132.3 GWh/y และ 137GWh/yตามลำดับจากแบบจำลอง Park Optimization กังหันลมทั้งหมดสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด98.8 GWh/y 127.8 GWh/y และ 133.3 GWh/y

ตามลำดับจากแบบจำลอง Wind Farmer 4.2.20 102.5 GWh/y 130.3 GWh/y และ 135.1 GWh/y ตามลำดับ ซึ่งแบบจำลอง Open Wind ให้ผลของหน่วยไฟฟ้าที่กังหันลมทั้งหมดสามารถผลิตได้มากที่สุด เป็นผลเนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวมีค่าความเร็วลมมากที่สุด

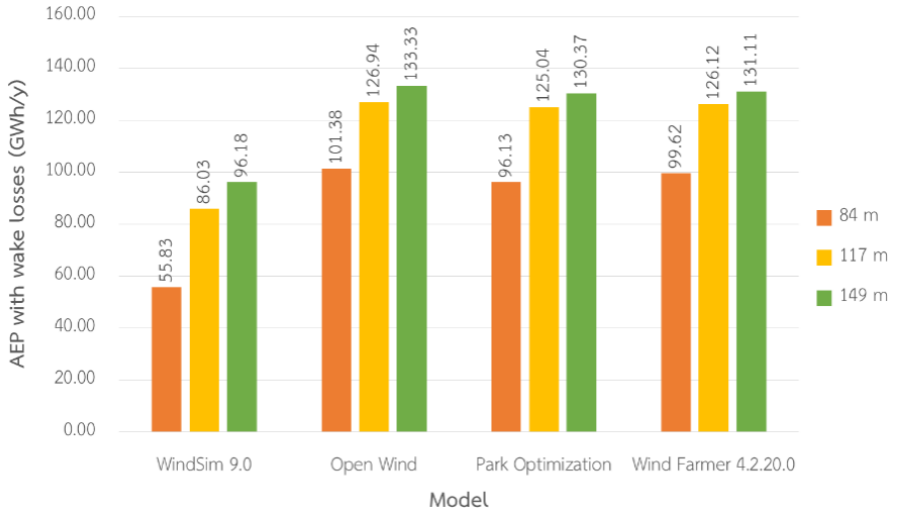


ภาพที่ 6ความเร็วลมเฉลี่ยของแต่ละแบบจำลอง



ภาพที่ 7หน่วยไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้รายปี

เมื่อคำนึกถึงการสูญเสียเนื่องจากการควงของอากาศ(Wake) หน่วยไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้ลดจากหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด เป็นผลเนื่องจากการควงของอากาศ แสดงดังภาพที่ 8ณ ตำแหน่งติดตั้งจริงที่ระดับความสูงของดุมยึดใบพัดของกังหันลม84 เมตร 117 เมตร และ 149 เมตรสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 55.83 GWh/y 86.03 GWh/y และ96.18 GWh/y ตามลำดับมีค่าการควงของอากาศเท่ากับ 7.8% 8.2% และ 8% จากแบบจำลอง Open Wind กังหันลมทั้งหมดสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด101.38 GWh/y 126.97 GWh/y และ 133.3GWh/y ตามลำดับมีค่าการควงของอากาศเท่ากับ 2.7% 4% และ 2.7%จากแบบจำลอง Park Optimization กังหันลมทั้งหมดสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด 96.13GWh/y 125.04 GWh/y และ 130.37 GWh/yตามลำดับมีค่าการควงของอากาศเท่ากับ 2.7% 2.2% และ 2.2% จากแบบจำลอง Wind Farmer 4.2.20 มีค่า 99.62 GWh/y 126.12 GWh/y และ 131.11 GWh/yตามลำดับมีค่าการควงของอากาศเท่ากับ2.8% 3.2% และ 3% เมื่อเปรียบเทียบแล้วแบบจำลอง Open Wind ให้ผลของหน่วยไฟฟ้าสุทธิที่กังหันลมทั้งหมดสามารถผลิตได้มากที่สุด



ภาพที่ 8หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีโดยคิดการสูญเสีย

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ทำการศึกษาตำแหน่งติดตั้งกังหันลม ณ กังหันลมลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งใช้แบบจำลองฟาร์มกังหันลม โดยเลือกใช้แบบจำลองฟาร์มกังหันลม คือOpen Wind, Park optimization, และ Wind Farmer เพื่อทำการเปรียบเทียบว่าแบบจำลองใดที่สามารถค้นหาตำแหน่งที่สามารถติดตั้งกังหันลมแล้วผลิตไฟฟ้าฟ้าได้มากที่สุด จากการศึกษาพบว่า แบบจำลอง Open Wind สามารถระบุตำแหน่งที่มีความเร็วลมมากที่สุด ที่ระดับความสูงของดุมยึดใบพัดของกังหันลมทั้ง3 ระดับมีความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 6.35 เมตร/วินาที6.52 เมตร/วินาทีและ 6.63 เมตร/วินาทีตามลำดับ กังหันลมทั้งหมดสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด 104.2 GWh/y 132.3 GWh/y และ 137 GWh/yตามลำดับหน่วยไฟฟ้าสุทธิที่กังหันลมทั้งหมดสามารถผลิตได้มากที่สุด101.38 GWh/y 126.97 GWh/y และ 133.3 GWh/yส่วนแบบจำลอง Park Optimization และ Wind Farmer 4.2.20 สามารถสามารถระบุตำแหน่งของการติดตั้งกังหันลมที่สามารถผลิตหน่วยไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองฟาร์มกังหันลม Open Wind สามารถระบุตำแหน่งพื้นที่ติดตั้งกังหันลมที่สามารถผลิตหน่วยไฟฟ้าได้มากที่สุด ณ กังหันลมลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา

การศึกษาเพิ่มเติมต่อจากการศึกษานี้

ทำการศึกษาที่ลักษณะพื้นที่ติดตั้งกังหันลมที่ต่างกัน เพื่อศึกษาว่าแบบจำลองฟาร์มกังหันลมใด เหมาะสมกับลักษณะของพื้นที่ติดตั้งแบบใด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่อำนวยความสะดวกด้านบุคคลากรและเครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] NS Thai. ชุดกังหันลมผลิตไฟฟ้า (Wind Turbine) สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2561สืบค้นจาก http://www.nsthai.com/wind_turbine.htm

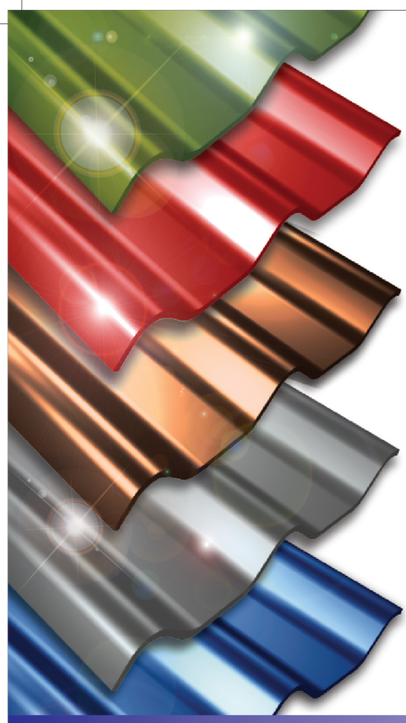
WELCOME TO
INNOVATION NATION



Whatever treasured **Thailand** means to you, the kingdom has so much more to contribute to the world. With the dawn of the fourth industrial revolution, Thailand is galloping forward at full speed as a nation of innovations. We are ready to unveil how innovative Thai creations will be able to enrich the world's prosperity, stability and sustainability.

www.nia.or.th info@nia.or.th +66 2 017 5555
NIA : National Innovation Agency : @niathailand : NIA Channel

NIA สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ



กระเบื้องหลังคาเคลือบ
นวัตกรรมใหม่
มอก. 1407-2540

รุ่นเย็นสุขใจ
DELIGHT COOL

- **แวววาว เงางาม น้ำหนักเบา** กว่ากระเบื้องเซรามิก
- **เหนียว แข็งแรง ทนทาน ติดตั้งง่าย** กว่ากระเบื้องเซรามิก
- **กันความร้อน** ได้ดีกว่ากระเบื้องเซรามิก
- **ลดเสียงรบกวนจากภายนอก** ดีกว่ากระเบื้องเซรามิก
- **ราคาถูก** กว่ากระเบื้องเซรามิก



TPI SUPER SPECIAL ARMOUR NANO PAINT ฉาบปูนเช้า ทาสีบ่าย เข้าอยู่ได้ตอนเย็น

NP100S/NP100SW



สีทารองพื้น

ทาทับด้วย

NP101S



[Top Coat - สูตรน้ำ]
สีทาพนังภายใน-ภายนอก

คุณสมบัติเด่นของสี

- สามารถใช้กับลูกกลิ้ง แปรงทาสีและเครื่องพ่น
- เนื้อสีมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์เป็นองค์ประกอบหลัก ทาได้ทันทีหลังฉาบปูนเสร็จและทาทับรอยแตกลายงาได้
- ทนทาน ไม่หลุดล่อน ป้องกันเชื้อรา
- ไม่มีกลิ่น ปราศจากสารละเหย ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

NP200

สีทากันซึม
สำหรับงานหลังคา ดาดฟ้า

ป้องกันน้ำซึม ดีเยี่ยม



คุณสมบัติเด่นของสี

- สามารถใช้กับลูกกลิ้ง แปรงทาสีและเครื่องพ่น
- เนื้อสีมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์เป็นองค์ประกอบหลัก ทาได้ทันทีหลังฉาบปูนเสร็จและทาทับรอยแตกลายงาได้
- ทนทาน ไม่หลุดล่อน ป้องกันเชื้อรา
- ไม่มีกลิ่น ปราศจากสารละเหย ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- ยืดหยุ่นสูง แก้ปัญหาสีโป่งพอง ไม่ลอกล่อน

ผลิตและจัดจำหน่ายโดย :
บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน)
โทร. 02-285-5090, 02-213-1039

CALL CENTER
02-6786547-52

บริษัท ทีพีไอ โพลีน ชีวะอินทรีย์ จำกัด เป็นบริษัทฯ เดียวในโลกที่สามารถพิชิตโรคปากเท้าเปื่อย (FMD), โรคกุ้งตายด่วน (EMS) และโรคไข้หวัดนกในสัตว์ปีก โดยปราศจากยาปฏิชีวนะ

BIO ORGANIC

ทีพีไอ-ซินไบโอติกส์ สำหรับ สัตว์ปีก สัตว์บก สัตว์น้ำ ทุกชนิด

ลักษณะผลิตภัณฑ์

เป็นจุลินทรีย์โปรไบโอติกส์ในน้ำหมักอินทรีย์ ผลิตจากวัตถุดิบอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น ผัก ผลไม้ปลอดสารพิษ ผ่านการหมักย่อยด้วยจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ ควบคุมการหมักด้วยเทคโนโลยีระดับสูงได้เป็นสารเหลวสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์โปรไบโอติกส์ชีวภาพหลากหลายสายพันธุ์ที่เป็นประโยชน์ในลำไส้สัตว์ เช่น จุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus spp.* และ กลุ่ม *Lactobacillus spp.* ช่วยสร้างเอนไซม์ที่มีประสิทธิภาพสูงหลายชนิด และสารอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก กรดไขมัน กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ เกลือแร่ และธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสัตว์

ขอบเขตการใช้งาน

ใช้ **ทีพีไอ-ซินไบโอติกส์** ปรุงแต่งน้ำและอาหารให้สัตว์กิน เพิ่มรสชาติของอาหาร และช่วยให้ระบบการย่อยอาหารของสัตว์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และสร้างภูมิต้านทานโรคก่าให้สัตว์มีสุขภาพแข็งแรง เจริญเติบโตเร็ว น้ำหนักดี ลดการใช้ยาปฏิชีวนะ และสารเร่ง และลดกลิ่นเหม็นของมูลสัตว์

เข้มข้นด้วยจุลินทรีย์พันธุ์ดี สุขภาพสัตว์แข็งแรง โตไว น้ำหนักดี ปลอดภัยทั้งคน และสัตว์เลี้ยง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม











ผลิตและจัดจำหน่ายโดย :
บริษัท ทีพีไอ โพลีน ชีวะอินทรีย์ จำกัด โทร. 0-2678-6888 (แผนกเทคนิคการเกษตร ฝ่ายขาย)

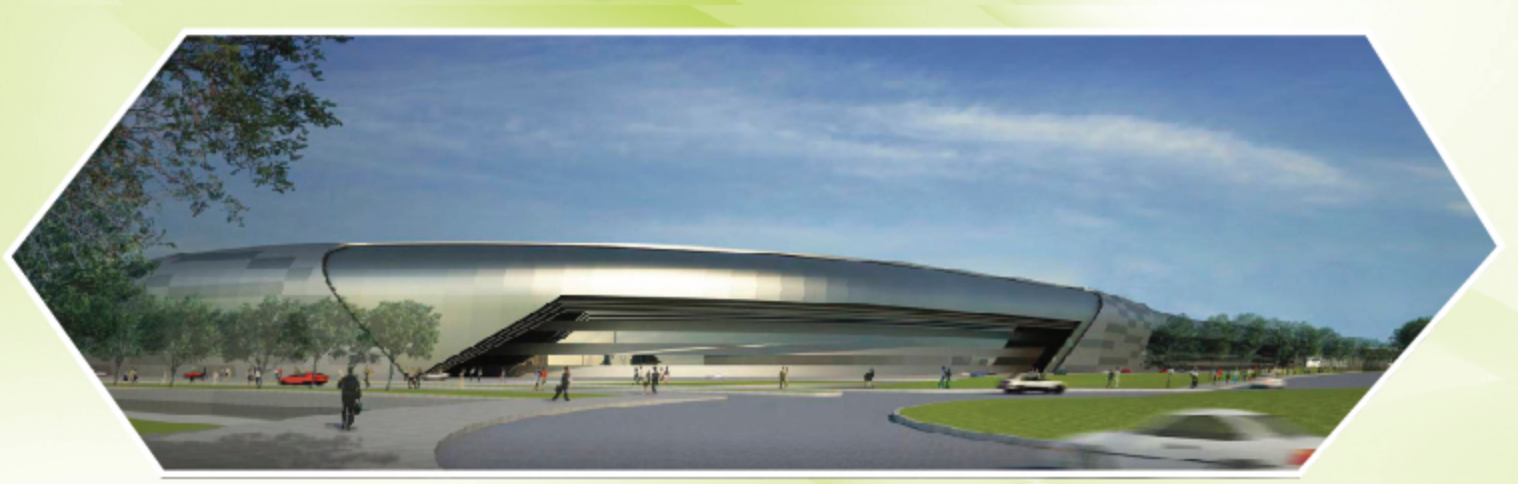
Energy Absolute







“พลังงานบริสุทธิ์ พลังเพื่ออนาคต”



Friend พันธมิตรที่ดีของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย **I**ntegrity ดำเนินธุรกิจถูกต้อง เชื่อถือได้ **R**esourcefulness ใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิผล **S**ecurity สร้างความมั่นคงทางพลังงาน **T**ransparency โปร่งใส มีธรรมาภิบาล

บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด (มหาชน) และธุรกิจในเครือ

ดำเนินธุรกิจหลักด้านพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย ประกอบด้วย

1. ธุรกิจผลิตและจำหน่ายน้ำมันไบโอดีเซล (B100) กลีเซอรีนบริสุทธิ์ และผลิตภัณฑ์พลอยได้
2. ธุรกิจผลิตและจำหน่ายกระแสไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน
3. ธุรกิจพัฒนาและผลิตแบตเตอรี่ลิเที่ยมไอออน สำหรับอุตสาหกรรมพลังงานไฟฟ้าและยานยนต์ไฟฟ้า
4. ธุรกิจบริการสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า EAAnywhere
5. ธุรกิจยานยนต์ไฟฟ้าที่ออกแบบและพัฒนาโดยฝีมือคนไทย 100%

บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด (มหาชน)

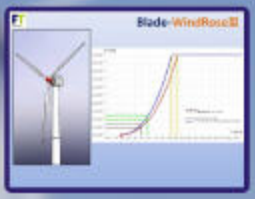
มุ่งพัฒนาด้านพลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะพลังงานสะอาด สอดคล้องกับทิศทางนโยบาย Energy 4.0 ของประเทศ และความต้องการด้านพลังงานในอนาคต เพื่อพัฒนาพลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการพัฒนาประเทศ ควบคู่ไปกับความรับผิดชอบต่อสังคมและการยกระดับคุณภาพชีวิต ตามปณิธานของบริษัทฯ ที่ว่า ‘พลังงานบริสุทธิ์ พลังเพื่ออนาคต’

บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด (มหาชน) ชั้น 16 อาคารเอไอเอ แคปปิตอล เซ็นเตอร์ เลขที่ 89 ถนนรัชดาภิเษก เขตดินแดง กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2248 2488-92 และ 0 2002 3667-9 • โทรสาร 02 248 2493 • http://www.energyabsolute.co.th • www.facebook.com/EnergyAbsolute

FT
ENERGY



















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

ด้วยพลังแห่งความมุ่งมั่น
สู่ความเป็นผู้นำระดับสากล
สร้างความแข็งแกร่งทางธุรกิจ
ควบคู่กับการดำเนินงานด้วยความรับผิดชอบ
ต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน



IRPC ได้รับคะแนนสูงสุดจากการจัดอันดับดัชนีความยั่งยืนดาวโจนส์ ปี 2561
(Down Jones Sustainability Indices: DJSI 2018)
เป็นผู้นำด้านอุตสาหกรรมการกลั่นและจำหน่ายน้ำมันและก๊าซของโลก
และคงสถานะเป็นสมาชิก DJSI ต่อเนื่องเป็นปีที่ 5

"IRPC มุ่งสู่เป้าหมายที่ท้าทาย และยืนหยัดได้อย่างยั่งยืน"

IRPC

MEMBER OF
Dow Jones
Sustainability Indices
In Collaboration with RobecoSAM

www.irpc.co.th





“รางวัลรัฐวิสาหกิจยอดเยี่ยม 3 ปีซ้อน” คือความภาคภูมิใจอันยิ่งใหญ่เพื่อคนไทยทุกคน

บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ได้รับรางวัลรัฐวิสาหกิจดีเด่น ประเภท **“รางวัลรัฐวิสาหกิจยอดเยี่ยม ประจำปี 2561”** จากกระทรวงการคลังที่มอบให้แก่รัฐวิสาหกิจที่มีผลการดำเนินงานดีเด่นในด้านต่างๆ ถือเป็นอีกหนึ่งความภาคภูมิใจ จากการยอมรับของภาครัฐและเป็นการสร้างบรรทัดฐานที่ดี เพื่อพัฒนาการดำเนินงานของรัฐวิสาหกิจไทย

ตลอด 40 ปีที่ผ่านมา ปตท. ยังคงมุ่งมั่น ทุ่มเท บริหารจัดการความยั่งยืนอย่างสมดุล ทั้งการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ ชุมชน และสังคม (People) พร้อมอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (Planet) ควบคู่ไปกับการดำเนินธุรกิจอย่างยั่งยืน การที่ ปตท. ได้รับรางวัลรัฐวิสาหกิจยอดเยี่ยม 3 ปีซ้อน เป็นเสมือนเครื่องยืนยันถึงความมุ่งมั่นในการดำเนินงานของเรา ที่ทุกย่างก้าวได้คำนึงถึงคนไทยทุกคน ให้ความสำคัญกับชุมชนรอบข้าง พร้อมสานพลังทุกภาคส่วน ร่วมขับเคลื่อนประเทศไปด้วยกันอย่างยั่งยืน





ร่วมจัดโดย

สนับสนุนโดย