#TREC12

“นวัตกรรมบนวิถีพอเพียง
เพื่อ
ชุมชนแห่งอนาคต”

The 12th
Thailand Renewable Energy
for Community Conference

การประชุมสัมมนาวิชาการ
รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 12

CONFERENCE PROCEEDINGS

จัดโดย

SGtech

6-8 พฤศจิกายน 2562

ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

หัวข้อวิจัย และ บทความ

1 เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน

2 สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

3 การจัดการพลังงานชุมชน

4 การจัดการพลังงานชุมชน

5 การออกแบบและจำลอง
การทำงานด้านพลังงาน

ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
RSEC-RMUTT Research and Service Energy Center

depa

FT ENERGY

BAFS

GUNKUL

NIA สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ

LEONICS

ptt

PTTEP

IRPC

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี (SGtech) มหาวิทยาลัยนเรศวร มีความยินดีที่ได้เป็นเจ้าภาพจัดการประชุมสัมมนา TREC12 ซึ่งเป็นครั้งสำคัญที่ TREC ได้กลับมาจัด ณ บ้านเก่าที่ให้กำเนิด TREC1 เมื่อ 12 ปี ที่ผ่านมา

TREC คือ การจัดประชุมเพื่อการพัฒนารูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนของประเทศไทย เป็นโอกาสที่ดีที่พลังงานของทุกประเทศทั่วโลก กำลังเปลี่ยนแปลงจากการเกิด Energy Disruption สู่การเป็นพลังงานแบบกระจายศูนย์ โดยเปลี่ยนการใช้พลังงานสุดท้ายจากการใช้ความร้อน น้ำมันกับรถยนต์สันดาปภายใน มาเป็นพลังงานสุดท้ายไฟฟ้าเพียงหนึ่งเดียว (Electricity Universal) ด้วยสายส่งไฟฟ้าแบบสมาร์ตกริด ดังนั้น รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน จะเป็นขุมแหล่งพลังงานแบบกระจายศูนย์ Distributed Energy Resources (DERs) ที่จะผลิตไฟฟ้าแบบสมาร์ตไมโครกริด คือ การใช้แหล่งพลังงานต้นกำเนิดจากแสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล และพลังงานน้ำ อยู่ที่ไหนก็เปลี่ยนเป็นพลังงานแปรรูปไฟฟ้า ณ ที่แหล่งกำเนิดพลังงาน (DERs)ที่อยู่ที่เดียวกับ Load และให้มีการซื้อขายไฟฟ้าได้โดยเสรี ด้วยตลาดกลางการซื้อขายไฟฟ้าแห่งชาติ “National Energy Trading Platform” (NETP) การใช้พลังงานสุดท้ายด้วยความร้อน และน้ำมันที่ใช้กับยานยนต์ จากเดิมที่ใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้จะกลายเป็นการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานชุมชน เพราะเตาหุงต้มไฟฟ้าและรถยนต์ไฟฟ้า (EV) และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า จะใช้พลังงานสุดท้ายจากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว พลังงานสุดท้ายจะไม่มีการใช้ความร้อนและน้ำมันอีกต่อไป

เป็นโอกาสที่ดีและตรงกับเป้าหมายการพัฒนารูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนของ TREC ที่จะต้อง Disruptive สู่ยุคพลังงานแบบกระจายศูนย์ในรูปแบบ Smart Microgrid จากการประชุม TREC12 ที่ SGtech มหาวิทยาลัยนเรศวร ในครั้งนี้ด้วยความยั่งยืนสืบไป

รศ.ดร.วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร

ผู้อำนวยการวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

ในนามของนายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ซึ่งได้ก่อตั้งขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษา วิจัย สนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนของประเทศ โดยเน้นการนำพลังงานและรูปแบบการจัดการพลังงาน เพื่อนำไปใช้ได้จริงอย่างเหมาะสมต่อชุมชนในประเทศไทย เพื่อให้เกิดผลได้อย่างแท้จริงจากการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานสะอาด ซึ่งรวมถึงการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ชีวมวล และพลังงานจากน้ำ ซึ่งเป็นพลังงานต้นกำเนิดที่มีอยู่ในชุมชนทุกที่ การจัดประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 ภายใต้ชื่องาน “นวัตกรรมบนวิถีพอเพียง เพื่อชุมชนแห่งอนาคต” นี้ เป็นการจัดงานในรูปแบบใหม่อีกครั้งหนึ่งของสมาคมฯ ซึ่งจะเป็นประโยชน์เป็นอย่างยิ่งต่อนักวิชาการ นักศึกษา และประชาชนทั่วไป ในการแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ในการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ในชุมชน โดยจะมีผลต่อการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศอย่างเหมาะสม จะทำให้เราอยู่ร่วมกับธรรมชาติและสามารถพึ่งพาตนเองได้ในอนาคต โดยสมาคมฯจะเป็นศูนย์กลางในการดำเนินกิจกรรมที่ดีทางด้านพลังงานที่ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ความมั่นคง การบริหารจัดการที่เหมาะสม การสร้างรายได้ให้กับชุมชนอย่างยั่งยืนคู่กับประเทศไทยตลอดไป

ในฐานะตัวแทนของสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ขอโอกาสพิเศษนี้ใคร่ขอขอบคุณ องค์การบริหารส่วนจังหวัดพิษณุโลก วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และผู้สนับสนุนทุกหน่วยงานในการร่วมกันเป็นเจ้าภาพในการจัดงานประชุมสัมมนาวิชาการในครั้งนี้ ขอบคุณท่านที่ปรึกษาของสมาคมฯ และคณะกรรมการสมาคมฯ ทุกท่าน รวมถึงทีมงานในการจัดงานครั้งนี้

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการจัดงานประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่12 ในครั้งนี้จะสำเร็จลุล่วงด้วยดี และเป็นประโยชน์ต่อองค์ความรู้โดยรวมของภาคชุมชนและงานด้านวิชาการ ด้านพลังงานทดแทนของประเทศไทยต่อไป

ผศ.ดร.วิรชัย โรยนรินทร์

นายกสมาคม
พลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

ทิศทางการพัฒนา ส่งเสริม และสนับสนุน นวัตกรรมเพื่อสังคมที่เหมาะสมกับประเทศไทย

Thailand's Social Innovation Trend

ด้านการจัดการภัยพิบัติ

- การจัดการน้ำท่วม
- ระบบการแจ้งเตือนภัยพิบัติด้วย ICT
- การวางแผนและการจัดทำงบประมาณ

ด้านความเชื่อมโยง อาหาร น้ำ และพลังงาน

- การพึ่งพาพลังงานด้วยตนเองของชุมชนอย่างมีประสิทธิภาพ
- ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (hybrid) เพื่อลดปัญหาการบริหารจัดการเชื้อเพลิง
- การบริหารจัดการน้ำ เช่น ธนาคารน้ำใต้ดิน ระบบผันน้ำชลประทานด้วยพลังงานสะอาด

ด้านเกษตรกรรมยั่งยืน

- อาหารอินทรีย์
- เกษตรอัจฉริยะ
- ยกระดับผลผลิตทางการเกษตรและเกษตรอินทรีย์ครบวงจร

ด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

- ขยะชุมชน
- น้ำเสีย
- ขยะทางการเกษตร

ด้านการเงิน การจ้างงาน และสวัสดิการสังคม

ด้านการเงิน

- เงินทุนขนาดเล็กสำหรับกิจการเพื่อสังคม
- นวัตกรรมทางการเงิน
- ประสิทธิภาพการจัดซื้อจัดจ้าง และการเปิดเผยข้อมูลสาธารณะ

ด้านการจ้างงานและสวัสดิการสังคม

- การจ้างงานสำหรับกลุ่มที่ด้อยโอกาส
- การพัฒนาเยาวชน
- การเพิ่มทักษะอาชีพ

ด้านความเป็นเมือง

ด้านเทคโนโลยี

- สมาร์ทซิตี้
- การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานและการขนส่ง
- การแบ่งพื้นที่: การเสริมสร้างพลังชุมชนและเตรียมความพร้อมสำหรับการเปลี่ยนแปลง

ด้านฐานข้อมูลและการจัดการ

- รูปแบบการจราจรแบบสมาร์ทและการขนส่งสาธารณะ
- การจัดการที่จอดรถและการจัดการข้อมูลการขนส่งสาธารณะ
- ความร่วมมือ ภาครัฐ ภาคเอกชน (การเปิดเผยข้อมูล)

ด้านภาครัฐและการศึกษา

ด้านภาครัฐ

- นวัตกรรมการบริการสาธารณะ
- ความเสมอภาคและการเข้าถึง
- การมีส่วนร่วมของภาคประชาชน

ด้านการศึกษา

- การเรียนรู้ตลอดชีวิต/ความคิดสร้างสรรค์
- เรียนรู้การปรับตัว
- เรียนรู้โดยการปฏิบัติจริง

ด้านสุขภาพ

- สวัสดิการผู้สูงอายุ
- โทรเวชกรรม
- ตำรับยาไทยแผนโบราณ

ด้านการท่องเที่ยวและวัฒนธรรม

- การท่องเที่ยวชุมชน/วัฒนธรรม อย่างยั่งยืน
- แอพพลิเคชั่นแบบดิจิทัลสำหรับการท่องเที่ยว (เสริมสร้างศักยภาพของไกด์ในท้องถิ่น เพื่อให้ประสบการณ์ในท้องถิ่น)
- สร้างวัฒนธรรมเพื่อสร้างมูลค่า

MEMBER OF

Dow Jones
Sustainability Indices

In Collaboration with RobecoSAM

pttGroup
สานพลังสู่ความยั่งยืน

เพื่อการเติบโตทางธุรกิจ

พร้อมสร้างคุณค่าแก่สังคมและสิ่งแวดล้อม ตามแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืน

บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ได้รับการจัดอันดับเป็นสมาชิกในกลุ่มดัชนี Dow Jones Sustainability Indices (DJSI) 8 ปีต่อเนื่อง

แสดงถึงการบริหารจัดการองค์กรที่มีประสิทธิภาพ เทียบเคียงกับบริษัทชั้นนำในอุตสาหกรรมเดียวกันทั่วโลก คำนึงถึงสังคมและสิ่งแวดล้อม ควบคู่ไปกับการสร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้ลงทุนและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระยะยาว

ตอกย้ำความมุ่งมั่นในการดำเนินธุรกิจ โดยให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการ 3 ด้านอย่างสมดุล คือการทำธุรกิจควบคู่กับการดูแลชุมชน สังคม (People) การอนุรักษ์รักษาทรัพยากรธรรมชาติ สิ่งแวดล้อม (Planet) และเป็นฐานความมั่นคงให้แก่ภาคเศรษฐกิจ สังคม เติบโตอย่างแข็งแรงและยั่งยืน (Prosperity)

แหล่งน้ำมันสิริกิติ์

แหล่งน้ำมันอันทรงคุณค่าของประเทศไทย

แหล่งน้ำมันสิริกิติ์ ได้รับการค้นพบเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2524 โดยมีการพบน้ำมันปริมาณมากพอในเชิงพาณิชย์ ที่หลุมสำรวจ “ลานกระบือ เอ 01” อ.ลานกระบือ จ.กำแพงเพชร และเริ่มผลิตน้ำมันเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2525 ซึ่งนับเป็นครั้งแรกในประวัติศาสตร์ของประเทศไทยที่มีการผลิตน้ำมันเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ จนถึงปัจจุบัน แหล่งน้ำมันสิริกิติ์ ยังคงเป็นแหล่งน้ำมันดิบบนบกขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศ ครอบคลุมพื้นที่ 1,326 ตารางกิโลเมตร ในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร พิษณุโลก สุโขทัย และอุตรดิตถ์

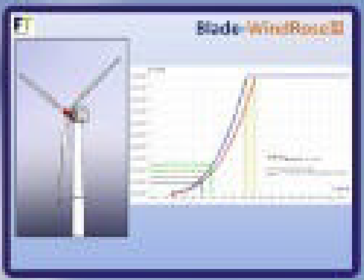
www.pttep.com

Sirikit Oil Field CSR

บุกเบิกพลังงาน เพื่อโลกที่ยั่งยืน

PTTEP

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 : ftenergy.ft@gamil.com , info@ft-energy.co.th
Web : http://www.ft-energy.co.th

FT ENERGY

คำนำ

ด้วยวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ร่วมกับสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย จัดงานประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 ภายใต้หัวข้อ “นวัตกรรมบนวิถีพอเพียง เพื่อชุมชนแห่งอนาคต” ในระหว่างวันที่ 6-8 พฤศจิกายน 2562 ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อส่งเสริมให้มีการนำเสนอและเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ เกิดเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างนักวิชาการ นักวิจัย คณาจารย์ นิสิต นักศึกษา ชุมชน หน่วยงานภาครัฐและเอกชนตลอดจนผู้สนใจเข้าร่วมโครงการ การประชุมสัมมนาวิชาการฯ ครั้งนี้ ประกอบไปด้วยการบรรยายพิเศษ การเสวนา การนำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย และภาคโปสเตอร์จากนักวิชาการ และนักพลังงานชุมชน ตลอดจนการแสดงนิทรรศการผลงานวิจัยทางด้านพลังงานจากหน่วยงานต่างๆ

คณะผู้ดำเนินการจัดประชุมสัมมนาวิชาการฯ ใคร่ขอขอบพระคุณหน่วยงานเจ้าภาพร่วมที่ได้ให้การสนับสนุน และอำนวยความสะดวกในการจัดประชุม ขอขอบคุณวิทยากร ตลอดจนผู้นำเสนอผลงานวิจัย ผู้เข้าร่วมประชุมสัมมนาวิชาการฯ คณะทำงาน และคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบทางวิชาการ ที่มีส่วนร่วมสำคัญในการจัดประชุมสัมมนาวิชาการฯ ครั้งนี้ให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร

พฤศจิกายน 2562

สารบัญ

Session : การบริหารการจัดการพลังงาน

ME-001 การจัดการพลังงานชุมชนตามมาตรฐาน ISO 50001 และการควบคุมระบบแสงสว่างภายในอาคาร ด้วยการแจ้งเตือนการใช้พลังงานแบบดิจิตอลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้เทคโนโลยีสมาร์ทกริด 1

ME-002 การประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศภายในโรงงานอุตสาหกรรม : กรณีศึกษาโรงงานผลิตและส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งและบรรจุกระป๋อง 15

ME-003 ผลกระทบของรถไฟฟ้ารางเบาต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV กรณีศึกษาจังหวัดนครราชสีมา 26

ME-004 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์และประสิทธิภาพหลังการติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ แบบติดตั้งบนหลังคา : กรณีศึกษาห้างสรรพสินค้า 36

ME-005 The financial analysis of bagasse dryer installation in biomass powerplant : case study 42

ME-006 การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ บนหลังคา : กรณีศึกษา บริษัทไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด 48

ME-007 การใช้พลังงานสำหรับตู้แช่แข็งภายในร้านสะดวกซื้อ 54

ME-008 การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้า สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย 61

ME-009 การประเมินการจัดการพลังงาน ในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชุนเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ต่อการปรับเปลี่ยนเตาผลิตไอน้ำก้อนเห็ด 68

ME-010 การศึกษาความพึงพอใจของชุมชนต่อการจัดการพลังงานของบริษัทปิโตรเคมีที่คัดเลือก 76

ME-011 การใช้พลังงานในการเตรียมพื้นที่สำหรับการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย 81

ME-012 การจัดการชุมชนด้วยนวัตกรรมพลังงานและการมีส่วนร่วม : กรณีศึกษา บ้านกระทม หมู่ 8 ตำบลนาบัว อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ 89

Session : สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

EC-001 การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟ ของโครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ 97

EC-002 ผลกระทบจากการให้บริการวิชาการการถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำ ด้วยธนาคารน้ำใต้ดิน ณ ตำบลวังน้ำขาว อำเภอบ้านด่านลานหอย จังหวัดสุโขทัย 106

EC-003 การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากแกลบและซังข้าวโพดเพื่อปรับปรุงดิน 114

EC-004 คุณภาพน้ำผิวดินสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า จังหวัดชัยภูมิ 120

Session : การออกแบบและจำลองการทำงานด้านพลังงาน

DE-001 การกำหนดค่าประสิทธิภาพพลังงานของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ 126

DE-002 การพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย 134

DE-003 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อน
ของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย 141

DE-004 แบบจำลองการพยากรณ์พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย
: กรณีศึกษา โซลาร์ฟาร์มในจังหวัดนครราชสีมา 151

DE-005 การศึกษาแบบจำลองความชื้นสมดุลไอโซเทอมของปลาดุก....................157

DE-006 การจำลองเพื่อเปรียบเทียบผลของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนรถยนต์ไฟฟ้าหลายประเภท 165

DE-007 Analysis of Community Peer-to-Peer Energy Trading Market Models....................171

DE-008 Analysis of Line Instability in Micro-Grid by Applying Electrical Power Forecasting Approach ..179

DE-009 การศึกษาการใช้พลังงานสำหรับการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้าและขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม 187

DE-010 การจำลองเพื่อศึกษาผลของการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าแทนเครื่องยนต์สันดาปภายในของรถกระบะ 193

Session : เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน

FC-001 ผลการปรับสภาพวัสดุตัวประสานต่อคุณสมบัติทางกายภาพและค่าความ
ร้อนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อย....................199

FC-002 การประเมินทางเลือกในการใช้ประโยชน์โครงการก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร
: กรณีศึกษา ชุมชนหนองตาด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ 208

FC-003 การปรับปรุงคุณสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวาที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน....................214

FC-004 การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อย
: กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล....................222

FC-005 การศึกษาศักยภาพของถ่านอัดแท่งตำบลปงเตาเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้า
ด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์....................237

FC-006 การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดฝุ่นอ้อยผสมชานอ้อย
: กรณีศึกษาโรงงานน้ำตาลทราย 244

FC-007 การศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงใน
โรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน กรณีศึกษา อำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง....................253

FC-008 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการอบแห้งสมุนไพรด้วยตู้อบแห้งลมร้อน....................260

FC-009 การพัฒนาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายด้วยกรดและกระบวนการผลิต
ไบโอเอทานอลของสาหร่ายขนาดเล็ก 265

FC-010 การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากขี้เลื่อย : กรณีศึกษาสถานประกอบการชุมชนบางโพ 271

FC-011 รูปแบบการผลิตที่เหมาะสมต่อการผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้าง 280

FC-012 ศึกษาระบบการจัดการเปลือกและซังข้าวโพดเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน 287

FC-013 อิทธิพลองค์ประกอบเตาชีวมวลที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน กรณีศึกษา : เตาชีวมวลฉนวนสองชั้น 296

FC-014 ผลกระทบการป้อนอากาศที่มีผลต่อสมรรถนะและคุณสมบัติถ่านชีวภาพเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง 303

FC-015 ผลกระทบพลังงานแสงอาทิตย์และค่าแรงงานต่อความคุ้มค่าทางการเงินของโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ 310

FC-016 การเพิ่มคุณภาพทางใบปาล์มด้วยกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นจากคลื่นไมโครเวฟ 317

FC-017 สมรรถนะแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงเมื่อใช้เศษวัสดุทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง 323

FC-018 การประเมินศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ปลูก กรณีศึกษาภาคเหนือของประเทศไทย 329

FC-019 อัตราส่วนผสมสูงสุดของน้ำมันไพโรไลซิสเพื่อให้ได้มาตรฐานน้ำมันดีเซลของไทย 334

Session : นวัตกรรมด้านพลังงาน

IE-001 เครื่องลดขนาดถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอไนซ์เซชั่นชีวมวล 341

IE-002 ตู้อบแห้งลมร้อนอบกล้วยฉาบ : กรณีศึกษาชุมชนบัวสลี จังหวัดเชียงราย 347

IE-003 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของของไหลกราฟีนนาโนที่มีการไหลแบบราบเรียบ ในท่อทองแดงทรงกลม....354

IE-004 การเพิ่มสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการลดอุณหภูมิด้วยน้ำ 364

IE-005 การเปรียบเทียบผลกระทบของมุมเอียงของโรเตอร์ต่อประสิทธิภาพของกังหันลมแบบลอยน้ำและแบบเสายึดตรึง 370

IE-006 การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบสามเหลี่ยม 382

IE-007 ผลของอุณหภูมิร่วมที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนของปั๊มความร้อนแบบแคสเคดเมื่อใช้สารผสมแบบซีโอทรอปิคสำหรับการทำความร้อนและความเย็นพร้อมกัน 390

IE-008 การพัฒนาระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านระบบ IoT 398

IE-009 การศึกษาผลของความดันก๊าซนำพาและกระแสไฟฟ้าอินพุตต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมา 405

IE-010 การเลือกขนาดของบ่อแบบเปิดสำหรับระบายความร้อนในเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ 410

IE-011 การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตรโดยใช้พลังงานทดแทน 419

IE-012 ระบบอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิกสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน 426

IE-013 การอบแห้งเครื่องต้มยำโดยใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟแบบถังหมุน
ชนิดแมกนีตรอนหลายตัวสำหรับวิสาหกิจชุมชน...433

IE-014 การพัฒนาเครื่องอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวแบบประหยัดพลังงาน 439

IE-015 การประเมินความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นเปลือกถั่วดาวอินคาสำหรับการพัฒนาเป็น
วัสดุฉนวนทางความร้อน (สมบัติเชิงกายภาพและปริมาณ)...445

IE-016 การออกแบบและสร้างตู้ชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่.........................452

IE-017 การทดสอบการเผาขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันและนำไปใช้กับเครื่องยนต์ทางการเกษตร 462

IE-018 การออกแบบและพัฒนากล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์..................................473

IE-019 การพัฒนากาลักน้ำสำหรับครัวเรือนในพื้นที่ขนาดเล็ก...483

IE-020 การพัฒนาระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์...491

IE-021 การอบแห้งอินทผลัมด้วยรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มลมร้อน 499

IE-022 การประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวสำหรับอบแห้งข้าวนึ่งกล้องด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสชน.............504

IE-023 การประยุกต์ใช้กังหันลมอัดอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมสีเขียว...509

IE-024 การพัฒนาตู้อบแห้งรมควันแบบควบคุมอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์...517

IE-025 ตู้อบแห้งรมควันอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 525

IE-026 การออกแบบและพัฒนาล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ 527

IE-027 การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี 541

การจัดการพลังงานชุมชนตามมาตรฐาน ISO 50001 และการควบคุมระบบแสงสว่างภายในอาคารด้วยการแจ้งเตือนการใช้พลังงานแบบดิจิตอลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้เทคโนโลยีสมาร์ทกริด

Community Energy Management of Std. ISO 50001 and Indoor Lighting Systems Control with Energy Digital Warning System for Increasing Efficiency Using Smart Grid Technology

สัญชัยยะ ผสมกุศลศีล[1*], ชำนิ ใจประดิษฐ์ธรรม[2] และไชยวรุฒ จันทร์อุดร[3]

[1,2,3]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต กรุงเทพฯ 10250

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิจัยนำเสนอการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง 2 แนวทางคือ แนวทางแรกจะเป็นการบริหารจัดการพลังงานชุมชนตามมาตรฐาน ISO 50001 เพื่ออนุรักษ์พลังงาน และแนวทางที่สองจะเสนอในการควบคุมระบบแสงสว่างภายในอาคารสำนักงาน ด้วยระบบการแจ้งเตือนการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบ ดิจิตอลกิโลวัตต์เอาว์มิเตอร์ 1 เฟสเมื่อส่งสัญญาณไปยังชุดอุปกรณ์ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 ที่ทำการแปลงสัญญาณอนาล็อคให้เป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter) ซึ่งชุดอุปกรณ์ระบบแจ้งเตือนนี้สามารถบอกเตือนเป็นเสียงสัญญาณเมื่อมีการใช้พลังงานในแต่ละวัน เมื่อหยุดการใช้พลังงานแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7จะทำการประมวลผลไปยังหน้าจอ LCD เพื่อหาความต้องการพลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและควบคุมระบบไฟฟ้าได้ด้วยใช้เทคโนโลยีสมาร์ทมิเตอร์ ปรับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด (Smart grid) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในระบบแสงสว่าง วิธีดำเนินการวิจัยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2561 ที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างในพื้นที่โดยรวมเท่ากับ 165,750.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 663,764.25 บาทต่อปี จากนั้นทำการวิเคราะห์สภาพปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างในพื้นที่ ซึ่งแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างแบ่งออกเป็น 2 มาตรการ ได้แก่ 1) มาตรการที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงาน และ 2) มาตรการที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงาน ผลการวิจัยพบว่ามาตรการที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย สามารถทำได้โดยการปิดหลอดแสงจันทร์ขนาด 400 วัตต์ ตลอดบริเวณทางเดินเท้าโดยคิดเฉลี่ย 7 ชั่วโมงต่อวัน สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 14,500 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 56,325.75 บาทต่อปี และมาตรการที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 28 วัตต์ (T5) ใช้เงินลงทุนรวมทั้งสิ้น 149, 570 บาท สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 31,245.25 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 125,326.25 บาทต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 8 เดือน 30 วัน

คำสำคัญ: โครงข่ายสมาร์ทกริด, อนุรักษ์พลังงาน, เพิ่มประสิทธิภาพ, ควบคุมระบบแสงสว่าง, การจัดการพลังงาน

---

* Corresponding author: Tel.: 081-7735817, Email: j_chamni@hotmail.com

1. บทนำ

การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพที่ดีจะต้องมีการออกแบบและวางแผนการใช้พลังงานที่เหมาะสม โดยเริ่มต้นจะต้องมีการศึกษาการใช้พลังงานอย่างถูกวิธี ซึ่งหัวใจของการจัดการพลังงานคือการใช้พลังงานให้น้อยที่สุด สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ตามความต้องการครบทุกประการ ในปัจจุบันนี้หลายๆ หน่วยงานองค์กรได้เริ่มสนใจ มีความตื่นตัวในเรื่องของการจัดการพลังงานมากยิ่งขึ้น เนื่องจากภาคธุรกิจของบริษัทอุตสาหกรรม ในทางการตลาดจะมีการแข่งขันค่อนข้างสูงและถ้ามีการจัดการพลังงานอย่างชาญฉลาดก็เป็นข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งในแง่ของการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าในการดำเนินงาน และยังจะช่วยเป็นการรักษาสภาพแวดล้อมอีกด้วย [1] ซึ่งการจัดการพลังงานที่ดีนั้นทางหน่วยงานและองค์กรต่างๆ จะต้องมีการศึกษา ออกแบบและวางแผนจัดการพลังงานที่ดีด้วย ปัจจุบันนี้ได้มีการรณรงค์ให้มีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ เพื่อที่จะลดปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในส่วนที่ฟุ่มเฟือยลดลงและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ถ้าพิจารณาในส่วนของอาคารที่พักอาศัยและอาคารสำนักงานจะเห็นได้ว่าพฤติกรรมของผู้ใช้ที่มีการใช้ปริมาณกำลังไฟฟ้าจะแตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าและจิตสำนึกของผู้ใช้ไฟฟ้า ด้วยเหตุผลนี้ทำให้บทความวิจัยนี้ได้เห็นถึงความสำคัญดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะออกแบบวงจรของอุปกรณ์แจ้งเตือนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างภายในอาคาร โดยทำการวัดปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าที่แสดงผลออกมา ทำให้สามารถทราบได้ว่าในช่วงเวลาหนึ่งได้มีการใช้กำลังไฟฟ้าไปเป็นจำนวนเงินเท่าไรและสามารถควบคุมค่าใช้จ่ายต่างๆ ของระบบแสงสว่างภายในอาคารที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ในอนาคตได้ [1]

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อนำเสนอ 2 แนวทางคือ 1. วิจัยการบริหารจัดการพลังงานระบบแสงสว่างภายในอาคารสำนักงาน ตามมาตรฐาน ISO 50001 เพื่ออนุรักษ์พลังงาน 2. วิจัยการควบคุมระบบแสงสว่างภายในอาคารด้วยระบบแจ้งเตือนการใช้พลังงานแบบดิจิตอลอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 เป็นตัวควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีโครงข่ายสมาร์ทกริด (Smart grid) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบแสงสว่างภายในอาคาร

2. หลักการ

2.1 ความหมายของการจัดการพลังงาน

ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System : EMS) คือ การประยุกต์ใช้ระบบจัดการข้อมูลที่ทันสมัย โดยจะรวบรวมข้อมูลต่างๆ ซึ่งจะช่วยในการทำงานเพื่อที่จะบริหารการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายพลังงาน ระบบการจัดการพลังงานประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ การวัด การจัดการข้อมูล และการควบคุม ซึ่งระบบการจัดการพลังงานจะมีขอบเขตตั้งแต่ที่ใช้คนแบบง่าย ๆ ไปจนถึงระบบที่ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม [2]

การใช้งานระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐาน ISO 50001 นั้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับทุกหน่วยงานที่ต้องการประหยัดพลังงาน เช่น ภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจ ที่อยู่อาศัย เป็นต้น ปัจจัยที่ทำให้ระบบการจัดการพลังงานสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิผล คือ ระบบการวางแผน ตรวจติดตามและการกำหนดเป้าหมายที่จะต้องจัดเตรียมข้อมูลให้สัมพันธ์กับผู้ใช้ เพื่อให้เกิดความพร้อมของผู้ใช้ และทำให้ผู้ใช้สามารถตัดสินใจได้ง่าย เพื่ออนุรักษ์การใช้พลังงานและข้อจำกัดในการปฏิบัติงาน เป็นต้น

2.2 ประโยชน์ของระบบจัดการพลังงาน

ระบบการจัดการพลังงาน มีประโยชน์กับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. เจ้าของกิจการ : โดยการใช้ระบบการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิผล ซึ่งจะสามารถทำกำไรให้กับธุรกิจได้เป็นอย่างมาก ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 25 %

2. ผู้บริหาร : สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทันทีและสามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานของภายในอาคารและโรงงาน ซึ่งระบบการจัดการพลังงานจะเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า

3. ผู้ควบคุม : ระบบการจัดการพลังงานจะแสดงแนวโน้มและรายงานต่างๆ ซึ่งออกแบบสำหรับการตรวจติดตามและวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง

4. ผู้ปฏิบัติงาน : ระบบการจัดการพลังงานจะลดเวลาในการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ช่วยแก้ปัญหาได้ทันที

2.3 ขั้นตอนการจัดการพลังงานตามมาตรฐาน ISO 50001

วิธีการจัดการพลังงานเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยวิธีการจัดการพลังงานนั้นต้องมีการปฏิบัติอย่างเป็นขั้นตอน รวมทั้งมีการวางแผนการดำเนินการที่ดีและเหมาะสมกับองค์กร เพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายของการจัดการพลังงานแสดงกรอบโครงร่างขั้นตอนการจัดการพลังงานดังภาพที่ 1 และขั้นตอนการดำเนินงานในการจัดการพลังงานแสดงดังภาพที่ 2 สามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอน [3] มีดังนี้

(1) การแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน

(2) การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น

(3) การกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน

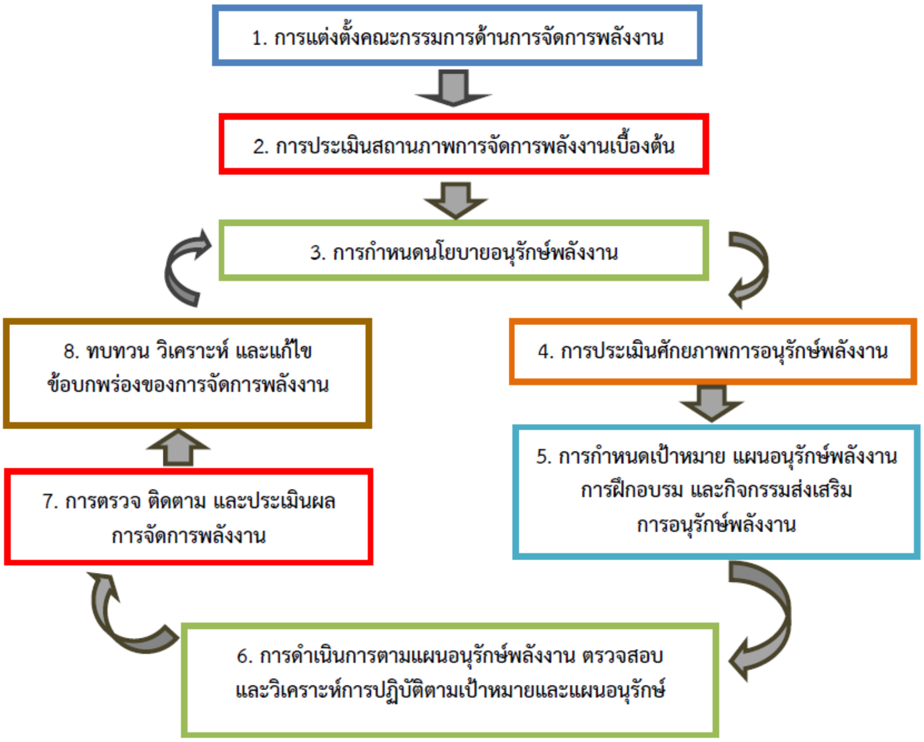
(4) การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

(5) การกำหนดเป้าหมาย วางแผนอนุรักษ์พลังงาน แผนการฝึกอบรมและกิจกรรมส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

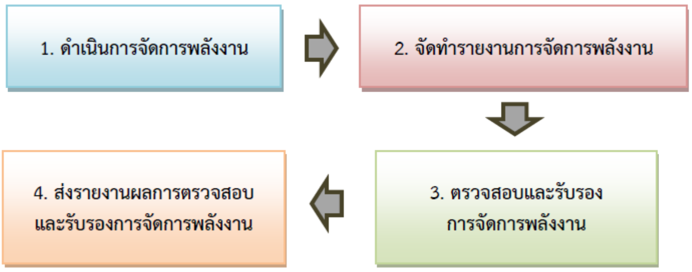
(6) การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน การตรวจสอบ และการวิเคราะห์ในแนวทางการปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน

(7) การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน

(8) การทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน



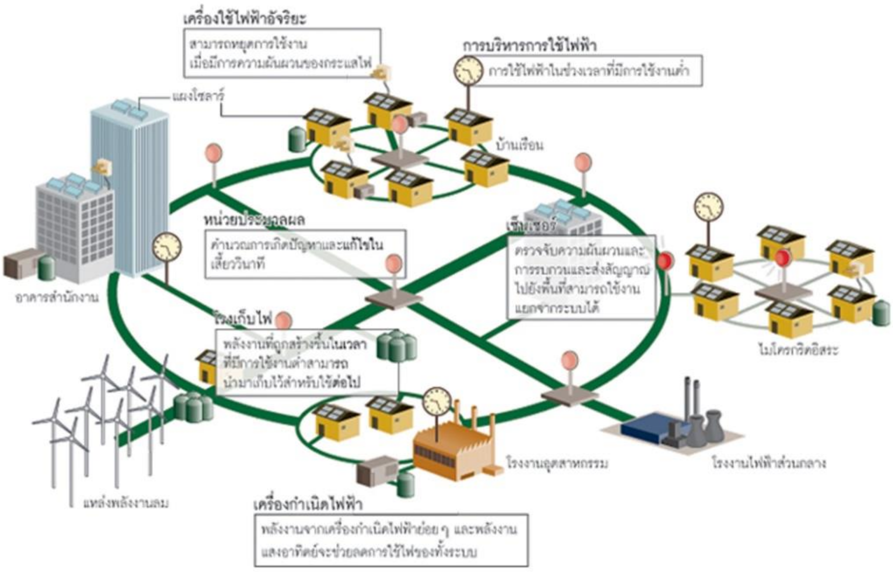
ภาพที่ 1 กรอบโครงร่างวิจัยขั้นตอนการจัดการพลังงาน



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานในการจัดการพลังงาน

2.4 เทคโนโลยีโครงข่ายสมาร์ทกริด

“สมาร์ทกริด”(Smart Grid) คือระบบโครงข่ายสำหรับส่งไฟฟ้าอัจฉริยะแบบครบวงจรโดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัล สมาร์ทกริด ทำหน้าที่ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากผู้ให้บริการไปยังผู้ใช้บริการด้วยระบบการสื่อสารสองทาง เพื่อควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า ณ บ้านของผู้ใช้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยบริษัทที่ให้บริการระบบส่งจ่ายไฟฟ้าสมาร์ทกริดได้พัฒนาโปรแกรมพร้อมกับติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ตามเวลาจริง (Real Time) ไว้ในแต่ละครัวเรือนว่ามีการใช้ไฟฟ้าเท่าไหร่ จุดไหนใช้มากน้อยอย่างไร เพื่อช่วยคำนวณหาการแจกจ่ายกระแสไฟของเมือง ช่วยให้การจ่ายกระแสไฟฟ้ามีความเสถียรภาพ และลดปัญหาไฟฟ้าดับในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้ามากขึ้นหรือค่อนข้างสูง ทั้งยังทำให้ผู้ใช้สามารถเห็นพฤติกรรมและปรับลดการใช้พลังงานของตัวเองได้อย่างมีประสิทธิภาพดีขึ้นแสดงดังภาพที่ 3 [4]



ภาพที่ 3 ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในระบบไฟฟ้ากำลัง [4]

ประเทศส่วนใหญ่ที่ได้ดำเนินการพัฒนาระบบโครงข่าย Smart Grid นี้ มีแนวคิดการพัฒนาไปในแนวทางเดียวกัน คือ “การพัฒนาให้ระบบไฟฟ้าสามารถตอบสนองต่อการทำงานได้อย่างชาญฉลาดมากขึ้น หรือมีความสามารถมากขึ้นโดยใช้ทรัพยากรที่น้อยลง (Doing more with Lass) มีประสิทธิภาพที่ดี มีความน่าเชื่อถือได้ มีความปลอดภัย ยั่งยืน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารสารสนเทศ (ICT) ระบบเซนเซอร์ ระบบเก็บข้อมูล และเทคโนโลยีทางด้านการควบคุมอัตโนมัติเพื่อทำให้ระบบกำลังอัจฉริยะ (Power Grid) ทำให้สามารถรับรู้ข้อมูลสถานะต่างๆ ในระบบมากขึ้น เพื่อใช้ในการตัดสินใจได้อย่างอัตโนมัติโดยผ่านกระบวนการเหล่านี้จะต้องเกิดขึ้น

ทั่วทั้งระบบไฟฟ้า” ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดเกิดขึ้น เพราะเป็นแนวโน้มในธุรกิจไฟฟ้าของโลกมีการใช้พลังงานสะอาดจากพลังงานลม แสงอาทิตย์ และพลังงานชีวภาพ เป็นต้น และผู้ใช้ก็เป็นฝ่ายผลิตไฟฟ้าได้เองจากการติดตั้งแผงโซลาร์เซลหรือกังหันลม เมื่อผลิตไฟฟ้าได้ใช้กำลังไฟฟ้ามากเกินจากการใช้งานก็ย่อมสามารถส่งกลับไปขายให้รัฐหรือบริษัทผู้ให้บริการไฟฟ้าได้ แต่ยังขาดการบริหารการผลิตหรือรองรับการจัดเก็บในระบบอุตสาหกรรม จึงไม่สามารถจัดสรรพลังงานทดแทนเข้ามาใช้ในระบบในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด [6] ระบบกริดอัจฉริยะนี้จึงเข้ามาช่วยบริหารจัดการการผลิต จัดเก็บ และจัดสรรพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดค่าใช้จ่าย แต่ระบบนี้ยังมุ่งเน้นไปในด้านสิ่งแวดล้อมและการจัดการพลังงานทดแทนด้วย

องค์ประกอบพื้นฐานของระบบโครงข่าย Smart Grid นั้น ซึ่งระบบโครงข่าย Smart Grid มีเทคโนโลยีพื้นฐานที่สามารถตรวจวัด รับส่ง สัญญาณข้อมูล และทำงานร่วมกับอุปกรณ์และระบบไฟฟ้าอื่นๆ ได้โดยมีเทคโนโลยีในอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ 1. Hardware 2. Software และ 3. Peopleware ดังนั้นองค์ประกอบเทคโนโลยีทั้งสามอุปกรณ์ข้างต้น จะสามารถจำแนกออกเป็นเทคโนโลยีต่างๆ ได้ ดังนี้ เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) เทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้า และการส่งจ่ายไฟฟ้า เทคโนโลยีการควบคุมโครงข่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ เทคโนโลยีมิเตอร์อัจฉริยะ(AMI) และการปรับความต้องการไฟฟ้า (Demand Response) และเทคโนโลยีการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า (EMS) เป็นต้น

2.5 การพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดทางด้านการอนุรักษ์พลังงาน

การพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดทางด้านอนุรักษ์พลังงานนั้น ระบบบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารหรือเทคโนโลยีการตอบสนองของโหลด (Demand Response) จะช่วยเพิ่มทางเลือกให้กับภาครัฐที่จะส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ช่วยลดการใช้พลังงาน และการใช้พลังงานอย่างประสิทธิภาพได้มากขึ้น ดังนั้น การจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงานในอนาคต จะสามารถคาดหวังสัดส่วนการลดความเข้มข้นของการใช้พลังงานที่สูงขึ้นได้ และสามารถกำหนดมาตรการส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพได้หลากหลายมากขึ้น จะส่งผลช่วยลดความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดของประเทศได้

ต้นทุนการใช้พลังงานภายในอาคาร หมายถึง ต้นทุนค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ถ้าแต่ละภายในอาคารสามารถลดต้นทุนด้านพลังงานลงได้ ซึ่งผลกำไรจะมากขึ้นและช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าเพื่อลดค่าใช้จ่ายพลังงานให้กับผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าได้ [7]

2.6 การลดปริมาณพลังงานไฟฟ้า

การลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้โดยลดการสูญเสียและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง [8] เช่น ทำการปิดเครื่องจักรในขณะไม่ใช้งานแล้ว เลือกขนาดอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับงาน และติดตั้งระบบอัตโนมัติควบคุมการเปิด-ปิดไฟฟ้าอย่างเหมาะสม เป็นต้น

2.7 การลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ตัวประกอบโหลด (Load Factor: LF) มีความสำคัญในการคิดหาต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อหากตัวประกอบโหลดมีค่าสูง แสดงว่าค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด ดังนั้นถ้ามีการปรับปรุงค่าตัวประกอบโหลดให้สูงขึ้น สามารถทำให้ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยจะลดลง ตัวประกอบโหลดหาได้จากการวัดใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบเดือน คำนวณหาได้ดังนี้

$$\text{โหลดแฟกเตอร์ (LF)} = \frac{P_{mean}}{P_{max}} 100 \quad (1)$$

กำหนดให้

P_{mean} (โหลดเฉลี่ย) คือ ค่าความต้องการกำลัง โดยเฉลี่ย(mean demand) ในช่วง 1 เดือน (kW)

P_{max} (โหลดสูงสุด) คือ ค่าความต้องการกำลังโหลดสูงสุด (max. demand) ในช่วง 1 เดือน (kW)

ผู้ใช้พลังงานภายในอาคารที่พักอาศัยหรือภายในอาคารสำนักงาน ควรใช้หลอดไฟฟ้าและบัลลาสต์แกนเหล็กที่มีประสิทธิภาพสูงในระบบแสงสว่าง เพื่อช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยเครื่องมือวัด Power Factor แสดงดังภาพที่ 4 จึงจะสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างได้ตลอดเวลาขณะที่ใช้งานในช่วงเวลานั้นๆ ได้

ภาพที่ 4 เครื่องมือวัด Power Factor

2.8 การวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้า

- ค่าพลังงานไฟฟ้าโดยปกติแล้วประเภทอาคารโรงงานอุตสาหกรรม หาได้จากสมการที่ (2) ดังนี้

$$C_1 = DC(P + EC)\,E$$

$$= 256.07(P + 1.7034)E \quad (2)$$

กำหนดให้

C_1 คือ ค่าไฟฟ้าที่คิดพลังงานสูงสุดที่ใช้ (บาท)

DC คือ อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (บาทต่อกิโลวัตต์)

P คือ ความต้องการพลังงานสูงสุด (กิโลวัตต์)

EC คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)

E คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (หน่วย)

(ก) หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดกลมขนาด 32 W (ข) หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ หรือ หลอดตะเกียบ รุ่นประหยัดไฟฟ้า 2U

(ค) หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดผอม 36 W (ง) หลอดแสงจันทร์ฟิลิปส์ ขนาด 400 W

ภาพที่ 5 หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่างๆ

ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทธุรกิจ โรงแรม โรงงานอุตสาหกรรม อาคารสำนักงานและกิจการให้เช่าห้องพัก เป็นต้น ทำการคิดหาอัตราการใช้ค่าไฟฟ้าแบบ TOU ของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)คือ มีเงื่อนไขให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเสียค่าไฟฟ้าตามอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ไฟฟ้า [9] ค่าไฟฟ้าจะแพงในช่วงที่ระบบแสงสว่างมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก(On Peak) ดังนั้นหาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของอัตราTOU หาได้จากสมการที่ (3) ดังนี้

$$C_T = DC\ (P+EC_1)E_1+EC_2xE_2 \quad (3)$$

กำหนดให้

EC_1 คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak (บาทต่อหน่วย)

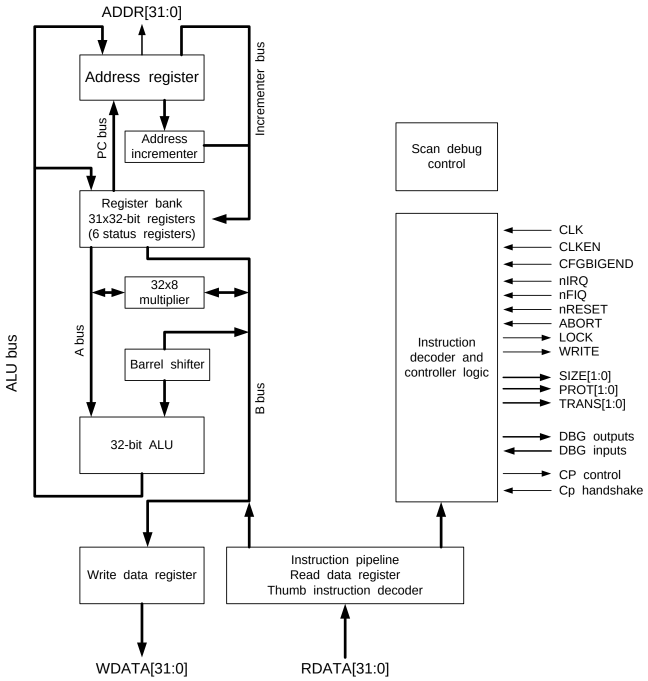
E_1 คือ ปริมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง On Peak (หน่วย)

E_2 คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงOff Peak

EC_2 คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง Off Peak (บาทต่อหน่วย)

2.9 การควบคุมระบบแสงสว่างด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7

ระบบเทคโนโลยีโครงข่ายสมาร์ทกริดทางด้านอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง จะใช้อุปกรณ์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 เป็นซีพียูแบบRISC ขนาด 32 บิต ภายในมีบัสขนาด 32 บิต สามารถรับส่งข้อมูลและคำสั่งได้ชุดคำสั่งจะมีขนาด 32 บิตคงที่ [2] ในขณะที่ข้อมูลสามารถเลือกได้ว่าผู้ใช้จะใช้ที่มีขนาด 8,16 หรือ 32 บิต โดยแกนกลาง (core)ของซีพียู ARM7 ดังแสดงภาพที่ 6 โครงสร้างของARM7 จะเป็นแบบที่เรียบง่ายและมีชุดคำสั่งที่ไม่ยุ่งยากมากนัก ซึ่งลักษณะโครงสร้างสถาปัตยกรรมของ ARM7 จะเป็นแบบการประมวลผลข้อมูลใดๆจะต้องผ่านรีจิสเตอร์เริ่มต้นด้วยการโหลดค่าจากหน่วยความจำไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ และนำค่ามาประมวลผลเสร็จแล้วจึงเก็บค่าในหน่วยความจำ



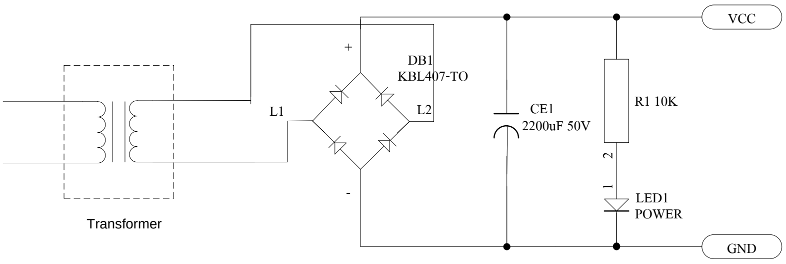
ภาพที่ 6 โครงสร้างแกนกลางของซีพียู ARM7

2.10 หลักการทำงานของส่วนวัดค่าพลังงานไฟฟ้า (ADE 7755)

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ [2]

2.10.1 ส่วนรับค่าสัญญาณอนาล็อกอินพุทที่เป็นค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้า

2.10.2 ส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกส่งไปยังชุดอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7



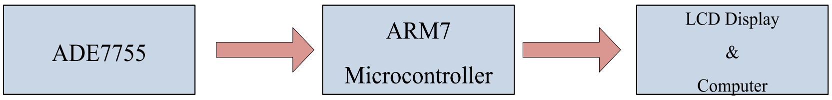
ภาพที่ 7 วงจร Power Supply

2.11 วงจร Power Supply

เมื่อป้อนแรงดัน 220 VAC ผ่านไปยังหม้อแปลงเหลือ 12 VAC จากนั้นเข้ามาสู่ Bridge โดยแปลงไฟฟ้า AC 12 V ให้เป็นไฟฟ้า DC 12 V เพื่อทำการเลี้ยงวงจร และมีค่า C เท่ากับ 2200μF/50 V ทำหน้าที่กรองกระแสและปรับระดับแรงดันให้เรียบขึ้น ทำการลดระดับแรงดันให้เหลือ 3.3 V_{DC}เพื่อส่งเข้าไปสู่ชุดอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7, LCD และ IC Current Transformer ต่อไปแสดงดังภาพที่ 7

2.12 หลักการทำงานของวงจรควบคุม

ระบบจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้วัดหาค่าพลังงานไฟฟ้ากับส่วนทำการประมวลผล โดยส่วนวัดพลังงานนั้นใช้อุปกรณ์ IC วัดพลังงานไฟฟ้าในการวัดค่าADE7755 แล้วประมวลผลค่าพลังงานไฟฟ้าส่งมาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 และทำการส่งค่าไปประมวลผล ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่คำนวณผลของพลังงานแสดงทางจอเป็นจำนวนเงินคิดค่าพลังงานไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 โครงสร้างระบบส่วนวัดหาค่าพลังงานไฟฟ้า

2.12.1 วงจรส่วนวัดพลังงาน

ส่วนวัดพลังงานของ Digital Energy Meter ได้ใช้ IC ADE 7755 ในการวัดหาพลังงานโดยป้อนสัญญาณอินพุทที่เป็นกระแส ทำการรับค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจากแชนแนล 1 และ2 ของ ADE 7755 [10]

2.12.2 วงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7

วงจร Controller ของเครื่องวัดและคิดเงินพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอลโดยใช้ ARM7 เป็นตัวControllerที่นำมาใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องวัดแบบดิจิตอล เครื่องวัดชนิดนี้ที่สร้างขึ้นโดยแสดงผลค่าพลังงานผ่านทางจอ LCD

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

บทความวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงการจัดการพลังงาน สภาพปัญหาการใช้พลังงาน วิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าและควบคุมระบบแสงสว่างของอาคารสำนักงาน โดยใช้ระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดทางด้านอนุรักษ์พลังงานด้วยวงจรควบคุมชุดอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 และนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหา เพื่อเพิ่มหาประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า อาคารสำนักงานมีขนาดพื้นที่ห้องกว้าง7.50 m ความยาวห้อง 13.80 m โดยคิดค่าพลังงานไฟฟ้าหน่วยละ 2.5 บาทต่อหน่วย และคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าจากสมการ kWhr/เดือน = (W/1,000)x 5 ชั่วโมงต่อวัน x 30 วันต่อเดือน ซึ่งผู้วิจัยได้จำแนกขั้นตอนการดำเนินการวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย [5]

3.1.1 แบบสอบถาม เพื่อบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวันและในแต่ละเดือน ปริมาณค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ย อัตราค่าไฟฟ้ารวมต่อเดือน เป็นต้น

3.1.2 เครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (Lux Meter) เพื่อใช้วัดค่าความส่องสว่างในบริเวณพื้นที่ภายในอาคารต่างๆ ที่มีการใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง ซึ่งความเข้มของแสงที่วัดได้จากเครื่องวัดแสงมีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux)

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลนั้น ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากอาคารสำนักงาน ใช้เอกสารประเมินการตรวจสอบเพื่อในการเก็บข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่เก็บรวบรวมนี้จะเกี่ยวกับค่าสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวันและในแต่ละเดือนของช่วงปี พ.ศ. 2561 ประกอบด้วย ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้า และค่าความส่องสว่าง เป็นต้น

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยเริ่มจากการศึกษา กำหนดเป้าหมายแผนการอนุรักษ์พลังงาน กำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงานในพื้นที่อาคาร สำรวจสภาพการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง ทำการประเมินผลศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน [5] ดำเนินการตรวจสอบตามแผนอนุรักษ์พลังงาน การวิเคราะห์สภาพปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างภายในอาคารสำนักงาน ทบทวน การเสนอแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่าง และการเปรียบเทียบผลจากการเสนอแนวทางแก้ไขการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง จัดทำรายงานแผนอนุรักษ์พลังงานเป็นต้น ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.3.1 สำรวจ: ศึกษาเก็บข้อมูลสภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างของอาคารภายในสำนักงาน โดยการใช้เอกสารประเมินการตรวจสอบในการเก็บข้อมูล

3.3.2 วิเคราะห์สภาพปัญหาการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างภายในอาคาร ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุถึงลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effects analysis: FMEA)

3.3.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการคำนวณ ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อประหยัดพลังงานได้ และระยะเวลาคืนทุน เป็นต้น

3.3.4 การเสนอแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่าง ผู้วิจัยทำการเสนอแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยได้จากการศึกษาเอกสาร ค้นคว้าข้อมูล ซึ่งสามารถนำมาเป็นแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า เพื่อการจัดการพลังงานในระบบแสงสว่าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 มาตรการ ได้แก่ 1) มาตรการที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย 2) มาตรการที่ต้องเสียค่าใช้จ่าย และผลการคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างที่ใช้ภายหลังการปรับปรุง ค่าไฟฟ้าที่ใช้จ่ายภายหลังการปรับปรุง และผลการประเมินตรวจวัดค่าความส่องสว่างภายหลังการปรับปรุง เป็นต้น

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

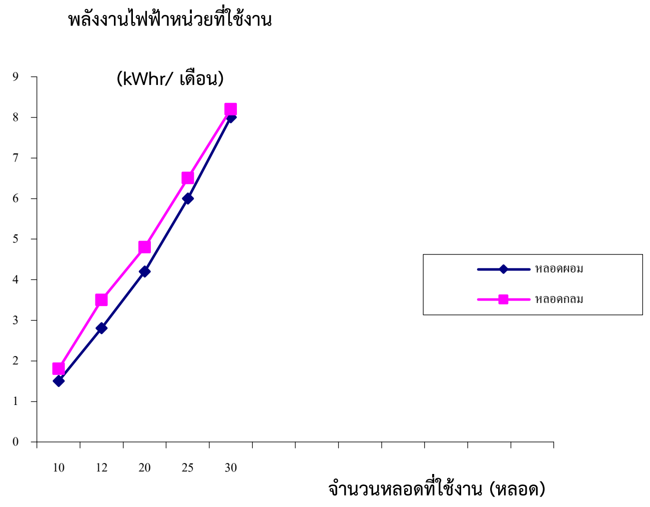
ผลการวิจัยในการจัดการพลังงานตามมาตรฐาน ISO 50001 ในระบบแสงสว่างภายในอาคารสำนักงาน เพื่ออนุรักษ์พลังงาน และการควบคุมระบบแสงสว่างภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีโครงข่ายสมาร์ทกริด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการงานวิจัยนี้ สามารถอธิบายจำแนกได้ 2 แนวทาง มีดังนี้

แนวทางที่ 1 ผลจากการจัดการพลังงานตามมาตรฐาน ISO 50001 ด้วยการวิเคราะห์สภาพปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างภายในอาคาร พบว่าปัญหาที่ต้องทำการแก้ไข คือ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ มีความสว่างค่อยๆ ลดน้อยลง สาเหตุเกิดจากมีความร้อน ฝุ่นเกาะที่หลอดการเสื่อมสภาพของหลอด รวมถึงประสิทธิภาพการใช้งานของหลอดต่ำ จะส่งผลกระทบทำให้ทำงานเกิดปัญหาในการมองเห็นได้ง่าย ค่าความเสี่ยงสูงสุดในการใช้งาน (RPN) มีค่าเท่ากับ 48 คะแนน และหลอดแสงจันทร์มีขนาด 400 วัตต์ ทำให้เกิดแสงจ้า สาเหตุเกิดจากประสิทธิภาพการให้ความส่องค่อนข้างสูง ส่งผลกระทบทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น จะมีค่าความเสี่ยงการใช้งาน (RPN) เท่ากับ 26 คะแนนและหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาด 36 วัตต์ ทำให้หลอดไม่ติด สาเหตุเกิดจากไส้หลอดขาด สวิตช์ไฟฟ้าชำรุด หลอดหมดอายุการใช้งาน บัลลาสต์เสีย และส่งผลกระทบทำให้ไม่สามารถมองเห็นในการทำงาน ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการตามมาตรการแก้ไขปรับปรุง โดยเริ่มจากการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่าง ก่อนการปรับปรุงและทำการวัดค่าความส่องสว่างของแต่ละพื้นที่ภายในอาคาร จากการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าความส่องสว่างภายในอาคาร ผลการ

วิเคราะห์จะพบว่าบริเวณที่เป็นทางเดินภายในอาคารมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 280 ลักซ์ พื้นที่ภายในห้องมีค่าความส่องสว่างเฉลี่ยเท่ากับ 350 ลักซ์ การอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่างแบ่งออกเป็น 2 มาตรการ ได้แก่ 1) มาตรการที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า และ 2) มาตรการที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่ามาตรการที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย สามารถทำได้โดยการปิดหลอดแสงจันทร์ขนาด 400 วัตต์ ตลอดบริเวณทางเดินเท้าโดยคิดเฉลี่ย 7 ชั่วโมงต่อวัน สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 14,500 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 56,325.75 บาทต่อปี และมาตรการที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ มีปริมาณการให้แสงสว่างเท่ากับ 2,850 ลูเมน อาคารภายในมี 10 ห้องๆ ละ 8 หลอด ในจำนวน 7 ชั้นของอาคารสำนักงาน สามารถใช้จำนวนหลอดทั้งสิ้น 560 หลอด จะสูญเสียพลังงานเท่ากับ 12,420.35 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดค่าไฟฟ้าเท่ากับ 134,768.50 บาท ถ้าใช้เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 28 วัตต์ (T5) มีปริมาณการให้แสงสว่างเท่ากับ 2,900 ลูเมน ซึ่งเท่ากับหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์จะใช้เงินลงทุนรวมเท่ากับ 149, 570 บาท สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 31,245.25 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 125,326.25 บาทต่อปี จะมีระยะเวลาคืนทุน 8 เดือน 30 วัน

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าต่อเดือนของหลอดผอมและหลอดกลมในระบบแสงสว่างภายในอาคาร

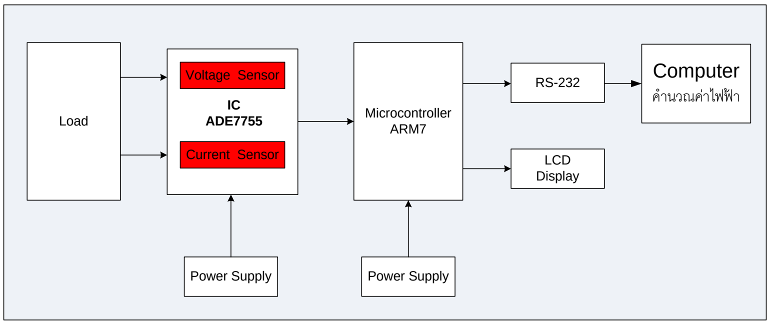
เลือกขนาดหลอดไฟฟ้า (W)	จำนวนหลอดที่ใช้ (หลอด)	ชั่วโมงที่ใช้ต่อวัน (hr/d)	พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน (kWhr/เดือน)	ค่าไฟฟ้าต่อเดือน (บาท/เดือน)
หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง (หลอดผอม)				
10	10	5	1.5	6.8
14	12	5	2.8	10.50
18	20	5	4.2	18.25
28	25	5	6.0	26.32
36	30	5	7.9	32.16
หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดธรรมดา (หลอดกลม)				
9	10	5	1.8	7.5
22	12	5	3.5	12.0
24	20	5	4.8	18.75
32	25	5	6.5	28.75
40	30	5	8.9	35.48



ภาพที่ 9 กราฟค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบผอมและแบบกลม

และผลการวิจัยจากตารางที่ 1 พบว่าค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นต่อเดือนของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบผอมที่ให้ประสิทธิภาพสูงเปรียบเทียบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดธรรมดาแบบกลม พบว่าควรจะใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบผอมแทนหลอดกลมจะประหยัดพลังงานไฟฟ้าประมาณ 10 % หรือไม่ควรใช้หลอดนีออน(หลอดไส้) เพราะว่าหลอดไส้ให้แสงสว่างเพียง 5 % ส่วนอีก 95 % จะให้ความร้อน และภาพที่ 9 แสดงผลการเปรียบเทียบกับผลกราฟค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอด จะพบว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง(หลอดผอม) ขนาด 36 วัตต์ จะมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ดีกว่าหลอดกลมประมาณ 7.9 kWhr/เดือน และคิดค่าไฟฟ้าเป็นเงิน 32.16 บาท/เดือน

แนวทางที่ 2 ผลการวิจัยจากการทดสอบเครื่องวัดและคิดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอลแสดงดังภาพที่ 10 เมื่อทำการต่อโหลดใช้งานจะทำให้มีค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ขา IC ADE7755 ทำการวัดหาค่ากระแสและแรงดันต่อจากนั้นทำการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยอุปกรณ์ IC จะทำการรับสัญญาณอนาล็อกที่ได้แล้วนำมาแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลต่อไปด้วยการส่งสัญญาณออกไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 ทำการนับสัญญาณที่ได้แสดงผลหน้าจอ LCD และส่งสัญญาณไปทางพอร์ท RS-232 เพื่อประมวลผลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์คำนวณค่าไฟฟ้าให้รู้ถึงการใช้พลังงานที่เป็นจำนวนเงิน และภาพที่ 11 แสดงผลที่ได้จากการผลทดสอบจะบอกค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(Power Factor) ของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบผอมมีค่าต่ำประมาณ 0.587 ซึ่งแสดงว่ามีการสูญเสียพลังงานในระบบมาก ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงานมาก การแก้ไขตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้น ดังนั้นจึงควรเพิ่มประสิทธิภาพสูงในการใช้พลังงานไฟฟ้า และเลือกชนิดบัลลาสต์แกนเหล็กหรือบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ผลการทดสอบภาพที่ 12 จะพบว่าชุดอุปกรณ์แจ้งเตือนสามารถจำกัดค่าไฟฟ้าจะเตือนด้วย LED สีเหลือง เมื่อมีค่าประมาณ 80 % และเตือนอีกครั้งด้วย LED สีแดงเมื่อมีค่าสูงถึง 100 % ที่ได้ Limit เพราะว่าชุดอุปกรณ์นี้ต้องการใช้พลังงานและมีการควบคุมเมื่อหยุดใช้พลังงานไฟฟ้า เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลกราฟค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดที่ใช้เครื่องกิโลวัตต์มิเตอร์กับชุดทดสอบจะให้ผลค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit) ใกล้เคียงกันหรือเกือบเท่ากันแสดงดังตารางที่ 2 และจะมีค่าผิดพลาด (%) ที่ได้จากการทดสอบในระบบควบคุมจะไม่เกิน 10 % แสดงดังภาพที่ 13 ผลกราฟเปรียบเทียบค่าผิดพลาดของหลอดที่ใช้เครื่องกิโลวัตต์เฮาส์มิเตอร์กับชุดทดสอบดังนั้นควรจะเปลี่ยนไปใช้บัลลาสต์แกนเหล็กสูญเสียต่ำจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่าบัลลาสต์ธรรมดาถึง 50 %



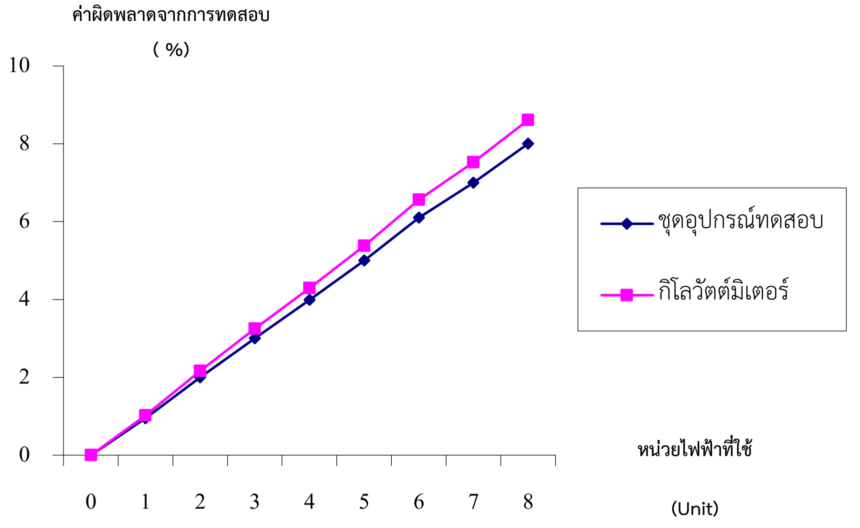
ภาพที่ 10 Block Diagram การทำงานของเครื่องวัดและคิดเงินพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิตอล

ภาพที่ 11 ผลค่า Power Factor 587/1000 = 0.587

ภาพที่ 12 ชุดอุปกรณ์แจ้งเตือนการใช้พลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 2 ผลทดสอบค่าหน่วยไฟฟ้า (unit) ของหลอดไฟฟ้าและค่าผิดพลาด (%) ที่ได้จากเครื่องวัดกิโลวัตต์มิเตอร์กับอุปกรณ์ทดสอบ

เครื่องวัดกิโลวัตต์มิเตอร์ (unit)	อุปกรณ์ทดสอบ (unit)	% ค่าผิดพลาด
0.95	1.03	1.3 %
2.00	2.12	2.0 %
3.00	3.05	3.5 %
3.99	4.11	4.2 %
5.00	5.02	5.3 %
6.10	6.15	6.0 %
7.00	7.03	7.2 %



ภาพที่ 13 ผลกราฟเปรียบเทียบค่าผิดพลาดของหลอดที่ใช้เครื่องกิโลวัตต์เฮาส์มิเตอร์กับชุดทดสอบ

ตารางที่ 3 ผลทดสอบเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการลดจำนวนหลอดไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นในช่วงเวลาก่อนใช้งานและเวลาภายหลังการใช้งาน

รายการ	กำลังไฟฟ้า (W)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/Year)	ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)
ก่อน (เวลา 9.00 น.)	2,096	5,376	24,203
หลัง (เวลา 16.00 น.)	1,653	3,827	17,225
ผลประหยัดพลังงาน	443	1,549	6,978

ผลจากตารางที่ 3 แสดงผลทดสอบเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการลดจำนวนหลอดไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นในช่วงเวลาก่อนใช้งานและเวลาภายหลังการใช้งาน จะพบว่าก่อนใช้งานเวลา 9.00 น. จะใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าหลังใช้งานที่เวลา 16.00 น. ประมาณ 2,096 วัตต์ ค่าพลังงานไฟฟ้า 5,376 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี และมีค่าไฟฟ้ามากกว่าถึง 24,203

บาทต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับภายหลังใช้งานของหลอดไฟฟ้า จะพบว่าสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ 443 วัตต์ หรือช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 1,549 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี และประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 6,978 บาทต่อปี ดังนั้นสามารถควรทำการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าโดยทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ Motion Sensor ภายในอาคารสำนักงานแสดงดังภาพที่ 14 เพื่อควบคุมการทำงานของระบบแสงสว่าง มาตรการนี้จะติดตั้ง Motion Sensor [10] เพื่อควบคุมการทำงานของหลอดไฟฟ้าในอาคารสำนักงานภายในห้อง ถ้าจำนวนหลอดไฟฟ้าที่ใช้งาน 12 หลอด ทำการเปิด-ปิดสวิทช์โดยอัตโนมัติจากผลการทดลอง จะพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดได้ประมาณ 1,491 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี และลดการปล่อยก๊าซ CO_2 เท่ากับ 850.44kg.CO_2e/Year คิดเป็นผลประหยัดต้นทุนด้านพลังงานได้ 6,713 บาทต่อปี มาตรการนี้สามารถคืนทุนได้ภายใน 1 ปี 25 วัน โดยมีอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับ 43.35 % และสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้แสดงผลดังตารางที่ 4 มีข้อดีคือสามารถประยุกต์ใช้ในการควบคุมการเปิดและปิดหลอดไฟฟ้าแบบอัตโนมัติและแบบใช้การตรวจจับการเคลื่อนไหวของบุคคลในสถานที่ต่างๆ ได้

ตารางที่ 4 ผลทดสอบเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ Motion Sensor ในช่วงเวลาก่อนใช้งานและเวลาภายหลังการใช้งาน

รายการ	กำลังไฟฟ้า (W)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/Year)	ค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)
ก่อน (เวลา 9.00 น.)	692	1,926	8,653
หลัง (เวลา 16.00 น.)	692	435	1,940
ผลประหยัดพลังงาน	-	1,491	6,713

ภาพที่ 14 อุปกรณ์ตรวจจับ Motion Sensor เพื่อควบคุมการทำงานของระบบแสงสว่าง [12]

5. สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยนี้ สามารถอธิบายถึงข้อดีในแนวทางแรกคือ ผลความสำเร็จของการพัฒนาและนำวิธีการจัดการพลังงานในระบบแสงสว่างตามมาตรฐาน ISO 50001 มาใช้ภายในหน่วยงานหรือองค์กร มีการจัดการพลังงานแบบเป็นระบบ รู้สภาพการใช้พลังงานขององค์กร รู้วิธีจัดการควบคุมว่าตรงไหนใช้มากไปเกินกำหนด เกิดการวางแผนที่ดีและมีการปรับปรุงระบบการจัดการภายในหน่วยงานหรือองค์กร ที่สำคัญที่สุดคือการมีคณะทำงานที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสม ดังนั้นเจ้าของโรงงานควบคุม และเจ้าของอาคารสถานที่ จะต้องควบคุมต้องจัดให้มีคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานขึ้นเพื่อทำหน้าที่ควบคุมดูแล ดำเนินการ ประสานงาน และรายงานผลการจัดการพลังงานในหน่วยงานหรือองค์กร ตลอดจนตรวจติดตามและทบทวนการดำเนินการจัดการพลังงานให้เป็นไปตามนโยบายอนุรักษ์พลังงานที่หน่วยงานหรือองค์กรได้กำหนดขึ้น การเก็บรวบรวมข้อมูลด้านพลังงานควรเก็บอย่างละเอียด เพื่อการนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ให้เกิด

ประโยชน์สูงสุด เมื่อพิจารณาไมโครกริดที่มีการติดตั้งแหล่งจ่ายพลังงานใหม่เข้ามาเป็นจำนวนมาก จำเป็นจะต้องเตรียมโครงข่ายสื่อสารข้อมูลสมาร์ทกริดเพื่อเชื่อมต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากับระบบจัดการพลังงานเฉพาะด้าน (Local Energy Management System, Local EMS) ในไมโครกริดหรือระบบจัดการพลังงานในไมโครกริด (μgrid EMS) เพื่อทำหนาที่มอนิเตอร์และควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลในระบบ ดังนั้น EMS คือระบบจัดการพลังงานที่ทำให้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีความมั่นคงด้วยค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมที่สุด พลังงานไฟฟ้าที่ถูกนำมาใช้ไม่ได้มีแค่พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างเท่านั้น แต่ยังมีพลังงานไฟฟ้าที่ถูกนำไปใช้ในด้าน อื่นๆ อีกมาก เช่น ระบบปรับอากาศสำนักงาน ระบบการผลิต ระบบอัดอากาศ เป็นต้น เราสามารถศึกษาทฤษฎีการอนุรักษ์พลังงานในด้านต่างๆ แล้วนำมาปรับปรุงให้ใช้ในการอนุรักษ์พลังงานได้

ผลการวิจัยข้อดีของแนวทางที่สอง คือสามารถทำให้ระบบแสงสว่างมีประสิทธิภาพที่ดี ลดค่าใช้จ่ายพลังงาน สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างอย่างเหมาะสมตามลักษณะการใช้งาน ออกแบบระบบแสงสว่างให้เหมาะสมและทำการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างให้สม่ำเสมอ หลอดไฟที่มีราคาถูกมักจะอายุการใช้งานสั้นทำให้ต้องมีการเปลี่ยนหลอดอยู่บ่อยๆทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าหลอดที่มีราคาแพงแต่อายุการใช้งานนานกว่า เช่น หลอดไส้ราคาถูกกว่าหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์แต่อายุการใช้งานสั้นกว่า สามารถนำเสนอแนวทางนี้ให้พื้นที่ห้องที่ไม่ต้องการแสงสว่างมากควรใช้หลอดไฟฟ้าที่มีจำนวนวัตต์ต่ำที่สุด ควรใช้แผ่นหรือโคมสะท้อนแสงจะลดจำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์จาก 2 หลอดต่อดวงโคมจะลดเหลือ 1 หลอดต่อดวงโคม หรือประหยัดพลังงานลงโคมละ 50 % ในพื้นที่ห้องที่ไม่ต้องการแสงสว่างมากนักควรใช้หลอดไฟฟ้าที่มีวัตต์ต่ำ โคมไฟตั้งโต๊ะควรใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แทนหลอดไส้ และสีของห้องควรใช้สีอ่อน เช่น สีขาว สีครีมจะสะท้อนแสงสว่างได้ดีและสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และนอกจากนี้สามารถบอกได้ว่าค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ดีควรจะมีค่าใกล้เคียง 1.0 มากที่สุด ถ้าค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำแล้วกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวนำสูง นั้นคือการสูญเสียเนื่องจาก Copper Loss จะสูงด้วย การแก้ไขค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์สามารถทำได้โดยการติดตั้งคาปาซิเตอร์ที่โหลดต่างๆ ที่มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำ ดังนั้นจากผลสรุปข้อดีของแนวทางทั้งสองนี้สามารถเลือกใช้ในการปรับปรุงการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างของอาคารสำนักงาน ช่วยควบคุมและลดต้นทุนค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างได้

เอกสารอ้างอิง

[1] วีระพันธ์ ติยัพเสน. (2546). “**ทฤษฎีการใช้เครื่องมือและการวัดทางไฟฟ้า**” กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สกายบุ๊ค จำกัด.

[2] โอภาส ศิริครรชิตถาวร. (2548). “**การเรียนรู้และพัฒนาอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 ด้วยโปรแกรมภาษาซี**” กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ห้างหุ้นส่วน จำกัด กราฟิกเมลอน.

[3] การอนุรักษ์พลังงานด้วยระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐาน ISO 50001, กองฝึกอบรม, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า กระทรวงพลังงาน, พิมพ์ครั้งที่ 1, ตุลาคม 2545.

[4] อาศิรา พนาราม. (2559). “**รายงานบทความเรื่อง Smart Grid, Smart City สู่เมืองอัจฉริยะแห่งในอนาคต**” วารสารการจัดการพลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ. ฉบับกรกฏาคม-ตุลาคม,120-126.

[5] จักรพันธ์ ปิ่นทอง และคณะฯ. “การอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง กรณีศึกษา บริษัท ที.เค.ดี. ไฟเบอร์ จำกัด”. **วารสารราชนครินทร์**. ฉบับมกราคม-มิถุนายน 2557, 69-74.

[6] กระทรวงพลังงาน. (2553). **รายงานสถานการณ์การใช้ไฟฟ้าของ ประเทศไทย.[ออนไลน์].** เข้าถึงข้อมูลวันที่ 25 เดือน มิถุนายน ปี พ.ศ. 2554. จาก http://www.eppo.go.th/ load/load2002/index.html

[7] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2553). **ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝายผลิตแห่งประเทศไทย.** [ออนไลน์]. ข้อมูลวันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2554. จาก http://www.eppo.go.th/load/load2002/ index.html

[8] กฤษณะ ไพรคงคาธรรม. (2549). **ผลกระทบของโครงการอนุรักษ์พลังงานต่อต้นทุนด้านพลังงานของโรงงาน ฟริโต-เลย์ จำกัด (ประเทศไทย).** ปริญญานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[9] ปรีชา ศรีประภาคาร. (2546). **การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.

[10] วิษณุ กุสุมวิจิตร. (2551). **การจัดการพลังงานเชิงบูรณาการในโรงงานน้ำตาล.** วิทยานิพนธ์ระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.

การประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศภายในโรงงานอุตสาหกรรม : กรณีศึกษาโรงงานผลิตและส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งและบรรจุกระป๋อง

Energy saving in compressed air system in industries : Case study frozen and canned seafood manufacturing

ธนภัทร วิชาชาญชัย [1*] และ วิทยา ยงเจริญ[2]

[1] หลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 10330

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 10330

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหามาตรการประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศในโรงงานอุตสาหกรรม โดยได้เข้าไปทำการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตอากาศอัดภายในโรงงานผลิตและส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งบรรจุกระป๋องแห่งหนึ่งเพื่อหามาตรการปรับปรุงให้เกิดการประหยัดพลังงานและเป็นแนวทางให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมอื่น จากการตรวจสอบพบว่าโรงงานมีเครื่องอัดอากาศทั้งหมด 4 เครื่อง และมีความต้องการใช้อากาศอัดเฉลี่ย = 213.5 l/s กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 146.3 kW และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะเฉลี่ย = 1.45 l/s/kW ผลที่ได้จากการตรวจสอบสามารถเสนอเป็นแนวทางปรับปรุงได้ทั้งหมด 5 มาตรการ โดยแบ่งเป็นมาตรการที่สามารถคำนวณผลประหยัดได้ 2 มาตรการ คือ 1.เปลี่ยนเครื่องอัดอากาศที่มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะต่ำออกแล้วแทนที่ด้วยเครื่องอัดอากาศใหม่ที่มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะสูงกว่า งบประมาณที่ใช้ในการปรับปรุง = 1,020,000 บาท สามารถทำให้ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า 321,898 บาท/ปี คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) 3.16 ปี อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) 17 % 2.ปรับปรุงอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ สามารถประหยัดพลังงานได้ 30,096 บาท/ปี โดยใช้เงินลงทุนประมาณ 20,000 บาท คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) 0.66 ปี 3.ทำการจัดโหลดเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการของระบบ และเครื่องอัดอากาศที่มี 4. ปรับลดความดันของเครื่องอัดอากาศลง 5. ตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศตามระยะเวลาเปลี่ยนอะไหล่เสมอ

คำสำคัญ: การประหยัดพลังงาน / ระบบอัดอากาศ

---

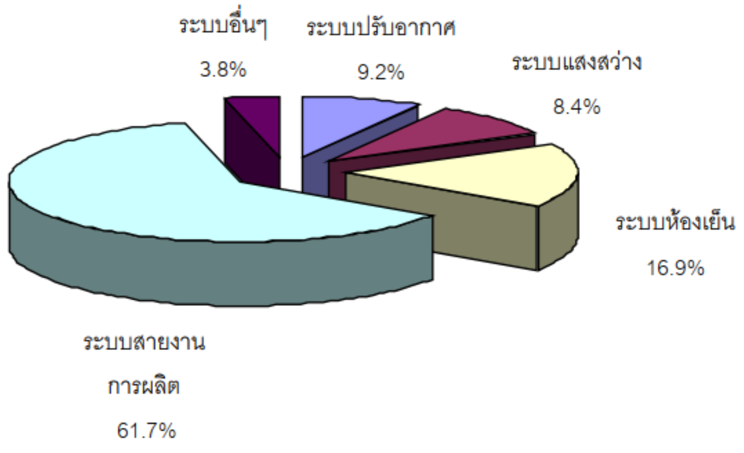
* Corresponding author: Tel.: 063-2544644. E-mail address: thanapat.extravalue@gmail.com

บทนำ

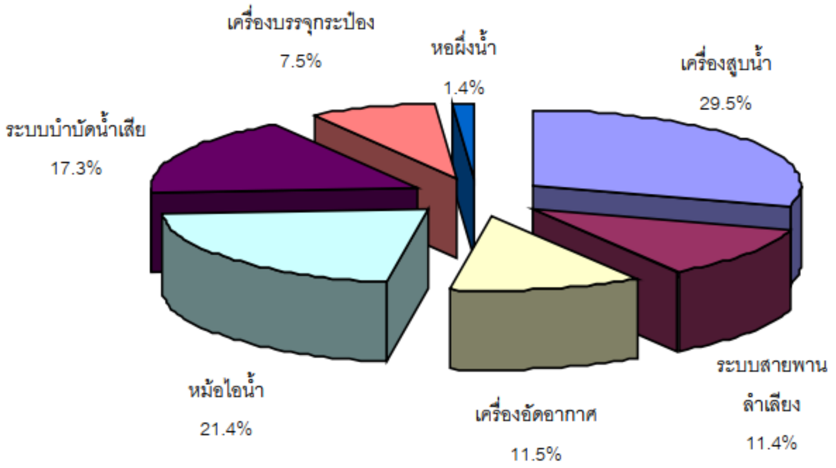
ระบบอากาศอัดมีการใช้งานในโรงงานควบคุมทุกแห่ง ทั้งระบบขนาดเล็ก ขนาดไม่เกิน 100 kW ถึงระบบขนาดใหญ่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 500 kW โดยมีประสิทธิภาพรวมทั้งระบบเพียงประมาณ 15% – 20% เท่านั้น [1] เนื่องจากในกระบวนการอัดอากาศนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเครื่องอัดอากาศจะถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อนประมาณ 80% – 85% ส่วนใหญ่จะปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศโดยไม่มีการนำกลับมาใช้ และมีส่วนของลมรั่วและการใช้งานที่ไม่เหมาะสมรวมอยู่ด้วย จึงอาจกล่าวโดยรวมได้ว่าระบบอากาศอัดเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งต้องการการบริหารจัดการที่ถูกวิธี เนื่องจากเป็นระบบที่มีความจำเป็นต่อโรงงานส่วนใหญ่และเป็นระบบที่ใช้พลังงานสูง [2]

โรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากยังคงไม่มีความเข้าใจในเรื่องระบบการใช้งานอากาศอัดอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเลือกประเภทของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งาน, การบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศให้ถูกต้อง, การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการติดตั้งเครื่องอัดอากาศ, การเดินท่ออากาศอัดที่เหมาะสม เป็นต้น การไม่มีความเข้าใจอย่างถูกต้องในระบบอัดอากาศจึงทำให้เกิดการสิ้นแปลืองพลังงานเป็นอย่างมาก ถ้ามีการศึกษาและเผยแพร่ข้อมูลอย่างถูกต้อง จะสามารถลดการใช้พลังงานของผู้ประกอบการและประเทศชาติได้เป็นอย่างมาก

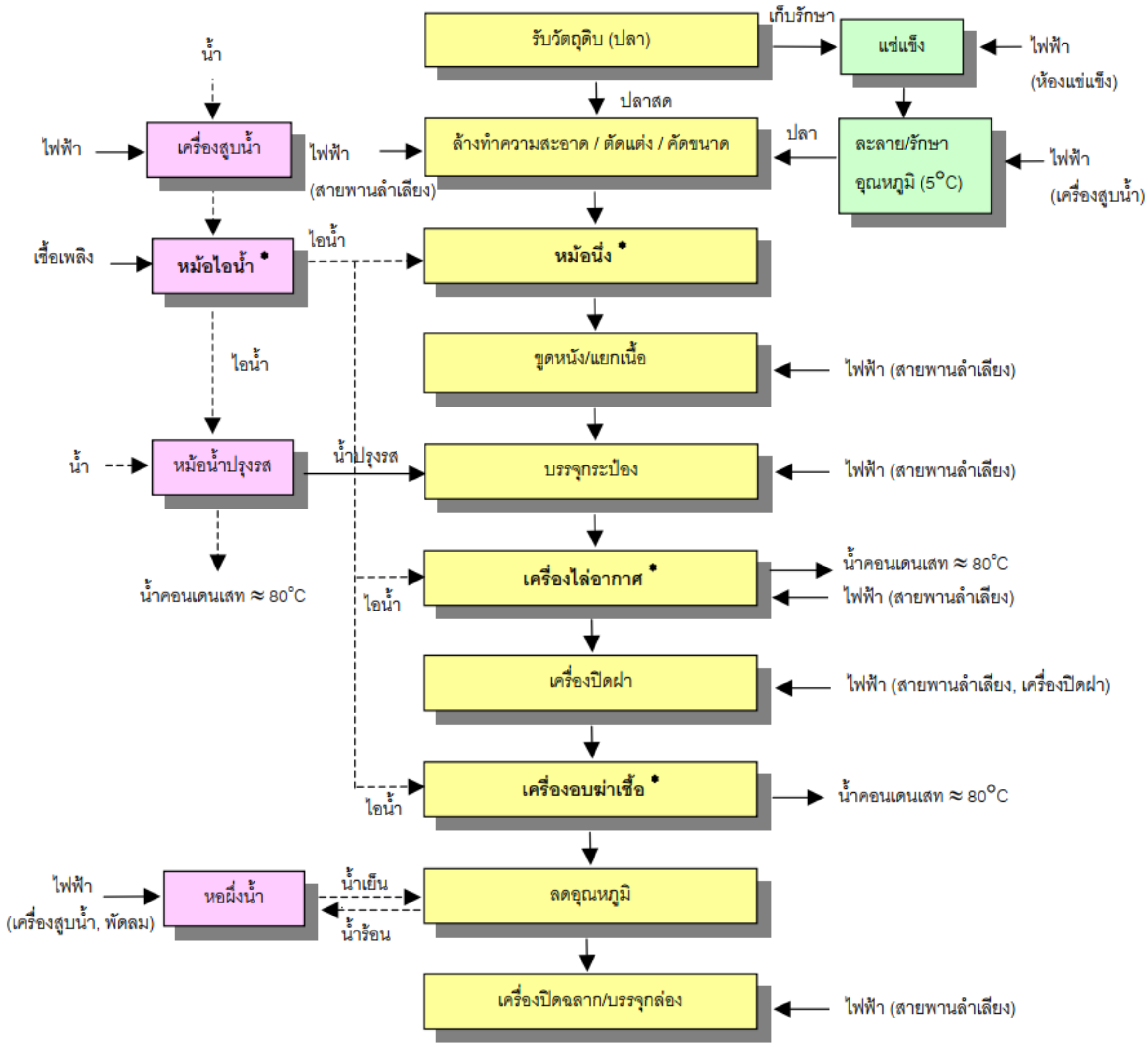
โรงงานผลิตและส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งและบรรจุกระป๋องมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศประมาณ 11.5% ของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต โดยถูกนำไปใช้ในสายพารลำเลียง, เครื่องปิดฝา, เครื่องบรรจุกระป๋อง และเครื่องปิดฉลาก [3] ซึ่งเป็นระบบอัดอากาศระบบหนึ่งที่ใช้ค่าพลังงานไฟฟ้ามากเป็นลำดับต้น ๆ ดังนั้นหากสามารถจัดการพลังงานของระบบเครื่องอัดอากาศได้ ก็จะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลง และสามารถลดค่าการใช้พลังงานของโรงงานลงได้ ช่วยเพิ่มผลกำไรให้กับโรงงาน และยังช่วยในการลดการใช้พลังงานของประเทศลงด้วย จึงทำให้เกิดการศึกษาในหัวข้อ “การประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศภายในโรงงานอุตสาหกรรม : กรณีศึกษาโรงงานผลิตและส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งและบรรจุกระป๋อง” ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาอาจนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทเดียวกัน หรือโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่น ๆ ได้ และก็จะทำให้เกิดการลดการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งถือว่าเป็นภาคส่วนที่มีการใช้พลังงานเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศลงได้



ภาพที่ 1 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน [3]



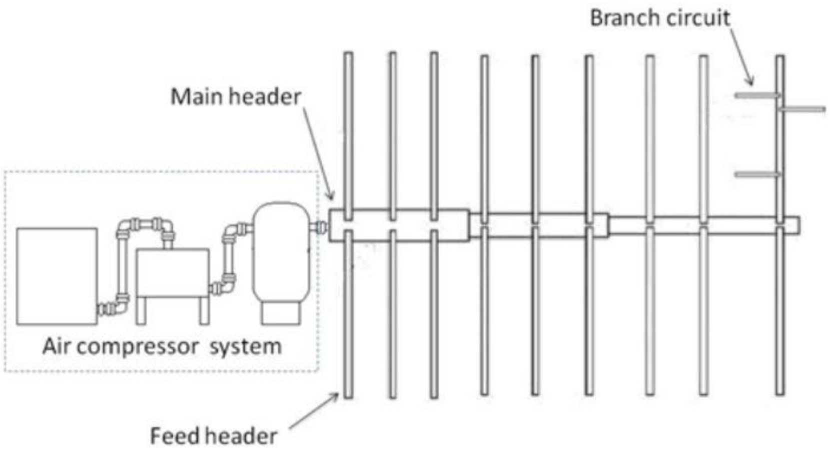
ภาพที่ 2 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต [3]



ภาพที่ 3 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตปลากระป๋อง [3]

วิธีการวิจัย

สำรวจระบบอัดอากาศทั้งระบบของโรงงานผลิตและส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งบรรจุกระป๋อง พบว่าอากาศอัดส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในสายพารลำเลียง, เครื่องปิดฝา, เครื่องบรรจุกระป๋อง และเครื่องปิดฉลาก โดยการใช้อากาศอัดของโรงงานเกิดจากเครื่องอัดอากาศทั้งหมด 4 เครื่อง วางเครื่องอัดอากาศทั้งหมดในตำแหน่งเดียวกัน ลักษณะการเดินท่ออากาศอัดเดินแบบกริด (Grid System) [4]

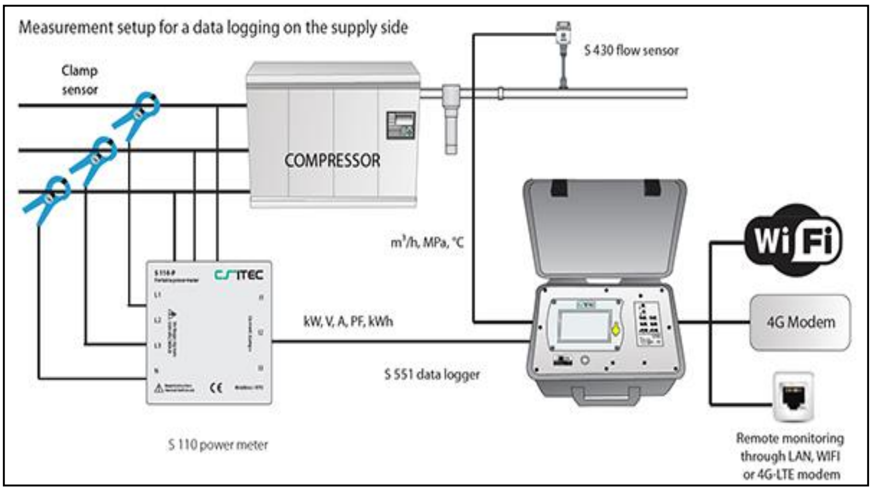


ภาพที่ 4 การเดินท่อลมแบบกริด [4]

ซึ่งไม่เชื่อมถึงกันหมด การดำเนินงานวิจัยจะทำการสำรวจและตรวจวัดสภาพการใช้อากาศอัด, ขนาดเครื่องอัดอากาศ (kW), อัตราการผลิตลม (FAD), % load time เครื่องอัดอากาศ และอุณหภูมิห้องบริเวณเครื่องอัดอากาศ หลังจากนั้นจะทำการเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบอัดอากาศอัดเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

การตรวจสอบคุณสมบัติของเครื่องอัดอากาศ ณ สภาพปัจจุบัน เพื่อหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะของเครื่องอัดอากาศ ในการตรวจหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะของเครื่องอัดอากาศทำได้โดยการใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow Meter) และอุปกรณ์วัดค่ากำลังไฟฟ้า (Power Meter) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลและกำลังทางไฟฟ้า
2. ตรวจเช็คความถูกต้องของเครื่องมือวัด และทำการบันทึกค่า
3. ทำการบันทึกค่าที่แรงดันใช้งาน และแรงดันสูงสุดของเครื่องอัดอากาศ
4. นำข้อมูลมาวิเคราะห์หามาตรการจัดการพลังงาน



ภาพที่ 5 การตรวจวัดปริมาณการใช้อากาศอัดและกำลังทางไฟฟ้า

ทำการตรวจสอบอุณหภูมิห้องบริเวณห้องเครื่องอัดอากาศ ทำการวัดค่าอุณหภูมิบริเวณรอบเครื่องอัดอากาศทุกเครื่องโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ และวัดอุณหภูมินอกห้องเครื่องอัดอากาศในที่ร่มเพื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ คือสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกห้องในที่ร่มไม่เกิน 3 องศาเซลเซียส และช่องดูดอากาศเข้าไม่ใกล้แหล่งความชื้น ค่าพลังงานที่ประหยัดได้จากการลดอุณหภูมิขาเข้าสามารถหาได้จาก

$$\Delta W = \frac{ikR_wT_1 - T_2}{k-1}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/(ik)} -1\right] \qquad (1)$$

และยังสามารถหาค่ากำลังงานที่ประหยัดได้จาก

$$P = \Delta W \times D_{air} \times FAD \times \%load \qquad (2)$$

ทำการตรวจสอบการใช้ความดันของเครื่องจักรแต่ละประเภท ทำการสำรวจความดันที่ใช้งานในปัจจุบันของเครื่องจักรภายในโรงงานทั้งหมดที่ใช้อากาศอัดในการเดินเครื่อง เทียบกับค่าความดันที่เครื่องจักรใช้งานจริงตามคุณสมบัติของเครื่องจักรจากสมการดังนี้

ปริมาณลมในระบบ = %load time x FAD (3)

Energy Consumption = [kW(load) x hour/day x day/year x %load time] + (4)
[kW(unload) x hour/day x day/year x %unload time]

ทำการตรวจสอบระบบท่อส่งอากาศอัดทั้งระบบของโรงงาน ทำการสำรวจลักษณะการเดินท่ออัดอากาศและขนาดของท่ออัดอากาศภายในโรงงานทั้งหมด

ทำการตรวจสอบอายุการใช้งานของอะไหล่ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ

นำเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบอัดอากาศ และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในการเปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศเครื่องเดิมที่มีประสิทธิภาพต่ำกับเครื่องอัดอากาศใหม่ โดยหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB), มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) และอัตราผลตอบแทนจากโครงการลงทุน (Internal rate of return : IRR) จากสมการดังนี้

Payback Period = เงินลงทุน/ผลประหยัด (5)

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{ESt}{(1+i)^t} - Io \tag{6}$$

$$-IO = \sum_{t=1}^{n} \frac{ESt}{(1+IRR)^t} = 0 \tag{7}$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวัดค่าอัตราการไหล, กำลังไฟฟ้า เพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของเครื่องอัดอากาศ

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะของเครื่องอัดอากาศแต่ละเครื่อง

หมายเลขเครื่อง (No.)	แรงดันที่เครื่องอัดอากาศ (bar)	อัตราการไหลจากสเปค (l/s)	ค่าอัตราการไหลจากการวัด (l/s)	กำลังทางไฟฟ้า (kW)	ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (l/s/kW)	ค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะสเปค (l/s/kW)
No.1	8 bar	79.16	65.83	37	1.779189189	2.3
No.2		79.16	56.67	37.4	1.515240642	2.3
No.3		79.16	48.33	36.7	1.316893733	2.3
No.4		105	95	43.3	2.193995810	2.53

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดการทำงาน และ %Load factor

หมายเลขเครื่อง (No.)	กำลังทางไฟฟ้า Load(kW)	กำลังทางไฟฟ้า unload(kW)	ค่าอัตราการไหลจากการวัด (m3/min)	Running hours	Load time	Unload time	%Load factor	ผลิตลมอัดในระบบ (m3/min)
No.1	37	19.6	3.9498	38805	24639	14166	63.49439505	2.507901616
No.2	37.4	19.4	3.4002	18606	9324	9282	50.11286682	1.703937698
No.3	36.7	19.8	2.8998	43727	31333	12394	71.65595627	2.07787942
No.4	43.3	21.8	5.7	18779	17918	861	95.41509133	5.438660206
รวม	154.4	80.6	15.9498					11.72837894

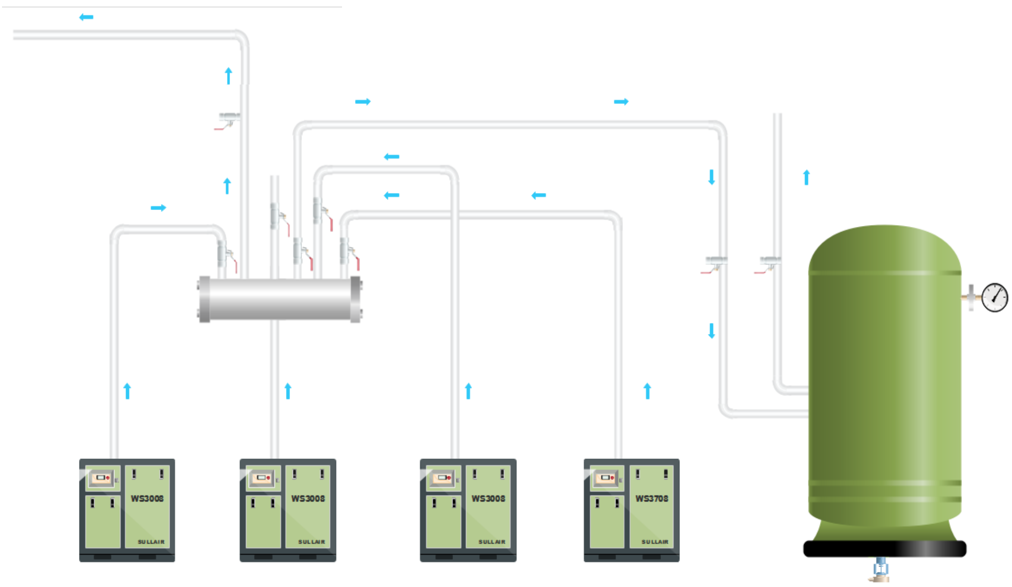
ประสิทธิภาพพลังงานเครื่องอัดอากาศที่วัดได้ควรสูงกว่า 80% ของมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานเครื่องอัดอากาศ = 2.22 l/s/kW [5] จากผลการตรวจวัดพบว่า เครื่องอัดอากาศที่มีค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะสูงกว่ามาตรฐานได้แก่เครื่องอัดอากาศ No.1 และ No.4

การตรวจสอบอุณหภูมิห้องบริเวณรอบเครื่องอัดอากาศ ผลการตรวจสอบพบว่าอุณหภูมิภายในห้องเครื่องบริเวณรอบตัวเครื่องมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกห้องในที่ร่มประมาณ 5 °C

การตรวจสอบการใช้ความดันอากาศอัด จากการตรวจสอบพบว่ามีการใช้ความดันของอากาศอัด 7 bar และ 5 bar ทางโรงงานมีการตั้งค่าความดันอยู่ที่ 8 bar สำหรับเครื่องอัดอากาศทุกตัว

การตรวจสอบท่อส่งอากาศอัดภายในโรงงาน ท่อส่งอากาศอัดมีการเดินแบบก้างปลา ซึ่งไม่เชื่อมถึงกันทั้งหมด จากการสำรวจความดัน ณ จุดใช้งานที่ระยะไกลสุดเทียบกับความดันภายในห้องเครื่องอัดอากาศมีค่าต่างกันประมาณ 1 bar ขนาดท่อเมนมีขนาด 2 นิ้ว

การตรวจสอบอายุการใช้งานของอะไหล่ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเครื่อง พบว่าอะไหล่เช่น กรองอากาศ (Air filter) และกรองน้ำมันแยกอากาศ (Air/oil Separator) มีการแจ้งเตือนว่าเกิด Pressure drop



ภาพที่ 6 ภาพจำลองโครงสร้างระบบอัดอากาศของโรงงาน

แนวทางการปรับปรุงระบบอัดอากาศทั้งระบบ

การเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศ เป็นการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศที่มีค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะไม่ดีออกและทำการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศที่มีค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะสูงกว่าเข้ามาทดแทน โดยนำเครื่องอัดอากาศ No.2 และ No.3 ออก (ขนาด 30 kWทั้งคู่) แทนที่ด้วยเครื่องอัดอากาศใหม่ยี่ห้อ SULLAIR รุ่น WS3708 AC (ขนาด 50 HP ทั้งคู่) สำหรับเครื่องอัดอากาศเก่าอีก 2 เครื่องนำมาติดตั้งเป็นเครื่องสำรอง งบประมาณที่ใช้ในการปรับปรุง = 1,020,000 บาท

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เครื่องอัดอากาศ No.2 = [kW(load) x hour/day x day/year x %load time] + [kW(unload) x hour/day x day/year x %unload time]

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เครื่องอัดอากาศ No.2 = [37.4 x 12 x 300 x %50.11] + [19.6 x 12 x300 x %49.89]

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เครื่องอัดอากาศ No.2 = 102,670.48 kWh/ปี จากการใช้ค่าไฟเฉลี่ย 3.8 บาท/kWh

ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เครื่องอัดอากาศ No.2 = 390,147.82 บาท/ปี

คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ = 1.51 l/s/kW

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เครื่องอัดอากาศ No.3 = [kW(load) x hour/day x day/year x %load time] + [kW(unload) x hour/day x day/year x %unload time]

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เครื่องอัดอากาศ No.3 = [36.7 x 12 x 300 x %71.65] + [19.8 x 12 x300 x %28.35]

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เครื่องอัดอากาศ No.3 = 114,871.86 kWh/ปี จากการใช้ค่าไฟเฉลี่ย 3.8 บาท/kWh

ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เครื่องอัดอากาศ No.2 = 436,513.07 บาท/ปี

คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ = 1.31 l/s/kW

พลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้หากเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศใหม่ที่มีค่าพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ 2.3 l/s/kW [5]

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ของเครื่อง No.2 = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ x (1-ประสิทธิภาพเดิม/ประสิทธิภาพใหม่)
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ของเครื่อง No.2 = 102,670.48 kWh/ปี x (1-1.51/2.3)
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ของเครื่อง No.2 = 35,265 kWh/ ปี หรือคิดเป็นมูลค่า 134,007 บาทต่อปี จากการใช้ค่าไฟเฉลี่ย 3.8 บาท/kWh

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ของเครื่อง No.3 = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ x (1-ประสิทธิภาพเดิม/ประสิทธิภาพใหม่)
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ของเครื่อง No.3 = 114,871.86 kWh/ปี x (1-1.31/2.3)
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ของเครื่อง No.3 = 49,445 kWh/ ปี หรือคิดเป็นมูลค่า 187,891 บาทต่อปี จากการใช้ค่าไฟเฉลี่ย 3.8 บาท/kWh

ทำให้ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสองเครื่องคิดเป็นมูลค่า 321,898 บาท/ปี โดยเงินลงทุนในการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศใหม่ทั้งสองเครื่องมีค่าใช้จ่าย 1,020,000 บาท
คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) = 1,020,000/321,898 = 3.16 ปี
ระยะเวลาโครงการ = 5 ปี
NPV = 373,649.88
IRR = 17%
อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) 17 % โดยใช้ค่า discount factor = 6%
จากระยะเวลาการคืนทุนประมาณ 3 ปี 1 เดือน 27 วัน มีค่า NPV เป็นบวก คือ 373,649.88 และมีค่า IRR คือ 17% ซึ่งพบว่าเป็นโครงการที่น่าสนใจที่จะลงทุนในการปรับเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศเพื่อการประหยัดพลังงาน

การปรับปรุงอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ ควรมีการติดตั้งปล่องระบายความร้อนจากตัวเครื่องอัดอากาศไปทิ้งด้านนอกห้อง โดยตั้งเป้าหมายให้ลดอุณหภูมิจากเดิม 40 ℃ ให้เท่ากับอุณหภูมิภายนอก 35 ℃ จะสามารถคำนวณผลการประหยัดพลังงานได้ดังนี้ [5]

ผลการประหยัดพลังงาน = (อุณหภูมิเดิม - อุณหภูมิใหม่) x (1/3) x (1%) x พลังงานที่ใช้ต่อเดือน
ผลการประหยัดพลังงาน = (40 – 35) x (1/3) x (1%) x 39,591.78
ผลการประหยัดพลังงาน = 660 หน่วยต่อเดือน หรือ 7,920 หน่วยต่อปี
= 30,096 บาทต่อปี (คิดค่าไฟฟ้า 3.8 บาทต่อหน่วย)
โดยใช้เงินลงทุนทประมาณ 20,000 บาท คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) 0.66 ปี

การปรับปรุงระบบท่อส่งอากาศอัด ควรมีการเดินท่อเมนใหม่ให้เชื่อมถึงกัน จะสามารถช่วยลดการเกิดความดันตกคร่อมและส่งผลให้สามารถลดความดันที่เครื่องอัดอากาศให้มีค่าลดลงได้

การจัดโหลดเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการ และปรับลดความดันโดยปรับตั้งแรงดันในการทำงานของเครื่องอัดอากาศให้ทำงานในลักษณะตัวต่อตัว โดยให้เครื่องอัดอากาศ No.4 ซึ่งมีกำลังการผลิตมากกว่าเป็นตัวหลักในการผลิตอากาศอัด ส่วนเครื่องอัดอากาศขนาดรองลงมาก็ให้เป็นตัวเสริม

การเปลี่ยนอะไหล่ตามระยะเวลา อะไหล่บางอย่าง เช่น กรองอากาศ (Air Filter) หรือ กรองอากาศ-น้ำมัน (Air/oil Separator) เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขึ้น ส่งผลให้เครื่องอัดอากาศมีการกินกระแสไฟมากขึ้น และควรมีการล้าง Air Cooler เพื่อลดอุณหภูมิของเครื่องอัดอากาศลง

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้วิจัยถึงการหามาตรการประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตและส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งและบรรจุกระป๋อง เพื่อให้เกิดผลประหยัดพลังงานและเป็นโรงงานต้นแบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานประเภทเดียวกันหรือคนละประเภทได้ ซึ่งในวิธีการวิจัยมีการสำรวจและกำหนดมาตรการทั้งหมด 5 มาตรการ โดยมีผลสรุปและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

1. ในการคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศพบว่า เครื่องอัดอากาศที่มีสมรรถนะต่ำกว่าเกณฑ์ 80% คือ เครื่องอัดอากาศ No.2 และ No.3
2. เปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศใหม่และเครื่องอัดอากาศเก่า (No.2 และ No.3) เพื่อซื้อเครื่องอัดอากาศใหม่จำนวน 2 เครื่องทดแทนสองเครื่องเดิมที่มีสมรรถนะต่ำ ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 3 ปี 1 เดือน 27 วัน
3. จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในการเปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศเก่าและใหม่ พบว่าค่า NPV เป็นค่าบวก คือ 373,649.88 และค่า IRR เท่ากับ 17% ซึ่งถือว่าเป็นโครงการที่น่าลงทุน
4. การปรับปรุงติดตั้งท่อ Hood ดูดอากาศบริเวณห้องเครื่องอัดอากาศ โดยตั้งเป้าเพื่อให้ลดอุณหภูมิลงจาก 40 องศาเซลเซียส เหลือที่ 35 องศาเซลเซียสสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ 30,096 บาทต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ประมาณ 8 เดือน
5. ทางโรงงานมีปัญหาแรงดันตกในบางครั้งที่มีการใช้อากาศอัดสูง ควรพิจารณาในการปรับปรุงการเดินท่อให้เป็นแบบวงแหวน
6. ควรมีการจัดโหลดเครื่องอัดอากาศโดยให้เครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงเดินเป็นตัวหลัก (No.4 และ No.1)
7. ควรมีการตรวจสอบระยะเวลาในการเปลี่ยนอะไหล่และสำรวจรอยรั่วตามแนวท่อส่งอากาศอัด

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิจัยฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ รศ.ธนิต จินดาวคณิค ผศ.ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ และดร.วีรินทร์ หวังจิรนิรันดร์ กรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษางานวิจัยฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณคุณประหยัด ที่ให้โอกาสเข้าไปตรวจวัดและเก็บข้อมูลภายในโรงงานผลิตและส่งออกอาหารทะเลแช่แข็งและบรรจุกระป๋อง ขอขอบคุณคุณสุนทร องสุพันธ์กุลที่ให้ความช่วยเหลือทุนการศึกษาและสนับสนุนเครื่องมือตรวจวัด ขอขอบคุณหลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาและหาข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย นอกจากนี้ขอขอบพระคุณผู้ที่มีพระคุณทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและส่งเสริมทางด้านต่าง ๆ ซึ่งเป็นกำลังใจที่ช่วยผลักดันให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] โครงการสนับสนุนปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการพลังงานในระบบอากาศอัดทั้งระบบด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน http://berc.dede.go.th/?staff=%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%AA%E0%B8%99%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%AA%E0%B8%99%E0%B8%B8%E0%B8%99%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B8, access on 04/12/2018.

[2] Compressed Air Systems Fact sheet # 10 (2007) : Department of Energy United State of America.

[3] โครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือจากโรงงานควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535. **คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทอาหารกระป๋อง**. กรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม.

[4] โกวิทย์ รัตนารามิก. (2556). **มาตรการประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศภายในโรงงานอุตสาหกรรม.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[5] สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรมสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. **คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศ โครงการจัดตั้งศูนย์การเผยแพร่แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในภาคอุตสาหกรรม**.

[6] ณัฐวุฒิ เพิ่มขุนทด. (2550). **มาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวกการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมแก้วและกระจก** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[7] พรทิพา ต่ายเทศ (2556). **แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพในระบบอัดอากาศ** สารนิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผลกระทบของรถไฟฟ้ารางเบาต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV กรณีศึกษาจังหวัดนครราชสีมา
Impacts of Light Rail Transit on 22 kV Distribution Systems: Case Study in Nakhon Ratchasima Province.

สุชาติ เต้าทอง [1*] และ ผศ.ดร.บุญเรือง มะรังศรี [2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงานและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งหมายศึกษาผลกระทบของระบบรถไฟฟ้ารางเบาต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า 22 kV และแรงดันไฟฟ้าปลายสาย 22 kV เลือกวงจรการจ่ายไฟพื้นที่ตัวเมืองนครราชสีมา สถานีไฟฟ้า นม. 2 ฟีดเดอร์ 5 เมื่อมีการเชื่อมต่อการประจุไฟฟ้าให้กับรถไฟ LRT ที่สถานีรับส่งผู้โดยสารที่เกี่ยวข้อง ตามเส้นทางการเดินรถของโครงการรถไฟ LRT จังหวัดนครราชสีมา สายสีเขียว โดยการจำลองเหตุการณ์ทั้งก่อนและหลังการจ่ายไฟให้กับระบบ LRT สายสีเขียว ด้วยโปรแกรม DigSILENT PowerFactory ใช้ข้อมูลแหล่งจ่ายไฟต้นทางจากระบบ SCADA มีค่าแรงดันไฟฟ้า 22.73 kV ผลการศึกษาพบว่า เมื่อมีการจ่ายไฟให้ระบบรถไฟ LRT ขนาดของโหลดทางไฟฟ้าของรถไฟ LRT มีผลกระทบทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อน 22 kV เพิ่มขึ้น และเกิดแรงดันตกปลายสาย 22 kV แต่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานค่าแรงดันไฟฟ้าของ กฟภ. ซึ่งผลกระทบดังกล่าวไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่ก็มีแนวทางในการจัดการพลังงานไฟฟ้าเพื่อบรรเทาผลกระทบดังกล่าวด้วยการเพิ่มสถานีไฟฟ้าและตัดจ่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้เหมาะสม

คำสำคัญ: ผลกระทบ, รถไฟฟ้ารางเบา, LRT, ระบบไฟฟ้ากำลัง, การจัดการพลังงาน, DigSILENT PowerFactory

บทนำ

ตามที่รัฐบาลไทยได้อนุมัติแผนดำเนินโครงการระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนที่จังหวัดเชียงใหม่ พังงา ภูเก็ต และนครราชสีมาในปี 2563 [1] ซึ่งเป็นไปตามนโยบายเพิ่มศักยภาพทางเศรษฐกิจในระยะยาวสำหรับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งและคมนาคม เพื่อกระตุ้นเศรษฐกิจของจังหวัดและเพื่อแก้ไขปัญหาจราจรภายในเขตเมืองใหญ่ โดยการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.) มีแผนงานดำเนินโครงการระบบรถไฟฟ้ารางเบา (Light Rail Transit: LRT) จังหวัดนครราชสีมา เส้นทางสายสีเขียว ระยะทางรวม 11.17 กิโลเมตร ในรูปแบบการให้เอกชนร่วมลงทุนในกิจการของรัฐ (PPP) มูลค่าเงินลงทุน 8,275.26 ล้านบาท [2] ระบบรถไฟ LRT ที่จะนำมาใช้งานเป็นการเดินรถแบบไร้ตัวนำสัมผัส (Catenary-free) ตัวรถไฟฟ้าจะใช้ระบบขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าที่ประจุไว้ในตัวรถไฟฟ้า และทุก ๆ การจอดรับผู้โดยสารที่สถานี จะมีการชาร์จไฟฟ้าระดับแรงดัน 750 V DC. เข้ามาเก็บยังตัวรถไฟฟ้าด้วย ซึ่งข้อดีคือไม่ต้องสร้างระบบรางไฟฟ้าเหนือหัวหรือระบบสายตัวนำสัมผัสอากาศ (Overhead catenary system) ที่จะบดบังทัศนียภาพ [3] โดยระบบจ่ายไฟสำหรับรถไฟ (Railway electrification) จะรับไฟจากระบบไฟฟ้ากำลังของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า เป็นส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้ากำลัง มีหน้าที่ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) ไปให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้าประกอบด้วย สายจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันกลาง 22 kV หม้อแปลงจำหน่าย และสายไฟฟ้าแรงต่ำ ระบบไฟฟ้ากำลังที่จ่ายไฟในพื้นที่ตัวเมืองนครราชสีมาอยู่ในความรับผิดชอบของ กฟภ. ซึ่งปัจจุบันมี

* Corresponding author: Tel.: 081-8063591. E-mail address: Suchart.tao@pea.co.th

ระบบศูนย์สั่งการจ่ายไฟอัตโนมัติ (SCADA) ในการจัดการพลังงานไฟฟ้า มีสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. จำนวน 5 สถานีไฟฟ้า ได้แก่ นม.1 นม.2 นม.3 นม.4 และ นม.5 มีระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22kV จำนวน 45 ฟีดเดอร์ จ่ายไฟให้ผู้ใช้ไฟฟ้า

ปัญหาจากการเพิ่มโหลดระบบรถไฟ LRT เข้าไปในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นจะทำให้การทำงานและการควบคุมระบบไฟฟ้ามีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น อาจส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า เช่น กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเพิ่มขึ้น ระดับแรงดันไฟฟ้าหรือขนาดกระแสลัดวงจรในระบบเปลี่ยนไปจากค่าที่กำหนด ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบมีค่าลดลง เป็นต้น อีกทั้งประเด็นกรณีที่มีการจ่ายไฟ 22 kV ให้ระบบชาร์จไฟของรถไฟตามสถานีรับส่งผู้โดยสาร โดยมีแหล่งจ่ายไฟมาจากสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. อาจจะก่อให้เกิดปัญหากับผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นที่อยู่ปลายสายระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาผลกระทบของรถไฟ LRT ต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อนำข้อมูลมาบริหารจัดการพลังงาน เช่น วางแผนการจ่ายไฟให้ระบบรถไฟ LRT ในตำแหน่งที่เหมาะสม สอดคล้องกับข้อมูลของระบบไฟฟ้าจริงในปัจจุบัน เป็นต้น โดยสิ่งสำคัญในการให้บริการของ กฟภ. คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อใดๆ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งเป็นไปตามระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน ว่าด้วยมาตรฐานการให้บริการในการประกอบกิจการไฟฟ้าประเภทใบอนุญาตระบบจำหน่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559 โดยเกณฑ์มาตรฐานการให้บริการในพื้นที่ของ กฟภ. ระบุค่าแรงดันไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อใดๆ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมกับผู้ขอใช้บริการ ให้อยู่ในกรอบแรงดันไฟฟ้าตามตารางที่ 1 [4]

ตารางที่ 1 เกณฑ์มาตรฐานค่าแรงดันไฟฟ้าของ กฟภ.

ระดับแรงดัน	ภาวะปกติ		ภาวะฉุกเฉิน	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
115 kV	120.7 kV	109.2 kV	126.5 kV	103.5 kV
69 kV	72.4 kV	65.5 kV	75.9 kV	62.1 kV
33 kV	34.7 kV	31.3 kV	36.3 kV	29.7 kV
22 kV	23.1 kV	20.9 kV	24.2 kV	19.8 kV
380 V	418 V	342 V	418 V	342 V
220 V	240 V	200 V	240 V	200 V

มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาผลกระทบของรถไฟ LRT ต่อระบบไฟฟ้ากำลังโดย [5] ได้ศึกษาผลกระทบระบบรถไฟ LRT ต่อคุณภาพไฟฟ้าของในระบบไฟฟ้า โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า พบว่า แรงดันไฟฟ้าเกิดการเบี่ยงเบนและเกิดฮาร์โมนิกส์ค่อนข้างสูงที่บัสที่เชื่อมต่อในขณะประจุแบตเตอรี่ ซึ่งตัวกำเนิดฮาร์โมนิกส์ก็คือ AC/DC Rectifier [6] ได้ศึกษาผลกระทบระบบประเมินผลกระทบของโหลดขับเคลื่อนหนึ่งเฟสบนระบบส่งกำลัง 115 kV [7] ได้ศึกษาผลกระทบของวงจรแปลงผัน AC เป็น DC ถือได้ว่าเป็นโหลดอิเล็กทรอนิกส์กำลังซึ่งจะมีพฤติกรรมเปรียบเสมือนโหลดกำลังไฟฟ้าคงตัว เมื่อนำโหลดชนิดดังกล่าวมาต่อกับระบบไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบโดยตรง [8] ได้ศึกษาพบว่ากระแสฮาร์มอนิกทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า เช่น กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก เป็นต้น และทำให้เกิดความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังด้วย [9] ศึกษาผลกระทบของฮาร์มอนิกส์และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่เกิดขึ้นจากระบบรถไฟ LRT มีผลต่อระบบไฟฟ้าอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ปัจจัยที่ทำให้เกิดฮาร์มอนิก ได้แก่ ความผันผวนของแหล่งจ่ายไฟ, ตัวเรียงกระแส (Rectifier diode), ช่วงเริ่มวิ่ง (Starting) หรือการเบรก (Braking) ของรถไฟ, การสวิตชิ่งแหล่งจ่ายไฟให้กับรถไฟ ฯลฯ ในส่วนกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่สูงขึ้นมีผลทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบไฟฟ้ามีค่าลดลง เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มมากขึ้น เกิดความไม่เสถียรของแรงดันไฟฟ้า งานวิจัยข้างต้นได้ให้ความสนใจในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของรถไฟ LRT ต่อระบบไฟฟ้าในต่างประเทศในมุมมองด้านผู้ประกอบการเดินรถไฟเท่านั้น แต่ยังไม่มีงานวิจัยด้านมุมมองของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย

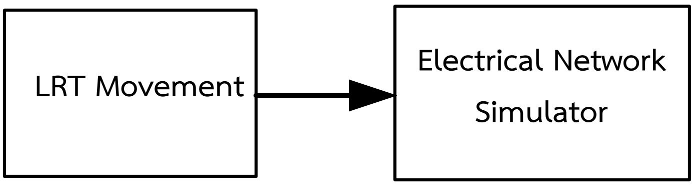
ในงานวิจัยนี้นำเสนอผลกระทบจากการจ่ายไฟ 22 kV ให้กับระบบรถไฟ LRT ตามตำแหน่งสถานีรับส่งผู้โดยสารของโครงการระบบรถไฟ LRT จังหวัดนครราชสีมา สายสีเขียว มุ่งเน้นหาคำตอบของผลกระทบด้านกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อน 22 kV เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ามีความสำคัญกับดัชนีชี้วัดผลงาน (Key Performance Indicator: KPI) ของหน่วยงาน กฟภ. และผลกระทบด้านแรงดันไฟฟ้าปลายสาย 22 kV ก็เป็นสิ่งสำคัญในการให้บริการของ กฟภ.

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ คือ ได้ข้อมูลสำหรับการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้ในการวางแผนระบบไฟฟ้ากำลัง การเตรียมความพร้อมของระบบจำหน่ายไฟฟ้ารองรับการใช้งานระบบขนส่งมวลชนแบบรถไฟ LRT จังหวัดนครราชสีมา สายสีเขียว

วิธีการวิจัย

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

แนวคิดกระบวนการวิจัย กรณีศึกษา แสดงดังภาพที่ 1

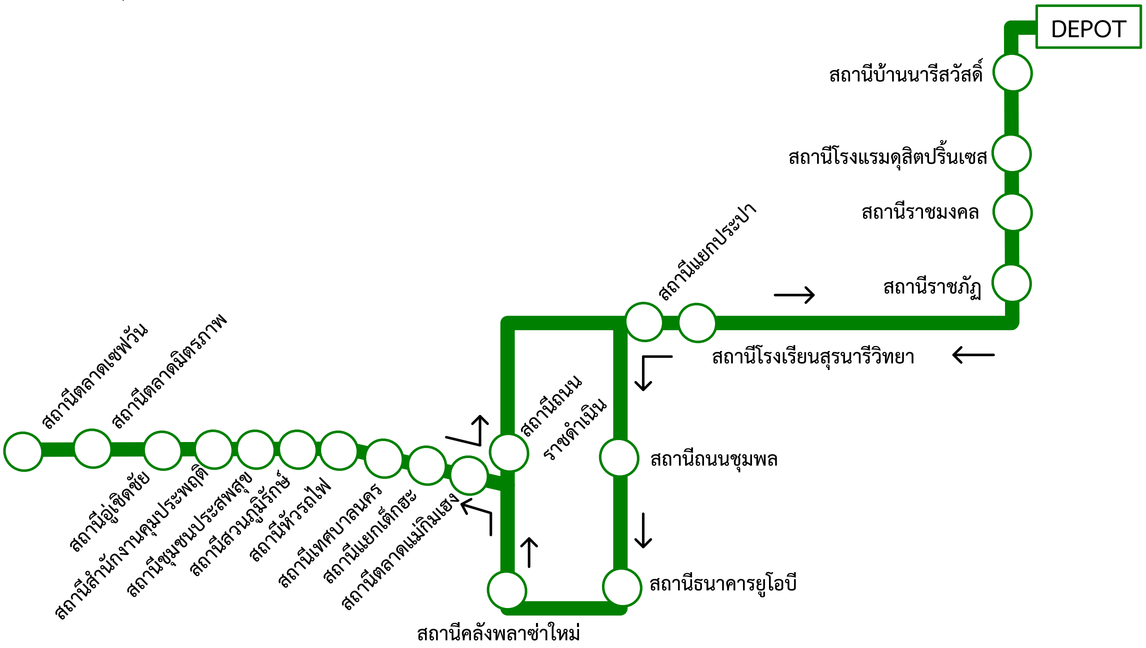


ภาพที่ 1 แนวคิดกระบวนการวิจัย กรณีศึกษา

ขั้นตอนแรกพิจารณาตารางเดินรถไฟ LRT สายสีเขียว เที่ยวไป และเที่ยวกลับ อ้างอิงข้อมูลตามตารางการเดินรถไฟ LRT ของโครงการศึกษาแผนแม่บทจราจรและแผนแม่บทพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะในเขตเมืองนครราชสีมา ขั้นตอนถัดไปดำเนินการจำลองเหตุการณ์โดยใช้โปรแกรม DIgSILENT PowerFactory เหตุผลที่เลือกใช้งานโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory เพราะเป็นโปรแกรมในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังที่ได้รับความนิยม มีความน่าเชื่อถือสูง และใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า การวิเคราะห์กระแสลัดวงจร การวิเคราะห์ปัญหาด้านเสถียรภาพ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย แรงดันไฟฟ้าตก แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล และปัญหาทางด้านเสถียรภาพพลวัต (Dynamic Stability) ของระบบไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัย มีดังนี้

1.1 ข้อมูลการเดินรถไฟ LRT ในตัวเมืองนครราชสีมา

โครงการรถไฟ LRT ในจังหวัดนครราชสีมาเป็นระบบรถไฟฟ้ารางเบา สายสีเขียว ช่วงตลาดเซฟวัน-ถนนมุขมนตรี-สถานคุ้มครองและพัฒนาอาชีพบ้านนารีสวัสดิ์ ระยะทาง 11.17 กม. มีจำนวนสถานี 20 สถานี แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แนวเส้นทางของโครงการรถไฟ LRT จังหวัดนครราชสีมา สายสีเขียว

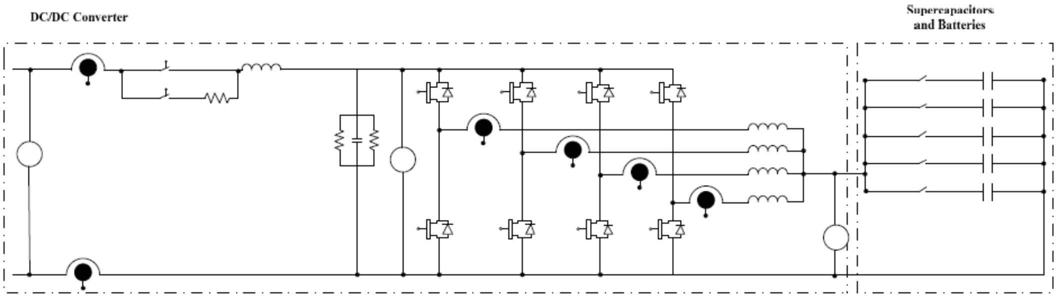
ตารางเดินรถสายสีเขียว (เที่ยวไป) มีดังนี้ สถานีตลาดเซฟวัน, สถานีตลาดมิตรภาพ, สถานีอู่เชิดชัย, สถานีสำนักงานคุมประพฤติ, สถานีชุมชนประสพสุข, สถานีสวนภูมิรักษ์, สถานีหัวรถไฟ, สถานีเทศบาลนคร, สถานีแยกเต็กฮะ,

สถานีตลาดแม่กิมเฮง, สถานีถนนราชดำเนิน, สถานีแยกประปา, สถานีโรงเรียนสุรนารีวิทยา, สถานีราชภัฏ, สถานีราชมงคล, สถานีโรงแรมดุสิตปริ้นเซส, สถานีบ้านนารีสวัสดิ์ เวลา 06:00 น., 06:04 น., 06:06 น., 06:09 น., 06:11 น., 06:13 น., 06:15 น., 06:18 น., 06:20 น., 06:21 น., 06:23 น., 06:25 น., 06:28 น., 06:30 น., 06:32 น., 06:34 น., 06:36 น. ตามลำดับ โดยปล่อยขบวนรถไฟทุก ๆ 15 นาที

ตารางเดินรถสายสีเขียว (เที่ยวกลับ) มีดังนี้ DEPOT, สถานีบ้านนารีสวัสดิ์, สถานีโรงแรมดุสิตปริ้นเซส, สถานีราชมงคล, สถานีราชภัฏ, สถานีโรงเรียนสุรนารีวิทยา, สถานีแยกประปา, สถานีถนนชุมพล, สถานีธนาคารยูโอบี, สถานีคลังพลาซ่าใหม่, สถานีตลาดแม่กิมเฮง, สถานีแยกเต็กฮะ, สถานีเทศบาลนคร, สถานีหัวรถไฟ, สถานีสวนภูมิรักษ์, สถานีชุมชนประสพสุข, สถานีสำนักงานคุมประพฤติ, สถานีอู่เชิดชัย, สถานีตลาดมิตรภาพ, สถานีตลาดเซฟวัน เวลา 06:00 น., 06:02 น., 06:04 น., 06:06 น., 06:07 น., 06:09 น., 06:12 น., 06:15 น., 06:17 น., 06:19 น., 06:21 น., 06:24 น., 06:26 น., 06:27 น., 06:29 น., 06:33 น., 06:35 น., 06:38 น., 06:40 น., 06:43 น. ตามลำดับ โดยปล่อยขบวนรถไฟทุก ๆ 15 นาที

1.2 ข้อมูลพฤติกรรมการประจุไฟฟ้าของรถไฟ LRT

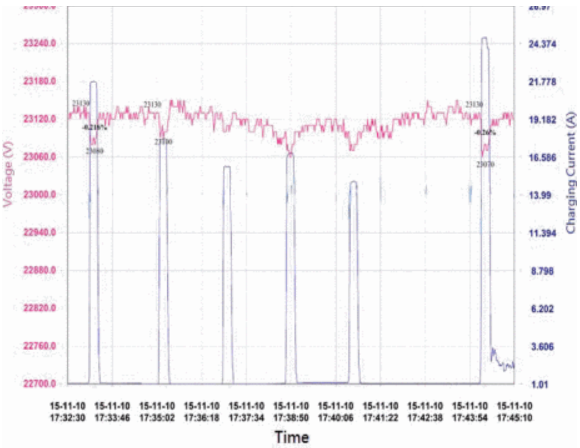
ข้อมูลตัวอย่างไดอะแกรมระบบกักเก็บพลังงานแบบ On board (Supercapacitor & Batteries) ของรถไฟ LRT แบบ Catenary free ดังในภาพที่ 3 (ที่มาข้อมูล: Chun-Lien Su, 2017)



ภาพที่ 3 ตัวอย่าง Schematic diagram ของระบบประจุไฟในตัว LRT
(ที่มา: Chun-Lien Su et al., 2017) [5]

โดยข้อมูลพฤติกรรมการการประจุไฟฟ้าของรถไฟ LRT อ้างอิงผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า โดยขณะประจุไฟฟ้า ใช้กำลังไฟฟ้า 550 kW ดังในภาพที่ 4 (ที่มาข้อมูล: Chun-Lien Su, 2017) ซึ่งระบบประจุไฟ LRT เป็นแบบ Ultra-fast charging system 750 V dc 1800kW

ค่าพารามิเตอร์ รถไฟ LRT พิจารณาโหลดสูงสุดเมื่อประจุไฟฟ้าที่สถานีจอดที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ ค่า Load Flow / input mode = S, cos(ph) ค่า Apparent power = 0.55 MVA ค่า Power factor (PF) = 1



ภาพที่ 4 ผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ขณะประจุไฟฟ้าให้รถไฟ LRT
(ที่มา: Chun-Lien Su et al., 2017) [5]

1.3 ข้อมูลแหล่งจ่ายไฟ (Source data)

ค่าพารามิเตอร์ ข้อมูลแหล่งจ่ายไฟ ใช้ข้อมูลจากผลการวัดจากมาตรวัดสถานีไฟฟ้าและระบบ SCADA

- ค่า Nominal voltage = 22.73 kV (Line to Line)

1.4 ข้อมูลโหลดระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV พื้นที่ตัวเมืองนครราชสีมา

ข้อมูลโหลดสูงสุด ณ วันที่ 15 มิถุนายน 2562 รายชั่วโมง ฟีดเดอร์ NRB05 (นม.2 วงจร 5) แสดงในตารางที่ 2

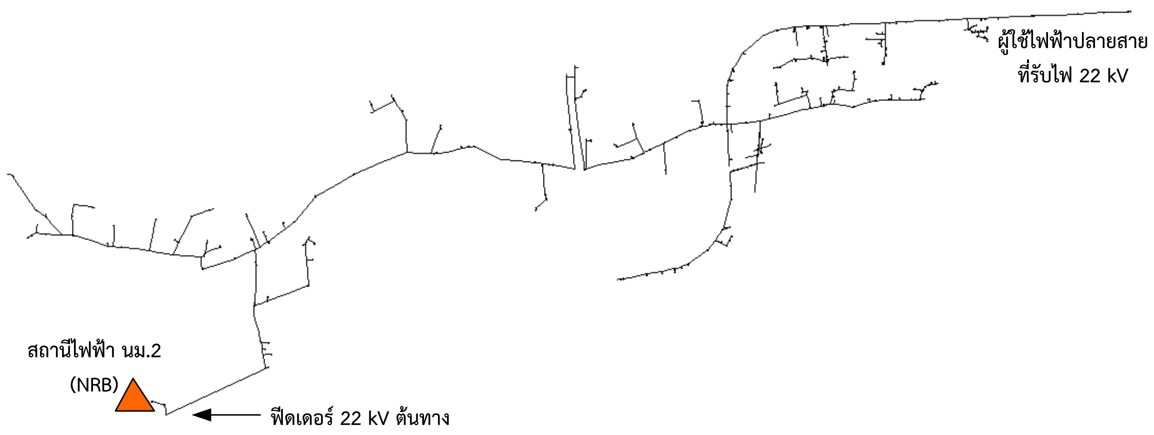
ตารางที่ 2 ข้อมูลโหลดสูงสุด ณ วันที่ 15 มิถุนายน 2562 รายชั่วโมง ฟีดเดอร์ NRB05 (นม.2 วงจร 5)

เวลา	Peak Load (MW)	Peak Load (MVar)
0:00	2.11	0.52
1:00	2.03	0.46
2:00	1.77	0.3
3:00	1.79	0.43
4:00	1.69	0.37
5:00	1.69	0.37
6:00	1.7	0.32
7:00	4.65	1.2
8:00	5.43	1.67
9:00	6.44	2.01
10:00	6.7	2.3
11:00	7.16	2.32
12:00	6.87	2.06
13:00	6.36	2.02
14:00	6.55	2.34
15:00	6.43	2.18
16:00	6.39	2.2
17:00	5.87	1.91
18:00	5.72	2.01
19:00	6.5	2.54
20:00	6.72	2.63
21:00	**7.2**	**2.63**
22:00	6.77	2.27
23:00	6.35	2.06

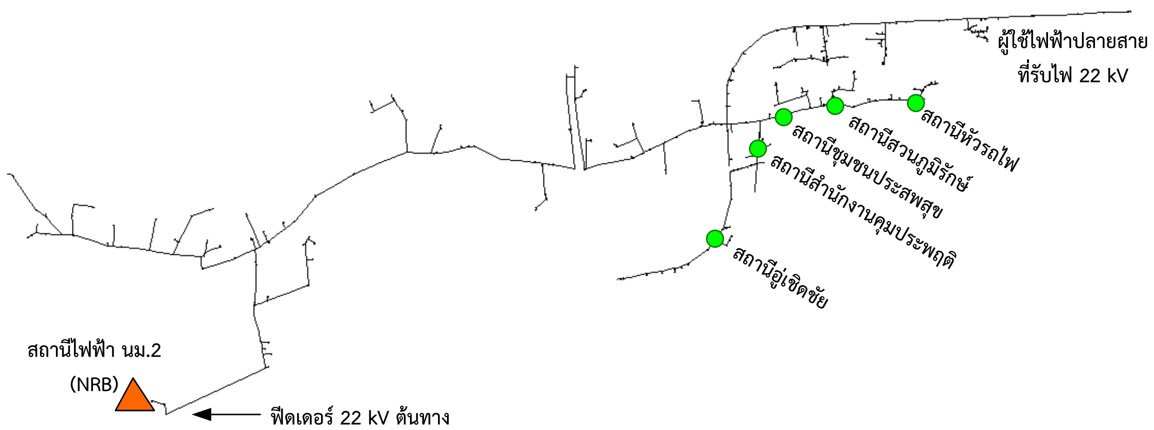
2 แบบจำลองระบบไฟฟ้า 22kV

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย โปรแกรม ArcGIS เวอร์ชั่น 9.3 โปรแกรม DIgSILENT การสร้างแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV พื้นที่ตัวเมืองนครราชสีมา โดยนำข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้าออกมาจากโปรแกรม ArcGIS เพื่อนำไปใช้งานใน DIgSILENT ทำได้โดยการใช้โปรแกรม GIS Interface Import/Export tool ผ่านคอมพิวเตอร์ลูกข่ายที่อยู่ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ภายในของ กฟภ. แล้วเลือกระบบจำหน่ายไฟฟ้าเฉพาะในส่วนของวงจรจ่ายไฟที่ต้องการวิเคราะห์ ออกมาจากฐานข้อมูล GIS ที่มีอยู่ของ กฟภ. แล้วตรวจสอบความสมบูรณ์ของไฟล์ข้อมูลด้วยการ Run: Load Flow calculation แล้วติดตั้งระบบรถไฟ LRT เข้าไปในแบบจำลองระบบไฟฟ้า 22kV เพื่อทดสอบแต่ละกรณีศึกษาในการจำลองเหตุการณ์ เลือกระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22kV ที่มีโหลดหนาแน่น คือ สถานีไฟฟ้า นม.2 ฟีดเดอร์ 5 ซึ่งแบบจำลองกรณีที่ 1 แสดงดังภาพที่ 5 ส่วนในกรณีศึกษาที่ 2 มีการจ่ายไฟให้กับสถานีประจุไฟฟ้าให้กับรถไฟ LRT จำนวน 5 สถานี ได้แก่ สถานีอู่เชิดชัย, สถานีสำนักงานคุมประพฤติ, สถานีชุมชนประสพสุข, สถานีสวนภูมิรักษ์, สถานีหัวรถไฟ ซึ่ง

แบบจำลองกรณีที่ 2 แสดงดังภาพที่ 6 โดยตำแหน่งปลายสายไกลสุด มีระยะทางห่างจากแหล่งจ่ายไฟต้นทาง (สถานีไฟฟ้า นม.2) มีระยะทาง 10.45 กิโลเมตร



ภาพที่ 5 แบบจำลองระบบไฟฟ้า 22kV กรณีที่ 1 กรณีฐาน (Base case)



ภาพที่ 6 แบบจำลองระบบไฟฟ้า 22kV กรณีที่ 2

3. การทดสอบ

3.1 กรณีที่ 1 กรณีฐาน (Base case)

เลือกศึกษาสถานีไฟฟ้า นม.2 ฟีดเดอร์ 5 (NRB05) พิจารณาสถานการณ์จ่ายไฟในวันที่ 15 มิถุนายน 2562

3.2 กรณีที่ 2 นำระบบรถไฟ LRT เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV

เลือกศึกษาสถานีไฟฟ้า นม.2 ฟีดเดอร์ 5 (NRB05) พิจารณาในสภาวะช่วงที่โหลดเต็มพิกัด ขณะประจุไฟฟ้าให้กับรถไฟ LRT จำนวน 5 สถานี ได้แก่ สถานีอู่เชิดชัย, สถานีสำนักงานคุมประพฤติ, สถานีชุมชนประสพสุข, สถานีสวนภูมิรักษ์, สถานีหัวรถไฟ ซึ่งรับไฟจากสถานีไฟฟ้า นม.2 ฟีดเดอร์ 5 จ่ายไฟให้ขบวนรถไฟ LRT โดยกำหนดให้ ขณะประจุไฟฟ้าที่สถานีรับส่งผู้โดยสาร โหลดของรถไฟ LRT สูงสุด มีค่า 0.55 MW เพาเวอร์แฟคเตอร์เท่ากับ 1 อ้างอิงจากผลตรวจวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าขณะประจุไฟฟ้า (Chun-Lien Su, 2017) ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ผลรายชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง ของวันที่ 15 มิถุนายน 2562

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยกรณีที่ 1 กรณีฐาน (Base case)

การทดสอบกรณีฐาน (Base case) พิจารณาสถานการณ์จ่ายไฟในวันที่ 15 มิถุนายน 2562 ยังไม่มีการเชื่อมต่อระบบรถไฟ LRT เข้าไปในแบบจำลองระบบไฟฟ้า ผลการทดสอบกรณีที่ 1 แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลผลการวิจัย กรณีที่ 1

เวลา	Peak Load (MW)	Peak Load (MVar)	Loss (MWh)	แรงดันไฟฟ้าปลายสาย (kV)
0:00	2.11	0.52	0.04	22.67
1:00	2.03	0.46	0.04	22.68
2:00	1.77	0.3	0.04	22.72
3:00	1.79	0.43	0.04	22.71
4:00	1.69	0.37	0.04	22.72
5:00	1.69	0.37	0.04	22.72
6:00	1.7	0.32	0.09	22.72
7:00	4.65	1.2	0.11	22.38
8:00	5.43	1.67	0.15	22.26
9:00	6.44	2.01	0.16	22.14
10:00	6.7	2.3	0.18	22.09
11:00	7.16	2.32	0.17	22.04
12:00	6.87	2.06	0.15	22.09
13:00	6.36	2.02	0.16	22.14
14:00	6.55	2.34	0.15	22.10
15:00	6.43	2.18	0.15	22.12
16:00	6.39	2.2	0.13	22.13
17:00	5.87	1.91	0.12	22.20
18:00	5.72	2.01	0.16	22.21
19:00	6.5	2.54	0.17	22.08
20:00	6.72	2.63	0.19	22.05
21:00	**7.2**	**2.63**	0.16	22.01
22:00	6.77	2.27	0.15	22.08
23:00	6.35	2.06	0.04	22.14

การทดสอบกรณีที่ 1 (Base case) ผลรวมกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อนในระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีค่า 2.80 MWh หรือ 2,800 kWh ในช่วง Peak load เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มีค่าสูงที่สุด และเกิดแรงดันตกปลายสาย มีค่าต่ำสุด ณ เวลา 21.00 น.

ผลการวิจัยกรณีที่ 2 นำระบบรถไฟ LRT เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 kV

การทดสอบกรณีที่ 2 พิจารณากรณีมีการจ่ายไฟกระแสไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้า นม.2 ฟีดเดอร์ 5 จ่ายไฟให้กับสถานีประจุไฟฟ้าให้กับรถไฟ LRT จำนวน 5 สถานี ได้แก่ สถานีอู่เชิดชัย, สถานีสำนักงานคุมประพฤติ, สถานีชุมชนประสพสุข, สถานีสวนภูมิรักษ์, สถานีหัวรถไฟ ตามช่วงเวลาการประจุไฟฟ้าให้กับรถไฟ LRT ซึ่งอ้างอิงข้อมูลตารางการเดินรถไฟ LRT ผลการทดสอบกรณีที่ 2 แสดงในตารางที่ 4

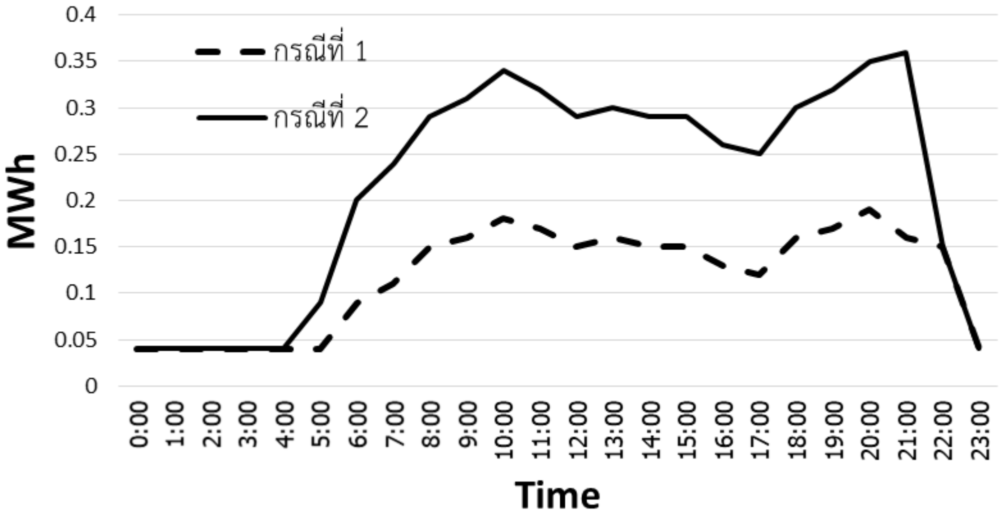
ตารางที่ 4 ข้อมูลผลการวิจัย กรณีที่ 2

เวลา	Peak Load (MW)	Peak Load (MVar)	Loss (MWh)	**แรงดันไฟฟ้าปลายสาย** (kV)
0:00	2.11	0.52	0.04	22.67
1:00	2.03	0.46	0.04	22.68
2:00	1.77	0.3	0.04	22.72
3:00	1.79	0.43	0.04	22.71
4:00	1.69	0.37	0.04	22.72
5:00	1.69	0.37	0.09	22.72
6:00	7.45	1.14	0.20	22.51
7:00	8.24	1.68	0.24	22.15
8:00	9.28	2.19	0.29	22.03
9:00	9.55	2.49	0.31	21.90
10:00	10.02	2.61	0.34	21.85
11:00	9.72	2.33	0.32	21.80
12:00	9.20	2.18	0.29	21.86
13:00	9.39	2.49	0.30	21.91
14:00	9.27	2.33	0.29	21.86
15:00	9.23	2.34	0.29	21.89
16:00	8.69	1.98	0.26	21.89
17:00	8.54	2.03	0.25	21.97
18:00	9.34	2.66	0.30	21.85
19:00	9.57	2.79	0.32	21.82
20:00	10.07	2.89	0.35	21.77
21:00	9.63	2.48	0.36	21.75
22:00	6.30	1.98	0.15	22.14
23:00	6.35	2.06	0.04	22.14

การทดสอบกรณีที่ 2 ผลรวมกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อน ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง มีค่า 5.19 MWh หรือ 5,190 kWh ในช่วง Peak load เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มีค่าสูงที่สุด ในช่วง Peak load เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มีค่าสูงที่สุด และเกิดแรงดันตกปลายสาย มีค่าต่ำสุด ณ เวลา 21.00 น. แต่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานค่าแรงดันไฟฟ้าของ กฟภ.

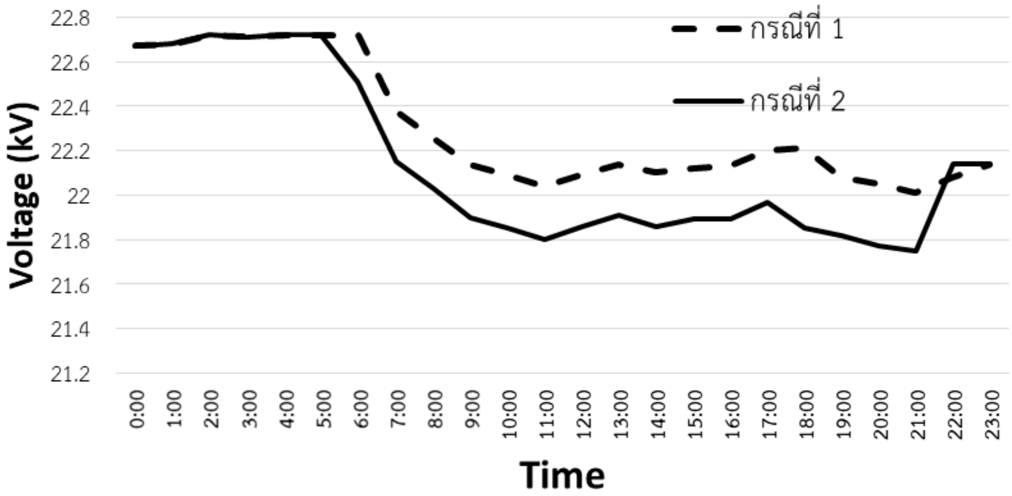
อภิปรายผลการวิจัย

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อน 22 kV เมื่อมีการเชื่อมต่อระบบรถไฟ LRT พบว่า เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อน เนื่องจากการที่มีโหลดทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้นซึ่งการสูญเสียนี้จะไม่เป็นเชิงเส้น แต่จะแปรผันตามกำลังสองของกระแสไฟฟ้าในขณะนั้น ดังนั้นการจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบรถไฟ LRT ในช่วงที่มีภาระทางไฟฟ้าสูงสุด จะเพิ่มการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วย ผลการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อน ระหว่างกรณีศึกษาที่ 1 กับ กรณีศึกษาที่ 2 แสดงดังภาพที่ 7 ส่วนแนวทางบรรเทาผลกระทบดังกล่าวจะต้องดำเนินการการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าเพิ่มและตัดจ่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้เหมาะสม



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อน ระหว่างกรณีที่ 1 กับ กรณีที่ 2

แรงดันไฟฟ้าปลายสาย 22kV เมื่อมีการเชื่อมต่อระบบรถไฟ LRT พบว่า เกิดแรงดันตกปลายสาย 22kV เนื่องจากการจ่ายภาระเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อความมั่นคงด้านการจ่ายไฟ มีผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ปลายสาย ผลการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าปลายสาย ระหว่างกรณีศึกษาที่ 1 กับ กรณีศึกษาที่ 2 แสดงดังภาพที่ 8 ส่วนแนวทางบรรเทาผลกระทบดังกล่าวจะต้องดำเนินการการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าเพิ่มและตัดจ่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้เหมาะสม



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าปลายสาย ระหว่างกรณีที่ 1 กับ กรณีที่ 2

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้ใช้ข้อมูลแหล่งจ่ายไฟต้นทางจากระบบ SCADA มีค่าแรงดันไฟฟ้า 22.73 kV พบว่า เมื่อมีการจ่ายไฟให้ระบบรถไฟ LRT กรณีศึกษา จะส่งผลกระทบทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายป้อน ส่งผลกระทบทำให้เกิดแรงดันตกปลายสาย 22 kV แต่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานค่าแรงดันไฟฟ้าของ กฟภ. โดยแนวทางบรรเทาผลกระทบดังกล่าว เช่น การก่อสร้างสถานีไฟฟ้าเพิ่มและตัดจ่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้เหมาะสม เป็นต้น หากมีการจ่ายไฟในสถานการณ์จริงก็ควรมีการติดตามค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและแรงดันไฟฟ้าปลายสายอย่างต่อเนื่องด้วย งานวิจัยในอนาคตต้องพยายามตอบคำถามว่า ผลกระทบของระบบรถไฟ LRT ที่เกี่ยวข้องกับฮาร์โมนิกส์ทั้งก่อนและหลังจ่ายไฟฟ้าให้ระบบรถไฟ LRT เป็นอย่างไร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ การไฟฟ้าเขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในสังกัดกระทรวงมหาดไทย ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลระบบไฟฟ้าในการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ราชกิจจานุเบกษา (2562), พระราชกฤษฎีกากำหนดจังหวัดให้การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทยดำเนินกิจการรถไฟฟ้า, สืบค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2562 จาก http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2562/A/044/T_0020.PDF

[2] การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (2562), โครงการระบบขนส่งมวลชนจังหวัดนครราชสีมา (สายสีเขียว), สืบค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2562 จาก https://www.mrta.co.th/th/projectelectrictrain/regional- major-cities/nakhonratchasima/%20?AspxAutoDetectCookieSupport=1

[3] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (2560), รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาแผนแม่บทจราจรและแผนแม่บทพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะในเขตเมืองนครราชสีมา

[4] ราชกิจจานุเบกษา (2559), ระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานว่าด้วยมาตรฐานการให้บริการในการประกอบกิจการไฟฟ้าประเภทใบอนุญาตระบบจำหน่ายไฟฟ้า พ.ศ. ๒๕๕๙, สืบค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2562 จาก http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2559/E/051/3.PDF

[5] Chun-Lien Su, Hai-Ming Chin, Rong-Ceng Leou, Chien-Hung Lin (2017), Power quality measurements of distribution systems with LRT ultra-fast charging infrastructures, 2017 IEEE 3rd International Future Energy Electronics Conference and ECCE Asia (IFEEC 2017 - ECCE Asia), Kaohsiung, Taiwan.

[6] Sutherland, P. E., Waclawiak, M., & McGranaghan, M. F. (2006). System impacts evaluation of a single-phase traction load on a 115-kV transmission system. IEEE Transactions on power delivery, 21(2), 837-844.

[7] Emadi, A., Khaligh, A., Rivetta, C. H., & Williamson, G. A. (2006). Constant power loads and negative impedance instability in automotive systems: definition, modeling, stability, and control of power electronic converters and motor drives. IEEE Transactions on vehicular technology, 55(4), 1112-1125.

[8] Dao, T., Phung, B. T., & Blackburn, T. (2015, November). Effects of voltage harmonics on distribution transformer losses. In 2015 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC) (pp. 1-5). IEEE.

[9] McEachern, A., Grady, W. M., Moncrief, W. A., Heydt, G. T., & McGranaghan, M. (1995). Revenue and harmonics: An evaluation of some proposed rate structures. IEEE Transactions on Power Delivery, 10(1), 474-482.

[10] Al-Ezee, H., Tennakoon, S. B., Taylor, I., & Scheidecker, D. (2015, September). Aspects of catenary free operation of DC traction systems. In 2015 50th International Universities Power Engineering Conference (UPEC) (pp. 1-5). IEEE.

[11] สุชาติ เต้าทอง และ ผศ.ดร.บุญเรือง มะรังศรี, ผลกระทบของระบบรถไฟฟ้ารางเบาโคราชสายสีเขียวต่อระบบไฟฟ้า 115 kV กรณีศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา, งานประชุมวิชาการ และนวัตกรรม กฟภ. (PEACON & INNOVATION 2019), ณ ศูนย์ประชุมวายุภักษ์ ศูนย์ราชการเฉลิมพระเกียรติ แจ้งวัฒนะ กรุงเทพมหานคร,23-24 กันยายน 2562

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์และประสิทธิภาพหลังการติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ แบบติดตั้งบนหลังคา : กรณีศึกษาห้างสรรพสินค้า

Post-Installation Performance and Economics Assessment of Solar PV Rooftop : A Case Study Department Store

เขมณภัฐ์ พรหมมินทร์[1*] ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์[2]
[1]สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จฬุาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การประเมินความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยทั่วไปประเมินจากข้อมูลที่ได้จากการจำลองระบบโดยโปรแกรม PVsyst ซึ่งใช้การคำนวณและประมาณปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะผลิตได้ก่อนการติดตั้งระบบ งานวิจัยนี้ทำการประเมินความคุ้มค่าจากข้อมูลการใช้งานเป็นเวลา 1 ปีของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ on grid ที่ติดตั้งจริงบนหลังคา และใช้งานเพื่อประหยัดค่าไฟฟ้าของห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่ง มีขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 998.4 kWp จากการศึกษาข้อมูลชี้ให้เห็นว่า ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนหลังคานั้น สามารถใช้ทดแทนความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ห้างสรรพสินค้าต้องการได้เพียงบางส่วน ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงมากกว่าผลผลิตที่คำนวณได้จากการจำลองระบบโดยโปรแกรม PVsyst เนื่องจากมีการบริหารจัดการอย่างเหมาะสม ร่วมกับค่ารังสีอาทิตย์ที่ตรวจวัดได้ตลอดปีมากกว่าการคาดการณ์ พลังงานที่มากกว่าการคำนวณดังกล่าวส่งผลให้ ดัชนีชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์จากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงนั้น ดีกว่าการประเมินก่อนการลงทุน และต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย พลังงานเท่ากับ 1.29 บาทต่อ 1 kWh อย่างไรก็ตามระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าที่พร้อมจ่ายได้ ตลอดเวลา เนื่องจากพลังงานที่ผลิตได้จะแปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์ ณ เวลานั้น จึงเหมาะเป็นระบบที่ใช้เสริมเพื่อช่วย ประหยัดรายจ่ายด้านพลังงานเท่านั้น

คำสำคัญ: ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา, การประเมินความคุ้มค่าการลงทุน

---

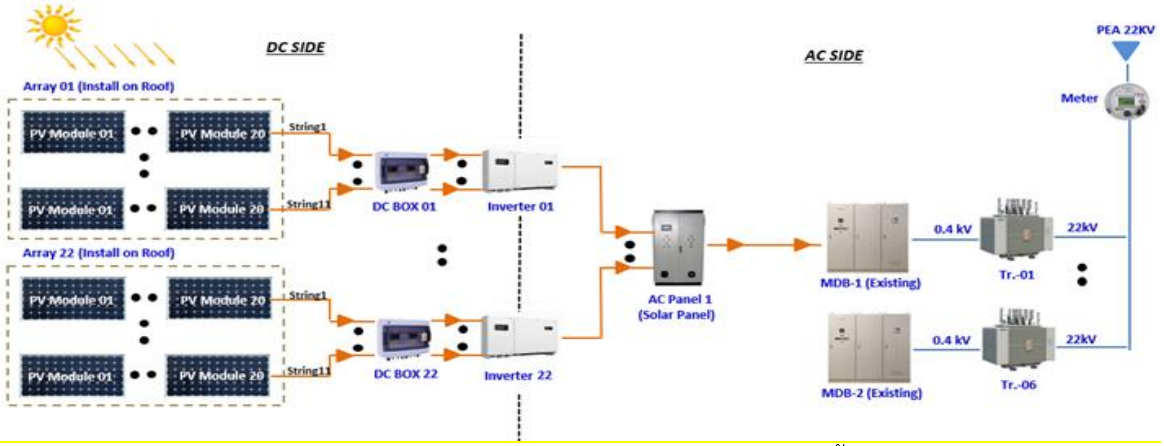
[*] Corresponding author: Tel.: 092-7942404. E-mail address: yod_ett@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันการติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้เองนั้น มีการประเมินความคุ้มค่าการลงทุน[1] จากการนำข้อมูลผลผลิตจากการจำลองระบบ มาทำการคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์[2] เช่น Internal Rate of Return(IRR) , Payback Period(PB), Net Present Value(NPV) และ Levelized Cost Of Energy (LCOE) ในการประเมินความคุ้มค่าเพื่อตัดสินใจในการลงทุน แต่หลังจากติดตั้งและใช้งานจริง ผลผลิตที่ได้จะเท่ากับที่คำนวณไว้หรือไม่นั้น ยังมีปัจจัยที่มีผลกระทบกับผลผลิต ที่การจำลองโดยคอมพิวเตอร์ไม่สามารถประมาณการได้ชัดเจน เช่น ความต้องการใช้ไฟฟ้า และปริมาณฝุ่นที่สะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ปัจจัยทั้งสองนี้มีผลกระทบทั้ง ผลผลิตไฟฟ้า และรายจ่ายในช่วงการดำเนินการ ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความคุ้มค่าของการลงทุน งานวิจัยนี้ทำศึกษาข้อมูลจากการใช้งานจริงระยะเวลา 1 ปีของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาห้างสรรพสินค้าแห่งหนึ่ง เพื่อนำมาคำนวณหาค่าของดัชนีชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ใหม่ที่ได้จากฐานข้อมูลจริง[3] ซึ่งจะมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลมากกว่าข้อมูลที่ได้จากการจำลองระบบโดยคอมพิวเตอร์ และทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิตไฟฟ้า ที่สามารถบริหารจัดการ 2 ปัจจัย คือ เครื่องลดระดับกำลังของอินเวอร์เตอร์ เพื่อป้องกันการไหลย้อนของกระแส และปริมาณฝุ่นโดยใช้อัตราส่วนประสิทธิภาพของระบบ (PR) ในการพิจารณาแทนการตรวจสอบการสะสมของฝุ่นจากสถานที่จริง

วิธีการวิจัย

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย มีข้อมูลทางเทคนิคโดยสังเขปดังนี้ ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 998.4kWp ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline silicon ขนาด 320 Wp จำนวน 3,120 แผง ต่ออนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า 20 แผง (string) และต่อขนานเพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า 11 string ต่อ 1 อินเวอร์เตอร์ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 36 kW จำนวน 22 เครื่อง จากนั้นเชื่อมต่อเพื่อจ่ายไฟฟ้าใช้งานเข้าทางด้านแรงต่ำของระบบไฟฟ้าเดิมของห้างสรรพสินค้า แสดงดังภาพที่ 1 โดยระบบดังกล่าวติดตั้งแล้วเสร็จและเริ่มจ่ายไฟฟ้าเดือน เมษายน 2561



ภาพที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบ on grid ที่ติดตั้งบนหลังคา

ทำการเปรียบเทียบผลของการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในขั้นตอนการออกแบบเทียบกับการใช้งานจริง ในขั้นตอนการออกแบบจะใช้ข้อมูลจากการออกแบบ เช่น ต้นทุนที่ใช้ในการก่อสร้าง ต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินงาน ผลผลิตที่ได้จากการคำนวณและประมาณปริมาณพลังงาน โดยโปรแกรม PVsyst นำมาคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ ด้วยวิธีการจำลองการคิดลดกระแสเงินสด (DCF model) ด้วยโปรแกรม MS-excel โดยใช้สมมติฐานที่ใช้ในการประเมิน มีดังนี้ ต้นทุนก่อสร้าง 30 ล้านบาท ใช้เงินส่วนของเจ้าของ 100% ต้นทุนการดำเนินงาน 0.3 ล้านบาทต่อปี

ขึ้น 3% ทุกปี มีการเปลี่ยนอินเวอร์เตอร์ในปีที่ 11มูลค่า 2ล้านบาท ค่าไฟฟ้าที่ใช้คำนวณ 3.7 บาทต่อkWh เพิ่มขึ้นปีละ 1% ทุกปี การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิใช้ อัตราคิดลด 3% ต้นทุนพลังงานเฉลี่ยต่อหน่วย คิดในช่วงตลอดระยะเวลาเวลา 25 ปี จากนั้นนำผลที่ได้จากการคำนวณ เช่น Internal Rate of Return(IRR) Payback Period(PB), Net Present Value(NPV) และ Levelized Cost Of Energy (LCOE) จะถูกนำมาใช้เพื่อตัดสินใจในการลงทุน และใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบ ในขั้นตอนการใช้งานจริงจะรวบรวมข้อมูลต้นทุนที่ใช้ในการก่อสร้าง ต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินงาน และข้อมูลผลผลิตพลังงานที่ผลิตได้ ในเดือนเมษายน2561 ถึง มีนาคม 2562 รวมเวลา 1 ปี และนำมาคำนวณด้วยวิธีการจำลองการคิดลดกระแสเงินสด (DCF model) โดยใช้สมมติฐานเช่นเดียวกับขั้นตอนการออกแบบ และนำผลที่ได้ทั้งสองช่วงมาเปรียบเทียบกัน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบหลังการติดตั้ง และทำการศึกษา 2 ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตไฟฟ้าจากรายงานประจำเดือน คือ การทำงานของเครื่องลดระดับกำลังของอินเวอร์เตอร์ เพื่อป้องกันการไหลย้อนของกระแสเข้าระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และอัตราส่วนประสิทธิภาพของระบบ(PR) เพื่อใช้ประเมินปริมาณฝุ่นที่สะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้รับรังสีอาทิตย์ได้น้อยลง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ต้นทุนการติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนหลังคาขนาด 998.4kWp เมื่อปี 2560 มูลค่าประมาณ 30 ล้านบาท ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลักคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ อุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ค่าติดตั้ง ดังแสดงตารางที่ 2

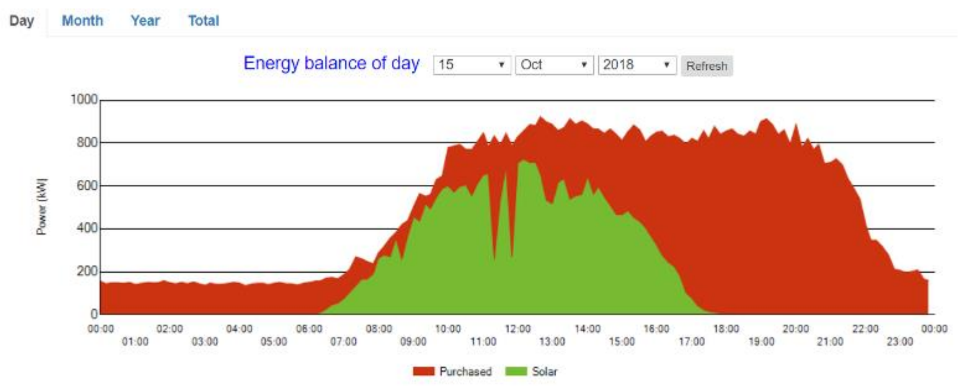
ตารางที่ 2 มูลค่าการลงทุนระบบ(CAPEX) ขนาด 998.4kWp

องค์ประกอบระบบ	ราคา	หน่วย
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	14	ล้านบาท
อินเวอร์เตอร์	3	ล้านบาท
อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ	8	ล้านบาท
ค่าติดตั้ง	5	ล้านบาท
รวม	30	ล้านบาท

ต้นทุนการดำเนินงานในช่วงเดินเครื่อง เป็นการจ้างเหมารายปีตลอด 25 ปี ราคาดังกล่าวเหมารวม การทำความสะอาดแผง การซ่อมแซม การตรวจสอบประจำปี การเฝ้าติดตาม การรายงานผล และการรับประกันผลผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละปี เริ่มที่ 300,000 บาทต่อปี ปีถัดไปบวกเพิ่มอัตราเงินเฟ้อร้อยละ 3 ต่อปี ตลอด 25 ปี ในปีที่ 11 มีการประมาณการ เปลี่ยนอินเวอร์เตอร์ทั้งหมด 1 ครั้ง เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ติดตั้งรับประกัน 10 ปี แต่จะมีการเปลี่ยนเฉพาะกรณีที่ไม่สามารถใช้งานได้จริงเท่านั้น รวมค่าใช้จ่ายตลอด 25 ปี ประมาณ 12 ล้านบาท จากการดำเนินงาน 1 ปี พบว่าค่าดำเนินงานยังอยู่ในงบประมาณ และปริมาณงานที่ประมาณการไว้ จึงไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มจากสัญญาการจ้าง

การผลิตพลังงานไฟฟ้า จากระบบดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถผลิตไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด 998.4kW และสามารถแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับได้สูงสุด 792kW จ่ายให้กับโหลดในช่วงที่มีแสงแดดเพื่อทดแทนพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ภาพที่ 2 แสดงการใช้ไฟฟ้าตลอดช่วงเวลา 24 ชั่วโมงที่มาจากสองแหล่ง โดยกราฟสีแดง แสดงให้เห็นความต้องการไฟฟ้าทั้งหมดของMDB1 ตลอดช่วงเวลา โดยทำการบันทึกและรายงานข้อมูลทุกๆ 5 นาที กราฟสีเขียวแสดงให้เห็น ปริมาณไฟฟ้าที่ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สามารถผลิตพลังงาน

มาทดแทนความต้องการไฟฟ้าได้บางส่วน โดยแสดงให้เห็นในส่วนกราฟสีเขียวที่ไม่สามารถปิดกราฟสีแดงได้ทั้งหมด จากกราฟสีเขียวที่ปรากฏ แสดงให้เห็นปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับค่ารังสีอาทิตย์ ณ ช่วงเวลานั้นๆ



ภาพที่ 2 กราฟแสดงการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

พลังงานที่ผลิตได้จากระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ตามกราฟสีเขียวจากภาพที่ 2 จะถูกรวมเป็นผลผลิตพลังงานที่ผลิตได้ต่อวัน เมื่อนำเอาข้อมูลที่บันทึกในแต่ละเดือน มาเปรียบเทียบกับผลผลิตพลังงานที่คำนวณและประมาณได้โดยโปรแกรม PVsyst แสดงให้เห็นผลผลิตพลังงานที่ผลิตได้ตลอด 1 ปี ได้มากกว่าการประมาณการ 111,294 kWh ดังแสดงในตารางที่ 1 แต่เมื่อมาพิจารณาพลังงานที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน เดือนธันวาคม 2561 ถึง เดือนมกราคม 2562 ได้พลังงานน้อยกว่าที่คำนวณโดยโปรแกรม PVsyst เนื่องจากการบริหารจัดการ และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิตที่ต่างกันในแต่ละฤดูกาล

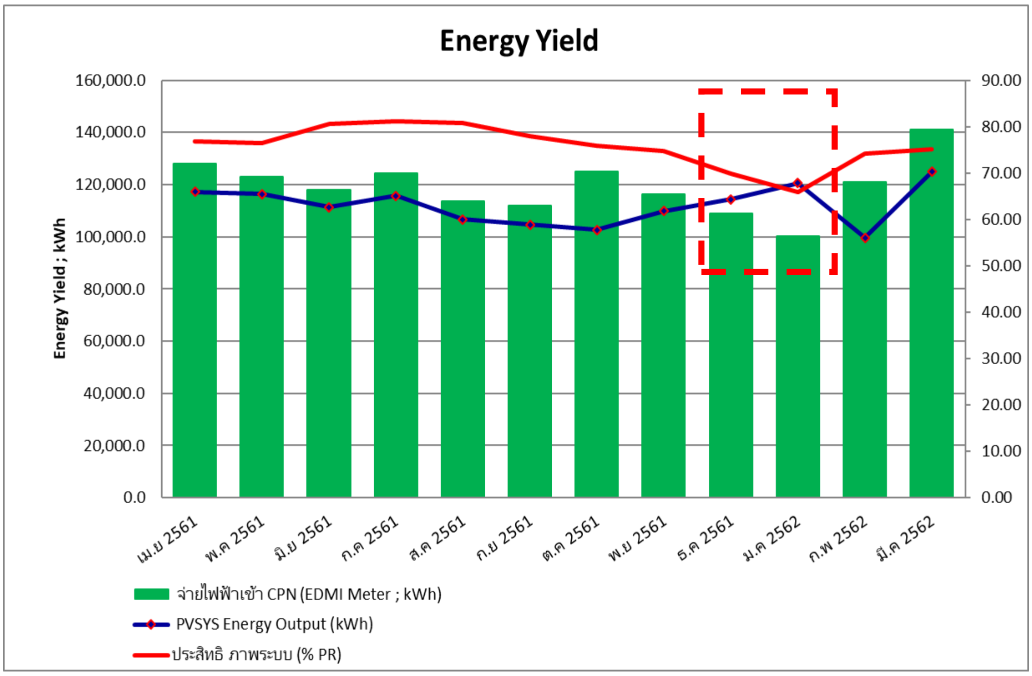
ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบพลังงานที่ประมาณการจากโปรแกรม PVsyst กับ ผลผลิตพลังงานจริง

เดือน	พลังงาน(PVsyst)	พลังงาน(ผลิตจริง)
เม.ย. 2561	117,157	132,615
พ.ค. 2561	116,327	127,928
มิ.ย. 2561	111,388	119,150
ก.ค. 2561	115,777	125,596
ส.ค. 2561	106,747	114,978
ก.ย. 2561	104,588	113,510
ต.ค. 2561	102,698	126,762
พ.ย. 2561	109,868	117,977
ธ.ค. 2561	114,417	110,074
ม.ค. 2562	120,607	101,309
ก.พ. 2562	99,698	122,592
มี.ค. 2562	124,928	143,003
ผลรวมพลังงาน	**1,344,200**	**1,455,494**

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิต ปัจจัยหนึ่งที่เลือกศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ การสั่งลดระดับการทำงานของอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค[4]

เมื่อชุดควบคุมนี้ทำงานจะทำให้ระบบสูญเสียโอกาสในช่วงเวลานั้น ที่จะผลิตไฟฟ้าได้เต็มกำลังผลิต แต่เนื่องจากระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งที่ศึกษาในครั้งนี้ กำลังติดตั้งต่ำกว่าความต้องการของโหลดมาก เนื่องจากพื้นที่หลังคาที่ใช้ติดตั้ง มีข้อจำกัด จึงไม่พบรายงานการสั่งลดระดับการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในงานวิจัยนี้

ฝุ่น เป็นปัจจัยที่มีผลให้การผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง[5] จากรายงานประจำปี พบข้อมูลการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ครั้ง คือช่วงเดือนเมษายน พฤศจิกายนและกุมภาพันธ์ จากภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพระบบและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ในช่วงเมษายน 2561 ถึง พฤศจิกายน 2561 และ กุมภาพันธ์ 2562 ถึง มีนาคม 2562 เป็นช่วงเดือนที่มีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเป็นช่วงฤดูฝน จากข้อมูลพบว่า ประสิทธิภาพระบบมีค่ามากกว่า 75% และพลังงานที่ระบบผลิตได้มากกว่า ผลผลิตพลังงานที่ประมาณการจากการจำลองระบบโดยโปรแกรม PVsyst แต่ในช่วง เดือนธันวาคม 2561 ถึง เดือนมกราคม 2562 แสดงในส่วนจุดไข่ปลาในภาพที่ 3 จากข้อมูลพบว่าประสิทธิภาพระบบมีค่าต่ำกว่า 75% ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่ใช่ฤดูฝนและไม่พบรายงานการล้างแผง ทำให้พลังงานที่ระบบผลิตได้ น้อยกว่าผลผลิตพลังงานที่ประมาณการ จากการจำลองระบบโดยโปรแกรม PVsyst จากข้อมูลดังกล่าว แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพระบบกับการสะสมปริมาณฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเฝ้าติดตามระบบระยะไกล เพื่อประเมินช่วงเวลาในการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยไม่จำเป็นต้องตรวจการสะสมของฝุ่นจากสถานที่จริง ทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดูแลระบบได้



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้า และ ประสิทธิภาพของระบบ

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้กล่าวมาข้างต้น นำมาทำการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ วิธีด้วยการจำลองการคิด ลดกระแสเงินสด (DCF model) โดยใช้โปรแกรม MS-excel เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบจากการใช้งานจริง เทียบกับการประเมินก่อนการติดตั้ง จากผลการคำนวณที่แสดงในตารางที่ 3 ชี้ให้เห็นว่า ผลที่ได้หลังจากการใช้งานจริงทำให้ดัชนีชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ ที่ใช้ประเมินโครงการทุกตัว ดีกว่าการประเมินก่อนดำเนินการ อัตราผลตอบแทนภายใน ดีขึ้น

1.51% มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ดีขึ้น 6.2 ล้านบาท ระยะเวลาคืนทุน เร็วขึ้น 6 เดือน ต้นทุนพลังงานเฉลี่ยต่อหน่วย ต่ำลง 0.11 บาทต่อ kWh

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ก่อนและหลังดำเนินการ

ดัชนีชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์	ก่อนดำเนินการ	หลังดำเนินการ
อัตราผลตอบแทนภายใน	14.94%	16.45%
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	38.3 ล้านบาท	44.5 ล้านบาท
ระยะเวลาคืนทุน	6ปี 5 เดือน	5ปี 11 เดือน
ต้นทุนพลังงานเฉลี่ยต่อหน่วย	1.4 บาทต่อหน่วย	1.29 บาทต่อหน่วย

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและใช้งานระยะเวลา 1 ปี ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงในระยะเวลา 1 ปีมากกว่าที่ประมาณการจากการจำลองระบบ โดยโปรแกรม PVsyst ส่งผลให้การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดีกว่าการประเมินก่อนดำเนินการโครงการ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับค่ารังสีอาทิตย์และอัตราส่วนประสิทธิภาพของระบบ(PR) จากการศึกษาพบว่า การบริหารจัดการให้ประสิทธิภาพของระบบ(PR) มีมากกกว่า 75% จะส่งผลให้ปริมาณพลังงานที่ผลิตได้มากกว่าที่ประมาณโดยโปรแกรม PVsyst ปัจจัยที่มีผลแปรผกผันกับประสิทธิภาพของระบบ(PR) คือ ปริมาณฝุ่นที่สะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถนำค่าของประสิทธิภาพของระบบ (PR) มาใช้ประโยชน์ในการเฝ้าติดตามระบบระยะไกล เพื่อประเมินช่วงเวลาในการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยไม่จำเป็นต้องตรวจการสะสมของฝุ่นจากสถานที่จริงทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดูแลระบบได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท บางกอกโซล่าร์พาวเวอร์ จำกัด บริษัทผู้ออกแบบ ก่อสร้าง และดูแลระบบ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำงานวิจัยทำให้งานเสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] พิมพ์พรรณ กาเยนนท์. วิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา. ปริญญาเศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2557

[2] พันตรี วิรัตณ์ พิชิตกุญชร. การออกแบบและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารกองบัญชาการกรมยุทธโยธาทหารบก, วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศรีปทุม. 2561

[3] สุรกิจ ทองสุก. การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้า ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2561

[4] ข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.). ค้นเมื่อ 19 เมษายน 2562.จากhttps://www.pea.co.th/Portals/0/Document/connection_code_2016_20170928.pdf

[5] นิพนธ เกตุจอย. การศึกษาผลกระทบของฝุนบนแผงเซลล์แสงอาทิตยตอการผลิตไฟฟา. วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2555

The financial analysis of bagasse dryer installation in biomass powerplant : case study

Sahajanee Pinij-aksorn [1*] Thitisak Boonpramote[2]

[1] Energy Technology and Management Chulalongkorn University

[2]The Department of Mining and Petroleum Engineering Chulalongkorn University.

Abstract

This research aims to analyze financial cost benefit of the installation of bagasse dryer at Buriram Power Co., Ltd., (case study) which is biomass powerplant that uses bagasse fuel. To decrease moisture content of bagasse fuel from 51% to 40% with the same steam production quantity 85 ton per hour before the direct combustion process by using Discounted Cash Flow model to determine Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Pay Back Period to making the decision of the project. Heat loss from stack is used to dry the bagasse fuel by the outlet temperature at stack is 151° and the average moisture content of bagasse is 51%. Consequently, this project desired to use flash dryer because drying temperature and feed moisture inlet range are suitable. From the type of dryer, The Capital Expenditure (CAPEX) of the bagasse dryer project is 11.3 million THB, the operating expense (OPEX) is 6.33 million THB per year and Revenue from saving fuel consumption 4 ton per hour is 19,008,000 THB per year. As the all information previously, it used to evaluate Discount Cash Flow of the bagasse dryer project for financial analysis by the result are Net Present Value 19,519,896.72 THB, Internal Rate of Return 65% and Payback Period in 6 months. From the all financial index, this bagasse dryer project is worth to investment.

Key Word: Bagasse Dryer, Financial cost benefit

---

* [1*]Master's degree student, Energy Technology and Management Chulalongkorn University

[2]Asst. Prof. Dr. The Department of Mining and Petroleum Engineering Chulalongkorn University.

[*]Corresponding author: Tel.: 092-8325848. E-mail address: Sahajanee.p@gmail.com

Introduction

Bagasse can be used as a form of renewable energy, for both heat and power generation in biomass powerplant. Nowadays the biomass power plant with bagasse fuel is facing to the higher price and limitation of bagasse fuel resources problem because of the demand over supply. Thus, the way to decrease the bagasse fuel is reducing the moisture content of bagasse before direct combustion process and the technology that uses to reduce the moisture content of bagasse is bagasse dryer technology. Thus, in this research, Bagasse Dryer is estimated the financial cost benefit by Discount Cash Flow model technique that consist of Net present value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period (PP). Reviewing the literature leads back to the question: Is the bagasse dryer installation in biomass powerplant worth the investment?

Objective

1. To decrease bagasse fuel consumption
2. To assess financial value for installation of the Bagasse Dryer in Biomass Powerplant

Research Methodology

1. Estimate type of Bagasse: Rotary dryer Flash dryer and Belt dryer by Drying Temperature is outlet heat loss from stack 151° and average inlet moisture content of bagasse fuel is 51%

Table 1 Dryer type

	Dryer Type		
	Rotary	Flash	Belt
Evaporation Rate (t/h)	3-23	4.8-17	0.5-40
Drying Temperature (°C)	200-600	150-280	30-200
Capacity (t/h)	3-45	4.4-16	-
Feed Moisture at Inlet (%)	45-65	45-65	45-72
Moisture Discharge (%)	10-45	10-45	15-25
Feed Moisture at Outlet (%)	-	1	25
Pressure Drop (kPa)	2.5-3.7	7	0.5
Optimal Particle Size (mm)	19-50	-	-
Maximum Particle Size (mm)	25-125	0.5-50	-
Thermal Requirement (GJ/t-evaporation)	3.0-4.0	2.7-2.8	1.26-2.5

2. Calculate Total cost (CAPEX), Fix cost (OPEX) and Revenue of bagasse dryer project
   - CAPEX:
     The total investment cost in this study consist of Bagasse Dryer cost, Conveyor cost, Construction cost, Electrical system and accessories which is estimated by bagasse dryer specialist company.
   - OPEX:
     Fix cost are Operating cost and Maintenance cost by Operating cost are labor cost (2 shifts per day) and electricity cost (250 Kw/HR.). Maintenance cost per year is estimated by site technical specialist.
   - Revenue:
     In this study, revenue is saving cost from bagasse fuel which is compared at the same steam production value 85 tph of 9.9 MW powerplant at the average bagasse fuel price, 600 THB per ton but with different moisture content of bagasse fuel between 51% and

40% by using heat consumption diagram which X axis is fuel consumption (tph), Y axis is firing capacity (kW) and linear line in diagram is Lower Heating Value (LHV).

The following formula is used to calculate LHV:

$$LHV\ (kJ/kg) = LHV_0 - \%M.C. \times K$$

Where

LHV_0 = Lower Heating Value at 0% Moisture Content

M.C. = Moisture Content in fuel

K = constant specific value of each fuel

Table 2 %MC, LHV_0 and K value

Bagasse Fuel	%MC	LHV_0	K
before drying	51.00	17,420.00	198.20
after drying	40.00	17,420.00	198.20

3. Estimate DCF model by using CAPEX, OPEX and Revenue value

- Net Present Value (NPV)

The following formula is used to calculate NPV:

$$NPV = CF_0 + CF_1/(1+r)^1 + CF_2/(1+r)^2 + \ldots + CF_N/(1+r)^N$$

where:

CF_t = Net cash inflow-outflows during a single period t = Revenue - (CAPEX+OPEX)

i = discount rate of return that could be earned in alternative investments= 9%

t = number of time periods = 5 years

- Internal Rate of Return (IRR)

To calculate IRR by using the formula, one would set NPV equal to zero and solve for the discount rate (i), which is the IRR. Because of the nature of the formula, however, IRR cannot be calculated analytically and must instead be calculated either through trial-and-error or using software programmed to calculate IRR.

The following formula to calculate IRR:

$$NPV = CF_0 + CF_1/(1+irr)^1 + CF_2/(1+irr)^2 + \ldots + CF_N/(1+irr)^N=0$$

where

CF_t = Net cash inflow-outflows during a single period t = Revenue - (CAPEX+OPEX)

irr = internal rate of return = Trial-and-error

t = number of time periods = 5 years

- Payback Period (PP)

When net annual cash inflow is even (i.e., same cash flow every period), the payback period of the project can be computed by applying the simple formula given below:

$$\text{Payback Period} = \text{Initial investment} / \text{Net Cash Flow per Period}$$

4. Financial analysis: analyze from all financial index consist of Net Present Value (NPV) >1, Internal Rate of Return (IRR) > Discount rate (i) and Payback Period < Project life time (5years)

Results and Discussion

From the test report of Buriram Power Co., Ltd., the average moisture content of bagasse in 2018 is 51% and the outlet temperature from stack is 151° so the suitable type of dryer for this case study powerplant is flash dryer because the moisture Discharge and Drying Temperature are corresponded to the data of flash dryer type.

The cost of this bagasse dryer project for biomass power plant 9.9 MW in 2019 from the Bagasse Dryer specialist company is 11.3 million THB as shown in table 3. For Operation and Maintenance Cost are estimated by site technical specialist which the maintenance cost is estimate in this project life time 5 years as shown in table 4.

Table 3 The total investment cost

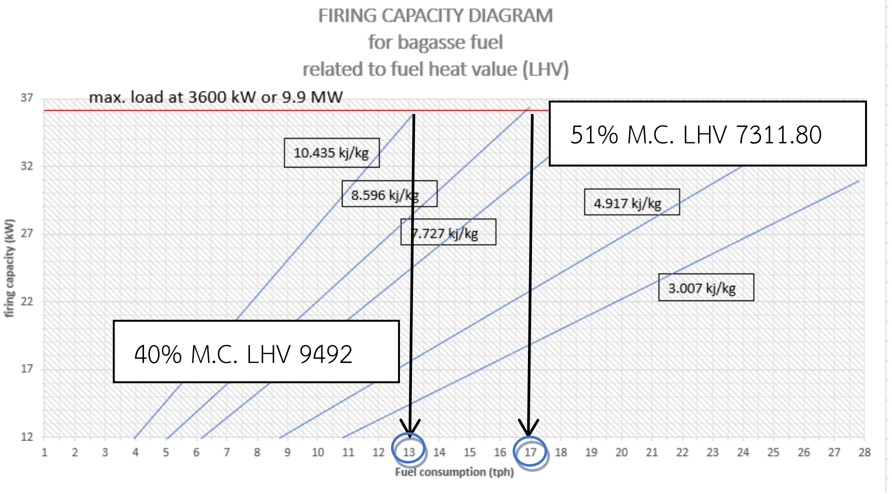
CAPEX	Amount	Unit	Price (THB)
1.Bagasse Dryer	1	Set	7,500,000
2.Belt Conveyor	30	meter	3,200,000
3.Construction	1	Job	500,000
4.Electric system	1	Set	100,000
Total			**11,300,000**

Table 4 Operation cost and Maintenance cost

OPEX	Price (THB/Y)
1. Operation Cost	**6,270,000**
Labor Cost	330,000
Electricity Cost	5,940,000
2. Maintenance Cost	**60,000**
Start at 60,000 Baht for the first year and increase 30% in each year	

Revenue

The revenue in this project is the cost saving of bagasse fuel by decreasing moisture content from 51% to 40% which calculated by firing capacity diagram for bagasse fuel as shown in Picture 1



Picture 1 Firing capacity diagram for bagasse fuel related to fuel heat value (LHV)

The bagasse moisture content before drying is 51% and LHV of bagasse at 51% is 7311.80 kJ/kg. The moisture content of bagasse after drying is 40% and LHV at this moisture content is 9492 kJ/kg. as shown in the diagram above, fuel consumption of bagasse at 51% moisture content is 17 ton

per hour and fuel consumption of bagasse at 40% moisture content is 13 ton per hour. Thus, bagasse dryer would be saving bagasse consumption up to 4 ton per hour and the average bagasse price is 600 THB/ton and the system can save fuel consumption 4 ton per hour so it can save 31,680 ton per year (for operation 330 days per year). Total fuel cost saving is 19,008,000 THB per year.

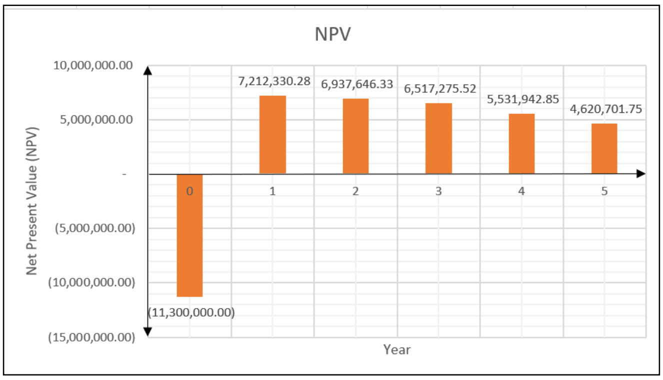
As the all information previously, it used to evaluate Discount Cash Flow of the bagasse dryer project for financial analysis

Net Present Value (NPV) is equal to 19,519,896.72 THB at 9% of discount rate (i). Present Value is reverse variation with period when the period is increase, Present value will decrease as shown in Picture 2 but Net present value is positive value as shown in table 5. A positive net present value indicates that the projected earnings generated by a project or investment - in present baht - exceeds the anticipated costs, also in present baht.

Table 5 Calculation Net Present Value

Period	Cashflow(THB)	present Value(PV)
0	(11,300,000.00)	(11,300,000.00)
1	7,861,440.00	7,212,330.28
2	8,242,617.60	6,937,646.33
3	8,440,060.80	6,517,275.52
4	7,808,788.80	5,531,942.85
5	7,109,522.40	4,620,701.75
	NPV	19,519,896.72

Picture 2 Bar chart between Present Value and Period

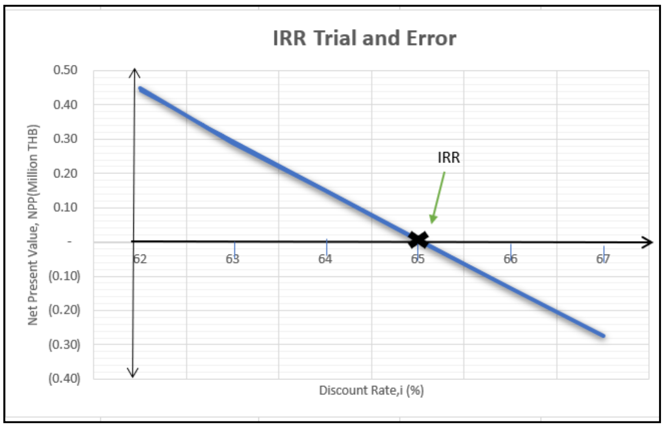


Internal Rate of Return (IRR) is 65% by trial and error technique. IRR is equal to discount rate (i) when NPV equal to zero (as shown in picture3) and at that point, it shown that IRR in this project is equal to 65% which is more than 9% discount rate in this project.

Table 6 relative of NPV and Discount rate

Discount Rate, (%)	Net present Value, (Million THB)
62	0.45
63	0.29
64	0.15
65	0.0058
66	(0.14)
67	(0.27)

Picture 2 Graph between NPV and Discount rate



Payback Period (PP) is equal to 6 months. The payback period is the cost of the investment divided by the annual cash flow. The shorter the payback, the more desirable the investment. Conversely, the longer the payback, the less desirable it is.

Conclusion

From the results of this research, it can be concluded that the installation of bagasse dryer to drying the bagasse fuel before direct combustion is worth to investment. Because Net Present Value (NPV) is 19,519,896.72 THB, it is assumed that an investment with a positive NPV will be profitable, Internal Rate of Return (IRR) 65% which is more than discount rate 9% so this project is desirable and Payback Period within 6 months which is less than this project life time 5 years. However, in the study of bagasse dryer from the other factory found that the bagasse dryer project still has risk in maintenance part. When the moisture content in bagasse is too low, it will immediately combust after impact with the atmosphere outside the dryer. To better understand the implications of these results, future studies could address the controlling of moisture content after drying to avoid the combustion.

ACKNOWLEDGEMENT

I would first like to thank Buriram Power co., ltd. for all the information about the bagasse fuel and powerplant.

I would also like to acknowledge S P R Engineering & Supply Co., Ltd. for all support about technical information and price of bagasse dryer project.

Reference

[1] Hanning Li, Qun Chen, Xiaohui Zhang, Karen N Finney, Vida N Sharifi, Jim Swithenbank (1998) **Evaluation of biomass process using waste heat from process industries: A case study** (Master's thesis, Sheffield university Waste Incineration Centre (SUWIC))

[2] J.Sudhakar, Pijay (2013**). Control of moisture content in bagasse by using bagasse dryer** (Master's thesis, KL university Guntur)

[3] Mr. Tossaphoern Klinmalee (2015). **Effect of bagasse moisture on boiler efficiency** (Master's thesis, Thammasat University)

[4] Periyasamy k., Karthickanna V., R. Karthikeyan, Gokulnath A., Gopinath R.N., (2018) **Improve the efficiency of the boiler by reducing the moisture in bagasse** (International Journal of Engineer Research & Technology (IJERT))

[5] Prasertying P. (2016). **Karn aob hang chaeu plang chewamuaun [Drying of biomass fuel]**. Retrieved March 17,2019, from

https://www.academia.edu/11339276/

[6] Wade A. Amos (1998). **Biomass Drying Technology.** (National Renewable Energy Laboratory report)

การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา : กรณีศึกษา บริษัทไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด

AN ASSESSMENT OF TECHNICAL AND ECONOMIC POTENTIAL OF ROOFTOP SOLAR SYSTEMS: Case TCCC 'S BUILDING

วัชโรธร บุญสว่าง [1*] และ ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์[2]

[1] หลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

บทคัดย่อ

แนวโน้มต้นทุนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา(Solar Rooftop) ส่งผลให้เทคโนโลยีดังกล่าวเริ่มมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อวัตถุประสงค์สำหรับลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งทางบริษัทไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด ที่เป็นเป็นบริษัทผลิตและจำหน่ายปุ๋ยเคมี และมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสำหรับการผลิตปุ๋ยเคมี หรือคิดเป็น 6.8% ของค่าไฟฟ้า บริษัทฯจึงมีความประสงค์ในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารผลิตถุงพลาสติก(กระสอบใส่ปุ๋ย) โดยมีพื้นที่การติดตั้งที่เหมาะสมทางเชิงภูมิศาสตร์ และการเข้าถึงความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ส่งผลให้ได้รับการเสนอโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาจากบริษัทที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนทั้งสิ้น 6 โครงการ งานวิจัยนี้จึงได้วิเคราะห์ถึงศักยภาพเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา วิเคราะห์จากโครงการทั้งหมดที่นำส่งเข้าประมูล พบว่าผลของศักยภาพเชิงเทคนิคสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาที่มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 650 kW และผลการศึกษาศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ที่อัตราส่วนลด 10% มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 28.4 ล้านบาท ระยะเวลาการคืนทุน 8.2 ปี เมื่อเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคากับอัตราความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาสามารถลดความต้องการใช้พลังงานได้สูงถึง 10.4% ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของบริษัทฯ มีความคุ้มค่าในการลงทุนทั้งทางเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ ประกอบกับมีความเป็นไปได้ทางการเงิน และมีความเสี่ยงของโครงการน้อย กล่าวคือ ในระยะยาวบริษัทฯ สามารถลดต้นทุนค่าไฟฟ้าจากกระบวนการผลิตกระสอบใส่ปุ๋ย ประกอบกับเป็นการสนองต่อโครงการประหยัดพลังงาน เพื่อพัฒนาให้บริษัทฯ เป็นอุตสาหกรรมสีเขียว(Green Industry) ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา การวิเคราะห์ศักยภาพเชิงเทคนิค และเศรษฐศาสตร์

* Corresponding author: Tel.:082-0518173. E-mail address: rubyfinale@gmail.com

บทนำ

อุตสาหกรรมปุ๋ยเคมีของไทยมีการแข่งขันที่เข้มข้น ตลาดการแข่งขันถูกควบคุมโดยผู้ผลิตรายใหญ่ในตลาดจำนวน 4-5 ราย และมีแนวโน้มการแข่งขันที่ดุเดือดมากขึ้น และความต้องการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรยังคงมีแนวโน้มเติบโตต่อเนื่อง จากปัจจัยทางด้านราคาพืชเศรษฐกิจหลักทั้งหลาย อาทิ อ้อย ยางพารา และปาล์มน้ำมันที่ยังทรงตัวอยู่ในราคาที่ค่อนข้างสูง รวมถึงปริมาณน้ำฝนที่คาดว่าจะเพียงพอต่อการเพาะปลูก ซึ่งทั้งสองปัจจัยดังกล่าว ทำให้เกษตรกรมีแนวโน้มขยายพื้นที่สำหรับเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะ ข้าว มันสำปะหลัง ยางพารา อ้อยโรงงาน และข้าวโพดสำหรับเลี้ยงสัตว์

ถึงแม้ว่าการใช้ปุ๋ยเคมีจะมีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้นในช่วง 2-3 ปี ข้างหน้า เพราะ การเพิ่มขึ้นของพื้นที่สำหรับเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ อันเนื่องมาจากแผนการขยายโรงงานน้ำตาล และแผนพัฒนาอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเพื่อผลิตไบโอดีเซลของประเทศไทย กล่าวคือ อ้อยและปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีสัดส่วนการใช้ปุ๋ยเคมีต่อไร่สูง ซึ่งคาดการณ์ว่าผู้ประกอบการยังคงเผชิญแรงกดดันทางด้านต้นทุนอยู่ อาทิ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่มีแนวโน้มปรับราคาเพิ่มขึ้น ต้นทุนของสารเคมีตั้งต้นสำหรับผลิตปุ๋ยเคมี(Feed)ที่ยังมีราคาค่อนข้างสูง และการแทรกแซงราคาจำหน่ายปุ๋ยเคมีโดยภาครัฐเพื่อช่วยเหลือเกษตรกร เป็นต้น จากการประเมินสภาพเศรษฐกิจที่ต้องเผชิญ พบว่า ผู้ประกอบการควรกำหนดกลยุทธ์ในเชิงรับเพื่อแก้ไขจุดอ่อน คือ การหาแหล่งพลังงานทดแทน หรือชดเชยพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อลดต้นทุนการผลิตในระยะยาวลง เช่น การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา(Solar Roof)

ประกอบกับปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยมีจำนวนการใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2553 ประมาณ 2 เท่า นอกจากนี้ปี พ.ศ. 2556 คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน ได้ออกประกาศ และระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานว่าด้วยการรับซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา(Solar Rooftop) ประกาศไว้ในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2556 โดยแบ่งกลุ่มตามประเภทอาคาร และขนาดกำลังการผลิตติดตั้งรวมในแต่ละประเภท เพื่อร่วมรณรงค์ให้ประเทศไทยมีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นในทุกภาคส่วน

การวิจัยนี้การศึกษาถึงความเหมาะสมของทางเลือกในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาโดยวิเคราะห์ศักยภาพเชิงเทคนิคด้วยการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และเชิงเศรษฐศาสตร์ ประกอบกับมีการประเมินความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการด้วยแบบจำลองกระแสเงินสด(Discounted Cash Flow Model) และความเสี่ยงของโครงการจากอัตราผลตอบแทนในการลงทุน(IRR) รวมถึงแขนงการตัดสินใจ(Decision Tree) ในการลงทุนด้วยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับต้นทุนและผลตอบแทนของการโครงการระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar PV Rooftop) ของบริษัทไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด โดยวิเคราะห์ศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

1. วิเคราะห์ด้านเทคนิค โดยการการคำนวณขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์
   1.1. การกำหนดกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้งานไฟฟ้าของเครื่องจักร เครื่องมือและอุปกรณ์ในแต่ละวัน โดยใช้สมการ ดังนี้

$$P = \frac{P_L}{Q\ x\ A\ x\ B\ x\ C/D}$$

P = ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน (วัตต์)

Q = พลังงานแสงอาทิตย์ในหนึ่งวัน (ประเทศไทยเท่ากับ 4,000 วัตต์-ชั่วโมง/เมตร^2)

A = ค่าชดเชยการสูญเสียของเซลล์ (โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.80)

B = ค่าชดเชยความสูญเสียเชิงความร้อน (โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.85)

C = ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 0.85)

D = ความเข้มแสง (โดยทั่วไปกำหนดค่าประมาณ 1,000 วัตต์-ชั่วโมง/เมตร)

2. วิเคราะห์ด้านการเงิน (Financial Perspective) ต้นทุน และกำไรของการลงทุนในโรงการ การวิเคราะห์งบการเงินของโรงการ ได้แก่ งบกำไรขาดทุน งบดุล งบกระแสเงินสด และการประเมินความเป็นไปได้ของโครงการ โดยอาศัยเครื่องมือทางการเงิน ดังนี้

   2.1. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) คือ ระยะเวลาที่ใช้บอกว่าบริษัทฯ จะได้รับเงินลงทุนคืนกลับมาในระยะเวลาเท่าไหร่ โดยเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับประมาณการในการลงทุน เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าแต่ละโครงการมีความคุ้มค่าที่จะลงทุนหรือไม่ ควบคู่ไปกับประมาณการผลกำไรหรือผลประโยชน์ในรูปแบบอื่นที่ที่จะได้รับจากการลงทุน

   2.2. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลต่างของมูลค่าปัจจุบันของผลรวมกระแสเงินสดจ่ายสุทธิ และกระแสเงินสดรับสุทธิ โดยเป็นเครื่องมือที่ใช้ช่วยให้บริษัทฯ ตัดสินใจถึงความเป็นไปได้ในการลงทุนจากมุมมองทางด้านการเงิน(NPV) ที่วัดอัตราผลตอบแทนของแต่ละโครงการ โดยเปรียบเทียบกับผลตอบแทนที่สามารถได้มาด้วยการลงทุนในโครงการอื่นที่ให้ผลตอบแทนเท่ากับ Discount Rate

   2.4. จุดคุ้มทุน (Break Even Point) คือ จุดที่รายรับเท่ากับต้นทุน โดยเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ว่าบริษัทฯ ต้องมีกำไรหรือผลตอบแทนที่เกิดขึ้นในแต่ละโครงการเท่าใด เพื่อให้เพียงพอต่อต้นทุนที่เกิดขึ้น

   2.5. อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: B/C) แสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนของมูลค่าเงินปัจจุบันของผลประโยชน์ กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนโครงการ

3. วิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk Analysis) วิเคราะห์ถึงกระแสเงินสดเหล่านั้น เพื่อตัดสินใจว่าบริษัทฯ จะลงทุนในโครงการนั้นหรือไม่ โดยทั่วไปแล้วไม่สามารถที่จะประเมินกระแสเงินสดเหล่านั้นได้อย่างถูกต้อง และแน่นอน ดังนั้น เครื่องมือนี้จะช่วยพิจารณาถึงความเสี่ยงของโครงการลงทุน และแนวโน้มของผลกำไรที่จะได้รับนั้นคุ้มกับความเสี่ยงหรือไม่

4. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis) เป็นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแต่ละโครงการ โดยพิจารณาถึงข้อมูล หรือปัจจัยที่สำคัญบางตัวเมื่อได้รับผลกระทบจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่เปลี่ยนแปลงไปในด้านใดบ้าง ซึ่งใช้วิธี Cost – Benefit analysis(วิเคราะห์โดยวัดความคุ้มค่าของโครงการ โดยการเปรียบเทียบระหว่างผลประโยชน์ หรือผลตอบแทน กับต้นทุนของโครงการ)

ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาของงานวิจัย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์และประมาณการด้านเทคนิค ด้านการเงิน(Financial Perspective) ความเสี่ยง และแบบจำลองการตัดสินใจในแต่ละโครงการของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ได้ผลสรุปดังตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 1 ผลการวิจัย

	Greenrgy	Neo Clean Energy		NESIC		BANPU	
				Investment	Leasing	Investment	Leasing
Capacity	598 kW	605 kW		650 kW		650 kW	
Investment Cost	19.9 MB	21 MB	23 MB	26 MB	28.4 MB	29 MB	Free
	33 /watt	35 /watt	38 /watt	40 /watt	44 /watt	45 /watt	
O&M	Free 1 Year	-		Free 2 Year	Free 10 Year	Free 2 Year	Free 10 Year
	246,346 Baht/Year	500,000 Baht/Year		227,584 Baht/Year	227,584 Baht/Year	350,000 Baht/Year	Free
	Increase 2%/Year			Increase 2%/Year	Increase 2%/Year		
IRR	13.15%	12.56%	11.34%	12.26%	-	10.31%	-
Payback Period	6.94 years	7.93 years	8.64 years	8.00 years	8.20 years	9.27 years	-
NPV @25 Years Discount Rate 10%	4,714,201 Baht	2,351,096 Baht		4,435,117 Baht	14,631,278 Baht	1,081,162 Baht	4,734,718 Baht
Risk	High	Medium		Medium	Low	High	Very Low

การประเมินการลงทุนในโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา(Solar Rooftop) พิจารณาจากการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ ดังนี้

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ตัดสินใจเลือกการลงทุนในโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 10 ปี

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ตัดสินใจเลือกลงทุนในโครงการที่มีกระแสเงินสดสุทธิมีค่าเป็นบวก (หากมีค่าเป็นบวก แสดงว่า ผลตอบแทนจากการลงทุนนั้นสูงกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ หรือมากกว่าต้นทุนเงินทุน)

อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: B/C) ตัดสินใจเลือกลงทุนในโครงการที่ B/C มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1

วิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk Analysis) ตัดสินใจเลือกลงทุนในโครงการที่มีความเสี่ยงโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ระหว่าง ต่ำ ไปจนถึง ปานกลาง

สรุปผลการวิจัย

โครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของ NESIC เป็นโครงการที่มีประสิทธิภาพ ทางเชิงเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ เหมาะสมต่อการลงทุนของบริษัท ไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด(มหาชน) กล่าวคือ มีความคุ้มค่าในการลงทุน มีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุด มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก อัตราค่าผลตอบแทนภายในมีค่าเป็นบวก ระยะเวลาคืนทุนค่อนข้างสั้น ด้วยเหตุนี้ เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์ด้านอื่นประกอบ อาทิความเสี่ยง พบว่าโครงการดังกล่าวมีความเสี่ยงค่อนข้างต่ำ จากการทำสัญญา Leasing

<u>ข้อเสนอแนะเพื่อต่อยอดงานวิจัย</u>

1. งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา(Solar Rooftop) ที่คู่ค้าเสนอประมูลมาเท่านั้น หากมีการศึกษารูปแบบโครงการอื่นๆ เช่น โครงการที่มีการออกแบบ และคำนวณจากความต้องการใช้จริงที่มีประสิทธิภาพ ก็จะทำให้สามารถเลือกรูปแบบโครงการได้อย่างเหมาะต่อบริษัทฯ มากขึ้น
2. งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการทั้งหมด ในกรณีความคุ้มค่าของโครงการ((วิเคราะห์โดยวัดความคุ้มค่าของโครงการ โดยการเปรียบเทียบระหว่างผลประโยชน์ หรือผลตอบแทน กับต้นทุนของโครงการ) ยังมีกรณีอื่นที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ เช่น การวิเคราะห์ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา
3. งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงเทคนิคเบื้องต้น จึงใช้วิธีคำนวณแบบง่ายที่มีค่าตัวแปรไม่ซับซ้อน อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ขั้นสูงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมที่เกี่ยวข้องเข้ามาช่วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์ของอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ ภาควิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สุดท้ายนี้ งานวิจัยฉบับนี้จะสำเร็จไม่ได้หากไม่ได้รับข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น ผู้วิจัยขอขอบคุณข้อมูลจากบริษัท ไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด(มหาชน) ที่เป็นผู้ลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา(Solar Roof) มา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] สุรกิจ ทองสุก และอรรถพล เง่าพิทักษ์กุล. (2561). การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 10 ฉบับที่ 19.** 157-169.

[2] อังสนา พจน์ศิริ. (2559). **การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในอาคารธุรกิจขนาดเล็ก.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ชลบุรี : มหาวิทยาลัยบูรพา.

[3] วิภา เล็กกุลวัฒน์. (2559). **การศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินในการเข้าร่วมโครงการน ร่องการส่งเสริม**

การติดตั้งโซล่าร์รูฟอย่างเสรีกรณีศึกษาในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวง. การค้นคว้าอิสระ เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยบูรพา.

[4] ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ และโสภิตสุดา ทองโสภิต. (2558). การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. **วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่12 ฉบับที่2.** 59-73.

[5] นันทพงษ์ มยุรศักดิ์. (2555). **การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทน ความเสี่ยง การประเมินราคาหุ้น และการจัดพอร์ตการลงทุนในหุ้นโดยวิธี CAPM.** สารนิพนธ์ เศรษฐศาสตร์ธุรกิจมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

[6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2545). **สถานการณ์ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยตั้งแต่อดีตถึงปี พ.ศ.2554** กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

[7] อนัน สุวรรณชัยสกุล. (2551). **ความเป็นไปได้ทางด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือนและหมู่บ้าน**. งานวิจัยเฉพาะเรื่องเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต (เศรษฐศาสตร์ธุรกิจ) คณะเศรษฐศาสตร์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[8] ดิศรณ์ ชัยช่วงโชค, โสภิตสุดา ทองโสภิต และแนบบุญ หุนเจริญ. (2556). รูปแบบมาตรการทางการเงินที่เหมาะสมสำหรับการสนับสนุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา. **วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 10 ฉบับที่ 3. 1-14.**

การใช้พลังงานสำหรับตู้แช่แข็งภายในร้านสะดวกซื้อ

Energy Consumption for a door type display freezer in a convenient store

สุพัชชา กระต่ายแก้ว [1*] และ วิทยา ยงเจริญ[2]

[1] หลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 10330

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม. 10330

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการใช้พลังงานสำหรับตู้แช่แข็งและการศึกษาพฤติกรรมผู้ซื้อสินค้าในการเปิดประตูตู้แช่แข็งภายในร้านสะดวกซื้อ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเปิดประตูกับพลังงานที่ใช้ การตรวจวัดพลังงานใช้ meter วัดพลังงาน เทียบกับระยะเวลาในการเปิดประตูตู้ ส่วนการศึกษาพฤติกรรมได้ข้อมูลจากการสังเกตผู้ที่ซื้อสินค้าจากตู้แช่แข็งจำนวน 60 คน จากการศึกษาพบว่า การใช้พลังงานรายวันของตู้แช่แข็ง 1 ตู้มีค่าเฉลี่ย 7.73 หน่วย/วัน ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับระยะเวลาที่ใช้เปิดประตูตู้แช่แข็งได้ความสัมพันธ์ตามสมการ Y = 6.4079x + 14.503 ซึ่งสามารถอธิบายชุดข้อมูลได้ถึง 97% และพบว่าพฤติกรรมผู้ซื้อสินค้าในการเปิดประตูตู้แช่แข็งในการเลือกหยิบสินค้าในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในตู้ ซึ่งแบ่งเป็นตำแหน่งซ้าย ตำแหน่งกลาง และตำแหน่งขวา โดยตำแหน่งซ้ายจะใช้ระยะเวลาเฉลี่ยในการเปิดตู้แช่แข็งนานที่สุดเนื่องจากอยู่ด้านในสุดของตู้แช่แข็งซึ่งจะต้องเปิดประตูกว้างสุดในการเลือกหยิบสินค้า

คำสำคัญ: ตู้แช่แข็ง / พฤติกรรมการใช้ตู้แช่แข็งของผู้บริโภค / การประหยัดพลังงาน

[*] Corresponding author: Tel.: 084-1191199. E-mail address: smartgrid@nu.ac.th

บทนำ

จากแนวโน้มราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบให้ทุกภาคส่วนของประเทศ ต้องหันมาให้ความสำคัญเรื่องการอนุรักษ์และการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ภาคอาคารธุรกิจการค้าและการบริการถือเป็นภาคเศรษฐกิจหลักที่มีความสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ อีกทั้งยังมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “ร้านค้าสะดวกซื้อ” ซึ่งถือได้ว่าเป็นกิจการร้านค้าปลีกขนาดเล็กที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มการใช้พลังงานมากขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวนี้ จึงมีการวางแผนเพื่อศึกษาในเรื่องการใช้พลังงานอย่างประหยัด และความคุ้มค่าภายในร้านสะดวกซื้อ เพื่อรองรับการขยายตัวของธุรกิจในอนาคต ซึ่งมีการเจริญเติบโตของร้านสะดวกซื้อ ในปี 2541 มีจำนวนร้านค้าเพียง 1,000 สาขา และได้ขยายสาขาเพิ่มขึ้นมาโดยตลอดจนกระทั่งในปี 2560 มีจำนวนร้านค้าเพิ่มขึ้นถึง 10,000 สาขาในต่างประเทศ Brian A. Fricke และคณะ [2] ได้ศึกษาการใช้พลังงานของตู้แช่เย็นและพฤติกรรมของลูกค้าในซูเปอร์มาร์เก็ตพบว่าว่า ตู้เย็นแบบ Open Show case ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 30% เมื่อเทียบกับตู้เย็นแบบมีประตูปิด ถึงแม้ว่าตู้เย็นแบบ Open Show case จะไม่มีการใช้ Anti-Sweat Heaters แต่ภาระของตู้แช่เย็นในส่วนของ Compressors มีมากกว่าตู้แช่เย็นแบบมีประตูปิด 30.5% ส่วนพฤติกรรมการเปิดประตูตู้แช่เย็นจำนวน 4,792 ครั้ง มีระยะเวลาการเปิดตู้แช่เย็นเฉลี่ย 31 วินาที ระยะเวลาน้อยที่สุดคือ 1 วิยาที และที่นานที่สุดคือ 1.842 วินาที ในประเทศไทยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากระบบตู้แช่ (Refrigeration) ของร้านสะดวกซื้อจะเป็นสัดส่วนที่สูงของการใช้พลังงานทั้งหมด ปัจจุบันแนวทางการประหยัดพลังงานในระบบตู้แช่ของร้านสะดวกซื้อ มีค่อนข้างน้อย ดังนั้น เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานของร้านสะดวกซื้อในอนาคต จึงควรเน้นมาตรการที่เกี่ยวกับระบบตู้แช่ เพื่อลดต้นทุนของการใช้พลังงาน ดังนั้นบทความนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาพฤติกรรมของลูกค้าในการเปิดประตูตู้กับการใช้พลังงานของตู้แช่แข็ง

วิธีการวิจัย

ตู้แช่แข็ง ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นชนิดที่ใช้เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอใช้สารทำความเย็น R507 มีประตูกระจกปิด แต่ไม่มีฮีทเตอร์ขจัดฝ้า (sweat heater) ตู้แช่แข็งเป็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศตั้งอยู่ในห้องปรับอากาศที่ควบคุมอุณหภูมิในห้องที่ 25 ^{o}C ใช้เก็บอาหารสำเร็จรูปจึงปรับตั้งอุณหภูมิในตู้ที่ -23 ^{o}C อุณหภูมิในตู้อยู่ระหว่าง -23 ถึง -19 ^{o}C ขั้นตอนการวิจัยมีดังนี้

ศึกษาพฤติกรรมการใช้ของลูกค้าโดยจับเวลาการเปิดประตูตู้แช่แข็งเพื่อหยิบสินค้าที่ 3 ตำแหน่ง คือ ซ้าย กลาง และขวาของพื้นที่ประตู

ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าเมื่อเปิดประตูค้างไว้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยใช้ Power meter กับการจับเวลา

ตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในตู้แช่แข็งที่มีสินค้าบรรจุอยู่และมีการซื้อขายปกติ เป็นเวลา 7 วัน

วิเคราะห์พฤติกรรมการใช้ตู้แช่แข็งของลูกค้า ที่เลือกหยิบสินค้าในตำแหน่ง ซ้าย กลาง และขวา

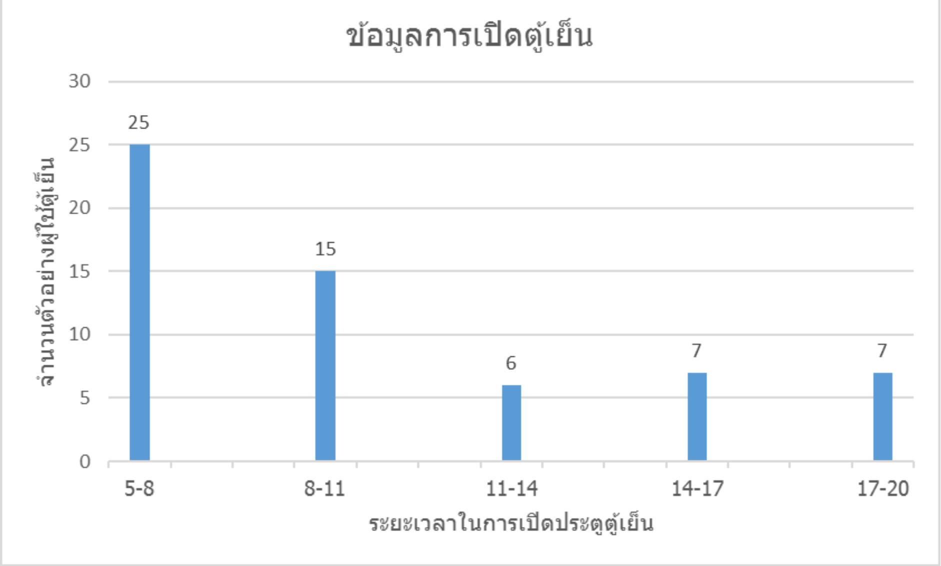
หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการเปิดประตูกับพลังงานที่ใช้

วิเคราะห์ผลการใช้พลังงานในตู้แช่แข็ง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

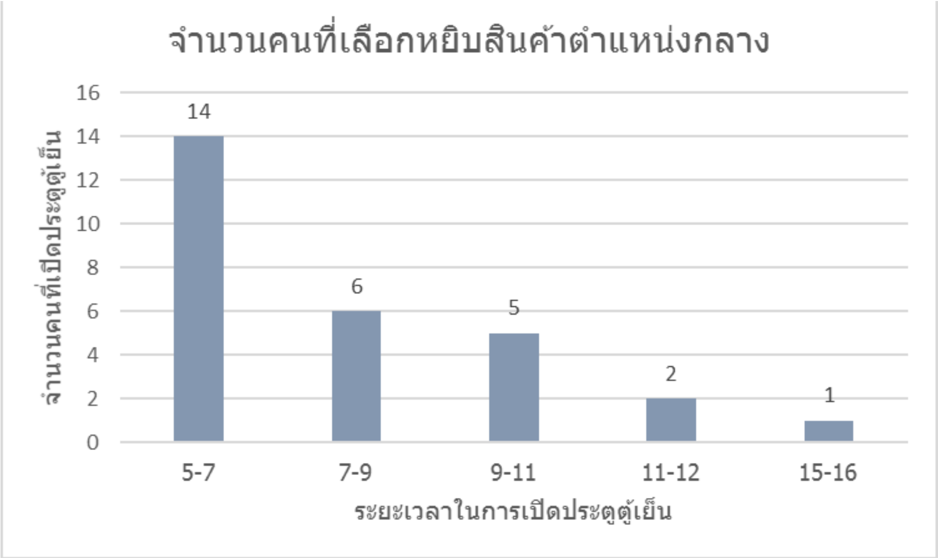
พฤติกรรมการใช้ตู้แช่แข็งของลูกค้า

ผลการดำเนินการเก็บข้อมูลการใช้งานตู้แช่แข็ง จำนวนตัวอย่างผู้ลูกค้า 60 ราย โดยระยะเวลาเปิดประตูตู้แช่แข็งมีค่าเฉลี่ย 10.1 วินาที ค่ามากที่สุด 19.5 วินาที และค่าน้อยที่สุด 5.1 วินาที โดยมีความถี่สูงสุดอยู่ที่ช่วงเวลา 5-8 วินาทีดังรูปที่ 1



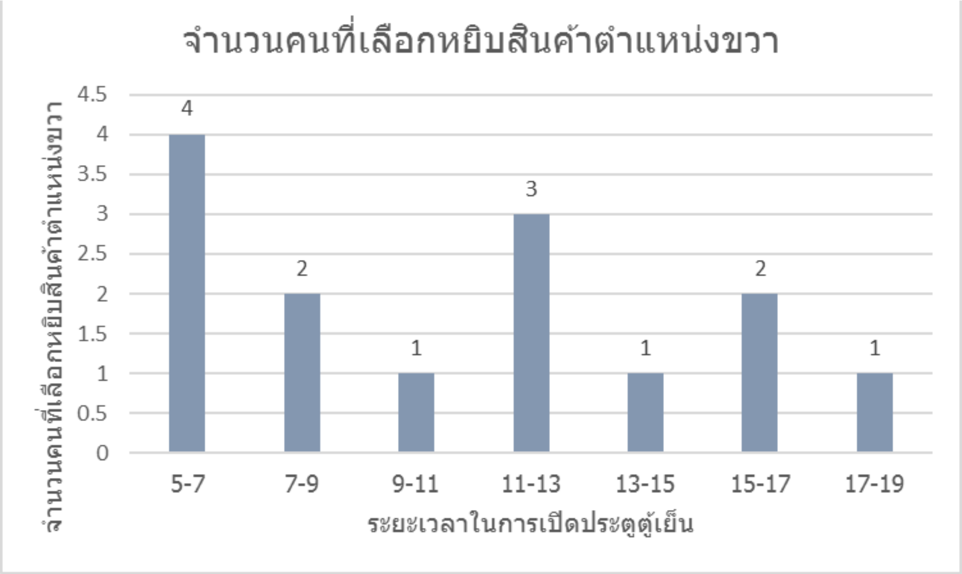
รูปที่ 1 ข้อมูลการเปิดตู้แช่แข็งโดยรวม

ผลการดำเนินการเก็บข้อมูลจำนวนคนที่เลือกหยิบสินค้าตำแหน่งกลาง จำนวนตัวอย่างผู้บริโภค 60 รายซึ่งคนที่เลือกหยิบสินค้าตำแหน่งกลางมีจำนวน 28 ราย โดยระยะเวลาเปิดประตูตู้แช่แข็งมีค่าเฉลี่ย 7.3 วินาที ค่ามากที่สุด 15.63 วินาที และค่าน้อยที่สุด 5.12 วินาที โดยมีความถี่สูงสุดอยู่ที่ช่วงเวลา 5-7 วินาทีดังรูปที่ 2



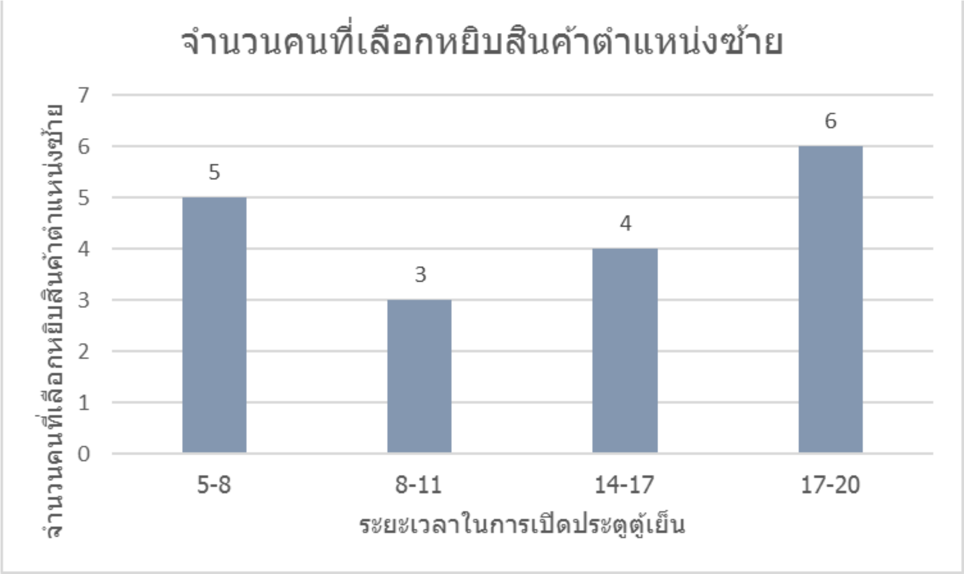
รูปที่ 2 ข้อมูลจำนวนคนที่เลือกหยิบสินค้าตำแหน่งกลาง

ผลการดำเนินการเก็บข้อมูลจำนวนคนที่เลือกหยิบสินค้าตำแหน่งขวา จำนวนตัวอย่างผู้บริโภค 60 ราย ซึ่งคนที่เลือกหยิบสินค้าตำแหน่งขวามีจำนวน 14 คนราย โดยระยะเวลาเปิดประตูตู้แช่แข็งมีค่าเฉลี่ย 10.6 วินาที ค่ามากที่สุด 18.55 วินาที และค่าน้อยที่สุด 5.27 วินาที โดยมีความถี่สูงสุดอยู่ที่ช่วงเวลา 5-7 วินาทีดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ข้อมูลจำนวนคนที่เลือกหยิบสินค้าตำแหน่งขวา

ผลการดำเนินการเก็บข้อมูลจำนวนคนที่เลือกหยิบสินค้าตำแหน่งซ้าย จำนวนตัวอย่างผู้บริโภค 60 ราย ซึ่งคนที่เลือกหยิบสินค้าตำแหน่งซ้ายมีจำนวน 18 ราย โดยระยะเวลาเปิดประตูตู้แช่แข็งมีค่าเฉลี่ย 14.2 วินาที ค่ามากที่สุด 19.52 วินาที และค่าน้อยที่สุด 5.38 วินาที โดยมีความถี่สูงสุดอยู่ที่ช่วงเวลา 17-20 วินาทีดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ข้อมูลจำนวนคนที่เลือกหยิบสินค้าตำแหน่งซ้าย

ผลสรุปพฤติกรรมผู้ซื้อสินค้าในการเปิดประตูตู้แช่แข็งในการเลือกหยิบสินค้าในตำแหน่งต่าง ๆ ภายในตู้จากจำนวนตัวอย่างผู้บริโภค 60 คน โดยแบ่งตำแหน่งซ้าย ตำแหน่งกลาง และตำแหน่งขวา เป็น 18 คน 28 คน และ 14 คนตามลำดับ โดยตำแหน่งซ้ายจะใช้ระยะเวลาเฉลี่ยในการเปิดตู้แช่แข็งที่ตำแหน่ง ขวา กลาง และซ้าย คือ 7.3 10.6 และ

14.2 วินาทีตามลำดับ ตำแหน่งซ้ายสุดจะใช้เวลานานที่สุดเนื่องจากอยู่ด้านในสุดของตู้แช่แข็งซึ่งจะต้องเปิดประตูกว้างสุดในการเลือกหยิบสินค้าสำหรับกรณีที่ประตูตู้แช่แข็งเปิดจากทางด้านขวา ลูกค้าที่ใช้เวลานานส่วนหนึ่งใช้เวลาในการตรวจสอบวันหมดอายุของสินค้าบริโภค

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับระยะเวลาที่ใช้เปิดประตูตู้แช่แข็ง

การเก็บข้อมูลระยะเวลาที่ใช้เปิดตู้กับพลังงานที่ใช้ของตู้แช่แข็ง แสดงในรูปที่ 5

Meter Reading (kWh)		ผลต่าง		ระยะเวลา
เริ่มต้น	สิ้นสุด	kWh	Wh	เปิดตู้เย็น , S
114.1453	114.2290	0.0837	83.7	1
114.6082	114.6967	0.0885	88.5	2
114.7910	114.8705	0.0795	79.5	4
114.8730	114.9532	0.0802	80.2	5
114.9566	115.0275	0.0709	70.9	10
227.0981	227.2045	0.1064	106.4	15
227.2121	227.3451	0.1330	133	17
227.3532	227.4405	0.0873	87.3	20

รูปที่ 5 ข้อมูลระยะเวลาที่ใช้เปิดตู้แช่แข็งกับพลังงานที่ใช้

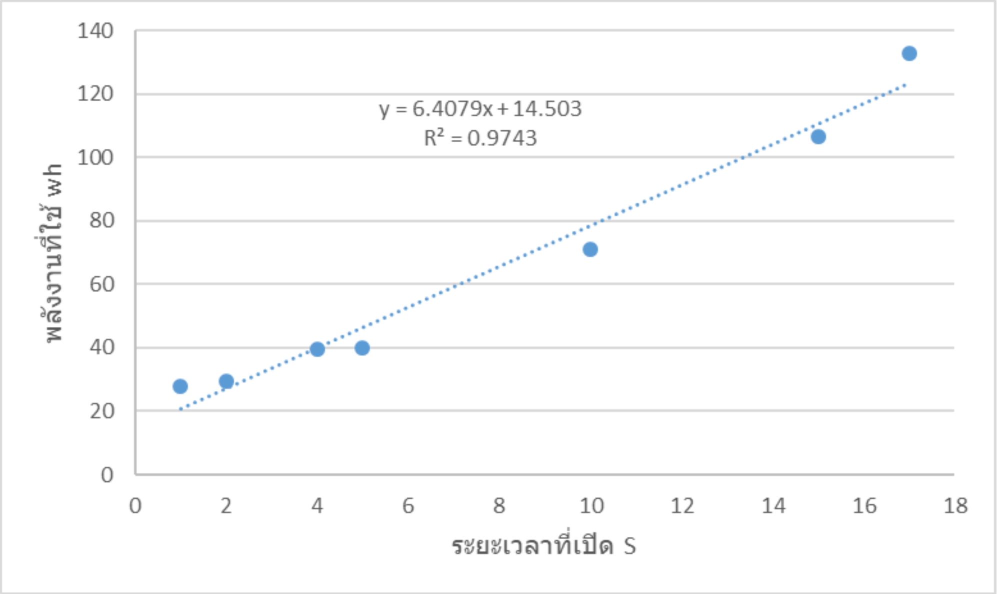
ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับระยะเวลาที่ใช้เปิดประตูตู้แช่แข็งเป็นลักษณะเชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 6 และมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 1

Y = 6.4079x + 14.503..(1)

โดยมีค่า R^2 เป็น 0.9743

เมื่อ x คือระยะเวลาที่ใช้เปิดประตูตู้แช่แข็ง หน่วยเป็น s

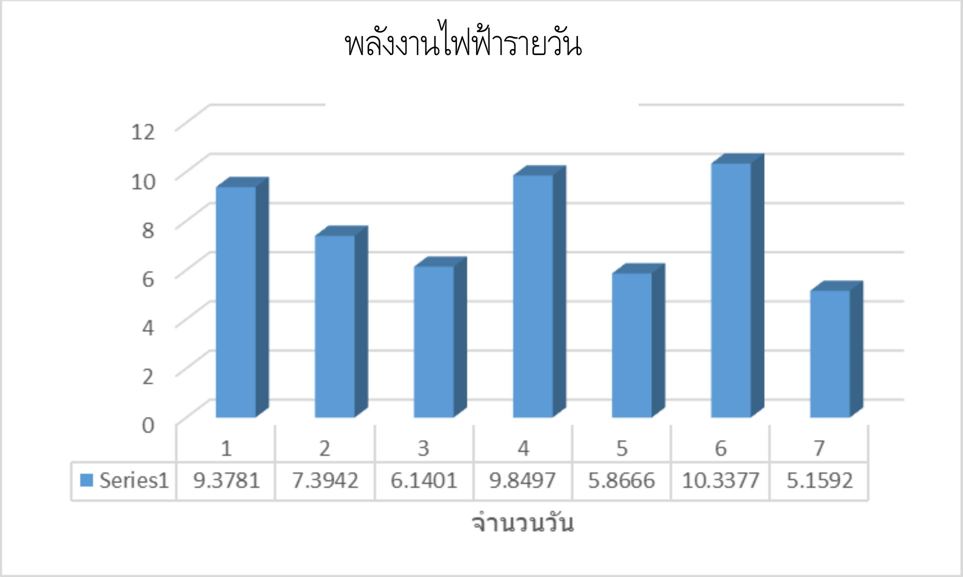
Y คือพลังงานที่ตู้แช่แข็งใช้ หน่วยเป็น Wh



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับระยะเวลาที่ใช้เปิดประตูตู้แช่แข็ง

การใช้พลังงานการใช้ตู้แช่แข็งรายวัน

ผลการใช้พลังงานของตู้แช่แข็งรายวันมีค่าเฉลี่ย 7.73 kWh และการใช้พลังงานของตู้แช่แข็งรายวันแสดงในรูปที่ 7



	1	2	3	4	5	6	7
Series1	9.3781	7.3942	6.1401	9.8497	5.8666	10.3377	5.1592

รูปที่ 7 การใช้พลังงานของตู้แช่แข็งตู้แช่รายวัน

สรุปผลการวิจัย

พฤติกรรมของลูกค้าจำนวน 60 คนในการเปิดประตูตู้แช่แข็งเพื่อเลือกหยิบสินค้า ใช้ระยะเวลาเปิดประตูตู้แช่แข็งเฉลี่ย 10.1 วินาที และตำแหน่งซ้ายสุดของตู้แช่แข็งจะใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 14.2 วินาทีซึ่งใช้เวลานานที่สุดเนื่องจากเป็นตำแหน่งในสุดของตู้แช่แข็งซึ่งจะต้องเปิดประตูกว้างสุดในการเลือกหยิบสินค้า ส่วนตำแหน่งขวาสุดของตู้แช่แข็งจะใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 7.3 วินาทีซึ่งใช้เวลาสั้นที่สุด ลูกค้าที่ใช้เวลานานส่วนหนึ่งใช้เวลาในการตรวจสอบวันหมดอายุของสินค้าบริโภค จึงควรจัดวางสินค้าที่ขายดีไว้ในตำแหน่งซ้ายและมีป้ายบอกหมดอายุที่ชัดเจน เพื่อลดระยะเวลาในการเลือกหยิบสินค้าทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่ตู้แช่แข็งใช้จะมีค่าสูงเมื่อเปิดประตูตู้เป็นระยะเวลานาน ตามสมการ

Y = 6.4079x + 14.503 ซึ่งสามารถอธิบายชุดข้อมูลได้ถึง 97% นอกจากนี้ยังพบว่าตู้แช่แข็งใช้พลังงานเฉลี่ยรายวัน 7.73 kWh และจะใช้พลังงานสูงเมื่อลูกค้าเปิดประตูตู้แช่แข็งนาน การใช้พลังงานในแต่ละวันขึ้นอยู่กับจำนวนซื้อขายสินค้า ถ้ามีการซื้อขายมากก็จะใช้พลังงานมากด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มีส่วนช่วยทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี งานวิจัยนี้จะสำเร็จไม่ได้ถ้าหากไม่ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากบริษัท ซีพีออล์ จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บและสำรวจข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] การแบ่งชนิดของตู้เย็น. สืบค้นเมื่อ 25 พฤษภาคม 2562
จาก http://www.chiangmaiaircare.com

[2] Brian A. Fricke, Ph.D., Bryan R. Becker, Ph.D., P.E. , University of Missouri –Kansas City (2513)

[3] วัฏจักรของการทำความเย็น (Refrigeration Cycle) สืบค้นเมื่อ 26 พฤษภาคม 2562
จาก http://tpa.or.th

[4] แสดงอุณหภูมิที่เหมาะสมของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์. สืบค้นเมื่อ 27 พฤษภาคม 2562
จาก http://www2.dede.go.th

การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้า สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย

Feasibility Study on Solar PV Rooftop Based on Supporting Policy for Residential Sector

อิทธิเดช ภู่นันทพงษ์ [1*] และ ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ [2]

[1] สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินต้นทุนค่าใช้จ่ายในการลงทุนและบำรุงรักษา ประเมินพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ โดยการจำลองด้วยโปรแกรม PVSyst และประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ตามนโนบายการรับซื้อไฟฟ้า สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 2.24 kWp และ 3.72 kWp บริเวณพื้นที่จังหวัดลพบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่หนึ่งที่มีศักยภาพทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่า ขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของโครงการมีผลต่อต้นทุนค่าใช้จ่ายในการลงทุน โดยโครงการที่มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งน้อยจะมีต้นทุน (บาท/kWp) สูงกว่าโครงการที่มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งมากกว่า และจากผลการประเมินพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 2.24 kWp และ 3.72 kWp พบว่า สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 3,198.7 kWh/ปี และ 5,550 kWh/ปี ตามลำดับ และผลการประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนพบว่าลักษณะการผลิตและการใช้ไฟฟ้ามีผลต่ออัตราผลตอบแทนของโครงการ โดยโครงการจะมีความคุ้มค่าสำหรับบ้านอยู่อาศัยที่มีการผลิตเพื่อใช้ภายในบ้านหรืออาคารเป็นหลัก และหากมีส่วนเหลือจากการใช้จึงจำหน่ายให้กับการไฟฟ้า ในกรณีที่ติดตั้งขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 2.24 kWp เพื่อใช้ภายในบ้านหรืออาคารเป็นหลัก พบว่า มีอัตราผลตอบแทน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ติดลบ อัตราผลตอบแทนการลงทุนมีค่าน้อยกว่าอัตราคิดลด (Discount Rate) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) 2.59% และใช้ระยะเวลานานในการคืนทุน 17 ปี 1 เดือน และการลงทุนติดตั้งในรูปแบบอื่น ยังไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคามีต้นทุนสูง แต่อัตรารับซื้อไฟฟ้าที่กำหนดโดยภาครัฐมีค่าต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ติดตั้งขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.72 kWp เพื่อใช้ภายในบ้านหรืออาคารเป็นหลัก มีอัตราผลตอบแทน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เท่ากับ 31,095 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) 5.20% และระยะเวลาคืนทุน 13 ปี 3 เดือน และการลงทุนติดตั้งในรูปแบบอื่นเพื่อใช้ภายในและมีส่วนเหลือจำหน่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า อัตราผลตอบแทนของโครงการจะลดน้อยลงและใช้ระยะเวลาในการคืนทุนสูงขึ้นตามลำดับ และการลงทุนติดตั้งเพื่อจำหน่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าเป็นหลัก ยังไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคามีต้นทุนสูง แต่อัตรารับซื้อไฟฟ้าที่กำหนดโดยภาครัฐมีค่าต่ำ จึงสรุปได้ว่า ต้นทุนการลงทุน อัตราค่าไฟฟ้า อัตรารับซื้อไฟฟ้า ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า สัดส่วนการผลิตและการใช้ไฟฟ้า และรวมถึงปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ สภาพแวดล้อมพื้นที่ติดตั้ง สภาพอากาศ มีผลต่ออัตราผลตอบแทนของโครงการและมีผลต่อการตัดสินใจเลือกลงทุน นอกจากนี้ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ที่มีผลต่อการลงทุน พบว่า ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตรารับซื้อไฟฟ้ามีผลต่ออัตราผลตอบแทนของโครงการเช่นเดียวกัน

คำสำคัญ: การศึกษาความเป็นไปได้, ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา, การผลิตพลังงานไฟฟ้า

[*] Corresponding author: Tel.: 086-5558375. E-mail address: itthidech.p@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้จัดทำแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561-2580 (Power Development Plan: PDP2018) [1] ได้ให้ความสำคัญ ด้านความมั่นคงทางพลังงาน, ด้านเศรษฐกิจ และด้านสิ่งแวดล้อม โดยสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบไฟฟ้า ทั้งด้านการผลิตไฟฟ้าและการใช้ไฟฟ้า ซึ่งได้กำหนดสัดส่วนกำลังผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกในปริมาณ 20,766 MW จากสัดส่วนกำลังการผลิตไฟฟ้าใหม่ 56,431 MW โดยมีเป้าหมายจัดหากำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปริมาณ 10,000 MW ซึ่งจะมีการดำเนินโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ (โซลาร์ภาคประชาชน) ปีละ 100 MW เป็นระยะเวลา 10 ปี กอปรกับคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ได้ออกระเบียบ กกพ. ว่าด้วยการจัดหาไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาสำหรับภาคประชาชน พ.ศ. 2562 [2] และประกาศเชิญชวนการรับซื้อไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย พ.ศ. 2562 [3] ส่งเสริมให้ประชาชนติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาบ้านอยู่อาศัย (ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1) ขนาดกำลังการผลิตติดตั้งไม่เกิน 10 kWp เป้าหมายการจัดหาไฟฟ้ากำลังผลิตการติดตั้ง 100 MWp โดยแบ่งเป็นพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) 30 MWp และพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 70 MWp อัตรารับซื้อไฟฟ้า 1.68 บาท/หน่วย (รูปแบบ Net Billing) ระยะเวลารับซื้อไฟฟ้า 10 ปี กำหนดวันจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบเชิงพาณิชย์ (Scheduled Commercial Operation Date: SCOD) ภายในปี 2562 ซึ่งในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สามารถผลิตไฟฟ้าต่อพื้นที่ได้มากขึ้น และมีแนวโน้มราคาต่ำลง และลักษณะทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้มีศักยภาพทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ โดยในเดือนเมษายนเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด สำหรับการกระจายตามพื้นที่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด (18 - 20 MJ/m^2-day) อยู่ในบริเวณภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เมื่อทำการเฉลี่ยค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 17.6 MJ/m^2-day [4] จึงทำให้มีผู้สนใจติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น ขณะเดียวกันยังไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการรับซื้อไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย พ.ศ. 2562

โดยในปี พ.ศ. 2557 พิมพ์พรรณ กาเยนนท์ [5] ได้ศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา พบว่า ค่าใช้จ่ายการลงทุนติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคามีค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนคงที่สูงมาก และในปีเดียวกัน ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ [6] ได้ทำการศึกษาประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อใช้ภายในอาคารเป็นหลัก โดยคัดเลือกอาคารจำนวน 10 อาคาร ผลรวมการศึกษาศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ ที่อัตราส่วนลด 7.08% พบว่า มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 26,744,616.98 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) 15% และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PB) อยู่ระหว่าง 7-8 ปี และได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ในปัจจัยด้านต้นทุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยกำหนดให้ต้นทุนมีสัดส่วนลดลงร้อยละ 5 และเมื่อกำหนดอัตราคิดลดที่ 3% ต่อปี พบว่า มีค่า IRR เท่ากับ 16% และระยะเวลาคืนทุนของโครงการอยู่ระหว่าง 7-8 ปี ต่อมาในปี พ.ศ. 2558 มานิตย์ ศรีคงแก้ว และ พาสิทธิ์ หล่อธีรพงศ์ [7] ได้ทำการศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของบ้านอยู่อาศัยขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 5 kWp ตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าที่มีอัตรารับซื้อไฟฟ้ารูปแบบ Feed-in Tariff (FiT) 6.98 บาท/หน่วย พบว่า เป็นโครงการที่น่าลงทุน โดยมีค่า IRR เท่ากับ 10.91% และระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 8.5 ปี และความคุ้มค่าของระบบมีความไวสูงต่ออัตราการลดลงของสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าต่อปี

นอกจากนี้ในปี พ.ศ. 2560 จารุวรรณ พิพัฒน์พุทธพันธ์ [8] ได้ทำการศึกษาการประเมินระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 5.25 kWp ร่วมกับการกักเก็บพลังงาน สำหรับบ้านอยู่อาศัยในเขตกรุงเทพและปริมณฑล พบว่า เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน มีค่าสูง ทำให้โครงการยังไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุนในปัจจุบัน ขณะที่ปี พ.ศ. 2561 สุรกิจ ทองสุข และ อรรถพล

เง่าพิทักษ์กุล [9] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มทุนของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา พบว่า ต้นทุนระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 20 kWp มีค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 1,121,500 บาท คิดเป็นมูลค่า 56,000 บาทต่อ kW อนึ่งในปี ค.ศ. 2015 Manzar, A. et.al [10] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมต่อแหล่งพลังงานหลายแหล่งเข้ากับไมโครกริด (Microgrid) โดยได้นำเสนอรูปแบบระบบการเชื่อมต่อแหล่งพลังงานต่างๆ เข้าด้วยกัน เพื่อจ่ายพลังไฟฟ้าให้กับภาระ (Loads) ด้วยวิธีการจำลองแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป MATLAB/Simulink พบว่า ระบบที่นำเสนอจะช่วยลดภาระของระบบสายส่งพลังไฟฟ้าได้และยังช่วยลดความเครียดในระบบส่งจ่ายพลังไฟฟ้า และช่วยลดโอกาสการเกิดภาระเกินพิกัด (Overloaded) ได้อีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นการศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้า สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 2.24 kWp และ 3.72 kWp และวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ที่มีผลต่อการตัดสินใจลงทุน เช่น อัตรารับซื้อไฟฟ้า

วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ทำการประเมินต้นทุนค่าใช้จ่ายในการลงทุนและบำรุงรักษา ประเมินพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้โดยการจำลองด้วยโปรแกรม PVSyst และประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้า สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย โดยใช้แบบจำลองกระแสเงินสดคิดลด (Discounted Cash Flow Model) ในการพิจารณาเกณฑ์การลงทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR), ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 2.24 kWp และ 3.72 kWp แบบชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ประเภท Poly-Crystalline โดยทำการเปรียบเทียบลักษณะการผลิตและการใช้ไฟฟ้าจากข้อมูล Load Profile ซึ่งกำหนดโดยผู้วิจัยโดยอ้างอิงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วไป จำนวน 3 รูปแบบ ดังนี้

1. ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในบ้านหรืออาคารเป็นหลัก
2. ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในบ้านหรืออาคาร และขายไฟฟ้าส่วนที่เหลือเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า
3. ผลิตไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าเป็นหลัก

นอกจากนี้ ในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ ที่มีผลต่อการตัดสินใจลงทุน เช่น อัตรารับซื้อไฟฟ้า

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบหลัก ดังนี้

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Panel)
2. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)
3. อุปกรณ์โครงสร้าง เช่น โครงสร้างอลูมิเนียมและอุปกรณ์จับยึดที่ติดตั้งบนหลังคาสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และรางเดินสายไฟ
4. อุปกรณ์ระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ระบบมอนิเตอร์ (Electrical System & Monitoring System)
5. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

ข้อมูลราคาชุดติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา สำหรับบ้านอยู่อาศัย แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ราคาชุดติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา สำหรับบ้านอยู่อาศัย

รายละเอียด	ราคา* (บาท/kWp)
ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 2.24 kWp	79,910.71
ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.72 kWp	71,941.43

*ราคาเฉลี่ยจากผู้ประกอบกิจการธุรกิจเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 ราย ข้อมูล ณ ปี 2562

ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Panel) รับประกันประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า 25 ปี ลดลงไม่เกิน 80%

2. อินเวอร์เตอร์ (Inverter) รับประกันอายุการใช้งาน 10 ปี

ในงานวิจัยนี้กำหนดสมมติฐานอายุโครงการ 25 ปี ดังนั้น จึงไม่มีการเปลี่ยนอุปกรณ์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Panel) ยกเว้นกรณีอุปกรณ์ชำรุด/เสียหาย จนเป็นเหตุทำให้ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ และในส่วนของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ (Inverter) อาจต้องดำเนินการเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่เพื่อทดแทนอุปกรณ์เก่า จำนวน 1 – 2 ครั้ง ขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของอุปกรณ์ และการต่ออายุสัญญารับประกันอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ (Inverter) กับผู้ประกอบกิจการผลิตอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงไม่นำค่าใช้จ่ายในส่วนของการเปลี่ยนอุปกรณ์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Panel) และอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ (Inverter) มาพิจารณาในการประเมินความคุ้มค่าของโครงการ ทั้งนี้ หากจะต้องดำเนินการเปลี่ยนอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ (Inverter) จะมีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ดังกล่าว ราคาประมาณ 50,000 บาท/เครื่อง (ข้อมูล ณ ปี 2562)

การประเมินพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 2.24 kWp และ 3.72 kWp ซึ่งกำหนดพื้นที่ทำการศึกษาบริเวณจังหวัดลพบุรี โดยการจำลองด้วยโปรแกรม PVSyst พบว่า มีค่าสมรรถนะระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio: PR) เท่ากับ 78% และ 78.92% ตามลำดับ และมีศักยภาพการผลิตไฟฟ้า แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

เดือน	**พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh)**	
	กำลังการผลิตติดตั้ง 2.24 kWp	**กำลังการผลิตติดตั้ง 3.72 kWp**
มกราคม	280.4	486
กุมภาพันธ์	250.2	434
มีนาคม	287.0	497
เมษายน	278.8	484
พฤษภาคม	282.6	491
มิถุนายน	275.9	479
กรกฎาคม	277.6	482
สิงหาคม	249.3	433
กันยายน	241.1	419
ตุลาคม	249.7	434
พฤศจิกายน	252.5	437
ธันวาคม	273.6	474
รวม	**3,198.7**	**5,550**

การประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้า สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 2.24 kWp และ 3.72 kWp

กำหนดสมมติฐานในการวิเคราะห์ มีรายละเอียดดังนี้

1. อายุโครงการ 25 ปี

2. อัตรารับซื้อไฟฟ้า 1.68 บาท/หน่วย เป็นระยะเวลา 10 ปี

3. อัตราค่าไฟฟ้า 4 บาท/หน่วย โดยเพิ่มขึ้น 1% ในแต่ละปี

4. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนโดยเฉลี่ยของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ข้อมูลตามตารางที่ 1

5. ค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า การตรวจสอบระบบอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายอื่นที่เกี่ยวข้อง ตามประกาศ กกพ. มูลค่า 8,500 บาท ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม

6. ค่าบำรุงรักษาทั่วไป 2,000 บาท/ปี โดยเพิ่มขึ้นในแต่ละปีตามอัตราเงินเฟ้อ (กรณีศึกษา อัตราเงินเฟ้อ 3%)

7. เจ้าของบ้านหรืออาคาร เป็นผู้ลงทุนระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้เงินส่วนของเจ้าของ 100%

8. อัตราคิดลด (Discount Rate) 3% ต่อปี

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 2.24 kWp และ 3.72 kWp จำนวน 3 รูปแบบ ประกอบด้วย

รูปแบบที่ 1 ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในบ้านหรืออาคารเป็นหลัก โดยไม่มีส่วนเหลือจำหน่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า

รูปแบบที่ 2 ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในบ้านหรืออาคาร 60% และมีส่วนเหลือจำหน่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า 40%

รูปแบบที่ 3 ผลิตไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าเป็นหลัก

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา

ดัชนีทางเศรษฐศาสตร์	ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 2.24 kWp			ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.72 kWp		
	เพื่อใช้ภายใน	ใช้ภายใน 60% จำหน่าย 40%	เพื่อจำหน่าย	เพื่อใช้ภายใน	ใช้ภายใน 60% จำหน่าย 40%	เพื่อจำหน่าย
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)	-23,476 บาท	-	-	31,095 บาท	-73,052 บาท	-
อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)	2.59%	-	-	5.20%	0.87%	-
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)	17 ปี 1 เดือน	มากกว่าอายุโครงการ 25 ปี	มากกว่าอายุโครงการ 25 ปี	13 ปี 3 เดือน	21 ปี 2 เดือน	มากกว่าอายุโครงการ 25 ปี

ผลการศึกษา กรณีติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้า สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 2.24 kWp พบว่า การติดตั้งเพื่อใช้ภายในบ้านหรืออาคารเป็นหลัก โดยไม่มีส่วนเหลือจำหน่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ติดลบ อัตราผลตอบแทนการลงทุนมีค่าน้อยกว่าอัตราคิดลด (Discount Rate) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) 2.59% และใช้ระยะเวลานานในการคืนทุน 17 ปี 1 เดือน และการลงทุนติดตั้งในรูปแบบอื่น ยังไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคามีต้นทุนสูง แต่อัตรารับซื้อไฟฟ้าที่กำหนดโดยภาครัฐมีค่าต่ำ และกรณีติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้า สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.72 kWp พบว่า การติดตั้งเพื่อใช้ภายในบ้านหรืออาคารเป็นหลัก โดยไม่มีส่วนเหลือจำหน่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) มีค่า 31,095 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) 5.20% และระยะเวลาคืนทุน 13 ปี 3 เดือน และการติดตั้งเพื่อใช้ภายในและมีส่วนเหลือจำหน่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ติดลบ อัตราผลตอบแทนการลงทุนมีค่าน้อยกว่าอัตราคิดลด (Discount Rate) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return:

IRR) 0.87% และใช้ระยะเวลานานในการคืนทุน 21 ปี 2 เดือน และการติดตั้งเพื่อจำหน่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าเป็นหลักยังไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคามีต้นทุนสูง แต่อัตรารับซื้อไฟฟ้าที่กำหนดโดยภาครัฐมีค่าต่ำ

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 2.24 kWp และ 3.72 kWp ตามนโยบายรับซื้อไฟฟ้า สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) ของการติดตั้งเพื่อใช้ภายในบ้านหรืออาคารเป็นหลัก โดยไม่มีส่วนเหลือจำหน่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า มีค่ามากกว่าการติดตั้งเพื่อใช้ภายในและมีส่วนเหลือจำหน่ายเข้าสู่ระบบ และการติดตั้งเพื่อจำหน่ายเป็นหลัก และมีระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า เนื่องจากสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด และช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ซื้อจากระบบซึ่งมีอัตราค่าไฟฟ้าสูงกว่าอัตรารับซื้อไฟฟ้า

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ ที่มีผลต่อการตัดสินใจลงทุน

ในงานวิจัยนี้ ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตรารับซื้อไฟฟ้า จากเดิมราคา 1.68 บาท/หน่วย ปรับเพิ่มขึ้นจากอัตรารับซื้อไฟฟ้าเดิม 2 เท่า เป็นราคา 3.36 บาท/หน่วย

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางเศรษฐศาสตร์ เกี่ยวกับอัตรารับซื้อไฟฟ้า

ดัชนีทางเศรษฐศาสตร์	ใช้ภายใน 60% จำหน่าย 40%		เพื่อจำหน่าย	
	2.24 kWp	3.72 kWp	2.24 kWp	3.72 kWp
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)	-	-42,179 บาท	-	-
อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)	-	2.00%	-	-
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)	มากกว่าอายุโครงการ 25 ปี	18 ปี 9 เดือน	มากกว่าอายุโครงการ 25 ปี	มากกว่าอายุโครงการ 25 ปี

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตรารับซื้อไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากเดิม 2 เท่า ทำให้โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) เพิ่มขึ้น และใช้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลง แต่มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ของโครงการยังคงติดลบ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการลงทุนและความเป็นไปได้ของการลงทุนติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นหลังคา ตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้า สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย แสดงให้เห็นว่าต้นทุนของระบบผลิตไฟฟ้ายังคงมีราคาสูง และขึ้นอยู่กับขนาดกำลังการผลิตติดตั้งของโครงการ โดยโครงการที่มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งน้อยจะมีต้นทุน (บาท/kWp) สูงกว่าโครงการที่มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งมากกว่า ตามหลักการประหยัดต่อขนาด (Economy of Scale) และโครงการจะมีความคุ้มค่าในการลงทุนสำหรับบ้านอยู่อาศัยที่มีการผลิตเพื่อใช้ภายในบ้านหรืออาคารเป็นหลักก่อน เช่น การติดตั้งขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.72 kWp เพื่อใช้ภายในบ้านเป็นหลัก มีอัตราผลตอบแทน NPV เท่ากับ 31,095 บาท IRR เท่ากับ 5.20% และ PB เท่ากับ 13 ปี 3 เดือน ส่วนการลงทุนติดตั้งรูปแบบอื่น อัตราผลตอบแทนจะลดน้อยลง และใช้ระยะเวลาในการคืนทุนสูงขึ้นตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า ต้นทุนการลงทุน อัตราค่าไฟฟ้า อัตรารับซื้อไฟฟ้า ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้า สัดส่วนการผลิตและการใช้ไฟฟ้า และรวมถึงปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ สภาพแวดล้อมพื้นที่ติดตั้ง สภาพอากาศ มีผลต่ออัตราผลตอบแทนของโครงการและมีผลต่อการตัดสินใจเลือกลงทุน นอกจากนี้ อัตราผลตอบแทนของโครงการมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตรารับซื้อไฟฟ้า

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัย ขอขอบคุณข้อมูลสนับสนุนงานวิจัย จากผู้ประกอบกิจการธุรกิจเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน และสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน นอกจากนี้ขอขอบคุณ คณาจารย์สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นอย่างยิ่งที่ได้ให้องค์ความรู้และให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. (2562). **แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561-2580 (PDP 2018).** กรุงเทพฯ

[2] สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. (2562). **ระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน ว่าด้วยการจัดหาไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สำหรับภาคประชาชน พ.ศ. 2562.** กรุงเทพฯ

[3] สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. (2562). **ประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน เรื่อง ประกาศเชิญชวนการรับซื้อไฟฟ้าโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สำหรับภาคประชาชนประเภทบ้านอยู่อาศัย พ.ศ. 2562.** กรุงเทพฯ

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). **โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (ปี 2560).** กรุงเทพฯ

[5] พิมพ์พรรณ กาเยนนท์. (2557). **การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา.** วิทยานิพนธ์ เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์. (2557). **การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[7] มานิตย์ ศรีคงแก้ว และ พาสิทธิ์ หล่อธีรพงศ์. (2558). การศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของบ้านอยู่อาศัย. **วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา.** 26 (1), 61-69.

[8] จารุวรรณ พิพัฒน์พุทธพันธ์. (2560). **การประเมินระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการกักเก็บพลังงานสำหรับบ้านอยู่อาศัยในประเทศไทย.** สารนิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[9] สุรกิจ ทองสุข และอรรถพล เง่าพิทักษ์กุล. (2561). การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี).** 10 (19), 157-169.

{10] Manzar, A., Uzma, A., Suhall, A. and Zaki, A. (2015). Integration of Renewable Energy Resources in Microgrid. **Energy and Power Engineering.** 7, 12-29.

การประเมินการจัดการพลังงาน ในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชุนเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ต่อการปรับเปลี่ยนเตาผลิตไอน้ำก้อนเห็ด

Energy Management Assessment In the production process of Ban Tung Bo Pa Mushroom Culture Enterprise To change the furnace to produce steam mushrooms

ลัดดาวัลย์ เสียงเย็น[1*] วรรณวิสา สารทอง[1] บุญช่วย ญาวิลาศ[1] รวิภา ยงประยูร[1] วศิน์วิโรตม์ เนติศักดิ์[1] และวราคม วงค์ชัย[1]
สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินผลการจัดการพลังงาน ในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชุนเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ต่อการปรับเปลี่ยนเตาผลิตไอน้ำนึ่งก้อนเห็ดและการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อเปรียบเทียบการลดใช้พลังงานจากการใช้เชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน) ของเตาผลิตไอน้ำทั้ง 3 ชนิด โดยเปรียบเทียบกับเตาดั้งเดิม 200 ลิตร ได้แก่ เตานึ่งแบบ 3 กลับ เตาฟิวชัน เตาลุงชูชาติ ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองหาการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตเห็ดเพื่อประเมินการลดใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเห็ดและการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซดในกระบวนการผลิตต่อปี ของเตาแต่ละชนิด

ผลการประเมินพบว่าการ การลดใช้พลังงานความร้อนจากการใช้เชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน) ของเตาผลิตไอน้ำทั้ง 3ชนิด เปรียบเทียบกับเตาดั้งเดิม 200 ลิตร ได้แก่ เตานึ่งแบบ 3 กลับ เตาฟิวชัน เตาลุงชูชาติ จะเห็นได้ว่ามีการเปรียบเทียบการลดใช้พลังงานของเตาทั้ง 3 ชนิด โดยพบว่าเตาลุงชูชาติมีการลดใช้พลังงาน 1,252.7 MJ/ton $_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ เมื่อเปรียบเทียบกับเตาดั้งเดิม 1,412.6 MJ/ton $_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ ที่ใช้พลังงานสูงสุด ผลต่างของเตาลุงชูชาติและเตาดั้งเดิม 418.5 MJ/ton $_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ และมีการลดปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลผลิตต่อปีของเตาผลิตไอน้ำทั้ง 3 ชนิด เปรียบเทียบกับเตาดั้งเดิม 200 ลิตร พบว่าเตาดั้มเดิมมีการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด 1762.99 $kgCO_{2\text{-}eq}$/ปี และเตาลุงชูชาติมีการลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด 1,563.41 $kgCO_{2\text{-}eq}$/ปี

คำสำคัญ: เตานึ่งแบบ 3 กลับ เตาฟิวชัน เตาแบบลุงชูชาติ

[*] Corresponding author: Tel.:0913011580. E-mail address: joyladdawan1803@gmail.com

บทนำ

เศรษฐกิจโดยทั่วไปของตำบลปงยางคก ขึ้นอยู่กับเกษตรกรรม การพาณิชย์ การอุตสาหกรรม โดยประชากร ประกอบอาชีพอุตสาหกรรมเป็นอาชีพเกษตรกรรมเป็นอาชีพหลัก ได้แก่ การทำนา ปลูกพืช การอุตสาหกรรม โดย ประชากร ประกอบอาชีพอุตสาหกรรมในครัวเรือนรับจ้าง ค้าขาย เลี้ยงสัตว์ และพลังงานโรงงาน นอกจากอาชีพดังกล่าวที่ กล่าวมาแล้วยังมีการรวมกลุ่มอาชีพภายในชุมชน เช่น การเพาะเห็ดซึ่งถือว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้ให้กับกลุ่ม เกษตรกรเป็นอย่างมาก และในขั้นตอนการผลิตก้อนเห็ด สมาชิกในกลุ่มมีการนำเตานึ่งก้อนเชื้อเห็ดมาใช้ในขั้นตอนการนึ่ง ก้อนเห็ด และพบลักษณะการใช้พลังงานในกระบวนการเพาะเห็ดของกลุ่ม จำแนกรายละเอียดได้ดังนี้ การใช้เครื่องผสมใน การบด ,การใช้เชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน) ในการนึ่งก้อนเห็ด,การใช้พลังงานในกระบวนการพักในโรงเรือน และการลดการ ปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตต่อปี ของเตาแต่ละชนิด ของการใช้พลังงานในกระบวนการเพาะ เห็ดของกลุ่ม ซึ่งมีการใช้เตานึ่งก้อนเห็ดแบบ[ง 200 ลิตรหรือเตาลูกทุ่งในการนึ่งวัสดุเพาะเห็ด โดยปัจจุบันสมาชิกในกลุ่มได้ มีการปรับเปลี่ยนเตาผลิตไอน้ำในการนึ่งก้อน เห็ดในกลุ่มวิสาหกิจจำนวน 4 รูปแบบ ได้แก่ เตาดั้งเดิม 200 ลิตร, เตานึ่ง แบบ 3 กลับ เตาฟิวชั่นและเตาลุงชูชาติ

ภาพที่ 1 เตานึ่งดั้งเดิมแบบ 200 ลิตร

ภาพที่ 2 เตานึ่งแบบลุงชูชาติ

ภาพที่ 3 เตานึ่งแบบ 3 กลับ

ภาพที่ 4 เตานึ่งฟิวชัน

จึงทำให้คณะผู้วิจัยมีความสนใจในการเก็บข้อมูลและวัดประเมินการจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตเห็ดของ เตาแต่ละชนิดที่สมาชิกของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น

การใช้พลังงานในกระบวนการเพาะเห็ดของกลุ่ม เพื่อประเมินการจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตเห็ดของ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ในการปรับเปลี่ยนเตาผลิตไอน้ำนึ่งก้อนเห็ดของสมาชิกของกลุ่ม

วิสาหกิจชุมชน เพื่อเปรียบเทียบการลดใช้พลังงานความร้อนจากการใช้เชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน) ของเตาผลิตไอน้ำทั้ง 4 แบบ และการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตต่อปี ของเตาแต่ละชนิด

วิธีการวิจัย

1.ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงาน และต้นทุนในแต่ละกระบวนการผลิตเห็ดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ตั้งแต่กระบวนการ บดผสม,นึ่งก้อนเชื้อเห็ด,พักในโรงเรือน โดยใช้แบบสำรวจสอบถาม และการตรวจวัด

2. ศึกษาปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน) ของเตาผลิตไอน้ำทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เตาดั้งเดิม 200 ลิตร , เตานึ่งแบบ 3 กลับ , เตาฟิวชัน และเตาลุงชูชาติ โดยการเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิต

3. ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงาน และต้นทุนในกระบวนการผลิตเห็ด

4. ประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนออกไซด์ ในกระบวนการนึ่งก้อนเชื้อเห็ด

5.ศึกษาแนวทางการใช้พลังงาน และการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนออกไซด์ในกระบวนการผลิตเห็ด

6.คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการนึ่งก้อนเชื้อเห็ด CO_2 โดยสมการดังนี้

GHG (CO_2/kg-ปี) = A×EF

GHG = ปริมาณก๊าซเรือนกระจก

A = การใช้ฟืนในกระบวนการนึ่งก้อนเชื้อเห็ด (MJ/y)

EF = ค่าสัมประสิทธิการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของชีวมวลเชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน) 0.693 kgCo_2/kg

ที่มา : องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน 2550)

ตารางที่1 ข้อมูลสำรวจการใช้อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าพลังงานในแต่ละขั้นตอน

กระบวนการผลิตเห็ด	อุปกรณ์เครื่องจักร	พลังงาน
1. บดขี้เลื่อย	-	-
2.บดผสม	เครื่องผสม	พลังงานไฟฟ้า
3.อัดก้อนเชื้อเห็ด	-	-
4.นึ่งก้อนเชื้อเห็ด	เตา	ความร้อนและพลังงานไฟฟ้า
5.ใส่เชื้อเห็ด	-	-
6.พักในโรงเรือน	ปั๊มน้ำ	พลังงานไฟฟ้า
7.น้ำรด	-	-
8.เก็บเกี่ยว	-	-

ตารางที่ 1 ข้อมูลกระบวนการผลิตเห็ดเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าพลังงานในแต่ละขั้นตอนหลัก มีการใช้พลังงาน ดังต่อไปนี้ การบดผสม, การนึ่งก้อนเชื้อเห็ด,การพักในโรงเรือน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1.ศึกษาการใช้พลังงาน ในกระบวนการผลิตเห็ดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น

ซึ่งประกอบไปด้วยการใช้พลังงาน บดผสม, นึ่งก้อนเชื้อเห็ด,พักในโรงเรือน โดยมี การใช้งานในกระบวนการบดผสม จากการคำนวณการใช้พลังงานในกระบวนการบดผสม มีการใช้พลังงาน เฉลี่ยทั้งหมด 41.9 MJ/ton $_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการบดผสมของกลุ่มวิสาหกิจชุมชุนเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น

ชื่อ-สกุล	ปริมาณการผลิต (ton/y)	ชั่วโมงการใช้งาน (h/y)	การใช้พลังงาน		
			kWh/y	MJ/y	MJ/ton ก้อนเชื้อเห็ด
นายอรุณ ปิ่นใจ	24	120	268.8	967.7	40.3
นายชูชาติ ปันทะรส	48	240	537.6	935.4	40.3
นายม้วน มโนคำ	24	120	268.8	967.7	40.3
นางลำดวล หม้อบุญมี	12	60	134.4	483.8	40.3
นายสัมพันธ์ ชัยเรื่องเดช	24	144	322.6	1,161.2	48.4
นางแสงวาน ตาวิยะ	12	60	134.4	483.8	40.3
นางบานเย็น มณียศ	12	72	161.3	580.6	48.4
นายสุคำ ปิ่นใจ	24	120	268.8	967.7	40.3
นายคำมูล ราชา	12	60	134.4	483.8	40.3
นายประหยัด อ้อยหวาน	12	60	134.4	483.8	40.3
เฉลี่ย	20	106	236.5	851.6	41.9

ตารางที่ 2 จากข้อมูลตารางจะเห็นได้ว่า เป็นข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการบดผสมของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น พบว่า นายสัมพันธ์ ชัยเรืองเดช และนางบานเย็น มณียศ มีการใช้พลังงานสูงสุดคิดเป็น 48.4 MJ/ton ก้อนเชื้อเห็ด

ตารางที่ 3 ข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการนึ่งก้อนเชื้อเห็ด ค่าความร้อนเชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน) 15.99 MJ/kg โดยทำการนึ่งจำนวน 24 ครั้ง/ปี ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชุนเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น

รูปแบบเตานึ่งก้อนเห็ด	ปริมาณการใช้ฟืน kg/ครั้ง	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า MJ/ครั้ง	ปริมาณก้อนเชื้อเห็ด ton/ครั้ง	ปริมาณการใช้พลังงาน	
				MJ/y	MJ/ton ก้อนเชื้อเห็ด
เตา 3 กลับ	102.3	0.2	1.2	39,262.2	1,363.3
เตาลุงชูชาติ	94	0.2	1.2	36,077.0	1,252.7
เตาดั้งเดิม	106	0.2	1.2	40,682.2	1,412.6
เตาฟิวชัน	104	0.2	1.2	39,914.6	1,385.9
เฉลี่ย	101.6	0.2	1.2	38,984	1,353.6

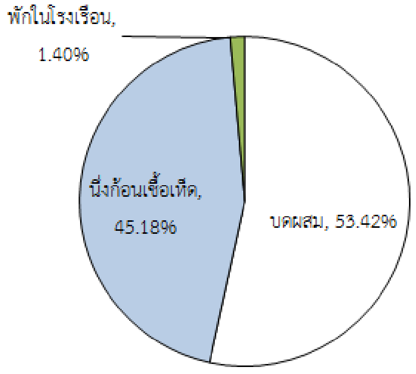
ตารางที่ 3 จากข้อมูลข้างต้น พบว่าสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้นมีการใช้พลังงานในกระบวนการนึ่งก้อนเชื้อเห็ดโดยการใช้เชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน) ปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดเฉลี่ย 1,353.6 MJ/ton ก้อนเชื้อเห็ด ปริมาณการใช้พลังงานสูงสุดคือเตาดั้งเดิม 1,412.6 MJ/ton ก้อนเชื้อเห็ด ปริมาณการใช้พลังงานน้อยที่สุด เตาลุงชูชาติ 1,252.7MJ/ton ก้อนเชื้อเห็ด

ตารางที่ 4 ข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการพักในโรงเรือนของกลุ่มวิสาหกิจชุมชุนเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ประเมินการใช้พลังงานในกระบวนการพักในโรงเรือนโดยประเมิน 1 วัน รดน้ำ 2 ครั้งทุกวัน โดยเป็นระยะเวลา 4 เดือน (มีอายุเก็บเกี่ยว 4 เดือน)

ชื่อ-สกุล	ขนาดปั้มน้ำ (W)	ปริมาณก้อนเชื้อเห็ด (ton/y)	ชั่วโมงการใช้งาน (h/y)	การใช้พลังงาน MJ/y	การใช้พลังงาน MJ/ton ก้อนเชื้อเห็ด
นายอรุณ ปิ่นใจ	250	61	54.00	48.60	191.21
นายชูชาติ ปันทะรส	250	24	24.00	21.60	216.00
นายม้วน มโนคำ	250	24	24.00	21.60	216.00
นางลำดวล หม้อบุญมี	250	37	30.00	27.00	177.05
นายสัมพันธ์ ชัยเรื่องเดช	250	35	30.00	27.00	185.14
นางแสงวาน ตาวิยะ	250	25	24.00	21.60	207.36
นางบานเย็น มณียศ	250	75	60.00	54.00	172.80
นายสุคำ ปิ่นใจ	250	32	30.00	27.00	202.50
นายคำมูล ราชา	250	30	30.00	27.00	216.00
นายประหยัด อ้อยหวาน	250	20	24.00	21.60	264.49
เฉลี่ย		36	33.00	29.70	204.86

ตารางที่ 4 ข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการพักในโรงเรือนของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น การใช้พลังงานทั้งหมดเฉลี่ย 204.86 MJ/ton$_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$
พบว่า นายประหยัด อ้อยหวาน มีการใช้พลังงานสูงสุด 264.49 MJ/ton $_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ นางบานเย็น มณียศ มีการใช้พลังงานน้อยสุด 264.49 MJ/ton $_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$

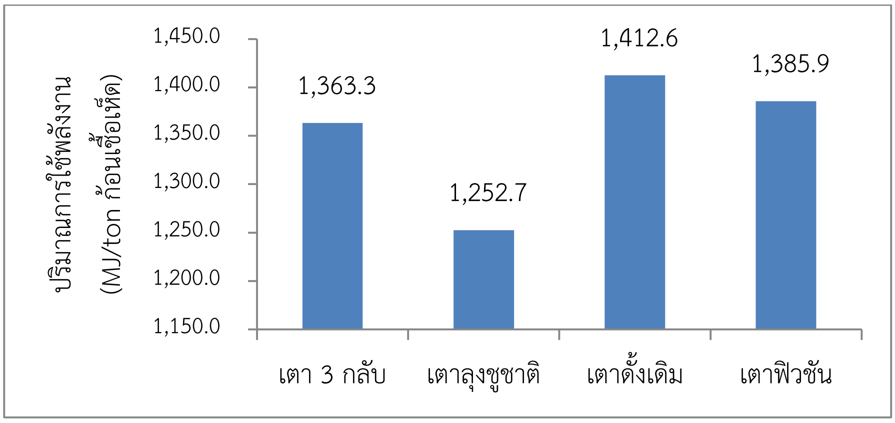
ข้อมูลในการลดใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเห็ด ได้แก่ บดผสม นึ่งก้อนเชื้อเห็ด พักในโรงเรือน พบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 1,600.37 MJ/ton $_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ การนึ่งก้อนเชื้อเห็ดมีปริมาณการใช้พลังงานมากที่สุด 1,353.61 MJ/ton $_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ หรือ 84.6% พักในโรงเรือนปริมาณการใช้พลังงาน 204.86 MJ/ton $_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ หรือ 12.8% และกระบวนการบดผสมมีปริมาณใช้พลังงานน้อยที่สุด 41.90MJ/ton $_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ หรือ 2.6%



ภาพที่ 1 ข้อมูลการศึกษาแนวทางในการลดใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ใช้พลังงานทั้งหมด 100% พบว่าการนึ่งก้อนเชื้อเห็ด มีปริมาณการใช้พลังงานมากที่สุด 84.6% และกระบวนการบดผสม มีปริมาณใช้พลังงานน้อยที่สุด 2.6%

2. ศึกษาปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน) ของเตาผลิตไอน้ำทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เตาดั้งเดิม 200 ลิตร , เตานึ่งแบบ 3 กลับ เตาฟิวชัน และเตาลุงชูชาติ โดยเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิต

กราฟเปรียบเทียบการลดใช้พลังงานในกระบวนการนึ่งก้อนเชื้อเห็ด (MJ/ton ก้อนเชื้อเห็ด ของการลุงชูชาติ เตา 3 กลับ เตาฟิวชัน เตาดั้งเดิม โดยมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน) 15.99 MJ/kg โดยทำการนึ่งจำนวน 24 ครั้ง/ปี ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชุนเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น



ภาพที่ 2 แสดงการลดใช้พลังงานของเตาแต่ละชนิด พบว่า เตาลุงชูชาติ มีการลดใช้พลังงาน 1,252.7 MJ/ton ก้อนเชื้อเห็ดเมื่อเทียบกับเตา 3 กลับ 1,363.3 MJ/ton ก้อนเชื้อเห็ด เตาฟิวชัน 1,385.9 MJ/ton ก้อนเชื้อเห็ด และการใช้พลังงานสูงสุดคือ เตาดั้งเดิม 1,412.6 MJ/ton ก้อนเชื้อเห็ด

3. ทำการวิเคราะห์การใช้ต้นทุนในกระบวนการผลิต

คำนวณค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต โดยมีรายการ วัสดุ ถุงพลาสติก ฝาขวด ฟืน ค่าไฟฟ้า ค่าแรง เชื้อเห็ด ที่ต้องคำนวณค่าใช้จ่าย เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในกระบวนการผลิต

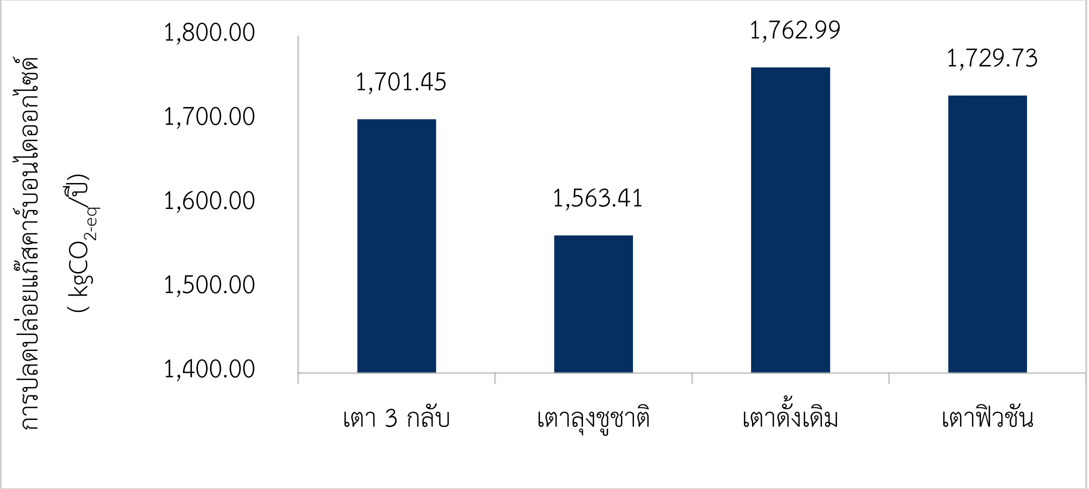
ตารางที่ 5 ข้อมูลการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเห็ด

รายการวัสดุ	ราคา	ต้นทุน (บาท/tonก้อนเชื้อเห็ด)
ขี้เลื่อย	600 บาท/ton	600
ถุงพลาสติก	โลละ 80 บาทใช้ 5โล	400
ฝาขวด	1000 ชิ้น อันละ 25 สตางค์	250
ฟืน	101.6/g × 0.6	60.96
ค่าไฟฟ้า	3.50 บาท	239.84
ค่าแรง	250 บาท	250
เชื้อเห็ด	ขวด 7 บาท ใช้งาน 10 ขวด	70

ตารางที่ 5 ข้อมูลการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตเห็ด ที่มีต้นทุนมากที่สุด ขี้เลื่อย 600 บาท/tonก้อนเชื้อเห็ด และ มีต้นทุนการใช้เชื้อเพลิง(แข็ง)น้อยที่สุด 60.96 บาท/ton ก้อนเชื้อเห็ด

4.ประเมินการลดการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการนึ่งก้อนเชื้อเห็ด

การเปรียบเทียบการลดปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลผลิตต่อปี ของเตาแต่ละชนิด โดยใช้ฟืนในการนึ่งก้อนเชื้อเห็ด เดือนละ 2 ครั้ง โดยเป็นระยะ 24 ครั้งต่อปี



ภาพที่ 3 แสดงการประเมินการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตต่อปี ของเตาแต่ละชนิด พบว่า เตาดั้งเดิมมีการลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด 1,762.99 $kgCO_{2\text{-}eq}$/ปี

สรุปผลการวิจัย

ค่าพลังงานในแต่ละขั้นตอนหลักประกอบดังต่อไปนี้ 1.การบดผสมโดยมีการใช้งานเครื่องจักรมีการใช้พลังงาน 41.9 MJ/ton ก้อนเชื้อเห็ด 2.การนึ่งก้อนเชื้อเห็ดค่าความร้อนเชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน) 15.99 MJ /kg โดยทำการนึ่งจำนวน 24 ครั้ง/ปี ปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดเฉลี่ย 1,353.6 $MJ/ton_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ 3.การพักในโรงเรือนโดยประเมิน 1 วัน รดน้ำ 2 ครั้งทุกวัน โดยเป็นระยะเวลา 4 เดือน (มีอายุเก็บเกี่ยว 4 เดือน)มีการใช้พลังงานในกระบวนการพักในโรงเรือนของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ทั้งหมด 204.86 $MJ/ton_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$

ผลการศึกษาหาแนวทางการในการลดใช้พลังงานในกระบวนการผลิต มีใช้การพลังงานทั้งหมด1,600.37 MJ/ton $_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ การนึ่งก้อนเชื้อเห็ดมีปริมาณการใช้พลังงาน 84.6% และกระบวนการพักในโรงเรือน ปริมาณการใช้พลังงาน 12.8% และมีกระบวนการบดผสมมีปริมาณใช้พลังงาน 2.6%

พบว่า เมื่อเปรียบเทียบการลดใช้พลังงานความร้อนจากการใช้เชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน) ของเตาผลิตไอน้ำทั้ง 3 ชนิด เปรียบเทียบกับเตาดั้งเดิม 200 ลิตร ได้แก่ 1.เตานึ่งแบบ3กลับ 2.เตาฟิวชัน 3.เตาลุงชูชาติ จะเห็นได้ว่ามีการเปรียบเทียบการลดใช้พลังงานของเตาทั้ง 3 ชนิด โดยเตาลุงชูชาติมีการลดใช้พลังงาน 1,252.7 MJ/ton $_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ เมื่อเปรียบเทียบกับเตาดั้งเดิม 1,412.6 MJ/ton $_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ ที่ใช้พลังงานสูงสุด ผลต่างของเตาที่ลุงชูชาติและเตาดั้งเดิม 418.5 $MJ/ton_{\text{ก้อนเชื้อเห็ด}}$ และการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลผลิตต่อปี ของเตาผลิตไอน้ำทั้ง 3 ชนิด เปรียบเทียบกับเตาดั้งเดิม 200 ลิตร พบว่าเตาดั้งเดิมมีการลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด 1,762.99 $kgCO_{2\text{-}eq}$/ปี และเตาลุงชูชาติมีการลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด 1,563.41 $kgCO_{2\text{-}eq}$/ปี ผลต่างระหว่างเตาดั้งเดิมกับเตาลุงชูชาติ 199.58 $kgCO_{2\text{-}eq}$/ปี

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย ได้งบสนับสนุนจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน เรื่องการประเมินการจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชุนเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ต่อการปรับเปลี่ยนเตาผลิตไอน้ำก้อนเห็ด ซึ่งได้รับความกรุณาช่วยเหลือให้คำแนะนำจาก ผศ.ดร.รวิภา ยงประยูร ผศ.ดร.วศิน์วิโรตม์ เนติศักดิ์ และวราคม วงค์ชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ได้ให้ขั้นตอนการทำวิจัยเป็นไปได้ด้วยความเรียบร้อย จนสำเร็จทางคณะผู้จัดทำโครงการ ขอบคุณพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ ขอกราบขอบพระคุณชาวบ้านชุมชนบ้านทุ่งบ่อแป้น อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่มีส่วนร่วมในโครงการวิจัยนี้ ที่ให้สถานที่ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] รวิภา ยงประยูร ลัดดาวัลย์ เสียงเย็น วราคม วงศ์ชัย และวีระพันอินทร์(2561) การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ดแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน บ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง การประชุมสัมมนาวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 วันที่ 28-30 พฤศจิกายน 2561 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง หน้าที่ 12

[2] บัญชา ใต้ศรีโคตร,ประสพสุข สร้อยทองและธราธิปภู่ระหงษ์ (2557)การออกแบบและประสิทธิภาพเตานึ่งก้อนเชื้อเห็ด การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 7 วันที่ 6 พฤศจิกายน 2557 หน้าที่ 43-48

[3] ชัยสิทธิ์ สนิทไทย และปริญ คงกระพันธ์ (2560) งานวิจัยเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไอน้ำเชื้อเพลิงชีวมวลต้นแบบเพื่อการผลิตข้าวแคบของกลุ่มวิสาหกิจชุมชุนยางกะไดใต้ การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 วันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ หน้าที่ 40

[4 วีระวัฒน์ ศรีชา นุชิดา สุวแพทย์ และ โสภา แคนสี. (2557) การพัฒนาหม้อผลิตไอน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงจากฟืนสำหรับตู้นึ่งก้อนเชื้อเห็ดระดับเกษตรกร. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ฉบับพิเศษ ประจำเดือนกันยายน 2557.

[5] นิธิพัฒน์ ตลึงจิตร ปฏิพัฒน์ ยอดดี และรวิภา ยงประยูร (2560) การพัฒนาสมรรถนะเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง “รุ่นสุดพลัง” สำหรับการใช้งานกับ เศษซังข้าวโพดทดแทนแก๊สหุงต้มในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนจังหวัดลำปาง . การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13 วันที่31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ หน้าที่ 40

[6]คุณากร เครืออุ่น รัฐพงษ์ ตาปัญโย และธนวัฒน์ โสภารัตน์ (2561) การออกแบบประเมินประสิทธิภาพในการใช้งานเตานึ่งก้อนเชื้อเห็ดประหยัดแบบสามกลับ สำหรับกลุ่มอาชีพเห็ดแบบบรรจุถุงพลาสติกจังหวัดลำปาง สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

การศึกษาความพึงพอใจของชุมชนต่อการจัดการพลังงานของบริษัทปิโตรเคมีที่คัดเลือก
Community Satisfaction Survey on Energy Management for Selected Petrochemical Company

ศรัณย์ ข่อยงาม[1*] และ ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์[2]
[1]หลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

บทคัดย่อ

บทความการศึกษาเรื่องนี้ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดำเนินงานความรับผิดชอบต่อสังคม ด้านการจัดการพลังงาน ซึ่งสอดคล้องกับประเด็นด้านพลังงานที่ระบุในเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยนของ UN Sustainable Development Goals (SDGs) ข้อที่ 7) Affordable and Clean Energy (พลังงานสะอาดที่ทุกคนเข้าถึงได้) ซึ่งจะใช้ข้อมูลวิเคราะห์กลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมี พร้อมใช้วิธีการสำรวจข้อมูลทุติยภูมิ พร้อมวิเคราะห์พฤติการรมการดำเนินงานด้านการจัดการพลังงานในกลุ่มบริษัทสินค้าอุตสาหกรรม (INDUS) ประเภทปิโตรเคมีและเคมีภัณฑ์ (PETRO) ที่จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทยจำนวน 16 บริษัท เพื่อ 1) เก็บข้อมูลเชิงตัวเลข คือ ทุนจดทะเบียน และสถิติการใช้พลังงานภายในบริษัท 2) เก็บข้อมูลเชิงคุณภาพการดำเนินงาน CSR และ SDGs จากรายงนประจำปี และเว็บไซต์ของแต่ละบริษัท 3) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงตัวเลข และข้อมูลเชิงคุณภาพ จากผลการสำรวจจะเห็นได้ว่า 1) ความสัมพันธ์ระหว่างทุนจดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์ของ บริษัทในกลุ่มสินค้าอุตสาหกรรม (.INDUS) ประเภทปิโตรเคมีและเคมีภัณฑ์ (PETRO) กับ การดำเนินงานความรับผิดชอบต่อสังคมด้านพลังงาน ไม่ได้มีรูปแบบที่ชัดเจน 2) บริษัทที่มีทุนจดทะเบียนต่างกัน ที่ดำเนินงานรับผิดชอบต่อสังคมด้านพลังงาน ใช่วิธีการพื้นฐานที่มีรูปแบบเดียวกันคือการให้ความรู้และให้คนในองค์กรณ์มีส่วนร่วม 3) บริษัทที่มีทุนจดทะเบียนที่สูงกว่า มีความสามารถที่จะดำเนินงานด้านพลังงานที่มีระบบและมีมาตรฐานที่ดีกว่า

คำสำคัญ: ความรับผิดชอบต่อสังคม Sustainable Development ปิโตรเคมี การจัดการพลังงาน

* Corresponding author: Tel.: 086-337-8865. E-mail address: SARUN.KO@PTTGCGROUP.COM

บทนำ

ความรับผิดชอบต่อสังคมของบริษัท (Corporate Social Responsibility: CSR) คือ แนวคิดที่บริษัทดำเนินการสนับสนุนให้สังคมดีขึ้นและสิ่งแวดล้อมสะอาด ผ่านกระบวนการจัดการการปฏิสัมพันธ์กับผู้มีส่วนได้เสียขององค์กร ได้แก่ ลูกค้า คู่ค้า ครอบครัว พนักงาน ประชาชน การมีส่วนร่วมในการพัฒนาชุมชนท้องถิ่นที่องค์กรตั้งอยู่ การพิทักษ์รักษาสิ่งแวดล้อม ยึดหลักจริยธรรม และ ธรรมาภิบาลในการบริหารองค์กร ด้วยความสมัครใจ โดยมีจุดเริ่มต้นจากการประชุม Earth Summit ที่กรุงริโอเดจาเนโร ประเทศบราซิล เมื่อปี 1992 ซึ่งมุ่งเน้นการสร้างความสมดุลใน 3 ด้าน ได้แก่ เศรษฐกิจ (Economic) สังคม (Social) และสิ่งแวดล้อม (Environment)

ในปี 2002 UN World Summit on Sustainable Development ที่เมืองโจฮันเนสเบิร์กเป็นจุดที่สหประชาชาติและประเทศสมาชิก รวมถึงประเทศไทย ได้จัดทำเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (UN Sustainable Development Goals–SDGs) และได้สิ้นสุดลงในปี 2015 เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของการพัฒนา องค์การสหประชาชาติจึงได้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาขึ้นใหม่โดยอาศัยกรอบความคิดที่มองการพัฒนาเป็นมิติ (Dimensions) ของเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมให้มีความเชื่อมโยงกัน เรียกว่า เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน หรือ Sustainable Development Goals (SDGs) ซึ่งจะใช้เป็นทิศทางการพัฒนาตั้งแต่เดือนกันยายน ปี 2015 ถึงเดือนสิงหาคม 2030 ครอบคลุมระยะเวลา 15 ปี โดยประกอบไปด้วย 17 เป้าหมายคือ 1) ขจัดความยากจน 2) ขจัดความหิวโหย 3) มีสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี 4) การศึกษาที่เท่าเทียม 5) ความเท่าเทียมทางเพศ 6) การจัดการน้ำและสุขาภิบาล 7) พลังงานสะอาดที่ทุกคนเข้าถึงได้ 8) การจ้างงานที่มีคุณค่าและการเติบโตทางเศรษฐกิจ 9) อุตสาหกรรม นวัตกรรม โครงสร้างพื้นฐาน 10) ลดความเหลื่อมล้ำ 11) เมืองและถิ่นฐานมนุษย์อย่างยั่งยืน 12) แผนการบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน 13) การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ 14) การใช้ประโยชน์จากมหาสมุทรและทรัพยากรทางทะเลอย่างยั่งยืน 15) การใช้ประโยชน์จากระบบนิเวศทางบกอย่างยั่งยืน 16) ส่งเสริมสังคมสงบสุข ยุติธรรม ไม่แบ่งแยก เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน 17) สร้างพลังแห่งการเป็นหุ้นส่วนความร่วมมือระดับสากลต่อการพัฒนาที่ยั่งยืน [1]

รูปที่ 1 Sustainable Development Goals (SDGs) **[1]**

อุตสาหกรรมปิโตรเคมีเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ กระบวนการผลิตซับซ้อน ใช้พลังงานในปริมาณมาก และมีความเชื่อมโยงกันสูงในแต่ละขั้นตอนการผลิต ดังนั้นโรงงานปิโตรเคมีมักมี ลักษณะเป็น Petrochemical complex สำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในประเทศไทยได้เริ่มต้นเมื่อมีการค้นพบก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทย เมื่อปี 1973 เพื่อใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงได้พัฒนาอุตสาหกรรมปิโตรเคมีของประเทศและใช้พื้นที่บริเวณมาบตาพุด จ.ระยอง พัฒนาเป็นนิคมอุตสาหกรรมปิโตรเคมีหลักของประเทศนับตั้งแต่นั้นมา โดยมีจุดมุ่งหมายการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้า และพัฒนาต่อมาเรื่อยๆจนพลิกสถานะเป็นผู้ส่งออก และกลายเป็นอุตสาหกรรมส่งออกหลักอันดับต้นๆของประเทศไทย พร้อมกับการปรับตัวสู่การแข่งขันอย่างเต็มรูปแบบ [2]

เนื่องจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี มีสถานที่ตั้งใกล้ชิดกับชุมชน ทำให้การมีส่วนร่วมของชุมชนและการพัฒนาชุมชน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินความรับผิดชอบต่อสังคมของภาคอุตสาหกรรม เพื่อการอยู่ร่วมกันอย่างยั่งยืนระหว่างชุมชนและภาคอุตสาหกรรม โดยการลดและป้องกันปัญหาทางสังคม สิ่งแวดล้อม และการคัดค้านจากชุมชน ซึ่งได้มีการศึกษารูปแบบการจัดการความรับผิดชอบต่อสังคมด้านการมีส่วนร่วมต่อชุมชนเพื่อความยั่งยืนของเขตประกอบการอุตสาหกรรม โดยใช้วิธีการวิจัยทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ พบว่าการอยู่ร่วมกันอย่างยั่งยืนระหว่างชุมชนและภาคอุตสาหกรรม ประกอบด้วย 6 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ 1) เป้าหมายการอยู่ร่วมกันในด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ สังคม และการศึกษา 2) ชุมชนแห่งการเรียนรู้และการสื่อสาร 3) สถาบันวิชาการ หรือศูนย์ข้อมูล 4) การปฏิบัติตามกฎหมาย และความรับผิดชอบต่อสังคมในกระบวนการผลิต 5) การมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน และ 6) การได้มีส่วนร่วมตัดสินใจ ติดตาม และตรวจสอบจากชุมชน [3] อย่างไรก็ตาม การมีการมีรูปแบบการบริหารจัดการความรับผิดชอบต่อสังคมที่ดีเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะเกิดการอยู่ร่วมกันอย่างยั่งยืนได้ จำเป็นต้องอาศัยการตัดสินใจลงมือปฏิบัติตามแผนนั้นด้วย ซึ่งได้มีการศึกษาถึงการดำเนินความรับผิดชอบต่อสังคมของบริษัทที่จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทยในด้านต่างๆ ซึ่งได้แสดงให้เห็นว่า บริษัทในตลาดหลักทรัพย์ฯ ให้ความสำคัญต่อ ความรับผิดชอบต่อสังคมด้านเศรษฐกิจ ด้านกฎหมาย และด้านจริยธรรม ในระดับสูงมาก ในขณะที่ความรับผิดชอบในด้านสังคมอยู่ในระดับสูง [4]

จึงเป็นที่มาของการศึกษาเรื่องนี้ โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดำเนินงานความรับผิดชอบต่อสังคมด้านการจัดการพลังงาน ซึ่งสอดคล้องกับประเด็นด้านพลังงานที่ระบุใน Sustainable Development Goals ข้อที่ 7) พลังงานสะอาดที่ทุกคนเข้าถึงได้ โดยใช้ข้อมูลจากกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

วิธีการวิจัย

ส่วนที่ 1) การศึกษานี้ใช้วิธีการสำรวจข้อมูลทุติยภูมิ และวิเคราะห์พฤติกรรมการจัดการพลังงานจากบริษัทในกลุ่มสินค้าอุตสาหกรรม (INDUS) ประเภทปิโตรเคมีและเคมีภัณฑ์ (PETRO) ที่จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศ จำนวน 16 บริษัท เพื่อ 1) เก็บข้อมูลเชิงตัวเลข คือ ทุนจดทะเบียน และสถิติการใช้พลังงานภายในบริษัท 2) เก็บข้อมูลเชิงคุณภาพการดำเนินงาน CSR หรือ SDGs จากรายงานความยั่งยืนแบบบูรณาการประจำปี [5] [6] และเว็บไซต์ของแต่ละบริษัท 3) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงตัวเลข และข้อมูลเชิงคุณภาพ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการสำรวจข้อมูลบริษัทในกลุ่มสินค้าอุตสาหกรรม (INDUS) ประเภทปิโตรเคมีและเคมีภัณฑ์ (PETRO) ที่จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย มีทั้งหมด 16 บริษัท แยกกลุ่มตามทุนจดทะเบียน ได้ 3 กลุ่ม ตามตารางที่ 1 ได้แก่ กลุ่มที่ทุนจดทะเบียนต่ำกว่า 1,000 ล้านบาท มี 9 บริษัท กลุ่มนี้มีการระบุประเด็นเรื่องการจัดการและการอนุรักษ์พลังงานสำหรับพนักงานในองค์กร มีมาตรการที่พนังงานส่วนใหญ่สามารถมีส่วนร่วมได้ เช่นการปิดไฟ ปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงพักกลางวัน และอบรมให้ความรู้ แต่ไม่ได้มีมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่มีทุนจดทะเบียนระหว่าง 1,000 – 2,000 ล้านบาท มี 3 บริษัท พบว่ากลุ่มนี้ไม่มีการกล่าวถึงประเด็นการจัดการพลังงานในระดับนโยบาย กลุ่มสุดท้าย เป็นกลุ่มที่มีทุนจดทะเบียนสูงกว่า 2,000 ล้านบาท ทุกบริษัทในกลุ่มนี้ให้ความสำคัญต่อประเด็นการการจัดการพลังงาน มีมาตรการที่พลังงานสามารถมีส่วนร่วมได้ มีการลดใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิต พร้อมทั้งมีมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001

ตารางที่ 2 นโยบายการจัดการพลังงานจัดกลุ่มตามทุนจดทะเบียน

ทุนจดทะเบียน	จำนวน (บริษัท)	ระบุประเด็นการจัดการพลังในนโยบาย (บริษัท)	มีมาตรฐานระบบการจัดการพลังงาน ISO 50001
ต่ำกว่า 1,000 ล้านบาท	9	8	-
1,000 – 2,000 ล้านบาท	3	-	-
สูงกว่า 2,000 ล้านบาท	4	4	3

สรุปผลการวิจัย

จากผลการสำรวจจะเห็นได้ว่า 1) ความสัมพันธ์ระหว่างทุนจดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์ของ บริษัทในกลุ่มสินค้าอุตสาหกรรม (INDUS) ประเภทปิโตรเคมีและเคมีภัณฑ์ (PETRO) กับ การดำเนินงานความรับผิดชอบต่อสังคมด้านพลังงาน ไม่ได้มีรูปแบบที่ชัดเจน 2) บริษัทที่มีทุนจดทะเบียนต่างกัน ที่ดำเนินงานรับผิดชอบต่อสังคมด้านพลังงาน ใช่วิธีการพื้นฐานที่มีรูปแบบเดียวกันคือการให้ความรู้และให้คนในองค์กรณ์มีส่วนร่วม 3) บริษัทที่มีทุนจดทะเบียนที่สูงกว่า มีความสามารถที่จะดำเนินงานด้านพลังงานที่มีระบบและมีมาตรฐานที่ดีกว่า เช่น การดำเนินการด้านนโยบายจากผู้บริหารสูงสุดให้ความสำคัญอย่างชัดเจน พร้อมทั้งกำหนดโครงสร้างองค์กรให้มีหน่วยงานจัดการด้านพลังงานมารับผิดชอบโดยตรง และมีโครงการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าร่วมกับชุมชนข้างเคียงอย่างบูรณาการ ซึ่งไม่ได้มีโครงการอนุรักษ์พลังงานเฉพาะภายในบริษัทเท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผศ.ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มีส่วนช่วยทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และงานวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มบริษัทในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เพื่อนำข้อมูลมาประกอบการทำวิจัย ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] “The Global Goal For Sustainable Development,” 3 September 2019. [ออนไลน์]. Available: https://www.un.or.th/globalgoals/th/global-goals/partnerships-for-the-goals/.

[2] “ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี และอุตสาหกรรมพลาสติก,” สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร, 2554.

[3] ธ. บ. แ. ว. เ. โพธิวัฒน์ เผ่าพงศ์ช่วง, “การพัฒนารูปแบบการจัดการความรับผิดชอบต่อสังคมด้านการมีส่วนร่วมของชุมชนเพื่อความยั่งยืนของเขตประกอบการอุตสาหกรรม,” *วารสารวชิ าการพระจอมเกลฎ พระนครเหนือ,* เล่มที่ 3, pp. 644-656, กันยายน 2557.

[4] ธ. ท. แ. อ. ใจแก้ว, “ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความรับผิดชอบต่อสังคมของบริษัทจดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย,” *วารสารวิทยาการจัดการ,* เล่มที่ 1, pp. 23-51, 2556.

[5] บริษัท พีทีที โกลบอลเคมิคอล จำกัด(มหาชน), “รายงานความยั่งยืนแบบบูรณาการประจำปี,” 2561.

[6] บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน), “รายงานพัฒนาความยั่งยืนประจำปี,” 2561.

การใช้พลังงานในการเตรียมพื้นที่สำหรับการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

Energy Consumption of Soil Preparation Process for Maize Production in Northern part of Thailand

เสาวลักษณ์ ทองดี[1], สฤุทธิ์พร วิทยผดุง[2], กันยาพร ไชยวงศ์[3], อุกฤต สมัครสมาน[4], และธเนศ ไชยชนะ[5,*]

[1] ห้องวิจัยเทคโนโลยีพลังงานที่ยั่งยืน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[2] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จ.เชียงราย 57100

[3] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.น่าน 55000

[4] คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก 65000

[5] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ปัจจัยการผลิตและวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยทำการเก็บข้อมูลการใช้ปัจจัยการผลิตโดยตรงจากเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ 12 จังหวัดภาคเหนือของประเทศไทย จำนวนรวมทั้งหมด 1,205 ราย กิจกรรมในการเตรียมพื้นที่สำหรับการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ประกอบด้วยการไถเพื่อปรับสภาพพื้นที่ปลูก และการขุดหลุมสำหรับปลูก ปัจจัยการผลิตที่ใช้ในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย แรงงานคน เวลา น้ำมันเชื้อเพลิง และเครื่องจักรกลทางการเกษตร ทั้งนี้ปัจจัยการผลิตจะถูกนำมาวิเคราะห์เป็นค่าพลังงานโดยใช้ค่าพลังงานเทียบเท่าในการคำนวน ผลการศึกษาพบว่าเกษตรกรมีการไถเพื่อปรับสภาพพื้นที่ปลูก 2-3 ครั้ง ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่โดยใช้รถไถนาแบบนั่งขับ ส่วนการขุดหลุมสำหรับปลูกนั้นมีการใช้ทั้งแรงงานคนและการใช้เครื่องยนต์ในการขุด ปริมาณการใช้พลังงานในการไถเพื่อปรับสภาพพื้นที่ปลูกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 332.01 MJ/Rai สำหรับการไถ 2 ครั้ง และ 476.97 MJ/Rai สำหรับการไถ 3 ครั้ง ทั้งนี้พลังงานในรูปของเครื่องจักรกลทางการเกษตรมีค่าสูงสุดคิดเป็น 65% ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการไถ และพลังงานที่ใช้ในการขุดหลุมสำหรับปลูกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.33 MJ/Rai และ 100.58 MJ/Rai สำหรับการขุดหลุมโดยใช้เฉพาะแรงงานคนและการขุดหลุมที่ใช้เครื่องยนต์ในการขุดตามลำดับ ขั้นตอนการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีการใช้พลังงานสูงที่สุดเท่ากับ 577.55 MJ/Rai

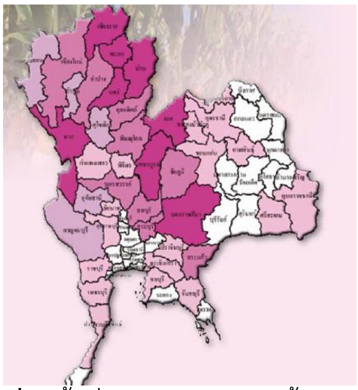
คำสำคัญ: ปริมาณการใช้พลังงาน, ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์, พลังงานเทียบเท่า

บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจหนึ่งที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ของประเทศไทย ซึ่งผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปีตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558-61 [1] เนื่องจากรัฐบาลมีโครงการสนับสนุนการปลูกข้าวโพดหลังฤดูทำนาเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการและช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น โดยการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในแต่ละปีเกษตรกรจะทำการเพาะปลูก 2 ครั้ง รุ่นที่ 1 เริ่มปลูกในช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน และเก็บเกี่ยวในเดือนสิงหาคม-พฤศจิกายน สำหรับรุ่นที่ 2 เริ่มปลูกในเดือนธันวาคม และเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน ของปีถัดไป [2] จากข้อมูลด้านปริมาณเพื้นที่เพาะปลูกรวมทั้งประเทศ พ.ศ. 2559/60 พบว่ามีประมาณ 7.03 ล้านไร่ พื้นที่ภาคเหนือ 64.16%

* Corresponding author: Tel.: 081-5406768. E-mail address: Tanatecha@hotmail.com

รองลงมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 23.61% และภาคกลาง 12.23% โดยแหล่งผลิตที่สำคัญของประเทศ คือ จังหวัดเพชรบูรณ์ 834,584 ไร่ รองลงมา คือ จังหวัดน่าน 732,914 ไร่ [3]



ภาพที่ 1 พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ [4]

กระบวนการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปัจจุบันมีการนำเอาปัจจัยการผลิตและเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้มากขึ้นตั้งแต่กระบวนการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกตลอดจนการเก็บเกี่ยวผลผลิต การใช้พลังงานเป็นหนึ่งในตัวชี้วัดสำคัญสำหรับการพัฒนาการเกษตรแบบยั่งยืน โดยกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนแต่ใช้พลังงานงานทั้งทางตรง เช่น ไฟฟ้า เชื้อเพลิง เครื่องจักร รถแทรกเตอร์ เป็นต้น และทางอ้อมในสารเคมีกำจัดวัชพืช ปุ๋ย และการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักร สำหรับขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ปลูกเป็นขั้นตอนที่สำคัญซึ่งจำเป็นต้องมีการไถเพื่อทำลายวัชพืชและศัตรูพืชในดินบางชนิด และให้ดินร่วนซุยมากยิ่งขึ้นเพื่อรักษาความชื้นของเมล็ดพันธุ์ทำให้มีอัตราการงอกที่ดีและสม่ำเสมอ [5] ทั้งนี้จำนวนครั้งของการไถพรวนนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะดินและสภาพพื้นที่ เช่น พื้นที่ราบ พื้นที่ลุ่ม และพื้นที่ดอน เป็นต้น ซึ่งการใช้พลังงานจากปัจจัยการผลิตดังกล่าว ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นในขณะที่ราคาขายผลผลิตลดลง [6] (ข้อมูลจากรายงานภาวะเศรษฐกิจการเกษตรไตรมาส 2 ปี 2562, เนื่องจากผู้ประกอบการมีการระบายผลผลิตหลังฤดูทำนาออกสู่ตลาดมากขึ้น) ส่งผลให้มีกำไรน้อยหรือขาดทุน และทำให้เกิดภาระหนี้สินตามมา

งานวิจัยนี้จึงทำศึกษาการใช้ปัจจัยการผลิตสำหรับการเตรียมพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ในพื้นที่ 12 จังหวัดภาคเหนือของประเทศไทย โดยเก็บข้อมูลจากเกษตรกรปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และทำการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานจากปัจจัยการผลิต

วิธีการวิจัย

1) ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ 12 จังหวัดภาคเหนือ ประกอบด้วย เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน ลำพูน ลำปาง พะเยา น่าน แพร่ ตาก พิษณุโลก อุตรดิตถ์ และ สุโขทัย จำนวน 197,617 ครัวเรือน [7] และหาขนาดกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการคำนวณจากสูตรของ ทาโร ยามาเน่ (Yamane) [8] ซึ่งได้ขนาดประชากรตัวอย่าง 1,205 ครัวเรือน

2) ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยตรงจากกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จำนวน 1,205 ราย โดยใช้แบบสอบถามในด้านปัจจัยการผลิต ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลทั่วไป ข้อมูลการเพาะปลูก พื้นที่ ชนิด ปริมาณ ผลผลิต และข้อมูลจากการเตรียมพื้นที่ปลูก คือ พื้นที่ทำการเพาะปลูก, ระยะเวลาและจำนวนครั้งที่ใช้ในการเตรียมดิน, จำนวนแรงงานคน, ชนิด ขนาด กำลัง และอายุการใช้งานของเครื่องจักรกลเกษตร, ชนิด ปริมาณ และราคาของเชื้อเพลิง หลักการคัดเลือกพื้นที่สำรวจนั้นจะใช้ข้อมูลจากหน่วยงานของรัฐประกอบจากการขึ้นทะเบียนเกษตรกร โดยเลือกพื้นที่ที่มีการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์หนาแน่น มีความแตกต่างของสภาพพื้นที่และวิธีการดำเนินการที่แตกต่างกัน

3) วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานจากปัจจัยการผลิตที่ใช้ในการเตรียมพื้นที่ โดยการใช้ค่าพลังงานเทียบเท่า (Energy Equivalent) หรือสัมประสิทธิ์พลังงาน จากตารางที่ 1 เพื่อปรับให้เป็นข้อมูลพลังงานภายใต้พื้นฐานเดียวกันคือ MJ/Rai ดังแสดงในสมการที่ 1 และ 2 สำหรับวิเคราะห์พลังงานจากคนหรือสัตว์ และพลังงานจากเชื้อเพลิง (น้ำมัน, ไฟฟ้า) ตามลำดับ

$$\text{Energy (MJ/Rai)} = \frac{\text{Energy Equivalent (MJ/h/unit) x Time (h) x Unit}}{\text{Area (Rai)}} \quad (1)$$

$$\text{Energy(MJ/Rai)} = \frac{\text{Energy Equivalent of fuel (MJ/Unit) x Quantity (Unit)}}{\text{Area (Rai)}} \quad (2)$$

ตารางที่ 1 ค่าพลังงานเทียบเท่าสำหรับวิเคราะห์พลังงาน

ชนิดของพลังงาน		ค่าพลังงานเทียบเท่า		
แรงงาน	คน	1.96	MJ/h/Unit	[9][10][11]
	สัตว์	10.10	MJ/h/Unit	[12][13]
เชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล	43.3	MJ/liter	[9][13]
	น้ำมันเบนซิน	39.7	MJ/liter	[9][13]
	ไฟฟ้า	14.4	MJ/liter	[9][13]
เครื่องยนต์	ปั้มน้ำ (4-6 hp.)	13.59	MJ/Rai	[14]
	รถไถเดินตาม (15-24 hp.)	70.31	MJ/Rai	[14]
	รถไถนั่งขับ (80-110 hp.)	337.6	MJ/Rai	[14]
ยาปราบศัตรูพืช		120	MJ/kg	[11][15]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยจากการเก็บข้อมูลเกษตรกร พบว่าในขั้นการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกการดำเนินงาน 2 กิจกรรม คือ การไถเพื่อเตรียมดิน และการขุดหลุม ซึ่งมีการใช้ปัจจัยการผลิตประกอบด้วย แรงงานคน น้ำมันเชื้อเพลิง และเครื่องจักรกลทางการเกษตร โดยพบว่าลักษณะการดำเนินการของเกษตรกรแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1 มีการไถ 2 ครั้ง ขุดหลุมด้วยแรงงานคน

รูปแบบที่ 2 มีการไถ 3 ครั้ง ขุดหลุมด้วยแรงงานคน

รูปแบบที่ 3 มีการไถ 2 ครั้ง ขุดหลุมด้วยเครื่องจักร

รูปแบบที่ 4 มีการไถ 3 ครั้ง ขุดหลุมด้วยเครื่องจักร

ปริมาณการใช้ปัจจัยในการผลิต (Production Factor)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ปัจจัยการผลิตในการไถเพื่อเตรียมดินนั้นพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้รถไถแบบนั่งขับในการไถคิดเป็น 92% โดยระยะเวลาในการไถและปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลดลงตามจำนวนครั้งที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาการไถรวมเฉลี่ยของทั้ง 12 จังหวัด พบว่าเวลาที่ใช้เท่ากับ 1.07 ชั่วโมง/คน/ไร่ และมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยรวม 2.93 ลิตร/ไร่ สำหรับการใช้ปัจจัยการผลิตสำหรับการขุดหลุม พบว่าการขุดหลุมโดยใช้แรงงานคนจะใช้เวลาในการทำงาน 0.5 ชั่วโมง/คน/ไร่ และการขุดหลุมโดยใช้เครื่องขุดหลุมจะใช้เวลาในการทำงาน 0.2 ชั่วโมง/คน/ไร่ มีการใช้น้ำมันดีเซล 0.69 ลิตร/ไร่ ดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อพิจารณารูปแบบการดำเนินงานของเกษตรกรทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่มีการใช้เวลาในการดำเนินงานอยู่ในช่วง 1.16 - 1.92 ชั่วโมง/คน/ไร่ (เฉลี่ย 1.54 ชั่วโมง/คน/ไร่) และมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันดีเซล 2.67 - 4.43 ลิตร/ไร่ (เฉลี่ย 3.55 ลิตร/ไร่) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การใช้ปัจจัยการผลิตสำหรับการไถและขุดหลุมรายจังหวัด

จังหวัด	การไถ		การขุดหลุม		
	เวลา (ชั่วโมง/คน/ไร่)	น้ำมัน (ลิตร/ไร่)	แรงงาน เวลา (ชั่วโมง/คน/ไร่)	เครื่องยนต์ เวลา (ชั่วโมง/คน/ไร่)	เครื่องยนต์ น้ำมัน (ลิตร/ไร่)
เชียงใหม่	1.76	2.80	-	0.22	0.46
เชียงราย	1.09	2.79	0.45	0.26	0.85
แม่ฮ่องสอน	0.82	1.80	-	0.08	0.60
ลำพูน	0.86	2.02	-	0.18	0.94
ลำปาง	1.25	2.38	0.49	0.19	0.85
น่าน	0.75	3.52	-	0.27	0.75
พะเยา*	1.11	4.17	-	0.2	0.56
แพร่	0.49	2.07	0.41	0.1	0.45
ตาก	0.65	3.27	-	0.18	0.40
สุโขทัย*	1.25	4.20	0.66	0.16	0.78
พิษณุโลก*	1.56	3.04	-	0.27	0.81
อุตรดิตถ์	1.24	3.15	-	0.31	0.83
เฉลี่ย	1.07	2.93	0.50	0.20	0.69

* จำนวนการไถ 3 ครั้ง

ตารางที่ 3 การใช้ปัจจัยการผลิตสำหรับการเตรียมพื้นที่ปลูกรูปแบบต่าง ๆ

รูปแบบที่	จำนวนครั้งของการไถ (ครั้ง)	การขุดหลุม	เวลาในการดำเนินงาน (ชั่วโมง/คน/ไร่)	น้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร/ไร่)
1	2	แรงงานคน	1.46	2.67
2	3	แรงงานคน	1.92	3.74
3	2	เครื่องจักร	1.16	3.36
4	3	เครื่องจักร	1.62	4.43
	เฉลี่ย		1.54	3.55

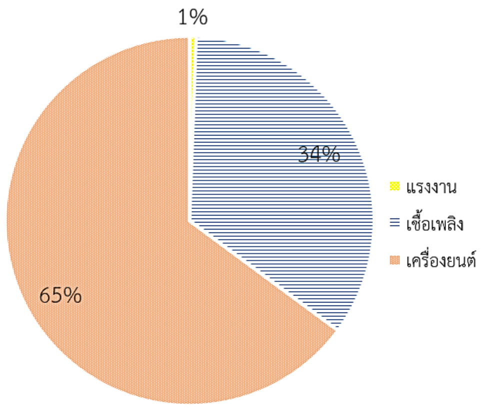
ปริมาณการใช้พลังงานจากปัจจัยการผลิต (Energy Consumption)

2.1 การไถสำหรับเตรียมพื้นที่เพาะปลูก

จากข้อมูลวิธีการไถและการใช้ปัจจัยการผลิตจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงาน ได้แก่ เวลาในการทำงาน จำนวนแรงงาน พื้นที่เพาะปลูก ปริมาณและชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิง และชนิดของรถไถซึ่งเกษตรกรมีใช้ 2 แบบ คือ รถไถนาแบบเดินตาม กับรถไถนาแบบนั่งขับขนาดเล็ก (ไม่เกิน 100 แรงม้า) ผลการวิจัยพบว่า สัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานในการไถจากเครื่องยนต์ เชื้อเพลิง และแรงงาน มีค่าเท่ากับ 65% 34% และ 1% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยกรณีการไถ 2 ครั้ง มีการใช้พลังงานเฉลี่ยรวมเท่ากับ 332.01 MJ/Rai ซึ่งเป็นพลังงานในส่วนของแรงงานคน 1.87 MJ/Rai พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง 115.47 MJ/Rai และพลังงานที่ได้จากเครื่องยนต์ของรถไถ 214.67 MJ/Rai สำหรับกรณีการไถ 3 ครั้ง มีการใช้พลังงานเฉลี่ยรวมเท่ากับ 476.97 MJ/Rai ซึ่งเป็นพลังงานในส่วนของแรงงานคน 2.55

MJ/Rai พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง 164.68 MJ/Rai และพลังงานที่ได้จากเครื่องยนต์ของรถไถ 309.73 MJ/Rai เมื่อพิจารณาร่วมกันพบว่ามีการใช้พลังงานเฉลี่ยรวมเท่ากับ 367.59 MJ/Rai ซึ่งเป็นพลังงานในส่วนของแรงงานคน 2.10 MJ/Rai พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง 127.05 MJ/Rai และพลังงานที่ได้จากเครื่องยนต์ของรถไถ 238.44 MJ/Rai ดังแสดงในตารางที่ 4

ผลจากการวิจัยในกรณีการไถมีการใช้พลังงานจากเครื่องยนต์มากที่สุด ดังนั้นหากปรับใช้เครื่องยนต์ที่มีขนาดเล็กลงก็จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ แต่ทั้งนี้การใช้เครื่องยนต์ที่มีขนาดเล็กนั้นจะใช้เวลาในการดำเนินงานมากขึ้น เมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายอาจจะต้องเสียค่าจ้างที่สูงขึ้นเพราะโดยปกติแล้วการจ้างไถจะคิดเป็นต่อพื้นที่หรือต่อเวลา



ภาพที่ 2 สัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานในการไถตามชนิดของพลังงาน

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้พลังงานในการไถสำหรับเตรียมพื้นที่เพาะปลูก

จังหวัด		ปริมาณพลังงาน (MJ/Rai)			
		แรงงาน	น้ำมันเชื้อเพลิง	เครื่องยนต์	รวม
เชียงใหม่		3.45	121.24	212.60	443.59
เชียงราย		2.16	120.81	225.07	460.56
แม่ฮ่องสอน		1.61	77.94	220.33	410.05
ลำพูน		1.69	87.47	213.13	408.85
ลำปาง		2.45	103.49	220.20	436.24
น่าน		1.47	151.98	181.13	425.15
พะเยา*		2.18	180.56	290.60	473.34
แพร่		0.98	89.63	225.07	428.21
ตาก		1.29	141.59	209.47	457.08
สุโขทัย*		2.45	181.86	314.00	498.31
พิษณุโลก*		3.04	131.63	324.60	459.27
อุตรดิตถ์		2.43	136.40	225.07	476.43
เฉลี่ย	ไถ 2 ครั้ง	1.87	115.47	214.67	332.01
	ไถ 3 ครั้ง*	2.55	164.68	309.73	476.97
เฉลี่ยรวม		2.10	127.05	238.44	367.59

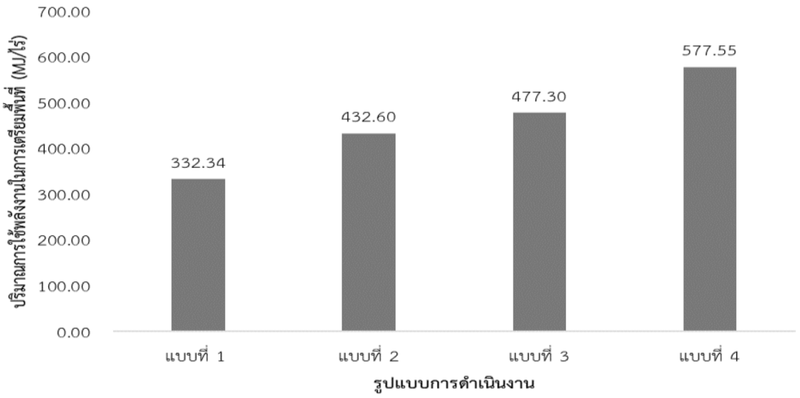
2 การขุดหลุมสำหรับเตรียมพื้นที่เพาะปลูก

จากข้อมูลแบบสอบถามเกษตรกรผู้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การเตรียมหลุมนิยมใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตรมาใช้ในการขุดหลุม โดยเฉพาะพื้นที่แปลงปลูกขนาดใหญ่ และที่ราบ แต่บางพื้นที่ยังจำเป็นต้องใช้แรงงานคนเนื่องจากสภาพพื้นที่ที่ลาดชันหรือพื้นที่ปลูกขนาดเล็ก เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์การใช้พลังงานจากการเตรียมหลุมปลูก พบว่ากรณีการขุดหลุมที่ใช้แรงงานคน จะมีปัจจัยทางด้านพลังงานเพียงอย่างเดียวคือแรงงานคน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.33 MJ/Rai และกรณีการขุดหลุมโดยใช้เครื่องยนต์ พบว่ามีปัจจัยการผลิตด้านพลังงาน 3 ชนิด คือ แรงงานคน น้ำมันเชื้อเพลิง และเครื่องยนต์ของเครื่องจักรกลที่นำมาใช้ โดยพบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 100.58 MJ/Rai ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้พลังงานในการเตรียมหลุมปลูก

กรณีการดำเนินงาน	ปริมาณพลังงาน (MJ/Rai)			
	แรงงาน	เชื้อพลิง	เครื่องยนต์	รวม
กรณีการใช้แรงงานคน	0.33	-	-	0.33
กรณีการใช้เครื่องจักรกลเกษตร	0.40	29.88	70.31	100.58

เมื่อพิจารณาผลการใช้พลังงานรวมในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ปลูกของการดำเนินการทั้ง 4 รูปแบบ จากภาพที่ 3พบว่า รูปแบบที่ 4 มีการใช้พลังงานสูงที่สุดเท่ากับ 577.55 MJ/Rai รองลงมาคือแบบที่ 3, 2 และ 1 มีค่าเท่ากับ 477.3, 432.6 และ 332.34 MJ/Rai ตามลำดับ



ภาพที่ 3 ปริมาณการใช้พลังงานรวมในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่

สรุปผลการวิจัย

จากการเก็บข้อมูลเกษตรกรในพื้นที่ 12 จังหวัดภาคเหนือ จำนวน 1,205 ราย ด้านการใช้ปัจจัยการผลิตในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่สำหรับเพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานในการไถพรวนดินและการขุดหลุม ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การใช้ปัจจัยการผลิตในการไถเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้รถไถแบบนั่งขับ โดยมีการไถซ้ำ 2-3 ครั้ง ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่และสภาพดิน สำหรับการไถ 2 ครั้ง มีการใช้พลังงานเฉลี่ยรวมเท่ากับ 332.01 MJ/Rai และ 476.97 MJ/Rai สำหรับการไถ 3 ครั้ง โดยสัดส่วนการใช้พลังงานส่วนใหญ่มาจากการใช้เครื่องยนต์สูงถึง 65%
2) การใช้ปัจจัยการผลิตสำหรับการขุดหลุมมีทั้งการใช้แรงงานคนซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานเท่ากับ 0.33 MJ/Rai และ 100.58 MJ/Rai สำหรับกรณีเครื่องจักรกลเกษตร โดยส่วนใหญ่ใช้เครื่องจักรในกรณีที่มีแปลงปลูกขนาดใหญ่และเป็นที่ราบ
3) การใช้พลังงานรวมในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่ปลูก ในรูปแบบการดำเนินการโดยการไถ 3 ครั้ง และขุดหลุมด้วยเครื่องจักร มีการใช้พลังงานสูงที่สุดเท่ากับ 577.55 MJ/Rai

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานประสานโครงการวิจัยการพัฒนาเศรษฐกิจจากรากฐานความหลากหลายทางชีวภาพ ปีงบประมาณ 2560 เกษตรกรจำนวน 1,205 รายในพื้นที่ 12 จังหวัดภาคเหนือที่ได้ให้ข้อมูลปัจจัยการผลิตและใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ผลการวิจัย และวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์. (2561). **สถานการณ์ข้าวโพดลี้ยงสัตว์** สืบค้นเมื่อ 19 มิถุนายน 2561, จาก https://www.dit.go.th/Default.aspx.

[2] เทคโนโลยีชาวบ้าน. (ม.ป.ป.). **ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์** สืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2562, จาก https://www.technologychaoban.com/news-slide/article_5225.

[3] สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2560, **พื้นที่เพาะปลูกเข้าโพดเลี้ยงสัตว์** สืบค้นเมื่อ 13 มีนาคม 2561, จาก http://www.erdi.cmu.ac.th/index_main.php.

[4] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (ม.ป.ป.). **พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์** สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2561, จาก http://oaezone.oae.go.th/view/22/index/TH-TH.

[5]Pioneer. (ม.ป.ป.). **วีธีการปลูกข้าวโพด** สืบค้นเมื่อ 2 กันยายน 2562, จาก https://www.pioneer.com/web/site/thailand/resources/indiv-tech-sheets/.

[6] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. **รายงานภาวะเศรษฐกิจการเกษตรไตรมาส 2 ป 2562 และแนวโนมป 2562** สืบค้นเมื่อ 2 กันยายน 2562, จาก http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/bappdata/files/ภาวะฯ%20ไตรมาส%202_2562%20(v1).pdf

[7] สารสนเทศส่งเสริมการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร. (2559). **ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์รุ่น 1** สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2562, จาก http://www.agriinfo.doae.go.th/index.php

[8] มารยาท โยทองยศ และปราณี สวัสดิสรรพ. (ม.ป.ป.). **การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อการวิจัย**. ศูนย์บริการวิชาการ สถาบันส่งเสริมการวิจัยและพัฒนานวัตกรรม.

[9] Chaichana, T., Phethuayluk, S., Tepnual, T. and Yaibok, T. (2014). Energy Consumption Analysis for SANGYOD Rice Production. **Energy Procedia.** 52: p. 126-130.

[10] Samavatean, N., Rafiee. S., Mobli, H. and Mohammadi, A. (2011). An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield, costs and income of garlic production in Iran. **Renewable Energy.** 36(6), 1808-1813.

[11] Omid, M., Ghojabeige, F., Delshad, M. and Ahmadi, H. (2011). Energy use pattern and benchmarking of selected greenhouses in Iran using data envelopment analysis. **Energy Conversion and Management**. 52(1), 153-162.

[12] Mandal M.G., Suda, K.P., Ghosh, P.K., Hati, K.M. and Bandyopadhyay, K.K. (2002) Bioenergyand economic analysis of soybean-based crop production system in central India, **Biomass and Bioenergy.** 23, 337-345.

[13] ปรีชา มาระกะ สุนันทา เอี่ยมสำอาง ณัปวุฒิ ดุษฎี และชูรันต์ ธารารักษ์. (2015). ต้นทุนพลังงานสำหรับกระบวนการผลิตข้าวเหนียวของกลุ่มเกษตรกรประเทศไทยและประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวในภูมิภาคลุ่มน้ำโขง. **วารสารสังคมศาสตร์วิชาการ**. 1(2015), 1-13.

[14] De, D., R. Singh, and H. Chandra. (2001). Technological impact on energy consumption in rainfed soybean cultivation in Madhya Pradesh. **Applied Energy.** 70, 193-213.

[15] Mobtaker, H.G., Keyhani, A., Mohammadi, A. Rafiee, S. and Akram, A. (2010). Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. Agriculture, **Ecosystems & Environment**. 137(3-4), 367-372.

การจัดการชุมชนด้วยนวัตกรรมพลังงานและการมีส่วนร่วม : กรณีศึกษา บ้านกระทม หมู่ 8 ตำบลนาบัว อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์

Community management through energy innovation and participation method Case study: kra-tom moo8 tambon nabua, Maung district, Surin province.

ปรีชา ศรีประภาคาร [1*] วิสูตร ยังพลขันธ์ [2] อาทร แสงสมวงศ์ [3] ทัศนีย์ สุรินทรานนท์ [3] และ ปราสิทธิ์ พงษ์นุเคราะห์ศิริ [4]

[1] สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

[2] ฝ่ายกิจการเพื่อสังคม งานพลังงานชุมชน บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

[3] ห้างหุ้นส่วน เรือนไหมใบหม่อน จำกัด 162 ตำบลในเมือง อำเภอเมือง สุรินทร์ 32000

[4] บริษัท ซินฮวดเฮง นวัตกรรม จำกัด 48 หมู่ที่ 13 ตำบลแกใหญ่ อำเภอเมือง สุรินทร์ 32000

บทคัดย่อ

ตำบลนาบัว อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ รวมมีหมู่บ้านทั้งหมด 19 หมู่บ้าน บ้านกระทม หมู่ 8 เป็นหมู่บ้านหนึ่งในตำบลนาบัว มีบ้านเรือนจำนวน 272 หลังคาเรือน ในหมู่บ้านระบบไฟฟ้าและระบบประปา บ้านกระทมตั้งอยู่ห่างจากที่ว่าการอำเภอเมืองสุรินทร์ ไปทางทิศใต้ประมาณ 20 กิโลเมตร อาชีพหลัก ทำนา อาชีพเสริม รับจ้าง หัตถกรรม เลี้ยงสัตว์ มีแหล่งน้ำธรรมชาติ ส่วนใหญ่มีเฉพาะฤดูฝน ทรัพยากรธรรมชาติในพื้นที่แร่หินบะซอลต์ และมีพื้นที่สัมปทานบริเวณเขตอุตสาหกรรม ป่าไม้ มีอยู่ 2 ลักษณะคือป่าสงวนแห่งชาตินาบัว และป่าทำเลี้ยงสัตว์ จังหวัดสุรินทร์มีการรวมกลุ่มกันขับเคลื่อนและพัฒนาจังหวัดโดยใช้ชื่อว่า กลุ่มไดนามิคสุรินทร์ฟอรัมป์ โดยมีการรวมมือกันหลายภาคส่วนทั้งภาครัฐ ภาควิชาการ ภาคเอกชน และภาคประชาชน ซึ่งการพัฒนาก็มีการทำงานกันหลายมิติและหลายพื้นที่ ซึ่งบ้านกระทมคือหนึ่งในพื้นที่เป้าหมายในนั้น โดยกระบวนการทำงานลำดับแรกคือการประชุมกันในทุกภาคส่วน ซึ่งผลการประชุมแรกคือการวางแผนยุทธศาสตร์ 20 ปี “เอาคนกลับบ้าน พัฒนางานให้เกิดในพื้นที่ พัฒนาแหล่งท่องเที่ยว และใช้นวัตกรรมเป็นตัวช่วยในการขับเคลื่อน”

ผลการดำเนินงานอยู่ในระยะแรกแผน 5 ปี ด้านการจัดการได้เน้นการมีส่วนร่วมของประชาชน และเอกชนในพื้นที่เป็นสำคัญ กิจกรรมแรกคือ นวัตกรรมธนาคารน้ำใต้ดินระบบปิด (Close system ground water bank) มาทำการบริหารจัดการน้ำที่ท่วมขังในพื้นที่ น้ำใช้จากครัวเรือน น้ำท่วมขังในพื้นที่สาธารณะ เพื่อเพิ่มคุณภาพชีวิตที่ดีด้านการจัดการสุขอนามัย ลดการใช้พลังงานในการสูบน้ำท่วมในพื้นที่สาธารณะและเก็บน้ำลงดินเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้น โดยเริ่มจากการจัดตั้งกลุ่ม การอบรมให้ความรู้ การปฏิบัติจริงในจุดสาธิตที่ลูกหลานเรียนหนังสือเพื่อให้ผู้ปกครองเข้าถึงเวลามารับบุตรหลานในโรงเรียน ร่วมกับการของบประมาณสนับสนุนจากภาคเอกชนผู้ประกอบการสัมปทานโม่หินในพื้นที่จนเกิดผลสัมฤทธิ์จำนวน 170 จุด คิดเป็นการมีส่วนร่วม 62.5 % กิจกรรมที่สองคือ นวัตกรรมการจัดการขยะไปเป็นพลังงาน (Waste to energy management) โดยใช้กระบวนการไพโรไลซีส (Pyrolysis process) มาใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการขยะให้เป็นน้ำมัน โดยเริ่มจากการการประชาคมสร้างการรับรู้และกติการ่วมกัน โดยให้ชาวบ้านนำขยะพลาสติกมาแลกกับน้ำมันที่ผลิตจากขยะโดยเทคโนโลยีของผู้ประกอบการเอกชนในจังหวัดสุรินทร์ ซึ่งมีน้ำมันอยู่ 2 ชนิดที่สามารถแลกได้คือน้ำมันดีเซล และน้ำมันเบนซิน โดยขยะน้ำหนัก 3.5 kg สามารถแลกน้ำมันดีเซลได้ 0.8 liter และเบนซินได้ 0.7 liter ทำให้ชุมชนเกิดความตระหนักในการจัดการและพัฒนาชุมชนนำมาซึ่งสภาพแวดล้อมที่ดีเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: การจัดการชุมชน นวัตกรรมพลังงาน การมีส่วนร่วม

---

* Corresponding author: Tel.: 082-6298916. E-mail address: sriprapakhan@hotmail.com

บทนำ

วิกฤตการณ์พลังงานและราคาน้ำมันที่มีความผันผวนสูง ก่อให้เกิดผลกระทบในทุกภาคส่วน ทั้งภาคอุตสาหกรรม และภาคครัวเรือน ทั้งในทางตรงและทางอ้อมส่งผลต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน ของประชาชน ทำให้ต้องแบกรับค่าครองชีพที่สูงขึ้นตามราคาน้ำมันโลก นักวิชาการด้านเศรษฐกิจ ได้คาดการณ์ว่าราคาน้ำมันจะถีบตัวสูงขึ้นจนผู้บริโภคไม่มีกำลังซื้อ ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าในอนาคต ประมาณปี พ.ศ. 2583 สังคมโลกคงต้องเผชิญหน้ากับภาวะการขาดแคลนน้ำมันอย่างแน่นอน [1] โดยเฉพาะประเทศไทย มีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ เป็นมูลค่าสูงในแต่ละปี โดยในปี 2562 คิดเป็นมูลค่าสูงถึง 665,000 ล้านบาท [2] การจัดการพลังงานชุมชนเป็นการเรียนรู้เพื่อให้ประชาชนในชุมชนสามารถบริหารจัดการอย่างครบวงจรและยั่งยืน ผ่านกระบวนการรู้จักตนเองจากค่าใช้จ่าย พลังงานสิ้นเปลือง รู้ศักยภาพวัตถุดิบในท้องถิ่นที่สามารถนำมาเป็นประโยชน์ได้ [3] มีกระบวนการประชุม การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การเลือกใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เหมาะสม นำไปสู่การวางแผน และการสร้างจุดรับรู้ข้อมูลความรู้จะเริ่มตื่นตัวว่าสิ่งที่ทำนั้นได้ประโยชน์จากวัตถุดิบที่มีอยู่ในชุมชน เช่น แก๊สชีวภาพที่สามารถใช้มูลสัตว์ ขยะมาผลิตพลังงาน ชุมชนจะค่อยๆปรับพฤติกรรมหันสนใจมาเรียนรู้มากขึ้นเพื่อนำไปใช้ในครัวเรือน จนเกิดเป็นวิถีนำไปสู่การสร้างความร่วมมือร่วมใจในชุมชนให้ลุกขึ้นมาปฏิวัติวิถีชีวิต ผลักดันสู่นโยบายแผนพัฒนาระดับท้องถิ่น ใช้อย่างพอเพียงเพื่อให้มีใช้อย่างเพียงพอ และเน้นการพึ่งพาตนเองทำให้พวกเขาดำรงชีวิตได้อย่างมีความสุข[4] โดยเทคโนโลยีพลังงานยั่งยืน (Sustainable Energy Technology) มีหลักคิดดังนี้ สะอาด เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่รบกวนสมดุลของระบบนิเวศ ทดแทนได้ใหม่ ใช้เชื้อเพลิงและวัตถุดิบที่สามารถจัดการหมุนเวียนผลิตและใช้ได้อย่างไม่มีวันหมดไป มีความพอดี กับความต้องการใช้งาน มีศักยภาพแห่งทรัพยากรการเรียนรู้เพื่อการจัดการแบบพึ่งพาตัวเองของท้องถิ่น มีประสิทธิภาพ ประหยัดทั้งทรัพยากร แรงงานและค่าใช้จ่าย สุดท้ายต้องง่าย เป็นเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน ชุมชนสามารถจัดการเองได้ [5] ชุมชนบ้านกระทม ตำบลนาบัว จังหวัดสุรินทร์เป็นอีกชุมชนหนึ่งที่มีศักยภาพ ทั้งในด้านบุคลากร ทรัพยากร และงบประมาณ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงการโอกาศด้านการพัฒนาชุมชนโดยมีวัตถุประสงค์การจัดการชุมชนด้วยนวัตกรรมพลังงานและการมีส่วนร่วม เพื่อให้เกิดความยั่งยืนและเป็นต้นแบบด้านการบริหารจัดการตนเองต่อไป

ทฤษฎี และแนวคิดการวิจัย

1. แนวคิดการจัดการ

การจัดการหมายถึง การกำหนดนโยบาย เป้าหมาย ผู้รับผิดชอบ ในการนำไปปฏิบัติ การวางแผนจะต้องรอบคอบต้องมีความรู้ความเข้าใจ และมีการติดตามประเมินผลเพื่อนำไปสู่การ ปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้การจัดการพลังงานนั้นมีประสิทธิภาพและบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ โดยต้องครอบคลุมและให้ความสำคัญในทุกๆมิติ ทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม รวมทั้ง วัฒนธรรม โดยมีการบริหารจัดการที่ดี มีพหุภาคีร่วมทุกขั้นตอนเป็นตัวขับเคลื่อน ระบบการจัดการ [6] จากรายงานติดตามประเมินผลโครงการจัดทำแผนพลังงานในระดับชุมชน สามารถสรุปแนวทางในการจัดการชุมชน ดังนี้ 1. เน้นการพัฒนาอย่างมีส่วนร่วม คือเริ่มตั้งแต่ขั้น ของการคิดริเริ่มการจัดทำโครงการ การวางแผนและพัฒนาโครงการ การลงมือทำ การติดตามผล การรับผลประโยชน์ร่วมกันทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม เพื่อการเป็นเจ้าของร่วมกัน 2. การบูรณาการ จัดกิจกรรม การให้ความรู้และจัดการต้องให้ สอดคล้องกับสภาพชีวิตจริง สามารถที่จะเชื่อมโยงกับกิจกรรมชุมชนและวิถีชีวิต 3. การเรียนรู้พัฒนาภูมิปัญญาจากการปฏิบัติ หลอมรวมเป็นกระบวนการเรียนรู้ก่อเกิดการคิดใหม่ทำใหม่ 4. การจัดหาเทคโนโลยี และนวัตกรรมต้องให้สอดคล้องกับศักยภาพของชุมชน เพื่อให้ชุมชนได้ประโยชน์สามารถสนองตอบความต้องการที่แท้จริงของประชาชนและต้องคำนึงถึงการดูแลรักษา 5. เสริมสร้างความตระหนักรู้ และพัฒนาศักยภาพองค์กรชุมชน ในการจัดการความรู้และ ประสานความร่วมมือกับภาคีหน่วยงานองค์กรท้องถิ่น เพื่อแก้ปัญหาในชุมชนร่วมกันอย่างมีระบบ 6. ยกระดับความรู้ที่บูรณาการคือ ระดับวิชาการ ระดับการจัดการ ระดับวิถี

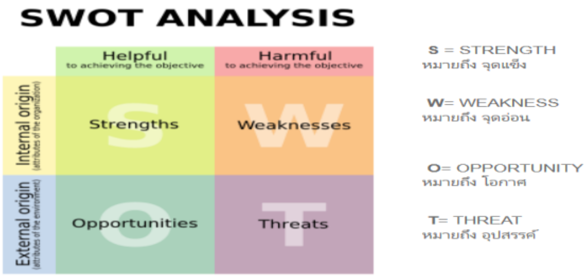
วัฒนธรรม ชุมชนในแต่ละบริบท ให้เกิดการขยายผลที่เป็นรูปธรรม 7. เสริมสร้างพลังการขับเคลื่อนทางสังคมและชุมชน สู่การผลักดันในระดับนโยบาย สาธารณะในการเสริมสร้างความตระหนักร่วมให้กับชุมชนและสังคมในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมกับวิถี วัฒนธรรม ภูมิปัญญาของชุมชนแต่ละบริบท หรือให้ชุมชนเป็นตัวตั้ง และ 8. เสริมสร้างความรู้ให้กับทีมงานในการจัดการความรู้ที่สามารถเชื่อมโยงกับเนื้องานเดิม และใช้ทุนทางสังคมเป็นสื่อสร้างการเรียนรู้ร่วมกันในชุมชนให้เกิดการขับเคลื่อนที่ต่อเนื่องและยั่งยืน

2. แนวคิดการพัฒนาและการจัดการที่ยั่งยืน

ในปี ค.ศ.1983 องค์การสหประชาชาติ นิยาม "การพัฒนาอย่างยั่งยืน" หมายถึง การพัฒนาที่ตอบสนองความต้องการของคนในยุคปัจจุบัน โดยไม่ทำให้คนรุ่นอนาคตต้อง ประนีประนอม เพื่อลดขีดความสามารถที่จะสนองความต้องการของเขาลงไปได้ [7] ได้สรุปการพัฒนาที่ยั่งยืน หมายถึง การพัฒนาที่มีการใช้ทรัพยากรอย่าง ระมัดระวังให้เกิดประโยชน์มากที่สุดที่อยู่ในขอบเขตการอำนวยให้ หรือศักยภาพที่ทรัพยากรนี้จะคืนสู่ สภาพปกติได้ โดยคำนึงถึงมิติทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไป มีกลไกการขับเคลื่อนที่ สำคัญคือการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนในสังคม

3. SWOT Analysis

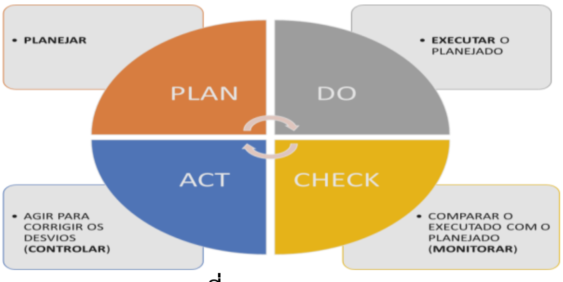
คือ การวิเคราะห์สภาพขององค์กร สังคม หรือชุมชน ณ ปัจจุบัน เพื่อค้นหา จุดแข็ง จุดด้อย โอกาส และอุปสรรค ที่เกิดขึ้นกับทั้งภายในและภายนอกองค์กร เพื่อนำไปวิเคราะห์และหาวิธีพัฒนาหรือแก้ไขกับปัญหาที่เป็นอยู่ ณ ปัจจุบัน โดยสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อย ๆ ก็คือ ปัจจัยภายในองค์กร (Internal origin) และ ปัจจัยภายนอกองค์กร (External origin) แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 SWOT Analysis

4. PCDA Cycle

คือ วงจรการบริหารงานคุณภาพ ย่อมาจาก 4 คำ ได้แก่ Plan (วางแผน) ขั้นตอนการวางแผนครอบคลุมถึงการกำหนดกรอบหัวข้อที่ต้องการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง ซึ่งรวมถึงการพัฒนาสิ่งใหม่ ๆ การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงาน, Do (ปฏิบัติ) ขั้นตอนการปฏิบัติ คือ การลงมือปรับปรุงเปลี่ยนแปลงตามทางเลือกที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการวางแผน, Check (ตรวจสอบ) ขั้นตอนการตรวจสอบ คือ การประเมินผลที่ได้รับจากการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง และ Act (การดำเนินการให้เหมาะสม) ขั้นตอนการดำเนินงานให้เหมาะสมจะพิจารณาผลที่ได้จากการตรวจสอบแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 PCDA Cycle

5. ระบบธนาคารน้ำใต้ดินระบบปิด

ใช้หลักการขุดบ่อเพื่อส่งน้ำไปเก็บไว้ที่ชั้นน้ำบาดาล ขนาดและความลึกของบ่อขึ้นอยู่กับสภาพ และชั้นดินของแต่ละพื้นที่ โดยมีขั้นตอนติดตั้งดังนี้

5.1 ขุดบ่อให้ลึกถึงชั้นหินอุ้มน้ำ ธนาคารน้ำใต้ดินระบบปิด ขุดดินลงไปประมาณ1.5-3เมตร (ไม่เกิน3 เมตร) ลักษณะความกว้างต้องน้อยกว่าความลึก จากนั้นใส่ยางรถยนต์ หรือเศษวัสดุก่อสร้าง หรือหินที่ไม่ย่อยสลายเพื่อป้องกันขอบบ่อพังทลาย

5.2 ใส่วัสดุที่หาได้ในพื้นที่ เช่นขวดน้ำ (ใส่น้ำ 1 ใน 3 ส่วน), ท่อนไม้ หรือเศษปูนให้เต็มช่องว่างด้านนอกยาง

5.3 นำท่อ PVC มาวางตรงกลางบ่อเพื่อเป็นช่องระบายอากาศ นำวัสดุชนิดเดียวกับที่ใส่ช่องว่างด้านนอกมาเติมใส่ช่องว่างด้านในให้เต็ม

5.4 คลุมด้วยผ้าไนล่อน แล้วทับด้วยก้อนหิน และตามด้วยหินละเอียดอีกที เพื่อเป็นตัวกรองให้เศษดิน หรือขยะไม่ให้เข้าไปอุดตันในบ่อ เมื่อฝนตกลงมาน้ำจะไหลสู่ชั้นใต้ดินโดยตรง ผ่านธนาคารน้ำใต้ดิน ระบบปิดที่ทำขึ้นมา

6. ระบบการจัดการขยะด้วยเทคโนโลยีไพโรไลซีส

เทคโนโลยีไพโรไลซิสิส (Pyrolysis Technology) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของพลาสติกจากสภาพของแข็งให้มีขนาดเล็กลงด้วยอุณหภูมิความร้อน 300-500 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษออกมาภายนอก ซึ่งผลผลิตที่ได้รับคือน้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis Oil) หรือ น้ำมันเตา (Fuel Oil) และก๊าซ ก่อนจะนำไปผ่านกระบวนการแยกประเภทน้ำมันมาเป็น น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซลที่พร้อมใช้งาน และในระบบยังสามารถนำน้ำมันและก๊าซบางส่วนกลับเข้าไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนภายในระบบแบบพลังงานหมุนเวียนภายในแสดงดังภาพที่ 3

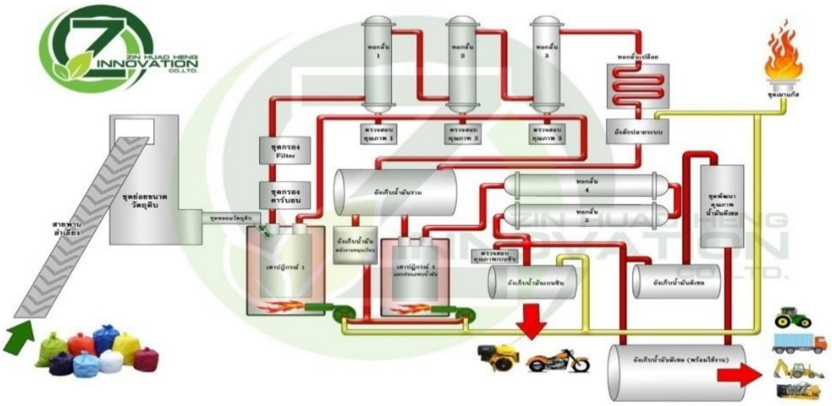
ผลิตภัณฑ์ ที่ได้รับจากกระบวนการไพโรไลซิส

1. น้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis Oil)

- เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม
- เป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียนภายในระบบ
- ขายกลับคืนโรงกลั่นน้ำมัน

2. น้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล (Gasoline Oil & Diesel Oil)

- เป็นเชื้อเพลิงทดแทน เครื่องยนต์ทางการเกษตร ,เครื่องกำเนิดไฟฟ้า , เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น



ภาพที่ 3 กระบวนการไพโรไลซีส

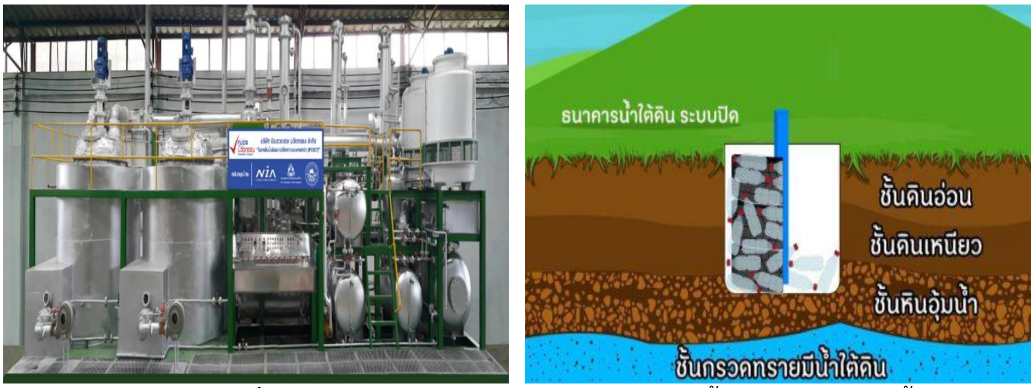
ขั้นตอน และผลการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนแบ่งออกเป็นลำดับดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คือขั้นตอนการประชุมคณะทำงานระดับการวางยุทธศาสตร์ และการกำหนดเป้าหมายโดยการขับเคลื่อนในทุกภาคส่วนโดยอาศัยกลุ่มไดนามิคสุรินทร์ฟอรัมป์ เป็นเจ้าภาพ โดยใช้หลักของ SWOT มาทำการวิเคราะห์ชุมชนและวางแผนในการดำเนินงานโดยใช้หลักการ PCDA ร่วมบริการจัดการ โดยเน้นการมีส่วนร่วมเป็นสำคัญแสดงดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 การประชุมคณะทำงานและวางแผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 2 คือขั้นตอนการเลือกเทคโนโลยีและนวัตกรรม โดยหลักการเลือกเทคโนโลยีและนวัตกรรมยืนอยู่บนความต้องการและปัญหาของชุมชน ซึ่งต้องสอดคล้องกับแผนพัฒนาที่เกิดจากขั้นตอนแรก โดยอาศัยนักวิชาการสำหรับการเลือกสนับสนุนเทคโนโลยีและนวัตกรรม แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เทคโนโลยีและนวัตกรรม การผลิตขยะเป็นน้ำมัน และ ธนาคารน้ำใต้ดิน

ขั้นตอนที่ 3 คือขั้นตอนการจัดประชุม อบรม ให้ความรู้ และปฏิบัติการ ในขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากเพราะต้องอาศัยความร่วมมือหลายส่วนคือ ภาคประชาชนคือชุมชน ชาวบ้านในท้องถิ่น ภาควิชาการ บรรยายและปฏิบัติคือผู้เชี่ยวชาญเทคโนโลยีและนวัตกรรมทำหน้าที่ในการบรรยาย ให้ความรู้ ความเข้าใจ และเข้าถึงเทคโนโลยีและนวัตกรรม รวมไปถึงการพาทำปฏิบัติการจริง และพิสูจน์ทฤษฎีว่าสามารถทำได้จริงเชิงประจักษ์ ให้เกิดความน่าเชื่อถือและการยอมรับ

ภาพที่ 6 การประชุมอบรมให้ความรู้ก่อนการดำเนินกิจกรรม

ภาพที่ 6 เป็นขั้นตอนการจัดประชุมชี้แจงโครงการ อบรมให้ความรู้ ความเข้าใจของชุมชน สร้างการเข้าทุกขบวนการของโครงการ เพื่อให้เกิดการเป็นเจ้าของร่วมกัน และมีส่วนร่วมในการจัดการชุมชนของตนเอง โดยหัวข้ออบรมเทคโนโลยีนวัตกรรมธนาคารน้ำใต้ดิน และการจัดการขยะเป็นน้ำมัน รวมถึงการแสดงผลการทดสอบคุณภาพน้ำมันเพื่อ ให้ทราบถึงมาตรฐานน้ำมันแต่ละประเภท

ภาพที่ 7 การฝึกปฏิบัติการการทำธนาคารน้ำใต้ดินระบบปิด

ภาพที่ 7 เป็นขั้นตอนการฝึกปฏิบัติการทำธนาคารน้ำใต้ดินระบบปิดโดยการให้ประชาชนทุกคนได้ลงมือทำจริง หาวัสดุที่มีในพื้นที่มาเอง และการกำหนดจุดที่มีปัญหาในการจัดการน้ำเพื่อลดสภาวะน้ำขัง เน่าเสีย และเป็นพาหะนำโรงในชุมชน รวมไปถึงการสาธิตการทำงานการรับน้ำของเทคโนโลยีและนวัตกรรมว่าทำงานได้จริง

ภาพที่ 8 กิจกรรมโครงการขยะพลาสติกแลกน้ำมันเชื้อเพลิง

ภาพที่ 8 เป็นขั้นตอนการทำโครงการขยะพลาสติกแลกน้ำมันเชื้อเพลิงโดยการจัดตั้งจุดรับชั่งน้ำหนักและคัดกรองขยะรวมถึงการแลกน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งชนิดดีเซลและเบนซินตามเรทที่ได้กำหนดเป็นกติการ่วมกันไว้

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ด้านเทคโนโลยีนวัตกรรมธนาคารน้ำใต้ดินระบบปิด

ผลการดำเนินการการสาธิตและการปฏิบัติการจริงในการทำธนาคารน้ำใต้ดินระบบปิด จำนวน 1 จุด พบว่า ในระยะแรกชุมชนและชาวบ้านแค่มาดู ศึกษา ณ จุดสาธิต แต่ยังไม่มีการดำเนินการใดๆ เนื่องจาก ขาดแคลนทุนทรัพย์ และยังขาดความเชื่อมั่นว่าเทคโนโลยีทำงานได้จริง ต่อมาเมื่อเข้าฤดูฝน พบว่า ปัญหาน้ำที่เคยสะสมบริเวณที่จัดทำจุดสาธิตนั้นระบบธนาคารน้ำใต้ดินระบบปิดสามารถแก้ไขปัญหาได้ ชาวบ้านในส่วนที่พอมีทุนทรัพย์ก็ได้เริ่มดำเนินการจัดทำระบบธนาคารน้ำใต้ดินระบบปิดในพื้นที่บ้านของตนเองจำนวนหนึ่ง ต่อมาทางคณะทำงานได้ลงพื้นที่ตรวจติดตามและแก้ไขปัญหาโดยการขอรับงบประมาณสนับสนุนจากเอกชนผู้ประกอบการโรงโม่หิน ซึ่งได้รับการตอบสนองเป็นอย่างดี คณะทำงานจึงแบ่งงบประมาณเพื่อสนับสนุนการทำระบบธนาคารน้ำใต้ดินบางส่วนแก่ผู้สนใจ ซึ่งก็ได้รับการตอบสนองทำให้ปัจจุบันมีชาวบ้านทำระบบธนาคารน้ำใต้ดินระบบปิดจำนวน 170 หลังคาเรือน คิดเป็นจำนวนหลังคาเรือนที่ให้ความร่วมมือ 62.5 เปอร์เซ็นต์ และผลจากการสอบถามความพึงพอใจพบว่าชาวบ้านมีความพึงพอใจ 100 เปอเซ็นต์และต้องการที่จะให้เกิดการขยายผลกับชุมชนข้างเคียง ด้านข้อจำกัดของการดำเนินการติดอยู่ที่ปัญหาด้านงบประมาณ

2. ด้านเทคโนโลยีนวัตกรรมการผลิตขยะเป็นน้ำมัน

ผลการดำเนินการการจัดการขยะโดยใช้เทคโนโลยีไพโรไลซีส เมื่อมีการอบรมพบว่าชาวบ้านและชุมชนเริ่มมีการตื่นตัวขึ้นในด้านการบริหารจัดการขยะ จากเดิมชาวบ้านจะเน้นไปที่การทิ้ง การเผา ซึ่งสร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมในชุมชนอย่างมาก คณะผู้วิจัยพบว่า ชาวบ้านมีการรวมกลุ่มกันเก็บขยะ มีการจัดจุดรับขยะพลาสติก มีการคัดแยกขยะที่สามารถนำมาแลกน้ำมันได้มากขึ้น ทำให้สภาพแวดล้อมในชุมชนดีขึ้น สะอาดมากขึ้น และผลจากการสอบถามความพึงพอใจพบว่าชาวบ้านมีความพึงพอใจ 80 เปอเซ็นต์ เนื่องจากการบริหารจัดการจะให้แลกน้ำมันได้เดือนละครั้ง แต่ความต้องการของชาวบ้านและชุมชนต้องการให้มีทุกวันตามที่แต่ละคนจะสะสมได้ ด้านข้อจำกัดของการดำเนินการติดอยู่ที่ปัญหากลิ่นของน้ำมันจะค่อนข้างเหม็น มีกลิ่นพลาสติกติดมาด้วย สูดดมมากๆจะเวียนศรีษะ อยากให้คณะทำงานเร่งแก้ไข

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยสรุปได้ว่า การจัดการชุมชนที่เน้นการมีส่วนร่วมเป็นสำคัญนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่ง และถือเป็นกุญแจสำคัญ (Key success) สำเร็จ โดยจากการถอดบทเรียนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ภาคส่วนด้วยกันคือ ภาคประชาชนผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ สองภาครัฐ สามภาคเอกชน และสี่คือภาควิชาการ ซึ่งการดำเนินการจะต้องลดบทบาททางสังคมออก เพิ่มการมีส่วนร่วมตามหน้าที่และบทบาทที่ตัวเองมีศักยภาพ การรับฟังความคิดที่เห็นต่างเป็นสิ่งสำคัญต่อการพัฒนามาก และสุดท้ายการยอมรับเทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อการจัดการต้องไปด้วยกันเพื่อสร้างความยั่งยืนในการจัดการตนเอง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณชาวบ้านและชุมชนบ้านกระทมที่ให้ความร่วมมือและร่วมดำเนินการกิจกรรมด้วยดีเสมอมา ขอขอบคุณร้านเรือนไหม-ใบหม่อน ที่ให้สถานที่และสถาธารณูปโภคในการจัดการประชุมและดำเนินกิจกรรมทุกครั้ง ขอขอบคุณสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (NIA) ที่ให้ข้อมูลเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ขึ้นบัญชีไว้, ขอขอบคุณผู้ประกอบการโรงโม่หินในพื้นที่ที่ได้ร่วมสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการจัดทำธนาคารน้ำใต้ดินระบบปิดจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี สุดท้าย ขอขอบคุณ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ,มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ที่สนับสนุนบุคลากรร่วมกิจกรรมทุกครั้ง

เอกสารอ้างอิง

[1] ปัทมา ศิริธญัญา. 2549. โครงการงานรวบรวมองค์ความรู้และสร้างต้นแบบ. **แบบเสนอโครงการวิจัยสถาบันถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

[2] ที่มา www.eppo.go.th/images/Energy-Statistics/energyinformation/Energy_Statistics/00All.pdf

[3] กระทรวงพลังงาน. **เอกสารการสัมมนา : การบริหารจัดการพลังงานชุมชนครบวงจร สู่เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน** (SDGs) สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2562, จาก http://www.energy.go.th.

[4] นาฏฤทัย นิยมไทย. 2547. **การจัดทำแผนสิ่งแวดล้อมชุมชนแบบประชาชนมีส่วนร่วมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนของชุมชนบ้านออน หมู่ที่14 อำเภอสันกฏแพง จังหวัดเชียงใหม่.** การค้นคว้าอิสระ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[5] วรีะชน ขาวผ่อง. 2551. **ความรู้การมีส่วนร่วม และความตระหนักต่อระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ของพนักงานในองค์กรที่ได้รับการรับรองมาตรฐานระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (ISO 14001).** ภาคนิพนธ์ คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

[6] รัฐฐาน์ ฤทธิเกริกไกร. 2546. **การจัดระบบการจัดการพลงังาน.** สืบค้นเมื่อ วันที่ 20 กันยายน 2562 จาก http://www.teenet.chiangmai.ac.th

[7] อำไพ หรคุณารักษ์. 2550. **การศึกษาเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนในบริบทไทย.** กรุงเทพฯ: สถาบันสิ่งแวดลอ้มไทย.

การศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟ ของโครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

Selection of appropriate technology for coffee processing wastewater of Doi Tung

วิบุญชัย บุญเป็งแก้ว[1*] ธนพงศ์ ดวงมณี[2] สุเมธ ไชยประพัทธ์[3] และอารยา ทองใส[4]

[1*,2] นวัตกรรมด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน มูลนิธิแม่ฟ้าหลวง ในพระบรมราชูปภัมภ์

920/4 หมู่ที่ 7 อาคารเอนกประสงค์ พระตำหนักดอยตุง ต.แม่ฟ้าหลวง อ. แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย

[3] สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

15 ถ.กาญจนวนิชย์ ต.หาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

[4]สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

15 ถ.กาญจนวนิชย์ ต.หาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

บทคัดย่อ

ระบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR) และระบบ Anaerobic Membrane Reactor (AMBR) ถูกทดสอบเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟ ของโครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ด้วยประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 98 และ 75 ตามลำดับ น้ำเสียขาเข้าระบบ ASBR มีความเข้มข้นของของเสียในรูป COD ประมาณ 20,000 มก./ลิตร และน้ำเสียขาออก มี COD ประมาณ 400 มก./ลิตร มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อขนาดถังปฏิกรณ์ เท่ากับ 0.800 ลบ.มต่อลบ.ม.ต่อวัน ที่ HRT = 13 วัน ในขณะที่ระบบ AMBR สามารถลด COD ของน้ำเสียที่ออกจากระบบ ASBR ต่อจาก 400 มก./ลิตร เหลือประมาณ 100 มก./ลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม (120 มก./ลิตร) อย่างไรก็ตาม น้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟมีเพียงประมาณ 4 เดือนเท่านั้น เพื่อให้จุลินทรีย์ในระบบ ASBR ยังคงมีประสิทธิภาพที่สูงอย่างต่อเนื่อง น้ำที่ออกจากระบบ ASBR ถูกใช้ชะเปลือกกาแฟ และนำกลับมาใส่ในระบบเดิมอีกครั้ง จากการทดลองพบว่า เปลือกกาแฟสามารถถูกใช้ได้นานประมาณ 10 วัน ก่อนที่จะต้องถูกเปลี่ยน ทั้งนี้ ถ้าไม่ต้องใช้ระบบ AMBR เพื่อบำบัดน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐาน ก็สามารถนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วจาก ASBR ไปใช้ในการเกษตรได้

คำสำคัญ: น้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟ; Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR); Anaerobic Membrane Reactor (AMBR); ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ; ก๊าซชีวภาพ; เปลือกกาแฟ;

วิธีการวิจัย

ระบบบำบัดที่เลือกใช้ในการทดสอบการบำบัดน้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟ คือระบบบำบัดแบบไร้อากาศแบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR) และระบบ Anaerobic Membrane Reactor (AMBR) โดยที่ระบบ AMBR ถูกใช้บำบัดน้ำเสียที่ผ่านระบบ ASBR

ระบบ ASBR ขนาดทดลอง ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์ขนาด 1 ลบ.ม. ระบบปั๊มน้ำเข้า-ออก ใบกวน ขนาด 60 cm ติดตตั้งสูงจากก้นถัง 50 cm มอเตอร์กวน ขนาด 1.5 แรงม้า ระบบเก็บและวัดก๊าซชีวภาพ (ถังเก็บก๊าซชีวภาพ) และถังพัก

* Corresponding author: Tel.:087-544-4145. E-mail address: wiboonchai@doitung.org

น้ำเข้า-ออกจากถังปฏิกรณ์ ขนาดถังละ 500 ลิตร ถัง ปฏิกรณ์ดังกล่าวถูกหุ้มด้วยพลาสติกสีดำเพื่อกันแสง และปิดด้วยเต็นท์พลาสติกใสที่มีเครื่องทำความร้อน เพื่อใช้ในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 ระบบบำบัดแบบ ASBR

ระบบ AMBR ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์ขนาดประมาณ 1 ลิตร ระบบปั๊มน้ำเข้า-ออก ระบบน้ำวน ระบบเก็บและวัดก๊าซชีวภาพ (ถังเก็บก๊าซชีวภาพ) และถังพักน้ำเข้า-ออก ถังปฏิกรณ์ถูกหุ้มด้วยผ้าสีดำเพื่อกันแสง ภายในถัง ปฏิกรณ์ มีเส้น Hollow fiber membrane ขนาดรูพรุนเท่ากับ 0.45 ไมครอน จำนวน 20 เส้น ใน ระหว่างการทดลอง ผู้ทำการทดลองได้เปรียบเทียบสภาวะของการดำเนินระบบแบบมีเกล็ดถ่านกัมมันต์ (ขนาด 1-2 มม.) และไม่ใส่ถ่าน เนื่องจากต้องการศึกษาความสามารถของเกล็ดถ่านในการทำความสะอาดเมมเบรน (ภาพที่ 2)

ภาพที่ 2 ระบบบำบัดแบบ AMBR

เพื่อเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ขนาดจริงในช่วงที่ไม่มีน้ำเสียกาแฟ (ระยะเวลา 8 เดือน ใน 1 ปี) ผู้ทำการทดลองได้ทดลองติดตั้งถังชะเปลือกกาแฟ (Leaching bed) เข้ากับระบบ ASBR ขนาดทดลอง ซึ่งถังชะเปลือกกาแฟประกอบด้วย ถังพลาสติก ขนาด 100 ลิตร ด้านใน ถูกเติมด้วยเปลือกกาแฟน้ำหนักประมาณ 40 กก. ปิดไม่ให้อากาศเข้า

น้ำเสียที่ออกมาจากระบบ ASBR (COD = 400 มก./ลิตร) ถูกปั๊มเข้าไปในถังชะที่ด้านบนของถัง และปล่อยตามแรงโน้มถ่วง กลับเข้าไปในระบบ ASBR อีกครั้ง (ภาพที่ 3)

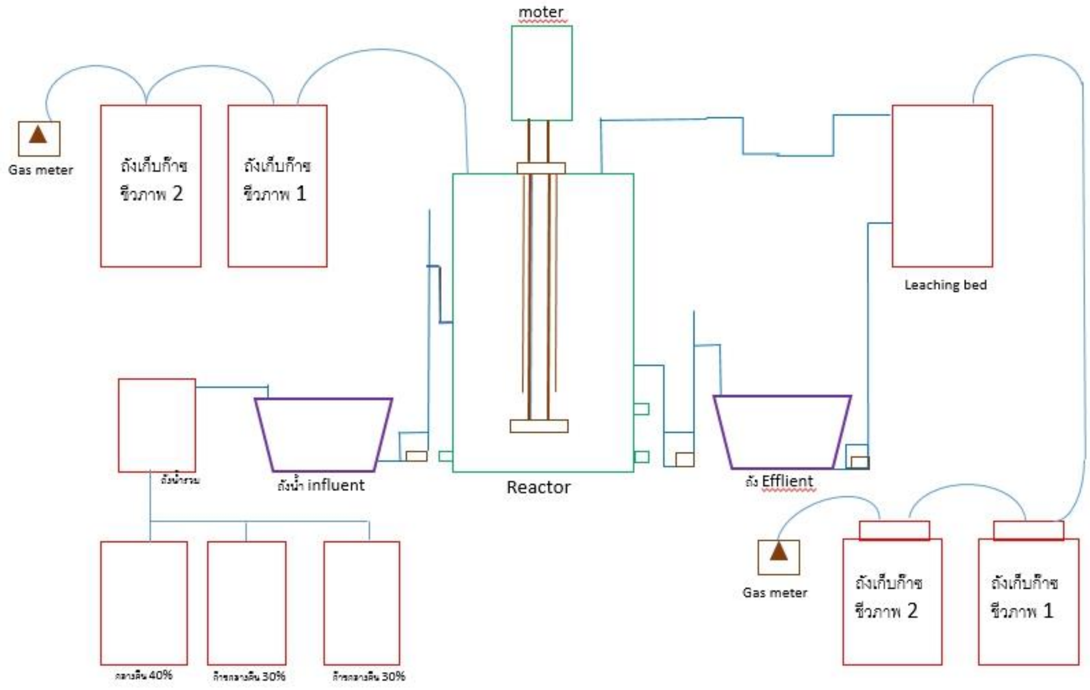
ภาพที่ 3 ระบบชะเปลือกกาแฟ

ถังเก็บก๊าซชีวภาพ มีหน้าที่ในการรับแก็สจากถังปฏิกรณ์ ก่อนส่งไปยังมิเตอร์วัดแก็สประกอบด้วยถังน้ำขนาด 200 ลิตร ที่มีถังขนาด 130 ลิตร ครอบอยู่ จำนวน 2 ชุด (ภาพที่ 4)

ภาพที่ 4 ถังเก็บก๊าซชีวภาพ

ระบบ ASBR ถูกเริ่มดำเนินระบบโดยการปั๊มน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ 3 รอบต่อวัน แต่ละรอบ จะประกอบด้วยขั้นตอน Fill React Settle และ Decant โดยเริ่มจากการดำเนินระบบที่ Hydraulic Retention Time (HRT) เท่ากับ 34 28 23 19 13 และ 10 วัน ตามลำดับ เพื่อหาภาระของระบบที่ สามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟได้ ซึ่งจะใช้เป็นข้อกำหนดในการออกแบบระบบจริง (Full-scale) ต่อไป HRT เป็น ค่าที่สำคัญในการดำเนินระบบบำบัดน้ำเสีย เพราะเป็นค่าที่ระบุว่า น้ำที่เข้ามาบำบัดจะอยู่ในถังปฏิกรณ์นาน เท่าไหร่ ถ้า HRT มากก็แสดงว่าน้ำจะต้องอยู่ในระบบบำบัดนานจึงกว่าจะบำบัดสำเร็จ ซึ่งหมายถึงขนาดถัง ปฏิกรณ์จะต้องมีขนาดใหญ่ ในแต่ละ HRT ระบบ ASBR ถูกดำเนินระบบอย่างน้อย 14 วัน ก่อนที่จะเปลี่ยน HRT ขั้นตอนการทดสอบประกอบด้วย การเติมน้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟจาก

ถังพักเข้าระบบ ASBR จากนั้นจะกวนของเหลวภายในถังปฏิกรณ์ เพื่อการบำบัดมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อเวลาผ่านไปตามที่กำหนด ระบบกวนจะหยุด เพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำในถังปฏิกรณ์ตกตะกอน เป็นการรักษา ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบให้ได้มากที่สุด หลังจากนั้น น้ำใสส่วนบนจะถูกนำออกจากถังปฏิกรณ์ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะถูกเก็บถังก่อนที่จะส่งไปยังมิเตอร์เพื่อวัดปริมาณก๊าซต่อไป (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 แผนภาพระบบบำบัดน้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟ

สำหรับระบบ AMBR น้ำเสียจากระบบ ASBR ที่ถูกเก็บในถังพัก ถูกปั๊มเข้าและออกจากระบบอย่างต่อเนื่อง แต่ก่อนที่น้ำจะออกจากระบบได้นั้น จะต้องผ่าน membrane ก่อน ระบบ AMBR ถูกทดสอบที่ HRT เท่ากับ 14 8 และ 5 ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับสภาวะที่มีถ่าน และไม่มีถ่าน โดยคาดว่า ถ่านการช่วยในการขัด เพื่อไม่ให้ membrane ตันเร็ว ประหยัดพลังงาน และสารเคมีที่ใช้ในการ backwash และ chemical wash ในแต่ละ HRT ระบบ AMBR ถูกดำเนินระบบอย่างน้อย 7 วัน หรือ ให้ค่า TMP สูงสุดที่ 0.5 bar จึงหยุดทำการเดินระบบ

ทั้งนี้ เพื่อรักษาประสิทธภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบ ASBR ในช่วงที่ไม่มีน้ำเสียกาแฟ (ระยะเวลา 8 เดือน ใน 1 ปี) ผู้ทำการทดลองใช้น้ำเสียที่บำบัดแล้วจากระบบ ASBR ไปชะเปลือกกาแฟ แล้วนำน้ำที่ผ่านการชะ กลับเข้ามาเป็นอาหาร ให้กับจุลินทรีย์ในระบบ ASBR การทดลองนี้ ดำเนินการที่ HRT ของระบบ ASBR เท่ากับ 13 วัน และเติมน้ำ เข้าระบบ 3 รอบต่อวัน

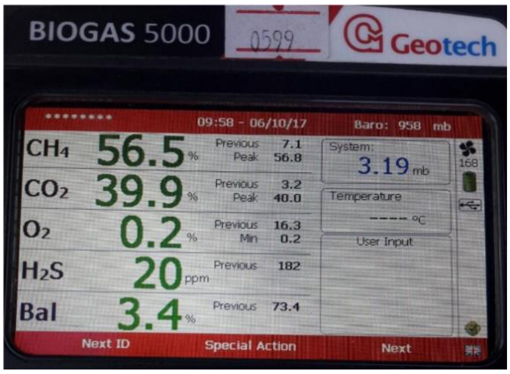
สุดท้าย ผู้ทำการทดลอง ได้นำน้ำเสียก่อนบำบัด และหลังบำบัดด้วยระบบ ASBR มารดน้ำต้น ข้าวโพด จำนวนอย่างละ 5 ต้น เปรียบเทียบกับการที่ใช้น้ำเปล่า และน้ำเปล่าผสมปุ๋ยเคมี 15-15-15 จำนวนอย่างละ 5 ต้น เพื่อทดสอบว่าจะสามารถใช้น้ำเสียที่บำบัดแล้วด้วยระบบ ASBR โดยตรงในการเกษตร โดยไม่ต้องพึ่งการบำบัดด้วยระบบ AMBR ได้หรือไม่ ทั้งนี้ ระหว่างการทดสอบ ระยะเวลา 49 วัน ทุกถุงได้รับปริมาณน้ำเท่ากัน และถูกเรียงแบบ random เพื่อลดผลกระทบของแสงแดด

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบของระบบ ASBR

HRT	ค่า pH เข้า	ค่า pH ออก	COD เข้า (มก./ลิตร)	COD ออก (มก./ลิตร)	Biogas ที่ผลิตได้ (ลบ.ม.ต่อวัน)
34	3.38	6.82	18,742.00	491.69	0.287
28	3.50	6.89	19,399.14	373.83	0.398
23	3.56	6.88	19,377.33	645.93	0.372
19	3.41	6.89	20,725.89	337.26	0.562
13	3.40	6.88	21,048.93	357.62	0.841
10	3.22	6.47	20,557.50	1,948.33	0.700
13	3.59	6.82	17,204.98	437.53	0.524
10	3.80	6.58	25,210.40	582.10	0.555

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่า น้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟเข้าระบบ ASBR มี COD เฉลี่ยประมาณ 20,000 มก./ลิตร และออกระบบที่ประมาณ 400 มก./ลิตร ผู้ทำการทดสอบได้เริ่มดำเนินระบบที่ HRT = 34 วัน และลด HRT ลงไปเรื่อย ๆ จนกว่าระบบ ASBR จะไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่ HRT = 10 วัน จะเห็นว่า น้ำเสียที่ออกจากระบบ มี COD เฉลี่ยสูงถึงกว่า 2,000 มก./ลิตร ซึ่งสูงกว่าค่าปกติคือ ประมาณ 400 มก./ลิตร ประกอบกับค่า Volatile Fatty Acid (VFA) สูงเกินกว่า 2,000 มก./ลิตร ซึ่งบ่งบอก ว่าระบบ ASBR ถึงจุดที่ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้อีกต่อไป จึงถือว่า HRT = 13 วันนั้น เป็นค่าเดินระบบที่ เหมาะสม รูปที่ 6 แสดงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบ ASBR



ภาพที่ 6 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากระบบ ASBR

สำหรับการทดลองของระบบ AMBR ผู้ทำการทดลองดำเนินระบบที่ HRT = 14 8 และ 5 ชม.ตามลำดับ ตราบใดที่ TMP < 0.5 bar แต่ถ้า TMP > 0.5 bar ผู้ทำงานทดลอง จะหยุดระบบทันที เพื่อทำการ chemical และ/หรือ backwash ล้างสิ่งสกปรกออกจาก membrane เพื่อการทดลองครั้งต่อไป จากตาราง ที่ 2 จะเห็นว่า ถ้ามีการใช้ถ่าน ระบบ AMBR สามารถดำเนินได้ที่ HRT = 8 วัน นานถึง 24 วัน แต่ถ้าไม่มีถ่าน ระบบ AMBR จะสามารถดำเนินได้เพียงที่

HRT = 14 วัน นานมากที่สุด 16 วัน ถ้าใช้ถ่าน การทำ backwash เพียงอย่างเดียว สามารถทำให้ระบบดำเนินต่อได้ 6 วัน ที่ HRT = 8 วัน ถ้าทำ Chemical wash จะ ทำให้ membrane กลับสู่สภาพใกล้เคียงของใหม่ รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง สภาพของน้ำก่อน เข้าระบบ ASBR น้ำที่ออกจากระบบ ASBR (น้ำเสียที่เข้าระบบ AMBR) และ น้ำที่ออกระบบ AMBR

ภาพที่ 7 ภาพแสดงการเปรียบเทียบ (1) น้ำก่อนเข้าระบบ ASBR (ซ้าย) (2) น้ำที่ออกจากระบบ ASBR (น้ำเสียที่เข้าระบบ AMBR) (กลาง) และ (3) น้ำที่ออกระบบ AMBR (ขวา)

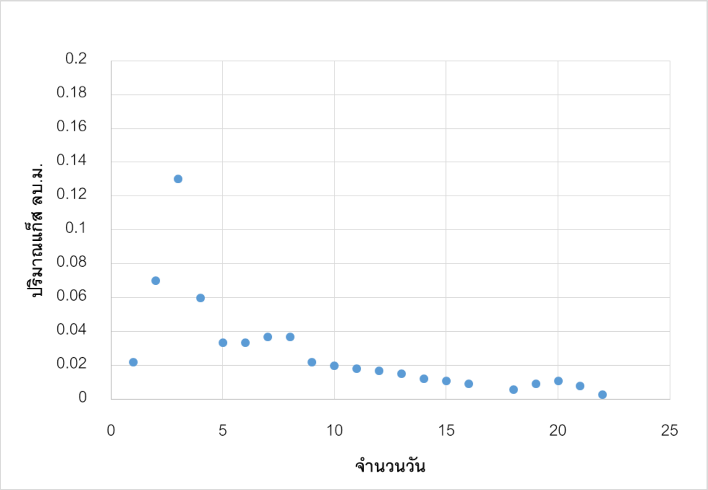
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบของระบบ AMBR

HRT (ชั่วโมง)	pH		COD (mg/l)		การใช้ถ่าน	หมายเหตุ
	เข้า	ออก	เข้า	ออก		
14	7.8	N/D	N/D	N/D	มี	เดินระบบได้18 วัน
8	7.95	N/D	N/D	79.67	มี	เดินระบบต่อได้ อีก 8 วัน
5	7.33	7.64	224.5	75	มี	เดินระบบต่อได้ อีก4 วัน จากนั้น TMP > 0.5 bar
14	8.14	7.56	222.8	82	ไม่มี	Chemical wash แล้ว เดินระบบได้ 11 วัน จากนั้น TMP > 0.5 bar
14	8.66	8.51	214.43	63.86	ไม่มี	Chemical wash แล้ว เดินระบบได้ 16 วัน จากนั้น TMP > 0.5 bar
8	8.49	7.78	356	87.67	ไม่มี	Chemical wash แล้ว เดินระบบได้ 6 วัน จากนั้น TMP > 0.5 bar
5	N/D	N/D	N/D	N/D	ไม่มี	Chemical wash แล้ว เดินระบบได้ 7 ชั่วโมง จากนั้น TMP > 0.5 bar

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบของระบบ AMBR(ต่อ)

HRT (ชั่วโมง)	pH		COD (mg/l)		การใช้ถ่าน	หมายเหตุ
	เข้า	ออก	เข้า	ออก		
8	8.06	8.38	183	83.25	มี	ใช้ membrane ใหม่ เดินระบบได้ 24 วัน จากนั้น TMP > 0.5 bar
8	7.99	8.17	292.33	114.67	มี	Back wash เดินระบบได้ 6 วัน จากนั้น TMP > 0.5 bar
8	8.33	8.41	257.5	115	มี	Back wash เดินระบบได้ 6 วัน จากนั้น TMP > 0.5 bar
8	8.51	8.36	173.67	101.33	มี	Back wash เดินระบบได้ 6 วัน จากนั้น TMP > 0.5 bar
8	8.4	8.24	215.25	77	มี	Back wash + Chemical wash เดินระบบได้ 24 วัน จากนั้น TMP > 0.5 bar

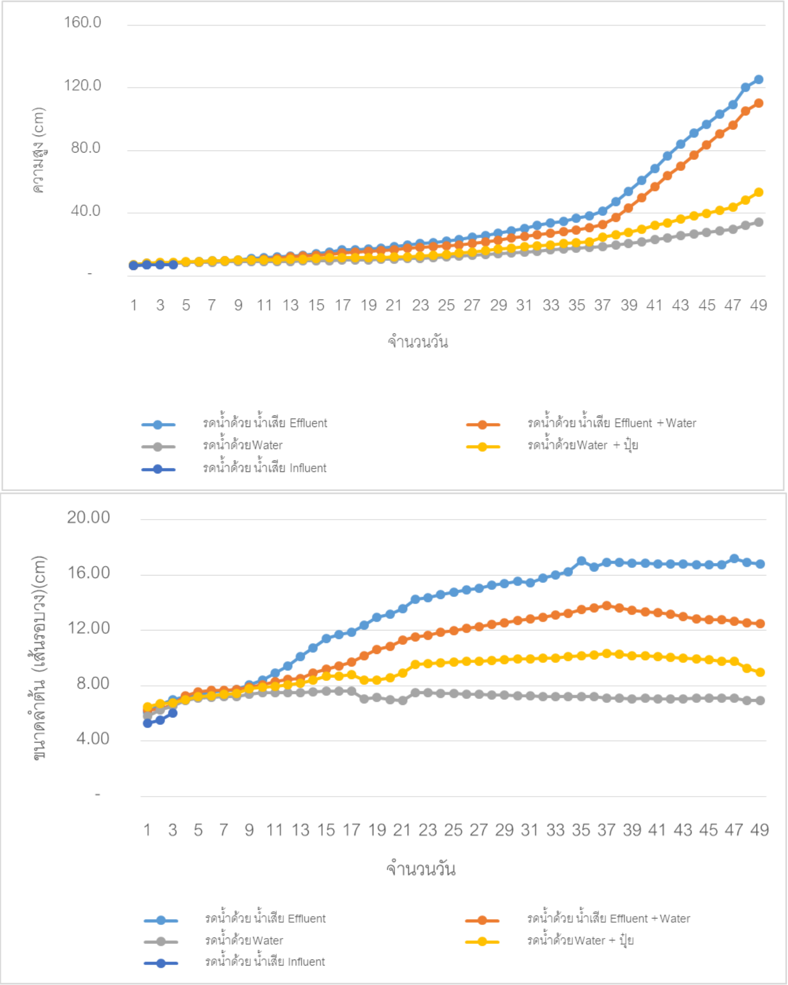
เพื่อรักษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์ในช่วงที่ไม่มีน้ำเสียกาแฟ ผู้ทำการทดลองได้นำน้ำที่ออกจากระบบ ASBR ไปชะเปลือกกาแฟ และนำน้ำที่เกิดจากการชะกลับมาใส่ในถังปฏิกรณ์เหมือนเดิม โดยระบบ ASBR ดำเนินระบบที่ HRT = 13 วัน 3 รอบต่อวัน รูปที่ 6 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จะเห็นว่า ก๊าซชีวภาพมีปริมาณสูงสุดที่ 7 วัน คือเท่ากับ 0.130 ลบ.ม.ต่อวัน (COD = XX) และหลังจากวันที่ 3 ปริมาณก๊าซชีวภาพ ตกลงเหลือ เพียง 0.020 ลบ.ม.ต่อวัน ซึ่งไม่ถึงร้อยละ 20 ของค่าสูงสุด (COD = 10,000 มิลิกรัมต่อลูกบาตรเมตร) ทำให้สรุปได้ว่า ทุก ๆ 10 วัน จะต้องเปลี่ยนเปลือกกาแฟ



ภาพที่ 8 กราฟแสดงผลการผลิตก๊าซชีวภาพ ด้วยการชะเปลือกกาแฟ

สุดท้าย ผู้ทำการทดลองได้นำน้ำที่ออกจากระบบ ASBR มาทดสอบความเป็นปุ๋ยเมื่อเทียบกับน้ำอื่นๆ (รูปที่ 8) จะเห็นว่า ต้นข้าวโพดที่ถูกรดด้วยน้ำที่ออกจากระบบ ASBR มีขนาดใหญ่และสูงกว่าต้นอื่นๆ แต่ถ้านำ น้ำที่ยังไม่ได้บำบัดมารดต้นข้าวโพด ต้นข้าวโพดจะตาย อาจเป็นเพราะน้ำที่ยังไม่ได้บำบัดมีค่า pH ต่ำเกินไป หรือมีปริมาณ COD มากเกินไป รูปที่ 9 แสดงขนาดและความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวโพดที่ทำการทดสอบ

ภาพที่ 9 ภาพเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นข้าวโพดจากการให้ปุ๋ยและน้ำแบบต่างๆ การเรียงถุงปลูก ข้าวโพดเป็นแบบ Random แถวหน้าสุดจากทางซ้าย (1) รดด้วยน้ำก่อนเข้าระบบ ASBR (2) รดด้วย น้ำและปุ๋ยเคมี (3) รดด้วยน้ำประปา (4) รดด้วยน้ำที่ออกจากระบบ ASBR + น้ำประปา และ (5) รดด้วยน้ำที่ออกจากระบบ ASBR ตามลำดับ



ภาพที่ 10 กราฟแสดงขนาดและความสูงเฉลี่ยของต้นข้าวโพดที่ทำการทดสอบ

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟของโครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ พบว่าระบบ Anaerobic Sequencing Batch Reactor (ASBR) และระบบ Anaerobic Membrane Reactor (AMBR) มีประสิทธิภาพในการบำบัดร้อยละ 98 และ 75 ตามลำดับ น้ำเสียขาเข้าระบบ ASBR มีความเข้มข้นของของเสียในรูป COD ประมาณ 20,000 มก./ลิตร และน้ำเสียขาออก มี COD ประมาณ 400 มก./ลิตร มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อขนาดถังปฏิกรณ์ เท่ากับ 0.800 ลบ.มต่อลบ.ม.ต่อวัน ที่ HRT = 13 วัน ในขณะที่ระบบ AMBR สามารถลด COD ของน้ำเสียที่ออกจากระบบ ASBR ต่อจาก 400 มก./ลิตร เหลือประมาณ 100 มก./ลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม (120 มก./ลิตร) อย่างไรก็ตาม น้ำเสียจากการแปรรูปกาแฟมีเพียงประมาณ 4 เดือนเท่านั้น เพื่อให้จุลินทรีย์ในระบบ ASBR ยังคงมีประสิทธิภาพที่สูงอย่างต่อเนื่อง น้ำที่ออกจากระบบ ASBR ถูกใช้ชะเปลือกกาแฟ และนำกลับมาใส่ในระบบเดิมอีกครั้ง จากการทดลองพบว่า เปลือกกาแฟสามารถถูกใช้ได้นานประมาณ 10 วัน ก่อนที่จะต้องถูกเปลี่ยน ทั้งนี้ ถ้าไม่ต้องใช้ระบบ AMBR เพื่อบำบัดน้ำเสียให้ได้ตามมาตรฐาน ก็สามารถนำน้ำเสียที่บำบัดแล้วจาก ASBR ไปใช้ในการเกษตรได้

ผลกระทบจากการให้บริการวิชาการการถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดิน ณ ตำบลวังน้ำขาว อำเภอบ้านด่านลานหอย จังหวัดสุโขทัย

Impact of academic services on knowledge transfer Water Management with Ground Water Bank in WangNamKhao subdistrict, BanDanLanHoi District, Phitsanulok.

อนุพล อัคพิน[1] วีระบูลย์กิตติ ชุมพรผ่อง[1] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1,2*] ธีรภัทร์ พุ่มพลอย[1,3] ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ[1,2]
มลวิภา เมืองพระฝาง[1,2] เฉลิมชัย สังโยคะ[2]

[1] โครงการจัดตั้งสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

[2] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

[3] สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งเน้นนำเสนอผลกระทบจากการให้บริการวิชาการการถ่ายทอดองค์ความรู้เกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดิน ณ ชุมชนตำบลวังน้ำขาว อำเภอบ้านด่านลานหอย จังหวัดสุโขทัย โดยในการให้บริการวิชาการในครั้งนี้มีผู้เข้าร่วมทั้งสิ้น 100 คน ประกอบด้วย ผู้นำชุมชน ครู นักเรียน และประชาชนทั่วไป ซึ่งในการให้บริการวิชาการในแต่ละครั้งต้องมีการติดตามและประเมินผลของการให้บริการวิชาการอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทราบถึงผลที่เกิดขึ้นจากการให้บริการวิชาการครั้งนั้นๆ และให้ทราบถึงการนำไปใช้ประโยชน์ของผู้รับบริการวิชาการ โดยในการติดตามและประเมินผลในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยใช้แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง และมุ่งเน้นสัมภาษณ์เฉพาะผู้ที่เข้ารับบริการวิชาการในครั้งนี้เท่านั้น ซึ่งจากผลการวิเคราะห์แบบสัมภาษณ์ พบว่า ด้านมิติทางสังคม ผู้นำชุมชน ครู นักเรียนและประชาชนทั่วไป สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปปรับใช้ในการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดินในพื้นที่ชุมชนให้สามารถมีน้ำไว้ใช้ในในฤดูแล้งและลดการเกิดอุทกภัยในฤดูฝน และเป็นแหล่งเรียนรู้นอกห้องเรียนให้กับนักเรียน และประชาชนทั่วไป โดยเรียนรู้จากแหล่งประสบการณ์จริงและได้ลงมือปฏิบัติจริง ด้านมิติทางเศรษฐกิจ ผู้นำชุมชน และประชาชนทั่วไป สามารถเป็นต้นแบบแหล่งเรียนรู้ให้ประชาชนพื้นที่อื่นที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดินได้เข้ามาศึกษาแหล่งเรียนรู้ มีการสร้างอาชีพและรายได้เสริมให้กับคนในชุมชน อีกทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการดำรงชีวิตประจำวัน ด้านมิติทางวัฒนธรรม ผู้นำชุมชน ครู นักเรียน และประชาชนทั่วไป ยังคงวัฒนธรรมการใช้ชีวิตเช่นเดิม และสามารถนำความรู้ที่ได้รับจากดำเนินการบริการวิชาการไปใช้ให้เข้ากับวัฒนธรรมของชุมชน ด้านมิติทางสิ่งแวดล้อม มีการปลูกจิตสำนึกของคนในชุมชนในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ผู้นำชุมชน ครู นักเรียนและประชาชนทั่วไป มีการร่วมกันฟื้นฟูทรัพยากรน้ำ ป่า และสิ่งแวดล้อมให้อุดมสมบูรณ์ และด้านมิติทางสุขภาพ ผู้นำชุมชน ครู นักเรียนและประชาชนทั่วไป มีการเสริมสร้างพัฒนาการทางความคิด ทำให้สุขภาพจิตใจ และสุขภาพร่างกายแข็งแรง

คำสำคัญ: ผลกระทบ / การบริหารจัดการน้ำ / ธนาคารน้ำใต้ดิน

*Corresponding author: Tel.: 081-717-8093. E-mail address: nattawutkhao@gmail.com

บทนำ

ทรัพยากรมนุษย์เป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาประเทศ การส่งเสริม สนับสนุนให้ประชาชน มีชีวิตที่ดีขึ้น ไม่ว่าจะทางด้านวัตถุ ทางด้านสังคม ทางด้านเศรษฐกิจ ทางด้านความก้าวหน้าของเทคโนโลยี เพื่ออำนวยความสะดวกสบายในชีวิตแก่พลเมือง รวมถึงการส่งเสริมทางด้านร่างกาย และสภาพจิตใจ ต่างก็เป็นประเด็นที่มุ่งส่งเสริมคุณภาพชีวิตของประชาชนทั้งสิ้น สำหรับกำลังพัฒนาอย่างประเทศไทยเล็งเห็นความสำคัญ “มนุษย์หรือคนในสังคมเป็นหลัก” ดังจะเห็นได้จากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 พ.ศ.2560-2564 มีแนวทางการพัฒนาบนพื้นฐานของการให้ “คนเป็นศูนย์กลางการพัฒนา” และได้กำหนดวิสัยทัศน์ว่า “มุ่งพัฒนาสู่สังคมที่เข้มแข็ง และมีศักยภาพเพื่อความอยู่ดีมีสุขของคนไทยที่ยั่งยืน” และได้กำหนดประเด็นยุทธศาสตร์การวิจัยเพื่อการพัฒนาคนและสังคมที่มีคุณภาพคนเป็นศูนย์กลางของการพัฒนา [1] การบริการวิชาการสู่สังคมถือเป็นพันธกิจสถาบันอุดมศึกษาเพื่อพัฒนาประเทศซึ่งมุ่งเน้นความเข้มแข็งของรากฐาน นั่นคือ ความเข้มแข็งของชุมชน ซึ่งนับว่ามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาประเทศเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะในด้านการเป็นกลไกขับเคลื่อน เพื่อการแก้ไขปัญหาความยากจน การพัฒนาคุณภาพชีวิต การลดผลกระทบทางเศรษฐกิจและ สังคมในชุมชนอันเนื่องมาจากการเกิดวิกฤติทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ตลอดจนการเป็นรากฐานที่สำคัญของการพัฒนาในทุกด้านๆ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรมการเมือง ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ฯลฯ [2]

พื้นที่จังหวัดพิษณุโลกและจังหวัดสุโขทัยเป็นพื้นที่บริการวิชาการที่รับผิดชอบโดยมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามจากยุทธศาสตร์ใหม่มหาวิทยาลัยราชภัฏเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) ในยุทธศาสตร์ที่ 1 คือ การพัฒนาท้องถิ่น โดยมีเป้าประสงค์ในการพัฒนาด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคมและด้านสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น เพื่อให้มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามได้ดำเนินการตามยุทธศาสตร์ดังกล่าว มหาวิทยาลัยจำเป็นต้องลงพื้นที่เพื่อสำรวจความต้องการที่แท้จริงของชุมชน โดยอาศัยองค์ความรู้ที่หลากหลายจากสาขาวิชาต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัยร่วมดำเนินการเพื่อให้มหาวิทยาลัยได้ทำหน้าที่ส่งเสริมองค์ความรู้ให้กับท้องถิ่นและเป็นพี่เลี้ยงท้องถิ่นในการพัฒนาศักยภาพของพื้นที่ [3] โดยพื้นที่ตำบลวังน้ำขาว อำเภอบ้านด่านลานหอย จังหวัดสุโขทัย ส่วนใหญ่ต้องประสบปัญหาด้านการบริหารจัดการน้ำ ขาดแคลนน้ำในฤดูร้อน เกิดภัยแล้ง ภาวะฝนทิ้งช่วงเป็นเวลานาน ฤดูฝนมีน้ำหลาก เกิดอุทกภัยในหลายพื้นที่ ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิต และการประกอบอาชีพของประชาชน จึงต้องพัฒนาแหล่งน้ำเนื่องจากเป็นงานที่มีความสำคัญและมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับประชาชนส่วนใหญ่ของประเทศไทยที่จะมีน้ำไว้ใช้ตลอดทั้งปี

การแก้ปัญหาโดยหนึ่งในวิธีที่สำคัญคือการปรับทัศนคติ โดยใช้แนวทางปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงในการแก้ไขปัญหา โดยมีวิธีการดำเนินงาน คือ 1) พอประมาณ การใช้ทรัพยากรอย่างพอประมาณ 2) มีเหตุผล รู้ว่าสิ่งใดมีความจำเป็นหรือไม่จำเป็น และ 3) การมีภูมิคุ้มกันในตัวที่ดี คือการเตรียมตัวให้พร้อมรับผลกระทบและการเปลี่ยนแปลงด้านต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น โดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ของสถานการณ์ต่าง ๆ ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคต และสิ่งสำคัญก็คือ ความพอเพียงในการดำรงชีวิต ซึ่งเป็นเงื่อนไขพื้นฐานที่ทำให้คนไทยสามารถพึ่งตนเอง และดำเนินชีวิตไปได้อย่างมีศักดิ์ศรีภายใต้อำนาจและความมีอิสระในการกำหนดชะตาชีวิตของตนเอง ความสามารถในการควบคุมและจัดการเพื่อให้ตนเองได้รับการสนองตอบต่อความต้องการต่างๆ รวมทั้งความสามารถในการจัดการปัญหาต่างๆ ได้ด้วยตนเอง ซึ่งทั้งหมดนี้ถือว่าข้อพิสูจน์และยืนยันปรากฏการณ์นี้ได้เป็นอย่างดี [4] ทางมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามได้เล็งเห็นปัญหา จึงนำความรู้เรื่อง การจัดทำธนาคารน้ำใต้ดิน มาส่งเสริมให้กับชุมชนตำบลวังน้ำขาว อำเภอบ้านด่านลานหอย จังหวัดสุโขทัย ให้มีความรู้ความเข้าใจแนวทางการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดิน เพื่อให้ชุมชนในพื้นที่สามารถกักเก็บน้ำและมีน้ำใช้ในการทำเกษตร ทั้งยังพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่ได้เป็นอย่างดี

การติดตามและประเมินผลกระทบในการบริการวิชาการสู่สังคมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของประโยชน์ จึงเป็นเรื่องสำคัญที่สะท้อนผลที่เกิดต่อเนื่องจากผลผลิต และยังตอบสนองต่อตัวบ่งชี้การประกันคุณภาพ

การศึกษา ในองค์ประกอบที่ 5 การบริการทางวิชาการสู่สังคม ซึ่งมีหลักการสำคัญคือ การบริการทางวิชาการแก่สังคมเป็นหนึ่งในภารกิจหลักของสถาบันอุดมศึกษา สถาบันพึงให้บริการทางวิชาการแก่ชุมชน สังคม และประเทศชาติ ในรูปแบบต่างๆ ตามความถนัดและในด้านที่สถาบันมีความเชี่ยวชาญ การให้บริการทางวิชาการอาจให้เปล่าโดยไม่คิดค่าใช้จ่ายหรืออาจคิดค่าใช้จ่ายตามความเหมาะสม โดยให้บริการทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชน หน่วยงานอิสระ หน่วยงานสาธารณะ ชุมชนและสังคมโดยกว้าง รูปแบบการให้บริการทางวิชาการมีความหลากหลาย เช่น การอนุญาตให้ใช้ประโยชน์ทรัพยากรของสถาบัน เป็นแหล่งอ้างอิงทางวิชาการ ให้คำปรึกษา ให้การอบรม จัดประชุมหรือสัมมนาวิชาการ ทำงานวิจัยเพื่อตอบคำถามต่างๆ หรือเพื่อชี้แนะสังคม โดยสถาบันยังได้รับประโยชน์ในด้านต่าง ๆ คือ เพิ่มพูนความรู้และประสบการณ์ของอาจารย์อันจะนำมาสู่การพัฒนาหลักสูตร มีการบูรณาการเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านการจัดการเรียนการสอนและการวิจัย พัฒนาตำแหน่งทางวิชาการของอาจารย์ สร้างเครือข่ายกับหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งเป็นแหล่งงานของนักศึกษาและเป็นการสร้างรายได้ของสถาบันจากการให้บริการทางวิชาการด้วย [5] เพื่อให้ทราบถึงผลลัพธ์และผลกระทบจากการให้บริการวิชาการการถ่ายทอดองค์ความรู้เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ของชุมชนตำบลวังน้ำขาว อำเภอบ้านด่านลานหอย จังหวัดสุโขทัย จึงจำเป็นในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น เพื่อเสริมสร้างชีวิตความเป็นอยู่ของคนในชุมชนให้ดีขึ้น มีความสุข และมั่นคง รวมทั้งการเสริมสร้างฐานรากของสังคมให้โครงสร้างสังคมโดยรวมแข็งแรงมั่นคง และรองรับการพัฒนาประเทศให้มี ความมั่นคงและยั่งยืนได้ต่อไป

วิธีการวิจัย

ผลกระทบจากการให้บริการวิชาการการถ่ายทอดองค์ความรู้เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง การสัมภาษณ์ผลกระทบในครั้งนี้ถือว่าผู้เข้ารับบริการวิชาการทั้งหมดมีผลต่อผลลัพธ์และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการให้บริการวิชาการ ในการสัมภาษณ์ผลกระทบในครั้งนี้มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คณะวิจัยได้ดำเนินการให้บริการวิชาการ โดยมีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 5 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ผู้นำชุมชนจำนวน 10 คน กลุ่มที่ 2 ครู จำนวน 5 คน

กลุ่มที่ 3 นักเรียนชั้นประถมศึกษา จำนวน 20 คน กลุ่มที่ 4 ประชาชนทั่วไป จำนวน 60 คน

กลุ่มที่ 5 ผู้ให้บริการวิชาการ จำนวน 5 คน

รวมจำนวนผู้เข้าร่วมทั้งสิ้น 100 คน ซึ่งแต่ละกลุ่มสัมภาษณ์โดยใช้แบบสัมภาษณ์ ซึ่งเป็นการเลือกแบบเฉพาะเจาะจงโดยพิจารณาจากการเข้าร่วมรับบริการวิชาการ ความตั้งใจในการทำกิจกรรมที่เห็นถึงผลลัพธ์และผลกระทบได้อย่างชัดเจน

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เป็นแบบสัมภาษณ์ผลกระทบจากการให้บริการวิชาการการถ่ายทอดองค์ความรู้เพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง ซึ่งปรับปรุงมาจากแบบสัมภาษณ์ผลกระทบที่เป็นประโยชน์จากโครงการบริการวิชาการสู่สังคมของนิคม 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 4 นำแบบประเมินการประเมินผลกระทบมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ เพื่อสรุปผลการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 ผลการสัมภาษณ์ผู้นำชุมชน

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
<u>มิติผลกระทบทางสังคม</u> ตัวบ่งชี้ที่ 1	- สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปปรับใช้ในการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดิน ทั้งในพื้นที่ชุมชนและพื้นที่ส่วนตัว ให้มีน้ำไว้ใช้ในในฤดูแล้งและลดการเกิดอุทกภัยในฤดูฝน - มีการพัฒนาองค์ความรู้ในการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดินที่มากขึ้น เพื่อช่วยในการให้ความรู้และการแก้ไขปัญหาให้กับชุมชน
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- การทำงานร่วมกันระหว่างหน่วยงานของรัฐและชุมชน - เกิดการถ่ายทอดความรู้ระหว่างคนในชุมชนกับผู้นำชุมชน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	- เป็นต้นแบบให้กับคนในชุมชนได้ปฏิบัติและสร้างแหล่งเรียนรู้ตามรูปแบบอย่างถูกต้อง
<u>มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ</u> ตัวบ่งชี้ที่ 1	- เป็นต้นแบบแหล่งเรียนรู้ให้ประชาชนพื้นที่อื่นที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดินได้เข้ามาเรียนรู้
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- สร้างอาชีพและสร้างรายได้เสริมให้กับคนในชุมชน - ลดค่าใช้จ่ายในการดำรงชีวิตประจำวัน
<u>มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม</u>	- สามารถนำไปใช้เข้ากับวัฒนธรรมของตนเอง โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
<u>มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม</u>	- การใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างรู้คุณค่า - มีการเพิ่มของทรัพยากรน้ำและป่าไม้ที่มากขึ้นจากเดิม
<u>มิติผลกระทบทางสุขภาพ</u>	- สุขภาพร่างกายดีขึ้น ไม่มีโรคภัย

ตารางที่ 2 ผลการสัมภาษณ์ครู

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
<u>มิติผลกระทบทางสังคม</u> ตัวบ่งชี้ที่ 1	- นำไปใช้เป็นแหล่งเรียนรู้นอกห้องเรียนให้กับนักเรียน - ปรับปรุงแหล่งเรียนรู้ให้มีคุณภาพดีขึ้น - บุคลาการในโรงเรียนช่วยกันดูแลรักษาแหล่งเรียนรู้
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- หน่วยงานรัฐและชาวบ้านในชุมชน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	- เป็นแหล่งเรียนรู้ที่มีประโยชน์ต่อนักเรียนอย่างมาก
<u>มิติผลกระทบทาง</u> <u>เศรษฐกิจ</u> ตัวบ่งชี้ที่ 1	- เป็นต้นแบบแหล่งเรียนรู้ให้โรงเรียนพื้นที่อื่นที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดินได้เข้ามาเรียนรู้
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- การจัดการเรียนการสอนโดยใช้แหล่งเรียนรู้ที่มีต่างๆ มาใช้ให้เกิดประโยชน์ - ลดงบประมาณในการสร้างแหล่งเรียนรู้
<u>มิติผลกระทบทาง</u> <u>วัฒนธรรม</u>	- สามารถนำไปปรับใช้ให้เข้ากับวัฒนธรรมการของตนเอง โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
<u>มิติผลกระทบทาง</u> <u>สิ่งแวดล้อม</u>	- นักเรียนช่วยกันดูแลรักษาแหล่งเรียนรู้ - นักเรียนสามารถต่อยอดจากแหล่งเรียนรู้ที่โรงเรียนไปยังที่อยู่อาศัยของตนเองได้
<u>มิติผลกระทบทางสุขภาพ</u>	- สุขภาพร่างกายและสุขภาพจิตของบุคลากรในโรงเรียนดีขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการสัมภาษณ์นักเรียน

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
<u>มิติผลกระทบทางสังคม</u> ตัวบ่งชี้ที่ 1	- สร้างความน่าสนใจให้กับการเรียนการสอน - เกิดการเรียนรู้จากแหล่งประสบการณ์จริง
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- หน่วยงานรัฐ และชาวบ้านในชุมชนเข้ามาช่วยกัน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	- แหล่งเรียนรู้ที่ได้สังเกตและศึกษาปัญหาในชุมชนโดยลงมือปฏิบัติจริง
<u>มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ</u> ตัวบ่งชี้ที่ 1	- สร้างสรรค์งานจากการใช้แหล่งเรียนรู้ที่มีให้เกิดประโยชน์ทั้งในที่อยู่อาศัยและในชุมชน
<u>ตัวบ่งชี้ที่ 2</u>	- ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินชีวิตประจำวัน
<u>มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม</u>	- สามารถนำไปปรับใช้ให้เข้ากับวัฒนธรรมการของตนเอง โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
<u>มิติผลกระทบทาง</u> <u>สิ่งแวดล้อม</u>	- การใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างรู้คุณค่า - ปลูกจิตสำนึกในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ
<u>มิติผลกระทบทางสุขภาพ</u>	- มีสุขภาพจิตที่ดี เสริมสร้างพัฒนาการทางความคิด

ตารางที่ 4 ผลการสัมภาษณ์ประชาชนทั่วไป

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 1	- สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปปรับใช้ในการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดินทั้งในพื้นที่ชุมชนและพื้นที่ส่วนตัวให้มีน้ำไว้ใช้ในในฤดูแล้งและลดการเกิดอุทกภัยในฤดูฝน - มีการพัฒนาองค์ความรู้ในการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดินที่มากขึ้น เพื่อช่วยในการให้ความรู้และการแก้ไขปัญหาให้กับชุมชนอื่นๆ
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- หน่วยงานรัฐ และคนในชุมชนร่วมกัน
ตัวบ่งชี้ที่ 3	- มีการดูแลละรักษาให้อยู่ในสภาพที่ดี และมีการเพิ่มจำนวนของแหล่งเรียนรู้ในชุมชน รวมถึงมีการต่อยอดไปยังชุมชนอื่นๆ
มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ ตัวบ่งชี้ที่ 1	- เป็นต้นแบบแหล่งเรียนรู้ให้ชุมชนพื้นที่อื่นๆที่ประสบภัยหรือมีปัญหาเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำได้เข้ามาเรียนรู้
ตัวบ่งชี้ที่ 2	- สร้างอาชีพและสร้างรายได้เสริมให้กับคนในชุมชน - ลดค่าใช้จ่ายในการดำรงชีวิตประจำวัน
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม	- สามารถนำไปใช้เข้ากับวัฒนธรรมของตนเอง โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
มิติผลกระทบทาง สิ่งแวดล้อม	- การใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างรู้คุณค่า - มีการเพิ่มของทรัพยากรน้ำและป่าไม้ที่มากขึ้นจากเดิม
มิติผลกระทบทางสุขภาพ	- สุขภาพร่างกายดีขึ้น ไม่มีโรคภัย

ตารางที่ 5 ผลการสัมภาษณ์ผู้ให้บริการวิชาการ

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม ตัวบ่งชี้ที่ 4	- การพัฒนาแนวทางการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดิน - พัฒนาคุณภาพชีวิตของชุมชนให้ดียิ่งขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 5	- พัฒนาเอกสารและคู่มือที่ใช้ในการให้บริการวิชาการให้มีความทันสมัยมากขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 6	- ได้รับการยอมรับจากผู้รับบริการวิชาการ และภาคีเครือข่ายทั้งภาครัฐและเอกชนที่ทำงานร่วมกัน

ส่วนปัจจัยนำเข้าเป็นเงินลงทุนธนาคารน้ำใต้ดิน จำนวนเงินทั้งสิ้น 100 บาท ทำให้ผลการประเมินผลตอบแทนทางสังคมจากการบรรเทาปัญหาเกี่ยวกับน้ำท่วมและน้ำแล้ง ในมิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ พบว่า มีอัตราส่วนผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุน เท่ากับ 5.88 ซึ่งเกิดจากการคำนวณพื้นที่ความเสียหายในกรณีน้ำท่วมครัวเรือน กว้าง 4 เมตร ยาว 10 เมตร น้ำท่วมสูง 2 เมตร เกิดความเสียหายประมาณ 30,000 บาท (ราคาเครื่องซักผ้า ทีวี ตู้เย็น เป็นต้น)

อภิปรายผล

การประเมินผลกระทบจากการให้บริการวิชาการตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตสอดคล้องกับ A.K. Akella และคณะ [7] ที่ได้ทำการศึกษาในผลกระทบ 5 มิติ ดังนี้

1. ผลกระทบทางสังคม ชุมชนตำบลวังน้ำขาว สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปปรับใช้ในการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดินในพื้นที่ชุมชน ให้สามารถมีน้ำไว้ใช้ในในฤดูแล้งและลดการเกิดอุทกภัยในฤดูฝน และเป็นแหล่งเรียนรู้นอกห้องเรียนให้กับนักเรียน และประชาชนทั่วไป โดยเรียนรู้จากแหล่งประสบการณ์จริงและได้ลงมือปฏิบัติจริง

2. ผลกระทบทางเศรษฐกิจ ชุมชนตำบลวังน้ำขาว สามารถเป็นต้นแบบแหล่งเรียนรู้ให้ประชาชนพื้นที่อื่นที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำด้วยธนาคารน้ำใต้ดินได้เข้ามาศึกษาแหล่งเรียนรู้ มีการสร้างอาชีพและรายได้เสริมให้กับคนในชุมชน อีกทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการดำรงชีวิตประจำวัน สอดคล้องกับ วีระบูลกิตติ ชุมพรผ่อง และคณะ [8]

3. ผลกระทบทางวัฒนธรรม สามารถนำความรู้ที่ได้รับจากดำเนินการบริการวิชาการไปใช้ให้เข้ากับวัฒนธรรมของชุมชน โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของคนในชุมชน สอดคล้องกับ วีระบูลกิตติ ชุมพรผ่อง และคณะ [8]

4. ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม มีการปลูกจิตสำนึกของคนในชุมชนในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ร่วมกันฟื้นฟูทรัพยากรน้ำ ป่า และสิ่งแวดล้อมให้อุดมสมบูรณ์ สอดคล้องกับ ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด และคณะ [9]

5. ผลกระทบทางสุขภาพ มีการเสริมสร้างพัฒนาการทางความคิด ทำให้สุขภาพจิตใจ และสุขภาพร่างกายแข็งแรง ไม่มีโรคภัย สอดคล้องกับ ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด และคณะ [9]

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณที่ปรึกษาโครงการ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่วิจัยจากคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม นักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ชั้นปีที่ 4 คณะครุศาสตร์ โครงการจัดตั้งสถาบันเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม องค์การบริหารส่วนตำบลวังน้ำขาว หน่วยงานราชการต่าง ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำ และข้อมูลสนับสนุนเพื่อจัดทำคู่มือฝึกอบรมสำหรับการดำเนินโครงการในครั้งนี้ ทำให้การดำเนินโครงการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

บรรณานุกรม

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

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

[3] ยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560 – 2579). มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม : สถาบันวิจัยและพัฒนา ; 2557.

[4] สำนักงานมูลนิธิชัยพัฒนา. แนวคิดทฤษฎีการพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำริ หลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง. กรุงเทพฯ: มูลนิธิชัยพัฒนา ; 2560.

[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.

[8] วีระบูลกิตติ ชุมพรผ่อง ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ มลวิภา เมืองพระฝาง อรพรรณ ธนะขว้าง1 และเฉลิมชัย สังโยคะ. (2560). ผลกระทบจากการจัดการเรียนการสอนโดยการใช้สื่อการเรียนการสอนด้านพลังงานทดแทน.งานประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10 ระหว่างวันที่ 29-30 พฤศจิกายน 2560 และวันที่1 ธันวาคม 2560 ณ มหาวิทยาลัยทักษิณ

[9] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ เฉลิมชัย สังโยคะ อรพรรณ ธนะขว้าง ประพิธาร์ ธนารักษ์ พิสิษฏ์ มณีโชติ และวีระบูลย์กิตติ ชุมพรผ่อง. (2559). การประเมินผลกระทบจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ eDLTV ร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.งานประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9ระหว่างวันที่ 29-30 พฤศจิกายน 2559 ณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (ดอยสะเก็ด)

การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากแกลบและซังข้าวโพดเพื่อปรับปรุงดิน
Analysis of Biochar Properties from Rice Husk and Corn Cob for Soil Improvement

ประภัสสร รัตนไพบูลย์[1] นิกราน หอมดวง[1*] ณัฐวุฒิ ดุษฎี[1] ภคมน ปินตานา และชูรัตน์ ธารารักษ์[1]
[1] สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงาทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

ถ่านชีวภาพมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงดินสำหรับการเพาะปลูก ดังนั้นงานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์วิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชีวภาพด้วยการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 500 °C ระยะเวลา 60 min ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่ 5 L/min โดยใช้เครื่องผลิตถ่านชีวภาพแบบนำร่อง (Pilot Scale) โดยใช้ชีวมวลแกลบ และซังข้าวโพด ผลการศึกษาพบว่าถ่านชีวภาพมีคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้นโดยคิดเป็น 25.16-37.54% และให้ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพแกลบและซังข้าวโพดเพิ่มสูงขึ้นคือ 18.32 และ 24.85 MJ/kg ตามลำดับ การวิเคราะห์โครงสร้างความเป็นรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ถ่านชีวภาพมีความเป็นรูพรุนเพิ่มสูงขึ้น โดยมีพื้นที่ผิวอยู่ในช่วง 7.16.11-8.20 m^2/g ปริมาตรรูพรุนอยู่ในช่วง 0.0052-0.0091 cm^3/g และความกว้างของรูพรุนอยู่ในช่วง 67.30-65.02 Å เมื่อนำถ่านชีวภาพมาใช้กับดินส่งผลให้ดินมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกมากขึ้น โดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 7.03-7.08 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 30.87-31.14 µS/cm และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในช่วง 44.99-51.22 cmol/kg

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ ชีวมวล แกลบ ซังข้าวโพด

บทนำ

ดินเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการเพาะปลูกสำหรับอาชีพเกษตรกรรมของคนไทย โดยประเทศไทยมีพื้นที่ในการเพาะปลูกทั้งหมด 149.25 ล้านไร่ และการเกษตรกรรมเป็นอาชีพที่สร้างรายได้หลักให้กับประเทศ มีมูลค่าในการส่งออก 8,085,563 ล้านบาท ในปี พ.ศ. 2561 [1] ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาดินเสื่อมคุณภาพ เนื่องจากการใช้สารเคมีและการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เป็นชีวมวลภายหลังการเก็บเกี่ยวด้วยการเผาในที่โล่งแจ้ง นอกจากส่งผลให้ดินเสื่อมสภาพแล้วยังก่อให้เกิดปัญหาหมอกควันซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศและสิ่งแวดล้อม ด้วยปัญหาดังกล่าวจึงต้องมีการพัฒนาปรับปรุงและบำรุงดิน การใช้ถ่านชีวภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง [2] ถ่านชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแยกสลายทางความร้อนที่เรียกว่า ไพโรไลซิส ด้วยกระบวนทางความร้อนในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยปราศจากอากาศหรือมีปริมาณอากาศอย่างจำกัด [3] ถ่านชีวภาพที่ได้จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประกอบหลัก ซึ่งมีคุณสมบัติความเป็นรูพรุนสูง สามารถกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินได้นานเป็นแหล่งกักเก็บอาหาร ความชื้น และเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ที่ช่วยย่อยอาหารให้แก่พืชทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ [4] นอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในรูปแบบพลังงาน เพราะมีค่าความร้อนที่สูงกว่าถ่านไม้ทั่วไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการผลิตถ่านและวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชีวภาพ ได้แก่ แกลบ และซังข้าวโพด ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 500 °C ระยะเวลา 60 min ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการผลิตถ่านชีวภาพเนื่องจากเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสย่อยสลายได้สมบูรณ์ได้องค์ประกอบของคาร์บอนสูง [5] เหมาะแก่การใช้งาน

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

ในด้านปรับปรุงคุณภาพของดินสำหรับเพาะปลูกและช่วยลดปัญหาทางด้านหมอกควัน โดยทำการศึกษาในส่วนของคุณสมบัติทางเคมี และคุณสมบัติทางด้านการเกษตรของถ่านชีวภาพที่มีผลต่อการปรับปรุงดิน

วิธีการวิจัย

เครื่องมือในการผลิตถ่านชีวภาพ

การทดสอบผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนไพโรไลซิส โดยใช้เครื่องผลิตถ่านชีวภาพแบบนำร่อง (Pilot Scale) ซึ่งเป็นเครื่องมือผลิตถ่านชีวภาพในห้องปฏิบัติการ สามารถใส่ชีวมวลได้ 3 kg ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นแหล่งความร้อน ซึ่งในกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพจากชีวมวลจะได้รับความร้อนพร้อมทั้งเกิดการหมุนของห้องเผาไหม้ซึ่งมีมอเตอร์ขนาด 0.75 hp แรงดันไฟฟ้า 220 V อัตราการหมุน 1,430 rpm วัดอุณหภูมิห้องเผาไหม้ด้วย Data Logger โดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด k พร้อมทั้งมีการป้อนก๊าซไนโตรเจนเข้าสู่ห้องเผาไหม้มีอัตราการไหลของก๊าซเฉลี่ย 5 L/min

วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ใช้แกลบ และซังข้าวโพดเป็นวัตถุดิบในการผลิตถ่านชีวภาพ โดยนำชีวมวลทั้ง 2 ชนิด ลดความชื้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 $^{\circ}$C และบดย่อยให้ได้ขนาด 3 mm จากนั้นนำไปทดสอบกับเครื่องมือผลิตถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิไพโรไลซิส คือ 500 $^{\circ}$C เป็นระยะเวลา 60 min โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนไหลเวียนในกระบวนการ แล้วนำถ่านชีวภาพที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางเคมีด้วยการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) ค่าความร้อน (High heating value: HHV) และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ความเป็นรูพรุน (Porosity) และวิเคราะห์ทางการเกษตรประกอบด้วย ความเป็นกรดด่าง (pH) สภาพการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity: C.E.C)

การวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านนชีวภาพ

การวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านชีวภาพทางเคมี ด้วยการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) ตามมาตรฐาน ASTM D 3172-3175 ค่าความร้อน (High heating value: HHV) ตามมาตรฐาน ASTM ASTM D5865 และการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ การศึกษาโครงสร้างความเป็นรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) ที่สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ การวิเคราะห์ปริมาณรูพรุนและพื้นที่ผิวรูพรุนและด้วย (The Brunauer, Emmett and Teller: BET) ที่สำนักวิจัยและบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติทางการเกษตรได้ทำการวิเคราะห์ได้นำถ่านชีวภาพผสมกับดินในอัตราส่วน 1,000 kg/ไร่คลุกเคล้าให้เข้ากับดิน [6] ซึ่งเป็นอัตราส่วนสำหรับในการปลูกพืช การวิเคราะห์ประกอบด้วย ความเป็นกรดด่าง (pH) และสภาพการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) ด้วยเครื่อง multi-parameter analysis โดยใช้อัตราส่วนดิน:น้ำ คือ 1:10 และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation exchange capacity: C.E.C) [7]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

คุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพ

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีโดยวิธีการวิเคราะห์โดยประมาณของถ่านชีวภาพ พบว่าแกลบและซังข้าวโพดมีค่าความชื้นอยู่ในช่วง 6.38±0.05-11.45±0.16% สารระเหยมีค่าอยู่ในช่วง 83.23±2.19-69.58±2.28% เถ้าอยู่ในช่วง 2.40±0.66-17.92±0.36% และคาร์บอนคงตัวอยู่ในช่วง 2.91±2.66-6.12±2.01% ผลของการเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิส ส่งผลให้ถ่านชีวภาพแกลบและซังข้าวโพดมีค่าความชื้น สารระเหยลดลง ทั้งนี้เกิดจากการระเหยน้ำภายในชีวมวล และ

สลายตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ในทางตรงกันข้ามสัดส่วนของเถ้าและคาร์บอนคงตัวเพิ่มสูงขึ้น [5] การเพิ่มขึ้นของคาร์บอนคงตัวนี้ส่งผลให้ค่าความร้อนและความเป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 18.34-32.15% [8] ดังตารางที่ 1 สำหรับการวิเคราะห์แบบแยกธาตุของชีวมวลและถ่านชีวภาพ พบว่าถ่านชีวภาพแกลบและซังข้าวโพดมีคาร์บอนเพิ่มขึ้นคือ 52.59±0.13% และ 71.41±0.11% ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณออกซิเจนของถ่านชีวภาพแกลบและซังข้าวโพดมีปริมาณลดลงอยู่ที่ 7.45±0.22% และ 10.26±0.09% ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 เนื่องจากการสลายตัวของสารลิกนินในชีวมวล ซึ่งการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนจะขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล [9] ดังตารางที่ 2 สังเกตได้ว่าซังข้าวโพดมีคาร์บอนสูงกว่าแกลบ ส่งผลให้ถ่านชีวภาพซังข้าวโพดมีคาร์บอนสูงกว่าถ่านชีวภาพแกลบ

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์โดยประมาณและค่าความร้อนของชีวมวล และถ่านชีวภาพ

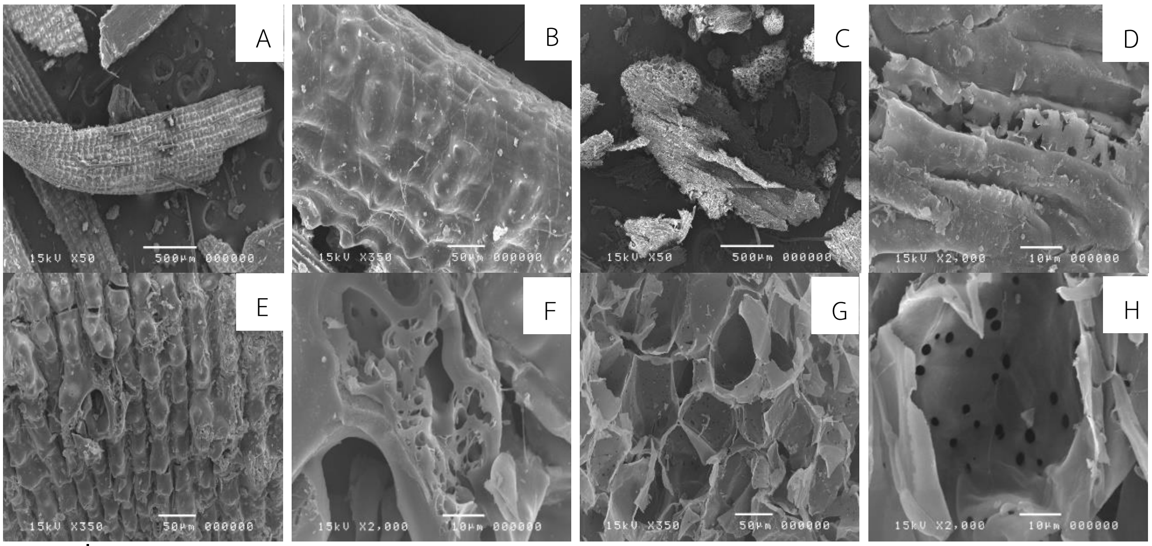
Proximate analysis	แกลบ	ซังข้าวโพด	ถ่านชีวถาพแกลบ	ถ่านชีวภาพซังข้าวโพด
ความชื้น (%)	6.38±0.05	11.45±0.16	0.20±0.04	1.78±0.10
สารระเหย (%)	69.58±2.28	83.23±2.19	29.87±2.52	33.05±0.52
เถ้า (%)	17.92±0.36	2.40±0.66	37.63±0.65	16.13±2.06
คาร์บอนคงตัว (%)	6.12±2.01	2.91±2.66	32.30±2.84	19.04±1.98
ค่าความร้อน (MJ/kg)	14.96±33.00	16.86±35.00	18.32±62	24.85±426

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุของชีวมวล และถ่านชีวภาพ

Ultimate analysis	แกลบ	ซังข้าวโพด	ถ่านชีวถาพแกลบ	ถ่านชีวภาพซังข้าวโพด
คาร์บอน (%)	39.36±0.17	44.76±0.47	52.59±0.13	71.41±0.11
ออกซิเจน (%)	38.53±0.49	43.99±0.41	7.45±0.22	10.26±0.09
ไนโตรเจน (%)	0.35±0.00	0.52±0.00	0.49±0.12	0.85±0.02
ไฮโดรเจน (%)	5.29±0.02	5.89±0.02	2.21±0.05	3.06±0.01
ซัลเฟอร์ (%)	0.03±0.00	0.04±0.00	0.02±0.00	0.03±0.00

ความเป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพ

การศึกษาลักษณะโครงสร้างความเป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพ พบว่าชีวมวลทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะโครงสร้างพื้นผิวที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 1 (A), (B), (C) และ (D) เมื่อทำการไพโรไลซิสถ่านชีวภาพแกลบและซังข้าวโพดมีความเป็นรูพรุนสูงขึ้น ดังภาพที่ 1 (E), (F), (G) และ (H) ซึ่งเกิดจากการการหลุดออกของสารระเหย ทำให้มีโครงสร้างคาร์บอนเสถียรเพิ่มสูงขึ้น [10] ซึ่งรูพรุนนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถการดูดซับ และการควบคุมการปล่อยแร่ธาตุรวมถึงน้ำในดินได้ดี [11] จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET พบว่าถ่านชีวภาพแกลบและซังข้าวโพดมีพื้นที่ผิว 7.16.11 และ 8.20 m^2/g ตามลำดับ ปริมาตรรูพรุน 0.0052 และ 0.0091 cm^3/g ตามลำดับ และความกว้างของรูพรุนคือ 67.30 และ 65.02 Å ตามลำดับ



ภาพที่ 1 ลักษณะโครงสร้างรูพรุนของชีวมวลและถ่านชีวภาพ (A) แกลบกำลังขยาย 50X (B) แกลบกำลังขยาย 350X (C) ซังข้าวโพดกำลังขยาย 50X (D) ซังข้าวโพดกำลังขยาย 2,000X (E) ถ่านชีวภาพแกลบกำลังขยาย 350X (F) ถ่านชีวภาพแกลบกำลังขยาย 2,000X (G) ถ่านชีวภาพซังข้าวโพดกำลังขยาย 350X (H) ถ่านชีวภาพซังข้าวโพดกำลังขยาย 2,000X

คุณสมบัติทางการเกษตร

การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชีวภาพเมื่อนำมาใช้กับดิน ดังตารางที่ 3 พบว่า pH ของดินมีความเป็นกลางยิ่งขึ้นโดยดินผสมถ่านชีวภาพแกลบและซังข้าวโพดมีค่า pH เฉลี่ยอยู่ที่ 7.03±0.06 และ 7.08±0.01 ตามลำดับ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมของต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในดินซึ่งมีค่า pH อยู่ที่ประมาณ 7 [12] ในขณะที่สภาพการนำไฟฟ้าซึ่งบ่งบอกถึงระดับความเค็มของดินมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 30.87±1.31-31.14±0.23 (µS/cm) ซึ่งเกิดจากคาร์บอนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดเกลืออัลคาไลในถ่านชีวภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้สภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น [13] ซึ่งเป็นช่วงระดับความเค็มน้อยที่ไม่เกิน 4,000 µS/cm ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช [14] สำหรับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกบ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของดิน พบว่าการผสมดินกับถ่านชีวภาพแกลบและซังข้าวโพดส่งผลให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเพิ่มสูงขึ้น 51.22±4.23 และ 44.99±1.15 cmal/kg ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากสัดส่วนเถ้าสูงในถ่านชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นซึ่งส่งผลให้มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงตามไปด้วย [15] โดยการเพิ่มขึ้นของความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกนี้ส่งผลให้ถ่านชีวภาพทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและน้ำในดินเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น กระตุ้นให้เกิดการจับตัวของเม็ดดิน และช่วยให้พืชสามารถจับยึดธาตุอาหารจากดินได้ดีขึ้น [16]

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางการเกษตรของดินและถ่านชีวภาพ

เงื่อนไข	pH	EC (µS/cm)	C.E.C (cmol/kg)
ดิน	6.76±0.02	29.47±0.50	27.74±16.17
ถ่านชีวภาพแกลบ	9.27±0.06	270.00±23.58	178.71±10.41
ถ่านชีวภาพซังข้าวโพด	8.59±0.04	1,340.00±10.00	123.17±2.86
ดินผสมถ่านชีวภาพแกลบ	7.03±0.06	30.87±1.31	51.22±4.23
ดินผสมถ่านชีวภาพซังข้าวโพด	7.08±0.01	31.14±0.23	44.99±1.15

สรุปผลการวิจัย

ถ่านชีวภาพจากการไพโรไลซิสมีคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้น 25.16-37.54% ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนและความเป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพที่เป็นคุณสมบัติสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของดิน ถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิวอยู่ในช่วง 7.16.11-8.20 m^2/g ปริมาตรรูพรุนอยู่ในช่วง 0.0052-0.0091 cm^3/g และความกว้างของรูพรุนอยู่ในช่วง 67.30-65.02 Å เมื่อนำถ่านชีวภาพมาใช้กับดินส่งผลให้ดินมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกมากขึ้น โดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 7.03-7.08 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 30.87-31.14 µS/cm และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกอยู่ในช่วง 44.99-51.22 cmol/kg

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยพลังงาน/ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมพลังงาน สิ่งแวดล้อมและภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือ และสถานที่ในการวิจัย ขอขอบคุณโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน และสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการไทย-จีน ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. (2562). **สถิติการค้าสินค้าเกษตรไทยกับต่างประเทศ ปี 2561**. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

[2] Simon Shackley, Saran Sohi, Stuart Haszeldine, David Manning and Ondrej Masek. (2009). **Biochar, reducing and removing CO_2 while improving soils: A significant and sustainable response to climate**.

[3] เบญจพร เครือทะนันไชย. 2557. **การวิเคราะห์พารามิเตอร์และต้นทุนการผลิตถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมมหาบัณฑิต เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

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

[5] Xin Jiat Lee, Lai Yee Lee, Suyin Gan, Suchithra Thangalazhy-Gopakumar and Hoon Kiat Ng. 2017. Biochar Potential Evaluation of Palm Oil Wastes Through Slow Pyrolysis: **Thermochemical Characterization and Pyrolytic Kinetic Studies. Bioresource Technology**. 2017(236), 155-163.

[6] เกศศิรินทร์ แสงมณี, จิตรยา จารุจิตร์ และพิชย์ชัย ทองนวรัตน์. (2560). **การศึกษาชนิดและอัตราส่วนของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดิน การเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในพื้นที่เปรี้ยวจัด**. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร)

[7] จำเป็น อ่อนทอง. 2545. **คู่มือ การวิเคราะห์ดินและพืช**. ภาควิชาธรณีศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[8] Frederik Ronsse, Sven Van Hecke, Dane Dickinson and Wolter Prins. 2013. Production and Characterization of Slow Pyrolysis Biochar: Influence of Feedstock Type and Pyrolysis.

Conditions. **GLOBAL CHANGE BIOLOGY BIOENERGY**. 2013(5), 104-115.

[9] Yan Yue, Qimei Lin, Yunqing Xu, Guitong Li and Xiaorong Zhao. 2017. Slow Pyrolysis as a Measure for Rapidly Treating Cow Manure and The Biochar Characteristics. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 2017(124), 355-361.

[10] B. Purevsuren, B. Avid, B. Tesche and YA. Davaajav. 2003. A Biochar from Casein and Its Properties. **JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE**. 38(2003), 2347-2351.

[11] Estela M. C. C. Batista, Juliana Shultz, TassyaT. S. Matos, Mayara R. Fornari, Thuany M. Ferreira, Bruno Szpoganicz, RiltonA. de Freitas and Antonio S. Mangrich. 2018. Efect of Surface and Porosity of Biochar on Water Holding Capacity Aiming Indirectly at Preservation of The Amazon Biome. **SCIENTIFIC REPORTS**. 2018(8), 1-9.

[12] Johannes Lehmann, Matthias C. Rillig, Janice Thies, Caroline A. Masiello, William C. Hockaday and David Crowley. 2011. Biochar Effects on Soil Biota-A Review. **Soil Biology & Biochemistry**. 43(2011), 1812-1836.

[13] Tasneem Shah, Sara and Zahir Shah. 2017. Soil Respiration, pH and EC as Influenced by Biochar. **Soil Environ**. 36(1), 77-83.

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

[15] Asli Toptas Tag, Gozde Duman, Suat Ucar and Jale Yanik. 2016. Effects of feedstock type and pyrolysis temperature on potentialapplications of biochar. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 2016(120), 200-206.

[16] เสาวคนธ์ เหมวงษ์. 2556. ถ่านชีวภาพ: การกักเก็บคาร์บอน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**. 31(1), 104-113.

คุณภาพน้ำผิวดินสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า จังหวัดชัยภูมิ
Surface Water Quality of Nong Pla Thao Public Park, Chaiyaphum Province

จันทร์จิรา ตรีเพชร[1*] ศักดิ์ชาย เพ็ชรตรา[1] วราวุฒิ มหามิตร[1] ปุญญาพร พูลบวรรักษ์[1] ตะวัน จำปาโพธิ์[1] และกุลวดี คตชนะเลขา[1]

[1] สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ชัยภูมิ 36000

บทคัดย่อ

การศึกษาคุณภาพน้ำผิวดินสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า จังหวัดชัยภูมิเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ สี กลิ่น ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ การนำไฟฟ้าของน้ำ ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำได้ ศึกษาสถานภาพและการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำบริเวณหนองปลาเฒ่าในระยะเวลาสัปดาห์แตละเดือนและนำผลที่ได้มาเป็นแนวทางในการวางแผนการใช้ประโยชน์น้ำและการจัดการน้ำบริเวณหนองปลาเฒ่าต่อไป การศึกษาพบว่า ดัชนีคุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 24.3-32.8 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำพบวาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นกลาง ถึงเบสอ่อน มีค่าโดยเฉลี่ยที่ pH 6.64-8.66 การนำไฟฟ้าของน้ำ พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 534.1- 806.5 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำ พบว่ามีค่าเฉลี่ยตลอดปีอยู่ระหว่าง 262.7- 407.0 ppm ออกซิเจนละลาย (DO) มีแนวโน้มที่สูงขึ้นมีค่าออกซิเจนละลาย (DO) สูงขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 6.72 mg/L นอกจากนี้ยังพบแมลงและสัตว์น้ำชนิดต่างๆที่ใช้วัดระดับคุณภาพน้ำ ได้แก่ จิงโจ้น้ำ มวนเข็ม และมวนกรรเชียง จากผลการศึกษาดังกล่าว สามารถสรุปโดยภาพรวมได้ว่า คุณภาพน้ำบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่าจัดวาอยู่ในเกณฑ์ “ดี” ตามมาตรฐานคุณภาพเฉลี่ยของแหลงน้ำตามธรรมชาติ

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำผิวดิน, ดัชนีคุณภาพน้ำ

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความจำเป็นต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ในสิ่งมีชีวิตทั้งหลายไม่ว่าจะเป็นมนุษย์ พืช และสัตว์ จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ส่วนหนึ่ง จะมากหรือน้อยเป็นไปตามชนิดของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ในโลกนี้มีปริมาณน้ำเป็น 2 ใน 3 ของพื้นที่โลกทั้งหมด น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิต ถึงแม้ว่าน้ำจะเป็นทรัพยากรหมุนเวียน แต่ 97 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำทั้งหมดบนโลกเป็นน้ำทะเลในมหาสมุทร มีส่วนที่เหลือเพียง 3 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่เป็นน้ำจืด ซึ่งหากแบ่งน้ำจืดออกเป็น 100 ส่วน ประมาณ 68.7 ส่วน ถูกกักเก็บในรูปแบบของน้ำแข็ง หิมะ อีก 30.1 ส่วนเป็นน้ำใต้ดิน ประมาณ 0.9 ส่วน เป็นความชื้นในดินและชั้นบรรยากาศ ดังนั้นจึงเหลือน้ำจืดเพียง 0.3 ส่วนเท่านั้นที่เป็นน้ำผิวดินที่มนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ [1] ปริมาณน้ำจืดที่มีอยู่ในโลกนี้ จะประกอบด้วย น้ำแข็งขั้วโลก ร้อยละ 76.5 หรือเท่ากับ 28.2 ล้านลูกบาศก์เมตร น้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาล ร้อยละ 22.9 หรือเท่ากับ 8.4 ล้านลูกบาศก์เมตร น้ำผิวดิน (น้ำในทะเลสาบ คู คลอง แม่น้ำ ฯลฯ) ร้อยละ 0.6 หรือเท่ากับ 0.4 ล้านลูกบาศก์เมตร [2] มนุษย์ได้มีการนำน้ำมาใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน น้ำที่ถูกนำมาใช้งานมีทั้งน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน แหล่งน้ำที่เรารู้จักและใช้ประโยชน์กันมากที่สุดคือ "น้ำผิวดิน" (Surface water) น้ำผิวดินมีทั้งน้ำเค็มและน้ำจืด แหล่งน้ำผิวดินที่เป็นน้ำจืดได้แก่ ทะเลสาบน้ำจืด แม่น้ำ ลำธาร ห้วย หนอง คลอง บึง เนื่องจากภูมิประเทศของพื้นผิวโลกไม่ราบเรียบเสมอกัน พื้นผิวของ

* Corresponding author: Tel.: 065-0922562. E-mail address: janjirat@cpru.ac.th

โลกแต่ละแห่งมีความแข็งแรงทนทานไม่เหมือนกัน แรงโน้มถ่วงทำให้น้ำไหลจากที่สูงลงที่ต่ำ นอกจากนั้นความเร็วของกระแสน้ำยังขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัด เช่น เมื่อกระแสน้ำไหลผ่านช่องเขาแคบๆ ก็จะเคลื่อนที่เร็ว เมื่อกระแสน้ำไหลผ่านที่ราบกว้างใหญ่ เช่น บึง หรือทะเลสาบ กระแสน้ำจะหยุดนิ่ง ทำให้ตะกอนที่น้ำพัดพามาก็จะตกทับถมใต้ท้องน้ำ[3]

ประเทศไทยมีปริมาณน้ำจืดในปี 2561 เฉลี่ยจำนวน 46,517.24 ล้านลูกบาศก์เมตร [4] ซึ่งในภาพรวมแล้วไทยจัดเป็นประเทศที่ยังไม่ขาดแคลนน้ำการใช้น้ำในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ 1) การใช้น้ำเพื่อการเกษตร-ชลประทานและปศุสัตว์ 2) การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค 3) การใช้น้ำในโรงงานอุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว 4) การใช้น้ำในการผลิตไฟฟ้า และ 5) การใช้น้ำในการรักษาสมดุลนิเวศท้ายน้ำ ดังนั้นน้ำหรือแหล่งน้ำ จึงมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นมนุษย์ สัตว์ หรือพืช ในอดีตนั้น น้ำหรือแหล่งน้ำไม่ว่าจะเป็นน้ำผิวดิน น้ำใต้ดินน้ำชายฝั่งและน้ำทะเล จะไม่เน่าเสียหรือเกิดภาวะมลพิษ เนื่องจากธรรมชาติสามารถปรับสภาพความสมดุล และฟื้นฟูตัวเองได้ระดับหนึ่ง ทำให้เกิดการหมุนเวียนแม้จะมีการปนเปื้อนจากมลพิษต่างๆ แต่ก็มีปริมาณน้อย น้ำจึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างเหมาะสม เมื่อมีความเจริญเติบโตของสังคมจนเกิดเป็นชุมชนมีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมเกษตรกรรมและพาณิชยกรรม ทำให้ธรรมชาติไม่สามารถปรับเปลี่ยนหมุนเวียนฟื้นตัวเองได้ทัน ปัญหาน้ำเน่าเสียในแหล่งน้ำจึงเกิดขึ้นและก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาของสิ่งมีชีวิตในลุ่มน้ำ รวมทั้งการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำนั้นๆด้วย

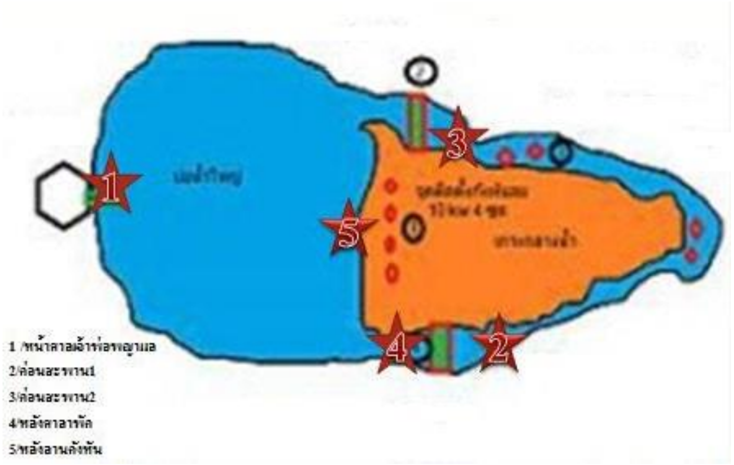
ดังนั้น การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำจึงเป็นกิจกรรมที่สำคัญต่อการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำเพื่อทราบถึงสถานภาพของแหล่งน้ำในปัจจุบันปัญหาหรือแนวโน้มของปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคตซึ่งเมื่อได้ข้อเท็จจริงแล้วจะนำไปสู่การสร้างแนวทางปฏิบัติในการวางแผนจัดการคุณภาพน้ำ การแก้ไขและป้องกันผลกระทบที่เกิดจากมลพิษในแหล่งน้ำนั้นได้ทันท่วงทีก่อนที่น้ำหรือแหล่งน้ำนั้นจะเปลี่ยนแปลงไป หรือก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ประโยชน์การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำมีหลากหลายวิธีการทั้งที่ไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคมากนัก จนถึงวิธีการที่ใช้เทคนิค/เทคโนโลยีขั้นสูง หรือวิธีการที่ค่าใช้จ่ายน้อยจนถึงมาก ทั้งนี้ประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐานและวิธีการมาตรฐานเพื่อให้หน่วยงานต่างๆ ได้ดำเนินการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำไปในทิศทางและมาตรฐานเดียวกัน[5]

วิธีการวิจัย

ศึกษาบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่าจังหวัดชัยภูมิ โดยศึกษาและการเก็บตัวอย่างน้ำทกๆ สัปดาห์ ระหว่างเดือน ตุลาคม 2561- มกราคม 2562 ศึกษาและเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำทุกสัปดาห์ ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ – กรกฎาคม 2562 ศึกษาและเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำทุกเดือน ด้วยเครื่องวัดคุณภาพน้ำ Water Proof รุ่น Oakton PCD650 นำผลการวิเคราะหคุณภาพของน้ำตัวอยาง และที่ได้จากการตรวจวัดในภาคสนามตามจุดตางๆมาเปรียบเทียบกับคามาตรฐานคุณภาพเฉลี่ยของแหลงน้ำตามธรรมชาติในประเทศไทยของกรมควบคุมมลพิษ[6]

ตารางที่ 1 บริเวณจุดเก็บตัวอย่างน้ำ

จุดที่	บริเวณ
1	หน้าศาลเจ้าพ่อพญาแล
2	ก่อนสะพาน 1
3	ก่อนสะพาน 2
4	ศาลาพัก
5	ลานกังหันลม



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาของโครงการ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

กำหนดเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่1 สามารถใช้เป็นปรโยชน์ เป็นแหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติ โดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน (2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน (3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ คุณภาพน้ำโดยรวม อยู่ในเกณฑ์ดี หลังจากการดำเนินการเปิดระบบบำบัดน้ำ คุณภาพน้ำทางกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น พบว่าน้ำใสขึ้นและไม่มีกลิ่น อุณหภูมิโดยเฉลี่ย มีค่า ระหว่าง 24-31 องศาเซลเซียส โดยสัปดาห์ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยตำสุดที่สัปดาห์ที่ 13 คือวันที่เก็บตัวอย่างวันที่ 5 มกราคม 2562 พบลักษณะอากาศ มีท้องฟ้าครึ้ม มีลมเล็กน้อย อากาศค่อยข้างหนาวเย็น

อุณหภูมิของน้ำ (Water Temperature) ผลการศึกษาอุณหภูมิของน้ำ พบวา อุณหภูมิของน้ำ มีคาเฉลี่ยอยูระหวาง 24.3-32.8 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำสูงสุด อยูที่จุดที่ 5 มีคาเฉลี่ย เทากับ 32.8 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 2-3 เมื่อเปรียบเทียบกับ เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพเฉลี่ยของแหลงน้ำตามธรรมชาติของประเทศไทยที่กำหนดอุณหภูมิของน้ำไว ในชวง 20-35 องศาเซลเซียส พบวา ผลการศึกษา ค่าที่วัดได้จะอยู่ในเกณฑ์ดังกล่าว นอกจากนี้ยังพบวาอุณหภูมิของน้ำจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับสภาพแวดล้อมที่ปรากฏและอุณหภูมิของอากาศในขณะตรวจวัด กลาวคือ เมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของน้ำจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ USEPA [7], และนงค์นาถ อู่ประสิทธิ์วงศ์ [8] ที่วาอุณหภูมิ ของน้ำจะแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศและสัมพันธ์กับตำแหน่งเส้นรุ้ง ระดับความสูง ฤดูกาล และสภาพภูมิประเทศ

ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH of Water) ผลการศึกษาพบว่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าเป็นกลาง ถึงเบสอ่อน มีค่าโดยเฉลี่ยที่ pH 6.64- 8.66 ดังแสดงในภาพที่ 8-9 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพเฉลี่ยของแหลงน้ำตามธรรมชาติของประเทศไทย ที่กำหนดคาความเปนกรด เปนดาง ของน้ำไวในชวง 5.0 - 9.0 พบวาผลการศึกษา คาที่วัดไดจะอยูในเกณฑดังกลาว แสดงวาน้ำอยูในสภาพเป็น กลางค่อนข้างเป็นกรดเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะบริเวณดังกล่าวได้รับปริมาณน้ำฝนเกือบตลอดทั้งปีน้ำฝนที่ ตกลงมาจะละลายกาซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศกลายเป็นกรดคาร์บอนิกลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อยคา pH ของน้ำต่ำลง และเมื่อน้ำซึมลงไปในดิน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์ในดินซึ่งมีมากกว่าในอากาศก็ยังมีสวนทำให้ค่า pH ของน้ำต่ำลงได้เช่นกัน

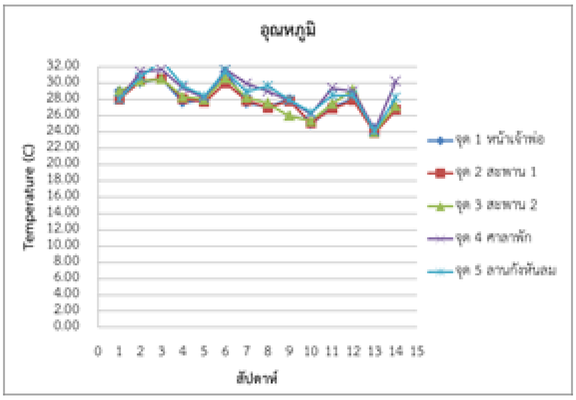
การนำไฟฟ้าของน้ำ (Electrical Conductivity of Water) ผลการศึกษาการนำไฟฟ้าของน้ำ พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 534.1- 806.5 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2-3 โดยพบว่าคาการนำไฟฟ้าของน้ำมีค่าเฉลี่ยสูงสุดในเดือนเมษายน มีค่าเฉลี่ยอยู่ 800 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าของ

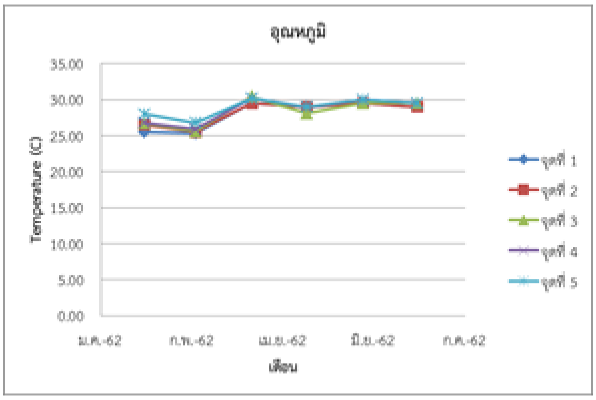
สารละลายมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่า ปริมาณอนินทรีย์สารที่ละลายน้ำสูงขึ้น แต่ถ้าการนำไฟฟ้าของสารละลายลดลง แสดงว่า ปริมาณอนินทรีย์สารที่ละลายน้ำต่ำลงในช่วงฤดูร้อน ผลเนื่องจากมีปริมาณสารอนินทรีย์ ต่างๆ เช่น กรดอนินทรีย์ ด่าง หรือเกลือที่เมื่ออยู่ในน้ำแล้วแตกตัวให้อิออนที่ นำไฟฟ้าได้อยู่ในปริมาณที่ต่ำหรือมีความหนาแน่นของสารประกอบอนินทรีย์น้อย

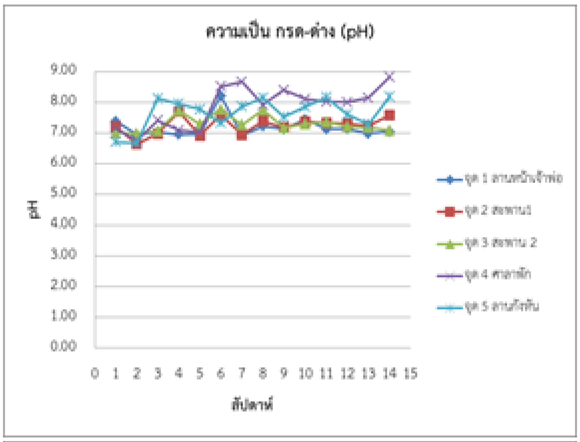
ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำ (Total Solids) ผลการหาปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำ พบวา มีค่าเฉลี่ยตลอดปีอยู่ระหว่าง 262.7- 407.0 ppm ดังแสดงในภาพที่ 2-3 พบว่า มีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่จุดเก็บที่ 3 ช่วงเดือนพฤษภาคม 2562 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพเฉลี่ยของแหล่งน้ำ ตามธรรมชาติของประเทศไทย ที่กำหนดคาปริมาณของแข็งทั้งหมด ในน้ำไว้ในชวง 100 - 500 ppm ผลการศึกษาพบว่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำธรรมชาติของประเทศไทย โดยปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำ มีค่าเฉลี่ยสูงช่วงเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม 2562 มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน ลักษณะและช่วงเวลาของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งจะมี ผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำในเรื่องของความขุ่น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำฝนจะเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิด กระบวนการกัดชะ และพัดพาสิ่งต่างๆ ทั้งที่อยู่ในอากาศและบนพื้นดินลงมาสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะปรากฏให้เห็นอย่างเด่นชัดในช่วงที่มีฝนตกชุกและมีปริมาณน้ำมาก

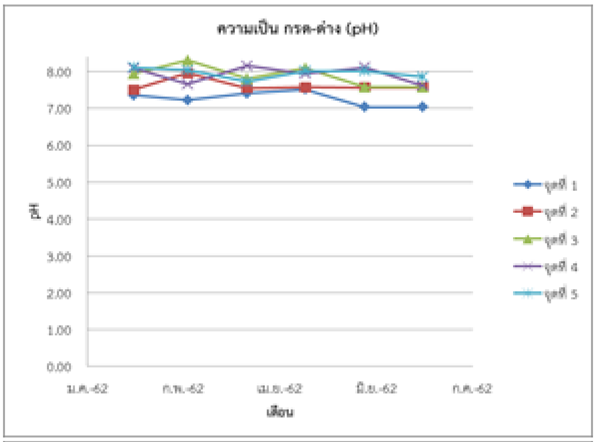
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen , DO) ผลการศึกษา ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าดัชนีคุณภาพน้ำออกซิเจนละลาย (DO) ดังแสดงในภาพที่ 2-3 ในสัปดาห์ที่ 1 คือวันที่ 17 ตุลาคม 2561 ก่อนที่จะมีการเปิดเครื่องเดินระบบบำบัดน้ำ พบว่ามีค่า DO ต่ำ ในทุกๆจุดเก็บตัวอย่าง มีค่าไม่เกิน 0.19 mg/L ซึ่งมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับค่ามาตราฐานคุณภาพน้ำผิวดิน และในช่วงสัปดาห์ที่ 1-3 ค่าดัชนีคุณภาพน้ำออกซิเจนละลาย (DO) มีค่าต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 8 และพบว่าในสัปดาห์ที่ 4 เป็นต้นไปออกซิเจนละลาย (DO) มีแนวโน้มที่สูงขึ้น และอยู่ในเกณฑ์ดีมาก จากภาพจะพบว่า ในช่วงสัปดาห์ที่ 11 ในวันที่ 29 ธันวาคม 2561 เป็นต้นไป บริเวณจุดเก็บตัวอย่างที่ 4 ศาลาพัก มีค่า DO เฉลี่ยสูงที่ประมาณ 6.00 mg/L และจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 บริเวณหน้าเจ้าพ่อพญาแล มีค่า DO เฉลี่ยสูงที่ประมาณ 5.00 mg/L ตามลำดับ และพบว่าออกซิเจนละลาย (DO) มีแนวโน้มที่สูงขึ้นในจุดเก็บที่ 1 มีค่าออกซิเจนละลาย (DO) สูงขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ6.72 mg/L และมีค่าสูงที่สุดที่จุดเก็บที่ 3 เฉลี่ยเท่ากับ 8.50 mg/L ในช่วงเดือนมีนาคม 2562 มีแนวโน้มที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพเฉลี่ยของแหลงน้ำตามธรรมชาติของประเทศไทย ที่กำหนดค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำไว้ในชวง 4.0 - 6.0 ppm

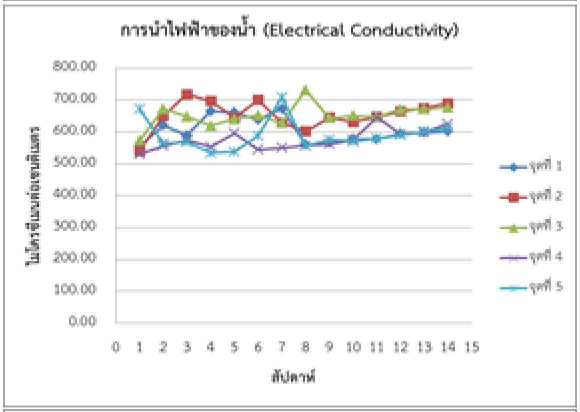
โดยมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และพบว่าน้ำมีคุณภาพดีขึ้น มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ตามลำดับ แสดงถึง น้ำผิวดินบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่าจังหวัดชัยภูมิ มีคุณภาพดีขึ้น ตามเกณฑ์มาตราฐานของกรมควบคุมมลพิษ ตามค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

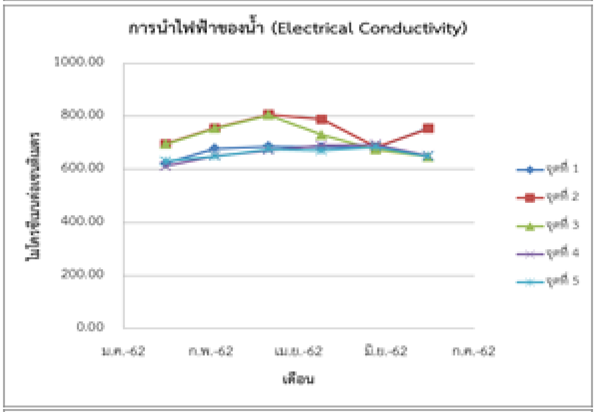


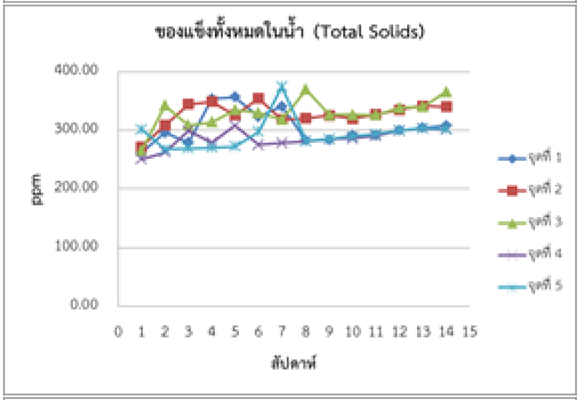


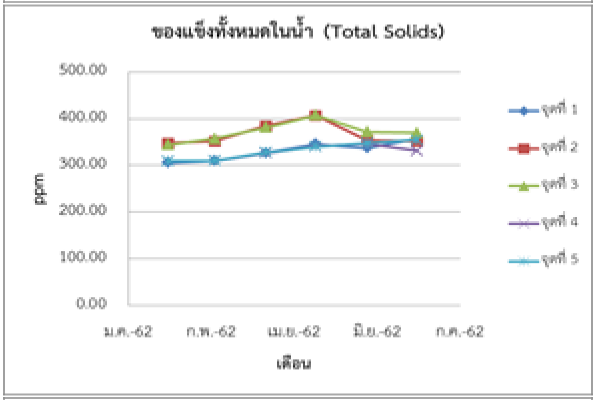

ความเป็น กรด-ด่าง (pH)
pH
สัปดาห์
จุด 2 สะพาน1
จุด 3 สะพาน 2
จุด 4 ศาลาพัก

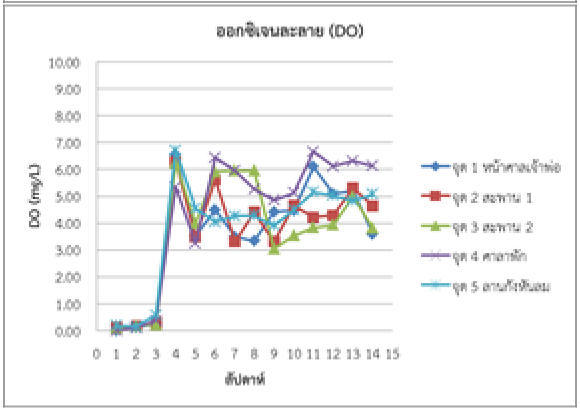

ความเป็น กรด-ด่าง (pH)
pH
เดือน
ม.ค.-62
ก.พ.-62
เม.ย.-62
มิ.ย.-62
ก.ค.-62
จุดที่ 1
จุดที่ 2
จุดที่ 3
จุดที่ 4
จุดที่ 5

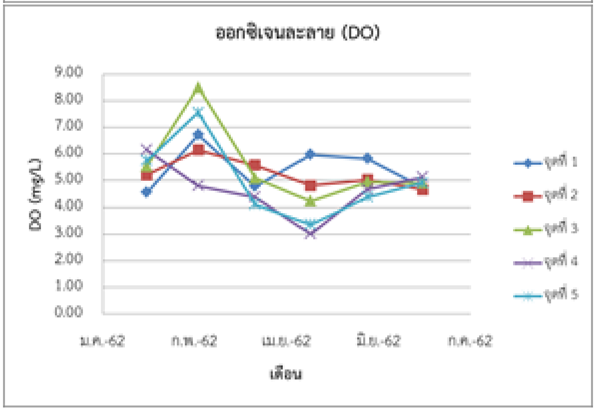

การนำไฟฟ้าของน้ำ (Electrical Conductivity)
ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร
สัปดาห์
จุดที่ 1
จุดที่ 2
จุดที่ 3
จุดที่ 4
จุดที่ 5


การนำไฟฟ้าของน้ำ (Electrical Conductivity)
ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร
เดือน
ม.ค.-62
ก.พ.-62
เม.ย.-62
มิ.ย.-62
ก.ค.-62
จุดที่ 1
จุดที่ 2
จุดที่ 3
จุดที่ 4
จุดที่ 5


ของแข็งทั้งหมดในน้ำ (Total Solids)
ppm
สัปดาห์
จุดที่ 1
จุดที่ 2
จุดที่ 3
จุดที่ 4
จุดที่ 5


ของแข็งทั้งหมดในน้ำ (Total Solids)
ppm
เดือน
ม.ค.-62
ก.พ.-62
เม.ย.-62
มิ.ย.-62
ก.ค.-62
จุดที่ 1
จุดที่ 2
จุดที่ 3
จุดที่ 4
จุดที่ 5


ออกซิเจนละลาย (DO)
DO (mg/L)
สัปดาห์
จุด 1 หน้าศาลเจ้าพ่อ
จุด 2 สะพาน 1
จุด 3 สะพาน 2
จุด 4 ศาลาพัก
จุด 5 ลานกังหันลม


ออกซิเจนละลาย (DO)
DO (mg/L)
เดือน
ม.ค.-62
ก.พ.-62
เม.ย.-62
มิ.ย.-62
ก.ค.-62
จุดที่ 1
จุดที่ 2
จุดที่ 3
จุดที่ 4
จุดที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาดังกลาว สามารถสรุปโดยภาพรวมได้ว่า คุณภาพน้ำบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่าจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ “ดี” ตามมาตรฐานคุณภาพเฉลี่ยของแหลงน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการอุปโภคและใช้ในการเกษตรกรรมทั่วไปได้ และมีความจำเป็นต้องได้รับการตรวจวัดคุณภาพทางด้านชีวภาพและทาง ด้านเคมีเพิ่มเติม ให้เป็นไปตามเกณฑ์คุณภาพน้ำ เชน ปริมาณโลหะหนัก ปริมาณโคลิฟอรมแบคทีเรียและสารหนู เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัย จากเชื้อโรค สิ่งมีชีวิตต่างๆ และสารเคมีอันตรายหรือสารพิษต่างๆ ที่อาจจะปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำได้ ในน้ำบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่าที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน ผศ.ดร.วิรชัย โรยนรินทร์ และ องค์การบริหารส่วนจังหวัดโดยนายกองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ นายมนตรี ชาลีเครือ ในการอนุเคราะห์ให้ร่วมศึกษาวิจัยและอนุเคราะห์พื้นที่ในการศึกษาในครั้งนี้ ขอขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ และคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ โดยคณบดีคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ อาจารย์ ดร. สมภารธัชธรณ์ ศิโลศรีไช ที่อนุญาตให้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์วิทยาศาสตร์ในการศึกษา และคณะทำงาน อาจารย์ นักศึกษาคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่ช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและการศึกษาภาคสนาม

เอกสารอ้างอิง

[1] United States Geological Service. **Water cycle.** Retrieved September 20, 2019, from http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html.

[2] องค์การจัดการน้ำเสีย. **ปริมาณน้ำจืด.** สืบค้นเมื่อ 2 กรกฎาคม 2562. จาก http://www.wma.or.th.

[3] ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์. **แหล่งน้ำ**. สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2562. จาก http://www.lesa.biz/earth/hydrosphere/water-resources.

[4] สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตรองค์การมหาชน. **คลังข้อมูลน้ำและภูมิอากาศแห่งชาติ** .สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2562. จาก http://www.thaiwater.net/web/index.php.

[5] กรมควบคุมมลพิษ. (2557). **คู่มือการดำเนินการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน.** ส่วนแหล่งน้ำจืด สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[6] กรมควบคุมมลพิษ. **มาตรฐานคุณภาพน้ำ.** สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2562. จาก http://www.pcd.go.th/Download/regulation.cfm?task=s3.

[7] USEPA, 1973. **Water Quality Criteria**. InA Report of the Committee on Quality Criteria, Environmental Studies Board, US Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 152 p.

[8] นงค์นาถ อู่ประสิทธิ์วงศ์. (2544).**การผันแปรของปริมาณฝนและอุณหภูมิในประเทศไทย.** สืบค้นเมื่อ 2 กรกฎาคม 2562. จาก https://www.tmd.go.th/info/sec_listpublication05_n.html.

การกำหนดค่าประสิทธิภาพพลังงานของอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์
Energy Efficiency Metrics for Zero Energy Building

พันธุดา พุฒิไพโรจน์*

ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร กรุงเทพมหานคร 10200

บทคัดย่อ

ปัจจุบันได้มีการก่อสร้างอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ (Zero Energy Building, ZEB) ในเกือบทุกภูมิภาคทั่วโลก แต่การพิจารณาว่าอาคารใดเป็นอาคาร ZEB มิได้มีนิยามและเกณฑ์ที่เหมือนกันทีเดียว ซึ่งมีผลต่อการกำหนดค่ามาตรฐานที่ใช้วัดประสิทธิภาพของอาคาร การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของงานออกแบบอาคารสาธิตที่ใช้เกณฑ์ ZEB ของกระทรวงพลังงาน ในขั้นต้นของงานออกแบบอาคาร จำเป็นต้องกำหนดเป้าหมายประสิทธิภาพพลังงาน (energy target) ของอาคาร เพื่อนำมาหาปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ แผง PV และค่าก่อสร้างอาคาร กระทรวงพลังงานได้กำหนดประสิทธิภาพของอาคาร ZEB ใน 2 รูปแบบ คือ ในรูปแบบค่าประสิทธิภาพรวมของทั้งอาคาร โดยใช้ค่า EUI และในรูปแบบค่าประสิทธิภาพรายระบบ ประกอบด้วย 1) ระบบกรอบอาคาร ใช้ค่า OTTV และ RTTV 2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ใช้ค่า LPD 3) ระบบปรับอากาศ ใช้ค่า COP วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ จึงต้องการเปรียบเทียบค่า EUI ของอาคาร ZEB ระหว่างของประเทศไทยกับมาตรฐานและอาคารกรณีศึกษาในต่างประเทศ ความเป็นไปได้ในการออกแบบให้ผ่านเกณฑ์รายระบบ คือ ผ่านค่า OTTV, RTTV, LPD และ COP ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน

วิธีการศึกษา ใช้การค้นคว้าจากเอกสารและการจำลองพลังงานของอาคารที่มีพื้นที่ประมาณ 2,000 ตร.ม. ในกรุงเทพมหานคร ด้วยรูปทรงกล่องเรียบง่าย (simple box) คำนวณหาค่า OTTV, RTTV, ค่า EUI และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง PV ด้วยโปรแกรม BEC หาข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ และหลอดไฟฟ้าจากผู้จำหน่าย

ผลการศึกษา พบว่า ค่า EUI เป้าหมายของประเทศไทยค่อนข้างต่ำ หรือ กำหนดความเข้มข้นไว้ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานและกรณีศึกษาในต่างประเทศ ส่วนเกณฑ์ประสิทธิภาพในรายระบบ โดยใช้ค่า OTTV, RTTV, LPD และ COP นั้น พบว่า ค่า LPD และ COP ยังไม่สามารถผ่านเกณฑ์อาคาร ZEB ได้ในปัจจุบัน แต่ทุกค่าสามารถผ่านเกณฑ์อาคารระดับ ECON (Economic Building) ได้ ซึ่งเร็วกว่าเป้าหมายในแผนอนุรักษ์พลังงาน นอกจากนี้ยังพบว่า การจำลองพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง PV ของโปรแกรม BEC มีความใกล้เคียงกับการใช้โปรแกรม PVWatts อย่างไรก็ตาม การจำลองพลังงานตามมาตรฐาน ASHRAE 209-2018 จะต้องทำซ้ำหลายรอบ ตั้งแต่แบบร่างขั้นต้น จนถึงขั้นแบบก่อสร้าง โดยใช้โปรแกรมขั้นสูงในขั้นตอนต่อไป เพื่อให้ได้ค่า EUI ที่ต่ำ และเป็นไปได้ในการใช้อาคารจริง

คำสำคัญ: อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์, การจำลองค่าพลังงาน, Zero Energy Building, Energy Simulation

บทนำ

เป็นที่ตระหนักดีว่า ปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญระดับโลกในขณะนี้ มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีแหล่งปลดปล่อยใหญ่มาจากภาคพลังงาน โดยส่วนหนึ่งของการผลิตพลังงาน คือ เพื่อรองรับความต้องการของอาคาร ดังนั้น ประเทศต่างๆ ในโลกจึงเห็นว่าการสร้างอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ จะเป็นหนทางสำคัญในการแก้ปัญหาที่ควรได้รับการพัฒนาอย่างเร่งด่วน อาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์

* Corresponding author: Tel.: 081-4216414. E-mail address: drpantuda@gmail.com

(Zero Energy Building, ZEB) คือ อาคารที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูง หรือ ใช้พลังงานน้อยมาก และสามารถผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนได้เท่ากับหรือมากกว่าความต้องการใช้งาน ในปัจจุบันได้มีการสร้างอาคาร ZEB เกิดขึ้นจำนวนมากในเกือบทุกภูมิภาคทั่วโลก แม้แต่ในประเทศที่มีสภาพอากาศร้อนชื้นใกล้เคียงกับประเทศไทย คือ ประเทศสิงคโปร์ ก็ได้มีการนำอาคารเดิมขนาด 4,500 ตร.ม. มาปรับปรุงให้เป็นอาคาร ZEB ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2009 [1]

สำหรับในประเทศไทย กระทรวงพลังงาน ได้กำหนดเกณฑ์ของอาคาร ZEB และเป้าหมายเวลาไว้ในแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-2573) โดยแบ่งประสิทธิภาพพลังงานของอาคารเป็น 4 ระดับ คือ 1) BEC (Building Energy Code) คือ เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานขั้นต่ำในอาคาร 2) HEPS (High Energy Performance Standard) คือ เกณฑ์มาตรฐานขั้นสูงของระบบต่างๆ ซึ่งเป็นเป้าหมายที่สามารถบรรลุด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน 3) Econ (Economic Building) คือ เกณฑ์เป้าหมายในอนาคตอันใกล้เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีของอุปกรณ์และระบบต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไปอีกแต่มีความคุ้มค่าในการลงทุน 4) ZEB (Zero Energy Building) คือ เกณฑ์เป้าหมายในระยะยาวที่อาคารใช้พลังงานที่จ่ายเข้าจากภายนอกในระดับใกล้ศูนย์ เนื่องจากมีความต้องการพลังงานของอาคารที่ต่ำมาก และยังมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน [2]

การกำหนดประสิทธิภาพพลังงานของอาคารในระดับต่างๆ ข้างต้น ใช้เกณฑ์ 2 แบบ คือ เกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานโดยรวมของทั้งอาคาร ซึ่งแสดงด้วยค่าความเข้มข้นของการใช้พลังงาน (Energy Use Intensity, EUI) มีหน่วยวัด (metric) เป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (kWh/m^2-y) ดังตารางที่ 1 [1] และเกณฑ์ประสิทธิภาพในรายระบบที่มีผลต่อการใช้พลังงาน คือ ระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ ซึ่งการศึกษานี้จำกัดขอบเขตเฉพาะประเภทอาคารสำนักงานเท่านั้น จึงแสดงข้อมูลอาคารเพียงประเภทเดียว โดยในแผนฯ ได้อธิบายเพิ่มเติมว่า ค่า EUI เหล่านี้เกิดจากปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศและการระบายอากาศ ประสิทธิภาพอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ต่อมาแผนฯ ดังกล่าว ได้มีการปรับปรุงเป็นแผนอนุรักษ์พลังงานปี พ.ศ. 2558-2579 แต่มิได้มีการเปลี่ยนแปลงค่า EUI

การกำหนดค่าประสิทธิภาพพลังงานรายระบบ คือ 1) ระบบกรอบอาคาร จะวัดจากค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาอาคาร (Roof Thermal Transfer Value, RTTV) 2) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ใช้ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (Lighting Power Density, LPD) 3) ระบบปรับอากาศ ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) (ดูตารางที่ 1) [3] ตัวชี้วัดเหล่านี้เหมือนกันกับในกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 [4] ซึ่งต้องคำนวณการผ่านเกณฑ์ตามกฎหมาย โดยใช้โปรแกรม BEC ของกระทรวงพลังงาน

ตารางที่ 1 เป้าหมายด้านเวลาและปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร

เป้าหมาย (ปี พ.ศ.)	**2562**	**2567**	**2573**	**2579**
ระดับอาคาร	BEC	HEPS	ECON	ZEB
การใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร (kWh/m^2-y)	171	141	82	57
OTTV (W/m^2)	≤ 50	≤ 40	≤ 30	≤ 20
RTTV (W/m^2)	≤ 15	≤ 15	≤ 12	≤ 12
ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (LPD) (W/m^2)	≤ 14	≤ 10	≤ 6	≤ 2
ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ (COP)	≥ 3.22	≥ 3.64	≥ 4.42	≥ 5.45

วัตถุประสงค์ของการศึกษา ประกอบด้วย 1) การเปรียบเทียบเกณฑ์ค่าประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร ZEB ของประเทศไทยกับมาตรฐานอื่นๆ และกรณีศึกษาของต่างประเทศ 2) การหาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการออกแบบให้ผ่านเกณฑ์ ZEB โดยใช้เกณฑ์ค่าประสิทธิภาพพลังงานอาคารในรายระบบ 3) การเปรียบเทียบความสอดคล้องกันระหว่างค่า EUI ที่กำหนดในรูปประสิทธิภาพรวม กับค่า EUI ที่คำนวณได้จากโปรแกรม BEC เมื่อใช้เกณฑ์รายระบบ 4) การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ แผง PV ในเวลาหนึ่งปี จากโปรแกรม BEC และโปรแกรม PVWatts ของ National Renewable Energy Laboratory (NREL) ประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากสมการคำนวณในโปรแกรม BEC ใช้ชั่วโมงการผลิตไฟฟ้าถึง 9 ชั่วโมงต่อวัน ในขณะที่การคำนวณโดยทั่วไปจะคิดเวลาเพียง 4-5 ชั่วโมงต่อวัน

วิธีดำเนินงาน

การดำเนินงานศึกษานี้ เป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาเพื่อออกแบบอาคารสาธิตที่เป็นอาคารที่ใช้พลังงานเป็นศูนย์ ในช่วงการทำแบบร่างขั้นต้น ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. การศึกษาทบทวนจากเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การนิยามความหมายของอาคาร ZEB และขอบเขตพลังงานที่นับรวมใน EUI มาตรฐานการออกแบบอาคาร ZEB มาตรฐานการจำลองพลังงาน กลยุทธ์ที่ใช้ในการออกแบบ ข้อมูลผลิตภัณฑ์หลอดไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ วัสดุกรอบอาคาร

2. การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการผ่านเกณฑ์รายระบบ โดยระบบกรอบอาคาร ใช้การจำลองพลังงานอาคารด้วยโปรแกรม BEC สมมติให้อาคารมีขนาด 2,025 ตร.ม. (15 ม. x 45 ม.) สูง 3 ชั้น ซึ่งเป็นอาคารขนาดใหญ่ตามกฎหมายควบคุมอาคาร ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร แล้วทดลองปรับเปลี่ยนวัสดุผนัง หน้าต่าง ขนาดสัดส่วนหน้าต่าง (Window to Wall Ratio, WWR) และปรับวัสดุหลังคาเพื่อให้ผ่านเกณฑ์ค่า OTTV (≤ 20 W/m^2) และค่า RTTV (≤ 12 W/m^2) ส่วนระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ใช้โปรแกรม Dialux ในการคำนวณหาจำนวนหลอดไฟ โดยใช้หลอดไฟ LED ประสิทธิภาพสูง ให้ความสว่าง 300 ลักซ์ ตามกฎหมายควบคุมอาคาร แล้วนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (Lighting Power Density, LPD) ส่วนระบบปรับอากาศในอาคาร เลือกใช้ระบบ VRF (Variable Refrigerant Flow) ซึ่งเป็นระบบที่เหมาะสมกับอาคารขนาด 2,000 ตร.ม. ซึ่งมีขนาดตันความเย็นที่ต้องการในช่วง 50-60 ตัน โดยใช้การสำรวจค่า COP จากผู้ผลิตหลายราย และนำข้อมูลทุกระบบมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์

3. ทำการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร เพื่อหาค่า EUI เมื่อมีลักษณะรายระบบทุกค่าเท่ากับเกณฑ์ ผลการจำลองด้วยโปรแกรม BEC จะได้ค่าการใช้พลังงานรวมของทั้งอาคารต่อปี และนำมาหารด้วยพื้นที่อาคารเป็นค่า EUI

4. ทำการหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก PV ด้วยโปรแกรม BEC โดยสมมติให้ติดตั้งบนพื้นที่ 472 ตร.ม. หรือ 70% ของพื้นที่หลังคา (675 ตร.ม.) (พื้นที่หลังคาคิดจากรูปทรงอาคารที่จะออกแบบในขั้นต้น คือ สูง 3 ชั้นๆ ละ 675 ตร.ม.) คิดประสิทธิภาพรวมของระบบ 15.6% (โดยคิดจากประสิทธิภาพแผง 19% System loss 14.08% ประสิทธิภาพ Inverter 96%) ซึ่งเป็นการกำหนดตามค่า default ในโปรแกรม PVWatts ซึ่งจะนำผลวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกัน สำหรับในโปรแกรม PVWatts [5] ใช้จำนวนติดตั้ง 77.8 KW (236 แผง x 330 W) (ขนาดแผง 1 ม. x 2 ม.) และใช้ค่า default คือ System loss 14.08% ประสิทธิภาพแผงระดับ Premium 19% ประสิทธิภาพ Inverter 96% หลังคากำหนดให้ทำมุม 15° ลาดเอียงไปทิศใต้เท่ากันทั้ง 2 โปรแกรม

5. สรุปผลจากการวิเคราะห์ เพื่อนำข้อมูล EUI รวมทั้งข้อมูลอื่นๆ จากการค้นคว้า มาใช้ประกอบการพิจารณา กำหนดเป้าหมายพลังงาน สำหรับการออกแบบในขั้นต่อไป

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. ผลจากการทบทวนเอกสาร พบว่า มีประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดประสิทธิภาพพลังงาน และการออกแบบ ซึ่งสามารถสรุปโดยย่อ ได้แก่

นิยามความหมายของอาคาร ZEB – พบว่า มิได้มีความหมายเดียวกันในแต่ละประเทศหรือองค์กร สำหรับในประเทศไทย เป็นที่เข้าใจกันว่าอาคาร ZEB คือ อาคารที่ใช้พลังงานน้อยมาก และสามารถผลิตพลังงานได้อย่างพอเพียงต่อการใช้ โดยคิดในรอบเวลา 1 ปี ซึ่งเป็นการพิจารณาพลังงานที่ผลิตในที่ตั้ง **(site energy)** โดยใช้หน่วยวัด (metric) คือ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (kWh/y) อาคารสามารถเชื่อมต่อกับระบบสายส่งไฟฟ้าได้ แต่นิยามของ Department of Energy (DOE) ประเทศสหรัฐอเมริกา [6] ใช้การพิจารณาจากพลังงานที่ต้องการคิดที่แหล่งผลิต **(source energy)** โดยใช้การเปรียบเทียบระหว่างพลังงานที่นำเข้า (delivered energy) และพลังงานที่ส่งออก (exported energy) ผ่านขอบเขตที่ตั้งโครงการ (site boundary) การแปลงค่าจาก site energy ให้เป็น source energy ใช้การคูณด้วย National Average Source Energy Conversion Factor ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงหรือพลังงานต่างๆ เช่น ไฟฟ้าที่นำเข้ามาใช้ conversion factor = 3.15 ไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียนและส่งออก = 3.15 การนำก๊าซธรรมชาติมาใช้ = 1.09 การนำน้ำเย็นจากระบบ district cooling มาใช้ = 1.04 เป็นต้น DOE เห็นว่าการใช้ source energy สามารถวัดผลกระทบที่เกิดจากการใช้พลังงานได้ดีกว่า site energy โดยเฉพาะถ้าอาคารนั้นมีการใช้พลังงานหรือเชื้อเพลิงหลายประเภท จะสามารถแปลงค่าพลังงานต่างๆ มาอยู่บนฐานเดียวกันและหาเป็นผลรวมพลังงานที่ใช้ได้

กลยุทธ์ที่ใช้ในการออกแบบ - ต้องลดความต้องการพลังงานให้ได้มากที่สุด โดยออกแบบให้สามารถใช้การพึ่งพาธรรมชาติ (passive design) เช่น การใช้ลมธรรมชาติ การบังแดดให้ตัวอาคาร การใช้ฉนวนกันความร้อนที่หลังคาและผนัง การลดความร้อนที่ถ่ายเทผ่านสะพานความร้อน ได้แก่ วงกบโลหะโดยใช้วงกบที่มีวัสดุฉนวนคั่นกลาง (thermal break) ความร้อนที่ผ่านโครงคร่าวผนังและส่วนยื่นของอาคาร เช่น กันสาด หรือ ระเบียง การลดการรั่วซึมของอากาศผ่านวงกบและบานกรอบ โดยใช้หน้าต่างที่ปิดได้แน่น (airtight) การนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ (daylight harvesting) การควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟเมื่อไม่จำเป็นโดยการใช้เซ็นเซอร์แสง (daylight sensor) ในบริเวณใกล้หน้าต่าง การเลือกใช้หลอดไฟที่มีค่า lumen/W สูง ส่วนการออกแบบระบบปรับอากาศ จะต้องเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมกับโหลด และมีค่า COP สูง การออกแบบระบบระบายอากาศ อาจใช้ CO_2 sensor เพื่อวัดค่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องที่มีคนอยู่มาก โดยเมื่อ CO_2 สูงเกินมาตรฐาน จะส่งสัญญาณให้นำอากาศบริสุทธิ์เข้ามาเติมในห้อง ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) เพื่อช่วยลดพลังงานในการปรับอากาศ

ประเภทพลังงานที่ต้องคิดรวม - DOE กำหนดให้พลังงานที่นำเข้าทุกชนิดต้องนำมานับรวมกัน ทั้งไฟฟ้า ไอน้ำ น้ำร้อน น้ำเย็น ชีวมวล ก๊าซธรรมชาติ และอื่นๆ ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยต้องรวมพลังงานในการทำความร้อน ความเย็น การระบายอากาศ การทำน้ำร้อน ไฟฟ้าแสงสว่างทั้งภายนอกและภายในอาคาร อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ปลั๊ก และพลังงานในการผลิต (process load) พลังงานในการขนส่งในอาคาร ส่วนการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อใช้รถภายนอกอาคาร ถือเป็นการส่งออกพลังงานอย่างหนึ่ง เช่นเดียวกับการส่งออกไฟฟ้าที่ผลิตได้ จึงไม่นับรวมในค่า EUI ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตของพลังงานที่ต้องนำมารวมอย่างชัดเจน

ประเภทของพลังงานที่อาคาร ZEB ไม่อาจใช้ได้ - ในต่างประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา จะมีองค์กรที่ให้การรับรอง (certification) อาคาร ZEB เหมือนกับการรับรองอาคารเขียว คือ International Living Future Institute ซึ่งจะให้การรับรองอาคาร ZEB ที่ใช้งานจริงมีหลักฐานการใช้และการผลิตพลังงาน โดยจะไม่ให้การรับรองถ้าอาคารนั้นผลิตพลังงานโดยมีการเผาไหม้ (combustion) เพราะเห็นว่าการทำอาคาร ZEB มิได้เพื่อต้องการประหยัดพลังงาน แต่เพื่อต้องการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสาเหตุโลกร้อนที่เกิดจากอาคาร และต้องการผลักดันสู่เป้าหมายที่ต้องการ คือ ให้อาคารต่างๆ ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นศูนย์

มาตรฐานและกฎหมายในการออกแบบอาคาร ZEB – พบว่า องค์กร Architecture 2030 ที่มีเป้าหมายในการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่เกิดจากอาคารจนถึงระดับเป็นศูนย์ **(Zero-Net-Carbon, ZNC)** ภายในปี ค.ศ. 2030 ได้จัดทำมาตรฐานค่า EUI ของอาคาร ZEB เรียกว่า **Zero Code** [7] ซึ่งสามารถใช้ได้ทั่วโลก ใช้ได้ทั้งอาคารสาธารณะและอาคารพักอาศัยที่สูงมากกว่า 3 ชั้น โดยนำเอาเกณฑ์ของ ASHRAE Standard 90.1-2016 รวมกับเกณฑ์ ASHRAE Standard 189.1-2017 และ 2018 International Green Construction Code (IgCC) มากำหนดในมาตรฐานนี้ และปัจจุบัน IECC (International Energy Conservation Code) มีแผนการที่จะรับเอา Zero Code มาบรรจุใน IECC ฉบับปี ค.ศ. 2021 ด้วยการใช้ Zero Code จะมีโปรแกรม **Energy Calculator** เพื่อใช้ประเมินหาค่า EUI ของอาคารที่สร้างในประเทศต่างๆ จากขนาดพื้นที่อาคาร พื้นที่หลังคา และประเภทอาคาร รวมทั้งประเมินไฟฟ้าที่อาคารต้องการผลิตจาก PV บนพื้นที่หลังคาที่มี และปริมาณไฟฟ้าที่ต้องนำเข้าจากภายนอกที่ตั้งถ้าผลิตได้ไม่เพียงพอ ซึ่งสังเกตได้ว่าตามมาตรฐานนี้อาคาร ZEB สามารถนำเข้าไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียนภายนอกที่ตั้งได้ ซึ่งทำให้โครงการที่อยู่ในพื้นที่แออัดก็สามารถเป็นอาคาร ZEB หรือ ZNC ได้

จากการทดลองคำนวณโดยใช้โปรแกรม Energy Calculator โดยให้อาคารที่ต้องการออกแบบมีขนาด 2,025 ตร.ม. (15 ม. x 45 ม. สูง 3 ชั้น) ในกรุงเทพมหานคร พบว่า จะมีค่า EUI **96.9 kWh/m^2-y** ใช้พลังงานรวมทั้งอาคาร 196.2 MWh/y ถ้าติดตั้งแผง PV บนหลังคา 472 ตร.ม. (70% ของพื้นที่หลังคา 675 ตร.ม.) สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งปี 125.9 MWh/y ซึ่งต้องจัดหาไฟฟ้าจากภายนอกโครงการอีก 70.3 MWh/yr จำนวนแผงที่ติดตั้งทั้งหมดมี Rate capacity 90 kW

คู่มือการออกแบบอาคาร ZEB - องค์กร ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ได้ร่วมกับ AIA (The American Institute of Architects) IES (Illuminating Engineering Society), U.S. Green Building Council และ U.S. Department of Energy จัดทำคู่มือการออกแบบอาคารสำนักงาน ZEB ชื่อ **Achieving Zero Energy: Advanced Energy Design Guide for Small and Medium Office Building** เผยแพร่ในปี ค.ศ. 2019 ASHRAE ได้จำลอง ค่า EUI มาตรฐานของอาคารสำนักงาน ZEB ในเขตภูมิอากาศต่างๆ 19 เขต ตั้งแต่อากาศร้อนสุดขีด (extremely hot) จนถึงหนาวจัดอาร์คติค (arctic) พบว่า สำหรับกรุงเทพมหานคร ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มประเทศอากาศร้อนสุดขีด (extremely hot) จะมีค่า EUI = 23.2 kBtu/ft^2-y (**73.2 kWh/m^2-y**) ถ้าคิดเป็นพลังงาน ที่ต้องการในที่ตั้งโครงการ (site energy) และ 73.1 kBtu/ft^2-y (230.6 kWh/m^2-y) ถ้าคิดเป็นพลังงานที่ต้องการที่แหล่งผลิต (source energy) [8]

มาตรฐานในการจำลองพลังงานสำหรับอาคาร - การจำลองพลังงานจัดเป็นเครื่องมือที่สำคัญมากของการทำอาคาร ZEB ซึ่งพบมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง คือ มาตรฐาน ASHRAE 209-2018 การจำลองพลังงานเพื่อช่วยในการออกแบบอาคาร ยกเว้นอาคารพักอาศัยที่ไม่ใช่อาคารสูง (ASHRAE Standard 209-2018: Energy Simulation Aided Design for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings) ซึ่งได้กำหนดมาตรฐานของการจำลองพลังงานในขั้นตอนต่างๆ ของการพัฒนาอาคาร เป็น 11 รอบ (cycles) [9] โดยมี 7 รอบ สำหรับช่วงการออกแบบ 3 รอบ สำหรับช่วงการก่อสร้าง และ 1 รอบ สำหรับช่วงหลังเข้าใช้งานอาคาร การจำลอง**รอบที่ 1** คือ การใช้อาคารรูปกล่องเรียบง่าย (simple box) เพื่อหาอิทธิพลของรูปทรง ทิศทางการวางอาคาร สัดส่วนหน้าต่าง คุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุกรอบอาคารที่มีผลต่อภาระในการปรับอากาศ และค่า EUI และ**รอบที่ 2** คือ การจำลองพลังงานขั้นแนวคิดในการออกแบบตัวอาคาร **รอบที่ 3** เป็นการจำลองเพื่อหาทางลดพลังงาน โดยมีการใส่รายละเอียดของอาคารเพิ่มขึ้น เช่น การปรับความหนาฉนวน การเพิ่มแผงบังแดด ปรับลดค่าพลังงานของอุปกรณ์สำนักงาน เป็นต้น **รอบที่ 4** คือ การจำลองเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ **รอบที่ 5** เป็นการจำลองพลังงานที่ใส่รายละเอียดของระบบต่างๆ มากขึ้น ทั้งระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบกรอบอาคาร ระบบน้ำร้อน อุปกรณ์ที่ใช้ปลั๊ก **รอบที่ 6** เพื่อหาวิธีบูรณาการ ระบบต่างๆ เข้าด้วยกันให้ได้ประโยชน์สูงสุด (optimization) **รอบที่ 7** เป็นงานที่จะทำเฉพาะในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบเงินลงทุนระหว่างทางเลือกต่างๆ ในการออกแบบ โดยใช้หลักวิศวกรรมคุณค่า (value engineering) **รอบที่ 8** เป็นการจำลองพลังงานโดยใช้ค่านำเข้า (inputs) ตามแบบก่อสร้างที่ทำเสร็จแล้ว เพื่อเปรียบเทียบกับค่าพลังงานเป้าหมาย **รอบที่ 9** เป็นการจำลองเมื่อมีการปรับแก้แบบก่อสร้าง เพื่อดูผลกระทบต่อค่าพลังงาน **รอบที่ 10** เป็นการจำลองพลังงานเมื่ออาคารสร้างเสร็จแล้วโดยใช้ข้อมูลต่างๆ ตามที่ผู้รับเหมาทำจริง **รอบที่ 11** เป็นการเปรียบเทียบระหว่างโมเดลพลังงานจากแบบตามที่ได้ก่อสร้างจริง (as-built) กับค่าพลังงานที่วัดได้จริง และสภาพอากาศในช่วงที่ใช้งานอาคารในรอบ 12 เดือน เพื่อใช้พยากรณ์การใช้พลังงานที่จะเกิดในอนาคต และใช้หาแนวทางในการบริหารจัดการอาคารให้ประหยัดพลังงานยิ่งขึ้น สำหรับการศึกษาค่า EUI และการจำลองพลังงานในบทความนี้ยังอยู่ในรอบที่ 1

ความแตกต่างของค่า EUI - จากการทบทวนเอกสารจะเห็นว่า ค่า EUI ของกระทรวงพลังงานนั้นค่อนข้างต่ำ คือ **57 kWh/m^2-y** เปรียบเทียบกับค่า EUI จากผลการศึกษาโดยการจำลองพลังงาน ASHARE ซึ่งประมาณ **73 kWh/m^2-y** ค่าจากโปรแกรม Zero Code ที่ **96.9 kWh/m^2-y** และจากการรวบรวมข้อมูลอาคาร ZEB โดย New Building Institute ซึ่งวัดค่า EUI จริงของอาคารสำนักงาน Hawaii Gateway Energy Center ได้ **87.4 kWh/m^2-y** และจากอาคารสำนักงาน NREL Research Support Facility ค่า EUI **110 kWh/m^2-y** แต่เป็นค่าจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ [10]

2. ผลจากการจำลองหาลักษณะอาคาร ZEB พบว่า ปัจจุบันสามารถออกแบบอาคารให้ผ่านเกณฑ์ซึ่งมีค่า OTTV ≤ 20 W/m^2 ได้โดยอาคารต้องมีหน้าต่างไม่เกิน 20% ของพื้นที่ผนัง ใช้กระจก 2 ชั้น low-e (U_f = 1.6 W/m^2 °C SHGC = 0.35) ส่วนผนังทึบสามารถใช้วัสดุได้หลายแบบ เช่น ผนังอะลูมิเนียมคอมโพสิตที่ใส่ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน หนา 0.10 ม. ภายในโครงคร่าว (U_w = 0.35 W/m^2 °C) ซึ่งจะได้ค่า OTTV ที่ 21.46 W/m^2 หรือ ใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาหนาประมาณ 0.075 ม. ร่วมกับฉนวนโฟมโพลีสไตรีน หนาประมาณ 0.05 ม. จะได้ค่า OTTV 22.64 W/m^2 โดยผนังทั้ง 2 แบบหากติดตั้งแผงบังแดดภายนอกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient, SC) ประมาณ 0.8 ก็จะทำให้ได้ค่า OTTV ≤ 20 W/m^2 ส่วนค่า RTTV นั้น สามารถใช้ฉนวนใยแก้วประสิทธิภาพสูงเบอร์ 5 (R ≥ 1.25 m^2/W °C) ร่วมกับช่องว่างอากาศในฝ้าเพดาน ขนาด 0.50 ม. และทาสีเซรามิคสะท้อนความร้อนที่ผิวภายนอกเพื่อให้ได้ค่า RTTV < 3 W/m^2 ส่วนค่า LPD ได้ 3.0 m^2/W ไม่ผ่านเกณฑ์ (เกณฑ์ ≤ 2.0 W/m^2) ซึ่งจำลองโดยโปรแกรม Dialux ใช้หลอด LED ขนาด 2,500 lumen กินไฟ 16 วัตต์ หรือ 156 lumen/W (ของ Philips และ L&E) และระบบปรับอากาศแบบ VRF ที่จำหน่าย 4 ยี่ห้อ (Mitsubishi, LG, Daikin, Panasonic) มีค่า COP อยู่ในช่วง 4.81-5.30 ไม่ผ่านเกณฑ์ (เกณฑ์ ≥ 5.45)

3. ผลการหาค่า EUI โดยใช้เกณฑ์ประสิทธิภาพรายระบบ เมื่ออาคารมีค่าต่างๆ เท่ากับเกณฑ์ ZEB พอดี คือ OTTV = 20 W/m^2 RTTV = 12 W/m^2 LPD = 2 W/m^2 และ COP = 5.45 พบว่า จะมีค่า EUI = 19.8 kWh/m^2-y เมื่อไม่รวมอุปกรณ์ไฟฟ้า และ 46.8 kWh/m^2-y เมื่อรวมอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ และต่ำกว่าค่า EUI ในแผนฯ (57 kWh/m^2-y)

4. ผลการเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตได้จาก PV พบว่า ค่าจากโปรแกรม BEC ไม่ได้สูงกว่าโปรแกรม PVWatts แม้ว่าจะใช้ชั่วโมงการผลิตมากกว่า ทั้งนี้ เพราะใช้ค่ารังสีอาทิตย์ที่เป็นค่าเฉลี่ยรายปีจากชั่วโมงการใช้งาน คือ 441 W/m^2 คำนวณการผลิตไฟฟ้าได้ 104,463 kWh/y ส่วนโปรแกรม PVWatts ผลิตได้ 109,282 kWh/y

อย่างไรก็ตามจากผลข้างต้นเป็นการนำอาคารเพียงแบบเดียวมาศึกษา ซึ่งค่า EUI สามารถแตกต่างได้ตามขนาด รูปร่างอาคาร และทิศทางการวางอาคาร และขอบเขตของการใช้พลังงานที่นำมาคิดรวม การนำข้อมูลไปใช้ในโครงการอื่น จึงควรพิจารณาความแตกต่างของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ในการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้

สรุปผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ค่า EUI สำหรับสำนักงานที่กำหนดในแผนอนุรักษ์พลังงานเป็นค่าที่มีความเข้มข้นสูงมาก เมื่อเทียบกับเกณฑ์ในต่างประเทศ เทคโนโลยีปัจจุบันสามารถออกแบบอาคาร ZEB ให้ผ่านเกณฑ์ระบบกรอบอาคารได้ แต่ระบบไฟฟ้าแสงสว่างประสิทธิภาพของหลอดไฟ LED ยังไม่สามารถทำได้ถึงระดับเกณฑ์ที่กำหนด แต่หากปรับวิธีการออกแบบโดยไม่ต้องทำให้สว่างได้มาตรฐานเท่ากันทั่วทั้งห้อง แต่สว่างได้มาตรฐานเฉพาะจุดที่คนนั่งทำงานโดยการใช้โคมเสริมความสว่างที่โต๊ะก็อาจเป็นไปได้ ส่วนระบบปรับอากาศแบบ VRF ยังไม่สามารถมีค่า COP สูงถึงเกณฑ์ที่กำหนด อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของหลอดไฟและเครื่องปรับอากาศปัจจุบันก็มีความใกล้เคียงกับเกณฑ์ระดับ ZEB ซึ่งน่าจะผ่านเกณฑ์ได้ไม่ยากในอนาคตอันใกล้ แต่สำหรับประสิทธิภาพอาคารระดับ ECON ทุกระบบสามารถผ่านได้ ซึ่งเร็วกว่าเป้าหมายในแผนฯ การหาค่า EUI จากโปรแกรม BEC จะได้ค่าที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งจำเป็นต้องวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมอื่นเพิ่มเติมในขั้นตอนต่อไปของการออกแบบ การจำลองประสิทธิภาพพลังงานสำหรับการออกแบบอาคาร ZEB และไฟฟ้าที่ต้องผลิตจะต้องทำซ้ำหลายรอบตั้งแต่งานแบบร่างจนถึงขั้นออกแบบรายละเอียด และแบบก่อสร้าง โดยใช้โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทวนสอบ เพื่อหาประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร และงบประมาณลงทุนที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่จะก่อสร้างมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาและสาธิตการยกระดับเกณฑ์อาคาร ECON สู่เกณฑ์อาคาร Zero Energy Building ของกระทรวงพลังงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] Wittkopf, Stephen. (2015). **Tropical Net Zero**. Available from http://www.hpbmagazine.org/attachments/article/12186/15S-Zero-Energy-Building-BCA-Academy-Singapore.pdf. Access September 2, 2019.

[2] กระทรวงพลังงาน. (2554). **แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-2573)** สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2562 จาก http://www.enconfund.go.th/pdf/index/EEDP_Thai.pdf

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558). เอกสารประกอบการประชุมสัมมนาคณะกรรมการปฏิรูปพลังงาน. สโมสรทหารบก.

[4] กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552.

[5] NREL. PVWatts Calculator. Available from https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php

[6] The National Institute of Building Science. (2015). **A Common Definition for Zero Energy Building**. Prepared for the U.S. Department of Energy. Available from https://www.energy.gov

[7] Architecture 2030. **Zero Code**. Available from https://zero-code.org

[8] ASHRAE. (2018). **Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings: Achieving Zero Energy.** Atlanta, GA.

[9] ASHRAE. (2018). **ANSI/ASHRAE Standard 209-2018: Energy Simulation Aided Design for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. Atlanta, GA.

[10] Hootman, Tom. (2013). **Net Zero Energy Design - A Guide for Commercial Architecture**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

การพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย
Development of solar panel cleaning robot for house

ชิติพัทธ์ ไกรโสดา[1*] สุรเดช ตัญตรัยรัตน์[2] และสมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์[3]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

[3] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์เป็นที่นิยมใช้เพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากพลังงานที่ได้นั้นเป็นพลังงานสะอาด ปราศจากมลพิษและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์ต้องการการดูแลรักษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ดีและมีอายุการใช้งานที่นานขึ้น ความสะอาดบนพื้นผิวเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงมีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย โดยใช้ต้นแบบหุ่นยนต์ที่มีโครงสร้างแบบคาร์ทีเซียนที่ถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงระบบเปิด แบบใช้น้ำในการทำความสะอาด ออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟคโทเรียลเต็มรูป (2^k) ทดลองซ้ำ 2 ครั้ง โดยกำหนดตัวแปรหลักในการทดลองได้แก่ แรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลม เพื่อใช้ทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาด จากผลการทดลอง พบว่า แรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลม มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น .05 โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ แรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลม ตามลำดับ

คำสำคัญ: หุ่นยนต์ทำความสะอาด การทำความสะอาด แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แฟคโทเรียลเต็มรูป (2^k)

บทนำ

สถานการณ์ด้านความต้องการพลังงานของประเทศไทยและทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ดังนั้นจึงต้องมีการจัดหาพลังงานให้มีปริมาณที่เพียงพอ มีราคาที่เหมาะสม และมีคุณภาพที่ดี พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นตัวเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ประกอบกับประเทศไทยอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรทำให้ได้รับแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง และคงที่ ตลอดทั้งปี มีความเข้มของรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 5.0 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (kWh/m2/day) [1] รัฐบาลจึงมีนโยบายสนับสนุนให้ประชาชนเข้ามามีบทบาทและร่วมในการผลิตไฟฟ้าใช้เองและหากมีส่วนเกินสามารถจำหน่ายให้กับการไฟฟ้า ในรูปแบบของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย [2] จึงมีภาคประชาชนที่เริ่มสนใจติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านพักอาศัยเพื่อผลิตไฟฟ้าขายให้กับภาครัฐ

[*] Corresponding author: Tel: 092-6199153. E-mail address: chitipath@gmail.com

ความสกปรกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ความเข้มแสงที่จะกระทบที่เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าลดลง [2-9] อีกทั้งเซลล์แสงอาทิตย์นิยมติดตั้งในที่โล่งแจ้งจึงมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ เช่น ฝุ่นละอองหรือมูลสัตว์ปีก ติดบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ง่าย และเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลง [10-12] ดังนั้นกระบวนการทำความสะอาดหน้าพื้นที่ผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อรักษาระดับการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงที่สุด

ในปัจจุบันระบบการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีกันอยู่หลายรูปแบบ เช่น ใช้คนทำความสะอาดด้วยการใช้ฟองน้ำชุบน้ำยาทำความสะอาด ใช้ไม้ถูทำความสะอาด ใช้เครื่องพ่นน้ำฉีด ใช้หุ่นยนต์ทำความสะอาดโดยมนุษย์ควบคุม หรือแม้กระทั่งใช้หุ่นยนต์ทำความสะอาดแบบอัตโนมัติ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงการเกิดอันตรายข องผู้ที่ต้องปฏิบัติงาน เนื่องจากเป็นการปฏิบัติงานบนพื้นที่สูง ดังนั้นการใช้หุ่นยนต์ปฏิบัติงานแทนจึงเป็นทางเลือกที่มีความปลอดภัยมากที่สุด

ผู้วิจัย จึงสนใจที่จะพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในบ้านพักอาศัย โดยหุ่นยนต์สามารถทำงานในพื้นที่ที่มีความสูงและยากต่อการทำความสะอาด และทดสอบประสิทธิภาพการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยปัจจัยดังนี้คือแรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และ การใช้พัดลมเป่าแห้ง เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาหุ่นยนต์ที่สามารถทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในบ้านพักอาศัยที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีการวิจัย

1. การออกแบบหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1.1 ส่วนประกอบตัวหุ่นยนต์

ออกแบบให้โครงสร้างหลักมีขนาด 30 x 30 x 30 เซนติเมตร (กว้าง x ยาว x สูง) และส่วนขับเคลื่อนเป็นล้อยาง 2 ล้อ เคลื่อนที่ไปตามแนวขอบด้านบนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โครงสร้างหลักได้ติดตั้งล้อประคองการเคลื่อนที่ตามแนวขอบด้านข้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 2 ล้อ โครงสร้างหลักได้ติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ 1) หัวฉีดน้ำที่มีระยะหัวฉีดรวมครอบคลุมขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 27.6 เซนติเมตร ติดตั้งที่ด้านหน้าของหุ่นยนต์ จำนวน 2 หัว และพัดลมเป่าแห้งติดตั้งที่ด้านหลังของหุ่นยนต์ จำนวน 2 ตัว

1.2 ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) 220 โวลต์ ความถี่ 50 Hz ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ขนาด 12 โวลต์ ผ่านวงจรควบคุมลดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เหลือ 5 โวลต์จ่ายไฟฟ้าให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino nano ซึ่งใช้ชิพตระกูล ATmega328 โดยจะติดตั้งในกล่องควบคุม มีอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อดังนี้ 1) แผงวงจรชุดขับมอเตอร์ L298N สามารถควบคุมทิศทางและความเร็วของมอเตอร์ จำนวน 1 แผง 2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ขนาด 5 โวลต์ ความเร็วรอบ 110 rpm 3) สวิตช์เปิด –ปิด การทำงานของพัดลม จำนวน 1 ปุ่ม 4) สวิตช์ปรับระดับความเร็วของหุ่นยนต์ 2 ปุ่ม (LOW และ HIGH) และ 5) สวิตซ์ควบคุมการถอยหลังของหุ่นยนต์ 1 ปุ่ม

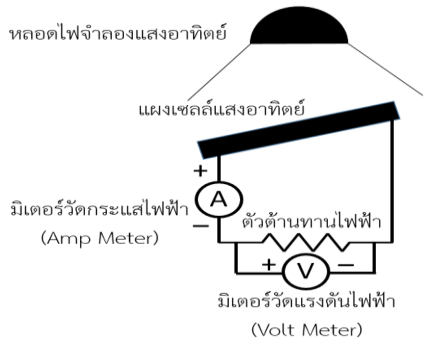
1.3 ระบบการทำงานของหุ่นยนต์

ออกแบบการควบคุมด้วยมือ (Manual Control) ใช้คนทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ด้วยการกดปุ่มบนแผงควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งประกอบด้วยปุ่มควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เดินหน้า และถอยหลังซึ่งสามารถปรับความเร็วรอบได้ 2 ระดับ คือ LOW และ HIGH และปุ่มควบคุมการเป่าแห้งด้วยพัดลม สามารถปรับได้ 2 ระดับคือ พัดลมทำงาน และพัดลมไม่ทำงาน ปรับแรงดันน้ำได้ 2 ระดับคือ LOW และ HIGH จากท่อน้ำขาเข้าด้วยเกจวัดแรงดันน้ำ

2. การทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดของหุ่นยนต์

2.1 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

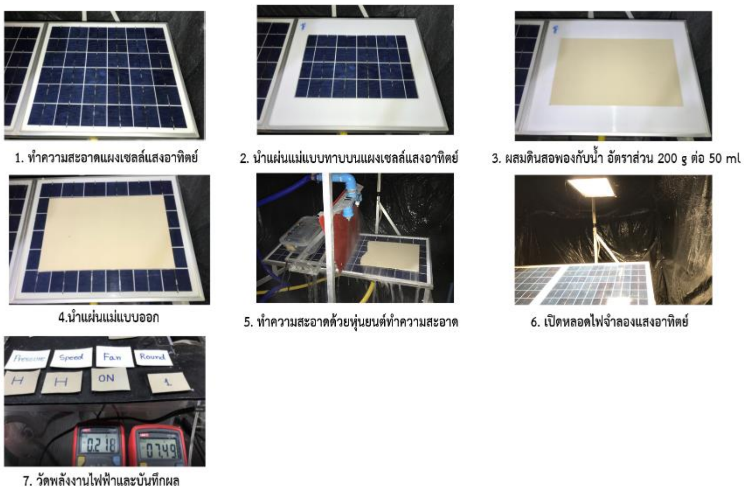
จากภาพที่ 1 แสดงการออกแบบการต่ออุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ด้วยมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าที่ต่ออนุกรม (Series) ขั้วบวกต่อกับผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้วลบต่อกับตัวต้านทานไฟฟ้า และมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าต่อขนาน (Parallel) กับตัวต้านทานไฟฟ้า มีอุปกรณ์ดังนี้ 1) หลอดไฟจำลองแสงอาทิตย์ ชนิดโซเดียมความดันไอสูง ขนาด 500 วัตต์ จำนวน 1 หลอด 2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 วัตต์ จำนวน 1 แผง 3) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบดิจิตอล จำนวน 1 เครื่อง 4) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแบบดิจิตอล จำนวน 1 เครื่อง และ 5) ตัวต้านทานไฟฟ้าขนาด 33 โอห์ม พิกัด 15 วัตต์ ± 5% จำนวน 1 ตัว ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

2.2 การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์

ออกแบบขั้นตอนการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์ มีทั้งหมด 7 ขั้นตอน ซึ่งแสดงขั้นตอนทั้งหมดดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์

2.3 ออกแบบการวิเคราะห์ผลการทดลอง

2.3.1 การทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูป (2^k) กำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการทำความสะอาด 3 ตัวแปร คือแรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และ การเป่าแห้งของพัดลมพิจารณาผลการทดลองด้วยผลลัพธ์ต่อไปนี้ 1) Factorial Regression 2) Pareto Chart 3) Residual Plots

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. หุ่นยนต์ต้นแบบ

จากภาพที่ 3 หุ่นยนต์ที่ได้ออกแบบสามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ โดยสามารถขับเคลื่อนไปตามขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนทำงานร่วมกับล้อลูกปืนที่เป็นตัวประคอง ปรับความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้ 2 ระดับคือ LOW (55 rpm) และ HIGH (110 rpm) มีพัดลมเพื่อเป่าแห้งที่สามารถสั่งปิด (OFF) เปิด (ON) และมีหัวฉีดน้ำทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ปรับแรงดันน้ำได้ 2 ระดับ คือ LOW (1.0 bar) และHIGH (1.8 bar)

ภาพที่ 3 หุ่นยนต์ต้นแบบ

2. ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดของหุ่นยนต์

2.1 การทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูป (2^3)

จากตารางที่ 1 แสดงลำดับของการทดลองและผลของค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปกำลังไฟฟ้า จากการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูป (2^3) มีลำดับการทดลอง 16 ครั้ง จากการกำหนดตัวแปรในการทดลอง 3 ตัวคือ Pressure Speed และ Fan

ตารางที่ 1 ลำดับของการทดลองและผลของค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปกำลังไฟฟ้า จากการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูป (2^3)

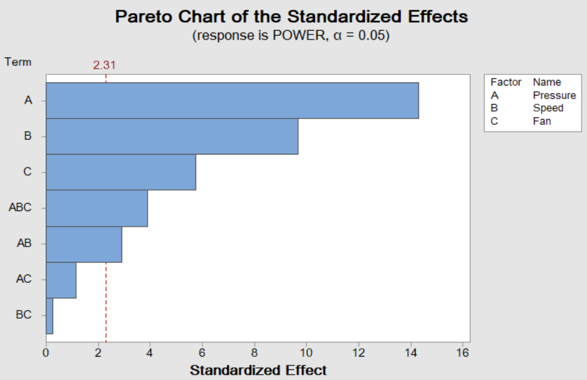
StdOrder	RunOrder	Pressure	Speed	Fan	Power	คำอธิบาย
1	1	LOW	LOW	OFF	1.34	Pressure คือ
4	2	HIGH	HIGH	OFF	1.38	แรงดันน้ำ (Bar)
15	3	LOW	HIGH	ON	1.13	
16	4	HIGH	HIGH	ON	1.75	Speed คือ
8	5	HIGH	HIGH	ON	1.70	ความเร็วรอบ
9	6	LOW	LOW	OFF	1.19	การเคลื่อนที่
6	7	HIGH	LOW	ON	1.83	ของหุ่นยนต์ (rpm)
10	8	HIGH	LOW	OFF	1.79	
5	9	LOW	LOW	ON	1.58	Fan คือ
13	10	LOW	LOW	ON	1.66	การเปิด
3	11	LOW	HIGH	OFF	1.02	ปิดพัดลม
14	12	HIGH	LOW	ON	1.82	
11	13	LOW	HIGH	OFF	0.97	Power คือ
2	14	HIGH	LOW	OFF	1.80	พลังงานไฟฟ้า
7	15	LOW	HIGH	ON	1.05	ในรูปของกำลังไฟฟ้า
12	16	HIGH	HIGH	OFF	1.54	(Watt)

2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยการทดสอบ Analysis of Variance และ Pareto Chart พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 คือมี แรงดันน้ำ (Pressure) ความเร็วรอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Speed) และพัดลมเป่าแห้ง (Fan) เป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรง (Main Effect) และมีอิทธิพลร่วม 3 ทาง (3 Way Interaction Effect) รวมทั้งมีปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วม 2 ทาง (2 Way Interaction) คือ แรงดันน้ำและความเร็วการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

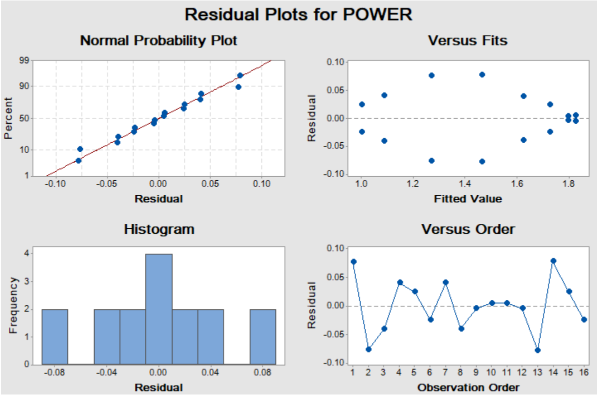
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	1.46841	0.209773	50.95	0.000
Linear	3	1.36469	0.454898	110.48	0.000
Pressure	1	0.84283	0.842827	204.69	0.000
Speed	1	0.38542	0.385419	93.60	0.000
Fan	1	0.13645	0.136448	33.14	0.000
2-Way Interactions	3	0.04107	0.013690	3.32	0.077
Pressure*Speed	1	0.03517	0.035167	8.54	0.019
Pressure*Fan	1	0.00560	0.005595	1.36	0.277
Speed*Fan	1	0.00031	0.000307	0.07	0.792
3-Way Interactions	1	0.06265	0.062646	15.21	0.005
Pressure*Speed*Fan	1	0.06265	0.062646	15.21	0.005
Error	8	0.03294	0.004118		
Total	15	1.50135			



ภาพที่ 4 แสดงผลการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า

2.3 ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model adequacy checking)



ภาพที่ 5 แสดง Residual plots ของค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง

จากภาพที่ 5 ทำให้สรุปได้ว่า การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) พบว่า ค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงปกติ การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) พบว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีรูปแบบที่อิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงให้เห็นว่า ค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน การตรวจสอบความเสถียรของค่าความแปรปรวน (Variance stability) ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) เทียบกับ Flitted value พบว่า ค่าความแปรปรวนของค่าส่วนตกค้างในแต่ละตำแหน่งมีค่าใกล้เคียงกัน และไม่พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีลักษณะเป็นแนวโน้มแต่อย่างใด จึงสรุปว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาหุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย ซึ่งออกแบบให้หุ่นยนต์นั้นสามารถขับเคลื่อนไปตามขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะมีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนทำงานร่วมกับล้อที่

เป็นตัวประคอง มีพัดลมเพื่อเป่าแห้ง แบบต้องใช้คนบังคับ และมีหัวฉีดน้ำที่ทำหน้าที่ฉีดทำความสะอาดพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากผลการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า พบว่า แรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลม มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05 ทั้งทางตรง (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) โดยตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ แรงดันน้ำ ความเร็วรอบของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการเป่าแห้งโดยใช้พัดลมตามลำดับ และเงื่อนไขที่จะทำให้การทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยหุ่นยนต์มีการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ แรงดันน้ำ HIGH (1.8 bar) ความเร็วรอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ LOW (55 rpm) และพัดลมเป่าแห้งเปิด (ON)

เอกสารอ้างอิง

[1] คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์. (2558). สืบค้น 12 มีนาคม 2561 จากhttp://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/h_solar.pdf

[2] นรินพร มาลาศรี. (2562). GREEN Focus. **Green Network**. 94 (4): 17-21.

[3] ภิรมย์สุข สวยสม. (2560). **เครื่องต้นแบบอุปกรณ์เตือนแจ้งการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์เพื่อให้ประสิทธิภาพการจ่ายไฟฟ้าสูงสุด.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[4] เทิดศักดิ์ อินทโชติ กิตติศักดิ์ วาดสันทัด นภัสดล สิงหะดา และวิชวุธ บุญญานุกูล. (2559) “หุ่นยนต์ทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์” , ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม ครั้งที่ 2** , วันที่ 19 ตุลาคม 2559

[5] บุญเทียม เลียมพระจันทร์ พงษ์ศักดิ์ ทามแก้ว กฤติเดช บัวใหญ่ และกาณฑ์ เกิดชื่น. (2017). การศึกษาเพื่อหาแนวทางปรับเพิ่มสมรรถนะระบบโซลาร์เซลล์ที่แผงมีความสกปรก. **วารสารเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า.** 1 (1), 6-9

[6] Savani Nirav., Korat Zalak., Kikani Harsh., Khunt Chintan. and Asst. Prof. Dhaval patel. (2019). **Design and Analysis of Integrated Solar Panel Cleaning System**. 6 (4), 2164-2168

[7] Saravanan V. S., Darvekar S. K. (2018). **Solar Photovoltaic Panels Cleaning Methods A Review.** Bhivarabai Sawant College of Engineering

[8] R. A. Sims., A. S. Biris., J. D. Wilson., C. U. Yurteri., M. K. Mazumder., C. I. Calle., and C. R. Buhler. **Development of a Transparent Self-Cleaning Dust Shield for Solar Panels.** University of Arkansas

[9] **lHiroyuk iKawamoto**. (2019). Electrostatic cleaning equipment for dust removal from soiled solar panels. **Journal of Electrostatics**. Volume 98, March 2019, Pages 11-16

[10] Dipankar Deb. Nisarg L. Brahmbhatt. (2108). **Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 82, Part 3, February 2018, Pages 3306-3313

[11] Anna M. Klepacka., Wojciech J. Florkowski. Ting Meng. (2018). **Clean, accessible, and cost-saving: Reasons for rural household investment in solar panels in Poland.** Resources, Conservation and Recycling. Volume 139, December 2018, Pages 338-350

[12] Mohammad Hammoud., Bassel Shokr., Ali Assi., Jaafar Hallal., and Paul Khoury. (2019). **Effect of dustcleaning on the enhancement of the power generation of a coastal PV-power plant at Zahrani Lebanon.** Solar Energy. Volume 184, 15 May 2019, Pages 195-201

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย

Mathematical Model for Predicting the Heat Transfer Characteristics of a Thermal Storage Tank for a Solar Domestic Hot Water Systems

ณัฐภรณ์ จอมแก้ว[1] วิภาวานี แต้มดื่ม[1] และวีระ พันอินทร์[1*]
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและการถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม Energy2D เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุ 3 ชนิด คือ อลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส พร้อมทั้งศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน เมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและการถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนเทียบกับเวลา จากนั้นสร้างแบบจำลองการหุ้มฉนวนของถังเก็บน้ำร้อน 3 ชนิดคือ ฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex ผลการวิจัย พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง ถังเก็บน้ำร้อนเกิดการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลให้น้ำร้อนที่อยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อนเกิดการแบ่งชั้นของอุณหภูมิ โดยน้ำส่วนบนของถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุด และเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของน้ำร้อนภายในถังเก็บน้ำร้อนลดลงตามระดับชั้นของถังเก็บน้ำร้อน เนื่องจาก ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 237 W/m·°C, 116 W/m·°C และ 16.2 W/m·°C ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนทั้ง 3 ชนิด มีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 37.33·°C ภายหลังเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 36.28 °C, 36.59 °C และ37.18 °C ตามลำดับ ส่งผลให้ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสแตนเลส สามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนได้ยาวนาน ในส่วนของถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีค่าการนำความร้อน เท่ากับ 0.037 W/m·°C, 0.038 W/m·°C และ 0.044 W/m·°C ตามลำดับ ภายหลังเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสแตนเลสหุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 37.43 °C, 37.41 °C และ 37.41 °C ตามลำดับ ทำให้ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสแตนเลสหุ้มฉนวน Aeroflex สามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนได้ยาวนาน ดังนั้นผู้ที่สนใจสามารถเลือกนำเอาวัสดุ ส แตนเลสและฉนวน Aeroflex ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดมาใช้ในการผลิตถังเก็บน้ำร้อนสำหรับบ้านพักอาศัยได้

คำสำคัญ ถังเก็บน้ำร้อน ฉนวนเก็บความร้อน ลักษณะทางกายภาพ การถ่ายเทความร้อน

* Corresponding author: Tel.: 083-6319995. E-mail address weerapunin@lpru.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยในปัจจุบัน ได้ให้ความสำคัญกับพลังงานทดแทนเป็นอย่างมาก หนึ่งในนั้นคือ พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านการประหยัดพลังงานหรือทดแทนการใช้พลังงานหลัก เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในปัจจุบันยังมีต้นทุนที่สูง แต่ด้วยต้นทุนด้านพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นศูนย์ จึงมีข้อได้เปรียบกว่าแหล่งพลังงานอื่น ๆ ทำให้เป็นที่นิยม และมีความคุ้มค่าในการใช้งานระยะยาว

ปัจจุบันคนไทยมีพฤติกรรมการอาบน้ำอุ่นในชีวิตประจำวัน ไม่เพียงแต่ในฤดูหนาวเท่านั้น แต่จะนิยมใช้น้ำอุ่นสำหรับการอาบน้ำในทุก ๆ ฤดูกาล รวมถึงพฤติกรรมการอาบน้ำ ก็จะใช้เวลาในการอาบน้ำที่ยาวนานขึ้น จากผลงานวิจัยของ Yuko Kawahara และคณะ (2005) [1] ได้ศึกษาผลการตอบสนองของร่างกายมนุษย์ต่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้อาบ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการอาบน้ำจะอยู่ที่อุณหภูมิ 39 ℃ ณ อุณหภูมิห้อง 25 ℃ ซึ่งจะทำให้ผู้อาบเกิดความรู้สึกผ่อนคลาย กระตุ้นการไหลเวียนของระบบเลือด ลดสิ่งอุดตันบนรูขุมขนได้อีกด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแทบทุกครัวเรือนของประเทศไทยจะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องทำน้ำอุ่น เพื่อตอบสนองกับความต้องการข้างต้นเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม

การติดตั้งเครื่องทำน้ำอุ่นโดยทั่วไปเป็นการติดตั้งแบบใช้พลังงานไฟฟ้า ส่งผลทำให้มีค่าใช้จ่ายทางด้านค่าไฟฟ้าสูงขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยอุปกรณ์เครื่องทำน้ำอุ่นจัดอยู่ในประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าที่กินไฟสูง มีกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 900–4,800W [2]

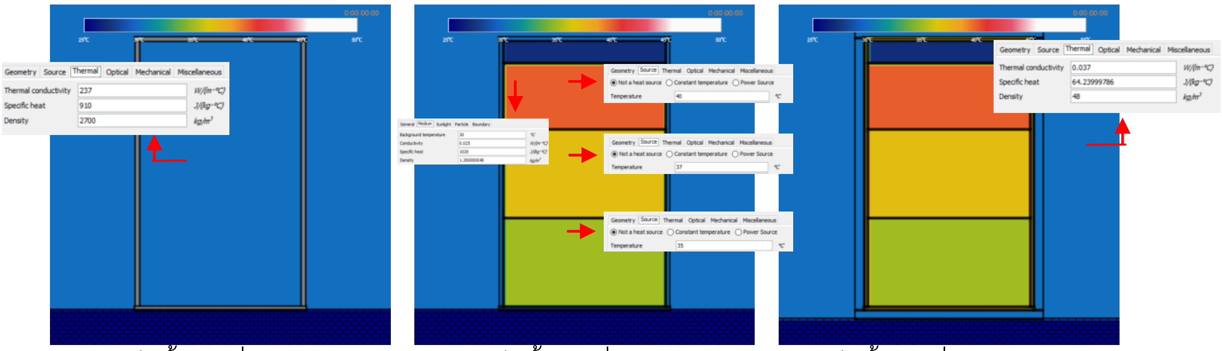
ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถผลิตน้ำร้อนเพื่อมาตอบสนองความต้องการในการอาบน้ำอุ่น ซึ่งระบบนี้จะมีแผงโซลาร์เซลล์ทำหน้าที่รับพลังงานความร้อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า แต่เมื่อแผงโซลาร์เซลล์มีความร้อนสะสมอยู่ใต้แผงมาก จะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าต่ำลง ดังนั้นจึงมีการนำเอาความร้อนสะสมใต้แผงมาใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำร้อนก็จะได้น้ำอุ่นไว้ใช้อาบเป็นการใช้พลังงานความร้อนอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด จากผลงานวิจัยของ Kemal Comakli และคณะ (2012) [3] ที่ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของขนาดถังเก็บน้ำร้อนในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าถังเก็บน้ำร้อนจะทำหน้าที่เก็บพลังงานความร้อนในรูปแบบของน้ำร้อนในเวลากลางวัน แต่จะถ่ายเทความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมในเวลากลางคืน เช่นเดียวกับผลงานวิจัยของ Jose Fer handez-Seara และคณะ (2010) [4] ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนตามธรรมชาติแบบชั่วขณะจากถังเก็บน้ำร้อนรูปทรงกระบอกแนวตั้ง พบว่าน้ำร้อนจะเกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของถังเก็บน้ำร้อนไปยังสิ่งแวดล้อมโดยรอบทำให้อุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนเกิดการสูญเสียความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cynthia A. Cruickshank และคณะ (2010) [5] ได้ศึกษาการการลดความร้อนของถังเก็บน้ำร้อน ได้ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำเทียบกับเวลา โดยพบว่าน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนเกิดการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลให้น้ำร้อนที่อยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อนเกิดการแยกชั้นของอุณหภูมิ โดยน้ำชั้นบนสุดของถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุด และภายในถังเก็บน้ำร้อนอุณหภูมิจะลดลงตามระดับชั้นของถังเมื่อเวลาผ่านไป จากการศึกษาข้อมูลจะเห็นว่ายังขาดข้อมูลในส่วนของการศึกษาวัสดุที่ใช้ในการผลิตถังเก็บน้ำร้อนที่มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูง สามารถเก็บรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนได้ตามความต้องการ

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ้านพักอาศัย ด้วยโปรแกรม Energy2D ซึ่งทำการออกแบบถังเก็บน้ำร้อนขนาด 160 ลิตร เป็นขนาดที่เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำอุ่นสำหรับบ้านพักอาศัยหนึ่งครัวเรือน โดยถังเก็บน้ำร้อนที่ทำการศึกษาถูกสร้างมาจากวัสดุ 3 ชนิดคือ อลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส จากนั้นวิเคราะห์ลักษณะกายภาพและการถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อนทั้ง 3 ชนิดเทียบกับเวลา จากนั้นสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหุ้มฉนวนของถังเก็บน้ำร้อนทั้ง 3 ชนิด และเปรียบเทียบผลการทดลอง

เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ตัดสินใจในการเลือกวัสดุผลิตถังเก็บน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนได้ยาวนานขึ้น อีกทั้งยังตอบสนองต่อความต้องการในการใช้น้ำอุ่นในชีวิตประจำวันได้เป็นอย่างดี

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรม Energy2D ในการจำลองการถ่ายเทความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเริ่มจากการศึกษาหาข้อมูล ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปออกแบบจำลองถังเก็บน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



(ก) ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากอลูมิเนียม (ข) ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากสังกะสี (ค) ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากสแตนเลส

ภาพที่ 1 การออกแบบถังเก็บน้ำร้อนด้วยโปรแกรม Energy2D

1. ออกแบบถังเก็บน้ำร้อนขนาด 160 ลิตร ซึ่งมีขนาดความสูง เท่ากับ 0.80 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 0.50 เมตร ที่ทำจากวัสดุ 3 ชนิด คือ อลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส ดังภาพ (ก)

2. กำหนดค่าพารามิเตอร์ของวัสดุสำหรับผลิตถังเก็บน้ำร้อนทั้ง 3 ชนิด [6-8] ประกอบด้วย ค่าการนำความร้อนของวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส 237 W/m ˚C, 116 W/m ˚C และ16.2 W/m ˚C ตามลำดับ ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส 897 J/kg ˚C, 388 J/kg ˚C และ500 J/kg ˚C ตามลำดับ และค่าความหนาแน่นของวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส 2.70 kg/m^3, 7.14 kg/m^3 และ 8.00 kg/m^3 ตามลำดับ ดังภาพ (ก)

***หมายเหตุ** ค่าพารามิเตอร์ของวัสดุทั้ง 3 ชนิด ประกอบด้วย ค่าการนำความร้อน ค่าความร้อนจำเพาะ และค่าความหนาแน่น อ้างอิงจากสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการศึกษาจริง

3. กำหนดค่าอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนทั้ง 3 ระดับ ประกอบด้วย น้ำส่วนบนมีอุณหภูมิ 40 ℃ น้ำส่วนกลางมีอุณหภูมิ 37 ℃ และน้ำส่วนล่างมีอุณหภูมิ 35 ℃ พร้อมกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 30 ℃ ดังภาพ (ข)

***หมายเหตุ** ค่าอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนทั้ง 3 ระดับ อ้างอิงจากการวัดอุณหภูมิของถังจริง

4. วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและการถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนและความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนทั้ง 3 ชนิดเทียบกับเวลา

5. จากนั้นสร้างแบบจำลองถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวน 3 ชนิด [9-11] คือ ฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และ ฉนวน K-flex ประกอบด้วย ค่าการนำความร้อนของฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex 0.037 W/m, ˚C 0.038 W/m ˚C และ 0.044 W/m ˚C ตามลำดับ ค่าความร้อนจำเพาะของฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex 64.24 J/kg ˚C, 65.93 J/kg ˚C และ 56.41 J/kg ˚C ตามลำดับ และค่าความหนาแน่นของฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex 48 kg/m, 48 kg/m^3 และ 65 kg/m^3 ตามลำดับ ดังภาพ (ค)

***หมายเหตุ** ค่าพารามิเตอร์ของฉนวนเก็บความร้อนทั้ง 3 ชนิด ประกอบด้วย ค่าการนำความร้อน ค่าความร้อนจำเพาะ และค่าความหนาแน่น อ้างอิงจากสมบัติของฉนวนเก็บความร้อนที่ใช้ในการศึกษาจริง

6. ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและการถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนทั้ง 3 ชนิดหุ้มฉนวนทั้ง 3 ชนิด และความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนทั้ง 3 ชนิดหุ้มฉนวนทั้ง 3 ชนิดเทียบกับเวลา

7. นำข้อมูลการวิเคราะห์จากข้อ 6 มาเปรียบเทียบผลของลักษณะทางกายภาพและการถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวน และผลความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวนเทียบกับเวลา

8. จากนั้นทำการเลือกถังเก็บน้ำร้อนที่สามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนได้ยาวนาน

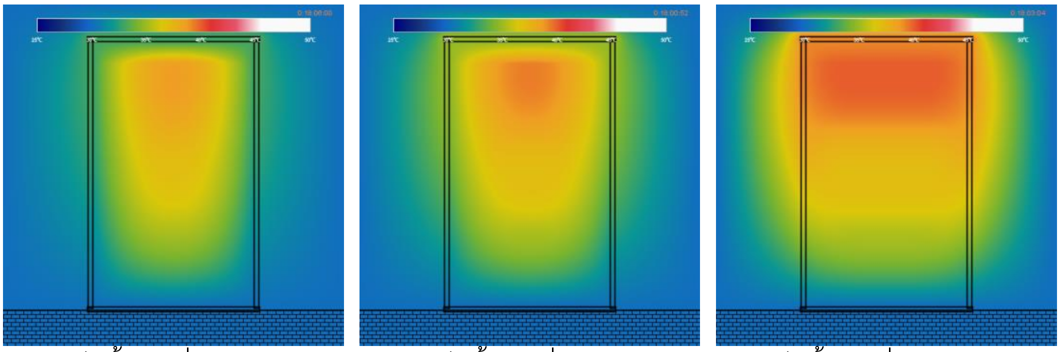
9. สรุปและรายงานผลงานวิจัย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ทำการจำลองการถ่ายเทความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุ 3 ชนิด คือ อลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส ด้วยโปรแกรม Energy2D โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวัสดุสำหรับผลิตถังเก็บน้ำร้อน พร้อมทั้งศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง และทำการสร้างแบบจำลองการหุ้มฉนวนของถังเก็บน้ำร้อน 3 ชนิดคือ ฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฉนวนเก็บความร้อน จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและการถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนทั้ง 3 ชนิดหุ้มฉนวนทั้ง 3 ชนิด และความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนทั้ง 3 ชนิดหุ้มฉนวนทั้ง 3 ชนิดเทียบกับเวลา พร้อมทั้งนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาเปรียบเทียบผลจากการจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผลการศึกษาแสดงดังนี้

1.ผลของลักษณะทางกายภาพการถ่ายเทความร้อนภายในถังเก็บน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและการถ่ายเทความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส ด้วยโปรแกรม Energy2D ผลการวิจัยแสดงดังนี้



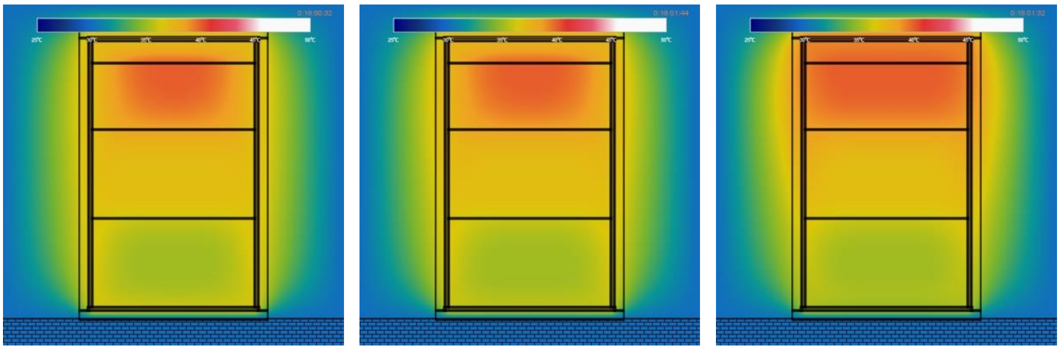
(ก) ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากอลูมิเนียม (ข) ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากสังกะสี (ค) ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากสแตนเลส

ภาพที่ 2 การถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส ในช่วงเวลา 16.00 น. – 09.00 น.

จากภาพที่ 2 พบว่า ลักษณะทางกายภาพและการถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน เมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง ถังเก็บน้ำร้อนเกิดการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลให้น้ำร้อนที่อยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อนเกิดการแบ่งชั้น

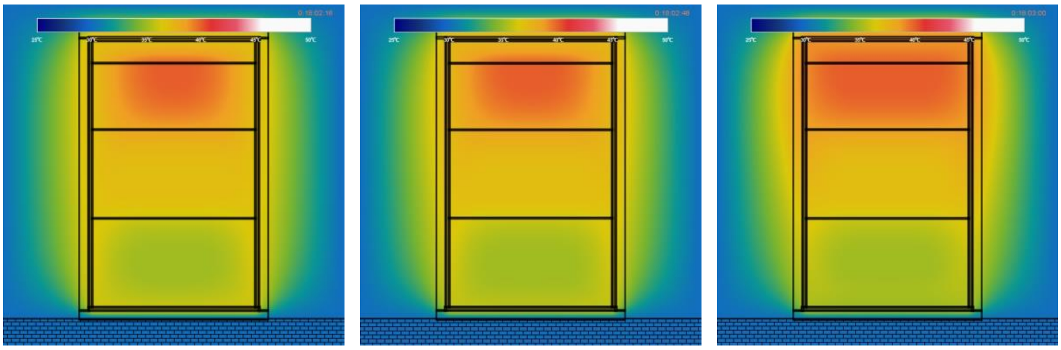
ของอุณหภูมิ โดยน้ำส่วนบนของถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูง โดยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูง มีความหนาแน่นต่ำ น้ำร้อนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่บริเวณส่วนบนของถังเก็บน้ำร้อน และน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ มีความหนาแน่นสูง น้ำร้อนจะเคลื่อนที่ลงสู่บริเวณส่วนล่างของถังเก็บน้ำร้อน และเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของน้ำร้อนภายในถังเก็บน้ำร้อนลดลงตามระดับชั้นของถังเก็บน้ำร้อนซึ่งเป็นไปตามกฎการถ่ายเทความร้อนของธรรมชาติ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ในการบรรจุน้ำร้อน เนื่องจากถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีค่าการนำความร้อน เท่ากับ 237 W/m·°C, 116 W/m·°C และ 16.2 W/m·°C ตามลำดับ ภายหลังเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 36.28 °C, 36.59 °C และ 37.18 °C ตามลำดับ ส่งผลให้ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสแตนเลส สามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนได้ยาวนาน

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพและการถ่ายเทความร้อนของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส หุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex ด้วยโปรแกรม Energy2D ผลการวิจัยแสดงดังนี้

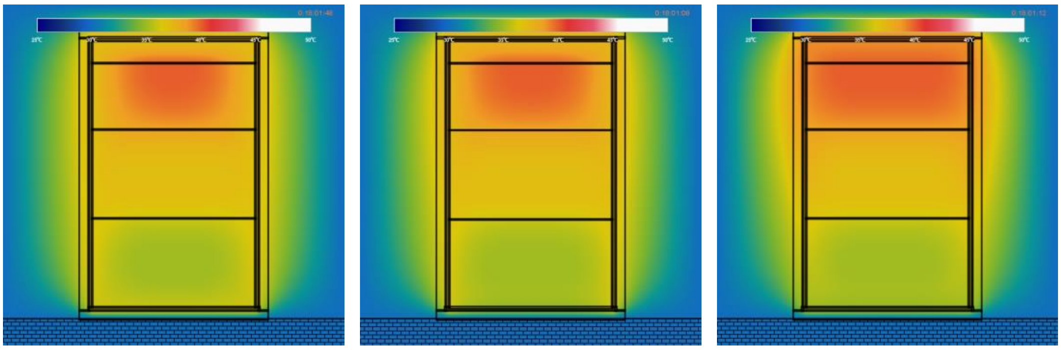


(ก) Aeroflex(Al) (ข) Maxflex(Al) (ค) K - flex(Al)

ภาพที่ 3 การถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส หุ้มด้วยฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex ในช่วงเวลา 16.00 น. – 09.00 น.



(ง) Aeroflex(Zn) (จ) Maxflex(Zn) (ฉ) K - flex(Zn)



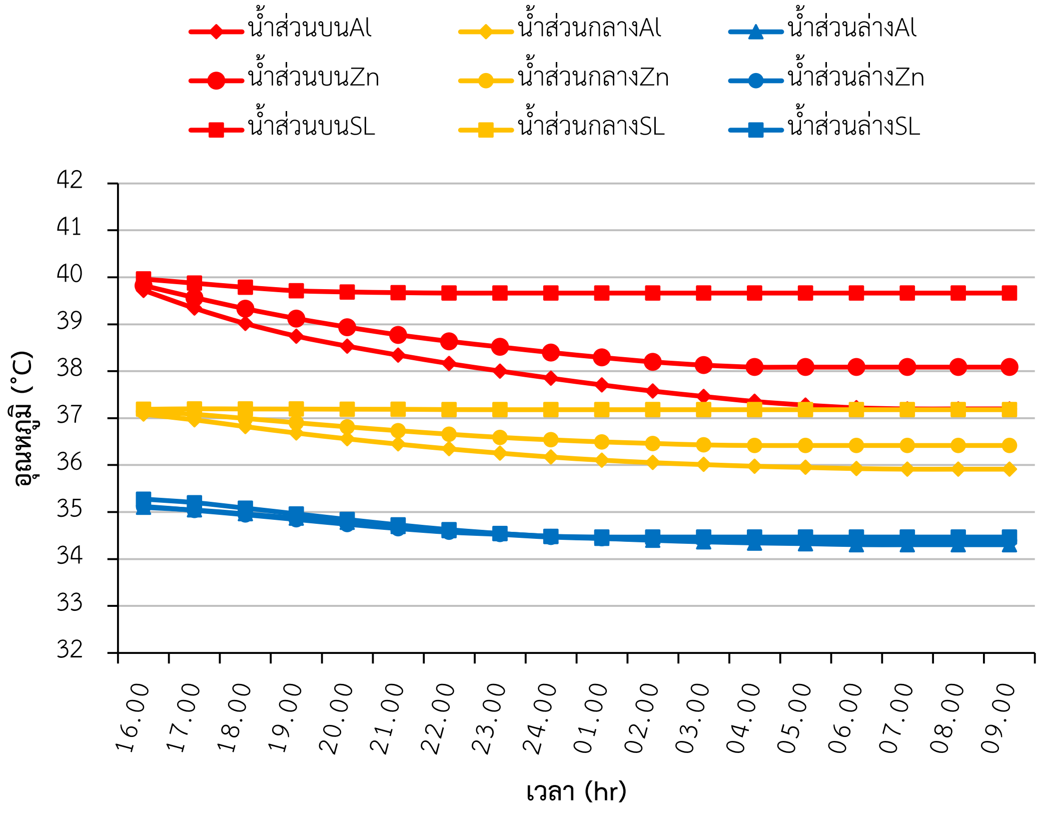
(ช) Aeroflex(SL) (ซ) Maxflex(SL) (ฌ) K - flex(SL)

ภาพที่ 3 การถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส

หุ้มด้วยฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex ในช่วงเวลา 16.00 น. – 09.00 น. จากภาพที่ 3 พบว่า ลักษณะทางกายภาพและการถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อน เมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง ถังเก็บน้ำร้อนเกิดการสูญเสียความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลให้น้ำร้อนที่อยู่ภายในถังเก็บน้ำร้อนเกิดการแบ่งชั้นของอุณหภูมิ โดยน้ำส่วนบนของถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิสูง โดยน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูง มีความหนาแน่นต่ำ น้ำร้อนจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่บริเวณส่วนบนของถังเก็บน้ำร้อน และน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำ มีความหนาแน่นสูง น้ำร้อนจะเคลื่อนที่ลงสู่บริเวณส่วนล่างของถังเก็บน้ำร้อน และเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของน้ำร้อนภายในถังเก็บน้ำร้อนลดลงตามระดับชั้นของถังเก็บน้ำร้อนซึ่งเป็นไปตามกฎการถ่ายเทความร้อนของธรรมชาติ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ในการบรรจุน้ำร้อนและฉนวนเก็บความร้อน เนื่องจากฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีค่าการนำความร้อน เท่ากับ 0.037 W/m·°C, 0.038 W/m·°C และ 0.044 W/m·°C ตามลำดับ ภายหลังเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียมหุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 37.14 °C, 37.10 °C และ 37.11 °C ตามลำดับ ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสังกะสีหุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 37.19 °C, 37.17 °C และ 37.17 °C ตามลำดับ และถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสแตนเลสหุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 37.43 °C, 37.41 °C และ 37.41 °C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสแตนเลสหุ้มฉนวน Aeroflex สามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนได้ยาวนาน

2.ผลของศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง

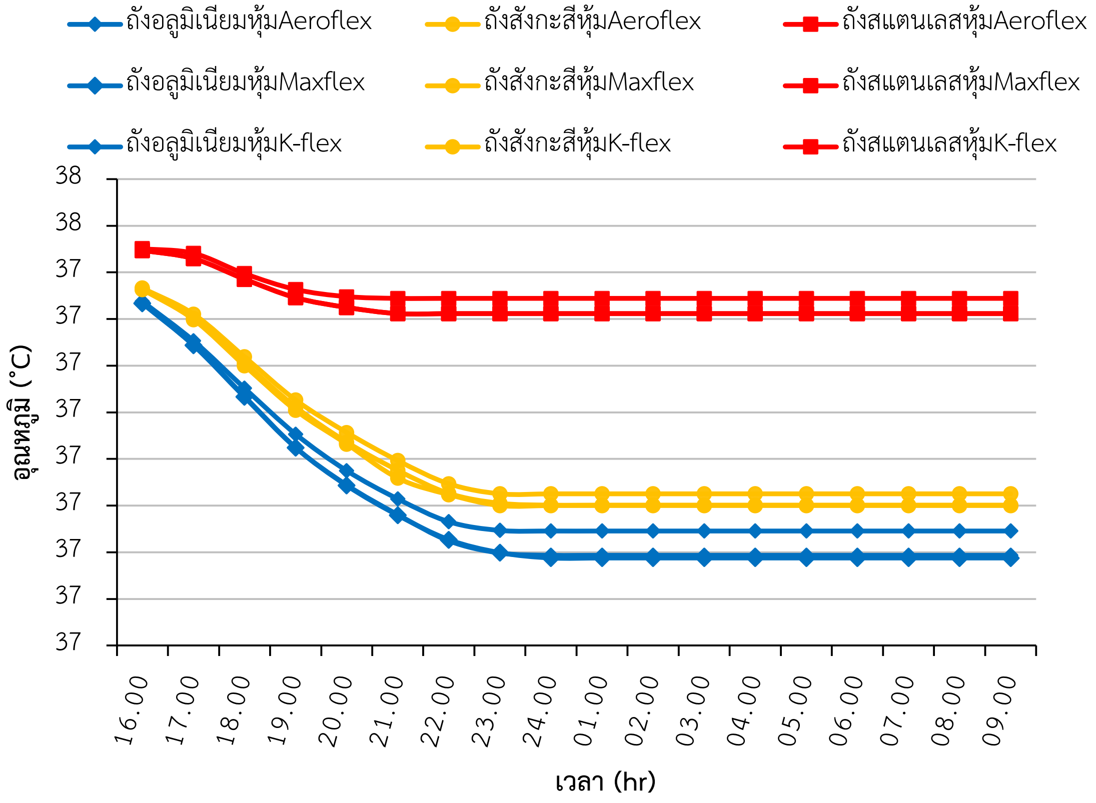
จากการศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง ของถังเก็บน้ำร้อน ผลการวิจัยแสดงดังนี้



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส เทียบกับเวลาในช่วง 16.00 น. – 09.00 น.

จากภาพที่ 4 พบว่า ผลความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของถังเก็บน้ำร้อนทั้ง 3 ชนิด มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 40 °C, 37 °C และ 35 °C ตามลำดับ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนส่วนบนของถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีอุณหภูมิ 38 °C, 38.57 °C และ 39.70°C ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนส่วนกลางของถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีอุณหภูมิ 36.29°C, 36.63 °C และ 37.18 °C ตามลำดับ และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนส่วนล่างของถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และ สแตนเลส มีอุณหภูมิ 34.56℃, 34.58 ℃ และ 34.66 °C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ภายหลังเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนส่วนบนของถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีอุณหภูมิลดลงจากเดิม 2.00 °C, 1.43 °C และ 0.30 °C ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 5, 3.6 และ 0.75 ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนส่วนกลางของถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีอุณหภูมิลดลงจากเดิม 0.71 °C, 0.37 °C และ 0.18 °C คิดเป็นร้อยละ 1.90, 1.00 และ 0.48 ตามลำดับ และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนส่วนล่างของถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และ สแตนเลส มีอุณหภูมิลดลงจากเดิม 0.44 °C, 0.42 °C และ 0.34 °C คิดเป็นร้อยละ 1.26, 1.20 และ 0.97 ตามลำดับ ตามลำดับ ดังนั้นถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสแตนเลสที่มีค่าการนำความร้อนน้อยที่สุด จึงสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนได้ยาวนาน

จากการศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนเมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมงของถังเก็บน้ำร้อนทั้ง 3 ชนิด หุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex ผลการวิจัยแสดงดังนี้



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส หุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex เทียบกับเวลาในช่วง 16.00 น. – 09.00 น.

จากภาพที่ 5 พบว่า ผลความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส หุ้มด้วยฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 37.33 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนทำจากวัสดุอลูมิเนียมหุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีอุณหภูมิ 37.14 °C, 37.10 °C และ 37.11 °C ตามลำดับ จะได้ว่าถังเก็บน้ำร้อนทำจากวัสดุอลูมิเนียมหุ้มฉนวน Aeroflex มีอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนทำจากวัสดุสังกะสีหุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีอุณหภูมิ 37.19 °C, 37.17 °C และ 37.17 °C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าถังเก็บน้ำร้อนทำจากวัสดุสังกะสีหุ้มด้วยฉนวน Aeroflex มีอุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนทำจากวัสดุ สแตนเลสหุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีอุณหภูมิ 37.43 °C, 37.41 และ 37.41 °C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าถังเก็บน้ำร้อนทำจากวัสดุสแตนเลสหุ้มด้วยฉนวน Aeroflex มีอุณหภูมิสูงสุด เมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสแตนเลสหุ้มฉนวน Aeroflex มีอุณหภูมิลดลงจากเดิม 0.1 °C ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสังกะสีหุ้มฉนวน Aeroflex มีอุณหภูมิลดลงจากเดิม 0.14 °C และถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียมหุ้มฉนวน Aeroflex มีอุณหภูมิลดลงจากเดิม 0.19 °C เนื่องจากฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีค่าการนำความร้อน เท่ากับ 0.037 W/m·°C, 0.038 W/m·°C และ 0.044 W/m·°C ตามลำดับ ดังนั้นถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสแตนเลสหุ้มฉนวน Aeroflex ที่มีค่าการนำความร้อนน้อยที่สุดจึงสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนได้ยาวนาน

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยข้างต้นสามารถสรุปได้ ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 40 °C, 37 °C และ 35 °C ตามลำดับ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนส่วนบนของถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีอุณหภูมิ 38 °C, 38.57 °C และ 39.70°C ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนส่วนกลางของถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีอุณหภูมิ 36.29°C, 36.63 °C และ 37.18 °C ตามลำดับ และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนส่วนล่างของถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และ สแตนเลส มีอุณหภูมิ 34.56°C, 34.58 °C และ 34.66 °C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ภายหลังเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนส่วนบนของถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีอุณหภูมิลดลงจากเดิม 2.00 °C, 1.43 °C และ 0.30 °C ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 5, 3.6 และ 0.75 ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนส่วนกลางของถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีอุณหภูมิลดลงจากเดิม 0.71 °C, 0.37 °C และ 0.18 °C คิดเป็นร้อยละ 1.90, 1.00 และ 0.48 ตามลำดับ และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนส่วนล่างของถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีอุณหภูมิลดลงจากเดิม 0.44 °C, 0.42 °C และ 0.34 °C คิดเป็นร้อยละ 1.26, 1.20 และ 0.97 ตามลำดับ ตามลำดับ เนื่องจากถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส มีค่าการนำความร้อน 237 W/m·°C, 116 W/m·°C และ 16.2 W/m·°C ตามลำดับ ดังนั้นถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสแตนเลสที่มีค่าการนำความร้อนน้อยที่สุด ส่งผลให้อุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิที่สูงกว่าถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสังกะสี และอลูมิเนียม จึงสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนได้ยาวนาน

ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียม สังกะสี และสแตนเลส หุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีอุณหภูมิเฉลี่ยเริ่มต้นที่ 37.33 °C อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียมหุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีอุณหภูมิ 37.14 °C, 37.10 °C และ 37.11 °C ตามลำดับ จะได้ว่าถังเก็บน้ำร้อนทำจากวัสดุอลูมิเนียมหุ้มฉนวน Aeroflex มีอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสังกะสีหุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีอุณหภูมิ 37.19 °C, 37.17 °C และ 37.17 °C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสังกะสีหุ้มฉนวน Aeroflex มีอุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยภายในถังเก็บน้ำร้อนทำจากวัสดุ

สแตนเลสหุ้มฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีอุณหภูมิ 37.43 °C, 37.41 และ 37.41 °C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสแตนเลสหุ้มฉนวน Aeroflex มีอุณหภูมิสูงสุด เมื่อเวลาผ่านไป 18 ชั่วโมง ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุอลูมิเนียมหุ้มฉนวน Aeroflex มีอุณหภูมิลดลงจากเดิม 0.19 °C คิดเป็นร้อยละ 0.51 ถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสังกะสีหุ้มฉนวน Aeroflex มีอุณหภูมิลดลงจากเดิม 0.14 °C คิดเป็นร้อยละ 0.38 และถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสแตนเลสหุ้มฉนวน Aeroflex มีอุณหภูมิลดลงจากเดิม 0.1 °C คิดเป็นร้อยละ 0.27 เนื่องจากฉนวน Aeroflex ฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex มีค่าการนำความร้อน เท่ากับ 0.037 W/m·°C, 0.038 W/m·°C และ 0.044 W/m·°C ตามลำดับ ดังนั้นถังเก็บน้ำร้อนที่ทำจากวัสดุสแตนเลสหุ้มฉนวน Aeroflex ที่มีค่าการนำความร้อนน้อยที่สุด ส่งผลให้อุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อนมีอุณหภูมิที่สูงกว่าถังเก็บน้ำร้อนที่หุ้มฉนวน Maxflex และฉนวน K-flex จึงสามารถรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังเก็บน้ำร้อนได้ยาวนาน ดังนั้น ผู้ที่สนใจสามารถเลือกนำเอาวัสดุสแตนเลสและฉนวน Aeroflex ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดมาใช้ในการผลิตถังเก็บน้ำร้อนสำหรับบ้านพักอาศัยได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] YukoKawahara, MayumiNagata, YukiNiimi, ChihiroMiwa, SatoshiIwase. (2005). **Effects of bath water and bathroom temperatures on human thermoregulatory function and thermal perception during half-body bathing in winter**. Accessed May 9, 2019. Available from:URL:https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1572347X05800291?via%3Dihub.

[2] กองพัฒนาระบบไฟฟ้า. **ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้า**. สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2562. จาก : https://www.pea.co.th/ความรู้เกี่ยวกับไฟฟ้า/ArtMID/606/ArticleID/852.

[3] KemalÇomaklı, UğurÇakır, MehmetKaya, KadirBakirci. (2012). **The relation of collector and storage tank size in solar heating systems**. Accessed February 2, 2019. Available from: URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890412001112.

[4] José Fernández-Seara, Francisco J, UhíaJ.Alberto Dopazo. (2011). **Experimental transient natural convection heat transfer from a vertical cylindrical tank**. Accessed February 2, 2019. Available from: URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431111001190.

[5] Cynthia A. Cruickshank, Stephen J. Harrison (2010). **Heat loss characteristics for a typical solar domestic hot water storage**. Accessed March 3, 2019. Available from: URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810001544.

[7] efunda. (2019). **Element Information: Zinc.** Accessed October 14, 2019. Available from: URL: https://www.efunda.com/materials/elements/element_info.cfm?Element_ID=Zn

[8] ASM Aerospace Specification Metals In. (2019). **AISI Type 304 Stainless Steel**. Accessed October 14, 2019. Available from: URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/

S0378778810001544.

[9] AEROFLEX. (2019). **AEROFLEX METRIC 8P.pdf.** Accessed October 14, 2019. Available from: URL: http://www.aeroflex.co.th/Portals/1/products/AEROFLEX%20METRIC%208P.pdf

[10] MAXFLEX. (2019). **Maxflex Standard**. Accessed October 14, 2019. Available from: URL: http://www.maxflexinsulation.com/product_SD_spec.php

[11] K-FLEX. (2019).**K-FLEX**. Accessed October 14, 2019. Available from: URL: http://www.kflex.com/CATALOG/ENGLISH-CATALOG.pdf

แบบจำลองการพยากรณ์พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย : กรณีศึกษา โซลาร์ฟาร์มในจังหวัดนครราชสีมา

Solar Energy Forecasting model in Thailand: Case study Solar Farm at Nakhon Ratchasima province

เพ็ญศิริ จุลเจริญ[1*] และวิทยา ยงเจริญ[2]

[1]หลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์กับตัวแปรต่างๆ คือ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh/m^2) อุณหภูมิโดยรอบ (°C) อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (°C) และความเร็วลม (m/sec) จำนวนทั้งหมด 1,461 ข้อมูล ตั้งแต่ 1 มกราคม 2558 – 31 ธันวาคม 2561 โดยเป็นข้อมูลรายวันที่บันทึกจากอุปกรณ์ที่ติดตั้ง ณ โซลาร์ฟาร์มในจังหวัดนครราชสีมา ข้อมูลดังกล่าวนำมาวิเคราะห์เชิงสถิติ โดยกำหนดให้ ตัวแปรตาม (Dependent Variable: y) คือ พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวแปรต้น (Independent Variable: x) คือ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (x_1), อุณหภูมิโดยรอบพื้นที่ (x_2), อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (x_3) และความเร็วลม (x_4) และหาความสัมพันธ์ของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระด้วยวิธีถดถอย (Regression) จากการวิเคราะห์ได้สมการที่เหมาะสมกับชุดข้อมูล 4 สมการและได้ตรวจสอบผลกับชุดข้อมูลใหม่ 1 มกราคม 2562 – 30 มิถุนายน 2562 แล้วนโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) โดยสมการพยากรณ์ที่ (1) $\hat{y}_1$ มีค่า R^2 = 0.9755 และ S = 2.69% สมการพยากรณ์ที่ (2) $\hat{y}_2$ มีค่า R^2 = 0.9759 และ S = 2.68% สมการพยากรณ์ที่ (3) $\hat{y}_3$ มีค่า R^2 = 0.9762 และ S = 2.67% และสมการพยากรณ์ที่ (4) $\hat{y}_4$ มีค่า R^2 = 0.9674 และ S = 2.96% โดยสมการที่จะใช้ในการพยากรณ์พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็น $\hat{y}_3$ จะเหมาะสมที่สุดเพราะมีค่า R^2 สูงสุดขึ้นและขึ้นกับกับตัวแปรภายนอกเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ตัวแปรพลังงานแสงอาทิตย์ ตัวแปรอุณหภูมิโดยรอบพื้นที่และตัวแปรความเร็วลม

คำสำคัญ: พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ความสัมพันธ์ของตัวแปร วิธีการถดถอย

[*] Corresponding author: Tel : 0827800498. E-mail address : arnajang@hotmail.com

บทนำ

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน และแสงสว่างที่ใหญ่ที่สุด ประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตใกล้เส้นศูนย์สูตร หรือเส้นแบ่งครึ่งโลก จึงได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์รวมเฉลี่ยของประเทศประมาณ 4.7 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน หากเราสามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ที่สอดส่องลงมาบนพื้นที่ของประเทศไทยเพียงหนึ่งในร้อยส่วนของพื้นที่ทั้งหมด เราจะได้รับพลังงานเทียบเท่าการใช้น้ำมันดิบประมาณ 7,000,000 ตันต่อปี การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทำได้สองลักษณะ คือ

1. กระบวนการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบลงมาบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ

2. กระบวนการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน โดยให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านแผ่นรับแสงมาตกกระทบยังพื้นสีดำ ทำให้เกิดความร้อนเพิ่มมากขึ้นเหนือบริเวณพื้น เราสามารถนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในลักษณะต่าง ๆ อาทินำไปใช้ผลิตน้ำร้อน กลั่นน้ำ อบแห้งพืชผลทางการเกษตร

ปัญหาที่เป็นข้อจำกัดสำคัญที่สุดของการนำพลังงานแสงอาทิตย์ปัญหาเรื่อง ความไม่สม่ำเสมอของแหล่งพลังงาน คือ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานประเภทที่ไม่สามารถผลิตได้ตลอดเวลา ในช่วงเวลาที่ไม่มีแดดก็จะไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ แต่แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีต้นทุนผันแปร และไม่มีต้นทุนค่าเชื้อเพลิง เนื่องจากว่าต้นทุนเกือบทั้งหมดของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีเพียงต้นทุนค่าก่อสร้าง และระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลักเท่านั้น ต้นทุนค่าดำเนินการและบำรุงรักษามีค่าน้อยมาก และพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานสะอาด เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติ แสดงข้อได้เปรียบที่เป็นเอกลักษณ์ด้วยปริมาณสำรองที่มากและมีคุณสมบัติปลอดมลภาวะ ได้รับการยอมรับในระดับสากลว่าเป็นตลาดที่มีการแข่งขันสูงที่สุดในอนาคต ปริมาณการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์จะได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้น ค่าความสูญเสียของระบบ และการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ความสำคัญของรังสีดวงอาทิตย์มีผลต่อปริมาณการผลิตไฟฟ้าโดยตรง ยิ่งความเข้มของรังสีมากเท่าใดการสร้างพลังงานมากขึ้นเท่านั้น

งานวิจัยนี้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์กับตัวแปรต่างๆ โดยพิจารณาพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความเร็วลม และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากข้อมูลในอดีตที่มีการเก็บบันทึกไว้ของโซลาร์ฟาร์มในจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยหาความสัมพันธ์ของพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ได้กับ พลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความเร็วลม และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสร้างสมการพยากรณ์การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จากความสัมพันธ์ของตัวแปรในวิธีการถดถอย

วิธีการวิจัย

1. กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัย ในการหาสมการพยากรณ์จากชุดข้อมูลพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ อาจมีหลายตัวแปรต้นที่สามารถใช้อธิบายพลังงานที่ผลิตได้โดยใช้ค่าการตัดสินใจ R^2 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความผิดพลาดจากการพยากรณ์ (S) ในงานวิจัยจะใช้ตัวแปรต้นที่ได้มีการตรวจวัดและบันทึกไว้แล้ว 4 ตัวแปรต้นคือ พลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิบริเวณโดยรอบ อุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ความเร็วลม และตัวแปรตามเป็นพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ข้อมูลถูกบันทึกเป็นรายวันในช่วงเวลา 6:00 – 18:00 น.เป็นระยะเวลา 4 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2558 – 31 ธันวาคม 2561 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปร ตัวอย่างข้อมูลแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลรายวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2558 – 31 มกราคม 2558

Date	Irr (kWh/m^2)	Amb temp. (°C)	Module temp. (°C)	Wind velocity (m/sec)	Energy Production (kWh)
1/1/15	6.3974	25.1299	33.2829	2.0915	38,400
2/1/15	6.3079	25.2397	33.7972	1.8331	37,600
3/1/15	6.0806	26.2811	35.4843	1.0965	35,920
4/1/15	6.4054	30.1142	41.7657	0.5412	36,880
5/1/15	6.1043	32.5071	43.4839	0.4625	34,800
6/1/15	5.8852	33.1409	43.2847	0.6363	33,440
7/1/15	4.4537	32.0723	39.7642	0.9179	25,360
8/1/15	1.1917	25.6598	26.3414	1.2821	7,280
9/1/15	4.6746	28.7866	36.5841	1.4125	27,360
10/1/15	5.3958	29.4559	38.7651	1.3261	31,520
11/1/15	4.5311	24.5092	31.5304	1.6413	27,360
12/1/15	3.6772	23.4899	28.4982	1.8146	22,480
13/1/15	6.0098	24.6063	32.6593	2.0645	36,400
14/1/15	6.6560	23.6686	32.5779	1.8545	40,000
15/1/15	6.6667	24.5447	34.1011	1.3674	39,520
16/1/15	6.6106	25.4243	34.6799	1.6076	38,960
17/1/15	6.2973	24.6576	33.9254	1.2495	37,200
18/1/15	6.1341	25.8458	34.5639	1.6222	36,160
19/1/15	6.5232	26.3256	36.0895	1.6327	38,320
20/1/15	6.4111	27.7650	38.7077	0.8587	36,560
21/1/15	6.0192	28.9628	39.0107	0.8064	34,560
22/1/15	6.0557	27.8806	37.3467	0.9642	34,960
23/1/15	5.6680	30.3875	40.1671	0.2950	32,160
24/1/15	5.2596	30.8322	40.2580	0.4140	29,840
25/1/15	5.3772	31.4533	40.9606	0.3206	30,160
26/1/15	5.2459	31.2842	40.3215	0.3240	29,360
27/1/15	5.3180	31.2621	40.4441	0.2519	29,760
28/1/15	5.5038	31.6349	40.7015	0.3382	30,720
29/1/15	4.9035	31.4351	39.8186	0.1961	27,440
30/1/15	5.4227	31.4813	39.7726	1.5125	30,320
31/1/15	5.4527	29.0014	37.6243	1.2251	31,040

ตัวแปรต้น (Independent Variable: x) คือตัวแปรที่กำหนดการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม ในงานวิจัยนี้เลือกตัวแปรจากข้อมูลที่บันทึกไว้ 4 ตัวแปร ดังนี้

1. พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Irradiation: Irr) มีหน่วยเป็น kWh/m^2 วัดค่าจากอุปกรณ์ CMP11 Pyranometer ยี่ห้อ KippZonen

2. อุณหภูมิบริเวณโดยรอบ (Ambient Temperature: Amb Temp.) มีหน่วยเป็น °C วัดค่าจากอุปกรณ์ Ambient Temperature Sensor ยี่ห้อ SMA

3. อุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Module Temperature: Module Temp.) มีหน่วยเป็น °C วัดค่าจาก Module Temperature Sensor ยี่ห้อ SMA

4. ความเร็วลม (Wind velocity) มีหน่วยเป็น m/sec วัดค่าจาก Anemometer ยี่ห้อ SMA

ภาพที่ 1 Pyranometer และ Anemometer ที่ติดตั้งในโซลาร์ฟาร์ม จังหวัดนครราชสีมา

ตัวแปรตาม (Dependent Variable: y) คือ ตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปตามผลของตัวแปรต้น ในงานวิจัยนี้ คือ พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (Energy Production) มีหน่วยเป็น kWh วัดค่าจากมิเตอร์ซื้อไฟฟ้า ยี่ห้อ EDMI

2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม กับตัวแปรอิสระด้วยโปรแกรม Minitab

3. ตรวจสอบสมการพยากรณ์ทั้ง 4 สมการ ด้วยการแทนค่าจริง และใช้ค่าการตัดสินใจ R^2 หาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)

4. สรุปสมการพยากรณ์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่สามารถนำมาใช้พยากรณ์พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่ามีตัวแปรค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (x_1), อุณหภูมิโดยรอบพื้นที่ (x_2), อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (x_3) และความเร็วลม (x_4) ซึ่งตัวแปรทั้งสี่สามารถอธิบายการผันแปรพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ($\hat{y}$) โดยสามารถเขียนสมการพยากรณ์ได้ดังต่อไปนี้

$\hat{y}_1 = 4594 + 5494.6\, x_1 + 40.2\, x_2 - 118.0\, x_3 + 90.8\, x_4$ (1) ....$R^2=0.9876$

$\hat{y}_2 = 4849 + 5448.1\, x_1 - 86.51\, x_3 + 80.7\, x_4$ (2) .... $R^2=0.9876$

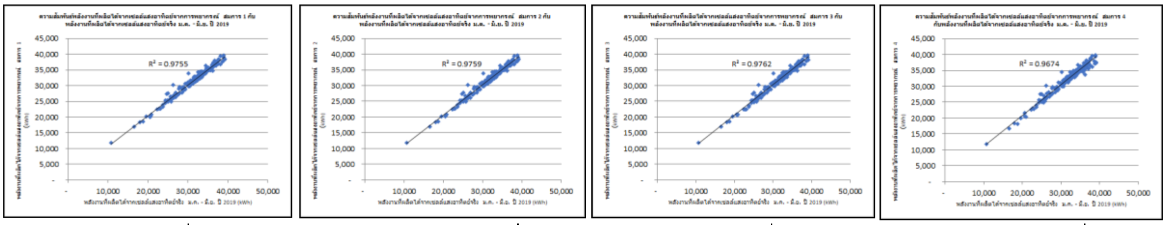
$\hat{y}_3 = 5258 + 5310.0\, x_1 - 100.31 x_2 + 66.2\, x_4$ (3) .... $R^2=0.9873$

$\hat{y}_4 = 2471.7 + 5165.7\, x_1 + 0.2382\, x_2 x_3 x_4$ (4) $R^2=0.9848$

จากสมการพยากรณ์ที่ (1) มีตัวแปรอิสระทั้งหมด 4 ตัว (x_1 ถึง x_4) ที่ได้จากอุปกรณ์วัดทั้งหมด มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม ($\hat{y}$) หรืออธิบายการผันแปรได้ ในที่นี้ สมการพยากรณ์ที่ (1) สามารถอธิบายการผันแปรพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 98.76% สมการพยากรณ์ที่ (2) มีตัวแปรอิสระทั้งหมด 3 ตัว (x_1, x_3 และ x_4) สามารถอธิบายการผันแปรพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 98.76% สมการพยากรณ์ที่ (3) มีตัวแปรอิสระภายนอกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 3 ตัว (x_1, x_2 และ x_4) สามารถอธิบายการผันแปรพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 98.73% สมการพยากรณ์ที่ (4) มีตัวแปรอิสระทั้งหมด 2 ตัว (x_1, ($x_2x_3x_4$)) โดยตัวแปร ($x_2x_3x_4$) เป็นตัวแปร interaction ที่สอดคล้องกับความร้อนสูญเสียจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ $q = UA(T_{\text{แผง}}-T_{\text{โดยรอบ}})$ สามารถอธิบายการผันแปรพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 98.48%

เมื่อนำสมการพยากรณ์ (1) ถึง (4) ไปตรวจสอบความแม่นยำกับข้อมูลชุดใหม่ในปี 2562 ด้วยการแทนค่าจริงของตัวแปรอิสระ และหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) สมการพยากรณ์ที่ (1) สามารถอธิบายการผันแปรพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 97.55% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0269 สมการ

พยากรณ์ที่ (2) สามารถอธิบายการผันแปรพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 97.59% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0268 สมการพยากรณ์ที่ (3) สามารถอธิบายการผันแปรพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 97.62% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0267 สมการพยากรณ์ที่ (4) สามารถอธิบายการผันแปรพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 96.74% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0296



a) สมการที่ 1　　b) สมการที่ 2　　c) สมการที่ 3　　d) สมการที่ 4

ภาพที่ 2 Scatter plot ของพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่คำนวณได้จากสมการพยากรณ์ 1 ถึง 4 กับพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จริง

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัย สมการพยากรณ์ที่ (3) สามารถอธิบายการผันแปรตัวแปรตามได้ดีที่สุดขึ้นกับตัวแปรภายนอกเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ตัวแปรพลังงานแสงอาทิตย์ ตัวแปรอุณหภูมิโดยรอบพื้นที่และตัวแปรความเร็วลม และสมการพยากรณ์ที่ (2), (1) และ (4) สามารถอธิบายการผันแปรตัวแปรตามได้ดีตามลำดับ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2) เป็น 97.62%, 97.59%, 97.55% และ 96.74% ตามลำดับ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็น 2.67%, 2.68%, 2.69% และ2.96% ตามลำดับโดยตัวแปรอิสระทั้งหมดในแต่ละสมการพยากรณ์มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามอยู่ที่ร้อยละ R^2 x 100 ส่วนที่เหลือจะเป็นอิทธิพลจากตัวแปรอื่นที่ไม่ได้นำมาวิเคราะห์ โดยสมการพยากรณ์ในบทความนี้สามารถนำไปเป็นเครื่องมือประกอบการพิจารณาคำนวณพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีสร้างโครงการโซลาร์ฟาร์มบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ดังกล่าวในโซลาร์ฟาร์ม โดยสามารถนำปัจจัยภายนอกที่มีอยู่มาคำนวณได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณรศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มีส่วนช่วยทำให้บทความนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี บทความนี้จะสำเร็จไม่ได้ถ้าหากไม่ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากบริษัทที่เป็นผู้พัฒนาการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นดิน จังหวัดนครราชสีมา เพื่อนำข้อมูลมาประกอบการทำวิจัย ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] เกียรติศักดิ์ พรรณจาปา รุ่งเพชร ก่องนอก และบุญยัง ปลั่งกลาง. (2559). การศึกษาผลกระทบจากอุณหภูมิโดยรอบที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์. **วารสารเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า**. 32-35.

[2] สุชาครีย์ นิติศานนท์. (2559). **การพยากรณ์กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อกำหนดความต้องการไฟฟ้าสำรอง.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] พิเชษฐ วงษ์เคี่ยม และดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์. (2558). การพยากรณ์พลังงานไฟฟ้าของ กฟภ. โดยใช้วิธีการแยกส่วนประกอบร่วมกับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน. **วารสารวิศวกรรม มก ฉบับที่ 91 ปีที่ 28 มกราคม - มีนาคม 2558.** 31-40.

[4] D. Anagnostos, T. Schmidt, S. Cavadias, D. Soudris, J. Poortmans, F. Catthoor. (2018). A method for detailed, short-term energy yield forecasting of photovoltaic installations. **Renewable Energy An International Journal.** 130 (2019), 122-129.

[5] Jabar H. Yousifa, Haitham A. Al-Balushi, Hussein A. Kazem, Miqdam T. Chaichan. (2018). Analysis and forecasting of weather conditions in Oman for renewable energy applications. **Case Studies in Thermal Engineering.** 13 (2019) 100355, 1-12.

[6] สุทิน ชนะบุญ. (2017). **สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยเบื้องต้น.** 148-160.

[7] บริษัท โซลูชั่น เซ็นเจอร์ จำกัด. **Getting Started with Minitab 19 for Windows ฉบับภาษาไทย** สืบค้นเมื่อ 31 กรกฎาคม 2562, จาก https://www.solutioncenterminitab.com/blog.

[8] Warisa Wisittipanich. **Computer Applications for Industrial Engineering.** สืบค้นเมื่อ 11 มีนาคม 2562, จาก http://ie.eng.cmu.ac.th/IE2014/elearning/34/.

การศึกษาแบบจำลองความชื้นสมดุลไอโซเทอมของปลาดุก
The Equilibrium Moisture Isotherm Mathematical Models of Walking Catfish

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

บทคัดย่อ

ความชื้นสมดุลเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบเครื่องอบแห้ง โดยทั่วไปการศึกษาความชื้นสมดุลที่นิยมใช้จะเป็นแบบเชิงสถิตย์ (static equilibrium moisture content) ในการศึกษาความชื้นสมดุลไอโซเทอมของปลาดุกที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 °C โดยวิธีเชิงสถิตย์ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0.1 - 0.9 ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 5 รูปแบบ ได้แก่ Modified Halsey, Modified Oswin, Modified Mujica, Modified Chung & Pfost และ Modified Henderson การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุลด้วยการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นแบบกำลังสองน้อยที่สุด ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Modified Mujica สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีที่สุดตามความสัมพันธ์คือ $M_{eq} = 1/[(0.0021T+0.0555) - (6.7445\times10^{-6}T+9.3986\times10^{-5})RH]$ ซึ่งมีค่า R^2 สูงที่สุด เท่ากับ 0.9910 โดยมีค่า SEE และ RMSE ต่ำที่สุด ได้แก่ 0.1763 และ 0.0124 ตามลำดับ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการทำนายค่าความชื้นสมดุลของวัสดุได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ: ปลาดุก ความชื้นสมดุลไอโซเทอม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

บทนำ

ปลาดุกมีชื่อสามัญว่า Walking Catfish เป็นปลาหนังน้ำจืดในสกุล Clarias ปลาดุกจัดเป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่มีความสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจภาคการประมงของประเทศไทย จากสถิติของผลผลิตสัตว์น้ำจืดในปี พ.ศ.2559 ผลผลิตปลาดุกมีปริมาณ 102,444 ตัน คิดเป็นร้อยละ 26.85 ของปริมาณการผลิตทั้งหมดมีมูลค่า 4,843.57 ล้านบาท [1] ประเทศไทยติดอยู่อันดับต้นๆ ของผู้ส่งออกสินค้าประมงมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2541 ผลิตภัณฑ์ปลาที่ทำการส่งออกนั้นเกิดมาจากกระบวนการแปรรูปปลาซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าภายหลังการเพาะเลี้ยง โดยผลิตภัณฑ์จากการแปรรูปปลามีหลากหลายรูปแบบเช่น ปลาแช่แข็ง ปลาปรุงแต่ง ปลารมควัน น้ำพริก และปลาแห้ง เป็นต้น การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยถนอมอาหาร และเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรอีกทั้งยังช่วยในการเพิ่มมูลค่าของผลผลิตอีกด้วย ตัวแปรสำคัญในการศึกษากระบวนการอบแห้งได้แก่ ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content, EMC หรือ M_e) โดยเป็นค่าปริมาณความชื้นของวัสดุที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะสามารถทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุได้ ณ ความชื้น และอุณหภูมิของอากาศแวดล้อมในขณะนั้น เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความชื้นของวัสดุ ณ เวลาใดเวลาหนึ่งขณะอบแห้งกับความชื้นสมดุลของวัสดุเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเป็นไปได้ที่จะทำให้ความชื้นมีการถ่ายเทจากวัสดุออกไปสู่อากาศที่อยู่แวดล้อมในขณะนั้นได้ [2]

* Corresponding author: Tel.: 083-2081982. E-mail address: Jiraporn.Kaewdiew@gmail.com

ไอโซเทอมความชื้น (Moisture sorption isotherms) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของวัสดุ และความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของอากาศ (Equilibrium relative humidity, ERH, of air) ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง หากทำการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลของวัสดุที่เปียกในภาชนะปิดสนิทที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงมาก (ค่า RH เริ่มต้นใกล้เคียงหนึ่ง) จะได้ค่า EMC สูงมาก เมื่อทดลองในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลงจะได้ค่า EMC ลดลงตาม และเมื่อทดลองในสภาวะอากาศที่มีความชื้นเพียงเล็กน้อย (ค่า RH ใกล้เคียงศูนย์) จะส่งผลให้มีค่า EMC ใกล้เคียงศูนย์ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของวัสดุ และความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของอากาศที่กำลังลดลงเรียกว่า ไอโซเทอมการคายความชื้น (Desorption isotherms) ในทางตรงกันข้าม หากทำการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลของวัสดุที่แห้งในภาชนะปิดสนิทโดยมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ (ค่า RH เริ่มต้นใกล้เคียงศูนย์) จะได้ค่า EMC ใกล้เคียงศูนย์ เมื่อทดลองในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสูงขึ้นจะได้ค่า EMC สูงขึ้นตาม และเมื่อทดลองในอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงมาก (ค่า RH ใกล้เคียงหนึ่ง) ค่า EMC ก็จะสูงมากด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของวัสดุ และความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของอากาศที่เพิ่มขึ้นเรียกว่า ไอโซเทอมการดูดความชื้น (Adsorption isotherms) [3]

จุฑารัตน์ และคณะ (2557) ศึกษาแนวทางการอบแห้งปลาข้าวสารแทนการทอดด้วยน้ำมัน และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัล เมื่อนำผลการทดลองมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบไม่เชิงเส้นผลการทดลองพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Page อธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งปลาข้าวสารจากการทดลองอบแห้งด้วยลมร้อน และรังสีอินฟราเรดได้ดีที่สุด [4]

Ponwiboon et al. (2017) ศึกษาแบบจำลองความชื้นสมดุลไอโซเทอมของปลานิลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 5 รูปแบบได้แก่ Modified Halsey, Modified Oswin, Modified Henderson, Modified Chung & Pfost และ Mujica model จากผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Page มีความเหมาะสมในการอธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งปลานิลได้ดีที่สุด โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ทำนายหาค่าความชื้นของวัสดุทดสอบ ณ เวลาใดๆ ในกระบวนการอบแห้งได้อย่างถูกต้อง [5]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลที่สามารถอธิบายผลการ ทดลองสำหรับการอบแห้งปลาดุกได้ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้ทำนายค่าความชื้น ณ เวลาใดๆ นอกจากนี้ค่าความชื้นสมดุลยังเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบเครื่องอบแห้งอีกด้วย โดยค่าความชื้นสมดุลขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ [6]

วิธีการวิจัย

การหาความชื้นสมดุลของวัสดุมีหลักการคือ ปล่อยให้วัสดุสัมผัสกับอากาศจนความชื้นของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา การหาความชื้นสมดุลผู้วิจัยเลือกใช้วิธีเชิงสถิต (Static desiccator isotherm method) ซึ่งเป็นวิธีการปล่อยให้วัสดุสัมผัสอากาศในขณะไม่มีการเคลื่อนที่ของอากาศ โดยทำการทดลองในภาชนะปิดที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศให้คงที่ ซึ่งใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศส่วนอุณหภูมิของอากาศจะถูกควบคุมด้วยตู้อบ [2] โดยปลาดุกที่ใช้เป็นวัสดุทดสอบนั้นมีความชื้นเริ่มต้น 20%db ซึ่งค่าความชื้นเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองทำการหาโดยการอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 h

ขั้นตอนการออกแบบเครื่องอบแห้งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบให้สามารถทำการอบแห้งปลาดุกได้ในช่วงอุณหภูมิ 40–70 °C ดังนั้นการศึกษาความชื้นสมดุลไอโซเทอมของปลาดุกจึงทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 °C โดยวิธีเชิงสถิตย์ ในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 0.1-0.9 เตรียมตัวอย่างปลาดุกที่น้ำหนักเฉลี่ยเท่าๆ กัน แล้วนำไปวางบนตะแกรงภายในขวดแก้วปิดสนิทซึ่งบรรจุสารละลายเกลืออิ่มตัว 5 ชนิด คือ LiCl, $MgCl_2.6H_2O$, NaCl, $Mg(NO_3)_2.6H_2O$ และ KNO_3 ชนิดละ 3 ขวด ซึ่งจะให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นนำขวดแก้วเข้าตู้อบโดย

ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 50 60 และ 70 °C ตามลำดับ และระหว่างการทดลองตัวอย่างของชิ้นปลาดุกจะถูกนำออกมาชั่งทุกๆ 24 h จนกระทั่งไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง จึงนำชิ้นปลาดุกไปหาค่าความชื้นด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 h

ตารางที่ 1 ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ของสารละลายเกลืออิ่มตัว [6]

Temperature	Relative humidity (decimal)				
(°C)	LiCl	$MgCl_2.6H_2O$	$Mg(NO_3)_2.6H_2O$	NaCl	KNO_3
40	0.1121	0.3160	0.4842	0.7468	0.8903
50	0.1110	0.3054	0.4630	0.7443	0.8478
60	0.1095	0.2926	0.4544	0.7450	0.8478
70	0.1080	0.2770	0.3940	0.8478	0.8478

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุล

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุล นิยมนำทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์มาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสมดุลของวัสดุกับอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในรูปของสมการหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยแบบจำลองทางทฤษฎีไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์นั้นได้อย่างถูกต้องตลอดว่าช่วงอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ แบบจำลองที่สร้างขึ้นจากการทดลองให้ความถูกต้องมากกว่าแบบจำลองทางทฤษฎี และกึ่งทฤษฎี โดยรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้มีอยู่ 5 รูปแบบ คือ

1. สมการ Modified Halsey

รูปแบบสมการ Modified Halsey [7] แสดงความสัมพันธ์ของความชื้นสมดุลในวัสดุเกษตรกับค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และอุณหภูมิดังนี้

$$M_{eq} = \left[\frac{\ln(RH) \times R\,(T+273)}{-C_1}\right]^{\frac{1}{C_2}} \qquad (1)$$

เมื่อ

RH	คือ	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ	เศษส่วน
M_{eq}	คือ	ความชื้นสมดุลของวัสดุ	%db
R	คือ	ค่าคงที่สากลของก๊าซ = 8.314	kJ/kg K
T	คือ	อุณหภูมิอากาศ	°C
C_1, C_2, C_3	คือ	ค่าคงที่ของการอบแห้ง	

2. สมการ Modified Oswin

รูปแบบสมการ Modified Oswin [8] แสดงความสัมพันธ์ของความชื้นสมดุลในวัสดุกับค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ดังนี้

$$M_{eq} = (C_1+C_2T)\left(\frac{RH}{1-RH}\right)^{C_3} \qquad (2)$$

3. สมการ Modified Chung & Pfost

รูปแบบสมการ Modified Chung & Pfost [9] แสดงความสัมพันธ์ของความชื้นสมดุลในวัสดุเกษตรกับค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และอุณหภูมิดังนี้

$$M_{eq} = -\frac{1}{C_2}\ln\left(C_1\right) + \frac{1}{C_2}\ln\left[-R\left(T+273\right)\ln\left(RH\right)\right] \quad (3)$$

4. สมการ Modified Henderson

รูปแบบสมการ Modified Henderson [10] แสดงความสัมพันธ์ของความชื้นสมดุลในวัสดุเกษตรกับค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และอุณหภูมิ ดังนี้

$$M_{eq} = \left[\frac{\ln\left(1 - RH\right)}{-C_1 \times \left(T+273\right)}\right]^{\frac{1}{C_2}} \quad (4)$$

5. สมการ Modified Mujica

รูปแบบสมการ Modified Mujica [11] แสดงความสัมพันธ์ของความชื้นสมดุลในวัสดุเกษตรกับค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และอุณหภูมิ ดังนี้

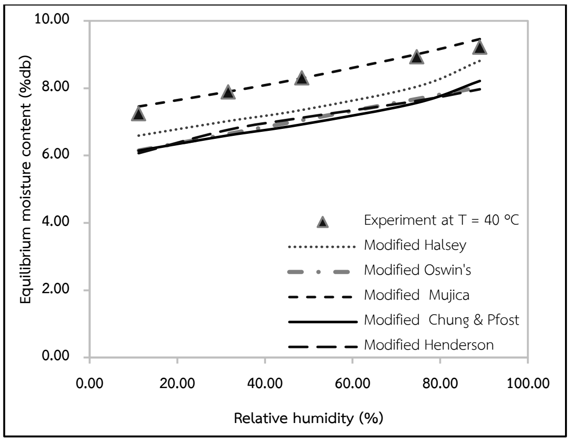
$$M_{eq} = \frac{1}{\left(\left(C_1T+C_2\right)-\left(C_3T+C_4\right)RH\right)} \quad (5)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

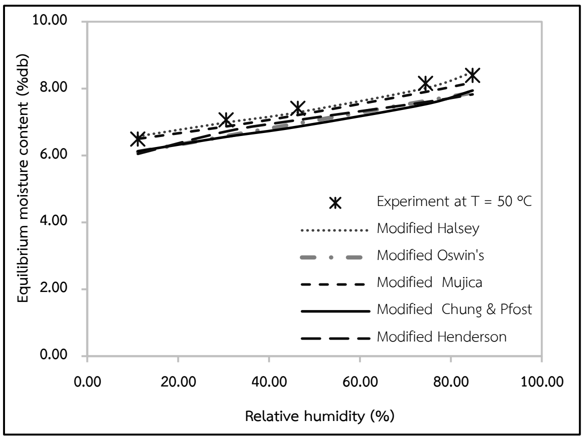
ในการวิเคราะห์ค่าความชื้นสมดุลไอโซเทอมของปลาดุก และนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุล 5 รูปแบบ ได้แก่ Modified Halsey, Modified Oswin, Modified Mujica, Modified Chung & Pfost และ Modified Henderson มาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ในการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุลด้วยโปรแกรม SigmaPolt 10.0 จะนำผลการทดลองมาวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นแบบกำลังสองน้อยที่สุด ทำการเปรียบเทียบสมการต่างๆ โดยใช้ค่า Coefficient of determination (R^2), Standard Error of Estimate (SEE) และค่า Root mean square error (RMSE) สำหรับการพิจารณาสมการที่มีค่า R^2 สูงสุด มีค่า SEE และ RMSE ต่ำที่สุด สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีที่สุด [3] [4] ผลการทดลองหาความชื้นสมดุลของปลาดุกแห้ง ที่ความชื้น 20%db ภายใต้ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ 70 °C ดังแสดงในภาพที่ 1 ถึง 4 พบว่า ที่อุณหภูมิเดียวกันค่าความชื้นสมดุลจะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ต่ำจะส่งผลให้ค่าความชื้นสมดุลของปลาดุกมีปริมาณต่ำ ในขณะเดียวกันหากค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความชื้นสมดุลของปลาดุกสูงขึ้นตาม เมื่อทำการพิจารณาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความชื้นสมดุลของปลาดุกพบว่า ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเดียวกันหากอุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความชื้นสมดุลของปลาดุกจะมีค่าลดลง [2] [12] ซึ่งเป็นผลมาจากสภาวะการกระตุ้นที่สูงขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของน้ำที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการลดลงของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำ

เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความชื้นสมดุลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 5 รูปแบบกับค่าความชื้นสมดุลจากการทดลอง โดยค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 และ 3 จากผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุล Modified Mujica สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีที่สุด

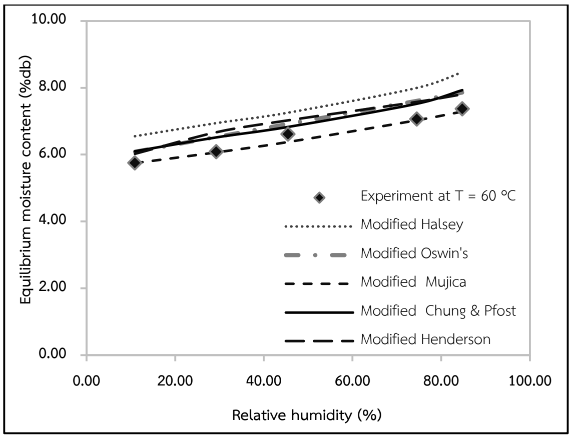
ตามความสัมพันธ์คือ $M_{eq} = 1/ [(0.0021T+0.0555) - (6.7445\times10^{-6}T+9.3986\times10^{-5})RH]$ มีค่า R^2 สูงที่สุด ได้แก่ 0.9910 โดยมีค่า SEE และ RMSE ต่ำที่สุด ได้แก่ 0.1763 และ 0.0124 ซึ่งมีความเหมาะสมในการทำนายค่าความชื้นสมดุลของปลาดุกที่อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ สอดคล้องกับการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา [5] ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความชื้นสมดุลที่ได้จากการทดลอง และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Modified Mujica สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5



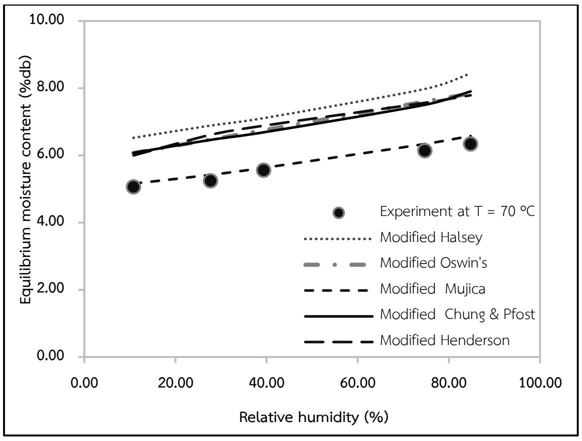
ภาพที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลเทียบกับผลการทดลองที่อุณหภูมิ 40 °C



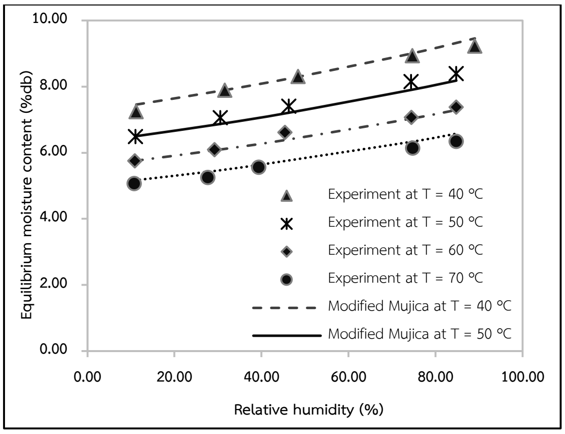
ภาพที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลเทียบกับผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50 °C



ภาพที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลเทียบกับผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60 °C



ภาพที่ 4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลเทียบกับผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 °C



ภาพที่ 5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุล Modified Mujica เทียบกับผลการทดลอง

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุล

ค่าพารามิเตอร์	Modified Halsey	Modified Oswin's	Modified Mujica	Modified Chung & Pfost	Modified Henderson
C_1	6.4686×10^{-9}	2.6215	0.0021	3.5179×10^{7}	13.5580
C_2	-10.1171	-0.0196	0.0555	-141.9563	3.3314
C_3	-	-0.2285	6.7445×10^{-6}	-	-
C_4	-	-	9.3986×10^{-5}	-	-
R^2	0.6122	0.7075	0.9910	0.6791	0.5132
SEE	1.3699	0.9022	0.1763	1.1147	3.3096
RSME	0.5480	0.3458	0.0124	0.4459	1.3238

ตารางที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุล

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	รูปแบบสมการไอโซเทอมของการอบแห้งปลาดุก
Modified Halsey	$M_{eq} = \left[\frac{\ln(RH) \times R\,(T+273)}{-6.4686\times10^{-9}}\right]^{\frac{1}{-10.1171}}$
Modified Oswin	$M_{eq} = \left(2.6215 - 0.0196T\right)\left(\frac{RH}{1-RH}\right)^{-0.2285}$
Modified Mujica	$M_{eq} = \frac{1}{\left((0.0021T+0.0555)-(6.7445\times10^{-6}T+9.3986\times10^{-5})RH\right)}$
Modified Chung & Pfost	$M_{eq} = -\frac{1}{-141.9563}\ln(3.5179\times10^{7}) + \frac{1}{-141.9563}\ln\left[-R(T+273)\ln(RH)\right]$
Modified Henderson	$M_{eq} = \left[\frac{\ln(1 - RH)}{-13.5580 \times (T+273)}\right]^{\frac{1}{3.3314}}$

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลของปลาดุกพบว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าความชื้นสมดุลในวัสดุทดสอบได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และอุณหภูมิ เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่มีผลต่อความชื้นสมดุลของปลาดุกพบว่า ที่อุณหภูมิเดียวกันหากค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ต่ำจะส่งผลให้ค่าความชื้นสมดุลของปลาดุกมีปริมาณต่ำ ในขณะเดียวกันหากค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความชื้นสมดุลของปลาดุกสูงขึ้นตาม เมื่อทำการพิจารณาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อความชื้นสมดุลของปลาดุกพบว่า ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเดียวกันหากอุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความชื้นสมดุลของปลาดุกจะมีค่าลดลง โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Modified Mujica สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีที่สุด โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการทำนายค่าความชื้น ณ เวลาใดๆ ในระบวนการอบแห้งปลาดุกได้อย่างถูกต้อง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ "โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงาน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา"

ขอขอบคุณวิภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ "ทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2561"

เอกสารอ้างอิง

[1] กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. 2555. **แผนแม่บทการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทย (ฉบับร่าง) ปี พ.ศ.2555-2559**.

[2] มารีนา มะหนิ, อรรวี เกียรติไพศาลโสภณ และอุษาวดี ตันติวรานุรักษ์. 2558. **ความชื้นสมดุลไอโซเทอมของข่า**. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ฉบับพิเศษจากงานประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 25,18(3), 215-220.

[3] ชนันท์ ราษฎ์นิยม และสุเนตร สืบค้า. 2555. **การหาไอโซเทอมความชื้นของวัสดุที่แลกเปลี่ยนความชื้นได้ดี**. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 18(1), 43-51.

[4] จุฑารัตน์ ทะสะระ, สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล และยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล. 2557. **แนวทางการพัฒนาปลาข้าวสารกรอบด้วยการอบแห้งลมร้อนและรังสีอินฟราเรด**. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 19(1), 1-10.

[5] Ponwiboon, N. and Rojanakorn, T. 2017. **Desoption isotherms and drying characteristics of Nile tilapia fish sheet**. International Food Research Journal, 24(3), 1292-1300.

[6] Bala, B.K. 1997. **Drying and storage of cereal grains**. Oxford and IBH Publishing Co, PVT.Ltd, New Belhi302.

[7] Halsey, G. 1948. **Physical adsorption on non-uniform surface**. Chemical Physics, 16(931).

[8] Oswin, C.R. 1946. **The kinetic package life lll, The Isotherm**. Chemical Technology and Biotechnology, (London), 64(419).

[9] Chung, D.S. and Pfost, H.B. 1967. **Adsorption and desorption of water vapor by cereal grains and their product**. ASAE, 10(549-557).

[10] Henderson, S.M. 1952. **A basic concept of equilibrium**. Agricultural Engineering,33(29-31).

[11] Comaposada, J., Gou, P., Pakowski, Z. & Arnau, J. 2000. **Desorption isotherms for pork meat atdifferent NaCl contents and temperatures**. Drying Technology, 13(3), 723-746.

[12] Chen, C.C. & Tao, C.T. 1994. **Effective factors on equilibrium relative humidity of agricultural products**. Journal of Agricultural Research China, 43(1), 93-112.

การจำลองเพื่อเปรียบเทียบผลของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนรถยนต์ไฟฟ้าหลายประเภท
Comparing study of Installing Solar Cells on Various Electric Vehicles by Simulation

นิธิกร จันทร์หัวโทน[1*] และ กันตินันท์ สกุลไพศาล [1]

[1] สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10170

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาผลการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์รถรถยนต์ไฟฟ้า โดยจะทำการศึกษาผลการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนรถยนต์ไฟฟ้าสามประเภทคือ (1) รถขนส่งสาธารณะ (2) รถส่วนบุคคล (3) รถกระบะ เสริมหลังคา เนื่องจากรถประเภทดังกล่าวมีการใช้งานเป็นจำนวนมากในประเทศไทยและสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ในการจำลองเส้นทางการเดินรถทั้ง 3 ประเภทจะกำหนดให้มีการใช้การเดินทางรูปแบบเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้และพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ของรถแต่ละประเภท ระยะทางที่ใช้ทดสอบมีความยาวประมาณ 70.8 km โดยทำการจำลองในโปรแกรม MATLAB หลังจากทำการจำลองพบว่าเมื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 25 m^2 บนรถขนส่งสาธารณะ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 20.28 kWh/day คิดเป็น 44.40 % ของพลังงานที่ใช้ เมื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 m^2 บนรถยนต์ส่วนบุคคล สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1.72 kWh/day คิดเป็น 11.25 % ของพลังงานที่ใช้ และติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 3.5 m^2 บนรถกระบะ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1.72 kWh/day คิดเป็น 18.93 % ของพลังงานที่ใช้ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนยานยนต์ไฟฟ้านั้น ค่อนข้างมีความเหมาะสมในการติดตั้ง เนื่องจากสามารถช่วยผลิตกำลังไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: รถยนต์ไฟฟ้า, เซลล์แสงอาทิตย์, พลังงานทดแทน

บทนำ

ในปัจจุบันรถยนต์ไฟฟ้ามีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในประเภทรถยนต์ไฟฟ้าแบบผสมและรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ โดยปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในปี 2005 ถึง 2017 [1] ทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการสะสมประจุมากขึ้นเป็นอย่างมาก ส่งผลให้การลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จากโครงข่ายไฟฟ้าหลักและการนำพลังงานหมุนเวียนมาประยุกต์กับสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าหรือช่วยจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าเป็นหัวข้องานวิจัยที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก [2]-[3] และนอกจากเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว เทคโนโลยีที่กำลังได้รับการพัฒนาอีกอย่างก็คือเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการพัฒนาทั้งประสิทธิภาพ และความยืดหยุ่นของวัสดุเพื่อความสะดวกในการนำไปติดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทำให้การติดตั้งแหล่งเซลล์แสงอาทิตย์บนรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าใช้ในตัวเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

ส่งผลให้ ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบความเหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในรถยนต์ไฟฟ้า 3 ประเภท ประกอบด้วย รถยนต์ซีดาน รถกระบะแบบติดหลังคาเสริม และ รถขนส่งสาธารณะ เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าที่รถใช้ รวมไปถึงความเหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนรถยนต์ไฟฟ้า การจำลองทั้งหมดวิเคราะห์จากแบบจำลองพลวัตในโปรแกรม MATLAB/Simulink

[*] Corresponding author: Tel.: 091-8866680. E-mail address: Nitikorn.ju@gmail.com

แบบจำลองการใช้พลังงานของรถยนต์ไฟฟ้า

รถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า มีข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ให้แรงบิดได้ทันทีทำให้รถพลังงานไฟฟ้ามี อัตราเร่งที่เรียบ ซึ่งจะใช้พลังงานไฟฟ้าที่ถูกเก็บสะสมไว้ในแบตเตอร์รี่หรือ อุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้าแบบอื่น โดยรถยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วย ชุดต้นกำลัง ระบบกักเก็บพลังงาน ระบบประจุพลังงาน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ชุดต้นกำลัง

ชุดต้นกำลัง ประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและระบบเบรคแบบสามารถนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ได้ (Regenerative Braking) ในงานวิจัยนี้จะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับเป็นตัวขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้าเนื่องจาก มีประสิทธิภาพในการทำงานมากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยพลังงานที่ใช้ทั้งหมดจะประกอบด้วยพลังงานงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ และพลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้น ดังแสดงในสมการที่ 1

$$P = \tau_m \omega_m + P_{loss} \tag{1}$$

เมื่อ P_{in} คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (W), τ_m คือ ทอร์คของมอเตอร์ (N.m) และ P_{loss} คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ (w) นอกจากนี้ยังมีกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการเบรคของรถ (P_{rb}) สามารถคำนวนได้ดังสมการที่ 2

$$P_{rb} = \frac{\eta_{gen} m v^2}{2\Delta t} \tag{2}$$

เมื่อ P_{rb}คือ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการเบรค (W), n_{gen} คือ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า m คือ มวล (kg), v คือ ความเร็ว (m/s) และ Δt คือ เวลาที่ใช้ใรการเบรก (s)

ระบบกักเก็บพลังงาน

กำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้จริงจากแบตเตอรี่สามารถคำนวนได้จากกำลังไฟฟ้าในอุดมคตดิลบกับกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากความต้านทานภายในมอเตอร์ โดยสมการการใช้กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สามารถคำนวนได้จากสมการที่ 3 และ 4

$$P = F_{tr} v \tag{3}$$

เมื่อ F_{tr} คือ ผลรวมแรงที่สูญเสียไปในส่วนต่าง ๆ ซึ่งสามารถหาได้ดังสมการที่ 4

$$F_{tr} = F_{aero} + F_i + F_{grade} + F_{rr} \tag{4}$$

เมื่อ F_{aero} คือ แรงต้านอากาศ (N), F_i คือ แรงเฉื่อยของรถ (N), F_{grade} คือ แรงต้านเนื่องจากค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (N), และ F_{rr} คือ แรงต้านทานการหมุน (N),

ระบบประจุพลังงาน

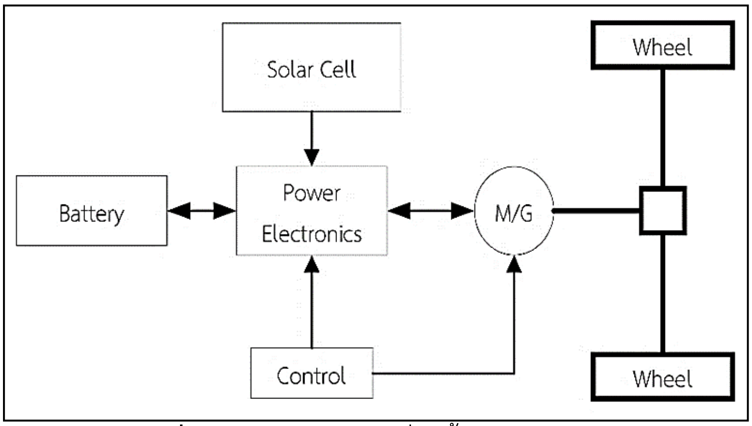
ระบบประจุพลังงานของแบตเตอรี่ในงานวิจัยนี้จะพิจารณา 2 ระบบคือ ระบบของสถานีสะสมประจุ และการสะสมประจุจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนรถยนต์ไฟฟ้า โดยการสะสมประจุจะพิจารณาจากสถานะประจุของแบตเตอรี่ (SoC) ดังในสมการที่ 5 และถ้าแบตเตอรี่อยู่ในช่วงที่สามารถสะสมประจุได้จึงจะทำการสะสมประจุ [6]

$$SoC = \frac{Q_{in}}{Q_{nom}} = \frac{w_T\,\eta(i_{bat}) \pm \int_0^t i_{bat}(t)dt}{Q_{nom}} \tag{5}$$

เมื่อ Q_{in} คือ ประจุที่เหลือในแบตเตอรี่ (C), Q_{nom} คือ ความจุประจุสูงสุดของแบตเตอรี่, n คือ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่

แบบจำลองยานต์ยนต์ไฟฟ้า

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ทั้งในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของแผง และการปรับเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ในการทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อความยืดหยุ่นในการติดตั้งในที่ต่าง ๆ [6]-[8] โดยแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์จะแสดงดังใน โดยสมการการคำนวนสามารถดูเพิ่มเติมได้จากงานวิจัยของ Chmielewski [5] รถยนต์ไฟฟ้าที่จะติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เข้าไป จำเป็นต้องติดตั้งตัวควบคุมการสะสมประจุเพื่อควบคุมการสะสมประจุไฟฟ้าไปที่แบตเตอรี่ด้วย ไดอะแกรมของรถยนต์ไฟฟ้าที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะแสดงในภาพที่ 1



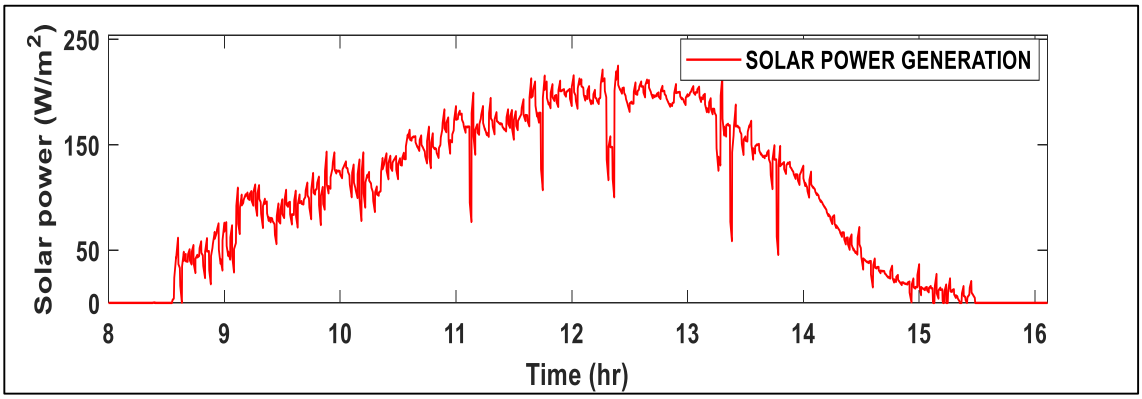
ภาพที่ 1 ระบบรถยนต์ไฟฟ้าที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

พารามิเตอร์ของระบบทดสอบ

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณารถยนต์ไฟฟ้า 3 ประเภทคือ (1) รถขนส่งสาธารณะ (2) รถส่วนบุคคล (3) รถกระบะเสริมหลังคา เนื่องจากเป็นประเภทที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทยอีกทั้งยังมีพื้นที่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ กำหนดให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ 22 % ซึ่งพารามิเตอร์ของรถยนต์แต่ละชนิดจะแสดงในตารางที่ 1 โดยขนาดเซลล์แสงอาทิตย์จะประมาณจากพื้นที่ว่างด้านบนรถประเภทนั้น ๆ ที่สามารถทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ [11]

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของรถยนต์ไฟฟ้า (เฉพาะตัวรถ)

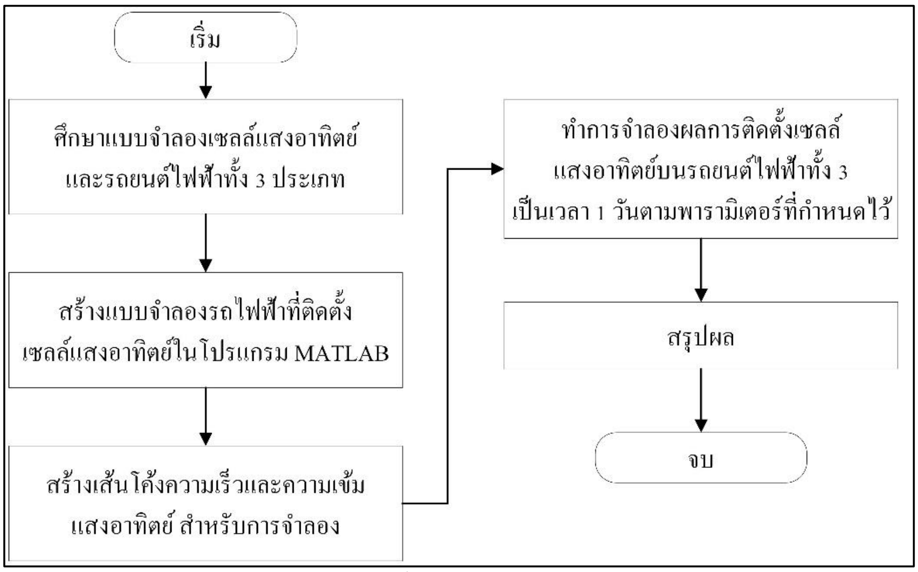
ประเภทรถ	น้ำหนักรถ (kg)	ขนาดแบตเตอรี่ (kWh)	ขนาดเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)
1. รถส่วนบุคคล	1,500	40	2
2. รถขนส่งสาธารณะ	18,000	300	25
3. รถกระบะเสริมหลังคา	1,800	80	3.5



ภาพที่ 2 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อหนึ่งตารางเมตร

การดำเนินการ

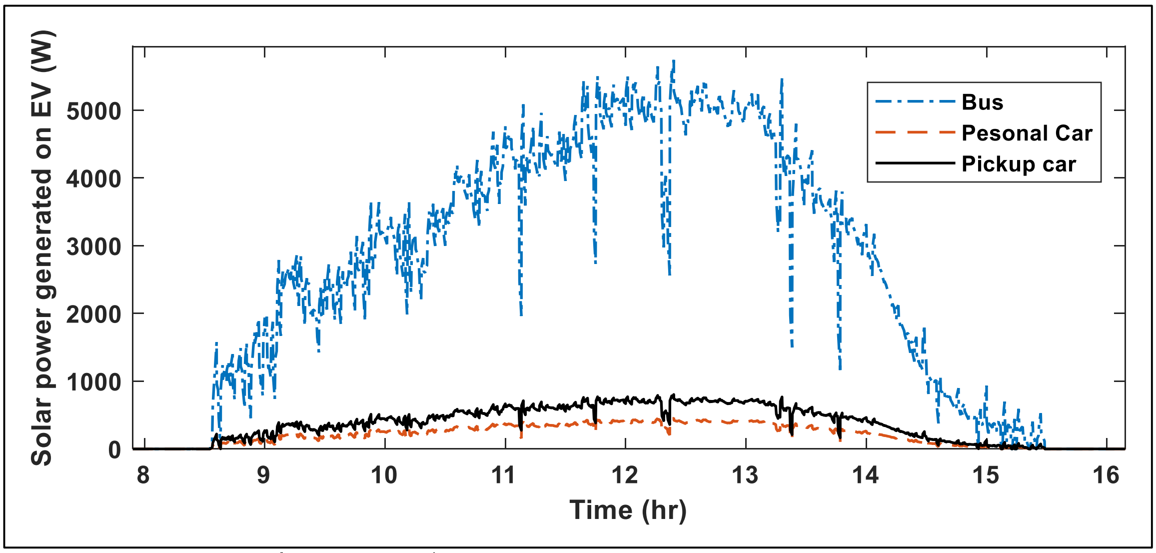
ในการดำเนินการวิจัย จะเริ่มต้นจากการหาข้อมูลแบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ รถยนต์ไฟฟ้าแต่ละประเภท พร้อมทั้งหาข้อมูลพารามิเตอร์ของรถยนต์ไฟฟ้า และเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการจำลอง การจำลองทั้งหมดทำในโปรแกรม MATLAB/Simulink จากนั้นนำผลการจำลองมาทำการเปรียบเทียบเพื่อสรุปผล ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ

ผลการจำลอง

หลังจากทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไปบนรถยนต์ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ โดยกำหนดให้ใช้เส้นทางเดินรถและความเร็วเดียวกันตลอดการจำลองภายใน 1 วัน เพื่อศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในแต่ละวัน ผลการจำลองดังกล่าวจะแสดงในตารางที่ 2 เพิ่มกราฟ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละประเภทจะแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ในรถยนต์แต่ละประเภท

ตารางที่ 2 ผลการจำลองเป็นระยะเวลา 1 วัน โดยจำลองให้มีระยะการเดินทาง 70.8 km/day

ประเภทรถ	พลังงานที่รถใช้ (รวม PV) (kWh)	พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)	พลังงานที่เหลือในแบตเตอรี่ (%)
1. รถส่วนบุคคล	13.49	1.71	61.29
2. รถขนส่งสาธารณะ	26.67	21.3	86.11
3. รถกระบะขนสินค้า	12.76	2.98	79.06

*กำหนดให้แบตเตอรี่มีพลังงานเริ่มต้นที่ 95 %

หลังจากทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ไปบนรถยนต์ไฟฟ้าทั้ง 3 ประเภท และทำการจำลองการขับเคลื่อนเป็นระยะทาง 70.8 km โดยใช้ข้อมูลกำลังไฟฟ้าจากภาพที่ 4 พบว่าเมื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 25 m^2 บนรถขนส่งสาธารณะ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 20.28 kWh/day คิดเป็น 44.40 % ของพลังงานที่ใช้ เมื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 m^2 บนรถยนต์ส่วนบุคคล สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1.72 kWh/day คิดเป็น 11.25 % ของพลังงานที่ใช้ และติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 3.5 m^2 บนรถกระบะ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1.72 kWh/day คิดเป็น 18.93 % ของพลังงานที่ใช้

จากผลการจำลองดังกล่าวพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์บนขนส่งสาธารณะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดเนื่องจากมีพื้นที่ในการติดตั้งมากที่สุด แต่ระยะการเดินทางจริงของรถโดยสารในแต่ละวันนั้น อาจจะมากกว่า 70.8 km ดังนั้นจึงพิจารณาปริมาณแบตที่เหลือเพื่อให้ทราบว่าสามารถวิ่งไปได้กี่กิโลเมตรต่อการชาร์จ 1 ครั้ง เมื่อพิจารณาแบตเตอรีที่เหลือมากถึง 86.11 % พบว่าสามารถขนส่งสาธารณะวิ่งต่อไปได้อีกประมาณ 376.25 km สำหรับรถยนต์ส่วนบุคคล เมื่อพิจารณาแบตเตอรีที่เหลือ 61.29 % พบว่าสามารถวิ่งต่อไปได้อีกประมาณ 114.19 km สำหรับรถกระบะ เมื่อพิจารณาแบตเตอรีที่เหลือ 79.06 % พบว่าสามารถวิ่งต่อไปได้อีกประมาณ 284.90 km ระยะทางที่ผลการจำลองดังกล่าวเป็นเพียงการจำลองในเส้นโค้งความเร็วที่ได้ถูกกำหนดไว้ในงานวิจัยเท่านั้น ดังนั้น ระยะทางที่รถเคลื่อนที่ไปได้อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ได้แสดงไว้ขึ้นอยู่กับลักษณะเคลื่อนที่นั้น ๆ

สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอผลการศึกษาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อแสดงให้เห็นถึงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในรถยนต์ไฟฟ้าที่มีขนาดแตกต่างกัน พร้อมระยะการเดินทางที่เคลื่อนที่ได้ทั้งหมดหลังจากได้ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนรถยนต์ไฟฟ้าทั้ง 3 ประเภท คือ รถขนส่งสาธารณะ รถยนต์ส่วนบุคคล รถกระบะ เมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่รถใช้ไปคิดเป็น 44.40% 11.28% และ 18.93% ตามลำดับ สามารถช่วยให้รถเดินทางได้ไกลขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการจากจุดชาร์จอีกด้วย จึงสามารถสรุปได้ว่าการการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนยานยนต์ไฟฟ้ามีความเป็นไปได้ที่จะนำมาติดตั้งใส่กับรถยนต์ไฟฟ้าทั่วไปในอนาคต แต่ต้องมีการพัฒนารูปลักษณ์ให้เหมาะสมกับการติดตั้งบนรถยนต์ไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

[1] Bhardwaj, P. (2018, June 05). The number of electric cars on the road has more than doubled over the last three years. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2562 จาก https://www.businessinsider.com/three-million-electric-vehicles-roads-charts-2018-6

[2] Xie, Q., Filho, C. H., Feng, G., Clandfield, W., & Kar, N. C. (2017). Advanced vehicle dynamic model for EV emulation considering environment conditions. **2017 IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE).**

[3] Tiantian, Q. (2018). Calculation of Electric Vehicle Charging Power Based on Spatial - Temporal Activity Model. **2018 China International Conference on Electricity Distribution (CICED).**

[4] ความรู้รถยนต์ไฟฟ้าเบื้องต้น (n.d.). สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2562 จาก http://www.thaiauto.or.th/2012/th/services/ev/pdf/ev-Intro.pdf

[5] Chmielewski, A., Szulim, P., Gregorczyk, M., Guminski, R., Mydlowski, T., & Maczak, J. (2017). Model of an electric vehicle powered by a PV cell — A case study**. 2017 22nd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)**.

[6] Li, Z. (2015). Low cost commercial high-efficiency selective emitter solar cells with non-busbar **inkjet.printing pattern. Optik**, 126(21), 3164-3167.

[7] Qiu, Z., Ke, C., Aberle, A. G., & Stangl, R. (2015). Efficiency Potential of Rear Heterojunction Stripe Contacts Applied in Hybrid Silicon Wafer Solar Cells. **IEEE Journal of Photovoltaics**, 5(4), 1053-1061.

[8] Zaitsev, R. V., Kirichenko, M. V., Khrypunov, G. S., Prokopenko, D. S., & Zaitseva, L. V. (2017). Development of hybrid solar generating module for high-efficiency solar energy station. **2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)**.

[9] UNSW Sunswift. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2562 จาก https://en.wikipedia.org/wiki/UNSW_Sunswift

[10] Total Solar Irradiance Data. (n.d.). สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2562 จาก http://lasp.colorado.edu/home/sorce/data/tsi-data/

[11] Nissan Leaf. (n.d.). สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2562 จาก https://ev-database.org/car/1106/Nissan-Leaf

Analysis of Community Peer-to-Peer Energy Trading Market Models

Ashok Paudel[1], Terapong Boonraksa[1], Richard Joseph Mushi[1], and Boonruang Marungsri[1*]
[1]School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology,
Nakhon Ratchasima 30000

Abstract

Peer-to-Peer (P2P) energy trading is considered as the future of the electric distribution system. Many research works were carried out in the past, and still it is not fully developed. Various kind of pricing models is also developed in that course of study. This paper analyzes the possible saving in per day electricity bill of a prosumer in participatory market model and in multi-level transaction market with respect to the Thai load curve and solar curve. Daily load curve of residential apartment, commercial complex, hospital, and shopping mall are used for the simulation purpose. Solar power generation is obtained by normalizing the existing solar farm in Nakhon Ratchasima province. Results obtained after simulation presents a basic understanding of the participatory and multi-level model of community P2P market. Multi-level transaction model is more beneficial to prosumer as it can reduce electricity bill more than participatory method. The possible saving in P2P market is very insignificant for the case under study it is because of highly normalized data. If an actual feasibility study carried out then the saving will become significant. This paper simply presents the characteristics of each pricing model.

Keywords: P2P, Pricing Models, Prosumer Based Market

INTRODUCTION

Vertically controlled power market has begun to decentralize since liberalization movement in 1990s. Which enables private participation in power market. Technological development in the power system has made bidirectional power flow possible in the system. Such technology and revised policy provides a new model of power market known as prosumer based market [1]. A prosumer based market model is known as decentralized market paradigm, control mechanism and mainly focused on a small scale renewable resource utilization of a community or microgrid is called P2P market. In a prosumer based market same consumer can generate some power from any means and sell such power to the system acting as generator. Previously such prosumer are allowed to sell power directly to the main service provider which are a bulk system. Bulk service providers has some problems regarding the utilization of power generated by prosumers and they discourage it by assigning lower buying rates. To overcome such problem concept of peer to peer (P2P) market model is introduce in 2007. It is a

* Corresponding author: Tel.: 089-7177065. E-mail address: bmshvee@sut.ac.th.

relatively small size power market generally size of a microgid. Power generated within the microgrid is distributed to the consumers inside that microgrid. Grid supply is used as battery storage from where energy can be bought or sold [2].

Brooklyn microgrid experiment is known as the major breakthrough in P2P market development [3]. A major feature of this concept is managing locally produced power within the locality. A distribution network is divided into numbers of smaller functional units serving a small area or locality. That unit may behave exactly similar to the main grid. Such units are commonly referred to as a microgrid. However, in P2P, an even smaller unit known as Nano grids may be considered. Each unit consists of its own generation facilities, mainly renewable resources and load. It is expected that its total generation is capable of serving its load and if it fails to do so power from main distribution network will help to stabilize the system.

Community P2P is a highly researched topic for the past few years. Many models of cost allocation are proposed based on many factors [4], [5]. However, every model utilizes a different mode of cost calculation based on different parameters. Not a single method is well accepted and not a full fledge commercial operating market is established till date though some pilot projects were implemented in many countries like Australia, England, Netherlands and united states in this scenario, three different pricing methods are considered assuming distinct features [6]. The first method described here is a collaborative model which mainly emphasize collective energy management in the particular community. In other words, it helps community partnership in the energy sector. The second method is a multilevel transaction, which is a compromised version of the previous method. It first manages its energy within its own community and then if any surplus energy is available, exports it to the other communities or grid [7]. Similarly, it can import power from the grid.

P2P trading concept is an under developing technology and requires a very safe and efficient communication facility, fully automatic distribution network, bilateral energy meter, and efficient clearing agent and also socio-economic factors [8]. This paper explains about the basic scenario of different P2P models in the case of Thailand. Foundation of P2P requires communication infrastructure, smart bidirectional energy meter and power flow arrangement, agreement with existing system owner to utilize their distribution infrastructure, etc. which is not available in present day. Therefore, the study is carried out by assuming the presence of all above factors, making this research a basic work in the P2P sector in Thailand. This paper focuses on the economic aspect of P2P from the prosumer viewpoint. This paper compares the reduction in the electricity bill of a prosumer in different P2P market scenarios. Which will provide a guideline to select the pricing model during formation of P2P market.

METHODOLOGY

Participatoy model is the simplest method for pricing electricity. A whole community appears as a bulk consumer for the utility and bills accordingly whereas individual entity inside the community serves as a contributor for that bill issued by the utility. All member of the community share their

generation among the member, and if the demand is still higher than the community generation, then grid support is necessary similarly if they have surplus power it is sold to the grid on the rate prescribed by the utility.

As a member of the community shares the power generation, the cost of electricity will reduce, and hence the cost of the individual member will also decrease.

Let us consider there are n households in the community and they are equipped with solar PV facility. Instantaneous demand of the entity at time t is D_t and generation is G_t. Then, the daily demand of individual member is.

$$D_i = \left[D_i^1, D_i^2, D_i^3, ..., D_i^T\right] \quad i \in [1,2,3,...,n] \tag{1}$$

Where, D_i =demand of prosumer i ; T = total time period, 24 for one day

Similarly, hourly generation of a prosumer is

$$G_i = \left[G_i^1, G_i^2, G_i^3, ..., G_i^T\right] \quad i \in [1,2,3,...,n] \tag{2}$$

Simultaneous mismatch between supply and demand of a prosumer in time t is represented by $M_i(t)$ is given by

$$M_i(t) = \min(D_i(t), G_i(t)) \tag{3}$$

Now, the amount of power to be imported by a prosumer because of the generation deficit is represented by $P_{i,Buy}$ is calculated as equation (4). The excess generation should be exported to the grid which is given by the equation (5)

$$P_{i,Buy} = D_i(t) - M_i(t) \tag{4}$$

$$P_{i,Sold} = G_i(t) - M_i(t) \tag{5}$$

Combined energy that a community brought from the grid and sold to the grid represented by $E_{Buy,total}$ and $E_{Sold,total}$ respectively can be calculated as

$$\begin{aligned} E_{Buy,total} &= \sum\nolimits_{i=1}^{n}\sum\nolimits_{t=1}^{24} P_{DIF}(t) \\ E_{Sold,total} &= \sum\nolimits_{i=1}^{n}\sum\nolimits_{t=1}^{24} P_{SUR}(t) \end{aligned} \tag{6}$$

The buying and selling price of electricity issued by the utility company is represented by C_{GBR} , C_{GSR} respectively. The cost of electricity of an individual prosumer in the case of direct grid trading is given by the equation

$$C_i^{DG} = \left(\sum\nolimits_{t=1}^{24} P_{i,Buy}(t) * \Delta t\right) * C_{GBR} - \left(\sum\nolimits_{t=1}^{24} P_{i,Sold}(t) * \Delta t\right) * C_{GSR} \tag{7}$$

Now, as the sharing is considered within microgrid instantaneous power balance should be calculated in a whole community rather than on an individual basis. This is the representation of self-consumption of their generation (they share PV generation). It is calculated as,

$$M(t) = \min(\sum\nolimits_{i=1}^{n} D_i(t), \sum\nolimits_{i=1}^{n} G_i(t)) \tag{8}$$

Similarly, we can calculate every parameter as described earlier for community. In the P2P scenario, member of the community shares their generation among themselves, the sum of individual imported and exported energy will always remain greater than the community energy import and export.

Now, community energy manager will calculate buying and selling rates of electricity. Let say C_{MGBR} be buying price and C_{MGSR} be selling rate inside microgrid, E_{GB} and $\boldsymbol{E_{GS}}$ grid buying and selling in

community mode, $E_{buy,total}$ and $E_{sold,total}$ is buying and selling power in individual operation mode. Then according to [4] rates can be calculated as.

$$C_{MGBR} = C_{GBR} * \frac{E_{GB}}{E_{Buy,total}} \tag{13}$$

$$C_{MGSR} = C_{GSR} * \frac{E_{GS}}{E_{Sold,total}} \tag{14}$$

At last the new energy coast of a prosumer based on the modified rate or P2P rate is given by

$$C_i = \left(\sum_{t=1}^{24} P_{i,Buy}(t) * \Delta t\right) * C_{MGBR} - \left(\sum_{t=1}^{24} P_{i,Sold}(t) * \Delta t\right) * C_{MGSR} \tag{15}$$

Multilevel trading

In this method, a two-level power transaction market is considered, as shown in figure 1. The lower controller sends the information about available and required power to the higher-level controller on the other hand topmost controller calculates the energy price and send that information to lower controllers to define their energy rate within their respective area. Pricing depends upon the supply-demand economics. Supply to demand ratio (SDR) is considered as the deciding factor to determine the energy rate.

$$SDR^t = \frac{TPE^t}{TPD^t} \tag{16}$$

SDR = supply to demand ratio; *TPE* = total power excess; *TPD* = total power deficit

For example, CEM calculates TPE and TPD as follows:

I. Each NGO sends the net power NP available at a time t to the CEM.

$$NP_i^t = D_i^t - G_i^t \tag{16}$$

II. The CEM calculates TPE and TPD according to the sign of NP obtained from NGOs.

$$TPE^t = -\sum_{i=1}^{n} NP_i^t \quad ; NP_i^t < 0$$
$$TPD^t = \sum_{i=1}^{n} NP_i^t \quad ; NP_i^t > 0 \tag{16}$$

III. The CEM again calculates the power imbalance at time *t* and exports information to the higher controller. In this case, MEM then calculates TPE and TPD and that level similar to the case of CEM and calculates the energy rate since it is the highest level controller. Also, MEM determines SDR and cost, which then transferred to the lower controllers.

α_{buy} and α_{sell} are the rates of grid buying and grid selling price specified by the grid operator, respectively. Internal energy rate defined by MEM can be represented as,

$$\beta = \left\{ \beta^1_{Buy}, \beta^2_{Buy}, \beta^3_{Buy} \dots \beta^{24}_{Buy}; \beta^1_{Sell}, \beta^2_{Sell}, \beta^3_{Sell} \dots \beta^{24}_{Sell} \right\}$$

To get a sustainable economic benefit of the P2P market, the grid price and MEM price must always satisfy the following condition [7].

$$\alpha_{Sell} \le \beta_{Sell} \le \beta_{Buy} \le \alpha_{Buy}$$

Selling and buying price of MEM is given as below,

$$\beta_{Sell}^{t} = \begin{cases} \dfrac{\alpha_{Sell}\alpha_{Buy}}{(\alpha_{Buy} - \alpha_{Sell})SDR^{t} + \alpha_{Sell}} & ;0 \le SDR^{t} \le \\ \alpha_{Sell} & ;SDR^{t} > 0 \end{cases} \quad (23)$$

$$\beta_{Buy}^{t} = \begin{cases} \beta_{Sell}^{t} SDR^{t} + \alpha_{Buy}(1 - SDR^{t}) & ;0 \le SDR^{t} \le 1 \\ \alpha_{Sell} & ;SDR^{t} > 0 \end{cases} \quad (24)$$

Similarly, the rate of CEM is calculated using SDR of respective microgrid and price of MEM as the boundary condition. Thus, estimated CEM rate is represented by $\gamma_{m,Buy}^{t}$ and $\gamma_{m,Sell}^{t}$ in equation 27. There are two CEM in the system, so '*m*' represents respective microgeid and hence CEM. Finally, per day electricity bill is calculated using following relations,

i. Peer to grid trading, in this case, a peer directly transacts with grid, and hence, the grid exchange rate

$$C_{P2G}^{i} = \left(\sum_{t=1}^{24} P_{i,im}^{t}(t) * \Delta t\right) * \alpha_{Buy} - \left(\sum_{t=1}^{24} P_{i,ex}^{t}(t) * \Delta t\right) * \alpha_{Sell} \quad (25)$$

ii. single stage P2P trading

$$C_{SP2P}^{i} = \left(\sum_{t=1}^{24} P_{i,im}^{t}(t) * \Delta t\right) * \beta_{Buy}^{t} - \left(\sum_{t=1}^{24} P_{i,ex}^{t}(t) * \Delta t\right) * \beta_{Sell}^{t} \quad (26)$$

iii. Multilevel P2P trading

$$C_{HP2P}^{i} = \left(\sum_{t=1}^{24} P_{i,im}^{t}(t) * \Delta t\right) * \gamma_{m,Buy}^{t} - \left(\sum_{t=1}^{24} P_{i,ex}^{t}(t) * \Delta t\right) * \gamma_{m,Sell}^{t} \quad (27)$$

RESULTS AND DISCUSSIONS

Data of two microgrids MG1 and MG2 are given in figure 2 and 3, respectively. An assumption is made about the grid selling and buying price. It is expected that utility will buy energy at a rate of 2.71 (average selling price of electricity by electricity generation authority of Thailand to PEA [9]) Thai baht (THB) and sell at 7 THB (assumed rate due to lack of data).

Table 1. Overall Per Day Electricity Bill of Each Nano Grid in Various Pricing Scenarios

	Electricity bill (THB) in Microgrid 1						Electricity bill (THB) in Microgrid 2			
	NG1	NG2	NG3	NG4	NG5	Total	NG1	NG2	NG3	Total
Direct grid trading	941	905	303	537	758	3444	422	1167	188	1777
Participatory	934	896	304	534	751	3419	423	1113	190	1726
Single stage P2P	937	903	294	530	757	3421	403	1120	184	1707
Multi-stage P2P	933	903	290	530	757	3413	403	1109	184	1696

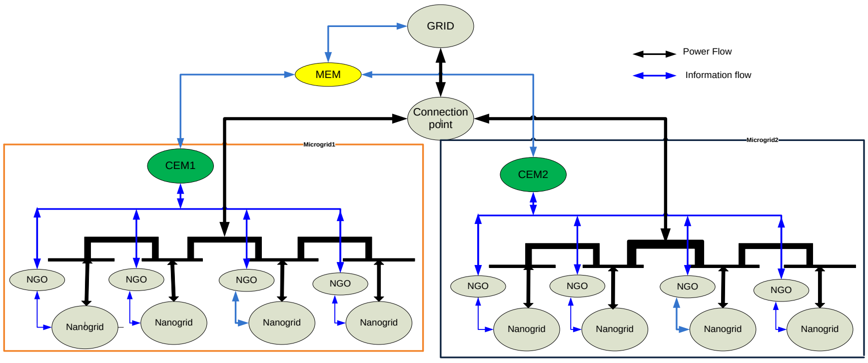


Fig.1. Block diagram of multilevel transaction

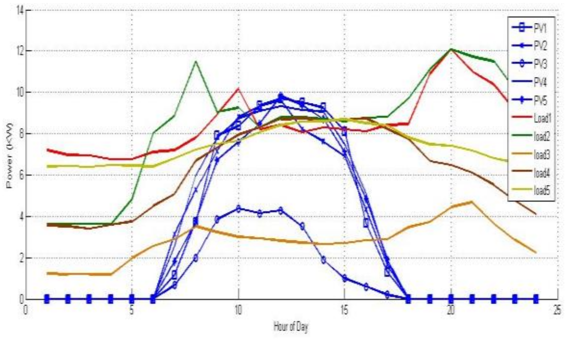


Fig.2. Microgrid 1 data

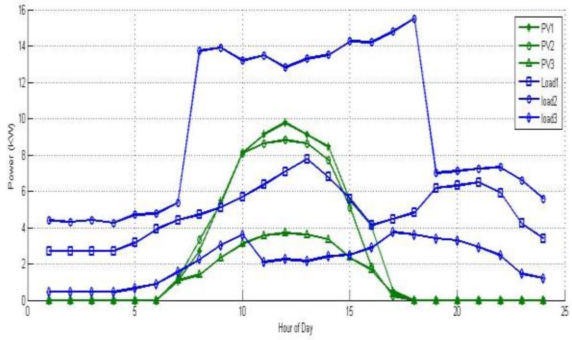


Fig.3. Microgrid 2 data

The result obtained after the simulation is tabulated in table 1. It presents the per day electricity bill of a prosumer in four different trading mechanism. Direct grid trading is the basic bidirectional trading method and is evident from the table that it is the most costly method from the prosumer point of view. All nanogrids have maximum electricity cost in this trading model. Participatory method is the simplest P2P trading model, and in this case, it becomes more profitable than direct grid trading mode of transaction. This method reduced the bill in all nanogrids as shown in table 1. Referring to figure 1 if only MEM is responsible for the trading considering whole microgrid as a single unit, such mechanism can be assumed as single-stage P2P. This model further reduced the bill in almost all nanogrids in microgrid 2, but some nanogrids in microgrid 1 has higher bill than participatory mode it is because of the application of real-time pricing to calculate bill. In multilevel trading cost of electricity further reduced in the nanogrids of both microgrids. Microgrid 2 is in power deficit, and it gets cheap power from microgrid 1, so its total cost is significantly reduced in this case. In microgrid 1 further saving is achieved in nanogrid 1 and 3 only because it has more sellable power for trading, which was sold to grid in single stage model. It is clear from the simulation that multilevel transaction will be more beneficial to the prosumers however it is very complex market model and the investment cost will be higher.

The simulation shows the saving in electricity bill is very insignificant in all cases however it gives the clear picture for the future study in this field. Such insignificant saving is due to application of fairly precise data. PV generation profile is not in accordance with the real working condition of all enterprises considered in the simulation. It is assumed based on normalized curve.

CONCLUSION

Calculation based on two pricing method shows that multilevel transaction is the most beneficial market model followed by single-stage P2P and performance of participatory is weakest. On the other hand, the saving in electricity bill is somehow insignificant in all market model it is due to smaller sample size and application of reasonably accurate data. However, if other aspects like energy storage, etc. are considered, and further precise analysis is carried out, then it will become more profitable than the existing centralized market.

P2P has great potential in Thailand, mainly in commercial areas and suburban residential area. Policy reforms, government support, private investment and co-operation with academic society may result a sustainable distributed power distribution system and is equally beneficial to both prosumers and utility. The utility does not require to take care of consumers as it falls under the market holder's responsibility. Conversely, a new free market will develop for private investment, and finally, prosumers can utilize solar power available on their premises. In the extreme case battery, EV, etc. owned by a prosumer could be utilized in P2P market to increase profitability resulting sustainable utilization of resources.

Acknowledgment

The author would like to thank the Suranaree University of Technology for supporting this research.

REFERENCES

[1] Van der Schoor, T., and Scholtens, B. 2015. Power to the people: Local community initiatives and the transition to sustainable energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 43:666-675.

[2] Beitollahi, H and Deconinck, G. 2007. In proceedings of international conference on risks and security of internet and system.

[3] Mengelkamp, E.; Garttner, J.; Rock, K.; Kessler, S.; Orsini, L.; and Weinhardt, C. 2017. Designing microgrid energy markets: A case study: the Brooklyn microgrid. Applied Energy 105:870-880.

[4] C. Long, J. Wu, C. Zang, T. Lee, M. Cheng, N. Jenkins, "Peer-to-Peer Energy trading in a Community microgrid.", IEEE Power & Energy Society General Meeting. Chicago, IL, USA, 2017.

[5] Zang, C.; Wu, J.; Cheng, M.; Zhou, Y.; and Long, C. 2016. A bidding system for peer to peer energy trading in a grid connected microgrid. In procedding of applied energy symposium and forum, REM2016: Renewable energy Integration with Mini/Microgid.

[6] Zanga, C.; Wua, J.; Longa, C.; and Chenga, M. 2016. Review of existing peer to peer energy trading projects. In proceeding of the 8th international conference on applied energy ICAE2016.

[7] Paudel, A. and Beng G.H. 2018. A hierarchical peer to peer energy trading mechanisms for residential microgrid distribution systems. In proceeding of IEEE power and energy society general meeting (PESGM). Portland, OR, USA, 5-10 Aug.

[8] T.Morstyn, N. Farrell, S.J. Darby, M.D. McCulloch, "Using peer-to-peer energy trading platforms to incentivise prosumers to form federated power plants", in nature energy, 2018, vol. 3, issue 2, pp.94-101.

[9] Electricity generating authority of Thailand, "Annual report 2018", pp. 13.

Analysis of Line Instability in Micro-Grid by Applying Electrical Power Forecasting Approach

Richard Joseph Mushi[1], Ashok Paudel[1], Terapong Boonraksa[1], and Boonruang Marungsri[1*]

[1]School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000

Abstract

The line instability and electrical power forecasting are essential techniques for operation control and planning in Micro-grid. This paper presents an analysis of the line instability in micro-grid by applying the electrical power forecasting approach. A mathematical model of power forecasting was examined using the modified GM (1,1) model. Besides that, the power flow was represented using a modified IEEE 30 bus test system in MATLAB. Finally, the line instability was analyzed based on the results of power flow, using line stability factor (LQP). The results exhibited that the actual power was nearly equal to the power forecasting when the exponential smoothing method was combined with the modified GM (1, 1) model. There was a high accuracy of prediction with Mean Absolute Percentage Error (MAPE) less than 1 %. Apart from that, it was cleared shown that the most critical line was 28-27, with a line instability factor of 0.963. The second and third most vital lines were 25-26 and 2-4, having instability factors of 0.759 and 0.568, respectively. For a next day operation and planning in Micro-grid, care must be taken by the utility operator to make sure that the Micro-grid is managed successfully.

Keywords: Electric Power Forecasting, Micro-grid, Power flow, Line Stability

INTRODUCTION

The micro-grid system includes distributed generation, energy storage system, control devices, and load. The generation source in micro-grid is Renewable Energy Sources (RES) and Non-Renewable Energy Sources (N-RES). The RES is like the wind, solar, hydro-power, etc., whereas the N-RES are such as coal, petroleum, natural gas, etc. The micro-grid can operate in grid-connected and islanded modes. In this paper, Micro-grid is assumed operating in an island mode. The power generated by RES fluctuated and depends on weather conditions such as wind speed, sunlight, etc. [1], as a result of instability conditions arise in micro-grid. The challenges of instability in micro-grid are the central alarms in micro-grid planning and operation control [2]. The two problems are a mismatch of power supply and user demands, and voltage instability.

Line instability refers to how far the system is close to voltage flop [3]. The most four-line stability indices are; Fast Voltage Stability Index (FVSI), Line Voltage Stability Index (LVSI), Line Stability

[*] Corresponding author: Tel.: 089-7177065. E-mail address: bmshvee@sut.ac.th.

Index (Lmn), and Line Stability Factor (LQP) [4]. However, electric power forecasting is a tool to predict upcoming power in a system; this is because understanding the behavior of power in a cutting-edge way is key in operation control, analysis, and planning of micro-grid [5]. The load forecasting classified into short-term, medium-term, and long-term forecasting [6]. Short-Term forecasting takes duration from hourly to one day even a week, medium-term duration ranges from weekly to monthly, and long-term forecasting is from monthly to yearly.

This paper opts to apply short-term forecasting because it is easy to use and requires a small quantity of data to predict the system. The Grey system is a method that has been widely implemented and studied in many research areas. One of the research areas is the Grey forecasting time-series. According to [7], the Grey forecasting time series uses the Grey differential model (GM) to predict systems. However, many types of research have been performed using time series prediction, and others tried to modify GM to enhance the accuracy of the prediction model [8]-[10]

This paper presents an analysis of the line instability in micro-grid by applying electrical power forecasting. Analysis of electrical power forecasting was done using a mathematical of the modified GM (1, 1) model but, the power flow was performed using the IEEE 30 bus test system in MATLAB, and finally, the line instability was determined based on power flow results.

METHODOLOGY

The methodology section is alienated as follows: a mathematical model of the modified GM (1, 1), power flow using the Newton-Raphson method, and line instability techniques.

Mathematical Model of the Modified GM (1, 1)

The GM equation having N variables is known as GM (1, N). Assume N = 1, the GM with one variable is written as GM (1, 1). The differential equation of the GM (1, 1) model with parameters "*a*" and "*b*" is given by:

$$\frac{dP_k^{(1)}}{dt} + aP_k^{(1)} = b \tag{1}$$

The solution of equation (1) is given as:

$$\hat{P}_k^{(1)} = \left(P_1^{(0)} - \frac{b}{a}\right)e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a} \tag{2}$$

For; **k** ≥ 2, Let $\hat{P}^{(0)}$ be the power fitting/forecasting,

$$\hat{P}^{(0)} = (\hat{P}_1^{(1)}, \hat{P}_2^{(0)}, \hat{P}_3^{(0)}, ..., P_{n+2}^{(0)}, P_m^{(0)}) \tag{3}$$

Then, we have:

$$\hat{P}_k^{(0)} = \left(1 - e^{a}\right)\left(P_1^{(0)} - \frac{b}{a}\right)e^{-a(k-1)} \tag{4}$$

Where: $\hat{P}_1^{(1)}, \hat{P}_2^{(0)}, \hat{P}_3^{(0)}$ are the power fitting, while $P_{n+2}^{(0)}, P_m^{(0)}$, are the power predicting of the modified GM (1, 1) model. And; a & b are the average value of vectors of a_k and b_k. The coefficient vectors are calculated as follows:

$$a_k = \log_e\left(\frac{P_{k-1}^{(0)}}{P_k^{(0)}}\right) \tag{5}$$

However, the background value of the modified GM (1, 1) is written as (6) for ***k*** ≥ 2.

$$Z_k^{(1)} = \left(\frac{P_k^{(0)}}{\log_e(P_k^{(0)}) - \log_e(P_{k-1}^{(0)})}\right) + \left(\frac{P_1^{(0)}P_{k-1}^{(0)}}{P_{k-1}^{(0)} - P_k^{(0)}}\right) \tag{6}$$

$$b_k = P_k^{(0)} + a_k Z_k^{(1)} \tag{7}$$

The mathematical of the modified GM (1, 1) model was further evaluated in the python program.

Exponential Smoothing Method

The power forecasting obtained from the modified GM (1, 1) model is also analyzed in the exponential smoothing method using equation (8). Whereby: $0 < \lambda < 1$.

$$\tilde{P}_k^{(0)} = \lambda P_k^{(0)} + (1-\lambda)\hat{P}_k^{(0)} \tag{8}$$

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

The MAPE evaluate the accuracy of power forecasting [11] and is calculated using equation (9):

$$MAPE = \frac{1}{m}\sum_{k=1}^{m}\frac{\left|P_k^{(0)} - \tilde{P}_{k+1}^{(0)}\right|}{P_k^{(0)}} \tag{9}$$

Line Instability

The line instability analysis is one of the areas in the power system used to analyze the system how far the line is close to voltage collapse. Consider the line with two buses in Fig. 1

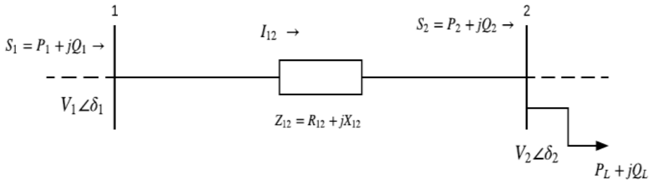


Fig. 1. Two bus networks

Whereby, $\delta = \delta_1 - \delta_2$ is phase angle difference between bus 1 and 2, $Z_{12}=R_{12}+ j X_{12}$ is line impedance θ is line impedance angle. The following are line instability indexes and their mathematical formulas:

Line Stability Factor (LQP)

The formula found in [12] and is given as follows in equation (10);

$$LQP_{12} = 4\left(\frac{X_{12}}{V_1^2}\right)\left(Q_2 + \frac{X_{12}P_1^2}{V_1^2}\right) \tag{10}$$

Online Stability Index (LVSI)

The LVSI is determined by using equation (11);

$$LVSI_{12} = \frac{4R_{12}P_2}{\left[V_1 \cos(\theta - \delta)\right]^2} \tag{11}$$

Line Stability Index (Lmn)

Researcher [13] wrote that LMN formula is evaluated in equation (12);

$$Lmn_{12} = \frac{4X_{12}Q_2}{\left[V_1 \sin(\theta - \delta)\right]^2} \tag{12}$$

Fast Voltage Stability Index (FVSI)

Reference [14] wrote that the FVSI equation is presented using equation (13). The expression of FVSI is given by;

$$FVSI_{12} = \frac{4Z_{12}^2 Q_2}{V_1^2 X_{12}} \tag{13}$$

From equations 10, 11, 12, and 13, it indicates that the FVSI and L_{mn} are directly relative to reactive power. But, the LQP includes active and reactive power of the line, and LSVI contains active power only. The LQP has better performance than the other indices [15] because it consists of active and reactive power of the line. Thus, this paper considers applying LQP to estimate line instability. However, the determination of the line instability is based on the power flow results. With the line stability factor is near to one, the Micro-grid is said to be close to instability [16].

Power Flow Analysis

The Power Flow (PF) is the method to calculate the voltage, current, active, and reactive power in a network under a load condition. The PF was executed using the Newton-Raphson technique in MATLAB.

IEE 30 Bus Test System

Assume that the Micro-grid is operating in an island mode and the IEEE 30 bus as a base test case. The details of IEEE 30 bus test system are avail in [17]. The IEEE 30 bus standard test system has the following connected components: Number of generators =6, Number of loads = 20, Slack bus number = 1, number lines = 41, base voltage = 22 kV, Base power = 100 MVA, the IEEE 30 bus test system is shown in Fig. 2.

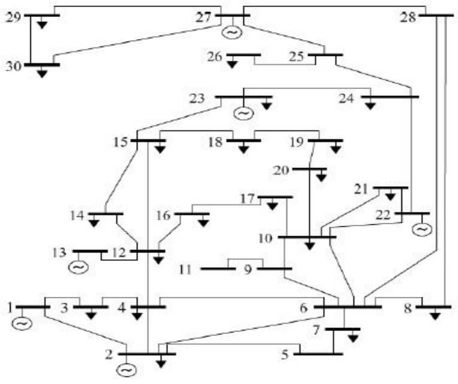


Fig. 2. Single Line diagram of IEEE 30 [18].

RESULTS AND DISCUSSIONS

Power forecasting results

The details of the actual power were adopted and took in [19]. The actual power and power forecasting (in MW), produced and consumed against 24 hours duration from 00:00 hours to 23:30 hours exemplified in Fig. 3. Generally, the results presented that the actual power was almost equivalent to the power forecasting. The wind power showed downward trends, whereas solar power gave both downward and upward inclinations. The load demands experienced some fluctuations.

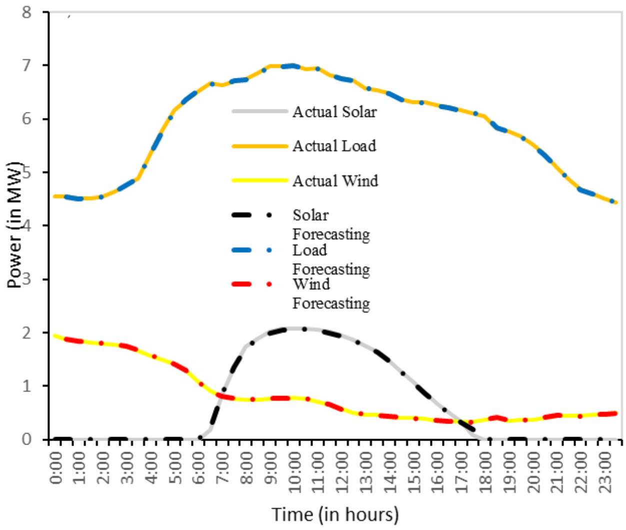


Fig. 3. Actual Power and Power Forecasting Results

The maximum and minimum power forecasting consumed was about 7 MW, and 4.4 MW, whereas the maximum and minimum power generation forecasting (solar and wind) were around 4 MW and 0.3 MW. It means that the power consumed forecasting was higher than the power generation predicting (solar and wind).

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

The MAPE of the load demands, solar power, and wind power are presented in Table 1.

Table 1. MAPE Results

	Load Demands	Solar Power Output	Wind Power Output
MAPE (%)	0.024	0.778	0.302

Overall, the results of each MAPE are less than 1%; it means that a high level of accuracy obtained when an exponential smoothing method is used together with the modified GM (1, 1) model.

Power Flow Analysis

The power flow was performed using the IEEE 30 standard test system. The IEEE 30 bus system was altered to make sure the test system data are within the micro-grid standard. Now, the eight highest power forecasting of load demands and generation (solar plus wind) were chosen and presented

randomly in the modified IEEE 30 test base case. The eight power forecasting for the load demands were 6.75 MW, 6.82 MW, 6.85 MW, 6.93 MW, 6.94 MW, 6.98 MW, 6.99 MW, and 7 MW whereas for generations (solar plus wind) were 3.45 MW, 3.6 MW, 3.74 MW, 3.78 MW, 3.84 MW, 3.87 MW, 3.9 MW, and 3.94 MW. For the load demands, the highest power forecasting was located at bus numbers 6, 9, 11, 13, 22, 25, 27, and 28 while for the generation were set at bus number 6, 9, 11, 16, 22, 24, 26, and 30. Thus, the power flow was studied based on the power forecasting. The results from power flow showed that the total power generated and consumed were 75.403 MW and 69.362 MW while the total power losses were 6.041 MW

Line instability results

The results obtained from the power flow were used to determine the line instability using equation (10). The results of the line stability factor represented in Table 2. From table 2, it shows that the line joint bus 28 and bus 27 is considered to be the most critical line to bus 27 because of a high instability factor of 0.963. Besides that, line 25-26 is the second most crucial line to bus 26 with a stability factor of 0.759, while the third most critical line to bus 4 is line 2-4 with stability factor 0.568 subsequently. When the line instability factor is near to one, it indicates that the line is very close to the point of voltage collapse. For that reason, the precaution must be taken by the utility operator before a next day operation control and planning to operate the micro-grid successfully.

Table 2. Line instability results

Bus No.	Bus		Instability factor	Critical line	Bus No.	Bus		Instability factor	Critical line
	From	To				From	To		
2	2	4	0.568	3	12	12	13	0.139	8
4	4	12	0.233	6	24	24	25	0.172	7
6	6	8	0.111	11	25	25	26	0.759	2
8	8	28	0.120	9		25	27	0.114	10
9	9	11	0.264	5	28	28	27	0.963	1

CONCLUSION

The paper positively presented an analysis of line instability factor in Micro-grid by application of electric power forecasting approach. The electric power forecasting was studied using the modified GM (1,1) model. The power forecasting showed the combination of a simple exponential smoothing technique and the modified GM (1, 1) model offers a high level of accuracy with MAPE less than 1%.

The power flow was carried out using the IEEE 30 bus test system in MATLAB, and lastly, the line instability was examined based on power flow results. From the instability results point of view, it revealed that the most critical line was at 27-28 with a line stability factor of 0.963 whereas the least critical line was at 6-8 with a line stability factor of 0.111. Overall, it showed that the 24 hours ahead power forecasting helps to understand a next day operation control and planning in micro-grid.

NOMENCLATURE

$P_1 : Q_1$	=	Active and reactive power flow at the sending bus 1
$P_2 : Q_2$	=	Active and reactive power flow entering the receiving bus 2
$S_1 : S_2$	=	Apparent power at the sending and receiving buses 1, 2
$P_k^{(0)}$	=	Actual power
$P_k^{(0)}$	=	Actual Power
I_i	=	Current at bus *i*
I_{ij}	=	Current flow in the line
$\partial P_k^{(1)} / \partial t$	=	Estimated energy used at time *t*
$P_k^{(1)}$	=	Estimated power used at time *t*
a	=	Grey coefficient
b	=	Grey control parameter.
$P_1^{(0)}$	=	Initial value of power for *t* = 1 and for a given series to be modeled.
$P_k^{(0)}$	=	Previous actual power
δ_1	=	Phase angle at the sending bus 1
δ_2	=	Phase angle at the receiving bus 2
R_{ij}	=	Resistance of the line
λ	=	Smooth parameter
V_1	=	Voltage at the sending bus 1
V_2	=	Voltage at the receiving bus 2

Acknowledgment

The author would like to thank the Suranaree University of Technology for supporting this research.

REFERENCES

[1] Joseph. R and Marungsri. B. 2019. Evaluation of Line Voltage Stability Index in Micro-grid with or without BESS. *PEA Conference and Innovation*. 23-24 September. Bangkok, Thailand.

[2] Subramani. C, Subhransu. S. D, Bhaskar. A. M, and Jagdeshkumar. 2009. Simulation Technique for Voltage Stability Analysis and Contingency Ranking in Power Systems. *International Journal of Recent Trends in Engineering*. 2(5). November.

[3] Thasnas. N and Siritaratiwat. A. 2019. Implementation of Static Line Voltage Stability Indices for Improved Static Voltage Stability Margin. *Journal of Electrical and Computer Engineering. Hindawi.* 14 pages. Article ID 2609235. https://doi.org/10.1155/2019/2609235.

[4] Goh. H. H, Chua. S. S, Lee. W. S, Kok. C. B, Goh. C. K, and Teo. K. T. K., 2015. Evaluation for Voltage Stability Indices in Power System Using Artificial Neural Network. *International Conference on*

Sustainable Design, Engineering, and Construction. *Procedia Engineering*. 118(2015); 1127-1136. Elsevier.

[5] Lotufo. P. D. A and Minussi. R. C., 2002. Electric Power System Load Forecasting: A Survey. *International Conference on Power Technology* Budapest. 28 August- 2 September. Budapest, Hungary. IEEE.

[6] Piao. M, Lee. G. H, Park. H. J, and Ryu. H. K. 2008. Application of Classification Methods for Forecasting Mid-Term Power Load Patterns. *International Conference on Intelligent Computing*. 47-54, Verlag Berlin Heidelberg. Springer.

[7] Deng. J. 1989. Introduction to Grey System Theory. *The Journal of Grey System*. 1(1989); 1-24. China

[8] Huang. Y, Fang. W, and Fan. Z. 2011. Application Research of Improved Grey Forecasting Model in Load Forecasting. *International Conference on Intelligent Computing and Information Science*. 529-534. Verlag Berlin Heidelberg. Springer.

[9] Wang. H. C and Phan. T. V. 2014. An Improvement of the Accuracy of Grey Forecasting Model for Cargo Throughput in International Commercial Ports of Kaohsiung. *WSEAS Transactions on Business and Economics*. Vol. 11, 322-327.

[10] Kayacan. E, Ulutas. B, and Kaynak. O. 2010. Grey System Theory-Based Models in Time Series Prediction. *International Journal-Expert Systems with Applications*. Vol. 37, 1784-1789. Elsevier

[11] Sobhani. M, Campbell. A, Sangamwar. S, Li. C, and Hong. T. 2019. Combine Weather Stations for Electric Load Forecasting. *Journal Energies*. April 21.

[12] Mohamed. A and Jasmon. G. B. 2007. A New Clustering Technique for Power System Stability Analysis. *Journal of Electrical Machines and Power Systems.* 23(4), 389-403. April, 27. Taylor and Francis Online.

[13] Moghavemmi. M. and Omar. F. M. 1998. A technique for Contingency Monitoring and Voltage Collapse Prediction. *IEEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution*. 145(6), 634-640. November. IET.

[14] Musirin. I and Abdul Rahman. T. K. 2002. Estimating Maximum Loadability for Weak Bus Identification Using FVSI. *IEEE Power Engineering Review*. 12(11), 50-52. November. IEEE.

[15] Zhang X., and Wong C. K. 2011. Comparison of Voltage Stability Indexes Considering Dynamic Load. *IEEE Electrical Power and Energy Conference*. Winnipeg, MB, Canada, October 3-5. IEEE.

[16] Subramani. C, Subhransu. S. D, Kumar, V., and Harish, K., 2012. Implementation of Line Stability Index for Contingency Analysis and Screening in Power Systems. *Journal of Computer Science*.

[17] Saadat. H. 1999. *Power System Analysis*. Chap. 6, page 226. New York, USA. McGraw-Hill.

[18] Hota. P. K and Naik. P. A. 2016. Analytical Review of Power Flow Tracing in Deregulated Power System. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering.* 4(3): 92-101.

[19] Retrieved on August 20, (2019), from World Wide Web: https://data.open-power-system-data.org/time_series/.

การศึกษาการใช้พลังงานสำหรับการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้าและขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม
The Study of Energy Consumption for Electric Buses Movement and Suitable Battery Size

ธีระพงษ์ บุญรักษา[1] พรหมพักตร์ ดาวัลต์[2] Richard Joseph Mushi[1] Ashok Paudel[1] และบุญเรือง มะรังศรี[1*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี กรุงเทพฯ 10170

บทคัดย่อ

รถบัสไฟฟ้าถูกนำมาใช้งานเนื่องจากสามารถลดมลพิษทางอากาศในเขตเมืองได้และสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล อย่างไรก็ตาม รถบัสไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่เก็บสะสมในแบตเตอรี่เพื่อให้สามารถวิ่งได้ในระยะทางไกลขึ้นและมีการออกแบบสถานีประจุไฟฟ้าที่เหมาะสม บทความนี้เป็นการศึกษาการใช้พลังงานสำหรับการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้าและการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม โดยใช้กฎข้อที่ 2 นิวตัน (Newton’s laws) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เมื่อรถบัสไฟฟ้าเคลื่อนที่จะเริ่มการทำงานที่โหมดเร่งความเร็ว เมื่อเข้าสู่ความเร็วสูงสุดรถบัสจะเริ่มเข้าสู่โหมดความเร็วคงที่ จากนั้นจะเข้าสู่โหมดชะลอความเร็วและโหมดเบรก ตามลำดับ ซึ่งโหมดเร่งความเร็วจะใช้พลังงานในการขับเคลื่อนมากที่สุด เนื่องจากต้องใช้แรงเพื่อให้รถเข้าสู่ความเร็วสูงสุด ในการจำลองนี้รถบัสไฟฟ้ามีอัตราการใช้พลังงานที่ 1.3256 kWh/km การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ การใช้รถบัสไฟฟ้าสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าการใช้งานรถบัสดีเซลล์ การศึกษาการใช้พลังงานของรถบัสไฟฟ้านั้นมีความจำเป็นสำหรับการออกแบบรถบัสไฟฟ้าเพื่อให้เหมาะสมกับเส้นทางและระยะทางที่รถให้บริการ

คำสำคัญ: การเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้า โหมดการทำงานของรถบัสไฟฟ้า แบตเตอรี่รถบัสไฟฟ้า

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการเจริญเติบโตขึ้น ทั้งทางด้านเศรษฐกิจ การท่องเที่ยว และภาคการขนส่ง ซึ่งนำมาสู่ปัญหามลภาวะทางอากาศที่มีมากขึ้นเรื่อย ๆ อันเนื่องมาจากปัจจัยหลาย ๆ อย่าง ที่เป็นปัจจัยหลักนั้นเกิดจากการปล่อยมลพิษของยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในที่มีการใช้งานจำนวนมาก โดยเฉพาะในตัวเมืองใหญ่ ๆ ที่มีการจราจรหนาแน่น มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมาก รวมทั้งยังมีฝุ่นควันต่าง ๆ เช่น อากาศที่มีฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM 2.5) ที่เกิดขึ้นในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ - มีนาคม ดังนั้น การลดการใช้ยานยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในสามารถลดมลภาวะดังกล่าวได้ การใช้ยานยนต์ไฟฟ้า รถบัสไฟฟ้า และระบบขนส่งที่ไม่มีการปล่อยมลพิษหรือไม่ทำให้เกิดฝุ่นควันจึงสามารถลดมลภาวะในอากาศได้ด้วย [1][2]

รถบัสไฟฟ้านั้นใช้พลังงานสะอาดในการขับเคลื่อนกลไกการทำงานต่าง ๆ ในตัวรถ โดยมีหลายประเทศทั่วโลกได้หันมาใช้งานรถบัสไฟฟ้าแทนรถบัสเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งในประเทศไทยก็ได้มีการหันมาใช้งานรถบัสไฟฟ้าโดยมีการนำร่องในหน่วยงานต่าง ๆ เช่น ในมหาวิทยาลัย ห้างสรรพสินค้า สำนักงานราชการ และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รถบัสไฟฟ้าที่มีใช้งานในประเทศไทยส่วนใหญ่จะมีความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 60 - 90 km/hr ในอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 1.2 - 1.4 kWh/km [3] รัฐบาลไทยให้การสนับสนุนงานวิจัยที่เกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้ารวมถึง

---

* Corresponding author: Tel.: 089-7177065. E-mail address: bmshvee@sut.ac.th.

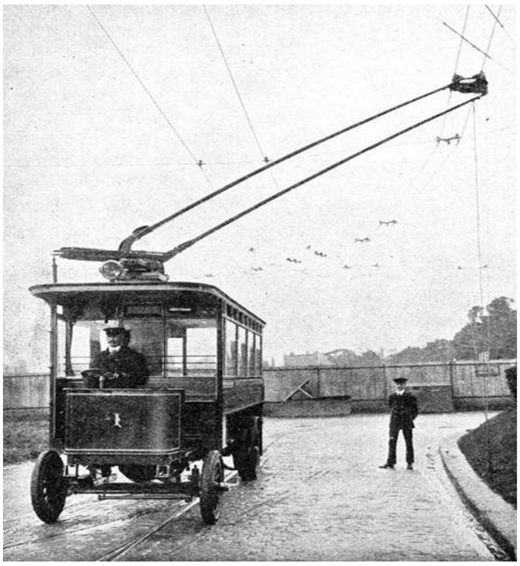
สนับสนุนการผลิตรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า เพื่อลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ [4] และยังมีแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 - 2579 โดยกระทรวงพลังงาน ที่มีการส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าซึ่งเป็นหนึ่งในมาตรการอนุรักษ์พลังงานในภาคการขนส่ง [5]

ดังนั้น บทความวิจัยนี้จึงนำเสนอการศึกษาการใช้พลังงานในการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้า โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน (Newton’s laws) เพื่อศึกษาการใช้พลังงานในการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลอง ทำการจำลองในสภาวะที่รถเคลื่อนที่ในโหมดการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ความต้องการในการใช้พลังงานของรถบัสไฟฟ้าและความเหมาะสมของเส้นทางที่จะมีการให้บริการในอนาคต รวมถึงมีการวิเคราะห์การหาขนาดของแบตเตอรี่และการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ เปรียบเทียบกับรถบัสเครื่องยนต์สันดาบภายใน

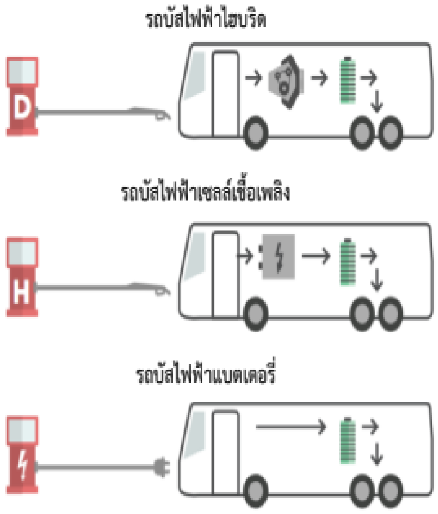
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ความเป็นมาของรถบัสไฟฟ้า

การขนส่งสาธารณะในอดีตนั้น เริ่มต้นจากการใช้งานรถรางในอเมริกาเมื่อปี 1881 โดยมีรถบัสชื่อว่า trams และ trolleybuses ที่เป็นรถบัสไฟฟ้าในขณะนั้น โดยการใช้การเชื่อมต่อเพื่อรับกระแสไฟฟ้าจากสายส่งเหนือศีรษะ ดังแสดงในภาพที่ 1 ต่อมาในปี 1909 บริษัท Railless Electric Traction Company Ltd. ได้มีการออกแบบและสร้างรถบัสไฟฟ้าแบบ trolleybuses สำหรับใช้ รับ-ส่ง ผู้โดยสาร [6]



ภาพที่ 1 รถบัสไฟฟ้าแบบ trolleybuses [6]



ภาพที่ 2 รถบัสไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ [7]

รถบัสไฟฟ้าที่ให้บริการในปัจจุบัน

การพัฒนาในเรื่องของมอเตอร์ไฟฟ้าและแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน รถบัสไฟฟ้าจึงมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นตามไปด้วย รถบัสไฟฟ้าที่มีการใช้งานในปัจจุบันและมีการผลิตขึ้นมาหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและการใช้งาน เช่น รถบัสไฟฟ้าแบบไฮบริดที่ใช้พลังงานในการขับเคลื่อนจากน้ำมันเชื้อเพลิงขับเคลื่อนเครื่องยนต์และไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า รถบัสไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนรถบัส โดยมีไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้ากักเก็บไว้ในแบตเตอรี่ และรถบัสไฟฟ้าแบตเตอรี่ที่ใช้พลังงานในการขับเคลื่อนจากแบตเตอรี่โดยอัดประจุเมื่อแบตเตอรี่นั้นหมดลง [7] ภาพที่ 2 แสดงรถบัสไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

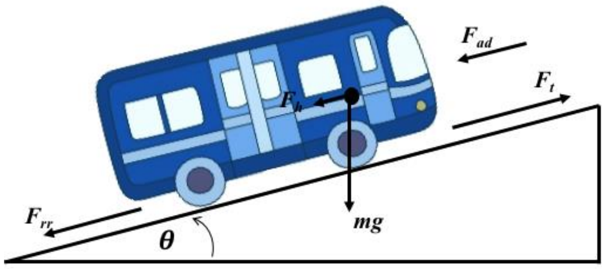
วิธีการวิจัย

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's laws)

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's laws of motion) เป็นกฎทางกายภาพ ซึ่งเกี่ยวกับพฤติกรรมของสสารที่เคลื่อนที่และเป็นจริงอยู่เสมอ โดยมีปริมาณที่เกี่ยวข้อง คือ แรงที่กระทำจากภายนอกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง และมวลของวัตถุที่บ่งบอกถึงน้ำหนักของวัตถุนั้น กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน (Newton's second law of motion) [8] กล่าวว่า ความเร่งของอนุภาค (a) มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทียกกำลังสอง (m/s^2) ซึ่งแปรผันตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ (F) มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) แต่จะแปรผกผันกับมวลของวัตถุ (m) มีหน่วยเป็นนิวตัน (kg) ดังในสมการที่ (1)

$$\sum F = ma \qquad (2)$$

การศึกษาการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้าในบทความนี้ได้นำกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน มาประยุกต์ใช้หาแรงในการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้า ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น แรงต้านทานการหมุนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานของล้อรถบนถนน (F_{rr}) แรงต้านของอากาศ (F_{ad}) แรงของการเร่งความเร็ว (F_{la}) และแรงที่ต้องการเพื่อขับเคลื่อนขึ้นทางที่ลาดชัน (F_h) ดังแสดงในสมการที่ (2) [9] ภาพที่ 3 แสดงแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้า



ภาพที่ 3 แรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้า

$$F_t = F_{rr} + F_{ad} + F_{la} + F_h \qquad (2)$$

ดังนั้น สามารถหากำลังไฟฟ้า (P_t) ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ได้ดังสมการที่ (3)

$$P_t = F_t \times v$$

$$P_t = v\left(\mu_{rr} mg + \frac{1}{2}\rho C_d A v^2 + ma + mg\sin(\theta)\right) \qquad (3)$$

เมื่อ μ_{rr} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานของยางหรือล้อรถบัสไฟฟ้า m คือ น้ำหนักของรถ g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ρ คือ ค่าความหนาแน่นอากาศ มีค่า 1.25 kg/m^3 A คือ ค่าพื้นที่ด้านหน้าของรถ (m^2) C_d คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงดึง (drag coefficient) และ v คือ ความเร็วของรถบัสไฟฟ้า

สามารถคำนวณหาพลังงานไฟฟ้า (E_t) ได้ดังสมการที่ (4)

$$E_t = \int_0^t P_t(t)\,dt \qquad (4)$$

กรณีศึกษา

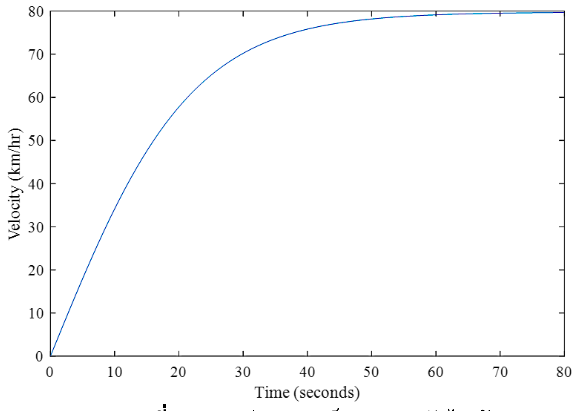
การศึกษาวิจัยนี้ใช้ข้อมูลของรถบัสไฟฟ้า Proterra Catalyst ขนาดความยาว 12 m เป็นข้อมูลสำหรับการจำลอง ซึ่งมีระบบประจุไฟฟ้าเร็วแบบปลั๊กอิน ที่กำลังไฟฟ้า 250 kW และมีแบตเตอรี่ขนาดความจุ 220 kWh มอเตอร์แบบ Dual independent 190 kW [10] พารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 1 การจำลองรถบัสจะให้บริการจากสถานีขนส่งนครราชสีมาไปสถานีขนส่งหมอชิต 2 เป็นระยะทาง 246 km ผู้วิจัยเลือกรถบัสไฟฟ้าชนิดนี้เนื่องจากเป็นรถบัสไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กที่สุดที่มีใช้งานอยู่และสามารถหาข้อมูลคุณสมบัติต่าง ๆ ได้ง่าย การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์จะทำการคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของรถบัสไฟฟ้าดีเซล ซึ่งใช้ราคาน้ำมันที่เชลล์ 26.09 บาท/ลิตร ของวันที่ 15 กันยายน 2562 มาคำนวณ สามารถวิ่งได้ระยะทาง 3 km ต่อน้ำมัน 1 ลิตร [11] อัตราค่าบริการสำหรับสถานีประจุไฟฟ้าการไฟฟ้านครหลวง อัตราตามช่วงเวลาของการใช้งาน (TOU) ที่แรงดัน 12-24 kV On Peak = 4.1839 บาท/หน่วย Off Peak = 2.6037 บาท/หน่วย [12]

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของรถบัสไฟฟ้าที่ใช้จำลอง

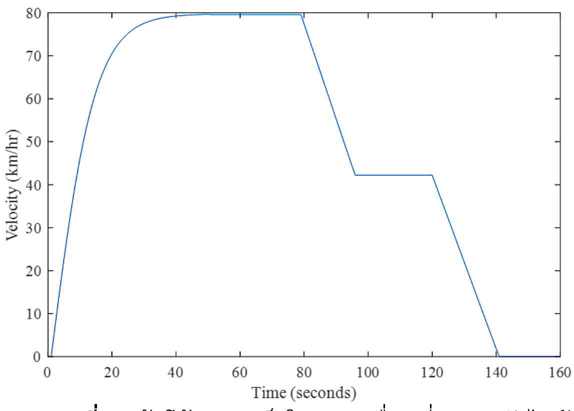
น้ำหนักรถบัส (m)	12000 kg	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g)	9.81 m/s^2
สัมประสิทธิ์การฉุดลาก (C_d)	0.4	เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ	0.56 m
สัมประสิทธิ์การต้านทานของยาง (μ_{rr})	0.0005	พื้นที่ด้านหน้ารถ (A)	2.55x3.15 m
ค่าความหนาแน่นอากาศ (ρ)	1.25 kg/m^3	อัตราเร่ง (ACC)	1.44 m/s^2

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

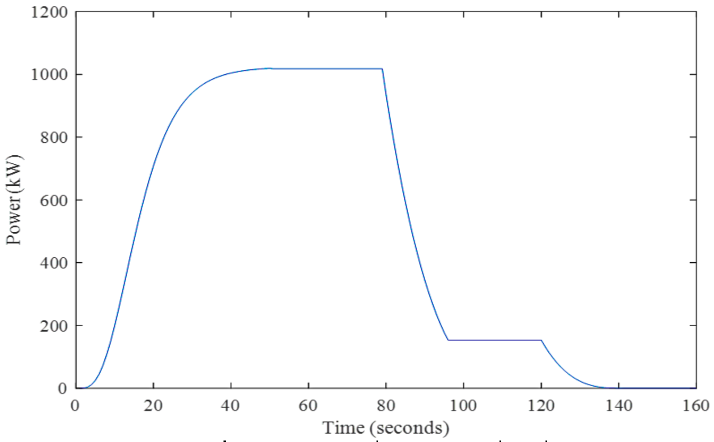
งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้า ผลการจำลองแสดงการเร่งความเร็วของรถบัสไฟฟ้าที่ความเร็วสูงสุด 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 4 จากนั้นนำมาสร้างเส้นโค้งความเร็ว แสดงในภาพที่ 5 ซึ่งโหมดการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้าถูกแบ่งออกเป็น 4 โหมด ได้แก่ โหมดเร่งความเร็ว ใช้เวลา 50 วินาที โหมดความเร็วคงที่ 40 วินาที โหมดชะลอความเร็ว 40 วินาที และโหมดเบรก 20 วินาที และจะมีช่วงระยะเวลาหยุดนิ่งอีก 10 วินาที ดังนั้น สามารถหากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้โดยใช้สมการที่ (3) และจะได้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 4 การเร่งความเร็วของรถบัสไฟฟ้า



ภาพที่ 5 เส้นโค้งความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้า



ภาพที่ 6 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลื่อนที่

ตารางที่ 2 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้า	kWh	**พลังงานไฟฟ้า**	kWh
ช่วงเร่งความเร็ว	0.2883	ช่วงความเร็วคงที่	0.0427
ช่วงความเร็วคงที่	0.2826	ช่วงเบรก	3.305×10^{-5}
ช่วงชะลอความเร็ว	0.0492		
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวม 0.6628 kWh			

ในตารางที่ 2 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้าในแต่ละโหมด ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่ระยะทาง 500 เมตร แสดงให้เห็นว่าในขณะที่รถบัสไฟฟ้าเร่งความเร็วจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าโหมดการทำงานอื่น ๆ สำหรับการจำลองนี้จะได้พลังงานในการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้ารวม 0.6628 kWh ที่ระยะทาง 500 เมตร หรือ 1.3256 kWh/km หากรถบัสไฟฟ้าให้บริการจากสถานีขนส่งนครราชสีมาไปสถานีขนส่งหมอชิต 2 เป็นระยะทาง 246 km จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 326 kWh ดังนั้น ต้องใช้แบตเตอรี่ขนาด 410 kWh (แบตเตอรี่สามารถคายพลังงานได้ 80%) หรือ หากใช้แบตเตอรี่ขนาด 220 kWh จำเป็นต้องมีการประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ระหว่างทาง ทั้งนี้ผู้วิจัยยังไม่คิดค่าประสิทธิภาพในการเดินทาง หากมีการจราจรติดขัด รถบัสไฟฟ้าก็ต้องมีการใช้พลังงานมากขึ้นตามไปด้วย การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ หากคิดในระยะทาง 246 km รถบัสไฟฟ้าจะใช้พลังงาน 326 kWh คิดเป็นค่าใช้จ่ายการประจุไฟฟ้าช่วง On Peak 1,363.95 บาท รถบัสไฟฟ้าดีเซลล์จะใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 82 ลิตร คิดเป็นค่าใช้จ่าย 2,139 บาท เห็นได้ว่าการใช้รถบัสไฟฟ้าสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าการใช้งานรถบัสดีเซลล์

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้เสนอการศึกษาการใช้พลังงานในการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้า โดยใช้กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน การเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้านั้นมีโหมดการทำงานซึ่งสามารถสรุปได้ คือ โหมดเร่งความเร็ว โหมดความเร็วคงที่ โหมดชะลอความเร็ว โหมดเบรก และการหยุดนิ่ง ซึ่งในแต่ละช่วงจะใช้พลังงานไม่เท่ากัน โดยในหมวดเร่งความเร็วจะใช้พลังงานมากที่สุด เพื่อเร่งความเร็วของรถให้ขึ้นไปถึงความเร็วสูงสุดของรถบัสไฟฟ้า จากนั้นจึงเข้าสู่โหมดความเร็วคงที่ โหมดชะลอความเร็ว และโหมดเบรกตามลำดับ ในโหมดเบรกอาจจะมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ Regenerative braking ซึ่งทำให้พลังงานไฟฟ้าในโหมดเบรกเป็นค่าลบ สำหรับการจำลองนี้จะได้พลังงานในการเคลื่อนที่ของรถบัสไฟฟ้า 1.3256 kWh/km ที่ระยะทาง 246 km จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 326 kWh ดังนั้น ต้องใช้แบตเตอรี่ขนาด 410 kWh การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ รถบัสไฟฟ้าจะมีค่าใช้จ่ายการประจุไฟฟ้า 1,363.95 บาท รถบัสไฟฟ้าดีเซลล์จะมีค่าใช้จ่าย 2,139 บาท

การใช้รถบัสไฟฟ้าสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าการใช้งานรถบัสดีเซลล์ งานวิจัยนี้เป็นการเสนอแบบจำลองการเคลื่อนที่โดยประมาณของรถบัสไฟฟ้า ซึ่งผู้ที่สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาการใช้พลังงานของรถบัสไฟฟ้าในเส้นทางต่าง ๆ รวมถึงการหาตำเหน่งที่ตั้งของสถานนี้ประจุไฟฟ้าของรถบัสไฟฟ้าที่เหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้การสนับสนุนในงานวิจัยนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] รายงานการวิเคราะห์เบื้องต้นมลพิษทางอากาศข้ามพรมแดนจากแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้าน, สืบค้นจาก https://www.greenpeace.or.th/s/right-to-clean-air/Satellite-derived-PM25-Mapping-Report.pdf.

[2] ธีระพงษ์ บุญรักษา ณัฐพล ชาติสุข พรมพักตร์ ดาวัลต์ และบุญเรือง มะรังศรี. การศึกษาความต้องการพลังงานของสถานีประจุไฟฟ้าเร็วสำหรับรถบัสไฟฟ้า. **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 11 (EENET 2019).** 15 – 17 พฤษภาคม 2562 ณ โรงแรมกรุงศรีริเวอร์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา.

[3] เปิดตัว E-BUS "โครงการการใช้รถโดยสารไฟฟ้า เพื่อศึกษาและทดลองใช้ในกิจการของ PEA" (n.d.). Retrieved from http://www.pea-encom.com/news/391389/เปิดตัว-E-BUS-"โครงการการใช้รถโดยสารไฟฟ้า-เพื่อศึกษาและทดลองเพื่อศึกษาและท-PEA".html.

[4] มาตรการสนับสนุนการผลิตรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย. (n.d.). Retrieved from http://www.thaiauto.or.th/2012/th/news/news-detail.asp?news_id=3687.

[5] อุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า, ฝ่ายวิจัยนโยบาย, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, กันยายน 2560, Retrieved from https://waa.inter.nstda.or.th/prs/pub/whitepaper_EVV2.pdf.

[6] Electricity in Locomotion, Adam Gowens Whyte, 1911, (n.d.). Retrieved from http://www.hellenicaworld.com/Technology/LitLitLite/AdamGowensWhyte/en/ElectricityInLocEElectr.html.

[7] ELECTRIC BUS TECHNOLOGY, TRANSPORT RESEARCH REPORT, June 2017, Retrieved from https://www.mrcagney.com/uploads/documentd/MRC_Electric_Bus_Report__11072017.pdf.

[8] Newton's second law of motion, January 20, 2005. Retrieved from http://www.mash.dept.shef.ac.uk/Resources/web2-2newton2.pdf.

[9] Vehicle Fundamentals, Retrieved from http://ocw.nthu.edu.tw/ocw/upload/124/news/[%E9%9B%BB%E5%8B%95%E6%A9%9F%E6%A2%B0L30%E8%A3%9C%E5%85%85%E6%95%99%E6%9D%9
0]ITU_Vehicle%20Fundamentals.pdf.

[10] Catalyst Electric Bus. Retrieved from https://www.proterra.com/vehicles/catalyst-electric-bus/.

[11] ตารางประมาณการค่าน้ำมันเชื้อเพลิง. [ออนไลน์]. ที่มา http://www.natres.psu.ac.th/office/build/webpage/group_car3_fuel.html.

[12] อัตราค่าไฟฟ้าสถานีอัดประจุไฟฟ้า สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า. การไฟฟ้านครหลวง. ที่มา http://www.mea.or.th/download/109/3305.

การจำลองเพื่อศึกษาผลของการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าแทนเครื่องยนต์สันดาปภายในของรถกระบะ
The Simulation of Replacing Internal Combustion Engine with Electric Motor in Pick-up Truck

กันตินันท์ สกุลไพศาล[1*] และ นิธิกร จันทร์หัวโทน [1]

[1] สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10170

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าให้กับรถยนต์ประเภทรถกระบะ โดยการจำลองการเคลื่อนที่ของรถกระบะอาศัยเส้นโค้งความเร็วแบบ Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP) ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแสดงให้เห็นถึงระยะทางที่รถกระบะทั้งสองชนิดเคลื่อนที่ได้จนกระทั่งน้ำมันเชื้อเพลิงหมดหรือแบตเตอรี่หมดและอัตราสิ้นเปลืองพลังงาน ซึ่งผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 100 kW แทนที่เครื่องยนต์สันดาปภายในและติดตั้งอุปกรณ์เก็บพลังงานที่มีขนาด 135 kW ซึ่งเป็นขนาดที่รถกระบะไฟฟ้ายี่ห้อ Rivian R1T ติดตั้งและเป็นขนาดที่ใหญ่ที่สุดสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน ผลจากการดัดแปลงพบว่ารถยนต์ที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าอัตราสิ้นเปลืองน้อยกว่ารถยนต์ที่ติดตั้งเครื่องยนต์สันดาปภายใน

คำสำคัญ: รถยนต์ไฟฟ้า, มอเตอร์ไฟฟ้า, WLTP

บทนำ

ยานยนต์ไฟฟ้าถูกใช้งานในช่วงปลาย ค.ศ. 1990 เนื่องมาจากปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ความก้าวหน้าแบบก้าวกระโดดของเทคโนโลยีแบตเตอรี่ [1] และด้วยข้อดีต่าง ๆ อาทิเช่น มีประสิทธภาพที่สูง ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำ และไม่ต้องซ่อมบำรุงบ่อยเหมือนกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน [2] ในปัจจุบันการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าของบริษัทชั้นนำของโลกส่วนใหญ่เน้นผลิตรถยนต์ที่นั่งส่วนบุคคลขนาด 2-4 ที่นั่ง นั้นมีราคาสูงจึงทำให้เป็นอุปสรรค์ในการนำมาใช้งานในชีวิตประจำวันประกอบคนไทยในปัจจุบัน ประมาณ 38 % ของประชากรประกอบอาชีพค้าขาย และเกษตกร รถยนต์ที่นั่งส่วนบุคคลจึงไม่เหมาะสมกับงานขนส่งสินค้าหรือใช้ในงานด้านเกษตรกรรม ซึ่งในประเทศไทยมีรถยนต์บรรทุกส่วนบุคคลหรือรถกระบะจำนวณ 6,735,543 คัน ซึ่งมีบางส่วนถูกใช้ในงานด้านการเกษตรกรรมและการขนส่งสินค้า ด้วยเหตุผลนี้งานวิจัยฉบับนี้ได้จำลองผลการดัดแปลงรถกระบะด้วยวิธีการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าเข้าไปแทนที่เครื่องยนต์สันดาปภายใน เพื่อศึกษาค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการใช้งานด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองและการจำลองด้านพลวัฒน์ของรถยนต์

ในหัวข้อนี้กล่าวถึง ระบบส่งกำลังของรถยนต์ที่ติดตั้งเครื่องยนต์สันดาปภายใน ระบบส่งกำลังของรถยนต์ไฟฟ้า การคำนวณทางพลวัฒน์ของรถยนต์ และข้อมูลของโมเดลรถที่ใช้ในการทดลองอ้างอิงมาจากรถกระบะยี่ห้อ Ford รุ่น Ranger เนื่องจากเป็นรถกระบะที่มีตัวถังขนาดใหญ่และน้ำหนักรถเปล่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับรถกระบะยี่ห้ออื่น โดยมีข้อมูลดังตาราง ที่ 1 [3]

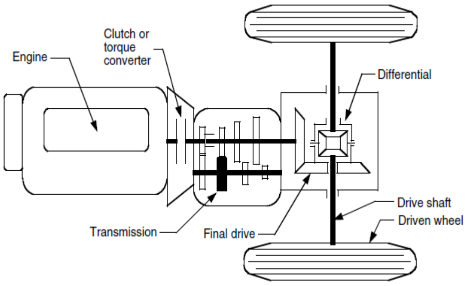
* Corresponding author: Tel.: 084-0368288. E-mail address: B5611850@gmail.com

ตารางที่ 1 ข้อมูลทางเทคนิคของรถกระบะที่นำมาดัดแปลง

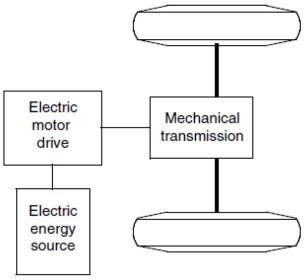
น้ำหนักรถเปล่า (kg)	2200	รัศมีของล้อ (m)	0.4003
น้ำหนักรวมน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (kg)	3100	Diesel Fuel Density (kWh/L)	9.7
เครื่องยนต์	แรงบิดสูงสุด 385 นิวตั้น กำลังสูงสุด 160 kW ที่ความเร็ว 3200 รอบต่อนาที	Coefficient of Aerodynamic Resistance (C_D)	0.36
น้ำหนักของระบบขับเคลื่อน	25 % ของน้ำหนักรถยนต์	ความจุถังน้ำมัน (L)	75
เกียร์	6 – Speed Transmission AT		

ระบบส่งกำลังของรถยนต์

ระบบส่งกำลังของรถยนต์ถูกแสดงดังภาพที่ 1 ประกอบด้วย เครื่องยนต์, ชุดคลัชสำหรับเกียร์แบบแมนนวล หรือ ชุดทอร์คคอนเวอร์เตอร์(ชุดตัดต่อกำลัง)สำหรับเกียร์อัตโนมัติ, ชุดเกียร์ และ เพลาขับ โดยแรงบิดและความเร็วในการหมุนที่ได้จากต้นกำลังจะถูกนำไปขับล้อรถโดยผ่านชุดคลัชหรือทอร์คคอนเวอร์เตอร์ ชุดเกียร์และเพลาขับ [4]



ภาพที่ 1 ระบบขับเคลื่อนของรถยนต์ที่ติดตั้งเครื่องยนต์สันดาปภายใน



ภาพที่ 2 ระบบขับเคลื่อนของรถยนต์ที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้า

เครื่องยนต์มีหน้าที่ผลิตแรงบิดโดยอาศัยการจุดระเบิดภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ด้วยน้ำมันเชื้อเพลิง แรงบิดที่ถูกสร้างขึ้นจะถูกนำมาผ่านชุดตัดต่อกำลังก่อนที่จะป้อนให้กับชุดเกียร์เพื่อปรับอัตราทดให้เหมาะสมกับแรงบิดของโหลดที่กระทำกับล้อรถและป้อนให้ชุดเฟืองท้ายเพื่อนำไปขับล้อรถในลำดับถัดไป เครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นที่นิยมนำมาใช้กับยานพาหนะทุกรูปแบบ เช่น รถยนต์ เครื่องบิน หรือเรือ เนื่องมาจากเป็นต้นกำลังที่ถูกออกแบบและใช้มาตั้งแต่ในอดีตและมีการพัฒนาให้มีประสิทธภาพสูงขึ้นอยู่ตลอดเวลา แต่เมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้าแล้วเครื่องยนต์สันดาปภายในยังมีข้อด้อยอีกหลายข้อเช่น ต้องการมีการบำรุงรักษาเป็นประจำ เกิดเสียงรบกวนขณะที่ใช้งาน มีพลังงานสูญเสียสูง และต้องป้อนพลังงานให้กับเครื่องยนต์อยู่ตลอดเวลาแม้ยานพาหนะไม่ได้เคลื่อนที่

ระบบขับเคลื่อนของรถยนต์ไฟฟ้า

รถยนต์ไฟฟ้าใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการผลิตแรงฉุดลากและใช้ระบบเก็บพลังงาน อาทิเช่น แบตเตอรี่ ตัวเก็บประจุยิ่งยวด หรือ เซลล์เชื้อเพลิง สำหรับให้พลังงานแก่มอเตอร์ไฟฟ้า โดยระบบขับเคลื่อนของรถยนต์ไฟฟ้าประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ระบบเก็บพลังงาน และชุดเกียร์ ดังภาพที่ 2 พลังงานจะถูกป้อนจากระบบเก็บพลังงานให้แก่มอเตอร์เพื่อสร้างแรงบิดหรือแรงฉุดลาก หลังจากนั้นแรงบิดที่ถูกสร้างขึ้นจะถูกนำไปป้อนให้กับชุดเกียร์เพื่อปรับอัตราทดที่เหมาะสมกับโหลดและป้อนให้เพลาขับในลำดับถัดไป สังเกตุเห็นได้ว่าในช่วงความเร็วเริ่มต้นนั้นแรงบิดของมอเตอร์จะมีค่าสูง ซึ่งมี

ลักษณะเหมาะสมกับลักษณะการเคลื่อนที่ของรถยนต์ ดังนั้นรถยนต์ไฟฟ้าจึงไม่ต้องการชุดเกียร์ที่มีอัตราทดจำนวนหลายชุดเหมือนรถยนต์ที่ติดตั้งเครื่องยนต์

การจำลองด้านพลวัฒน์ของรถยนต์

เป็นการศึกษาพฤติกรรมของแรงที่กระทำต่อรถยนต์ขณะที่รถยนต์เคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งต่างๆ โดยแรงที่กระทำกับตัวรถถูกเรียกว่า แรงต้านทานการเคลื่อนที่ ซึ่งประกอบด้วย แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากการวิ่งผ่านทางลาดชัน แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงต้านอากาศ และแรงต้านการเคลื่อนที่เนื่องจากพื้นผิวของยางที่สัมผัสกับพื้นผิวถนน [5]

แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากการวิ่งผ่านทางลาดชัน

เมื่อรถยนต์เคลื่อนที่ขึ้นหรือลงทางลาดชัน น้ำหนักของรถยนต์จะสร้างแรงในทิศทางต่างๆ ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของรถยนต์จะประเมินเพียงแค่การเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชันเท่านั้น โดยแรงที่กระทำกับตัวรถขณะที่รถยนต์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$F_g = Mg\sin\alpha \qquad (1)$$

โดยที่ M คือน้ำหนักของรถ g คืออัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง และ α คือ มุมของทางลาดชัน

แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงต้านอากาศ

แรงชนิดนี้เกิดจาก 2 องค์ประกอบได้แก่ รูปทรงของตัวรถและพื้นที่ของตัวรถ แรงต้านประเภทนี้ขึ้นอยู่กับรูปทรงของรถ อุณหภูมิแวดล้อม ความเร็วของรถ และพื้นที่หน้าตัดของรถที่ปะทะกับแรงลมขณะที่เคลื่อนที่ สมการที่2 ถูกใช้เพื่อการคำนวณแรงต้านทานการคลื่อนที่เนื่องจากแรงต้านอากาศ

$$F_w = \frac{1}{2}\rho A_f C_D \left(v + v_w\right)^2 \qquad (2)$$

เมื่อ ρ A_f C_D v และ v_w คือ ความหนาแน่นของอากาศ พื้นที่หน้าตัดของรถยนต์ สัมประสิทธ์ของแรงต้านอากาศ ความเร็วของรถและความเร็วลม ตามลำดับ

แรงต้านการเคลื่อนที่เนื่องจากการหมุนของล้อยาง

เกิดจากน้ำหนักของรถกดลงบนล้อยางทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่เนื่องจากพื้นผิวของยางที่สัมผัสกับพื้นผิวถนน แรงต้านทานประเภทนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณอากาศที่อยู่ภายในยางรถยนต์และน้ำหนักที่กดลงบนล้อรถ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$F_r = 0.01 \times \left(1 + \frac{v}{100}\right) \qquad (3)$$

การวิเคราะห์แรงฉุดลาก กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า

การวิเคราะห์แรงฉุดลากของรถยนต์ต้องอาศัยข้อมูลผลรวมแรงต้านทานการเคลื่อนที่ อัตราเร่งของรถยนต์ และน้ำหนักของรถยนต์ ผลจากการวิเคราะห์จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้า พลังงานที่ใช้ในการเดินทางหรือคำนวณหาขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ทดแทนเครื่องยนต์สันดาปภายใน การวิเคราะห์อาศัยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ดังสมการที่ 4-5

$$\sum F = Ma = M\frac{dv}{dt} \quad (4)$$

$$M\frac{dv}{dt} = \left(F_{tf} + F_{tr}\right) - \left(F_{rf} + F_{rr} + F_w + F_g\right) = \left(F_{tf} + F_{tr}\right) - \left(2F_r + F_w + F_g\right) \quad (5)$$

โดยที่ F_{tf} และ F_{tr} คือแรงฉุดลากของล้อรถที่ติดตั้งมอเตอร์ต้นกำลัง ในกรณที่ขับเคลื่อนล้อหน้า F_{tr} = 0 และในกรณีที่ขับเคลื่อนล้อหลัง F_{tf} = 0 F_{rf} และ F_{rr} คือแรงต้านการเคลื่อนที่ของล้อยางด้านหน้าและด้านหลังอันเนื่องมาจากน้ำหนักของรถยนต์ที่ถูกถ่ายเทไปยังล้อทั้งสี่ล้อ โดยในการจำลองกำหนดให้น้ำหนักถูกถ่ายโอนไปยังล้อทั้ง 4 เท่า ๆ กัน หลังจากที่ทราบถึงแรงฉุดลากของมอเตอร์ต้นกำลังแล้วต่อมาแรงฉุดลากจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าและพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถยนต์ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ โดยที่กำลังไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6 และพลังงานไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7

$$P_T = \frac{\left(F_{Tr} + F_{Tf}\right)v}{\eta} \quad (6)$$

$$E = \int P_T dt \quad (7)$$

โดยที่ P_T คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้และ V คือความเร็วของรถยนต์

Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure Speed profile (WLTP)

ถูกนำมาใช้ในปี 2017 เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไอเสียและการใช้พลังงานเชื้อเพลิงของรถยนต์เพื่อให้ผ่านเงื่อนไขด้านสิ่งแวดล้อมของกลุ่มประเทศยุโรป ข้อมูลความเร็วของ WLTP ถูกรวบรวมจากผู้ใช้รถยนต์ในหลายประเทศเพื่อให้ทราบถึงรูปแบบความเร็วที่สภาวะภูมิประเทศรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งรูปแบบของความเร็วของ WLTP สามารถจำแนกได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ ช่วงความเร็วต่ำ ช่วงความเร็วปานปลาง ช่วงความเร็วสูง และช่วงความเร็วสูงมาก เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของต้นกำลังและระบบส่งกำลัง ในช่วงเร่งความเร็วหรือเบรก และประเมินค่า CO_2 ที่รถยนต์สร้างขณะทดสอบ [6]

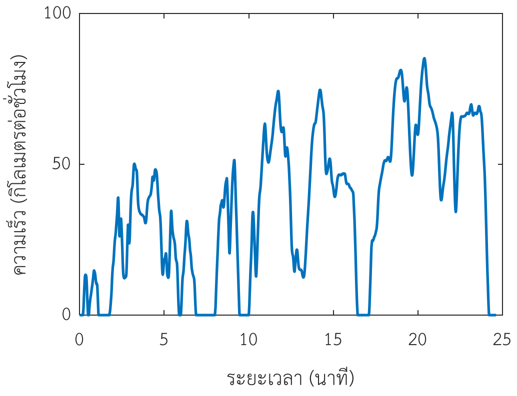
ระบบเก็บพลังงาน

ในปัจจุบันระบบเก็บพลังงานกำลังถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง ในรถยนต์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นที่นิยมนำมาใช้สร้างระบบเก็บพลังงานในรถยนต์ไฟฟ้า หรือเป็นระบบเก็บพลังงานแบบผสมผสานเช่น การนำแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนทำงานร่วมกับตัวเก็บประจุยิ่งยวด เพื่อยืดอายุของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนและเพิ่มประสิทธิภาพของรถยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น

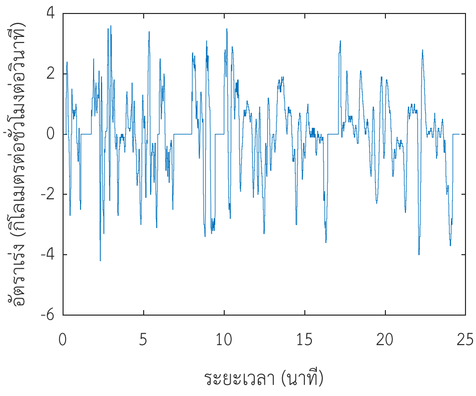
ขั้นตอนการจำลอง

การจำลองการเคลื่อนที่ของรถกระบะทั้ง 2 แบบได้ใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink อาศัยเส้นโค้งความเร็วแบบ WLTP โดยลักษณะของเส้นโค้งความเร็วและอัตราเร่งถูกแสดงดังภาพที่ 4 และภาพที่ 5 ตามลำดับ มีระยะทางรวม 14.66 km ข้อมูลทางเทคนิคของรถยนต์ที่ถูกแสดงในตารางที่ 1 รูปแบบการจำลองนั้นแบ่งได้ 4 แบบ ได้แก่การจำลองการเคลื่อนที่ของรถกระบะแบบธรรมดาที่ไม่ได้บรรทุกสิ่งของซึ่งมีน้ำหนักสุทธิ 2200 กิโลกรัมและบรรทุกสิ่งของน้ำหนัก 1000 กิโลกรัมทำให้มีน้ำหนักสุทธิ 3200 กิโลกรัม การจำลองการเคลื่อนที่ของรถกระบะที่ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าพร้อมกับติดตั้งอุปกรณ์เก็บพลังงานขนาด 135 kWh ในกรณีที่ไม่บรรทุกสินค้ามีน้ำหนักสุทธิ 2000 กิโลกรัมและใน

กรณีที่บรรทุกสินค้าทน้ำหนัก 1000 กิโลกรัมทำให้รถกระบะมีน้ำหนักสุทธิ 3000 กิโลกรัม โดยแบตเตอรี่ขนาด 135 kWh ได้อ้างอิงมาจากรถยนต์ยี่ห้อ Rivian R1T ที่เป็นรถกระบะไฟฟ้า [7]



ภาพที่ 4 เส้นโค้งความเร็วที่ใช้ในการจำลอง



ภาพที่ 5 อัตราเร่งของเส้นโค้งความเร็ว

ตารางที่ 3 ข้อมูลของรถกระบะแบบดั่งเดิมและรถกระบะที่ดัดแปลงเป็นรถกระบะไฟฟ้า

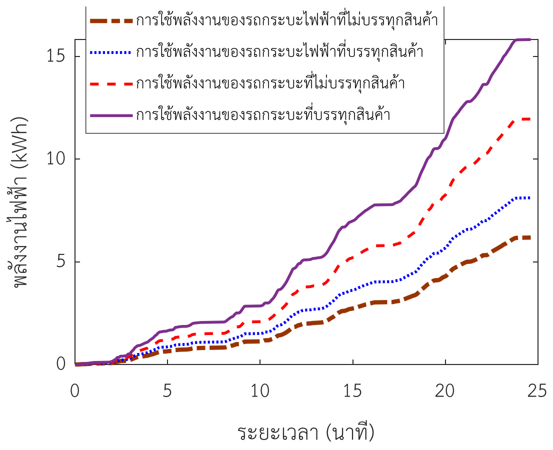
รถกระบะแบบดั่งเดิม		รถกระบะไฟฟ้า	
น้ำหนักรถเปล่า (kg)	2200	น้ำหนักรถเปล่า (kg)	2000
พลังงานรวมของเชื้อเพลิง(kWh)	727.5	ความจุรวมของแบตเตอรี่ (kWh)	135

ผลการดำเนินการวิจัย

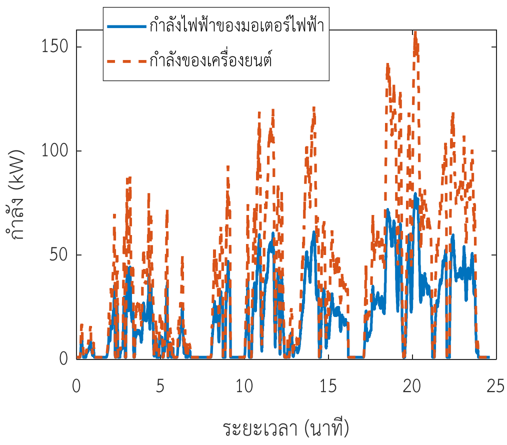
การจำลองการใช้งานของรถกระบะแบบดั่งเดิมและรถกระบะที่ดัดแปลงเป็นรถไฟฟ้า โดยอาศัยข้อมูลของรถกระบะตามที่กล่าวไว้ข้างต้น ผลการจำลองพบว่าพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในระยะทาง 14.66 กิโลเมตร รูปแบบการใช้พลังงานรถกระบะถูกแสดงในภาพที่ 6 และกำลังของเครื่องยนต์และมอเตอร์ของรถกระบะที่บรรทุกสินค้าถูกแสดงดังรูปที่ 7 เมื่อกำหนดให้รถยนต์ทั้งสองแบบเคลื่อนที่ด้วยเส้นโค้งความเร็วเดิมแบบซ้ำ ๆ จนกว่าพลังงานจะหมดพบว่ารถยนต์ที่ใช้น้ำมันสามารถเคลื่อนที่ได้ในระยะที่ไกลกว่ารถยนต์ไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 4 โดยค่าใช้จ่ายในการประจุไฟฟ้าของรถกระบะไฟฟ้าอ้างอิงจากค่าไฟของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งมีราคา หน่วยละ 3.5 บาท และน้ำมันดีเซลราคาลิตรละ 25.19 บาทต่อลิตร

ตารางที่ 4 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของรถกระบะแบบดั่งเดิมกับรถกระบะที่ถูกดัดแปลง

รถยนต์ที่ติดตั้งเครื่องยนสันดาปภายใน			รถกระบะไฟฟ้า		
ไม่รวมน้ำหนักบรรทุก	ระยะทางรวม(กิโลเมตร)	892.3	ไม่รวมน้ำหนักบรรทุก	ระยะทางรวม(กิโลเมตร)	320.2
	อัตราสิ้นเปลือง (THB/km)	2.29		อัตราสิ้นเปลือง (THB/km)	1.47
รวมน้ำหนักบรรทุก	ระยะทางรวม(กิโลเมตร)	674.1	รวมน้ำหนักบรรทุก	ระยะทางรวม(กิโลเมตร)	249.3
	อัตราสิ้นเปลือง (THB/km)	2.95		อัตราสิ้นเปลือง (THB/km)	1.89



ภาพที่ 6 การใช้พลังงานของรถยนต์ที่จำลอง



ภาพที่ 7 กำลังของรถกระบะและรถกระบะไฟฟ้า

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการจำลองพบว่าการดัดแปลงรถกระบะเป็นรถกระบะไฟฟ้าจำเป็นต้องศึกษาข้อดีและข้อเสียของรถยนต์ทั้งสองแบบอาทิเช่น รถกระบะที่ใช้น้ำมันสามารถวิ่งได้ระยะทางที่ไกลกว่าเนื่องจากความหนาแน่นของพลังงานต่อปริมาตรของน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าสูงกว่าความหนาแน่นของพลังงานต่อปริมาตรของแบตเตอรี่แต่มีอัตราสิ้นเปลืองที่สูงกว่าเนื่องจากราคาของน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนรถกระบะไฟฟ้ามีค่าใช้จ่ายด้านอัตราสิ้นเปลืองที่ถูกกว่ารถกระบะแต่มีข้อจำกัดด้านระยะทางในการเดินทางและจุดชาร์จประจุที่ในปัจจุบันยังไม่มีติดตั้งอย่างแพร่หลาย ซึ่งการเลือกใช้รถกระบะไฟฟ้าในเขตชุมชนนับว่าเป็นทางเลือกที่ดีเนื่องจากรถกระบะไฟฟ้ามีระยะทางในการเดินทางรวมต่อการชาร์จหนึ่งครั้งค่อนข้างสูงและค่าใช้จ่ายในการประจุไฟฟ้าในแต่ละรอบมีราคาถูกกว่าราคาน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ภายในชุมชนหรือภายในที่พักอาศัยควรมีที่ชาร์จประจุสำหรับรถกระบะไฟฟ้าไว้รองรับ

เอกสารอ้างอิง

[1] Faisal, F. (2017). An Analysis of Electric Vehicle Trends in Developed Nations: A Sustainable Solution for India. *The Journal of Undergraduate Research at the University of Illinois, Chicago*

[2] Recent Electric Vehicles. (2012). *Electric Vehicle Technology Explained*, 271–290

[3] 2019 Ford Ranger 2.0 (4x4) Pricing and Specs. (n.d.). Retrieved from https://www.carsguide.com.au/ford/ranger/price/2019/--2--4x4--?id=5EzVaRDM

[4] s1ntec, A. (2018, July 4). Electric vs. Combustion Engine: What are the Differences? Retrieved From http://www.suntecautoglass.com/blog/2018/07/03/electric-vs-combustion-engine-what-are-the-differences.html.

[5] Ehsani, M., Gao, Y., & Emadi, A. (2010). *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles: fundamentals, theory, and design*. Boca Raton: CRC Press.

[6] Tutuianu, M., Marotta, A., & Steven, H. (2014). Development of a World-wide Worldwide harmonized Light duty driving Test Cycle.

[7] Electric vehicle specifications, electric car news, EV comparisons. (n.d.). Retrieved from https://www.evspecifications.com

ผลการปรับสภาพวัสดุตัวประสานต่อคุณสมบัติทางกายภาพและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อย

Effect of Binder Conditioning on Physical and Heating Value Properties of Solid fuel from Bagasse

วีระ พันอินทร์[1*] ฉันทนา พันธุ์เหล็ก[2] และ สมชาย มณีวรรณ์[2]

[1]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จังหวัดลำปาง 65000

[2]ศูนย์วิจัยและจัดการทางด้านพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำชานอ้อยหลังจากผ่านกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายที่โรงงานน้ำตาลมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงพลังงาน โดยเชื้อเพลิงอัดแข็งจากชานอ้อยใช้วัสดุตัวประสานเป็นกากตะกอนน้ำมันดิบและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ เชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm และความยาว 30 mm การผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยผสมกากตะกอนน้ำมันดิบและเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยผสมกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่อัตราส่วนเดียวกันคือ 95:05 90:10 85:15 80:20 และ 75:25 (%wt.) ตามลำดับ จากนั้นวิเคราะห์อัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมระหว่างชานอ้อยต่อกากตะกอนน้ำมันดิบและชานอ้อยต่อถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ ทำการทดสอบค่าความร้อนเชื้อเพลิงอัดแข็งที่ผลิตได้ตามมาตรฐาน ASTM D 240 ความชื้นตามมาตรฐาน ASTM D 3173 เถ้าตามมาตรฐาน ASTM D 3174 และความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM E 75 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้กากตะกอนน้ำมันดิบเป็นวัสดุตัวประสานมีสมบัติความเป็นเชื้อเพลิงมากกว่าเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำเป็นวัสดุตัวประสานสำหรับนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งและอัตราส่วนของชานอ้อยผสมกากตะกอนน้ำมันดิบที่เหมาะสมที่สุดคือ 95:05 (%wt.) ที่แรงอัด 100 MPa เนื่องจากมีค่าความร้อนสูงเท่ากับ 4,540 kcal/kg ค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 8.02 ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 786 kg/m^3 และปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 1.83 ตามลำดับ (ค่าความร้อนมาตรฐานของเชื้อเพลิงอัดแข็งที่ 4,000 kcal/kg ความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ความหนาแน่นมากกว่าหรือเท่ากับ 600 kg/m^3 และปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 3)

คำสำคัญ: กากตะกอนน้ำมันดิบ ถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ ชานอ้อย เชื้อเพลิงอัดแข็ง

บทนำ

"อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย" เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากมีมูลค่าการส่งออกสูงเป็นอันดับต้น ๆ โดยในเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีปริมาณการส่งออกน้ำตาลไปนอกราชอาณาจักรประมาณ 525,728.25 ตัน มีมูลค่าการส่งออกรวม 5,255.63 ล้านบาท [1] แต่แรงกดดันจากรัฐบาลบราซิลได้เพิ่มปริมาณการนำเข้าเอทานอลจากสหรัฐฯ แบบปลอดภาษีเป็น 750 ล้านลิตรต่อปี จาก 600 ล้านลิตรต่อปี การนำเข้าที่เพิ่มขึ้นจากสหรัฐฯ นี้อาจกระตุ้นให้โรงงานน้ำตาลของบราซิลลดการผลิตเอทานอลลงและผลิตน้ำตาลเพิ่มขึ้นและจากความกดดันที่ "บราซิล" ยื่นขอหารือกับไทย (Consultation) ต่อองค์การการค้าโลก (WTO) เมื่อปี 2559 ในประเด็นไทยซึ่งเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลเบอร์ 2 ของโลก รองจากบราซิล ใช้นโยบายอุดหนุนส่งออกน้ำตาล ในลักษณะที่อาจขัดกับข้อตกลง WTO ส่งผลกระทบต่อราคาน้ำตาลในตลาดโลกมีแนวโน้มราคาน้ำตาลทรายตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2553

* Corresponding author: Tel.: 083-6319995. E-mail address: weerapunin@lpru.ac.th

ลดลงถึงร้อยละ 36 [2] จากผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากราคาน้ำตาลทรายในตลาดโลกดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นได้ส่งผลกระทบต่อทั้งระบบของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล รวมทั้งชาวไร่อ้อยมีรายได้ลดลง คณะที่ปรึกษาจึงได้มีแนวคิดในการศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์พลังงานจากชานอ้อยของโรงงานน้ำตาลทราย เนื่องจากปัจจุบันการตื่นตัวด้านพลังงานและมีการพัฒนาแนวทางต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง เช่น การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่ง [3] เชื้อเพลิงอัดแข็ง [4] และเชื้อเพลิง RDF-5 [5, 6] เป็นต้น การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแข็งในปัจจุบันนั้นได้มีการวิจัยและถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายดังจะเห็นได้จาก Munjeri et al., 2015 [7] ได้ประเมินความสามารถในการใช้งานถ่านหินชีวภาพจากชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงแข็งโดยพบว่าถ่านหินชีวภาพมีค่าความร้อนเท่ากับ 28.2 MJ/kg ความชื้น 6.3% คาร์บอนคงที่ 74.6% และเถ้า 1.4% ซึ่งมีศักยภาพทางพลังงานในการผลิตถ่านหินชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และ Navalta et al., 2020 [8] ได้ศึกษาเชื้อเพลิงแข็งจากการอัดก้อนอ้อยชานอ้อยร่วมกับรำข้าวที่ความดันต่างกันโดยพบว่าเชื้อเพลิงอังแข็งที่ผลิตได้มีคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเป็นไปตามมาตรฐานในปัจจุบันสำหรับเชื้อเพลิงอัดแข็งที่มีไว้สำหรับใช้ในประเทศ

ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สนับสนุนด้านพลังงานไม่เพียงแต่ตอบสนองความต้องการแล้วยังสอดคล้องกับนโยบายการผลักดันด้านพลังงานของประเทศด้วย เชื้อเพลิงอัดแข็ง (Biomass Pellet) จากชานอ้อยจึงเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งที่จะสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งทดแทนการใช้เชื้อเพลิงสิ้นเปลืองเดิม (ถ่านหิน) ในการผลิตพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้าได้ อีกทั้งเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและส่งเสริมการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมน้ำตาลทราย คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแข็งจากชานอ้อยที่ใช้วัสดุตัวประสานต่างกันสองชนิดคือกากตะกอนน้ำมันดิบและถ่านหินเหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแข็งจากชานอ้อย

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นกากตะกอนน้ำมันดิบนำมาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำเพื่อเป็นการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยโดยมีรายละเอียดของการศึกษาดังนี้

1. ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อย

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งเริ่มจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ การผสมอัตราส่วนของชานอ้อยกับกากตะกอนน้ำมันดิบ และผสมอัตราส่วนของชานอ้อยกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ ขั้นตอนสุดท้ายอัดแท่งขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งตามมาตรฐาน ASTM E 75

1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

1) ชานอ้อยที่ผ่านกระบวนการอบลดความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 นำมาบดด้วยเครื่องบด-ย่อยขนาด 5.5 แรงม้า และร่อนแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร 2) กากตะกอนน้ำมันดิบที่ความชื้นประมาณร้อยละ 23.9 และ 3) ถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่ความชื้นประมาณร้อยละ 20.5

1.2 อัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงอัดแข็ง

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งจากชานอ้อยร่วมกับกากตะกอนน้ำมันดิบที่อัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของชานอ้อยต่อกากตะกอนน้ำมันดิบที่อัตราส่วน 95:5 90:10 85:15 80:20 และ 75:25, (%wt.) ตามลำดับ และอัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักของชานอ้อยต่อถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำในอัตราส่วนเดียวกัน

1.3 รูปแบบเชื้อเพลิงอัดแข็ง

รูปแบบเชื้อเพลิงอัดแข็งเป็นไปตามมาตรฐานของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแข็ง โดยที่ต้องมีความหนาแน่นรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 600 kg/m^3 เชื้อเพลิงอัดแข็งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm และความยาว 30 mm ซึ่งเป็นขนาดของเชื้อเพลิงอัดแข็งที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม

1.4 การผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อย

ชานอ้อยที่นำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งถูกอบแห้งตามมาตรฐาน ASTM D 3173 เพื่อลดความชื้นชานอ้อยลงให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 จากนั้นนำไปลดขนาดด้วยเครื่องสับย่อย ให้มีขนาดเล็กประมาณ 2 mm นำชานอ้อยที่เตรียมไว้มาผสมกับกากตะกอนน้ำมันดิบและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่ผ่านการให้ความร้อนจนกลายเป็นของเหลวหนืดตามอัตราส่วนที่กำหนด นำเชื้อเพลิงที่ผ่านการผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดไปอัดแท่งขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งด้วยเครื่อง Pellet Press ที่แรงอัด 100 150 200 และ 250 MPa ตามลำดับ

2. การวิเคราะห์สมบัติด้านกายภาพและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแข็ง [9]

ทำการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแข็งที่อัตราส่วน 100:00 95:05 90:10 85:15 80:20 และ 75:25 (%wt.) และทำการอัดขึ้นรูปตามแรงอัดที่กำหนดไว้ คือ 100 150 200 และ 250 MPa ตามลำดับ รวมทั้งวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

2.1 การทดสอบหาค่าความหนาแน่น (Density Value)

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์โดยนำเชื้อเพลิงอัดแข็งไปชั่งมวลและทำการหาปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดแข็งด้วยถ้วยยูเรก้า (การแทนที่น้ำ) จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากสมการ ดังนี้

$$D = \frac{M}{V} \tag{1}$$

เมื่อ
D = ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)
M = น้ำหนักตัวอย่างทดลองก่อนอบ (g)
V = ปริมาตรของน้ำ (m^3)

2.2 การหาปริมาณความชื้น (Moisture Content)

นำตัวอย่างมาวิเคราะห์โดยให้ความร้อนคงที่ในตู้อบ (Drying Oven) ที่อุณหภูมิ 104-110 องศาเซลเซียส ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3174 เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำระเหย ค่าความชื้น (M, %) มาตรฐานเปียก ที่ได้สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$M = \frac{(A-B)}{A} \times 100 \tag{2}$$

เมื่อ
M = ค่าความชื้น (%)
A = มวลตัวอย่างทดลองก่อนอบ (g)
B = มวลตัวอย่างทดลองหลังอบ (g)

3.3 การหาปริมาณเถ้า (Ash Content)

ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3174 นำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และค่อย ๆ เพิ่มความร้อนเป็น 700-750 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้มวลที่คงที่ของถ้วยทนไฟรวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือพร้อมฝาปิด จำนวนร้อยละของปริมาณเถ้า (N, %) สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่ภายหลังการเผาไหม้แล้ว ดังนี้

$$N = \frac{(C\text{-}D)}{E} \times 100 \qquad (3)$$

เมื่อ N = ปริมาณเถ้า (%)

C = มวลภาชนะพร้อมเถ้า (g)

D = มวลของภาชนะ (g)

E = มวลตัวอย่างทดลองที่ใช้ (g)

3.4 การหาค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value)

ทำการวิเคราะห์ค่าความร้อนสูงตามมาตรฐาน ASTM D 240 ซึ่งสามารถวิเคราะห์โดยตรงทำได้โดยการนำตัวอย่างเชื้อเพลิงไปทดสอบหาค่าความร้อนจากเครื่อง Bomb Calorimeter โดยนำตัวอย่างเชื้อเพลิงมาเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในตัว Bomb ที่มีออกซิเจนอยู่ในปริมาณเกินพอ โดยกระแสไฟฟ้าจะวิ่งผ่านฟิวส์ไปสัมผัสตัวอย่างเชื้อเพลิง เมื่อเกิดการเผาไหม้ตัวอย่างเชื้อเพลิงจนหมดเครื่อง Bomb Calorimeter จะอ่านค่าความร้อนผ่านสายไฟทั้งสองโดยมีหน่วยเป็นแคลอรี่ต่อกรัม

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นกากตะกอนน้ำมันดิบนำมาเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ เพื่อเป็นการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่เหมาะสม ซึ่งผลการศึกษาดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ผลการอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อย

เชื้อเพลิงอัดแข็งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm และความยาว 30 mm ซึ่งเป็นขนาดของเชื้อเพลิงอัดแข็งที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 1 การอัดขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นกากตะกอนน้ำมันดิบ (Crude oil sludge: COS) และถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ (Coal Lignite Rejects: CLR)

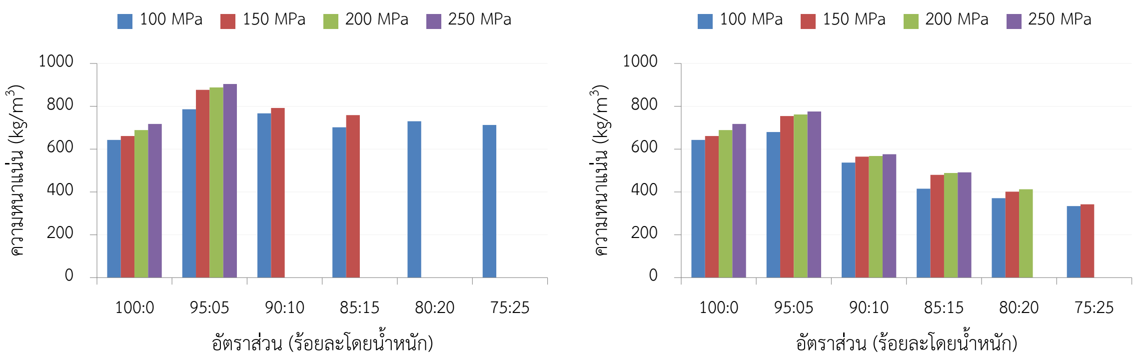
แรงอัด (MPa)	เชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อย											
	100:00		95:05		90:10		85:15		80:20		75:25	
	COS	CLR	COS	CLR	COS	CLR	COS	CLR	COS	CLR	COS	CLR
100	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
150	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	✓
200	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	✓	×	✓	×	×
250	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	✓	×	×	×	×

✓ คือ อัดขึ้นรูปได้ดี × คือ ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้

จากตารางที่ 1 พบว่าอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นกากตะกอนน้ำมันดิบที่ผลิตออกมาเป็นเนื้อเดียวกันและคงรูปอยู่ได้ คือ 95:05 (100-250 MPa) 90:10 (100 และ 150 MPa) 85:15 (100 และ 150 MPa) 80:20 (100 MPa) และอัตราส่วน 75:25 (100 MPa) ตามลำดับ อัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ คือ 95:05 (100-250 MPa) 90:10 (100-250 MPa) 85:15 (100-250 MPa) 80:20 (100-200 MPa) และอัตราส่วน 75:25 (100-150 MPa) เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมระหว่างชานอ้อยกับตัวทำประสานจึงทำให้เชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ผลิตออกมามีการเกาะตัวของส่วนผสมมากกว่าร้อยละ 50 ทำให้เชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยสามารถคงรูปตามขนาดที่กำหนดได้ แม้ทำการเคลื่อนย้ายก็ยังคงรูปไม่ร่อนหรือสึกกร่อน นอกจากนี้ผิวของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยหลังการผ่านการอัดขึ้นรูปแล้วยังมีผิวสม่ำเสมอกันตลอดแท่ง

2. ค่าความหนาแน่นเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อย

เนื่องจากกากตะกอนน้ำมันดิบและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำทำหน้าที่เป็นตัวประสานอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็ง โดยอัตราส่วนที่จะนำมาผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งจะต้องมีค่าความหนาแน่นมากกว่าหรือเท่ากับ 600 kg/m^3 ตามเงื่อนไขการผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็ง ซึ่งความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นกากตะกอนน้ำมันดิบและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแสดงดังภาพที่ 1



(a) ชานอ้อยผสมกากตะกอนน้ำมันดิบ (b) ชานอ้อยผสมถ่านหินลิกไนต์คุณภาพต่ำ

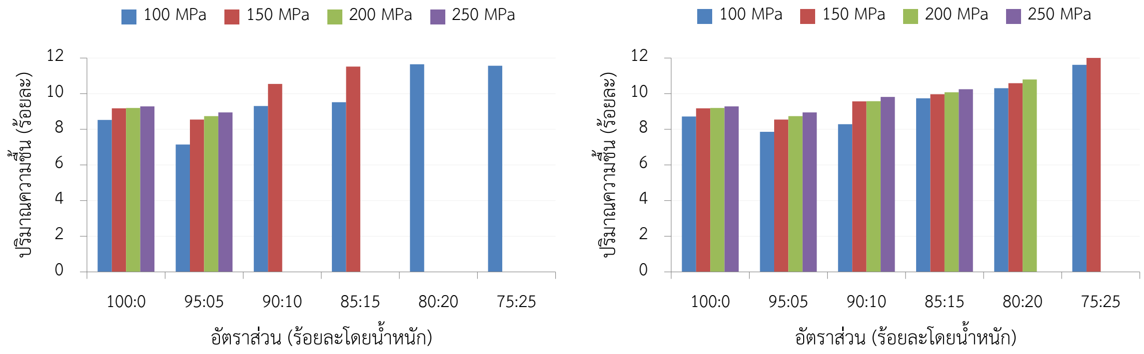
ภาพที่ 1 ความหนาแน่น (kg/m^3)

จากภาพที่ 1 (a) พบว่าอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นกากตะกอนน้ำมันดิบที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดคือ 95:05 (250 MPa) รองลงมาคือ 95:05 (200 MPa) 95:05 (150 MPa) 90:10 (150 MPa) 95:05 (100 MPa) 90:10 (100 MPa) 85:15 (150 MPa) 80:20 (100 MPa) 75:25 (100 MPa) มีค่าเท่ากับ 901 kg/m^3 886 kg/m^3 875 kg/m^3 790 kg/m^3 786 kg/m^3 768 kg/m^3 757 kg/m^3 731 kg/m^3 และ 713 kg/m^3 ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุดที่ผ่านมาตรฐานการผลิต คือ 85:15 (100 MPa) โดยมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 701 kg/m^3 ตามลำดับ ภาพที่ 1 (b) พบว่าอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดคือ 95:05 (250 MPa) รองลงมาคือ 95:05 (200 MPa) 95:05 (150 MPa) เท่ากับ 775 kg/m^3 760 kg/m^3 และ753 kg/m^3 ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุดที่ผ่านมาตรฐานการผลิต คือ 95:05 (100 MPa) โดยมีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 682 kg/m^3 ตามลำดับ

3. ปริมาณความชื้นเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อย

ความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแข็งจะแปรผันตรงกับปริมาณกากตะกอนน้ำมันดิบและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ เนื่องจากกากตะกอนน้ำมันดิบและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำมีความชื้นร้อยละ 23.3 และร้อยละ 20.5 ตามลำดับ เมื่ออัตราส่วนของกากตะกอนน้ำมันดิบและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นของ

เชื้อเพลิงอัดแข็งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย มาตรฐานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งระบุไว้ว่าค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแข็งไม่ควรเกินร้อยละ 10 ซึ่งอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ผ่านเกณฑ์ในส่วนของความชื้นที่กำหนดแสดงดังภาพที่ 2



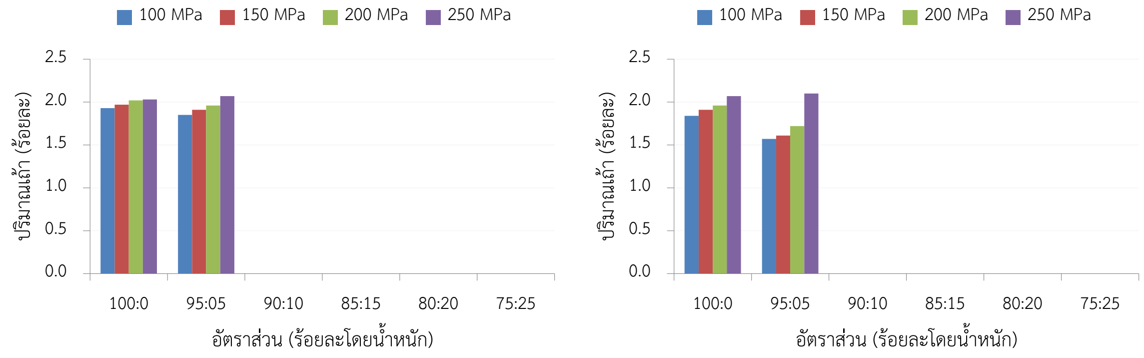
(a) ชานอ้อยผสมกากตะกอนน้ำมันดิบ (b) ชานอ้อยผสมถ่านหินลิกไนต์คุณภาพต่ำ

ภาพที่ 2 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)

จากภาพที่ 2 (a) พบว่าอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นกากตะกอนน้ำมันดิบที่มีความชื้นต่ำสุดคือ 95:05 (100 MPa) รองลงมาคือ 95:05 (150 MPa) 95:05 (200 MPa) มีค่าเท่ากับร้อยละ 8.02 8.54 และ 8.72 ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีความชื้นต่ำที่ผ่านมาตรฐานการผลิต คือ 95:05 (250 MPa) โดยมีความชื้นเท่ากับร้อยละ 8.85 ตามลำดับ ภาพที่ 2 (b) พบว่าอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่มีความชื้นต่ำสุดที่สุดคือ 95:05 (100 MPa) รองลงมาคือ 95:05 (150 MPa) 95:05 (200 MPa) 95:05 (250 MPa) 90:10 (100 MPa) 90:10 (150 MPa) 90:10 (200 MPa) 90:10 (250 MPa) 85:15 (100 MPa) มีค่าเท่ากับร้อยละ 8.00 8.53 8.72 8.92 9.42 9.55 9.57 9.80 และร้อยละ 9.73 ตามลำดับและอัตราส่วนที่มีความชื้นต่ำที่สุดที่ผ่านมาตรฐานการผลิต คือ 85:15 (150 MPa) โดยมีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 9.85 ตามลำดับ

4. ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อย

เนื่องจากปริมาณเถ้าของกากตะกอนน้ำมันดิบและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำหลังผ่านการเผาไหม้แล้วมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.03 และร้อยละ 0.02 ตามลำดับ ดังนั้นปริมาณเถ้าเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยจะมีปริมาณมากหรือน้อยจึงขึ้นอยู่กับปริมาณของชานอ้อยที่ใช้ผสมในแต่ละอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็ง มาตรฐานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งระบุไว้ว่าปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงอัดแข็งไม่ควรเกินร้อยละ 3 ซึ่งอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ผ่านเกณฑ์ส่วนของปริมาณเถ้าที่กำหนดแสดงดังภาพที่ 3



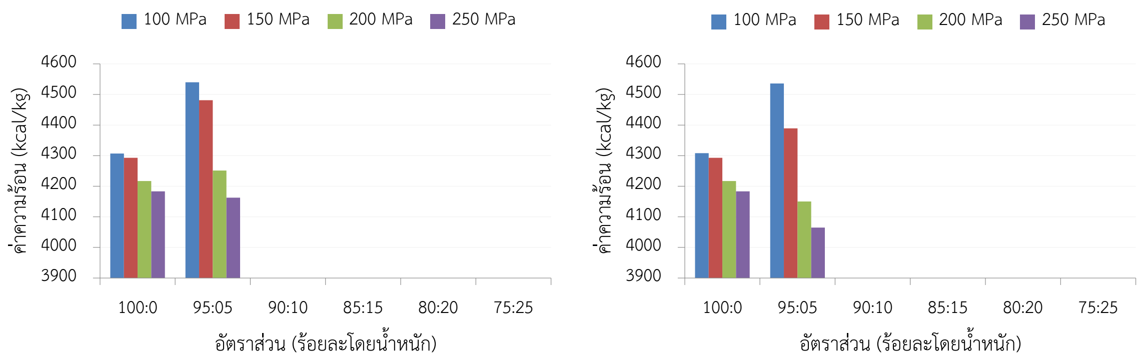
(a) ชานอ้อยผสมกากตะกอนน้ำมันดิบ (b) ชานอ้อยผสมถ่านหินลิกไนต์คุณภาพต่ำ

ภาพที่ 3 ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)

จากภาพที่ 3 (a) พบว่าอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นกากตะกอนน้ำมันดิบที่มีปริมาณเถ้าต่ำสุดคือ 95:05 (100 MPa) รองลงมาคือ 95:05 (150 MPa) 95:05 (200 MPa) มีปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 1.83 1.90 และร้อยละ 1.94 ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้าต่ำที่สุดที่ผ่านมาตรฐานการผลิต คือ 95:05 (250 MPa) โดยมีปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 2.05 ตามลำดับ ภาพที่ 3 (b) พบว่าอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่มีความปริมาณเถ้าต่ำที่สุดคือ 95:05 (100 MPa) รองลงมาคือ 95:05 (150 MPa) 95:05 (200 MPa) มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 1.57 1.60 และ 1.61 ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีปริมาณเถ้าต่ำที่สุดที่ผ่านมาตรฐานการผลิต คือ 95:05 (250 MPa) โดยมีปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 2.10 ตามลำดับ

5. ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อย

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแข็งจะแปรผกผันกับปริมาณกากตะกอนน้ำมันดิบและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำคือ เมื่อปริมาณของกากตะกอนน้ำมันดิบและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำเพิ่มขึ้นค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยจะลดลงตามด้วย เนื่องจากกากตะกอนน้ำมันดิบและถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำมีความชื้นร้อยละ 23.3 และร้อยละ 23.9 ตามลำดับ มาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งระบุไว้ว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแข็งไม่ต่ำกว่า 4,000 kcal/kg ซึ่งอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ผ่านเกณฑ์ค่าความร้อนที่กำหนดแสดงดังภาพที่ 4



(a) ชานอ้อยผสมกากตะกอนน้ำมันดิบ (b) ชานอ้อยผสมถ่านหินลิกไนต์คุณภาพต่ำ

ภาพที่ 4 ค่าความร้อน (kcal/kg)

จากภาพที่ 4 (a) พบว่าอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นกากตะกอนน้ำมันดิบที่มีความความร้อนสูงที่สุดคือ 95:05 (100 MPa) รองลงมาคือ 95:05 (150 MPa) 95:05 (200 MPa) มีค่าเท่ากับ 4,540 kcal/kg 4,479 kcal/kg และ 4,248 kcal/kg ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนต่ำที่สุดที่ผ่านมาตรฐานการผลิต คือ 95:05 (250 MPa) มีค่าความร้อนเท่ากับ 4,161 kcal/kg ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำเชื้อเพลิงอัตราส่วน 95:05 (%wt.) ในแต่ละแรงอัดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งได้ ภาพที่ 4 (b) พบว่าอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแข็งที่ใช้ตัวประสานเป็นถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำที่มีความความร้อนสูงที่สุดคือ 95:05 (100 MPa) รองลงมาคือ 95:05 (150 MPa) 95:05 (200 MPa) มีค่าเท่ากับ 4,536 kcal/kg 4,385 kcal/kg และ 4,145 kcal/kg ตามลำดับ และอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนต่ำที่สุดที่ผ่านมาตรฐานการผลิต คือ 95:05 (250 MPa) มีค่าความร้อนเท่ากับ 4,061 kcal/kg ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะนำเชื้อเพลิงอัดแข็งที่อัตราส่วน 95:05 (%wt.) ในแต่ละแรงอัดมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งได้

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแข็งจากชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็นกากตะกอนน้ำมันดิบและถ่านหินลิกไนต์คุณภาพต่ำพบว่า เชื้อเพลิงอัดแข็งจากชานอ้อยที่ใช้ตัวประสานเป็น

กากตะกอนน้ำมันดิบมีความเหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยมากที่สุดคืออัตราส่วน 95:05 ที่แรงอัด 100 MPa เนื่องจากเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยสามารถอัดแท่งขึ้นรูปเชื้อเพลิงได้ดี แม้ทำการเคลื่อนย้ายก็ยังคงรูปไม่ร่อนหรือสึกกร่อน นอกจากนี้ผิวของเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยหลังการผ่านการอัดขึ้นรูปแล้วยังมีผิวสม่ำเสมอกันตลอดแท่ง ค่าความร้อนเท่ากับ 4,540 kcal/kg ค่าความชื้นร้อยละ 8.02 มีค่าความหนาแน่น 786 kg/m^3 และปริมาณเถ้าคงเหลือร้อยละ 1.83 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็ง เนื่องจากผลการศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยหลักซึ่งต่อจากนี้ผู้วิจัยจะทำการศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม เพื่อพัฒนาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแข็งชานอ้อยให้เป็นไปตามมาตรฐานที่มีการใช้งานและเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ รวมทั้งวิธีการจัดเก็บเชื้อเพลิงให้อยู่ในสภาพที่ดีและคงคุณภาพพร้อมสำหรับการใช้งานให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้าแม่เมาะ-การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ที่สนับสนุนงบประมาณรวมทั้งเอื้อเฟื้อข้อมูลและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, กระทรวงอุตสาหกรรม, (2562). การส่งออกน้ำตาลไปนอกราชอาณาจักร ประจำเดือน มกราคม 2562, [ระบบออนไลน์], สืบค้นเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2562, จาก http://www.ocsb.go.th

[2] สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, กระทรวงอุตสาหกรรม, (2562). ราคาอ้อยและผลตอบแทนการผลิตและจำหน่ายน้ำตาลทรายประจำปีการผลิตย้อนหลัง-2559, [ระบบออนไลน์], สืบค้นเมื่อวันที่ 25 เมษายน 2562, จาก http://www.ocsb.go.th

[3] วีระ พันอินทร์ (2018). **การพัฒนาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากการผลิตร่วมถ่านซังข้าวโพดกับถ่านหินลิกไนต์เหลือทิ้งคุณภาพต่ำ**. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, ฉบับ 1, หน้า 146-163.

[4] Yaman, S., Sahan, M., Haykiri-Acma, H., Sesen, K., Kucukbayrak, S. (2001). **Fuel briquettes from biomass–lignite blends**. Fuel Process Technol, vol.72, pp.1–8.

[5] Chang, N.B., Chang, Y.H., Chen, W.C. (1997). **Evaluation of heat value and its prediction for refuse-derived fuel.** Sci Tot Environ, vol.197, pp.139-148.

[6] Punin, W., Maneewan, S. Punlek, C. (2013). **The feasibility of converting solid waste into refuse-derived fuel 5 via mechanical biological treatment process**. J Mater Cycles Waste Manag, vol.16(4), pp. 753–762.

[7] Manyuchi, M., Mbohwa, C. Muzenda, E. (2019). **Evaluating the Usability of Bio Coal from Sugar Cane Bagasse as a Solid Fuel**. Procedia Manufacturing, vol.33, pp. 516-521.

[8] Navalta, G., Banaag, C., Raboy, O., Go, W., Cabatingan, K., Ju, Y. H. (2020). **Solid fuel from Co-briquetting of sugarcane bagasse and rice bran**. Renewable Energy, vol.147(1), pp. 1941-1958.

[9] American Society for Testing and Materials (ASTM). (2006). **Standard Definitions of Terms and Abbreviations Relating to Physical and Chemical Characteristics of Biomass Pellet**. **In: Waste management, annual book of ASTM Standards 2006.** ASTM International, West Conshohocken, vol 11.04

การประเมินทางเลือกในการใช้ประโยชน์โครงการก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร : กรณีศึกษา ชุมชนหนองตาด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

Alternative Assessment for using biogas from pig farms case study of Nhongtad Village in Burirum province

สุวิทย์ พลจันทึก* และ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน

สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อจัดลำดับทางเลือกที่เหมาะสมในการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ของชุมชน ประกอบด้วย 3 แนวทาง คือ 1) นำไปเป็นเชื้อเพลิงแทนก๊าซหุงต้ม (LPG) ในครัวเรือน 2) นำไปผลิตไฟฟ้าเพื่อสูบน้ำให้กับระบบประปาของชุมชนฯ 3) เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์สูบน้ำทดแทนน้ำมันดีเซลให้กับระบบประปาของชุมชนฯ

ได้ทำการรวบรวมข้อมูลในชุมชนเทศบาลตำบลหนองตาด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ชุมชนหนองตาด จากพื้นที่ หมู่ที่ 1,3,14,21 และ 22 มีผู้เข้าร่วมโครงการจำนวน 298 ครัวเรือน ทำการศึกษา ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นโครงการ (Capital Expenditures ; CAPEX) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ (Operating expenses ; OPEX) เพื่อหาต้นทุนของโครงการ, ศึกษาผลประโยชน์จากการดำเนินโครงการ คือผลประโยชน์ที่จับต้องได้ (Tangible) พบว่าแนวทางที่1 นำไปเป็นเชื้อเพลิงแทนก๊าซ LPG ในครัวเรือน ช่วยประหยัดค่าเชื้อเพลิง LPG 3,058,667.88 บาท/ปี (คิดราคา LPG 24 บาท/กก.) ได้กำไรจากการขายปุ๋ย 252,000.00 บาท/ปี และลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมูลค่า 33,689.99บาท/ปี แนวทางที่2 นำไปผลิตไฟฟ้าเพื่อสูบน้ำให้กับระบบประปาของชุมชนฯช่วยประหยัดค่าไฟฟ้า 1,329,856 บาท/ปี (คิดค่าไฟฟ้า 4 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง) ได้กำไรจากการขายปุ๋ย 252,000.00 บาท/ปี และลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมูลค่า 19,571.52 บาท/ปี แนวทางที่3 นำไปเป็นเชื้อเพลิงทดแทนนำมันดีเซล ให้กับระบบประปาของชุมชนฯ ช่วยประหยัดค่าน้ำมันดีเซล 4,739,272.89 บาท/ปี (คิดราคาน้ำมันดีเซล 28.51 บาท/ลิตร) ได้กำไรจากการขายปุ๋ย 252,000.00 บาท/ปี และลดการปลดปล่อยกาซเรือนกระจกมูลค่า 38,222.76 บาท/ปีและ ผลประโยชน์ที่จับต้องไม่ได้ (Intangible) ของโครงการ ได้แก่ 1) สร้างรายได้ในชุมชน 3,329,042.25 บาท/ปี, 2) ลดปัญหาด้านสุขภาพของคนและสัตว์เลี้ยง มูลค่า 1,948,227.09 บาท/ปี, 3) ลดปัญหาด้านสังคม มูลค่า 9,823,132.54 บาท/ปี, หาค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน [Benefit/Cost] Ratio (B/C) ของแต่ละทางเลือก จัดลำดับทางเลือกที่เหมาะสมในการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ของชุมชน เสนอแนะแนวทางการตัดสินใจเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์สูงสุดในชุมชน

ผลการวิจัยพบว่า แนวทางที่เหมาะสมในการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ของชุมชน เรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ แนวทางที่3 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน [Benefit/Cost] Ratio (B/C) = 13.48 สูงที่สุด รองลงมาคือ แนวทางที่2 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน [Benefit/Cost] Ratio (B/C) =10.55 และ แนวทางที่1 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน [Benefit/Cost] Ratio (B/C) = 9.70 เป็นอันดับสุดท้าย โดยในการทำวิจัยได้คิดอัตราคิดลด 7% ระยะเวลาดำเนินโครงการ 15 ปี

คำสำคัญ: การประเมินทางเลือกในการใช้ประโยชน์โครงการก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร

---

* Corresponding author: Tel.: 098-2688005. E-mail address: Suwit.ppon@gmail.com

บทนำ

การเลี้ยงสุกรจัดเป็นกิจกรรมทางการเกษตรที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมของประเทศ เพราะนอกจากจะเลี้ยงเพื่อผลิตเป็นอาหารเลี้ยงประชากรภายในประเทศแล้วยังมีจำนวนเหลือเพียงพอที่จะส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ ทำให้เกษตรกรมีการปรับปรุงและพัฒนาด้านการผลิตในเชิงการค้ามากขึ้นเพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันและสนองความต้องการของตลาด แต่นอกเหนือจากผลผลิตที่ได้มากขึ้นแล้ว ปัญหาอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นตามมาก็คือปัญหาด้านสภาวะแวดล้อมอันเนื่องจากมูลสัตว์และของเสียต่าง ๆ แม้ว่าบางฟาร์มจะมีการเก็บกวาดออกจากพื้นที่คอกหรือนำของเสียที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์แล้วก็ตาม แต่ยังคงมีบางส่วนตกค้างอยู่บริเวณพื้นคอกเมื่อมีการฉีดล้างคอก ทำให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณความสกปรกสูง เมื่อระบายลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้แหล่งน้ำเสื่อมโทรมได้ รวมไปถึงปัญหากลิ่นเหม็น ปัญหาขยะ และปัญหาของพาหะนำโรคที่เกิดจากการเลี้ยงสุกรอีกด้วย [1]

ฟาร์มสุกรเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ 2 ประเภท ได้แก่ น้ำเสียและของเสีย โดย

1. น้ำเสีย จากฟาร์มสุกร ส่วนใหญ่จะเกิดจากการล้างทำความสะอาดคอกและโรงเรือนสุกร ซึ่งผู้เลี้ยงมักจะทำการฉีดล้างทุกวัน
2. ของเสีย ประกอบด้วย มูลสุกร และของเสียที่เป็นของแข็งอื่น ดังนี้

2.1) มูลสุกร ประกอบด้วยกากอาหารที่ย่อยไม่ได้ ซึ่งในมูลสุกรจะประกอบด้วยน้ำ 65-85% อินทรียวัตถุ 10-20% และอนินทรีย์วัตถุ 10% โดยอายุน้ำหนักของสุกรมีผลต่อปริมาณของสิ่งขับถ่ายด้วย

2.2) ของเสียที่เป็นของแข็งอื่น นอกจากมูลสุกรแล้วในกระบวนการผลิตสุกร เช่น การให้อาหาร รก และซากสุกรที่ตาย เป็นต้น

แนวทางการจัดการปัญหามลพิษ (น้ำเสียและกลิ่น) จากการเลี้ยงสุกรนอกเหนือจาก การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในการจัดการมลพิษ การจัดการสิ่งแวดล้อมภายในฟาร์ม แล้ว การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรที่เหมาะสมที่มีการนำมาประยุกต์ใช้ โดยผลพลอยได้ คือ ได้ก๊าซชีวภาพจากการหมักแบบไร้อากาศ มาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงาน

ในปี 2554 กระทรวงพลังงาน โดย สำนักงานพลังงานจังหวัดพัทลุงได้ดำเนินโครงการพัฒนาการใช้ก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรในตำบลแพรกหา อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง ผลักดันและสนับสนุนโครงการดังกล่าวเป็นต้นแบบ ตำบลปลอด LPG หรือ หมู่บ้านก๊าซชีวภาพ (Biogas Town) เป็นแห่งแรกของประเทศไทย จากจำนวนสุกรพ่อ-แม่พันธุ์ 484 ตัว สุกรขุน 10,195 ตัว ของจำนวน 14 ฟาร์มที่เข้าร่วมโครงการในตำบลแพรกหา สามารถที่จะผลิตก๊าซชีวภาพได้ ประมาณ 1,170 ลบ.ม./วัน สามารถนำไปทดแทน LPG ได้ประมาณ 538 กก./วัน (คิดเป็นมูลค่า 11,298 บาท/วัน คิดจากราคา LPG 21 บาท/กก.) ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้แต่ละฟาร์ม จ่ายให้กับชุมชนสามารถนำก๊าซชีวภาพที่ได้ไปใช้ในการหุงต้ม

อย่างไรก็ตามการศึกษารูปแบบการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในด้านพลังงาน นอกเหนือจากใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อหุงต้มในภาคครัวเรือนแล้ว ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการนำไปประโยชน์ของชุมชนให้มากยิ่งขึ้นโดย กรณีศึกษาชุมชนตำบลหนองตาด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ เช่นการผลิตไฟฟ้าเพื่อสูบน้ำ หรือเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อสูบน้ำให้กับระบบประปาของชุมชน เพื่อประโยชน์ของชุมชนให้มากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้ต้องการศึกษารูปแบบการนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์ในชุมชนใน 3 รูปแบบ คือ

1) นำไปเป็นเชื้อเพลิงแทนก๊าซ LPG ในครัวเรือน

2) นำไปผลิตไฟฟ้าเพื่อสูบน้ำให้กับระบบประปาของชุมชนฯ

3) เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์สูบน้ำทดแทนการใช้น้ำมันดีเซล กับระบบประปาของชุมชนฯ

เพื่อเปรียบเทียบและจัดลำดับความสำคัญในการเลือกรูปแบบการนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากฟาร์มสุกรไปใช้ประโยชน์ในชุมชน

วิธีการวิจัย

(1) ใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาศักยภาพวัตถุดิบเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (มูลสุกร) เทคโนโลยีที่เหมาะสม และแนวทางการบริหารจัดการด้านพลังงานการใช้ก๊าซชีวภาพ กรณีศึกษา เทศบาลตำบลหนองตาด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ [2] กำลังการผลิตก๊าซชีวภาพในชุมชนที่เข้าร่วมโครงการ 3 ฟาร์มที่เข้าร่วมโครงการ

- ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 3 ฟาร์ม รวม	1500	ลบ.ม.
- ปริมาณน้ำเสีย 3 ฟาร์ม รวมเฉลี่ย	128.25	ลบ.ม./วัน
- ผลิตก๊าซชีวภาพ 3 ฟาร์ม รวมเฉลี่ย	759.05	ลบ.ม./วัน
- ผลิตปุ๋ย 3 ฟาร์ม รวมเฉลี่ย	0.53	ตัน/วัน

(2) ข้อมูลการศึกษาเป็นข้อมูลทุติยภูมิซึ่งได้จากการศึกษารวบรวมจากแหล่งต่าง ๆ เช่น รวบรวมข้อมูลระบบฐานข้อมูลออนไลน์ หน่วยงานราชการ และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณการเลี้ยงสุกร ลักษณะการประกอบอาชีพ จำนวนประชากร การใช้เชื้อเพลิงก๊าซหุงต้ม การใช้น้ำประปา ที่มีการสำรวจแหล่งผลิตวัตถุดิบก๊าซชีวภาพในชุมชน ได้แก่ ฟาร์มสุกรในชุมชนหนองตาด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ ข้อมูลด้านการใช้พลังงาน ผู้เข้าร่วมทำประชาคมจากพื้นที่หมู่ที่ 1,3,14,21 และ 22 จำนวน 298 ครัวเรือน

(3) รวบรวมข้อมูลระบบฐานข้อมูลออนไลน์ หน่วยงานราชการ และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่การสำรวจลักษณะทางกายภาพภายในชุมชน รูปแบบเหมาะสมในการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ เปรียบเทียบวิเคราะห์ ต้นทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อมของโครงการ

(4) ค่าใช้จ่ายเริ่มต้น (Capital Expenditures ; CAPEX) ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดสมมติฐานอ้างอิงจากงานวิจัยโครงการสนับสนุนการลงทุนเทคโนโลยีพลังงานงานทดแทนในภาคอุตสาหกรรม ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน อัตราการสนับสนุนงบประมาณโครงการ ร้อยละ 30 สำหรับระบบผลิตบ่อตั้งแต่ 500 ลบ.ม. ขึ้นไป

(5) การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มปศุสัตว์ มีหลายชนิด เช่น โค สุกร สัตว์ปีก ช้าง กระบือ แต่งานวิจัยนี้คัดเลือกเฉพาะมูลสุกรเท่านั้น เนื่องจากในพื้นที่การศึกษามีฟาร์มสุกรที่มีศักยภาพ นอกจากนั้น มูลสุกรยังมีองค์ประกอบที่เป็นไฟเบอร์น้อย ไม่เกิดการอุดตันในระยะยาวของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ และง่ายต่อการรวบรวม

(6) เทคโนโลยีการหมักก๊าซชีวภาพ งานวิจัยนี้ได้คัดเลือกเฉพาะบ่อหมักแบบราง (Channel Digestion) เท่านั้น เนื่องจาก เหมาะสมกับน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ซึ่งมีองค์ประกอบของตะกอนแขวนลอยที่ต้องดึงตะกอนออกที่ผ่านการย่อยสมบูรณ์เพื่อป้องกันการสะสมตะกอนในระบบมากเกินไป เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน ประชาชนในชุมชนและครัวเรือนสามารถดำเนินการควบคุมกระบวนการผลิตได้เอง

(7) การวิเคราะห์ทางการเงิน โดยพิจารณาจากดัชนีชี้ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (B/C ratio), แบบอัตราคิดลด (Discount Rate) 7% ไม่คำนึงถึงอัตราเงินเฟ้อ ระยะเวลาดำเนินโครงการ 15 ปี

(8) มูลค่าของเงินเปลี่ยนตามเวลา ดังสมการ (1)

$$P = F\left(\frac{1}{(1+i)^n}\right) \quad (1)$$

เมื่อ P คือ มูลค่าเงินปัจจุบัน ; F คือ มูลค่าเงินในอนาคต ; i คือ อัตราคิดลด (Discount Rate)
n คือ จำนวนปี หรือรอบของการเปลี่ยนแปลง อัตราคิดลด (Discount Rate)

(9) ผลประโยชน์ของโครงการต่อต้นทุน ดังสมการ (2) ผลประโยชน์ที่จับต้องได้ (Tangible) ได้แก่ 1) ผลประหยัดที่เกิดขึ้นทางด้านพลังงาน, 2) รายได้จากการขายปุ๋ยที่เหลือจากการใช้ในพื้นที่เกษตรของชุมชน [2] และผลประโยชน์ที่จับต้องไม่ได้ (Intangible) ของโครงการ ได้แก่ 1) ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2) สร้างรายได้ในชุมชน 3) ลดปัญหาด้านสุขภาพของคนและสัตว์เลี้ยง 4) ลดปัญหาด้านสังคม

$$B/C = \frac{\sum_{j=1}^{n} Xj\left(\frac{1}{(1+i)^{j}}\right)}{CAPEX_0+\sum_{j=1}^{n} Y_j\left(\frac{1}{(1+i)^{j}}\right)} \qquad (2)$$

เมื่อ B/C คือ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit/Cost) Ratio ; n คือ อายุโครงการ (ปี) ; j คือ เวลาที่ผ่านไปของโครงการ (ปี) ; $CAPEX_0$ คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นโครงการ ; i คือ อัตราคิดลด (Discount Rate) ; X_j คือ ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นในปีที่ j ; Y_j คือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ (OPEX) ในปีที่ j

10) พื้นที่ดำเนินโครงการ

พรวิเชียรฟาร์ม
บ่อขนาด 600 ลบ.ม.

เสถียรฟาร์ม
บ่อขนาด 600 ลบ.ม.

นงนุชฟาร์ม
บ่อขนาด 300 ลบ.ม.

พื้นที่ศึกษาของโครงการ ตำบลหนองตาด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์
ห่างจากตัวจังหวัด ประมาณ 7 กิโลเมตร

ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูลที่มีการสำรวจแหล่งผลิตวัตถุดิบก๊าซชีวภาพในชุมชน ได้แก่ ฟาร์มสุกรในชุมชน และคำนวณศักยภาพก๊าซที่ผลิตได้ ในชุมชนตำบลหนองตาด อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษากระบวนการผลิตของแต่ละทางเลือก

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษา ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นโครงการ (Capital Expenditures ; CAPEX) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการโครงการ (Operating expenses ; OPEX) เพื่อหาต้นทุนของโครงการ

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษาผลประโยชน์จากการดำเนินโครงการ คือผลประโยชน์ที่จับต้องได้(Tangible) และผลประโยชน์ที่จับต้องไม่ได้ (Intangible) ของโครงการ

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน [Benefit/Cost] Ratio (B/C) ของแต่ละทางเลือก จัดลำดับทางเลือกที่เหมาะสมในการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ของชุมชน

ขั้นตอนที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะแนวทางการตัดสินใจเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์สูงสุดในชุมชน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

สร้างงานสร้างอาชีพในท้องถิ่น 3,329,042.25 บาท/ปี ในการดำเนินโครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งในการส่งเสริมการจัดการของเสียในฟาร์มสุกร ทำให้เกิดการเลี้ยงสุกรที่ได้มาตรฐานควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่สิ่งแวดล้อมและการบังคับใช้กฎหมาย เกิดระบบการเลี้ยงสุกรที่ได้มาตรฐานสามารถสร้างรายได้จากการเลี้ยงสุกรขุนแบบซื้อลูกสุกร เฉลี่ย 2,336.17 บาท/ตัว(สุกรขนาด 100 กก.)/ปี [3] คิดจำนวนสุกรขุน ยืนคอก 30 % (ของจำนวนสุกรเมื่อเลี้ยงเต็มระบบ 4,750 ตัว) หรือ 1,425 ตัว ลดปัญหาด้านสุขภาพของคนและสัตว์เลี้ยง ระบบการเลี้ยงสุกรที่มีประสิทธิภาพ การที่จะป้องกันโรคระบาดสำหรับฟาร์มสุกรได้อย่างยั่งยืนนั้น จำเป็นที่จะต้องมี ระบบการเลี้ยงที่เป็นมาตรฐานและมีประสิทธิภาพในการป้องกันโรค ซึ่งทำให้ภาครัฐประหยัดค่าใช้จ่ายในการดูแลสุขภาพของของประชาชน มีคุณภาพชีวิตที่ดี โดยหากเกิดโรคระบาดในการเลี้ยงสุกร เช่นโรคอหิวาต์แอฟริกา จะทำให้เกิดความเสียหายอย่างน้อย 1,948,227.09 บาท กรณีที่เกิดความเสียหาย 30% คิดจำนวนสุกรขุน ยืนคอก 30 % (ของจำนวนสุกรเมื่อเลี้ยงเต็มระบบ 4,750 ตัว) หรือ 1,425 ตัว [4] ทั้งนี้ยังไม่รวมถึงงบประมาณภาครัฐทางด้านสาธารณสุขที่ต้องจัดเตรียมทั้งอุปกรณ์ทางการแพทย์และบุคลากร ซึ่งอาจจะประเมินค่าไม่ได้

ลดปัญหาด้านสังคม ในอดีตที่ผ่านมา ปัญหาความขัดแย้งระหว่างชุมชนกับฟาร์ม อันเนื่องมาจากปัญหาหารส่งกลิ่นเหม็นรบกวน [5] ซึ่งการดำเนินโครงการนี้ทำให้เกิดการอยู่ร่วมกันได้ระหว่างฟาร์มสุกรและชุมชน ซึ่งการประเมินค่าความเสียหายอาจมองในมิติของการเสียโอกาสในการสร้างรายได้ 3,329,042.25 บาท/ปี [3] และการยกเลิกกิจการ ซึ่งมูลค่าความเสียหายกว่า 6,494,090.29 บาท [4] คิดที่จำนวนสุกร 1,425 ตัว ดังนั้น มูลค่าความเสียหายในมิติค่าเสียโอกาสและค่าการสูญเสียจากการล้มเลิกกิจการรวม 9,823,132.54 บาท_ทั้งนี้ยังไม่รวมถึงผลกระทบทางด้านสังคมอื่น ๆ เช่น ปัญหาการว่างงานในชุมชน นำไปสู่ปัญหาการอพยพออกจากชุมชนนอกฤดูการเกษตรไปทำงานในเมืองหลวง พื้นที่การเกษตรถูกปล่อยทิ้งรกร้างสูญเสียโอกาสในการสร้างงานในชุมชน ซึ่งอาจจะประเมินค่าไม่ได้

ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก อันเนื่องมาจากก๊าซ มีเทน (CH_4) ที่เกิดขึ้น ทั้งในน้ำเสียประมาณ 120,000 ลิตร/วัน (1 หน่วยปศุสัตว์ เกิดน้ำเสีย 200 ลิตร/วัน พพ.,2554) โดยเกิดเป็น มีเทน (CH_4) ประมาณ 759 ลบ.ม./วัน แนวทางที่1 นำไปเป็นเชื้อเพลิงแทนก๊าซ LPG ในครัวเรือน ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมูลค่า 33,689.99บาท/ปี แนวทางที่2 นำไปผลิตไฟฟ้าเพื่อสูบน้ำให้กับระบบประปาของชุมชนฯช่วยประหยัดค่าไฟฟ้า ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมูลค่า 19,571.52 บาท/ปี แนวทางที่3 นำไปเป็นเชื้อเพลิงแทนนำมันดีเซลให้กับระบบประปาของชุมชนฯลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมูลค่า 38,222.76 บาท/ปี [6]

ลดการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิล

ภาครัฐไม่ต้องอุดหนุนการนำเข้า LPG หากคิดเฉพาะ 1204 ครัวเรือนในชุมชนหนองตาด 385,261.60 บาท/ปี เป็นอย่างน้อย [7] ในชุมชนหนองตาด มีการสูบน้ำเข้าระบบประปา ต้องใช้น้ำมันดีเซลในเครื่องสูบน้ำ ปีละประมาณ 8,018.24 ลิตร [2] นั่นหมายความว่าชุมชนหนองตาด ต้องใช้น้ำมันดีเซลคิดเป็นมูลค่า 180,240 บาท ช่วยภาครัฐไม่ต้องนำเข้าน้ำมันดิบ 153,553.29 บาท/ปี

การใช้ไฟฟ้า ในการสูบน้ำเข้าระบบประปาของชุมชนหนองตาด ถึงแม้ว่าปกติจะใช้น้ำมันดีเซลในเครื่องสูบน้ำ แต่ถ้าหากเปลี่ยนมาใช้ไฟฟ้าที่จ่ายมาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ ปีละ 81,117.85 กิโลวัตต์ชั่วโมง นั่นหมายความว่า ในกิจกรรมการสูบน้ำของชุมชนหนองตาดหากใช้ไฟฟ้า ช่วยภาครัฐประหยัดในการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิล 185,798.32 บาท/ปี

สรุปผลการวิจัย

ตารางที่ 1 แสดงต้นทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นในการดำเนินโครงการในแต่ละแนวทาง

แนวทางที่	แนวทางการใช้ประโยชน์	CAPEX (บาท)	OPEX (บาท/ปี)	Tangible benefit (บาท/ปี)	Intangible benefit (บาท/ปี)	B/C
1	นำไปเป็นเชื้อเพลิงแทนก๊าซ LPG ในครัวเรือน	7,763,000.17	266,556.17	2,024,657.61	9,490,948.11	9.70
2	นำไปผลิตไฟฟ้าเพื่อสูบน้ำให้กับระบบประปาของชุมชนฯ	5,034,799.00	310,446.79	967,392.71	9,360,330.98	10.55
3	เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์สูบน้ำทดแทนน้ำมันดีเซลให้กับระบบประปาของชุมชนฯ	4,705,799.00	293,630.97	3,052,440.08	9,352,017.62	13.48

สรุป แนวทางที่เหมาะสมในการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ของชุมชน เรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ แนวทางที่3 (B/C=13.48) สูงที่สุด รองลงมาคือ แนวทางที่2 (B/C=10.55) และ แนวทางที่1 (B/C=9.70) เป็นอันดับสุดท้าย

การทำวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบและจัดลำดับความสำคัญในการเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากฟาร์มสุกรไปใช้ประโยชน์ในชุมชนโดยคำนึงถึงผลประโยชน์ของโครงการต่อต้นทุน ผลประโยชน์ที่จับต้องได้ (Tangible) ได้แก่ 1) ผลประหยัดที่เกิดขึ้นทางด้านพลังงาน, 2) รายได้จากการขายปุ๋ยที่เหลือจากการใช้ในพื้นที่เกษตรของชุมชน [2] และผลประโยชน์ที่จับต้องไม่ได้ (Intangible) ของโครงการ ได้แก่ 1) ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2) สร้างรายได้ในชุมชน 3) ลดปัญหาด้านสุขภาพของคนและสัตว์เลี้ยง 4) ลดปัญหาด้านสังคมในแง่ของการอยู่ร่วมกันระหว่างชุมชนกับฟาร์มสุกร ซึ่งอาจจะมีลักษณะเฉพาะตามบริบทของชุมชนตำบลหนองตาด อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ ทั้งนี้ยังไม่รวมถึงผลกระทบทางด้านสังคมอื่น ๆ เช่น ปัญหาการว่างงานในชุมชน นำไปสู่ปัญหาการอพยพออกจากชุมชนนอกฤดูการเกษตรไปทำงานในเมืองหลวง พื้นที่การเกษตรถูกปล่อยทิ้งรกร้างสูญเสียโอกาสในการสร้างงานในชุมชน ซึ่งอาจจะประเมินค่าไม่ได้

เอกสารอ้างอิง

[1] คู่มือวิธีการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสุกรประเภท ค ,สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ ; 2556

[2] โครงการ Biogas Network (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ,2562)

[3] ศุภกร พรหมดวงดี และ นงลักษณ์ สุพรรณไชยมาตย์ ; การจัดการธุรกิจการเลี้ยงสุกรรายย่อย กรณีศึกษาในพื้นที่ตำบลดินดำ อำเภอภูเวียง จังหวัดขอนแก่น,ขอนแก่นเกษตร 43 ฉบับพิเศษ 1 (2558)

[4] กรมปศุสัตว์ ; http://www.dld.go.th/th/index.php/th/newsflash/341-news-hotissue/19051-hotissu25620409-1 สืบค้นเมื่อ 27 พ.ค. 62)

[5] (ศิรชัช ตะต้องใจ ; Local Administration Journal ,2011)

[6] โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program:T-VER); อบก., https://sdthailand.com/2018/11/carboncradit/ สืบค้นเมื่อ 19 พ.ค.62)

[7] (บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ; http://www.pttplc.com สืบค้นเมื่อ 20 พ.ค. 2562)

การปรับปรุงคุณสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวาที่ผ่านกระบวนการทอรีแฟคชัน
The Improvement of Pellets Produced from Water Hyacinth Properties by Torrefaction Process

หฤทัย บงแก้ว [1*] วรรณชาติ ม่วงจันทร์[1] และศิรินุช จินดารักษ์[1]
[1] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาและส่งเสริมให้ใช้พลังงานทางเลือกใหม่ หรือพลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น เพื่อรักษาสิ่งแวดล้อม และลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งพลังงานทดแทนที่สำคัญของประเทศไทย คือ พลังงานชีวมวล เนื่องจากเป็นพลังงานที่มาจากของเหลือใช้จากการเกษตร คือ แกลบ ฟางข้าว เหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้รับการยอมรับจากโรงงานอุตสาหกรรม คือ เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ในการศึกษานี้ได้นำผักตบชวามาใช้เป็นวัตถุดิบในการอัดเม็ด เนื่องจากต้องการกำจัดผักตบชวาให้เกิดประโยชน์ และมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยนำผักตบชวามาอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล และทำการปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากผักตบชวาให้มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับถ่านหิน โดยทำการปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวาด้วยกระบวนการทอริแฟคชันที่อุณหภูมิ 200 230 260 และ 290 °C ที่เวลา 20 40 และ 60 นาที ซึ่งกระบวนการทอริแฟคชันจะใช้ทำภายใต้สภาวะอับอากาศในเบดที่เป็นทรายละเอียดและในสภาวะอับอากาศปกติโดยคุณสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงที่ทำการวิเคราะห์ คือ ความชื้น เถ้า สารระเหย คาร์บอนคงตัว และค่าความร้อน จากการศึกษา พบว่า ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวาด้วยกระบวนการทอริแฟคชันที่อุณหภูมิ 290 °C เวลา 20 นาที สภาวะอับอากาศในเบดที่เป็นทรายละเอียด เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงเชื้อเพลิงอัดเม็ดด้วยกระบวนการทอริแฟคชัน เนื่องจากมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นสูงถึง 3,833.40 แคลอรี่ต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความความร้อนที่ไม่ผ่านการทอริแฟคชันที่มีค่าเพียง 3,019.86 แคลอรี่ต่อกรัม ซึ่งค่าความร้อนเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 28.64 ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวาด้วยกระบวนการทอริแฟคชันที่อุณหภูมิ 290 °C ระยะเวลา 20 นาที ในสภาวะอับอากาศในเบดที่เป็นทรายละเอียด เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยกระบวนการทอริแฟคชันในอนาคต

คำสำคัญ : กระบวนการทอริแฟคชัน เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวา การปรับปรุงคุณภาพ

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีการปรับราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เชื้อเพลิงชีวมวล เป็นพลังงานทดแทนที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นการนำเอาสารอินทรีย์มาเผาไหม้ให้เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน โดยพลังงานความร้อนสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า เพื่อทดแทนก๊าซธรรมชาติ ซึ่งพลังงานชีวมาลถือว่าเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญของประเทศไทย

เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด หรือ ชีวมวลอัดเม็ด (Wood pellet) เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถนำมาผลิตไอน้ำ กระแสไฟฟ้า หรือนำมันร้อนที่ใช้ในกระบวนการการผลิตของโรงงานต่างๆ [1] สามารถทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดเป็นเชื้อเพลิงชนิดใหม่ที่กำลังได้รับความสนใจจากกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะโรงไฟฟ้า

Corresponding author: Tel.: . E-mail address: haruethaib59@email.nu.ac.th

ชีวมวล ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดเป็นแหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งให้พลังงานประมาณ 4.7-5.5 เมกะจูลชั่วโมงต่อตัน เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านหินและน้ำมันดีเซลล์ เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจะให้พลังงานน้อยกว่า แต่มีประสิทธิภาพและสามารถพัฒนาศักยภาพให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่าถ่านหินและน้ำมันได้ในอนาคต

ผักตบชวา เป็นวัชพืชน้ำที่มีการแพร่ระบาดอย่างรวดเร็ว ทำให้สร้างปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมและทัศนียภาพของประเทศไทย ซึ่งผักตบชวามีการแพร่พันธุ์ 1,200 ตัน ภายในระยะเวลาเพียง 4 เดือน การแพร่พันธ์ของผักตบนี้ส่งผลต่อกรมชลประทานมากที่สุด เนื่องจากผักตบชวาเกิดการทบถมและอุดตันทางระบายน้ำ หรืออาจขวางทางการไหลของน้ำ จึงมีแนวคิดที่จะกำจัดผักตบชวาอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัด และไม่ก่อให้เกิดสารพิษ โดยนำผักตบชวามาแปรรูปเป็นวัตถุดิบในการอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิสได้ในอนาคต

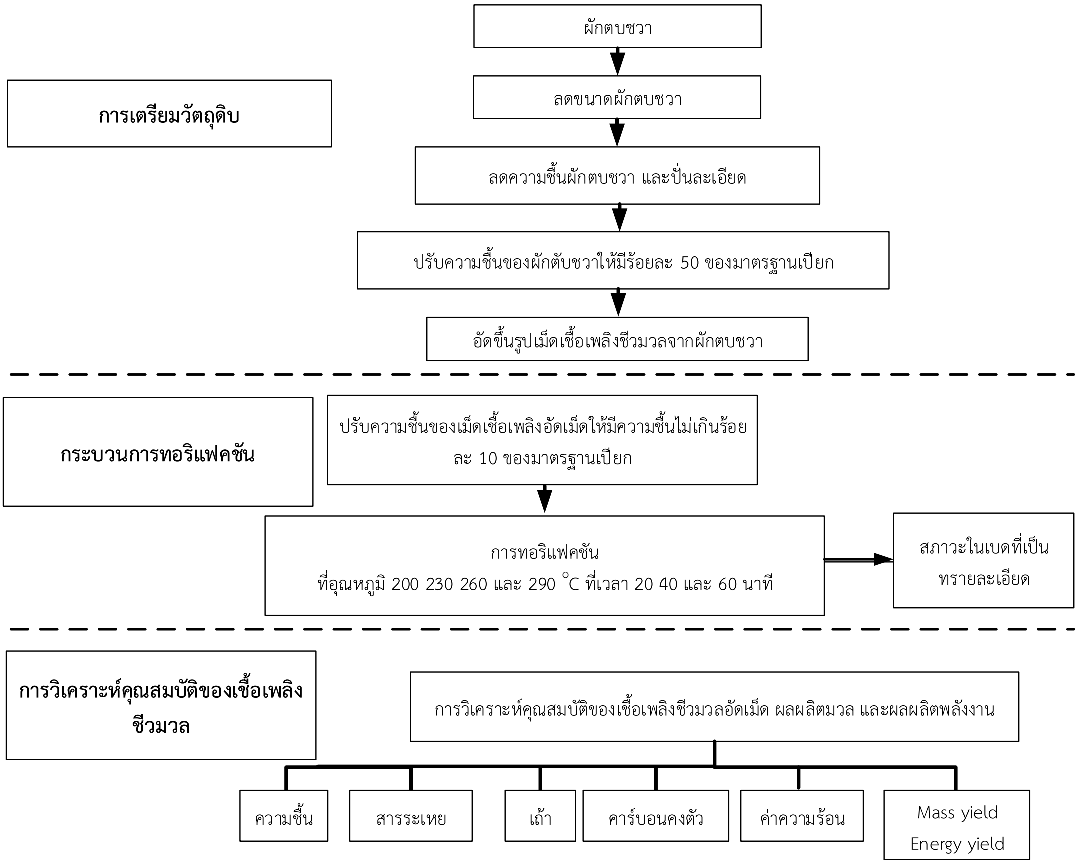
กระบวนการทอริแฟคชัน (Torrefaction) เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ซึ่งการทอริแฟคชันเป็นกระบวนการไพโรไพซิสที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งอุณหภูมิอยู่ในช่วง 200 – 300 °C ที่สภาวะบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน ประโยชน์ของกระบวนการนี้ คือ จะทำให้เชื้องเพลิงชีวมวลมีความเปราะบางต่อการบด มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำและเพิ่มค่าความร้อน ดังนั้น กระบวนการทอริแฟคชันสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการทอริแฟคชันในการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวา ที่อุณหภูมิ 200 230 260 และ 290 °C ที่เวลา 20 40 และ 60 นาที ในสภาวะเบดที่เป็นทรายละเอียด เพื่อเพิ่มค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวา

วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนกาปรับปรุงคุณภาพเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวาด้วยกระบวนการทอริแฟคชัน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน วิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ
2. ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล
3. ขั้นตอนการปรับปรุงเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยกระบวนการทอริแฟคชัน
4. ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง โดยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ผักตบชวา โดยนำผักตบชวาจากคลองหนองเหล็ก ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่อยู่บริเวณข้างมหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก โดยขั้นตอนการเตรียมผักตบชวา ดังนี้

1.1 เก็บผักตบชวาจากแหล่งน้ำ แล้วทำการตัดรากของผักตบชวาออก

1.2 นำผักตบชวามาปั่นย่อย โดยใช้เครื่องปั่นสับย่อย แล้วนำไปตากกลางแจ้ง 3 วัน (24ชั่วโมง)

1.3 หาความชื้นของผักตบชวาหลังจากปั่นละเอียด โดยการสุ่มตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง เข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D13174 โดยผักตบชวาปั่นละเอียดมีค่าความชื้นร้อยละ 10.67 ของมาตรฐานเปียก

2. ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

2.1 ปรับความชื้นของผักตบชวา เนื่องจากผักตบชวาแห้งมีความชื้นเพียงร้อยละ 10.67 ของมาตรฐานเปียก จึงทำการปรับความชื้นให้เป็นร้อยละ 50 ของมาตรฐานเปียก โดยการเติมน้ำในวัตถุดิบ จากนั้นทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำที่ใช้ในการปรับความชื้นซึมเข้าวัตถุดิบ

2.2 การอุ่นเครื่องอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชนิดอัดร้อนรุ่น Super Line Three Phase Induction Motor เพื่อให้เครื่องพร้อมใช้งาน โดยการอุ่นเครื่องอัดเม็ดจะใช้วัตถุดิบ คือ ผักตบชวาผสมกับแกลบและน้ำมันเครื่อง ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งอย่างต่อเนื่อง จนเครื่องมีอุณหภูมิประมาณ 60-70 °C ดังนั้น จึงทำการป้อนผักตบชวาที่เตรียมไว้เข้าเครื่องอบแห้ง การอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวาจะทำการอัดซ้ำ 6-7 รอบ เพื่อให้ได้ความยาว และความแข็งของเม็ดเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM D13174 ที่กำหนด

3. ขั้นตอนการปรับปรุงเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยกระบวนการทอริแฟคชัน

3.1 ตรวจสอบค่าความชื้นของเม็ดเชื้อเพลิงหลังจากอัดเม็ด คือ การนำตัวอย่างมาบด แล้วอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D13174 ค่าความชื้นของเม็ดเชื้อเพลิงหลังจากการอัดเม็ดมีความชื้นร้อยละ 15.69 ของมาตรฐานเปียก

3.2 ปรับความชื้นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวาให้มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 ของมาตรฐานเปียก โดยการนำเม็ดเชื้อเพลิงไปตากกลางแจ้ง

3.3 กระบวนการทอริแฟคชัน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวา มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

3.3.1 สุ่มตัวอย่างเม็ดเชื้อเพลิงตัวอย่างละ 10 กรัม แล้วนำมาบด แล้วนำไปผสมกับเบดที่เป็นทรายละเอียด 3 ตัวอย่าง แล้วนำใส่ในหม้อดินเผา

3.3.2 ทำการศึกษากระบวนการทอริแฟคชันตามสภาวะที่อุณหภูมิ 200 230 260 และ 290 °C ที่เวลา 20 40 และ 60 นาที ในสภาวะเบดที่เป็นทรายละเอียด

3.3.3 หลังจากทำการทอริแฟคชันตามสภาวะที่กำหนด จะนำตัวอย่างทั้งหมดมาชั่งน้ำหนัก เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

4. ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวาที่ผ่านกระบวนการทอริแฟคชัน ทำการวิเคราะห์ ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) องค์ประกอบของเชื้อเพลิง สามารถวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 และแบ่งการวิเคราะห์โดยประมาณได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ

4.1.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content) ทำการวิเคราะห์โดยนำตัวอย่างเม็ดเชื้อเพลิงมาบด แล้วนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วคำนวณปริมาณความชื้นได้จาก สมการที่ 1

$$MC = \frac{(A - B)}{A} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ MC	คือ	ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิง (%)
A	คือ	น้ำหนักตัวอย่างก่อนทดสอบ (g)
B	คือ	น้ำหนักตัวอย่างหลังทดสอบ (g)

4.1.2 ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) ทำการวิเคราะห์ คือ การนำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 7 นาที แล้วคำนวณหาปริมาณสารระเหยจากสมการที่ 2 และ 3

$$WL = \frac{(A - B)}{A} \times 100 \qquad (2)$$

$$VC = WL\ (\%) - MC\ (\%) \qquad (3)$$

เมื่อ VC คือ ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิง (%)

WL คือ ปริมาณน้ำหนักของเชื้อเพลิงที่หายไป (%)

4.1.3 ปริมาณเถ้า (Ash Content) จะการวิเคราะห์ คือ การนำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 500 °C แล้วค่อยๆเพิ่มความร้อนเป็น 750 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วคำนวณหาปริมาณเถ้าได้จากสมการที่ 4

$$Ash = \frac{A}{B} \times 100 \qquad (4)$$

เมื่อ Ash คือ ปริมารเถ้าของเชื้อเพลิง (%)

A คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังทดสอบ (g)

B คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนทดสอบ (g)

4.1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนคงตัวสามารถหาได้จากสมการที่ 5

$$FC = (\%Ash + \%MC + \%VC) - 100 \quad (5)$$

เมื่อ FC คือ ปริมารคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิง (%)

Ash คือ ปริมารเถ้าของเชื้อเพลิง (%)

MC คือ ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิง (%)

VC คือ ปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิง (%)

4.1.5 ค่าความร้อน (Heating value) จะการวิเคราะห์ค่าความร้อนจาก Bomb Calorimeter เป็นการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

4.2 การวิเคราะห์ Mass yield และ Energy yield โดยการิเคราะห์ Mass yield และ Energy yield ที่ได้จากกระบวนการทอริแฟคชันของเชื้อเพลิง เป็นตัวแปรหลักที่นำมาพิจารณาและการประเมินการใช้ประโยชน์ของกระบวนการทอริแฟคชัน โดยค่า Mass yield และ Energy yield สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6 และ 7

$$MY = \frac{Massafterrefaction}{Massoftorrefaction} x100 \quad (6)$$

$$EY = MYx \frac{HHV\ torrefaction\ sample}{HHV\ raw\ sample} \quad (7)$$

เมื่อ MY คือ ผลผลิตมวล (%)

EY คือ ผลผลิตพลังงาน (%)

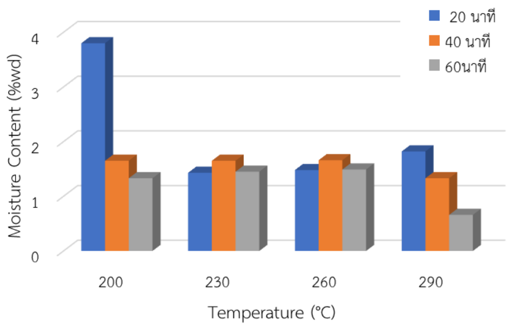
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์การศึกษากระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวาที่ผ่านกระบวนการทอริแฟคชัน จะพิจารณาถึงอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อคุณสมบัติของค่าความร้อน และเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวา เพื่อนำไปพัฒนาการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดแทนถ่านหิน ซึ่งทำการวิเคราะห์ ดังนี้

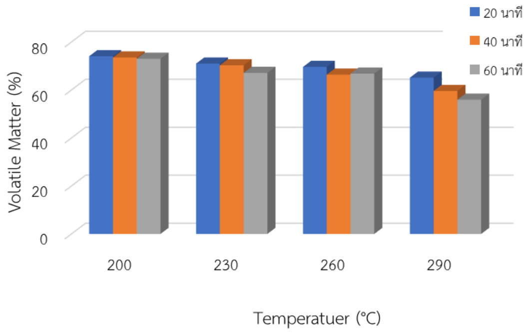
1. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวาที่ทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการทอริแฟคชัน โดยทำการศึกษาสภาวะที่กำหนด เพื่อให้เชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวามีคุณสมบัติเทียบเท่าถ่านหิน ซึ่งทำการการวิเคราะห์ ดังนี้

1.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content) จากการทอริแฟคชันเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวาตามเงื่อนไขอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด มีปริมาณความชื้นแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งจากกราฟ จะเห็นได้ว่า ปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณความชื้นต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 290 °C ที่เวลา 60 นาที ภายใต้สภาวะอับอากาศในเบดที่เป็นทรายละเอียด โดยมีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 0.66 ของมาตรฐานเปียก และปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในสภาวะอับอากาศในเบดที่เป็นทรายละเอียดมีค่าต่ำ เนื่องจากเบดที่เป็นทรายละเอียดนั้นเป็นตัวช่วยในการกักเก็บความร้อนให้คงความร้อนได้นาน



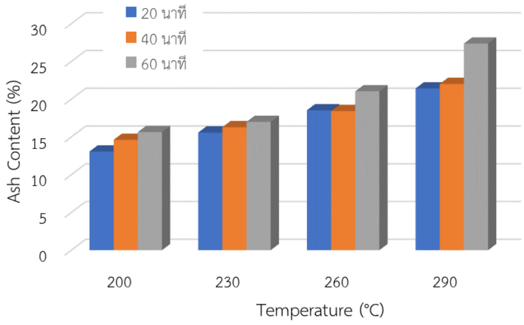
ภาพที่ 2 ปริมาณความชื้นของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล



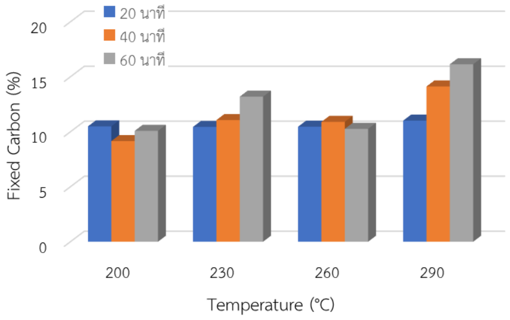
ภาพที่ 3 ปริมาณสารระเหยของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

1.2 ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) จากการทอริแฟคชันเชื้อเพลิงตามเงื่อนไขอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด ปริมาณสารระเหยแสดงในภาพที่ 3 จากกราฟ พบว่า ปริมาณสารระเหยมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณสารระเหยต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 290 °C ที่เวลา 60 นาที มีค่าเท่ากับร้อยละ 55.95

1.3 ปริมาณเถ้า (Ash Content) จากการทอริแฟคชันเชื้อเพลิงตามเงื่อนไขอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด ปริมาณเถ้าแสดงในภาพที่ 4 จากกราฟ พบว่า ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงจากกระบวนการทอริแฟคชันมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณเถ้าต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 200 °C เวลา 20 นาที และปริมาณเถ้าสูงสุดที่อุณหภูมิ 290 °C เวลา 60 นาที ซึ่งปริมาณเถ้ามากจะทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำ



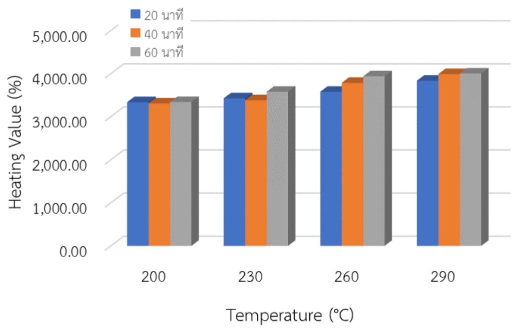
ภาพที่ 4 ปริมาณเถ้าของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล



ภาพที่ 5 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) จากการทอริแฟคชันเชื้อเพลิงตามเงื่อนไขอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด มีปริมาณคาร์บอนคงตัวแสดงในภาพที่ 5 ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวาที่ไม่ผ่านการทอริแฟคชัน เท่ากับร้อยละ 2.98 จากกราฟ พบว่า ปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวาที่ผ่านกระบวนการทอริแฟคชันในสภาวะอับอากาศในเบดที่เป็นทรายละเอียดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและเวลาสูงขึ้น ซึ่งปริมาณคาร์บอนคงตัวต่ำสุดที่อุณหภูมิ 200 °C เวลา 20 นาที มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.49 และปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 290 °C เวลา 60 นาที มีค่าเท่ากับร้อยละ 16.14 ซึ่งปริมาณคาร์บอนคงตัวที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากค่าปริมาณความชื้น และปริมาณสารระเหยที่ลดลง

1.5 ค่าความร้อน (Heating value) จากการวิเคราะห์ค่าความร้อน ด้วย Bomb Calorimeter เป็นการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้าน (พิษณุโลก) แสดงในภาพที่ 6

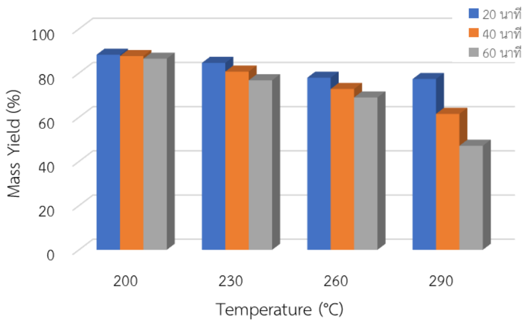


ภาพที่ 6 ค่าความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

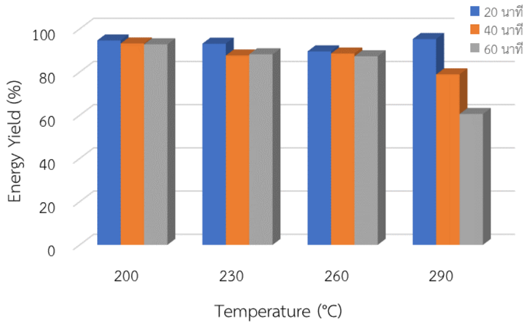
ปริมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวาที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทอริแฟคชันมีค่าความร้อนเท่ากับ 3,019.86 cal/g จากกราฟภาพที่ 6 พบว่า ปริมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวาที่ผ่านการทอริแฟคชันมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าความร้อนที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทอริแฟคชันสูงถึงร้อยละ 28.64 โดยปริมาณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณค่าความร้อนสูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 290 °C เวลา 60 นาที มีค่าเท่ากับ 4,000.50 cal/g และปริมาณค่าความร้อนต่ำสุด คือ อุณหภูมิ 200 °C เวลา 20 นาที มีค่าเท่ากับ 3276.90 cal/g ปริมาณค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากองค์ประกอบของปริมาณคาร์บอนคงตัวที่เพิ่มขึ้น

2. การวิเคราะห์ Mass yieldและ Energy yield

Mass yield และ Energy yield ที่ได้จากกระบวนการทอริแฟคชันของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวา ซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่นำมาพิจารณาและการประเมินการใช้ประโยชน์ของกระบวนการทอริแฟคชัน แสดงในภาพที่ 7 และ 8



ภาพที่ 7 Mass yield ของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล



ภาพที่ 8 Energy yield ของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

จากกราฟภาพที่ 7 พบว่า ในการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาส่งผลให้ค่า Mass yield มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการลดลงของปริมาณความชื้นและสารระเหยที่ลดลงตามเวลาและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ผ่านกระบวนการทอริแฟคชันนั้นลดลง เมื่อน้ำหนักลดลงก็จะส่งผลไปยังค่า Mass yield ซึ่งค่า Mass yield ต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 290 °C เวลา 60 นาที เท่ากับร้อยละ 47.10 และ ค่า Mass yield สูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิและเวลา 200 °C เวลา 20 นาที เท่ากับ ร้อยละ 88.30

จากกราฟภาพที่ 8 พบว่า ค่า Energy yield ของเชื้อเพลิงทอริแฟคชัน ในช่วงอุณหภูมิ 200 และ 230 °C มีค่า Energy yield ที่ไม่ต่างกันมากนัก และเชื้อเพลิงทอริแฟคชันในช่วงอุณหภูมิและเวลา 290 °C 20 นาที เหมาะแก่การพัฒนาคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลในอนาคตซึ่งมีค่า Energy yield สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 95.28 และยังมีค่าความร้อนสูงถึง 3,833.40 cal/g ซึ่งเหตุผลที่เลือกเชื้อเพลิงที่ผ่านการทอริแฟคชันในช่วงสภาวะดังกล่าว เนื่องจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเท่ากับ 3,833.40 cal/g ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งมีค่าเท่ากับ 3,500 cal/g ซึ่งจะเห็นได้ว่าในค่า

Energy yield ในช่วงอุณหภูมิ 200 °C มีค่า Energy yield ใกล้เคียงกับช่วงอุณหภูมิและเวลา 290 °C 20 นาที แต่ปริมาณของค่าความร้อนไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ช่วงอุณหภูมิและเวลา 290 °C 20 นาที จึงเหมาะแก่การพัฒนาคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลจากผักตบชวาด้วยกระบวนการทอริแฟคชันที่เงื่อนไขอุณหภูมิ 200 230 260 และ 290 °C และที่เวลา 20 40 และ 60 นาที ภายใต้สภาวะอับอากาศในเบดที่เป็นทรายละเอียด

จากการศึกษา พบว่า ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวาทอริแฟคชันที่อุณหภูมิ 290 °C เวลา 20 นาที ภายใต้สภาวะอับอากาศในเบดที่เป็นทรายละเอียด เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงทอริแฟคชัน เนื่องจากมีค่าความร้อน 3,833.40 cal/g เมื่อเทียบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากผักตบชวาที่ไม่ผ่านการทอริแฟคชันที่มีค่าความร้อน 3,019.86 cal/g ซึ่งเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 28.64 และผลผลิตทางพลัง (Energy Yield) ยังมีค่าสูงสุด คือ ร้อยละ 95.28

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้างานวิจัยครั้งนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรินุช จินดารักษ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้คำแนะนำปรึกษา แนะแนวทาง ตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนงานวิจัยมีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด พลังงานทดแทนในอนาคต เข้าถึงได้จาก : http://thai.pellet-making-machine.com/pellet-making-guide/biomass-pellet-making/biomass-fuel-pellets-renewable-energy-in-.html

[2] สมใจ วงศ์ชัย ชีววิทยาของผักตบชวา [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.irirgation.rit.go.th

[3] สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Energy Research and Development Institute-Nakornping. Chiang Mai University.
เข้าถึงได้จาก : http://www.erdi.cmu.ac.th/phpBB3/viewtopic.php?f=3&t=1384

[4] นวัตกรรมการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสำหรับเพิ่มศักยภาพชีวมวลไทย
เข้าถึงได้จาก : http://thai.pellet-making-machine.com/pellet-making-guide/biomass-pellet-making/biomass-fuel-pellets-renewable-energy-in-.html

[5] Huang, Y. F., Chen, W. R., Chiueh, P. T., Kuan, W. H. & Lo, S. L. 2012. Microwave torrefaction of rice straw and Pennisetum. Bioresore Technol, 123, 1-7

[6] Chen, D., Zheng, Z., K., Zeng, Z., Wang, J & Lu, M. 2015. Torrefaction of Biomass stalk and its effect on the yield and quality of pyrolysis products. Fuel, 159,27-32.

[7] Li, M.-F., Chen, C.-Z., Li, X., Shen, Y., Bian, J. & Sun, R.-C. 2015. Torrefaction of bamboo under nitrogen atmosphere: Influence of Temperature and time on the structure and properties of the solid Product. Fuel, 161(193-196).

[9] นคร ทิพยาวงศ์. 2552 เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อย : กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล

Feasibility study of wood pellet production from bagasse dust and crane leaves dust Cast study of power plant

เอกวรพงศ์ โชติคุณวัฒน์*
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10802

บทคัดย่อ

เสถียรภาพของโรงไฟฟ้าชีวมวล คือ การที่โรงไฟฟ้าชีวมวลสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพและมีเชื้อเพลิงที่เพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้าตลอดทั้งปีแต่ด้วยที่ฤดูเก็บเกี่ยวอ้อยมีระยะเวลาช่วง เดือนธันวาคม ถึง เดือนมีนาคม ทำให้เชื้อเพลิงชานอ้อยไม่เพียงพอในการผลิตไฟฟ้าและในปัจจุบันการตัดอ้อยโดยวิธีการเผาไร่อ้อย ก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างมากต่อกระบวนผลิตน้ำตาลและผลิตไฟฟ้าการเผาไร่อ้อยเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตน้ำตาลที่สูงขึ้นแถมยังส่งผลกระทบต่อผลผลิตน้ำตาลทรายต่อตันอ้อย (Yield) ค่าความหวาน (CCS) และค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรถือว่าเป็นปัญหาหลักที่มีผลกระทบต่ออุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลรวมไปถึงโรงไฟฟ้าชีวมวลที่รับชานอ้อยที่ได้จากกระบวนการหีบสกัดอ้อยเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้า ขณะเดียวกันก็สร้างผลกระทบต่อสังคมโดยรวมด้านมลพิษทางอากาศและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ดังนั้นแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยวิธีการเผาไร่อ้อยก็คือ ส่งเสริมให้ทางโรงไฟฟ้ามีการรับซื้อชีวมวลใบอ้อยจากชาวไร่มาทำให้เกิดประโยชน์และสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรและชุมชนจากโครงการรับซื้อชีวมวลใบอ้อยของทางโรงงานมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริม งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการนำชีวมวลใบอ้อยที่รับซื้อจากชาวไร่มาทำการย่อยใบอ้อยและฝุ่นที่ได้จากการย่อยใบอ้อยทำให้เกิดฝุ่นใบอ้อยและการนำชีวมวลชานอ้อยที่เหลือจากกระบวนการหีบสกัดอ้อยจนได้ชานอ้อยก่อนจะเป็นเชื้อเพลิงป้อนเข้าเตาเผาเพื่อผลิตไฟฟ้าและชานอ้อยบางส่วนที่เหลือจากการป้อนเข้าเตาเผาก็จะลำเลียงไปเก็บรวบรวมเป็นเชื้อเพลิงสำรองที่ลานเก็บ โดยกระบวนการย่อยใบอ้อยและการลำเลียงชานอ้อยไปเก็บยังที่กักเก็บโดยสายพานลำเลียงทำให้เกิดฝุ่นระหว่างการลำเลียงจึงได้นำเครื่องดูดฝุ่นมาติดตั้งเพื่อดักจับฝุ่นที่เกิดจากการย่อยใบอ้อยและชานอ้อยที่เหลือจากโรงงานน้ำตาลนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด และได้นำฝุ่นที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าความร้อนและค่าความชื้นซึ่งฝุ่นดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงอัดเม็ดและป้อนให้กับโรงไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริม ผลสำเร็จของการดำเนินงานวิจัยนี้ คือ สามารถวิจัยกระบวนการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อย

คำสำคัญ: ชานอ้อย ใบอ้อย ฝุ่นชานอ้อย ฝุ่นใบอ้อย โรงไฟฟ้าชีวมวล

---

*Corresponding author: Tel.: 08-8471-1365. E-mail address: Akeworapongc@hotmail.com

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยให้ความสำคัญกับการพัฒนาพลังงานทดแทนจากชีวมวล เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีชีวมวลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตทางการเกษตรอยู่เป็นจำนวนมาก หากรู้จักนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานด้านอื่นๆ ได้เช่น พลังงานจากน้ำมัน ไฟฟ้า แก๊ส ถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งนับว่าเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และช่วยลดการสูญเสียเงินตราของประเทศในการนำเข้าเชื้อเพลิงดังกล่าวอีกด้วย ดังนั้นการคิดค้นและพัฒนาการนำชีวมวลมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ จึงเป็นการแสวงหาหนทางใหม่ในการใช้พลังงานเพื่ออนาคต ซึ่งในขณะเดียวกันก็ต้องพยายามลดความสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานด้วยเช่นกัน [1]

โรงไฟฟ้ามิตรผล ไบโอ-เพาเวอร์ (ด่านช้าง) จังหวัดสุพรรณบุรี มีกำลังการผลิตไฟฟ้าตลอดทั้งปี แต่ด้วยเชื้อเพลิงชานอ้อยที่มีอยู่ไม่เพียงพอจึงต้องนำเข้าเชื้อเพลิงเสริม ได้แก่ ไม้ยางพารา แกลบ ชานอ้อยและใบอ้อย เป็นต้น ปัจจุบันมีโครงการส่งเสริมในการรับซื้อใบอ้อยที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวจากไร่อ้อย และการที่จะใช้ใบอ้อยมาเป็นเชื้อเพลิงต้องผ่านกระบวนการย่อยก่อนนำไปป้อนเข้าเตาเผาเพื่อผลิตไฟฟ้า[2] และระหว่างกระบวนการย่อยใบอ้อยนั้นทำให้เกิดฝุ่นเนื่องจากใบอ้อยค่อนข้างที่จะแห้ง ฝุ่นใบอ้อยที่ได้จากการย่อยใบอ้อยและฝุ่นชานอ้อยที่เกิดจากการลำเลียง ได้ทำการวัดค่าความร้อนของฝุ่นใบอ้อยเบื้องต้นจากห้องแลปโรงไฟฟ้ามีค่าความชื้น 13.54% และค่าความร้อนอยู่ที่ 6,337.39 kJ/kg ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่มีความน่าจะเป็นในการทำชีวมวลอัดเม็ด และได้ทำการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัตถุดิบทั้งสองชนิดที่ใช้ในการอัดเม็ดเชื้อเพลิง วิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยการศึกษานี้จะใช้อัตราส่วนของฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อย โดยแต่ละอัตราส่วนทำการผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นตัวประสานและควบคุมความชื้นโดยการหาอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมและหาค่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เป็นการนำวัสดุเหลือใช้ นำกลับมาทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดสร้างมูลค่าเพิ่ม สามารถช่วยสร้างรายได้และสนับสนุนชาวไร่ในการรับซื้อใบอ้อย

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาผลกระทบมลภาวะหมอกควัน PM 2.5 จากการเผาทำลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นการส่งเสริมให้ชาวไร่อ้อยเห็นคุณค่าของใบอ้อยที่เหลือใช้ ที่ยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ด้านใดเลยนอกจากการเผาทำลายมาสร้างมูลค่าเพิ่มจากการส่งเสริมจากโรงงานในการรับซื้อใบอ้อยเพิ่มมากขึ้น[3]

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดลองอัดเม็ดและหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ได้แก่ เปอร์เซนต์สารระเหย เปอร์เซนต์เถ้าเปอร์เซนต์คาร์บอนคงตัว เปอร์เซนต์กำมะถันรวม ปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ ค่าความชื้น ค่าความร้อน และได้แนวทางเหมาะสมในการผลิตและใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจากใบอ้อย[4]
และทราบถึงคู่มือมาตรฐานการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล จำแนกเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1) การใช้เครื่องดูดฝุ่นที่ใช้ในการดูดฝุ่นใบอ้อยที่ได้จากการการตีย่อยชีวมวลใบอ้อยและเครื่องดูดฝุ่นที่ใช้สำหรับดูดฝุ่นชานอ้อย 2) ทำการปรับความชื้นชีวมวล ฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อยให้ได้ 28-30% ความชื้นโดยน้ำหนักและอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อย ได้ผลผลิตมีคุณภาพตามมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาว 20-50 มิลลิเมตร 3) สามารถทดสอบคุณสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิง ชีวมวลฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อย โดยผ่านการรับรองคุณภาพมาตรฐานสากล ผลปรากฏว่า มีค่าความชื้น 7.32% ขี้เถ้า 38.55% ความร้อน 3,121 Kcal/kg ความหนาแน่นบรรจุ 0.971 g/m3 และซัลเฟอร์ 0.113%

วัตถุประสงค์ในการดำเนินงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางในการนำฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อยมาทำเป็นวัสดุเชื้อเพลิงอัดเม็ด
2. วิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางด้านความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดกับมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดที่ใช้ในประเทศไทย

ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

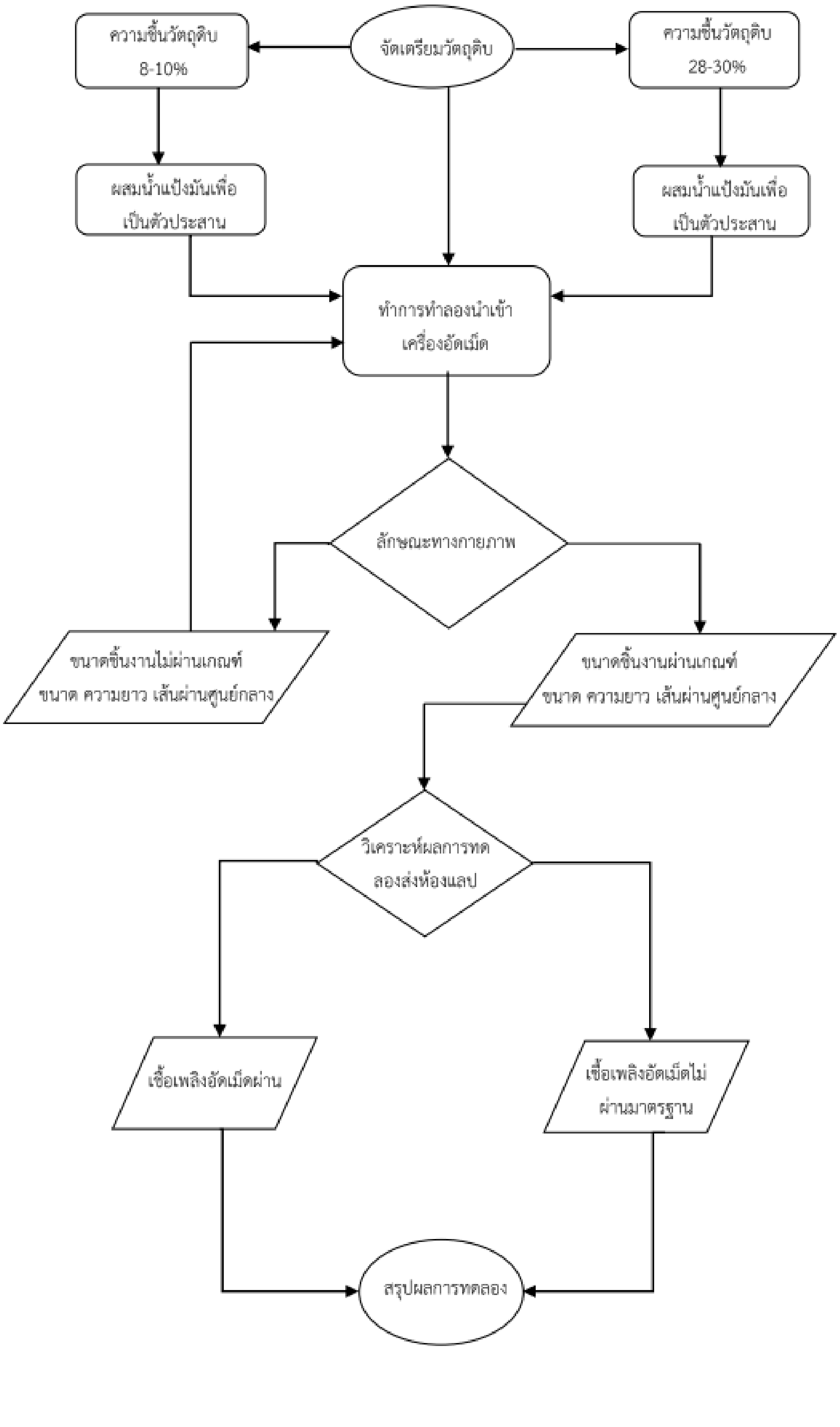
1. นำตัวอย่างวัตถุดิบ ได้แก่ ฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อยมาศึกษาคุณสมบัติ
2. ผลิตวัสดุเชื้อเพลิงจากส่วนผสมของฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อยและใช้น้ำแป้งมันเป็นตัวประสาน โดยมีเปอร์เซนต์ของฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อยโดยมวลดังนี้คือ 0, 50, 100 เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด
3. นำส่วนผสมที่ได้มาอัดขึ้นรูปโดยทำการอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบ Flat Die ด้วยวิธีการแบบอัดเย็น
4. ศึกษาคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถขึ้นรูปได้ โดยวิเคราะห์ค่าต่างๆ เทียบกับมาตรฐานของวัสดุเชื้อเพลิง ดังนี้

- ค่าความร้อน (kcal/kg)
- ความชื้น (%wt)
- เปอร์เซ็นต์คาร์บอนคงตัว (fixed carbon)
- เปอร์เซนต์เถ้า (ash)
- ปริมาณแร่ธาตุ (%wt)

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาขั้นตอนการอัดเม็ดชีวมวลและการตรวจสอบคุณสมบัติของชีวมวลอัดเม็ดเพื่อพัฒนาเชื้อเพลิงในอนาคต มีแนวทางการดำเนินงานดังนี้

1. แผนผังการดำเนินการ



2. การเก็บวัตถุดิบ

ปริมาณใบอ้อยนั้น จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของพันธุ์ในกรณีที่อ้อยถูกเก็บเกี่ยวโดยไม่ใช้เครื่องจักรและไม่มีการเผาไร่อ้อยก่อนเก็บเกี่ยวอ้อยนั้น ใบอ้อยก็จะมีปริมาณ 1.4-1.6 ตันต่อไร่ และการนำใบอ้อยไปใช้งานจะต้องผ่านการสับให้เป็นชิ้นเล็กหรือนำมาอัดเป็นเม็ด เพื่อจะใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ[5] และงานวิจัยนี้ได้ทำการจัดหาเชื้อเพลิงชีวมวลตัวอย่างที่ต้องการศึกษาการผลิตชีวมวลอัดเม็ด คือ ฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อยและการหาค่าพารามิเตอร์ชีวมวลตัวอย่างตั้งต้น

ภาพที่ 1 ใบอ้อยเข้าสู่กระบวนการสับย่อย

ภาพที่ 2 เครื่องดูดฝุ่นใบอ้อยและฝุ่นชานอ้อย

ภาพที่ 3 สายพานลำเลียงจุดที่เกิดฝุ่นชานอ้อย

ภาพที่ 4 ฝุ่นที่ได้จากเครื่องดูดฝุ่น

ภาพที่ 5 การหาค่าพารามิเตอร์ชีวมวลตัวอย่าง

ภาพที่ 6 ค่าความชื้นของฝุ่นใบอ้อยและฝุ่นชานอ้อย

3. ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด

3.1 เตรียมวัตถุดิบ จัดเตรียมชีวมวลที่ได้จากกระบวนการย่อยใบอ้อยและจากกระบวนการหีบอ้อยโดยเครื่องดูดฝุ่น

ภาพที่ 7 เก็บตัวอย่างฝุ่นใบอ้อยและฝุ่นชานอ้อยจากเครื่องดูดฝุ่น

3.2 การผสมน้ำแป้งมันกับชีวมวลจะทำการผสมด้วยอัตราส่วนร้อยละโดยมวลของชีวมวลที่นำมาทดลอง โดยจะมีอัตราส่วนผสมของน้ำกับชีวมวลที่นำอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดมี 3 อัตราส่วน คือ ส่วนผสมน้ำร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยมวลของชีวมวลตั้งต้น[6]

ภาพที่ 8 การเพิ่มความชื้นให้กับฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อย

3.3 การอัดเม็ดเชื้อเพลิงอัดเม็ด

การอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดเม็ดจะอัดโดยเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดเม็ด ตรวจสอบและจัดเตรียมปริมาณวัตถุดิบ ที่มีความชื้นระหว่าง 24–28% (ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ โดยให้ทำการทดสอบหาความชื้นของวัตถุดิบที่เหมาะสมกับเครื่องจักรให้ทราบก่อน) ซึ่งก่อนการอัดแท่งเชื้อเพลิงจะต้องทำการเดินเครื่องเพื่อให้แผ่นรังผึ้งสำหรับการอัดขึ้นรูปมีความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70 - 80 องศาเซลเซียส เนื่องจากช่วงอุณหภูมิดังกล่าวจะมีผลทำให้ลิกนินในชีวมวลละลายมาเชื่อมประสานอนุภาคของชีวมวลเข้าด้วยกัน และทำให้สามารถอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้ สำหรับการเดินเครื่องเพื่อให้แผ่นรังผึ้งร้อนจะใช้รำข้าวผสมกับน้ำมันพืชเทใส่ลงไปและหมุนเวียนจนกว่าแผ่นรังผึ้งจะมีอุณหภูมิดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงนำชีวมวลที่ผสมน้ำแล้วเทลงไปเพื่ออัดขึ้นรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิง[6]

ภาพที่ 9 เครื่องอัดเม็ดชีวมวล Flat Die

ภาพที่ 10 อุ่นเครื่องให้ได้อุณหภูมิก่อน 70 องศา

3.3.1 การขึ้นรูปฝุ่นใบอ้อยที่อุณภูมิ 70-85 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 การขึ้นรูปฝุ่นใบอ้อยที่อุณภูมิ 70-85 องศาเซลเซียส

ความชื้น (%)	ภาพประกอบ	ลักษณะทางกายภาพ	ค่าความร้อน MJ/kg	จำนวนขึ้นรูป (ครั้ง)	kcal/kg Test
10%		ขึ้นรูปได้น้อยมาก มีลักษณะเนื้อร่วน ไม่มีความวาว มีสีเทาเข้มส่วนที่ขึ้นรูปไม่ได้มีลักษณะร่วนจนไม่สามารถขึ้นรูปได้เลย แตกหัก	-	1	-
20%		สามารถขึ้นรูปได้ดี เป็นท่อนสั้นยาวปนกันไป แท่งสั้นเกิดจากการแตกหักของแท่งยาว มีลักษณะการอัดตัวกันแน่น แต่มีรอยร้าว และไม่มีความมันวาว สีน้ำตาลปนดำ	-	1	-
30%		สามารถขึ้นรูปได้ค่อนข้างดี เป็นท่อนสันยาวตรงกันไป มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน เนื้อละเอียดอัดตัวกันแน่น มีความมันวาวปานกลาง สีน้ำตาลปนเทา เหลือส่วนที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้เพียงเล็กน้อย มีลักษณะร่วนละเอียด	8.30	2	1,983

จากผลการทดสอบ**การอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเครื่องผลิตเชื้อเพลิงแบบหัวอัดแนวราบจากฝุ่นใบอ้อย** พบว่า อุณหภูมิของแผ่นขึ้นรูปที่เหมาะสม อยู่ระหว่าง 75 – 85 องศาสเซลเซียสที่ความชื้นของฝุ่นใบอ้อย 30% ค่าความร้อน 8.30 MJ/kg

3.3.2 การขึ้นรูปฝุ่นชานอ้อยที่อุณภูมิ 70-85 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2 การขึ้นรูปฝุ่นชานอ้อยที่อุณภูมิ 70-85 องศาเซลเซียส

ความชื้น (%)	ภาพประกอบ	ลักษณะทางกายภาพ	ค่าความร้อน MJ/kg	จำนวนขึ้นรูป (ครั้ง)	kcal/kg Test
10%		ไม่สามารถขึ้นรูปได้เลย	-	1	-
20%		สามารถขึ้นรูปได้ดี เป็นท่อนสั้นยาวปนกันไป แท่งสั้นเกิดจากการแตกหักของแท่งยาว มีลักษณะการอัดตัวกันแน่น แต่มีรอยร้าว และมีความมันวาวอย่างเห็นได้ชัด สีน้ำตาลแดง และเหลืองอ่อนปนกันไป	-	2	-
30%		สามารถขึ้นรูปได้ค่อนข้างดี เป็นท่อนสันยาวตรงกันไป มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน เนื้อละเอียดอัดตัวกันแน่น มีความมันวาวปานกลาง สีน้ำตาลเหลือง เหลือส่วนที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้เพียงเล็กน้อย มีลักษณะร่วนละเอียด	19.61	2	4,684

จากผลการทดสอบ**การอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเครื่องผลิตเชื้อเพลิงแบบหัวอัดแนวราบจากฝุ่นใบอ้อย** พบว่า อุณหภูมิของแผ่นขึ้นรูปที่เหมาะสม อยู่ระหว่าง 75 – 85 องศาสเซลเซียสที่ความชื้นของฝุ่นใบอ้อย 30% ค่าความร้อน 19.61 MJ/kg

3.3.3 การขึ้นรูปฝุ่นใบอ้อยและชานอ้อยที่อุณภูมิ 70-85 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3 การขึ้นรูปฝุ่นใบอ้อยและชานอ้อยที่อุณภูมิ 70-85 องศาเซลเซียส

ความชื้น (%)	ภาพประกอบ	ลักษณะทางกายภาพ	ค่าความร้อน MJ/kg	จำนวนขึ้นรูป (ครั้ง)	kcal/kg Test
10%		ไม่สามารถขึ้นรูปได้เลย	-	-	
20%		สามารถขึ้นรูปได้ดี เป็นท่อนสั้นยาวปนกันไป แท่งสั้นเกิดจากการแตกหักของแท่งยาว มีลักษณะการอัดตัวกันแน่น แต่มีรอยร้าว และมีความมันวาวอย่างเห็นได้ชัด สีน้ำตาลแดง และเหลืองอ่อนปนกันไป	-	-	
30%		สามารถขึ้นรูปได้ค่อนข้างดี เป็นท่อนสันยาวตรงกันไป มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน เนื้อละเอียดอัดตัวกันแน่น มีความมันวาวปานกลาง สีน้ำตาลเหลือง เหลือส่วนที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้เพียงเล็กน้อย มีลักษณะร่วนละเอียด	11.23	3.62	3,121

จากผลการทดสอบ**การอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเครื่องผลิตเชื้อเพลิงแบบหัวอัดแนวราบจากฝุ่นใบอ้อย** พบว่า อุณหภูมิของแผ่นขึ้นรูปที่เหมาะสม อยู่ระหว่าง 75 – 85 องศาสเซลเซียสที่ความชื้นของฝุ่นใบอ้อย 30% ค่าความร้อน 11.23 MJ/kg

3.4 การผึ่งให้เย็นและการเก็บตัวอย่างสำหรับการทดสอบคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ด

หลังจากที่เชื้อเพลิงอัดเม็ดออกจากเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดเม็ดแล้ว จะต้องนำมาผึ่งให้เย็นเพื่อให้แท่งเชื้อเพลิงแข็งขึ้นและไม่แตกหักง่ายขณะบรรจุหรือเคลื่อนย้าย ซึ่งการผึ่งเย็นจะผึ่งด้วยการวางตากลมหรืออาจใช้พัดลมเป่าให้เย็นก็ได้ตามความเหมาะสม

ภาพที่ 11 การผึ่งเย็นเชื้อเพลิงแบบอัดเม็ด

3.5 การหาค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของเชื้อเพลิงอัดเม็ด

สำหรับการหาค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของเชื้อเพลิงอัดเม็ดจะหาค่าตามที่มาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ดของสหรัฐอเมริกาได้กำหนดไว้ดังนี้

- การหาค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ทำการเลือกเชื้อเพลิงอัดเม็ดมา 5 ชิ้น อย่างสุ่มจากตัวอย่างเชื้อเพลิงอัดเม็ด เริ่มต้นประเมินและวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเชื้อเพลิงอัดเม็ดแต่ละอันด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ โดยที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเชื้อเพลิงแต่ละชิ้นจะบันทึกด้วยค่าความละเอียด 0.001 นิ้ว ซึ่งค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเชื้อเพลิงอัดเม็ดจะนำไปพิจารณากับความยาวของแท่งเชื้อเพลิงที่กำหนดตามมาตรฐานการทดสอบเชื้อเพลิงแบบอัดเม็ดของสหรัฐอเมริกา คือ 1.5 นิ้ว ว่ามีส่วนต่างมากกว่าเท่าใด โดยค่าความต่างจะต้องไม่มากกว่าร้อยละ 1 เมื่อเทียบกับความยาวที่กำหนด[7] และจากการตรวจสอบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ได้เกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงอัดเม็ด ควรมีลักษณะเป็นทรงกรบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6-12 มิลลิเมตร และความยาวของเม็ดเชื้อเพลิงประมาณ 10-30 มิลลิเมตร [8]

ภาพที่ 12 การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ภาพที่ 13 การวัดความยาวเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมในการทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

ตารางที่ 4 ค่าความร้อนและค่าความชื้นของฝุ่นชานอ้อยกับฝุ่นใบอ้อยในที่ได้จากเครื่องดูดฝุ่น โดย คุณอุไรวรรณ ขาวโต ข้อมูลเจ้าหน้าที่ห้องแลป โรงไฟฟ้า มิตรผล ไบโอเพาเวอร์ (ด่านช้าง) จำกัด (26 พฤษภาคม 2560)

ครั้งที่	ค่าความชื้น(%)	ค่าความร้อน (kJ/kg)
1.	13.54	6095.46
2.	12.88	6337.39

ตารางที่ 5 ผลการอัดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดระหว่างฝุ่นชานอ้อยกับฝุ่นใบอ้อยในแต่ละอัตราส่วนต่างๆโดยใช้ความชื้นเป็นตัวควบคุม

อัตราส่วน (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	ภาพประกอบ	ลักษณะทางกายภาพ
100 : 0	29.8		สามารถขึ้นรูปได้ดี เป็นท่อนยาวตรง มีลักษณะการอัดตัวกันแน่น แต่มีรอยร้าวเล็กน้อย สีน้ำตาลเข้ม ผิวมีความมันวาวเล็กน้อย
50 : 50	30		สามารถขึ้นรูปได้ค่อนข้างดี เป็นท่อนยาวตรง มีลักษณะการอัดตัวกันแน่น แต่มีรอยร้าวเล็กน้อย สีน้ำตาลอ่อน ผิวมีความมันวาวเล็กน้อย
0 : 100	29.5		สามารถขึ้นรูปได้ดี เป็นท่อนยาวตรง แต่มีความยาวมากกว่ากว่าอัตราส่วนร้อยละ 100 : 0 มีลักษณะการอัดตัวกันแน่น สีเทาเข้ม ผิวมีความมันวาว

2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ[4]

ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อย โดยศึกษาจากลักษณะโดยทั่วไป และสี ของฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อย

ตารางที่ 6 ผลของคุณสมบัติทางกายภาพของฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อย
(ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มออ. 23 พฤษภาคม 2562)

อัตราส่วน (ร้อยละ)	คุณสมบัติทางกายภาพ		
	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ความยาว (mm)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)
100 : 0	0.9731	32.80	8.12
50 : 50	0.9731	32.78	8.22
0 : 100	0.9731	33.12	8.23

3. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดฝุ่นใบอ้อยและฝุ่นชานอ้อยกับค่ามาตรฐาน กับค่ามาตรฐาน BSEN14918

ตารางที่ 7 ผลของคุณสมบัติของฝุ่นชานอ้อยละเอียดและฝุ่นใบอ้อยละเอียด

ครั้งที่	**ค่าความร้อน (kcal/kg) ฝุ่นละเอียด (Lab Power Plant)**	**ค่าความร้อน (kcal/kg) อัดเม็ด (สงขลานครินทร์ หาดใหญ่)**
1. ฝุ่นชานอ้อยละเอียด	1,455.77	4,684 ± 13
2. ฝุ่นใบอ้อยละเอียด	1,513.66	1,983 ± 19

ตารางที่ 8 ผลของคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

คุณสมบัติ	มาตรฐาน				ผลทดสอบชานอ้อย ± SD (ฝุ่นชานอ้อย : ฝุ่นใบอ้อย)		
	PFI Standard[1]	EN 14961-1[2]	ร่างมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดของประเทศไทย[3]		100 : 0	50 : 50	0 : 100
			เกรดธรรมดา	เกรดคุณภาพสูง			
ความชื้น (%wt)	≤10.0	≤10	≤10	≤10	8.92 ± 0.02	7.32 ± 0.04	6.62 ± 0.01
ค่าความร้อน (kcal/kg)	As-Rec ± 2SD	Minimum value	≥3,500	≥ 4,000	4,684 ± 13	3,121 ± 11	1,983 ± 19

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการผลิตชีวมวลอัดเม็ดจากฝุ่นใบอ้อยและฝุ่นชานอ้อยเป็นนวัตกรรมใหม่ที่ถูกคิดค้นมาจากการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมของทางโรงไฟฟ้าโดยใช้เครื่องดูดฝุ่นในการดักจับฝุ่นมากักเก็บแต่นั่นยังไม่เกิดประโยชน์เพราะป้องกันเพียงการฟุ้งกระจายไม่ให้ออกบริเวณโรงไฟฟ้าแต่ฝุ่นที่อยู่ในกระบะรองฝุ่นยังถูกเคลื่อนย้ายไปใส่กองชานอ้อยเหมือนเดิมเท่ากับว่าไม่ส่งผลดีอะไร ซึ่งจากการคิดว่ามีความน่าจะเป็นไปได้ โดยเบื้องต้นได้นำฝุ่นชานอ้อยและฝุ่นใบอ้อ ยไปทำการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ห้องแลปโรงไฟฟ้า โดยการอัดเม็ดชีวมวลด้วยวิธีอัดเย็นและหาค่าพารามิเตอร์ของเชื้อเพลิงอัดเม็ด เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการนำไปใช้งานและช่วยลดมลภาวะของการเกิดฝุ่นภายในโรงงานเนื่องจากการสับย่อยเชื้อเพลิงเสริมใบอ้อยให้ได้ขนาดที่เหมาะสมก่อนนำเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ เพื่อลดผลกระทบต่อชุมชนบริเวณรอบข้างโรงงานและลดการเผาใบอ้อยที่ทำให้เกิดฝุ่นขนาด PM 2.5 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การรู้ถึงประโยชน์ในการแปรรูปเพื่อส่งเสริมการรับซื้อใบอ้อยและเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงเสริม ลดต้นทุนการรับซื้อเชื้อเพลิงเสริมจากภายนอก การใช้ประโยชน์สูงสุดกับวัตถุดิบที่มี

อยู่ โดยได้วัตถุดิบที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเสริมมาสร้างมูลค่าและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้นทดแทนพลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิน้ำเติมหม้อไอน้ำและจากการที่ได้ชีวมวลอัดเม็ดดังกล่าวจะได้ค่าพารามิเตอร์ เช่น ค่าความร้อน ค่าความชื้น ค่าความหนาแน่น ขี้เถ้า ค่าคาร์บอน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน PFI standard และมีความเป็นไปได้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่จะนำไปใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร .ปิติณัตต์ ตรีวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมาโดยตลอด และทุนการวิจัยบางส่วนที่ได้รับจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณผู้มีอุปการะคุณทุกท่านที่คอยสนับสนุนในด้านการเงิน ด้านเครื่องจักร ด้านข้อมูลที่จำเป็นและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาและขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการทดลองจนประสบความสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

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

[2] สิงห์รัญ ชารี. 2554. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อชุดสับใบอ้อยเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมในโรงงานฐ้าตาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[3] นางสาวอัญชลี อุตตมะเวทิน การผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลจากอ้อย

[4] ศิราวุธ สาระขันธ์, 2553, การศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการผลิตและใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจากใบ อ้อย, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น,

[5] ชนินทร์ อุปถัมภ์. 2555. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอัดใบอ้อยสำหรับผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[6] นายวิรัช อยู่ชา และคณะ การศึกษาการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงแข็งเพิ่มคุณค่าชีวมวลยอดและใบอ้อย เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[7] กองเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์อุปโภค. (2560). รายงานผลการทดสอบคุณสมบัติของถ่าน. กรมวิทยาศาสตร์บริการ

[8] มนตรี อินต๊ะเสน. (2554). Wood Pellet พลังงานทดแทนที่น่าสนใจสำหรับโลกปัจจุบัน. ค้นเมื่อ 10 กันยายน 2562, จาก http://www.eucamart.com/Article8.html.

[8] อรรถสิทธิ์ บุญธรรม. ผลของการเผาใบออยก่อนการเก็บเกี่ยวและทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆที่มีต่อคุณภาพความหวานและผลผลิตอ้อยใ ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร

[9] วัชราภรณ์ ยุบลเขต. เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขยะเศษใบไม้ที่ได้จากการอัดด้วยเครื่องอัดและอัดด้วยมือ. นักศึกษา หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[10] สุพจน์ เดชผล. การศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาลผสมกับชานอ้อย. สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2546

[11] วรายุทธ สุขสวัสดิ์. (2538). ความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการใช้ใบและยอดอ้อยเป็นเชื้อเพลิงเสริมในโรงงานน้ำตาล.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

การศึกษาศักยภาพของถ่านอัดแท่งตำบลปงเตาเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้า ด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

The study of the economic potential of briquette charcoal in Pong Tao Subdistrict for electricity production by the ORC system

กรวิชญ์ สาระวรณ์ [1*] สราวุธ เมาฟาย[1] สุวิจักขณ์ เนตรสุวรรณ[1] วราคม วงศ์ชัย[1] และ รวิภา ยงประยูร[1]

[1]สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาศักยภาพของถ่านอัดแท่งตำบลปงเตาเชิงเศรษฐศาสตร์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle, ORC) และหาค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบผลิตไฟฟ้า ORC ขนาด 10 kW ที่ใช้ถ่านอัดแท่งจากข้อไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับ แกลบ ซังข้าวโพด และเศษไม้

ผลการศึกษาพบว่าถ่านอัดแท่งมีคุณสมบัติค่าความร้อน คาร์บอนเสถียรเมื่อนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานของระบบผลิตไฟฟ้า ORC ขนาด 10 kW พบว่า มีประสิทธิภาพของระบบ ORC มีค่าประมาณ 8% ที่อุณหภูมิน้ำร้อนมากกว่า 95°C และอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนประมาณ 28°C มีราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย(LEC)จากเชื้อเพลิงชีวมวลของ ซังข้าวโพด แกลบ เศษไม้ และถ่านอัดแท่งจากข้อไม้ไผ่ มีค่าเท่ากับ 9.00 Baht/kWh 9.21 Baht/kWh 10.89 Baht/kWh และ 35.03 Baht/kWh ตามลำดับ โดยต้นทุนราคาถ่านอัดแท่งจากข้อไม้ไผ่ ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 5.34 Baht/kWh เท่ากับ 1,000 Baht/ton

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่งตำบลปงเตา ระบบวัฏจักรสารแรงคินสารอินทรีย์ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

---

* Corresponding author: Tel.: 093-1747662. E-mail address: mon_jay_setong@hotmail.com

บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวัน การปรับปรุงคุณภาพชีวิต และการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศกำลังพัฒนา มีความต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากทรัพยากรพลังงานภายในประเทศมีค่อนข้างจำกัด จึงต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศกว่าครึ่งหนึ่งของความต้องการและสัดส่วนการพึ่งพามีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความมั่นคงในการจัดหาพลังงานในอนาคต นอกจากนี้ราคาพลังงานก็มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เป็นภาระค่าใช้จ่ายต่อผู้ใช้พลังงาน ความสามารถในการแข่งขันในเชิงเศรษฐกิจ และดุลการค้าระหว่างประเทศ นอกจากปัญหาด้านพลังงานแล้ว ประเทศไทยยังต้องเผชิญกับความท้าทายด้านผลกระทบ จึงมีการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนจากเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น ถ่านอัดแท่งตำบลปงเตานำวัสดุเหลือใช้จากเกษตรกรรมที่สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรสารแรงคินสารอินทรีย์ (ORC) เป็นเทคโนโลยี ระบบการผลิตไฟฟ้าโดยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (ORC) เป็นการใช้ประโยชน์จากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ 120-150°C และใช้สารอินทรีย์ที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในการศึกษานี้จึงทำการศึกษาถ่านอัดแท่งของกลุ่มตำบลปงเตา อำเภองาว จังหวัดลำปาง เมื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานของระบบผลิตไฟฟ้า ORC เพื่อผลิตไฟฟ้าอันประกอบไปด้วย ถ่านอัดแท่ง เพื่อนำมาใช้เพื่อหาค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบผลิตไฟฟ้า ORC ขนาด 10 kW ที่ใช้ถ่านอัดแท่งจากข้อไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับ แกลบ ซังข้าวโพด และเศษไม้

(ก)

(ข)

ภาพที่ 1 (ก) ลักษณะของถ่านอัดแท่งพื้นที่ตำบลปงเตา
(ข) ศูนย์การศึกษามหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (หริภุญชัย) จังหวัดลำพูน

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนถ่านอัดแท่งตำบลปงเตาปัจจุบันมีสมาชิกมีจำนวน 59 คน จำนวนหุ้น 219 หุ้น หุ้นละ 100 บาท จนเกิดผลความสำเร็จคือ ปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและวัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปไม้ไผ่ ลดลงจาก 43.760 กิโลกรัมต่อเดือนเหลือเพียง 7.430 กิโลกรัมต่อเดือน ซึ่งจากการดำเนินงาน ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2561 มีจำนวนสมาชิก 59 คน รวมจำนวนหุ้นทั้งสิ้น 219 หุ้น (หุ้นละ 100) จำนวนการส่งถ่านอัดแท่งออกจำหน่ายทั้งในและนอกชุมชน จำนวน 1300 kg จึงมีจุดมุ่งหมายในการหาแหล่งตลาดใหม่และส่งเสริมการขายการติดต่อและการประสานงานในการออกแบบ และสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ให้กับชุมชนทำให้เกิดการพัฒนาคุณภาพของวัตถุดิบที่ให้ค่าความร้อนที่มากขึ้น ระยะเวลาในการเผายาวนานขึ้น ในการนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนชีวมวล [1]

ระบบการผลิตไฟฟ้าโดยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (ORC) เป็นการใช้ประโยชน์จากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ 120-150°C (เช่น แหล่งความร้อนจากเหลือทิ้ง , ความร้อนจากแสงอาทิตย์และชีวมวล) มาให้ความร้อนแก่สารทำงานในกลุ่มสารอินทรีย์ (Organic) หรือสารทำความเย็น เช่น R-245fa ($CF_3CH_2CHF_2$) ที่มีมวลโมเลกุลสูง ซึ่งสามารถ

เปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นไอที่จุดเดือดต่ำกว่าการใช้น้ำ เปลี่ยนสถานะไปเป็นไอน้ำและมีค่าความดันไอสูงมากกว่าไอน้ำ ระบบ ORC จึงสามารถทำงานโดยใช้แหล่งความร้อนทิ้งอุณหภูมิต่ำที่เหลือจากกระบวนการผลิตได้และมีประสิทธิภาพของกังหันมากกว่า 90% อุปกรณ์หลักของการผลิตไฟฟ้าระบบ ORC [2]

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อภิวัฒน์ ยิ้มประเสริฐ และคณะ (2558) ได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคิน สารอินทรีย์ (ORC) ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 20 kW_e โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการผลิตน้ำร้อนป้อนให้กับวัฏจักรแรงคิน สารอินทรีย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์โดย ใช้น้ำร้อนอุณหภูมิอยู่ในช่วง 90-120°C ผลการศึกษาพบว่า ระบบ ORC มีประสิทธิภาพของวัฏจักรประมาณ 8% และเมื่อนำผลจากการทดสอบไป วิเคราะห์หาต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า (Electricity cost; EC) จากเชื้อเพลิง ชีวมวลที่มีศักยภาพในพื้นที่ภาคเหนือ อันประกอบด้วย แกลบ ซังข้าวโพด และเศษไม้ พบว่า ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของแกลบ ซังข้าวโพดและ เศษไม้ มีค่าประมาณ 9.46 Baht/kWh 8.89 Baht/kWh และ 10.33 Baht/kWh ตามลำดับ และต้นทุนราคาชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ที่เหมาะสม สำหรับค่าการรับซื้อไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลของประเทศไทยที่ 5.34 Baht/kWh อยู่ที่ 1,150 Baht/ton 680 Baht/ton และ 540 Baht/ton ตามลำดับ [3]

ธรณิศวร์ ดีทายาท และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2558) ได้สร้างสมการที่ใช้ในการทำนาย ประสิทธิภาพทางความ ร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (ORC) ท างานที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ตัวแปรไร้มิติในรูป Figure of Merit, (FOM) ซึ่ง ครอบคลุมตัวแปรได้แก่ จาคอบนัมเบอร์, อุณหภูมิควบแน่นและอุณหภูมิ ระเหย สารทำงานที่พิจารณามี 6 ชนิด ได้แก่ R245fa, R245ca, R227ea, R236ea และ R152a โดยอุณหภูมิสารทำงานในช่วงการทำระเหย 80- 130°C และอุณหภูมิควบแน่น 25-40°C ผลการศึกษาพบว่า เมื่อนำประสิทธิภาพทางความร้อนของ ORC จากข้อมูลการทดสอบจริงและงานวิจัยที่ผ่านมา ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ จากสมการที่พัฒนาพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3.66% เทคนิคดังกล่าวสามารถนำไปหากำลังงานที่ผลิตได้ เมื่อกำหนดอุณหภูมิและอัตรา การไหล ของน้ำร้อนที่เป็นแหล่งความร้อนให้แก่วัฏจักร และอุณหภูมิและ อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ระบายความร้อน [4]

วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนดำเนินงานจำนวน 3 ขั้นตอน ได้แก่

1. ศึกษาข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่งซึ่งผลิตจากข้อไม้ไผ่โดยใช้แป้งเป็นตัวผสานในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งโดยวิธีสกรูเพรส (Screw press) ของวิสหกิจชุมชนตำบลปงเตา อ.งาว จ.ลำปาง
2. ระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 10 kW_e [3]

การทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 10 kW_e ที่ใช้สารทำงาน R-245fa ในระบบ โดยการใช้น้ำร้อนอุณหภูมิอยู่ในช่วง 80-130°C และใช้น้ำหล่อเย็นอุณหภูมิ 28°C ซึ่งจุดวัดต่างๆ ประกอบไปด้วย อุณหภูมิของน้ำร้อนและน้ำระบายความร้อน ความดันสารทำงาน กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ ORC กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับอุปกรณ์ ต่างๆ ในระบบ ORCโดยใช้สมการสมรรถนะของระบบ ORC [3] แสดงดังในสมการต่อไปนี้

$$\eta_{ORC} = 0.0328(T_{HW,i}-T_{CW,i}) + 5.8572 \qquad (1)$$

η_{ORC} = สมรรถนะของระบบ ORC (%)

$T_{HW,I}$ = อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องระเหย (°C)

$T_{CW,I}$ = อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องควบแน่น (°C)

3. การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของถ่านอัดแท่งตำบลปงเตา อ.งาว จ.ลำปาง [3]

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าใช้ข้อมูลจากการทดลองการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบ ORC ข้อมูลจากฐานข้อมูลและจากงานวิจัยและนำไปเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวมวล อันประกอบด้วย แกลบ ซังข้าวโพด เศษไม้ และถ่านอัดแท่ง โดยมีเงื่อนไขในการวิเคราะห์ประกอบด้วย เงินลงทุนเริ่มต้น (แสดงดังตารางที่ 1) ค่าดำเนินการบำรุงรักษาต่อปีคิดที่ 3.5% ของเงินลงทุน [5] ค่าความร้อนและราคาชีวมวล (แสดงดังตารางที่ 2) จำนวนชั่วโมงการทำงาน 8,000 ชั่วโมง/ปี [6] และระยะเวลาคืนทุน 7 ปี [7]

ตารางที่ 1 รายละเอียดเงินลงทุนเริ่มต้นของระบบ ORC ขนาด 10 kW_e

ข้อมูล	ราคา (bath)
• เครื่อง ORC 10 kW_e	1,000,000
• ค่าที่ดิน	250,000
• ราคาอาคารก่อสร้างโรงเรือน ระบบท่อน้ำร้อน ระบบระบายความร้อน และระบบผลิตน้ำร้อน	1,000,000
• เงินลงทุนเริ่มต้น	2,250,000

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าความร้อนและราคาเชื้อเพลิง แต่ละชนิดที่นำมาเป็นเชื้อเพลิง

ชีวมวล	ค่าความร้อน HHV (MJ/Kg)	ค่าความร้อน LHV (MJ/Kg)	ราคา(Baht/ton)
ถ่านอัดแท่ง	27.64	24.12	15,000
แกลบ [3]	14.75	13.51	1,600
ซังข้าวโพด [3]	11.30	9.61	1,100
เศษไม้ [3]	10.37	8.60	1,300

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1.ข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีถ่านอัดแท่งตำบลปงเตา อ.งาว จ.ลำปาง

จากการส่งถ่านอัดแท่งเพื่อไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการแผนกธรณีวิทยากองแผนงานและบริหารเหมืองแม่เมาะของ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พบว่า ถ่านอัดแท่ง มีค่าความชื้น 10.43% ปริมาณเถ้า 10.08% สารที่ระเหยได้ 17.84% คาร์บอนเสถียร 61.64% และค่าความร้อน 24.75 MJ/kg

ตารางที่ 3 ตารางข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีของถ่านอัดแท่งตำบลปงเตา อ.งาว จ.ลำปาง

วิธีการทดสอบ	รายการ	ผลการทดสอบ	หน่วย
ASTM D3302/3302 M-15	ความชื้น	10.43	%
ASTM D7582-15	ปริมาณเถ้า	10.08	%
ASTM D7582-15	สารที่ระเหยได้	17.84	%
ASTM D7582-15	คาร์บอนเสถียร	61.64	%
ASTM D5865-13	ค่าความร้อน	24.75	MJ/kg

ที่มา : ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแม่เมาะ จ.ลำปาง

จากข้อมูลศักยภาพของถ่านอัดแท่งตำบลปงเตา อ.งาว จ.ลำปาง พบว่าถ่านอัดแท่งมีความชื้นกับปริมาณเถ้าเกินกว่ามาตรฐานที่ผลิตภัณฑ์ (มผช.) ความชื้นร้อยละ 10.43 และปริมาณเถ้าร้อยละ 10.08 กำหนดไว้เกินกว่ามาตรฐานมาไม่กี่เปอร์เซ็น จะทำให้ถ่านเกิดควันจากการเผาเยอะขึ้นและติดไฟยาก และในส่วนของปริมาณขี้เถ้าที่มากเกินมาตรฐานจะทำให้ขี้เถ้า ไปบดบังความร้อนของถ่าน ซึ่งจะเกิดผลให้ได้รับความร้อนน้อยลง

2. ผลจากการทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ขนาด 10 kW_e

จากการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้า ORC ขนาด 10 kW_e โดยใช้สารในการทำงาน R-245fa ซึ่งน้ำร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องระเหย อุณหภูมิอยู่ในช่วง 100-110°C ขณะที่อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องควบแน่น อยู่ระหว่าง 27-29°C พบว่าประสิทธิภาพของระบบมีค่าอยู่ในช่วง 8-9% แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ที่ใช้สารทำงาน R-245fa

รายละเอียด	ข้อมูลบันทึก			หน่วย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าเครื่องระเหย ($T_{HW,i}$)	100.90	104.30	107.50	°C
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องควบแน่น ($T_{CW,i}$)	27.00	29.00	28.00	°C
ความดันขาเข้าสารเอ็กซ์แพนเดอร์ (P_{High})	1097.00	1120.00	1074.00	kPa
ความดันขาออกสารเอ็กซ์แพนเดอร์ (P_{Low})	227.40	227.40	227.00	kPa
กำลังไฟฟ้าของปั๊มสาร (W_P)	0.37	0.37	0.37	kW_e
กำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำมัน (W_{OP})	1.50	1.50	1.50	kW_e
ผลต่างอุณหภูมิน้ำร้อนและน้ำหล่อเย็น ($T_{HW,i}$ - $T_{CW,i}$)	73.90	75.30	79.50	°C
พลังงานที่ผลิตได้ (W_{Tur})	6.70	6.80	6.90	kW_e
ประสิทธิภาพของระบบ (η_{ORC})	8.28	8.31	8.46	%

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4 พบว่า ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้า กับน้ำระบายความร้อนขาเข้ามีค่าสูง ซึ่งจากผลการทดสอบดังกล่าว จึงถูกนำไปใช้ในการประเมินศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าโดยถ่านอัดแท่ง แกลบ ซังข้าวโพด และเศษไม้

3. ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

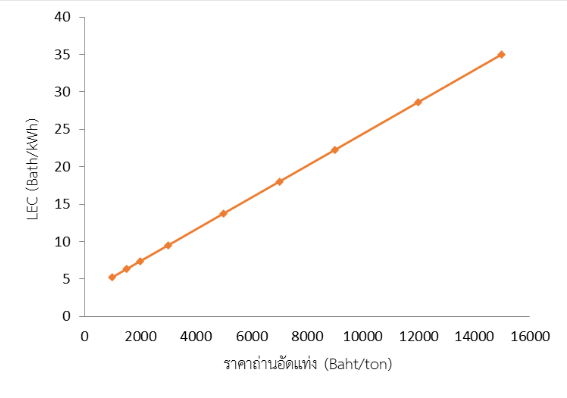
ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าแสดงได้ดังตารางที่ 5 พบว่าราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของซังข้าวโพด แกลบ เศษไม้ และถ่านอัดแท่ง มีค่าเท่ากับ 9.00 Baht/kWh, 9.21 Baht/kWh, 10.89 Baht/kWh และ 35.03 Baht/kWh ตามลำดับ โดยเชื้อเพลิงที่มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่ำสุด คือ ซังข้าวโพด รองลงมา คือ แกลบกับเศษไม้ และถ่านอัดแท่งจากข้อไม้ไผ่ มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงสุด แสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งจากผลดังกล่าวพบว่าการลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าระบบ ORC โดยใช้ถ่านอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง ไม่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องด้วยปัจจุบันรัฐบาลมีการอุดหนุนการรับซื้อไฟฟ้าจากเอกชนแบบ Feedin Tariff (FiT) อยู่ที่ 5.34 Baht/kWh [3]

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

รายละเอียด	แกลบ [3]	ซังข้าวโพด [3]	เศษไม้ [3]	ถ่านอัดแท่ง
ระบบ ORC (kW_e)	10	10	10	10
Q_E (kW)	200	200	200	200
η_{Boiler} (%)	88	88	88	88
$Q_{biomass}$ (kW)	227.27	227.27	227.27	227.27
ค่าความร้อนทางต่ำ LHV (MJ/kg)	13.517	9.615	8.600	24.12
อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (kg/h)	60.53	85.09	95.14	33.92
ชั่วโมงการทำงาน (h/y)	8000	8000	8000	8000
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ton/y)	484.24	680.75	761.1	271.37
ราคาเครื่อง ORC (Baht)	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
ค่าที่ดิน (Baht)	250,000	250,000	250,000	250,000
ต้นทุนการก่อสร้าง ระบบผลิตน้ำร้อน และระบบท่อ (Baht)	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
เงินลงทุนโครงการ (Baht)	2,250,000	2,250,000	2,250,000	2,250,000
ต้นทุนเชื้อเพลิงชีวมวล (Baht/y)	774,781	748,829	989,429	4,070,556
ค่า O&M 3.5% ของเงินลงทุนระบบ (Baht/y)	78,750	78,750	78,750	78,750
ปริมาณการผลิตไฟฟ้า (kWh/y)	127,632	127,632	127,632	127,632
ค่า LEC ของพลังงานชีวมวล (Baht/kWh)	9.21	9.00	10.89	35.03

จากตารางที่ 5 ข้อมูลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ใช้การหาราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (Levelized Electricity, LEC) ของการใช้ถ่านอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าโดยระบบ ORC พบว่า ถ่านอัดแท่งมีต้นทุนสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ชีวมวลอื่นๆ โดยต้นทุนของถ่านอัดแท่ง ประกอบด้วย การนำเศษถ่านมาบดแล้วผสมกับส่วนผสมต่างๆจากนั้นก็อัดขึ้นรูปถ่านถัดแท่ง

จากความสัมพันธ์ดังกล่าว พบว่า เมื่อราคาถ่านอัดแท่งมีค่าต่ำลง จะส่งผลให้ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยมีราคาที่ต่ำลงตามไปด้วย แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิตไฟฟ้ากับราคาถ่านอัดแท่ง

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิตไฟฟ้ากับราคาถ่านอัดแท่ง พบว่า ถ้าหากราคาถ่านอัดแท่งมีราคา 1,000 Baht/ton จะส่งผลให้ราคาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (LEC) อยู่ที่ 5.26 Baht/kWh ซึ่งต่ำกว่าค่า Feedin Tariff (FiT) ซึ่งอยู่ที่ 5.34 Baht/kWh จึงจะทำให้คุ้มค่าต่อการลงทุน

สรุปผลการวิจัย

จากโครงงานวิจัยเรื่องการศึกษาศักยภาพของถ่านอัดแท่งตำบลปงเตาเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เมื่อนำถ่านอัดแท่งจากข้อไม้ไผ่มาใช้เป็นแหล่งพลังงานของระบบ ORCขนาด 10 kW พบว่า ค่าประสิทธิภาพของระบบ ORC ประมาณ 8% ที่อุณหภูมิน้ำร้อนมากกว่า 95 °C และอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนประมาณ 28°C โดยที่ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลของซังข้าวโพด แกลบ เศษไม้ และถ่านอัดแท่งจากข้อไม้ไผ่ มีค่าประมาณ 9.00 Baht/kWh 9.21 Baht/kWh 10.89 Baht/kWh และ 35.03 Baht/kWh ตามลำดับ ทั้งนี้ต้นทุนราคาถ่านอัดแท่งจากข้อไม้ไผ่ ที่เหมาะสมสำหรับค่าการรับซื้อไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลของประเทศไทยที่ 5.34 Baht/kWh เท่ากับ 1,000 Baht/ton

ข้อเสนอแนะ

จากโครงการวิจัยนี้หากมีการทดลองเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งชนิดอื่นที่มีอยู่ทั่วไปจะทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ เชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

กิตกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยระดับอุดมศึกษาจาก แผนพลังงานทดแทน ของสำนักงานแผนและนโยบายพลังงาน กระทรวงพลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2562 สุดท้ายนี้ขอขอบคุณองค์การส่วนบริหารตำบลปงเตาและศูนย์การเรียนรู้มหาวิทยาลัยเชียงใหม่(หริภุญชัย) จังหวัดลำพูนที่ให้ความร่วมมือกับโครงงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] องค์การบริหารส่วนตำบลปงเตา อำเภองาว จังหวัดลำปาง. ถ่านอัดแท่งผลิตภัณฑ์บนฐานทุนชุมชน. บทเรียนชุมชนท้องถิ่นจัดการตนเอง “เศรษฐกิจและความมั่นคง”, หน้า34-43.

[2] วิรัตน์ ทรงงาม. การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานควมร้อนอุณหภูมิต่ำโดยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, หน้า 1

[3] อภิวัฒน์ ยิ้มประเสริฐ นัฐพร ไชยญาติ และจักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล. (2558). การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 20 กิโลวัตต์โดยชีวมวลในพื้นที่ภาคเหนือ. การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8 , วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[4] ธรณิศวร์ ดีทายาท และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน. (2558). การทำนายประสิทธิภาพทางความร้อนของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์แบบอุณหภูมิต่ำจากตัวแปรไร้มิติFOM. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8 , วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[5] Rentizelas, A., Karell, S., Kakaras, E. and Tataiopoulos, I., “Comparative techno-economic analysis of ORC and gasification for bioenergy application,” Energy Conversion and Management, 50, pp. 674-681, 2009.

[6] จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล และ ทะนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, การศึกษาเชิงเศรษฐศาสตร์โรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินที่ใช้สารอินทรีย์ที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง, การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4, ลำปาง, 28-30 พฤศจิกายน 2554.

[7] Tongsopit, S. & Greacen, C. 2012. Thailand’s Renewable Energy Policy: FiTs and Opportunities for International Support. Manila, Philippines: n.p.

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดฝุ่นอ้อยผสมชานอ้อย : กรณีศึกษาโรงงานน้ำตาลทราย

Feasibility Study of Wood Pellet Production from Bagasse Dust Mix Bagasse : Case Study of Sugarcane factories

ปุรเชษฐ์ เสาร่อน*
ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10802

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยใช้ฝุ่นชานอ้อยกับชานอ้อย เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตชีวมวลอัดเม็ดและวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากลและร่างมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดสำหรับประเทศไทย ผลการวิจัยพบว่าอัตราส่วนของฝุ่นชานอ้อยกับชานอ้อย (100 : 0 , 80 : 20) สามารถอัดเม็ดได้ แต่อัตราส่วน (50 : 50) อัดเม็ดขึ้นรูปได้ไม่ดี จึงไม่ผ่านคุณสมบัติทางกายภาพ ในขณะที่อัตราส่วน (0 : 100) ไม่สามารถอัดเป็นเม็ดได้ เนื่องจากมีลักษณะเส้นกากใยมากเกินไป และเมื่อนำชีวมวลอัดเม็ดที่ได้ (100 : 0 , 80 : 20) นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติ พบว่า อัตราส่วน 100 : 0 เป็นอัตราส่วนที่มีค่าความร้อนสูงที่สุด และเมื่อนำคุณสมบัติมาเปรียบเทียบกับร่างมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดคุณภาพสูงในประเทศไทย พบว่า ค่าความร้อนของทั้ง 2 อัตราส่วน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเกรดคุณภาพสูง แสดงให้เห็นว่าฝุ่นชานอ้อยกับชานอ้อย สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ดีได้ และที่อัตราส่วน (100 : 0) สามารถนำฝุ่นชานอ้อย ซึ่งเป็นของเสียจากโรงงานนำกลับมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ช่วยลดปริมาณ เพิ่มมูลค่า และช่วยส่งเสริมคุณภาพชีวิต สุขภาพ ของพนักงานของโรงงานและประชาชนได้อีกด้วย

คำสำคัญ : ชีวมวล ฝุ่นชานอ้อย ชานอ้อย

*Corresponding author: Tel.: 087-0296340. E-mail address: purachet_s@hotmail.com

บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยมีสภาพภูมิประเทศที่เหมาะสมกับการทำเกษตร สามารถเพาะปลูกพืชได้หลากหลายชนิด ทั้งพืชอาหาร พืชพลังงาน และพืชเพื่ออุตสาหกรรม แต่เกษตรกรของไทยยังขาดการสนับสนุนให้ความรู้และพัฒนาเครื่องจักรในการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไปสร้างมูลค่าเพิ่ม ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่ เลือกที่จะใช้วิธีการทำลายเศษวัสดุเหลือใช้ด้วยการเผาทำลายทิ้ง ทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ทางสภาพแวดล้อม ประกอบกับในปัจจุบัน ประเทศไทยมีการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม จึงทำให้มีความต้องการทางด้านพลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ในขบวนการผลิตของอุตสาหกรรมน้ำตาลนั้น จะมีวัสดุเหลือใช้ (Residues) หลายชนิด เช่น ชานอ้อย (Bagass) โดยที่ปริมาณของวัสดุเหลือใช้มีมากในการดำเนินการผลิต ซึ่งทำให้เกิดปัญหาด้านการจัดการและกำจัดทั้งในปัจจุบันและอนาคต [4] อีกทั้งในกระบวนการผลิตและลำเลียงวัตถุดิบนั้นทำให้เกิดของเสีย คือ ฝุ่นชานอ้อย (Bagass Dust) เป็นจำนวนมาก ตกอยู่บนลานลำเลียงและบางส่วนฟุ้งกระจายไปในอากาศ ทำให้เกิดมลพิษและส่งผลเสียต่อสุขภาพกับพนักงานในโรงงานและประชาชนโดยรอบ

จากข้อมูลดังกล่าว จึงทำให้ผู้วิจัยต้องการลดปริมาณของฝุ่นชานอ้อยที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยการอัดเม็ดร่วมกับชานอ้อยซึ่งเป็นอินทรีย์สารที่มีคุณสมบัติในการเก็บกักพลังงานธรรมชาติในรูปของความร้อนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลทางเลือก โดยวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมเชิงปริมาณของฝุ่นชานอ้อยและชานอ้อย ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด และ วิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางด้านความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดกับมาตรฐานสากล เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตชีวมวลอัดเม็ด เพื่อตอบสนองความต้องการเชื้อเพลิงที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคต ช่วยลดความขัดแย้งและสร้างความสัมพันธ์ที่ดีในการอยู่ร่วมกันระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชนโดยรอบ เพื่อการอยู่ร่วมกันอย่างยั่งยืน ตอบสนองนโยบายอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ [3]

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ทำการเตรียมวัตถุดิบเพื่อเตรียมการอัดเม็ดตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ และนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อน โดยนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติกับมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ด จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์และสรุปผล

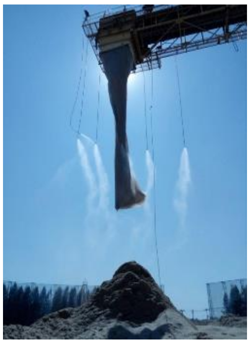
งานวิจัยเล่มนี้มีการนำฝุ่นอ้อยและชานอ้อยเป็นวัตถุดิบหลัก โดยฝุ่นชานอ้อยเก็บได้จากบริเวณพื้นที่ที่ได้จากเครื่องจักรที่ดักฝุ่นละอองส่วนชานอ้อยเก็บจากบริเวณอาคารที่ใช้เก็บชานอ้อยภายในโรงงานน้ำตาลมิตรพล จังหวัดสุพรรณบุรี โดยทางโรงงานได้มีการตรวจสอบค่าความชื้นและค่าความร้อนในวัตถุดิบของฝุ่นชานอ้อยจำนวน 2 ครั้ง มีค่าดังนี้ 13.54 % , 6,095.46 KJ/kg และ 12.88 % , 6,337.39 KJ/kg ตามลำดับ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีค่าความร้อนสูง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงโดยการอัดเม็ด ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการผลิต และนำมาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยอัตราส่วนระหว่างฝุ่นชานอ้อยและชานอ้อยร้อยละ 100 : 0, 80 : 20 มีค่าความร้อน 4,684 และ 4,368 kcal/kg (19.611 และ 18.2879 MJ/kg) ต่างจากงานวิจัย [5] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินศักยภาพและเทคโนโลยีการผลิตชีวมวลอัดแท่งในประเทศไทย 7 ชนิดได้แก่ เศษชีวมวลจากข้าว, อ้อย, มันสำปะหลัง, ข้าวโพด, ปาล์มน้ำมัน, ยางพาราและไม้ยูคาริปตัส เมื่อพิจารณาปริมาณการเหลือใช้ของชีวมวลทั้ง 7 ชนิด ในแต่ละปีนั้นมีการเหลือใช้จำนวนหลายล้านตันจึงนำมาหาค่าความร้อนเพื่อเป็นแหล่งชีวมวล โดยพิจารณาค่าความร้อน ยางพารา, เปลือกไม้ยูคาลิปตัส, ลำต้นและเหง้ามันสำปะหลัง, ยอดอ้อยและใบอ้อย และแกลบ มีค่าความร้อนคือ 17, 16.91, 15.49-15.59, 15.48 และ 13.52 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งค่าความร้อนของยางพารามากที่สุด และมีการพิจารณาความชื้นด้วย จึงมีผลสรุปออกมาว่าชีวมวลที่ควรนำมาอัดแท่งคือ ฟางข้าว ยอดอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ทะลายปาล์ม และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เปนการทดลองโดยใชฝุนชานอ้อยและชานออยมาผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยมาผสมกันในอัตราสวนตาง ๆ และทำการอัดด้วยเครื่องบดอัดแบบลูกกลิ้งแล้วสังเกตผลเมื่อได้ชีวมวลอัดเม็ดจากนั้นทำการเลือกชีวมวลอัดเม็ดที่มีคุณลักษณะทางกายภาพเหมาะสมของแต่ละอัตราส่วน มาทดสอบคุณสมบัติ แล้วนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดกับมาตรฐานสากล

ขั้นตอนการวิจัย

1. ทำการเก็บวัตถุดิบที่โรงงานน้ำตาล โดยฝุ่นชานอ้อยเก็บจากบริเวณพื้นที่ที่ไดจากเครื่องจักรที่ดักฝุ่นละอองสวนชานออยเก็บจากบริเวณอาคารที่ใชเก็บชานออยภายในโรงงานน้ำตาลมิตรพล จังหวัดสุพรรณบุรี



ภาพที่ 1 การใช้ Water Spray เพื่อดักฝุ่นชานอ้อยตก

2. เตรียมอัตราส่วนผสมโดยการนำชานอ้อย จากนั้นนำมาผสมกับฝุ่นชานอ้อย จากนั้นนำมาผสมให้เข้ากัน เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม (ฝุ่นชานอ้อย : ชานอ้อย) มีอัตราส่วนดังนี้ 100 : 0, 80 : 20, 50 : 50, 0 : 100

(ก) ฝุ่นชานอ้อยกับชานอ้อยก่อนผสม

(ข) ฝุ่นชานอ้อยกับชานอ้อยหลังผสม

ภาพที่ 2 ฝุ่นชานอ้อยกับชานอ้อยก่อนผสมและหลังผสม

3. เดินเครื่องขึ้นรูปอัดเม็ดแบบเปล่าเพื่อให้แม่พิมพ์ของเครื่องขึ้นรูปอัดแท่งมีความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส เมื่อได้อุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วนำวัตถุดิบที่ผสมตามอัตราส่วนนำไปเข้าเครื่องอัดสังเกตผลเมื่อได้ชีวมวลอัดเม็ดจากนั้นทำการเลือกชีวมวลอัดเม็ดที่มีคุณลักษณะทางกายภาพเหมาะสมของแต่ละอัตราส่วนเพื่อเตรียมทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานวิธีการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดต่อไป

การวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง ซึ่งให้ขนาดชิ้นงาน เส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดขนาด 8-10 มิลลิเมตร และยาวประมาณ 3-5 เซนติเมตร

(ก) ลักษณะภายนอกของเครื่องอัดเม็ดแบบลูกกลิ้

(ข) ลูกกลิ้งและแปลนแบบอัดเม็ด

ภาพที่ 3 เครื่องอัดแบบลูกกลิ้ง

ภาพที่ 4 การเดินเครื่องเปล่าให้ได้อุณหภูมิอยู่ที่ 70-80 องศาเซลเซียส

4. ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพโดยศึกษาจากลักษณะทั่วไป สี ความหนาแนน ความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยความหนาแน่นทำการส่งตรวจที่ห้องปฏิบัติการทดสอบสมบัติเชื้อเพลิงชีวมวลและผลิตภัณฑ์ (KUBIOMASS LABORATORY) ใช้วิธีการทดสอบ In house method base on DD CEN/TS 15405:2010 ส่วนความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางใช้เครื่องมือ Vernier caliper ทำการสุ่มตัวอย่างจำนวน 20 ตัวอย่าง

ภาพที่ 5 เครื่องมือ Vernier caliper

5. ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดโดยมีปัจจัยคือ ปริมาณความชื้น (Moisture content), ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter), ปริมาณคารบอนคงตัว (Fixed Cabon) และปริมาณเถ้า (Ash content) โดยทำการส่งตรวจที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

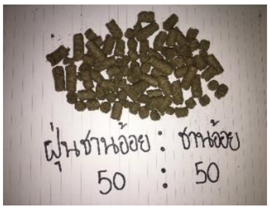
ตารางที่ 1 ปจจัยตาง ๆ ที่ใชวิเคราะหคุณสมบัติทางดานความร้อน

ปจจัย	เครื่องมือ/วิธีการทดสอบ
ปริมาณความชื้น (Moisture content)	ASTM D7582
ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter)	ASTM D7582
ปริมาณคารบอนคงตัว (Fixed Cabon)	ASTM D7582
ปริมาณเถา (Ash content)	ASTM D7582
คาความรอน (Heating Value)	BSEN14918

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาอัตราสวนผสมในการทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

ตารางที่ 2 ผลการอัดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดระหว่างฝุ่นชานอ้อยกับชานอ้อยในแต่ละอัตราส่วนต่างๆโดยใช้ความชื้นเป็นตัวควบคุม

อัตราส่วน (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	ภาพประกอบ	ลักษณะทางกายภาพ
100 : 0	29.4		สามารถขึ้นรูปได้ดี เป็นท่อนยาวตรง มีลักษณะการอัดตัวกันแน่น แต่มีรอยร้าวเล็กน้อย สีน้ำตาลเข้ม ผิวมีความมันวาวเล็กน้อย
80 : 20	32.7		สามารถขึ้นรูปได้ค่อนข้างดี เป็นท่อนยาวตรง แต่มีความยาวน้อยกว่าอัตราส่วนร้อยละ 100 : 0 มีลักษณะการอัดตัวกันแน่น แต่มีรอยร้าวเล็กน้อย สีน้ำตาลเข้ม ผิวมีความมันวาวเล็กน้อย
50 : 50	31.2		ขึ้นรูปได้น้อยมาก มีลักษณะเนื้อร่วน ไม่มีความมันวาว มีสีน้ำตาลเข้ม
0 : 100	28		ไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากขนาดของชานอ้อย มีขนาดใหญ่เกินไป จึงเกิดการติดขัด ไมสามารถอัดเปนเม็ดได

2. ผลการวิเคราะหคุณสมบัติทางกายภาพ

คุณสมบัติทางกายภาพของฝุ่นชานอ้อยและชานอ้อย

ภาพที่ 6 ฝุ่นชานอ้อยและชานอ้อย

ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของฝุ่นชานอ้อยและชานอ้อย โดยศึกษาจากลักษณะโดยทั่วไป และสีของฝุ่นชานอ้อยและชานอ่อย ซึ่งผลการวิเคราะหฝุ่นชานอ้อยมีลักษณะเป็นฝุ่นผงละเอียด มีสีน้ำตาลปนเทา ส่วนชานอ้อยมีลักษณะเป็นกากใยเป็นเส้น และมีสีน้ำตาล

คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

จากการศึกษาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่อัตราสวนตาง ๆ ระหว่างฝุ่นชานอ้อยกับชานอ้อย และทำการนำเชื้อเพลิงไปตากในที่โลงแจง จากนั้นผูวิจัยจึงนำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมาทำการวิเคราะหคุณสมบัติทางกายภาพโดยศึกษาจากความหนาแนน ความยาว และเส้นผ่าศูนย์กลาง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลของคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

อัตราส่วน (ร้อยละ)	**คุณสมบัติทางกายภาพ**		
	ความหนาแน่น (g/cm^3)	**ความยาว (mm)**	**เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)**
100 : 0	0.971	43.47	8.22
80 : 20	1.001	32.65	8.24
50 : 50	ขาดคุณสมบัติ	17.23	8.90
0 : 100	ไม่สามารถขึ้นรูปได้	ไม่สามารถขึ้นรูปได้	ไม่สามารถขึ้นรูปได้

จากตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดโดยเฉลี่ยจากตัวอย่างทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ในอัตราส่วนฝุ่นชานอ้อยร้อยละ 100 มีความยาวเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดม็ดเท่ากับ 45.47 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 8.22 มม. อัตราส่วนฝุ่นชานอ้อยร้อยละ 80 ต่อชานอ้อยร้อยละ 20 ความยาวเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดม็ดเท่ากับ 32.65 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 8.24 มม. และอัตราส่วนฝุ่นชานอ้อยร้อยละ 50 ต่อชานอ้อยร้อยละ 50 ความยาวเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดม็ดเท่ากับ 17.23 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 8.90 มม. ส่วนอัตราส่วนฝุ่นชานอ้อยร้อยละ 0 ต่อชานอ้อยร้อยละ 100 ไม่สามารถทำการวัดค่าคุณสมบัติทางกายภาพได้เนื่องจากไม่สามารถทำการขึ้นรูปได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานความยาวเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดม็ดอัตราส่วนร้อยละ 50 : 50 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด แต่อัตราส่วนร้อยละ 100 : 0 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ PFI เกรด Standard[1] และร่างมาตรฐานไทยเกรดธรรมดา/คุณภาพสูง[3] เนื่องจากความยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 43.47 มม. ซึ่งมีค่ามากกว่ามาตรฐานของ PFI เกรด Standard[1] และร่างมาตรฐานไทยเกรดธรรมดา/คุณภาพสูง[3] อยู่ที่ 1 นิ้ว เท่ากับ 25.4 มม. และ 3.15-40 มม. ตามลำดับ และอัตราส่วนร้อยละ 80 : 20 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ PFI เกรด Standard[1] เนื่องจากมีความยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 32.65 มม. ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 นิ้ว เท่ากับ 25.4 มม. ของค่ามาตรฐาน PFI เกรด Standard[1] [1] ส่วนเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดม็ดอัตราส่วนร้อยละ 100 : 0, 80 : 20 และ 50 : 50 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของมาตรฐานยุโรป EN14961-1[2] และร่างมาตรฐานไทยเกรดธรรมดา/คุณภาพสูง[3] แต่เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของอัตราส่วนร้อยละ 100 : 0, 80 : 20 และ 50 : 50 อยู่ที่ 8.22, 8.24 และ 8.90 มม. ตามลำดับ ซึ่งไม่อยู่ในช่วงของเกณฑ์มาตรฐานของ PFI เกรด Standard[1] ในช่วง 5.84 – 7.25 มม. จึงไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ PFI เกรด Standard[1] [1]

สำหรับความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด จากผลการทดลองพบว่า ที่อัตราสวนร้อยละ 100 : 0 และ 80 : 20 มีคาเทากับ 0.971 และ 1.001 g/cm^3 ตามลำดับ ซึ่งค่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของชีวมวลที่ผสมอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวลอัดม็ด เนื่องจากชีวมวลมีอนุภาคที่อัดตัวกันแน่น ส่วนชานอ้อยนั้นมีลักษณะเป็นเส้นใยเกาะตัวกันประกอบกับตัวประสาน จึงมีความหนาแน่นมากกว่าฝุ่น ดังนั้นอัตราส่วนร้อยละ 80 : 20 จึงมีความหนาแน่นมากกว่า ส่วน

อัตราส่วนร้อยละ 50 : 50 ขาดคุณสมบัติทางกายภาพจึงไม่สามารถวัดความหนาแน่นได้ และอัตราส่วนร้อยละ 100 : 0 เนื่องจากมีอนุภาคที่เล็ก ชีวมวลที่มีความหนาแน่นมากจะได้เปรียบด้านความแข็งแรงและการจัดส่ง เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานกับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดอัตราส่วนร้อยละ 100 : 0 และ 80 : 20 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของมาตรฐานยุโรป EN14961-1[2] และร่างมาตรฐานไทยเกรดธรรมดา/คุณภาพสูง[3] แต่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ PFI เกรด Standard[1] เนื่องจากความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดม็ดอัตราส่วนร้อยละ 100 : 0 และ 80 : 20 อยู่ที่ 0.971 และ 1.001 g/cm^3 ตามลำดับ ซึ่งไม่อยู่ในช่วงมาตรฐาน 0.609 – 0.737 g/cm^3 [1]

3. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนและการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ตามอัตราส่วนต่างๆ กับมาตรฐานสากล

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดกับมาตรฐานสากล

คุณสมบัติ	มาตรฐาน				ผลทดสอบชานอ้อย ± SD (ฝุ่นชานอ้อย : ชานอ้อย)	
	PFI Standard[1]	EN 14961-1[2]	รางมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดของประเทศไทย[3]		100 : 0	80 : 20
			เกรดธรรมดา	เกรดคุณภาพสูง		
ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	0.609 – 0.737	≥0.6	≥0.6	≥0.6	0.971*	1.001*
ความยาว (mm)	≤1.0 นิ้ว	≤5 นิ้ว	3.15 -40	3.15 - 40	43.47*	35.65*
เส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	5.84 - 7.25	6 – 12	6-12	6-12	8.22*	8.24*
ความชื้น (%wt)	≤10.0	≤10	≤10	≤10	8.92 ± 0.02	8.39 ± 0.02
ขี้เถ้า (%wt)	≤2.0	≤0.7	≤20	≤10	5.82 ± 0.16*	6.43 ± 0.02*
ค่าความร้อน (kcal/kg)	As-Rec ± 2SD	Minimum value	≥3,500	≥4,000	4,684 ± 13	4,368 ± 9
ปริมาณสารระเหย (%wt)	-	-	-	-	75.38 ± 0.34	74.65 ± 0.19
ปริมาณคาร์บอน (% wt)	-	-	-	-	9.89 ± 0.20	10.53 ± 0.23

หมายเหตุ : 1 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 25.4 มม.
*มีค่าไม่ผ่านมาตรฐานเกณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่งของค่ามาตรฐาน PFI เกรด Standard[1], จากมาตรฐานยุโรป EN14961-1[2] และร่างมาตรฐานไทยเกรดธรรมดา/คุณภาพสูง[3] [1]

ตารางที่ 5 ผลสรุปคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดกับมาตรฐานสากล

มาตรฐาน		ผลทดสอบชานอ้อย ± SD (ฝุ่นชานอ้อย : ชานอ้อย)	
		100 : 0	80 : 20
PFI Standard[1]		×	×
EN 14961-1[2]		×	×
รางมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดของประเทศไทย[3]	เกรดธรรมดา	×	√
	เกรดคุณภาพสูง	×	√

จากงานวิจัย เมื่อนำผลการทดสอบคุณสมบัติค่าความร้อนที่ได้จากทั้ง 2 อัตราส่วนระหว่างฝุ่นชานอ้อยกับชานอ้อยร้อยละ 100 : 0, 80 : 20 มีค่าความร้อน 4,684 และ 4,368 kcal/kg (19.611 และ 18.2879 MJ/kg) ตามลำดับ มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมาทำการแปรรูปเป็นชีวมวลพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆพบว่า มีค่าความร้อนที่มากกว่า โดยงานวิจัย [5] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินศักยภาพและเทคโนโลยีการผลิตชีวมวลอัดแท่งในประเทศไทย 7 ชนิดได้แก่ เศษชีวมวลจากข้าว, อ้อย, มันสำปะหลัง, ข้าวโพด, ปาล์มน้ำมัน, ยางพารา และไม้ยูคาริปตัส เมื่อพิจารณาปริมาณการเหลือใช้ของชีวมวลทั้ง 7 ชนิด ในแต่ละปีนั้นมีการเหลือใช้จำนวนหลายล้านตัน จึงนำมาหาค่าความร้อนเพื่อเป็นแหล่งชีวมวล โดยพิจารณาค่าความร้อน ยางพารา, เปลือกไม้ยูคาลิปตัส, ลำต้นและเหง้ามันสำปะหลัง, ยอดอ้อยและใบอ้อย และแกลบ มีค่าความร้อนคือ 17, 16.91, 15.49-15.59, 15.48 และ 13.52 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งค่าความร้อนของยางพารามากที่สุด และมีการพิจารณาความชื้นด้วย จึงมีผลสรุปออกมาว่าชีวมวลที่ควรนำมาอัดแท่งคือ ฟางข้าว ยอดอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง ทะลายปาล์ม และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส ส่วน [2] ได้ทำการศึกษาในการจัดการเปลือกสับปะรดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยวิธีอัดเย็นโดยใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานโดยทำการวิเคราะห์สมบัติด้านเชื้อเพลิงของแท่งเชื้อเพลิงตามาตรฐาน ASTM ซึ่งเชื้อเพลิงที่ได้มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3,235-3,389 kcal/kg

งานวิจัยนี้จึงเป็นงานวิจัยแนวทางเลือกใหม่ในการกำจัดสิ่งเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทโรงงานน้ำตาลทราย กล่าวคือฝุ่นชานอ้อย ซึ่งช่วยลดปริมาณฝุ่น แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ และโรคภัยซึ่งอาจเกิดกับพนักงานหรือประชาชนโดยรอบ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานความร้อนได้อีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดฝุ่นอ้อยผสมชานอ้อย กรณีศึกษาโรงงานน้ำตาลทราย โดยอัตราส่วนผสมในการอัดเม็ดระหว่างฝุ่นชานอ้อยกับชานอ้อยที่อัตราส่วนร้อยละ 100 : 0 และ 80 : 20 สามารถอัดเม็ดได้ แต่อัตราส่วน 50 : 50 อัดเม็ดขึ้นรูปได้ไม่ดี จึงไม่ผ่านคุณสมบัติทางกายภาพ และอัตราส่วนร้อยละ 0 : 100 จะไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้ เนื่องจากขนาดของชานอ้อยมีขนาดใหญ่เกินไป จึงเกิดการติดขัด ไมสามารถอัดเปนเม็ดได้ ส่วนร่างมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดของประเทศไทย ทั้งเกรดธรรมดา/คุณภาพสูง สำหรับชีวมวลอัดเม็ดฝุ่นชานอ้อยกับชานอ้อยที่อัตราส่วนร้อยละ 100 : 0 และ 80 : 20 พบว่า ค่าความร้อนของทั้ง 2 อัตราส่วน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเกรดคุณภาพสูง แต่มีเพียงความยาว ที่อัตราส่วนร้อยละ 100 : 0 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าชีวมวลอัดเม็ดอัตราส่วนร้อยละ 100 : 0 กับ 80 : 20 เมื่อทำเป็นเชื่อเพลิงอัดเม็ดนั้นให้ค่าความร้อนได้สูง ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่สามารถทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่ดีได้ โดยมีค่าความร้อน 4,684 ± 13 และ 4,368 ± 9 kcal/kg ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่เอื้อเฟื้อสำหรับสถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). [ออนไลน์]. โครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass Pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอนาคต. [สืบค้นวันที่ 12 เมษายน 2562]. จาก http://elib.dede.go.th/mm-data/Bib15106_%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B8%9B%E0%B8%AA%E0%B8%B3%E0%B8%AB%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%9C%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B8%9A%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%A3.pdf

[2] ธนาพล ตันติสัตยกุล และคณะ. (2558). "การศึกษาความเหมาะสมการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง." วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 23 ฉบับที่ 5 (ฉบับพิเศษ) : 754-773.

[3] วิรัช อยู่ชา, ชวลิต รุ่งอิทธิวงศ์, สุรเชษฐ สิทธิกิจ, สมใจ องค์วาณิชกุล, ธนา ธนานันท์, ชาญ รูปสม, กนกพรรณ อยู่ชา ,อัญชลี แย้มพยนต์ และสุรีรัตน์ วงศ์สนิท. (2558). การศึกษาการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงแข็งเพิ่มคุณค่าชีวมวลยอดและใบอ้อยเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[4] สุพจน เดชผล. (2546). การศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแทงจากกากตะกอนน้ำเสียโรงงานน้ำตาผสมกับชานออย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดลอม ภาควิชาพลังงานและวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[5] สุพิชฌาย์ บุญสนอง. (2556). การประเมินศักยภาพและเทคโนโลยีการผลิตชีวมวลอัดแท่งในประเทศไทย. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

การศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน กรณีศึกษา อำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง

Study of agricultural residues biomass for Supply in community Biomass power plant case study in Sopprap, Lampang

ภัคพงษ์ นิลคง[1*] ทิพวรรณ แชกรี[1] สุพีทิพย์ มงคลรัตน์[1] วราคม วงศ์ชัย[1] และรวิภา ยงประยูร[1]
สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน ในอำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง สำหรับขนาดของโรงไฟฟ้าชีวมวลในอำเภอสบปราบประกอบด้วยปริมาณชีวมวลและศักยภาพชีวมวลในอำเภอสบปราบ พบว่า ชีวมวลที่มีศักยภาพพลังงานสูงสุดคือ ข้าว มีพลังงานศักยภาพเท่ากับ 279,302 GJ รองลงมาคือ ข้าวโพด มันสำปะหลัง มะม่วง ลำไย และลำไย มีศักยภาพพลังงานเท่ากับ 279,302 GJ,19,783 GJ,11,659 GJ 253 GJ ,121 GJ และ232 GJ ตามลำดับ และจำแนกศักยภาพพลังงานตามตำบลในอำเภอสบปราบพบว่า ตำบลสบปราบมีศักยภาพพลังงานสูงสุด เนื่องจากตำบลสบปราบมีการปลูกข้าวเป็นจำนวนมาก รองลงมา คือ ตำบลสมัย ตำบลนายาง และตำบลแม่กัวะ ตามลำดับ โดยเทคโนโลยีที่ใช้ คือ เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรงใช้ระบบสโตกเกอร์แบบกระจาย จากการหาขนาดของโรงไฟฟ้า ชีวมวลที่เหมาะสมของอำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง พบว่าชีวมวลของอำเภอสบปราบสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงโรงไฟฟ้าได้ โดยการคำนวณปริมาณชีวมวลและค่าศักยภาพความของชีวมวลแต่ละชนิดในอำเภอสบปราบ จึงได้ทราบขนาดของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีความเหมาะสมของอำเภอสบปราบ คือ มีขนาด 2.9 MW

คำสำคัญ: โรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

[*] Corresponding author: Tel.: 099 - 9720761. E-mail address: Phakkapongnilkong@gmail.com

บทนำ

แนวโน้มการขยายตัวทางเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ส่งผลทำให้มีความต้องการพลังงานสูงขึ้นตามไปด้วย สำหรับประเทศไทยที่มีความต้องการพลังงานเพิ่มสูงขึ้นทุกปีอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า พบว่าในปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดสุทธิเท่ากับ 30,218 MW เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2558 และในปี พ.ศ. 2579 คาดว่าประเทศไทยจะมีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 49,655 MW [1] ปัจจุบันประเทศไทยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลักในการผลิตไฟฟ้าของประเทศ โดยที่ประเทศไทยมีพื้นฐานเป็นประเทศเกษตรกรรม การใช้ชีวมวลเหลือทิ้งจากการเกษตรในการผลิตไฟฟ้าจึงเป็นทางเลือกที่มีความเป็นไปได้สูง ซึ่งพลังงานที่ผลิตจากพืชชีวมวลสามารถให้พลังงานความร้อนเพื่อทำการผลิตไอน้ำและเพื่อทำการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ พลังงานชีวมวลจึงเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพเพียงพอ ที่จะนำมาผลิตเป็นพลังงานศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชนอำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง

ทั้งนี้ประชากรจังหวัดลำปางส่วนใหญ่ประกอบอาชีพด้านเกษตรกรรมโดยพืชเศรษฐกิจที่สำคัญได้แก่ ข้าว พืชไร่ พืชผัก และไม้ผลไม้ยืนต้น มีพื้นที่เพาะปลูก 522,757, 345,776, 204,927 และ 37,653 ไร่ตามลำดับ [2] ส่งผลทำให้มีผลผลิตทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ในการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรนั้นจะมีวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรเป็นจำนวนมาก ในปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่กำจัดเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยการเผาทิ้ง ส่งผลทำให้เกิดปัญหาตามมาเช่น ทำให้เกิดไฟป่า เกิดปัญหาหมอกควัน มลภาวะอากาศ

ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการทำวิจัย เพื่อศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน ในเขตพื้นที่สหกรณ์การเกษตรสบปราบ จำกัด และพื้นที่ใกล้เคียงจังหวัดลำปาง ซึ่งเป็นกลุ่มสหกรณ์การเกษตรที่เข้มแข็ง โดยการศึกษาศักยภาพการจัดการมวลเหลือใช้ทางการเกษตรในปัจจุบัน แนวทางการประเมินที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์จัดสรรการใช้พลังงานทางเลือกอื่นได้ตามความเหมาะสม

วิธีการวิจัย

การศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. การศึกษาปริมาณและศักยภาพชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1.1 ลงพื้นที่สอบถามข้อมูลจากสำนักงานเกษตรอำเภอสบปราบ เพื่อรวบรวมข้อมูลการใช้ที่ดินในการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง มะม่วง มะขาม และลำไย

1.2 ศึกษาข้อมูลปริมาณชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน โดยมี การคำนวณปริมาณชีวมวลจากสมการได้ดังต่อไปนี้

ปริมาณชีวมวล (ตัน) = ผลผลิตทางการเกษตร (ตัน) x อัตราส่วนชีวมวลต่อผลผลิต

หรือ ปริมาณชีวมวล (ตัน) = พื้นที่เพาะปลูก (ไร่) x เศษชีวมวล (ตัน/ไร่)

1.3 ศึกษาข้อมูลศักยภาพชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยมีการคำนวณหาศักยภาพชีวมวลจากสมการได้ดังต่อไปนี้

ศักยภาพพลังงานชีวมวล (MJ) = ปริมาณชีวมวล (kg) x Factor วัสดุเหลือใช้ที่ยังไม่มีการใช้

x ค่าความร้อน (MJ/kg)

2. การศึกษาขนาดของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับชุมชน

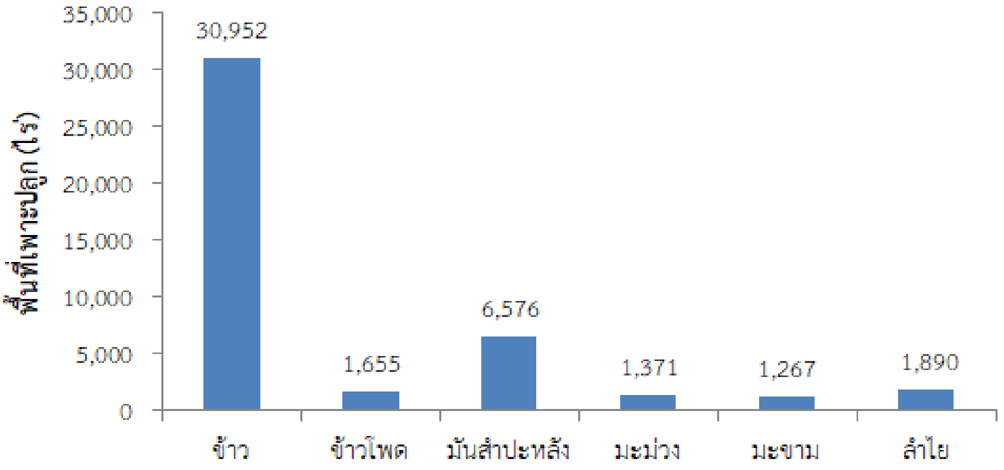
ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องพร้อมวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการติดตั้งโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชนจากงานวิจัย โดยพิจารณาจากปริมาณทางชีวมวลใน อำเภอสบปราบ เพียงพอสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 500 kW และขนาด 9 MW [3]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาศักยภาพชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชุมชน ในอำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง มีรายละเอียดดังนี้

1. ปริมาณและศักยภาพชีวมวลในอำเภอสบปราบ

ผลจากการลงพื้นที่สอบถามข้อมูลจากสำนักงานเกษตรอำเภอสบปราบ เพื่อรวบรวมข้อมูลการใช้ที่ดินในการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ มีการปลูกพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพด้านพลังงานที่น่าสนใจ ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง มะม่วง มะขาม และลำไย พบว่า พื้นที่เพาะปลูกพืชชีวมวลมากที่สุด คือ ข้าวมีพื้นที่เพาะปลูก 30,950 ไร่ รองลงมาเป็นมันสำปะหลัง ลำไย ข้าวโพด มะม่วง และมะขาม มีพื้นที่เพาะปลูกเท่ากับ 6,576 ไร่ 1,890 ไร่ 1,655 ไร่ 1,371 ไร่ และ 1,267 ไร่ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปริมาณพื้นที่เพาะปลูกของพืชเศรษฐกิจที่มีศักยภาพในอำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง

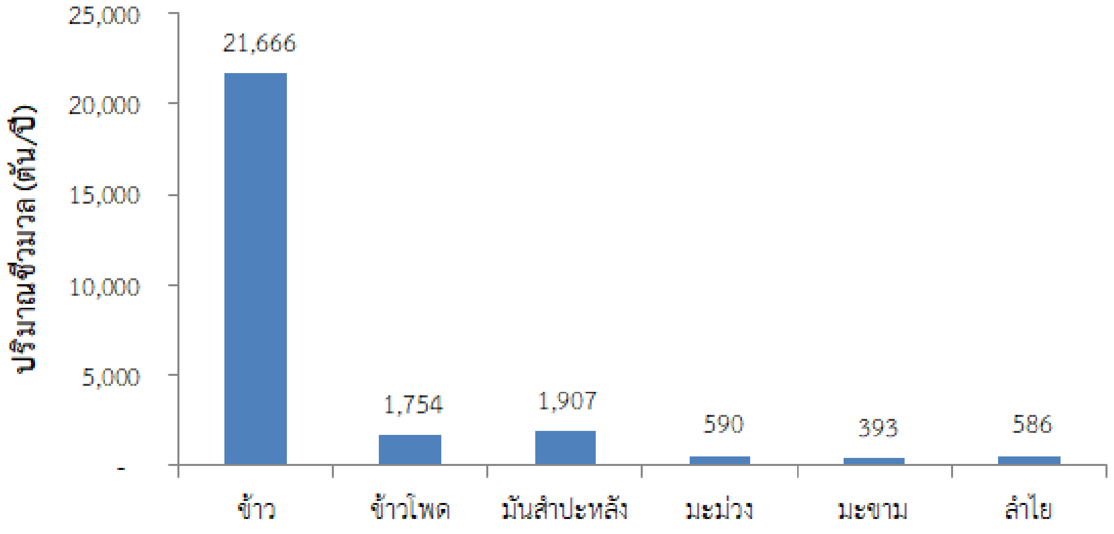
พบว่าข้าวมีผลผลิต 599 กิโลกรัม/ไร่ ข้าวโพด 866 กิโลกรัม/ไร่ มันสำปะหลัง 3,800 กิโลกรัม/ไร่ และมีอัตราส่วนการเกิดชีวมวลของคือ แกลบ ฟางข้าว ลำต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด ลำต้นมันสำปะหลัง เหง้ามันสำปะหลัง ยอด ใบ ลำต้น เท่ากับ 0.21 , 0.49, 0.82,0.24, 0.09 และ 0.2 ตามลำดับ ในส่วนของชีวมวลของ มะม่วง มะขาม และลำไยจะเป็นเศษกิ่งจากการตัดแต่ง โดยมีอัตราส่วนการเกิดชีวมวลเท่ากับ 0.43 ตัน/ไร่ 0.31 ตัน/ไร่ และ0.31 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลสัดส่วนของชีวมวลและค่าความร้อนของชีวมวล

ชนิดพืช	ผลผลิต(กิโลกรัม/ไร่)	ชนิดชีมวล	สัดส่วนชีวมวลผลผลิต (ตัน/ตันผลิต)	ค่าความร้อน (MJ/Kg)
ข้าว	599	ฟาง	0.49	12.33
		แกลบ	0.21	14.2
ข้าวโพด	866	ลำต้นข้าวโพด	0.82	9.83
		ซังข้าวโพด	0.24	16.22
มันสำปะหลัง	3,800	เหง้ามันสำปะหลัง	0.2	5.49
		ลำต้นมันสำหลังปะหลัง	0.09	7.5
มะม่วง	-	เศษกิ่งมะม่วง	0.43	18.98
มะขาม	-	เศษกิ่งมะขาม	0.31	17.35
ลำไย	-	เศษกิ่งลำไย	0.31	17.35

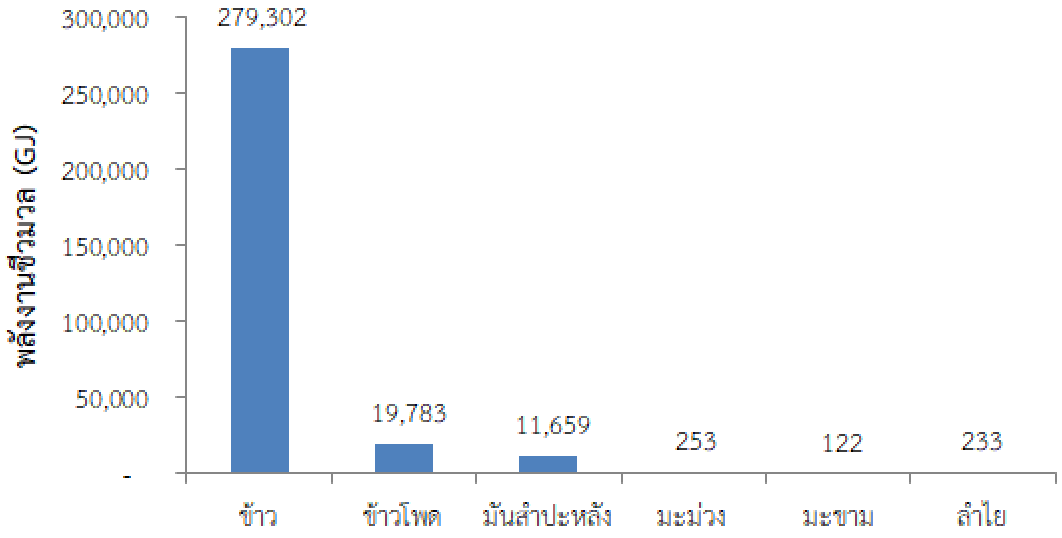
ที่มา: คู่มือการพัฒนาและลงทุนผลิตพลังงานทดแทน พลังงานชีวมวล ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน [3]

พบว่าปริมาณชีวมวลที่ได้จากข้าว แกลบ 6,500 ตัน ฟาง 15,166 ตัน ชีวมวลที่ได้จากข้าวโพด ลำต้น 1,357 ตัน ซัง 397 ตัน ชีวมวลที่ได้จากมันสำปะหลัง ลำต้น 592 ตัน เหง้า 1,315 ตัน ชีวมวลที่ได้จากต้นมะม่วง กิ่ง 590 ตัน ชีวมวลที่ได้จากมะขาม กิ่ง 393 ตัน และชีวมวลที่ได้จากลำไย กิ่ง 586 ตัน ตามลำดับ รวมทั้งหมด 26,896 ตัน ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ปริมาณชีวมวลในอำเภอสบปราบ

พบว่าพลังงานที่ได้จากข้าว 279,302 GJ พลังงานที่ได้จากข้าวโพด 19,783 GJ พลังงานที่ได้จากมันสำปะหลัง 11,659 GJ พลังงานที่ได้จากต้นมะม่วง กิ่ง 253 GJ พลังงานที่ได้จากต้นมะขาม กิ่ง 121 GJ พลังงานที่ได้จากต้นลำไย กิ่ง 232 GJ ตามลำดับ รวมทั้งหมด 311,352 GJ ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 พลังงานความร้อนของชีวมวลอำเภอสบปราบ

3.2 ขนาดโรงไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับชุมชน

ปริมาณชีวมวลเนื่องด้วยปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ความสำคัญยิ่งในการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ ดังนั้นก่อนการเริ่มดำเนินโครงการจำเป็นต้องศึกษาปริมาณเชื้อเพลิงอย่างละเอียด ว่ามีปริมาณชีวมวลในพื้นที่เพียงพอตลอดระยะเวลาดำเนินโครงการ รวมถึงราคาและค่าขนส่งของชีวมวลที่ส่งมาจากแหล่งต่างๆ โดยพิจารณาความเสี่ยงด้านราคาของชีวมวล เนื่องจากเป็นผลผลิตทางการเกษตรชนิดหนึ่งและทำให้ขาดความสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ทางแก้ไขคือสำรองชีวมวลไว้จำนวนหนึ่งช่วงฤดูเก็บเกี่ยวเพื่อนำมาใช้ในฤดูเก็บเกี่ยวหรือหาชีวมวลอื่นๆเข้ามาเสริมหรือทดแทนเชื้อเพลิงหลัก เพื่อในการจัดหาเชื้อเพลิง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราบริโภคชีวมวลในการผลิตไฟฟ้าขนาด 1 MW

ลำดับที่	ประเภทชีวมวล	Ton/yr/MW
1	แกลบ	9,600
2	ฟางข้าว	10,500
3	เหง้ามันสำปะหลัง	23,600
4	ซังข้าวโพด	13,500
5	ลำต้นข้าวโพด	13,200
6	เศษไม้สับแห้ง(มะม่วง,มะขาม,ลำไย)	7,620

หมายเหตุ : คิดค่าประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าที่ 20% [3]

ในส่วนของ**ฟางข้าว**การใช้ประโยชน์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลยังไม่มี ส่วนใหญ่จะใช้ในภาคการเกษตร ได้แก่ ใช้เพื่อเลี้ยงสัตว์(วัว) เพาะเห็ดฟาง ทำปุ๋ย ส่วนที่เหลือจะปล่อยทิ้งไว้ในไร่นา บางรายมีการเผาทิ้ง

การใช้ประโยชน์ของ**ซังข้าวโพด**หลักๆอยู่ในภาคอุตสาหกรรม เช่นใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวล และใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์ อาหารสัตว์ และใช้ประโยชน์ในครัวเรือนเพื่อเป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม ส่วนที่เหลือทางการเกษตรจะปล่อยให้ย่อยสลายเป็นปุ๋ย ในบางรายอาจมีการเผาทิ้ง

ในส่วนของ**ลำต้น ยอดและใบข้าวโพด**สัดส่วนการนำไปใช้ประโยชน์พบว่าร้อยละ 100 มีการใช้เป็นปุ๋ย นอกจากนี้ในส่วนของอำเภอสบปราบ พบว่าร้อยละ 24 มีการนำไปใช้ในส่วนอื่นๆ เช่น ใช้เป็นอาหารสัตว์และเผาทิ้ง ส่วนใหญ่ยังไม่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน เนื่องจากยากต่อการจัดเก็บและรวบรวมมาใช้ประโยชน์ใช้ในปริมาณมาก ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากชีวมวลที่ได้จากข้าวโพด ในส่วนของลำต้นรวมทั้งยอดและใบจะถูกทิ้งไว้ในไร่ เพื่อทำการไถ่กลบหรือถูกทิ้งในบางพื้นที่

ในส่วนของ**เหง้ามันสำปะหลัง**ยังไม่พบการนำไปใช้ประโยชน์ จะเหลือใช้เกือบร้อยละ 100 ซึ่งส่วนที่เหลือนี้จะถูกนำไปทำปุ๋ยโดยการไถกลบ หรือเผาทิ้ง

ในส่วนของ**กิ่งต้น**มะม่วง มะขาม ลำไย และต้นสัก สัดส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์พบว่า ร้อยละ 100 ใช้ประโยชน์ในครัวเรือนเพื่อเป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล

กำลังผลิตติดตั้ง	MW	ขนาด 500 kW	ขนาด 2.9 MW	ขนาด 9 MW
ดอกเบี้ยเงินกู้	%	9.00	9.00	9.00
Plant Factor	%	75.00%	75.00%	75.00%
อายุการผลิตไฟฟ้า	Year	25	25	25
ค่า Capital Recovery Factor	-	0.0101806	0.0101806	0.0101806
ค่าความร้อนของชีวมวล	MJ/kg	14.65	14.65	14.65
ค่าความร้อนที่ได้ต่อตันชีวมวล	kWht/ตัน	4,069.8	4,069.8	4,069.8
Thermal Plant Efficiency	%	20.00%	20.00%	23.00%
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากชีวมวล	kWh/ตัน	814.0	814.10	936.0
ปริมาณชีวมวลที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า	ตัน/ปี	4,036	23,403.76	63,170
ค่าดูแลรักษาระบบ	Bath/yr	796,875	3,811,875.00	11,475,000
ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไฟฟ้าต่อปี**	kWh/yr	4,035,857	23,403,758.75	63,169,938
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด	kWh/yr	3,285,000	19,053,000.00	59,130,000
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิ***	Bath/yr	2,956,500	17,147,700.00	53,217,000
ราคาของระบบทั้งหมด	Bath/kW	63,750	52,577.59	51,000
กรณีที่ 1 ได้รับเงินช่วยเหลือ	0.0 %			
เงินลงทุนของโครงการ*	Bath	31,875,000	152,475,000.00	459,000,000
เงินลงทุนต่อปี	Bath/yr	3,245,074	15,522.908.05	46,729,069
ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย	Bath/ kWh	2.73	2.49	2.28
กรณีที่ 2 ได้รับเงินช่วยเหลือ	30%			
เงินลงทุนของโครงการ*	Bath	22,312,500	106,732,500.00	321,300,000
เงินลงทุนต่อปี	Bath/yr	2,271,552	10,866,035.63	32,710,348
ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย	Bath/ kWh	2.40	2.22	2.02

*คิดค่าบำรุงรักษาและค่าพลังงานคงที่ใช่ค่า O&M = 2.50% ของเงินลงทุน

***ใช้ไฟฟ้าภายใน 10% **ราคาชีวมวล/แกลบ =1,000 บาท/ตัน

ที่มา: คู่มือการพัฒนาและลงทุนผลิตพลังงานทดแทน พลังงานชีวมวล ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน [3]

จากการสำรวจพบว่า ปริมาณชีวมวลของอำเภอสบปราบมีความเหมาะสมกับโรงไฟฟ้า และจากการหาขนาดของโรงไฟฟ้าชีวมวล โดยการคำนวณปริมาณชีวมวลและค่าศักยภาพความของชีวมวลแต่ละชนิดในอำเภอสบปราบ จึงได้ทราบขนาดของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีความเหมาะสมของอำเภอสบปราบ คือขนาด 2.9 MW

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน ในอำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง สำหรับขนาดของโรงไฟฟ้าชีวมวลในอำเภอสบปราบประกอบด้วยปริมาณชีวมวลและศักยภาพชีวมวลในอำเภอสบปราบ พบว่า ชีวมวลที่มีศักยภาพพลังงานสูงสุดคือ ข้าวมีพลังงานศักยภาพเท่ากับ 279,302 GJ รองลงมาคือ ข้าวโพด มันสำปะหลัง มะม่วง ลำไย และลำไย มีศักยภาพพลังงานเท่ากับ 279,302 GJ,19,783 GJ,11,659 GJ 253 GJ ,121 GJ และ232 GJ ตามลำดับ และจำแนกศักยภาพพลังงานตามตำบลในอำเภอสบปราบพบว่า ตำบลสบปราบมีศักยภาพพลังงานสูงสุด เนื่องจากตำบลสบปราบมีการปลูกข้าวเป็นจำนวนมาก รองลงมา คือ ตำบลสมัย ตำบลนายาง และตำบลแม่กัวะ ตามลำดับ

โดยเทคโนโลยีที่ใช้คือ เทคโนโลยีการเผาไหม้โดยตรงใช้ระบบสโตกเกอร์แบบกระจาย จากการหาขนาดของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่เหมาะสมของอำเภอสบปราบ จังหวัดลำปาง พบว่าชีวมวลของอำเภอสบปราบสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงโรงไฟฟ้าได้ โดยการคำนวณปริมาณชีวมวลและค่าศักยภาพความของชีวมวลแต่ละชนิดในอำเภอสบปราบจึงได้ทราบขนาดของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีความเหมาะสมของอำเภอสบปราบ คือ มีขนาด 2.9 MW

กิตติกรรมประกาศ

วิจัยเรื่อง การศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และความกรุณาช่วยเหลือให้คำแนะนำจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รวิภายงประยูร และผู้ ช่วยศาสตราจารย์ วราคม วงศ์ชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการได้ให้ขั้นตอนการทำการวิจัยเป็นไปได้ด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพจนสำเร็จทางคณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณชาวบ้านชุมชน อ.สบปราบ จ.ลำปาง ที่มีส่วนร่วมในโครงการวิจัยนี้มาโดยตลอด ที่ให้สถานที่ในการศึกษาศักยภาพพลังงานชีวมวลจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานทุกท่านรวมทั้งเจ้าหน้าที่มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางทุกท่านที่ได้ให้ความสะดวกในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่คอยให้กำลังใจและกำลังทรัพย์ ที่สนับสนุนข้าพเจ้ามาด้วยดีเสมอและท่านผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม

เอกสารอ้างอิง

[1] แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 กระทรวงพลังงาน, 2558

[2] กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดลำปาง พ.ศ.2559

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2554) **คู่มือพัฒนาการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่4 พลังงานชีวมวล** : กระทรวงพลังงาน

การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการอบแห้งสมุนไพรด้วยตู้อบแห้งลมร้อน

The Suitable Condition for drying Herb through Hot Air Oven Dryer

สิตานันท์ โกวฤทธิ์[1] และสุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี[1*]
สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชนวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180

บทคัดย่อ

การอบแห้งสมุนไพรด้วยตู้อบแห้งลมร้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะในการอบแห้งสมุนไพรให้มีความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพร 996/2556 (มผช.-สมุนไพรแห้ง 996/2556) ความชื้นไม่เกิน 10% สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องอบแห้งสมุนไพรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้กับกลุ่มสมุนไพรตำบลกึ้ดช้าง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ สมุนไพรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย ขิง ตะไคร้ ผิวมะกรูด ใบมะกรูด และมะนาว หั่นหนา 0.1, 0.5 และ 1 cm ยกเว้นตะไคร้ที่หั่นแว่นและเฉียง อบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 ℃ ผลการดำเนินงานวิจัยพบว่า การอบแห้งใบมะกรูด ผิวมะกรูด และขิง หนา 0.1 cm อบที่อุณหภูมิ 40℃ เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง ได้สมุนไพรที่มีความชื้นตาม มผช.สมุนไพรแห้ง สำหรับมะนาวต้องอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 50℃ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และตะไคร้ต้องหั่นเฉียงขนาด 1 cm อบด้วยอุณหภูมิ 70 ℃ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ดังนั้นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งสมุนไพรด้วยตู้อบแห้งลมร้อนต้องใช้สมุนที่หั่นหนา 0.1 cm อบที่อุณหภูมิไม่เกิน 50℃ ยกเว้นตะไคร้ และสมุนไพรทั้ง 5 ชนิดใช้เวลาในการอบแห้งไม่เกิน 6 ชั่วโมง ยกเว้นมะนาว

คำสำคัญ : การอบแห้ง ตู้อบแห้งลมร้อน สมุนไพร

[*] Corresponding author: Tel.: 082-5351987. E-mail address: jansrisnar@gmail.com

บทนำ

กลุ่มนวดสมุนไพรเพื่อสุขภาพองค์การบริหารส่วนตำบลกื้ดช้าง ตำบลแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ใช้สมุนไพรที่ได้จากพืชสมุนไพร ใบ กิ่ง ผล และลำต้น ทั้งแบบสดและแบบแห้งเพื่อใช้ประกอบกิจกรรมการนวด การผลิตสมุนไพรแห้งของกลุ่มได้ดำเนินการโดยการตากแห้งด้วยแสงแดด ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน [1][2]นอกจากนี้สภาพภูมิอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้กลุ่มนวดต้องใช้ตู้อบแห้งแบบรมควันอย่างง่ายที่สร้างขึ้นดังแสดงในภาพที่ 1 แทนการตากแห้งด้วยแสงแดด แม้ตู้อบรมควันสามารถช่วยให้สามารถผลิตสมุนไพรแห้งในช่วงฤดูฝนได้ แต่ด้วยข้อจำกัดของงบประมาณทำให้ตู้อบรมควันที่ใช้อยู่ในปัจจุบันไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน และเมื่อนำไปอบสมุนไพรสดที่มีความหนาและความชื้นสูงต้องใช้เวลานานกว่า 5 วัน ดังนั้นสมาชิกกลุ่มจึงเกิดข้อกังวลในเรื่องคุณภาพของผลิตภัณฑ์สมุนไพรแห้ง

ภาพที่ 1 ตู้อบแห้งแบบรมควันอย่างง่าย

ดังนั้นเพื่อให้การผลิตสมุนไพรที่มีคุณภาพและปลอดภัยตามตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน-สมุนไพรแห้ง (มผช. 996/2556) [3] และประกาศจากกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 280) [4] งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่หาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการอบแห้งสมุนไพรด้วยตู้อบลมร้อนเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องอบแห้งสมุนไพรพลังงานแสงอาทิตย์ในโอกาสต่อไป

วิธีการวิจัย

1.กระบวนการอบแห้งสมุนไพรด้วยตู้อบแห้งลมร้อน

สมุนไพรที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้มี 5 ชนิด ได้แก่ ขิง ตะไคร้ ผิวมะกรูด มะนาว และใบมะกรูด สมุนไพรทั้งหมดถูกหั่นให้มีความหนา 0.1, 0.5 และ 1 cm ยกเว้นตะไคร้ที่มีการศึกษาทั้งแบบหั่นแว่น และแบบหั่นเฉียงดังแสดงในภาพที่ 2 จากนั้นนำสมุนไพรไปอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 °C พร้อมติดตามน้ำหนักของสมุนไพรทุก 30 นาที

(1) ตะไคร้แบบหั่นแว่น (2) ตะไคร้แบบหั่นแว่น

ภาพที่ 2 ลักษณะของสมุนไพรที่ใช้ในการอบแห้ง ขนาด 0.1, 0.5 และ 1 cm

2. ค่าความชื้นสมุนไพร

น้ำหนักสมุนไพรแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาที่อบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิตามดังระบุไว้ในข้างต้น นำมาใช้ในการคำนวณโดยเทียบกับน้ำหนักแห้งของสมุนไพรแต่ละชนิด ดังแสดงในสมการที่ 1 [5] ค่าที่ได้แสดงในรูปของร้อยละความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$\%d.b = (W-d)/d\times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ %d.b. คือ ร้อยละความชื้นมาตรฐานแห้ง

W คือ น้ำหนักวัสดุเปียก (กรัม)

d คือ น้ำหนักวัสดุแห้ง (กรัม)

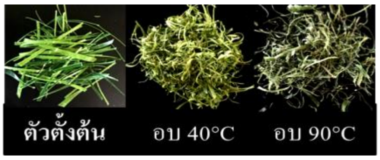
ผลวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ลักษณะของสมุนไพร

สมุนไพรก่อนและหลังอบแห้งดังภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อน้ำในสมุนไพรเกิดการระเหยออกไปทำให้สมุนไพรที่ได้มีน้ำหนักน้อยกว่าก่อนอบ และสีของสมุนไพรหลังอบมีการเปลี่ยนแปลง แต่สมุนไพรหลังอบยังมีกลิ่นหอมเหมือนเดิม

(1) ตะไคร้แบบหั่นแว่น

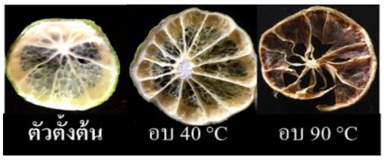
(2) ตะไคร้แบบหั่นเฉียง



(3) ใบมะกรูด

(4) ผิวมะกรูด

(5) ขิง



(6) มะนาว

***ภาพที่* 3** สมุนไพรที่ผ่านการอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวตั้งต้น

2. เงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้ง

ขิง ผิวมะกรูด ใบมะกรูด และมะนาว ที่ถูกหั่นให้มีความหนา 0.1, 0.5 และ 1 cm ยกเว้นตะไคร้ถูกหั่น 2 แบบ คือ แบบหั่นแว่น และแบบหั่นเฉียง ในระหว่างการอบทุก 30 นาที ได้นำมาชั่งเพื่อติดตามความชื้น โดยสมุนไพรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 มาตรฐานแห้ง ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 การอบแห้งตะไคร้ ขิง ผิวมะกรูด ใบมะกรูด และมะนาว ต้องหั่นให้มีความหนา 0.1 cm และอุณหภูมิที่ 40 °C [6] เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบแห้งสมุนไพรที่กล่าวมาข้างต้น ยกเว้นขิงต้องอบแห้งที่อุณหภูมิที่ 50 °C [6] ระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งขิง ผิวมะกรูด ใบมะกรูด และมะนาว คือ 5, 6, 4 และ 11 ชั่วโมง ตามลำดับ ซึ่งเหมือนกับการอบแห้งสมุนไพรสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการอบแห้งขิง ใบเตย กุหลาบและใบบัวบกใช้ระยะเวลาในการอบแห้งประมาณ 4-13 ชั่วโมง [5][6][7][8][9]

ตารางที่ 1 เงื่อนไขที่เหมาะสมของการอบสมุนไพร

ชนิดสมุนไพร	ขนาด (cm)	อุณหภูมิ (°C)	ระยะเวลา (hr)
ขิง	0.1	50	5
ผิวมะกรูด	0.1	40	6
ใบมะกรูด	0.1	40	4
มะนาว	0.1	40	11
ตะไคร้หั่นแว่น	0.1	50	6
ตะไคร้หั่นเฉียง	1	70	4

สำหรับการอบแห้งตะไคร้นั้น พบว่า ตะไคร้หั่นแว่น และหั่นเฉียงควรมีความหนา 0.1 และ 1 cm อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 70 °C เป็นเวลา 6 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ แม้การอบแห้งตะไคร้แบบหั่นแว่นที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ใช้เงื่อนไขและให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับการศึกษาการอบแห้งตะไคร้และใบเตยหอมในการทำชา [5] แต่การวิจัยนี้เลือกการอบแห้งตะไคร้แบบหั่นเฉียงทั้งๆที่ใช้อุณหภูมิสูงกว่าแบบหั่นแว่นก็ตาม เนื่องจากตะไคร้แบบหั่นเฉียงมีพื้นที่ผิวมากกว่าแบบหั่นแว่น [10] จึงสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งได้ นอกจากนั้นผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีขนาดใหญ่จึงเกิดความเสียหายในระหว่างการจัดเก็บ

สรุปผล

เงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งสมุนไพรด้วยตู้อบแห้งลมร้อนต้องใช้สมุนที่หั่นหนา 0.1 cm อบที่อุณหภูมิไม่เกิน 50°C สำหรับตะไคร้ต้องหั่นในลักษณะเฉียงหนา 1 cm อบที่อุณหภูมิ 70 °C ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสมุนไพรทั้ง 5 ชนิดไม่ควรเกิน 6 ชั่วโมง ยกเว้นมะนาวต้องใช้เวลาประมาณ 11 ชั่วโมง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่สนับสนุนพื้นที่ และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัยในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] นักสิทธิ์ ปญโญใหญ่. (2554). การศึกษารูปแบบการอบแห้งการอบแห้งสมุนไพรบางชนิด: **แก่นเกษตร 39** ฉบับพิเศษ: 488-492 (2554).

[2] สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา (2555), การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. **สำนักพิมพ์ท้อป 255** จำกัด.กรุงเทพ

[3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: สมุนไพรรวมแห้งชงดื่ม.มผช 996/2556. **กระทรวงอุตสาหกรรม.** กรุงเทพ.

[4] กองควบคุมอาหารและยา สำนักคณะกรรมการอาหารและยา. (2549). แนวทางพิจารณาอาหาร:ชาสมุนไพร. **สำนักงานควบคุมอาหารและยา.**กรุงเทพ

[5] สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล. (2557). การอบแห้งใบเตยและตะไคร้เพื่อผลิตชาสมุนไพรด้วยพลังงานความร้อนหลายรูปแบบ: **การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14** และระดับนานาชาติครั้งที่ 6 ประจำปี 2556.311-324.

[6] อำไพศักดิ์ ทีบุญมา. (2553). การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด.**วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, 15 (2553) 2:76-86.

[7] กีรติ เกิดศิริ. (2557). การอบแห้งใบเตยหอม: **การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศ ไทยครั้งที่ 1** (น.502): มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

[8] ลิลลา ชาญเชี่ยว (2017). การอบแห้งใบบัวบกเพื่อผลิตใบบัวบกเป็นชาแห้งดื่มด้วยรังสีอินฟราเรด. **KKU Res.J**. 2013;18(2) 311-324.

[9] วรินธร พูลศรี. (2550). การศึกษาวิธีการอบแห้งในการทำชากุหลาบ.**วารสารวิจัย**,16 (2550) 2:1-9

[10] อิศเรศ วรรณทร. (2554). การศึกษากระจายอุณหภูมิและความชื้นของวัสดุพรุนในเครื่องอบแห้งแบบอบแห้งลมร้อนโดยใช้การคำนวณพลศาสตร์ของไหล.ปริญญานิพนธ์ วศ.ม(วิศวกรรมการเครื่องกล).กรุงเทพฯ:บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย.มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายด้วยกรดและกระบวนการผลิตไบโอเอทนอลของสาหร่ายขนาดเล็ก

Correlation development between parameters used in Acid-hydrolysis process and bioethanol production from micro algae.

อนันตภรณ์ จำปาหอม[1] และเก้ากันยา สุดประเสริฐ[1*]

[1]สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายด้วยกรดและกระบวนการผลิตไบโอเอทานอลของสาหร่ายขนาดเล็ก โดยการผลิตไบโอเอทานอลจากสาหร่ายขนาดเล็กต้องทำการปรับสภาพ (Pretreatment) สาหร่ายด้วยกระบวนการย่อยสลายด้วยกรด (Acid -hydrolysis) จะได้น้ำตาลเป็นผลผลิตมากที่สุดเฉลี่ยประมาณ 58 % ของปริมาณสาหร่ายทั้งหมด ผลผลิตที่ได้จากการหมักโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* ในกระบวนการหมัก (Fermentation) สามารถผลิตเอทานอลได้มากที่สุดเฉลี่ยประมาณ 47% ของปริมาณน้ำตาลกลูโคสทั้งหมด ในกระบวนการย่อยสลายด้วยกรด ตัวแปรปริมาณสาหร่าย และความเข้มข้นของกรด มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณน้ำตาลกลูโคส คือเมื่อปริมาณสาหร่าย หรือความเข้มข้นของกรด ตัวใดตัวหนึ่งเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณน้ำตาลกลูโคสจะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนเวลาและอุณหภูมิ จะมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม คือเมื่อเวลาหรืออุณหภูมิตัวใดตัวหนึ่งเพิ่มสูงขึ้นปริมาณน้ำตาลกลูโคสก็จะลดลง ส่วนในกระบวนการหมัก ตัวแปรปริมาณน้ำตาลกลูโคส ปริมาณของยีสต์ และเวลา มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณเอทานอล คือเมื่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส หรือปริมาณยีสต์หรือเวลา ตัวใดตัวหนึ่งเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณเอทานอลจะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณเอทานอล คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นปริมาณเอทานอลก็จะลดลง

คำสำคัญ:สาหร่ายขนาดเล็ก กระบวนการย่อยสลายด้วยกรด กระบวนการหมัก ไบโอเอทานอล

บทนำ

การผลิตไบโอเอทานอลในปัจจุบันนิยมใช้พืชที่เป็นอาหารของมนุษย์และสัตว์เป็นวัตถุดิบตั้งต้นซึ่งทำให้เกิดความไม่มั่นคงทางอาหารเกิดขึ้น จึงได้มีการคิดค้นการนำสาหร่ายมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอเอทานอล สาหร่ายเป็นพืชที่มีอัตราการเติบโตที่ไวกว่าพืชอาหาร มีแป้งเป็นองค์ประกอบ สาหร่ายมีมากมายหลายสายพันธุ์ จึงเป็นเรื่องยากที่จะคัดเลือกสาหร่ายมาใช้ในการผลิตไบโอเอทานอลให้ได้ประสิทธิภาพสูงที่สุด การผลิตไบโอเอทานอลจากสาหร่ายยังไม่แพร่หลาย จึงทำให้สาหร่ายที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบมีไม่มากนัก อีกทั้งการนำสาหร่ายมาผลิตไบโอเอทานอลนั้นมีกระบวนการขั้นตอนที่ซับซ้อน ทำให้ต้องใช้เวลาและต้นทุนที่สูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรในการผลิตไบโอเอทานอลจากสาหร่ายได้แก่ ตัวแปรความเข้มข้นของกรดกับอุณหภูมิในการย่อยสลายด้วยกรด และ ตัวแปรเวลากับอุณหภูมิในกระบวนการหมัก โดยได้คาดหวังผลลัพธ์ที่ได้ออกมาว่าจะสามารถสร้างสมการที่นำมาใช้งานได้ง่าย สามารถ

* Corresponding author: Tel.: 02 470 8630 E-mail address: kaokanya.sud@kmutt.ac.th

ลดขั้นตอนกระบวนการผลิตไบโอเอทานอลที่ยุ่งยากและซับซ้อน อีกทั้งเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิตก็มีราคาแพง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในแบบจำลองเพื่อศึกษากระบวนการผลิตไบโอเอทานอลให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

วิธีการวิจัย

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษานี้มาจากการรวบรวมข้อมูลของงานวิจัยที่เกี่ยวกับการทดลองในเรื่องของกระบวนการย่อยสลาย ด้วยกรดของสาหร่ายขนาดเล็ก chlorella sp.และกระบวนการหมักโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* เท่านั้น โดยจะศึกษาเฉพาะเรื่องปฏิกิริยาในกระบวนการ ตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการทั้งสองกระบวนการ ซึ่งสัญลักษณ์ที่ใช้สื่อถึงตัวแปรมีดังนี้

Mass (M) = ปริมาณของสาหร่าย (g/L)

Temperature (T) = อุณหภูมิ (Degree Celsius)

Conc. Acid (CA) = ความเข้มข้นของกรด (%V/V)

Time (Ti) = เวลา (minute)

Glucose (G) = ปริมาณน้ำตาลกลูโคส (g/L)

Saccharomyces cerevisiae (S) = ปริมาณยีสต์ที่ใช้ (mL)

Ethanol (E) = ปริมาณเอทานอล (g/L)

วิธีศึกษาวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้การวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธีการถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression Analysis) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระในกระบวนการทั้งสองกระบวนการ Multiple Regression Analysis โดยทั่วไปการสร้างสมการเชิงเส้นและพหุนามอันดับทั่วไป ตัวแปรตาม Y จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต้น X เพียงตัวเดียว แต่ในทางปฏิบัติ ตัวแปรตามอาจขึ้นอยู่กับตัวแปรต้นหลายตัว โดยตัวแปรตาม Y ที่เปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปรต้น X_i ; i=1,2,…,n จำนวนทั้งสิ้น n ตัว ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาพล็อตเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรต้นทีละตัว หากความสัมพันธ์อยู่ในลักษณะของเชิงเส้น สามารถสร้างฟังก์ชัน g ที่แปรผันกับ X_i ดังสมการต่อไปนี้

$$g = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i \quad (1)$$

โดย a_i ; i=0,1,2,…,n เป็นค่าคงที่ x_i ; i=1,2,…,n เป็นตัวแปรต้น

ได้จำลองออกมา 2 แบบ แบบแรกเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของกระบวนการย่อยสลายด้วยกรดของสาหร่ายขนาดเล็ก chlorella sp. โดยมีตัวแปรต้นได้แก่ ปริมาณสาหร่าย ความเข้มข้นของกรด เวลา อุณหภูมิ ส่วนตัวแปรตามคือปริมาณน้ำตาลกลูโคส และแบบที่สองเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรในกระบวนการหมักโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* เท่านั้น ซึ่งตัวแปรต้นได้แก่ ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ปริมาณยีสต์ เวลา อุณหภูมิ ส่วนตัวแปรตามคือปริมาณเอทานอล ซึ่งความสัมพันธ์ของตัวแปรให้อยู่ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้นมี 2 สมการคือ

สมการที่ 1 $$G = a_0 + a_1CA + a_2M + a_3T + a_4Ti \quad (2)$$

โดยกำหนดให้ G =ปริมาณน้ำตาลกลูโคส a0 = ค่าคงที่

a1,a2,a3 = ค่าสัมประสิทธิของตัวแปรแต่ละตัว CA = ความเข้มข้นของกรด

M = ปริมาณของสาหร่าย T = อุณหภูมิ Ti = เวลา

สมการที่ 2 $$E = a_0 + a_1G + a_2T + a_3Ti + a_4S \quad (3)$$

โดยกำหนดให้ E = ปริมาณเอทานอล a0 = ค่าคงที่

a1,a2,a3 = ค่าสัมประสิทธิของตัวแปรแต่ละตัว G= ปริมาณน้ำตาลกลูโคส

S = ปริมาณของยีสต์ T = อุณหภูมิ Ti = เวลา

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ของตัวแปรในกระบวนการย่อยสลายด้วยกรดของสาหร่าย *chlorella* sp. ในการศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายด้วยกรด ที่มีตัวแปรที่ต้องการศึกษาได้แก่ ปริมาณสาหร่าย ความเข้มข้นของกรด เวลา อุณหภูมิ และปริมาณน้ำตาลกลูโคส ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูลดังตารางดังนี้

ตารางที่1 ข้อมูลแสดงตัวแปรของกระบวนการย่อยสลายสาหร่าย *chlorella* sp. ด้วยกรดซัลฟิวริก

ชื่อนักวิจัย	algae	Conc H_2SO_4	weight Algae	time	temp	sugar(glucose)
Ho,S,H et al. [1]	*C.vulgaris*	1%	50g/L	20min	121 ^{0}C	23.6 g/L
Serbetcioglu Sert,B et al. [2]	*C.minutissima*	1%	50g/L	60min	100 ^{0}C	16.19g/L
Ho,S,H et al. [1]	*C.vulgaris*	1%	80 g/L	20min	121 ^{0}C	30.14g/L
Ho,S,H et al. [1]	*C.vulgaris*	1%	60 g/L	20min	121 ^{0}C	27.91 g/L
Jambo,S.A et l.[3]	*C.vulgaris*	1%	1g/L	20min	121 ^{0}C	0.472g/L
Hernández,D et al. [4]	*C.sorokiniana*	4%	3g/L	30min	121 ^{0}C	0.1g/L
Hernández,D et al. [4]	*C.sorokiniana*	7%	3g/L	30min	121 ^{0}C	0.252g/L
Hernández,D et al. [4]	*C.sorokiniana*	10%	3g/L	30min	121 ^{0}C	0.24g/L
Wang,Y et al.[5]	*C. vulgaris JSC-6*	5%	120g/L	20min	121 ^{0}C	69.4g/L
Wang,Y et al.[5]	*C. vulgaris JSC-6*	3%	120g/L	20min	121 ^{0}C	32.7g/L

แต่ละงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสาหร่าย *chlorella* sp. จะมีหลากหลายสายพันธ์ ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายด้วยกรดของสาหร่ายแต่ละสายพันธ์จะใช้เหมือนกัน แต่ปริมาณการใช้ตัวแปรแตกต่างกัน โดยสาหร่ายแต่ละสายพันธ์ที่ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยกรดจะสามารถให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสโดยเฉลี่ยประมาณ 32% ของปริมาณสาหร่ายทั้งหมด

ข้อมูลจากตารางได้นำมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้ วิธี Multiple Regression Analysis แบบเชิงเส้น เพื่อหาสมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในกระบวนการปรับสภาพ มีข้อมูลดังนี้

ตารางที่2 ข้อมูลแสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรในกระบวนการย่อยสลายด้วยกรดของสาหร่าย*Chlorella* sp.

<table>
<tr><td colspan="5">Regression Statistics</td><td>ANOVA</td><td>df</td><td>SS</td><td>MS</td><td>F</td><td>Significance F</td></tr>
<tr><td>Multiple R</td><td>R Square</td><td>Adjusted R Square</td><td>Standard Error</td><td>Observations</td><td>Regression</td><td>4.00</td><td>3564.49</td><td>891.12</td><td>4.19</td><td>0.07</td></tr>
<tr><td rowspan="2">0.88</td><td rowspan="2">0.77</td><td rowspan="2">0.59</td><td rowspan="2">14.58</td><td rowspan="2">10.00</td><td>Residual</td><td>5.00</td><td>1062.64</td><td>212.53</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Total</td><td>9.000</td><td>4267.13</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">ตัวแปรต้น</td><td colspan="2">Coefficients</td><td colspan="2">Standard Error</td><td colspan="2">t Stat</td><td colspan="3">P-value</td></tr>
<tr><td colspan="2">Intercept</td><td colspan="2">291.06</td><td colspan="2">630.54</td><td colspan="2">0.46</td><td colspan="3">0.66</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cone H_2SO_4</td><td colspan="2">2.42</td><td colspan="2">2.98</td><td colspan="2">0.81</td><td colspan="3">0.45</td></tr>
<tr><td colspan="2">weight Algae</td><td colspan="2">0.38</td><td colspan="2">0.17</td><td colspan="2">2.30</td><td colspan="3">0.07</td></tr>
<tr><td colspan="2">time</td><td colspan="2">-1.17</td><td colspan="2">2.51</td><td colspan="2">-0.46</td><td colspan="3">0.66</td></tr>
<tr><td colspan="2">temp</td><td colspan="2">-2.26</td><td colspan="2">4.76</td><td colspan="2">-0.48</td><td colspan="3">0.65</td></tr>
</table>

จากตารางแสดงข้อมูลได้นำใช้อ้างอิงในแบบจำลองใน 3.3 โดยนำค่าสัมประสิทธ์จากในตารางมาใช้ในสมการที่ได้จำลองขึ้น แทนค่าสัมประสิทธ์ของตัวแปรจะได้สมการ G = 291.06 + 2.42CA + 0.38M – 1.17T – 2.26Ti

การวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ของตัวแปรในกระบวนการย่อยสลายด้วยกรดของสาหร่าย*Chlorella* sp. แสดงให้เห็นว่าตัวแปรความเข้มข้นของกรด(CA) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรปริมาณน้ำตาลกลูโคส(G) ซึ่งอธิบายได้ว่า หากมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรด 1% จะส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเปลี่ยนแปลง 2.42 กรัมต่อลิตร ตัวแปรปริมาณสาหร่าย(M) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรปริมาณน้ำตาลกลูโคส(G) หากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาหร่าย 1 g/L จะส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเปลี่ยนแปลง 0.38 กรัมต่อลิตร ตัวแปรอุณหภูมิ(T) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรปริมาณน้ำตาลกลูโคส(G) หากมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเปลี่ยนแปลงลดลง -2.26 กรัมต่อลิตร และตัวแปรเวลา(Ti) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรปริมาณน้ำตากลูโคส(G) หากมีการเปลี่ยนแปลงของเวลา 1 นาที จะส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเปลี่ยนแปลงลดลง -1.17 กรัมต่อลิตร

ในการศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมข้อมูลงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมัก ที่มีตัวแปรที่ต้องการ ศึกษา ได้แก่ ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ปริมาณของยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* เวลา อุณหภูมิ และปริมาณเอทานอล ซึ่งได้ทำการรวบรวมข้อมูลแสดงออกมาดังตารางดังนี้

ตารางที่3 ข้อมูลแสดงตัวแปรในกระบวนการหมักโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae*

ชื่อนักวิจัย	sugar (glucose)	temp	time	s.cerevisiae	ethanol
Serbetcioglu Sert,B et al. [2]	16.19 g/L	40 ^{0}C	48 hr	5 mL	7.08 g/L
Sivaramakrishnan,R., Incharoensakdi,A. [6]	0.18 g/L	30 ^{0}C	72 hr	2.5 mL	0.0791 g/L
Shokrkar,H et al. [7]	13.77 g/L	30 ^{0}C	24 hr	3 mL	5.23 g/L
Shokrkar,H et al. [7]	13.77 g/L	30 ^{0}C	24 hr	10 mL	11.84 g/L
Sanchez Rizza,L et al. [8]	22.5 g/L	28 ^{0}C	48 hr	3 mL	10.5 g/L
Sanchez Rizza,L et al. [8]	55.3 g/L	28 ^{0}C	48 hr	3 mL	23 g/L
Sanchez Rizza,L et al. [8]	72.9 g/L	28 ^{0}C	48 hr	3 mL	23.6 g/L
Sanchez Rizza,L et al. [8]	137.2 g/L	28 ^{0}C	48 hr	3 mL	61.2 g/L
Zhou,N et al. [9]	52.84 g/L	30 ^{0}C	48 hr	1 mL	22.6 g/L

แต่ละงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiace* ตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการหมักโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae*ใช้เหมือนกัน แต่ปริมาณการใช้ตัวแปรแตกต่างกัน โดยปริมาณสาหร่ายที่ผ่านกระบวนการหมักจะสามารถให้ปริมาณเอทานอลโดยเฉลี่ยประมาณ 47% ของปริมาณน้ำตาลกลูโคสทั้งหมด

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรในกระบวนการหมักโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* เท่านั้น ข้อมูลจากตารางที่ 3ได้นำมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้วิธีในการวิเคราะห์ข้อมูลทางคณิตศาสตร์ วิธี Multiple Regression Analysis แบบเชิงเส้น เพื่อหาสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในกระบวนการปรับสภาพกระบวนการหมักโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* โดยมีข้อมูลดังนี้

ตารางที่4 ข้อมูลแสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรในกระบวนการหมักโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae*

<table>
<tr><td colspan="5">Regression Statistics</td><td>ANOVA</td><td>df</td><td>SS</td><td>MS</td><td>F</td><td>Significance F</td></tr>
<tr><td>Multiple R</td><td>R Square</td><td>Adjusted R Square</td><td>Standard Error</td><td>Observations</td><td>Regression</td><td>4.000</td><td>2572.49</td><td>643.12</td><td>37.91</td><td>0.002</td></tr>
<tr><td rowspan="2">0.987</td><td rowspan="2">0.974</td><td rowspan="2">0.949</td><td rowspan="2">4.119</td><td rowspan="2">9.00</td><td>Residual</td><td>4.000</td><td>67.85</td><td>16.96</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Total</td><td>9.000</td><td>2640.35</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">ตัวแปรต้น</td><td colspan="2">Coefficients</td><td colspan="2">Standard Error</td><td colspan="2">t Stat</td><td colspan="3">P-value</td></tr>
<tr><td colspan="2">Intercept</td><td colspan="2">-2.332</td><td colspan="2">14.316</td><td colspan="2">-0.163</td><td colspan="3">0.879</td></tr>
<tr><td colspan="2">Cone H_2SO_4</td><td colspan="2">0.429</td><td colspan="2">0.038</td><td colspan="2">11.358</td><td colspan="3">0.000</td></tr>
<tr><td colspan="2">weight Algae</td><td colspan="2">-0.031</td><td colspan="2">0.424</td><td colspan="2">-0.073</td><td colspan="3">0.945</td></tr>
<tr><td colspan="2">time</td><td colspan="2">0.005</td><td colspan="2">0.123</td><td colspan="2">0.040</td><td colspan="3">0.970</td></tr>
<tr><td colspan="2">temp</td><td colspan="2">0.822</td><td colspan="2">0.728</td><td colspan="2">1.129</td><td colspan="3">0.322</td></tr>
</table>

จากตารางแสดงข้อมูลได้นำใช้อ้างอิงในแบบจำลองใน 3.3 โดยนำค่าสัมประสิทธ์จากในตารางมาใช้ในสมการที่ได้จำลองขึ้นแทนค่าสัมประสิทธ์ของตัวแปรจะได้สมการ $E = -2.332 + 0.429G - 0.031T + 0.005Ti + 0.822S$

การวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ของตัวแปรในกระบวนการหมักโดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าตัวแปรปริมาณน้ำตาลกลูโคส(G) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรปริมาณเอทานอล(E) ซึ่งอธิบายได้ว่า หากมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลกลูโคส 1 g/L จะส่งผลให้ปริมาณเอทานอลเปลี่ยนแปลง 0.429 กรัมต่อลิตร ตัวแปรเวลา(Ti) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรปริมาณเอทานอล(E) หากมีการเปลี่ยนแปลงของเวลา 1 นาที จะส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเปลี่ยนแปลงลดลง -0.031 กรัมต่อลิตร ตัวแปรอุณหภูมิ(T)มีความสัมพันธ์กับตัวแปรปริมาณเอทานอล(E) หากมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส จะส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเปลี่ยนแปลง 0.005 กรัมต่อลิตร และตัวแปรปริมาณยีสต์(S) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรปริมาณเอทานอล(E) หากมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณยีสต์1 mL จะส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสเปลี่ยนแปลง 0.822 กรัมต่อลิตร

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า ในกระบวนการย่อยสลายด้วยกรด ปริมาณสาหร่าย ความเข้มข้นของกรด เวลา และอุณหภูมิ มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลกลูโคส อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ปริมาณสาหร่าย และความเข้มข้นของกรด มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณน้ำตาลกลูโคส คือเมื่อปริมาณสาหร่าย และความเข้มข้นของกรด ตัวใดตัวหนึ่งเมื่อเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณน้ำตาลกลูโคสจะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนเวลาและอุณหภูมิ จะมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม คือเมื่อเวลาและอุณหภูมิตัวใดตัวหนึ่งเพิ่มสูงขึ้นปริมาณน้ำตาลกลูโคสก็จะลดลง สาเหตุเนื่องมาจากตัวแปรความเข้มข้นของกรดเมื่อใช้เวลาทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นตามด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ ปริมาณน้ำตาลกลูโคสจะถูกสลายพันธะเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสจะลดลงนั่นเอง ส่วนในกระบวนการหมัก ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ปริมาณของยีสต์ เวลา และอุณหภูมิ มีความสัมพันธ์กันกับปริมาณเอทานอลอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ปริมาณน้ำตาลกลูโคส ปริมาณของยีสต์ และเวลา มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณเอทานอล คือเมื่อปริมาณน้ำตาลกลูโคส ปริมาณยีสต์ และเวลาตัวใดตัวหนึ่งเมื่อเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณเอทานอลจะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกับปริมาณเอทานอล คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นปริมาณเอทานอลก็จะลดลง เนื่องมาจากอุณหภูมิมีผลต่อยีสต์ในกระบวนการหมักเมื่ออุณหภูมิสูงยีสต์ในกระบวนการหมักจะมีประสิทธิภาพในการทำงานลดลงและอุณหภูมิที่มากเกินไปอาจส่งผลให้ยีสต์ตายได้ เมื่อยีสต์มีประสิทธิภาพลดลงปริมาณเอทานอลก็จะลดลงตามไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] Ho, S.H., Huang, S.W., Chen, C.Y., Hasunuma, T., Kondo, A., and Chang, J.S., 2013, "Bioethanol Production Using Carbohydrate-Rich Microalgae Biomass as Feedstock", **Bioresour Technol**, Vol. 135, No., pp. 191-198.

[2]Serbetcioglu Sert,B.,Inan,B.,and Ozcimen,D.,2018,"Effect of Chemical Pre-Treatments on Bioethanol Production from *chlorella minutissima*", **Acta Chim,**Vol.65,pp.160-165.

[3]Jmbo,S.A.,Abdulla,R.,Azhr,S.H.M.,Marbawi,H.,Azlan Gansau,J.,Ravindra,P.,2016,"A review on third generation bioethanol feedstock", **Renewable and Substainble Energy Reviews**,Vol.65,pp756-769.

[4]Hernandez,D.,Riano,B.,and Garcia-Gonzalez,M.C.,2015,"Saccharification of carbohydrates in micro algal by physical,chemical and enzymatic pre-treatment as a previous step for bioethanol production", **Chemical Engineering Journal**,Vol.262,pp.939-945

[5]Wang,Y.,Guo,W.,Cheng,C-L.,Ho,S-H.,Chang,J-S.,Ren,N.,2016,"Enhancing bio-butanol production from biomass of *chlorell vulgaris* JSC-6 with sequential alkali pretreatment and acid hydrolysis", **Bioresources Technology,**Vol.200,pp.557-564.

[6] Sivaramakrishnan, R. and Incharoensakdi, A., 2018, "Utilization of Microalgae Feedstock for Concomitant Production of Bioethanol and Biodiesel", **Fuel**, Vol. 217, No., pp. 458-466.

[7] Shokrkar, H., Ebrahimi, S., and Zamani, M., 2017, "Bioethanol Production from Acidic and Enzymatic Hydrolysates of Mixed Microalgae Culture", **Fuel**, Vol. 200, No., pp. 380-386.

[8]Sanchez Rizza,L., Eugenia Sanz Smachetti,M., Do Nascimento,M.,Lidia Salerno,G., Curatti,L.,2017, "Bioprospecting for native microalgae as an alternative source of sugarsfor the production of bioethanol", **Algal Research**, Vol.22, pp.140–147.

[9]Zhou,N., Zhang,Y., Wu,X., Gong,X., Wang,Q.,2911,"Hydrolysis of *chlorella* biomass for fermentable sugars in the presence of HCl and $MgCl_2$",**Bioresource Technology**,Vol.102,pp.10158-10161.

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากขี้เลื่อย : กรณีศึกษาสถานประกอบการชุมชนบางโพ

Feasibility study of wood pellet production from sawdust : cased study of Bang Pho's furniture factories

จีรวัฒน์ จบคุ้ม*

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10802

บทคัดย่อ

เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากภาคการเกษตร มีข้อจำกัดในเรื่องของการนำมาใช้งาน เนื่องจาก ชีวมวลที่ได้จะมีในช่วงของฤดูการเก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละปีเท่านั้น แม้เชื้อเพลิงชีวมวลจะมีอยู่ในปริมาณที่มากแต่มีอยู่อย่างกระจัดกระจายทำให้ยากแก่การรวบรวมและขาดความต่อเนื่องในการนำมาแปรรูปเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ การนำเอาขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อยที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ มีการผลิตตลอดทั้งปีจึงมี ขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย ในปริมาณที่มากเพียงพอและง่ายต่อการจัดเก็บรวบรวมเพื่อนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

การวิจัยนี้ จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตชีวมวลอัดเม็ดด้วยการนำเอา ขี้เลื่อย และฝุ่นขี้เลื่อย ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการต่าง ๆ ของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ ที่มีอยู่ภายในสถานประกอบการชุมชน ซอยประชานฤมิตร (ชุมชนโรงไม้บางโพ) เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร เพื่อหาอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมในการผลิตชีวมวลอัดเม็ดและหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยการเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากลและร่างมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดสำหรับประเทศไทย

จากผลการวิจัยพบว่า ขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย ที่ได้จากอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ ของสถานประกอบการชุมชนบางโพ เมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วน 50 : 50 สามารถอัดเม็ดขึ้นรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้และมีค่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวล ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร สามารถทดสอบคุณสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิง โดยมีผลดังนี้ ค่าความชื้น 7.54 % wt. เถ้า 1.02 % wt. ความร้อน (H.H.V) 5,212 Kcal/kg ความหนาแน่น 1.0007 g/cm^3 และซัลเฟอร์ <0.01 % wt.

คำสำคัญ: ชีวมวลอัดเม็ด, ขี้เลื่อย, ฝุ่นขี้เลื่อย

---

* Corresponding author: Tel : 0909758579. E-mail address : jerawat.kmitnb.te39@gmail.com

บทนำ

เชื้อเพลิงที่ได้จากฟอสซิล มีความผันผวนและปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เชื้อเพลิงชีวมวล จึงเป็นอีกหนึ่งพลังงานที่น่าสนใจที่จะนำมาศึกษาพัฒนา เพื่อนำมาใช้งานในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆให้มากขึ้นการนำเอาวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมและการเกษตรกรรม ซึ่ง เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากภาคการเกษตร มีข้อจำกัดในเรื่องของการนำมาใช้งาน คือ จะมีเชื้อเพลิงชีวมวลให้นำมาใช้งานได้นั้น จะมีเพียงช่วงของฤดูการเก็บเกี่ยวผลผลิตในแต่ละปีเท่านั้น จึงจะต้องมีการเก็บสต๊อกเชื้อเพลิงชีวมวล แม้เชื้อเพลิงชีวมวลจะมีอยู่มาก แต่มีอยู่อย่างกระจัดกระจายทำให้ยากแก่การรวบรวมเพื่อนำมาใช้ประโยชน์อีกทั้งยังขาดความต่อเนื่องในการนำมาแปรูปการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ซึ่ง การนำขี้เลื่อยที่เหลือทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ มีข้อดีที่ต่างจากเชื้อเพลิงที่ได้จากภาคการเกษตร เนื่องจากอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ชุมชนบางโพ มีการผลิตตลอดทั้งปีจึงมี ขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย ที่เกิดขึ้นภายในละแวกชุมชน ง่ายต่อการรวบรวมนำมาใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย ในกรณีศึกษาสถานประกอบการ ชุมชนบางโพ ที่มีผู้ประกอบการประมาณ 200 ราย จึงมีปริมาณขี้เลื่อย และฝุ่นขี้เลื่อย ที่เหลือทิ้งโดยเฉลี่ยประมาณ 10 ตันต่อวัน จากปริมาณของขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อยที่เหลือทิ้งดังกล่าว ส่งผลให้เป็นภาระต่อผู้ประกอบการในด้านสถานที่ ด้านแรงงานและค่าใช้จ่าย ที่ใช้ในการจัดเก็บ อีกทั้งยังเป็นภาระในการกำจัดวัสดุเหลือใช่ต่อเจ้าหน้าที่พนักงานกำจัดขยะอีกด้วย เพื่อเป็นการลดปัญหาดังกล่าว การนำเอาขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการต่าง ๆ ของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ ที่มีคุณสมบัติทางความชื้นน้อยเหมาะสมกับการเผาไหม้ นำมาทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด (Wood pellets) และทำการศึกษาอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสม หาค่าคุณสมบัติทางด้านกายภาพและด้านความร้อน ของเชื้อเพลิงชีวมวลที่นำมาอัดเม็ด

วัตถุประสงค์ในการดำเนินงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ ขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด
2. เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางด้านความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่มีส่วนผสมของ ขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากลและร่างมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดสำหรับประเทศไทย

ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1. ผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดโดยหาอัตราส่วนที่เหมาะสม ด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบ Flat Die วิธีการแบบอัดเย็น
2. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นรวม เส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาว และคุณสมบัติทางด้านความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณเถ้า และค่าความร้อน โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากลและร่างมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดสำหรับประเทศไทย

วิธีการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจาก ขี้เลื่อย และฝุ่นขี้เลื่อย ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการต่าง ๆ ของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ ชุมชนบางโพ โดยการใช้อัตราส่วนผสมต่าง ๆที่เหมาะสม อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบ Flat Die วิธีการแบบอัดเย็น โดยใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน จากนั้นหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพและทางด้านความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากล เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของโครงการ ได้นำเสนอแนวคิดและรายละเอียดวิธีการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนดังนี้

1.รายละเอียดวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.1 เก็บตัวอย่างขี้เลื่อย และฝุ่นขี้เลื่อย จากชุมชนผู้ประกอบการธุรกิจอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์แปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ ชุมชนบางโพ

1.2 จัดเตรียมเครื่องอัดเม็ดและวัตถุดิบ ขี้เลื่อย และฝุ่นขี้เลื่อย ผสมวัตถุดิบตามอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน

1.3 ผลิตอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบ Flat Die วิธีการแบบอัดเย็น ตามอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

1.4 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นรวม เส้นผ่าศูนย์กลาง ความยาว และคุณสมบัติทางด้านความร้อน ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณเถ้า และค่าความร้อน

1.5 เปรียบเทียบค่าคุณสมบัติทางกายภาพและทางด้านความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดตามอัตราส่วนต่าง ๆ โดยเทียบกับมาตรฐาน PFI Standard, EN 14961-1, ร่างมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดในประเทศไทย

2. การเก็บตัวอย่างวัตถุดิบ

ลงพื้นที่สำรวจปริมาณสอบถามข้อมูล จากผู้ประกอบการธุรกิจอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์แปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ และเก็บตัวอย่าง ที่ชุมชน ซอยประชานฤมิตร (ชุมชนโรงไม้บางโพ) เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร จากการสอบถามข้อมูลทราบว่า ไม้ ที่นำมาใช้ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ส่วนมาก เป็นประเภทไม้เนื้อแข็ง เช่น ไม้สัก ไม้มะค่า ไม้ประดู่ ไม้แดง เป็นต้น เนื่องจากได้รับความนิยมเป็นที่ต้องการของกลุ่มลูกค้า จากการกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ จึงทำให้มีขี้เลื่อย จากขั้นตอนการกลึงขึ้นรูปไม้ และมีฝุ่นขี้เลื่อย จากขั้นตอนการขัดทำความสะอาดไม้ ผู้ประกอบการ 1 รายจะมีขี้เลื่อยที่เหลือทิ้งจากกระบวนการโดยเฉลี่ยต่อวันประมาณ 20-30 กิโลกรัมต่อวัน และมี ฝุ่นขี้เลื่อย ประมาณ 10 กิโลกรัมต่อวัน ทั้งนี้ปริมาณของเหลือทิ้งจากกระบวนการต่าง ๆ มากน้อยขึ้นอยู่กับการสั่งซื้อของลูกค้า

(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 1 (ก) ลักษณะกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์แปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้
(ข,ค) ของเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์แปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณของ ขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย

ชนิดของชีวมวล	ปริมาณ (กิโลกรัม/วัน)
ขี้เลื่อย	6,000
ฝุ่นขี้เลื่อย	2,000

หมายเหตุ : ค่าปริมาณที่แสดงในตาราง ประมาณจากผู้ประกอบการธุรกิจอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์แปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ ชุมชนบางโพ จำนวนผู้ประกอบการ 200 ราย

3.ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

กระบวนการผลิตอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลโดยมีส่วนผสมของ ขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย จะมีขั้นตอนและกระบวนผลิตดังต่อไปนี้

3.1 การเตรียมชีวมวล เพื่อนำมาผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดนั้น ต้องตรวจสอบการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกของวัตถุดิบ ซึ่งบางครั้งวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด อาจมีการปนเปื้อนของกรวดหินดินทราย เศษไม้ขนาดใหญ่ หรือแม้กระทั่งโลหะ อาจเป็นสาเหตุของความเสียหายและการสึกหรอของเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้

3.2 การผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังการผสมน้ำกับชีวมวลจะทำการผสมด้วยอัตราส่วนร้อยละโดยมวลของชีวมวลที่นำ มาทดลอง โดยจะมีอัตราส่วนผสมของน้ำกับชีวมวลที่นำอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดมี 3 อัตราส่วน คือ ส่วนผสมของน้ำร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยมวลของชีวมวลตั้งต้น

ภาพที่ 2 ฉีดน้ำแป้งมันสำปะหลังและคัดแยกสิ่งเจือปนออกจากขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย

3.3 การเตรียมอัตราส่วนผสมให้เหมาะสม ทำการชั่งตวงน้ำหนัก ขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย จากนั้นนำมาใส่ภาชนะที่เตรียมไว้ผสมตามอัตราส่วนต่าง ๆ ตามตาราง ดังนี้

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมที่กำหนด

อัตราส่วน (ร้อยละ)	**วัตถุดิบ**	
	ขี้เลื่อย	ฝุ่นขี้เลื่อย
100 : 00	1,000 g	00 g
50 : 50	500 g	500 g
00 : 100	00 g	1,000 g

หมายเหตุ : ฝุ่นขี้เลื่อย 1 ถ้วย = 300 g
ขี้เลื่อย 1 ถ้วย = 200 g

หลังจากชั่งตวงชีวมวลในอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วให้ทำการผสม ขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อน ให้เป็นเนื้อเดียวกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อหาอัตราส่วน และควบคุมความชื้นให้เหมาะสม โดยผสมเชื้อเพลิงชีวมวลและตรวจวัดค่าความชื้นของชีวมวล ขี้เลื่อย และ ฝุ่นขี้เลื่อย เพื่อควบคุมค่าความชื้นของชีวมวลด้วยเครื่องตรวจวัดปริมาณค่าความชื้นก่อนและหลังทำการผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ ตามที่กำหนด

(ก) ฝุ่นขี้เลื่อย

(ข) ขี้เลื่อย

ภาพที่ 3 การตรวจวัดค่าความชื้นชีวมวลของ ฝุ่นขี้เลื่อย และ ขี้เลื่อย ก่อนการผสม

ตารางที่ 3 ความชื้นของส่วนผสมที่อัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนระหว่างขี้เลื่อย : ฝุ่นขี้เลื่อย	**ความชื้น (%wt)**		
	ในถุง	นอกถุง	หลังปรับความชื้น
100 : 0	**10 : 0**	**9 : 0**	**30-35**
50 : 50	**10 : 9.5**	**9 : 8.5**	**30-35**
0 : 100	**0 : 9.5**	**0 : 8.5**	**30-35**

3.4 การอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล การอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งการวิจัยนี้ใช้เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลแบบลูกกลิ้งรุ่น KL-200/SC/T6011-2001 มอเตอร์ขับขนาด 7.5 kW ใช้แรงดันไฟฟ้า 380 V 50 Hz มีกำลังการผลิตอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลอยู่ในช่วง 100-2,500 kg/h.ก่อนจะทำการอัดเม็ดเชื้อเพลิงจะต่องทำการเดินเครื่องเพื่อให่แผ่นรังผึ้งสำหรับการอัดขึ้นรูปมีความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 70 - 80 องศาเซลเซียส เนื่องจากชวงอุณหภูมิดังกล่าวจะมีผลทำให้ลิกนิน ที่อยู่ภายในชีวมวลหลอมละลายมาเชื่อมประสานอนุภาคของชีวมวลเขาด้วยกันและทำใหสามารถอัดขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่มีประสิทธิภาพ สำหรับการเดินเครื่องเพื่อใหแผ่นรังผึ้งร้อนจะใช่ฝุ่นขี้เลื่อยผสมกับน้ำมันพืชเทใสลงไป

และหมุนเวียนจนกวาแผ่นรังผึ้งจะมี อุณหภูมิดังที่กล่าวมาแล้วข้างต่น จากนั้นจึงจะนำชีวมวลที่ผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังแล้วเทลงไปเพื่ออัดขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

ภาพที่ 4 เครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลแบบหัวอัดแนวราบ (Flat Die)

(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 6 (ก),(ข) วัดค่าอุณหภูมิความร้อนของเม็ดเชื้อเพลิงขณะเครื่องทำงานเพื่อเตรียมความพร้อมก่อนทำการอัดเม็ด (ค) ลักษณะของการอุดตันที่เกิดขึ้นจากการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

ควรทำความสะอาดรูจานแบบพิมพ์แผ่นรังผึ้งและลูกกลิ้ง ในขณะที่แผ่นแผงรังผึ้งยังคงมีความร้อนเพื่อง่ายต่อการทำความสะอาดและไม่ให้ชีวมวลแข็งจับตัว ตรวจสอบสภาพเครื่องอัดให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ทุกครั้งหลังการใช้งานเครื่องอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล

3.5 การผึ่งลมระบายความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด หลังจากที่ได้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดออกจากเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงอัดเม็ดแล้ว จะต้องนำมาผึ่ง คลายความร้อนให้เย็นเพื่อให้แท่งเชื้อเพลิงแข็งขึ้นและไม่แตกหักง่ายขณะบรรจุหรือเคลื่อนย้าย ซึ่งการผึ่งเย็นจะผึ่งด้วย การวางใส่ภาชนะที่มีรูระบาย ผึ่งลม หรืออาจใช้พัดลมเป่าให้เย็นก็ได้ตามความเหมาะสม

4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางด้านความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

4.1 ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

หลังจากกผ่านกระบวนการระบายความร้อนแล้ว เม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร และมีความยาว 35-40 มิลลิเมตร และมีสภาพสมบูรณ์ไม่แตกหักง่าย หลังจากผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพแล้ว จะได้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่พร้อมนำไปบรรจุถุงหรือจัดเก็บต่อไป

ภาพที่ 8 การตรวจสอบคุณภาพของเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

ผลการวิจัยและอภิปลายรายผลการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจาก ขี้เลื่อย และฝุ่นขี้เลื่อย ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการต่าง ๆ ของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ ชุมชนบางโพ โดยทำการหาอัตราส่วนผสมที่ต่างกัน 3 อัตราส่วน เพื่อศึกษากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยทำการหาอัตราส่วนที่ เหมาะสม และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางด้านความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากล

ผลการศึกษาหาความชื้นที่เหมาะสม ในการทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยได้ทำการทดสอบอัดเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลโดยมีส่วนผสมในอัตราต่าง ๆ โดยใช้ความชื้นที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4 ผลการอัดเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดของขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย

อัตราส่วน (ร้อยละ)	ความชื้น (%)	เชื้อเพลิงชีวมวล	ลักษณะทางกายภาพ
100 : 00	30-35		สามารถขึ้นรูปได้ดี เป็นท่อนยาวตรงและมีท่อนสั้นปนเล็กน้อย มีรอยร้าวเล็กน้อย สีน้ำตาลเข้ม ผิวมีความมันวาวมาก
50 : 50	30-35		สามารถขึ้นรูปได้ดี เป็นท่อนยาวตรง มีการอัดตัวกันแน่น มีรอยร้าวเล็กน้อย สีน้ำตาล ผิวมีความมันวาวเล็กน้อย
00 : 100	30-35		สามารถขึ้นรูปได้ เป็นท่อนขนาดยาวลักษณะตรงปนกับท่อนสั้น มีการอัดตัวกันแน่น แต่มีความเปราะของแท่งชีวมวล สีน้ำตาลเข้มปนสีน้ำตาลอ่อน ผิวมีความมันวาว

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดกับค่ามาตรฐาน

คุณสมบัติ	มาตรฐาน				ผลทดสอบ ± SD (ขี้เลื่อย : ฝุ่นขี้เลื่อย)		
	PFI Standard[1]	EN 14961-1[2]	ร่างมาตรฐานชีวมวลอัดเม็ดของประเทศไทย[3]		100 : 00	50 : 50	00 : 100
			เกรดธรรมดา	เกรดคุณภาพสูง			
ความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	0.609 – 0.737	≥0.6	≥0.6	≥0.6	1.022*	1.001*	0.981*
ความยาว (mm)	≤ 1.0 นิ้ว	≤ 5 นิ้ว	3.15 - 40	3.15 - 40	39.81*	39.21*	27.93
เส้นผ่าศูนย์กลาง (mm)	5.84 – 7.25	6 - 12	6 - 12	6 - 12	8.29*	8.42*	8.36
ความชื้น (% wt.)	≤10.0	≤10	≤10	≤10	8.07 ± 0.03	7.54 ± 0.04	7.67 ± 0.01
ขี้เถ้า (% wt.)	≤ 2.0	≤ 0.7	≤ 20	≤ 10	1.40 ± 0.03	1.02 ± 0.00	1.57 ± 0.01
ค่าความร้อน (kcal/kg)	As-Rec ± 2SD	Minimum value	≥3,500	≥4,000	4,691 ± 45	5,212 ± 56	4,767 ± 102

หมายเหตุ : 1 นิ้ว มีค่าเท่ากับ 25.4 มม.
*มีค่าไม่ผ่านมาตรฐานเกณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่งของค่ามาตรฐาน PFI เกรด Standard[1], จากมาตรฐานยุโรป EN14961-1[2] และร่างมาตรฐานไทยเกรดธรรมดา/คุณภาพสูง[3](กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

จากผลการวิเคราะห์เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ขี้เลื่อยผสมกับฝุ่นขี้เลื่อย ในอัตราส่วนต่าง ๆ ตามตารางที่ 5 แสดงให้เห็นถึงค่าความร้อนที่สูงที่สุด ขี้เลื่อยผสมกับฝุ่นขี้เลื่อยอัดเม็ด ซึ่งมีค่าความร้อนที่มากกว่า ขี้เลื่อยอัดเม็ดและฝุ่นขี้เลื่อยอัดเม็ดที่มี และค่าความร้อนที่ 3 อัตราส่วนผสมมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในส่วนของปริมาณขี้เถ้านั้น ขี้เลื่อยผสมกับฝุ่นขี้เลื่อยอัดเม็ด มีปริมาณที่น้อยกว่า ขี้เลื่อยอัดเม็ดและฝุ่นขี้เลื่อยอัดเม็ด และค่าความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดทั้ง 3 อัตราส่วนมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

สรุปผลการวิจัย

สำหรับประเทศไทยนั้น การผลิตชีวมวลอัดเม็ดยังถือได้ว่าเป็นสิ่งใหม่ อย่างไรก็ตามจากข้อมูลพบว่าผู้ประกอบการในประเทศส่วนใหญ่จะนำเข้าเทคโนโลยีจากประเทศจีน โดยเฉพาะในส่วนของเครื่องอัดเม็ดและเครื่องอัดก้อนซึ่งถือได้ว่าเป็นเครื่องจักรหลักในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดส่วนเครื่องจักรอื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าการใช้งานชีวมวลอัดเม็ดภายในประเทศ ยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นการเรียนรู้ที่จะใช้ชีวมวลอัดเม็ดเป็นพลังงานทดแทน ในขณะที่กำลังซื้อจากต่างประเทศเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการผลิตชีวมวลอัดเม็ดผู้ใช้ชีวมวลอัดเม็ดในต่างประเทศล้วนเป็นประเทศที่ได้มีการใช้ชีวมวลอัดเม็ดเป็นพลังงานทดแทนมาก่อนแล้ว

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตชีวมวลอัดเม็ดด้วยการนำเอา ขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการต่าง ๆ ของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ ของสถานประกอบการชุมชนบางโพ เมื่อนำมาผสมกันในอัตราส่วน (100 : 0 , 0 : 100 , 50 : 50) ผลการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดพบว่า ขี้เลื่อยและฝุ่นขี้เลื่อย เมื่อนำมาอัดเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด สามารถอัดเม็ดขึ้นรูปเป็นเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวลได้และมีค่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอยู่ในระดับเกรดคุณภาพสูง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ดำเนินการจัดทำสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิติณัตต์ ตรีวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ ผู้ประกอบการธุรกิจอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์แปรรูปผลิตภัณฑ์จากไม้ ย่านบางโพ ที่ให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์รวมถึงให้ตัวอย่างชีวมวล ขี้เลื่อย ที่นำมาใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยพลังงานยานยนต์และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่ในการทำวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนบางส่วนจากทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สัญญารับทุนเลขที่ บ.067/ปีงบประมาณ พ.ศ.2561

เอกสารอ้างอิง

[1] นายวิรัช อยู่ชา และคณะ การศึกษาการผลิตเม็ดเชื้อเพลิงแข็งเพิ่มคุณค่าชีวมวลยอดและใบอ้อย เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยการมีส่วนร่วมของชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] กษิเดช สาลีพัฒนา (2560) การศึกษาความคุ้มค่าของการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากทะลายปาล์มเปล่า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2555) โครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass Pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอนาคต กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานร่วมกับคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2556) ผลการประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลแต่ละชนิด

[5] คู่มือการพัฒนาและการลงทุนการผลิตพลังงานทดแทน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

[6] กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555, คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็น แท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน [ออนไลน์], แหล่งที่มา: www2.diw.go.th/iwmb/form/iwd040_ ผนวก%20ง_คู่มือนำร่อง.pdf

รูปแบบการผลิตที่เหมาะสมต่อการผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้าง
Suitable process for producing the elephant dung green fuel briquette

อาทิตยา มาอิ่นแก้ว [1] และสุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี[1*]

[1]สาขาพลังงานและสิ่งแวะล้อมชุมชน วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50300

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมต่อการผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้าง เริ่มจากการนำมูลช้างตากแห้งซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งบดและร่อนด้วยตะแกรงจนมูลช้างมีขนาดอนุภาคเท่ากับ 10, 20, 30, 40 และ 50 Mesh แล้วนำผงมูลช้างแต่ละขนาดมาผสมกับตัวประสาน 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 การผสมมูลช้างกับแป้งมันสำปะหลังและน้ำอุณหภูมิห้อง ในการกำหนดอัตราส่วน 4 : 1 : 0.25 รูปแบบที่ 2 ดำเนินการเช่นเดียวกับรูปแบบที่ทั้งชนิดวัตถุดิบ และอัตราส่วนการผลิต แต่เปลี่ยนจากน้ำอุณหภูมิห้องเป็นน้ำร้อน และรูปแบบที่ 3 การนำมูลช้างผสมแป้งเปียกในอัตราส่วน 4 : 1 ส่วนผสมทั้ง 3 รูปแบบถูกผสมให้เข้ากัน ใส่ลงในกระบอกสูบที่มีความยาว 25 cm และเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm อัดด้วยไฮดรอลิคที่แรงดัน 70 kg/cm^2 ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างนั้นต้องใช้แป้งมันและน้ำอุณหภูมิห้องเป็นตัวประสาน เนื่องจากตัวประสานนี้สามารถใช้ได้กับมูลช้างที่มีขนาดตั้งแต่ 10-50 Mesh เชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างที่ได้มีลักษณะเป็นแท่ง ส่วนผสมประสานกันดี ไม่มีรอยร้าว แท่งเชื้อเพลิงมีระยะยืดตามแนวยาวต่ำสุดประมาณ 0.1 cm และมีความหนาแน่นสูงสุดประมาณ 7.98×10^{-4} kg/cm^3

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง มูลช้าง แป้งมันสำปะหลัง

---

[*] Corresponding author: Tel.: 082-5351987. E-mail address: jansrisnar@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำมูลช้างส่วนใหญ่ได้นำมาใช้ประโยชน์ในรูปของการผลิตเป็นกระดาษสามูลช้าง [1] และการทำปุ๋ยหมัก [2] ดังแสดงในภาพที่ 1 นอกจากนั้นยังได้มีการนำมูลช้างเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas) เช่น โครงการการพัฒนาแก๊สชีวภาพจากมูลช้างเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในชุมชนพื้นที่ต้นน้ำเป็นการประเมินศักยภาพโดยศูนย์อนุรักษ์ช้างไทย จังหวัดลำปาง [3] พบว่า มูลช้างเมื่อนำมูลช้างมาผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:3 สามารถผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ โดยสามารถผลิตแก๊สได้ 0.06 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัมมูลสด แต่ด้วยลักษณะทางกายภาพของมูลช้างจึงไม่สามารถดำเนินการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลช้างได้อย่างเป็นรูปธรรม การทบทวนวรรณกรรมยังไม่พบงานวิจัยใดศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง (Solid biofuel) จากมูลช้างในรูป Refuse-Derived Fuel 5 (RDF-5) เป็นการนำเชื้อเพลิงขยะส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่ง [4] ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะดำเนินการศึกษารูปแบบที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้าง (Elephant dung green fuel briquette)

ภาพที่ 1 การผลิตกระดาษสาจากมูลช้างและการการทำปุ๋ยหมัก

วิธีการวิจัย

1. การผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้าง

การผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างมีกระบวนดังแสดงในภาพที่ 2 เริ่มต้นจากการนำมูลช้างสดตากแดดตามธรรมชาติเป็นเวลา 5-7 วันเพื่อไล่ความชื้น จากนั้นนำมูลช้างแห้งบดด้วยเครื่องบดชนิดใบมีดที่จำหน่ายตามท้องตลาดและร่อนด้วยตะแกรงที่มีขนาด 10, 20, 30, 40 และ 50 Mesh ผงมูลช้างที่ได้ถูกนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งโดยใช้ส่วนผสม 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 นำผงมูลช้างแต่ละขนาดผสมกับแป้งมันสำปะหลังและน้ำอุณหภูมิห้อง ในอัตราส่วน 4 : 1 : 0.25 และรูปแบบที่ 2 ดำเนินการเช่นเดียวกับรูปแบบที่ 1 แต่เปลี่ยนจากน้ำอุณหภูมิห้องเป็นน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 – 85^{o}C ส่วนรูปแบบที่ 3 นำผงมูลช้างแต่ละขนาดผสมกับแป้งเปียก ส่วนผสมทั้ง 3 รูปแบบถูกบรรจุในกระบอกอัดขนาดความยาว 25 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm ดังแสดงในภาพที่ 3 แล้วอัดด้วยเครื่องอัดแบบไฮโดรลิคที่แรงดัน 70 kg/cm^2 เชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งที่ได้นำไปผึ่งลมจนแห้งและวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

2. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

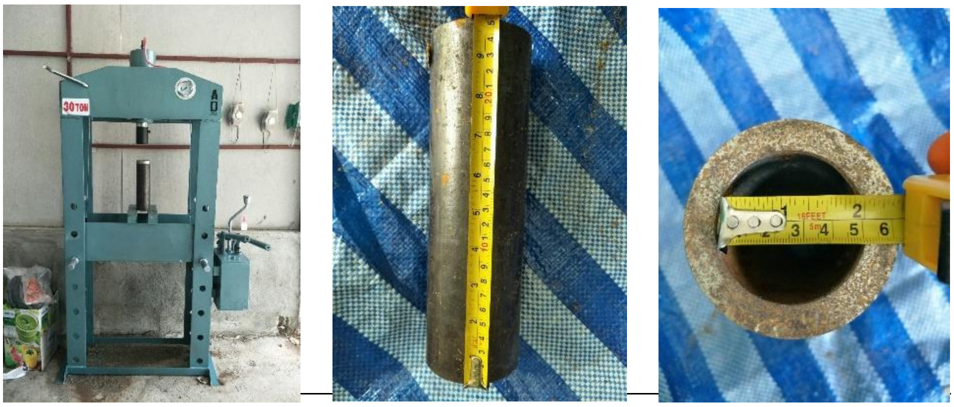
2.1 ลักษณะภายนอก

ลักษณะภายนอกของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างหลังอัดต้องมีการจับตัวเป็นก้อน เนื้อประสานกันดีมีความแข็งแรง ไม่เปราะ และไม่แตกหักง่าย [5]

2.2 การยืดและหดตัว

ความชื้นมีผลต่อการยืดและหดตัวของแท่งเชื้อเพลิง ถ้าหากมีความชื้นมากเกินไปเมื่อแท่งเชื้อเพลิงได้รับความร้อนจะขยายตัวทำให้แท่งเชื้อเพลิงแตกร่วน แต่ถ้าหากว่าความชื้นน้อยเกินไปทำให้ส่วนผสมร่วนเกาะกันเป็นแท่งได้ยาก [6] การยืดและหดตัวตามแนวยาวตรวจสอบโดยเครื่องมือวัดเวอร์เนียร์ทุก 7 วันเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์

ภาพที่ 2 ขั้นตอนในการผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้าง



ภาพที่ 3 เครื่องอัดแบบไฮโดรลิคและกระบอกอัด

2.3 ความหนาแน่น

เชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลได้รับการทดสอบความหนาแน่น (Density) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างมวลของเชื้อเพลิงอัดแท่งต่อปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดแท่ง มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) [7] ดังแสดงในสมการที่ 1

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

เมื่อ ρ คือ ค่าความหนาแน่นความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/cm^3)

m คือ มวลของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)

v คือ ปริมาตรของเชื้อเพลิงอัดแท่ง มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (cm^3)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ลักษณะภายนอก

เชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างที่ผลิตจากส่วนผสมทั้ง 3 รูปแบบ มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 4 เชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างที่ผลิตจากมูลช้างขนาด 10, 20, 30, 40 และ 50 Mesh โดยใช้แป้งมันสำปะหลังและน้ำอุณหภูมิห้องเป็นตัวประสาน มีลักษณะเนื้อประสานกันดี ผิวด้านนอกไม่มีรอยร้าว แต่พบรอยแตกร้าวเล็กน้อยในแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้มูลช้างขนาด 30 40 และ 50 Mesh ซึ่งการใช้แป้งมันผสมน้ำอุณหภูมิห้องเป็นตัวประสานนั้นสอดคล้องกับงานวิจัยของกิตติพงษ์ ลาลุน [8] ที่ศึกษาการผลิตถ่านอัดแท่งจากเหง้ามันสำปะหลังเมื่อใช้น้ำและแป้งมันเป็นตัวประสาน เมื่อปรับเปลี่ยนตัวประสานเป็นแป้งมันสำปะหลังและน้ำร้อน แท่งเชื้อเพลิงเขียวที่ได้เกิดรอยแตกร้าวมากขึ้นและบางแท่งแตกร่วน ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของอภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ และคณะ [9] ที่ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมกับซังข้าวโพดและกะลามะพร้าวโดยใช้แป้งมันและน้ำร้อนเป็นตัวประสาน สำหรับแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานนั้นแตกร่วน การผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างที่ใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสานได้ผลแตกต่างจากงานวิจัยการผลิตถ่านอัดแท่งโดยใช้ผงถ่านเปลือกเมล็ดกาแฟผสมกับแป้งเปียกของนฤภัทร์ ตั้งมั่นคงวรกูล และพัชรี ปรีดาสุริยะชัย [10]

ขนาดมูลช้าง : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำอุณหภูมิห้อง				
10 Mesh	20 Mesh	30 Mesh	40 Mesh	50 Mesh
ขนาดมูลช้าง : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำร้อน				
10 Mesh	20 Mesh	30 Mesh	40 Mesh	50 Mesh
ขนาดมูลช้าง : แป้งเปียก				
10 Mesh	20 Mesh	30 Mesh	40 Mesh	50 Mesh

ภาพที่ 4 แสดงลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้าง

การศึกษาลักษณะภายนอกของแท่งเชื้อเพลิงพบว่าการผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างโดยใช้ตัวแป้งมันสำปะหลัง และน้ำอุณหภูมิห้องเป็นตัวประสานทำให้เกิดความเสียหายในการผลิตน้อยที่สุด การศึกษาการยืดและหดตัวและความหนาแน่นจึงศึกษาเฉพาะแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและน้ำอุณหภูมิห้องเป็นตัวประสานเท่านั้น

2. การยืดและหดตัว

การศึกษาการยืดและหดตัวตามแนวยาวของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและน้ำเป็นตัวประสาน ผลจากการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้มูลช้างขนาด 10-50 Mesh ใช้ตัวประสานแป้งมันสำปะหลังและน้ำอุณภูมิห้อง หลังจากครบ 3 สัปดาห์ยืดตัวตามแนวยาวเพิ่มขึ้น 1.5, 0.6, 0.4, 0.1 และ 0.2 cm คิดเป็นร้อยละ 26.79, 10.91, 6.67, 2.04 และ 4.35 ตามลำดับ อัตราส่วนของมูลช้างที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและน้ำเป็นตัวประสานเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้มูลช้างขนาด 40 Mesh คิดเป็นร้อยละ 2.04 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกัณมณี แสงสุข [11] การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 14 วัน แท่งเชื้อเพลิงมีร้อยละการขยายตัวด้านความยาว อยู่ระหว่างร้อยละ 0.77 – 3.79 เนื่องจากความชื้นมีผลการยืดและหดตัวของแท่งเชื้อเพลิง [6]

ตารางที่ 1 การยืดและหดตัวของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและน้ำเป็นตัวประสาน

ขนาดของมูลช้าง	ระยะยืดและหดตัวตามแนวยาว (cm)			
	เริ่มต้น	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3
10 Mesh	5.6	6.8	7.1	7.1
20 Mesh	5.5	5.7	6.1	6.1
30 Mesh	6.0	6.1	6.4	6.4
40 Mesh	4.9	4.9	5.0	5.0
50 Mesh	4.6	4.7	4.8	4.8

3. ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างที่คงรูป ผลจากการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า อัตราส่วนมูลช้างต่อแป้งมันสำปะหลังและน้ำที่อุณภูมิห้อง ขนาดมูลช้าง 10, 20, 30, 40 และ 50 Mesh มีความหนาแน่น 4.96×10^{-4}, 7.04×10^{-4}, 6.50×10^{-4}, 7.98×10^{-4}, 7.40×10^{-4} kg/cm^3 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งตามมาตรฐาน DIN EN 51731 เชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งที่ผลิตได้ต้องมีความหนาแน่นมากกว่า 1×10^{-4} kg/cm^3 [12] แสดงว่าเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างที่ผลิตได้มีความหนาแน่นเป็นไปตามมาตรฐาน DIN EN 51731 นอกจากนั้นยังสอดคล้องกับงานวิจัยของอนุวัตร ศรีนวล และอัมพวัลย์ ชัยนาวา ที่ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบสนประดิพัทธ์ผสมถ่านลิกไนต์ซึ่งมีค่าความหนาแน่น 7.80×10^{-4} ซึ่งมีการอัดแท่งของเชื้อเพลิงได้ดีและเป็นไปตามมาตรฐาน [13]

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและน้ำเป็นตัวประสาน

อัตราส่วนและขนาดของมูลช้าง	ความหนาแน่น (kg/cm^3)
10 Mesh	4.96×10^{-4}
20 Mesh	7.04×10^{-4}
30 Mesh	6.50×10^{-4}
40 Mesh	7.98×10^{-4}
50 Mesh	7.40×10^{-4}

สรุปผลการวิจัย

การผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างโดยใช้ตัวประสานเป็นแป้งมันและน้ำอุณหภูมิห้องที่อัตราส่วน 4:1:0.25 อัดด้วยแรงดันที่ 70 kg/cm^2 ด้วยเครื่องอัดแบบไฮโดรลิค เป็นรูปแบบที่เหมาะสมต่อการผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างที่มีขนาด 10 - 50 Mesh เนื่องจากเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งที่ผลิตได้มีลักษณะทางกายที่ได้รับความเสียหายน้อยที่สุด การยืดและหดตัวระหว่าง 0.1–1.5 cm และมีความหนาแน่นระหว่าง 4.96×10^{-4}–7.98×10^{-4} kg/cm^3

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่สนับสนุนพื้นที่ และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัย และปางช้างในตำบลกี้ดช้าง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ที่สนับสนุนมูลช้างในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] มยุรี เรืองสมบัติ. (2549). **การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากกระดาษมูลช้าง สำหรับศูนย์อนุรักษ์ช้างไทย**. ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

[2] ธัชพงศ์ บุญเรือง และชมชื่น ศิริผันแก้ว. (2558). **ปุ๋ยหมักจากมูลช้างเอเชีย**.หลักสูตรชีววิทยาเชิงอนุรักษ์ มหาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี.

[3] พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น. (2559). การพัฒนาเครื่องอัดแท่งถ่านในรูปแบบเกลียวอัดเย็นสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวล จากเศษวัสดุเหลือใช้ในกระบวนการผลิตกาแฟชุมชน และการหาคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงจากผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่ง. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**. 9(1), 34-48.

[4] รุ่งนภา จุลศักดิ์ และวรพจน์ โพธาเจริญ. (2561). **การผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากเศษใบไม้ (อาร์ดีเอฟ 5) เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน**. วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

[5] วัชราภรณ์ ยุบลเขต, ดาริวรรณ เศรษฐีธรรม. (2560). **เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขยะเศษใบไม้ที่ได้จากการอัดด้วยเครื่องอัดและอัดด้วยมือ**. สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[6] กานต์ วิรุณพันธ์, ธนารักษ์ สายเปลี่ยน และ ภาคภูมิ ใจชมพู. (2560). **การผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษวัสดุเหลือใช้ในการผลิตข้าวหลาม**. สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก.

[7] กฤษฎา นามวงศ์ และมงคล คธาพันธ์. (2560). **การออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิงจากใบสะเดาแห้งร่วมกับขี้เลื่อยเผา**.หน่วยวิจัยพลังงานทดแทน คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีพนมวันท์.

[8] กิตติพงษ์ ลาลุน. (2554). **การศึกษาและพัฒนาเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งจากเหง้ามันสำปะหลัง**.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตรและอาหาร). บัณฑิตวิทยาลัย : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[9] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ, ทีปกร คุณาพรวิวัฒน์, พิสุทธิ์ รัตนแสนวงษ์, จักรพันธ์ กัณหา และวรพจน์ พันธุ์. (2551). **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากขี้เถ้าแกลบผสมซังข้าวโพดและกะลามะพร้าวด้วยเทคนิคเอ็กซ์ทรูชั่นโดยใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน**.คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพฯ.

[10] นฤภัทร์ ตั้งมั่นคงวรกูล และพัชรี ปรีดาสุริยะชัย. (2558). **การศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง**.สำนักนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[11] กัณมณี แสงสุข. (2559). **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ ขี้เลื่อย และด้าย**.ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[12] อนินท์ มีมนต์, ศุภเอก ประมูลมาก และจิราวัฒน์ ใจอู่. (2558). **อิทธิพลของขนาดผลอนุภาคเศษพืชเหลือใช้จากงานเกษตรกรรมสำหรับอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงชีวมวล.**ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[13] อนุวัตร ศรีนวล และอัมวัลย์ ชัยนาวา. (2561). **การศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบสนประดิพัทธ์ผสมถ่านหินลิกไนต์**. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

ศึกษาระบบการจัดการเปลือกและซังข้าวโพดเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน
Study on Biomass Feedstock Production from Maize Husks and Cop for Renewable Energy

พินิจ จิรัคคกุล[1*] อนุชา เชาว์โชติ[2] และ สิทธิชัย ดาศรี[2]
[1,*]ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น 320 หมู่ 12 ต. บ้านทุ่ม อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40000
[2]สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร แขวงลาดยาว กรุงเทพฯ 10900

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้จากเปลือกและซังข้าวโพดที่ผ่านการเก็บเกี่ยวทั้งเปลือกและผ่านการนวดเพื่อแยกเมล็ด เนื่องจากเปลือกและซังมีขีดจำกัดการใช้งาน ทำให้การพัฒนาเครื่องจักรกลสำหรับแปรรูปเปลือกและซังเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ให้ได้ทั้งหมดและเกิดประโยชน์สูงสุด งานวิจัยนี้ได้พัฒนา 1) เครื่องแยกเปลือกและซัง 2) เครื่องอัดก้อนชีวมวลขนาดเล็ก 3) เครื่องบดซังข้าวโพด เพื่อเป็นโรงงานต้นแบบการแปรรูปขนาดเล็กสำหรับชุมชน กำลังผลิต 500 กก/ชม ผลิตวัตถุดิบให้กับโรงไฟฟ้าและเอทานอล พบว่า 1) เครื่องแยกเปลือกและซังใช้ระบบลูกกลิ้งยางวิ่งส่วนทางกันเพื่อแยกเปลือกและซังข้าวโพดจะมีสมรรถนะมากกว่า 500 กก/ชม ความเร็วรอบ 145 รอบต่อนาที 4 ลูกกลิ้งยาง แต่มีข้อจำกัดที่เปลือกและซังเปียกจะทำให้ความสามารถต่ำลงหรือติดเป็นช่วงๆ 2) เครื่องอัดก้อนชีวมวลขนาดเล็กขนาด 50x50x60 ซม^3 โดยใช้ระบบไฮดรอลิคสมรรถนะ 12 ก้อนต่อชั่วโมง ใช้แรงงาน 2 คน ซึ่งความหนาแน่นจะขึ้นกับฤดูกาล น้ำหนัก 46-48.6 กิโลกรัมต่อก้อน หรือ ความหนาแน่น 306.67-324.0 กก/ม^3 สำหรับฤดูการเก็บเกี่ยวปลายฝน และ มีน้ำหนัก 22.3-24.1 กิโลกรัมต่อก้อน หรือ ความหนาแน่น 148.7-160.7 kg/m^3 ฤดูการเก็บเกี่ยวฤดูหนาวที่มีสภาพแห้งมาก เปรียบเทียบกับการใช้เครื่องอัดฟางความหนาแน่นเพียง 78.1 กก/ม^3 3) เครื่องบดซังข้าวโพดเพื่อเป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอล โดยใช้เครื่องสับย่อยแบบค้อน(Hammer mill) ต้นกำลังมอเตอร์ 10 แรงม้า สภาวะไม่มีภาระใช้กระแส 5 A และเมื่อทำการทดสอบการป้อนซังกระแสจะขึ้นเป็น 7 A โดยสภาวะที่เกิด Peak มีค่า 10.5 A กระแสสูงสุด 15.5 A สมรรถนะของเครื่องมีค่าเฉลี่ย 103.6 กก/ชม ที่ความชื้น 7.22 % (wb) ค่าพลังงานไฟฟ้า 168.05 บาทต่อตัน และจากการศึกษาระบบการขนส่งเปลือกและซังด้วยรถบรรทุกความหนาแน่นที่บรรทุก 140.21 kg/m^3 ที่ความชื้น 5.51% (wb) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำหนักซังความหนาแน่น 128.44 kg/m^3 เพราะฉะนั้นการขนส่งเปลือกเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงต้องใช้เครื่องอัดเพื่อให้สมรรถนะการขนส่งให้เท่าเทียมกับการขนเปลือกและซังข้าวโพดในสภาวะปกติและใช้ร่วมกับเครื่องแยกเปลือกและซัง ส่วนการบดซังเพื่อเป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอลจะทำให้เพิ่มต้นทุนและกำลังการผลิตต่ำไม่เหมาะต่อการลงทุน

คำสำคัญ: ชีวมวล, เปลือกข้าวโพด, ซังข้าวโพด , Biomass, Maize Husk, Cop

---

* Corresponding author: Tel.: 094-2891472. E-mail address: J_pinit12@yahoo.com

บทนำ

จากปัญหาสิ่งแวดล้อมของการเผาเปลือกและซังข้าวโพดและวิกฤติพลังงาน ซึ่งส่งผลต่อประเทศไทยอย่างยิ่งยวด ทำให้ประสพปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม อีกทั้งต้องมีการนำเข้าพลังงาน รัฐเร่งแก้ปัญหาและหาแหล่งพลังงานทดแทน โดยข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศ และเป็นแหล่งชีวมวลจำนวนมาก จากข้อมูลสถิติการเกษตรการเพาะปลูกและผลผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปีเพาะปลูก 2555/56 สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [1] รายงานว่า ประเทศไทยมีเนื้อที่เพาะปลูก 7.53 ล้านไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ภาคเหนือ 5.08 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 67.46 รองลงมาเป็นภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง 1.74 และ 0.71 ล้านไร่ ตามลำดับ มีผลผลิตข้าวโพด 4,947,530 ตัน วีรชัยและคณะ [2] ได้ศึกษาสถานภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรพบว่า สัดส่วนเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จะมีปริมาณซังและเปลือกต่อผลผลิตร้อยละ 37 ศักยภาพเปลือกและซังมีปริมาณ 1.83 ล้านตัน แต่เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่จะเก็บเกี่ยวแบบไม่มีเปลือกทำให้ศักยภาพของชีวมวลลดลง กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [3] ประเมินศักยภาพของซังที่มีการนำไปใช้ 90% (1.094 ล้านตัน) หรือถ้ามีการเก็บเกี่ยวทั้งเปลือกจะมีปริมาณ 1.68 ล้านตัน ทำให้ศักยภาพจากเปลือกและซังมีปริมาณ 0.143 ล้านตัน ซึ่งเศษวัสดุเหลือใช้เหล่านี้ไม่มีความเหมาะสมทางกายภาพในการนำไปเป็นเชื้อเพลิงหรือการขนส่งซึ่งยากต่อการจัดการ ลักษณะทางกายภาพฟู ไม่เหมาะต่อการนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากต้องมีการป้อนอยู่ตลอดเวลา ทำให้โรงสีหรือลานนวดข้าวโพด นิยมเผาเพื่อลดการจัดการภายในพื้นที่ ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ ซึ่งคณะผู้วิจัยจึงเร่งเห็นว่า การพัฒนาเครื่องจักรกลสำหรับแปรรูปเพื่อเก็บรักษาเชื้อเพลิงชีวมวลมีความจำเป็นอย่างยิ่งและสามารถส่งเสริมการใช้เศษวัสดุเหลือทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพได้ และปรับปรุงระบบการจัดการที่เหมาะสมกับโรงสีข้าวโพดในการผลิตเชื้อเพลิงเพื่อจำหน่าย ตลอดจนสามารถเก็บรักษาเชื้อเพลิงไว้ในฤดูที่ขาดแคลนวัตถุดิบ เป็นการบูรณการและพัฒนาต่อยอดให้เกิดกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ประหยัดพลังงาน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและไม่ก่อของเสียจากกระบวนการผลิต(Zero Waste)

วิธีการวิจัย

1. สำรวจและประเมินปริมาณเชื้อเพลิงจากเปลือกและซังข้าวโพดจากโรงสีข้าวโพดและลานสีข้าวโพด
2. ศึกษาสมบัติการเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM E E873-82 สมบัติทางเคมีวิเคราะห์ องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate Value) ตามมาตรฐาน ASTM E 871 -82 และ ASTM E D 1102-84 หาองค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate Value) ได้แก่ C,H,N,S และ O โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ (CHNS Elemental Analyzer) รุ่น Analyzer CHNS-932
3. ออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรสำหรับแยกเปลือกและซังเพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล
4. ออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดก้อนเชื้อเพลิงจากเปลือกเพื่อการเก็บรักษาและการขนส่ง
    - 4.1 ทำการทดสอบเครื่องฟางที่มีใช้ในการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรสำหรับอัดเปลือกและซังข้าวโพด
    - 4.2 พัฒนาเครื่องอัดก้อนขนาดเล็กสำหรับลานนวดข้าวโพดเพื่อใช้ในการเก็บรักษาและการขนส่ง
5. ทดสอบสมรรถนะเครื่องบด hammer mill เพื่อศึกษาสมรรถนะ(กก./ชม) เพื่อให้ขนาดของซังข้าวโพดมีขนาดที่เหมาะสมการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอล
6. ประเมินเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อการแปรรูปเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อการขนส่งและเก็บรักษาสำหรับเป็นพลังงานทดแทน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการสำรวจ 25 แห่ง (เป็นโรงงานและลานนวดข้าวโพดของเกษตรกร) ดังภาพที่ 1 ภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย พะเยา แพร่ (จำนวน 15 แห่ง โรงงานและลานนวดข้าวโพดของเกษตรกร) กำแพงเพชร จำนวน 2 แห่ง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา ชัยภูมิ ขอนแก่น เลย 8 แห่ง พบว่า เศษวัสดุเหลือใช้ที่เหลือทิ้งจะอยู่ในที่สูง เช่น บนดอยของจังหวัดเชียงใหม่ อ. แม่แจ่ม และเชียงราย อ. แม่สวย ในบางพื้นที่ ส่วนจังหวัดแพร่และพะเยายังประสพปัญหาเรื่องการจำหน่ายเปลือกและซังข้าวโพด ซึ่งบางส่วนเริ่มนิยมนำไปผลิตอาหารสัตว์และปุ๋ยอินทรีย์ เช่น อ. ฝาง จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโรงงานผลิตอาหารสัตว์ เป็นวัตถุดิบเข้าโรงงานผลิต Furfural และนำเปลือกไปเป็นอาหารสัตว์ โดยจังหวัดนครราชสีมามีการค้าเปลือกและซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเชิงพาณิชย์อยู่แล้ว และการทำอาหารสัตว์อัดฟ่อน ซึ่งจากการสำรวจมีกลุ่มเกษตรกรที่ผลิตเครื่องแยกเปลือกและซังอยู่แล้ว และผู้วิจัยนำข้อมูลเกษตรกรมาพัฒนาต่อยอด ดังภาพที่ 2 แต่ยังต้องมีปรับปรุงเนื่องจากกระบวนการผลิตมีหลายขั้นตอน ทำให้การพัฒนาต้นแบบที่ต่อยอดจากของเกษตรกรเป็นสิ่งสำคัญต่อการพัฒนาเครื่องจักร การจัดเก็บข้อมูลช่วง เดือน พฤศจิกายน-มีนาคม 2559 การออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรสำหรับแยกเปลือกและซังใช้หลักการเครื่องนวดข้าวโดยใช้ฟันลูกนวดตีซังให้แตกและทำการแยกเปลือกและซังออกโดยใช้ลมเป่าและตะแกรงคัดแยก พบว่า สมรรถนะการแยกเปลือกและซังต่ำ ดังตารางที่ 1 มีค่า 262.77-288.00 กก./ชม. และซังข้าวโพดมีลักษณะแตกเป็นชิ้น ซึ่งยังไม่เหมาะสมต่อการนำไปเป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอลได้จึงทำการปรับปรุงและปรับหลักการโดยใช้ลักษณะการปอกเปลือกข้าวโพด ดังภาพที่ 3 พบว่า ที่ความเร็วรอบลูกปอก 145 rpm 4 ลูกกลิ้งยาง สมรรถนะการแยกเปลือกและซังข้าวโพดได้มากกว่า 500.00 กก./ชม. (ขึ้นอยู่สภาพและปริมาณเปลือกและซัง) แต่มีข้อจำกัดที่เปลือกและซังเปียกจะทำให้ความสามารถต่ำลงหรือติดเป็นช่วงๆ แต่การแยกเปลือกและซังสามารถทำได้อย่างสะอาด ซึ่งเมื่อสามารถแยกเปลือกและซังกระบวนการต่อไปคือการพัฒนาระบบการจัดเก็บและการขนส่งด้วยการอัดก้อนเปลือกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งและการเก็บรักษา โดยปัจจัยที่สำคัญคือความหนาแน่น (Bulk Density), ปริมาณความชื้น (Moisture Content) โดยปกติทางลานรับซื้อจะเก็บรักษาเปลือกและซังข้าวโพด ด้วยวิธีการกองไว้ที่ลานซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพเชิงความร้อน จากการศึกษาพบว่า เปลือกข้าวโพดจะมีความหนาแน่นต่ำ 18.35-30.58 กก/ม^3 ซึ่งน้ำหนักส่วนใหญ่จะอยู่ที่ซังมีค่า 128.44-152.90 กก/ม^3 และเมื่อทำการบรรทุกด้วยรถ 6 ล้อทั้งเปลือกและซังจะมีค่าความหนาแน่น 140.21 กก/ม^3 ดังตารางที่ 2 ความสามารถในการบรรทุกได้ 3,370 กก. ที่พิกัดบรรทุกสูงสุดของรถ 9000 กิโลกรัม ทำให้ประสิทธิภาพการขนส่งลดลง 57.88% ส่วนปริมาณความชื้นของซังจะมีค่าสูงกว่าเปลือก โดยที่เปลือกจะมีความชื้น 12.04-14.22 %wb และซังจะมีความชื้น 30.31-39.43 %wb เมื่อมีการเก็บตัวอย่างหลังจากการนวดเพื่อแยกเมล็ดออก จากการวิเคราะห์เปลือกและซังแบบประมาณ (Proximate Value) และแบบแยกธาตุ (Ultimate Value) พบว่า เปลือกจะมีปริมาณเถ้าสูงกว่าซัง มีค่า 3.63 และ 1.80% ตามลำดับ อีกทั้งเปลือกจะมีค่าความร้อนต่ำกว่าซังมีค่า 15,379 และ 16,883 kJ/kg ที่ความชื้น 6.90 และ 9.38 %wb ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ภาพที่ 1 ลักษณะเปลือกและซังข้าวโพดที่ได้จากการนวดและการนำไปใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์และผลิตปุ๋ย

(ก) (ข)

ภาพที่ 2 (ก) เครื่องแยกเปลือกและซังของเกษตรกร และ (ข) การพัฒนาเครื่องแยกเปลือกและซังต่อยอดจากเกษตรกร

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเครื่องต้นแบบในการคัดแยกซังและเปลือกข้าวโพด

ความเร็วลูกนวด(rpm)	ความสามารถ (กก/ชม)	ในระบบการคัดแยกซัง ได้ปริมาณซัง (%โดยน.น.)	ในระบบการคัดแยกซัง มีเปลือกปนอยู่ (%โดยน.น.)	ในระบบการคัดแยกเปลือก ได้ปริมาณเปลือก (%โดยน.น.)	ในระบบการคัดแยกเปลือก มีซังปนอยู่ (%โดย น.น.)
500	262.77	11.78	11.44	62.00	6.54
700	288.00	17.70	10.00	43.60	7.98
900	266.67	13.74	15.20	45.64	4.48

จากการทดสอบเครื่องอัดฟ่อนฟางในการอัดเปลือกและซังข้าวโพด พบว่า ประสพปัญหาซังข้าวโพดจะสะสมอยู่ด้านล่าง และทำให้ก้อนที่ผ่านการอัดไม่สามารถมัดได้แน่น ดังภาพที่ 4 อีกทั้งการใช้เครื่องอัดฟ่อนที่เป็นแบบคนป้อนยังประสพปัญหาต้องใช้แรงงาน 5-6 คน ไม่สะดวกและเป็นการเพิ่มต้นทุน ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ เพราะฉะนั้นเครื่องอัดก้อนทั้งเปลือกและซัง จะต่อยอดระบบการแยกเปลือกและซัง จึงเป็นการพัฒนาศักยภาพของการนำเปลือกและซังไปใช้งาน ทำให้การออกแบบเครื่องอัดก้อนใช้รูปแบบแนวตั้ง ลดการสะสมของซังด้านล่างที่เกิดจากน้ำหนักซังที่มากกว่าเปลือกและสามารถเปิดฝาข้างหน้าได้ ทำให้สะดวกต่อการจัดการและความปลอดภัย เครื่องเครื่องต้นแบบแสดง ดังภาพที่ 5 เพื่อให้ได้ขนาดก้อนชีวมวลขนาด 50x50x60 ซม^3 โดยใช้เครื่องต้นกำลังขนาด 2 แรงม้า 1 เฟส 50 เฮิรตซ์ และใช้เกียร์ปั๊มในการผลิตความดัน อัตราการไหลปั๊มมีขนาด 10 cc/rev ขับปั๊มที่ความเร็วรอบ 725 รอบต่อนาที และใช้วาล์ว 4/3 ใน

การควบคุม ขึ้น-ลง ทำการทดสอบสมรรถนะเครื่อง พบว่า ขนาดก้อน 50x50x60 ซม^3 มีน้ำหนัก 46-48.6 กก. หรือ ความหนาแน่น 306.67-324.0 กก/ม^3 สำหรับเปลือกและซังข้าวโพดฤดูการเก็บเกี่ยวปลายฝน และ มีน้ำหนัก 22.3-24.1 กก. หรือ ความหนาแน่น 148.7-160.7 กก/ม^3 สำหรับเปลือกและซังข้าวฤดูการเก็บเกี่ยวฤดูหนาวที่มีสภาพแห้งมาก จากเดิมที่ใช้เครื่องอัดฟางได้ความหนาแน่นเพียง 78.1 กก/ม^3 ซึ่งจะทำให้สามารถขนาดส่งได้ง่ายและสามารถป้อนโรงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการทดสอบได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องอัดแนวนอนและการเปลี่ยนต้นกำลังจากมอเตอร์ 3 แรงม้า เป็นเครื่องยนต์เบนซิน 5.5 แรง พบว่าการอัดแนวตั้งจะทำให้สามารถอัดได้ความหนาแน่นสูงกว่า ดังตารางที่ 4 โดยความสามารถในการอัดก้อน 10-12 ก้อนต่อชั่วโมง หรือ 1.232-1.360 ตัน/ชม. ซึ่งจากการพัฒนาเครื่องอัดฟ่อนเปลือกและซังข้าวโพดและการขนส่งบรรทุกเปลือกและซังข้าวโพด ดังตารางที่ 2 และ 6 พบว่าจากเดิมการบรรทุกจะมีความหนาแน่น 140.21 กก/ม^3 แต่เมื่ออัดฟ่อนความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นในกรณีอัดแนวตั้งมีค่า 183.7-187.2 กก/ม^3 เพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง 23.7- 25.1% แต่สะดวกในการลงและเก็บรักษา อีกทั้งถ้ามีเฉพาะเปลือกที่มีความหนาแน่นขนาดอัด 30.58 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง 5.00- 5.12 เท่า

ตารางที่ 2 แสดงค่าความหนาแน่นของซังและเปลือกข้าวโพด

ชื่อวัสดุ (แบบการทดสอบ)	ความชื้นของวัสดุที่ทำการทดสอบหาความหนาแน่น (%)	ความหนาแน่น (กก/ม^3)
เปลือก	6.55	18.35[2)]
เปลือก (อัด)	6.55	30.58[2)]
ซังและเปลือก	5.51	140.21[1)]
ซัง	5.73	128.44[2)]
ซัง (อัด)	5.73	152.90[2)]

หมายเหตุ [1)]ขนาดกะบะรถบรรทุก 6 ล้อ คอกสูง กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.3 x 5.5 x 1.4 ม^3

[2)]ขนาดภาชนะที่ทำการทดสอบ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 0.31 x 0.31 x 0.34 ม^3

-การหาปริมาณความชื้น (Moisture Content) ตามมาตราฐาน ASTM E871-82

ภาพที่ 3 ลักษณะของเครื่องแยกเปลือกและซังโดยใช้ลูกปอกเปลือกเครื่องเก็บเกี่ยวข้าวโพดมาพัฒนา

ภาพที่ 4 ลักษณะของเครื่องอัดฟางที่นำมาทดสอบอัดเปลือกและซังข้าวโพดจะพบปัญหาเมื่อมีซังเข้าไปจะทำให้ก้อนไม่สามารถมัดได้สม่ำเสมอ

ตารางที่ 3 สมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของเปลือกและซังแบบประมาณ (Proximate Value) และแบบแยกธาตุ (Ultimate Value)

คุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง		เปลือก	ซัง
ร้อยละความชื้นเริ่มต้น(Wet basis)		6.9	9.38
องค์ประกอบแบบประมาณ (Dry basis)	ร้อยละของสารระเหย (%VM)	87.35	81.31
	ร้อยละของเถ้า (%Ash)	3.63	1.80
	ร้อยละของคาร์บอนคงตัว(%FC)	2.15	7.51
องค์ประกอบแบบละเอียด (Dry basis)	ร้อยละของคาร์บอน (%C)	50.86[1]	48.45
	ร้อยละของไฮโดรเจน (%H)	4.86[1]	6.49
	ร้อยละของไนโตรเจน (%N)	1.55[1]	0.45
	ร้อยละของซัลเฟอร์(%S)	0.34[1]	0.16
	ร้อยละของออกซิเจน (%O)	40.01[1]	43.11
ค่าความร้อนสูง LHV (kJ/kg)		15.379	16,883

หมายเหตุ 1) ที่มา วีรชัย และคณะ 2554

ภาพที่ 5 ลักษณะของเครื่องอัดเปลือกและซังข้าวโพดเพื่อการเก็บรักษาและขนส่ง

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบสมรรถนะการอัดชีวมวลของเครื่องอัด

เครื่องอัดชีวมวล	จำนวนก้อนเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง	เวลาในการอัดเฉลี่ยแต่ละก้อน(นาที)	น้ำหนักของชีวมวลรวมทดสอบ(กก)	น้ำหนักชีวมวลต่อก้อน (กก.)	ความหนาแน่น กก/ม^3
เครื่องอัดแนวนอน[1]	10	6.17	1,360.65	29.85	124.38[1]
ต้นกำลังเครื่องยนต์เบนซิน	11	5.55	393.20	27.56	183.7
ต้นกำลังมอเตอร์ไฟฟ้า	12	5.00	1,232.00	28.08	187.2

หมายเหตุ : [1]ขนาดก้อน 50x60x80 ซม.

(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพที่ 6 ลักษณะรถบรรทุกเปลือกและซังข้าวโพด (ก) รถ 4 ล้อเล็ก (ข) รถ 6 ล้อเล็ก (ค) รถ 6 ล้อใหญ่ และ (ง) รถพ่วง

ตารางที่ 5 น้ำหนักที่บรรทุกได้ของรถบรรทุก6ล้อ

ชนิดของรถบรรทุก	น้ำหนักที่บรรทุกได้ (กก.)
รถ 4 ล้อเล็ก	1,525
รถ 6 ล้อ เล็ก (พิกัดบรรทุก 6 ตัน)	1,535
รถ 6 ล้อ ใหญ่ (พิกัดบรรทุก 9 ตัน)	3,370
รถพ่วง (2พ่วง) (พิกัดบรรทุก 30 ตัน)	8,585

จากการทดสอบเครื่องบดย่อยซังข้าวโพดเพื่อเตรียมวัตถุดิบสำหรับการขนส่งและผลิตเป็นเอทานอล พบว่า**การใช้**เครื่องบดซังข้าวโพดด้วยเครื่องสับย่อยแบบค้อน(Hammer mill) ดังภาพที่ 7 ต้นกำลังมอเตอร์ 10 แรงม้า สภาวะไม่มีภาระใช้กระแส 5 A และเมื่อทำการทดสอบการป้อนซังกระแสจะขึ้นเป็น 7 A โดยสภาวะที่เกิด Peak มีค่า 10.5 A กระแสสูงสุด 15.5 A สมรรถนะของเครื่องมีค่าเฉลี่ย 103.6 กก/ชม. ที่ความชื้น 7.22 % (wb) ค่าพลังงานไฟฟ้า 168.05 บาทต่อตัน โดยการบดย่อยทั้งเปลือกเครื่องบดย่อยแบบค้อนไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากเส้นใยของเปลือกจะติดตะแกรงแต่เมื่อมีการบดย่อยเปลือกและซังข้าวโพดจะเพิ่มความหนาแน่นได้อีก 2.23 เท่า ดังตารางที่ 7 และมีลักษระทางกายภาพเหมาะสมการนำไปเป็นวัตถุดิบเอทานอล ส่วนการบดซังเพื่อเป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอลจะทำให้เพิ่มต้นทุน เนื่องจากกำลังการผลิตต่ำให้ต้นทุนสูงไม่เหมาะสมต่อการลงทุน และจากการศึกษาระบบการขนส่งเปลือกและซังด้วยรถบรรทุกความ

หนาแน่นที่บรรทุก 140.21 กก./ม^3 ที่ความชื้น 5.51% (wb) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำหนักซังความหนาแน่น 128.44 กก./ม^3 เพราะฉะนั้นการขนส่งเปลือกเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงต้องใช้เครื่องอัดเพื่อให้สมรรถนะการขนส่งให้เท่าเทียมกับการขนเปลือกและซังข้าวโพดในสภาวะปกติและใช้ร่วมกับเครื่องแยกเปลือกและซัง ส่วนการบดซังเพื่อเป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอลจะทำให้เพิ่มต้นทุนและกำลังการผลิตต่ำไม่เหมาะต่อการลงทุน

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความหนาแน่นของเปลือกและซังข้าวโพดทั้งก่อนและหลังการบดย่อย

ตัวอย่าง	**ความหนาแน่น (กก./ม^3.)**			
	ไม่ผ่านการย่อย		**ผ่านการย่อย**	
	ไม่กด (ซัง+เปลือก)%	กด(ซัง+เปลือก)%	ไม่กด	กด
1	*21.6362(28.56+71.44)*	*37.8634(13.96+86.06)*	*94.6585*	*149.6355*
2	24.3407(24.99+75.01)	48.6815(32.75+67.25)	86.5449	135.2265
3	13.5226(3.28+96.72)	45.9778(30.01+69.99)	73.0223	143.3401
เฉลี่ย	19.833	44.174	84.742	142.734

สรุปผลการวิจัย

จากการเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งเปลือกจะมีปริมาณ 1.68 ล้านตัน ศักยภาพเศษวัสดุเหลือใช้จากเปลือกและซังมีปริมาณ 0.143 ล้านตัน ซึ่งเศษวัสดุเหลือใช้เหล่านี้ไม่มีความเหมาะสมทางกายภาพในการนำไปเป็นเชื้อเพลิงหรือการขนส่งซึ่งยากต่อการจัดการ ลักษณะทางกายภาพของเปลือกและซังข้าวโพดมีลักษณะฟู จากการศึกษามีความจำเป็นอย่างยิ่งยวดในการแยกเปลือกและซังออกจากการกัน โดยเครื่องสำหรับแยกเปลือกและซังใช้หลักการเครื่องปอกเปลือกข้าวโพด จะมีประสิทธิภาพโดยใช้ 4 ลูกกลิ้งยาง สมรรถนะมากกว่า 500.00 กก/ชม แต่มีข้อจำกัดที่เปลือกและซังเปียกจะทำให้ความสามารถต่ำลงหรือติดเป็นช่วงๆ แต่การแยกเปลือกและซังสามารถทำได้อย่างสะอาด และเมื่อทำการแยกเปลือกและซัง เปลือกจะมีความหนาแน่นต่ำ 18.35-30.58 กก./ตัน ซึ่งน้ำหนักส่วนใหญ่จะอยู่ที่ซังมีค่า 128.44-152.90 กก/ม^3 และเมื่อทำการบรรทุกด้วยรถ 6 ล้อทั้งเปลือกและซังจะมีค่าความหนาแน่น 140.21 กก/ม^3 โดยความสามารถในการบรรทุกได้ 3,370 กก. ที่พิกัดบรรทุกสูงสุดของรถ 9,000 กก. ทำให้ประสิทธิภาพการขนส่งลดลง 57.88% ส่วนปริมาณความชื้นของซังจะมีค่าสูงกว่าเปลือก เปลือกมีความชื้น 12.04-14.22 %wb และซังมีความชื้น 30.31-39.43 %wb เมื่อมีการเก็บตัวอย่างหลังจากการนวดเพื่อแยกเมล็ดออก การวิเคราะห์เปลือกและซังแบบประมาณ (Proximate Value) และแบบแยกธาตุ (Ultimate Value) พบว่า เปลือกจะมีปริมาณเถ้าสูงกว่าซัง มีค่า 3.63 และ 1.80% ตามลำดับ อีกทั้งเปลือกจะมีค่าความร้อนต่ำกว่าซังมีค่า 15,379 และ 16,883 kJ/kg ที่ความชื้น 6.90 และ 9.38 %wb ตามลำดับ การอัดฟ่อนเปลือกและซังโดยใช้เครื่องอัดฟ่อนฟางในการอัดเปลือกและซังข้าวโพด พบว่าประสพปัญหาซังข้าวโพดจะสะสมอยู่ด้านล่าง และทำให้ก้อนที่ผ่านการอัดไม่สามารถมัดได้แน่น อีกทั้งการใช้แรงงาน 5-6 คน ต้นทุนสูง เพราะฉะนั้นเครื่องอัดก้อนทั้งเปลือกและซังใช้รูปแบบแนวตั้ง ลดการสะสมของซังด้านล่างขนาดก้อนชีวมวลขนาด 50x50x60 ซม^3 สามารถอัดได้น้ำหนัก 46-48.6 กก. หรือ ความหนาแน่น 306.67-324.0 กก/ม^3 สำหรับปลายฝน และมีน้ำหนัก 22.3-24.1 กก. หรือ ความหนาแน่น 148.7-160.7 กก/ม^3 สำหรับฤดูหนาวที่มีสภาพแห้งมาก ความสามารถในการอัดก้อน 10-12 ก้อน/ชม. หรือ 1.232-1.360 ตัน/ชม เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอัดฟางได้ความหนาแน่นเพียง 78.1 กก./ม^3 และจากการบรรทุกแบบเดิมจะมีความหนาแน่น 140.21 กก/ม^3 เพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง 23.7- 25.1% แต่สะดวกในการลงและเก็บรักษา แต่ถ้ามีเฉพาะเปลือกที่มีความหนาแน่นขนาดอัด 30.58 กก/ม^3 จะเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง 5.00- 5.12 เท่า ส่วนการแปรรูปบดย่อยซังข้าวโพดด้วยเครื่องสับย่อยแบบค้อน(Hammer mill) สมรรถนะของ

เครื่องมีค่าเฉลี่ย 103.6 กก./ชม. ค่าพลังงานไฟฟ้า 168.05 บาทต่อตัน การบดซังเพื่อเป็นวัตถุดิบผลิตเอทานอลจะทำให้เพิ่มต้นทุน เนื่องจากกำลังการผลิตต่ำให้ต้นทุนสูงไม่เหมาะสมต่อการลงทุน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนมอบทุนวิจัยประจำปี 2559-2562 มา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2556). พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพด สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2562, จาก http://www.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์/TH-TH

[2] วีรชัย อาจหาญ, สมรัฐ เกิดสุวรรณ, วิรัช อยู่ชา และคณะ (2555). โครงการศึกษาแนวทางบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงและลดการเกิดหมอกควัน. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). ศักยภาพชีวมวล สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2562, จาก http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html.

อิทธิพลองค์ประกอบเตาชีวมวลที่มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อน กรณีศึกษา : เตาชีวมวลฉนวนสองชั้น

The Effect of Biomass stove configuration on thermal efficiency : A case study of double-wall stove

ไพฑูรย์ เหล่าดี[1] นิธิพัฒน์ ตลึงจิตร[1] วรจิตต์ เศรษฐพรรค์[1] และ ชยานนท์ สวัสดีนฤนาท[1*]

[1] วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 508180

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาคุณลักษณะการเผาไหม้ของเตาชีวมวลแบบมีผนังสองชั้น (Double wall) ซึ่งใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการทดสอบ โดยออกแบบเตาชีวมวลที่สามารถป้อนเชื้อเพลิงได้ต่อเนื่อง มีขนาดความจุ 28 ลิตร โดยประกอบด้วย ห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) ห้องเผาไหม้ช่วย (Pre-combustion chamber) อากาศขาเข้า (Primary air) ใช้พัดลมหอยโข่งและควบคุมความเร็วรอบด้วยตัวปรับความเร็วรอบมอเตอร์ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการออกแบบเตาชีวมวลโดยมีผนังสองชั้น (Double wall) เพื่อลดการสูญเสียความร้อนของห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของเตาชีวมวลด้วยวิธีการ ต้มน้ำเพื่อหาจุดเดือดของน้ำ (Boiling point test) การทดลองต้มน้ำปริมาตร 20 ลิตร ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิของผนังเตาชีวมวล Wall insulator zone 1 มีอุณหภูมิสูงสุด 354.45 °C อุณหภูมิต่ำสุด 31.68 °C และอุณหภูมิเฉลี่ย 140 °C ตามลำดับ และ Wall insulator zone 2 มีอุณหภูมิต่ำว่า Wall insulator zone 1 โดยในชั้นนี้มีอุณหภูมิสูงสุด 98.03 °C อุณหภูมิต่ำสุด 27.18 °C และอุณหภูมิเฉลี่ย 62.71 °C ตามลำดับ ประสิทธิภาพของเตาชีวมวลประมาณ 12- 24 %

คำสำคัญ: เตาชีวมวลแบบมีผนังสองชั้น ห้องเผาไหม้ ห้องเผาไหม้ช่วย

---

[*] Corresponding author: Tel.: 063-6645146. E-mail address: chayanon@cmru.ac.th

บทนำ

ปัจจุบันบัญหาการเผาไหม้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในพื้นที่ภาคเหนือนับวันทวีความรุนแรงมากขึ้นส่งผลกระทบต่อมลภาวะในอากาศ เช่นการเผาซังข้าวโพด กิ่งไม้ลำใย เป็นต้น จากรายงานวิจัยโครงการศึกษาแนวทางบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงและลดการเกิดหมอกควัน พบว่า ในปี พ.ศ. 2553 ประเทศไทยมีผลผลิตทางการเกษตรโดยปริมาณข้าวโพดคิดเป็น 4.6 ล้านตันต่อปี ซึ่งก่อให้เกิดเศษวัสดุเหลือใช้ประเภทต่าง ๆ ได้แก่ ซัง/เปลือกข้าวโพด 1.7 ล้านตันต่อปี คิดเป็นพลังงาน 0.8 ล้านตันน้ำมันดิบต่อปี และต้น/ตอ/ใบข้าวโพด 5.2 ล้านตันต่อปี คิดเป็นพลังงาน 2 ล้านตันน้ำมันดิบต่อปี โดยพลังงานทั้งหมดที่ได้จากเศษวัสดุเหลือใช้จากข้าวโพดมีค่าเทียบได้กับพลังงานทีได้จากน้ำมันเตา 3,092 ล้านลิตรต่อปี [1] อีกทั้งกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงานมีเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนในภาคความร้อนจากพลังงานชีวมวล 22,100 ktoe ปี 2579 [2] ดังนั้นแนวทางช่วยให้ลดปัญหาการเผาทิ้งเปล่าประโยชน์คือการให้ชุมชนเห็นประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้งเหล่านั้น การให้คนเห็นภาพและเข้าใจประโยชน์มากกว่าคำพูดคือการทำให้เป็นตัวอย่าง โดยการออกแบบเตาชีวมวลที่ใช้วัสดุทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้ม ซึ่งเชื้อเพลิงสามารถหาได้ตามท้องถิ่นในเขาภาคเหนือ การเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง (Solid phase) เช่น ซังข้าวโพด แกลบ เป็นต้น จากงานวิจัยที่ผ่านมุ่งศึกษาออกแบบเตาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency) ประสิทธิภาพโดยรวมของเตาชีวมวล (Overall system efficiency) ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของการออกแบบเตาชีวมวลโดยมีผนังสองชั้น (Double wall) เพื่อลดการสูญเสียความร้อนของห้องเผาไหม้ (Combustion chamber)

วิธีการวิจัย

การวิจัยแบ่งออกเป็น สามช่วง *โดยช่วงแรก* เป็นการออกแบบการทดลอง โดยกำหนดเชื้อเพลิงสำหรับการทดลอง ทดสอบประสิทธิภาพเตา ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้คือ ซังข้าวโพด (Corn cob) เป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากชุมชนในพื้นที่ จังหวัดเชียงใหม่ ทั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท ซันสวีท จำกัด *ช่วงที่สอง* เป็นการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดพารามิเตอร์พร้อมทั้งบันทึกผลตามภาพที่ 1 ทำการป้อนเชื้อเพลิงในช่องเติมเชื้อเพลิง หรือห้องเผาไหม้ช่วย โดยกำหนดอัตราการป้อนเชื้อเพลิง 1 kg ต่อ 10 นาที ทดสอบโดยการต้มน้ำ 20 liters ทำการทดสอบต่อเนื่องจนกว่าน้ำเดือนที่อุณหภูมิสูงถึง 100 °C ถือว่าเป็นการสิ้นสุดการทดสอบของแต่ละครั้ง และ*ช่วงสุดท้าย* เก็บบันทึกผล sampling rate ทุก 4 นาที ด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล Data recorder วิเคราะห์ผลการทดสอบพร้อมทั้งสรุปและอภิปรายผลการดำเนินการวิจัยต่อไป

เครื่องมือและอปุกรณ์

การทดสอบเตาชีวมวลจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 1 พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบดังภาพที่ 1

ตารางที่ 5 คุณลักษณะของเตาชีวมวลและอุปกรณ์ประกอบการทดสอบ

ที่	รายการ	คุณลักษณะเฉพาะ
1	ขนาดความจุเตาชีวมวล	ความจุ 28 Lite
2	วัสดุประกอบระบบเตาชีวมวล	เหล็กแผ่นเรียบขนาด 2.0 mm.
3	ฉนวนกันความร้อน	ซีเมนต์ทนไฟ
4	พัดลมดูดอากาศแบบหอยโข่ง	Model: RV40-18/12H 12V/DC 430 mA Power 5.2 W
5	ควบคุมความเร็วรอบ (Speed control)	Volt input: 12V/DC Volt output: 0 – 24 V/DC
6	เทอร์โมคับเปิ้ล (Thermocouple)	K-type/Temp: -926 – 1,371 °C
7	เครื่องบันทึกข้อมูล (Data recorder)	ยี่ฮ้อ YOKOKAWA Model: FX1012

การออกแบบระบบสำหรับติดตั้งเครื่องมือวัด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเตาชีวมวล ดังภาพที่ 1 เริ่มต้นกำหนดปริมาณน้ำ m_{water} เท่ากับ 20 liters ที่อุณหภูมิเริ่มต้น T_{in} เท่ากับอากาศแวดล้อม T_{ab} ทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 4 นาที ด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data recorder) แบบอัตโนมัติ ระยะเวลาทดสอบขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำสุดท้าย T_{fi} = 100 °C ถือเป็นสิ้นสุดของการทดสอบแต่ละเงื่อนไข (Conditions) นั้น ๆ กำหนดค่าอัตราการไหลอาหาศขาเข้าที่ความเร็ว 8.77 kg/s เป็นค่าสูงสุดของความสามารถของพัดลมดูดอากาศแบบหอยโข่ง

ภาพที่ 1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดสำหรับทดสอบเตาชีวมวล

สมการสตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้ (Combustion Stoichiometry) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีปริมาณองค์ประกอบของธาตุ C, H, O, N, S แตกต่างกัน ดังนั้นข้อมูลองค์ประกอบของเชื้อเพลิง Proximate analysis และ Ultimate analysis ของเชื้อเพลิงซังข้าวโพดที่ใช้ในการคำนวณอ้างอิงจากงานวิจัย Kittikorn Sasujit, et al. (2015). [3] สำหรับใช้คำนวณหาสตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้ตามสมการที่ (1) [4]

$$C_uH_vO_wN_xS_y + \left(O_2 + 3.76N_2\right) \rightarrow uCO_2 + vH_2O + ySO_2 + 3.76N_2 \tag{1}$$

การหาค่าอัตราส่วนสมมูลอากาศกับเชื้อเพลิง เป็นไปตามสมการสตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้เป็นสมดุลมวลในปฏิกิริยาการเผาไหม้แสดงในเทอมของอัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, ϕ) อัตราส่วนระหว่างอัตราส่วนเชื้อเพลิง – อากาศจริงในทางปฏิบัติ (actual fuel – air ratio) กับอัตราส่วนเชื้อเพลิง – อากาศตามทฤษฎี (Stoichiometric fuel-air ratio) [4]

$$\phi = \frac{(FA)_{act}}{(FA)_{stoich}} \tag{2}$$

กำหนดให้

ϕ < 1 คือ การเผาไหม้แบบไอดีบาง (fuel-lean mixture)

ϕ = 1 คือ การเผาไหม้สมาการสตอยคิโอเมตรี (Stoichiometric fuel-air ratio)

ϕ > 1 คือการเผาไหม้แบบไอดีหนาว (fuel-rich mixture)

สามารถทำสตอยคิโอเมตรีของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซังข้าวโพดมวล 1 kg โดยใช้สูตร CHONS เชื้อเพลิง - อากาศ ซึ่งพบว่า $(A/F)_{stoich}$ เท่ากับ 32.63 โดยมวลหรือคำนวณหาอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ $(F/A)_{stoich}$ เชื้อเพลิง 1 kg ใช้อากาศ ϕ เท่ากับ 0.031

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวล เพื่อหาอิทธิพลของ พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) [5] [6] [7]

$$\eta_{th} = \frac{m_i C_P (T_b - T_i) + m_e L}{m_f \times C_f} \qquad (2)$$

เมื่อ η_{th} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)

m_i คือ มวลของน้ำเริ่มต้น (kg)

C_P คือ ความถ่วงจำเพาะของน้ำ (kJ/kg °C)

T_b คือ อุณหภูมิที่น้ำเดือด (°C)

T_i คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (°C)

m_e คือ มวลที่น้ำระเหย (kg)

L คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (2,257 kJ/kg)

m_f คือ มวลของเชื้อเพลิง (kg)

C_f คือ ค่าความร้อนของเชื้อพลิง (kJ/kg)

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการเกิดขี้เถ้าหลังจากการเผาไหม้ ของการทดสอบเตาชีวมวลที่ใช้ซังข้าวเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (3) [8]

$$P_{ash} = \frac{W_{ash}}{W_{fuel}} \qquad (3)$$

เมื่อ P_{ash} คือ เปอร์เซ็นต์ของการเกิดขี้เถ้า (%)

W_{ash} คือ น้ำหนักของขี้เถ้า (kg)

W_{fuel} คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ทดสอบ (kg)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

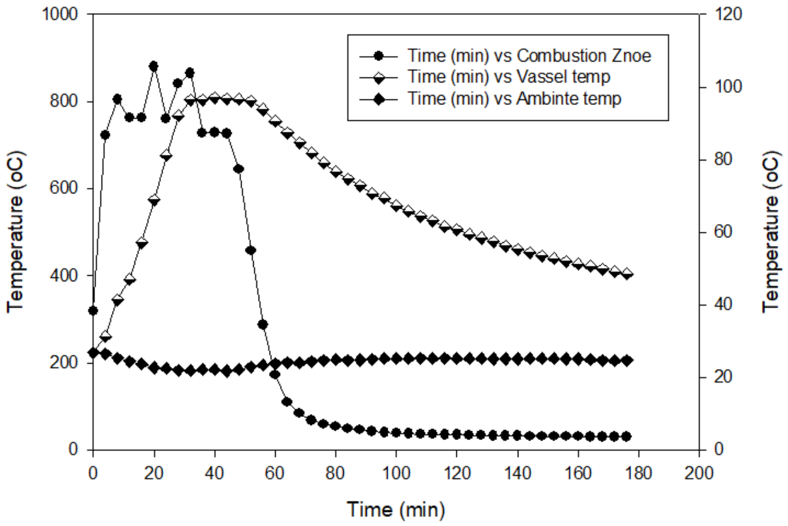
ผลการวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ อิทธิผลอัตราส่วนสมมูลที่ผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ ส่วนที่สองคือ ประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวล

1. อิทธิพลของการป้อนเชื้อเพลิงที่ผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้

ความสัมพันธ์อุณหภูมิของการเผาไหม้ เริ่มทำการจุดเชื้อเพลิงมีการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงเป็นช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้ (Start of combustion) ส่งผลให้อุณหภูมิห้องเผาไหม้เริ่มต้นที่ 319 °C เชื้อเพลิงเกิดการลุกไหม้อย่างต่อเนื่อง

อุณหภูมิห้องเผาไหม้สูงถึง 879 °C เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหมทั้งหมด 4 kg เนื่องจากหยุดป้อนเชื้อเพลิง ส่งผลต่ออัตราการเผาไหม้และอุณหภูมิห้องเผาไหม้ลดลงอย่างต่อเนื่อง

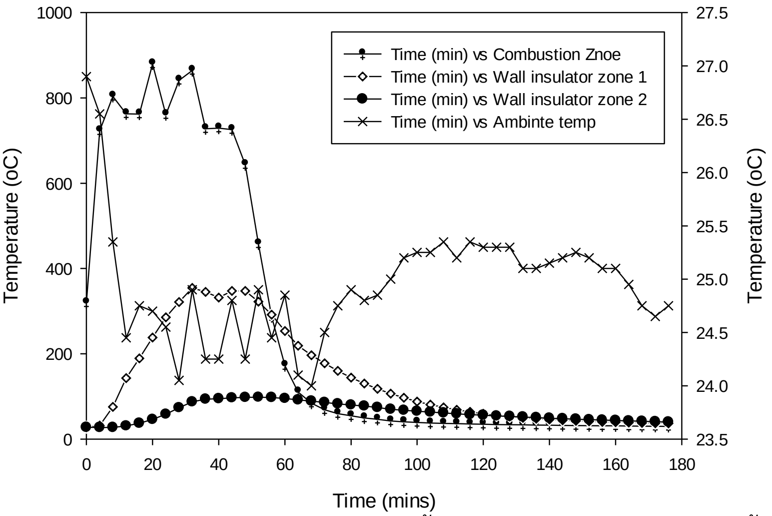
อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้นที่ 27 °C เมื่อน้ำได้รับความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที พบว่า มีผลทำให้น้ำที่อยู่ภายในหม้อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 96 °C โดยใช้เวลา 32 นาที ส่งผลให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 °C เนื่องจาก ตำแหน่งที่ตั้งของวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ตั้งอยู่เขตพื้นที่ อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ละติจูด 18° 56' 29" N ลองจิจูด 98° 53' 12" E ทำเลที่ตั้งเป็นพื้นที่สูงมีผลทำให้ความกดอากาศลดลงส่งผลให้จุดเดือนของน้ำลดลง ดังนั้นน้ำเดือนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 °C ซึ่งอุณหภูมิของน้ำคงที่ต่อเนื่อง 20 นาที แล้วค่อยๆ ลดลง เนื่องจากอัตราการเผาไหม้และอุณหภูมิห้องเผาไหม้ลดลงอย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิอากาศแวดล้อมช่วงการทดสอบค่อยข้างมีแนวโน้มคงที่ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์อุณหภูมิกับการเผาไหม้เชื้อเพลิง

จากภาพที่ 3 อธิบายความความแตกต่างของอุณหภูมิของ Wall insulator zone 1 และ Wall insulator zone 2 ของเตาชีวมวล ซึ่งวันที่ 20 กันยายายน 2562 เป็นวันที่ทำการทดลอง ซึ่งสภาพอากาศโดยรวมมีเมฆครึ้ม มีผมตกบ้างเล็กน้อยใน ช่วงเวลา 17:00 น. ถึง 20:00 น. ตามภาพที่ 3 อุณภูมิอากาศแวดล้อม (Ambient temperature) สูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ย 26.90 24.00 และ 24.95 °C ตามลำดับ

อุณหภูมิของผนังเตาชีวมวล Wall insulator zone 1 คือ ตำแหน่งของจุดวัดอุณหภูมิชั้นในถัดจากห้องเผาไหม้ของเตาชีวมวล พบว่า ช่วงที่มีการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุด 354.45 °C อุณหภูมิต่ำสุด 31.68 °C และอุณหภูมิเฉลี่ย 140 °C ตามลำดับ อุณหภูมิของผนังเตาชีวมวล Wall insulator zone 2 คือ ตำแหน่งของจุดวัดอุณหภูมิชั้นนอกสุดของเตาชีวมวล พบว่า ช่วงที่มีการเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงสุดอุณหภูมิสูงสุด 98.03 °C อุณหภูมิต่ำสุด 27.18 °C และอุณหภูมิเฉลี่ย 62.71 °C ตามลำดับ ผลของการออกแบบเตาชีวมวลสองชั้น พบว่า มีผลช่วยลดการสูญเสียความร้อนของอุณหภูมิของห้องเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งช่วยการกักเก็บความร้อนของเตาชีวมวลได้



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์อุณหภูมิห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงกับอุณหภูมิของฉนวนสองชั้น

2. ประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวล

คำนวณหาประสิทธิภาพของเตาชีวมวลเป็นไปตามสมการที่ (2) ช่วงการทดสอบใช้เวลา 32 นาที อุณภูมิน้ำเดือดที่ 96 °C แล้วปล่อยให้คงที่เป็นเวลา 10 นาที จนถึงเวลา 52 นาที ซึ่งพบว่าได้ทำการป้อนเชื้อเพลิงเข้าไปทั้งหมด 4 kg แต่ช่วงที่ทำให้น้ำอุณภูมิเดือดที่ 96 °C พบว่าใช้เชื้อเพลิงทั้งหมดเพียง 2 kg ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 2 ทั้งนี้ประสิทธิภาพของเตาพบว่า ประสิทธิภาพอยู่ที่ 12 % ผลของประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากคิดมวลของเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ป้อน แต่หากพิจารณากรณีที่น้ำถึงจุดเดือด จะพบว่า ประสิทธิภาพของเตาอยู่ที่ 24 % ซึ่งใช้เชื้อเพลิงทั้งหมด 2 kg ทั้งนี้ความสามารถของการเผาไหม้เชื้อเพลิงสุดสุดโดยประมาณ 2 kg ที่ทำให้น้ำเดือดอุณหภูมิ 96 °C การเพิ่มชีวมวลเข้าไปหลังจากจุดนี้มิได้ทำให้ประสิทธิภาพของเตาเพิ่มขึ้นแต่อย่างใด

จากการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการเกิดขี้เถ้าหลังจากการเผาไหม้ตามสมการที่ 3 แยกพิจารณา 2 กรณี คือ ใช้เชื้อเพลิง 2 kg และ 4 kg พบว่า ปริมาณขี้เถ้าเหลือจากการเผาไหม้ 0.124 kg คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.026 % และ 0.031 % ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีปริมาณต่ำ

สรุปผลการวิจัย

ผลจาการออกแบบและทดสอบอิทธิพลของฉนวนสองชั้นของเตาชีวมวลมีผลต่อการกับเก็บความร้อนและช่วยให้ลดการสูญเสียความร้อน ประสิทธิภาพของเตาชีวมวลประมาณ 12- 24 % ทั้งนี้ไม่ได้คำนวณค่าการสูญเสียความร้อนของเตาเนื่องจากไม่ได้วัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของเตาชีวมวลแต่ละชั้น แต่ทำการวัดเฉพาะอุณหภูมิภายในของฉนวนแต่ละชั้นเท่านั้น ในการวิจัยต่อไปควรต้องวัดอุณภูมิที่ผิวของผนังแต่ละชั้นเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าการสูญเสียความร้อนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่สนับสนุนงบประมาณการทำวิจัย อุปกรณ์เครื่องมือวัดและตลอดทั้งสถานที่สำหรับการทำวิจัย และขอบคุณบริษัท ซันสวีท จำกัด อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ ที่อนุเคราะห์ซังข้าวโพดสำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบเตาชีวมวล

เอกสารอ้างอิง

[1] Arjharn, W. (2012). "Supply Chain Management of Agricultural Residues for Using as Fuel and Smog." Thailand, Research report.

[2] Suani, Y. S. (2018). "Renewable energy: Energy conservation." the Department of Alternative Energy Development and Efficiency, (DEDE) of the ministry of energy in Thailand.

[3]. Kittikorn Sasujit, et al. (2015). "Study of Process Densification of Corn Cob and Corn Husk Briquettes by Cold Extrusion Technique Using Starch with Lime Mixed as Binder." Thaksin Journal 18(1): 10.

[4] Jukjai, S. (2004). "Combustion." chulalongkorn University.

[5] Panwar, N. L. and Rathore, N. S. (2015) 'Environment friendly biomass gasifier cookstove for community cooking', *Environmental Technology (United Kingdom)*, 36(18), pp. 2308–2311. doi: 10.1080/09593330.2015.1026290

[6] พิสิษฏ์ มณีโชติ ประพิธาร์ ธนารักษ์ สนามชัย นุกุลเสาวลักษณ์ และสุชัจจ์ ศรีแก้ว (2553). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์การส่งเสริมการผลิตเตาแก๊สชุมชนเพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่ชุมชนอย่างยั่งยืน. สนับสนุนโดยเครือข่ายการวิจัยภาคเหนือตอนล่าง.

[7] Thongsan, S. et al. (2015). "Comparison Insulation of Biomass Gas Stove for Using Easy Material in the Community." Naresuan University Journal: Science and Technology 23(2): 13.

[8] Panwar, N. L. and Rathore, N. S. (2015) 'Environment friendly biomass gasifier cookstove for community cooking', *Environmental Technology (United Kingdom)*, 36(18), pp. 2308–2311. doi: 10.1080/09593330.2015.1026290.

ผลกระทบการป้อนอากาศที่มีผลต่อสมรรถนะและคุณสมบัติถ่านชีวภาพเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง
Effect of Air Feeding on Performance and Biochar Properties on High Efficiency Biomass Stove

นิกราน หอมดวง[1*] พันธวัฒน์ ไชยวรรณ์[2] ภูนิฑัต สายแก้ว[1] กิตติกร สาสุจิตต์[1] นงเยาว์ เต๋จ๊ะใหม่[1] ชูรัตน์ ธารารัตน์[1]
เสริมสุข บัวเจริญ[1] ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุลและณัฐวุฒิ ดุษฎี
[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 63 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290
[2]ฝ่ายพัฒนาพื้นที่เพื่อเกษตรและชุมชน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 155 หมู่ 2 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ. เชียงใหม่ 50100

บทคัดย่อ

วิถีชีวิตเกษตรกรหรือชุมชนในปัจจุบันมีความต้องการแหล่งพลังงานความร้อนและถ่านชีวภาพ สำหรับการใช้เป็นแหล่งพลังงานในการประกอบอาหารและงานทางด้านเกษตรอินทรีย์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาและวิเคราะห์ผลของสมรรถนะของเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงที่สามารถผลิตทั้งพลังงานความร้อนและถ่านชีวภาพพร้อมกัน เพื่อรองรับการนำไปใช้งานให้กับชุมชนในอนาคต เตาที่นำมาทดลองเป็นเตาที่ถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพความร้อนสูง (High thermal efficiency) ขณะเดียวกันก็สามารถผลิตถ่านชีวภาพ (Bio-char) ได้อีกทาง พื้นฐานการออกแบบเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงใช้หลักการเผาไหม้ตรง ลักษณะห้องเผาไหม้เป็นรูปทรงกรวย เจาะรูป้อนอากาศรอบห้องเผาไหม้ 64 รู ป้อนอากาศด้วยพัดลมขนาด 300 W จำนวน 3 ทิศทาง คือด้านล่างของเตา ตรงกลางเตาส่วนหัวเตา ควบคุมอัตราการไหลอากาศโดยใช้วาล์วควบคุม ใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ตรงและใช้เศษไม้ลำไยผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซีส ผลการทดลองพบว่า เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงสามารถทำงานได้ดีที่การป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้แบบทางเดียว (การทดลองที่ 5) โดยอุณภูมิเตามีความเสถียรสูงและให้ประสิทฏิภาพความร้อนสูงสุด 24.61% ถ่านชีวภาพที่ได้จากการทดสอบมีค่าความร้อนเฉลี่ยสูงสุด 28,950 kJ/kg ค่าการแปรรูปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานสูงสุด 5.19% ในภาพรวมเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงสามารถนำไปเผยแพร่และส่งเสริมให้กับเกษตรกรและชุมชนได้

คำสำคัญ: เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง ถ่านชีวภาพ พลังงานความร้อน กระบวนการไพโรไลซีส

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

บทนำ

เกษตรกรรมเป็นอาชีพพื้นฐานและเป็นอาชีพหลักของคนไทยปัจจุบันมีผู้ทำงานภาคการเกษตรรวมคิดเป็น 70 % ของบุคคลมีภาระงานทำทั้งประเทศจากทั้งหมด 38.37 ล้านคน [1] การเพาะปลูกของเกษตรกรปัจจุบันมีการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการลดใช้สารเคมีลงและพยายามปรับแนวทางการเพาะปลูกให้เป็นอินทรีย์ ผลจากการลดการใช้สารเคมีส่งผลให้เกษตรกรจำเป็นต้องพึ่งสารอินทรีย์จากธรรมชาติในการเพาะปลูกหรือการกำจัดแมลงศัตรูพืช การใช้ถ่านชีวภาพสำหรับการเพาะปลูกเป็นอีกแนวทางที่เริ่มมีการส่งเสริมให้กับเกษตรกร การใช้ถ่านชีวภาพจะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าการไม่ใช้ เนื่องจากช่องว่างหรือรูพรุนของถ่านจะเป็นแหล่งที่อยู่ของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อพืชและทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่า [2] และเป็นช่องทางส่งเสริมการลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ ถ่านชีวภาพที่ดีต้องมีความเป็นรูพรุนสูงซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในกระบวนการไพโรไลซีส [3] และชนิดของชีวมวลที่ใช้เป็นต้น ในขณะที่อีกด้านความเป็นอยู่ของเกษตรกรหรือชุมชนในชนบท ยังคงมีการนำเอาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น เศษไม้และซังข้าวโพดเป็นต้น มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการประกอบอาหาร การใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายจากการใช้แก๊สหุงต้ม เตาที่ชุมชนใช้ส่วนใหญ่ได้แก่ เตาอั้งโล่ หรือเตาชีวมวลทั่วไป ปกติประสิทธิภาพความร้อนจะค่อนข้างต่ำโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10-16% เท่านั้น [4] อย่างไรก็ตามชุมชนหรือเกษตรกรส่วนใหญ่ก็ยังคงใช้เตาชีวมวลในการประกอบอาหารเหมือนเดิม จากข้อดีของการใช้ถ่านชีวภาพจากวัสดุชีวมวลในชุมชนและความจำเป็นในการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลทดแทนแก๊สหุงต้ม ศูนย์การเรียนรู้การพัฒนาที่ดิน ตามแนวเศรษฐกิจพอเพียง ครูประทุม สุริยา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ จึงมีแนวคิดการพัฒนาเตาชีวมวลที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพความร้อนเพิ่มสูงขึ้น เน้นความสามารถในการใช้งาน 2 ด้าน โดยนำความร้อนจากการสูญเสียในการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ในการผลิตถ่านชีวภาพ ในขณะที่พลังงานความร้อนสำหรับการหุงต้มยังคงประสิทธิภาพเท่าเดิมหรือสูงกว่าจึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในผลของการปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่มีผลต่อสมรรถนะของเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง ทั้งในด้านประสิทธิภาพความร้อน อุณหภูมิและคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ ผลการประเมินที่ได้จากงานวิจัยจะเป็นแนวทางในการนำไปขยายผลให้ชุมชนหรือเกษตรกรได้นำเอาไปใช้งานต่อไปในอนาคต

วิธีการวิจัย

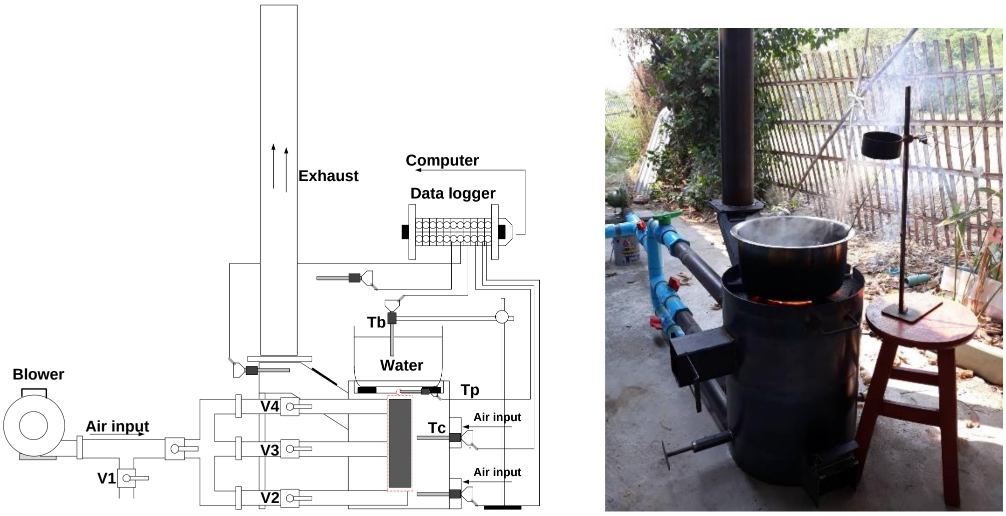
เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง

เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงมีส่วนประกอบ 3 ส่วน ดังภาพที่ 1 คือ ส่วนด้านล่าง ส่วนห้องเผาไหม้และส่วนหัวเตา ส่วนด้านล่างเป็นห้องปล่อยขี้เถ้าและป้อนอากาศ ส่วนห้องเผาไหม้ออกแบบมีลักษณะเป็นแบบทรงกรวย เนื่องจากการลดการกระจายตัวเชื้อเพลิงและพื้นที่การถ่ายเทความร้อน มีท่อป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เจาะรูป้อนอากาศ 64 รู ตรงกลางห้องเผาไหม้มีชุดผลิตถ่านชีวภาพ ใช้ความร้อนจากห้องเผาไหม้ให้ความร้อนกับชีวมวลในสภาวะไร้อ๊อกซิเจน ซึ่งเป็นท่อโละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 cm สูง 40 cm ด้านบนกระบอกมีท่อไพโรไลซีสแก๊สเพื่อระบายแก๊สจากการผลิตถ่านชีวภาพกลับเข้าสู่เตา ส่วนด้านล่างมีฝาปิดแบบหลวมๆ สำหรับการใส่เศษไม้ลำไย ระหว่างการทำงานไพโรไลซีสแก๊สบางส่วนสามารถปล่อยเข้าสู่ห้องเผาไหม้ได้โดยตรง อุณหภูมิที่ให้ความร้อนกับกระบวนการไพโรไลซีสเฉลี่ย 450-600 $^{\circ}$C ส่วนด้านบนเตาชีวมวลมีช่องป้อนอากาศอยู่รอบ ๆ หัวเตาเพื่อให้เกิดการเผาไหมซ้ำ ด้านล่างของหัวเตามีช่องป้อนซังข้าวโพดและเป็นช่องระบายควันของเตาโดยต่อเชื่อมเป็นปล่องที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.7 cm ยาว 1.5 m ส่วนการป้อนอากาศใช้พัดลมขนาด 300W ป้อนและปรับปริมาณอากาศให้กับด้านล่างเตา ห้องเผาไหม้และส่วนหัวเตา

เชื้อเพลิงชีวมวลและเชื้อเพลิงผลิตถ่านชีวภาพ

เชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้สำหรับการผลิตความร้อนด้วยวิธีการต้มน้ำคือซังข้าวโพด โด ยซังข้าวโพดที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2-3 cm และมีความยาวในช่วง 3-7 cm ความหนาแน่นเฉลี่ย 250 kg/m^3 และมีความชื้น

เฉลี่ย 8% และมีความร้อนเฉลี่ย 14.1 MJ/kg ส่วนเศษไม้ลำไยที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพใช้เศษไม้ที่มีขนาดใกล้เคียงกับท่อคือขนาดมากกว่า 4-7 cm ยาวประมาณ 35 cm ความหนาแน่นเฉลี่ย 481.62 kg/m^3 และมีความชื้นเฉลี่ยไม่เกิน 17% และค่าความร้อนเฉลี่ย 14.1 MJ/kg [5]



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมและรูปภาพการทดสอบสมรรถนะของเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง

วิธีการทดลองเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง

การทดลองเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงแบ่งการทดสอบเป็น 5 กรณี ดังตารางที่ 1 โดย V1 หมายถึง วาล์วควบคุมลมรวม ส่วน V2 หมายถึง วาล์วควบคุมลมป้อนด้านล่างเตา V3 หมายถึง วาล์วควบคุมลมป้อนห้องเผาไหม้ สุดท้าย V4 หมายถึงวาล์วควบคุมลมป้อนระบบเผาไหม้ซ้ำหรือส่วนหัวเตา การทดสอบใช้วิธีการต้มน้ำ (Water Boiling Test: WBT) [6] โดยทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบเตาชีวมวล ซึ่งในการต้มน้ำแต่ละครั้งใช้น้ำ 7 kg ควบคุมอัตราการป้อนซังข้าวโพดและอากาศที่ 6 kg/h และ 20 m^3/h ส่วนการวัดอุณหภูมิเตาจะทำการวัด 3 จุด คืออุณภูมิห้องเผาไหม้ อุณหภูมิภายในกระบอกผลิตถ่านชีวภาพและอุณหภูมิน้ำที่ต้ม การวัดใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K ทำงานร่วมกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิที่ต่อร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องชั่งน้ำหนักซังข้าวโพดและเศษไม้ใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตอลชนิด 3 ตำแหน่ง วัดน้ำหนักได้สูงสุด 15 kg มีความละเอียดการวัด 0.5 g ส่วนการวิเคราะห์ค่าความร้อนถ่านชีวภาพวัดได้จากเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ รุ่น ART.2060/2070 ความจุ 300 ml ทดลองตามมาตรฐาน ASTM D2105 การประเมินสมรรถนะของเตาชีวมวล ประสิทธิภาพความร้อน อุณหภูมิภายในเตา ค่าความร้อนถ่านชีวภาพและการแปรรูปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน โดยทดสอบทั้งหมดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ทุกการทดลอง ประสิทธิภาพความร้อนเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงคำนวณได้จากอัตราส่วนของพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ (Q_{useful}) ต่อพลังงานที่ป้อนเข้าเตาชีวมวล (Q_{input}) ประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวล ประสิทธิภาพการผลิตถ่านชีวภาพและการวิเคราะห์การแปรรูปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงาน (Energy Recovery) หาได้จากสมการที่ 1 2 และ 3 [5]

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

$$\eta_{Biochar} = \frac{m_{bi} \times LHV_{biochar}}{m_{fuel} \times LHV} \tag{2}$$

$$ER = \frac{(Q_{useful}) + m_{bi} \times LHV_{biochar}}{m_{fuel} \times LHV} \quad (3)$$

เมื่อ $m_{w,1}$ คือมวลของน้ำทั้งหมด, kg $m_{w,2}$ คือมวลของน้ำที่ระเหย, kg $C_{p,w}$ คือความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ , kJ/kg K h_{fg} คือความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ, kJ/kg $T_{w,B}$ คืออุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ, $^{\circ}$C $T_{w,i}$ คือ อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น, $^{\circ}$C m_{fuel} คือ มวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งหมด, kg LHV คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงชีวมวล, kJ/kg และ $LHV_{biochar}$ คือ ค่าความร้อนถ่านชีวภาพ, kJ/kg

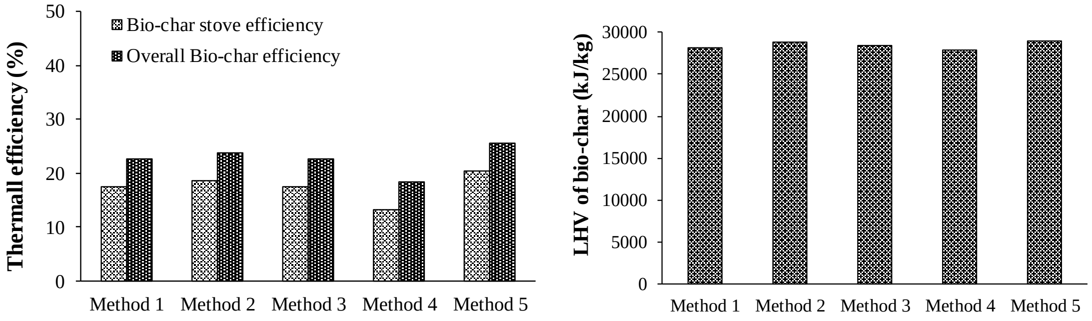
ตารางที่ 1 ลักษณะการปรับวาล์วเพื่อป้อนอากาศเข้าสู่เตาชีวมวลประสิทธภาพสูง

Method/Valve opening	V1	V2	V3	V4
Method 1	Close	Open	Open	Close
Method 2	Open 45°	Open	Open	Close
Method 3	Close	Close	Open	Close
Method 4	Open 1/2	Close	Open	Close
Method 5	Open 45°	Close	Open	Close

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ประสิทธิภาพความร้อนเตาชีวมวลและค่าความร้อนถ่านชีวถาพ

ภาพที่ 2 (ก) แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง โดยในแถบสีเข้มจะแสดงประสิทธิภาพความร้อนรวมของเตาผลิตถ่านไบโอชาร์ ซึ่งคือการผลิตความร้อนที่เกิดจากเตาชีวมวลโดยตรงและการนำเอาพลังงานความร้อนที่สูญเสียมาเพิ่มให้กับถ่านชีวภาพ ผลการวิเคราะห์พบว่า การทดลองในเงื่อนไขที่ 5 ให้ประสิทธิภาพความร้อนรวมสูงสุด 24.61% โดยแบ่งเป็นประสิทธิภาพความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำ 20.32% และพลังงานความร้อนที่เพิ่มให้กับถ่านชีวภาพ 4.29% การปรับอากาศเข้าสู่เตาชีวมวลทั้ง 5 รูปแบบ อธิบายได้ว่าการเพิ่มอากาศเข้าสู่เตาชีวมวลมากเกินไป (V1 = Close) ส่งผลให้ปริมาณลมเข้าสู่เตาสูงเกินไปส่งผลให้ความร้อนบางส่วนมีการสูญเสียออกไปทางปล่องควัน [5] ในณะเดียวกันในส่วนของการเพิ่มอากาศเข้าสู่เตาต่ำเกินไป (V1 = Open 1/2) ก็จะส่งผลให้ระหว่างการเผาไหม้ชีวมวลมีปริมาณอากาศไม่เพียงพอ โดยปกติแล้วการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งจำเป็นต้องเพิ่มอากาศส่วนเกินซึ่งส่วนหนึ่งจะแปรผันตามขนาดเชื้อเพลิงที่ใช้เผา [8] ในส่วนของลักษณะการป้อนอากาศ การป้อนอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการป้อนอากาศด้านล่างและด้านบนให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงสุด ซึ่งอธิบายได้ว่าการป้อนอากาศทางด้านล่างน่าจะส่งผลให้ทิศทางของลมในห้องเผาไหม้เกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้ความสามารถในการเป็นผสมของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งลดลง อย่างไรก็ตามถ้าเทียบประสิทธิภาพความร้อนของการทดลองที่ 5 กับ 2 พบว่ามีค่าเฉลี่ยค่อนข้างใกล้เคียงกัน ในส่วนการวิเคราะห์ค่าความร้อนถ่านชีวภาพแสดงภาพที่ 2 (ข) การทดลองผลิตถ่านชีวภาพต่อครั้งใช้เวลาในกระบวนการไพโรไลซีสประมาณ 30 - 40 min ผลการศึกษาพบว่า การทดลองเงื่อนไขที่ 5 ให้ค่าความร้อนสูงสุด 28,950 kJ/kg ส่วนการทดลองที่ 4 ให้ค่าความร้อนต่ำสุด 27,960 kJ/kg การเพิ่มขึ้นของค่าความร้อนถ่านชีวภาพเกิดจากเตาชีวมวลมีการเผาไหม้ที่ดี มีประสิทธิภาพความร้อนร้อนสูงส่งผลให้อุณหภูมิเตาและอุณหภูมิในกระบอกผลิตถ่านชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นและทำให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงตาม อย่างไรก็ตามค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นของถ่านชีวภาพจะแปรผันกับมวลของถ่านที่ลดลง [9] เมื่อนำเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงเปรียบเทียบกับเตาชีวมวลเมื่อใช้เชื้อเพลิงซังข้าวโพดอัดเม็ดและถ่านซังข้าวโพดอัดแท่ง เตาชีวมวลที่ใช้ทั่วไปให้ประสิทธิภาพความร้อนเฉลี่ย 15.30% และ 16.27% ซึ่งจะเห็นได้ว่าการนำเอาเตาประสิทธิภาพสูงจะให้พลังงานความร้อนที่สูงกว่าและช่วยประหยัดเชื้อเพลิงดีกว่าการใช้เตาชีวมวลทั่วไป [10]

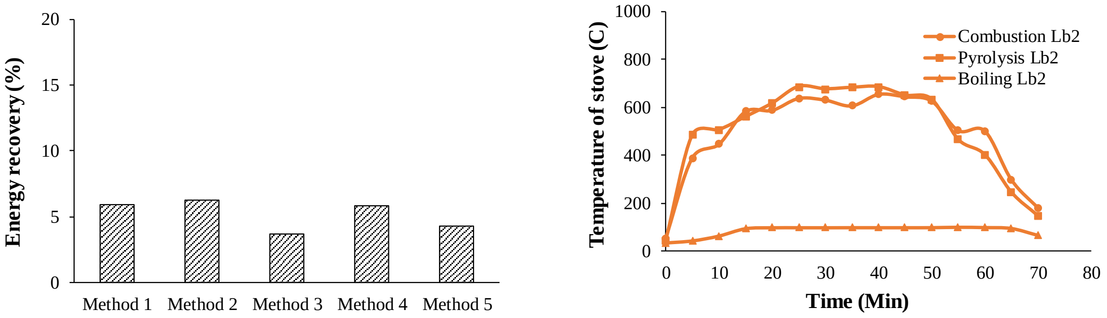


(ก) (ข)

ภาพฐี่ 2 ประสิทธิภาพความความร้อนและค่าความร้อนถ่านชีวภาพจากเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง

การวิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาและ Energy Recovery

ภาพที่ 3 (ก) และ (ข) แสดงการวิเคราะห์ Energy Recovery ของการทดลองเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงและอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ (Tc) และอุณหภูมิภายในห้องผลิตถ่านชีวภาพ (Tp) และอุณหภูมิการต้มน้ำ (Tb) ภายใต้สภาวะการป้อนอากาศที่การทดลองที่ 2 พบว่า การเปิดวาล์วป้อนอากาศ (V1 = Open 45°) ระบายลมทิ้งเล็กน้อยและการเปิดวาล์วอากาศเข้าสู่ด้านล่างเตาและห้องเผาไหม้พร้อมกันของวิธีการป้อนอากาศของการทดลองที่ 2 ให้ค่าการแปรรูปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานสูงสุด 6.22 % การเพิ่มความอัตราการป้อนอากาศด้านล่างเตาน่าจะส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องผลิตถ่านชีวภาพลดลงและทำให้มวลน้ำหนักถ่านเพิ่มสูงขึ้นและทำให้ค่าการแปรรูปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานสูงสุด เมื่อเทียบกับการทดลองอื่น ๆ ในด้านของอุณหภูมิของห้องเผาไหม้และห้องผลิตถ่านชีวภาพทุกการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ภาพที่ 3 (ข) อุณภูมิภายในชุดผลิตถ่านสูงกว่าอุณหภูมิเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงเล็กน้อย โดยเฉลี่ยมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 600 ˚C ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความร้อนของถ่านเพิ่มสูงขึ้นและทำให้ Energy Recovery เพิ่มสูงขึ้นตามการต้มน้ำอุณหภูมิน้ำเดือดที่อุณหภูมิ 97-98 ˚C ระยะเวลาการเริ่มเดือดน้ำประมาณ 15 นาที



(ก) (ข)

ภาพที่ 3 Energy Recovery และการวิเคราะห์อุณหภูมิของการป้อนอากาศการทดลองที่ 2

การวิเคราะห์ลักษณะถ่านชีวภาพ

ภาพที่ 4 (ก) ถึง (จ) แสดงลักษณะของถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ ภายใต้เงื่อนไขการทดลองของการปรับอัตราการป้อนอากาศเข้าสู่เตาการทดลองที่ 1-5 พบว่าถ่านชีวภาพหลังจากได้รับความร้อนด้วยกระบวนการไพโรไลซีสจะมีลักษณะคงรูปเป็นแท่งได้ อย่างไรในภาพอาจมีการแตกออกเนื่องจากเกิดการเคลื่อนย้าย ลักษณะทางกายภาพของถ่านจะมีลักษณะเป็นสีดำสนิท น้ำหนักเบา เนื่องจากการให้อุณหภูมิที่สูงมาก ภาพรวมน้ำหนักถ่านที่ได้จะลดลงเฉลี่ย 69% หรืออยู่ในช่วง 54.9-74% เทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น [9] การลดลงของน้ำหนักถ่านจะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ใน

กระบวนการไพโรไลซีส โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 400-700 ˚C การใช้อุณหภูมิและระยะเวลาเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้สัดส่วน สารระเหย ความชื้นและมวลรวมชีวมวลลงในขณะที่ปริมาณคาร์บอน เถ้าและความเป็นรูพรุนในเนื้อถ่านเพิ่มสูงขึ้น [11]

(ก) (ข) (ค) (ง) (5)

ภาพที่ 4 การวิเคราะห์ลักษณะถ่านชีวภาพจากเตาประสิทธิภาพสูง

สรุปผลการวิจัย

เตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงสามารถผลิตความร้อนและถ่านชีวภาพได้พร้อมกัน เมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงและใช้ไม้ลำไยผลิตถ่านชีวภาพ การใช้เทคนิคการป้อนอากาศที่การทดลองที่ 5 ให้ประสิทธิภาพความร้อนด้วยวิธีการต้มน้ำรวมมีค่าเฉลี่ยสูงสุด 24.61% ระบบและการทำงานมีความเสถียร ระยะเวลาในการต้มน้ำเดือดเฉลี่ย ไม่เกิน 15 min ค่าความร้อนถ่านชีวภาพสูงสุดที่ได้จากสภาวะการป้อนอากาศที่เหมาะสมเท่ากับ 28,950 kJ/kg การใช้วิธีการทดลองที่ 2 ให้ค่าการแปรรูปเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานสูงสุด 6.22 % การผลิตถ่านชีวภาพที่อุณหภูมิการเผาไหม้เฉลี่ย 600 ˚C น้ำหนักของถ่านลดลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 54.9-74% และในภาพรวมการนำไปใช้งานเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงสามารถนำไปส่งเสริมและเผยแพร่ให้กับเกษตรกรหรือชุมชนได้ โดยมีประสิทธิภาพความร้อนที่สูงกว่าเตาชีวมวลทั่วไปและยังสามารถผลิตถ่านชีวภาพทางการเกษตรได้อีกทาง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการศึกษาและขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติที่สนับสนุนงบประมาณงานวิจัยและข้อแนะนำการทำงานวิจัยและสุดท้ายขอขอบคุณ ศูนย์การเรียนรู้การพัฒนาที่ดิน ตามแนวเศรษฐกิจพอเพียง ครูประทุม สุริยา ต.สันป่ายาง อ.แม่แตง จ.เชียงใหม่ ที่สนับสนุนแนวคิดเริ่มต้นในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2561) สรุปผลการสำรวจภาวการณ์มีงานทำของประชากร เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561 สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน 2562, จาก http://www.thaiheartweb.com.

[2] Tag, A. T. Duman, G. Ucar, S. and Yanika, J. (2016). Effects of feedstock type and pyrolysis temperature on potentialapplications of biochar. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, 2016(120), 200-206.

[3] Papuga, S.V. Gvero, P.M. and Vukic L.M. (2016). Temperature and time influence on the waste plastics pyrolysis in the fixed bed reactor. **Thermal Science** 20 (00), 154-154.

[4] สหัถยา ทองสาร บงกช ประสิทธิ์ วิกานต์ วันสูงเนิน และธัญญานุช แรงเขตกรรม (2015) การเปรียบเทียบการใช้

ฉนวนกันความร้อนสำหรับเตาแก๊สชีวมวลโดยใช้วัตถุดิบที่หาง่ายในชุมชน, **Naresuan University Journal: Science and Technology**. 23 (2), 66–78.

[5] นิกราน หอมดวง พันธวัฒน์ ไชยวรรณ์ กิตติกร สาสุจิตต์ และณัฐวุฒิ ดุษฎี (2562) การประเมินสมรรถนะเตาชีวมวลไฮบริดสำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและถ่านชีวภาพ ก**ารประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย** ครั้งที่ 15 วันที่ 21-24 พฤษภาคม 2562 จังหวัดนครราชสีมา

[6] Bailis R., Ogle D., MacCarty N., Still D., Edwards R., and Smith K., (2007). The Water boiling Test Version 3.0: Cookstove Emissions and Efficiency in a Controlled laboratory. Household Energy and Health programme, Shell Foundation, United Kingdom.

[7] Sivakumar, A. (2015). Performance analysis and excess air optimization in fuel combustion of 210 MW boiler. **International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology**. 8 (1), 261-267.

[8] Srinivasa Rao, K.V.N. Venkat Reddy, G. (2008). Effect of secondary air injection on the combustion efficiency of sawdust in a fluidized bed combustor. **Braz. J. Chem. Eng**. 25 (1), 129-141.

[9] Homdoung, N. Sasujit, K. Uttharuan, J. Wongsiriamnuay, T. And Tippayawong, N. (2019) Influence of torrefaction temperature and time on the yields and properties of torrefied biomass. **Engineering and Applied Science Research**. 46 (2), 170-175.

[10] ชูเดช เกตุชูรัตน์ ประภัสสร รัตนไพบูลย์ ชูรัตน์ ธารารักษ์ ณัฐวุฒิ ดุษฎี และ นิกราน หอมดวง (2562) สมรรถนะเตาชีวมวลระดับครัวเรือนเมื่อใช้ชีวมวลอัดเม็ดและอัดแท่งเป็นเชื้อเพลิง **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย** ครั้งที่ 15 วันที่ 21-24 พฤษภาคม 2562 จังหวัดนครราชสีมา

[11] Sun, J. He, F. Pan, Y. Zhang Z. (2017). Effects of pyrolysis temperature and residence time on physicochemical properties of different biochar types. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science**. 67 (1), 12–22.

ผลกระทบพลังงานแสงอาทิตย์และค่าแรงงานต่อความคุ้มค่าทางการเงินของโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์

Effect of Solar Energy and Labor Cost on Financial Feasibility in Solar Rice Mill

นงเยาว์ เต๋จ๊ะใหม่[1] นิกราน หอมดวง[2] สัตยา ตันจันทร์พงศ์[1] และทัดพงศ์ อวิโรธนานนท์[1*]

[1] คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 63 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

[2] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 63 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางการเงินของระบบโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ โดยศึกษาตัวแปรในส่วนของวิเคราะห์การป้อนพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วง 3-5 ชั่วโมง/วัน และผลกระทบของค่าแรงงานที่ใช้ในการสีข้าวช่วงค่าแรง 200-400 บาทวัน เปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิต ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ดัชนีกำไร ผลตอบแทนภายใน โรงสีข้าวที่ใช้ในการทดสอบและวิเคราะห์เป็นโรงสีแบบทำงานผสมผสานใช้ไฟฟ้าสองแหล่งคือพลังงานแสงอาทิตย์และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ความสามารถในการสีข้าวสารได้ 1,200 kg/วัน วันทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน 300 วัน/ปี ต้นทุนการสร้างโรงสีพลังงานแสงอาทิตย์ประเมินไว้ 760,000 บาท/โรง คิดค่าเสื่อมราคาและการบำรุงรักษาและอัตราคิดลด ต่อปี 10% โดยกำหนดให้โครงการมีอายุ 10 ปี ผลการศึกษาพบว่าการลดจำนวนชั่วโมงของกำลังไฟฟ้าและการเพิ่มค่าแรงงานส่งผลให้ ต้นทุนการผลิตและระยะเวลาคืนทุนเพิ่มขึ้น ในขณะที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ดัชนีกำไรและผลตอบแทนภายในมีแนวโน้มลดลง และผลการปรับค่าแรงงานส่งผลกระทบต่อมูลค่าการเงินมากกว่าการปรับลดจำนวนชั่วโมงของกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในภาพรวมโครงการที่อัตราการป้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วง 5 ชั่วโมง/วัน ที่ค่าแรง 300 บาทต่อวัน โครงการมีต้นทุนการผลิต 9,004,163 บาท ระยะเวลาคืนทุน 3.13 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 8,666,612 บาท ดัชนีกำไร 1.96 เท่า และผลตอบแทนภายในคิดเป็น 9.141% อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปรทั้ง 2 ตัว การเพิ่มค่าแรงมีผลต่อความคุ้มค่าทางการเงินมากกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์ ค่าแรงงาน โรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ ระยะเวลาคืนทุน

[*] Corresponding author: Tel.: 081-9807351. E-mail address: thatphong@hotmail.com

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่สะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในปัจจุบันยังมีปัญหาในด้านของระยะเวลาคืนทุนที่สูงและทำเกิดแรงจูงใจที่ต่ำ [1] แต่อย่างไรก็ตามด้วยการสนับสนุนและผลักดันนโยบายตลอดจนการรณรงค์การใช้พลังงานที่สะอาดในปัจจุบัน การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์กับงานภาคการเกษตรที่เหมาะสมก็มีความเป็นไปได้หลายเทคโนโลยีที่สำคัญสามารถเป็นต้นแบบในการเสริมสร้างแรงจูงใจให้มีการใช้ที่เพิ่มขึ้น [2] แนวคิดการสีข้าวด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยเหลือเกษตรกรไทย แต่ด้วยที่ต้นทุนราคาของเทคโนโลยียังสูงอยู่ยังส่งผลให้การใช้งานเกิดความคลุมเครือและยังไม่ชัดเจน ตัวแปรที่มีผลต่อความคุ้มค่าทางการเงินของโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์มีหลายตัวแปร เช่น ต้นทุนของข้าวที่นำมาสี กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับโรงสี ค่าแรงงานการสีข้าวและการบำรุงรักษาเป็นต้น ซึ่งทุกตัวแปรมีผลโดยตรงในการสร้างแรงจูงใจในการใช้งานเทคโนโลยีนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางการเงินของระบบโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์โดยศึกษาตัวแปรในส่วนของวิเคราะห์การป้อนพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วง 3-5 ชั่วโมง/วัน และผลกระทบของค่าแรงงานที่ใช้ในการสีข้าวโดยศึกษาเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิต (Cost production) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value) ดัชนีกำไร (Profitability index) ผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยจะเป็นแนวทางให้ชุมชนหรือเกษตรกรนำไปช่วยในการตัดสินใจสร้างโรงสีข้าวที่ใช้พลังงานที่สะอาดเพิ่มขึ้น

วิธีการวิจัย

โรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้เน้นการศึกษาและวิเคราะห์การนำเอาข้าวเปลือกของเกษตรกรมาสีข้าวด้วยโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ กิจกรรมวิจัยได้แก่การนำข้าวเข้าสู่เครื่องสี การควบคุมการทำงานของระบบสีข้าว งานไฟฟ้าและงานกลโรงสีและการจัดเก็บข้าวสารและแกลบจากการสี โรงสีที่นำมาทดลองเป็นแบบระบบผสมผสานทำงานได้ 2 ระบบ ได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และระบบสีข้าว ดังภาพที่ 1 (1) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาด 11 kW ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 W จำนวน 36 แผง มีระบบควบคุมการชาร์จไฟฟ้าและใช้อินเวอร์เตอร์ในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ไม่มีแบตเตอรี่ สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 10.00-15.00 น. และเป็นระบบอิสระ (Stand-alone system)ไม่มีแบตเตอรี่ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แปรผันตรงกับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละวัน (2) เครื่องสีข้าวเป็นอุปกรณ์สำหรับการกะเทาะเปลือกข้าว ระบบต้นกำลังโรงสีใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 7.5 HP ของมิตซูบิชิ แรงดันไฟฟ้า 220-380V ชุดขัดสีข้าวเป็นแบบขนาด 3 ลูกหินขัด 24x9.5-24x9.5-24x9.5 inch ใช้ลูกยางขัดขาวทั้งหมด 6 ชุด ขนาดความกว้าง ความยาวและความสูง (3.5x3.0x2.8 m) ผลผลิตหลักจากการสีข้าวได้แก่ ข้าวสาร แกลบ รำข้าวและข้าวที่หัก

ภาพที่ 1 โรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์

เงื่อนไขการทดสอบและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน

การนำเอาข้อมูลมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน งานวิจัยได้ข้อมูลส่วนหนึ่งมาจากจากการทดลอง โดยเฉพาะการทดลองการป้อนไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่จำนวน 5 ชั่วโมงต่อวัน และการใช้แรงงานคนที่ 3 คน ต่อวัน ผลที่ได้ระบบการสีก็สามารถทำงานได้ดี แต่อย่างไรก็ตามถ้าอัตราการป้อนไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงหรือราคาค่าแรงเปลี่ยนแปลงอาจส่งผลกระทบโดยตรงกับโรงสีได้ ตัวแปรหรือค่าคงตัวที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์เพื่อประเมินความคุมค่าของระบบสีข้าวแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรหรือค่าคงตัวที่ใช้เป็นเงื่อนไขวิเคราะห์เพื่อประเมินความคุมค่าทางการเงินของโรงสีข้าว[3]

เงื่อนไขการทดสอบ	รายละเอียด
ชั่วโมงการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ของโรงสี (ชั่วโมงต่อวัน)	3-5
ค่าแรงงานที่ใช้วิเคราะห์ (บาทต่อวัน)	200-400
จำนวนแรงงานของโรงสีต่อวัน (คนต่อวัน)	3
ระยะเวลาการสีข้าว (ชั่วโมงต่อวัน)	8
ปริมาณข้าวที่สีต่อวัน (กิโลกรัมต่อวัน)	2,000
ปริมาณข้าวสารที่ได้ต่อวัน (กิโลกรัมต่อวัน)	1,200
ราคาต้นทุนข้าวเปลือก (บาท/kg)	13
ราคาข้าวสารที่ขายได้ (บาท/kg)	33
ค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	4.4
จำนวนวันทำงานต่อปี (วันต่อปี)	300
ชั่วโมงการทำงานต่อวัน (ชั่วโมงต่อวัน)	8
ต้นทุนสร้างโรงสีพลังงานงานแสงอาทิตย์ (บาท/ชุด)	760,000
ค่าเสื่อมราคาต่อปี (% ของราคาสร้างโรงสี)	10
ค่าบำรุงรักษาต่อปี (% ของราคาสร้างโรงสี)	10

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์เป็นกระบวนการวิเคราะห์ผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายในรูปตัวเงินของโครงการ เพื่อประเมินศักยภาพของโครงการว่าสามารถทำกำไรให้แก่ผู้เป็นเจ้าของโครงการได้หรือไม่และมีผลกระทบทางใดบ้าง โดยผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายของโครงการจะจัดทำในรูปของกระแสเงินสด ซึ่งกระแสผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายจะถูกประเมินด้วยราคาตลาด การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ดัชนีกำไรและผลตอบแทนภายในของโครงการ รายระเอียดสมการในการคำนวณแสดงในสมการที่ 1-5 [4]

$$PC = \frac{FC + VC}{Q}$$ สมการที่ 1

เมื่อ PC คือ ราคาต่ออหน่วย (บาท/หน่วย) FC คือ ต้นทุนคงที่ (บาท) VC คือ ต้นทุนผันแปร (บาท) Q คือ จำนวนชิ้นของผลิตภัณฑ์

$$PB = \frac{FV_t}{C_t}$$ สมการที่ 2

เมื่อ FV_t คือมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดเข้ามา และ C_t คือมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนที่จ่ายออกไป

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 \qquad \text{สมการที่ 3}$$

n คือ อายุของโครงการ (ปี), ES_t คือ ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n , I_0 คือ เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (total investment), i คือ อัตราลดค่า (Discount rate)

$$PI = \frac{NPV - I_0}{I_0} \qquad \text{สมการที่ 4}$$

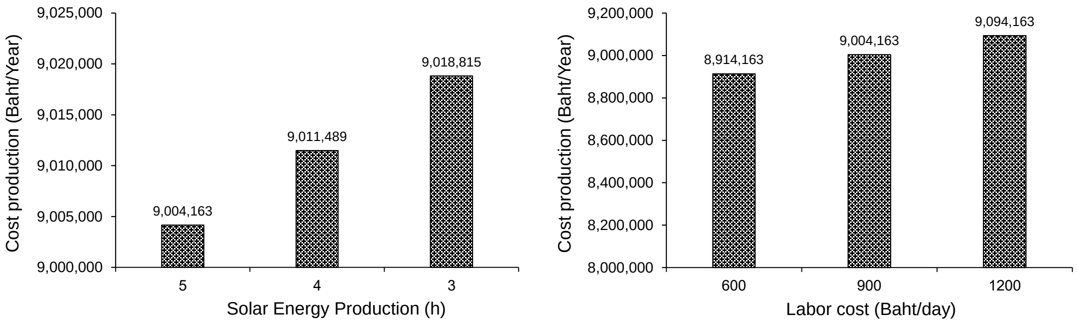
$$\sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t} \qquad \text{สมการที่ 5}$$

B_t และ C_t คือ รายได้และรายจ่ายที่คาดไว้ ณ ปีที่ t

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตข้าว

ภาพที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ค่าแรงวันละ 300 บาท/คน การใช้กำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 5 ชั่วโมงต่อวันส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดต่ำลง โดยเฉลี่ยต้นทุนการการผลิตลดลงต่ำกว่า 1% เมื่อเทียบกับค่าใช้กำลังไฟฟ้าที่ 3 ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็นเงินผลต่างที่ประหยัดได้ 14,652 บาทต่อปี ในส่วนของการวิเคราะห์ผลของค่าแรงงานต่อวันที่อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ 5 ชั่วโมงต่อวัน พบว่าการใช้ค่าแรงงานที่วันละ 400 บาทต่อคน ให้ต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าการใช้ค่าแรง 200 บาทต่อคน ประมาณ 180,000 บาทต่อปี คิดเป็นผลการประหยัดค่าจ้างลงได้ ประมาณ 1.97% การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ลดลงและใช้ไฟฟ้าปกติสูงขึ้น จึงส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตต่อปีสูงขึ้นและการจ้างแรงงานในราคาที่สูงขึ้นจึงส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตต่อปีสูงขึ้นด้วย



ภาพที่ 2 ต้นทุนการผลิตข้าวสารรายปีโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์

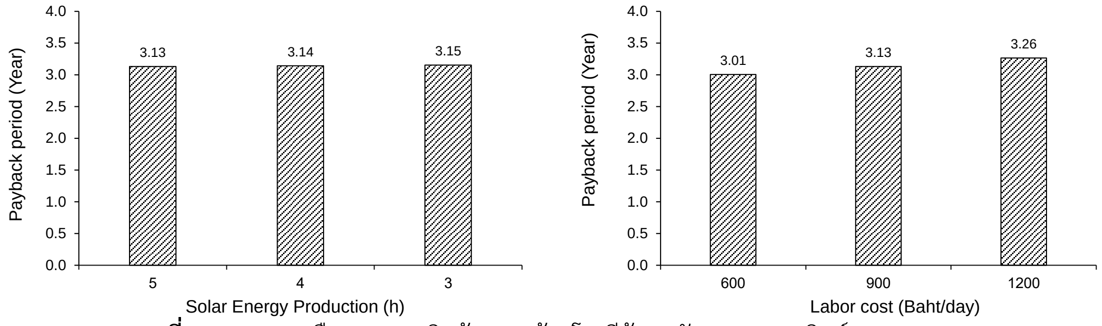
การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

การวิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุนการผลิตข้าวสารเนื่องจากมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ลดลงจึงทำให้ใช้ไฟฟ้าปกติสูงขึ้นจึงทำให้ค่าไฟฟ้าปกติเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เงินลงทุนสูงขึ้นต่อปีสูงขึ้นและทำให้ระยะเวลาคืนทุนเพิ่มสูงขึ้นแสดงดังภาพที่ 3 ขณะเดียวกันหากการจ้างแรงงานในราคาที่สูงขึ้นจึงส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตต่อปีสูงขึ้นทำให้เงินลงทุนสูงขึ้นและทำให้ระยะเวลาคืนทุนเพิ่มขึ้น โครงการโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์มีระยะเวลาในการคืนทุนอยู่ในช่วง 3 ปี โดยตัวแปรที่เกิดจากการปรับชั่วโมงการใช้กำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และตัวแปรของแรงงานมีระยะเวลาคืนทุนไม่แตกต่างกัน

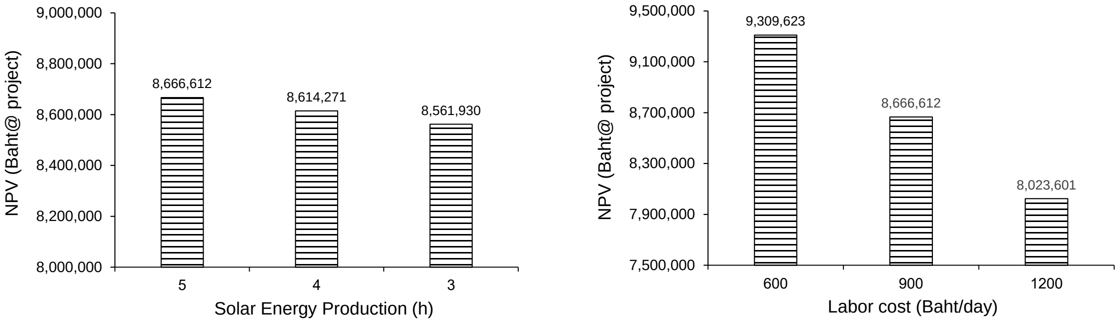
การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

การวิเคราะห์หามูลค่าปัจจุบันสุทธิการผลิตข้าวสารแสดงดังภาพที่ 4 เนื่องจากมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ลดลงจึงทำให้ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพิ่มสูงขึ้นและเป็นสาเหตุให้ค่าไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลให้

มูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อปีลดลงเฉลี่ย 104,693 บาท เมื่อมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ 3 ชั่วโมงต่อวัน ขณะเดียวกันหากการจ้างแรงงานในราคาที่สูงขึ้นทำให้เงินลงทุนสูงขึ้น จึงส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิลดลงต่อปีเฉลี่ย 1,286,022 บาท การผลิตข้าวสารเนื่องจากมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ลดลงและใช้ไฟฟ้าปกติสูงขึ้นจึงทำให้ค่าไฟฟ้าปกติเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ดัชนีกำไรต่อปีลดลงหากการจ้างแรงงานในราคาที่สูงขึ้นทำให้เงินลงทุนสูงขึ้นจึงส่งผลให้จะได้ดัชนีกำไรต่อปีลดลง ดังภาพที่ 4



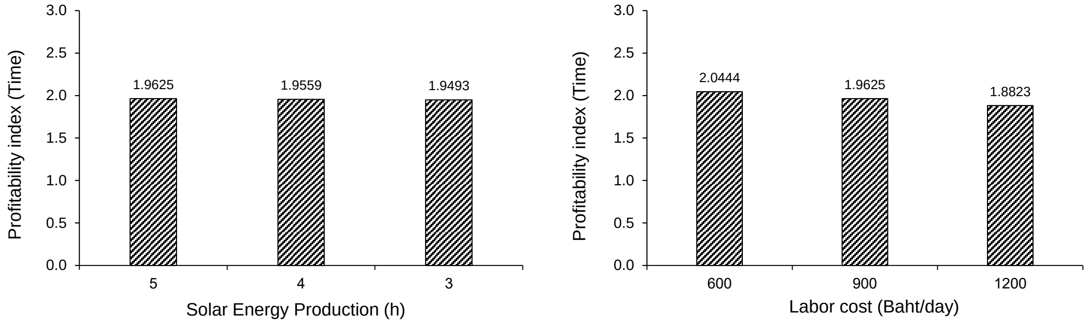
ภาพที่ 3 ระยะเวลาคืนทุนการผลิตข้าวสารด้วยโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิการผลิตข้าวสาร

การวิเคราะห์ดัชนีกำไร

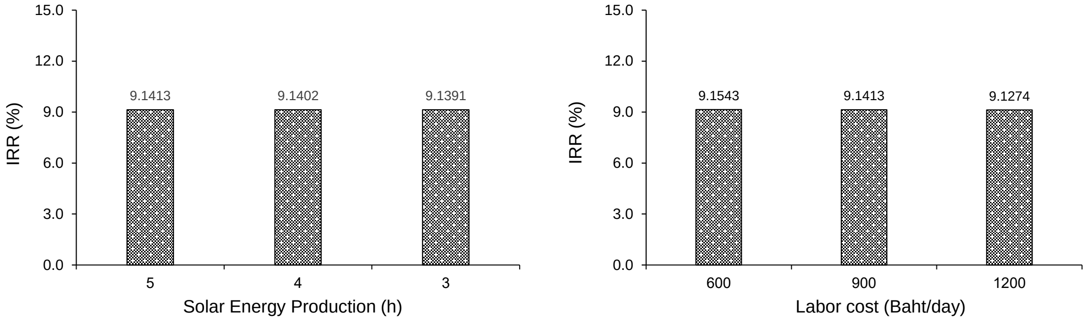
การวิเคราะห์หามูลค่าปัจจุบันสุทธิการผลิตข้าวสารแสดงดังภาพที่ 4 เนื่องจากมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ลดลงจึงทำให้ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพิ่มสูงขึ้นและเป็นสาเหตุให้ค่าไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น และส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อปีลดลงเฉลี่ย 104,693 บาท เมื่อมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ 3 ชั่วโมงต่อวัน ขณะเดียวกันหากการจ้างแรงงานในราคาที่สูงขึ้นทำให้เงินลงทุนสูงขึ้น จึงส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิลดลงต่อปีเฉลี่ย 1,286,022 บาท การผลิตข้าวสารเนื่องจากมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ลดลงและใช้ไฟฟ้าปกติสูงขึ้นจึงทำให้ค่าไฟฟ้าปกติเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ดัชนีกำไรต่อปีลดลงขณะเดียวกันหากการจ้างแรงงานในราคาที่สูงขึ้นทำให้เงินลงทุนสูงขึ้นจึงส่งผลให้จะได้ดัชนีกำไรต่อปีลดลง ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ดัชนีกำไรการผลิตข้าวสาร

การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนภายใน

การวิเคราะห์หาอัตราผลตอบแทนภายในการผลิตข้าวสารเนื่องจากมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ลดลงและใช้ไฟฟ้าปกติสูงขึ้นจึงทำให้ค่าไฟฟ้าปกติเพิ่มขึ้น และส่งผลให้อัตราผลตอบแทนภายใน ต่อปีลดลงขณะเดียวกันหากเนื่องจากการจ้างแรงงานในราคาที่สูงขึ้นจะทำให้เงินลงทุนสูงขึ้นจึงส่งผลให้ได้ผลตอบแทนภายในต่อปีลดลง ดังภาพที่ 6 ผลตอบแทนภายในของการสีข้าวด้วยโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อปรับกำลังการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ช่วง 3-5 ชั่วโมงต่อวัน อยู่ที่ 9.13-9.14% ในขณะที่การปรับค่าแรงงานจะให้ค่าผลตอบแทนภายในอยู่ในช่วง 9.12-9.15% เมื่อใช้ค่าแรงงาน 200-300 บาทต่อวัน



ภาพที่ 6 อัตราผลตอบแทนภายในการผลิตข้าวสารด้วยโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของโรงสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์สรุปได้ว่า การลดจำนวนชั่วโมงของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ป้อนให้กับโรงสีข้าวและการลดค่าจ้างแรงงานจะส่งผลต่อความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ การลดจำนวนชั่วโมงของกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ส่งผลให้ ต้นทุนการผลิตและระยะเวลาคืนทุนเพิ่มขึ้น ในขณะที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ดัชนีกำไรและผลตอบแทนภายในมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามผลจากการปรับจำนวนชั่วโมงของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์มีผลค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับผลกระทบที่เกิดจากค่าจ้างแรงงาน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลกระทบพลังงานแสงอาทิตย์และค่าแรงงานมีผลกระทบต่อความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการ สอดคล้องกับงานวิจัยพินิจนันท์ สามอาพัฒน์ และธนิท เรืองรุ่งชัยกุล การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของ ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร เนื่องช่วยให้เกษตรกรสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงน้ำมันเครื่อง และค่า ซ่อมบำรุงของระบบสูบน้ำเดิมลงได้ (ระยะเวลาคืนทุน 2.86-6.22 ปี)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนอุปกรณ์และข้อมูลการวิจัย ภายใต้โครงการ “พัฒนาและยกระดับรายได้กลุ่มเกษตรกรปลูกข้าวครบวงจรประจำปีงบประมาณ 2560” ขอขอบคุณคณะบริหารธุรกิจที่สนับสนุนบุคลากรและข้อมูลการวิจัยและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กุณฑีราและสุทัศน์. 2554. การวิเคราะห์เงื่อนไขในการลงทุนสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก. **วารสารวิจัยพลังงาน**, 8(1),87-95.

[2] พินิจนันท์และธนิท. 2558. การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของ ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วารสารทางวิชาการของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ครั้งที่ 4**, 4(3), 217-226.

[3] นงเยาว์ หอมดวง. 2562. การวิเคราะห์การใช้พลังงานและต้นทุนการแปรรูปข้าวของระบบสีข้าวพลังงานแสงอาทิตย์ **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย** ครั้งที่ 15 วันที่ 21-24 พฤษภาคม 2562 จังหวัดนครราชสีมา

[4] ทัดพงศ์ อวิโรธนานนท์.2559. ความคุ้มค่าทางการเงินของการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน ของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมในเขตภาคเหนือตอนบน. **การประชุมวิชาการระดับชาติ "นเรศวรวิจัย" ครั้งที่ 12**, 12(1), 1170-1179.

การเพิ่มคุณภาพทางใบปาล์มด้วยกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นจากคลื่นไมโครเวฟ

Upgrading Oil Palm leaves with using Microwave Torrefaction Process

ศกลรัตน์ จินดารักษ์[1], ชูรัตน์ ธารารักษ์[1], เสริมสุข บัวเจริญ[1], นิกราน หอมดวง[1*],ภคมน ปินตานา[1]และ ณัฐวุฒิ ดุษฎี[1]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มคุณภาพเชื้อเพลิงชีวมวล โดยศึกษาผลกระทบของกำลังวัตต์ของไมโครเวฟและเวลาในกระบวนการทอร์รีแฟคชั่น ชีวมวลทดสอบที่ใช้คือทางใบปาล์มซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยย่อยให้เป็นกากขนาดเฉลี่ย 3 mm และใช้ทดสอบที่ 20 g ต่อครั้งในการทดสอบ ทดลองปรับกำลังวัตต์ไมโครเวฟและระยะเวลากระบวนการทอร์รีแฟคชั่นที่ 180W 300W 450W และ 600W และ 10 15 และ 20 min ตามลำดับ ทดสอบภายใต้ความดันบรรยากาศและใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นสารตัวกลางในการไหลเวียน ที่อัตราการไหล 5 l/min ผลการทดสอบพบว่าการเพิ่มกำลังวัตต์ไมโครเวฟและเวลาทอรีแฟคชั่น ส่งผลให้คุณสมบัติของทางปาล์มดีขึ้น โดยค่าความชื้นและปริมาณสารระเหยบางส่วนลดต่ำลง ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนคงตัวและปริมาณเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น การใช้กำลังวัตต์ไมโครเวฟ 600W และเวลาทอร์รีแฟคชั่น 20 min ให้ค่าความร้อนชีวมวลสูงสุด 22.87 MJ/kg คิดเป็นพลังงานที่เพิ่มขึ้นสูงกว่า 21.95% เมื่อเทียบกับชีวมวลตั้งต้น การเพิ่มกำลังวัตต์ไมโครเวฟและระยะเวลาทอร์รีแฟคชั่นให้สูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิในกระบวนการทอรีแฟคชั่นเพิ่มสูงขึ้นสูงสุด 320°C

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงชีวมวล ไพโรไลซิส กระบวนการทอร์รีแฟคชั่น คลื่นไมโครเวฟ

บทนำ

กระบวนการทอร์รีแฟคชั่น (Torrefaction) หรือกระบวนการไพโรไลซิสที่ไม่รุนแรง (Mild pyrolysis) [1] เป็นเทคนิคการให้ความร้อนแก่ชีวมวล เพื่อพัฒนาคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural waste) โดยแหล่งพลังงานที่ใช้ผลิตความร้อนในเตาปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นส่วนใหญ่ได้จากพลังงานไฟฟ้าและความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เครื่องทำความร้อน (heater) หรือแก๊สหุงต้มหรือชีวมวล เป็นต้น เนื่องจากกระบวนการใช้เวลานานเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ทำให้ใช้พลังงานป้อนเข้าสู่กระบวนการในปริมาณสูง ก่อให้เกิดความสิ้นเปลืองพลังงาน [2] จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟกับกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นแก่ชีวมวล เช่น ฟางข้าว กระถิน และหญ้าเนเปียร์ เป็นต้น เพื่อลดระยะเวลาและการใช้พลังงานของกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นนวัตกรรมการสร้างความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง โดยคลื่นไมโครเวฟจะเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนในผลผลิตทางการเกษตรที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุไดอิเล็กตริกที่สามารถดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแปลงเป็นพลังงานความร้อนได้ การเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ประกอบไปด้วยกลไกการเหนี่ยวนำไอออน และกลไกชนิดการหมุนของทั้งสองขั้ว จนเกิดเป็นพลังงานความร้อนจากภายในวัสดุไดอิเล็กตริก โดยอาหารและวัตถุทางการเกษตรที่มีความชื้นสูงจัดเป็นวัสดุไดอิเล็กตริกจึงสามารถดูดซับคลื่นไมโครเวฟ และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] จากข้อดีและข้อได้เปรียบของไมโครเวฟ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการนำคลื่นไมโครเวฟมาเพิ่มคุณภาพให้กับทางใบปาล์ม

* Corresponding author: Tel : 0836266591 E-mail address : sakonratj55@email.nu.ac.th

โดยศึกษาผลของกำลังวัตต์ไมโครเวฟและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มคุณภาพทางใบปาล์มหรือเป็นแนวทางนำไปใช้กับชีวมวลอื่นๆ

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย

ชุดทดสอบกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นด้วยคลื่นไมโครเวฟ ใช้ไมโครเวฟขนาด 20 L เป็นแหล่งพลังงานในการสร้างคลื่นไมโครเวฟระหว่างกระบวนการ [4] งานวิจัยได้ดัดแปลงใส่อุปกรณ์เพิ่มเติม ประกอบด้วย การเพิ่มชุดป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าทางด้านบนมี 2 ท่อ โดยใช้ท่อแก้วทนความร้อน แบ่งเป็นท่อป้อนไนโตรเจนและท่อออกของไพโรไลซีสแก๊สภายในห้องปฏิกิริยากระบวนการทอร์รีแฟคชั่น ใช้ถ้วยเซรามิคสำหรับใส่ตัวอย่างชีวมวล ส่วนการปรับกำลังไมโครเวฟและระยะเวลาทอร์รีแฟคชั่น ใช้รูปแบบการปรับเดิมที่ติดมากับเครื่องไมโครเวฟ โดยกำลังไมโครเวฟและระยะเวลาทอรีแฟคชั่นทดสอบปรับอยู่ในช่วง 100-800 W ระยะเวลาที่ปรับได้อยู่ในช่วง 1-60 min การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีเชื้อเพลิงหลังผ่านกระบวนการทอรีแฟคชั่นซึ่งเรียกว่าเชื้อเพลิงทอรีไฟด์ใช้หลักการวิเคราะห์ทางเคมีโดยวิธีประมาณ รายละเอียดการปฏิบัติการและการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานการวิเคราะห์ [4]

2. ชีวมวลและการเตรียมตัวอย่าง

วัสดุที่นำมาทดสอบเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในแถบภาคเหนือ ซึ่งได้แก่ ทางใบปาล์ม ในเบื้องต้นก่อนการทดสอบได้นำทางใบปาล์มมาบดย่อยด้วยเครื่องบดหยาบ ได้ชีวมวลขนาดเฉลี่ย 10 mm จากนั้นนำมาบดครั้งที่สองด้วยเครื่องบดละเอียด ทางใบปาล์มที่ได้มีขนาดน้อยกว่า 1-3 mm จากนั้นนำทางใบปาล์มที่ผ่านเครื่องบดละเอียดมาคัดขนาดด้วยตะแกรงที่มีขนาดรู 3 mm และเก็บชีวมวลไว้ในที่แห้งเพื่อเตรียมไว้สำหรับทดสอบกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นด้วยคลื่นไมโครเวฟต่อไป ค่าความร้อนเฉลี่ยทางใบปาล์มและความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 17.85 MJ/kg และ ไม่เกิน 7% โดยคุณสมบัติทางเคมีอย่างละเอียดของทางใบปาล์มก่อนเข้ากระบวนการทอรีแฟคชั่นและภาพถ่ายของทางใบปาล์มสามารถอ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมา [4]

3. วิธีการทดลอง

การทดสอบกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นด้วยคลื่นไมโครเวฟ เริ่มจากการนำเอาตัวอย่างทางใบปาล์มที่เตรียมไว้แบบผงที่มีขนาดไม่เกิน 3 mm จำนวนครั้งละ 20 g ใส่ตัวอย่างเข้าไปในเครื่องทดสอบกระบวนการทอร์รีแฟคชั่น ป้อนแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหล 5 l/min ปรับตั้งกำลังวัตต์ของไมโครเวฟและเวลาที่จะทำการทดสอบ โดยเงื่อนไขการปรับกำลังวัตต์ไมโครเวฟทั้งหมด 4 กำลังวัตต์ ได้แก่ 180W 300W 450W และ 600W เวลาที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ 10 15 และ 20 min แต่ละเงื่อนไขทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ใช้ค่าเฉลี่ยในการวิเคราะห์ผล จากนั้นนำเชื้อเพลิงทอรีไฟด์ไปวิเคราะห์ทางเคมีด้วยการวิเคราะห์โดยปริมาณ (Proximate Analysis) และหาค่าความร้อนของชีวมวล ตามมาตรฐาน ASTD สมการการวิเคราะห์ค่าความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงที่และปริมาณเถ้าแสดงดังสมการที่ 1-4 [4] ในขณะที่แผนภาพการทดลองของกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นด้วยคลื่นไมโครเวฟ แสดงดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ภาพไดอะแกรมการติดตั้งเครื่องมือและการเตรียมทางใบปาล์ม

MC = [(A-B)/A] x 100 สมการที่ 1

VM = [(B-C)/B] x 100 สมการที่ 2

Ash= (D/B) x 100 สมการที่ 3

FC = 100 - (Ash + MC + VM) สมการที่ 4

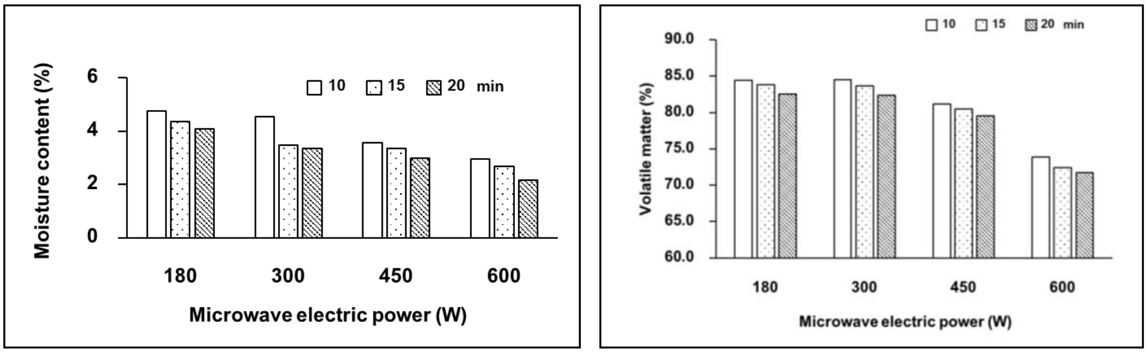
เมื่อ MC คือ ปริมาณความชื้น (%), A คือ น้ำหนักชีวมวลก่อนอบแห้ง (g), B คือ น้ำหนักชีวมวลหลังอบแห้ง (g), C คือ น้ำหนักชีวมวลหลังอบที่อุณหภูมิ 900°C (g), VM ปริมาณสารระเหย (%), D คือ น้ำหนักชีวมวลหลังอบที่อุณหภูมิ 750°C, Ash คือ ปริมาณเถ้า (%) และ FC ปริมาณคาร์บอนคงตัว (%) ส่วนการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถทำได้ด้วยการใช้สมการค่าร้อนมาตรฐาน [4] ซึ่งเมื่อลองนำมาเทียบกับการหาค่าความร้อนจากบอมแคลอรีมิเตอร์พบว่าแตกต่างกันไม่เกิน 5%

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลกระทบกำลังวัตต์ไมโครเวฟและระยะเวลา

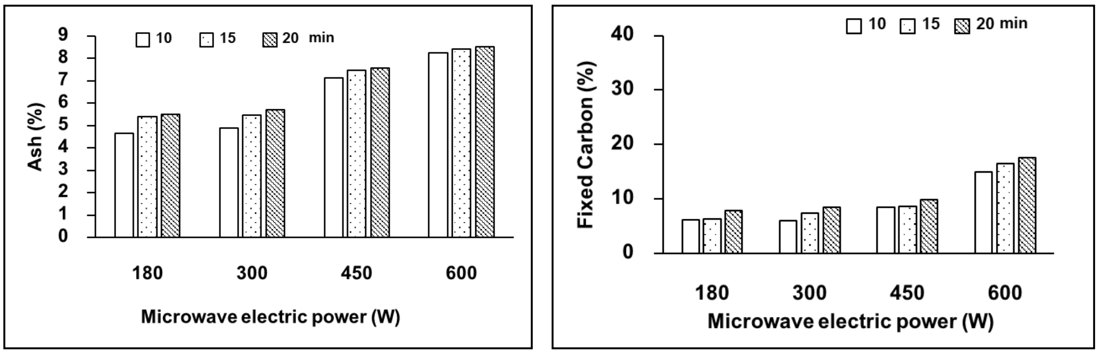
ภาพที่ 2 (ก) แสดงผลกระทบกำลังวัตต์ไมโครเวฟของเวลาที่มีต่อความชื้นของใบปาล์มพบว่า เมื่อเวลาในกระบวนการเท่ากัน กำลังวัตต์ไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นทำให้ความชื้นของทางใบปาล์มมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกันกับเมื่อกำลังวัตต์ไมโครเวฟที่เท่ากัน ความชื้นของใบปาล์มลดลงเมื่อเวลาของกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นเพิ่มขึ้น ทำให้สรุปได้ว่า เมื่อเทียบกำลังวัตต์ 450W และ 600W ที่เวลา 20 min กับค่าความชื้นก่อนกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นจะมีค่าเท่ากับ 63.5% และ 73.7% ตามลำดับ โดยที่ความชื้นของใบปาล์มลดลงสาเหตุเนื่องจากเฮมิเซลลูโลสลดลง ทำให้ลิกนินที่พื้นผิวชีวมวลอยู่ในสภาวะเร่ง (active sites) พันธะทางเคมีของความชื้นจึงถูกทำลายลง [7] ภาพที่ 2 (ข) แสดงปริมาณสารระเหยทางใบปาล์มหลังผ่านกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นด้วยเทคนิคคลื่นไมโครเวฟพบว่า เมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้นปริมาณสารระเหยลดลง โดยที่ระดับกำลังวัตต์ไมโครเวฟ 180W 300W และ 450W ปริมารสารระเหยมีค่าประมาณ 83.59 – 80.41% ลดลงจากก่อนกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นเพียง 1.93–5.66% เมื่อพิจารณาที่กำลังวัตต์ไมโครเวฟ 600W และเวลา 20 min ปริมาณสารระเหยมีค่าเฉลี่ย 71.72% ซึ่งลดลงจากก่อนกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นเฉลี่ย 15.86% การลดลงของสารระเหยเกิดจากการสลายตัวขององค์ประกอบชีวมวลประเภทสารแทรก (extractive) เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเซลลูโลส ซึ่งมีผลทำให้มวลและพลังงานบางส่วนของชีวมวลลดลง [8] ภาพที่ 3 (ก) แสดงผลกระทบของกำลังวัตต์ไมโครเวฟและเวลาต่อปริมาณเถ้าของทางใบปาล์มพบว่าปริมาณเถ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อกำลังวัตต์ไมโครเวฟและเวลาเพิ่มขึ้น โดยปริมาณเถ้าของทางใบปาล์มที่ผ่านกระบวนการทอร์รีแฟคชั่น ที่กำลังวัตต์ 180-450 W มีค่าประมาณ 5.18-7.4 % เพิ่มขึ้นคิดเป็น 4.6 – 49.5% สำหรับกำลังวัตต์ 600W ปริมาณเถ้าของทางใบปาล์มมีค่าประมาณ 8.40% ซึ่งสูงกว่าปริมาณเถ้าก่อนกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นประมาณ 41.07 % ซึ่งสาเหตุของเถ้าที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเกิดจากสัดส่วนของความชื้นและสารระเหยบางส่วนได้

สลายในระหว่างกระบวนการทอรีแฟคชั่นส่งผลให้สัดส่วนของเถ้าในชีวมวลเพิ่มขึ้น [9] ภาพที่ 3 (ข) แสดงผลกระทบกำลังวัตต์ไมโครเวฟและเวลาต่อปริมาณคาร์บอนคงตัวของทางใบปาล์ม พบว่า เมื่อใช้เวลาในกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นเท่ากัน การเพิ่มกำลังวัตต์ไมโครเวฟส่งผลทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาที่กำลังวัตต์ 180-450W พบว่า ปริมาณคาร์บอนคงตัวมีค่าต่างกันเล็กน้อย อยู่ในช่วง 6.81 – 9.02% สำหรับกำลังวัตต์ 600W คาร์บอนคงตัวมีค่าสูงสุด เท่ากับ 16.31% เพิ่มขึ้นจากชีวมวลก่อนกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นประมาณ 5 เท่า ซึ่งการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนคงตัวจะเป็นสัดส่วนที่ผกผันกับสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ในชีวมวล [10] และนำไปสู่การเพิ่มของค่าความร้อนชีวมวล



(ก) (ข)

ภาพที่ 2 ผลกระทบของกำลังวัตต์และเวลาที่มีต่อความชื้นและสารระเหย

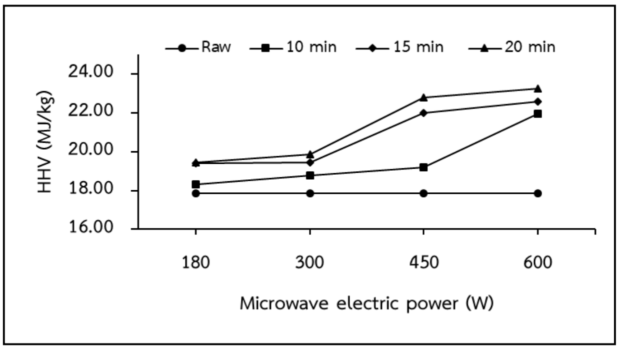


(ก) (ข)

ภาพที่ 3 ผลกระทบของกำลังวัตต์และเวลาที่มีต่อปริมาณเถ้าและคาร์บอนคงที่

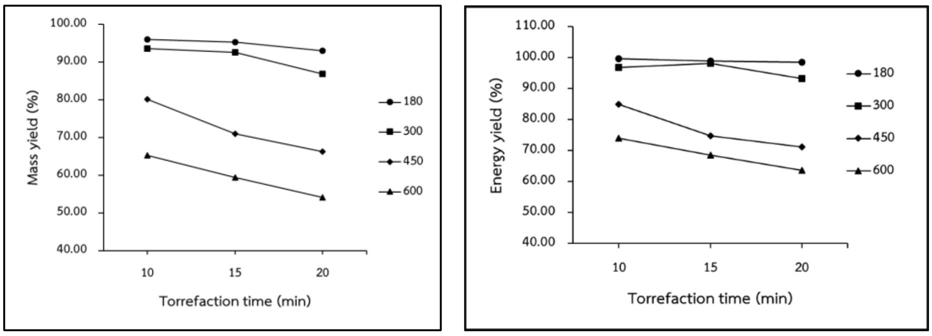
2. การวิเคราะห์ค่าความร้อนเชื้อเพลิงทอร์รีไฟด์

ภาพที่ 4 แสดงค่าความร้อนของทางใบปาล์มที่ผ่านกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นด้วยคลื่นไมโครเวฟ (เชื้อเพลิงทอรีไฟด์) พบว่าเมื่อกำลังวัตต์ไมโครเวฟและเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความร้อนของทางใบปาล์มมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยค่าความร้อนสูงสุดของเศษไม้เท่ากับ 22.87 MJ/kg อยู่ที่ระดับกำลังวัตต์ 600W และใช้เวลา 20 min คิดเป็นค่าความร้อนที่เพิ่มสูงสุด 21.95% ค่าความร้อนของชีวมวลที่เพิ่มขึ้นเกิดจากปริมาณความชื้นและสารระเหยบางส่วนถูกกำจัดออกไป และสัดส่วนของค่าคาร์บอนคงตัวเพิ่มสูงขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงทอรีไฟด์เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4 ค่าความร้อนเชื้อเพลิงทอร์รีไฟด์ของทางใบปาล์ม

3. การวิเคราะห์ร้อยละผลผลิตมวลและพลังงานที่ได้ของเชื้อเพลิงทอร์รีไฟด์จากทางใบปาล์ม



(ก) (ข)

ภาพที่ 5 ปริมาณมวลและพลังงานที่ได้ของเชื้อเพลิงทอร์รีไฟด์จากทางใบปาล์ม

จากข้อมูลดังภาพที่ 5 (ก) และ (ข) การใช้กำลังไมโครเวฟที่ 180 W และระยะเวลาทอร์รีแฟคชั่นด้วยคลื่นไมโครเวฟ 10 min ใช้ปริมาณผลผลิตมวลและพลังงานสูงสุด ผลที่เกิดขึ้นกับผลผลิตมวล การใช้กำลังไมโครเวฟที่สูงจะส่งผลต่อการลดของมวลค่อนข้างชัดเจน การลดลงของมวลที่สูงเกินไปอาจส่งผลเสียในด้านเศรษฐศาสตร์ โดยเฉพาะต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนทางด้านผลผลิตทางพลังงานการใช้กำลังวัตต์ไมโครเวฟ 180 W และระยะเวลา 10 min ผลผลิตพลังงานสูงสุดและถัดมาเป็นการใช้กำลังไมโครเวฟ 300 W ผลผลิตพลังงานหลักได้ในภาพรวมจะส่งผลทางเศรษฐศาสตร์คล้ายกับผลกระทบที่เกิดจากผลผลิตมวล ผลผลิตมวลและพลังงานที่ได้ของทางใบปาล์มมีค่าเท่ากับ 96.03% และ 99.65% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อทดลองเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงกับการทอร์รีแฟคชั่นด้วยความร้อนพบว่า การใช้กำลังไมโครเวฟที่ 450 W ที่ระยะเวลา 20 min มีค่าพลังงานความร้อน และผลผลิตมวลเท่ากับ 33.31% และ 71.24% ตามลำดับ การทดสอบของ[3] ในสภาวะ 200 $^{\circ}$C และเวลาทอร์รีแฟคชั่นที่ 40 min

สรุปผลการวิจัย

การเพิ่มกำลังวัตต์ไมโครเวฟและเวลาในกระบวนการทอร์รีแฟคชั่น ส่งผลให้ค่าความชื้นและปริมาณสารระเหยลดลง ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนคงตัวและเถ้าเพิ่มสูงขึ้น

ปริมาณผลผลิตมวลและพลังงานสูงสุด ผลที่เกิดขึ้นกับผลผลิตมวล การใช้กำลังไมโครเวฟที่สูงจะส่งผลต่อการลดของมวลและพลังงานค่อนข้างชัดเจน

ค่าความร้อนสูงสุดของเชื้อเพลิงทอรีไฟด์เท่ากับ 22.87 MJ/kg ที่การทดลองกำลังวัตต์ไมโครเวฟ 600W และเวลาทอรีแฟคชั่น 20 min และกำลังวัตต์ไมโครเวฟและเวลาดังกล่าวจะให้อุณหภูมิในกระบวนการสูงสุด 320 °C และมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นได้สูงสุด 21.95%

กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยพลังงาน/ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมพลังงาน สิ่งแวดล้อมและภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (สนพ.) ทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2561 ที่เอื้อเฟื้อเงินสนับสนุนและอุปกรณ์การทำวิจัย และขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] พงษ์ศักดิ์ เฮงนิรันดร์ และไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ (2554). เม็ดเชื้อเพลิงไม้ทอรีไฟด์.เทคโนโลยีและโอกาสทางการตลาด, วารสารการจัดการป่าไม้, ฉบับ 5, หน้า 67 – 75

[2] Lin, Y.L. (2015). Effect of microwave - Induced Torrefaction on waste straw upgrading, vol. 6, pp. 401 - 404

[3] เจนจิรา อุตเรือน. 2561. การเพิ่มคุณภาพวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ด้วยกระบวนการทอร์รีแฟคชัน วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[4] ศกลรัตน์ จินดารักษ์. 2562. การเพิ่มคุณภาพชีวมวลด้วยกระบวนการทอร์รีแฟคชั่นจากคลื่นไมโครเวฟ. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15.

[5] ฤทธิชัย อัศวราชันย์ (2554). การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยคลื่นไมโครเวฟ, วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, ฉบับ 2, หน้า 31 – 42

[6] ณรงค์ฤทธิ์ สายลุน และธนพร พบลาภ (2557). รายงานการวิจัยเรื่อง ชีวมวลที่มีความหนาแน่นเชิงพลังงานสูงจากการทอริแฟคชั่นเศษไม้ยางพารา, โครงการวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 7 - 9

[7] จุติพร อินทะนิน, วรรัตน์ ปัตรประกร และ พรระพีพัฒน์ ภาสบุตร (2551). การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 5, จังหวัดนครปฐม

[8] Parikh, J., Chaniwala, S.A. and Ghosal, G.K. (2005). A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels, Fuel, vol. 84, pp. 487 - 494.

[9] Saeed, M.A., Ahmad, S.W., Kazmi, M., Moshi, M. and Feroze, N. (2005). Impact of torrefaction technique on the moisture content, bulk density and calorific value of briquetted biomass, Polish Journal of Chemical Technology, vol. 17, pp. 25 - 28.

[10] Borges, A.C.P., Alvesa, C.T. and Torres, E.A. (2016). Torrefied Eucalyptus Grandis Characterization as a Biomass to Using in Industrial Scale, CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, vol. 49, pp. 283 - 288.

สมรรถนะแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงเมื่อใช้เศษวัสดุทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง
Performance of Downdraft Gasifier with using Agricultural Waste Fueled

นิริชรา ไชยวงค์ [1*] สุลักษณา มงคล[1] ณัฐวุฒิ ดุษฎี [1] เสริมสุข บัวเจริญ [1] และนิกราน หอมดวง [1]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงชนิดเติมเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง โดยใช้ถ่านและเศษไม้ลำไยเป็นเชื้อเพลิง ขนาด 30 kW_{th} โดยแก๊สซิไฟเออร์มีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือระบบผลิตแก๊ส ระบบทำความสะอาดและระบายความร้อนแก๊สและหัวเผาแก๊ส ใช้วิธีการทดสอบด้วยวิธีการต้มน้ำ เชื้อเพลิงถ่านไม้และเศษไม้ที่นำมาทดสอบมีขนาด 2.5x2.5x2.5-5x5x5 cm มีค่าความชื้นไม่เกิน 10% และมีค่าความร้อน 28 MJ/kg และ 14.5 MJ/kg มีระยะเวลาการทดสอบ 2 ชั่วโมงต่อครั้ง ผลการศึกษาพบว่า การใช้ถ่านไม้ให้ประสิทธิภาพความร้อนและอัตราการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊สสูงกว่าการใช้เศษไม้ โดยประสิทธิภาพความร้อนแก๊สซิไฟเออร์เมื่อใช้ถ่านไม้มีค่า 70.50% ที่อัตราการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊สเฉลี่ย 20 m^3/h และมีอัตราความสิ้นเปลืองถ่าน 5.80 kg/h การใช้งานกับชีวมวลทั้ง 2 แบบสามารถทำงานได้ดีและมีความเสถียรระดับที่น่าพอใจ โดยอุณหภูมิภายในแก๊สซิไฟเออร์ในโซนอบแห้ง ไพโรไลซิส เผาไหม้ และรีดักชันมีค่าอยู่ในช่วง 35–50 $^{\circ}C$ 200–400 $^{\circ}C$ 900 – 1,050 $^{\circ}C$ และ 700 – 980 $^{\circ}C$ ตามลำดับ ซึ่งแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงที่ทดสอบสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนให้กับชุมชนหรือเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์แก๊สขนาดเล็กได้

คำสำคัญ: แก๊สซิไฟเออร์ เศษวัสดุทางการเกษตร ประสิทธิภาพความร้อน ชีวมวล

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

บทนำ

ประเทศไทยนับเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ประชาชนมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลพลอยได้ที่สำคัญนอกเหนือจากผลผลิตการเกษตรก็คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย กากใย และทะลายปาล์ม เป็นต้น [1] ซึ่งวัสดุเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็น พลังงานได้ โดยส่วนใหญ่ประเทศไทยมีการนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงาน 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือการใช้ในรูปของพลังงานความร้อน ซึ่งรวมถึงการผลิตไฟฟ้า และการใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงต่าง ๆ ทั้งน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล [2] ปัจจุบันรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้นประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทน 11,051 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.7 พลังงานทดแทนที่มีการใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy) พลังงานลม (Wind energy) ชีวมวล (Biomass) พลังงานก๊าซชีวภาพ (Biogas) และพลังงานจากขยะ (Waste to energy) ในอนาคตพลังทดแทนที่ควรถูกนำมาพัฒนาใช้มากที่สุดคือ พลังงาน ชีวมวล เนื่องจากมีข้อได้เปรียบทางด้านทรัพยากรทางการเกษตรที่มีจำนวนมากในประเทศสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากชีวมวลได้อย่างมีประสิทธิภาพกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีสถานะเป็นของแข็ง ให้กลายเป็นแก๊สเชื้อเพลิง หรือโปรดิวเซอร์แก๊ส (Producer gas) โดยใช้กระบวนการทางเคมีความร้อนโดยใช้หลักการเผาไหม้แบบจำกัดอากาศเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์แก๊สที่ได้จะเป็นแก๊สที่มีคุณสมบัติในการติดไฟ ได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แก๊สไฮโดรเจน (H_2) และแก๊สมีเทน (CH_4) เป็นต้น โดยสัดส่วนเฉลี่ย 18%, 20% และ 1-3% ตามลำดับ และมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 3-5 MJ/Nm^3 ซึ่งถือว่าเป็นแก๊สเชื้อเพลิงความร้อนต่ำซึ่งเมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในจะทำให้ประสิทธิภาพความร้อนลดลงมากกว่า 40%-50% อย่างไรก็ตามถ้าสามารถปรับปรุงแก๊สชีวมวลนี้ให้มีค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้นได้จะทำให้กำลังเครื่องยนต์เพิ่มสูง ขึ้นได้ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและประเมินสมรรถนะของแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลที่เป็นเศษวัสดุทางการเกษตร 2 ชนิด คือ ถ่านไม้และไม้ลำไย ศึกษาและประเมินผล อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพความร้อนแก๊สซิไฟเออร์ อุณหภูมิภายในแก๊สซิไฟเออร์และอัตราการไหลของแก๊ส ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อให้เกิดการใช้งานในระดับชุมชนทั้งภาคการใช้ความร้อนและเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์แก๊สได้

วิธีการวิจัย

แก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงและเครื่องมือวัด

แก๊สซิไฟเออร์ที่ใช้ทดสอบเป็นแบบไหลลงสามารถเติมเชื้อเพลิงได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนประกอบของระบบมีทั้งหมด 3 ส่วน คือ ระบบผลิตแก๊ส ระบบทำความสะอาดและชุดหัวเผาโปรดิวเซอร์แก๊ส ห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นรูปกรวย คอคอดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 cm ความสูงของหัวฉีดเมื่อเทียบกับระนาบคอคอด 12.61 cm มีหัวฉีดจำนวน 5 หัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด 15 mm มีขนาดความจุถ่านได้ทั้งหมด 30 kg และถ้าเป็นเศษไม้ได้ทั้งหมด 55-60 kg แก๊สซิไฟเออร์ถูกออกแบบไว้ที่ $30kW_{th}$ หรือที่อัตราความสิ้นเปลืองชีวมวล 5-7.5 kg/h อัตราการป้อนอากาศต่อเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.4-0.5 แผนภาพการทดลองดังภาพที่ 1 การวัดอัตราการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊สใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของ Lutron Electronic รุ่น YK-80 AM ชนิดใบพัดโลหะ วัดอัตราการไหลเป็นช่วงไม่ต่อเนื่อง โดยอ่านค่าอยู่ในรูปของความเร็วสามารถวัดได้ในช่วง 0.4-35 m/s ความละเอียด 0.1 m/s การติดตั้งได้ติดตั้งร่วมกับท่อพีวีซีที่มีหน้าแปลน ขนาด 2 นิ้ว ด้านการวัดอุณหภูมิใช้เครื่องวัดอุณหภูมิชนิด Type K และ Type K สามารถวัดอุณหภูมิสูงสุด 600°C และ 1200 °C วัดอุณหภูมิทั้งหมด 6 จุดประกอบด้วยอุณหภูมิในโซนอบแห้ง ไพโรไลซิส เผาไหม้ รีดักชัน การต้มน้ำและสิ่งแวดล้อม ส่วนการวัดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงใช้วิธีการวัดมวลเทียบกับเวลาใช้เครื่องชั่งแบบดิจิทัล แบบ 2 ตำแหน่ง ส่วนการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงประสิทธิภาพความร้อนแก๊สซิไฟเออร์สามารถวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้ [3]

$$m^{\bullet} = \frac{m}{T}$$ สมการที่ 1

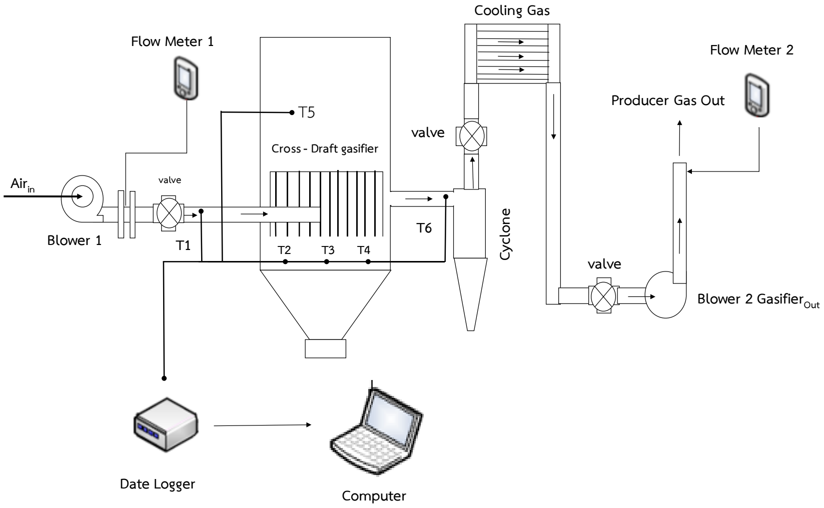
เมื่อ $m^{\bullet}$ คืออัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/h) m คือ มวลของถ่านไม้และเศษไม้ลำไย (kg) และ T คือ ระยะเวลาการทดลองต่อครั้ง (h)

$$\eta_{Gasifier} = \frac{H_g \times Q_g}{H_s \times M_s} \times 100\%$$ สมการที่ 2

เมือ $\eta_{Gasifier}$ คือประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส (%) H_g คือค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊ส (kJ/m^3) Q_g คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรของโปรดิวเซอร์แก๊ส (m^3/s) H_s คือค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวล (kJ/kg) Q_g คืออัตราการเติมเชื้อเพลิงชีวมวล (kg/s)

เชื้อเพลิงชีวมวลและการเตรียม

เชื้อเพลิงที่ใช้สำหรับการทดสอบประกอบด้วยถ่านไม้และเศษไม้ลำไย ดังภาพที่ 1 โดยถ่านที่ใช้ทดสอบเป็นถ่านไม้ที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นถ่านไม้ที่เหลือจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ซึ่งถ่านที่ใช้ทดสอบจะต้องนำมาสับให้ได้ตามขนาดที่ต้องการคืออยู่ในช่วง 1x1x1-3x3x3cm ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 200-300 kg/m^3 และความชื้นไม่เกิน 10% ในส่วนของเศษไม้ลำไยได้ตัดเป็นชิ้นที่มีขนาด 1x1x1-4x4x4 cm ความหนาแน่น 450-550 kg/m^3 และความชื้นไม่เกิน 15% โดยถ่านมีค่าความร้อนเฉลี่ย 28,000 kJ/kg และเศษไม้มีค่าความร้อนเฉลี่ย 14,700 kJ/kg ผลการเตรียมดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 การทดสอบหาสมรรถนะของเตาผลิตแก๊สชีวมวล

ภาพที่ 2 ถ่านไม้และเศษไม้ลำไย

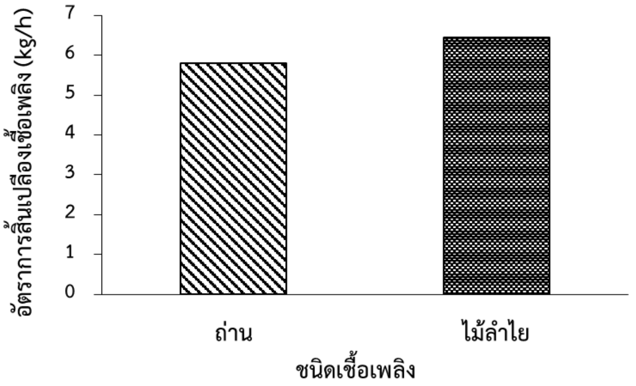
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การประเมินอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

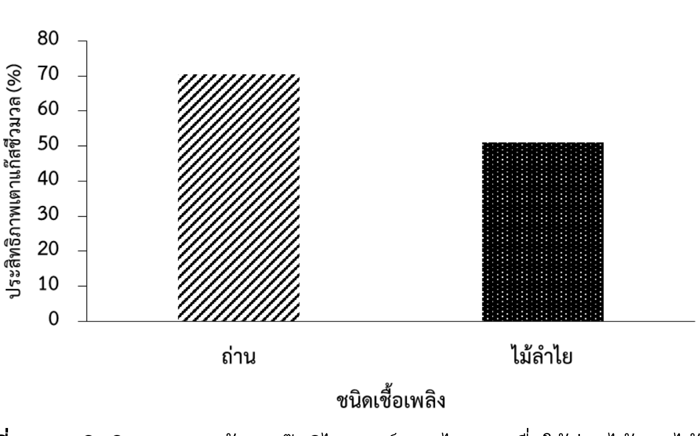
ภาพที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลของถ่านไม้และเศษไม้ลำไยของแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง โดยพบว่าการใช้ถ่านไม้ให้อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่าไม้ลำไย การใช้ถ่านไม้ให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเชื้อเพลิงเฉลี่ย 5.80 kg/h ในขณะที่อัตราการสิ้นเปลืองของไม้ลำไยอยู่ที่ 6.45 kg/h อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบกับผลการออกแบบแก๊สซิไฟเออร์และงานวิจัยอื่นๆ ที่ใช้ขนาดของแก๊สซิไฟเออร์ใกล้เคียงกัน อัตราการสิ้นเปลืองถ่านไม้และเศษไม้ที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีความใกล้เคียงกัน [4]

การประเมินประสิทธิภาพความร้อนแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง

ผลการประเมินประสิทธิภาพความร้อนของแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงเมื่อใช้ถ่านไม้และเศษไม้ แสดงดังภาพที่ 4 พบว่าแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงที่ใช้ถ่านไม้เป็นเชื้อเพลิงให้ประสิทธิภาพความร้อนที่สูงสุด 70.50% ในขณะการใช้เศษไม้ลำไยให้ประสิทธิภาพความร้อนที่ 51.01% ประสิทธิภาพความร้อนจากการใช้เศษไม้ต่ำเกิดจากองค์ประกอบแก๊สที่มีค่าต่ำ โดยเฉลี่ยแล้วในกรณีของการใช้ถ่านจะมีค่าความร้อนเฉลี่ย 4,464 kJ/Nm^3 ในขณะที่การใช้เศษไม้ให้ค่าความร้อนต่ำกว่า 4,000 kJ/Nm^3 ความชื้นของเศษไม้และปริมาณสารระเหยเป็นตัวแปรหลักที่ทำให้การเผาไหม้ในระบบลดต่ำลงและทำให้ประสิทธิภาพความร้อนของแก๊สซิไฟเออร์ลดลง



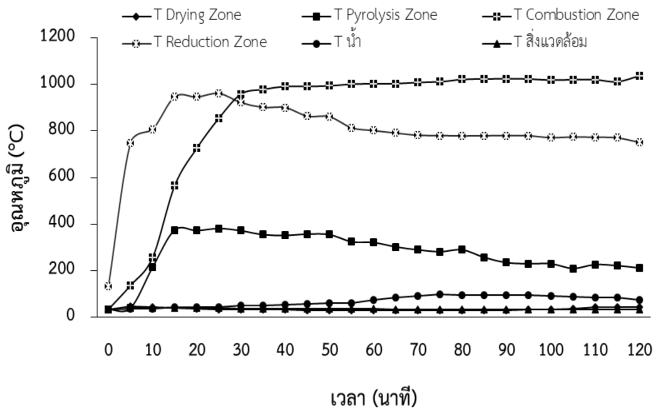
ภาพที่ 3 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านไม้และเศษไม้ลำไยของแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง



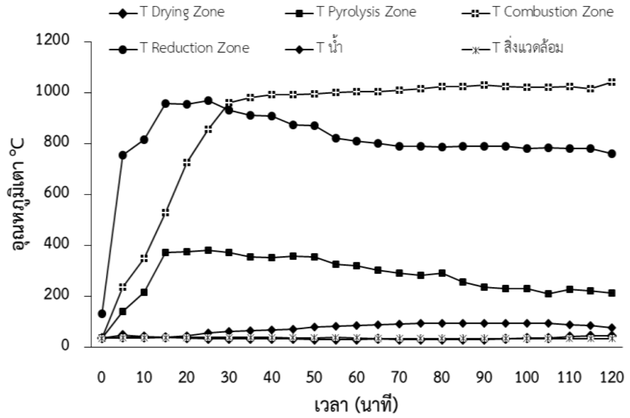
ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพความร้อนแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงเมื่อใช้ถ่านไม้และไม้ลำไย

การประเมินอุณหภูมิการทดสอบแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลง

ภาพที่ 5 และ 6 แสดงลักษณะของอุณหภูมิการทดสอบแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงทั้ง 6 จุด ประกอบด้วยอุณหภูมิโซนอบแห้ง โซนไพโรไลซิส โซนเผาไหม้ โซนรีดักชัน อุณหภูมิการต้มน้ำและสิ่งแวดล้อม ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิเมื่อใช้ถ่านไม้และเศษไม้ลำไยเป็นเชื้อเพลิงพบว่า ในโซนอบแห้ง โซนไพโรไลซิส โซนเผาไหม้ โซนรีดักชัน และอุณหภูมิการต้มน้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยการใช้เศษไม้ต่ำกว่าเล็กน้อย โดยอยู่ในช่วง 35–50 ˚C 200–400 ˚C 900 – 1,050 ˚C และ 700 – 980 ˚C ตามลำดับ อุณหภูมิในแต่ละโซนมีแนวโน้มคงที่ที่อุณหภูมิ 15-20 min นับจากเริ่มจุดแก๊สซิไฟเออร์และในส่วนของโซนเผาไหม้ อุณหภูมิจะคงที่ประมาณ 30 min เป็นต้นไป เนื่องจากเกิดการสะสมของอุณหภูมิเตาในช่วงเริ่มต้นในภาพรวมของอุณหภูมิเตามีความเสถียรและมีแนวโน้มลดลงในช่วงปลายการทดสอบ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบในเชิงทฤษฎีอุณหภูมิทั้ง 4 โซน มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 70-90˚C 200–450˚C 900–1,100˚C และ 700–900˚C [5] ด้านอุณหภูมิการต้มน้ำมีค่าแตกต่างกัน โดยกรณีใช้ถ่านอุณหภูมิการต้มน้ำเฉลี่ย 99-100 ˚C และถ้าใช้เศษไม้อุณหภูมิการต้มน้ำเฉลี่ย 94-96 ˚C อุณหภูมิน้ำที่ต่ำเกิดจากโปรดิวเซอร์แก๊สมีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าถ่าน



ภาพที่ 5 อุณหภูมิแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงเมื่อใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง

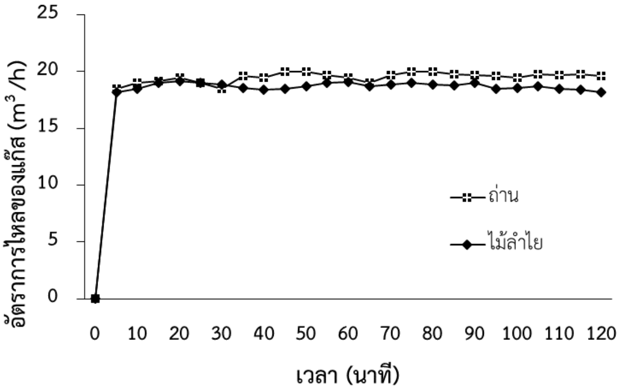


ภาพที่ 6 อุณหภูมิแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงเมื่อใช้ไม้ลำไยเป็นเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์อัตราการไหลโปรดิวเซอร์แก๊ส

ภาพที่ 7 แสดงอัตราการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊สเมื่อใช้ถ่านไม้และเศษไม้เป็นเชื้อเพลิง โดยพบว่าโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้มีค่าค่อนข้างเสถียรโดยการใช้ถ่านไม้ให้อัตราการไหลสูงกว่าการใช้เศษไม้ เนื่องจากเศษไม้มีส่วนประกอบของสารระเหยและน้ำมันดันหรือทาร์ ส่งผลให้อัตราการไหลของแก๊สลดลงในขณะเดียวกันความดันของระบบผลิตแก๊สจะ

เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการใช้ถ่านไม้ โปรดิวเซอร์แก๊สจะเริ่มผลิตก่อน 10 min อัตราการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊สเมื่อใช้ถ่านมีอัตราการไหลเฉลี่ย 20 m^3/h ในกรณีของการใช้ไม้ลำไยมีอัตราการไหลเฉลี่ย 19.5 m^3 /h



ภาพที่ 7 อัตราการไหลของแก๊สชีวมวลของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

สรุปผลการวิจัย

แก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงเมื่อใช้ถ่านไม้และเศษไม้เป็นเชื้อเพลิงมีสมรรถนะการทำงานได้ดี มีความเสถียรที่ระยะเวลาการทดสอบที่ 120 min มี การใช้ถ่านและไม้ลำไยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 5.80 kg/h และ 6.45 kg/h ตามลำดับ ประสิทธิภาพความร้อนของแก๊สซิไฟเออร์เมื่อใช้ถ่านมีประสิทธิภาพ 70.50% และการใช้เศษไม้ลำไยให้ประสิทธิภาพ 51.01% ที่อัตราการไหลของโปรดิวเซอร์แก๊ส 20 m^3/h และ 19.5 m^3/h จากศักยภาพของแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงที่ทำได้สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนหรือเป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์แก๊สขนาดเล็กได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และขอขอบคุณศูนย์พลังงาน/ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมพลังงาน สิ่งแวดล้อมและภัยพิบัติหมอกควัน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ศึกษาค้นคว้าวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มาhttp://www.dede.go.th, เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2560.

[2] พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น. (2556) การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ในจังหวัดลำปาง กรณีศึกษา : อำเภอแม่ทะ. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 35-45.

[3] นิกราน หอมดวง ณัฐวุฒิ ดุษฎี กิตติกร สาสุจิตต์ อุกฤต สมัครสมาน ธเนศ ไชยชนะ (2553) อิทธิพลของอัตราส่วน A/F ต่อประสิทธิภาพระบบผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงาน ความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน (ครั้งที่ 9) ณ โรงแรมปัตตาเวีย รีสอร์ทแอนสปา จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

[4] ปัญจพร หนาดคำ นิกราน หอมดวง กิตติกร สาสุจิตต์และอัครินทร์ อินทนิเวศน์ (2558) การประเมินสมรรถนะของแก๊สซิไฟเออร์แบบไหลลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[5] Food and Agriculture Organization (FAO),(1986) Wood Gas as Engine fuel Mechanical Wood product Branch.

การประเมินศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ปลูก กรณีศึกษาภาคเหนือของประเทศไทย

Briquette fuel potential evolution from maize residual in plantation area : case study in northern part of Thailand

ยินนิตรา คำนึงผล [1*] ธเนศ ไชยชนะ[1] ณัฐต์ณิชา สุขเกษม[1] และชูรัตน์ ธารารักษ์[1]

[1] สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยทำการสำรวจข้อมูลพื้นที่การเพาะปลูก และปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้งที่มีผลต่อการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากแบบสอบถามของพื้นที่เกษตรกร เพื่อประเมินศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งในพื้นที่ปลูก โดยมีพื้นที่ในการศึกษาคือพื้นที่ 12 จังหวัดในภาคเหนือของประเทศไทย ทำการเก็บข้อมูลจำนวน จำนวน 1,205 แปลงเพาะปลูก คิดเป็นพื้นที่รวม 13,884.7 ไร่ ผลการศึกษาพบว่ามีวัสดุชีวมวลเกิดขึ้นในพื้นที่ปลูกที่ประกอบด้วยต้นและใบของข้าวโพด เฉลี่ย 729.03 kg/ไร่/ครั้งของการเพาะปลูก ทั้งนี้ เกษตรกรมีการจัดการวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปลูก (ต้น และใบ) โดยการ เผาทิ้งในที่โล่ง ทิ้งในพื้นที่ ไถกลบ การนำไปใช้ผลิตเป็นปุ๋ย การนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิง และการขาย จากการจัดการดังกล่าวพบว่าเป็นการจัดการที่ไม่ถูกวิธีและก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมคือ การเผาทิ้งในที่โล่ง การฝังกลบ และทิ้งในพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งจากปริมาณของวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปลูกและมีการจัดการที่ผิดวิธีสามารถทำการประเมินเป็นศักยภาพการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้เท่ากับ 2,088,231.09 ตัน และคิดเป็นศักยภาพทางพลังงานเท่ากับ 34,071.58 เทระจูล

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงอัดแท่ง วัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ศักยภาพทางพลังงานชีวมวล

บทนำ

พลังงานทดแทนในประเทศไทยมีการพัฒนาและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลมาจากนโยบายส่งเสริมการผลิตการใช้พลังงานทดแทน โดยการใช้งานจะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน และเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยในปี 2557 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทนทั้งสิ้น 9,025 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 9.6 หรือคิดเป็นร้อยละ 11.9 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย การพัฒนาเศรษฐกิจ และความมั่นคงของประเทศ โดยเฉพาะในภาคธุรกิจ ภาคอุตสาหกรรม ที่มีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก ทำให้ส่งผลต่อการใช้พลังงานในภาคครัวเรือนทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น เพื่อให้เกิดการลดการใช้พลังงานในภาคครัวเรือน ควรสรรหาแหล่งพลังงานทดแทนอื่น ๆ อาทิเช่น พลังงานชีวมวล และพลังงานหมุนเวียนในรูปอื่น ๆ ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนใหม่ ๆ ที่มีความเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในภาคครัวเรือน อาทิเช่น เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง เตาแก๊สชีวมวล เตาเผาถ่าน เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยีต่าง ๆ เหล่านี้จะเป็นประโยชน์มากสำหรับการลดการใช้พลังงานในภาคครัวเรือน โดยนำเอาวัสดุเหลือทิ้งที่มีอยู่ในชุมชนมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด [1,2,3]

*Corresponding author: Tel.: 090-0534442. E-mail address : paiyinny@gmail.com

ประเทศไทยพื้นที่ส่วนใหญ่จะทำการเกษตร อาทิเช่น ข้าว ข้าวโพด และไม้ผลต่าง ๆ เป็นต้น ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีการเพาะปลูกเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดน่าน เชียงรายและตาก โดยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในปี 2562 ของภาคเหนือเท่ากับ 3,582,486 ไร่ คิดเป็นผลผลิตเท่ากับ 663 กิโลกรัม/ไร่เก็บเกี่ยว โดยผลผลิตที่ได้จะนำไปผ่านกระบวนการแปรรูปทำอาหารสัตว์ รวมไปถึงส่งออกต่างประเทศ ทั้งนี้ในขั้นตอนการแปรรูป หรือในช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะมีวัสดุเหลือทิ้ง ได้แก่ ต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด ซึ่งไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่เกษตรกรจะปล่อยทิ้งไว้และเผาทิ้ง ในพื้นที่เพาะปลูกจะยังคงเหลือ ต้นและใบ ส่วนในพื้นที่โรงสีที่ทำการแปรรูปเอาเฉพาะเมล็ด จะเหลือเศษวัสดุเหลือทิ้ง ได้แก่ ซังและเปลือกข้าวโพด ซึ่งก่อให้เกิดควันจากการเผาไหม้ทำลายชั้นบรรยากาศของโลก และสุขภาพประชากรในชุมชนที่อาศัยในพื้นที่ใกล้เคียง ดังนั้นหากมีการจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากข้าวโพด ก็จะช่วยลดการเผาไหม้ของเกษตรกร และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การเผา การฝังกลบ หรือการปล่อยทิ้งในพื้นที่ หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตในพื้นที่เพาะปลูกนั้นเป็นการเร่งการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์จากพื้นดินสู่บรรยากาศอย่างรวดเร็ว ผลกระทบจากการจัดการที่ผิดวิธีของเศษวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นจากข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ทั้งหมดในพื้นที่ปลูกที่โล่ง จะก่อให้เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คอร์บอนไดออกไซด์และฝุ่น รวมเท่ากับ 441,745, 17,580, 9,111,966 และ 57,035 ตันต่อปี [2]

ในปี พ.ศ. 2552 ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการกับวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในโครงการการศึกษาการใช้ชีวมวลในภาคเศรษฐกิจต่างๆ และชีวมวลที่ยังไม่ได้ใช้ประโยชน์ (ภาคเหนือ) ซึ่งพบว่าในส่วนของ ต้น/ใบ และ ซังข้าวโพด มีการจัดการที่ยังไม่เป็นประโยชน์และก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมในอัตราส่วนที่สูง โดยประกอบไปด้วย การเผาทิ้งเฉลี่ยสูงถึงร้อยละ 37.98 ของปริมาณวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นทั้งหมด รองลงมาคือการไถกลบร้อยละ 32.98 และการปล่อยทิ้งในพื้นที่ร้อยละ 26 [3] ส่วนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง กิตติกรและคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรซังและเปลือกข้าวโพดผ่านกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปแท่งเชื้อเพลิงพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคืออัตราส่วนผสมซังต่อเปลือกเท่ากับ 20:80 โดยใช้ตัวประสานแป้งมันผสมปูนขาวโดยน้ำหนักวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จะให้ค่าความร้อนแท่งเชื้อเพลิง และความหนาแน่นของเชื้อเพลิง 12.77 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และ 940 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ขณะเดียวกันเมื่อนำมาทดสอบเผาไหม้โดยใช้เตาชีวมวล พบว่าให้ประสิทธิภาพความร้อนเท่ากับร้อยละ 16.31 เมื่อทำการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของระบบพบว่าระบบจะคืนทุนภายใน 3.44 ปีหรือทำผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากซังและเปลือกข้าวโพดจำนวน 206.4 ตัน [4]

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกร ประกอบด้วย ต้นและใบ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูล ปริมาณ และการจัดการวัสดุเหลือทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภาคเหนือของประเทศไทย

วิธีการวิจัย

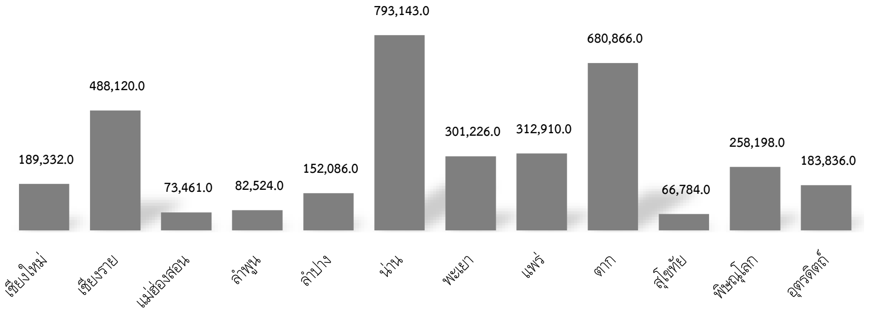
- จัดทำแบบสอบถามสำหรับเก็บข้อมูล
- คัดเลือกเกษตรกรและพื้นที่สำหรับการเก็บข้อมูลโดยเลือกพื้นที่จากปริมาณของพื้นที่ปลูกสูงๆ
- รวบรวมข้อมูลพื้นที่การผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อประเมินศักยภาพพลังงานจากวัสดุหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในภาคเหนือได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมูลปฐมภูมิ โดยที่ข้อมูลจะเก็บรวบรวมจากแหล่งที่มาของเกษตรกร โดยจากการสัมภาษณ์ และประเมิน ข้อมูลส่วนที่ 2 ข้อมูลทติยภูมิ คือข้อมูลจากหน่วยงานหรือองค์กรที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลงานวิจัย วารสาร หรือบทความทางวิชาการต่างๆ กับงานด้านพลังงานทดแทน

- เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม โดยการเก็บข้อมูล 12 จังหวัด ภาคเหนือ ประกอบด้วย เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน ลำพูน ลำปาง พะเยา น่าน แพร่ ตาก พิษณุโลก อุตรดิตถ์ สุโขทัย
- ทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ประกอบด้วย ปริมาณวัสดุชีวมวลที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปลูก วิธีการในการจัดการชีวมวล สัดส่วนของการจัดการชีวมวลในวิธีการต่างๆ สัดส่วนและปริมาณชีวมวลที่มีการจัดการไม่ถูกวิธี และศักยภาพเชิงปริมาณและพลังงานของการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. พื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

การเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 12 จังหวัด ภาคเหนือมีพื้นที่เก็บเกี่ยวรวม 3,582,486 ไร่ โดยพิจารณาเป็นรายจังหวัดจะเห็นได้ว่า จังหวัดน่านเป็นจังหวัดที่มีการเพาะปลูกสูงที่สุดมีปริมาณ 793,143 ไร่ รองลงมาคือจังหวัดตากและจังหวัดตากมีปริมาณ 680,866 ไร่ และ 488,120 ไร่ ตามลำดับจะแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงปริมาณเนื้อที่เก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ 12 จังหวัดภาคเหนือ

2. ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งในพื้นที่ปลูกและการจัดการ

จากการเก็บข้อมูลเกษตรกรจำนวน 1,205 แปลงเพาะปลูก คิดเป็นพื้นที่รวม 13,884.7 ไร่ พบว่าเมื่อเกษตรทำการเก็บเกี่ยวข้าวโพดแล้วจะมีวัสดุชีวมวลที่เป็นต้นและใบเกิดขึ้นในพื้นที่ 729.03 kg/ไร่ หลังจากนั้นเกษตรจะดำเนินการในการจัดการกับวัสดุชีวมวลเหล่านั้นในวิธีการต่างๆ ประกอบด้วย การเผาทิ้งในที่โล่ง ทิ้งในพื้นที่ ไถกลบ การนำไปใช้ผลิตเป็นปุ๋ย การนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิง และการขาย ในสัดส่วนต่างๆ กันดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 6 การจัดการวัสดุเหลือทิ้งของเกษตรกร

วิธีการจัดการวัสดุเหลือทิ้งของเกษตรกร	วัสดุเหลือทิ้งในพื้นที่ปลูก (ต้น ใบ)	
	สัดส่วน (ร้อยละ)	ปริมาณที่เกิด (kg/ไร่)
เผาทิ้งในที่โล่ง	21.8	159.0
ทิ้งในพื้นที่	33.6	244.8
ไถกลบ	24.6	179.1
การนำไปใช้ผลิตเป็นปุ๋ย	19.1	139.5
การนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิง	0.7	5.4
ขาย	0.2	1.3
รวม	100	729.03

3. ศักยภาพพลังงานของวัสดุเหลือทิ้งจากโพดเลี้ยงสัตว์

จากการจัดการกับวัสดุเหลือทิ้งในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกรพบว่า มีวิธีการจัดการที่ผิดวิธีอยู่ 3 วิธีการคือ การเผาทิ้งในที่โล่ง ทิ้งในพื้นที่ ไถกลบ ซึ่งเมื่อพิจารณาทั้ง 3 วิธีการนี้แล้วจะมีวัสดุเหลือทิ้งในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เท่ากับ 582.9 kg/ไร่ คิดเป็นพลังงานรวมเท่ากับ 9,510.56 MJ/ไร่ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 7 แสดงสัดส่วนชีวมวลต่อผลผลิตที่เกิดขึ้นจากการผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

วิธีการจัดการวัสดุเหลือทิ้งของเกษตรกร	ความชื้น* (%)	ความร้อน* (MJ/kg)	ปริมาณการเกิด (kg/ไร่)	ศักยภาพพลังงาน (MJ/ไร่)
เผาทิ้งในที่โล่ง	10.65	16.316	159	2,594.2
ทิ้งในพื้นที่	10.65	16.316	244.8	3,994.16
ไถกลบ	10.65	16.316	179.1	2,922.2

หมายเหตุ *กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553)

เมื่อพิจารณารวมทั้งพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย จะพบว่าปริมาณวัสดุเหลือทิ้งในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ของเกษตรกร โดยพิจารณาเฉพาะที่มีการจัดการที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม ก็พบว่า จากวัสดุเหลือทิ้งในพื้นที่ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สามารถนำมาทำการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ 2,088,231.09 ตัน/ปี คิดเป็นศักยภาพการผลิตพลังงานเท่ากับ 34,071.58 TJ/ปี ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณที่สามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและศักยภาพทางพลังงานจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

วิธีการจัดการวัสดุเหลือทิ้ง	ปริมาณที่สามารถผลิตชีวมวลอัดแท่ง (kg)	ปริมาณที่สามารถผลิตชีวมวลอัดแท่ง (ton)	ศักยภาพพลังงาน (MJ)	ศักยภาพพลังงาน (TJ)
เผาทิ้งในที่โล่ง	569,615,274.00	569,615.27	9,293,842,810.58	9,293.84
ทิ้งไว้ในพื้นที่	876,992,572.80	876,992.57	14,309,010,817.80	14,309.01
ไถกลบ	641,623,242.60	641,623.24	10,468,724,826.26	10,468.72
รวม	2,088,231,089.40	**2,088,231.09**	34,071,578,454.65	**34,071.58**

สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในพื้นที่ปลูกกรณีศึกษาภาคเหนือของประเทศไทยสามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้ ปริมาณวัสดุชีวมวลที่เหลือทิ้งในพื้นที่เพาะปลูกประกอบด้วยต้นและใบที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเท่ากับ 2,088,231.09 ตัน/ปี ต้นและคิดเป็นศักยภาพทางพลังงานอยู่ที่ 34,071.58 เทระจูล ดังนั้นจะเห็นได้ว่าภาคเหนือของประเทศไทยมีศักยภาพที่เหมาะสมในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากพื้นที่ปลูกจากวิธีการจัดการที่ไม่เหมาะสมนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทดแทนพลังงานฟอสซิล ลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาทิ้ง การไถกลบ และการทิ้งไว้ในพื้นที่ และยังสามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานประสานโครงการวิจัยการพัฒนาเศรษฐกิจจากรากฐานความหลากหลายทางชีวภาพ ปีงบประมาณ 2562 (การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์โดยการแปรรูปเป็นพลังงานทดแทน

ขอขอบคุณ เกษตรกรที่ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณ โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2560

ขอขอบคุณ Sustainable Energy Technology Research Laboratory, SRE, MJU (SETR-Lab)

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2558). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 (*AEDP*2015)**.

[2] วีรชัย อาจหาญ, สมรัฐ เกิดสุวรรณ, และวิรัช อยู่ชา. 2554. **โครงการศึกษาแนวทางการบริหารจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงและลดการเกิดหมอกควัน**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[3] ศูนย์วิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2556. **โครงการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีการหมักไร้สภาพอากาศแบบแห้งที่มีการหมุนเวียนน้ำชะ.** สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.

[4] กิตติกร สาสุจิตต์ และและคณะ. 2558. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งซังและเปลือกข้าวโพดด้วยเทคนิคการอัดรีดขึ้นรูปโดยใช้ตัวประสานแป้งมันผสมปูนขาว Study of Process Densification of Corn Cob and Corn Husk Briquettes by Cold Extrusion Technique Using Starch with Lime Mixed as Binder. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ**,18(1).

อัตราส่วนผสมสูงสุดของน้ำมันไพโรไลซิสเพื่อให้ได้มาตรฐานน้ำมันดีเซลของไทย
Maximum Blended Ratio of Pyrolysis Oil for Thai Commercial Diesel Standard

อรปวีณ์ แสงเนตร* และประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ[2]

[1] สาขาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10332

[2] ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10332

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานประกาศกำหนด และเพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นของการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว โดยจากการทดสอบตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) จำนวน 6 รายการทดสอบ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ (ASTM D4052) ความหนืด (ASTM D445) จุดไหลเท (ASTM D97) กำมะถัน (ASTM D5453) จุดวาบไฟ (ASTM D93) และการกลั่น (ASTM D86) พบว่าน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 (1PO) ที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสมากกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร แต่ไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตร ค่าการทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทุกรายการทดสอบ ส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 (2PO) ที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสน้อยกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร พบว่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ 1 รายการทดสอบ คือค่ากำมะถันที่ตรวจได้ร้อยละ 0.018 โดยน้ำหนัก เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่าร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก และจากการศึกษาอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุดในน้ำดีเซล ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน โดยใช้น้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 (1PO) พบว่าน้ำมันไพโรไลซิสสามารถผสมในน้ำมันดีเซได้สูงสุดที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร โดยมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทั้ง 6 รายการทดสอบ ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.84 เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.81-0.87 ค่าความหนืด 3.1 เซนติสโตกส์ เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1.8-4.1 เซนติสโตกส์ ค่าจุดไหลเท 9 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่า 10 องศาเซลเซียส ค่ากำมะถันร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่าร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก ค่าจุดวาบไฟ 52 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 52 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ที่อัตราการระเหยร้อยละ 90 โดยปริมาตร 355 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่า 357 องศาเซลเซียส และเมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลโดยเปรียบเทียบราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลและราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร พบว่าราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสต่ำกว่าราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลเฉลี่ยอยู่ที่ 0.19 บาท/ลิตร ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการผลักดันให้น้ำมันไพโรไลซิสเป็นเชื้อเพลิงจากพลังงานทดแทนในภาคขนส่งต่อไป

คำสำคัญ: น้ำมันไพโรไลซิส คุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง

* Corresponding author: Tel.: 080-0589-678. E-mail address: little.gift00@gmail.com

บทนำ

ประเทศไทยมีการจัดหาน้ำมันดิบเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 1,015 พันบาร์เรลต่อวัน การนำเข้าน้ำมันดิบคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 84 ของการจัดหาทั้งหมด โดยมีปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล 22,664 ล้านลิตรต่อปี ซึ่งมาจากการนำเข้า 828.9 ล้านลิตรต่อปี เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลตลอด 5 ปีที่ผ่านมามีแนวโน้มปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นทุกปี ในปี พ.ศ.2559 การใช้น้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.3 ส่วนการนำเข้าน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าเกือบ 6 เท่าตัว[1] ในสถานการณ์ที่ประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น แต่การจัดหาน้ำมันดิบในประเทศมีปริมาณจำกัด การจัดหาพลังงานรูปแบบใหม่เพื่อให้เพียงพอและเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานจึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งเสริมการใช้ไบโอดีเซลในภาคขนส่ง โดยใช้ไบโอดีเซล (บี100) เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในอัตราร้อยละ 6.6-7 โดยปริมาตร และกระทรวงพลังงานยังได้ดำเนินโครงการศึกษาการเพิ่มอัตราส่วนผสมไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว โดยจากการศึกษาพบว่ารถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่สามารถใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่มีอัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลในอัตราส่วนสูงสุดร้อยละ 20 โดยปริมาตร[2] ตลอดจนได้ระบุให้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่มีอัตราส่วนผสมของไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยปริมาตร (บี10) และอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยปริมาตร (บี20) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้สำหรับรถยนต์ที่ผู้ผลิตให้การรับรอง นอกจากไบโอดีเซลแล้ว กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ยังให้การสนับสนุนการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันฟอสซิลและเตรียมความพร้อมในการจัดหาน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับประเทศไทยอีกด้วย[3] โดยระบุไว้ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 ให้น้ำมันไพโรไลซิสเป็นเชื้อเพลิงจากพลังงานทดแทนในภาคขนส่ง[4]

กระบวนการไพโรไลซิส เป็นกระบวนแตกตัวหรือแตกสลายของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 400-800 องศาเซลเซียส ในสภาวะปราศจากออกซิเจน โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามสถานะ คือ ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง ผลิตภัณฑ์หลักของกระบวนการไพโรไลซิส คือ ผลิตภัณฑ์ของเหลวหรือที่เรียกว่าน้ำมันไพโรไลซิส โดยอัตราส่วนและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดยตรงซึ่งไม่ได้ผ่านกระบวนการกลั่นหรือกระบวนการปรับปรุงคุณภาพมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของวัตถุดิบ ชนิดเตาปฏิกรณ์ และสภาวะที่ใช้ในการไพโรไลซิส เป็นต้น[5]

การผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำดีเซลจึงเป็นวิธีหนึ่งในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสเพื่อให้สามารถใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ โดยการศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลเปรียบเทียบเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์รอบต่ำในประเทศไทย งานวิจัยก่อนหน้าได้มีการศึกษาการไพโรไลซิสพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิเฉลี่ย 600-700 องศาเซลเซียส น้ำมันไพโรไลซิสที่ได้มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.789 ค่าความหนืด 5.92 เซนติสโตกส์ตามเกณฑ์คุณภาพมาตรฐาน ค่าจุดวาบไฟต่ำกว่า 27 องศาเซลเซียสซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์คุณภาพมาตรฐาน วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยปริมาตร โดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials (ASTM) เมื่ออัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นค่าความถ่วงจำเพาะและค่าจุดวาบไฟของน้ำมันผสมลดลงในขณะที่ค่าความหนืดสูงขึ้น คุณสมบัติทั้ง 3 รายการทดสอบของน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลผ่านเกณฑ์คุณภาพมาตรฐานในทุกอัตราส่วน[6] งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลที่เหมาะสม โดยทดสอบคุณสมบัติเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำมันดีเซลหมุนเร็วตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ.2562 เพื่อผลักดันให้น้ำมันไพโรไลซิสเป็นเชื้อเพลิงจากพลังงานทดแทนในภาคขนส่งได้

วิธีการวิจัย

ตัวอย่างน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกจำนวน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 (1PO) ใช้วัตถุดิบเป็นขยะพลาสติกจากหลุมฝังกลบ ซึ่งประกอบไปด้วยพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน แหล่งที่มาจากศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี และน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 (2PO) ใช้วัตถุดิบผสมหลายชนิด ได้แก่ พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน พลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน ยาง และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว แหล่งที่มาจากบริษัท จีอาร์ดี เทค จำกัด และตัวอย่างน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (ADO) จำนวน 1 ตัวอย่าง จากห้องปฏิบัติการทดสอบคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน โดยทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีตามรายการทดสอบที่เกี่ยวข้อง ด้วยเครื่องมือที่รองรับวิธีทดสอบตามมาตรฐานในห้องปฏิบัติการทดสอบคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D4052 โดย Density Meter ยี่ห้อ Anton Parr รุ่น DMA4500M ค่าความหนืด ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D445 โดย Viscosity Meter ยี่ห้อ Cannon รุ่น CAV2100 ค่าจุดไหลเท ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D97 โดย Cloud and Pour point Apparatus ยี่ห้อ Stanhope-Seta รุ่น 93531-7V ค่ากำมะถัน ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D5453 โดย Elemental Analyzer ยี่ห้อ Antek รุ่น MultiTek ค่าจุดวาบไฟ ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D93 โดย Flash Point Analyzer ยี่ห้อ Petrotest รุ่น PM4 และค่าการกลั่น ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D86 โดย Automatic Distillation ยี่ห้อ PAC รุ่น OptiDist โดยนำตัวอย่างน้ำมันไพโรไลซิสทั้ง 2 ตัวอย่างมาเปรียบเทียบค่าการทดสอบและค่าตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลของประกาศกรมธุรกิจพลังงาน[7] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปวิธีทดสอบและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา เทียบตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพของประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

รายการทดสอบ	งานวิจัยใช้ศึกษา		ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน	
	วิธีทดสอบ	เครื่องมือทดสอบ	วิธีทดสอบ	อัตราสูงต่ำ
ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 องศาเซลเซียส	ASTM D4052	Density Meter ยี่ห้อ Anton Parr รุ่น DMA4500M	ASTM D1298	ไม่ต่ำกว่า 0.81 และไม่สูงกว่า 0.87
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (เซนติสโตกส์)	ASTM D445	Viscosity Meter ยี่ห้อ Cannon รุ่น CAV2100	ASTM D445	ไม่ต่ำกว่า 1.8 และไม่สูงกว่า 4.1
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	ASTM D97	Cloud and Pour point Apparatus ยี่ห้อ Stanhope-Seta รุ่น 93531-7V	ASTM D97	ไม่สูงกว่า 10
กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ASTM D5453	Elemental Analyzer ยี่ห้อ Antek รุ่น MultiTek	ASTM D2622	ไม่สูงกว่า 0.005
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ASTM D93	Flash Point Analyzer ยี่ห้อ Petrotest รุ่น PM4	ASTM D93	ไม่ต่ำกว่า 52
การกลั่น อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ (องศาเซลเซียส)	ASTM D86	Automatic Distillation ยี่ห้อ PAC รุ่น OptiDist	ASTM D86	ไม่สูงกว่า 357

การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซลดำเนินการทดสอบจำนวน 4 รายการ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด กำมะถัน และจุดวาบไฟ สำหรับการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมันไพโรไลซิสทั้ง 2 ตัวอย่างในน้ำมันดีเซล ดำเนินการทดสอบในช่วงอัตราส่วนร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยปริมาตร จากนั้นเลือกอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสข้างต้นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทุกรายการทดสอบ เพื่อศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสผสมสูงสุด

ในน้ำมันดีเซล โดยเพิ่มอัตราส่วนร้อยละ 1 โดยปริมาตร และดำเนินการทดสอบจำนวน 6 รายการ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท กำมะถัน จุดวาบไฟ และการกลั่น

สำหรับการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ด้วยการเปรียบเทียบราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลและราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิส โดยใช้ข้อมูลราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลและราคาอ้างอิงไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน ประจำเดือนมกราคม พ.ศ.2562 ที่สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานแผยแพร่[8] ทั้งนี้กำหนดให้ราคาอ้างอิงน้ำมันเตาชนิดที่ 1 แทนราคาน้ำมันไพโรไลซิส สำหรับการคำนวณราคาอ้างอิงหน้าโรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิส ตามสมการที่ 1 ดังนี้

$$\text{ราคา ณ โรงกลั่น} = [(1-x-y)(MOPS + \text{พรีเมียม})] + [x(B100)] + [y(PO)] \qquad (1)$$

กำหนดให้	x	คือ	ร้อยละ 6.8 โดยปริมาตรไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ในน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว
	y	คือ	ร้อยละโดยปริมาตรน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว
	MOPS + พรีเมียม	คือ	ราคาน้ำมันดีเซลหมุนเร็วอ้างอิงราคากลางของตลาดภูมิภาคเอเชียรวมค่าขนส่ง
	B100	คือ	ราคาอ้างอิงไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน
	PO	คือ	ราคาไพโรไลซิสโดยใช้ราคาอ้างอิงน้ำมันเตาชนิดที่ 1

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นจำนวน 4 รายการทดสอบ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด กำมะถัน และจุดวาบไฟของน้ำมันไพโรไลซิสจำนวน 2 ตัวอย่าง เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืด และค่าจุดวาบไฟของน้ำมันไพโรไลซิสทั้งสองตัวอย่างมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล โดยที่ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่า 0.80 และ 0.82 ตามลำดับ ต่ำกว่าค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดีเซล 0.85 ค่าความหนืดของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่า 2.9 และ 2.6 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ ต่ำกว่าค่าความหนืดของน้ำมันดีเซล 3.2 เซนติสโตกส์ ค่าจุดวาบไฟของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่า 31 และต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ต่ำกว่าค่าจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซล 63 องศาเซลเซียส ในขณะที่ค่ากำมะถันของน้ำมันไพโรไลซิสทั้งสองตัวอย่างสูงกว่าน้ำมันดีเซล โดยที่ค่ากำมะถันของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละ 0.012 และ 0.114 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ สูงกว่าค่ากำมะถันของน้ำมันดีเซลร้อยละ 0.004 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบว่าค่าจุดไหลเทของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 มีค่า 24 องศาเซลเซียส สูงกว่าจุดไหลเทของน้ำมันดีเซล 0 องศาเซลเซียส แต่ค่าจุดไหลเทของน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 มีค่า -27 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าจุดไหลเทของน้ำมันดีเซล

การทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยปริมาตร จำนวน 6 รายการทดสอบ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด จุดไหลเท กำมะถัน จุดวาบไฟ และการกลั่น ผลการทดสอบสำหรับน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 (1PO) พบว่าเมื่ออัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้น ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืด และค่าจุดวาบไฟของน้ำมันผสมลดลง ในขณะที่ค่าจุดไหลเท ค่ากำมะถันและค่าอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ที่อัตราการระเหยร้อยละ 90 โดยปริมาตรของน้ำมันผสมสูงขึ้น ทั้งนี้น้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 20 โดยปริมาตร มีค่าจุดไหลเทและค่ากำมะถันสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ อย่างไรก็ตามน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพทั้ง 6 รายการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 และน้ำมันดีเซล

รายการทดสอบ	อัตราสูงต่ำ	1PO10	1PO20	1PO30	1PO40	1PO50
ความถ่วงจำเพาะ	ไม่ต่ำกว่า 0.81 และไม่สูงกว่า 0.87	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83
ความหนืด (เซนติสโตกส์)	ไม่ต่ำกว่า 1.8 และไม่สูงกว่า 4.1	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า 10	6	12	15	15	18
กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.005	0.005	0.006	0.007	0.008	0.008
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ไม่ต่ำกว่า 52	56	52	47	43	41
อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า 357	354.1	356.6	359.4	361.9	365.5

สำหรับน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 (2PO) ผลการทดสอบพบว่าเมื่ออัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืด ค่าจุดวาบไฟ และค่าจุดไหลเทของน้ำมันผสมลดลง ในขณะที่ค่ากำมะถันและค่าอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ที่อัตราการระเหยร้อยละ 90 โดยปริมาตรของน้ำมันผสมสูงขึ้น ทั้งนี้น้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน 1 รายการทดสอบ โดยที่มีค่ากำมะถันร้อยละ 0.018 โดยน้ำหนัก เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่าร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก และผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ 5 รายการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 และน้ำมันดีเซล

รายการทดสอบ	อัตราสูงต่ำ	2PO10	2PO20	2PO30	2PO40	2PO50
ความถ่วงจำเพาะ	ไม่ต่ำกว่า 0.81 และไม่สูงกว่า 0.87	0.84	0.84	0.84	0.83	0.83
ความหนืด (เซนติสโตกส์)	ไม่ต่ำกว่า 1.8 และไม่สูงกว่า 4.1	3.2	3.1	3.0	3.0	3.0
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า 10	-3	-3	-6	-6	-12
กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า 0.005	0.018	0.032	0.037	0.065	0.079
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ไม่ต่ำกว่า 52	53	44	38	32	28
อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า 357	352.9	354.0	356.4	356.8	357.9

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลข้างต้น แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 ที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ คืออัตราส่วนมากกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตรแต่ไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตร ส่วนอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ คืออัตราส่วนน้อยกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร ผู้วิจัยเลือกน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 ผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 โดยปริมาตรแต่ไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตร เพื่อศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุดที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลและผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ โดยทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร ที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิส

ร้อยละ 11 12 13 14 15 16 17 18 และ 19 โดยปริมาตร จากการทดสอบพบว่าน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานทั้ง 6 รายการ โดยที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.84 เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.81-0.87 ค่าความหนืด 3.1 เซนติสโตกส์ เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ค่าความหนืดอยู่ในช่วง 1.8-4.1 เซนติสโตกส์ ค่าจุดไหลเท 9 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่า 10 องศาเซลเซียส ค่ากำมะถันร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่าร้อยละ 0.005 โดยน้ำหนัก ค่าจุดวาบไฟ 52 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 52 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ที่อัตราการระเหยร้อยละ 90 โดยปริมาตร 355 องศาเซลเซียส เกณฑ์มาตรฐานกำหนดให้ไม่สูงกว่า 357 องศาเซลเซียส นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความร้อนของน้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่ามีปริมาณความร้อนใกล้เคียงกันอยู่ที่ 10,691 แคลอรี่ต่อกรัม และ 10,701 แคลอรี่ต่อกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุดที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซล

รายการทดสอบ	1PO11	1PO12	1PO13	1PO14	1PO15	1PO16	1PO17	1PO18	1PO19
ความถ่วงจำเพาะ	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
ความหนืด (เซนติสโตกส์)	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	6	6	6	6	9	9	9	9	12
กำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	56	56	55	55	54	54	54	52	52
อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละเก้าสิบ (องศาเซลเซียส)	354.0	354.8	355.0	354.8	355.3	356.0	355.7	355.4	356.2

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณสมบัติของอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ.2562 พบว่าอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 (1PO) ที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ คืออัตราส่วนมากกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร แต่ไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตร ส่วนอัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 (2PO) ที่สามารถผสมในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วและผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพ คืออัตราส่วนน้อยกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตร อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสที่ผสมใน 2 ตัวอย่างแตกต่างกันตามวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส โดยน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 ใช้วัตถุดิบเป็นขยะพลาสติกจากหลุมฝังกลบ ซึ่งประกอบไปด้วยพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน ส่วนน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ใช้วัตถุดิบผสมหลายชนิด ได้แก่ พลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน พลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน ยาง และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว วัตถุดิบที่แตกต่างกันดังกล่าวส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำมันผสม ทำให้น้ำมันดีเซลผสมน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 มีค่ากำมะถันสูง เมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 2 ที่ผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 10 โดยปริมาตร (2PO10) ด้วยถ่านกัมมันต์ในอัตราส่วนถ่านต่อน้ำมัน 2 ต่อ 5 เป็นเวลา 36 ชั่วโมง พบว่าค่ากำมะถันไม่เปลี่ยนแปลง และการศึกษาอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสปริมาณมากที่สุดในน้ำดีเซลที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน โดยใช้น้ำมันไพโรไลซิสตัวอย่างที่ 1 (1PO) โดยทำการศึกษา

อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร ที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 11 12 13 14 15 16 17 18 และ 19 โดยปริมาตร พบว่าน้ำมันไพโรไลซิสผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนเร็วตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานทั้ง 6 รายการทดสอบ เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นในการผสมน้ำมันไพโรไลซิสในน้ำมันดีเซล โดยเปรียบเทียบราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลและราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสร้อยละ 18 โดยปริมาตร พบว่าราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซลที่มีอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสต่ำกว่าราคา ณ โรงกลั่นของน้ำมันดีเซล เฉลี่ยอยู่ที่ 0.19 บาท/ลิตร ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการผลักดันให้น้ำมันไพโรไลซิสเป็นเชื้อเพลิงจากพลังงานทดแทน ในภาคขนส่งต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันไพโรไลซิสจากศูนย์เชื้อเพลิงและพลังงานชีวมวล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี และบริษัท จีอาร์ดี เทค จำกัด และได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว เครื่องมือทดสอบคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงจากห้องปฏิบัติการทดสอบคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). **รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2560.** นครปฐม : บริษัท ซัน แพคเกจจิ้ง (2014) จำกัด

[2] บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). (2557) **โครงการศึกษาการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 20 ในรถบรรทุกขนาดใหญ่โดยวิธีการทดสอบภาคสนาม.**

[3] มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. (2560). **โครงการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Biomass to Liquid: BTL) จากชีวมวลด้วยวิธี Fast Pyrolysis.** กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ปี พ.ศ.2558-2579.**

[5] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. เทคโนโลยีการผลิตพลังงาน/เชื้อเพลิงจากขยะพลาสติก. **โครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีการนำวัสดุหลือใช้และกากของเสียมาใช้ประโยชน์.** 1-11.

[6] วราคม วงศ์ชัย. (2557). ผลกระทบของอัตราส่วนผสมน้ำมันไพโรไลซิสและน้ำมันดีเซลต่อสมรรถนะและก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม.** 10 (2), 72-84.

[7] กรมธุรกิจพลังงาน. (2562). **ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล ปี พ.ศ. 2562.**

[8] สำนักนโนบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. **โครงสร้างราคาน้ำมัน** สืบค้นเมื่อ 1 มกราคม-4 กุมภาพันธ์ 2562, จาก http://www.eppo.go.th/index.php/th/petroleum/price/structure-oil-price.

เครื่องลดขนาดถ่านชาร์ที่ได้จากกระบวนการคาร์บอไนซ์เซชั่นชีวมวล
Charcoal Pulveriser from Biomass Carbonization

ศิวดล ทิพย์ขัน นงนุช ศรีเล็ก* อัญชณา อุประกูล ชัชชัย วรพัฒน์
กรวิชญ์ หินพิมาย ธนา วิชารัตน์ และ โกวิทย์ สุวรรณเขต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน โปรแกรมวิชาวิศวกรรมพลังงานและเทคโนโลยีไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 57100

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องลดขนาดถ่านชาร์ ที่สามารถใช้ได้กับชีวมวลหลากหลายประเภท และมีกำลังผลิตสูง ออกแบบง่ายและไม่ซับซ้อน มีความแข็งแรงสามารถใช้ลดขนาดชีวมวลที่มีเนื้อแข็งได้ดี เช่น กิ่งมะม่วง กิ่งลำไย เป็นต้น ถ่านชาร์ที่ได้จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตถ่านชาร์อัดแท่งต่อไป เครื่องลดขนาดถ่านชาร์สร้างขึ้นโดยใช้มอเตอร์ 3 แรงม้า มีอัตราการทดรอบ 2 : 1 จำนวนรอบ 2,900 รอบ/นาที เป็นตัวขับเคลื่อน โดยแบ่งส่วนประกอบทั้งหมดเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนบนสำหรับใส่ชีวมวล ส่วนกลางเป็นห้องบด โดยมีใบมีด จำนวน 4 ชุด ชุดละ 10 ใบ ตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร และส่วนล่างเป็นปล่องทางออกของผงถ่านชาร์ที่ผ่านกระบวนการบด จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ถ่านชาร์กิ่งลำไยที่ผ่านกระบวนการคาร์บอไนเซชันแล้ว จำนวน 5 กิโลกรัม/ครั้ง ได้กำลังการผลิต 2.78 กิโลกรัม/นาที มีปริมาณผลได้เฉลี่ยร้อยละ 94.6 อัตราการสูญเสียของผงถ่านเฉลี่ยร้อยละ 5.4 มีประสิทธิภาพเป็น 0.22 กิโลวัตต์/กิโลกรัมถ่านชาร์ โดยถ่านชาร์ที่ได้จากการบดมีขนาดไม่เกิน 2 มิลลิเมตร.

คำสำคัญ: ถ่านชาร์ เครื่องลดขนาด ชีวมวล คาร์บอไนซ์เซชั่น

* Corresponding author: Tel.: 086-3383098. E-mail address: k_nongnoot@hotmail.com

บทนำ

เชื้อเพลิงประเภทถ่านยังคงเป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญรูปแบบหนึ่งที่ใช้ในชุมชน ครัวเรือนใช้ในการประกอบอาหาร โดยทั่วไปคนเราจะคุ้นเคยกับถ่านไม้ ซึ่งได้จากการนำแท่งฟืน ไม้ มาเผา ซึ่งถ่านที่ได้สามารถนำมาให้ความร้อนได้โดยตรง ทำให้มีการใช้ในปริมาณมากและใช้พื้นที่ในการเก็บมากเช่นกัน การนำถ่านนั้นมาอัดในรูปแบบแท่งเป็นการแปลงสภาพชีวมวลด้านกายภาพ เป็นการเพิ่มความหนาแน่นทางพลังงานต่อหน่วย และลดพื้นที่จัดเก็บ [1] เป็นแนวทางหนึ่งที่ชุมชนสามารถดำเนินการได้ ประกอบกับในชุมชนของเกษตรกรก็ยังคงมีชีวมวลเหลือทิ้งอยู่หลากหลายประเภท เช่น ซังข้าวโพด กิ่งมะม่วง กิ่งและแขนงลำไย เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กิ่งและแขนงลำไย ที่ได้จากการตัดแต่งกิ่งเมื่อสิ้นสุดการเก็บเกี่ยวผลผลิตทุกๆ ปี ซึ่งในชุมชนจังหวัดเชียงรายมีการปลูกลำไยเป็นพืชเศรษฐกิจ ทำให้มีชีวมวลกิ่งและแขนงลำไยจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตามการผลิตเชื้อเพลิงแข็ง หรือ ถ่านอัดแท่งนั้นจำเป็นต้องมีผงถ่านที่ลดขนาดให้เหมาะสมเพื่อเข้าสู่กระบวนการอัดได้ สมศักดิ์ คำมา [2] ได้ออกแบบและศึกษาการสร้างเครื่องสับย่อยเศษพืชผักในครัวเรือน โดยมีความสามารถในการตัดวัสดุได้ 46.2-100 กิโลกรัม/ชั่วโมง และใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตัด 0.001-0.113 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม สมปอง วิประทุม และ วีระ โง่นแก้ว [3] ได้ออกแบบและสร้างเครื่องย่อยกิ่งใบไม้ ด้วยมีด และขนาดมอเตอร์ 2 แรงม้า ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,900 รอบต่อนาที สามารถย่อยกิ่งไม้ได้น้อยกว่า 5 มิลลิเมตร โดยมีกำลังการผลิต 30 กิโลกรัม/ชั่วโมง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดในการออกแบบเครื่องลดขนาดถ่านชาร์จากชีวมวล ที่ออกแบบได้ง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถใช้ได้กับชีวมวลหลายประเภท มีกำลังผลิตสูง สามารถใช้กับชีวมวลที่มีเนื้อแข็งได้ โดยใช้ถ่านชาร์จากกระบวนการคาร์บอไนซ์เซชั่นเป็นวัตถุดิบในการบด และเมื่อผ่านการลดขนาดเป็นผงถ่านชาร์แล้วก็จะเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตถ่านอัดแท่ง โดยมีขนาดของผงถ่านชาร์ควรมีขนาดน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร [4]

วิธีการวิจัย

วัตถุดิบ

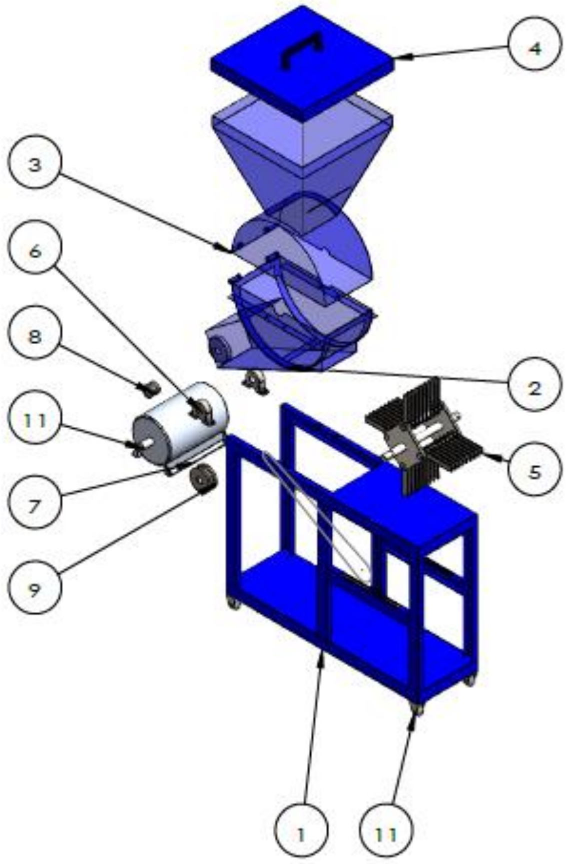
วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ถ่านชาร์ลำไย ซึ่งมีขนาดไม่เกิน 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 1 เป็นถ่านชาร์ผลิตจากเตาคาร์บอไนซ์ [5]

ภาพที่ 1 ถ่านชาร์ลำไยจากกระบวนการคาร์บอไนเซชั่น

การสร้างเครื่องลดขนาดถ่านชาร์

เครื่องลดขนาดถ่านชาร์ ประกอบด้วย มอเตอร์ 3 แรงม้า [6] มีอัตราการทดรอบ 2 : 1 จำนวนรอบ 2,900 รอบ/นาที เป็นตัวขับเคลื่อน โดยมีส่วนประกอบทั้งหมด 3 ส่วน คือ ส่วนบนสำหรับใส่ชีวมวล ส่วนกลางเป็นห้องบด โดยมีใบมีดจำนวน 4 ชุด ชุดละ 10 ใบ และตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ส่วนล่างเป็นปล่องทางออกของผงถ่านชาร์ที่ผ่านกระบวนการ

บด โดยมีการออกแบบส่วนต่างๆ ของเครื่องลดขนาด ดังภาพที่ 2 โดยมีรายละเอียด คือ (1) ฐาน (2) ห้องบดส่วนล่าง (3) ห้องบดส่วนบน (4) ฝาปิด (5) ชุดใบมีด (6) ตลับลูกปืน (7) มอเตอร์ (8) พูเล่ย์ 1 (9) พูเล่ย์ 2 (10) วัสดุถ่วงน้ำหนัก (11) ล้อ



ภาพที่ 2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องลดขนาดถ่านชาร์

วิธีการทดลอง

นำถ่านชาร์ลำไยซึ่งมีขนาดไม่เกิน 10 เซนติเมตร จำนวน 5 กิโลกรัม เทลงไปในห้องบดและปิดฝา จากนั้นเปิดให้ถ่านชาร์ไหลลงสู่ห้องบด ตีถ่าน ถ่านชาร์ที่ถูกบดและตีจะไหลผ่านตะแกรงไปยังอุปกรณ์รองรับ และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 แสดงการทดลองการใช้เครื่องลดขนาดถ่านชาร์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ลักษณะของเครื่องลดขนาดถ่านชาร์ที่ได้สร้างขึ้น แสดงดังภาพที่ 3 โดยจะศึกษาขนาดของผงถ่านชาร์ ปริมาณผลได้ การสูญเสียระหว่างการบด ความสามารถในการผลิตผงถ่านชาร์ ประสิทธิภาพของการบด ดังนี้

3.1 ด้านหน้า

3.2 ด้านหลัง

3.3 ด้านซ้าย

3.4 ด้านขวา

3.5 ใบมีดในห้องตีถ่าน

3.6 ด้านบน

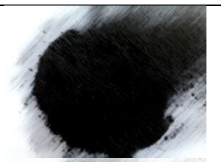
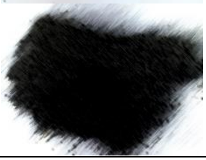
ภาพที่ 3 แสดงลักษณะของเครื่องลดขนาดถ่านชาร์

ตารางที่ 1 ผลการบดถ่านชาร์จากชีวมวลกิ่งลำไย โดยเครื่องลดขนาดถ่านชาร์

ลำดับที่	ลักษณะถ่านชาร์ก่อนลดขนาด	ปริมาณถ่านชาร์ (กิโลกรัม)	เวลาที่ใช้ในการบด (นาที)	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์)	น้ำหนักถ่านชาร์หลังการทดลอง (กิโลกรัม)	ขนาด (มิลลิเมตร)
1		5	1.44	1.05	4.75	<2
2		5	1.52	1.19	4.70	<2
3		5	1.48	1.08	4.75	<2
เฉลี่ย			1.48	1.11	4.73	

เมื่อใส่ถ่านชาร์ 5 กิโลกรัม/ครั้ง ใช้เวลาในการบดเฉลี่ย 1.48 นาที หรือ เวลาในการบดเฉลี่ย 0.29 นาที/กิโลกรัม และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 1.11 กิโลวัตต์/ครั้ง ซึ่งไม่มีถ่านตกค้างในห้องบด ดังตารางที่ 1 โดยมีปริมาณผลได้เฉลี่ยร้อยละ 94.6 และ ลักษณะของผงถ่านที่ผ่านการบดที่ผ่านตะแกรงจะมีขนาดน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณผลได้ของถ่านชาร์ และลักษณะของถ่านชาร์ ก่อนและหลังการทดสอบ

ลำดับที่	ปริมาณถ่านชาร์ (กิโลกรัม)		ปริมาณผลได้ (%)	ลักษณะถ่านชาร์	
	ก่อน	หลัง		ก่อน	หลัง
1	5	4.75	95		
2	5	4.70	94		
3	5	4.75	95		
เฉลี่ย	5	4.73	94.6		

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณผลได้และประสิทธิภาพลดขนาดถ่านชาร์

ประเภทถ่าน	ขนาด (มิลลิเมตร)	ปริมาณผลได้ (%)	ลักษณะถ่านชาร์		กำลังการผลิต (กิโลกรัม/นาที)	ประสิทธิภาพ (กิโลวัตต์/กิโลกรัม)
			ก่อน	หลัง		
ถ่านชาร์	<2	94.6			2.78	0.22

ความสามารถในการผลิตหรือการลดขนาด สูงถึง 2.78 กิโลกรัม/นาที และประสิทธิภาพ เป็น 0.22 กิโลวัตต์/กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 3 ขนาดของผงถ่านที่ได้มีขนาดน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมต่อการนำไปอัดแท่ง โดยปริมาณผลได้ในการลดขนาดถ่านชาร์เฉลี่ยร้อยละ 94.6 ซึ่งมีอัตราการสูญเสียเฉลี่ยร้อยละ 5.4 ซึ่งอยู่ในระดับที่น้อย อย่างไรก็ตามถ่านชาร์ลำไย สามารถบดได้ทั้งหมดโดยไม่ตกค้างบนตะแกรง การสูญเสียที่เกิดขึ้นเกิดจากการฟุ้งกระจายของอนุภาคจากเครื่องบดถ่านชาร์

ข้อเสนอแนะ

ควรนำไปทดสอบกับถ่านชาร์จากชีวมวลชนิดอื่น เช่น ต้นไผ่ เศษไม้ กะลาปาล์ม ซังข้าวโพด เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดขนาด และควรมีการเพิ่มอุปกรณ์ลดฝุ่นจากการตีลดขนาด รวมทั้งทดสอบการกระจายของขนาดถ่านชาร์ที่บดได้

สรุปผลการวิจัย

เครื่องลดขนาดถ่านชาร์ที่สร้างขึ้น ใช้เหล็กเป็นวัสดุหลักโดยใช้มอเตอร์ 3 แรงม้า มีอัตราการทดรอบ 2 : 1 จำนวนรอบ 2,900 รอบ/นาที เป็นตัวขับเคลื่อน และมีส่วนประกอบของเครื่องลดขนาดถ่านชาร์ทั้งหมด 3 ส่วน คือ ส่วนบนเป็นช่องใส่ชีวมวล ส่วนกลางเป็นห้องบด โดยมีใบมีด จำนวน 4 ชุด ชุดละ 10 ใบ และตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ส่วนล่างเป็นปล่องทางออกของผงถ่านที่ผ่านกระบวนการบด จากการทดลองพบว่า เมื่อสิ้นสุดกระบวนการลดขนาดถ่านชาร์ ถ่านชาร์ที่ได้มีขนาดไม่เกิน 2 มิลลิเมตร ซึ่งลอดผ่านตะแกรงได้ ขนาดดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยมีปริมาณผลที่ได้หลังจากทำการทดลองคิดเป็นร้อยละ 94.6 มีกำลังการผลิตหรือความสามารถในการผลิตเป็น 2.78 กิโลกรัม/นาที และมีประสิทธิภาพการทำงานเป็น 0.22 กิโลวัตต์/กิโลกรัม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณชุมชนหมู่บ้านวังศิลา ต.สันมะค่า อ.ป่าแดด จ.เชียงราย ที่สนับสนุนชีวมวลกิ่งและแขนงลำไยที่ใช้ในการวิจัย คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่สนับสนุนการดำเนินการวิจัย และสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] นคร ทิพยวงศ์. (2553). **เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล.** กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[2] สมศักดิ์ คำมา. (2561). **การออกแบบและสร้างเครื่องสับย่อยเศษพืชผักในครัวเรือน.** วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 11 (1), 82-95.

[3] สมปอง วิประทุม และ วีระ โง่นแก้ว. (2552). **เครื่องย่อยกิ่งไม้** สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2562, จาก http://www.komchadluek.net/detail/20090310/4618.

[4] Auprakul, U, Promwungkwa, A, Tippayawong, N and Chaiklangmuang, S. (2014). **Densified Fuels from Mixed Plastic Wastes and Corn Stover**. 5th KKU International Engineering Conference, Khon Kaen, 27-29 March 2014.

[5] นงนุช ศรีเล็ก, อัญชณา อุประกูล, นเรศ ใหญ่วงศ์, ชัชชัย วรพัฒน์ และ ธีรวัฒน์ ใหม่เต็ม. (2561). “**การเปรียบเทียบระยะเวลา ค่าความร้อน และความหนาแน่นพลังงานระหว่างถ่านชาร์กะลามะพร้าวจากเตาคาร์บอไนซ์ชนิดใหม่และเตาคาร์บอไนซ์ของเกษตรกร**” , ใน การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตมหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 18 และ ลำปางวิจัย ครั้งที่ 4 บูรณาการงานวิจัยสู่การพัฒนาท้องถิ่นที่ยั่งยืน. วันที่ 20 กรกฎาคม 2561 ณ อาคารโอฬาร โรจน์หิรัญ จังหวัดลำปาง. ลำปาง: มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง.

[6] จักรวาล ลพบุรี. (2553). **เครื่องย่อยกิ่งไม้และย่อยไม้** สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2562.

ตู้อบแห้งลมร้อนอบกล้วยฉาบ : กรณีศึกษาชุมชนบัวสลี จังหวัดเชียงราย
Hot Air Dryer Oven for Banana Crisps
: In Case Study of Buaslii Community Chiangrai Province

พิคเณศ วิเชียรกันทา[1] นงนุช ศรีเล็ก[1*] อัญชณา อุประกูล[1]นเรศ ใหญ่วงศ์[1] สิทธิกฤต เหล็กพูล[1] กฤตนัย ทวีชัย[1]
ศิวดล ทิพย์ขัน[1] และศุภรักษ์ สารเงิน[1]
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 57100

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและสร้างตู้อบแห้งลมร้อนอบกล้วยฉาบ กรณีศึกษาชุมชนบัวสลี จังหวัดเชียงราย โดยใช้ฮีตเตอร์ขนาด 1000 วัตต์ เป็นแหล่งให้ความร้อน สำหรับการอบแห้งกล้วยฉาบ ตู้อบแห้งลมร้อนมีขนาด 60 x 138 x 84 cm ด้านในมีชั้นตะแกรงจำนวน 3 ถาด โดยสามารถจุวัตถุดิบได้สูงสุด 4 กิโลกรัม ในการทดสอบตู้อบแห้งลมร้อนจะทำการทดสอบอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง โดยอุณหภูมิที่ทดสอบอยู่ที่ 70 °C และ 80 °C และเวลาที่ใช้ในการทดสอบอยู่ที่ 50 และ 70 นาที ผลการทดสอบสภาวะในการอบแห้งของตู้อบแห้งลมร้อนนี้พบว่า ที่อุณหภูมิสูงขึ้นและเวลาที่ใช้ในการอบเพิ่มขึ้นจะทำให้ความชื้นและน้ำมันของกล้วยฉาบลดลงได้มาก และเมื่อทำการพิจารณาลักษณะรสชาติของกล้วยฉาบร่วม พบว่าที่สภาวะในการอบที่อุณหภูมิ 80 °C เวลาในการอบที่ 50 นาที จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบและรสชาติตรงคุณสมบัติตามความต้องการของชุมชนที่จะนำไปจำหน่าย

คำสำคัญ: เทคโนโลยีการอบแห้ง, ตู้อบแห้งลมร้อน

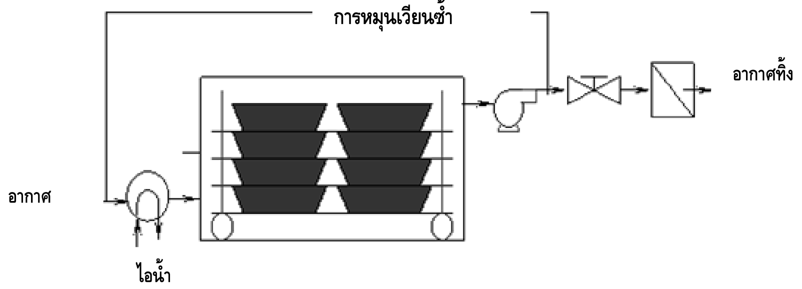
บทนำ

การอบแห้งเป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตให้ยาวนานขึ้นซึ่งจะช่วยรองรับปัญหาผลผลิตทางการเกษตรล้นตลาด และเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์โดยใช้ กระบวนการให้ความร้อนเพื่อลดปริมาณน้ำหรือความชื้นให้ระเหยออกไป จากการศึกษาการวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงและการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอบแห้งจึงเป็นกุญแจสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ยังคงกลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการไว้ให้ใกล้เคียงกับผลผลิตสดให้มากที่สุด อย่างไรก็ตามการออกแบบระบบการอบแห้งให้เหมาะสมกับความต้องการ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งในด้านวิธีการอบแห้งแหล่งพลังงานที่ใช้และผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยตู้อบแห้งลมร้อนสามารถทำหน้าที่อบแห้งไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ เช่น การใช้ในการอบแห้งแทนการตากแดด หรือการไล่น้ำมัน ทำให้สามารถเก็บวัตถุดิบได้นาน ซึ่งเหมาะกับการแปรรูปผลผลิตต่างๆ การอบแห้งวัตถุดิบสามารถทำได้หลากหลาย ที่นิยมก็คือ การอบแห้งเพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ เช่น กล้วย ลำไย พริก ผลไม้ต่างๆ ในการอบแห้งจึงนิยมทำกันโดยทั่วไปทั้งในระดับชุมชนและระดับอุตสาหกรรม เพราะง่ายและมีค่าใช้จ่ายน้อย แต่ปัญหาที่พบส่วนใหญ่คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ถูกสุขลักษณะมีการปนเปื้อนจากฝุ่นละออง มีแมลงวันตอม และเกิดเชื้อรา เป็นต้น สำหรับวิธีการอบแห้งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีหลัก และสามารถจำแนกได้ดังนี้

[*]Corresponding author: Tel.: 0863383098. E-mail address: k_nongnoot@hotmail.com

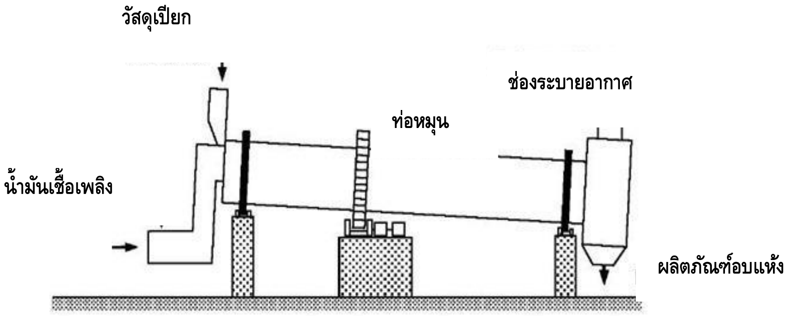
(1) วิธีทางกล (Mechanical Methods) เป็นการอบแห้งโดยใช้หลักคุณสมบัติทางกล โดยตัวอย่างการอบแห้งโดยวิธีทางกล ได้แก่

1) เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer) เป็นการอบแห้งวัสดุที่มีลักษณะเป็นชิ้น เป็นก้อน หรือเป็นแท่ง จะนิยมใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดมากที่สุด เครื่องอบแห้งจะมีลักษณะเป็นตู้ซึ่งภายในจัดเรียงชั้นสำหรับใส่ถาดบรรจุวัสดุที่ต้องการ ภายในห้องจะติดตั้งพัดลมเพื่อหมุนเวียนอากาศร้อน เพื่อให้วัสดุได้รับพลังงานความร้อนอย่างทั่วถึง [1] รูปแบบของเครื่องอบแห้งแบบถาด แสดงดังภาพที่ 1



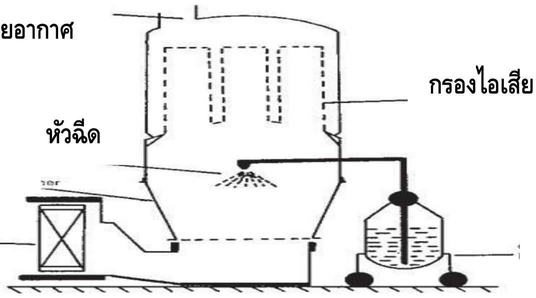
ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray Dryer) [2]

2) เครื่องอบแห้งแบบท่อหมุน (Rotary Dryer) เครื่องอบแห้งแบบท่อหมุนชนิดที่นิยมใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมจะประกอบด้วยท่อกระบอกซึ่งวางมุมเอียงเล็กน้อยเทียบกับแนวระดับและหมุนรอบตัวเองอย่างต่อเนื่อง ในระหว่างการอบแห้งวัสดุจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งผ่านท่อหมุนที่ยกสูงจากนั้นวัสดุจะเคลื่อนที่ผ่านเครื่องอบแห้งตามจังหวะการหมุนของท่อโดยมีใบตักคอยช่วยในการกวาดลำเลียงวัสดุให้เคลื่อนที่ไปตามแนวความแนวของท่อ [1] โดยเครื่องอบแห้งแบบท่อหมุนแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งแบบท่อหมุน (Rotary Dryer) [2]

3) เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized Bed Dryer) นิยมใช้กันมากที่สุดอีกประเภทหนึ่งสำหรับการอบแห้งวัสดุที่เป็นอนุภาคหรือเม็ดของแข็งเครื่องอบแห้งชนิดนี้มีหลักการพื้นฐานในการทำให้วัสดุลอยตัวอยู่ในห้องอบแห้ง โดยอาศัยการเป่าความร้อนในการอบแห้งผ่านเข้าไปทางด้านล่างของห้องอบแห้ง และไหลผ่านวัสดุจนกระทั่งวัสดุลอยตัวและมีพฤติกรรมคล้ายของไหล [1] ลักษณะเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized Bed Dryer) [2]

(2) วิธีทางไฟฟ้า (Electrical methods) เป็นการอบแห้งโดยใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน โดยการอบแห้งโดยใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่จะใช้เตาอบไฟฟ้า ซึ่งเตาอบไฟฟ้า (Oven Dryer) เป็นเตาที่ออกแบบและผลิตขึ้นใช้แทนเตาอบแบบ ดั้งเดิม คือเตาอบที่ใช้ถ่านฟืนหรือแก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานทำให้ใช้งานได้ง่าย และสะดวกเนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในเตาอบ หลักการทำงานของเตาอบไฟฟ้า คือการทำให้วัสดุสุกโดยแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนและใช้วิธีการแผ่รังสีความร้อนที่เกิดจากขดลวดความร้อน [1] ลักษณะเตาอบไฟฟ้าดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 เตาอบไฟฟ้า (Oven Dryer) [2]

(3) วิธีทางธรรมชาติ (Natural Convection Methods) เป็นการอบแห้งโดยใช้ธรรมชาติเป็นแหล่งพลังงาน โดยตัวอย่างการอบแห้งโดยวิธีทางธรรมชาติ ได้แก่

1) โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Tunnel Dryer) เป็นวิธีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกโดย หลังคาทำจากวัสดุใสโดยส่วนใหญ่เป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนต ปิดบนหลังคาโครงโลหะเพื่อให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านได้ดี แต่รังสีความร้อนที่แผ่จากภายในโรงอบแห้งจะผ่านออกมาได้น้อย ความร้อนส่วนใหญ่จึงถูกกักเก็บอยู่ภายในโรงอบ ลักษณะโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 5

2) เครื่องอบแห้งอุโมงค์แสงอาทิตย์ (Solar Tunnel Dryer) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ออกแบบสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยใช้อากาศร้อนจากส่วนแผงรับรังสีแสงอาทิตย์จะเคลื่อนที่เข้าไปในส่วนเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในตู้อบแห้งจะวางเป็นชั้นบางๆ เพื่อให้ ได้รับอากาศร้อนจากแผงรับรังสีแสงอาทิตย์และจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผลิตภัณฑ์โดยตรง [3] ลักษณะเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์แสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 6

ภาพที่ 5 โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ [2]

ภาพที่ 6 เครื่องอบแห้งอุโมงค์แสงอาทิตย์ [2]

จากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้าพบว่า สุห์ดี และ ภาณุมาศ (2559) [4] ได้ทำการการออกแบบเตาอบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบพาความร้อน โดยสามารถใช้พลังงานความร้อนจากไฟฟ้าหรือแผงโซล่าเซลล์ การทดลองพบว่า การอบแห้งพริกชี้ฟ้าโดยใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว ใช้เวลาเพียง 5 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาในการอบน้อยกว่าการใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างเดียวที่ใช้ระยะเวลาในการอบ 28 ชั่งโมง เกรียงศักดิ์ และชวนชื่น (2555) [5] ได้ทำการออกแบบตู้อบแห้งชาเขียวลมร้อนโดยการอบแห้งเป็นชั้นบางๆใช้อุณหภูมิลมร้อน 120 °C ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ผลการทดสอบการอบแห้งชาเขียวใช้อุณหภูมิอบแห้ง 120 °C พบว่า ความชื้นเริ่มต้นก่อนการอบแห้ง 34% สิ้นสุดกระบวนการอบแห้งความชื้นเฉลี่ย 13% อัตราการลดความชื้นค่อยๆลดลงอย่างช้าๆมีความสัมพันธ์ลักษณะการลดลงของความชื้น สันติและคณะ (2549) [6] ได้ทำการออกแบบและสร้างตู้อบแห้งกล้วยน้ำว้าโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีการควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วลม และน้ำหนักของวัสดุภายในตู้อบแห้ง พบว่าสามารถลดเวลาในการทำกล้วยตากลง 3-4 เท่า เมื่อเทียบกับการตากแดดตามปกติ Arslam และ Özcan (2010) [7] ได้ทำการอบแห้งแผ่นหัวหอมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียสและการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ (210 วัตต์) ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 19.2 นาที น้อยกว่าการอบแห้งด้วยวิธีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ Garcia และ Rolz (1988) [8] ได้ทำการทดลองอบแห้งกล้วยด้วยตู้อบไมโครเวฟ และเตาอบชนิดลมร้อนไหลผ่าน โดยใช้กล้วยดิบและกล้วยสุกในลักษณะเป็นโฟม (Foam) และเป็นชิ้น ผลพบว่าตู้อบแบบไมโครเวฟมีใช้เวลาอบน้อยกว่าตู้อบลมร้อนไหลผ่านถึง 17 เท่า Maskan (2000) [9] ได้ทำการการอบแห้งแผ่นกล้วยด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน โดยใช้ลมร้อนอบแห้งในช่วงที่ 1 เพื่อลดความชื้นในแผ่นจากนั้นนำมาอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ พบว่าการอบแห้งระบบผสมผสาน สามารถลดเวลาในการอบแห้งได้ร้อยละ 64.3 ของการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว

งานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาตู้อบแห้งลมร้อนอบกล้วยฉาบขึ้นมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้ง ลดระยะเวลาและเพิ่มปริมาณในการผลิต ทั้งนี้ยังช่วยให้ชุมชนแปรรูปผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐาน และพัฒนาขั้นตอนการผลิตให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และสามารถผลิตสินค้าอย่างต่อเนื่องอย่างมีประสิทธิภาพ อันก่อให้เกิดประโยชน์ในเชิงพานิชย์ต่อไป

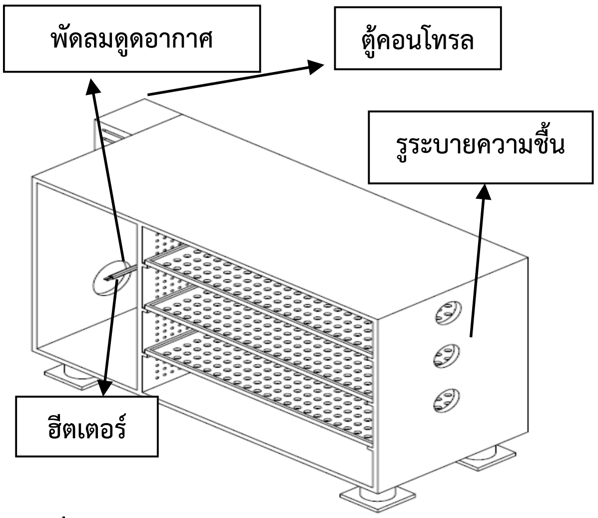
วิธีการวิจัย

(1) วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ กล้วยฉาบที่ผ่านการทอดด้วยน้ำมันโดยกระบวนการทอดของชุมชนบัวสลี จังหวัดเชียงราย ปริมาณ 3 กิโลกรัม เพื่อใช้ในการทดสอบการอบ 1 ครั้ง

(2) ตู้อบแห้งลมร้อน

ตู้อบแห้งลมร้อนที่ใช้เป็นตู้อบแห้งที่ออกแบบโดยใช้หลักการแบบการพาความร้อนของลมร้อน หลักการทำงานของตู้อบแห้ง ทำงานโดยใช้ความร้อนจากแหล่งกำเนิด (ฮีตเตอร์ขนาด 1000 วัตต์) ทำการติดตั้งพัดลมดูดอากาศจำนวน 2 ตัว เพื่อเป่าอากาศให้ไหลผ่านฮีตเตอร์ โดยความร้อนที่ได้จะไหลผ่านผลิตภัณฑ์ที่จัดเรียงเป็นชั้นๆ จำนวน 3 ชั้น ทั้งนี้ตู้อบแห้งนี้ ได้มีการออกแบบให้มีการระบายความชื้นด้านข้างตู้ และในการอบแห้งผลิตภัณฑ์มีการติดตังตัววัดอุณหภูมิและความชื้นในตู้ ซึ่งลักษณะตู้อบแห้งลมร้อนตามแบบแสดงดังภาพที่ 7 และตู้อบแห้งลมร้อนแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 7 ตู้อบแห้งลมร้อนตามแบบ

ภาพที่ 8 ตู้อบแห้งลมร้อน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการอบแห้งกล้วยฉาบที่อุณหภูมิ 70 °C และ 80 °C เวลาในการอบแห้ง 50 และ 70 นาที พบว่าความชื้นของกล้วยฉาบและความชื้นสัมพัทธ์ของตู้อบลดลง เมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบเพิ่มขึ้น สำหรับผลการอบแห้งกล้วยฉาบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการอบแห้งกล้วยฉาบที่อุณหภูมิ 70°C และ 80°C เวลาในการอบแห้ง 50 และ 70 นาที

อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการอบ (นาที)	ความชื้นของกล้วยฉาบที่ลดลง (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบ		ลักษณะของกล้วยฉาบ
			ก่อนอบ	หลังอบ	
70	50	0.44	39.9	15.1	

ตารางที่ 1(ต่อ) ผลการอบแห้งกล้วยฉาบที่อุณหภูมิ 70°C และ 80°C เวลาในการอบแห้ง 50 และ 70 นาที

อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการอบ (นาที)	ความชื้นของกล้วยฉาบที่ลดลง (%)	ความชื้นสัมพัทธ์ในตู้อบ		ลักษณะของกล้วยฉาบ
			ก่อนอบ	หลังอบ	
70	70	1.83	40.7	9.9	
	50	0.84	42.1	11.9	

80	70	2.53	39.2	10.2	

จากผลการทดลองอบแห้งกล้วยฉาบที่ทุกสภาวะ แต่ละสภาวะจะให้ผลที่ต่างกัน สภาวะที่อุณหภูมิ 70 °C เวลาในการอบ 50 และ 70 นาที ความชื้นของกล้วยฉาบลดลง 0.44,1.83 % ตามลำดับ ซึ่งการอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 70 นาที จะทำให้ความชื้นของกล้วยฉาบลดลงมากว่าการอบที่เวลา 50 นาที อยู่ที่ 1.39 % สภาวะที่อุณหภูมิ 80 °C เวลาในการอบ 50 และ 70 นาที ความชื้นของกล้วยฉาบลดลง 0.84,2.53 % ตามลำดับ ซึ่งการอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 70 นาที จะทำให้ความชื้นของกล้วยฉาบลดลงมากกว่าการอบที่เวลา 50 นาที โดยความชื้นลดลง 1.69 % จากการทดสอบผลิตภัณฑ์กล้วยฉาบทั้ง 4 สภาวะพบว่าสภาวะการอบที่อุณหภูมิ 80 °C เวลา 50 นาที ให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบและรสชาติตรงคุณสมบัติตามความต้องการของชุมชนมากที่สุด เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการผลิตในแบบวิธีเดิมของชุมชนในการแปรรูปกล้วยฉาบ และการกำจัดน้ำมันของชุมชนพบว่า กล้วยฉาบที่ผ่านกระบวนการทอดแล้วปริมาณ 3 กิโลกรัม/ครั้ง ซึ่งใช้เวลาทอด 3 ชั่วโมงหลังจากนั้นนำมาพักไว้อีก 3 ชั่วโมง เพื่อผึ่งให้กล้วยฉาบมีความชื้นและน้ำมันลดลง แล้วจึงทำการบรรจุ

ซึ่งกระบวนการทั้งหมดตั้งแต่กระบวนการทอดจนถึงกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ต้องใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 6 ชั่วโมง/ครั้ง สำหรับกระบวนการในการผลิต และลักษณะของกล้วยฉาบที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบวิธีเดิมของชุมชนแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กระบวนการผลิต และลักษณะของกล้วยฉาบที่ได้จากกระบวนการผลิตแบบวิธีเดิมของชุมชน

กระบวนการ	ลักษณะกล้วยฉาบ	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)
1. ทอดกล้วยฉาบ 3 กิโลกรัม/ครั้ง (เวลาที่ใช้ในการทอด 3 ชั่วโมง) 2. พักกล้วยฉาบที่ผ่านการทอด 3 ชั่วโมง 3. ทำการบรรจุ		6

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการผลิตของทั้งแบบชุมชนและตู้อบแห้งลมร้อน ตู้อบแห้งลมร้อนสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตกล้วยฉาบได้โดย สามารถผลิตได้วันละ 12 กิโลกรัม/วัน ในขณะที่แบบวิธีเดิมผลิตได้วันละ 6 กิโลกรัม/วัน ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบการผลิตแบบชุมชนและตู้อบแห้งลมร้อน

วิธีการ	ปริมาณการผลิต
วิธีเดิม	6 กิโลกรัม/วัน
ตู้อบลมร้อนที่สภาวะ 80 °C 50 นาที	12 กิโลกรัม/วัน

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าตู้อบลมร้อนสามารถทำการอบกล้วยฉาบได้มากกว่าวิธีเดิมถึง ร้อยละ 50 ซึ่งชุมชนสามารถทำการเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้นกว่าเดิม จากการคำนวณจุดคุ้มทุนพบว่าตู้อบลมร้อนสามารถคืนทุนได้ที่ 0.2 ปี หรือ 2.4 เดือน

สรุปผลการวิจัย

การอบด้วยตู้อบแห้งลมร้อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ในด้านของการลดระยะเวลาและเพิ่มปริมาณในการผลิตให้มากขึ้น โดยจากกระบวนการเดิมของชุมชนที่มีการนำกล้วยฉาบที่ผ่านกระบวนการทอด จากนั้นนำกล้วยทอดที่ผ่านกระบวนการทอดมาผึ่งเพื่อให้ปริมาณความชื้นและน้ำมันลดลงก่อนที่จะนำมาบรรจุ ซึ่งกระบวนการทั้งหมดต้องใช้เวลา 6 ชั่วโมงต่อการได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เมื่อเปรียบเทียบกับการอบกล้วยฉาบด้วยตู้อบแห้งลมร้อนพบว่าตู้อบแห้งลมร้อนสามารถลดเวลาในการผลิตได้โดยในการผลิตกล้วยฉาบ 1 ครั้งตู้อบลมร้อนสามารถลดเวลาในการผลิตลงเหลือ 3 ชั่วโมง 50 นาที คิดเป็นเวลาที่ลดลง 1.2 เท่า และยังเพิ่มปริมาณในการผลิต โดยตู้อบลมร้อนสามารถผลิตได้วันละ 12 กิโลกรัม/วัน ช่วยเพิ่มปริมาณการผลิตได้ร้อยละ 50 เมื่อคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนของตู้อบลมร้อนพบว่าตู้อบมีระยะเวลาในการคืนทุนที่ 0.2 ปี หรือ 2.4 เดือนเท่านั้น ซึ่งชุมชนสามารถทำการขยายกำลังการผลิตได้โดยการเพิ่มขนาดของตู้อบเพื่อรองรับกระบวนการผลิตให้มากขึ้นได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายที่สนับสนุนงบประมาณวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] รศ.ดร.สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. **การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ.** กรุงเทพมหานคร: ท้อป, 2555.

[2] M.Veerakumar1, KCK.Vijayakumar2, P.Navaneethakrishnan3. **Different Drying Methods for Agriculture Products and Eatables.** International Journal of Mathematical Sciences and Engineering 2014.

[3] วชร กาลาสี และ ปัญญา แดงวิไลลักษณ์. **เครื่องอบแห้งอุโมงค์แสงอาทิตย์**. ชุมพร:สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร อ.ปะทิว จ.ชุมพร 86160, 2555.

[4] สุห์ดี นิเซ็ง และ ภาณุมาศ สุยบางดา. **ออกแบบเตาอบแห้งพริกชี้ฟ้าแบบพาความร้อน.** สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลเกษตร สาขาอุตสาหกรรม วิทยาลัยรัตภูมิมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 2559.

[5] เกรียงศักดิ นักผูก และ ชวนชื่น เดี่ยววิไล. **การออกแบบตู้อบแห้งชาเขียวลมร้อน.** เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่, 2555.

[6] สันติ หวังนิพพานโต และคณะ. **เทคโนโลยีการวัดและระบบควบคุมในกระบวนการอบแห้ง.** กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน, 2549.

[7] Arslan, D and Özcan,M.M**. Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices.** 2010.

[8] Garcia,R,Level,F.and Rolz,C. **Drying of bananas using microwave and air ovens"lntenation journal of food Science and Technology.** 1988.

[9] Maskan. **Microwave/air and microwave finish drying of banana.** Journal of Food Engineering. 2010.

พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของของไหลกราฟีนนาโนที่มีการไหลแบบราบเรียบในท่อทองแดงทรงกลม

Heat Transfer Behavior of Graphene Nano-Fluid with Laminar Flow in Circular Copper Tube

ภานุวัฒน์ ทิมอยู่ [1*] สราวุธ พลวงษ์ศรี[1] และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์[2]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 50290

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลกราฟีนนาโน ที่ไหลแบบราบเรียบภายในท่อทองแดงทรงกลม โดยผิวท่อมีการให้ความร้อนสม่ำเสมอที่อัตรา 80 W การทดสอบจะมีการปรับอัตราการไหลภายในท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm ยาว 1 m ที่ 120 - 220 cm^3/min มีค่าเลขเรย์โนลดส์ในช่วงประมาณ 400-1,300 เนื่องจากในช่วงของการไหลแบบราบเรียบมีการถ่ายเทความร้อนที่ค่อนข้างต่ำและเป็นช่วงของการไหลที่อยู่ในอุปกรณ์ทางความร้อนหลากหลายชนิด โดยอุณหภูมิของไหลที่เข้ามีค่าคงที่ที่ 35 – 65 °C โดยมีความเข้มข้นของอนุภาคกราฟีนนาโนในน้ำปราศจากไอออน (Deionized Water) ตั้งแต่ 0.050 - 0.100 %w/w เปรียบเทียบกับน้ำปราศจากไอออน (Deionized Water) จากผลการศึกษาพบว่าของไหลกราฟีนนาโนให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงกว่าน้ำ โดยเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของอนุภาคกราฟีนนาโน และอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิของไหลที่เข้ามีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนน้อยมาก ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลกราฟีนนาโนถูกจัดอยู่ในรูปของเลขนัสเซลท์ โดยมีความสัมพันธ์กับเลขเรย์โนลดส์ เลขพรันด์เทิล และค่าความเข้มข้นของอนุภาคกราฟีนนาโนในของไหล ในรูป $Nu = 1.1353 Pr^{0.32146} Re^{0.2726} \theta^{0.12454}$ โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% จากค่าการทดสอบ

คำสำคัญ: ของไหลกราฟีนนาโน ความเข้มข้น สัมประสิทธิ์การพาความร้อน การไหลแบบราบเรียบ การไหลในท่อทรงกลม

บทนำ

ปัจจุบันมีการนำอนุภาคนาโนไปใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการนำไปใช้เพิ่มค่าการนำความร้อนของสารทำงานในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เช่น อนุภาคทองแดงนาโน อนุภาคอลูมิเนียมนาโน อนุภาคไทเทเนียมนาโน ผสมกับสารทำงานพื้นฐาน เช่น น้ำ น้ำมัน เอทิลีนไกลคอล เป็นต้น ทำให้สมรรถนะทางความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น Mojarrad et al. [1] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของท่อความร้อนโดยมีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวท่อคงที่และใช้ของไหลนาโน alumina/water เป็นสารทำงาน ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ จากการศึกษาพบว่า สามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อทองแดงได้ 16.9% ที่ความเข้มข้น 0.7% และเลขเรย์โนลดส์เท่ากับ 2,300 Wen [2] ได้ศึกษาลักษณะการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนในท่อทรงกระบอก โดยมีของไหลนาโน γ- Al_2O_3/water ความเข้มข้น 0 %v/v ถึง 1.6 %v/v เป็นสารทำงาน มีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวท่อคงที่ พบว่าที่เลขเรย์โนลดส์ 1,600 สารทำงานที่ความ

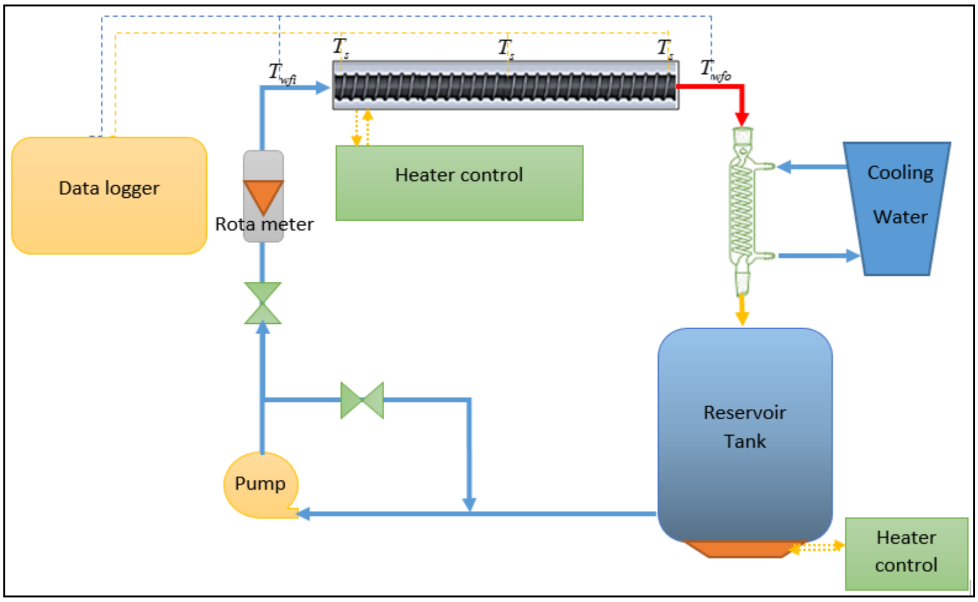
*Corresponding author: Tel.: 099-885-0781. E-mail address: panuwattimoiu@gmail.com

เข้มข้น 1.6 %v/v ให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลนาโนเพิ่มขึ้น 33% เทียบกับน้ำ Polvongsri และ Kiatsiriroat [3] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งใช้อนุภาคเงินนาโนผสมกับน้ำปราศจากไอออน เพื่อใช้เป็นสารทำงานในตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ โดยได้ค่า $F_R(\tau\alpha)_e$ = 0.816 และ $F_R U_L$ = 7.123 W/m^2 เทียบกับ $F_R(\tau\alpha)_e$ = 0.723 และ $F_R U_L$ = 8.314 W/m^2 ในกรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Keopunya และ Polvongsri [4] ที่มีการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยของไหลนาโน Al_2O_3/water และ TiO_2/water เป็นสารทำงานในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ พบว่าสารทำงานที่เป็นของไหลนาโนช่วยเพิ่มสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้ดีกว่ากรณีที่ใช้น้ำเป็นสารทำงาน

ปัจจุบันมีการผลิตอนุภาคกราฟีนนาโน ซึ่งค่าการนำความร้อน (thermal conductivity, K) ของกราฟีนมีค่าประมาณ 5,000 W/m·K ที่อุณหภูมิห้อง ค่าดังกล่าวสูงกว่าทองแดง 10 เท่า [5] จะเห็นได้ว่าค่าการนำความร้อนของของไหลกราฟีนนาโนมีค่าสูง เมื่อนำมาผสมกับน้ำจะมีสมบัติเชิงความร้อนสูงกว่ากรณีที่ใช้น้ำเพียงอย่างเดียวและของไหลนาโนอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Convection Heat Transfer Coefficient, h_i) ภายในท่อทองแดงของของไหลกราฟีนนาโน โดยมีการให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ตลอดผิวท่อด้วยขดลวดความร้อนที่อยู่ในช่วงการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งมีความเข้มข้นของของไหลและอุณหภูมิของสารทำงานที่แตกต่างกัน ทำการศึกษาเลขนัสเซลท์จากความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลดส์ เลขพรันด์เทิล และความเข้มข้นของอนุภาคกราฟีนนาโน

วิธีการวิจัย

ขั้นตอนแรกจะเป็นการเตรียมสารทำงาน โดยผงกราฟีนนาโนที่ใช้ในการเตรียมสารทำงานได้จากบริษัท Alfa Aesar มีขนาดพื้นที่ต่อน้ำหนัก 500 m^2/g ทำการเตรียมสารทำงานที่ความเข้มข้น 0-0.100 %w/w ใช้น้ำปราศจากไอออนเป็นของเหลวพื้นฐาน ทำการผสมสารทำงานด้วยเครื่องอัลตราโซนิคเป็นเวลา 90 min โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิค Cleaner VGT-1990QTD ที่ความถี่ 40 kHz กำลังไฟฟ้า 200 W เพื่อกระตุ้นให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคกราฟีนในน้ำปราศจากไอออน ในขณะเตรียมสารทำงานจะทำการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 35 °C พร้อมทั้งคำนวณสมบัติของสารทำงานดังสมการที่ (1-5)



รูปที่ 1 ระบบทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของกราฟีนนาโน

ทำการเติมสารทำงานที่เตรียมไว้ลงในถังพักสารทำงาน ดังรูปที่ ประกอบด้วยถังพักสารทำงาน (Reservoir tank) ปั๊ม (Pump) อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Rota meter) ท่อทองแดงที่ใช้ทดสอบ (Test section) และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) สารทำงานหมุนเวียนในระบบโดยปั๊มสารทำงานที่มีการควบคุมอัตราการไหลให้อยู่ที่ 120 170 และ 220 cm^3/min ในช่วงเลขเรย์โนลดส์ประมาณ 400-1,300 อุณหภูมิก่อนเข้าท่อทองแดงจะควบคุมให้มีค่าคงที่ที่ 35 45 55 และ 65 °C โดยฮีตเตอร์ชนิดแผ่นใต้ถังสารทำงาน สำหรับท่อทองแดงที่ใช้ทดสอบการถ่ายเทความร้อนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm ยาว 1 m ติดตั้งฮีตเตอร์ขนาด 80 W พันรอบท่อและให้ความร้อนที่ผิวท่อทองแดงคงที่สม่ำเสมอ และหุ้มด้วยฉนวนความร้อน เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว(Steady state) จะทำการบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิสารทำงานเข้าและออก (T_{Wfi} และ T_{Wfo}) รวมทั้งอุณหภูมิของผิวภายนอกของท่อทองแดง 3 จุด (T_{S1} T_{S2} T_{S3}) ดังรูปที่ ตามทิศทางการไหล ด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ความคลาดเคลื่อน ± 0.5 °C บันทึกข้อมูลด้วย Data logger (Lutron รุ่น TM-1947SD) ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.4% ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์ค่าอัตราความร้อนของของไหลกราฟีนนาโน และสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากสมการที่ (6-7)

ค่าการนำความร้อนของอนุภาคโลหะนาโนจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของปริมาตรอนุภาคในน้ำ Wasp et al. [6] ได้นำเสนอสมการที่ใช้ในการหาค่าการนำความร้อนของของแข็งที่ผสมกับของเหลวในรูป

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_p + (n-1)k_f + (n-1)\alpha(k_f - k_p)}{k_p + (n-1)k_f - \alpha(k_f - k_p)} \quad (1)$$

เมื่อ k_{nf} คือ ค่าการนำความร้อนของของไหลนาโน (W/m·K) k_f คือ ค่าการนำความร้อนของของไหลฐาน (W/m·K) k_p คือ ค่าการนำความร้อนของอนุภาคนาโน (W/m·K) n คือ ตัวประกอบรูปร่าง โดย $n = \frac{3}{\varphi}$ เมื่อ φ คือ ค่าความเป็นทรงกลมของอนุภาค ได้จากพื้นที่ผิวทรงกลมหารด้วยพื้นที่ผิวจริง มีค่าเท่ากับ 2.413×10^{-2} และ α คือ สัดส่วนปริมาตร (Volume Fraction) ของอนุภาคนาโนหาได้จาก

$$\alpha = \frac{V_p}{V_f + V_p} \quad (2)$$

เมื่อ V_f คือ ปริมาตรของของไหล V_p คือ ปริมาตรของอนุภาค

ค่าความหนาแน่นของของไหลนาโน สามารถหาได้จากสมการของ Pak and Young [7] โดย

$$\rho_{nf} = \alpha\rho_P + (1-\alpha)\rho_W \quad (3)$$

เมื่อ ρ_{nf} คือ ความหนาแน่นของของไหลนาโน (kg/m^3) ρ_P คือ ความหนาแน่นของอนุภาคนาโน (kg/m^3) ρ_W คือ ความหนาแน่นของของไหลฐาน (kg/m^3)

ค่าความร้อนจำเพาะของของไหลนาโนสามารถหาได้จากสมการของ Bock Choon Pak และ Young I. Cho [7] โดย

$$Cp_{nf} = \alpha Cp_P + (1-\alpha)Cp_W \quad (4)$$

เมื่อ Cp_{nf} คือค่าความร้อนจำเพาะของของไหลนาโน (J/kg·K) Cp_P คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอนุภาคนาโน (J/kg·K) และ Cp_W คือ ค่าความร้อนจำเพาะของของไหลฐาน (J/kg·K)

ค่าความหนืดของของไหลนาโนสามารถคำนวณได้จากสมการของ Wang et al. [7] โดย

$$\mu_{nf} = (1 + 7.3\alpha + 123\alpha^2)\mu_w \quad (5)$$

เมื่อ μ_{nf} คือ ค่าความหนืดของของไหลนาโน (kg/m·s) μ_w คือ ค่าความหนืดของของไหลฐาน (kg/m·s)

กรณีการให้ความร้อนสม่ำเสมอกับท่อทองแดง (Uniform heat flux) พลังงานความร้อนถ่ายเทจากฮีตเตอร์ผ่านท่อทองแดง สู่สารทำงาน โดยสารทำงานไหลเข้าท่อทองแดงด้วยอุณหภูมิ T_{fi} และออกจากท่อทองแดงด้วยอุณหภูมิ T_{fo} อัตราความร้อนที่สารทำงานได้รับสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$Q = \dot{m}Cp(T_{fo} - T_{fi}) \tag{6}$$

โดย Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W) $\dot{m}$ คือ อัตราการไหลของของสารทำงาน (kg/s) T_{fi} คือ อุณหภูมิสารทำงานก่อนเข้าท่อทองแดง (°C) T_{fo} คือ อุณหภูมิสารทำงานหลังออกจากท่อทองแดง (°C)

ค่าอัตราความร้อนที่สารทำงานได้รับ สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนดังสมการต่อไปนี้

$$h = \frac{Q}{(A_T)(T_S - T_f)} \tag{7}$$

โดย h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของสารทำงานในท่อ (W/m²·K) A_T คือ พื้นที่ผิวภายในท่อทองแดง (m²) T_S คือ อุณหภูมิผิวท่อทองแดงด้านในเฉลี่ย (°C) T_f คือ อุณหภูมิสารทำงานเฉลี่ย (°C) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนมักจัดอยู่ในรูปของค่าเลขนัสเซลท์ (Nusselt number) โดย $Nu = \frac{hD}{k_f}$ เมื่อ Nu คือ เลขนัสเซลท์ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m) k_f คือ การนำความร้อนของของเหลว (W/m·K)

กรณีฟลักซ์ความร้อนคงที่ ค่าเลขนัสเซลท์ในกรณีการไหลแบบราบเรียบมักจัดอยู่ในรูป [2]

$$Nu = 1.953\left(RePr\frac{D}{L}\right)^{1/3}, \left(RePr\frac{D}{L}\right) \geq 33.3 \qquad Nu = 14.364 + 0.0722RePr\frac{D}{L}, \left(RePr\frac{D}{L}\right) < 33.3 \tag{8}$$

เมื่อ Re คือ เลขเรย์โนลดส์ Pr คือ เลขพรันด์เทิล L คือ ความยาวท่อทองแดง (m)

การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis)

ในการวิเคราะห์ผลใดๆซึ่งค่าที่ได้จากการวัดข้อมูลของพารามิเตอร์แต่ละตัว ข้อมูลที่ได้แต่ละตัวจะมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น และก่อให้เกิดความไม่แน่นอนหรือความผิดพลาดของผลรวมที่ต้องการจะวิเคราะห์ จากการวิเคราะห์หาค่าความไม่นอนในการทดสอบ โดยในการทดสอบนี้เน้นในเรื่องของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของสารทำงาน โดยค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดแสดงดังตารางที่ และค่าความไม่แน่นอนในค่าอัตราความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแสดงดัง

ตารางที่ 1 ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัด

เครื่องมือ	**ค่าความผิดพลาด**
สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K	± 0.5 °C
Data logger รุ่น TM-1947SD	± 0.4%
Rota meter	± 1.6%

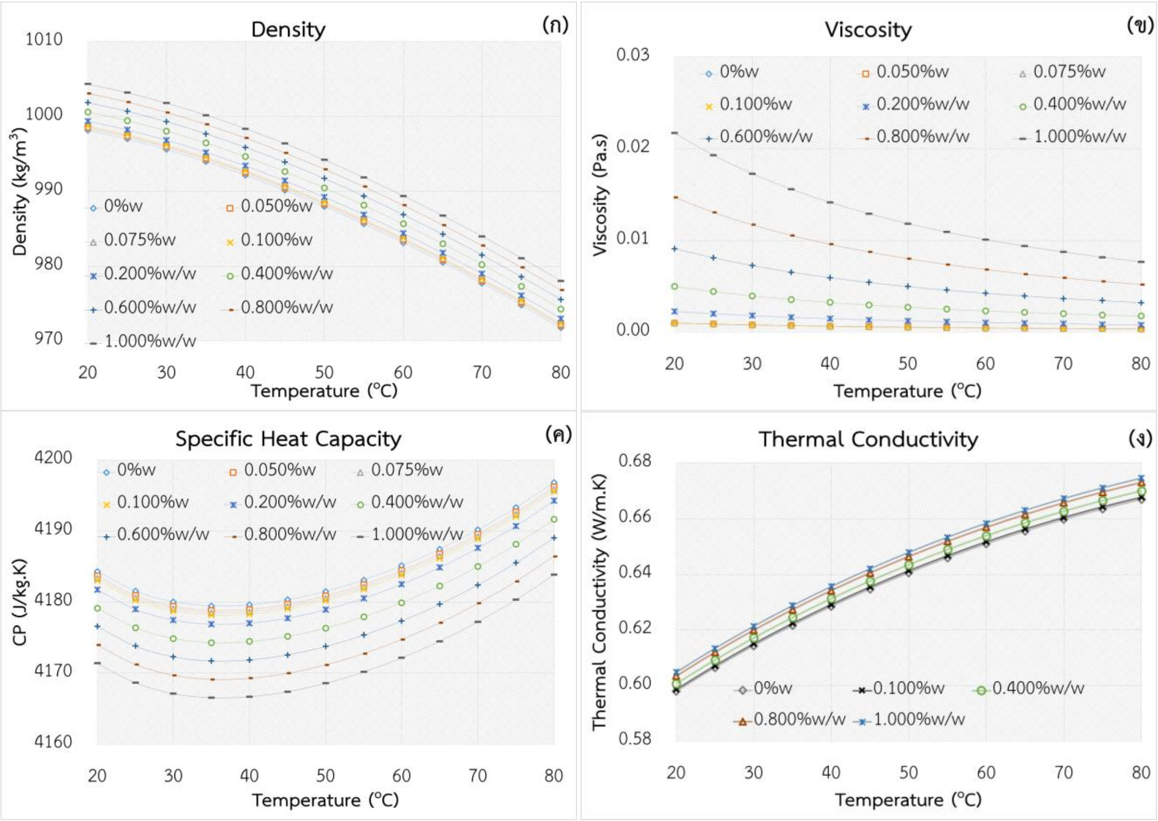
ตารางที่ 2 ค่าความไม่แน่นอนของการทดสอบ

การทดสอบ	**ความไม่แน่นอน**
ค่าอัตราความร้อน	± 0.007%
ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	± 10.61%

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1. สมบัติของกราฟีนนาโน

ในการทดสอบสมบัติทางความร้อนของของไหลกราฟีนนาโนที่แต่ละความเข้มข้นของอนุภาค สามารถคำนวณจากสมการของ Wasp et al. Bock Choon Pak Young I. และ Cho Wang et al. ซึ่งสมบัติของความหนาแน่น ความหนืด ค่าการนำความร้อน และค่าความจุความร้อน เป็นต้น โดยจะทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 20-80 °C แสดงผลในรูปที่ 2 ตัวอย่างการคำนวนในภาคผนวก



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของของไหลกราฟีนนาโนและอุณหภูมิสารทำงาน

ค่าความหนาแน่น และค่าความหนืด

จากรูปที่ 2 พบว่า ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของของไหลกราฟีนนาโนมีแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิของของไหลกราฟีนนาโนที่เพิ่มขึ้น เห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นในช่วงของความเข้มข้น 0-0.100%w/w จะมีค่าใกล้เคียงกันและค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียง 0.03-0.06% แต่ที่ความเข้มข้นที่สูงกว่า 0.100%w/w มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น 0.12%-0.63% เช่นกันในส่วนของค่าความหนืดที่ความเข้มข้น 0-0.100%w/w ความหนืดเพิ่มขึ้น 1.18-1.45 เท่า และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 0.200-1.000%w/w ค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้นถึง 2.27-21.70 เท่า ผลของความหนืดที่สูงจะมีผลต่อการไหลของสารทำงาน ทั้งนี้ Iman Nowrouzi และคณะ [8] พบว่าความเข้มข้นของของไหลนาโนที่เหมาะสมกับงานด้านการถ่ายเทความร้อนควรมีค่าความเข้มข้นไม่ควรเกิน 0.1%w/w เนื่องจากความหนืดที่สูงขึ้นส่งผลให้พลังงานที่ป้อนแก่ปั๊มสารทำงานสูงขึ้นตามไปด้วย

ค่าความจุความร้อน

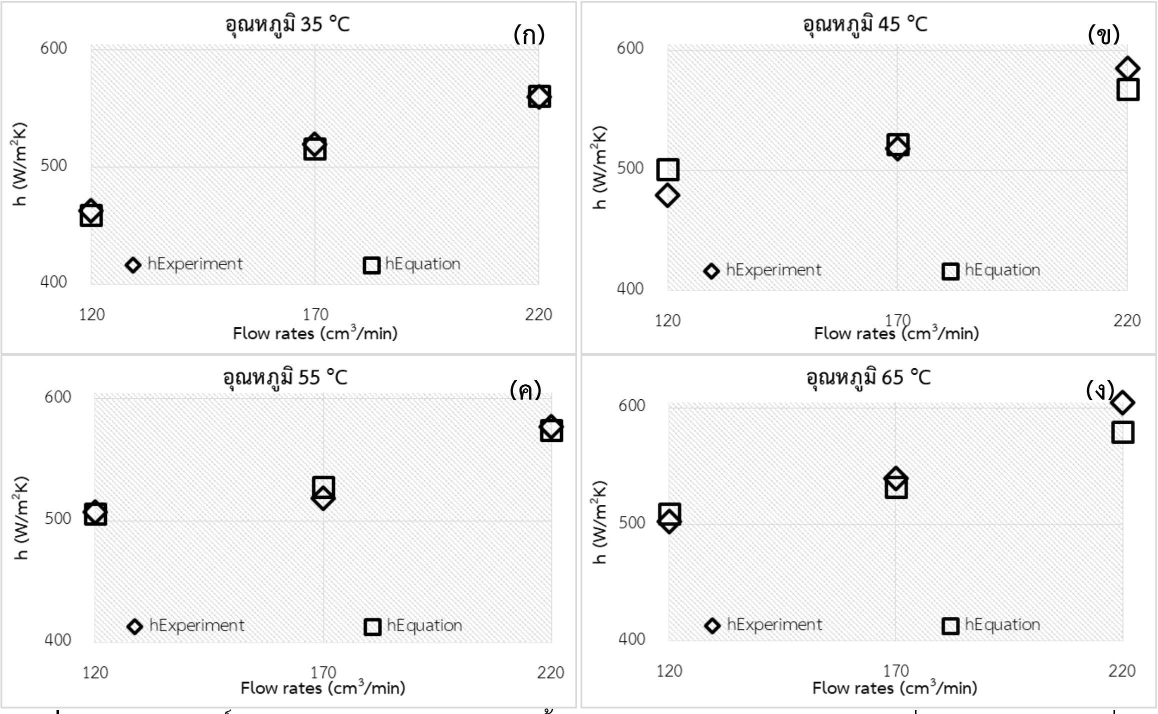
จากการศึกษาพบว่าค่าความจุความร้อนมีค่าลดลงในช่วงอุณหภูมิ 20-35 °C และเพิ่มขึ้นหลังจากนั้น และจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของของไหลกราฟีนนาโน กล่าวคือเมื่อของไหลมีความเข้มข้นเพิ่มข้นค่าความจุความร้อนจะลดลง โดยจะเริ่มเห็นความแตกต่างของค่าความจุความร้อนที่ความเข้มข้นของสารทำงานตั้งแต่ 0.200 %w/w ค่าความจุความร้อนเฉลี่ยในช่วง 0-0.100%w/w มีค่า 4,184.87-4,183.57 J/kg.K ลดลง 0.015-0.031% และที่ความเข้มข้น 0.200-1.000%w/w ค่าความจุความร้อนเฉลี่ยมีค่า 4,182.28- 4,171.91 J/kg.K ลดลง 0.062-0.309%

ค่าการนำความร้อน

ค่าการนำความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของของไหลที่เพิ่มขึ้น และจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของไหลกราฟีนนาโน โดยพบว่าค่าการนำความร้อนเฉลี่ยที่ความเข้มข้น 0-0.100%w/w มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่า 0.637-0.638 W/m.K เพิ่มขึ้น 0.06-0.11% และที่ความเข้มข้น 0.200-1.000%w/w มีค่า 0.639- 0.645 W/m.K เพิ่มขึ้น 0.23-1.15%

4.2. ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์การทดลอง

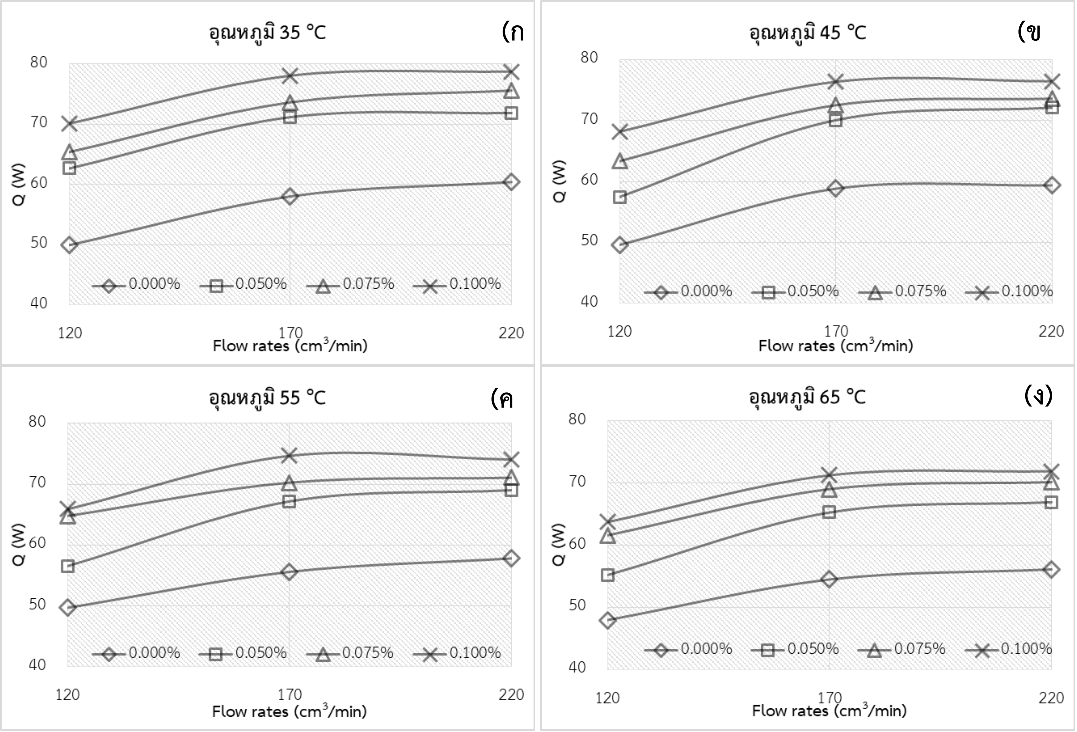
ก่อนทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลนาโน จะมีการตรวจเช็คความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยการนำผลข้อมูลจากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากสมการที่ 8 จากรูปที่ จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของสารทำงานจากสมการที่ 8 และจากการทดสอบนั้นมีค่าใกล้เคียงกันในทุกช่วงของอุณหภูมิสารทำงานที่เข้าระบบแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในการไหลของน้ำปราศจากไอออนเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณจากสมการที่ 8

4.3. ผลของอุณหภูมิขาเข้าที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน

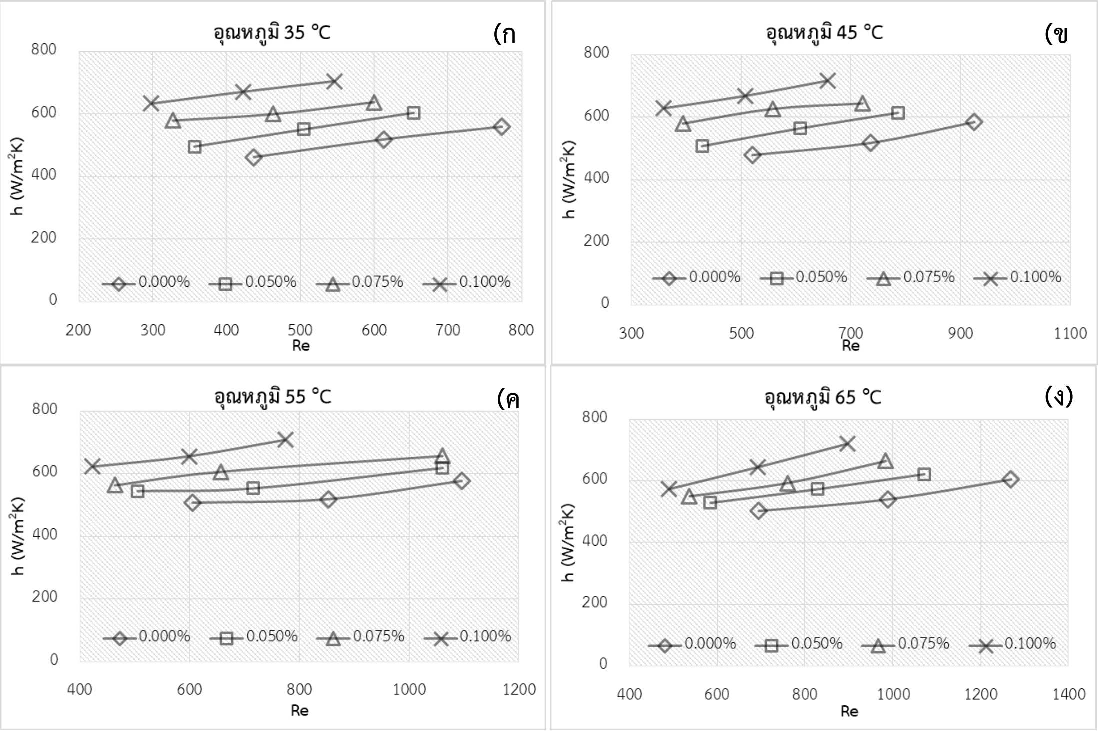
ในการทดสอบจะใช้ของไหลกราฟีนนาโนที่ความเข้มข้น 0-0.100% w/w ที่มีอัตราการไหลที่ใช้ในการทดสอบ 3 ค่า คือ 120 cm^3/min 170 cm^3/min และ 220 cm^3/min จากการศึกษาพบว่าค่าของความร้อนนั้นจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มข้นของสารทำงาน โดยที่ความเข้มข้น 0.100% w/w และอัตราการไหล 220 cm^3/min ให้อัตราความร้อนที่สูงที่สุด รองลงมาจะเป็นที่ความเข้มข้น 0.075% w/w 0.050% w/w และ 0% w/w ตามลำดับ โดยพบว่าที่อุณหภูมิของสารทำงานเข้าระบบแตกต่างกันตั้งแต่ 35-65 °C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราความร้อนน้อยมาก และพบว่าอัตราความร้อนที่สารทำงานได้รับสูงที่สุดจะอยู่ที่ความเข้มข้น 0.100% อัตราการไหล 220 cm^3/min มีค่าเท่ากับ 78.79 W คิดเป็นเปอร์เซ็นที่เพิ่มขึ้น 40.41% เมื่อเปรียบเทียบกับสารทำงานที่สภาวะเดียวกันที่ความเข้มข้น 0% ที่อุณหภูมิสารทำงานเข้าระบบ 35 °C ดังแสดงในรูปที่ (ก) เมื่ออัตราการไหลของสารทำงานกับค่าความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ค่าการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าอัตราความร้อนที่ได้สูงขึ้นตามไปด้วย โดยอัตราความร้อนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 54.84 W 65.47 W 69.27 w และ 72.47 W เพิ่มขึ้น 19.39-32.15% ที่ความเข้มข้น 0-0.100% w/w ตามลำดับ รูปที่ 4 (ข)-4(ง) ให้ผลในลักษณะเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิของไหลเข้ามีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งค่าอัตราความร้อนเฉลี่ยทุกช่วงอุณหภูมิมีค่าดังตารางที่ 3



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนที่สารทำงานได้รับที่อัตราการไหลและอุณหภูมิขาเข้าต่างๆ

4.4. ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การพาความร้อนกับเลขเรย์โนลดส์

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การพาความร้อนกับเลขเรย์โนลดส์ พบว่าความสัมพันธ์ของทุกอุณหภูมิสารทำงานเข้าระบบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนั้นจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลดส์มีค่าสูงขึ้น ยังพบอีกว่าสารทำงานที่มีค่าความเข้มข้นสูงขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงขึ้นไปด้วย ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยทุกช่วงอุณหภูมิมีค่าดังตารางที่ 3



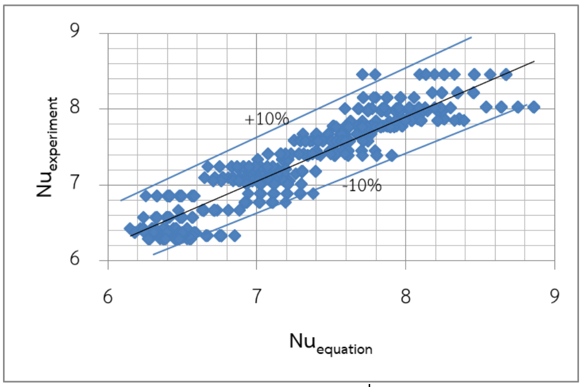
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การพาความร้อนกับเลขเรย์โนลดส์

จากข้อมูลในการทดสอบข้างต้นสามารถนำมาหาความสัมพันธ์ของเลขนัสเซลท์ โดยมีความสัมพันธ์กับเลขเรย์โนลดส์ เลขพรันด์เทิล และค่าความเข้มข้นของอนุภาคกราฟีนนาโนในของไหลดังสมการต่อไปนี้

$$Nu = 1.1353Pr^{0.32146}Re^{0.2726}\theta^{0.12454}\text{ ; } 0.050\ \%w/w < \theta < 0.100\ \%w/w$$

โดย Nu คือ เลขนัสเซลท์ Pr คือ เลขพรันด์เทิล Re คือ เลขเรย์โนลดส์ และ θ คือ ความเข้มข้นของสารทำงาน หมายเหตุ ค่าความเข้มข้นที่ใช้ในการหาสมการใช้ค่าตั้งแต่ 0.050-0.100 %w/w

เมื่อนำสมการที่ได้มาเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบและค่าที่ได้จากสมการ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน ±10% ดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nusselt number ที่ได้จากการทดสอบและจากสมการ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสมบัติด้านความร้อนของของไหลกราฟีนนาโนจากสมการของ Wasp et al. Bock Choon Pak Young I. และ Cho Wang et al. นั้น พบว่าค่าความหนาแน่น ค่าความหนืด และค่าการนำความร้อนของสารทำงานจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น แต่ค่าความจุความร้อนของสารทำงานจะลดลงตามความเข้มข้นของสารทำงาน ซึ่งค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.100%w/w เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนืดสูงตามไปด้วย มีผลทำให้ต้องใช้พลังงานในการหมุนเวียนสารทำงานในระบบเพิ่มขึ้น ในส่วนของอัตราความร้อนที่สารทำงานได้รับและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของของไหลกราฟีนนาโนและอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าของอุณหภูมิน้ำเข้าระบบส่งผลต่ออัตราความร้อนที่ได้รับและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเพียงเล็กน้อย โดยอัตราความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลกราฟีนนาโนให้ค่าสูงกว่าน้ำ จากการทดสอบอัตราความร้อนของสารทำงานเฉลี่ยที่อัตราการไหล 120-220 cm^3/min ตามความเข้มข้น 0-0.100 %w/w มีค่าเท่ากับ 54.84 W 65.47 W 69.27 W และ 72.47 W เพิ่มขึ้น 19.39-32.15% และค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยที่ความเข้มข้น 0.100 %w/w สูงที่สุด รองลงมาคือ ที่ความเข้มข้น 0.075 %w/w 0.05 %w/w และน้ำ ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 662.50 W/m^2K 608.47 W/m^2K 564.78 W/m^2K และ 531.23 W/m^2K ตามลำดับ ในส่วนของเลขนัสเซลท์เฉลี่ยที่ความเข้มข้นของของไหลกราฟีนนาโน 0.100% w/w มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 7.65 รองลงคือความเข้มข้น 0.075-0% w/w มีค่า 7.38 7.09 และ 7.06 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลกราฟีนนาโนมาจัดให้อยู่ในรูปของเลขนัสเซลท์ โดยมีความสัมพันธ์กับเลขเรย์โนลดส์ เลขพรันด์เทิล และค่าความเข้มข้นของอนุภาคกราฟีนนาโนในของไหลในรูป $Nu = 1.1353 Pr^{0.32146} Re^{0.2726} \theta^{0.12454}$ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% จากค่าการทดสอบ

ตารางที่ 8 ข้อมูลอัตราความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และเลขนัสเซลท์

	อัตราการไหล cm^3/min	ความเข้มข้น %w/w			
		water	0.050	0.075	0.100
อัตราความร้อน (W)	120	49.32	57.99	63.80	66.99
	170	56.76	68.44	71.38	75.10
	220	58.44	70.00	72.62	75.30
ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K)	120	487.99	519.28	568.09	614.53
	170	524.05	560.47	606.50	660.17
	220	581.66	614.59	650.82	712.79
เลขนัสเซลท์	120	6.53	6.47	6.82	7.10
	170	7.01	6.98	7.28	7.62
	220	7.80	7.81	8.04	8.23

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการให้ความสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ในการทดสอบ สถานที่สำหรับทำวิจัย รวมทั้งทุนสนับสนุนจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียน สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2559 และทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2560 กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สนพ)

เอกสารอ้างอิง

[1] Mohammad S.M., Ali K., Masoud Z. and Mohammad M.R. (2014). Experimental investigation on heat transfer enhancement of alumina/water and alumina/water–ethylene glycol nanofluids in thermally developing laminar flow. **Experimental Thermal and Fluid Science.** 53, 111-118.

[2] Dongsheng W. and Yulong 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.

[3] Saravooth Polvongsri and Tanongkiat Kiatsiriroat. (2011). Enhancement of Flat-Plate Solar Collector Thermal Performance with Silver Nano-fluid. **Paper presented in The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering 2011.** Bangkok, Thailand.

[4] Meksamphad Keopunya และ Saravooth Polvongsri (2016). การใช้ชุดอัลตร้าโซนิคในการแก้ปัญหาการตกตะกอนของไหลนาโนในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, **การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12.** ณ โรงแรม วังจันทน์ ริเวอร์วิว, จังหวัดพิษณุโลก

[5] วิษณุสรรค์ ชาติอารยะวดี (2013). แกรฟีน ตอนที่ 1: การสังเคราะห์คาร์บอนรูปแบบใหม่. **NARESUAN PHAYAO JOURNAL**. 6, 10-24.

[6] Edward J. Wasp, John Paulinus Kenny and Ramesh L. Gandhi. (1997). **Solid-liquid Flow Slurry Pipeline Transportation.** Trans. Tech. Pub., Berlin, 1997.

[7] Bock Choon Pak and Young I. Cho. (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, **Experimental Heat Transfer**. 11(12), 151-170.

[8] Nowrouzi, Iman., Manshad, Abbas Khaksar., And Mohammadi, Amir H. (2019). Effects of concentration and size of TiO_2 nano-particles on the performance of smart water in wettability alteration and oil production under spontaneous imbibition. **Journal of Petroleum Science and Engineering.** pp. 106357.

[9] Yu, W., Xie, H., Wang, X. & Wang, X. (2011). Significant thermal conductivity enhancement for nanofluids containing 363rapheme nanosheets. **Physics Letters A**, 375(10), 1323-1328.

[10] Baby, T. T. & Ramaprabhu, S. (2010). Investigation of thermal and electrical conductivity of grapheme based nanofluids. **Journal of Applied Physics**, 108(12), 124308.

[11] Mounet, N. & Marzari, N. (2005). First-principles determination of the structural, vibrational and thermodynamic properties of diamond, graphite, and derivatives. **Physical Review B**, 71(20), 205214.

[12] เกษมณี คำอ่อง. (2561). **การเพิ่มประสิทธิภาพการนำความร้อนของของไหลนาโนกราฟีน.** วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

การเพิ่มสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการลดอุณหภูมิด้วยน้ำ

Increase of Solar Cells Performance by Reducing Temperature via Water.

เกรียงศักดิ์ ดอนชัย[1*] นพรัตน์ งามพ้อง[1] สวัสดิ์ ยันต์วิเศษ[2] และบุญชัย ไชยอาจ[2]
[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 2 57000
[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย สถาบันการอาชีวศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 1 43000

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อออกแบบและสร้างระบบลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการระบายความร้อนด้วยน้ำ และเพื่อหาสมรรถนะการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เมื่อมีระบบลดอุณหภูมิโดยการระบายความร้อนด้วยน้ำ

โดยสถานที่ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือ ที่อาคารแผนกช่างไฟฟ้ากำลังชั้น 3 วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย อ.เมือง จ.เชียงราย พิกัด GPS 19.90"N 99.83"E มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 397 ม. มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 4.7-5.5 kWh/m^2/วัน โดยใช้วิธีให้โซลินอยด์วาล์วปล่อยน้ำจากระบบประปาที่ติดตั้งไว้ เมื่อได้รับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เกินกว่า 43 ºC และจะหยุดปล่อยน้ำเมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเหลือ 40 $^{\circ}$C โดยให้น้ำไหลผ่านท่อไปยังหัวน้ำหยดชนิดปรับได้ (Dripper) ปล่อยน้ำจำนวน 5 หัว/แผง บังคับให้ไปรดที่หน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในปริมาณ 1 ลิตร/นาที

เริ่มทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันศุกร์ที่ 12 เมษายน 2562 ถึงวันพฤหัสบดีที่ 29 สิงหาคม 2562 เป็นเวลา 20 สัปดาห์ พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระบบลดอุณหภูมิโดยการระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 162.36 Wh/วัน ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปกติสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 152.80 Wh/วัน ที่อุณหภูมิโดยรอบเฉลี่ย 31.56 $^{\circ}$C ในภาพรวมตลอด 20 สัปดาห์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระบบลดอุณหภูมิโดยการระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปกติเฉลี่ยร้อยละ 6.26

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ ลดอุณหภูมิ ระบายความร้อนด้วยน้ำ

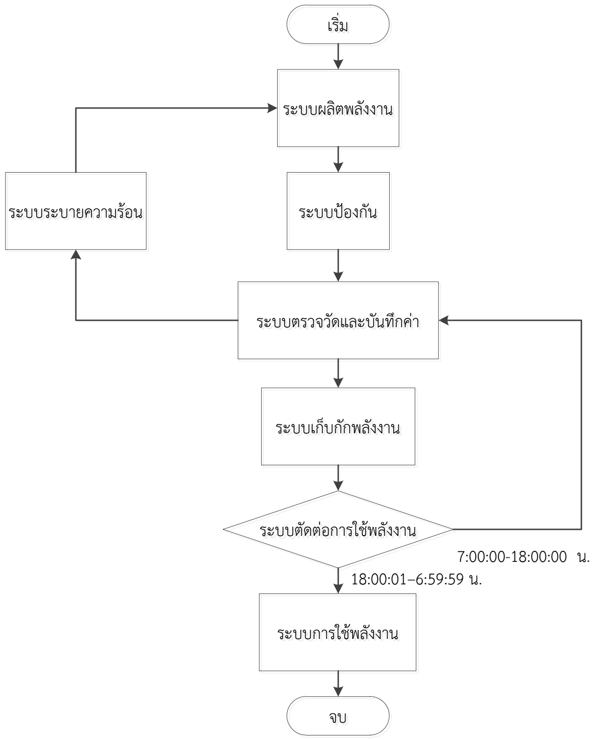
* Corresponding author: Tel.: 089-4514217. E-mail address: s5400201@gmail.com

บทนำ

จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานพบว่าในปี 2560 ประเทศไทยมีปริมาณระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สะสม 2,697.27 เมกะวัตต์ จากการขยายตัวอย่างรวดเร็วตั้งแต่ปี 2554 เป็นต้นมา[6] ซึ่งถ้ามีการใช้เซลล์แสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพก็จะสามารถเพิ่มการผลิตพลังงานได้อีก จากการศึกษาหาข้อมูลและทดลองล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์สามารถเพิ่มสมรถนะการผลิตพลังงานได้อีก โดยจากข้อมูลการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลง จากการทบทวนเอกสารพบว่ากำลังไฟฟ้าเอ้าพุทจะลดลง 0.25 % (ชนิดอะมอร์ฟัส) 0.5 % (ชนิดผลึกซิลิกอน) ในแต่ละ 1°C ที่เพิ่มขึ้น[1] รวมถึงผลกระทบของฝุ่นต่อสมรถนะการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการศึกษาเอกสารเรื่องประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ สรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ อุณหภูมิ เงาบดบังแสง ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ การยึดและการติดตั้งแผง เครื่องควบคุมการชาร์จ การบำรุงรักษา ดังนั้นการลดอุณหภูมิจึงเป็นสิ่งที่สามารถควบคุมได้

วิธีการวิจัย

ในการศึกษาในครั้งนี้จะใช้การทดลองเก็บข้อมูลการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเดี่ยวซิลิกอนขนาด 100 Wp จำนวน 2 แผง แบ่งเป็นแผงปกติและแผงที่มีระบบลดอุณหภูมิโดยการระบายความร้อนด้วยน้ำ พร้อมระบบปรับมุมรับแสงได้ตั้งแต่ 15–25 องศา ทำการติดตั้ง ณ.อาคารแผนกช่างไฟฟ้ากำลังชั้น 3 วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย อ.เมือง จ.เชียงราย พิกัด GPS 19.90"N 99.83"E มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 397 ม. มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 4.7-5.5 kWh/m^2/วัน ระบบน้ำที่จะใช้มีแรงดันสูงสะดวกในการติดตั้งบำรุงรักษาและการเก็บข้อมูลของผู้วิจัย โดยมีโครงสร้างการทำงานของระบบดังนี้



ภาพที่ 1 โครงสร้างการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษา

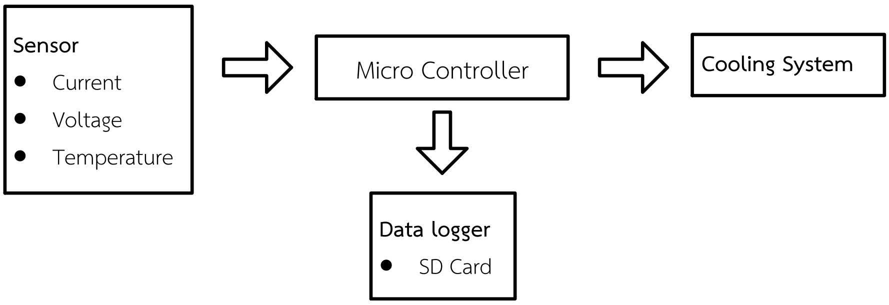
ระบบผลิตพลังงานจะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวซิลิกอนจำนวน 2 แผง โดยแผงที่ 1 จะใช้เป็นแผงปกติ แผงที่ 2 จะใช้เป็นแผงที่มีระบบลดอุณหภูมิโดยการระบายความร้อนด้วยน้ำ

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวซิลิกอน

Maximum Power (Pmax)	100 Wp	Maximum Power Voltage (Vmp)	17.8 V
Open Circuit Voltage (Voc)	21.90 V	Maximum Power Current (Imp)	5.62 A
Short Circuit Current (Isc)	5.94 A	Weight	7.0 kg
Dimension	970x676x30 mm		

ระบบป้องกันจะใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เปิดและปิดวงจรไฟฟ้า เลือกใช้ Mold case circuit breaker กระแสสลับขนาด 15 AT ทำงานร่วมกับฟิวส์ขนาด 10 A ต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากประสบการณ์ของผู้วิจัยพบว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์กระแสตรงมีราคาแพง ไม่คงทนและไม่มีความเสถียร

ระบบตรวจวัดและบันทึกข้อมูลรวมถึงสั่งการระบบระบายความร้อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์ และดาต้าล็อกเกอร์ โดยออกแบบให้เริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 7:00:00–18:00:00 น. ในทุก ๆ วัน หลังจากนั้นตั้งแต่เวลา 18:00:01–6:59:59 น. ในทุก ๆ วัน ระบบตัดต่อพลังงานจะหยุดจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบตรวจวัดและบันทึกข้อมูล โครงสร้างระบบตรวจวัดและบันทึกข้อมูลแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างระบบควบคุม ระบบระบายความร้อนและระบบเก็บข้อมูลของงานวิจัย

ระบบระบายความร้อน (Cooling System) จะใช้โซลินอยด์วาล์วปล่อยน้ำจากระบบประปาที่ติดตั้งไว้เมื่อได้รับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เกินกว่า 43 °C และจะหยุดเมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเหลือ 40 °C โดยให้น้ำไหลผ่านท่อไปปล่อยผ่านหัวน้ำหยดชนิดปรับได้ (Dripper) ปล่อยน้ำจำนวน 5 หัว/แผง บังคับให้เป็นหยดน้ำไปรดที่หน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในปริมาณ 1 ลิตร/นาที

ระบบตัดต่อการใช้พลังงาน จะเป็นระบบที่ใช้ในการตัดต่อการทำงานของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาการประจุและการคายประจุ โดยออกแบบให้การทำงานเริ่มจากระบบเก็บข้อมูลและบันทึกค่าการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง แล้วประจุพลังงานที่ผลิตได้ให้กับแบตเตอรี่ตั้งแต่เวลา 7:00:00–18:00:00 น. หลังจากนั้นระบบตัดต่อการใช้พลังงานจะหยุดการทำงานของระบบระบบเก็บข้อมูลและบันทึกค่าการผลิตพลังงาน เปลี่ยนมาควบคุมให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้กับระบบการใช้พลังงาน เพื่อนำพลังงานที่เก็บไว้ออกมาใช้งานเตรียมที่จะรองรับการประจุใหม่ในวันถัดไปโดยใช้อุปกรณ์ดิจิตอลไทม์เมอร์ในการตัดต่อ

ระบบเก็บกักพลังงาน ในการหาขนาดของแบตเตอรี่จะใช้หลักการตามมาตรฐาน IEEE-1013 ที่ว่าด้วยการใช้ระบบเก็บกักพลังงานสำหรับระบบ Stand-Alone กำหนดให้มีขนาดของแหล่งพลังงานต้นกำลังเท่ากับ 1.3 เท่าของความต้องการพลังงานเพื่อให้การชาร์จแบตเตอรี่เพียงพอ หาได้จากสมการ ดังนี้

$$Q_{Batt} = \frac{P_{Load}}{V_{Batt} \times (\%DOD) \times I} \times T_{Batt} \tag{1}$$

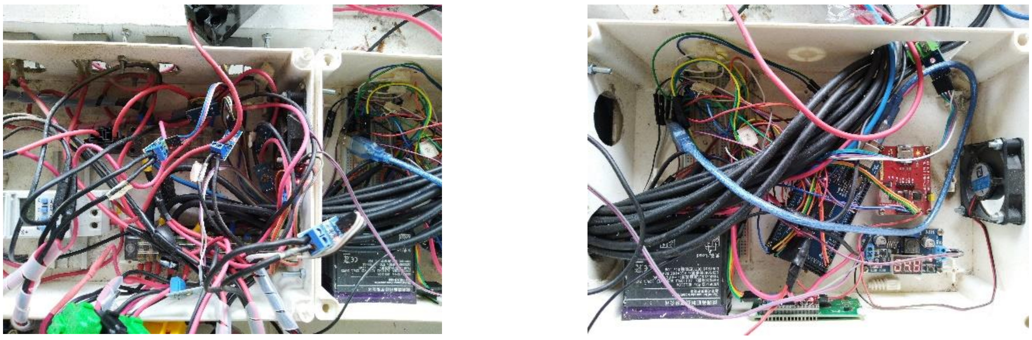
จะได้

$$Q_{Batt} = \frac{30}{12 \times 0.5 \times 0.85} \times 13 \quad = 76.47 \times 1.3 = 99.41\,Ah$$

ดังนั้นแบตเตอรี่ใช้ชนิด Deep Cycle ขนาด 100 Ah 12 V จำนวน 1 ลูก

ระบบการใช้พลังงานมีหน้าที่นำพลังงานที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ในแต่ละวันออกมาใช้ เพื่อเตรียมที่จะรองรับการประจุใหม่ในวันถัดไป จะเลือกใช้โหลดโคมไฟสาด (Floodlight) ชนิดกระแสตรง หลอด LED ขนาด 12 V 30 W จำนวน 1 หลอด โดยสั่งเปิดใช้งานจากอุปกรณ์ดิจิตอลไทม์เมอร์ตั้งแต่เวลา 18:00:01–6:59:59 น.

ภาพที่ 3 โครงสร้างของงานวิจัยที่ศึกษา



ภาพที่ 4 ระบบตรวจวัด บันทึกข้อมูลและสั่งการระบบระบายความร้อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

หลังจากที่ได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบ ปรับปรุงจนทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำของค่าอุณหภูมิ ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า ที่ได้ตรวจวัดและบันทึกค่าตามที่ได้ออกแบบไว้แล้ว จึงเริ่มทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันศุกร์ที่ 12

เมษายน 2562 ถึงวันพฤหัสบดีที่ 29 สิงหาคม 2562 เป็นเวลา 20 สัปดาห์ โดยเก็บข้อมูลเป็นแบบรายวัน(10 ชั่วโมง/วัน) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไฟล์นามสกุล .csv ลงใน Micro SD Card จากนั้นผู้วิจัยนำมารวบรวมเป็นข้อมูลรายสัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 9 ข้อมูลรายสัปดาห์

ระยะเวลา (สัปดาห์)	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ปกติ (Wh)	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบาย ความร้อนด้วยน้ำ (Wh)	อุณหภูมิ โดยรอบ (°C)	พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย แตกต่าง (ร้อยละ)
1.	173.3934	189.8240	38.4085	-9.48
2.	140.0598	154.0414	33.7009	-9.98
3.	151.8638	166.5322	34.5382	-9.66
4.	139.2516	152.3065	35.8325	-9.38
5.	144.0340	154.2578	34.6394	-7.10
6.	117.8589	124.6126	33.2251	-5.73
7.	126.9158	132.0648	30.0572	-4.06
8.	114.8699	123.2184	29.7489	-7.27
9.	120.7474	127.7482	31.0783	-5.80
10.	139.5663	145.3736	30.6582	-4.16
11.	121.4299	129.1947	31.0698	-6.39
12.	138.1704	147.0951	29.8189	-6.46
13.	167.5689	172.0546	29.4983	-2.68
14.	155.7707	166.4313	32.9032	-6.84
15.	169.4030	175.3996	30.4614	-3.54
16.	157.0832	163.5030	28.7901	-4.09
17.	167.7747	173.9583	28.1765	-3.69
18.	194.2012	205.9628	30.2233	-6.06
19.	183.4364	195.9415	29.4598	-6.82
20.	232.6037	247.6962	28.9683	-6.49
รวมเฉลี่ย	**152.8002**	**162.3608**	**31.5628**	**-6.26**

จากผลการทดลองพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระบบลดอุณหภูมิโดยการระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถผลิตพลังงานได้ดีกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปกติเฉลี่ยร้อยละ 6.26 โดยในช่วงสัปดาห์ที่ 1-4 จะมากที่สุด แต่หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง จากการตรวจสอบพบว่าหลังจากมีการปล่อยน้ำระบายความร้อนทุกครั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระบบลดอุณหภูมิโดยการระบายความร้อนด้วยน้ำจะมีการผลิตพลังงานที่มากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปกติ แต่ขณะที่อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่ถึง 43 °C ตามที่ตั้งไว้จะมีการผลิตพลังงานที่น้อยกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปกติอยู่เล็กน้อย สาเหตุจากคราบตะกรันสีขาวที่เกาะที่หน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการระบายความร้อนด้วยน้ำที่เกิดจากการระบายความร้อนด้วยน้ำ ยิ่งระยะเวลานานยิ่งสะสมมากขึ้น(ตลอดระยะเวลาการทดลอง 20 สัปดาห์ ไม่มีการทำความสะอาดหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์)

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการลดอุณหภูมิด้วยน้ำ โดยวิธีการปล่อยน้ำจากหัวน้ำหยดชนิดปรับได้ (Dripper) ปล่อยน้ำจำนวน 5 หัว/แผง บังคับให้เป็นหยดน้ำไปรดที่หน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในปริมาณ 1 ลิตร/นาที เมื่อได้รับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เกินกว่า 43 ℃ และจะหยุดเมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเหลือ 40 ˚C พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระบบลดอุณหภูมิโดยการระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถผลิตพลังงานได้ดีกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปกติ เฉลี่ยร้อยละ 6.26 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Stefan Krauter ได้ทำการทดลองโดยการปล่อยน้ำจำนวน 2 ลิตร/นาที ผ่านหัวฉีด 12 หัว ลงไปบนหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแรงดันจากปั๊มที่วางอยู่ใต้แผง จากผลการทดลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดลองสามารถลดอุณหภูมิลงได้ 22 ℃ และเพิ่มพลังงานได้ที่ร้อยละ 10 [2] งานวิจัยของ ประภาพิทย์ บุญหล้าและนุชิดา สุวแพทย์ ได้ศึกษาการลดอุณหภูมิของแผงด้วยวิธีการพ่นน้ำบนผิวหน้าของแผงในแต่ละการทดสอบพบว่ามีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของแผง เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผงควบคุมและแผงทดสอบ พบว่าแผงทดสอบชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนและแผงชนิดอะมอร์ฟัสมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 10.05 และร้อยละ 7.74 ตามลำดับ[3] งานวิจัยของ นิคม ผึงคำ ได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์โดยการลดความร้อนด้วยระบบหล่อเย็นด้วยน้ำและแผ่นครีบ อัตราการไหลของน้ำ 4.24 x $10^{-6} m^3/s$ ผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นที่ร้อยละ 9.38 [4] และงานวิจัยของ อนุชา ดีผาง และพรหมชัย สุพรรณ พบว่าแผงที่ติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำได้กำลังไฟฟ้าจากแผงมากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับที่และไม่มีระบบระบายความร้อนประมาณ 16.9 วัตต์ หรือประมาณที่ร้อยละ 28.36 [5]

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาที่ให้งบประมาณสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย วิทยาลัยเทคนิคหนองคาย ที่เอื้อเฟื้อบุคลากร อุปกรณ์และสถานที่ในการทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Fatima Zohra Zerhouni, **“Proposed Methods to Increase the Output Efficiency of a Photovoltaic (PV) System”**, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 7, No. 2, 2010

[2] Stefan Krauter, **“Increased electrical yield via water flow over the front of photovoltaic panels”** Solar Energy Materials & Solar Cells 82 (2004) 131–137.

[3] ประภาพิทย์ บุญหล้าและนุชิดา สุวแพทย์ **“การระบายความร้อนด้วยน้ำที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดผลึกเดี่ยวและชนิดอะมอร์ฟัส”** การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 9 380-386,12-13 กันยายน 2556.

[4] นิคม ผึงคำ **“การเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยระบบหล่อเย็น”** วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัญฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2551.

[5] อนุชา ดีผางและพรหมชัย สุพรรณ **“การเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีปรับมุมแผงติดตามดวงอาทิตย์เป็นช่วงเวลาร่วมกับการระบายความร้อนแผงด้วยน้ำ”** การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ราชธานีวิชาการ ครั้งที่ 3 25 พฤษภาคม 2561.

[6] กรมพัฒนาและอนุรักษ์พลังงาน **“รายงานสถานภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พ.ศ. 2559-2560”**, สืบค้นจาก www.dede.go.th เมื่อ 15 มกราคม 2561.

การเปรียบเทียบผลกระทบของมุมเอียงของโรเตอร์ต่อประสิทธิภาพของกังหันลมแบบลอยน้ำและแบบเสายึดตรึง

Comparing the Effect of Rotor Tilt Angle on Performance of Floating Offshore and Fixed Tower Wind Turbines

วงศกร วิเศษสัจจา[1] วิรชัย โรยนรินทร์[1*] และเดชา อินทร์โทโล่[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110

บทคัดย่อ

การพัฒนากังหันลมแบบลอยน้ำ (floating offshore wind turbines) มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกังหันลมให้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ปัญหาเกิดขึ้นเนื่องจากมุมเอียงจากการปะทะของลมที่ใบกังหันและโครงสร้างของทุ่นซึ่งนำไปสู่การเยื้องศูนย์ตามแนวแกนตั้งของแนวแกนกังหัน ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของใบกังหันและความสามารถในการดักจับพลังงานจึงลดลง งานวิจัยนี้พยายามที่จะเปรียบเทียบอิทธิพลของมุมเอียงของโรเตอร์ต่อประสิทธิภาพของกังหันลมระหว่างกังหันลมแบบเสายึดตรึง (fixed tower wind turbines) และกังหันลมแบบลอยน้ำ แบบจำลองที่นำมาใช้ในการทดลองจะมีใบพัดส่วนแพนอากาศรุ่น R1235 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 84 ซม. การทดลองจะถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้อุโมงค์ลม ส่วนการวัดค่าข้อมูลต่างๆจะได้มาโดยใช้ anemometer, tachometer และ angle meter การทดสอบจะใช้ความเร็วลมตั้งแต่ 2 - 5.5 เมตร/วินาที และจะนำอัตราความเร็วในการหมุนของกังหันลมทั้งสองแบบมาเปรียบเทียบกัน จากการวิจัยพบว่าอัตราความเร็วในการหมุนของกังหันลมลอยน้ำนั้นจะต่ำกว่ากังหันแบบเสายึดติดตรึง นอกจากนี้ จากผลการทดสอบ พบว่าที่มุมเอียงของโรเตอร์ตั้งแต่ 3.5° – 6.1° ยังมีการสูญเสียประสิทธิภาพของกังหันลมซึ่งจะแตกต่างกันออกไประหว่างร้อยละ 22 – 32 ที่ความเร็วลมต่างๆ ซึ่งอธิบายได้ว่ามุมเอียงจะมีผลกระทบต่อกังหันลมลอยน้ำอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากมุมปะทะเกิดเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่เหมาะสมของใบพัด การเปลี่ยนแปลงของมุมปะทะในลักษณะนี้จะทำให้พื้นที่หน้าตัดของใบกังหันนั้นเปลี่ยนแปลงอันนำไปสู่การลดกำลังในการแปลงพลังงานของกังหันลม สุดท้ายการศึกษาวิจัยยังให้คำแนะนำเพื่อการศึกษาวิจัยในอนาคตอีกด้วย

คำสำคัญ: กังหันลมลอยน้ำ พลังงานทดแทน มุมเอียงของกังหันลม

บทนำ

เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานหลักในการผลิตพลังงานมากกว่าร้อยละ 80 ของการผลิตพลังงานทั่วโลกโดยมีคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยมีความจำเป็นเร่งด่วนที่จะต้องลดการเสื่อมโทรมของคุณภาพสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พื้นพิภพและชีวมวล จึงเป็นพลังงานทางเลือกในการผลิตกระแสไฟฟ้า [1] แหล่งพลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งพลังงานอันไม่จำกัด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและประหยัด ข้อมูลของทาง BP Statistical Review of World Energy, 2018 ได้รายงานว่าพลังงานลมจะทำหน้าที่มากกว่าครึ่งหนึ่งของการเติบโตด้านพลังงานหมุนเวียนและมีศักยภาพในการเป็นแกนหลักของแหล่งพลังงานหมุนเวียน [2] ในปี ค.ศ. 2017 กำลังการผลิตไฟฟ้าของพลังงานลมที่ติดตั้งทั้งหมดจะอยู่ที่ 539 GW ขณะที่กำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมนอกชายฝั่งอยู่ที่

*Corresponding author: Tel.: 089-7714294. E-mail address: wirachai_r@rmutt.ac.th

18,814 MW ดังนั้นกังหันนอกชายฝั่งจะถูกนำเข้ามาเพื่อเอาชนะข้อจำกัดของกังหันลมแบบที่อยู่บนฝั่ง เนื่องจากได้รับความเร็วลมสูงขึ้นและสามารถขจัดผลกระทบทางทัศนียภาพและปัญหาเรื่องเสียงที่เกี่ยวข้อง [3] ในการเพิ่มประสิทธิภาพและลดข้อจำกัดของกังหันลมนอกชายฝั่ง เช่น ข้อจำกัดในบริเวณน้ำตื้นที่ไม่เหมาะสมสำหรับการติดตั้ง ดังนั้นการพัฒนากังหันลมแบบลอยน้ำ (FOWTs) จึงมีการริเริ่มเพื่อช่วยให้ติดตั้งที่บริเวณน้ำลึกได้ [4]

แต่อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของกังหันลมลอยน้ำกลับลดลงเนื่องจากมุมเอียงที่เกิดจากการเยื้องศูนย์ตามแนวแกนตั้งของแนวแกนกังหันลมทำให้โรเตอร์ออกห่างจากแนวแกน ด้วยเหตุนี้จะทำให้พื้นที่หน้าตัดของใบกังหันและปริมาณการผลิตพลังงานลดลง [5,6] ในงานวิจัยนี้ มุม beta ซึ่งเกิดจากมุมเอียงของกังหันลมลอยน้ำ และอัตราความเร็วในการหมุนที่ความเร็วลม 2-5.5 เมตร/วินาที จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกังหันลมแบบเสายึดตรึงและกังหันลมลอยน้ำที่มีโครงสร้างใบพัดส่วนแพนอากาศและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากัน

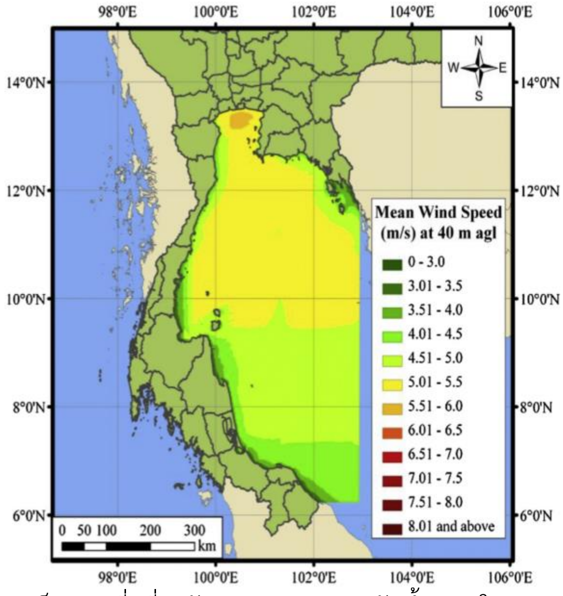
พลังงานลม

การดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์มายังบริเวณพื้นผิวโลกจะทำให้เกิดความดันที่แตกต่าง สิ่งนี้ทำให้อากาศไหลเวียนจากบริเวณที่มีความดันสูงไปสู่บริเวณที่มีความดันต่ำจึงทำให้เกิดกระแสลมขึ้นมา กำลังไฟฟ้าจะถูกสร้างขึ้นมาจากพลังงานลมโดยใช้โรเตอร์ที่เชื่อมต่อกับเพลาขับหมุนที่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงทำให้มีการแปลงพลังงานจลน์เป็นพลังงานไฟฟ้า ตำแหน่งที่ดีที่สุดของทุ่งกังหันลมคือ ที่บริเวณยอดเขาอันราบเรียบ รอบหุบเขา เขตชายฝั่งทะเลและในมหาสมุทร [7]

ข้อจำกัดทั้งหลายต่อการใช้กังหันลมบนฝั่ง เช่น ผลกระทบทางทัศนียภาพต่อระบบนิเวศโดยรอบ กังหันลมส่วนใหญ่จะตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ห่างไกลเนื่องจากมีความเร็วลมสูง บางครั้งสิ่งนี้ต้องมีการทำลายพืชพันธุ์และป่าไม้อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียถิ่นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต ระบบนิเวศอาจจะตกอยู่ในสภาวะสุ่มเสี่ยงเนื่องจากการทำลายป่าและการพังทลายของหน้าดิน อีกทั้งยังมีความเป็นไปได้ในการเสียชีวิตของสัตว์ปีกที่เพิ่มขึ้นอันเป็นผลมาจากการปะทะกับใบกังหัน ผลกระทบทางสุนทรียภาพของโครงสร้างและองค์ประกอบของทุ่งกังหันลม เช่น กังหันลม (ขนาด ความสูง จำนวน และวัสดุ) การเข้าถึงตามพื้นที่ต่างๆ เช่น สถานีไฟฟ้าย่อย บริเวณแวดล้อม การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า เสาเครื่องวัดความเร็วลมและสายส่ง เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อภูมิทัศน์ของธรรมชาติอีกด้วย อีกทั้งเสียงจากเกียร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของกังหันลมทำให้เกิดโรคกลัวกังหันลมซึ่งมีผลข้างเคียงต่อสุขภาพของมนุษย์ [8,9]

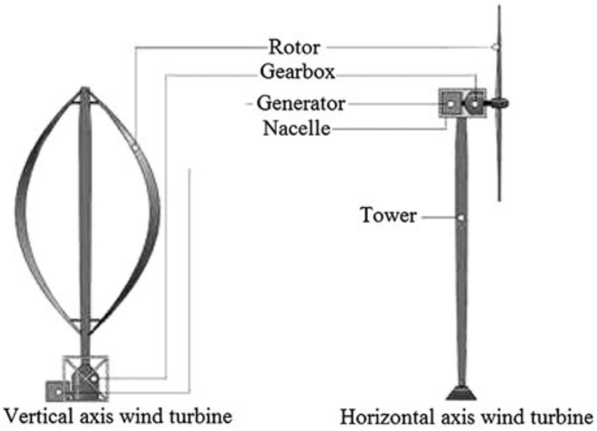
กังหันลมลอยน้ำมีการพัฒนาขึ้นมาเพื่อเอาชนะข้อจำกัดของกังหันลมชนิดที่อยู่บนฝั่ง แหล่งทรัพยากรลมนอกชายฝั่งนั้นมีความเร็วลมสูงกว่าและมีกระแสลมปั่นป่วนที่น้อย และมีความสอดคล้องในแง่ของความการไหลเวียนของลมมากกว่าแหล่งทรัพยากรลมที่อยู่บนฝั่ง [10] กังหันลมที่มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าอาจจะถูกติดตั้งอยู่ในมหาสมุทรมากขึ้น เนื่องจากสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้อีกร้อยละ 40 เมื่อเทียบกับกังหันลมชนิดที่อยู่บนฝั่ง อีกทั้งกังหันลมลอยน้ำตั้งอยู่ในเขตมหาสมุทรอันกว้างใหญ่ไพศาลจึงสามารถหลีกเลี่ยงผลกระทบทางทัศนียภาพและเสียงที่ไม่พึงประสงค์อีกด้วย กังหันลมลอยน้ำจะใช้การขนส่งด้วยการชักลากโครงสร้างลอยน้ำไปยังบริเวณมหาสมุทรที่กำหนด ข้อกำหนดเช่นนี้อาจจะเป็นเรื่องง่ายและประหยัดกว่าการขนส่งแบบที่อยู่บนฝั่ง [11] แต่อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดทั้งหลายของกังหันลมลอยน้ำ เช่น ความซับซ้อนของการบำรุงรักษาซึ่งเป็นเรื่องยุ่งยาก มีค่าใช้จ่ายสูงและต้องมีเฮลิคอปเตอร์หรือเรือเพื่อลำเลียงช่างเทคนิคและเครื่องมือไปยังจุดที่ติดตั้ง นอกจากนี้การสูญเสียกำลังไฟฟ้ายังเกิดขึ้นเนื่องจากระยะทางของกังหันลมลอยน้ำและสายส่งมีระยะไกลจากฝั่ง [12] ดังนั้นการใช้งานกังหันลมลอยน้ำในประเภทอื่นเพื่อปรับปรุงอรรถประโยชน์ของกังหันลมลอยน้ำนอกเหนือจากการผลิตไฟฟ้าเข้าสู่ชายฝั่งสามารถทำประโยชน์ได้ดังนี้ เป็นกำลังไฟฟ้าสำรองสำหรับเกาะ ทุ่นขุดเจาะนอกชายฝั่ง ระบบผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเลและสถานีกำลังไฟฟ้านอกชายฝั่งสำหรับเรือประมงและเรือสำรวจ [13]

ความเร็วลมบนฝั่งโดยเฉลี่ยในประเทศไทยจะอยู่ที่ประมาณ 4-5 เมตร/วินาที [14] ภาพประกอบที่ 1 แสดงให้เห็นถึงความเร็วลมโดยเฉลี่ยที่ 40 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย ความเร็วลมสูงสุดโดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 6 เมตร/วินาที แต่พื้นที่ส่วนใหญ่ในอ่าวไทยมีความเร็วลม 4-5.5 เมตร/วินาที



ภาพที่ 1 ความเร็วลมเฉลี่ยที่ระดับ 40 เมตรจากระดับน้ำทะเลในทะเลอ่าวไทย [10]

กังหันลมที่สำคัญมีอยู่สองชนิดเรียกกันว่า กังหันลมแนวแกนนอน (HAWTs) และกังหันลมแนวแกนตั้ง (VAWTs) โดยที่ HAWTs จะใช้อุปกรณ์การไหลตามแนวแกนเพื่อทำงานในทิศทางของลม ใบกังหันบอกทิศทางลมหรืออุปกรณ์ตรวจจับการไหลเวียนของลมจะหมุนกังหันลมตามทิศทางลม องค์ประกอบที่สำคัญของ HAWTs คือตัวโรเตอร์และห้องเครื่องกังหันลมบริเวณส่วนยอดของเสาได้แสดงเอาไว้ในภาพประกอบที่ 2 HAWTs เป็นกังหันลมชนิดหนึ่งที่มักจะถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด ส่วน VAWTs มีใบพัดที่ทำงานจากส่วนบนลงสู่ส่วนล่างของเพลาส่วนหมุนตามแนวแกนตั้งดังที่ได้แสดงเอาไว้ในภาพประกอบที่ 2 ระบบที่นำมาใช้เพื่อให้ VAWTs ทำงานตามทิศทางลมทุกทิศทางซึ่งจะเรียกระบบนี้ว่า ระบบแบบ cross-device กังหันชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานบนส่วนยอดของอาคารหรือบนพื้นดินมากที่สุด เพื่อการบำรุงรักษาที่ง่ายเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและชุดเกียร์อยู่ใกล้กับฐานของกังหัน แต่อย่างไรก็ตาม VAWTs กลับไม่มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับ HAWTs [15], [16]



ภาพที่ 2 ประเภทกังหันลม [17]

กังหันลมลอยน้ำ

กังหันลมลอยน้ำนั้นแปลงพลังงานจากลมได้ปริมาณมากเนื่องจากความเร็วลมนอกชายฝั่งที่สูงกว่าบนฝั่ง แต่อย่างไรก็ตาม ทุ่นลอยน้ำจะต้องได้รับการออกแบบให้มีลักษณะเฉพาะเพื่อให้ทนทานต่อสภาพอากาศนอกชายฝั่ง มีทุ่นลอยน้ำสามแบบที่เป็นทั้งตัวต้นแบบและเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน อันได้แก่ spar-buoy, spar-submersible และ tension-leg platforms ดังที่ได้แสดงเอาไว้ในภาพประกอบที่ 3 [18]

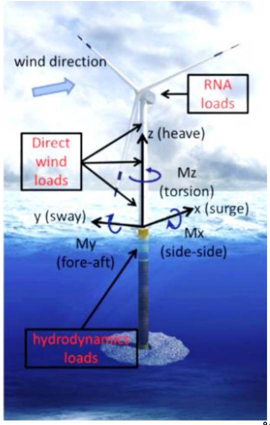
ภาพที่ 3 ประเภทของทุ่นกังหันลมลอยน้ำ [18]

ทุ่นแบบ spar buoy มีรูปร่างทรงกระบอกที่มีการถ่วงน้ำหนักบริเวณด้านล่างของทุ่นเพื่อทำให้มั่นใจได้ว่าจะลอยน้ำและตั้งฉากกับศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วงที่ต่ำกว่าศูนย์กลางของทุ่นลอยน้ำ ส่วนล่างของโครงสร้างจะมีความหนักและส่วนบนมักจะมีน้ำหนักเบาจึงทำให้เกิดศูนย์กลางของการลอยน้ำ ทุ่นชนิดนี้เหมาะสมในการติดตั้งน้ำลึกเนื่องจากตัวรับของทุ่นสูงกว่าหรือเท่ากับความสูงของจุดศูนย์กลางเหนือระดับน้ำทะเล สิ่งนี้ทำให้มั่นใจได้ถึงความคงตัวและลดการเคลื่อนไหว อีกทั้ง กระบวนการสร้าง การขนส่งและติดตั้งจึงค่อนข้างมีความท้าทาย [19]

ทุ่นแบบ semi-submersible จะเชื่อมต่อกันด้วยท่อทรงสูงขนาดใหญ่ กังหันลมจะตั้งอยู่บนหนึ่งในท่อทรงสูงหรือตั้งอยู่ที่ศูนย์กลางของทุ่นและได้รับการรับแรงจากตัวยึด ท่อทรงสูงจะทำหน้าที่ถ่วงน้ำหนักเพื่อให้ความคงตัวในน้ำ โครงสร้างในลักษณะนี้สามารถติดตั้งได้ง่าย [19]

ทุ่นแบบ tension-leg platform เป็นโครงสร้างกึ่งลอยตัว และความมั่นคงจะเกิดขึ้นจากความตึงของสายเอ็นของสมอที่ยึดกับก้นทะเล ดังนั้นจึงทำให้โครงสร้างมีขนาดเล็กและเบา อย่างไรก็ตามระบบเส้นเอ็นและระบบยึดจะได้รับความเค้นมากขึ้นเนื่องจากการออกแบบโครงสร้าง แพลตฟอร์มนี้มีอาจมีความยากลำบากระหว่างการติดตั้ง และอาจได้รับอันตรายจากการปฏิบัติงานหากสายเอ็นเกิดชำรุด [19]

แรงทั้งสองชนิดของกังหันลมลอยน้ำ ประกอบไปด้วย แรงกระทำแบบถาวร (น้ำหนักบรรทุกคงที่) และน้ำหนักบรรทุกจร ดังที่ได้แสดงเอาไว้ในภาพประกอบที่ 4 น้ำหนักบรรทุกคงที่จะเป็นน้ำหนักที่กระทำในแนวดิ่งซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับน้ำหนักของโครงสร้างและน้ำหนักเสา



ภาพที่ 4 แรงที่กระทำสำหรับกังหันลมลอยน้ำ [20]

น้ำหนักบรรทุกจรจะประกอบไปด้วยสิ่งต่างๆดังต่อไปนี้:

• แรงทางอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic loads) จาก rotor nacelle assembly (RNA) รวมไปถึงแรงและโมเมนต์ของใบพัดและถูกส่งผ่านทางตัวขับเคลื่อนยนต์และแผ่นโลหะของฐานของเครื่องยนต์

• แรงลาก (drag loads) จากการกระทำโดยตรงของลมบนเสาและการไหลของลมหมุนวนที่อาจเกิดขึ้น

• แรงเฉื่อย (inertial loads) เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนของระบบ (เช่น เนื่องจากความเร่งของมวล RNA) โดยสภาพแวดล้อมของลมปั่นป่วนและแรงเฉือน โดยคุณสมบัติของแรงเฉื่อยและโครงสร้างแบบพลศาสตร์ของโรเตอร์แบบหมุนและการสั่นของโครงสร้างพื้นฐาน เฉพาะในกรณีของโครงสร้างพื้นฐานแบบลอยน้ำ

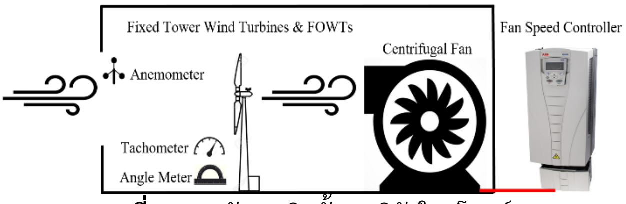
• แรงที่กระทำลงบนทุ่นลอยน้ำ (hydrodynamic loads) เช่น แรงคลื่น กระแสน้ำและน้ำแข็ง

• แรงกระทำจากอุปกรณ์ควบคุม (operational loads from control devices) เช่น กลไกการหันเห, กลไกการเบรก และกลไกควบคุมแรงบิด

วิธีการวิจัย

วิธีการทดลอง

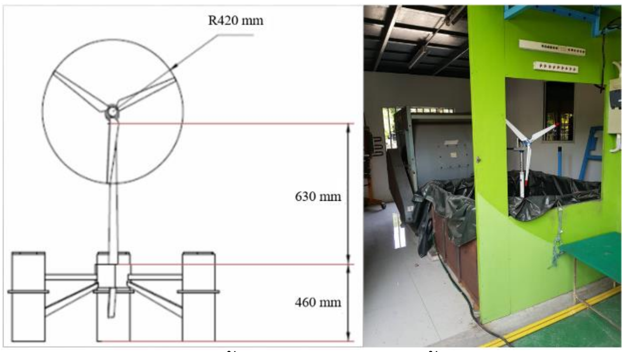
การทดลองจะดำเนินการโดยใช้อุโมงค์ลม ณ ศูนย์บริการและวิจัยพลังงานมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (RMUTT) โดยอุโมงค์ลมจะมีพัดลมแบบแรงเหวี่ยงขนาด 20,000 CFM ที่ขับเคลื่อนด้วย มอเตอร์ขนาด 11 kW และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วลมได้แสดงเอาไว้ในภาพประกอบที่ 5 อุโมงค์ลมจะมีความสูง 3 เมตร ความกว้าง 4 เมตรและความยาว 4.5 เมตรพร้อมช่องลมขนาด 1 ม. × 1 ม. ส่วนขนาดของถังเก็บน้ำจะมีความสูง 0.8 เมตร ความกว้าง 1.35 เมตรและความยาว 1.4 เมตร



ภาพที่ 5 แผนผังการติดตั้งงานวิจัยในอุโมลค์ลม

ประสิทธิภาพทางอากาศพลศาสตร์ของกังหันลมลอยน้ำจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยการทดลองและคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของกังหันลมแบบเสายึดตรึง โดยมีโครงสร้างใบพัดส่วนแพนอากาศและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เท่ากัน การทดลองจะมีการกำหนดค่าในอุโมงค์ลมเพื่อทดสอบตัวต้นแบบภายใต้สภาวะความเร็วลมต่างๆ โดยมีการเลือกทุ่นแบบ semi-submersible เนื่องจากติดตั้งได้ง่าย มีความคงตัวอันยอดเยี่ยมและเนื่องจากพื้นที่อันจำกัดในอุโมงค์ลม ขนาดของกังหันแบบยึดตรึงและกังหันลมลอยน้ำที่ติดตั้งภายในอุโมงค์ลมได้แสดงเอาไว้ในภาพประกอบที่ 6 และ 7

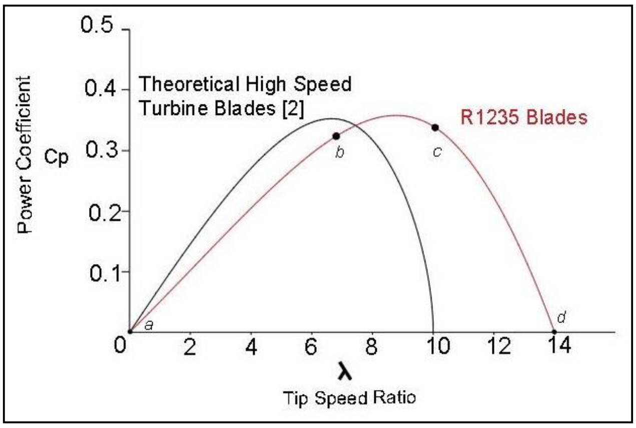
ภาพที่ 6 การติดตั้งกังหันลมแบบยึดตรึงในอุโมงค์ลม



ภาพที่ 7 การติดตั้งกังหันลมแบบลอยน้ำในอุโมงค์ลม

เครื่องมือในการวัดทั้งสามชนิดจะถูกนำมาใช้ในการทดลอง โดย anemometer จะวัดความเร็วลม tachometer จะวัดอัตราเร็วในการหมุนที่ความเร็วลมต่างๆ และ angle meter จะใช้วัดมุมเอียง ความเร็วลมที่ต้องการจะปรับให้เหมาะสมโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วลมที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ของพัดลมแบบแรงเหวี่ยง อากาศจะถูกดูดเข้ามาด้วยพัดลมแบบแรงเหวี่ยงและทำให้เกิดการจำลองของแรงลมซึ่งทำให้ตัวหมุนใบพัดของกังหันลมแบบเสายึดตรึงและกังหันลมลอยน้ำหมุน

โครงสร้างใบพัดส่วนแพนอากาศเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดประสิทธิภาพของการสร้างกำลังของกังหันที่ความเร็วลมต่างๆ โดยเลือกแพนอากาศรุ่น R1235 สำหรับการทดลองครั้งนี้ ตัวต้นแบบนี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้ทำงานในเขตภูมิประเทศความเร็วลมต่ำและทำให้เกิดแรงยกที่ใบกังหันสูงขึ้น และมีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ต่ำ ดังนั้นความเร็วลมตัดหน้าของแพนอากาศนี้จึงต่ำสุดที่ 2 เมตร/วินาที จึงเหมาะสำหรับเขตความเร็วลมต่ำที่มีความเร็วลมเฉลี่ย 4-5 เมตร/วินาที ภาพประกอบที่ 8 ได้เปรียบเทียบใบพัดกังหันลมที่มีความเร็วสูงในเชิงทฤษฎีและใบพัดรุ่น R1235 ซึ่งมีอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดที่สูงขึ้นที่ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังสูงสุดที่ 0.35 เมื่อเทียบกับใบพัดกังหันลมในเชิงทฤษฎี



ภาพที่ 8 อัตราส่วนความเร็วปลายใบของ R1235 [21]

วิธีการวัดข้อมูล

ภาพประกอบที่ 9 แสดงให้เห็นถึงวิธีการทดลองและวิธีการเพื่อวัดความเร็วลม อัตราความเร็วในการหมุนและมุมเอียงของกังหันลมลอยน้ำ โดยใช้ anemometer, tachometer และ angle meter ตามลำดับ ความเร็วลมจะได้รับการปรับให้เหมาะสมโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วลม สิ่งนี้จะขับเคลื่อนมอเตอร์ของพัดลมแบบแรงเหวี่ยงเพื่อให้บรรลุถึงความเร็วที่ต้องการได้ โดยต้องมีพิกัดความเร็วลมที่ 2-5.5 เมตร/วินาที และการทดลองมีการทำซ้ำสิบครั้งต่อความเร็วลมที่กำหนด

ภาพที่ 9 วิธีการวัดข้อมูล

ตัวแปรของกังหันลมที่วัดได้

ตัวแปรดังต่อไปนี้จะวัดได้ในอุโมงค์ลม

- ความเร็วลม

ความเร็วลมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้าและจำนวนรอบการหมุนของใบพัด การกำหนดค่าจะใช้ความเร็วลม 2-5.5 เมตร/วินาที ซึ่งตรงกับพิกัดความเร็วลมในประเทศไทย

- อัตราความเร็วในการหมุน

อัตราความเร็วในการหมุนคือจำนวนรอบการหมุนต่อนาทีเป็นหนึ่งในปัจจัยที่จำเป็นต่อการคำนวณอัตราส่วนความเร็ว ณ ปลายใบพัดของกังหันลม จำนวนการหมุนรอบหนึ่งต่อนาทีที่สูงขึ้นจะทำให้ใบพัดหมุนเร็วขึ้นเพื่อทำให้เกิดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่มากขึ้น

- มุมเอียง

มุมเอียงเกิดขึ้นจากการเยื้องศูนย์ตามแนวแกนตั้งของแนวแกนกังหันอันเนื่องมาจากการปะทะของแรงลมซึ่งทำให้โรเตอร์ออกห่างจากแนวแกน ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของใบกังหันจะลดลงซึ่งจะลดปริมาณการเปลี่ยนแปลงพลังงานของลม

ตัวแปรดังต่อไปนี้จะได้รับการตรวจสอบโดยใช้สมการในเชิงทฤษฎีสำหรับกังหันลม

- อัตราส่วนความเร็วปลายใบ (TSR)

TSR เป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วปลายใบและความเร็วลมที่แท้จริง สิ่งนี้จะมีผลกระทบทางอากาศพลศาสตร์ตามหลักการของความเร็วลม ขนาดของโรเตอร์และความเร็วเชิงมุมพร้อมกับค่าสัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมและเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มกำลังที่สร้างขึ้นมาจากลม โดยสมการของ TSR สามารถเขียนได้ดังนี้ [22]

$$TSR = \frac{U}{V} = \frac{\Omega R}{V} = \frac{2\pi NR}{V60} \tag{1}$$

เมื่อ U = ความเร็วสัมผัส (m/s), V = ความเร็วลม (m/s), Ω = ความเร็วเชิงมุม (rad/s), N = ความเร็วรอบของกังหันลม (rpm), R = รัศมีของใบพัดกังหัน (m)

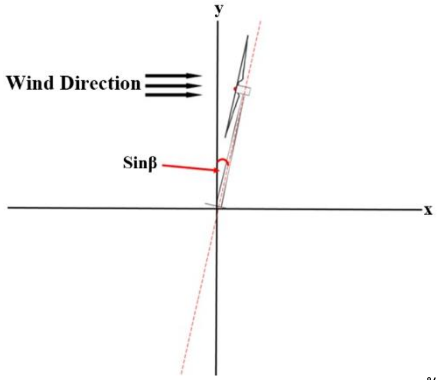
- กำลังการผลิตของกังหันลมลอยน้ำ

กังหันลมจะเปลี่ยนพลังงานจลน์ให้เป็นกำลังไฟฟ้า กำลังการผลิตจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญทั้งสองประการคือความเร็วลมและพื้นที่กวาดของกังหัน สมการของกำลังการผลิตสามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้ [23]:

$$P_W = \frac{1}{2}\rho A V^3 C_P \quad (2)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (1.225 kg/m^3), A = พื้นที่กวาด (m^2), V = ความเร็วลม (m/s), C_P = สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

ในสมการของกำลังการผลิต มุมเอียงจะพิจารณาเป็นปัยจัยในการลดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมลอยน้ำ เนื่องจากมุมเอียงมีผลกระทบต่อการลดลงของพื้นที่หน้าตัดและการแปลงพลังงานของลม ดังภาพประกอบที่ 10 แสดงให้เห็นถึงมุมเอียง (มุม beta) ที่เกิดขึ้นในกังหันลมลอยน้ำ เนื่องจากการปะทะของแรงลม



ภาพที่ 10 ข้อสมมติฐานของมุมเอียงของกังหันลมลอยน้ำ

สมมติให้เสากังหันลมตั้งฉากกับแนวแกน x ค่าตั้งต้นของตัวคูณลดกำลังมีค่าเป็น 1 ซึ่งเทียบเท่าได้กับ Sin 90° เมื่อกังหันลมเอียง ตัวคูณลดกำลังก็จะลดลงจากค่าตั้งต้นและเทียบเท่าได้กับ Sin (90^{o}- มุมเอียงของเสา) ดังที่แสดงเอาไว้ในภาพประกอบที่ 10 และเทียบเท่าได้กับค่าของ Sinβ ดังนั้น กำลังการผลิตของกังหันลมลอยน้ำ จึงสามารถเขียนได้เป็น:

$$P_w = \frac{1}{2}\rho A V^3 C_p sin\beta \quad (3)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยจากการทดลองของกังหันลมที่ได้แสดงเอาไว้ในตารางที่ 1 เป็นผลของกังหันลมแบบเสายึดติดอยู่กับที่พร้อมความเร็วลมและอัตราความเร็วในการหมุนโดยเฉลี่ย ส่วนตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลการทดลองของกังหันลมลอยน้ำ อันได้แก่ ความเร็วลม อัตราความเร็วในการหมุนและมุม beta

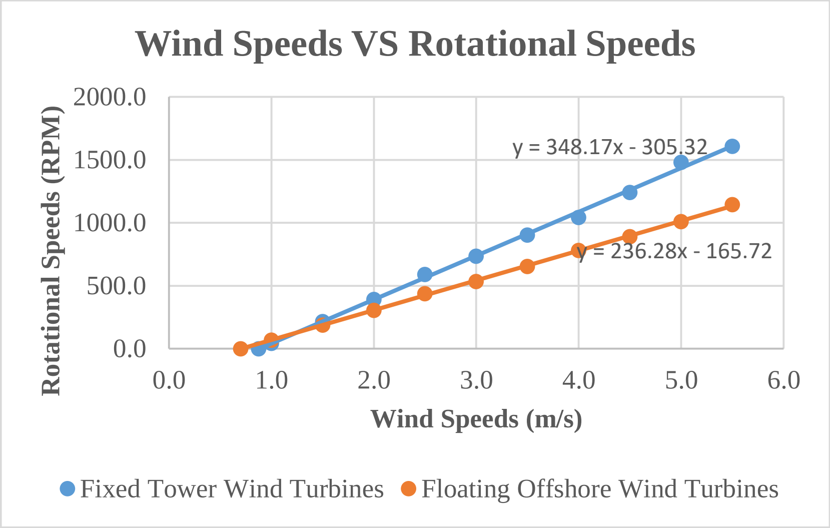
ตารางที่ 10 ข้อมูลการทดลองกังหันลมแบบเสายึดตรึง

ความเร็วลม (m/s)	**รอบต่อนาที (rpm)**
2.0	393.1
2.5	591.6
3.0	736.4
3.5	904.0
4.0	1043.9
4.5	1241.6
5.0	1483.0
5.5	1608.9

ตารางที่ 2 ข้อมูลการทดลองกังหันลมลอยน้ำ

ความเร็วลม (m/s)	รอบต่อนาที (rpm)	มุม β (degree)
2.0	307.1	3.5°
2.5	437.7	3.8°
3.0	534.6	3.9°
3.5	655.6	4.3°
4.0	781.1	4.7°
4.5	891.2	5.0°
5.0	1010.8	5.8°
5.5	1144.7	6.1°

ข้อมูลการทดลองทั้งสองชุดแสดงให้เห็นว่าอัตราความเร็วในการหมุนจะเป็นสัดส่วนกับความเร็วลม เนื่องจากความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น อัตราความเร็วในการหมุนก็ยังเพิ่มขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตาม ผลเนื่องจากอัตราความเร็วในการหมุนของกังหันลมลอยน้ำจะต่ำกว่าผลของกังหันลมแบบเสายึดตรึงที่เนื่องจากผลกระทบของมุม beta ต่อประสิทธิภาพของกังหัน



ภาพที่ 11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างความเร็วลมกับค่าความเร็วรอบของกังหันสองชนิด

ตารางที่ 3 ความเร็วลมและอัตราการลดลงของประสิทธิภาพระหว่างกังยึดตรึงและกังหันลมลอยน้ำ

ความเร็วลม (m/s)	รอบต่อนาที กังหันยึดตรึง (rpm)	รอบต่อนาที กังหันลมลอยน้ำ (rpm)	อัตราการลดลงของประสิทธิภาพ (%)
2.0	393.1	307.1	22
2.5	591.6	437.7	26
3.0	736.4	534.6	27
3.5	904.0	655.6	27
4.0	1043.9	781.1	25
4.5	1241.6	891.2	28
5.0	1483.0	1010.8	32
5.5	1608.9	1144.7	29

ภาพประกอบที่ 11 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบค่าอัตราความเร็วในการหมุนโดยเฉลี่ยระหว่างกังหันลมแบบเสายึดตรึงและกังหันลมลอยน้ำที่ความเร็วลมที่กำหนด การวิเคราะห์แนวโน้มเชิงเส้น (trendline analysis) จะถูกนำมาใช้เพื่อให้เหมาะสมกับตำแหน่งข้อมูลการทดลองและลดค่าความผิดพลาดโดยใช้แนวเชิงเส้น (linear fit) กราฟแสดงให้เห็นว่าผลจากอัตราความเร็วในการหมุนของกังหันลมลอยน้ำจะต่ำกว่ากังหันลมแบบเสายึดตรึงเนื่องจากการเยื้องศูนย์ตามแนวแกนตั้งของโรเตอร์ การกำหนดตำแหน่งของโรเตอร์ของกังหันลมเป็นปัจจัยที่สำคัญเนื่องจากการระบุตำแหน่งของโรเตอร์นั้นได้คำนึงถึงตำแหน่งที่ดีที่สุดที่กังหันลมจะได้รับประสิทธิภาพจากการแปลงพลังงานจากลม ดังนั้น การเพิ่มมุมเอียงให้ห่างออกไปจากการกำหนดค่าที่เหมาะสมจะทำให้ลดพลังงานลมที่สามารถผลิตได้ ซึ้งผลการวิจัยครั้งนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gumula et al. [6] ในปี ค.ศ. 2017 อีกด้วย อัตราส่วนความเร็วในการหมุนที่ลดลงระหว่างกังหันลมลอยน้ำและกังหันลมแบบเสายึดตรึงได้แสดงเอาไว้ในตารางที่ 3 การสูญเสียของอัตราความเร็วในการหมุนของกังหันลมลอยน้ำนั้นลดลงจากกังหันลมแบบยึดตรึง โดยจะมีความแตกต่างกันไปตั้งแต่ร้อยละ 22-32 ที่ความเร็วที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การผลิตกำลังการผลิตไฟฟ้ายังได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญจากมุมเอียง เกิดการเปลี่ยนแปลงของมุมปะทะบริเวณใบพัดส่วนโรเตอร์และพฤติกรรมทางอากาศพลศาสตร์ของใบพัดที่เปลี่ยนแปลงจากตำแหน่งที่เหมาะสม นอกจากนี้ พื้นที่หน้าตัดของพื้นที่กวาดของใบพัดยังมีความแตกต่างและได้รับผลกระทบจากการผลิตกำลังไฟฟ้าโดยตรงอีกด้วย

ทุกการทดลองจะดำเนินการที่ความเร็วลมตั้งแต่ 2-5.5 เมตร/วินาที เนื่องจากข้อจำกัดของอุโมงค์ลมเพื่อป้องกันความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นจากการสั่นรุนแรงของเครื่องมือทั้งหมดและป้องกันอุปกรณ์จากความเสียหาย

สรุปผลการวิจัย

การทดลองจะดำเนินการกับใบพัดส่วนแพนอากาศรุ่น R1235 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมลอยน้ำและกังหันลมแบบเสายึดตรึง ผลกระทบของมุมเอียงต่อประสิทธิภาพของตัวแบบทดลองได้ดำเนินการศึกษาและวิจัย ผลการวิจัยได้แสดงให้เห็นว่ามุมเอียงของโรเตอร์จะได้รับอิทธิพลมาจากลักษณะเฉพาะของพลังงานลม และได้รับผลกระทบ ในพื้นที่หน้าตัดของใบกังหันสำหรับประสิทธิภาพและการเปลี่ยนแปลงรูปแบบพลังงานลม นอกจากนี้อัตราส่วนความเร็วในการหมุนที่ลดลงที่เกิดขึ้นจากมุม beta ระหว่าง 3.5° - 6.1° ยังส่งผลก่อให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพตั้งแต่ร้อยละ 22-32 ที่ความเร็วลมต่างๆ

การศึกษาวิจัยเพิ่มเติมจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์พลังงาน (power coefficient) สำหรับแต่ละความเร็วลม ค่าของอัตราส่วนความเร็วปลายใบ และกราฟอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดรุ่น R1235 ในแต่ละความเร็วลมจะให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่แตกต่างกันไป กำลังการผลิตสำหรับตัวแบบทดลองทั้งคู่อาจจะตรวจสอบได้โดยใช้สมการกำลังการผลิตไฟฟ้าของลมร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์กำลังที่แตกต่างกันไป สุดท้าย ผลการวิจัยของกังหันลมลอยน้ำ ควรจะได้รับการเปรียบเทียบระหว่างตัวแบบทดสอบในอุโมงค์ลมและการทดสอบโดยใช้โปรแกรม computational fluid dynamics (CFD) เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ท่านคณาจารย์จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อสนับสนุนและ ให้ความรู้ และให้คำปรึกษาสำหรับบทความนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ใน การจัดหาห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการดำเนินการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] Thorium Energy World, (2017). **World Energy Situation** สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2562, จาก http://www.thoriumenergyworld.com/energy.html

[2] BP, (2018). **BP Statistical Review of World Energy 67th Edition** สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2562, จาก https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf

[3] Renewable Energy Network for the 21st Century (REN21), (2018) **Renewables 2018 Global Status Report** สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2562, จาก http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf

[4] National Renewable Energy Laboratory (NREL), (2011). **State of the Art in Floating Wind turbine Design Tools** สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2562, จาก https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/50543.pdf

[5] Ponta F.L., Otero A.D., Rajan A. (2016) Effects of Rotor Deformation in Wind-Turbine Performance: The Dynamic Rotor Deformation Blade Element Momentum Model (DRD–BEM). **Renewable Energy** 92:157-170

[6] Gumula S, Piaskowska M, Pytel K, Noga H. (2017) Evaluation of the Impact of Adjusting the Angle of the Axis of a Wind Turbine Rotor Relative to the Flow of Air Stream on Operating Parameters of a Wind Turbine Model. **E3S Web of Conferences 14**:

[7] Lehr J.H., Keeley J.W., (2016) **Alternative Energy and Shale Gas Encyclopedia**. New Jersey: Wiley Publication,

[8] Jaber S. (2013) Environmental Impacts of Wind Energy. **Journal of Clean Energy Technologies** 1:251-4.

[9] Lew D.J., (2009) Environmental Impacts of Wind Power. In: Goldemberg, J., **Energy/Environment**., Oxford: Eolss Publisher, 270-289.

[10] Waewsak J, Landry M, Gagnon Y. (2015) Offshore Wind Power Potential of the Gulf of Thailand. **Renewable Energy** 81:609-26.

[11] SNC-Lavalin Group, (2018) **Offshore Wind Handbook** สืบค้นเมื่อ 11 เมษายน 2562, จาก https://www.snclavalin.com/~/media/Files/S/SNC-Lavalin/documents/publications/o-g-offshore-wind-brochure_en.pdf

[12] Burger T., (2016) **Pros and Cons of Floating Platforms in Marine Renewable Energy** 11 เมษายน 2562, จาก https://pmiind.com/pros-cons-floating-platforms-marine-renewable-energy/

[13] Roynarin W., Development of 100 kW Small Wind Machine for the Floating Applications to Support the Island Energy Demand. ใน **4th International Conference on Wind Turbine and Renewable Energy**; วันที่ 19-21 พฤษภาคม 2559; Kangwon National University. Seoul.

[14] The Department of Alternative Energy Development (DEDE), (2009) **Wind Power and Its Potential in Thailand** สืบค้นเมื่อ 15 เมษายน 2562, จาก http://weben.dede.go.th/webmax/content/wind-power-and-its-potential-thailand

[15] Hughes K., (2019) **Solar Power vs. Wind Power Cost, Types, Pros & Cons of Home Wind & Solar** สืบค้นเมื่อ 15 เมษายน 2562, จาก https://www.letsgosolar.com/consumer-education/solar-power-wind-power/

[16] Clarke S., (2018) **Electricity Generation Using Small Wind Turbines at Your Home or Farm**, สืบค้นเมื่อ 15 เมษายน 2562, จาก http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/18-005.pdf

[17] Mahmoud M.S., Xia Y. (2012). **Applied Control System Design**. London: Springer-Verlay London Limited,

[18] International Renewable Energy Agency (IRENA), (2016) **Floating Foundations: A Game Changer for Offshore Wind Power**, สืบค้นเมื่อ 17 เมษายน 2562, จาก https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Offshore_Wind_Floating_Foundations_2016.pdf

[19] Carbon Trust, (2015) **Floating Offshore Wind: Market and Technology Review**, สืบค้นเมื่อ 17 เมษายน 2562, จาก from: https://www.carbontrust.com/media/670664/floating-offshore-wind-market-technology-review.pdf

[20] Damiani R.R., (2016) Design of Offshore Wind Turbine Towers. In: Ng C, Ran L, **Offshore Wind Farms: Technologies, Design and Operation**, Cambridge: Woodhead Publisher, 263-357.

[21] Roynarin, W. (2004) **Optimization of Vertical Axis Wind Turbines**. Ph.D. dissertation. Newcastle: Northumbria University.

[22] Cao H. (2011) **Aerodynamics Analysis of Small Horizontal Axis Wind Turbine Blades by Using 2D and 3D CFD Modelling**. MSc thesis. Preston: University of Central Lancashire.

[23] Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L., (2009) **Wind Energy Explained**, 2 Eds., West Sussex: John Wiley & Sons Ltd,

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบสามเหลี่ยม

Heat transfer augmentation in solar air heat with triangular-rib roughness on absorber plate

ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์ [1], พงษ์เจต พรหมวงศ์ [2], พิทักษ์ พร้อมไธสง [3], จิตกร กนกนัยการ [4] และ สมพล สกุลหลง [5*]

[1] แขนงเทคโนโลยีเครื่องกล สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี 321 ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

[3] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530

[4] สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกลและยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง 19 หมู่ 11 ตำบลหนองละลอก อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง 21120

[5] กลุ่มวิจัยระบบพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา 199 หมู่ 6 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการทดลองการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบสามเหลี่ยมและเปรียบเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนแบบดั้งเดิมหรือผิวเรียบ โดยครีบสามเหลี่ยมบนแผ่นดูดซับความร้อนมีความสูง 4 ค่า คือ b = 3, 6, 9 และ 12 mm และระยะพิตช์ P = 30 mm อากาศที่ไหลผ่านท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์อยู่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 5200 ถึง 23,500 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงกว่าท่อผิวเรียบเป็นอย่างมาก ครีบที่มีความสูง 12 mm มีค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงสุดตามด้วยครีบที่มีความสูง 9, 6 และ 3 mm ตามลำดับ โดยมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 3.3 เท่า ขณะที่ความเสียดทานมีค่าสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 15.7 เท่า เมื่อเปรียบเทียบในเชิงสมรรถนะพบว่าสมรรถนะเชิงความร้อนกรณีใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบให้ค่าสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ

คำสำคัญ: การถ่ายเทความร้อน เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ แผ่นดูดซับความร้อน สมรรถนะเชิงความร้อน

บทนำ

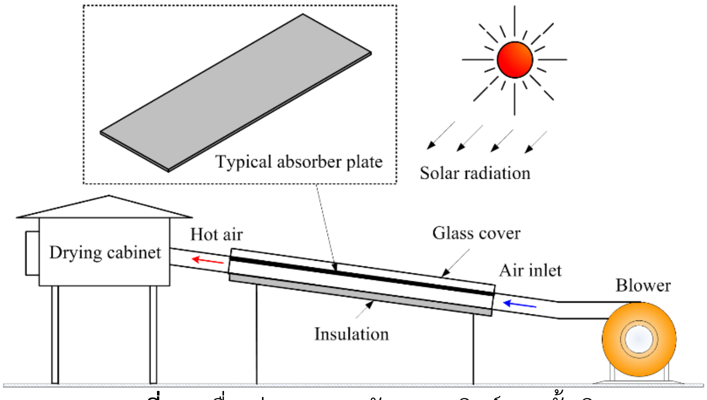
พลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างไม่จำกัดบนโลก ต่างจากพลังงานฟอสซิลที่เริ่มลดลงเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ความต้องการทางด้านพลังงานรวมทั้งความสะดวกสบายของมนุษย์ ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ให้เกินประโยชน์สูงสูงเพื่อทดแทนพลังงาน

---

*Corresponding author E-mail: sfengsps@src.ku.ac.th, sompol@eng.src.ku.ac.th

ฟอสซิลที่เริ่มลดลง พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่สะอาดปราศจากมลพิษและมีอยู่อย่างไม่จำกัดบนโลกโดยสามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้ารวมทั้งอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรได้อีกด้วย

เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ (solar air heater) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่การดึงความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การบ่มผลไม้ การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร เป็นต้น ซึ่งส่วนที่สำคัญในการดูดซับแสงอาทิตย์คือแผ่นดูดซับความร้อน (absorber plate) อย่างไรก็ตามแผ่นดูดซับความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมให้ค่าการถ่ายเทความร้อนค่อนข้างต่ำเนื่องจากเป็นแผ่นเรียบ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม

ดังนั้นจึงมีการพัฒนาแผ่นดูดซับความร้อนอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทั้งสมรรถนะให้แก่เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วน เช่น ครีบ ร่อง ปีก และแผ่นกั้น เป็นต้น โดย Singh et al. [1] ทำการทดลองโดยใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบรูปตัววีแยกตัวเพื่อเพิ่มถ่ายเทความร้อนของอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งครีบรูปตัววีแยกตัวบนแผ่นดูดซับความร้อน มีค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงขึ้น 3.04 และ 3.11 เท่า เมื่อเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนแบบดั้งเดิมหรือท่อผิวเรียบ ต่อมา Zhou and Ye [2] ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับคุณลักษณะทางความร้อนและการไหลกรณีติดตั้งปีกสี่เหลี่ยมคางหมูผิวโค้งที่บนแผ่นดูดซับความร้อน ผลการทดลองพบว่า ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดพบที่การจัดวางปีกที่มีมุมปะทะสูง Tamna et al. [3] ทำการศึกษาเชิงทดลองร่วมกับการวิเคราะห์เชิงตัวเลขกรณีติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีบนแผ่นดูดซับความร้อนภายในท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทั้งสมรรถนะเชิงความ จากงานวิจัยพบว่า การติดตั้งแผ่นกั้นบนแผ่นดูดซับความร้อนด้านเดียวให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดและผลการทดลองมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลข Kumar and Kim [4] ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขกรณีติดตั้งครีบรูปตัววีต่อการเพิ่มการถ่ายเทความภายในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขพบว่า การจัดวางครีบรูปตัววีที่มีสัดส่วนความกว้างเท่ากับ 6 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด Jin et al. [5] ศึกษาเชิงตัวเลขของพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งครีบรูปตัววีต่อเนื่องบนแผ่นดูดซับความร้อน พบว่า การติดตั้งครีบที่มุมปะทะ 45° ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด Pandey et al. [6] ทำการทดลองเพื่อเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แผ่นดูดซับความร้อนชนิดผิวโค้งแบบเว้นช่วง ผลการทดลองพบว่า การใช้แผ่นดูดซับความร้อนผิวโค้งแบบเว้นช่วงให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทางสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนแบบธรรมดาถึง 5.85 และ 4.96 เท่า ตามลำดับ Skullong et al. [7] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการต้านทานการไหลภายในท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นดูดซับความร้อนชนิดร่องผสมปีกพรุน จากการทดลองพบว่า แผ่นดูดซับความร้อนชนิดร่องผสมปีกพรุนให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการใช้แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบถึง 6 เท่า

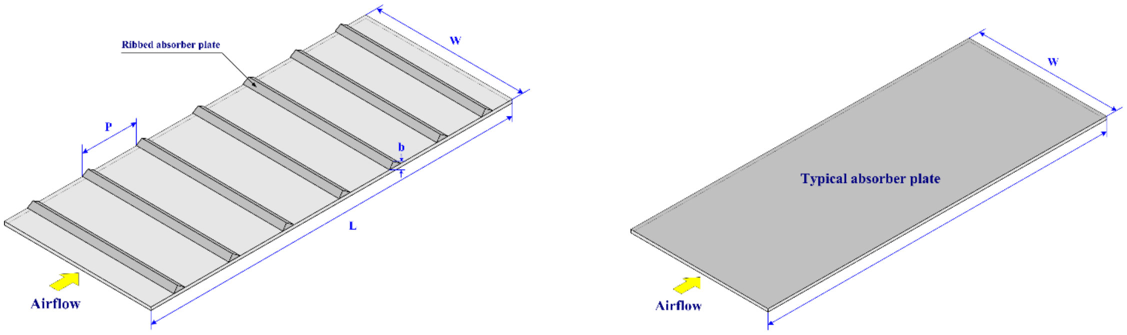
จากงานวิจัยในอดีตทั้งงานทางด้านการทดลองรวมทั้งการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งครีบ (rib) บนแผ่นดูดซับความร้อนช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทั้งสมรรถนะเชิงความร้อนให้แก่เครื่องอุ่นอากาศพลัง

แสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบ (ribbed absorber plate) รูปทรงสามเหลี่ยมเพื่อเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนรวมทั้งสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ และทำการเปรียบเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนแบบดั้งเดิมหรือแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ (typical absorber plate) โดยใช้แผ่นฮีตเตอร์จำลองเป็นพลังงานแสงอาทิตย์และจ่ายความร้อนให้แก่แผ่นดูดซับความร้อนในสภาวะฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Constant heat flux) การทดลองใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่มีค่าเลขเรย์โนลดส์ (Reynolds number, Re) ระหว่าง 5200 ถึง 23,500

วิธีการวิจัย

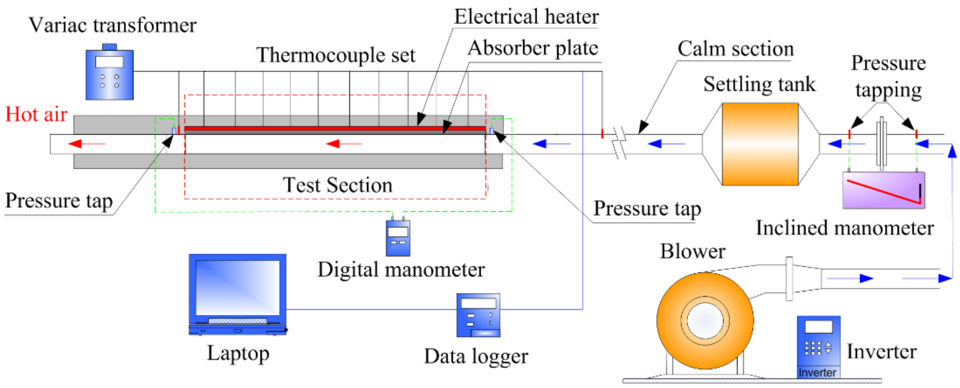
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบรูปทรงสามเหลี่ยมความยาว (L) 420 มิลลิเมตร กว้าง (W) 300 มิลลิเมตร และสูง (H) 30 มิลลิเมตร โดยครีบสามเหลี่ยมมีความสูง 3 ค่า คือ b = 3, 6, 9 และ 12 มิลลิเมตร และระยะพิตช์ P = 30 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 2 แผ่นดูดซับความร้อนถูกให้ความร้อนด้วยแผ่นฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2000 วัตต์ (จำลองเป็นพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์) และมีการหุ้มฉนวนอย่างดีเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอก อุปกรณ์ชุดทดลองเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยพัดลมเป็นตัวขับเคลื่อนอากาศเข้าสู่ส่วนทดสอบที่มีแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบรูปทรงสามเหลี่ยมและแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ โดยเทอร์โมคัปเปิลชนิด T (T-type thermocouple) จำนวน 12 ตัว ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อนและอีก 2 ตัว ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิทางเข้าและทางออกส่วนทดสอบ โดยอุณหภูมิทั้งหมดจะส่งสัญญาณไปยัง Data Logger รุ่น FLUKE 2680A และประมวลผลมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ ขณะที่ดิจิตอลมานอมิเตอร์ถูกนำมาใช้ในการวัดค่าความดันตกคร่อมส่วนทดสอบ ค่าความแม่นยำของเครื่องมือและอุปกรณ์การวัดแสดงรายละเอียดในเอกสารอ้างอิง [3,7]



(ก) (ข)

ภาพที่ 2 (ก) แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบรูปทรงสามเหลี่ยมและ (ข) แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ



ภาพที่ 3 เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์

การวิเคราะห์

การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อน การสูญเสียความดัน และสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์แสดงดังนี้

สมดุลความร้อนระหว่างความร้อนที่อากาศได้รับ (Q_{air}) และการพาความร้อน (Q_{conv}) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q_{\mathrm{air}} = Q_{\mathrm{conv}} \quad (1)$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h) หาค่าได้จาก

$$h = \frac{\dot{m}C_{\mathrm{p}}(T_{\mathrm{o}} - T_{\mathrm{i}})}{A(\tilde{T}_{\mathrm{w}} - T_{\mathrm{b}})} \quad (2)$$

เมื่อ $T_{\mathrm{b}} = (T_{\mathrm{o}} + T_{\mathrm{i}})/2$ และ $\tilde{T}_{\mathrm{w}} = \sum T_{\mathrm{w}}/12$

เลขนัสเซิลท์เฉลี่ย (Nu) หาได้จาก

$$\mathrm{Nu} = hD_{\mathrm{h}}/k \quad (3)$$

การไหลของอากาศแสดงในเทอมของเลขเรย์โนลด์ซึ่งขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิค (D_{h}) สามารถหาได้ดังนี้

$$\mathrm{Re} = UD_{\mathrm{h}}/\nu \quad (4)$$

ตัวประกอบเสียดทาน (f) หาค่าได้จาก

$$f = \frac{2}{\left(L/D_{\mathrm{h}}\right)}\frac{\Delta P}{\rho U^2} \quad (5)$$

A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนโดยการพาของแผ่นดูดซับความร้อน

C_{p} คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ

T_{o} คือ อุณหภูมิทางออก

T_{i} คือ อุณหภูมิทางเข้า

$\tilde{T}_{\mathrm{w}}$ คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยของแผ่นดูดซับความร้อน

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

U คือ ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ

ν คือ ความหนืดเชิงจลน์ของอากาศ

สมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal enhancement factor, TEF) จากเอกสารอ้างอิง [1–7] ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\mathrm{TEF} = \left(\frac{\mathrm{Nu}}{\mathrm{Nu}_0}\right)\left(\frac{f}{f_0}\right)^{-1/3} \quad (6)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ

เพื่อความถูกต้องในการทดลอง การตรวจสอบแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นก่อนติดตั้งครีบบนแผ่นดูดซับความร้อนจึงมีการตรวจสอบแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบโดยเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter สำหรับค่าการถ่ายเทความร้อน และสหสัมพันธ์ของ Blasius สำหรับค่าตัวประกอบเสียดทาน จากเอกสารอ้างอิง [8] โดยสหสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ

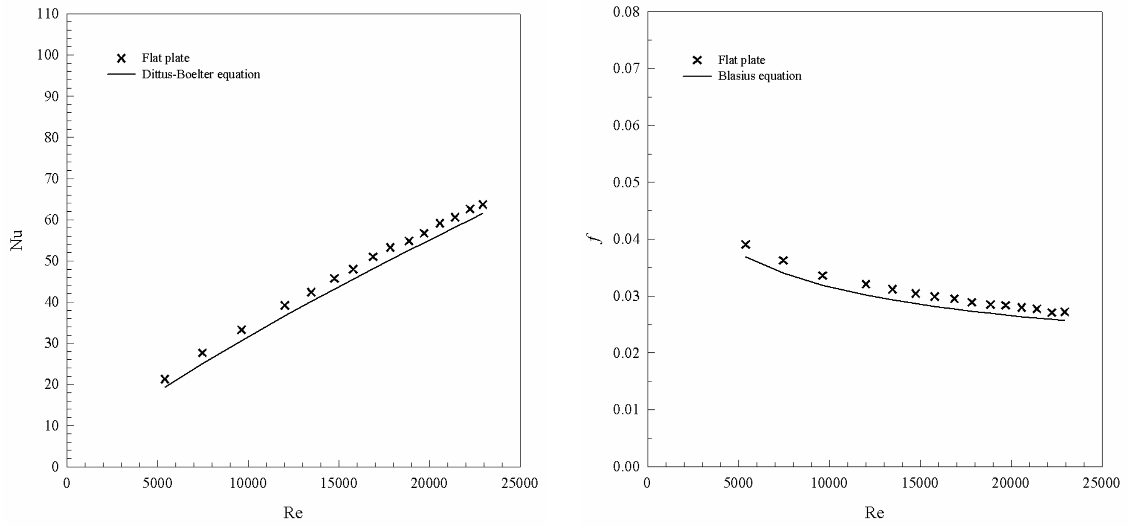
สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter

$$\mathrm{Nu} = 0.023\,\mathrm{Re}^{0.8}\,\mathrm{Pr}^{0.4} \quad (7)$$

สหสัมพันธ์ของ Blasius

$$f = 0.316\,\mathrm{Re}^{-0.25} \quad (8)$$

รูปที่ 4 (ก) และ (ข) แสดงการเปรียบเทียบค่า Nu และ f ระหว่างผลการทดลองกรณีแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบกับสหสัมพันธ์จากสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ พบว่า ค่า Nu มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย เท่ากับ 7.6% ขณะที่ f มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 8.3% โดยผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับสหสัมพันธ์ ดังนั้นจึงสามรถติดตั้งครีบแผ่นดูดซับความร้อนและทำการทดลองแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบต่อไป



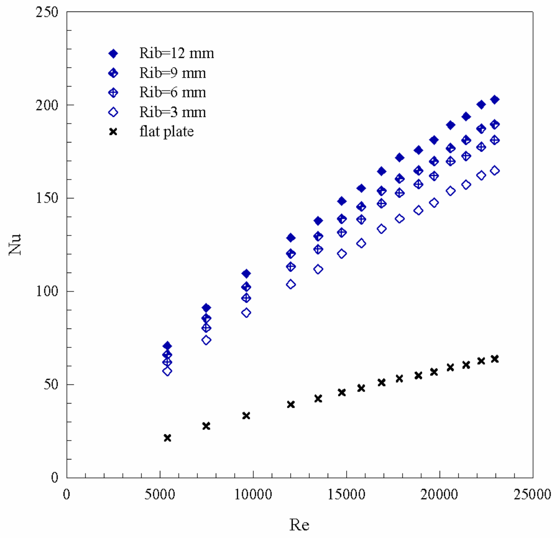
(ก) (ข)

ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) Nu และ (ข) f กับ Re กรณีแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ

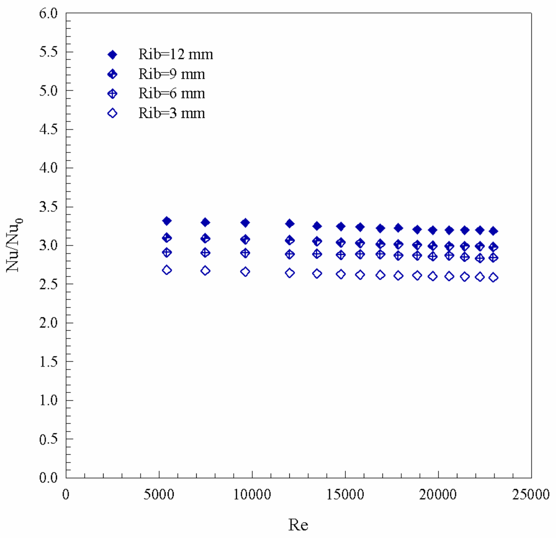
การถ่ายเทความร้อน

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนในพจน์ Nu กับการไหลในพจน์ Re แสดงดังภาพที่ 5 (ก) จากการทดลองพบว่า ค่า Nu เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่า Re การใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบความสูง 12 mm ให้ค่า Nu สูงสุดตามด้วยความสูง 9, 6 และ 3 mm ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบความสูง 12 mm มีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนมากกว่าครีบความสูงอื่นๆ ทำให้สามารถเพิ่มระดับความปั่นป่วนและขัดขวางการพัฒนาชั้นขอบเขตความร้อน (thermal boundary layer) บนแผ่นดูดซับความร้อนได้ดีส่งผลให้การถ่ายเทความสูงขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบพบว่าการใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบให้ค่า Nu สูงกว่าถึง 2.6–3.3 เท่า

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กรณีใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบต่อเลขนัสเซิลท์ของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ (Nu/Nu_0) กับค่า Re แสดงดังภาพที่ 5 (ข) โดยพบว่าค่า Nu/Nu_0 มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบสามารถช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้เป็นอย่างดี โดยกรณีครีบ ความสูง 12, 9, 6 และ 3 mm มีค่า Nu/Nu_0 เฉลี่ยเท่ากับ 3.2, 3.0, 2.9 และ 2.7 ตามลำดับ



(ก)



(ข)

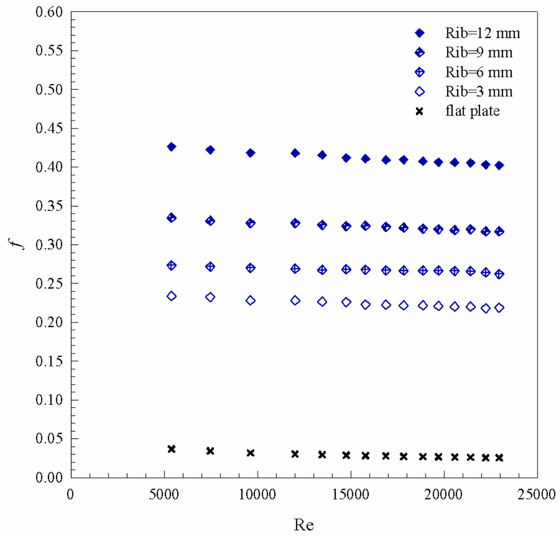
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) Nu และ (ข) Nu/Nu_0 กับ Re

ความเสียดทาน

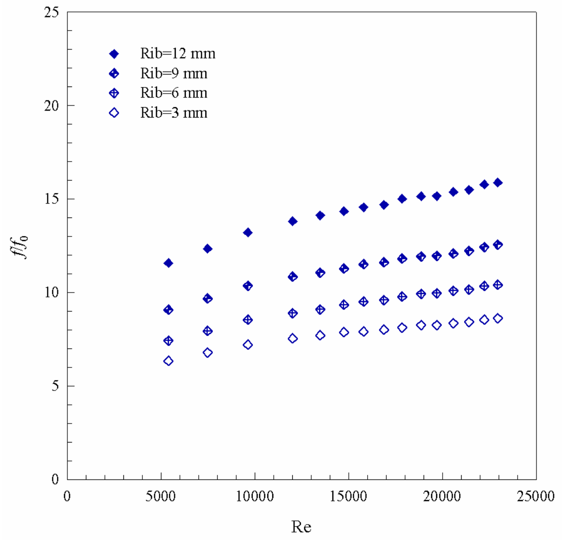
การต้านทานการไหลของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นดูดซับความร้อนแสดงในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (*f*) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0)

ภาพที่ 6 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า *f* กับ Re จากภาพแสดงให้เห็นถึงความเสียดทานที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบเนื่องจากการใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบมีพื้นที่ในการขัดขวางการไหลของของไหลมาก ทำให้ของไหลเพิ่มระดับความปั่นป่วนและก่อให้เกิดความเสียดทางสูงขึ้นโดยเฉพาะครีบที่มีความสูง 12 mm การใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบมีค่า *f* สูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 6.3–15.7 เท่า ซึ่งกรณีครีบความสูง 12 mm มีค่า *f* สูงสุด ตามด้วยครีบความสูง 9, 6 และ 3 mm ตามลำดับ

ภาพที่ 6 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกรณีแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบต่อตัวประกอบเสียดทานของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ (f/f_0) พบว่า เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า f/f_0 เพิ่มขึ้นตาม โดย f/f_0 มีค่าเฉลี่ย 14.4, 11.3, 9.4 และ 7.9 สำหรับกรณีครีบความสูง 12, 9, 6 และ 3 mm ตามลำดับ



(ก)

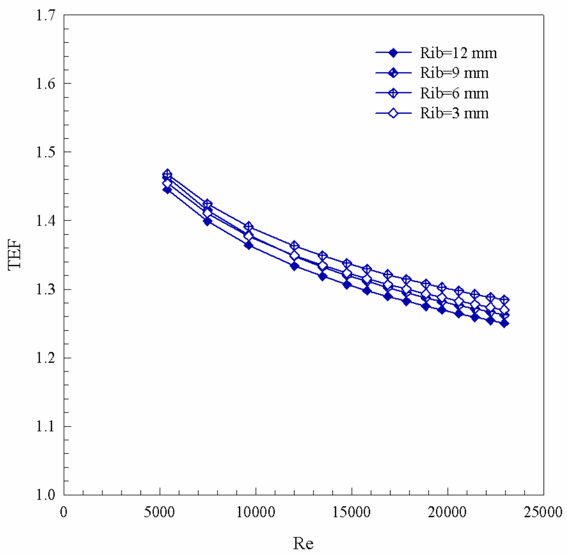


(ข)

ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) *f* และ (ข) f/f_0 กับ Re

สมรรถนะเชิงความร้อน

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินผลสมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์คือสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal Enhancement Factor, TEF) จากสมการที่ (6) และความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re แสดงดังภาพที่ 7 โดยพบว่าค่า TEF มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น การใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบมีค่า TEF อยู่ในช่วง 1.26–1.45, 1.27–1.47, 1.31–1.49 และ 1.29–1.48 สำหรับกรณีครีบความสูง 12, 9, 6 และ 3 mm ตามลำดับ การใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบความสูง 6 mm มีค่า TEF สูงสุดเท่ากับ 1.49 อย่างไรก็ตามแม้ว่าแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบความสูง 6 mm ไม่ได้ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดก็ตามแต่ค่าตัวประกอบเสียดทานก็มีค่าไม่สูงมากด้วยเช่นกัน เมื่อนำมาคำนวณหาค่าสมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ (สมการที่ 6) ส่งผลให้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบที่มีความสูง 6 mm มีค่า TEF สูงสุดสำหรับกรณีทดสอบนี้



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง TEF กับ Re

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบสามเหลี่ยมต่อการถ่ายเทความร้อน ความเสียดทาน และสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ในช่วงการไหลปั่นป่วนที่ค่า Re = 5200–23,500 พบว่าการใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบถึง 3.3 เท่า โดยแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบความสูง 12 mm ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานสูงสุด ขณะที่ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดในกรณีทดสอบพบที่กรณีแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบความสูง 6 mm โดยมีค่าเท่ากับ 1.49

เอกสารอ้างอิง

[1] Singh, S., Chander, S., Saini, J.S. (2011). Heat transfer and friction factor correlations of solar air heater ducts artificially roughened with discrete V-down ribs, Energy, vol. 36, 2011, pp. 5053–5064.

[2] Zhou, G.B., Ye, Q.L. (2012). Experimental investigations of thermal and flow characteristics of curved trapezoidal winglet type vortex generators, Applied Thermal Engineering, vol. 37, pp. 241–248.

[3] Tamna, S., Skullong, S., Thianpong, C., Promvonge, P. (2014). Heat transfer behaviors in a solar air heater channel with multiple V-baffle vortex generators, Solar Energy, vol. 110, pp. 720–735.

[4] Kumar, A., Kim, M.H. (2015). Effect of roughness width ratios in discrete multi V-rib with staggered rib roughness on overall thermal performance of solar air channel, Solar Energy, vol. 119, pp. 399–414.

[5] Jin, D., Zhang, M., Wang, P., Xu, S. (2015). Numerical investigation of heat transfer and fluid flow in a solar air heater duct with multi V-shaped ribs on the absorber plate, Energy, vol. 89, 2015, pp. 178–190.

[6] Pandey, N.K., Bajpai, V.K., Varun. (2016). Experimental investigation of heat transfer augmentation using multiple arcs with gap on absorber plate of solar air heater, Solar Energy, vol. 134, pp. 314–326.

[7] Skullong, S., Promvonge, P., Thianpong, C., Pimsarn, M. (2016). Thermal performance in solar air heater channel with combined wavy-groove and perforated-delta wing vortex generators, Applied Thermal Engineering, vol. 100, pp. 611–620.

[8] Incropera, F.P., Dewitt, P.D., Bergman, T.L., Lavine, A.S. (2012). Foundations of Heat Transfer, sixth ed., John-Wiley & Sons Inc.

ผลของอุณหภูมิร่วมที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนของปั๊มความร้อนแบบแคสเคด เมื่อใช้สารผสมแบบซีโอทรอปิคสำหรับการทำความร้อนและความเย็นพร้อมกัน

Effect of Intermediate Temperature on Thermal Performance of Cascade Heat Pump with Zeotropic Mixtures for Simultaneous Heating and Cooling

ปริชญ์ พงษ์สาระนันทกุล[1] และ อรรถกร อาสนคำ[2*]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

บทคัดย่อ

การทำความร้อนและความเย็นพร้อมกันในกรณีที่ผลต่างอุณหภูมิทางด้านร้อนและด้านเย็นมีค่าสูง ปั๊มความร้อนแบบวงจรเดียวอาจไม่สามารถทำงานได้หรือมีสมรรถนะต่ำ ปั๊มความร้อนแบบแคสเคดจึงถูกนำมาใช้เพื่อยังคงค่าสมรรถนะให้มีค่าสูง งานวิจัยนี้ใช้สารทำงานเป็นสารผสมแบบซีโอทรอปิค ซึ่งเลือกจากสารเดี่ยวมาผสมกันที่สัดส่วนต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับอุณหภูมิการใช้งาน ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย สารผสมแบบซีโอทรอปิคจะช่วยลดสภาพย้อนกลับไม่ได้ ทำให้ระบบมีการใช้พลังงานลดลง โดยงานวิจัยนี้จะพิจารณาผลของอุณหภูมิร่วม ที่มีต่อปั๊มความร้อนแบบแคสเคดที่ทำงานในช่วงอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ 2 °C และ 80 °C ตามลำดับ ข้อมูลสมบัติของสารทำงานนำมาจากโปรแกรม REFPROP

ผลการศึกษาพบว่า สำหรับสารผสมนั้นอุณหภูมิร่วมที่เหมาะสมอยู่ที่ $n \times \frac{T_{cond,HS}+T_{evap,LS}}{2}$ โดย n มีค่าอยู่ระหว่าง 0.8-0.9 แทนที่จะเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์เช่นเดียวกับกรณีของสารเดี่ยว เมื่อพิจารณาจากความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยในการใช้งาน พบว่าคู่สารที่ควรนำมาใช้ในวงจรอุณหภูมิสูงคือ R1233zd/R152a ในสัดส่วน 0.5/0.5 ทำงานร่วมกับคู่สารในวงจรอุณหภูมิต่ำ R134a/R32 ในสัดส่วน 0.3/0.7 ซึ่งจะให้ค่า COP การทำความร้อนและความเย็นพร้อมกันสูงสุดคือ 7.38

คำสำคัญ : ปั๊มความร้อนแบบแคสเคด, สารผสมแบบซีโอทรอปิค, การทำความร้อนและความเย็น, อุณหภูมิร่วม

บทนำ

ในปัจจุบันมีการนำปั๊มความร้อนมาใช้เพื่อทำความร้อนและความเย็นพร้อมกัน ทำให้สมรรถนะในภาพรวมมีค่าสูงขึ้น ปั๊มความร้อนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น ด้านเกษตรกรรมสำหรับการอบแห้งและการทำความเย็นผลผลิตทางการเกษตร เป็นต้น แต่การทำความร้อนและความเย็นพร้อมกันนั้น ในบางเงื่อนไขจะมีผลต่างอุณหภูมิสูง ซึ่งการใช้ปั๊มความร้อนแบบวงจรเดียวจะมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงาน (COP) ต่ำ [1] ดังนั้นจะต้องใช้ปั๊มความร้อนแบบแคสเคด ซึ่งจะมีสองวงจร ได้แก่ วงจรอุณหภูมิสูง (High Stage cycle, HS) และวงจรอุณหภูมิต่ำ (Low Stage cycle, LS) มาเชื่อมเข้าด้วยกันโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนร่วม (Intermediate heat exchanger) ซึ่งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนร่วมนี้จะทำหน้าที่เป็นอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ให้กับ HS และ LS ตามลำดับ

*Corresponding author: Tel.: 092-4590550. E-mail address: at.kham88@gmail.com

ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อนมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน ได้แก่ สารทำงาน โดยสารทำงานจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการนำความร้อนและความเย็นไปสู่แหล่งที่ต้องการ สำหรับปั๊มความร้อนแบบแคสเคดนั้น จำเป็นต้องเลือกสารทำงานที่มีความเหมาะสมต่อทั้ง HS และ LS โดยในการพิจารณาสารทำงานจะพิจารณาถึง ความปลอดภัยของสารทำงาน (Safety group) ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากค่า ODP และ GWP งานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการเลือกใช้สารทำงานสำหรับ HS และ LS ของปั๊มความร้อนแบบแคสเคด เช่น J. Sarkar et al. 2015 [2] นำปั๊มความร้อนแบบแคสเคดมาใช้สำหรับทำความเย็น โดยใช้ NH_3 สำหรับ HS และ Propylene สำหรับ LS ซึ่งสามารถทำความเย็นที่อุณหภูมิ -40 °C อุณหภูมิคอนเดนเซอร์ 40 °C โดยมี COP ในการทำความเย็น 1.71 Z. Sun *et al* 2016 [3] ได้ทดสอบการนำปั๊มความร้อนแบบแคสเคดมาใช้ในระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิ -40 °C โดยมีอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ 40 °C ซึ่งใช้ R404A สำหรับ HS และใช้ R23, R41 สำหรับ LS พบว่ามี COP ในการทำความเย็น 1.51 และ 1.47 ตามลำดับ

จะเห็นว่าสารทำงานที่มีใช้ในปั๊มความร้อนส่วนมากนั้นเป็นสารทำงานแบบสารเดี่ยว ซึ่งพบว่าก่อให้เกิดสภาพการย้อนกลับไม่ได้ (Irreversibility) ขณะที่แลกเปลี่ยนความร้อนในอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ส่งผลให้ความต้องการงานที่ปั๊มความร้อนมีค่าสูง จึงได้มีการพัฒนาสารทำงานที่ช่วยลดสภาพการย้อนกลับไม่ได้ นั่นคือการใช้สารทำงานเป็นสารผสมแบบซีโอทรอปิค ซึ่งเป็นการนำสารทำงานแบบเดี่ยวที่มีจุดเดือดต่างกันมาจับคู่กันเป็นสารผสม โดยการทำงานจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารระหว่างการเปลี่ยนสถานะ ทำให้อุณหภูมิแตกต่างที่แลกเปลี่ยนความร้อนในอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์มีค่าลดลง ส่งผลให้งานที่ใช้ในวัฏจักรลดลง [4]

ปัจจัยต่อมาที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อนแบบแคสเคดคืออุณหภูมิร่วม (Intermediate Temperature) ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์ของ HS หรืออุณหภูมิคอนเดนเซอร์ของ LS อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้เป็นอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ของ LS โดยอุณหภูมิร่วมต้องเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมจึงจะได้สมรรถนะการทำงานที่ดี ตามทฤษฎีการใช้สารเดี่ยวในปั๊มความร้อนแบบแคสเคดนั้น จะกำหนดอุณหภูมิร่วมให้เป็นค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ของ HS และอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์ของ LS [5] โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาผลของอุณหภูมิร่วมในปั๊มความร้อนแบบแคสเคดเมื่อใช้สารเดี่ยวเป็นสารทำงาน เช่น A. H. Tarrad 2017 [6] ใช้ปั๊มความร้อนแบบแคสเคดทำความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C อุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์ -2 °C พบว่าที่อุณหภูมิร่วมในช่วง 33-37 °C ทำให้ระบบมี COP การทำความร้อนสูงสุดที่ประมาณ 2.8 เทียบกับที่อุณหภูมิร่วม 29 °C ซึ่งมี COP ในการทำความร้อน 2.2 C.O. Suong and A. Asanakham 2019 [7] ได้เลือกสารเดี่ยวชนิดต่าง ๆ มาใช้ในปั๊มความร้อนแบบแคสเคดเพื่อทำความร้อนและความเย็นพร้อมกันที่ 80 °C และ 2 °C ตามลำดับ พบว่าการใช้ R601/R600a ที่อุณหภูมิร่วมเป็น 42 °C ทำให้เกิด COP ในการทำความร้อนและความเย็นสูงสุดที่ 6.36 แต่หากอุณหภูมิร่วมเป็น 30 °C หรือ 50 °C จะทำให้ COP ลดลงเหลือประมาณ 6.24

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่า เมื่อใช้สารเดี่ยวในปั๊มความร้อนแบบแคสเคด อุณหภูมิร่วมที่ทำให้ระบบมีสมรรถนะการทำงานสูงสุดจะเกิดขึ้นใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ของ HS และอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์ของ LS แต่การใช้สารผสมนั้นยังไม่มีรายงานในการหาอุณหภูมิร่วมที่ทำให้เกิดสมรรถนะสูงสุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะหาผลของอุณหภูมิร่วมที่มีต่อสมรรถนะการทำความร้อนและความเย็นพร้อมกันของปั๊มความร้อนแบบแคสเคดเมื่อใช้สารผสมแบบซีโอทรอปิคที่สัดส่วนผสมต่าง ๆ โดยเลือกสารจากอุณหภูมิการใช้งาน ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเลือกสารทำงาน

งานวิจัยนี้ได้เลือกสารเดี่ยวต่าง ๆ โดยใช้สารที่จุดเดือดสูงกับ HS และจุดเดือดต่ำกับ LS เพื่อที่จะนำมาผสมกันเป็นสารผสมแบบซีโอทรอปิคสำหรับทำความร้อนและความเย็นพร้อมกัน โดยมีสมบัติของสารทำงานแสดงตามตารางที่ 1

2.2 ระบบปั๊มความร้อนแบบแคสเคด

ปั๊มความร้อนแบบแคสเคดแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย HS และ LS มาต่อเชื่อมกันโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนร่วม (Intermediate Heat exchanger) เพื่อทำความร้อนและความเย็นพร้อม ๆ กัน โดยมีอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ของ HS อยู่ที่ 80 °C และอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์ของ LS อยู่ที่ 2 °C ซึ่ง HS จะต่อเข้ากับถังเก็บน้ำร้อน ส่วน LS จะต่อเข้ากับถังเก็บน้ำเย็น สารทำงานจะไหลผ่านอีวาโปเรเตอร์ของ LS เพื่อดึงความร้อนจากน้ำที่ถังเก็บน้ำเย็นทำให้น้ำมีอุณหภูมิต่ำลงและใน

ตารางที่ 1 สมบัติของสารทำงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ [8]

Refrigerant	Normal Boiling Point (°C)	Critical Temperature (°C)	ODP	GWP	Safety Group
R245fa (HS)	15.1	154.0	0	1050	B1
R1233zd (HS)	27.7	165.6	0	20	A1
R601 (HS)	36.1	196.6	0	≈20	A3
R600 (HS)	-0.5	152.0	0	≈20	A3
R134a (LS)	-26.1	101.1	0	1370	A1
R32 (LS)	-51.7	78.1	0	716	A2L
R143a (LS)	-47.2	72.7	0	4180	A2L
R600a (LS)	-11.7	134.7	0	≈20	A3

ODP คือ Ozone Depletion Potential (ค่าแสดงระดับการทำลายโอโซน)

GWP คือ Global Warming Potential (ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน)

Safety Group คือ ตัวชี้วัดความปลอดภัยของสารทำงาน เช่น A แสดงถึงการไม่ติดไฟ 1 แสดงถึงความเป็นพิษต่ำ

ขณะเดียวกันสารทำงานจะถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำงานใน HS ที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนร่วม และถ่ายเทความร้อนผ่านคอนเดนเซอร์ของ HS ให้แก่น้ำในถังเก็บน้ำร้อนทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นและถูกเก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยอุณหภูมิร่วมมีความสำคัญต่อปั๊มความร้อนแบบแคสเคดคือ เมื่ออุณหภูมิร่วมเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม จะส่งผลให้ระบบมีสมรรถนะสูง แต่หากเลือกอุณหภูมิร่วมผิด จะทำให้สมรรถนะของระบบลดลง

1.1 แบบจำลองทางเทอร์โมไดนามิกส์ของปั๊มความร้อนแบบแคสเคด ในการหาสมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อนนั้นมีสมมุติฐานดังนี้

ระบบดำเนินการภายใต้ Steady conditionประสิทธิภาพ Compressor เป็นแบบไอเซนทรอปิก กระบวนการขยายตัวเป็นแบบ Throttling process

ไม่คิด Pressure drop และความร้อนสูญเสียที่อีวาโปเรเตอร์ คอนเดนเซอร์และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สารทำความเย็นขาเข้าคอมเพรสเซอร์และขาออกคอนเดนเซอร์อยู่ในสภาวะอิ่มตัว สภาวะต่าง ๆ ของสารทำงานของปั๊มความร้อนแบบแคสเคด สามารถแสดงใน T-s diagram ได้ดังรูปที่ 2

T-s diagram ในรูปที่ 2 แสดงการทำงานของปั๊มความร้อนแบบแคสเคดเมื่อใช้สารผสมแบบ Zeotropic โดย DT คืออุณหภูมิแตกต่างระหว่างอีวาโปเรเตอร์ของ HS และคอนเดนเซอร์ของ LS โดยในการหาผลของอุณหภูมิร่วมที่มีต่อสมรรถนะของปั๊มความร้อนแบบแคสเคดนั้น ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

กำลังงานที่ Compressor ของ HS สามารถหาได้จาก

$$\dot{W}_{comp,HS} = \dot{m}_{R,HS}(h_{1'} - h_{4'}) \qquad (1)$$

กำลังงานที่ Compressor ของ LS สามารถหาได้จาก

$$\dot{W}_{comp,LS} = \dot{m}_{R,LS}(h_1 - h_4) \qquad (2)$$

อัตราความร้อนที่คอนเดนเซอร์ของ HS หาได้จาก

$$\dot{Q}_{cond,HS} = \dot{m}_{R,HS}(h_{1'} - h_{2'}) \qquad (3)$$

อัตราความร้อนที่อีวาโปเรเตอร์ของ LS หาได้จาก

$$\dot{Q}_{evap,LS} = \dot{m}_{R,LS}(h_4 - h_3) \qquad (4)$$

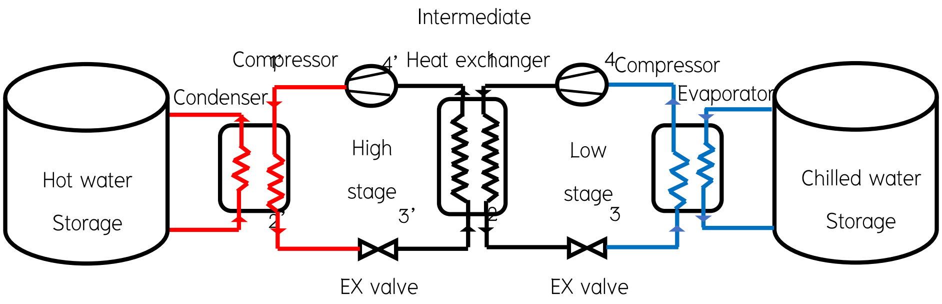
เมื่อ $\dot{m}_R$ คือ อัตราการไหลของสารทำงาน

สมรรถนะการทำความร้อนของปั๊มความร้อน หาได้จาก

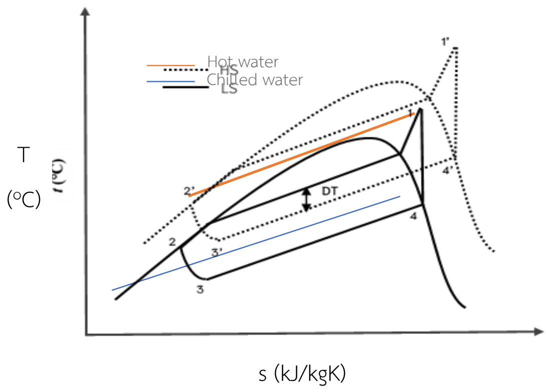
$$COP_{heating} = \frac{\dot{Q}_{cond,HS}}{\dot{W}_{comp,HS}} \qquad (5)$$

สมรรถนะการทำความเย็นของปั๊มความร้อน หาได้จาก

$$COP_{cooling} = \frac{\dot{Q}_{evap,LS}}{\dot{W}_{comp,LS}} \qquad (6)$$



รูปที่ 1 แผนภาพการทำงานปั๊มความร้อนแบบแคสเคดสำหรับทำความร้อนและความเย็นพร้อมกัน



รูปที่ 2 สภาวะของสารทำงานของปั๊มความร้อนแบบแคสเคดใช้ทำความร้อนและความเย็นพร้อม ๆ กัน ใน T-s diagram

สมรรถนะรวมเมื่อมีการทำความร้อนและความเย็นพร้อมกัน หาได้จาก

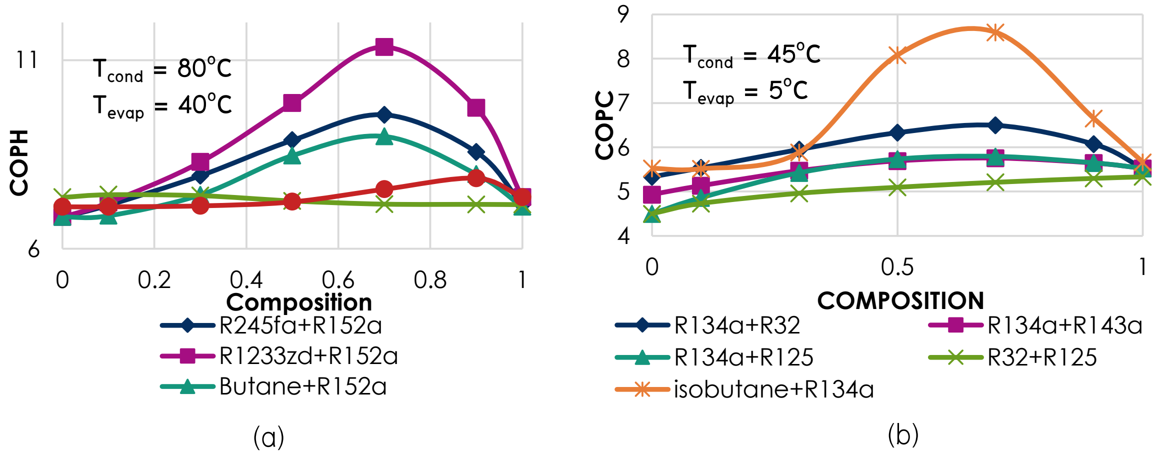
$$COP_{total} = \frac{\dot{Q}_{cond,HS}+\dot{Q}_{evap,LS}}{\dot{W}_{comp,HS}+\dot{W}_{comp,LS}} \quad (7)$$

ในการหาอุณหภูมิร่วมซึ่งเป็นอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ของ LS จะกำหนดให้ DT มีค่า 5 °C และทำการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิร่วม เพื่อหาผลของอุณหภูมิร่วมที่ทำให้ค่าสมรรถนะรวมของระบบมีค่าสูง

สำหรับการคำนวณหาสมรรถนะการทำงานของปั๊มความร้อนนั้นจะใช้โปรแกรม REFPROP 9.1 และจากการทดสอบโดยใช้สารเดี่ยว พบว่าค่า COP ที่คำนวณได้จากสมการข้างต้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ C. O. Suong and A. Asanakham 2019 [7] ในกรณีของปั๊มความร้อนแบบแคสเคดที่ผลิตความร้อนและความเย็นพร้อมกัน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Z. Sagia and C. Rakopoulos 2016 [9] ในกรณีของปั๊มความร้อนวงจรเดียวที่ใช้สารผสมเพื่อทำความเย็นเพียงอย่างเดียว

3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์ผล

การศึกษาได้นำสารผสมแบบซีโอทรอปิคที่เลือกไว้มาทดสอบที่สัดส่วนตั้งแต่ 0.0-1.0 เพื่อหาว่าที่สัดส่วนใด จะทำให้ระบบมีค่า COP สูง

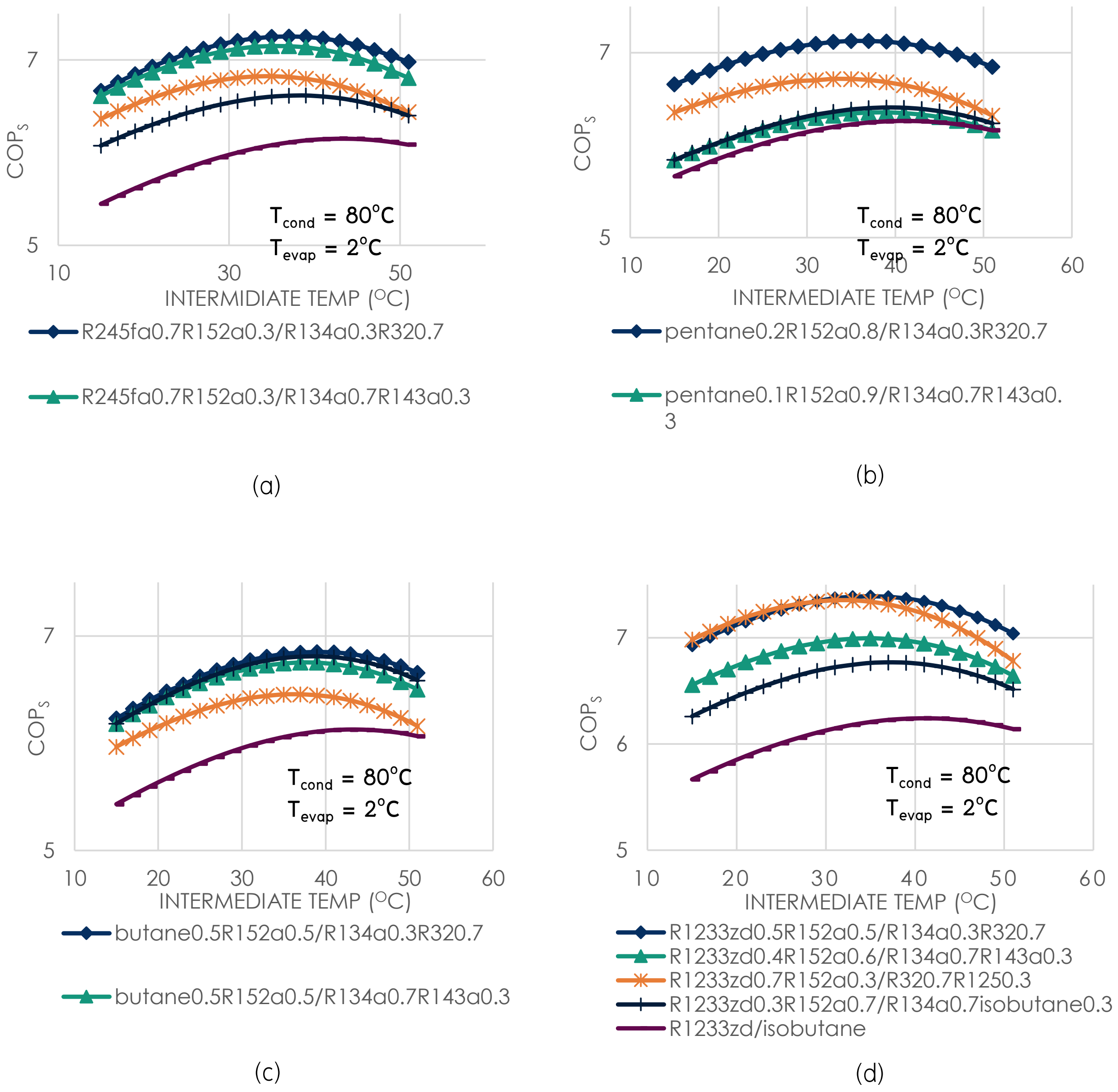


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการทำงานกับสารผสมแบบซีโอทรอปิคที่สัดส่วนต่าง ๆ ซึ่งสัดส่วนที่แสดงคือสัดส่วนของสารชนิดแรก โดย (a) เป็นของ HS และ (b) เป็นของ LS

รูปที่ 3 (a) เป็นการนำสารทำงานที่ใช้ในวงจรอุณหภูมิสูงมาทดสอบหาสัดส่วนสารผสมที่มีต่อสมรรถนะการทำความร้อน โดยกำหนดให้ทำความร้อนที่ 80 °C และมีอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์อยู่ที่ 40 °C จากรูปจะเห็นว่าสารผสมส่วนใหญ่จะมีค่า COP ในการทำความร้อนสูงกว่าการใช้สารเดี่ยว โดยในแต่ละสารผสมนั้นก็จะมีสัดส่วนที่ทำให้เกิดสมรรถนะการทำความร้อนสูงสุดแตกต่างกัน เช่น R245fa ผสมกับ R152a มี COP สูงสุดที่สัดส่วน 0.7 ต่อ 0.3 ส่วน R1233zd ผสมกับ Butane มี COP สูงสุดที่สัดส่วน 0.9 ต่อ 0.1 เป็นต้น แต่การผสมบางสัดส่วนก็ให้ COP ต่ำกว่าการใช้สารเดี่ยว เช่น R245fa ผสมกับ R125 ที่สัดส่วน 0.7 ต่อ 0.3 จะมี COP ต่ำกว่าการใช้สารเดี่ยว R245fa

รูปที่ 3 (b) เป็นการนำสารทำงานที่ใช้ในวงจรอุณหภูมิต่ำมาทดสอบเพื่อหาผลของสัดส่วนสารผสมที่มีต่อสมรรถนะการทำความเย็น โดยกำหนดให้ทำความเย็นที่ 5°C และมีอุณหภูมิคอนเดนเซอร์อยู่ที่ 45°C จากรูปจะเห็นว่าเมื่อผสมสารทำงานแล้วจะทำให้สมรรถนะการทำความเย็นของระบบสูงขึ้นกว่าการใช้สารเดี่ยวและในแต่ละสารผสมนั้นก็จะมีสัดส่วนที่ทำให้เกิดสมรรถนะการทำความเย็นสูงสุดแตกต่างกันเช่นเดียวกับ ยกเว้นการผสมระหว่าง R32 และ R125 พบว่าการใช้สารเดี่ยว R32 ทำให้เกิดสมรรถนะการทำความเย็นสูงกว่าการใช้สารผสม

การนำสารผสมมาใช้ในปั๊มความร้อนแบบแคสเคด จะเลือกสัดส่วนที่ให้ค่า COP เข้าใกล้ค่าสูงสุดทั้งในฝั่ง HS และ LS ทั้งนี้จะต้องพิจารณาถึงอุณหภูมิของของไหลขณะที่ไหลในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนร่วม โดยในการแลกเปลี่ยนความร้อนต้องไม่เกิดการตัดผ่าน (Cross over) ระหว่างอุณหภูมิกระแสร้อนและกระแสเย็น



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการทำความร้อนและความเย็นพร้อมกันของปั๊มความร้อนแบบแคสเคดกับอุณหภูมิร่วมเมื่อใช้สารผสมต่าง ๆ โดยสารทำงานหลักใน HS คือ (a) R245fa (b) Pentane (c) Butane (d) R1233zd

รูปที่ 5 เป็นการนำปั๊มความร้อนแบบแคสเคดมาใช้สำหรับทำความร้อนและความเย็นพร้อม ๆ กัน โดยกำหนดให้มีอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์อยู่ที่ 2°C และ 80°C ตามลำดับ ทั้งนี้จะมีการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิร่วมที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อหาสมรรถนะการทำความร้อนและความเย็นของระบบ จากรูปจะเห็นว่าทั้งการใช้สารเดี่ยวและสารผสมนั้น สมรรถนะของระบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิร่วมไปเรื่อย ๆ จนเมื่อถึงอุณหภูมิร่วมจุดหนึ่งที่ทำให้ระบบเกิดสมรรถนะสูงสุด สมรรถนะจะมีค่าลดลงในขณะที่อุณหภูมิร่วมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารเดี่ยวจะมีสมรรถนะสูงสุดเมื่ออุณหภูมิร่วมมีค่าเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ ซึ่งในที่นี้จะมีค่าประมาณ 39-41°C โดยสารเดี่ยวที่ทำให้เกิดสมรรถนะในการทำความร้อนและความเย็นสูงสุดคือ Pentane/Isobutane ซึ่งมี COP การทำความร้อนและความเย็นพร้อมกันเป็น 6.26 ที่อุณหภูมิร่วม 41 °C ส่วนการใช้สารผสมนั้นส่วนมากจะมีสมรรถนะสูงสุดที่อุณหภูมิร่วมเป็น $n \times \frac{T_{cond,HS}+T_{evap,LS}}{2}$ โดย n มีค่าอยู่ระหว่าง 0.8-0.9 ซึ่งพบว่าคู่สารผสมที่ทำให้ระบบมีสมรรถนะสูงคือ R245fa/R152a ในสัดส่วน 0.7/0.3 สำหรับวงจรอุณหภูมิสูง ทำงานร่วมกับ R134a/R32 ในสัดส่วน 0.3/0.7 หรือ R134a/R143a ในสัดส่วน 0.7/0.3 สำหรับวงจรอุณหภูมิต่ำ Pentane/R152a ในสัดส่วน 0.2/0.8 สำหรับวงจรอุณหภูมิสูง ทำงานร่วมกับ R134a/R32 ในสัดส่วน 0.3/0.7 สำหรับวงจรอุณหภูมิต่ำ R1233zd/R152a ในสัดส่วน 0.5/0.5 สำหรับวงจรอุณหภูมิสูง ทำงานร่วมกับ R134a/R32 ในสัดส่วน 0.3/0.7 หรือ R32/R125 ในสัดส่วน 0.3/0.7 สำหรับวงจรอุณหภูมิต่ำ

4. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ได้นำเสนอผลของอุณหภูมิร่วมที่ต่อสมรรถนะการทำความร้อนและความเย็นพร้อม ๆ กันของปั๊มความร้อนแบบแคสเคดเมื่อใช้สารผสมแบบซีโอทรอปิคโดยกำหนดให้อุณหภูมิอีวาโปเรเตอร์และคอนเดนเซอร์เป็น 2°C และ 80°C ตามลำดับเพื่อพิจารณาหาสารทำงานที่ทำให้ปั๊มความร้อนมีสมรรถนะสูง เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีความปลอดภัยในการใช้งาน โดยมีสรุปผลการศึกษาดังนี้

(1) อุณหภูมิร่วมที่ทำให้ระบบมีสมรรถนะสูงสุดของการใช้สารเดี่ยวและสารผสมนั้นแตกต่างกกัน โดยสารเดี่ยวส่วนมากจะมีสมรรถนะสูงสุดที่อุณหภูมิร่วมประมาณ 39-41°C สารผสมส่วนมากจะมีสมรรถนะสูงสุดที่อุณหภูมิร่วมประมาณ 35-39°C

(2) อุณหภูมิร่วมที่เหมาะสมต่อการใช้สารผสมอยู่ที่ $n \times \frac{T_{cond,HS}+T_{evap,LS}}{2}$ โดย n มีค่าอยู่ระหว่าง 0.8-0.9

(3) การใช้สารผสมทำให้ระบบมีสมรรถนะการทำงานมากกว่าสารเดี่ยว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ L. Zhao et al. 2014 [4]

(4) เมื่อพิจารณาจากความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยในการใช้งาน พบว่าคู่สารที่ควรนำมาใช้ในวงจรอุณหภูมิสูงคือ R1233zd/R152a ในสัดส่วน 0.5/0.5 ทำงานร่วมกับคู่สารในวงจรอุณหภูมิต่ำ R134a/R32 ในสัดส่วน 0.3/0.7 ซึ่งจะให้ COP การทำความร้อนและความเย็นพร้อมกันสูงสุดคือ 7.38

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้โดยได้รับความช่วยเหลือจาก ศ.ดร.ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ ซึ่งคอยให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และตรวจสอบข้อผิดพลาดต่าง ๆ ตลอดจนช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการเอื้อเฟื้อการใช้สถานที่และสนับสนุนงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Boahen et al. (2016). "Technology Review of Cascade Heat Pump Systems", Proceedings of the 8th Asian Conference on Refrigeration and Air Conditioning, ACRA2016. May 15-17, 2016, Taipei, Taiwan

[2] J. Sarkar et al. (2015). "Suitable natural refrigerants pairs for cascade refrigeration system based on minimum heat exchanger size", Proceedings of the 23rd National Heat and Mass Transfer Conference and 1st International ISHMT-ASTFE Heat and Mass Transfer Conference, IHMTC2015. 17-20 December, 2015, Thiruvananthapuram, India

[3] Z. Sun *et al.* (2016). "Comparative analysis of thermodynamic performance of a cascade refrigeration system for refrigerant couples R41/R404A and R23/R404A", *Appl. Energy*, vol. 184, pp. 19–25, 2016.

[4] L. Zhao et al. (2014). "A thermodynamic analysis of an auto-cascade heat pump cycle for heating application in cold regions", *Energy Build.*, vol. 82, pp. 621–631, 2014.

[5] S. Boahen and J. M. Choi. (2017). "Research trend of cascade heat pumps", *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 60, pp. 1597–1615, 2017.

[6] A. H. Tarrad. (2017). "Thermodynamic Evaluation for Intermediate Temperature Optimization in Low Temperature Heat Source Cascade Heat Pump Technology", Asian Journal of Engineering and Technology, vol.05, pp 126-139, 2017.

[7] C. O. Suong and A. Asanakham. (2019). "Selection of Cascade Heat Pump Refrigerant Couple for Simultaneous Heating and Cooling", Proceedings of the 15th Conference on Energy Network of Thailand, 21-24 May 2019, Nakhon Ratchasima, Thailand

[8] J. M. Calm and G. C. Hourahan. (1999). "Physical, safety, and environmental data for refrigerants", *HPAC Heating, Piping, Air Cond.*, vol. 71, no. 8, pp. 27–29, 1999.

[9] Z. Sagia and C. Rakopoulos. (2016). "Alternative refrigerants for the heat pump of a ground source heat pump system", *Appl.Therm. Eng.*, vol. 100, pp. 768–774, 2016.

การพัฒนาระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านระบบ IoT
The Development of Split Type Air Conditioner Performance Monitoring On IoT system

อลงกรณ์ แสงงาม [1*] สิทธิพงษ์ บุญอาจ[1] สมภพ ปัญญาสมพรรค์[2]

[1*,1,2] สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านระบบ IoT เป็นการออกแบบและสร้างระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านฟรีแอพพลิเคชั่น เพื่อพัฒนาต่อยอดการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบเดิมซึ่งผู้จัดทำจึงได้ออกแบบและสร้างระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนฟรีแอพพลิเคชั่น โดยแสดงข้อมูลการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศผ่านฟรีแอพพลิเคชั่นโดยตั้งสมมุติฐานว่าการพัฒนาระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านระบบ IoT จะต้องมีความคลาดเคลื่อนของระบบไม่เกินร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง เพื่อแสดงผลการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

จากการออกแบบและสร้างระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านฟรีแอพพลิเคชั่น ผู้จัดทำได้ทำการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดค่าดัชนีการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ได้แก่ ค่าอุณหภูมิและความชื้นช่องลมจ่ายและลมกลับ ความเร็วลมช่องลมกลับ และ ค่ากำลังไฟฟ้าขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน [1] โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าดัชนีตรวจวัดที่มีความเจาะจงกับการตรวจวัดค่าดัชนีโดยติดตั้ง ณ ตำแหน่งติดตั้ง โดยมีการคำนวณและทำการใช้ค่าแก้ดัชนีตรวจวัดเพื่อทำให้ดัชนีตรวจวัดมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยใช้ค่าแก้อุณหภูมิและความชื้นช่องลมมีค่าเท่ากับ 1.06289 และ 0.945422 ตามลำดับ จะมีความคลาดเคลื่อนของค่าอุณหภูมิและความชื้นช่องลมกลับที่อ่านจากระบบเท่ากับร้อยละ 2.37 และ 3.12 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง ใช้ค่าแก้ดัชนีตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นช่องลมจ่ายมีค่าเท่ากับ 1.320183 และ 0.9459939 ตามลำดับ จะมีความคลาดเคลื่อนของค่าอุณหภูมิและความชื้นช่องลมจ่ายอ่านจากระบบเท่ากับร้อยละ 3.6 และ 1.57 เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง ใช้ค่าความเร็วลมช่องลมกลับใช้ค่าแก้ดัชนีตรวจวัดความเร็วลมช่องลมกลับมีค่าเท่ากับ 1.095993 จะมีความคลาดเคลื่อนของค่าเร็วช่องลมกลับที่อ่านจากระบบร้อยละ 1.12 เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง ค่ากำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องปรับอากาศขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 0.06 2.05 และ 2.1 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง ค่าเอนทาลปีของอากาศด้านลมกลับและลมจ่ายมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 1.82 และ 2.25 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง จากการใช้งานค่าแก้ดัชนีตรวจวัดดังกล่าว จึงทำให้ค่าสมรรถนะเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ ปริมาณอากาศไหลผ่าน ค่าตันความเย็น ค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 1.1 4.2 2.7 1.9 และ 2.4 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนรวมมาเฉลี่ยการใช้งานระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านฟรีแอพพลิเคชั่นมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.95 เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง

คำสำคัญ: การตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน, ระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านฟรีแอพพลิเคชั่น, ค่าแก้ดัชนีตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

---

* Corresponding author: Tel.: 094-7598123. E-mail address: iamalongkorn31@gmail.com

บทนำ

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things) เข้ามาใช้งานในการแสดงผลการใช้งานและควบคุมเครื่องการเปิดปิดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนทำให้ผู้ใช้งานเครื่องปรับอากาศสามารถเปิดปิดเครื่องปรับอากาศได้ทุกที่ทุกเวลา ซึ่งการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่เพิ่มขึ้นมากในปัจจุบันทำให้การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศที่ถูกต้องเป็นปัจจัยสำคัญที่จะสามารถใช้งานเครื่องปรับอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นตามอายุการใช้งาน ทั้งนี้ การพัฒนาระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านระบบ IoT จะเป็นการพัฒนาต่อยอดในเรื่องของการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกที่พัฒนาจากแบบที่เดิมที่ทำการตรวจวัดสมรรถนะโดยนำเครื่องมือวัดไปติดตั้งไว้ยังเครื่องปรับอากาศโดยไม่สามารถทราบข้อมูลแบบเรียลทาม แต่จะต้องนำข้อมูลที่ทำการตรวจวัดออกมาวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องปรับอากาศผ่านเมมโมรี่การ์ด [2] ซึ่งมีปัญหากับการวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศในพื้นที่ห่างไกล ประกอบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเดิมนั้นใช้คอมพิวเตอร์ [3] ในการบันทึกข้อมูลการตรวจวัดซึ่งต้องติดตั้งพร้อมกับเครื่องปรับอากาศและต้องเปิดปิดคอมพิวเตอร์ในเวลาที่ทำการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศ จึงทำให้ไม่มีความนิยมใช้งานในยุคปัจจุบัน

การพัฒนาระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านระบบ IoT จึงเป็นพัฒนาต่อยอดวิธีการวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแบกส่วนเดิมโดยออกแบบและสร้างระบบผ่านเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things) ในแอพพลิเคชั่นบนสมาร์ทโฟนซึ่งทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ในการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศตามดัชนีตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน [4] ได้แก่ ค่าอุณหภูมิและความชื้นช่องลมจ่ายและลมกลับ ความเร็วลมช่องลมกลับ และ ค่ากำลังไฟฟ้าขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน ซึ่งเซ็นเซอร์จะทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องปรับอากาศนั้นแบบเรียลทาม และสามารถส่งข้อมูลการวิเคราะห์ไปยังอีเมลของผู้ใช้งานระบบตามเวลาที่ผู้งานต้องการจะบันทึกผลข้อมูลของสมรรถนะเครื่องปรับอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการวิจัย

การพัฒนาระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านระบบ IoT เป็นการออกแบบและสร้างระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนแสดงผลผ่านฟรีแอพพลิเคชั่น โดยการทดลองนำเซ็นเซอร์ตรวจวัดดัชนีตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ได้แก่ เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น DHT22 เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเร็วลมช่องลมกลับ MPXV7002 และ เซ็นเซอร์วัดพลังงานไฟฟ้า PZEM-004T ไปติดตั้งกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้งาน Blynk Application ในการแสดงผลข้อมูลการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศ โดยมีวิธีการวิจัยดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. การหาตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าดัชนีตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

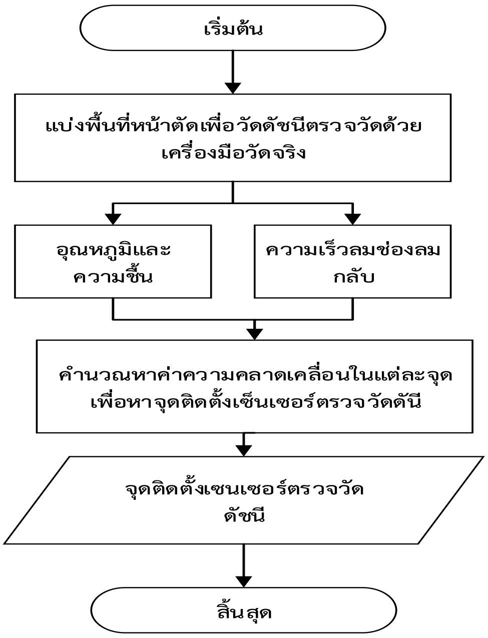
ในการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผู้จัดทำการวิจัยจะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัด ณ ตำแหน่งที่มีค่าความคลาดเคลื่อนของการตรวจวัดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดจริง

2. การหาค่าแก้ความคลาดเคลื่อนระหว่างเซ็นเซอร์ตรวจวัดในระบบกับอุปกรณ์วัดจริง

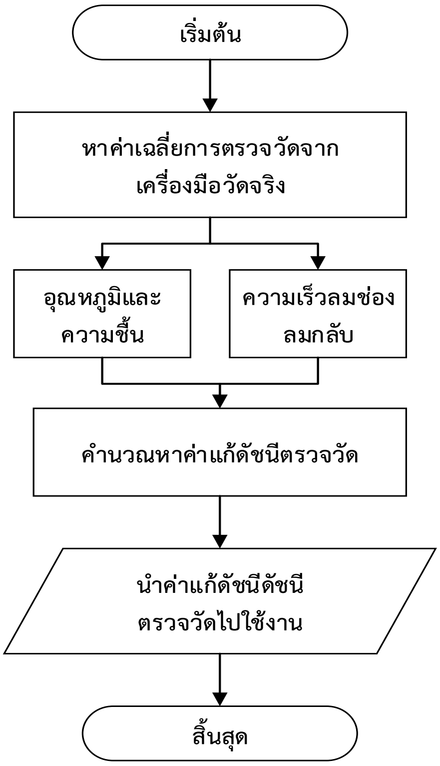
หลังจากทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดที่ตำแหน่งติดตั้ง ผู้จัดทำการวิจัยได้ทำการทดลองเก็บข้อมูลการตรวจวัดของเซ็นเซอร์ตรวจวัดในระบบเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง เพื่อหาค่าแก้ความคลาดเคลื่อนและในค่าแก้ไปใช้ในการลดค่าความเคลื่อนของตัวเซ็นเซอร์ตรวจวัดในระบบ

3. การเขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลค่าสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน หลังจากได้ทำการหาค่าแก้ความคลาดเคลื่อนของเซ็นเซอร์ตรวจวัดในระบบ ผู้จัดทำวิจัยได้ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมการแสดงผลค่าสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนซึ่งใช้งานค่าแก้ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแยกส่วนผ่านฟรีแอพพลิเคชั่นโดยการหาค่าความคลาดเคลื่อนของระบบแสดงสมรรถนะเทียบกับอุปกรณ์วัดจริงจะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5

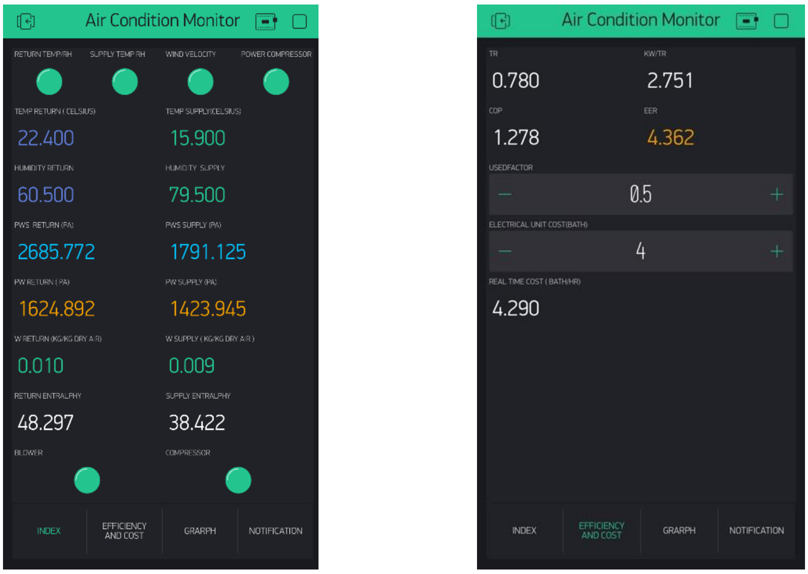
ภาพที่ 1 การติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดในระบบการพัฒนาระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านระบบ IoT



ภาพที่ 2 การหาตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าดัชนีตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



ภาพที่ 3 การหาค่าแก้ความคลาดเคลื่อนระหว่างเซ็นเซอร์ตรวจวัดในระบบกับอุปกรณ์วัดจริง



ภาพที่ 4 ระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านระบบ IoT

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านฟรีแอพพลิเคชั่น ผู้จัดทำได้ทำการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดค่าดัชนีการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ได้แก่ ค่าอุณหภูมิและความชื้นช่องลมจ่ายและลมกลับ ความเร็วลมช่องลมกลับ และ ค่ากำลังไฟฟ้าขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าดัชนีตรวจวัดที่มีความเจาะจงกับการตรวจวัดค่าดัชนีโดยติดตั้ง ณ ตำแหน่งติดตั้ง มีหาตำแหน่งติดตั้งโดยการทดลองติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดตามการแบ่งพื้นที่หน้าตัดช่องลมกลับและลมจ่าย ซึ่งมีการคำนวณค่าแก้ความคลาดเคลื่อนและทำการใช้ค่าแก้ดัชนีตรวจวัดเพื่อให้ระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านฟรีแอพพลิเคชั่นมีความคลาดเคลื่อนของระบบไม่เกินร้อยละ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง โดยผู้จัดทำการวิจัยได้เลือกใช้ Blynk Application ในการแสดงผลข้อมูลการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศ และมีการใช้ค่าแก้ที่ทำการคำนวณจากสมการหาค่าแก้ดัชนีตรวจวัด ดังต่อไปนี้ ใช้ค่าแก้อุณหภูมิและความชื้นช่องลมกลับมีค่าเท่ากับ 1.06289 และ 0.945422 ตามลำดับ จะมีความคลาดเคลื่อนของค่าอุณหภูมิและความชื้นช่องลมกลับที่อ่านจากระบบเท่ากับร้อยละ 2.37 และ 3.12 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง ใช้ค่าแก้ดัชนีตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นช่องลมจ่ายมีค่าเท่ากับ 1.320183 และ 0.9459939 ตามลำดับ จะมีความคลาดเคลื่อนของค่าอุณหภูมิและความชื้นช่องลมจ่ายอ่านจากระบบเท่ากับร้อยละ 3.6 และ 1.57 เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง ใช้ค่าความเร็วลมช่องลมกลับใช้ค่าแก้ดัชนีตรวจวัดความเร็วลมช่องลมกลับมีค่าเท่ากับ 1.095993 จะมีความคลาดเคลื่อนของค่าเร็วช่องลมกลับที่อ่านจากระบบร้อยละ 1.12 เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง ค่ากำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องปรับอากาศขณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงาน ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 0.06 2.05 และ 2.1 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง ค่าเอนทาลปีของอากาศด้านลมกลับและลมจ่ายมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 1.82 และ 2.25 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง จากการใช้งานค่าแก้ดัชนีตรวจวัดดังกล่าว จึงทำให้ค่าสมรรถนะเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ ปริมาณอากาศไหลผ่าน ค่าตันความเย็น ค่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 1.1 4.2 2.7 1.9 และ 2.4 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนรวมมาเฉลี่ยการใช้งานระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านฟรีแอพพลิเคชั่นมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.95 เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง

ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระหว่างใช้งานระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านฟรีแอพพลิเคชั่นกับอุปกรณ์วัดจริง

ดัชนีตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศ	ร้อยละ ความคลาดเคลื่อน
อุณหภูมิช่องลมกลับ	2.37
ความชื้นช่องลมกลับ	3.12
อุณหภูมิช่องลมจ่าย	3.6
ความชื้นช่องลมจ่าย	1.57
ความเร็วช่องลมกลับ	1.12
เอนทาลปีด้านลมกลับ	1.82
เอนทาลดค้านปีลมจ่าย	2.25
แรงดันไฟฟ้า	0.06

ดัชนีตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศ	ร้อยละ ความคลาดเคลื่อน
กระแสไฟฟ้า	2.05
กำลังไฟฟ้า	2.10
ปริมาณอากาศไหลผ่าน	1.10
ค่าตันความเย็น	4.20
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องปรับอากาศ	2.70
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น	1.90
อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ	2.40

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านระบบ IoT เป็นการออกแบบและสร้างระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านฟรีแอพพลิเคชั่นจัดทำได้ทำการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดค่าดัชนีการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ณ ตำแหน่งที่มีค่าความคลาดเคลื่อนของอ่านค่าใกล้เคียงกับอุปกรณ์วัดจริงมากที่สุด และมีการคำนวณหาค่าแก้เพื่อให้มีการคำนวณหาสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่แม่นยำสูงสุดจึงทำให้การใช้งานระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านฟรีแอพพลิเคชั่นมีความคลาดเคลื่อนของระบบค่าเท่ากับร้อยละ 1.95 เมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดจริง มีต้นทุนในการจัดทำระบบน้อยกว่าระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบเดิม ใช้งานได้สะดวกสามารถดูข้อมูลการตรวจวัดสมรรถนะเครื่องปรับอากาศได้อย่างเรียลทาม จึงทำให้ระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านระบบ IoT เป็นหนึ่งทางเลือกในการนำไปใช้งานกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในการบอกถึงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศนั้นอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การพัฒนาระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านระบบ IoT ในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องมาจากการให้คำปรึกษาจากอาจารย์ ดร.สมภพ ปัญญาสมพรรค์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย คณาจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกลทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำแนวทางด้านเทคนิคต่าง ๆ ตลอดจนเพื่อนร่วมภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกลทุกคนในการจัดทำระบบแสดงสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนผ่านระบบะ IoT โดยการเอื้อเฟื้อ อาคารสถานที่ เครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ และขอขอบพระคุณ รศ.ทวีวัฒน์ สุภารส ที่กรุณาให้คำแนะนำและความคิดเห็นในการจัดทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **การตรวจวัดและวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน.** Retrieved from http://energyauditorthai.com/wp-content.com

[2] อัษฎาค์ นันโท. (2548). **ชุดควบคุมเครื่องปรับอากาศผ่านระบบคอมพิวเตอร์ออนไลน์**. หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี., 1(1), 20-35.

[3] สุรศักดิ์ สวัสดิ์รักษ์กุล .(2556). **การสร้างโปรแกรมตรวจวัดประสิทธิภาพและควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน** หลักสูตรครุศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ., 3(1), 55-75

[4] **การตรวจวัดและวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน**, คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน, กรมอนุรักษ์พลังงาน, หน้าที่ 1[14 ตุลาคม 2562].

[5] **แนวทางการสำรวจและการเก็บข้อมูลวิเคราะห์ประสิทธิภาพ**, คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน, กรมอนุรักษ์พลังงาน, หน้าที่ 6 [14 ตุลาคม 2562].

[6] Saima Maqbool , 2013 , **Real Time Wireless Monitoring and Control of Water Systems using Zigbee 802.15.4** , Department of Computer Science and Engineering , Amity University , India.

[7] Anucha Kaewpoonsuk , 2015 , **ZigBee Based Wireless Temperature Monitoring System for Shrimp Farm** , Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

[8] HIRAL S. DOSHI**, Internet Of Things with Blynk Aplication**, Department of Computer Engineering , Viitipune University, pp 3-4.

การศึกษาผลของความดันก๊าซนำพาและกระแสไฟฟ้าอินพุต ต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมา

The Study of Effects of Carrier Gas Pressure and Input Current on Plasma Flame Characteristics

นรินทร์ ปิ่นแก้ว และ ปริญ คงกระพันธ์*

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของความดันก๊าซนำพาและกระแสไฟฟ้าอินพุตต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาของหัวเผาพลาสมาแบบอาร์คทางไฟฟ้าต้นแบบ การทดสอบทำได้โดยปรับเปลี่ยนค่าความดันของอากาศป้อนที่ใช้เป็นก๊าซนำพาทั้งสิ้น 3 ค่าเท่ากับ 4, 5 และ 6 MPa และปรับเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตทั้งสิ้น 2 ค่าเท่ากับ 60 และ 80 A จากผลการทดสอบพบว่าค่าความดันก๊าซนำพามีผลต่อความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลวพลาสมาอย่างมีนัยยะสำคัญ โดยค่าความดันก๊าซนำพาที่สูงจะทำให้การไหลของกระแสอากาศบริเวณทางออกของหัวฉีดเกิดปั่นป่วนมากขึ้นทำให้ความสมบูรณ์ในการแตกตัวของอากาศเป็นพลาสมาลดลงส่งผลต่อมิติของเปลวพลาสมาที่ลดลงด้วย และเมื่อพิจารณาผลของค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาพบว่าเมื่อเพิ่มค่ากระแสดังกล่าวจะทำให้พลังงานในการกระตุ้นการแตกตัวของพลาสมาสูงขึ้นส่งผลต่อเสถียรภาพของเปลวพลาสมาที่ดีขึ้นสังเกตได้จากมิติของเปลวพลาสมาที่ใหญ่ขึ้น สี และความสว่างของเปลวพลาสมาที่สูงขึ้น กล่าวโดยสรุปคือเมื่อเพิ่มความดันของก๊าซนำพาจะทำให้เปลวพลาสมามีเสถียรภาพลดลงและการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตจะทำให้เปลวพลาสมามีเสถียรภาพสูงขึ้นในทุกค่าความดันก๊าซนำพา โดยเปลวพลาสมาที่หัวเผาต้นแบบสามารถสร้างขึ้นได้มีความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดประมาณ 120 mm และ 25 mm ตามลำดับ ที่ความดันก๊าซนำพาและค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตเท่ากับ 4 MPa และ 80 A

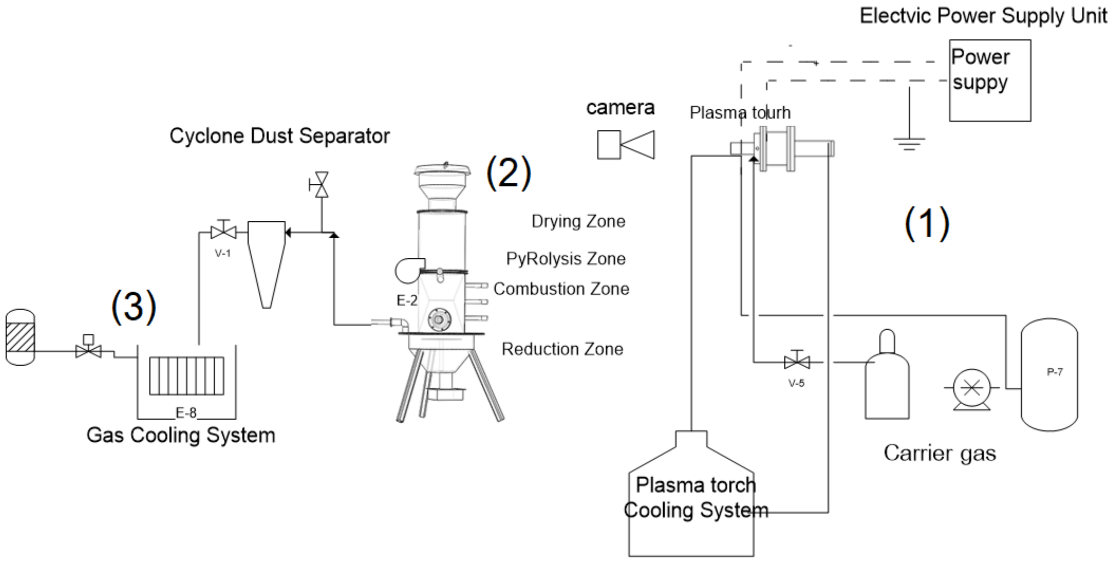
คำสำคัญ: พลาสมา; หัวเผาพลาสมา; แก๊สซิฟิเคชัน; พลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน; พลังงานทดแทน

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการจัดการขยะชนิดต่าง ๆ นิยมควบรวมกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification) ไว้ในระบบด้วย เนื่องจากความร้อนที่ได้จากการเผาทำลายขยะสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งความร้อนให้กับกระบวนการดังกล่าวได้เป็นอย่างดี แต่การเผาทำลายขยะจำพวกพลาสติกจะก่อให้เกิดปัญหาด้านก๊าซพิษจำพวกไดอ็อกซิน (Dioxin) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง โดยก๊าซพิษกลุ่มนี้ไม่สามารถสลายตัวได้ที่อุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำกว่า 1,000 °C ทำให้การใช้หัวเผาความร้อนสูงประเภทหัวเผาพลาสมาที่สามารถสร้างเปลวความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่าหัวเผาแบบใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลทั่วไปมากจึงมีความจำเป็นสำหรับการแก้ปัญหานี้ ข้อได้เปรียบของหัวเผาพลาสมาคือระบบดังกล่าวไม่ใช้เพลิงและไม่สร้างมลพิษในภาพแบบของแก๊สเรือนกระจก ควบคุมง่าย อีกทั้งระบบแก๊สซิฟิเคชันที่ใช้หัวเผาพลาสมายังสามารถผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่มีคุณภาพสูงกว่ากระบวนการเคมีความร้อนทั่วไปอาทิ กระบวนการไพโรไลซีสและแก๊สฟิเคชันแบบปกติที่ใช้แหล่งความร้อนประเภทอื่น อีกทั้งความร้อนสูงจากหัวเผาพลาสมายังสามารถกำจัดสารพิษประเภทไดอ็อกซิน (Dioxin) และฆ่าเชื้อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย ทั้งนี้เทคโนโลยีพลาสมาความร้อนในประเทศไทยยังมีการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างขึ้นใช้เองน้อยมาก ส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจาก

* Corresponding author: Tel : 0819723859 E-mail address : parin.khongkrapan@gmail.com

ต่างประเทศเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่มุ่งเน้นในการออกแบบ สร้าง และทดสอบหัวเผาพลาสมาความร้อนชนิดอาร์คด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC Arc Plasma Torch) ต้นแบบสำหรับเตาปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชัน โดยหัวเผาพลาสมาต้นแบบสร้างและประกอบขึ้นจากชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นภายในประเทศสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด เพื่อให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง ใช้อากาศเป็นก๊าซนำพา (carrier gas) ทำให้ต้นทุนด้านเชื้อเพลิงลดลง หัวเผาต้นแบบใช้หลักการอาร์คทางไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดในการกระตุ้นให้ก๊าซนำพาแตกตัวเป็นพลาสมา โดยความดันอากาศที่จ่ายให้กับหัวเผาจะส่งผลโดยตรงต่อค่าอัตราการไหลและลักษณะการไหลของก๊าซนำพาบริเวณหัวฉีดทำให้ได้เปลวพลาสมาที่มีลักษณะทางกายภาพแตกต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำเสนอการศึกษาผลของความดันก๊าซนำพาต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาเพื่อนำผลที่ได้ไปออกแบบหัวเผาพลาสมาความร้อนที่มีความเหมาะสมกับเตาปฏิกรณ์แก๊สซิฟิเคชั่นแบบต่างๆ ต่อไป โดยระบบพลาสมาแก๊สซิฟิเคชั่นในงานวิจัยนี้มีองค์ประกอบดังภาพที่ 1



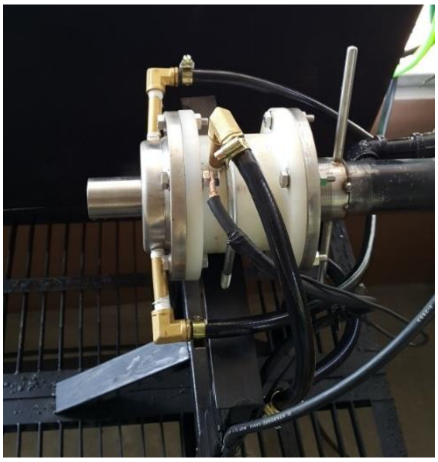
ภาพที่ 1 ระบบพลาสมาแก๊สซิฟิเคชั่นประกอบด้วย
(1) หัวเผาพลาสมา (2) เตาปฏิกรณ์พลาสมาแก๊สซิฟิเคชัน และ (3) ระบบจัดเก็บโปรดิวเซอร์แก๊ส

วิธีการวิจัย

การออกแบบหัวเผาพลาสมา

การประกอบหัวเผาพลาสมาความร้อนชนิดอาร์คด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC arc plasma torch) ในงานวิจัยนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ขั้วอิเล็กโทรด (electrode) ประกอบด้วย 1) ขั้วแคโทด (cathode) หรือ ขั้วลบ อุปกรณ์นี้เป็นชิ้นส่วนที่เกิดความร้อนสูงสุดของระบบหัวเผาพลาสมาความร้อนแบบอาร์คด้วยไฟฟ้ากระแสตรง คณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบชิ้นส่วนดังกล่าวจากโลหะทังสเตน (tungsten) ที่มีจุดหลอมเหลวสูงและสามารถคงสภาพการนำไฟฟ้าได้ดีที่อุณหภูมิสูง การออกแบบได้กำหนดลักษณะของขั้วดังกล่าวให้มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ปลายแหลมทำมุม 90° ความยาวรวม 30 mm บริเวณปลายแหลมของแคโทดจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงส่งผลให้เกิดการอาร์คที่ดีขึ้น และ 2) ขั้วแอโนด (anode) หรือ ขั้วบวก อุปกรณ์นี้เป็นชิ้นส่วนที่เกิดความร้อนสูงรองลงมาจากขั้วแคโทด เนื่องจากขั้วแอโนดเป็นตำแหน่งที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านและรับความร้อนที่ถ่ายเทจากเปลวพลาสมา คณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบชิ้นส่วนดังกล่าวจากโลหะชนิดสแตนเลสสตีลที่มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าและมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การออกแบบแอโนดคำนึงถึงการระบายความร้อนและการติดตั้งอุปกรณ์ต่อพวงอาทิ ขั้วไฟฟ้า ระบบระบายความร้อน และสามารถติดตั้งหัวฉีด (nozzle) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญต่อลักษณะของเปลวพลาสมาอย่างมาก ทำหน้าที่กำหนดการไหลของแก๊สนำพาซึ่งจะแตกตัวของ

เป็นเปลวพลาสมา ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ออกแบบหัวเผาพลาสมาที่สามารถปรับเปลี่ยนขนาดของหัวฉีดได้เพื่อการทดสอบในหลายรูปแบบการใช้งาน เบื้องต้นได้ทำการออกแบบหัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำแก๊สคงที่ 10 mm ความยาวท่อนำก๊าซ 100 mm โดยหัวเผาพลาสมาต้นแบบในงานวิจัยนี้แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 หัวเผาพลาสมาความร้อนชนิดอาร์คด้วยไฟฟ้ากระแสตรง (DC arc plasma torch)

ตารางที่ 1 รายละเอียดหัวเผาพลาสมาต้นแบบ

ข้อมูล	**พิกัด**	**หน่วย**
ความต่างศักย์ไฟฟ้า	380	V
กระแสไฟฟ้า (สูงสุด)	100	A
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด	10	mm
ความยาวท่อนำก๊าซ	100	mm
ความดันก๊าซนำพา (สูงสุด)	7	MPa
ขั้วแคโทดทังสเตน	20	mm

ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

การทดสอบหัวเผาพลาสมาต้นแบบที่มีขนาดความยาวหัวฉีดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อนำก๊าซเท่ากับ 100 mm และ 10 mm ตามลำดับ ทำการปรับค่ากระแสไฟฟ้าอินพุต (Input current) ที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรดทั้งสิ้น 2 ค่า เท่ากับ 60 และ 80 A ตามลำดับ ปรับค่าความดันก๊าซนำพา 3 ค่าเท่ากับ 4, 5 และ 6 MPa เมื่อหัวเผาเริ่มทำงานจะทำการบันทึกภาพเพื่อวัดความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลวพลาสมานับจากปากทางออกของหัวฉีด

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

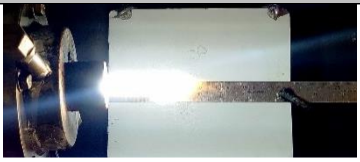
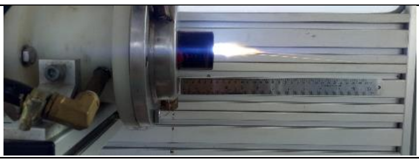
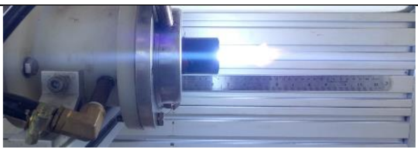
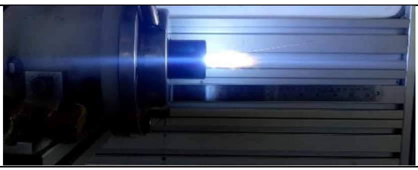
จากผลการทดสอบหัวเผาพลาสมาต้นแบบโดยปรับเปลี่ยนค่าความดันของอากาศป้อนที่ใช้เป็นก๊าซนำพาพบว่าเมื่อป้อนอากาศที่ความดัน 4, 5 และ 6 MPa ที่ค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตเท่ากับ 60 A เปลวพลาสมามีความยาวประมาณ 100, 70 และ 50 mm ตามลำดับ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเปลวพลาสมาประมาณ 20, 15 และ 10 mm ตามลำดับ โดยเมื่อปรับค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตเพิ่มขึ้นเป็น 80 A ที่ค่าความดันของอากาศป้อนแตกต่างกัน 3 ค่าดังข้างต้นพบว่าเปลวพลาสมามีความ

ยาวโดยมีค่าประมาณ 120, 90 และ 60 mm ตามลำดับ อีกทั้งเปลวพลาสมาที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25, 20 และ 15 mm ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากผลของค่าความดันก๊าซนำพาที่สูงขึ้นส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาด้านความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางที่ลดลงนั้นเกิดจากลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ของกระแสอากาศ ณ บริเวณทางออกของหัวฉีดที่มากขึ้นตามค่าความดันอากาศป้อนทำให้การแตกตัวของอากาศที่ใช้เป็นก๊าซนำพาเกิดขึ้นได้ไม่ดีส่งผลต่อเปลวพาสมาที่มีขนาดสั้นลงตามความดันที่เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาผลจากค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตที่จ่ายให้กับหัวเผาพลาสมาพบว่าเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลวพลาสมาจะเพิ่มขึ้นในทุกค่าความดันก๊าซนำพา อีกทั้งสีของเปลวพลาสมาจะเป็นสีฟ้าขาวสว่างกว่ากรณีป้อนกระแสไฟฟ้าต่ำซึ่งจะให้สีของเปลวพลาสมาเป็นสีส้ม ทั้งนี้เกิดจากปริมาณพลังงานที่กระตุ้นการแตกตัวของก๊าซนำพาได้มากกว่าจึงทำให้เปลวพลาสมาที่ค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตสูงกว่ามีความเสถียรสูงกว่า โดยลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาที่ได้จากหัวเผาพลาสมาตัวแบบในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 2

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของความดันก๊าซนำพาและกระแสไฟฟ้าอินพุตต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาพบว่าค่าความดันก๊าซนำพามีผลต่อความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเปลวพลาสมาอย่างมีนัยยะสำคัญ โดยค่าความดันก๊าซนำพาที่สูงจะทำให้การไหลของกระแสอากาศบริเวณทางออกของหัวฉีดเกิดปั่นป่วนมากขึ้นทำให้ความสมบูรณ์ในการแตกตัวของอากาศเป็นพลาสมาลดลงส่งผลต่อมิติของเปลวพลาสมาที่ลดลงด้วย และเมื่อพิจารณาผลของค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมาพบว่าเมื่อเพิ่มค่ากระแสดังกล่าวจะทำให้พลังงานในการกระตุ้นการแตกตัวของพลาสมาสูงขึ้นส่งผลต่อเสถียรภาพของเปลวพลาสมาที่ดีขึ้นสังเกตได้จากมิติของเปลวพลาสมาที่ใหญ่ขึ้น สี และความสว่างของเปลวพลาสมาที่สูงขึ้น กล่าวโดยสรุปคือเมื่อเพิ่มความดันของก๊าซนำพาจะทำให้เปลวพลาสมามีเสถียรภาพลดลงและการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าอินพุตจะทำให้เปลวพลาสมามีเสถียรภาพสูงขึ้นในทุกค่าความดันก๊าซนำพา

ตารางที่ 2 ผลของความดันก๊าซนำพาและกระแสไฟฟ้าอินพุตต่อลักษณะทางกายภาพของเปลวพลาสมา

Input Current 60 A	Input Current 80 A
	
Pressure 4 MPa	Pressure 4 MPa
	
Pressure 5 MPa	Pressure 5 MPa
	
Pressure 6 MPa	Pressure 6 MPa

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนอุดหนุนงานวิจัยจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัยมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ปริญ คงกระพันธ์และ นคร ทิพยาวงศ์ (2560) การออกแบบสร้างและทดสอบหัวเผาพาสมาสำหรับระบบพลาสมาก๊าซซิฟิเคชั่นขนาดห้องปฏิบัติการ การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13, โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

[2] Sneha Samal (2016), “Thermal plasma technology: The prospective future in material processing” Journal of Cleaner production, vol.142, pp.3131-3150.

[3] Ge Pu, Hu-Ping Zhou and Gong-TaoHao (2013), “Study on pine biomass air and oxygen/steam gassification in the fixed bed gasifier”, International Journal of Hydrogen Energy, vol. 38.

[4] A. sanlisoy and M. O. Carpinlioglu., (2016), “A review on plasma gasification for soil waste disposal”, Hydrogen Energy, vol. 42, pp. 1361-1365.

การเลือกขนาดของบ่อแบบเปิดสำหรับระบายความร้อนในเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ
Sizing of Open Pond for Cooling of Water-Cooled Air Conditioner

วัชรพล วัชรจินดา [1*] อรรถกร อาสนคำ[2] ธรณิศวร์ ดีทายาท[2] และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์[2]
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

บทคัดย่อ

เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ สามารถใช้บ่อแบบเปิดเพื่อระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแทนการใช้หอผึ่งเย็น บ่อแบบเปิดมีสมรรถนะในการระบายความร้อนโดยกลไกต่าง ๆ ซึ่งสามารถรับความร้อนจากเครื่องปรับอากาศและระบายสู่สิ่งแวดล้อม หากบ่อมีขนาดเล็กเกินไป COP ของเครื่องปรับอากาศจะลดลง หรือหากบ่อมีขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้สิ้นเปลืองค่าก่อสร้างและพื้นที่ งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองในการทำนายอุณหภูมิของน้ำใน

บ่อเปิด และเลือกขนาดของบ่อเปิดสำหรับอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องปรับอากาศเฉพาะตอนกลางวัน โดยค่า COP ของเครื่องปรับอากาศไม่ต่ำกว่า 3.22 ตามเกณฑ์ระดับของเครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 จากการศึกษาพบว่าปริมาตรของน้ำในบ่อที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000, 24,000, 36,000 และ 48,000 BTU/h จะมีค่า 0.82, 1.68, 2.54 และ 3.4 m^3 ตามลำดับ ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับความลึกของน้ำในบ่อเท่ากับ 10 โดยเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 BTU/h และ 24,000 BTU/h มีอุณหภูมิของน้ำในบ่อในวันถัดไปเท่ากับ 26.10 และ 28.29 °C ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิในวันก่อนหน้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 28.3 °C แต่ในส่วนของเครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 BTU/h และ 48,000 BTU/h มีอุณหภูมิของน้ำในบ่อในวันถัดไปเท่ากับ 30.34 และ 32.00 °C ซึ่งมีค่าสูงกว่า และจากการศึกษาการเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดต่อความลึกของบ่อ โดยที่ปริมาตรของน้ำเท่าเดิม พบว่ามีผลต่ออุณหภูมิของน้ำในบ่อในวันถัดไป โดยการเลือกอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับความลึกที่เหมาะสม จะช่วยลดอุณหภูมิของน้ำในบ่อ โดยที่อัตราส่วนมากกว่า 15.2 และ 20.1 อุณหภูมิของน้ำในบ่อในวันถัดไปพบว่า มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำในบ่อวันก่อนหน้า สำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 และ 48,000 BTU/h ตามลำดับ

คำสำคัญ : บ่อแบบเปิด, การเลือกขนาด, เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ, การระบายความร้อน, สมรรถนะการทำความเย็น

บทนำ

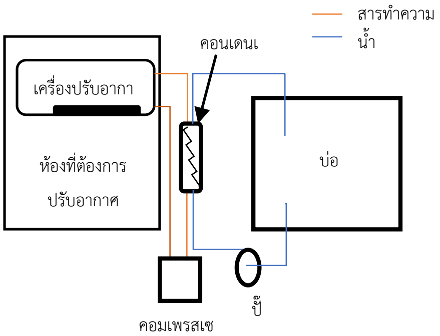
เครื่องปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการการปรับอากาศบริเวณที่ต้องการให้มีอุณหภูมิที่ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบาย มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันโดยเฉพาะประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อน แต่เป็นที่ทราบกันดีว่าระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่สูง ส่วนใหญ่ระบบปรับอากาศจะใช้วัฏจักรการทำความเย็นแบบวงจรอัดไอ โดยมีสารทำความเย็นที่ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากบริเวณที่ต้องการปรับอากาศและระบายออกที่ชุดระบายความร้อนหรือคอนเดนเซอร์ มีรายงานการทดสอบสมรรถนะระบบปรับอากาศที่ใช้น้ำและอากาศระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ พบว่าแบบระบายความร้อนด้วยน้ำลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 25% เทียบกับการระบายความร้อนด้วยอากาศ [1]

* Corresponding author: Tel.: 091-8514372. E-mail address: watcharapon_wa@cmu.ac.th

ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำมักจะใช้กับระบบที่มีความต้องการภาระการทำความเย็นสูง หรือเป็นระบบที่มี การระบายความร้อนแบบรวมศูนย์ใช้เครื่องปรับอากาศหลายเครื่อง โดยจะมีหอผึ่งเย็น (Cooling Tower) ขนาดใหญ่ผลิตน้ำเย็นไปใช้ระบายความร้อนให้แก่ชุดทำความเย็น อย่างไรก็ตามระบบหอผึ่งเย็นใช้พลังงานค่อนข้างสูงโดยเฉพาะหากมีการใช้เครื่องปรับอากาศในจำนวนน้อย

การใช้บ่อแบบเปิดเพื่อระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์เครื่องปรับอากาศโดยมีกลไกต่างๆ เช่น การแผ่รังสีของน้ำสู่ท้องฟ้า การนำความร้อน การพาความร้อน และการระเหยของน้ำ [2] สามารถรับความร้อนจากเครื่องปรับอากาศและระบายสู่สิ่งแวดล้อมทดแทนและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่หอผึ่งเย็น แต่หากมีการใช้เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่หรือจำนวนมาก เช่นการใช้เครื่องปรับอากาศในอาคารสำนักงาน หากบ่อมีขนาดเล็กเกินไปอุณหภูมิในบ่อน้ำจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้สัมประสิทธิ์การทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Coefficient of Performance, COP) ลดลง หรือหากบ่อมีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อยังคงมีค่าสูง และการระบายความร้อนในตอนกลางคืนไม่สามารถทำให้อุณหภูมิน้ำในบ่อต่ำกว่าในวันก่อนหน้าได้ ทำให้เกิดความร้อนสะสมในบ่อ สมรรถนะการระบายความร้อนในตอนกลางวันลดลง อีกทั้งยังสิ้นเปลืองค่าก่อสร้างและพื้นที่

ดังนั้นแนวคิดสำหรับงานวิจัยนี้เพื่อออกแบบและเลือกขนาดบ่อน้ำแบบเปิด สำหรับระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำแทนการใช้หอผึ่งเย็นของอาคารสำนักงานที่ใช้เครื่องปรับอากาศเฉพาะตอนกลางวัน ดังรูปที่ 1 โดยความร้อนที่ได้จากการปรับอากาศ จะระบายสู่บ่อน้ำในตอนกลางวัน และตอนกลางคืนความร้อนที่สะสมในบ่อจะถูกระบายสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อทำให้อุณหภูมิของน้ำลดต่ำลงไม่น้อยกว่าอุณหภูมิของน้ำในวันก่อนหน้า ทำให้สามารถนำน้ำจากบ่อน้ำมาระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์อีกครั้งในตอนกลางวัน ซึ่งเป็นการระบายความร้อนแบบธรรมชาติสามารถทดแทนและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่หอผึ่งเย็น

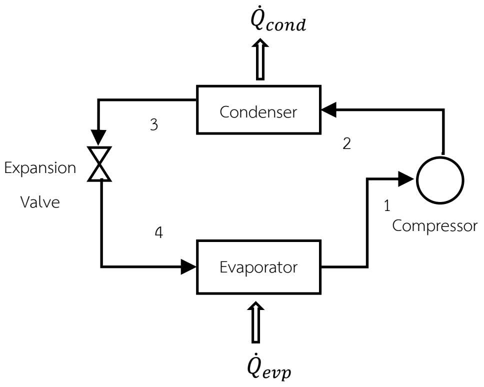


ภาพที่ 1 การใช้บ่อน้ำแบบเปิดในการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ คอมเพรสเซอร์ คอนเดนเซอร์ วาล์วขยายตัว และอีวาปอเรเตอร์ ดังรูปที่ 2 คอมเพรสเซอร์ดูดสารทำความเย็นซึ่งอยู่ในสภาวะเป็นไอที่จุด 1 และอัดให้มีความดันสูงขึ้นมาที่จุด 2 สารทำงานจะเป็นแก๊สที่ความดันสูงและอุณหภูมิสูง ถูกนำระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ และสารทำงานจะควบแน่นเป็นของเหลว ที่จุด 3 จากนั้นสารทำงานจะลดความดันและอุณหภูมิโดยผ่านเอ็กซ์แพนชั่นวาล์วมาที่จุด 4 เพื่อมารับความร้อนที่อีวาปอเรเตอร์ และเปลี่ยนสถานะเป็นไอใหม่ที่จุด 1 จากนั้นเริ่มวัฏจักรการทำงานใหม่ต่อไป [3]



ภาพที่ 2 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

อัตราความร้อนที่อีวาปอเรเตอร์ คำนวณจาก

$$\dot{Q}_{evp} = \dot{m}_{ref}(h_1 - h_4) \qquad (1)$$

อัตราความร้อนระบายออกที่คอนเดนเซอร์ คำนวณจาก

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_{ref}(h_2 - h_3) \qquad (2)$$

เมื่อ $\dot{m}_{ref}$ คืออัตราการไหลสารทำความเย็น (kg/s)

กำลังงานที่คอมเพรสเซอร์ คำนวณได้จาก

$$\dot{W} = \dot{Q}_{cond} - \dot{Q}_{evp} \qquad (3)$$

การหาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น ส่วนใหญ่นิยมหาในรูปแบบของค่าสัมประสิทธิ์เชิงสมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP) สามารถคำนวณได้จาก

$$COP = \frac{\dot{Q}_{evp}}{\dot{W}} \qquad (4)$$

และค่า COP ยังสามารถประเมินได้จาก

$$COP = \eta\left(\frac{T_L}{T_H - T_L}\right) \qquad (5)$$

เมื่อ η คือค่าคงที่มีค่าประมาณ 0.5 [4], T_L คืออุณหภูมิอีวาปอเรเตอร์ ในที่นี้จะกำหนดให้ T_L ต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างสภาะอากาศภายในห้อง $T_{room@dewpoint}$ (โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 13 °C) โดย

$$T_L = T_{room@dewpoint} - \Delta T_{evp} \qquad (6)$$

เมื่อ ΔT_{evp} คืออุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอีวาปอเรเตอร์กับอุณหภูมิจุดน้ำค้างของสภาวะอากาศภายในห้อง (°C)

T_H คืออุณหภูมิคอนเดนเซอร์ จะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของน้ำในบ่อ โดย

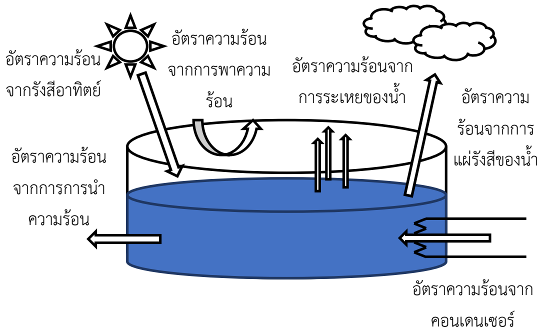
$$T_H = T_{pond} - \Delta T_{cond} \qquad (7)$$

เมื่อ T_{pond} คืออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในบ่อ (°C), ΔT_{cond} คืออุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิคอนเดนเซอร์และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในบ่อ (°C)

ค่า COP จะถูกนำเป็นดัชนีชี้วัดเพื่อทำการเลือกขนาดของบ่อแบบเปิด โดยขนาดของบ่อที่เหมาะสมจะทำให้ค่า COP ของระบบทำความเย็นมีค่าไม่ต่ำกว่า 3.22 ซึ่งเป็นค่า COP ของเครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ที่กำหนดโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

2. แบบจำลองสมการของบ่อน้ำ

อัตราความร้อนที่ได้รับจากเครื่องปรับอากาศจะถูกส่งมาที่บ่อน้ำ ทั้งนี้บ่อน้ำจะมีกลไกการระบายความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ [2] ดังรูปที่ 3 ในตอนกลางวันบ่อน้ำได้รับอัตราความร้อนที่ระบายออกที่คอนเดนเซอร์และอัตราความร้อนจากรังสีอาทิตย์ มากกว่าอัตราความร้อนที่ระบายออกของบ่อสู่สิ่งแวดล้อม ทำให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อเพิ่มสูงขึ้น และในตอนกลางคืนไม่มีการระบายความร้อนจากเครื่องปรับอากาศ รวมถึงอัตราความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ มีเพียงอัตราความร้อนที่ระบายออกของบ่อสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อลดลง และถ้าเลือกขนาดให้เหมาะสม อุณหภูมิในวันรุ่งขึ้นจะมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับอุณหภูมิน้ำในวันก่อนหน้า ทำให้การระบายความร้อนจากระบบปรับอากาศในวันถัดมาทำได้ดีขึ้น



ภาพที่ 3 อัตราการถ่ายเทความร้อนของบ่อน้ำ

สมดุลพลังงานของบ่อน้ำแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\rho_w C_{pw} V_{pond} \frac{dT_{pond}}{dt} = \dot{Q}_{tot} \quad (8)$$

เมื่อ ρ_w คือค่าความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3), C_{pw}คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg.K),V_{pond}คือปริมาตรของน้ำในบ่อ (m^3), T_{pond} คืออุณหภูมิน้ำในบ่อ (°C), $\dot{Q}_{tot}$ คืออัตราการถ่ายเทความร้อนของบ่อน้ำ (kW)

โดยที่อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของบ่อ $(\dot{Q}_{tot})$ ประกอบด้วย อัตราความร้อนจากคอนเดนเซอร์ อัตราความร้อนจากรังสีอาทิตย์ การระเหยของน้ำ และ การระบายความร้อนจากบ่อสู่สิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการอื่น

อัตราความร้อนที่บ่อน้ำได้รับจากรังสีอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_{sol} = A_{pond} \alpha_{sol} G_{sol} \quad (9)$$

เมื่อ A_{pond} คือพื้นที่หน้าตัดของบ่อน้ำ (m^2), α_{sol} คือสภาพการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของน้ำ, G_{sol}คือความเข้มของรังสีอาทิตย์ต่อพื้นที่ (W/m^2)

อัตราความร้อนที่ออกจากบ่อน้ำ โดยการแผ่รังสีระหว่างน้ำในบ่อกับท้องฟ้า สามารถคำนวณได้จาก [5]

$$\dot{Q}_{rad} = A_{pond} \varepsilon_f \sigma \left[\left(T_{pond} + 273\right)^4 - \left(T_{sky} + 273\right)^4 \right] \quad (10)$$

เมื่อ ε_f คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของน้ำมีค่าเท่ากับ 0.95 [2], σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟานโบลท์สมานน์ค่าเท่ากับ 5.67x10^{-8} W/m^2.K^4, T_{sky} คือ อุณหภูมิของท้องฟ้า (°C)

โดยที่อุณหภูมิของท้องฟ้าคำนวณจาก [6]

$$T_{sky} = T_{amb} {\varepsilon_{sky}}^{0.25} \quad (11)$$

เมื่อ T_{amb} คืออุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (°C) , ε_{sky} คือค่าสัมประสิทธ์การแผ่รังสีของท้องฟ้า

โดยค่าสัมประสิทธ์การแผ่รังสีของท้องฟ้าคำนวณจาก[6]

$$\varepsilon_{sky} = 0.754 + 0.0044T_{dew} \qquad (12)$$

เมื่อ T_{dew} คืออุณหภูมิจุดน้ำค้าง (°C)

โดยที่ค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างคำนวณจาก [8]

$$T_{dew} = \left(\frac{RH}{100}\right)^{\frac{1}{8}}(112 + 0.9T_{amb}) + 0.1T_{amb} - 112 \qquad (13)$$

เมื่อ RH คือความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%)

การคำนวณอัตราความร้อนที่ออกจากบ่อน้ำจากการระเหยของน้ำ คำนวณได้จาก [5]

$$\dot{Q}_{evap} = h_{evap}A_{pond}(P_w - P_a) \qquad (14)$$

เมื่อ h_{evap} คือสัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำ(W/m^2·Pa), P_w คือความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิผิวน้ำ (kPa), P_a คือความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (kPa)

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำ คำนวณจาก [5]

$$h_{evap} = 0.036 + 0.025v_{wind} \qquad (15)$$

เมื่อ v_{wind} คือความเร็วลม (m/s)

การคำนวณอัตราความร้อนที่ออกจากบ่อน้ำจากการพาความร้อนที่ผิวน้ำของบ่อ สามารถคำนวณได้จาก [5]

$$\dot{Q}_{conv} = A_{pond}h_c\left(T_{pond} - T_{amb}\right) \qquad (16)$$

เมื่อ h_c คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2·K)

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนคำนวณได้จาก [7]

$$h_c = 2.8 + 3.0v_{wind} \qquad (17)$$

อัตราสูญเสียความร้อนด้านข้างของบ่อน้ำจากการนำความร้อน มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับอัตราการถ่ายเทความร้อนแบบอื่น [8] อีกทั้งสามารถหุ้มฉนวนรอบบ่อ เพื่อลดการสูญเสียอัตราความร้อนจากการนำได้ ดังนั้นจึงไม่คิดการสูญเสียนี้

จากสมการที่ (8) แทนค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในสมการ ทำให้ได้แบบจำลองที่ใช้ทำนายอุณหภูมิของน้ำในบ่อในแต่ละช่วงเวลา โดยแบ่งการทำงานของระบบเป็นสองช่วงเวลาคือกลางวันและกลางคืน

-ตอนกลางวัน (8:00-17:00น.) ระบบทำความเย็นจะดึงความร้อนภายในห้องไประบายที่บ่อน้ำ การหาอุณหภูมิของน้ำในบ่อตอนกลางวัน สามารถหาได้ดังนี้

$$T_{pond_{t+\Delta t}} = T_{pond_t} + \Delta t\left[\dot{Q}_{cond} + \dot{Q}_{sol} - \dot{Q}_{rad} - \dot{Q}_{evap} - \dot{Q}_{conv}\right]/\rho_w C_{pw} V_{pond} \qquad (18)$$

-ตอนกลางคืน (17:00-8:00น.) บ่อน้ำจะระบายความร้อนกับสิ่งแวดล้อม และสมมุติว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนในช่วงเช้ามีค่าน้อยมาก $(\dot{Q}_{sol} = 0)$ และอัตราความร้อนจากคอนเดนเซอร์ $\left(\dot{Q}_{conden} = 0\right)$ สามารถหาอุณหภูมิของน้ำในบ่อตอนกลางคืนได้ดังนี้

$$T_{pond_{t+\Delta t}} = T_{pond_t} + \Delta t\left[-\dot{Q}_{rad} - \dot{Q}_{evap} - \dot{Q}_{conv}\right]/\rho_w C_{pw} V_{pond} \qquad (19)$$

เมื่อสามารถทำนายอุณหภูมิของน้ำในบ่อแต่ละช่วงเวลาได้จะสามารถหาอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ (T_H) เพื่อใช้ในการหาค่า COP ของเครื่องปรับอากาศได้จากสมการที่ (5) ทั้งนี้ขนาดและรูปร่างของบ่อจะต้องมีความเหมาะสม เพื่อให้ COP มีค่าไม่ต่ำกว่า 3.22 และอุณหภูมิของน้ำในบ่อในวันถัดไปสามารถลดลงโดยที่อุณหภูมิไม่สูงกว่าอุณหภูมิน้ำในบ่อในวันก่อนหน้า

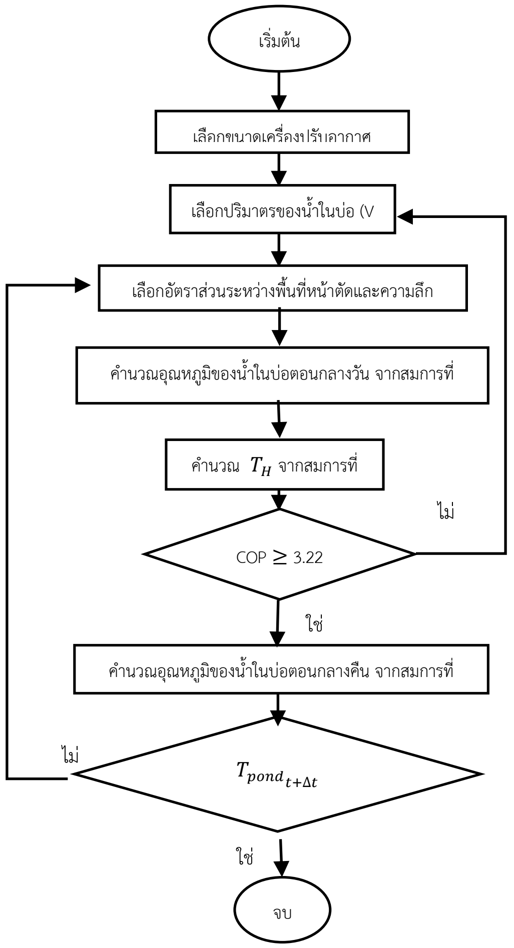
วิธีการศึกษา

ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการเลือกขนาดของบ่อแบบเปิดสำหรับระบายความร้อนที่เหมาะสมกับเครื่องปรับอากาศ โดยการจำลองการเลือกขนาด กำหนดเปิดใช้เครื่องปรับอากาศตั้งแต่เวลา 8:00-17:00 น. และระบายความร้อนของบ่อแบบเปิดตอนกลางคืนตั้งแต่เวลา 18:00-6:00 น. ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 15-16 เมษายน กำหนดให้ท้องฟ้าแจ่มใส โดยกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองดังตารางที่ 1

พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
-อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำในบ่อ	28.3	°C
-อุณหภูมิของพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศ	25	°C
-อุณหภูมิแตกต่างที่อีวาปอเรเตอร์	5	°C
-อุณหภูมิแตกต่างที่คอนเดนเซอร์	5	°C
-ความชื้นสัมพัทธ์อากาศในห้อง	50%	-
-ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก	60%	-
-ความเร็วลม	1	m/s

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

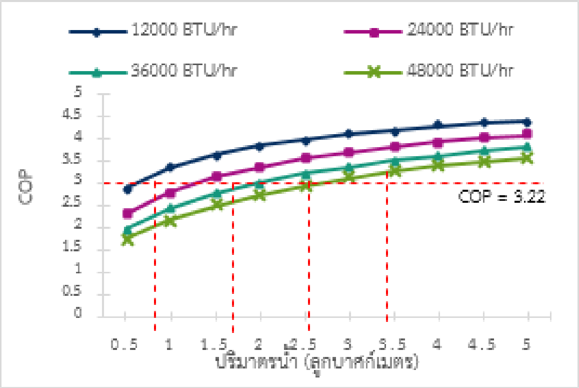
โดยเงื่อนไขในการเลือกขนาดของบ่อแบบเปิดที่เหมาะสม ค่า COP ของเครื่องปรับอากาศจะต้องมีระดับประสิทธิภาพเท่ากับเบอร์ 5 หรือ COP ไม่ต่ำกว่า 3.22 โดยอุณหภูมิของน้ำในวันถัดไป จะไม่สูงกว่าอุณหภูมิในวันก่อนหน้า โดยการจำลองการเลือกขนาด มีขั้นตอนดังรูปที่ 4



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการจำลองการเลือกขนาดของบ่อแบบเปิดสำหรับระบายความร้อนที่เหมาะสมกับเครื่องปรับอากาศ

ผลการศึกษาและการวิจารณ์ผล

จากการจำลองการทำงานของระบบ การเปลี่ยนขนาดปริมาตรของน้ำในบ่อของเครื่องปรับอากาศขนาดต่างๆ โดยอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดและความลึกของบ่อ (A/D) เท่ากับ 10 ส่งผลต่อค่า COP ของเครื่องปรับอากาศ



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง COP กับปริมาตรของน้ำของเครื่องปรับอากาศในแต่ละขนาด

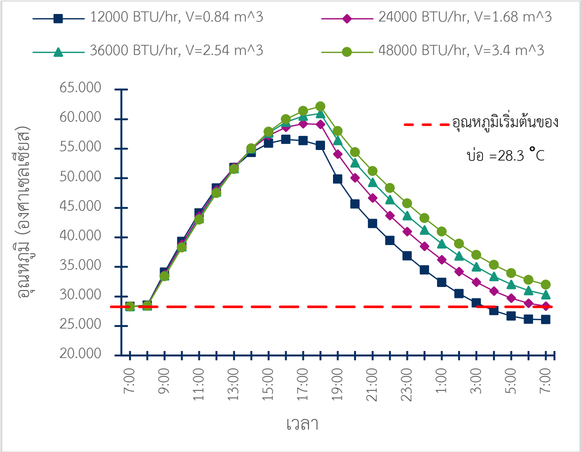
จากรูปที่ 5 แสดงค่า COP เครื่องปรับอากาศในแต่ละขนาด เมื่อมีการเปลี่ยนปริมาตรของบ่อน้ำ ที่มีการใช้ระบายความร้อน โดย COP ของเครื่องปรับอากาศมีค่าสูงขึ้น ตามปริมาตรของน้ำในบ่อที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำในบ่อตอนกลางวันจะเพิ่มขึ้นช้ากว่าในบ่อขนาดเล็ก ทำให้สามารถระบายความร้อนได้ดีขึ้น และ COP จะมีค่าลดลงตามขนาดของเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากมีอัตราการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์สูงขึ้นทำให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อมีค่าสูง

ปริมาตรของน้ำในบ่อที่เหมาะสมจะต้องสอดคล้องกับขนาดของเครื่องปรับอากาศ ตามเกณฑ์เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 โดยค่า COP จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 3.22 จากผลการศึกษาพบว่าขนาดของบ่อที่เหมาะสมกับขนาดเครื่องปรับอากาศขนาดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2

จากรูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการระบายความร้อนเครื่องปรับอากาศในแต่ละขนาด โดยเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 BTU/h และ 24,000 BTU/h มีอุณหภูมิของน้ำในบ่อในวันถัดไปเท่ากับ 26.10 และ 28.29 °C ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิในวันก่อนหน้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 28.3 °C แต่ในส่วนของเครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 BTU/h และ 48,000 BTU/h มีอุณหภูมิของน้ำในบ่อในวันถัดไปเท่ากับ 30.34 และ 32.00 °C ซึ่งมีค่าสูงกว่า ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนขนาดของบ่อเพื่อให้อุณหภูมิของน้ำในบ่อในวันถัดไปมีค่าต่ำกว่ากว่าอุณหภูมิในวันก่อนหน้า

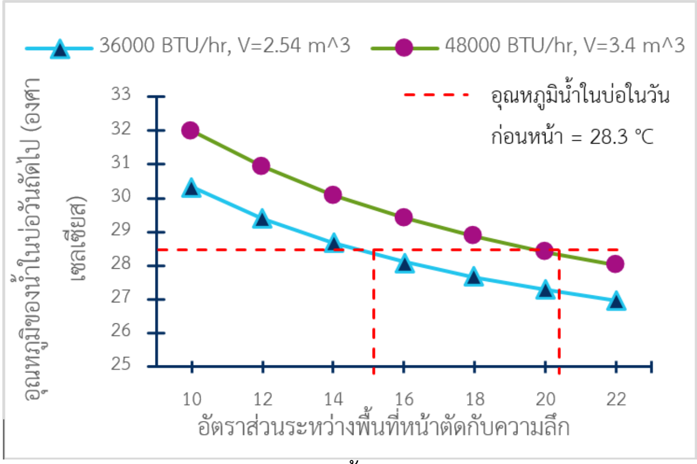
ตารางที่ 2 ปริมาตรน้ำที่เหมาะสมของเครื่องปรับอากาศแต่ละขนาด

ขนาดเครื่องปรับอากาศ (BTU/h)	ปริมาตรน้ำ (m^3)
12,000	0.84
24,000	1.68
36,000	2.54
48,000	3.40



ภาพที่ 6 อุณหภูมิของน้ำในบ่อที่ใช้ระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศแต่ละขนาดในแต่ละช่วงเวลา

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดต่อความลึกของน้ำในบ่อ ซึ่งมีผลต่อการระบายความร้อนตอนกลางคืนและอุณหภูมิของน้ำในบ่อในวันถัดไป จากการจำลองการเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดต่อความลึกของบ่อ โดยที่ปริมาตรของน้ำเท่าเดิม พบว่าค่า COP ของเครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 และ 48,000 BTU/h มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนปริมาตรน้ำในบ่อ แต่มีผลต่ออุณหภูมิของน้ำในบ่อในวันถัดไป โดยการเลือกอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับความลึกที่เหมาะสม จะช่วยลดอุณหภูมิของน้ำในบ่อ ดังผลแสดงในรูปที่ 8 ที่อัตราส่วนมากกว่า 15.2 และ 20.1 อุณหภูมิของน้ำในบ่อในวันถัดไปพบว่า มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำในบ่อวันก่อนหน้า สำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 และ 48,000 BTU/h ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำสำหรับกลับมาระบายความร้อนในวันถัดไป
กับอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับความลึก

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการเลือกขนาดของบ่อแบบเปิดสำหรับระบายความร้อนที่เหมาะสมกับเครื่องปรับอากาศ โดยการจำลองการทำงานของระบบ สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ขนาดของบ่อที่มากขึ้น จะมีศักยภาพในการระบายความร้อนจากคอนเดนเซอร์ในตอนกลางวันมากขึ้น โดย COP จะมีค่าสูงขึ้น บ่อที่มีขนาดเล็กเกินไปการระบายความร้อนจากคอนเดนเซอร์จะมีสมรรถนะลดลง และถ้าบ่อมีขนาดใหญ่เกินไป

ถึงแม้ COP จะมีค่าสูงขึ้น แต่จะมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นเช่นเดียวกัน ขนาดของบ่อที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ควรจะมีค่าที่ทำให้ COP ของระบบมีค่าไม่ต่ำกว่า 3.22 ซึ่งเป็นค่าที่สอดคล้องกับสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศเบอร์ 5

2. ปริมาตรของน้ำในบ่อที่มีค่าสูง แม้ว่าจะช่วยให้การระบายความร้อนจากคอนเดนเซอร์ในตอนกลางวันทำได้ดี แต่การระบายความร้อนในช่วงเวลากลางคืน อาจไม่เพียงพอในการลดอุณหภูมิน้ำในบ่อในวันถัดไป ให้ต่ำกว่าตอนเริ่มต้นของวันแรก ในกรณีเครื่องปรับอากาศมีขนาดใหญ่

3. การเลือกอัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดต่อความลึกของน้ำในบ่อที่เหมาะสม จะช่วยเพิ่มศักยภาพในการลดอุณหภูมิของน้ำในบ่อในเวลากลางคืน ที่อัตราส่วนมากกว่า 15.2 และ 20.1 อุณหภูมิของน้ำในบ่อในวันถัดไปสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 และ 48,000 BTU/h ตามลำดับ พบว่า มีค่า 28.3 C เท่ากับอุณหภูมิน้ำในบ่อวันก่อนหน้า จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 30.34 และ 32.00 °C ตามลำดับ ที่อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับความลึกของน้ำในบ่อเท่ากับ 10

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] R. K. Sun, A. M. R. Al-Marafie, and G. P. Maheshwari. **Water-cooled air-conditioning systems for energy and power saving**. *Int. J. Ambient Energy*, vol. 10, no. 3, pp. 123–128, 1989.

[2] E. Ruiz and P. J. Martínez. **Analysis of an open-air swimming pool solar heating system by using an experimentally validated TRNSYS model**. *Sol. Energy*, vol. 84, no. 1, pp. 116–123, 2010

[3] J. Liu, F. Qin, X. Xie, and L. Zhang. **An Applied Research on the Compound Air Conditioning System of Ground Source Direct Cooling System and Water Storage Tank System**. *Procedia Eng.*, vol. 146, pp. 559–566, 2016.

[4] Riffe, D. R. . **Is There a Relationship Between the Ideal Carnot Cycle and the Actual Ideal Carnot Cycle and the Acutual Vapor Compression Cycle?**. (1994). *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*. Paper 249.

[5] G. Zsembinszki, M. M. Farid, and L. F. Cabeza. **Analysis of implementing phase change materials in open-air swimming pools**. *Sol. Energy*, vol. 86, no. 1, pp. 567–577, 2012.

[6] J. C. Lam and W. W. Chan. **Life cycle energy cost analysis of heat pump application for hotel swimming pools**. *Energy Convers. Manag.*, vol. 42, no. 11, pp. 1299–1306, 2001.

[7] M. P. Wanielista, R. Kersten, and R. Eaglin. **Hydrology : Water Quantity and Quality Control , 2nd Edition**. 1996.

[8] J. Woolley, C. Harrington, and M. Modera. **Swimming pools as heat sinks for air conditioners: Model design and experimental validation for natural thermal behavior of the pool**. *Build. Environ.*, vol. 46, no. 1, pp. 187–195, 2011.

การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตรโดยใช้พลังงานทดแทน
Design and making of agricultural drilling robots using renewable energy

จักรี วิชัยระหัด[1*] รุ่งตะวัน วิวัฒนาศิริกุล[2] พงษ์ภูไท อุดมอริยทรัพย์[2] วรเชษฐ์ แสงสีดา[2] ศรัณยู เหลาพา[2] ณัฐวุฒิ ทองหล่อ[3] และศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล[4]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ 36000

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ 36000

[3] คลินิกเทคโนโลยี สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ 36000

[4] มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ 36000

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการใช้พลังงานทดแทนเป็นกระแสที่กำลังเป็นที่นิยมและถูกกล่าวถึงมากในวงกว้าง เนื่องจากการจะหมดไปของพลังงานจากฟอสซิล (น้ำมันเชื้อเพลิง) คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตรโดยใช้กระบวนการในการออกแบบทางวิศวกรรม 6 ขั้นตอน และหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ดี 6 อย่าง โดยมีเงื่อนไขให้นำพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนมาใช้ในการเคลื่อนที่และขุดเจาะ โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งานเป็นหลัก ข้อสรุปในการออกแบบของคณะผู้วิจัยตัดสินใจเลือกการขุดเจาะแบบสว่านเนื่องจากหุ่นยนต์จะมีขนาดเล็ก สามารถขนย้ายได้ง่าย ส่วนการใช้พลังงานทดแทนนั้น ได้เลือกให้ชุดขับเคลื่อนใช้พลังงานไฟฟ้า แต่ชุดขุดเจาะต้องใช้แรงบิดสูงจึงเลือกใช้เครื่องยนต์เบนซินที่สามารถใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้ สำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมระยะไกลผ่านรีโมทคอนโทรลเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน โดยใช้แบตเตอรี่แรงดัน 12 โวลต์ 12 แอมแปร์ชั่วโมง จำนวน 2 ชุด ขับมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ การขึ้นลงของชุดขุดเจาะและการควบคุมคันเร่งเครื่องยนต์ชุดขุดเจาะ ผลการทดสอบปรากฏว่าหุ่นยนต์สามารถขุดเจาะหลุมสำหรับทำการเกษตร โดยหลุมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ลึก 250 มิลลิเมตร อัตราในการขุดเจาะอยู่ที่ 2 นาทีต่อหลุม อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องขุดเจาะ 30 หลุมต่อลิตร และหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 2 กิโลเมตร ต่อการชาร์จไฟฟ้า 1 ครั้ง โดยงานวิจัยนี้สามารถต่อยอดปรับปรุงเพิ่มความลึกของหลุมและขนาดความกว้างของหลุมได้

คำสำคัญ: การออกแบบทางวิศวกรรม หุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตร พลังงานทดแทน

บทนำ

กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ซึ่งมีขั้นตอนประกอบด้วย การชี้ชัดปัญหา (Problem Identification) การนำเสนอแนวคิดขั้นตอน (Preliminary Ideas) การคัดกรอง (Refinement) การวิเคราะห์ (Analysis) การตัดสินใจ (Decision) การจัดทำแบบสั่งงานและบทสรุปลักษณะ (Implementation) [1] นอกจากจะใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือออกแบบระบบทางวิศวกรรมที่ใช้พลังงานหลักแล้ว การออกแบบผลิตภัณฑ์ทางด้านนวัตกรรมที่ใช้พลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนก็จำเป็นจะต้องใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมด้วยเช่นกัน หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ดีนั้น ผลิตภัณฑ์

* Corresponding author: Tel.: 081-2662056 E-mail address: jakreew@cpru.ac.th

จะต้องใช้งานได้ดี (Functional) ผลิตได้ง่าย (Well manufacturing) บรรจุหีบห่อได้ดีหรือส่งมอบให้ลูกค้าได้ง่าย (Well packaging) มีความแข็งแรงทนทาน (Durable) ซ่อมบำรุงได้ง่าย (Maintainable) และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Resource efficient) [2]

ปัจจุบันการใช้พลังงานทดแทนเป็นกระแสที่กำลังเป็นที่นิยมและถูกกล่าวถึงมากในวงกว้าง เนื่องจากการจะหมดไปของพลังงานจากฟอสซิล (น้ำมันเชื้อเพลิง) พลังงานทดแทน [3] คือ พลังงานธรรมชาติประเภทใช้ไม่หมดสามารถหมุนเวียนมาให้ใช้เป็นประจำวัน เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานก๊าซชีวภาพ หรือพลังงานคลื่น และอื่น ๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนพลังงานธรรมชาติประเภทใช้แล้วหมดเปลือง ซึ่งใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น ฟืน ถ่านไม้ ถ่านหิน น้ำมันเชื้อเพลิง แร่ธาตุหรือก๊าซธรรมชาติ สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มากเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล พลังงานแก๊สชีวภาพ พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานน้ำ หรือพลังงานอื่นๆ เช่น ไบโอดีเซล แก๊สโซฮอล์ ดีโซฮอล์ NGV พลังงานไฮโดรเจน พลังงานใต้พิภพ ล้วนเป็นพลังงานทดแทนที่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อการส่งพลังงานไปในระยะไกลตามสายส่ง ซึ่งเป็นผลดีต่อผู้ใช้พลังงาน [4]

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตรโดยใช้กระบวนการในการออกแบบทางวิศวกรรม 6 ขั้นตอน และหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ดี 6 อย่าง โดยพิจารณาให้นำพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนมาใช้ในการขับเคลื่อนและขุดเจาะทางการเกษตรโดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งานเป็นหลัก

วิธีการวิจัย

กระบวนการในการวิจัยนี้ประกอบด้วย การออกแบบ การสร้าง และการทดสอบหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตรโดยใช้พลังงานทดแทน รายละเอียดดังนี้

1. การออกแบบ

1.1 โดยใช้กระบวนการในการออกแบบทางวิศวกรรม 6 ขั้นตอน ประกอบด้วย

(1) การชี้ชัดปัญหา (Problem Identification)

(2) การนำเสนอแนวคิดขั้นตอน (Preliminary Ideas)

(3) การคัดกรอง (Refinement)

(4) การวิเคราะห์ (Analysis)

(5) การตัดสินใจ (Decision)

(6) การจัดทำแบบสั่งงานและบทสรุปลักษณะ (Implementation)

1.2 โดยใช้หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ดี 6 อย่าง ได้แก่

(1) ผลิตภัณฑ์จะต้องใช้งานได้ดี (Functional)

(2) ผลิตได้ง่าย (Well manufacturing)

(3) บรรจุหีบห่อได้ดีหรือส่งมอบให้ลูกค้าได้ง่าย (Well packaging)

(4) มีความแข็งแรงทนทาน (Durable)

(5) ซ่อมบำรุงได้ง่าย (Maintainable)

(6) เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Resource efficient)

1.3 การเลือกใช้พลังงานทดแทนมาใช้ในการขับเคลื่อนและขุดเจาะทางการเกษตร

2. การสร้าง ได้แก่ ขั้นตอนและวิธีการในการสร้างหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตร

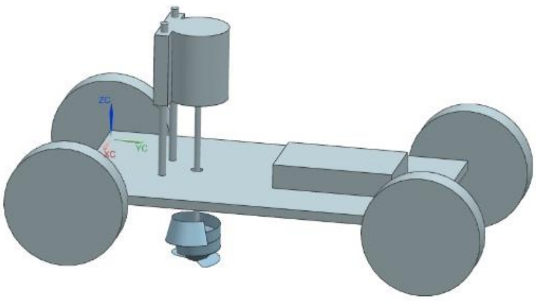
3. การทดสอบ ได้แก่

3.1 ทดสอบการควบคุมและอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานขณะขับเคลื่อนและขณะขุดเจาะ

3.2 ทดสอบความสามารถในการขุดเจาะ ประกอบด้วย ขนาดของหลุมที่สามารถขุดเจาะได้และอัตราการขุดเจาะ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบโดยคณะผู้วิจัยได้มีการประชุมปรึกษาหารือและได้แนวคิดในการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตรโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD 3-D Modeling) เพื่อให้สามารถบันทึกข้อมูลและปรับเปลี่ยนแบบได้อย่างรวดเร็ว ผู้ร่วมวิจัยสามารถมองเห็นแบบทางวิศวกรรมได้หลายมุมมอง [5] ใช้หลักการทางวิศวกรรมเครื่องมือ [6] และเทคโนโลยีซีเอ็นซี [7] มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมระยะไกล [8] ดังแสดงในภาพที่ 1



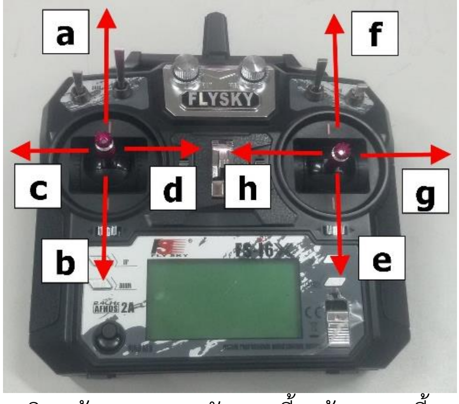
ภาพที่ 1 แบบทางวิศวกรรม 3 มิติ ของโครงสร้างหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตร (แบบร่าง)

คณะผู้วิจัยได้ทำการชี้ชัดปัญหาโดยกำหนดให้หุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตรสามารถขุดเจาะหลุมสำหรับปลูกต้นไม้ได้โดยใช้พลังงานทดแทน จึงได้ทำการระดมความคิดเพื่อเสนอแนวคิดขั้นตอนในการขุดเจาะว่าจะใช้แบบใด ระหว่างการขุดเจาะด้วยปุ้งกี๋คล้ายรถแบคโฮกับการเจาะคล้ายสว่าน ได้มีการคัดกรองและวิเคราะห์จากข้อจำกัดด้านงบประมาณ ระยะเวลาในการสร้างและการขนย้ายหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตร จึงตัดสินใจเลือกการขุดเจาะแบบสว่านเนื่องจากหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตรจะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา สามารถขนย้ายขึ้นบนรถกระบะบรรทุกได้ ส่วนการใช้พลังงานทดแทนนั้น ได้เลือกให้ชุดขับเคลื่อนใช้พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากสามารถใช้พลังงานทดแทนมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ แต่ชุดขุดเจาะต้องใช้แรงบิดสูง จึงเลือกใช้ชุดขุดเจาะแบบเครื่องยนต์เบนซิน แต่สามารถใช้พลังงานทดแทนได้คือสามารถใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้ จึงได้บทสรุปการออกแบบตามที่กล่าวข้างต้น และได้ดำเนินการสร้างหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตรแล้วเสร็จตามภาพที่ 2

ภาพที่ 2 โครงสร้างหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตร (โครงสร้างจริง)

จากนั้นจึงได้สร้างหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตรขนาด กว้าง 1,050 มิลลิเมตร ยาว 1,050 มิลลิเมตร สูง 1,500 มิลลิเมตร โดยใช้เหล็กกล่องขนาด 1.5*3 นิ้ว เป็นโครงหุ่นยนต์ สำหรับการเคลื่อนที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมแสดงดังรูปที่ 3 โดยใช้แบตเตอรี่แรงดัน 12 โวลต์ 12 แอมแปร์ชั่วโมง จำนวน 2 ชุด แบ่งการควบคุมรีโมทคอนโทรลเป็น 8 ช่องคือ เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา ชุดขุดเจาะดินกดลง ชุดขุดเจาะดินยกขึ้น เร่งคันเร่งเครื่องเจาะ เบาคันเร่งเครื่องเจาะ ตามภาพที่ 4

ภาพที่ 3 ชุดควบคุมแบบไมโครคอนโทรลเลอร์และแบตเตอรี่



ภาพที่ 4 รีโมทคอนโทรล (a) เดินหน้า (b) ถอยหลัง (c) เลี้ยวซ้าย (d) เลี้ยวขวา (e) ชุดขุดเจาะดินกดลง (f) ชุดขุดเจาะดินยกขึ้น (g) เร่งคันเร่งเครื่องเจาะ (h) เบาคันเร่งเครื่องเจาะ

มอเตอร์ไฟฟ้าจำนวน 4 ชุด ถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ แบ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับการเคลื่อนที่ล้อซ้าย 1 ชุด ล้อขวา 1 ชุด มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับควบคุมการขึ้นลงของชุดขุดเจาะ 1 ชุด และมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับควบคุมคันเร่งเครื่องยนต์ชุดขุดเจาะ 1 ชุด โดยมอเตอร์ควบคุมการขึ้นลงของชุดขุดเจาะจะยึดอยู่กับบอลสกรูซึ่งนิยมใช้ในชุดขับเคลื่อนของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี [7] เนื่องจากเป็นการสัมผัสระหว่างเกลียวกับลูกปืน ทำให้ลดแรงบิด มอเตอร์ขับไม่ต้องใช้แรงบิดมาก ดังแสดงในภาพที่ 5

ภาพที่ 5 ชุดควบคุมเครื่องขุดเจาะ (a) มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับควบคุมการขึ้นลงของชุดขุดเจาะ (b) บอลสกรู (c) มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับควบคุมคันเร่งเครื่องยนต์ชุดขุดเจาะ

จากการทดลองใช้หุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตร ปรากฏว่าหุ่นยนต์ใช้งานได้ดี ผลิตได้ง่ายเนื่องจากใช้เครื่องมือช่างพื้นฐานในการผลิต เช่น เครื่องตัดเหล็ก เครื่องเชื่อมเหล็ก สว่าน เครื่องเจียร เป็นต้น หุ่นยนต์มีความแข็งแรงทนทาน ซ่อมบำรุงได้ง่ายเนื่องจากโครงสร้างเป็นแบบโปร่ง และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยสามารถขุดเจาะหลุมสำหรับปลูกต้นไม้หรือทำการเกษตร โดยหลุมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร หลุมลึก 250 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 6 หลุมเหมาะสำหรับปลูกเบี้ยต้นไม้ขนาดเล็ก อัตราในการขุดเจาะอยู่ที่ 2 นาทีต่อหลุม อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องขุดเจาะ 30 หลุมต่อลิตร และหุ่นยนต์สามารถขับเคลื่อนได้ระยะทาง 2 กิโลเมตร ต่อการชาร์จไฟฟ้า 1 ครั้ง โดยงานวิจัยนี้สามารถต่อยอดปรับปรุงเพิ่มเติมได้ เช่น สามารถปรับปรุงเพิ่มความลึกของหลุมได้โดยการเชื่อมเพิ่มความยาวใบสว่านเจาะดิน สามารถปรับปรุงเพิ่มขนาดความกว้างของหลุมได้โดยการดัดแปลงเพิ่มชุดเลื่อน (Slide) ซ้าย-ขวา บริเวณฐานยึดชุดขุดเจาะโดย 1 หลุมขุดเจาะ 2 ครั้ง ซ้าย 1 ครั้ง ขวา 1 ครั้ง ก็จะสามารถเพิ่มขนาดหลุมได้ ทั้งนี้ ได้นำหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตร ไปทดลองขุดเจาะหลุมสำหรับปลูกต้นไม้ ในงานวันวิสาขบูชาและวันต้นไม้แห่งชาติ ประจำปี 2562 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ดังภาพที่ 7

ภาพที่ 6 การทดสอบการขุดเจาะหลุมเพื่อการเกษตร

ภาพที่ 7 ร่วมงานวันวิสาขบูชาและวันต้นไม้แห่งชาติ ประจำปี 2562
ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ขุดเจาะทางการเกษตรโดยใช้กระบวนการในการออกแบบทางวิศวกรรม 6 ขั้นตอน และหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ดี 6 อย่าง โดยมีเงื่อนไขให้นำพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทนมาใช้ในการเคลื่อนที่และขุดเจาะทางการเกษตรโดยคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งานเป็นหลัก ข้อสรุปในการออกแบบของคณะผู้วิจัยตัดสินใจเลือกการขุดเจาะแบบสว่านเนื่องจากหุ่นยนต์จะมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา สามารถขนย้ายได้ง่าย ส่วนการใช้พลังงานทดแทนนั้น ได้เลือกให้ชุดขับเคลื่อนใช้พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากสามารถใช้พลังงานทดแทนมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ แต่ชุดขุดเจาะต้องใช้แรงบิดสูงจึงเลือกใช้เครื่องยนต์เบนซิน แต่สามารถใช้พลังงานทดแทนได้คือสามารถใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้ สำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมระยะไกลผ่านรีโมทคอนโทรล เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน โดยใช้แบตเตอรี่แรงดัน 12 โวลต์ 12 แอมแปร์ชั่วโมง จำนวน 2 ชุด ขับมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับการเคลื่อนที่ล้อซ้าย 1 ชุด ล้อขวา 1 ชุด มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับควบคุมการขึ้นลงของชุดขุดเจาะ 1 ชุด และมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับควบคุมคันเร่งเครื่องยนต์ชุดขุดเจาะ 1 ชุด ผลการทดสอบหุ่นยนต์สามารถขุดเจาะหลุมสำหรับปลูกต้นไม้หรือทำการเกษตร โดยหลุมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มิลลิเมตร ลึก 250 มิลลิเมตร อัตราในการขุดเจาะอยู่ที่ 2 นาทีต่อหลุม อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องขุดเจาะ 30 หลุมต่อลิตร และหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ระยะทาง 2 กิโลเมตร ต่อการชาร์จไฟฟ้า 1 ครั้ง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิสำหรับการสนับสนุนงบประมาณ ขอขอบคุณโครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ สำหรับการสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] จักรี วิชัยระหัด.(2560) เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต. มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ.

[2] S. Kalpakjian and S. R. Schmid.(2001) Manufacturing Engineering and Technology. Pearson Education India.

[3] ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. พลังงานทดแทน. สืบค้นเมื่อ 24 กันยายน 2562, จาก http://www.thailandenergyeducation.com/assets/media/A004.pdf.

[4] ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. พลังงานไฟฟ้า. สืบค้นเมื่อ 24 กันยายน 2562, จาก http://www.thailandenergyeducation.com/assets/media/A003.pdf.

[5] Zeid I.(2005) Mastering CAD/CAM. MaGrawHill.

[6] ยงยุทธ เสริมสุธีอนุวัฒน์.(2556) หลักวิศวกรรมเครื่องมือเบื้องต้น การออกแบบจิก ฟิกซ์เจอร์และเกจตรวจสอบ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

[7] Industrial Center.(2009) Computer Numerical control. The Hong Kong Polytechnic University.

[8] Alan G. Smith. (2011) Introduction to Arduino: A piece of cake!. access on Sep24, 2019, https://www.introtoarduino.com/downloads/IntroArduinoBook.pdf.

ระบบอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิกสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน
Ceramic Heat Radiation Drying System for Community Products

วรรณิตา ทองพัด [1*] อำพล อาภาธนากร[2] พิสิษฐ์ มณีโชติ[3]
[1,2] สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) [3] วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรมาเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชน นับว่าเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าได้อย่างหลากหลาย กระบวนการอบแห้งเป็นขั้นตอนสำคัญในการลดความชื้นของวัตถุดิบจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและการผลิตสินค้าชุมชน จึงเกิดแนวคิดในการเลือกใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมของระบบอบแห้งให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ในชุมชน “ระบบอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิก” เป็นเทคโนโลยีที่อาศัยการแผ่พลังงานความร้อนจากเซรามิกชนิดพิเศษที่รับความร้อนจากหัวเผาเพื่อปลดปล่อยคลื่นความร้อนที่เรียกว่า อินฟราเรด ในย่านอินฟราเรดระยะไกล (Far Infrared - FIR) เพื่อสร้างความร้อนที่ภายนอกจากอินฟราเรด และมีพลังงานส่วนหนึ่งที่แทรกเข้าไปในชั้นผิวของวัสดุที่อบ จึงส่งผลให้เกิดการส่งผ่านความชื้นจากด้านในของวัสดุสู่ด้านนอกอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้คุณภาพการอบแห้งดี ไม่ทำลายโครงสร้างของวัตถุดิบ ลดระยะเวลาการอบ และประหยัดพลังงาน รสชาติ สี กลิ่นและรส ที่คงเดิม ตัวอย่างเช่น การทดสอบอบกล้วยน้ำว้าดิบ ใช้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อแปรรูปเป็นผงกล้วย และทดสอบอบดอกอัญชัน เพื่อแปรรูปเป็นชา ใช้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง จากการทดลองจะได้ผงกล้วยและดอกอัญชัน ที่มีรสชาติและสีตรงตามที่ต้องการ คือ สี กลิ่น และรสชาติคงเดิมซึ่งเป็นการยกระดับคุณภาพและสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลิตภัณฑ์ชุมชนได้ ทำให้เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถตอบโจทย์การอบแห้งผลิตภัณฑ์และเกิดประโยชน์ต่อการนำไปสู่การใช้งานจริงในแต่ละชุมชน

คำสำคัญ: การอบแห้ง เซรามิก การแผ่รังสี FIR

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งประชาชนส่วนใหญ่มีอาชีพหรือดำรงอยู่ได้โดยมีความเกี่ยวพันกับการเกษตร การพัฒนาการเกษตรจึงเป็นการพัฒนาที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะจะส่งผลให้ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศมีรายได้สูงขึ้นและมีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น ในปัจจุบันมีการนิยมการแปรรูปสินค้าเกษตร เป็นสินค้าอุปโภคและบริโภค เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา รวมถึงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ชุมชนใหม่ๆ ที่มีความหลากหลาย เพิ่มทางเลือกและเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบ โดยสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การหมัก การแช่เยือกแข็ง การทำให้แห้ง การแปรรูปด้วยความร้อน เป็นต้น

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนโดยการนำผลผลิตทางการเกษตรมาแปรรูป นับว่าเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าได้อย่างหลากหลาย ซึ่งกระบวนการอบแห้งเป็นขั้นตอนสำคัญ ในการลดความชื้นของวัตถุดิบจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและการผลิตสินค้าชุมชน เช่น อาหารแห้ง เครื่องดื่มชนิดผง การผลิตสมุนไพร การย้อมผ้า ของใช้และของตกแต่งจากไม้ โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของชุมชนในปัจจุบันจะใช้การตากแดดตามธรรมชาติหรือการอบด้วยลมร้อน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ไม่คงที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มของอาหารที่จะมีการปนเปื้อนจากสภาวะแวดล้อม ไม่ถูกสุขอนามัย จึงเกิดแนวคิดในการสร้าง

* Corresponding author: E-mail address: wannita.t@nia.or.th

กระบวนการทำงานร่วมกันระหว่างหน่วยงานภาครัฐ องค์กรภาคสังคม และภาคประชาชน โดยการเลือกใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมของระบบอบแห้งให้เหมาะสมกับการดำเนินงานของผลิตภัณฑ์ในชุมชน ทั้งในแง่ของการลงทุน ตลอดจนความคุ้มค่าทางด้านพลังงาน การบำรุงรักษา และการใช้งานที่สามารถตอบสนองความต้องการของชุมชนได้ กล่าวคือ “ระบบอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิก” ซึ่งอาศัยการแผ่พลังงานความร้อนจากเซรามิกชนิดพิเศษที่รับความร้อนจากหัวเผาเพื่อปลดปล่อยคลื่นความร้อนที่เรียกว่า อินฟราเรด ในย่านอินฟราเรดระยะไกล (Far Infrared - FIR) เพื่อสร้างความร้อนที่ภายนอกจากอินฟราเรด และมีพลังงานส่วนหนึ่งที่แทรกเข้าไปในชั้นผิวของวัสดุที่อบ จึงส่งผลให้เกิดการส่งผ่านความชื้นจากด้านในของวัสดุสู่ด้านนอกอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้คุณภาพการอบแห้งดี ไม่ทำลายโครงสร้างของวัตถุดิบ ลดระยะเวลาการอบ [1] และประหยัดพลังงาน [1] [2] [3] เมื่อเปรียบเทียบเทคโนโลยีที่ใช้ในการอบแห้งระหว่างการอบแห้งแบบอินฟราเรดระยะไกล แบบลมร้อน และแบบปั๊มความร้อน สำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์คุกกี้ข้าวไรซ์เบอรี่ ที่อุณหภูมิเท่ากัน [4] พบว่าการอบแห้งแบบอินฟราเรดระยะไกลจะช่วยประหยัดพลังงานได้ถึงประมาณร้อยละ 50 ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่า ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นหอม และมีคุณภาพดีกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนและแบบปั๊มความร้อน สามารถอบแห้งในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 40 – 300 องศาเซลเซียส

ดังนั้น จึงเกิดความร่วมมือระหว่าง สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) (สนช.) กับ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ในการเลือกใช้เทคโนโลยี ระบบอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิก เพื่อตอบสนองความต้องการของชุมชนในการแปรรูปผลิตภัณฑ์และยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์ชุมชน

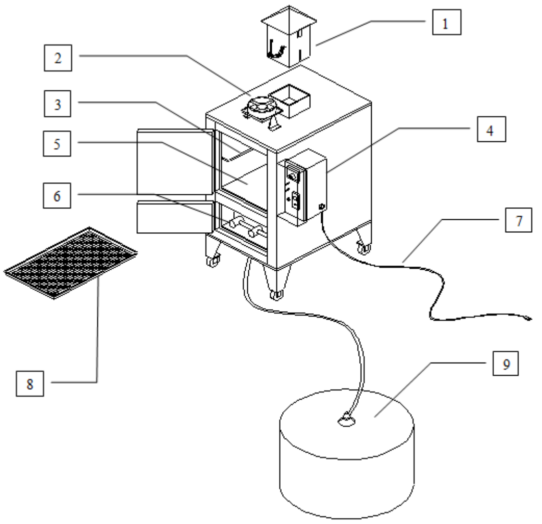
วิธีการวิจัย

ข้อมูลเทคโนโลยี

ระบบอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิก

เทคโนโลยีเครื่องอบแห้งที่ใช้มีขนาด 5 – 10 kg ภาชนะที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์เป็นแบบถาดคงที่ มีระบบควบคุมการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ และติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดรังสีไว้ด้านล่างห้องอบแห้ง ทำให้เมื่อป้อนวัสดุที่มีชั้นความหนามากเกินรังสีความร้อนอาจแผ่กระจายไปได้ไม่ทั่วถึงผิววัสดุ ส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้ง แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนกำเนิดความร้อน (ห้องเผาไหม้) ส่วนห้องอบแห้ง และกล่องควบคุม (ภาพที่ 1) โดยมีรายละเอียดและส่วนประกอบดังนี้



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งโดยใช้การแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลของเซรามิก

1 ช่องระบายอากาศ	2 พัดลมดูดอากาศ	3 ชั้นวางถาดบรรจุผลิตภัณฑ์
4 กล่องควบคุม	5 แผ่นเซรามิก	6 หัวแก๊ส
7 ปลั๊กไฟ	8 ถาดบรรจุผลิตภัณฑ์	9 แหล่งเชื้อเพลิง (แก๊ส LPG)

ตู้อบ เป็นตู้สี่เหลี่ยมสองชั้นที่ตรงกลางกรุด้วยใยแก้วทำหน้าที่กันความร้อน ตัวตู้ทำจากอลูมิเนียมเกรดใช้สำหรับอาหาร

ชุดควบคุม เป็นชุดควบคุมที่ต่อเชื่อมกับเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น โดยหน้าจะเป็นระบบ Touch screen จะทำหน้าที่ดังนี้

1. กำหนดตั้งค่าอุณหภูมิการอบแห้งโดยจะมีค่าความเที่ยงตรง ± 1 องศาเซลเซียส
2. ทำหน้าที่บันทึกค่าการอบแห้งทั้งอุณหภูมิและความชื้นของการอบ พร้อมทั้งสามารถบันทึกรูปแบบการอบแห้งได้เพื่อสร้างโปรแกรมการอบแห้งครั้งต่อไปได้
3. สามารถกำหนดช่วงอุณหภูมิในการอบแห้งที่สัมพันธ์ต่อความชื้นเพื่อให้ได้ผลการอบแห้งที่ดีที่สุดในการอบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด
4. สามารถควบคุณอุณหภูมิได้ตั้งแต่อุณหภูมิแวดล้อมจนถึง 300 องศาเซลเซียส
5. ทำหน้าที่ควบคุมความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้นและพัดลมดูดอากาศ ให้ทำงานสัมพันธ์กันซึ่งสามารถกำหนดเป็นเงื่อนไขการอบหรือ ปรับตามสภาพการอบในสภาวะจริง

ชุดปล่องระบายอากาศ ทำหน้าที่ระบายความชื้นของอากาศภายในตู้อบ ซึ่งสามารถที่จะระบายได้ทั้งแบบธรรมชาติหรือแบบใช้พัดลมดูดอากาศออกซึ่งจะทำงานภายใต้การรับคำสั่งจากชุดควบคุม

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น ทำหน้าที่ในการตรวจวัดและส่งข้อมูลไปยังชุดควบคุมเพื่อทการสั่งการให้ระบบต่างๆทำงานตามคำสั่งในการอบแห้งหรืออบอาหารตามความต้องการ

หัวเผา ทำหน้าที่ในการรับคำสั่งผ่านชุดควบคุมและทำการเปิด-ปิดระบบไฟเพื่อให้อุณหภูมิไปที่แผ่นเซรามิกในการให้ความร้อนในการอบแห้งหรืออบอาหาร

ชุดแผ่พลังงานความร้อนจากเซรามิก เป็นแผ่นเซรามิกชนิดพิเศษที่รับความร้อนจากหัวเผาเพื่อปลดปล่อยคลื่นความร้อนที่อยู่ในย่านอินฟราเรด (IR) และ อินฟราเรดระยะไกล (FIR) เพื่อสร้างความร้อนทั้งภายนอกจากอินฟราเรดและมีพลังงานส่วนหนึ่งที่แทรกเข้าไปในชั้นผิวของวัสดุที่อบ จึงส่งผลให้เกิดการส่งผ่านความชื้นจากด้านในของวัสดุอบสู่ด้านนอกอยากต่อเนื่อง ส่งผลให้คุณภาพการอบแห้งดี ไม่ทำลายโครงสร้างของวัสดุอบ ลดระยะเวลาการอบและประหยัดพลังงาน

การดำเนินโครงการ

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ร่วมกับ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ร่วมคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการตามเกณฑ์ ดังนี้ 1) ความสำคัญของปัญหา 2) กระบวนการแก้ปัญหา 3) โอกาสในการขยายผล (ธุรกิจและสังคม) และ 4) เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของโลก วิทยาลัยพลังงานทดแทนฯ ได้ออกแบบและผลิตเครื่องอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิก (ภาพที่ 2) และผู้เข้าร่วมโครงการได้ร่วมฝึกอบรมและทดสอบการใช้งานเครื่องดังกล่าว (ภาพที่ 3)

ภาพที่ 2 ตัวอย่างการผลิตเครื่องอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิก

ภาพที่ 3 ตัวอย่างการอบรมและทดสอบการใช้งาน

ขั้นตอนการแปรรูปกล้วยอบแห้งเบื้องต้น

วัตถุดิบ → ปอกเปลือก → หั่นชิ้นตามต้องการ → อบแห้ง

ขั้นตอนการแปรรูปดอกอันชัญอบแห้งเบื้องต้น

วัตถุดิบ → ทำความสะอาด → อบแห้ง

ปรายผล

ระบบอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิกสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน มีผู้เข้าร่วมโครงการ จำนวน 16 ราย (ตารางที่ 1) และได้ดำเนินการทดสอบผลิตภัณฑ์อบแห้งให้แก่ผู้เข้าร่วมโครงการ (ตารางที่ 2) ตัวอย่างเช่น วิสาหกิจชุมชนเครือข่ายรวมใจตามรอยพ่อ ทดสอบอบกล้วย ใช้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ชั่วโมง (ภาพที่ 4) ได้สีคงเดิม เมื่อเปรียบเทียบกับโดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งใช้ระยะเวลาการอบ 3 วัน และสีของกล้วยคล้ำออกสีน้ำตาล วิสาหกิจชุมชนวิถีเกษตรตำบลเมืองจัง ทดสอบอบดอกอัญชัน ใช้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1 ชั่วโมง (ภาพที่ 5) สีของผลิตภัณฑ์คงยังไม่เปลี่ยนไปจากเดิม เมื่อเทียบกับการตากแห้งโดยธรรมชาติ ระยะเวลาในการตาก 1-2 วัน ซึ่งการตากแห้งโดยธรรมชาติ อุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ ส่งผลต่อคุณภาพสี รสชาติและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 1 รายชื่อผู้เข้าร่วมเข้าร่วมโครงการ

ลำดับ	นิติบุคคล
1	วิสาหกิจทุเรียนคุณภาพและผลิตภัณฑ์ชุมชนตำบลรับร่อ
2	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มข้าวฮางบ้านสุขสำราญ
3	วิสาหกิจชุมชนเครือข่ายเกษตรกรภาคตะวันตก
4	วิสาหกิจชุมชนเกษตรผสมผสานสมาร์ทฟาร์มเมอร์
5	วิสาหกิจชุมชนบ้านดอนสำโรง
6	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มนาเกาะฟาร์มเห็ด
7	วิสาหกิจชุมชนพออินคำแคน
8	วิสาหกิจชุมชนเครือข่ายรวมใจตามรอยพ่อ
9	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเลี้ยงโคบ้านคำก้อม
10	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรทฤษฎีใหม่นามะเขือ
11	วิสาหกิจชุมชนบ้านแม่บ้านมวกเหล็ก
12	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปปลาบ้านหินปูน
13	วิสาหกิจชุมชนชุมชนคนเกษตรบ้านหนองเสือ
14	วิสาหกิจชุมชนธนาคารพัฒนาเกษตรกรชาวสวนตำบลบุฮม
15	วิสาหกิจชุมชนวิถีเกษตรตำบลเมืองจัง
16	วิสาหกิจชุมชนแปรรูปสมุนไพรปลูกรัก

ตารางที่ 2 ผลทดสอบของอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับอบผลิตภัณฑ์

ลำดับ	ผู้เข้าร่วมโครงการ	ผลิตภัณฑ์	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (hr)
1	วิสาหกิจทุเรียนคุณภาพและผลิตภัณฑ์ชุมชนตำบลรับร่อ	ดอกกาแฟ	60	6
2	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มข้าวฮางบ้านสุขสำราญ	สแน็คข้าวพอง	200	0.30
3	วิสาหกิจชุมชนเครือข่ายเกษตรกรภาคตะวันตก	มะนาวดองแช่น้ำผึ้ง	70	4
4	วิสาหกิจชุมชนเกษตรผสมผสานสมาร์ทฟาร์มเมอร์	กล้วยตาก	70	12-16
5	วิสาหกิจชุมชนบ้านดอนสำโรง	ลูกยอ	70	10.30
6	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มนาเกาะฟาร์มเห็ด	เห็ดนางฟ้า	80	3
7	วิสาหกิจชุมชนพออินคำแคน	แคปหมู	100	2
8	วิสาหกิจชุมชนเครือข่ายรวมใจตามรอยพ่อ	กล้วย	70	3
9	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเลี้ยงโคบ้านคำก้อม	ปลาซิวแก้ว	100	1
10	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรทฤษฎีใหม่นามะเขือ	ขนุน	80	5

11	วิสาหกิจชุมชนบ้านแม่บ้านมวกเหล็ก	กระหรี่พั๊ป	180	0.30
12	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปปลาบ้านหินปูน	ปลาร้า	60	96
13	วิสาหกิจชุมชนชุมชนคนเกษตรบ้านหนองเสือ	หมูแดดเดียว	70	4
14	วิสาหกิจชุมชนธนาคารพัฒนาเกษตรกรชาวสวนตำบลบุฮม	มะม่วง	70	6
15	วิสาหกิจชุมชนวิถีเกษตรตำบลเมืองจัง	ดอกอัญชัน	60	1
16	วิสาหกิจชุมชนแปรรูปสมุนไพรปลูกรัก	กล้วย	70	3

ก่อนอบ หลังอบ

ภาพที่ 4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กล้วย

ก่อนอบ หลังอบ

ภาพที่ 5 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ดอกอัญชัน

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิก ซึ่งจะให้ผลได้ผลของสีและกลิ่นผลิตภัณฑ์ เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบอื่น [4] ทำการเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงแอลพีจี (LPG) ของตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลกับเตาอบแบบลมร้อน ในการอบขนมคุกกี้แปรรูปจากข้าวไรซ์เบอรี่ จำนวน 500 กรัม พบว่า การใช้เตาอบแบบลมร้อนใช้ระยะเวลาในการอบแต่ละครั้งเฉลี่ย 20.8 นาที ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 159 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณเชื้อเพลิง LPG ทั้งสิ้นจำนวน 457 กรัม ส่วนตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลใช้ระยะเวลาในการอบแต่ละครั้งเฉลี่ย 18 นาที ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 156.8 องศาเซลเซียส ใช้เชื้อเพลิง LPG ในการอบทั้งสิ้นจำนวน 240 กรัม ซึ่งลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง LPG ร้อยละ 47.48 เครื่องอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิก ใช้ระยะเวลาการอบที่น้อยกว่า และประหยัดพลังงาน สามารถอบผลผลิตทางการเกษตรได้หลากหลาย เช่น สมุนไพรต่างๆ กล้วยหนึบ กล้วยผง มะม่วงอบแห้ง มะนาวอบแช่น้ำผึ้ง ปลาร้าผง ขนมกระหรี่พั๊บ เป็นต้น และเป็นการยกระดับคุณภาพและสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลิตภัณฑ์ชุมชนได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) และวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณและเทคโนโลยีในการดำเนินงานครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] เสรี วงส์พิเชษฐ และสุพรรณ ยั่งยืน. (ม.ป.ป.) การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เครื่องอบแบบอินฟราเรดสำหรับอบกล้วยอบม้วน. ขอนแก่น: คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[2] สุทธิชัย ภมรสมิต, ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์และอำไพศักดิ์ ทีบุญมา. (2552). การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมรังสีอินฟราเรด. ใน การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[3] กิ่งกานต์ พันธุวาณิชย์. (2553). การศึกษาการแผ่รังสีอินฟาเรดระยะไกลของเซรามิกโดยใช้แก๊สชีวมวลเพื่อใช้ในการอบแห้ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[4] เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์, พิสิษฏ์ มณีโชติ, วิกานต์ วันสูงเนิน และภาคิณ มณีโชติ (2554) การเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงแอลพีจีของตู้อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดระยะไกลกับเตาอบแบบเดิม การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7.

การอบแห้งเครื่องต้มยำโดยใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟแบบถังหมุน ชนิดแมกนีตรอนหลายตัวสำหรับวิสาหกิจชุมชน

Drying of Spices Tom-Yam by Using Multi-Magnetron Rotary Microwave Dryer for Economy Community Enterprise

ณัฐวุฒิ ดุษฎี[1] จิราภรณ์ แก้วเดียว[1] วิลาวัลย์ คุ้มเหม[1] นิกราน หอมดวง[1*] กิตติกร สาสุจิตต์[1] เสริมสุข บัวเจริญ[1] ธนชาต มหาวัน[1] ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล[1] และ ศิรินุช จินดารักษ์[2]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

[2] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

การอบแห้งเครื่องต้มยำได้แก่ ข่า ตะไคร้ และใบมะกรูด ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานไมโครเวฟแบบถังหมุนชนิดแมกนีตรอนหลายตัวสำหรับวิสาหกิจชุมชน โดยกำหนดกำลังการทำงานของคลื่นไมโครเวฟเท่ากับ 0.64 W/g ทำการอบแห้ง ข่า ตะไคร้ และใบมะกรูดที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 5 kg และมีค่าความชื้นเริ่มต้น 85.33 82.92 และ 57.48%wb ตามลำดับ จนได้ค่าความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 8.00 - 14.00%wb ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ของเครื่องต้มยำจากวิสาหกิจชุมชน จากผลการทดลองพบว่า ตะไคร้เป็นวัตถุดิบที่ใช้ระยะเวลาการอบแห้งนานที่สุดได้แก่ 480 นาที มีปริมาณการใช้พลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะในการอบแห้งมากที่สุดได้แก่ 14.96 MJ/kg H_2O evap และมีอัตราการอบแห้งน้อยที่สุดได้แก่ 0.51 kg H_2O evap/h ในขณะที่ใบมะกรูดเป็นวัตถุดิบที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นที่สุดได้แก่ 240 min มีปริมาณการใช้พลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะน้อยที่สุดได้แก่ 10.19 MJ/kg H_2O evap และมีอัตราการอบแห้ง 0.85 kg H_2O evap/h โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟแบบถังหมุนจะมีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เครื่องต้มยำของวิสาหกิจชุมชน ซึ่งเครื่องอบไมโครเวฟแบบถังหมุนดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อการประยุกต์การใช้งานในเชิงพาณิชย์

คำสำคัญ: เครื่องต้มยำ พลังงานไมโครเวฟ การอบแห้ง วิสาหกิจชุมชน

บทนำ

วิสาหกิจชุมชนกลุ่มทำขนมจีนบ้านบวกเปา “น้ำพริกแกง ตราแม่อำพร” ต.หนองแหย่ง อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ซึ่งเป็นกลุ่มวิสาหกิจได้มีการผลิตน้ำพริกแกง จำหน่ายทั้งในประเทศ และต่างประเทศ จำนวน 22 ผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งจะเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องเทศอบแห้ง และเครื่องแกงอบแห้ง จากการถ่ายทอดเทคโนโลยีโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของสำนักงานสนับสนุนการวิจัย และวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้พบว่า สามารถใช้อบแห้งเครื่องเทศ และผลิตภัณฑ์อบแห้งได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามในช่วงสภาวะอากาศหนาวทำให้ระยะเวลาการอบแห้งมีระยะเวลานาน เนื่องจากความเข้มแสงอาทิตย์ และระยะเวลาแสงอาทิตย์เกิดขึ้นต่อวันมีชั่วโมงน้อยลงทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องเทศบางชนิดเกิดเชื้อรา และลักษณะของสีเครื่องแกงสมุนไพรเปลี่ยนไป ดังนั้นด้วยปัญหาเหล่านี้จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ เพื่อพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยเดิมที่ถ่ายทอดเทคโนโลยีโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีเป้าหมายพัฒนาเครื่องอบแห้งสมุนไพร เครื่องเทศของกลุ่มดังกล่าวโดยใช้เทคโนโลยีเครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟ ซึ่งสามารถช่วยลดระยะเวลาอบแห้งได้เร็ว

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

ขึ้นกว่าการอบแห้งแบบใช้ลมร้อนได้มากกว่า 5-10 เท่า [1] และมีความเหมาะสมสำหรับการอบแห้งสมุนไพร เครื่องต้มยำ เครื่องเทศ ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนนี้ เนื่องจากเครื่องต้มยำใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ และระยะเวลาสั้น เพื่อรักษาคุณค่าทางอาหาร สี กลิ่น รส ซึ่งเครื่องอบแห้งไมโครเวฟแบบถังหมุนชนิดแมกนีตรอนหลายตัว จะให้ความร้อนได้รวดเร็ว การกระจายความร้อนสม่ำเสมอ ซึ่งเหมาะสมต่อการใช้งานสำหรับวิสาหกิจชุมชน

การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

เทคโนโลยีการอบแห้งได้มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการเลือกใช้แหล่งพลังงานที่มีความเหมาะสมมาใช้ในกระบวนการอบแห้งเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ประกอบการในการเลือกใช้ และลดต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับกระบวนการผลิต โดยยังคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน เทคโนโลยีการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงในการให้ความร้อนกับวัสดุ การประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟในการอบแห้งร่วมกับลมร้อนเป็นแนวทางหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการอบแห้งวัสดุอาหาร และผลผลิตทางการเกษตร โดยการอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่สามารถลดระยะเวลาการอบแห้งเหลือเพียงหนึ่งในห้าเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว นอกจากนี้การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากกว่าการใช้ลมร้อนประมาณ 2-3 เท่า เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟจะสามารถทะลุเข้าไปเนื้อวัสดุแล้วทำให้เกิดความร้อนพร้อม ๆ กันทั้งภายใน และที่ผิวของวัสดุ [2] ทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟมีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการให้ความร้อนกับผลผลิตทางการเกษตร โดยในการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้นจะสามารถรักษาคุณค่าต่าง ๆ เช่นสี กลิ่น สารอาหาร วิตามิน และโปรตีน มากกว่าวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนหรือรังสีอินฟราเรด [3] [4] ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงซึ่งสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเกษตรกร และผู้ประกอบการได้เป็นอย่างดี [5] [6]

เครื่องอบแห้งไมโครเวฟแบบถังหมุน

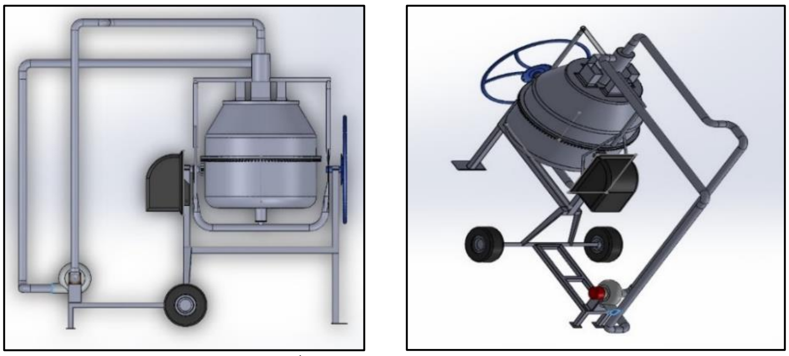
เครื่องอบแห้งไมโครเวฟแบบถังหมุนชนิดแมกนีตรอนหลายตัวสำหรับงานวิจัยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

1) ถังหมุน ลักษณะเป็นถังโลหะเคลือบด้วยสีกันความร้อน เส้นผ่านศูนย์กลาง 70 cm รวมความจุปริมาตร 230 L ใช้มอเตอร์ควบคุมการหมุนของถัง ขนาด 1.2 HP หรือ 895.2 W

2) ชุดแมกนีตรอน ทำหน้าที่ผลิตคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 GHz การทำให้แมกนีตรอนทำงานได้นั้นจะต้องมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำประมาณ 3-4 V ที่มีค่ากระแส 10 A ที่ไส้หลอด ซึ่งจะทำให้ไส้หลอดร้อน และปล่อยอิเล็กตรอนออกมา และเมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงมากกว่า 4,000 V ไปที่ขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอดซึ่งทำหน้าที่เป็นคาโทดเทียบกับขั้วอาโนดก็จะทำให้อิเล็กตรอนถูกบังคับให้เคลื่อนที่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะทำให้แมกนีตรอนสามารถปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้ โดยที่ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟจะถูกกำหนดด้วยโครงสร้างภายในช่องสุญญากาศระหว่างขั้วคาโทดกับขั้วอาโนดให้เท่ากับ 2.45 GHz

3) ชุดไล่ความชื้น ใช้พัดลมเป่าอากาศ ขนาด ½ HP เป็นตัวที่คอยระบายอากาศร้อนจากเครื่องออกมาแทนที่ความชื้น โดยจะต่อด้วยท่อขนาด 2 inch จำนวน 2 ท่อ ประกอบด้วยท่อทางเข้า และทางออก ชุดดึงความชื้นเครื่องนี้เป็นอุปกรณ์ที่เป็นวัฏจักร โดยในการดูดความชื้นนั้นจะปล่อยอากาศร้อนหรืออากาศแห้งเข้ามาแทนที่ โดยความชื้นก็จะปล่อยทิ้งไปตามท่อทิ้งอากาศ

4) ชุดควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำงานเพื่อควบคุมระบบต่าง ๆ จะประกอบไปด้วย สวิตช์ควบคุมการทำงานของคลื่นไมโครเวฟในถังอบแห้ง สวิตช์เปิด/ปิดมอเตอร์หมุนถังอบแห้ง และสวิตช์เปิด/ปิดวาล์วเพื่อดึงอากาศชื้นออกจากห้องอบแห้ง



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟแบบถังหมุน

วิธีการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบอบแห้งผลิตภัณฑ์เครื่องต้มยำจำนวน 3 ชนิดได้แก่ ข่า ตะไคร้ และใบมะกรูด ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานไมโครเวฟแบบถังหมุน โดยกำหนดกำลังการทำงานของคลื่นไมโครเวฟเท่ากับ 0.64 W/g ทำการอบแห้ง ข่า ตะไคร้ และใบมะกรูดที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 5 kg และมีค่าความชื้นเริ่มต้น 85.33 82.92 และ 57.48%wb ตามลำดับ ในการทดสอบจะทำการบันทึกค่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์เครื่องต้มยำทั้ง 3 ชนิดทุกๆ 30 นาที จนได้ค่าความชื้นสุดท้ายที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ของเครื่องต้มยำจากวิสาหกิจชุมชน ซึ่งมีค่าความชื้นสุดท้าย 8.38 14.11 และ 10.50%wb ของข่า ตะไคร้ และใบมะกรูด ตามลำดับ

การคำนวณหาค่าความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (Association of Official Analytical chemists) [7] [8] สามารถพิจารณาได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$M_W = \frac{W-d}{W} \times 100$$ **สมการที่ 1**

เมื่อ

M_W	คือ	ความชื้นมาตรฐานเปียก	%wb
W	คือ	มวลของวัสดุ	kg
d	คือ	มวลของวัสดุแห้ง	kg

การคำนวณหาค่าอัตราการอบแห้ง [9] สามารถพิจารณาได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Drying rate} = \frac{W_i - W_f}{t}$$ **สมการที่ 2**

เมื่อ

W_i	คือ	มวลของวัสดุก่อนอบแห้ง	kg
W_f	คือ	มวลของวัสดุหลังอบแห้ง	kg
t	คือ	ระยะเวลาในการอบแห้ง	h

การคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) [10] สามารถพิจารณาได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$SEC = \frac{E_T}{W_i - W_f}$$ **สมการที่ 3**

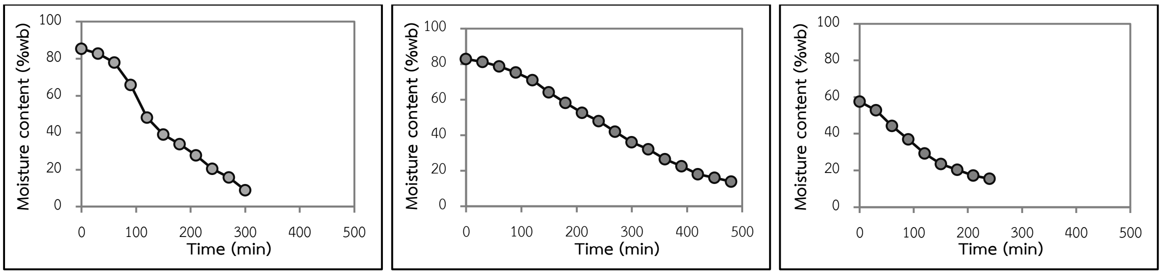
เมื่อ

SEC	คือ	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ	MJ/kg H_20 evap
E_T	คือ	ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง	MJ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

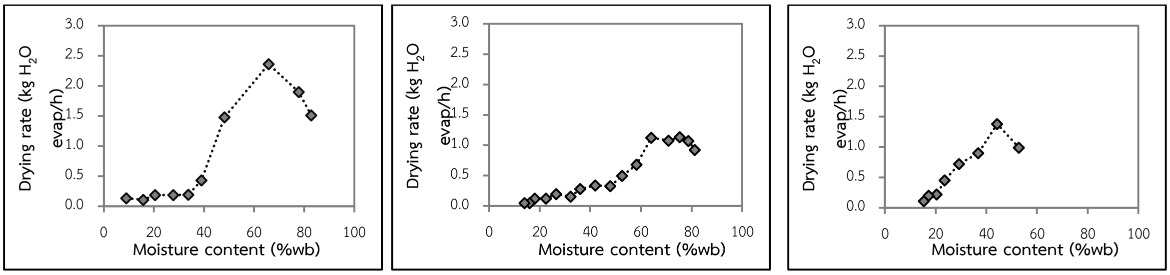
การอบแห้งเครื่องต้มยำ ได้แก่ ข่า ตะไคร้ และใบมะกรูด ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานไมโครเวฟแบบถังหมุน โดยทำการอบแห้งเครื่องต้มยำดังกล่าวครั้งละ 5 kg เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น และระยะเวลาในการอบแห้งของเครื่องต้มยำแต่ละชนิดดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่า การลดลงของความชื้นในเครื่องต้มยำแต่ละชนิดมีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกัน กล่าวคือเมื่อระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้นการลดความชื้นภายในวัตถุดิบจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากในช่วงแรกของกระบวนการอบแห้งภายในวัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีปริมาณความชื้นในปริมาณที่สูงมาก ส่งผลให้ความต้องการในการระเหยน้ำออกจากวัตถุดิบดังกล่าวมีค่ามากตาม เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณความชื้นในวัตถุดิบมีค่าลดน้อยลงจึงส่งผลให้ความต้องการในการระเหยน้ำออกจากวัตถุดิบมีค่าน้อยลงเช่นกัน จากผลการทดลองดังภาพที่ 2 พบว่า ตะไคร้เป็นวัตถุดิบที่ใช้ระยะเวลาการอบแห้งนานที่สุดได้แก่ 480 นาที โดยใบมะกรูดเป็นวัตถุดิบที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นที่สุดได้แก่ 240 นาที และข่ามีระยะเวลาการอบแห้ง 300 นาที

เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งแสดงดังภาพที่ 3 พบว่า อัตราการอบแห้งจะแปรผันตรงกับค่าความชื้นของวัตถุดิบ ได้แก่ เมื่อค่าความชื้นในวัตถุดิบมีปริมาณสูงจะส่งผลให้อัตราการอบแห้งมีปริมาณสูงตาม โดยข่าเป็นวัตถุดิบที่มีอัตราการอบแห้งมากที่สุดแสดงดังภาพที่ 3 (ข) โดยมีอัตราการอบแห้ง 0.85 kg H_2O evap/h ในขณะที่ตะไคร้ และใบมะกรูดมีอัตราการอบแห้ง 0.51 และ 0.76 kg H_2O evap/h ตามลำดับ



(ก) ข่า (ข) ตะไคร้ (ค) ใบมะกรูด

ภาพที่ 2 ค่าความชื้นที่ลดลงเทียบกับระยะเวลาอบแห้ง



(ก) ข่า (ข) ตะไคร้ (ค) ใบมะกรูด

ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งเทียบกับค่าความชื้นที่ลดลง

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบการอบแห้งเครื่องต้มยำด้วยพลังงานไมโครเวฟแบบถังหมุนพบว่า การอบแห้งตะไคร้มีปริมาณการใช้พลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะในการอบแห้งมากที่สุดได้แก่ 14.96 MJ/kg H_2O evap ในขณะที่การอบแห้งใบมะกรูด และข่ามีปริมาณการใช้พลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะ 10.19 MJ/kg H_2O evap และ 11.39 MJ/kg H_2O evap โดยผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการอบเครื่องต้มยำทั้ง 3 ชนิดด้วยพลังงานไมโครเวฟแบบถังหมุนสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบการอบเครื่องต้มยำด้วยพลังงานไมโครเวฟแบบถังหมุน

ชนิด	ระยะเวลา (min)	น้ำหนักเริ่มต้น (kg)	ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	น้ำหนักสุดท้าย (kg)	ความชื้นสุดท้าย (%wb)	อัตราการอบแห้ง (kg H_2O evap/h)	SEC (MJ/kg H_2O evap)
ใบมะกรูด	240	5.012	57.48	2.354	9.45	0.76	10.19
ข่า	300	5.056	85.33	0.815	8.95	0.85	11.39
ตะไคร้	480	5.087	82.92	1.010	14.01	0.51	14.96

เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของเครื่องต้มยำทั้ง 3 ชนิดพบว่า การอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ของวิสาหกิจชุมชนเริ่มทำการอบแห้งตั้งแต่เวลา 8:00 น. จนถึง 18:00 น. มีปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้แก่ การแห้งไม่สม่ำเสมอ สีของผลผลิตซีดไม่มีความสด โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟแบบถังหมุนจะให้สีที่สดกว่า โดยรวมแล้วลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 2 รูปแบบ มีลักษณะด้านรูปร่างที่คล้ายกัน ได้แก่ ใบมะกรูดมีการม้วนงอเนื่องจากการหดตัวของผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับ ข่า และตะไคร้ที่มีการบิดงอ เนื่องจากการหดตัวเมื่อเจอความร้อน โดยลักษณะทางกายภาพของการทดสอบอบแห้งเครื่องต้มยำทั้ง 3 ชนิดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของการอบแห้งเครื่องต้มยำด้วยพลังงานไมโครเวฟแบบถังหมุนเทียบกับผลิตภัณฑ์อบแห้งกับวิสาหกิจชุมชน

เครื่องต้มยำ	ระยะเวลา (h)		ความชื้นสุดท้าย (%wb)		ลักษณะที่ปรากฏ	
	วิสากิจชุมชน	การทดลอง	วิสากิจชุมชน	การทดลอง	วิสากิจชุมชน	การทดลอง
ข่า	30	5	8.38%	8.95%	Normal	Experiment
ตะไคร้	30	8	14.11%	14.01%	Normal	Experiment
ใบมะกรูด	20	4	10.50%	9.45%	Normal	Experiment

สรุปผลการวิจัย

การอบแห้งเครื่องต้มยำได้แก่ ข่า ตะไคร้ และใบมะกรูด ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานไมโครเวฟแบบถังหมุน โดยทำการอบแห้งเครื่องต้มยำดังกล่าวครั้งละ 5 kg การผลการทดลองพบว่า ตะไคร้เป็นวัตถุดิบที่ใช้ระยะเวลาการอบแห้งนานที่สุดได้แก่ 480 นาที มีปริมาณการใช้พลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะในการอบแห้งมากที่สุดได้แก่ 14.96 MJ/kg H_2O evap และมีอัตราการอบแห้งน้อยที่สุดได้แก่ 0.51 kg H_2O evap/h ในขณะที่ใบมะกรูดเป็นวัตถุดิบที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นที่สุดได้แก่ 240 นาที มีปริมาณการใช้พลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะน้อยที่สุดได้แก่ 10.19 MJ/kg H_2O evap และมีอัตราการอบแห้ง 0.85 kg H_2O evap/h โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบไมโครเวฟแบบถังหมุนจะมีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภัณฑ์เครื่องต้มยำของวิสาหกิจชุมชน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ "ทุนอุดหนุนการวิจัยโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ปีงบประมาณ 2562"

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ฤทธิชัย อัศวราชันย์ (2554). **การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยคลื่นไมโครเวฟ.** วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2554 หน้า 31-42.

[2] Paengkanya, S., Soponronnarit, S. and Nathakaranakule, A. (2015). **Application of microwaves for drying of durian chips**. Food and Bioproducts Processing 96: 1-11. Publishers, Inc. Enfield (NH). U.S.A.

[3] Alibas, I. (2006). **Characteristics of chard leaves during microwave, convective and combined microwave-convective drying**. Drying Technology 24(11): 1425-1435.

[4] Alibas, I. (2007). **Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices**. LWT-Food Science and Technology 40(8): 1445-1451.

[5] Alibas, I. 2007. **Energy consumption and colour characteristics of nettle leaves during microwave, vacuum and convective drying**. Biosystems Engineering 96(4): 495-502

[6] Askari, G.R., Emam-Djomeh, Z., and Mousavi, S.M. (2009). **An investigation of the effects of drying methods and conditions on drying characteristics and quality attributes of agricultural products during hot air and hot air/microwave-assisted dehydration**. Drying Technology 27(7): 831-841.

[7] Dev, S.R.S., Geetha, P., Orsat, V., Gariépy, Y., and Raghavan, G.S.V. (2011). **Effects of microwave- assisted hot air drying and conventional hot air drying on the drying kinetics, color, rehydration, and volatiles of Moringa oleifera**. Drying Technology 29(12): 1452-1458.

[8] ธีรเดช ใหญ่บก, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, จอมภพ แววศักดิ์, มารีนา มะหนิ และภรพนา บัวเพชร์. (2553). **การพัฒนากระบวนการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้า ภายใต้สภาพภูมิอากาศภาคใต้ของประเทศไทย**. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 12(3), 109-118.

[9] นพรัตน์อมัติรัตน์. (2554). **การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนระหว่างสารทำความเย็น R-22 กับ COLD-22**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[10] สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล, สลิลลา ชาญเชี่ยว และยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล. (2556). **การอบแห้งใบบัวบกเพื่อผลิตใบบัวบกแห้งชงดื่มด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด: จลนพลศาสตร์ ความสิ้นเปลืองพลังงาน และคุณภาพ**. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัย ขอนแก่น, 18(2), 311-324.

การพัฒนาเครื่องอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวแบบประหยัดพลังงาน
The Development of Energy Saving Noodle Dryer

ปฏิพัทธิ์ ถนอมพงษ์ชาติ[1] ศิวัฒม์ กมลคุณานนท์[2] ปัญจพล ไทยปิยะ[3] พงศ์เทพ กุลชาติชัย[1] และภคมน ปินตานา[4*]

[1] สาขาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อุตรดิตถ์ 53000

[2] สาขาวิศวกรรมบริหารงานก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อุตรดิตถ์ 53000

[3] สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อุตรดิตถ์ 53000

[4] สาขาวิศวกรรมการอนุรักษ์พลังงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

เส้นก๋วยเตี๋ยวเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ด้านอาหารหลักของเอเชียที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก และแพร่กระจายนิยมรับประทานในหลายประเทศ สำหรับกระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งคือการทำแห้ง ตู้อบแห้งแผ่นก๋วยเตี๋ยวแบบเดิมเป็นลักษณะแขวนซี่ แล้วอบด้วยลมร้อน โดยเครื่องแบบเดิมนี้มีใช้การพลังงานในการผลิตเป็นจำนวนมาก สิ้นเปลืองเวลา ค่าใช้จ่าย และยังก่อให้เกิดปัญหาการเสียหายของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยการเปลี่ยนรูปแบบการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนจากไอน้ำ เป็นการอบด้วยลมร้อนจากระบบฮีทปั๊มโดยใช้ประโยชน์ส่วนความร้อนจากฮีทปั๊มให้การเพิ่มอุณหภูมิอากาศป้อนให้กับตู้อบและนำฝั่งความเย็นช่วยลดความชื้นอากาศก่อนเข้าเครื่องอบ ภายในประกอบด้วยพัดลมและฮีทเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลดความชื้น โดยเครื่องอบแห้งนี้สามารถลดความชื้นเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านกระบวนการนึ่งด้วยไอน้ำที่มีความชื้นช่วงเริ่มต้น 65-72 เปอร์เซ็นต์ เหลือประมาณ 38-45 เปอร์เซ็นต์ โดยลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีการบิดเป็นริ้วบริเวณด้านข้างแผ่นก๋วยเตี๋ยว และสีของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเดิมของทางบริษัท อัตราการใช้ไฟฟ้าของทั้งระบบ คือ ระบบฮีตปั๊ม ระบบฮีทเตอร์ ระบบขับเคลื่อนและระบบพัดลม ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 547 บาทต่อวันต่อไลน์การผลิต ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าได้กว่า 80 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งระบบฮีทปั๊ม การอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว ระบบฮีทปั๊ม

บทนำ

เส้นก๋วยเตี๋ยวเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ด้านอาหารหลักของเอเชียที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก และแพร่กระจายนิยมรับประทานในหลายประเทศ โดยเส้นก๋วยเตี๋ยวผลิตจากแป้งข้าวจ้าวเป็นหลัก ซึ่งกระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวของ มีกระบวนการโม่เพื่อบดข้าวจ้าวให้เป็นน้ำแล้วนำมาตีแผ่นึ่งเป็นแผ่นใหญ่แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง ผึ่งเพื่อรอการตัดขึ้นรูปและอบแห้งอีกครั้ง ก่อนบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์เพื่อเตรียมสู่การจำหน่ายต่อไป [1] สำหรับกระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งคือการทำแห้ง ตู้อบแห้งแผ่นก๋วยเตี๋ยวแบบเดิมเป็นลักษณะแขวนซี่ แล้วอบด้วยลมร้อนซึ่งเป็นเทคโนโลยีการทำก๋วยเตี๋ยวแบบดั้งเดิม เครื่องอบแห้งขนาดใหญ่ความยาว 24 เมตร สูง 6 เมตร ใช้พลังงานความร้อนของไอน้ำจากบอยเลอร์ อากาศร้อนที่ใช้อบได้มาจากจากการเปิดพัดลมขนาด 1 แรงม้า จำนวน 10 ตัวต่อตู้อบ เป่าลมผ่านแผงคอยด์ร้อนที่ใช้ความร้อนจากไอน้ำ เพื่อเป่าให้เส้นก๋วยเตี๋ยวแห้งพอที่จะเข้าสู่กระบวนการผลิตขั้นต่อไป ซึ่งกระบวนการเป่าด้วยแรงลมนี้ส่งผลให้ขอบซ้ายขวาของแผ่นก๋วยเตี๋ยวแห้งและบิดตัว ซึ่งท้ายที่สุดต้องคัดทิ้งเพราะไม่สามารถนำไปบรรจุ เพื่อส่งขายได้ ซึ่งส่วนนี้มีประมาณ 30–40เปอร์เซ็นต์

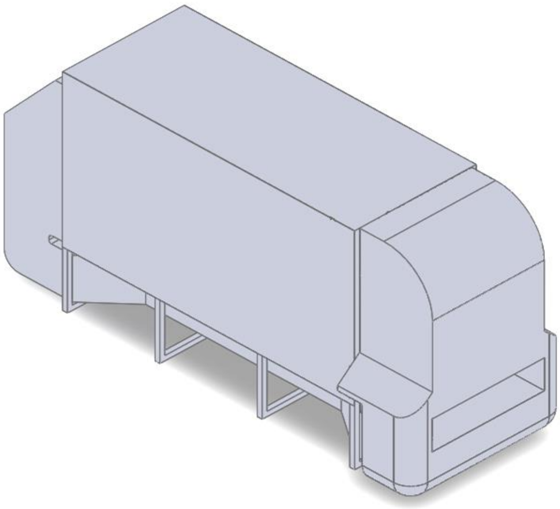
* Corresponding author: Tel.: 098-6196155. E-mail address:p.pintana@gmail.com

ดังนั้นผู้วิจัยและสถานประกอบการ บริษัท ไทย เอเชียไรซ์โปรดักส์ จำกัด จึงได้หาแนวทางในการลดความสูญเสียจากกระบวนการผลิต รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวร่วมกัน ซึ่งแนวคิดของการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว คือเปลี่ยนรูปแบบการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนจากไอน้ำ เป็นการอบด้วยลมร้อนจากระบบฮีทปั๊ม โดยใช้ประโยชน์ส่วนที่เกิดความเย็นที่ได้จากระบบฮีทปั๊มไปใช้ผลิตน้ำเย็นใช้ในระบบแลกเปลี่ยนความร้อน (Evaporator) เพื่อให้ลมร้อนที่มีความชื้นสูงจากห้องอบผ่านแผงคอยด์เย็นนี้และทำให้ไอน้ำที่มากับลมร้อนกลั่นตัวเป็นน้ำ (Condensed water) ที่แผงดักจึงเป็นการลดความชื้นของลมขาออกเข้าสู่ห้องอบแห้ง จากนั้นลมที่ผ่านการลดความชื้นแล้วจะไหลผ่านไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นที่แผงคอยด์ร้อน (Condenser) เพื่อให้ได้เป็นลมแห้งที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 40 - 45 ^{o}C [2] [3] [4] แล้วจึงนำลมอุ่นแห้งที่ได้ไปใช้ลดความชื้นในตู้อบแผ่นก๋วยเตี๋ยวต่อไป การหมุนเวียนลมภายในตู้อบผ่านชั้นสายพานแผ่นก๋วยเตี๋ยวออกแบบให้ใช้พัดลมเป่าอากาศ โดยลมสามารถผ่านแผ่นเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ทุกชั้นชั้นสายพาน เพื่อพาความชื้นออกออกจากเส้นก๋วยเตี๋ยว ปรับเปลี่ยนการขับเคลื่อนภายในตู้อบจากการใช้มอเตอร์ขับโซ่ที่มีน้ำหนักมากและต้องใช้จารบีในการหล่อลื่นซึ่งทำให้เกิดปัญหาแผ่นก๋วยเตี๋ยวเปื้อน ไปเป็นระบบสายพานตาข่ายเทฟล่อน ซึ่งควบคุมคุณภาพการผลิตได้ดีกว่าและทำให้ไม่เกิดการหย่อนของแผ่นก๋วยเตี๋ยว ทำให้ได้แผ่นที่เรียบเสมอกันทั้งแผ่น ลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการแตกหัก รวมถึงการออกแบบที่พยายามลดขนาดของตู้อบ และออกแบบให้ง่ายต่อการบำรุงรักษา ต่อไป

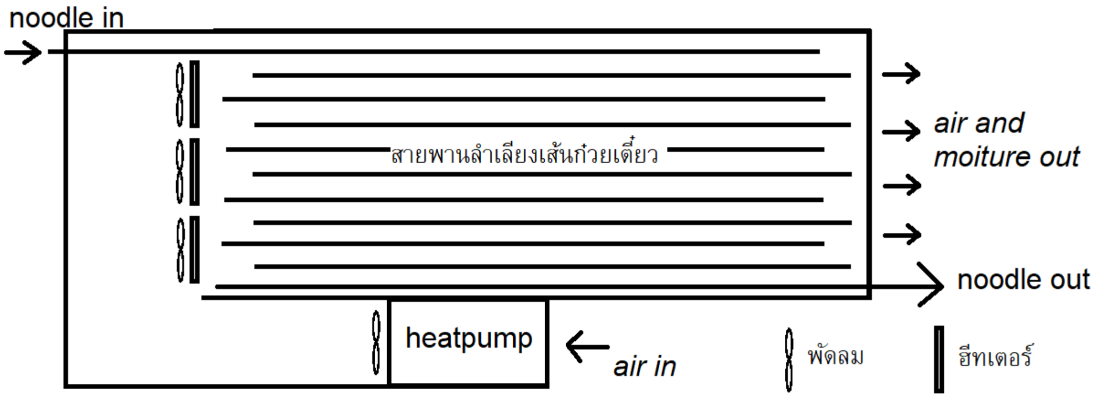
วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องอบแห้งร่วมกับภาคเอกชน โดยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการลดความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยว ศึกษาสภาพปัญหาเบื้องต้นของการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวในปัจจุบัน เก็บข้อมูลสำคัญ เพื่อหาแนวทางออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวในเบื้องต้นร่วมกับผู้ประกอบการ ศึกษาข้อมูลวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในส่วนของ โครงสร้างหลัก ระบบสายพานลำเลียง ชุดอุปกรณ์ขับสายพาน ระบบฮีทปั๊ม ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน ระบบกระจายและควบคุมความเร็วลม และระบบควบคุมอัตโนมัติ รวมทั้งศึกษาและเก็บข้อมูลค่าความชื้นวัตถุดิบเริ่มต้น ค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ และข้อมูลคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ออกแบบเครื่องอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว มีลักษณะแสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งมีขนาดกว้าง 1 เมตร สูง 6 เมตร แบ่งชั้นสายพานลำเลียงเส้นก๋วยเตี๋ยวจำนวน 11 ชั้น รวมระยะทางที่เส้นก๋วยเตี๋ยวเคลื่อนที่ทั้งหมด 11 เมตร ใช้ระบบฮีทปั๊มด้านความเย็นในการลดความชื้นอากาศขาเข้า แล้วใช้อากาศแห้งไปผ่านคอยล์ร้อนเพื่อให้มีอุณหภูมิตามต้องการประมาณ 40-45 องศาเซลเซียส ติดตั้งพัดลมอุตสาหกรรม บริเวณด้านหน้าสายพานเพื่อเพิ่มความเร็วลมภายในห้องอบ และเพิ่มชุดขดลวดความร้อนขนาด 6,000 วัตต์ (2,000 วัตต์ จำนวน 3 ตัว) สำหรับเพิ่มอุณหภูมิของอากาศแห้งที่ออกจากระบบฮีตปั้ม ให้มีอุณหภูมิถึงประมาณ 50 องศาเซลเซียส ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 2 ดำเนินการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งด้วยการเดินระบบร่วมกับไลน์การผลิตจริง ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความเร็วลม และวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการอบแห้ง ด้วยการหาค่าความชื้นและวิเคราะห์ด้วยผู้เชี่ยวชาญของสถานประกอบการ



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเครื่องอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว



ภาพที่ 2 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์และการทำงานของเครื่องอบแห้ง

โดยการหาปริมาณความชื้นจะบอกในรูปของเปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีวิธีบอกอยู่ 2 แบบ คือแบบมาตรฐานเปียก (Wet-basis) แบบมาตรฐานแห้ง (Dry-basis) [5] โดยที่ความชื้นมาตรฐานเปียก และความชื้นมาตรฐานแห้ง เขียนในรูปสมการดังสมการตามลำดับ

$$M_w = \frac{W - d}{W} \quad (1)$$

$$M_d = \frac{W - d}{d} \quad (2)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, เปอร์เซ็นต์

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, เปอร์เซ็นต์

W คือ มวลของวัสดุ, กิโลกรัม

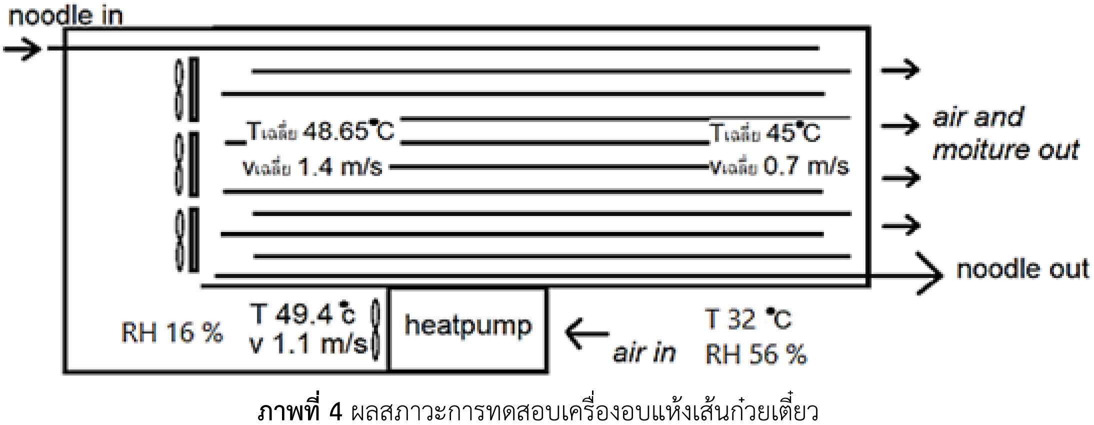
d คือ มวลของวัสดุแห้ง, กิโลกรัม

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เครื่องอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวแบบประหยัดพลังงานได้รับการออกแบบและสร้างมีลักษณะดังภาพที่ 3 (ก) ส่วนระบบฮีทปั๊มมีลักษณะ ดังแสดงในภาพที่ 3 (ข) โดยระบบฮีทปั๊มสามารถลดความชื้นของอากาศภายนอกเครื่องอบจากประมาณ 56 เปอร์เซ็นต์ ณ อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ให้ความชื้นอากาศเหลือต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และสามารถทำให้อากาศหลังออกจากฮีทปั๊มมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่า 49 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศหลังผ่านฮีทปั๊มคือ 1.1 เมตรต่อวินาที ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยอากาศเมื่อเคลื่อนตัวผ่านส่วนโค้งของเครื่องอบเพื่อเข้าสู่บริเวณโซนอบแห้งที่สายพานลำเลียง จะมีอุณหภูมิลดลงเนื่องจากเครื่องอบไม่ได้ติดฉนวนกันความร้อนออก ในขณะเดียวกันจากการเสียดทานด้วยผนังและอุปกรณ์ต่าง ๆ จะทำให้ความเร็วอากาศลดลงด้วย ดังนั้นเมื่ออากาศผ่านพัดลมและขดลวดความร้อนที่ได้ติดตั้งไว้ ก็จะสามารถเพิ่มความเร็วลมและอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่การอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวต้องการนั่นคือ อุณหภูมิประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส ความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 1 เมตรต่อวินาที ตลอดช่วงของการอบแห้งภายในตู้อบ

(ก) (ข)

ภาพที่ 3 (ก) โครงสร้างและระบบลำเลียงของเครื่องอบแห้ง (ข) ระบบฮีทปั๊ม



ภาพที่ 4 ผลสภาวะการทดสอบเครื่องอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว

ความชื้นเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อผ่านการลดความชื้นในตู้อบที่เวลา 11 นาที (อัตราการเคลื่อนที่ของสายพานคือ 1 เมตรต่อนาที) จากความชื้นเริ่มต้น 65-72 %db เหลือความชื้นเส้นก๋วยเตี๋ยว 38-45%db ลักษณะเบื้องต้นแสดงดังภาพที่ 5 (ก) พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากกระบวนการอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยวไม่แห้งกรอบจนแตกหักและไม่เป็นริ้ว อีกทั้งเมื่อตรวจสอบเบื้องต้นโดยเจ้าหน้าที่ ดังแสดงในภาพที่ 5 (ข) พบว่ามีคุณภาพใกล้เคียงกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านกระบวนการอบและ Aging ปกติ (กระบวนการบ่มเส้นก๋วยเตี๋ยว) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า เครื่องอบแห้งตัวใหม่นี้สามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต ที่สามารถลดระยะเวลา การใช้พลังงาน รวมถึงเพิ่มคุณภาพคือป้องกันการเกิดเชื้อราของผลิตภัณฑ์ได้ด้วย

(ก) (ข)

ภาพที่ 5 (ก) การตรวจสอบคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว (ข) เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการอบแห้ง

คำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้าของทั้งระบบ คือ ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จ่ายให้กับชุดมอเตอร์ขับพูเล่สายพาน ระบบฮีตปั๊มในส่วนของคอมเพรสเซอร์ ระบบฮีทเตอร์ และระบบพัดลมอุตสาหกรรม รวมทั้งระบบไฟฟ้า 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 547 บาทต่อวันต่อไลน์การผลิต ลดลงจากเดิมที่มีการใช้ไฟฟ้าประมาณ 3,600 บาทต่อวันต่อไลน์การผลิต

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาเครื่องอบแห้งเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยเปลี่ยนแปลงกระบวนการอบด้วยลมร้อนจากไอน้ำเป็นระบบฮีทปั๊ม ใช้หลักการอุ่นอากาศป้อนโดยคอยล์ร้อนให้กับตู้อบและใช้ความเย็นด้านคอยล์เย็นช่วยควบแน่นความชื้นในอากาศเป็นการลดความชื้นอากาศก่อนเข้าเครื่องอบ อุปกรณ์ภายในประกอบด้วยพัดลมและฮีทเตอร์เพื่อเพิ่มความเร็วลมและอุณหภูมิของอากาศ ผลการทดสอบเครื่องอบแห้งนี้พบว่าสามารถลดความชื้นเส้นก๋วยเตี๋ยวจากความชื้นช่วงเริ่มต้น 65-72 เปอร์เซ็นต์ เหลือประมาณ 38-45เปอร์เซ็นต์ พิจารณาคุณสมบัติผลิตภัณฑ์พบว่าโดยรวมมีคุณภาพดีขึ้น อัตราการใช้ไฟฟ้าของทั้งระบบ เมื่อคำนวณแล้วสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าได้กว่า 80 เปอร์เซ็นต์จากเครื่องเดิม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือ (จังหวัดเชียงใหม่) ประจำปีงบประมาณ 2561 ผ่านทางอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ และขอขอบคุณสถานประกอบการ บริษัท ไทยเอเชียไรซ์ โปรดักส์ จำกัด ที่ให้ความเอื้อเฟื้อให้การให้ข้อมูลและผู้ร่วมวิจัย รวมทั้งมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่สนับสนุนเวลาในการทำวิจัยให้กับคณะผู้วิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] อรอนงค์ นัยวิกุล. (2540). “ข้าวสาลี: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร”. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

[2] สุทธิศักดิ์ ภัทรสถาพรกุล. (2543). “การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน”. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน จ.นครปฐม. 123 น.

[3] Prasertsan, S., P. Sean-saby, P. Ngamsritrakul and G. Prateepchaikul. (1996). **Heat pump dryer Part1: Simulation of the model**. Int. J. Energy Res. 20: 1067-1079.

[4] Prasertsan, S., P. Sean-saby, P. Ngamsritrakul and G. Prateepchaikul. (1997). **Heat pump dryer Part2: Results of Simulation**. Int. J. Energy Res. 21: 1-20.

[5] จักรมาส เลาหวณิช สุพรรณ ยั่งยืน เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา และทิวานัถ แก้วสอนดี. (2560). “คู่มือองค์ความรู้ การจัดการความรู้และขยายผลเทคโนโลยีเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนปล่อยทิ้งแบบเคลื่อนย้ายได้”. สืบค้นเมื่อ 28 กันยานยน 2562, จาก http://www.thai-explore.net

การประเมินความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นเปลือกถั่วดาวอินคาสำหรับการพัฒนาเป็นวัสดุฉนวนทางความร้อน (สมบัติเชิงกายภาพและปริมาณ)

Feasibility study of SACHA INCHI Shell Plate to Develop the Thermal Insulator (Physical Property and Quantity)

พรเมธี คำพีร์[1*], ธเนศ ไชยชนะ[1], ภคมน ปินตานา[1], วรวรรณ เพชรอุไร[2] และวุฒิกานต์ ปุระพรหม[3]

[1]สาขาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[2]สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[3]สาขาเทคโนโลยีภูมิทัศน์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาองค์ประกอบเชิงปริมาณ (Proximate Analysis) องค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis) และสมบัติเชิงกายภาพของฉนวนกันความร้อนจากเปลือกถั่วดาวอินคาโดยมีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 876 – 2547) เป็นเกณฑ์มาตรฐานพบว่าองค์ประกอบเชิงปริมาณของเปลือกถั่วดาวอินคามีสารระเหย (Volatile matter) 67.80% คาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) 15.18% ความชื้น (Moisture) 9.11% และเถ้า (Ash) 7.90% องค์ประกอบธาตุของเปลือกถั่วดาวอินคามีองค์ประกอบธาตุโพแทสเซียม (Potassium : K) พบมากโดยมี K เท่ากับ 6.836 % ปริมาณผลผลิตของถั่วดาวอินคาในพื้นที่ 1 ไร่ มีปริมาณ 3,000 kg/ปี สามารถแบ่งออกเป็นเมล็ดและเปลือกอย่างละ 1,500 kg/ปี ค่าความร้อนที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณมีค่าเท่ากับ 3,032.819 ± 13.538 kcal/kg หรือคิอเป็น 12.13 MJ สมบัติเชิงกายภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานโดยมีค่าเฉลี่ยที่ความหนาแน่น 539.44 kg/m^3 ความชื้น 5.42% การพองตัวตามความหนาและการดูดซึมน้ำที่อันตราส่วน 80:20 มีการพองตัวและดูดซึมน้ำมากที่สุดในทุกความหนาเนื่องมาจากเปลือกถั่วดาวอินคาจัดมีลักษณะใกล้เคียงเนื้อไม้จึงมีการพองตัวเมื่อสัมผัสกับน้ำ

คำสำคัญ: เปลือกถั่วดาวอินคา, ฉนวนกันความร้อนจากชีวมวล

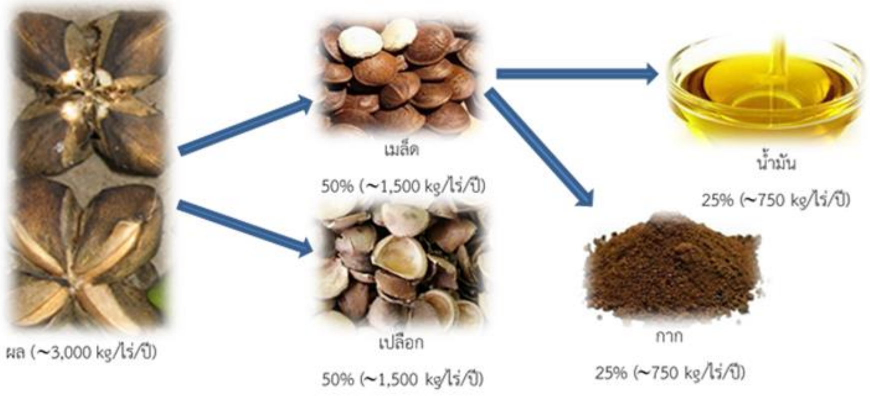
บทนำ

ถั่วดาวอินคา (Sacha inchi) มีถิ่นกำเนิดในแถบประเทศอเมริกาใต้บริเวณแถบประเทศเปรูถูกนำเข้ามาปลูกในแถบประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มากขึ้นรวมถึงประเทศไทย ต้นถั่วดาวอินคาเป็นพืชไม้เลื้อย ผลมีลักษณะคล้ายดาวนิยมนำมารับประทานในรูปแบบของน้ำมันสกัด ชา [1]หลังกระบวนการสกัดน้ำมันจะมีเปลือกเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก เพื่อเป็นการนำชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์จึงได้มีการศึกษางานวิจัยทางด้านการนำวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ในเกิดประโยชน์ภาพที่ 1 สามารถบ่งบอกถึงปริมาณผลผลิตของถั่วดาวอินคาพบว่าในพื้นที่ 1 ไร่ มีผลถั่วดาวอินคา 3,000 kg/ปี แบ่งออกเป็นเมล็ดและเปลือกอย่างละ 50%ของผล จากนั้นนำเมล็ดมาสกัดเป็นน้ำมันและจะได้กากของถั่วดาวอินคาซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านต่างๆ ต่อไป

การพัฒนาฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยธรรมชาติ เช่น แกลบ[2] ข้าวสาลี[3] ผักตบชวา[4] ชานอ้อย[5]และเส้นใยปอ[6] จากปริมาณเปลือกถั่วดาวอินคาที่เหลือใช้เป็นจำนวนมากจึงมีแนวคิดที่สามารถนำมาทดแทนไม้ที่ใช้ในการผลิตฉนวนกันความร้อนในปัจจุบัน จึงมีแนวคิดในการเปลี่ยนตัวชีวมวลธรรมชาติ ศึกษาการหาตัวประสานและแนวทางการขึ้นรูปเป็น

* Corresponding author: Tel : 0885858915 E-mail address : ploy_kampee@hotmail.com

ฉนวนกันความร้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ศึกษาองค์ประกอบเชิงปริมาณ องค์ประกอบของธาตุและสมบัติกายภาพของฉนวนกันความร้อนจากเปลือกถั่วดาวอินคา



ภาพที่ 1 ปริมาณวัสดุชีวมวลที่เหลือจากกระบวนการผลิตน้ำมันถั่วดาวอินคา [7]

วิธีการวิจัย

การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณ (Proximate Analysis) การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis) ศึกษาการขึ้นรูปฉนวนกันความร้อนจากเปลือกถั่วดาวอินคา และการศึกษาทางกายภาพของฉนวนกันความร้อนจากเปลือกถั่วดาวอินคาโดยมีขั้นตอนต่อไปนี้

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงปริมาณ (Proximate Analysis) ตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Material) ทำให้ทราบปริมาณความชื้น (Moisture) ปริมาณสารระเหย (Volatile) ปริมาณเถ้า (Ash) และปริมาณคาร์บอน (Fixed Carbon) ด้วยเครื่อง CHNS/O Analyzer (CHNS/O) รุ่น FlashEA 1112 ตามมาตรฐาน ASTM D 7582 ณ.ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ [8]

การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis) ด้วยวิธี XRF (X-ray fluorescence spectrometry) จากเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer, Zetium, PANalytical, Netherlands ณ.ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ศึกษาการขึ้นรูปฉนวนกันความร้อนจากเปลือกถั่วดาวอินคาโดยใช้ตัวประสานคือน้ำยางพาราและกาวพอลิไวนิลแอซีเตต (Polyvinylacetate : PVA) ที่มีขายตามท้องตลาด

การศึกษาทางกายภาพของฉนวนกันความร้อนจากเปลือกถั่วดาวอินคาโดยใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสาน แบ่งการทดลองออกเป็นความหนาแน่น (Density) ความชื้น (Moisture content) การดูดซึมน้ำของฉนวน (Water absorption) และการพองตัวตามความหนา (Thickness swelling) โดยมีอัตราส่วนของเปลือกถั่วดาวอินคาที่มีน้ำยางพาราเป็นตัวประสานดังแสดงในตารางที่ 1 ทำการกำหนดความหนา 3 ขนาด คือ 5 10 และ 15 mm

ตารางที่ 11 อัตราส่วนของเปลือกถั่วดาวอินคาโดยมีน้ำยางพาราเป็นตัวประสานที่ความหนาแตกต่างกัน

อัตราส่วน	**เปลือกถั่วดาวอินคา**	60	70	80	85	90	95
	น้ำยางพารา	40	30	20	15	10	5

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

องค์ประกอบเชิงปริมาณ (Proximate Analysis)

เปลือกถั่วดาวอินคามีปริมาณความชื้น 9.11% ซึ่งจัดอยู่ในมาตรฐานของชีวมวลชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ควรเกิน 50% [9] ความชื้นบ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล สารระเหยเป็นส่วนที่ลุกเผาไหม้ง่ายโดยเปลือกถั่วดาวอินคามีปริมาณ 67.80% คาร์บอนคงที่คือค่าความเร็วในการติดไฟโดยเปลือกถั่วดาวอินคามีปริมาณ 15.18% และค่าเถ้าในชีวมวลจะมีปริมาณประมาณ 1 – 3 % ยกเว้นแกลบและฟางข้าวจะมีสัดส่วนเถ้าประมาณ 10 – 20 % ซึ่งปริมาณเถ้าจะบ่งบอกการเผาไหม้ที่ไม่สมบูณณ์ของชีวมวล เปลือกถั่วดาวอินคามีปริมาณ 7.90% โดยสรุปดังตารางที่ 2

ตารางที่ 12 องค์ประกอบเชิงปริมาณของเปลือกถั่วดาวอินคา

No.	Parameters	Unit	Resulte ± SD	No.	Parameters	Unit	Resulte ± SD
1	Moisture	% wt.	9.11 ± 0.02	7	Nitrogen (N)	% wt	0.456 ± 0.006
2	Volatile	% wt.	67.80 ± 0.24	8	Sulfur (S)	% wt	0.033 ± 0.001
3	Fixed Carbon	% wt.	15.18 ± 0.28	9	Oxygen (O)	% wt	44.597 ± 0.141
4	Ash	% wt.	7.90 ± 0.05	10	Carbon (C)	% wt.	40.881 ± 0.087
5	Gross Heating Value (G.H.V.)	kcal/kg	3,312.855 ± 15.486	11	Hydrogen (H)	% wt	5.458 ± 0.043
6	Net Heating Value (N.H.V.)	kcal/kg	3,032.819 ± 13.538				

องค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis)

องค์ประกอบของธาตุในเปลือกถั่วดาวอินคาพบว่าธาตุโพแทสเซียม (Potassium : K) มีปริมาณมากที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 6.836% ขณะที่มีปริมาณธาตุอื่นๆมีปริมาณน้อยมากธาตุที่น้อยที่สุดคือสังกะสี (Zinc : Zn) มีค่าเพียง 0.004% ตารางที่ 3 แสดงปริมาณของธาตุในเปลือกถั่วดาวอินคา

ตารางที่ 13 ร้อยละของน้ำหนักองค์ประกอบธาตุของเปลือกถั่วดาวอินคา

No.	Element	Concentration (%)	No.	Element	Concentration (%)
1	Na	0.007	10	Ti	0.005
2	Mg	0.337	11	Mn	0.008
3	Al	0.027	12	Fe	0.046
4	Si	0.075	13	Cu	0.007
5	P	0.256	14	Zn	0.004
6	S	0.069	15	Rb	0.012
7	Cl	0.012	16	Sr	0.010
8	K	6.836	17	Ba	0.033
9	Ca	0.856			

สมบัติเชิงกายภาพ

การเปรียบเทียบตัวประสานน้ำยางพาราและกาวพอลิไวนิลแอซีเตต (PVA)

ทำการศึกษาหาตัวประสานระหว่างน้ำยางพาราและกาวพอลิไวนิลแอซีเตต (PVA) โดยวิธีการทดลองอ้างอิงมาตรฐาน มอก. 876 – 2547 [10] ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่ากาวพอลิไวนิลแอซีเตต (PVA) มีการแตกตัวเมื่อทำการทดสอบการพองตัวตามความหนาเป็นสาเหตุไม่สามารถนำมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนได้ ในการอัดขึ้นรูปในอัตราส่วน 95:5 90:10 และ 85:15 สามารถอัดขึ้นรูปได้แต่เมื่อทำการปล่อยทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีการแตกตัวเนื่องจากมีปริมาณของตัวประสานที่น้อยจึงไม่สามารถนำไปใช้ในการเป็นฉนวนกันความร้อนได้ ดังนั้นจึงทำการอัดขึ้นรูปฉนวนกันความร้อนจากเปลือกถั่วดาวอินคาในอัตราส่วนต่างๆที่แสดงในตารางที่ 1

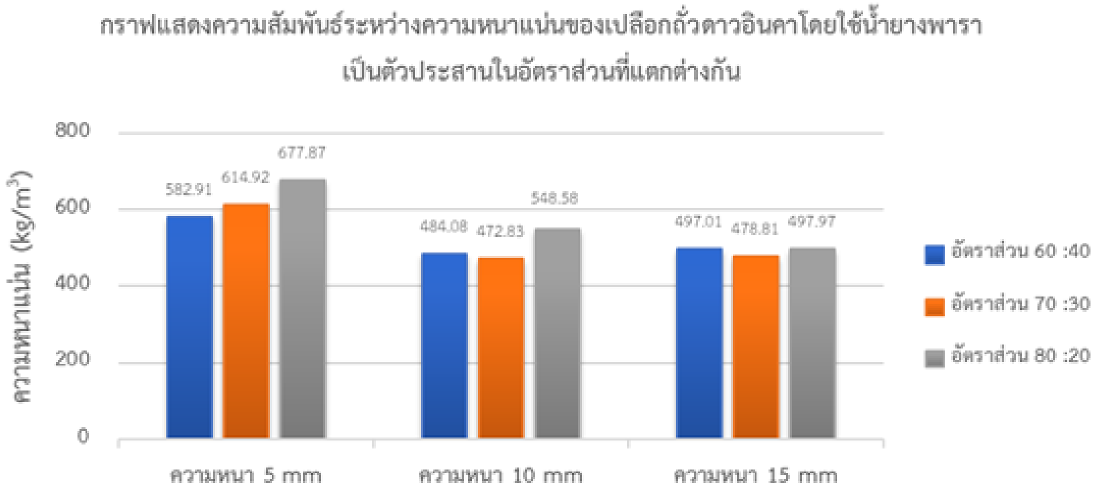
จากการทดลองขึ้นรูปฉนวนกันความร้อนจากเปลือกถั่วดาวอินคาทำการกำหนดขนาดแผ่นฉนวน 5 × 5 cm พบว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนขนาดความหนา 1.5 cm ใช้เปลือกถั่วดาวอินคาต่อ 1 แผ่นการทดลองคือปริมาณ 20 g และจากการศึกษาปริมาณเปลือกถั่วดาวอินคาต่อพื้นที่ 1 ไร่ มีปริมาณเปลือก 1,500 kg ทำในทราบว่าสามารถนำมาเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อนในห้องปฏิบัติการได้ 75,000 แผ่น

กาวพอลิไวนิลแอซีเตต (PVA) น้ำยางพารา

ภาพที่ 2 การศึกษาตัวประสานระหว่างน้ำยางพาราและกาวพอลิไวนิลแอซีเตต (PVA)

ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น บ่งบอกถึงขนาดของฟองอากาศในฉนวนกันความร้อนเมื่อมีความหนาแน่นมากจะส่งผลให้มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนน้อยลง หลังจากกระบวนการอัดขึ้นรูปได้ทำการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่งและเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบอนาล็อคในการคำนวณหาปริมาตร ทั้งนี้ชิ้นงานจะขึ้นรูปในขนาดเล็กเพื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการเท่านั้น มอก. 876 – 2547 ได้กำหนดให้ฉนวนมีความหนาแน่นระหว่าง 400 - 900 kg/m^3

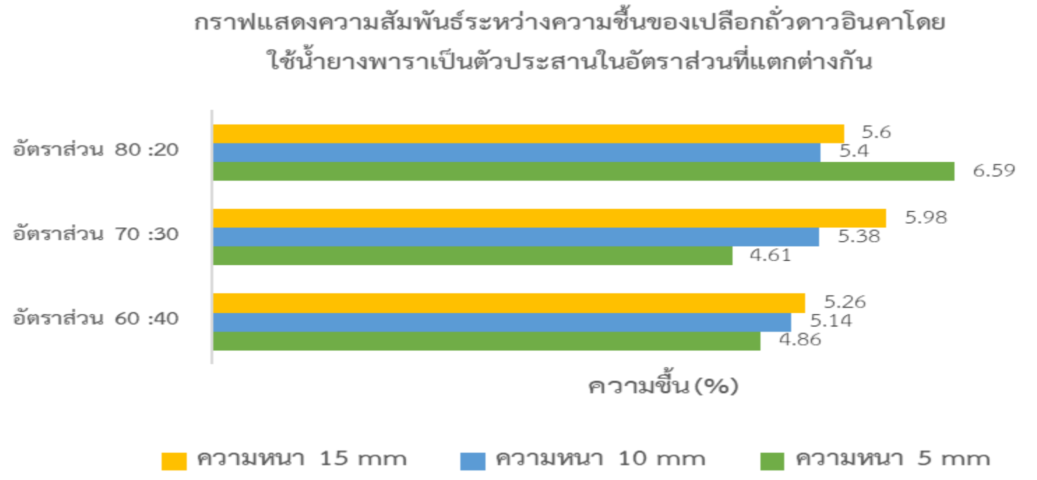


ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเปลือกถั่วดาวอินคาโดยใช้น้ำยางพารา
เป็นตัวประสานในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

จากภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นระว่างอัตราส่วนเปลือกถั่วดาวอินคาและน้ำยางพารา อัตราส่วน 60 : 40, 70 : 30 และ80:20 พบว่าอัตราส่วน 80:20 มีความหนาแน่นมากที่สุดทุกความหนาของชิ้นงานโดยความหนาที่ 5 mm มีความหนาแน่นมากที่สุด 677.87 kg/m^3 ความหนาของชิ้นงาน 15 mm มีความหนาแน่นน้อยที่สุดสืบเนื่องมีปริมาตรมากที่สุดอันตราส่วน 70 : 30 มีความหนาแน่น 478.81 kg/m^3

ความชื้น (Moisture content)

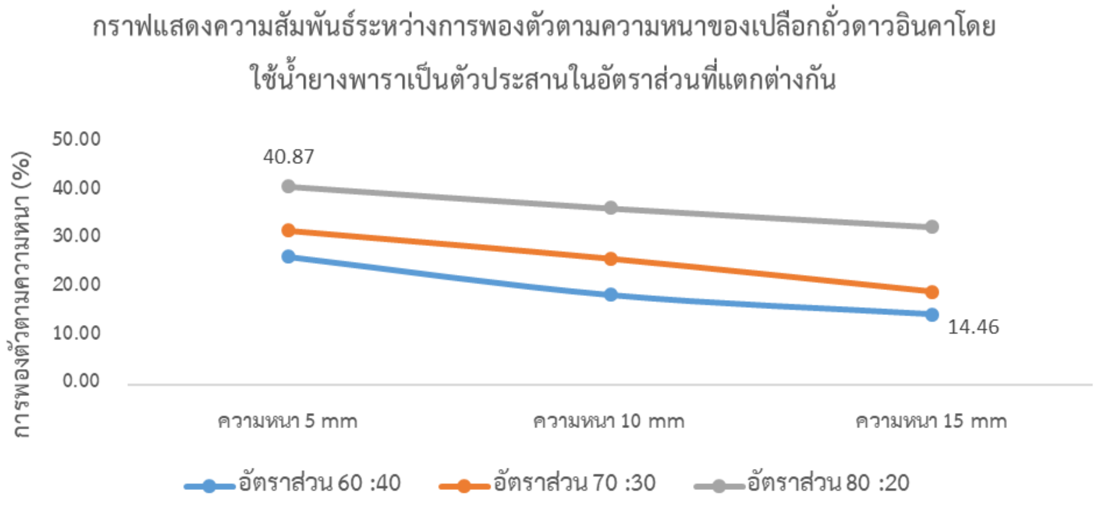
ความชื้น คือการบ่งบอกปริมาณน้ำในฉนวนกันความร้อน ความชื้นจะส่งผลต่อคุณภาพของฉนวนถ้ามีปริมาณมากจะทำให้เกิดเชื้อรา การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นด้วยเครื่องเตาอบร้อน (hot air oven method) เริ่มต้นจากการชั่งน้ำหนักเริ่มต้นและทำการอบที่อุณหภูมิ 103±2 C° เป็นเวลา 72 hr จากนั้นทำการชั่งหนักสุดท้ายและนำไปคำนวณ มอก. 876 – 2547 ได้กำหนดความชื้นไว้อยู่ในช่วงระหว่าง 4 - 13% จากภาพที่ 4 ในอัตราส่วน 80 : 20 ที่ความหนา 5 mm มีความชื้นมากที่สุดคือ 6.59% ความชื้นจัดอยู่ในระดับมาตฐานโดยมีความชื้นมีค่าใกล้เคียงกันทุกอัตราส่วนและความหนา



ภาพที่ 4 ***กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของเปลือกถั่วดาวอินคาโดยใช้น้ำยางพารา เป็นตัวประสานในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน***

การพองตัวตามความหนา (Thickness Swelling)

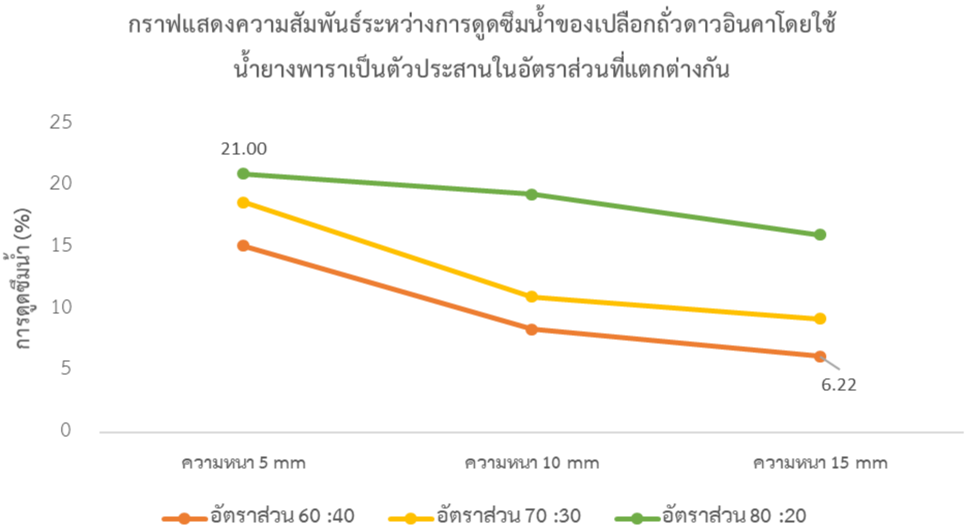
การพองตัวตามความหนาบ่งบอกถึงปริมาณความชื้นภายในเมื่อมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นแผ่นฉนวนจะเกิดการพองตัวฉนวนกันความร้อนจากเปลือกถั่วได้อินคาอันตราส่วน 80:20 มีการพองตัวมากที่สุดในทุกความหนาเนื่องมาจากเปลือกถั่วดาวอินคาจัดมีลักษณะใกล้เคียงเนื้อไม้จึงมีการพองตัวเมื่อสัมผัสกับน้ำภาพที่ 5 แสดงการพองตัวตามความหนาในอันตราส่วนต่างๆ



ภาพที่ 5 ***กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการพองตัวตามความหนาของเปลือกถั่วดาวอินคาโดย ใช้น้ำยางพาราเป็นตัวประสานในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน***

การดูดซึมน้ำ (Water absorption)

การดูดซึมน้ำของฉนวนคือปริมาณน้ำที่ดูดซึมผ่านเข้าไปในสามารถบอกคุณลักษณะของการเป็นรุพรุนในฉนวนจากการทดลองอัตราส่วน 80:20 มีการดูดซึมน้ำมากที่สุดในทุกความหนาซึ่งสัมพันธ์การค่าการพองตัวตามความหนาเมื่อปริมาณการพองตัวมากขึ้นค่าการดูดซึมน้ำจะมากขึ้นที่ความหนา 5 mm ในทุกอัตราส่วนมีการพองตัวและดูดซึมน้ำมากดังแสดงในภาพที่ 5 และภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำของเปลือกถั่วดาวอินคาโดยใช้น้ำยางพารา เป็นตัวประสานในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบเชิงปริมาณ (Proximate Analysis) องค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis) การเปรียบเทียบตัวประสานน้ำยางพาราและกาวพอลิไวนิลแอซีเตต (PVA) และสมบัติเชิงกายภาพของฉนวนกันความร้อนจากเปลือกถั่วดาวอินคาโดยมี มอก. 876 – 2547 เป็นเกณฑ์มาตรฐานสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- องค์ประกอบเชิงปริมาณของเปลือกถั่วดาวอินคามีปริมาณสารระเหย (Volatile matter) 67.80% คาร์บอนคงที่ (Fixed Carbon) 15.18% ความชื้น (Moisture) 9.11% และเถ้า (Ash) 7.90%
- ค่าความร้อน (N.H.V.) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 3,032.819 ± 13.538 kcal/kg หรือคิอเป็น 12.13 MJ
- องค์ประกอบธาตุโพแทสเซียม (Potassium : K) พบมากในเปลือกถั่วดาวอินคาโดยมี K เท่ากับ 6.836 %
- ปริมาณเปลือกถั่วดาวอินคาต่อพื้นที่ 1 ไร่ มีจำนวน 1,500 kg สามารถขึ้นรูปฉนวนกันความร้อนในขนาด 5 × 5 cm จำนวน 75,000 แผ่น
- อัตราส่วน 80:20 มีความหนาแน่นมากที่สุดทุกความหนาของชิ้นงานโดยความหนาที่ 5 mm มีความหนาแน่นมากที่สุด 677.87 kg/m^3 ความหนาของชิ้นงาน 15 mm มีความหนาแน่นน้อยที่สุดสืบเนื่องมีปริมาตรมากที่สุดอันตราส่วน 70 : 30 มีความหนาแน่น 478.81 kg/m^3
- ความชื้นในแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกถั่วดาวอินคาผ่านเกณฑ์โดยอัตราส่วน 80 : 20 ที่ความหนา 5 mm มีความชื้นมากที่สุดคือ 6.59% ความชื้นจัดอยู่ในระดับมาตฐานโดยมีค่าความชื้นใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วน
- การพองตัวตามความหนาและการดูดซึมน้ำที่อันตราส่วน 80:20 มีการพองตัวและดูดซึมน้ำมากที่สุดในทุกความหนาเนื่องมาจากเปลือกถั่วดาวอินคาจัดมีลักษณะใกล้เคียงเนื้อไม้จึงมีการพองตัวเมื่อสัมผัสกับน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงโครงการ "โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีการศึกษา 2560" ที่เป็นเงินทุนทำวิจัยครั้งนี้ สุดท้ายขอบคุณ "SEATLAB"ทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือจนสามารถดำเนินโครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] ภารวี กุศลินกุลและคณะ (2558). การพัฒนาขนมขบเคี้ยวชนิดแท่งจากผลิตผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคา. **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร** ปีที่ 46 ฉบับที่ 3(พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม 2558, 345 -348

[2] Virtanen, T., K. Svedström, S. Andersson, L. Tervala, M. Torkkeli, M. Knaapila, N. Kotelnikova, S. L. Maunu and R. Serimaa (2012). "A physico-chemical characterisation of new raw materials for microcrystalline cellulose manufacturing." **Cellulose** 19(1): 219-235.

[3] Liu, S.-W., Q. Wei, S.-P. Cui, Z.-R. Nie, M.-H. Du and Q.-Y. Li (2016). "Hydrophobic silica aerogel derived from wheat husk ash by ambient pressure drying." **Journal of Sol-Gel Science and Technology** 78(1): 60-67.

[4] วรรณวิทย์ แต้มทอง. (2552). **การเพิ่มประสิทธิภาพการกันความร้อนที่กรอบอาคารโดยใช้วัสดุธรรมชาติเป็นฉนวน.** รายงานฉบับสมบูรณ์ ทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2551 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.). คณะวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[5] Chen, M., X. Zhang, A. Zhang, C. Liu and R. Sun (2016). "Direct preparation of green and renewable aerogel materials from crude bagasse." **Cellulose** 23(2): 1325-1334.

[6] Lin, J., L. Yu, F. Tian, N. Zhao, X. Li, F. Bian and J. Wang (2014). "Cellulose nanofibrils aerogels generated from jute fibers." **Carbohydrate Polymers** 109: 35-43.

[7] ธเนศ ไชยชนะ (2561). **การพัฒนาผนังฉนวนความร้อนจากเปลือกและกากถั่วดาวอินคาสำหรับอาคารอนุรักษ์พลังงาน** มหาวิทยาลัยแม่โจ้

[8] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ **เครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ** สืบค้นเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2562, จากhttp://www.sec.psu.ac.th/th/equipment.php?p=chemi_g1

[9] สำนักถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **พลังงานชีวมวล** สืบค้นเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2562, จาก http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib15330.pdf

[10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม **มอก. 876 – 2547 แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ** สืบค้นเมื่อวันที่ 25 กันยายน 2562, จาก http://research.rid.go.th/vijais/moa/fulltext/TIS876-2547.pdf

การออกแบบและสร้างตู้ชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่
Design and Create of Mobile Phone Battery Charger Box with Solar Power Mobile

อัษฎางค์ บุญศรี[1*] นิวดี คลังสีดา[1*] กิตติชัย ร่มยอถิ่นดง[1] และ ภานุมาศ ช้ำเกตุ[1]
[1] โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
69 ม.1 ต.นครชุม อ.เมือง จ.กำแพงเพชร 62000

บทคัดย่อ

บทความนี้ ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างตู้ชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ทำให้สามารถออกแบบระบบที่เหมาะสมกับตู้ชาร์จแบตเตอรี่สาธารณะได้หมด 4 เครื่องในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ผ่านอุปกรณ์ Quick Charge 3.0 จากการออกแบบระบบ พบว่า จะต้องใช้ขนาดแผงโซล่าเซลล์ 100 วัตต์ ผ่านระบบควบคุมการเก็บประจุขนาด 20 แอมป์ แบตเตอรี่ขนาด 75 แอมป์แปร์ชั่วโมง ประสิทธิภาพของระบบในช่วง 08.00 – 18.00 น. สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้ปกติ โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงอยู่ในช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. และเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่เต็ม 100 เกือบตลอดวัน ในช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 18.00 – 22.00 น. ระบบสามารถให้แสงสว่างด้วยหลอดแอลอีดีขนาด 6 วัตต์ และชาร์จอุปกรณ์โทรศัพท์ได้อย่างต่อเนื่อง โดยที่ค่ากำลังไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่จะค่อยๆลดลงตามเวลาที่ใช้งานไปจนถึง 22.00 น. ในส่วนของโครงสร้างระบบที่ออกแบบและสร้างขึ้น มีความสะดวกต่อการใช้งาน แข็งแรงทนทานต่อสภาพแวดล้อม เป็นที่พึงพอใจกับผู้ที่พบเห็น เหมาะสมและเป็นประโยชน์ให้กับผู้คนที่มาใช้งานตามสถานที่สารธารณะ

คำสำคัญ: ตู้ชาร์จแบตเตอรี่ , โทรศัพท์มือถือ , พลังงานแสงอาทิตย์ , เคลื่อนที่

บทนำ

ในปัจจุบันประชากรโลกมีการใช้โทรศัพท์มือถือกันอย่างแพร่หลาย เพราะในทุกวันนี้โทรศัพท์มือถือได้เขามามีบทบาทต่อการใช้ชีวิตเป็นอย่างมากเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารไปมาระหว่างกันอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้ประชากรนั้นมาใช้โทรศัพท์มือถือกันมากขึ้นและเพิ่มขึ้นทุกวัน ในทางกลับกัน โทรศัพท์มือถือมีการใช้พลังงานหลักคือแบตเตอรี่ซึ่งอาจจะไม่เพียงพอต่อการใช้งานในแต่ละวัน หากนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ ด้วยเหตุผลข้างต้นพลังงานจากแสงอาทิตย์จึงเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เป็นอีกสถานที่หนึ่งที่นิยมใช้โทรศัพท์มือถือในการติดต่อสื่อสารกันอย่างแพร่หลาย แบตเตอรี่จึงเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งที่จะทำให้การใช้โทรศัพท์มือถือเป็นอย่างมีประสิทธิภาพ ในหลายๆครั้ง โทรศัพท์มือถือบางรุ่นอาจมีความจุของปริมาณกระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่มีค่อนข้างน้อย ในบางรุ่นอาจมีความเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน ทำให้จำเป็นต้องมีระบบพลังงานสำรองเพื่อสนับสนุนการต่ออุปกรณ์ ซึ่งในบางครั้งแบตเตอรี่สำรองอาจจะไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จากการสำรวจพื้นที่ของมหาลัยราชภัฏกำแพงเพชรนั้นมีสภาพอากาศร้อนทั่วทั้งพื้นที่ของมหาลัยจึงเหมาะแก่การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ จากข้อมูลข้างต้น หากมีการนำพลังงานความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อสำรองไว้ใช้งานด้วยสถานีบริการชาร์จโทรศัพท์มือถือแบบเคลื่อนที่ได้ จะเป็นประโยชน์ต่อ

[*] Corresponding author: Tel.: 089-7073364. E-mail address: pro_ad@hotmail.com

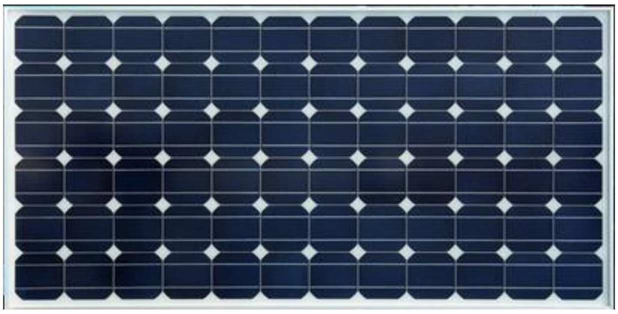
สถานการณ์ที่มีความเร่งด่วนเป็นอย่างมาก โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยการชาร์จแบตเตอรี่ในโทรศัพท์มากมาย อาธิเช่น พิษณุ สะเตวิน สิทธิพงษ์ ขุนทองจันทร์ และ ณัฐชัย ทองสุข [1] ได้กล่าวถึงรูปแบบการชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือพลังงานแสงอาทิตย์แบบหยอดเหรียญนำไปใช้ใสถานที่ไม่มีระบบไฟฟ้า โดยมีหลักการคือ นำเอาพลังงานแวงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 40 วัตต์ และเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไว้ในแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จำนวน 2 ลูก แล้วนำเอาพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ มาผ่านวงจรเก็บประจุพลังงานให้แบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือโดยมีแนวคิดนี้เป็นการนำเอาพลังงานจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน เพื่อเป็นพลังงานทดแทน ถัดมาเป็นงานวิจัยของนพพร อำนาจบุดดี และคณะฯ [2] ได้ศึกษาการพัฒนาเครื่องบริการเติมแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือพลังงานแสงอาทิตย์พบว่างานวิจัยนี้มีแนวคิดการออกแบบเครื่องบริการเติมแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ พลังงานแสงอาทิตย์นั้นคือการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้แทนพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้พลังงานกับโทรศัพท์มือถือแบบพกพาโดยตัวเครื่องได้มีส่วน หลักๆ ในการทำงานคือเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ก็จะมาผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อเพิ่มแรงดันให้พอเหมาะเพื่อไปเข้าวงจรชาร์จ ทำการชาร์จแบตเตอรี่สำรองไฟอีกด้านก็ต่อตรงจากโซล่าเซลล์ผ่านอินเวอร์เตอร์ 12 V. เข้าวงจรชาร์จโทรศัพท์เพื่อชาร์จอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบพกพาโดยตรง

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมด ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างตู้ชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือพลังงานแสงอาทิตย์มาเพื่ออำนวยความสะดวกในการชาร์จแบตเตอรี่ของมือถือสารธารณะแบบเคลื่อนที่ได้ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อสังคมและส่วนรวม อีกทั้งยังสามารถใช้บริการได้ตลอดเวลาเพื่อลดความเสี่ยงของการสื่อสารในชีวิตประวันได้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โซล่าเซลล์ (Solar Cell) [3]

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมวิธีทางอิเลคทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า โดยงานวิจัยนี้ได้นำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell มีประสิทธิภาพประมาณ 13-15 % ดังแสดงได้ตามตัวอย่างภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผงโซล่าเซลล์ Monocrystalline Silicon Solar Cell

ตัวควบคุมการชาร์จประจุ [4]

เครื่องควบคุมการชาร์จประจุ คืออุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการรับเข้าและรับจ่ายออกกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เมื่อแผงโซล่าเซลล์ได้มีการผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ในระบบโซล่าเซลล์ที่ออกแบบให้มีการต่อพ่วงนั้นกับแบตเตอรี่นั้น ในช่วงที่แสงอาทิตย์ส่องตกกระทบมายังแผงโซล่าเซลล์ อาจจะไม่สม่ำเสมอหรือคงที่ตลอดทั้งวันจึงส่งผลให้แรงดันและกระแสที่ผลิตได้เกิดความเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางของดวงอาทิตย์ หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการชาร์จดังกล่าว จะใช้คลื่นไฟฟ้าในช่วงสั้นในการชาร์จประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ โดยเครื่องควบคุมการชาร์จนี้ จะถูกติดตั้งระหว่างแผงโซล่าเซลล์กับแบตเตอรี่ โดยหากระดับแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่ากำหนด ตัวเครื่องควบคุมจะทำการปลดโหลดออกจากระบบในทันที เพื่อป้องกันการคลายประจุของแบตเตอรี่ที่มากเกินไป และอาจเกิดอันตรายต่อแบตเตอรี่ ดังแสดงตัวอย่างได้ตามภาพที่ 2

ภาพที่ 2 หลักการทำงานของระบบควบคุมการชาร์จ

โดยทั่วไป การตั้งค่าแรงดันการปลดโหลดจะกำหนดไว้ที่ประมาณ 11.5 โวลต์ สำหรับแรงดันระบบที่ 12 โวลต์ และเมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่สูงขึ้นในระดับปกติ แผงโซล่าเซลล์ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เต็มที่ เครื่องควบคุมการชาร์จจะต่อวงจรการทำงานของโหลดใหม่อีกครั้ง

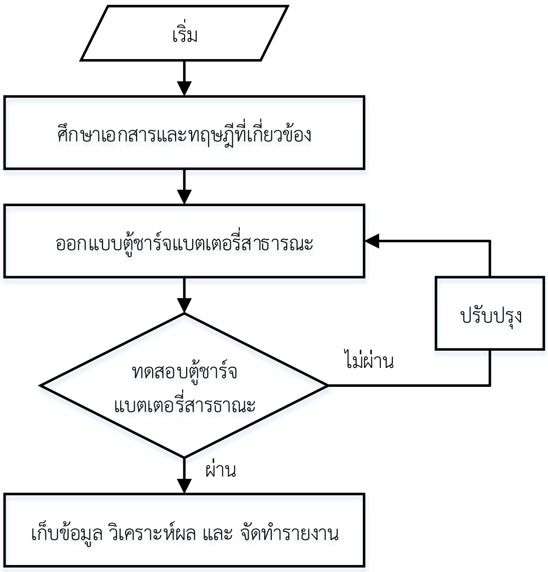
อุปกรณ์ Quick Charge 3.0 [5]

เทคโนโลยี Quick Charge 3.0 หรือ QC 3.0 ที่พัฒนาโดยบริษัท Qualcomm ซึ่งเป็นผู้ผลิตชิปเซ็ตโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์ด้านเทคโนโลยี โดยทาง Qualcomm Quick Charge 1.0 ซึ่งได้เปิดตัวโซลูชันการชาร์จแบบเร็วครั้งแรกของ ซึ่งสามารถชาร์จได้เร็วขึ้นกว่าการชาร์จทั่วๆไปถึง 40% และได้ออก Quick Charge 2.0 ในอีก 1 ปีถัดมาสามารถชาร์จได้รวดเร็วขึ้นถึง 75% รวมถึงการเปิดตัวอุปกรณ์เสริมที่รองรับอย่างหลากหลาย เช่น อะแดปเตอร์ชาร์จโทรศัพท์และพาเวอร์แบงค์ Q.C. 3.0 เทคโนโลยีการชาร์จเร็วและมีประสิทธิภาพมากที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งเทคโนโลยี Quick Charge 3.0 สามารถชาร์จได้เร็วกว่าการชาร์จทั่วๆไปถึง 4 เท่า ซึ่งถูกออกแบบให้เร็วขึ้นเป็น 2 เท่าของ Quick Charge 1.0 และเร็วขึ้นถึง 35% จาก Quick Charge 2.0 นอกจากนี้ Q.C. 3.0 ก็ยังแตกต่างกับ Quick Charge 2.0 ตรงที่ Quick Charge 2.0 นั้นสามารถปรับแรงดันไฟฟ้า (voltage) ได้เพียงแค่ 4 ระดับเท่านั้น 5V, 9V, 12V และ 20V แต่สำหรับ Q.C. 3.0 จะสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ย่อยลงละเอียดมากขึ้น ตั้งแต่ 3.6V ไปจนถึง 20V และจะมีระดับขั้นอยู่ที่ 200mV ต่อขั้น ทำให้สามารถปรับแรงดันได้เหมาะสมกับโทรศัพท์หรืออุปกรณ์ที่ใช้มากกว่า Quick Charge 2.0 ซึ่งจะทำให้การชาร์จมีคุณภาพ รวดเร็วและไม่ส่งผลเสียต่ออุปกรณ์

ภาพที่ 3 อุปกรณ์ชาร์จมือถือในรถยนต์ Quick Charge 3.0

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการออกแบบและสร้างตู้ชาร์จแบตเตอรี่สาธารณะแบบเคลื่อนที่ ได้ดำเนินการวิจัยตามลำดับขั้นตอนตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างตู้ชาร์จแบตเตอรี่สาธารณะแบบเคลื่อนที่

การออกแบบระบบและการสร้างตู้ชาร์จแบตเตอรี่สาธารณะแบบเคลื่อนที่ [6]

ระบบตู้ชาร์จแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ชาร์จโทรศัพท์มือถือจำนวน 4 เครื่อง เพื่อเป็นการเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับระบบ จำเป็นต้องคำนวณหาแผงโซล่าเซลล์ระบบควบคุมการชาร์จ และ ขนาดแบตเตอรี่ ให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามหลักการดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> คำนวณกำลังวัตต์การใช้งานรวม P_{load} ได้ตามสามการที่ 1

$$P_{load} = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots + P_n \tag{1}$$

โดยที่ P_{load} คือ กำลังวัตต์การใช้งานรวม

P_1 คือ โหลดการใช้งานอุปกรณ์ชิ้นที่ 1

P_n คือ โหลดการใช้งานอุปกรณ์ชิ้นสุดท้าย

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> คำนวณหาขนาดแบตเตอรี่ (V_{batt}) ได้ตามสมการที่ 2

$$V_{batt} = \frac{P_{load}}{V_{dc} \times (ft_1 x ft_2)} \tag{2}$$

โดยที่ V_{batt} คือ ค่ากระแสแบตเตอรี่

V_{dc} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ มีค่าเท่ากับ 12 โวลต์

ft_1 คือ ค่าองค์ประกอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ (แบบธรรมดา = 0.6)

ft_2 คือ ค่าองค์ประกอบการสูญเสียในอุปกรณ์ต่างๆในระบบ มีค่าเท่ากับ 0.85

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> คำนวณหาขนาดแผงโซล่าเซลล์ (W_{solar}) ได้ตามสมการที่ 3

$$W_{solar} = \frac{P_{load} \times l_d}{h_{av}} \tag{3}$$

โดยที่ W_{solar} คือ ขนาดแผงโซล่าเซลล์

P_{load} คือ กำลังวัตต์การใช้งานรวม

l_d คือ ค่าองค์ประกอบการสูญเสียในอุปกรณ์ในระบบ มีค่า = 1.5

h_{av} คือ ค่าเฉลี่ยของแสงที่แผงโซล่าเซลล์สามารถรับได้ตลอดวัน มีค่า = 5

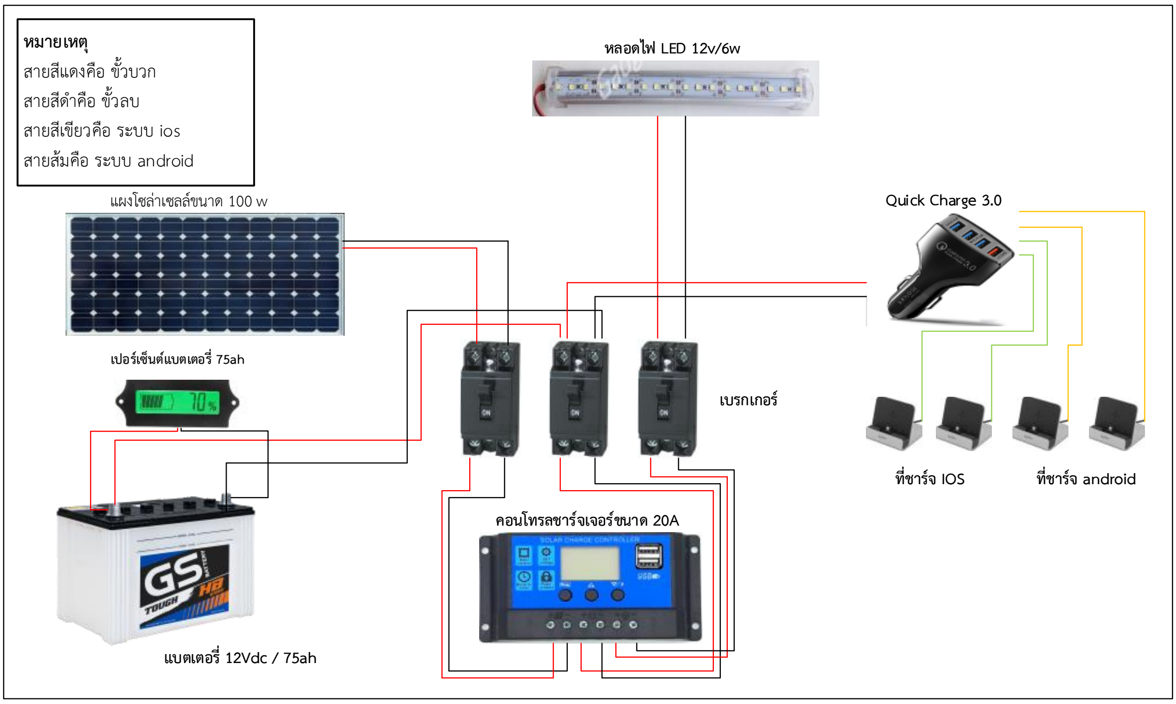
<u>ขั้นตอนที่ 4</u> คำนวณหาขนาดของระบบควบคุมการชาร์จประจุ (A_{charge}) ได้ตามสมการที่ 4

$$A_{charge} = \frac{W_{solar}}{V_{\max}} \tag{4}$$

โดยที่ A_{charge} คือ ขนาดของระบบควบคุมการชาร์จประจุ

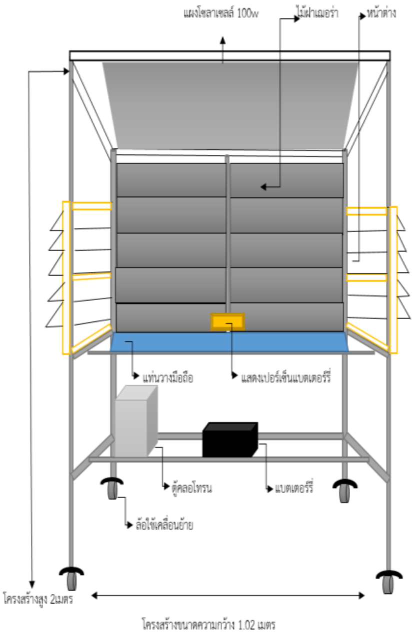
W_{solar} คือ ขนาดแผงโซล่าเซลล์

$V_{\max}$ คือ ค่าแรงดันสูงสุดของแผงโซล่าเซลล์ (สามารถดูได้จากใต้แผง)



ภาพที่ 5 ระบบวงจรการทำงานของตู้ชาร์จแบตเตอรี่สาธารณะแบบเคลื่อนที่

หลังจากที่ได้ศึกษาและออกแบบวงจรการทำงานของระบบในภาพที่ 5 ทำให้สามารถสร้างรูปแบบตู้ชาร์จแบตเตอรี่สาธารณะแบบเคลื่อนที่ โดยออกแบบรูปร่างและสร้างเป็นระบบได้ตามตัวอย่างได้ดังภาพที่ 6 (ก) และ 6 (ข) ตามลำดับ

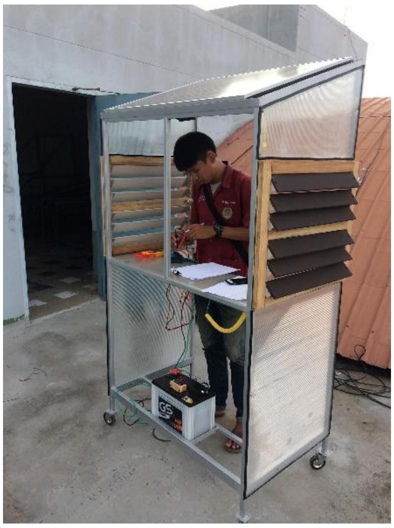


(ก) การออกแบบโครงสร้างระบบ (ข) ระบบที่สร้างเสร็จสมบูรณ์

ภาพที่ 6 ขั้นตอนออกแบบและสร้างการออกแบบตู้ชาร์จแบตเตอรี่สาธารณะแบบเคลื่อนที่

การทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพของของระบบตู้ชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ในช่วงเช้า เวลา 08.00-18.00น.และในช่วงเย็นตั้งแต่ 18.00-22.00น.โดยได้ทำการเก็บข้อมูลในทุกๆ 5 นาที โดยเก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้า และ เปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ ดังภาพที่ 7 (ก) และ 7 (ข)



(ก) การทดสอบประสิทธิภาพตอนกลางวัน

(ข) การทดสอบประสิทธิภาพตอนกลางคืน

ภาพที่ 7 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ

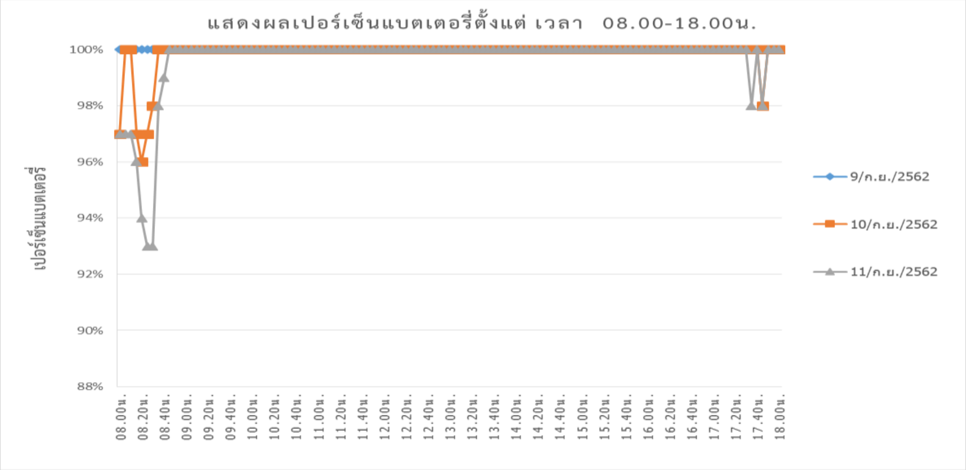
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบระบบตู้ชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือจะแบ่งเป็นสองรูปแบบคือ การทดสอบประสิทธิภาพการชาร์จในช่วงเวลากลางวัน ตั้งแต่เวลา 08.00 – 18.00 น. และ การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของตู้ชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือในช่วงเวลากลางคืน ตั้งแต่ 18.00 – 22.00 น. โดยจะแสดงผลในรูปแบบกราฟตามภาพที่ 8 -11 ตามลำดับ

ผลการทดสอบในช่วงเวลากลางวัน

ภาพที่ 8 แสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าของระบบในช่วงเวลากลางวัน

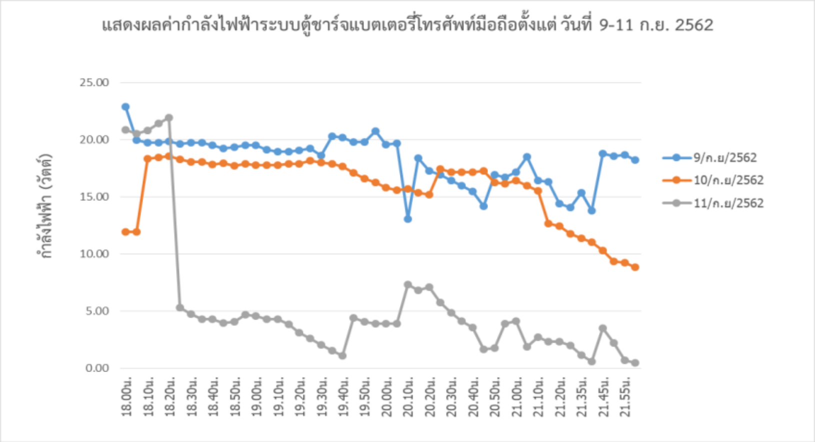
จากภาพที่ 8 สามารถอภิปรายผลการทดลองทั้ง 3 วัน ได้ว่า ค่ากำลังเฉลี่ยไฟฟ้าในช่วงเช้าจะมีค่าค่อนข้างต่ำ และเพิ่มขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดในช่วงเที่ยงจนถึงบ่ายสอง จากนั้นจะค่อยๆลดลงจนถึงช่วงเย็น เนื่องจากเป็นไปตามเวลาของการเคลื่อนที่ของแสงอาทิตย์



ภาพที่ 9 แสดงผลเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ในช่วงเวลากลางวัน

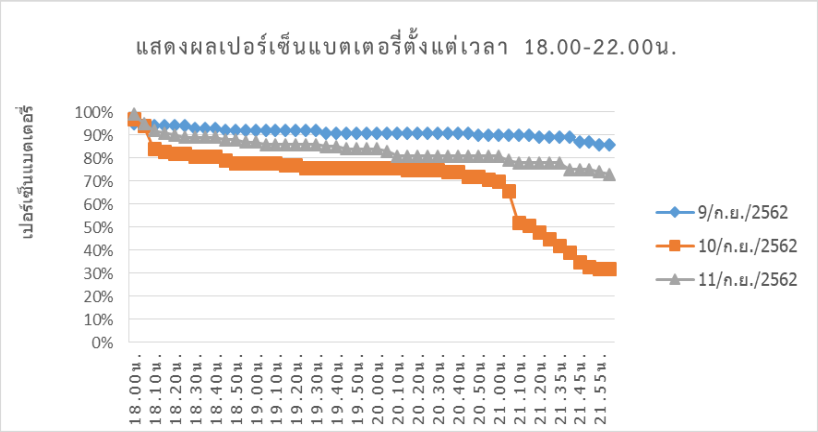
ในภาพที่ 9 เป็นการแสดงผลเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ขนาด 75 แอมแปร์ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00-18.00 น. โดยที่ช่วงเริ่มต้นจะมีค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ต่ำประมาณ 93 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากถูกใช้ช่วงเวลากลางคืน จากนั้นจะเพิ่มขึ้นจนเต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลาสายและลดลงเล็กน้อยจนเหลือ 98 % ในช่วงเวลาเย็น

ผลการทดสอบในช่วงเวลากลางคืน



ภาพที่ 10 แสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าของระบบในช่วงเวลากลางคืน

สำหรับภาพที่ 10 เป็นการแสดงผลค่ากำลังไฟฟ้าในช่วงกลางคืน โดยมีค่าเฉลี่ยไฟฟ้าสูงสุด ในช่วงเริ่มต้นเวลา 18.00 น. และเริ่มลดลงตามเวลาในการใช้งานของระบบผ่านภาระทางไฟฟ้าของหลอด LED ขนาด 6 วัตต์ จำนวน 1 หลอด และโทรศัพท์มือถือจำนวนทั้งหมด 4 เครื่อง ไปจนถึง 22.00 น.



ภาพที่ 11 แสดงผลเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ในช่วงเวลากลางคืน

ผลการทดลองสุดท้ายในภาพที่ 11 เป็นการแสดงผลเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ของระบบในช่วงเวลากลางคืน ตั้งแต่เวลา 18.00-22.00 น. โดยที่ช่วงเริ่มต้นจะมีค่าเปอร์เซ็นต์สูงสุด 100 เปอร์เซ็นต์ และค่อยๆลดลงตามการใช้งานของระบบผ่านภาระทางไฟฟ้าของหลอด LED ขนาด 6 วัตต์ จำนวน 1 หลอด และ โทรศัพท์มือถือจำนวนทั้งหมด 4 เครื่อง ไปจนถึง 22.00 น. โดยมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 30 เปอร์เซ็นต์

สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างตู้ชาร์จแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่มีระบบตู้ชาร์จแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแผงโซล่าเซลล์ขนาด 100W เครื่องควบคุมการชาร์จขนาด 20 แอมป์ แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 75 แอมแปร์ชั่วโมง และอุปกรณ์ชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ Quick Charge 3.0 สามารถชาร์จมือถือได้จำนวน 4 เครื่องโดยแบ่งเป็นระบบ ios และ android อย่างละ 2 เครื่อง โดยที่ระบบสามารถชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โครงสร้างระบบตู้ชาร์จแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ได้สร้างขึ้น มีความสะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากมีแผงโซลาร์เซลล์ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าตลอดในช่วงเวลากลางวัน อีกทั้งยังสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องในช่วงเวลากลางคืนอย่างเต็มประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ระบบตู้ชาร์จแบตเตอรี่สาธารณะแบบเคลื่อนที่มีประสิทธิภาพสามารถเพิ่มความสะดวกสบายให้กับพื้นที่สาธารณะมากขึ้นเพื่อใช้บริการการตู้ชาร์จแบตเตอรี่ และระบบของตู้ชาร์จแบตเตอรี่สาธารณะแบบเคลื่อนที่เป็นระบบที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นพลังงานสะอาดและไม่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตกระแสไฟฟ้า เหมาะสมแก่การนำไปใช้ประโยชน์ตามพื้นที่สาธารณะในชุมชน นอกจากนี้ยังสามารถเป็นประโยชน์ต่อเหตุการณ์ฉุกเฉินที่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือสื่อสารในกรณีที่แบตเตอรี่เหลือน้อย เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณาจารย์ในโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน ที่ให้คำปรึกษาข้อมูลเกี่ยวกับงานวิจัยในครั้งนี้ รวมไปถึงสถานที่ทำงานวิจัย ในส่วนของโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร นอกจากนี้ขอขอบคุณขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยเล่มนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่มากก็น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดให้แก่เหล่าคณาจารย์ ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง สำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้นคณะผู้วิจัยขอน้อมรับและยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านดังที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] พิษณุ สะเตวิน สิทธิพงษ์ ขุนทองจันทร์ และ ณัฐชัย ทองสุข (2554) **เครื่องชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือด้วยพลังงานแสงอาทิตย์** คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

[2] นพพร อำนาจบุดดี พันจ่าอากาศตรี ภัทร เกิดอินทร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุระเจตน์ อ่อนฤทธิ์ สนธยา เกาะสมบัติและปิยวิทย์ เอี่ยมพริ้ง (2550) **การพัฒนาเครื่องบริการเติมแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือพลังงานแสงอาทิตย์** มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชานี

[3] leonics. **แผงโซล่าเซลล์** สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2562,
จาก http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php

[4] นพ มหิษานนท์ , “วิธีติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์”, สำนักพิมพ์คอร์ฟังชั่น (พิมพ์ครั้งที่ 1) , นนทบุรี , 2558.

[5] GADGET Studio. **เทคโนโลยี Quick Charge 3.0** สืบค้นเมื่อ 17 สิงหาคม 2562,
จาก https://www.gadgetstudio.in.th/gadgetstudio-article/quick-charge-3-0/

[6] พิณประกาย อบเชย และ เจษฎาพร นุ่มจันทร์. (2561). **การออกแบบระบบโซล่าเซลล์ของระบบไฟส่องสว่างบนถนนทางเท้าแบบเปิด – ปิดตามเวลาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์** วิจัยโปรแกรมเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาราชภัฏกำแพงเพชร.

การทดสอบการเผาขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันและนำไปใช้กับเครื่องยนต์ทางการเกษตร
Testing the plastic waste in the community and applying it to agricultural engines

นิวดี คลังสีดา[1*] จารุกิตติ์ พิบูลนฤดม[1] จิรโชติ ฉมยา[2] และศิราวัฒน์ หงษ์ยนต์[3]
[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร 62000

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงผลการทดสอบการเผาขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันและนำไปใช้กับเครื่องยนต์ทางการเกษตร ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการเผาขยะพลาสติกให้เป็นน้ำมัน การทดลองในครั้งนี้ทดลองเผาขวดพลาสติกใส ฝาขวด ถุงพลาสติก โฟมใส่อาหาร และพลาสติกรวม ก่อนทำการทดสอบเผาด้วยเตาเผาขยะเพื่อให้ได้น้ำมันมาทดลองทำการศึกษาข้อมูลราคาซื้อขายและระยะเวลาการย่อยสลายขวดพลาสติกและโฟม โฟมไม่สามารถย่อยสลายและขายไม่ได้ขวดและฝาพลาสติกได้กิโลกรัมละ 29 บาท มากที่สุด ย่อยสลายต้องใช้เวลา 400 ปี การทดลองแสดงลักษณะทางกายภาพสี และปริมาณของน้ำมันโดยทำการทดลองเผาทั้งหมด 3 ครั้งๆ ละ 5 กิโลกรัม. ผลการทดลองพบว่า 1) ขวดพลาสติกใสเผาทั้ง 3 ครั้งมีลักษณะใส ปริมาณน้ำมันที่ได้เฉลี่ย 2.9 มิลลิลิตร เวลาเผาเฉลี่ย 20.0 นาที 2) ขวดพลาสติกขุ่น เผาครั้งแรกมีลักษณะเหลือง เผาครั้งที่ 2 มีลักษณะขุ่นและมีตะกอน เผาครั้งที่ 3 มีลักษณะขุ่นเหลือง ปริมาณน้ำมันที่ได้เฉลี่ย 2.5 มิลลิลิตร เวลาเผาเฉลี่ย 19.7 นาที 3) ฝาขวด เผาครั้งแรกมีลักษณะขุ่นเหลือง เผาครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 มีลักษณะสีใส ปริมาณน้ำมันที่ได้เฉลี่ย 1.8 มิลลิลิตร เวลาเผาเฉลี่ย 16.0 นาที 4) ถุงพลาสติก เผาทั้ง 3 ครั้งผลออกมามีลักษณะใส ปริมาณน้ำมันที่ได้เฉลี่ย 2.5 มิลลิลิตร เวลาเผาเฉลี่ย 11.7 นาที 5) โฟมใส่อาหาร เผาทั้ง 3 ครั้งผลออกมามีลักษณะใส ปริมาณน้ำมันที่ได้เฉลี่ย 3.0 มิลลิลิตร เวลาเผาเฉลี่ย 15.0 นาที และ 6) พลาสติกรวม เผาครั้งแรกและครั้งที่ 2 ผลออกมามีลักษณะเหลือง และครั้งที่ 3 ลักษณะเหลืองใส ปริมาณน้ำมันที่ได้เฉลี่ย 3.1 มิลลิลิตร เวลาเผาเฉลี่ย 31.7 นาที อัตราหยดน้ำมันที่ได้ขึ้นอยู่กับการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผาประมาณ 700 องศาเซลเซียส ได้อัตราการหยด 7 ต่อวินาที และสุดท้ายการนำน้ำมันพลาสติกไปใช้กับเครื่องตัดหญ้า (น้ำมันเบนซิน) และเครื่องสูบน้ำ (น้ำมันดีเซล) น้ำมันที่ได้จากพลาสติก 0.5 ลิตร ผสมกับน้ำมันเบนซิน 0.5 ลิตร ใช้งานกับเครื่องตัดหญ้าในระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง และน้ำมันที่ได้จากพลาสติก 0.5 ลิตร ผสมน้ำมันดีเซล 0.5 ลิตร ใช้งานกับเครื่องสูบน้ำในระยะเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบราคาน้ำมันเบนซิน ลิตรละ 28 บาท และ ราคาน้ำมันดีเซลราคาลิตรละ 30 บาท จะพบว่าน้ำมันเบนซิน 1 ลิตร ใช้กับเครื่องตัดหญ้าระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง งบประมาณ 14 บาท น้ำมันดีเซล 0.5 ลิตร ใช้กับเครื่องสูบน้ำระยะเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง งบประมาณ 15 บาท ถ้านำมาผสมกับน้ำมันที่ได้จากการเผาขยะพลาสติกในอัตราส่วน 1:1 จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายลงร้อยละ 50

คำสำคัญ: เตาเผาขยะพลาสติก , ขยะพลาสติก , ไพโรไลซิส

บทนำ

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราอย่างมากและมีแนวโน้มการใช้งานเพิ่มมากขึ้น เพราะมีราคาถูกน้ำหนักเบา สามารถผลิตให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ก้าวหน้า และทันสมัย ทำให้ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์พลาสติกหลากหลายรูปแบบ และสีสันที่สวยงามให้เลือกใช้อย่างมากมาย ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นทำให้พลาสติกได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็วและมีปริมาณการใช้งานเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ [1] ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกในปริมาณสูง

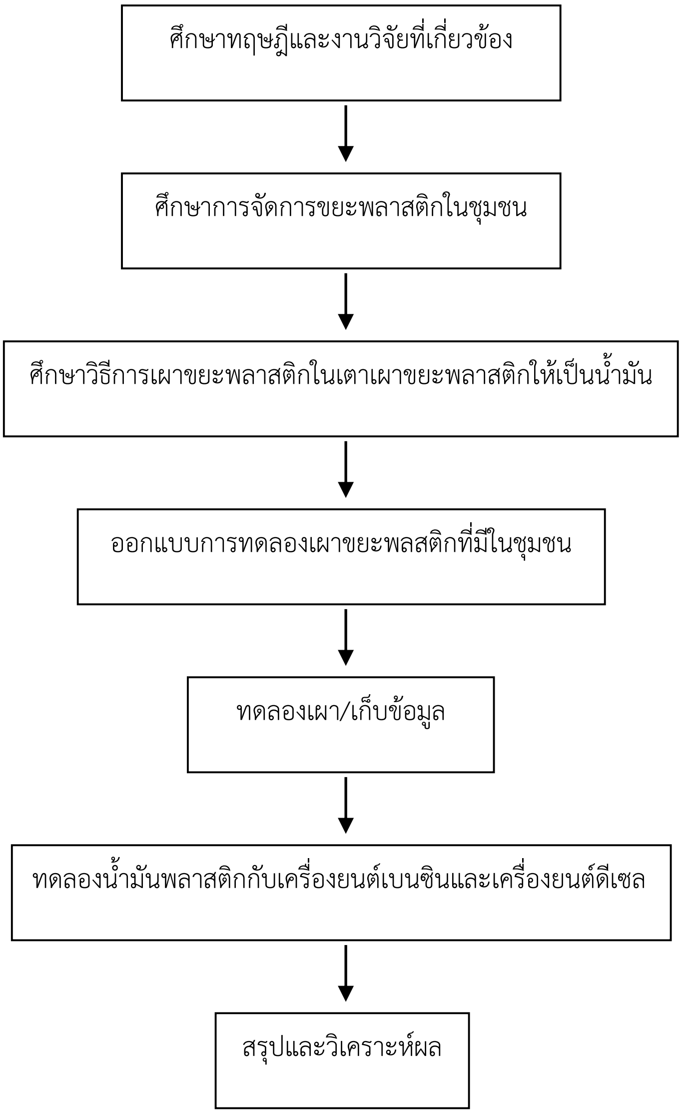
[*] Corresponding author: Tel.: 0966639055. E-mail address: nivadee@gmail.com

มากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองและชุมชนขนาดใหญ่ ปัญหาขยะพลาสติกจำนวนมหาศาลเป็นปัญหาที่นับวันยิ่งเพิ่มจำนวนมากขึ้นในทุก ๆ ปี [2] แม้จะมีการตื่นตัวและรณรงค์ให้นำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ แต่เมื่อนำมาใช้ซ้ำหลายครั้งคุณภาพของพลาสติกยิ่งด้อยลง ความสวยงามลดลง อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงความสะอาดและความปลอดภัย เมื่อเทียบการนำเอาขยะพลาสติกมาใช้ใหม่กับขยะพลาสติกที่ถูกทิ้งทั้งหมดในแต่ละวันยังถือว่าเป็นแค่เพียงส่วนน้อยเท่านั้น ส่วนการกำจัดพลาสติกที่สะดวก เช่น การฝังกลบ การกองทิ้งกลางแจ้ง และการเผาทำลาย [3] ส่งผลกระทบทำให้สภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมลงและกลายเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรค ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของประชาชนอย่างมาก ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องเร่งหาแนวทางเพื่อลดปริมาณขยะพลาสติกที่มีอยู่ในปัจจุบัน เช่น การนำขยะพลาสติกมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงใช้ในประเทศเพื่อลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศรวมถึงลดความยุ่งยากในการหาบ่อทิ้งขยะแห่งใหม่ในแต่ละปี และลดข้อขัดแย้งกับชุมชนที่อยู่ใกล้บริเวณบ่อฝังกลบ ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมควบคู่กับปัญหาด้านพลังงานภายในประเทศ หลายภาคส่วนให้ความสำคัญต่อปัญหาขยะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มคนในชุมชนที่เห็นความสำคัญและสนใจที่จะเรียนรู้พัฒนาการจัดการขยะโดยเฉพาะนำขยะพลาสติกแปรรูปเป็นน้ำมันเพื่อใช้กับเครื่องยนต์ทางการเกษตร ชุมชนในจังหวัดกำแพงเพชร ที่อยู่ในเครือข่ายเศรษฐกิจพอเพียงที่ใช้หลักทฤษฎีเศรษฐกิจพอเพียงที่พึ่งพาตนเองและมีเครือข่ายทั้ง จ.กำแพงเพชรและ จ.ตาก คุณพงศ์สิริ นนทะชัย และ คุณสุริยา วรดี เครือข่ายปราชญ์ของแผ่นดิน จ.ตาก ได้มีแนวคิดผลิตเตาเผาขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเน้นวัตถุดิบที่หาง่ายทำให้เป็นที่สนใจของเครือข่ายปราชญ์ชุมชนด้วยกัน แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้น้ำมันที่ผลิตได้จะถูกพิสูจน์ให้เห็นว่าใช้งานได้ แต่ยังไม่มีการทดลองวิจัยอย่างเป็นระบบเช่นกำลังการผลิต เทคนิคการเผาให้เป็นน้ำมัน ชนิดพลาสติกที่นำมาทดลอง และการทดสอบการใช้กับเครื่องยนต์ ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะนำเตาเผาขยะพลาสติกมาทดลองกับขยะพลาสติกเริ่มต้นจากการศึกษาขยะพลาสติกที่ขายกันกันในรายขายของเก่าราคาซื้อขาย ขยะพลาสติกประเภทใดย่อยสลายยาก และนำขยะพลาสติกมาเผาโดยจำแนกตามประเภทพลาสติกที่มีอยู่ทั่วไป ทำการทดสอบเปรียบเทียบดูลักษณะทายกายภาพ ปริมาณน้ำมันที่ได้ อัตราการผลิต อุณหภูมิที่ใช้ และนำไปใช้จริงเกิดความคุ้มค่าหรือไม่ เพื่อนำผลการทดลองไปขยายผลสู่ชุมชน ทั้งข้อดีและข้อเสียที่จะร่วมกับชุมชนปรับปรุงแก้ไข จนได้เตาเผาขยะที่เหมาะสมกับชุมชนอย่างแท้จริง

วิธีการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการทดสอบการเผาขยะพลาสติกในชุมชนให้เป็นน้ำมันและนำไปใช้กับเครื่องยนต์ทางการเกษตร ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

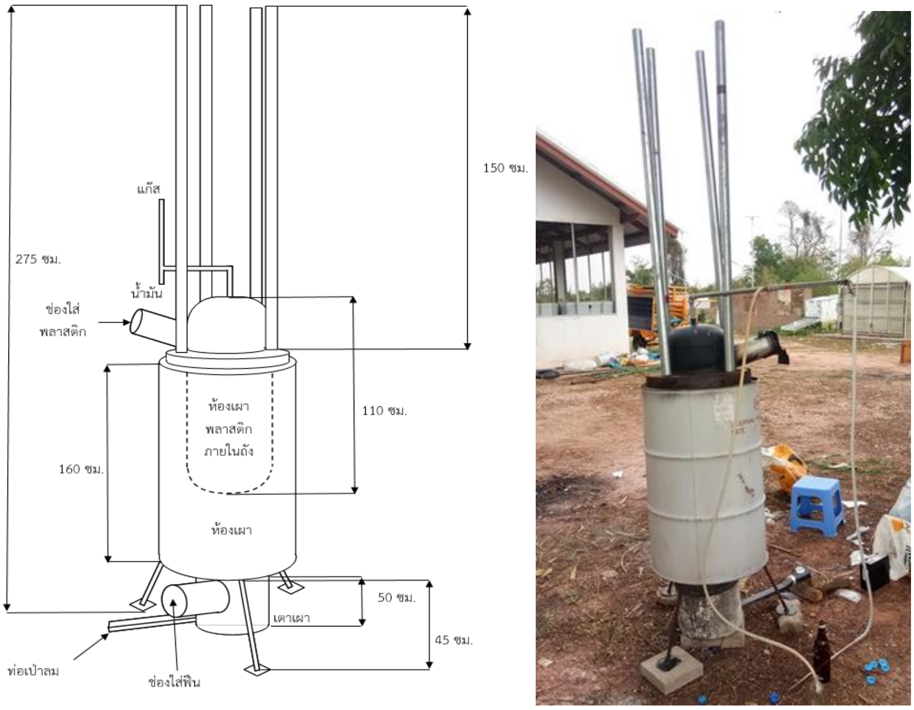
วิธีการดำเนินงานวิจัย (Flow Chart)



ภาพที่ 1 แผนผัง (Flow Chart) การดำเนินงานวิจัย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เตาเผาขยะใช้วัสดุที่มีอยู่ในท้องตลาด ถังภายนอกขนาดถัง 200 ลิตร ภายในห้องเผาใช้ถังแก๊สขนาด 15 กิโลกรัม ด้านล่างมีช่องเปล่าลมเพิ่มออกซิเจนเพื่อควบคุมอุณหภูมิ แบบและขนาดของเตาเผาขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน แสดงดังภาพที่ 2

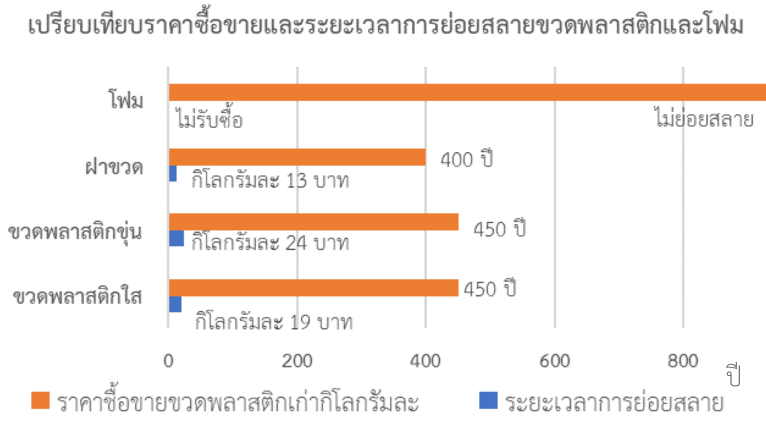


ภาพที่ 2 แบบและขนาดของเตาเผาขยะพลาสติกเป็นน้ำมัน

ก่อนจะทำการทดสอบเผาขวดพลาสติกและโฟม ได้ทำการศึกษาราคาซื้อขายและระยะเวลาการย่อยสลายขวดพลาสติกและโฟมข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบราคาซื้อขายและระยะเวลาการย่อยสลายขวดพลาสติกและโฟม

ชนิดขวดพลาสติก	ราคาซื้อขายขวดพลาสติกเก่า (กิโลกรัมละ)	ระยะเวลาการย่อยสลาย
ขวดพลาสติกใส	19	450 ปี
ขวดพลาสติกขุ่น	24	450 ปี
ฝาขวด	13	400 ปี
โฟม	-	ไม่ย่อยสลาย ควรหลีกเลี่ยง



ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบราคาซื้อขาย และระยะเวลาการย่อยสลายขวดพลาสติกและโฟม

จากตารางที่ 1 ภาพที่ 3 กราฟ เปรียบเทียบราคาซื้อขายและระยะเวลาการย่อยสลายขวดพลาสติกและโฟม จะเห็นว่าโฟมไม่สามารถย่อยสลายได้และยังไม่สามารถขายได้ ขวดและฝาพลาสติกยังคงขายได้แต่อย่างไรก็ตามการย่อยสลายต้องใช้เวลา 400 ปี การทดลองในครั้งนี้จึงทำการทดลองกับ ขวดพลาสติกใส ขวดพลาสติกขุ่น ฝาขวด ถุงพลาสติก โฟมใส่อาหาร และ พลาสติกรวม อย่างละ 5 กิโลกรัม โดยดู ปริมาณน้ำมันที่ได้ (มิลลิลิตร) ลักษณะทางกายภาพ (สี) ระยะเวลาในการเผาพลาสติก (นาที) และอุณหภูมิของเตาเผา (องศาเซลเซียส) เทียบกับอัตราการหยดของน้ำมันพลาสติก ต่อวินาที ซึ่ง ผลการเก็บข้อมูลการเผาตามชนิดของพลาสติกทั้ง 3 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 2 – ตารางที่ 8

ตารางที่ 2 ตารางการเก็บข้อมูลการเผาตามชนิดของพลาสติกครั้งที่ 1

ชนิดของพลาสติก	น้ำหนักของพลาสติก (กิโลกรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ได้ (มิลลิลิตร)	ลักษณะทางกายภาพ (สี)	ระยะเวลาในการเผาพลาสติก (นาที)
ขวดพลาสติกใส	5	3.00	ใส	31
ขวดพลาสติกขุ่น	5	1.25	เหลือง	26
ฝาขวด	5	1.25	ขุ่นเหลือง	18
ถุงพลาสติก	5	2.50	ใส	14
โฟมใส่อาหาร	5	2.50	ใส	17
พลาสติกรวม	5	3.25	เหลือง	35

ตารางที่ 3 ตารางการเก็บข้อมูลการเผาตามชนิดของพลาสติกครั้งที่ 2

ชนิดของพลาสติก	น้ำหนักของพลาสติก (กิโลกรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ได้ (มิลลิลิตร)	ลักษณะทางกายภาพ (สี)	ระยะเวลาในการเผาพลาสติก (นาที)
ขวดพลาสติกใส	5	2.60	ใส	20
ขวดพลาสติกขุ่น	5	3.75	ขุ่น , มีตะกอน	17
ฝาขวด	5	2.20	ใส	19
ถุงพลาสติก	5	2.50	ใส	13
โฟมใส่อาหาร	5	3.50	ใส	15
พลาสติกรวม	5	3.00	เหลือง	30

ตารางที่ 4 ตารางการเก็บข้อมูลการเผาตามชนิดของพลาสติกครั้งที่ 3

ชนิดของพลาสติก	น้ำหนักของพลาสติก (กิโลกรัม)	ปริมาณน้ำมันที่ได้ (มิลลิลิตร)	ลักษณะทางกายภาพ (สี)	ระยะเวลาในการเผาพลาสติก (นาที)
ขวดพลาสติกใส	5	3.00	ใส	9
ขวดพลาสติกขุ่น	5	2.50	ขุ่น,เหลือง	16
ฝาขวด	5	2.00	ใส	11
ถุงพลาสติก	5	2.50	ใส	8
โฟมใส่อาหาร	5	3.00	ใส	13
พลาสติกรวม	5	3.00	เหลืองใส	30

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ ตามชนิดของพลาสติกทั้ง 3 ครั้ง

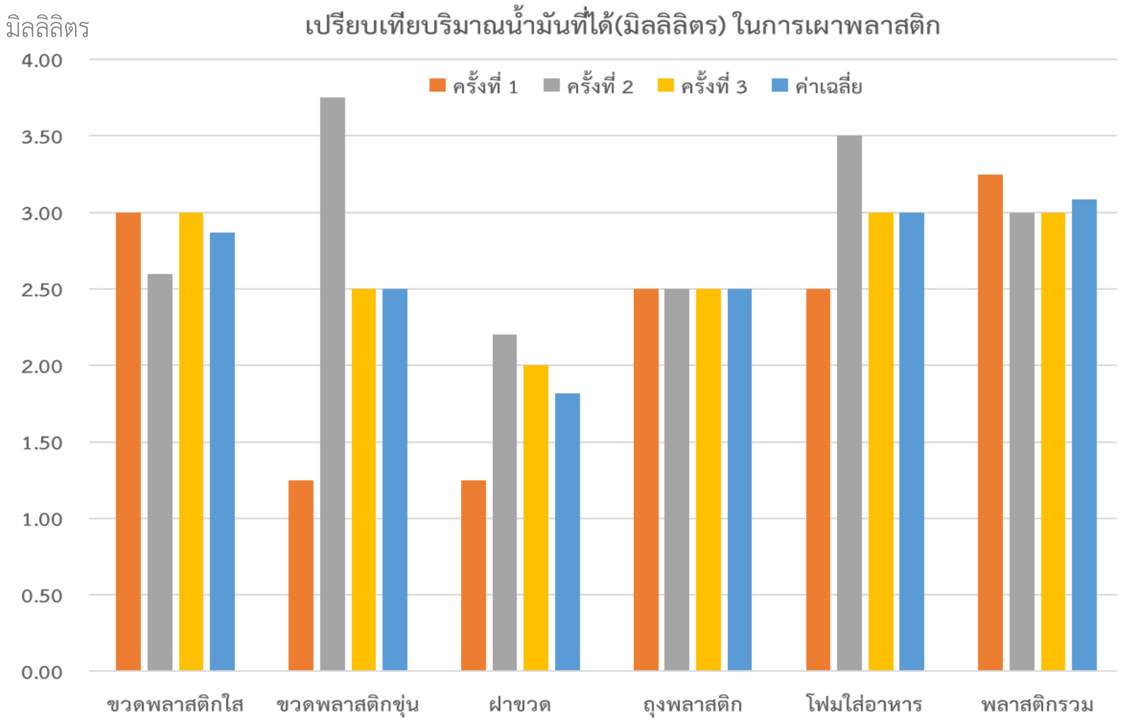
ชนิดของพลาสติก	**น้ำหนักของพลาสติก (กิโลกรัม)**	**ลักษณะทางกายภาพ**		
		ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**
ขวดพลาสติกใส	5	ใส	ใส	ใส
ขวดพลาสติกขุ่น	5	เหลือง	ขุ่น , มีตะกอน	ขุ่น,เหลือง
ฝาขวด	5	ขุ่นเหลือง	ใส	ใส
ถุงพลาสติก	5	ใส	ใส	ใส
โฟมใส่อาหาร	5	ใส	ใส	ใส
พลาสติกรวม	5	เหลือง	เหลือง	เหลืองใส

จากตารางเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ ตามชนิดของพลาสติกทั้ง 3 ครั้ง ทั้งหมดน้ำหนัก 5 กิโลกรัมพบว่าขวดพลาสติกใส เผาทั้ง 3 ครั้งมีลักษณะใส ขวดพลาสติกขุ่น เผาครั้งแรกมีลักษณะเหลืองเผาครั้งที่ 2 มีลักษณะขุ่นและมีตะกอน เผาครั้งที่ 3 มีลักษณะขุ่นเหลือง ฝาขวด เผาครั้งแรกมีลักษณะขุ่นเหลืองเผาครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 มีลักษณะสีใส่ถุงพลาสติก เผาทั้ง 3 ครั้งผลออกมามีลักษณะใส โฟมใส่อาหาร เผาทั้ง 2 ครั้งแรกผลออกมามีลักษณะเหลืองครั้งที่ 3 ลักษณะเหลืองใส

ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้ (มิลลิลิตร) ตามชนิดของพลาสติกทั้ง 3 ครั้ง

ชนิดของพลาสติก	**น้ำหนักของพลาสติก (กิโลกรัม)**	**ปริมาณน้ำมันที่ได้ (มิลลิลิตร)**			**เฉลี่ย (มิลลิลิตร)**
		ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 3**	
ขวดพลาสติกใส	5	3.00	2.60	3.00	2.9
ขวดพลาสติกขุ่น	5	1.25	3.75	2.50	2.5
ฝาขวด	5	1.25	2.20	2.00	1.8
ถุงพลาสติก	5	2.50	2.50	2.50	2.5
โฟมใส่อาหาร	5	2.50	3.50	3.00	3.0
พลาสติกรวม	5	3.25	3.00	3.00	3.1

จากตารางเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้ (มิลลิลิตร) ตามชนิดของพลาสติกทั้ง 3 ครั้ง ทั้งหมดน้ำหนัก 5 กิโลกรัม พบว่าขวดพลาสติกใส เผาครั้งแรกได้ 3 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 2 ได้ 2.6 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 3 ได้ 3 มิลลิลิตร ขวดพลาสติกขุ่น เผาครั้งแรกได้ 1.25 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 2 ได้ 3.75 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 3 ได้ 2.5 มิลลิลิตร ฝาขวด เผาครั้งแรกได้ 1.25 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 2 ได้ 2.2 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 3 ได้ 2.5 มิลลิลิตร ถุงพลาสติก เผาครั้งทั้ง 3 ครั้ง 2.5 มิลลิลิตร โฟมใส่อาหาร เผาครั้งแรกได้ 2.5 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 2 ได้ 3.5 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 3 ได้ 3 มิลลิลิตร และ พลาสติกรวม เผาครั้งแรกได้ 3.25 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 ได้ 3 มิลลิลิตร กราฟแสดงผลเปรียบเทียบ ปริมาณน้ำมันที่ได้ (มิลลิลิตร) ของแต่ละประเภทพลาสติกทั้ง 3 ครั้ง จากตารางที่ 6 แสดงดัง ภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบ ปริมาณน้ำมันที่ได้ (มิลลิลิตร) ของแต่ละประเภทพลาสติก ทั้ง 3 ครั้ง

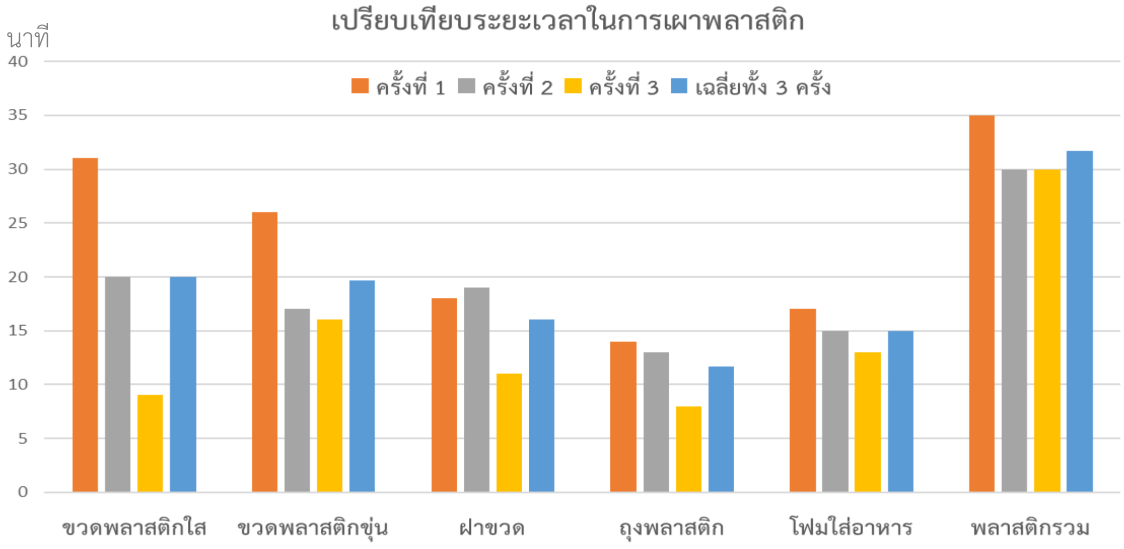
ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบระยะเวลาในการเผาพลาสติก (นาที) ตามชนิดของพลาสติกทั้ง 3 ครั้ง

ชนิดของพลาสติก	น้ำหนักของพลาสติก (กิโลกรัม)	ระยะเวลาในการเผาพลาสติก (นาที)			เฉลี่ย (นาที)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ขวดพลาสติกใส	5	31	20	9	20.0
ขวดพลาสติกขุ่น	5	26	17	16	19.7
ฝาขวด	5	18	19	11	16.0
ถุงพลาสติก	5	14	13	8	11.7
โฟมใส่อาหาร	5	17	15	13	15.0
พลาสติกรวม	5	35	30	30	31.7

จากตารางเปรียบเทียบระยะเวลาในการเผาพลาสติก (นาที) ตามชนิดของพลาสติกทั้ง 3 ครั้ง ทั้งหมดน้ำหนัก 5 กิโลกรัม พบว่า ขวดพลาสติกใส เผาครั้งแรกใช้เวลาในการเผา 31 นาที เผาครั้งที่ 2 20 นาที เผาครั้งที่ 3 9 นาที ขวดพลาสติกขุ่น เผาครั้งแรกใช้เวลาในการเผา 26 นาที เผาครั้งที่ 2 17 นาที เผาครั้งที่ 3 16 นาที ฝาขวด เผาครั้งแรกใช้เวลาใน

การเผา 18 นาที เผาครั้งที่ 2 19 นาที เผาครั้งที่ 3 11 นาที ถุงพลาสติก เผาครั้งแรกใช้เวลาในการเผา 14 นาที เผาครั้งที่ 2 13 นาที เผาครั้งที่ 3 8 นาที โฟมใส่อาหาร เผาครั้งแรกใช้เวลาในการเผา 17 นาที เผาครั้งที่ 2 15 นาที เผาครั้งที่ 3 13 นาที และ พลาสติกรวม ครั้งแรกใช้เวลาในการเผา 35 นาที เผาครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 30 นาที

กราฟแสดงผลเปรียบเทียบ ระยะเวลาเฉลี่ยในการเผาพลาสติก (นาที) ของแต่ละประเภทพลาสติกทั้ง 3 ครั้ง จากตารางที่ 7 แสดงดังภาพที่ 5



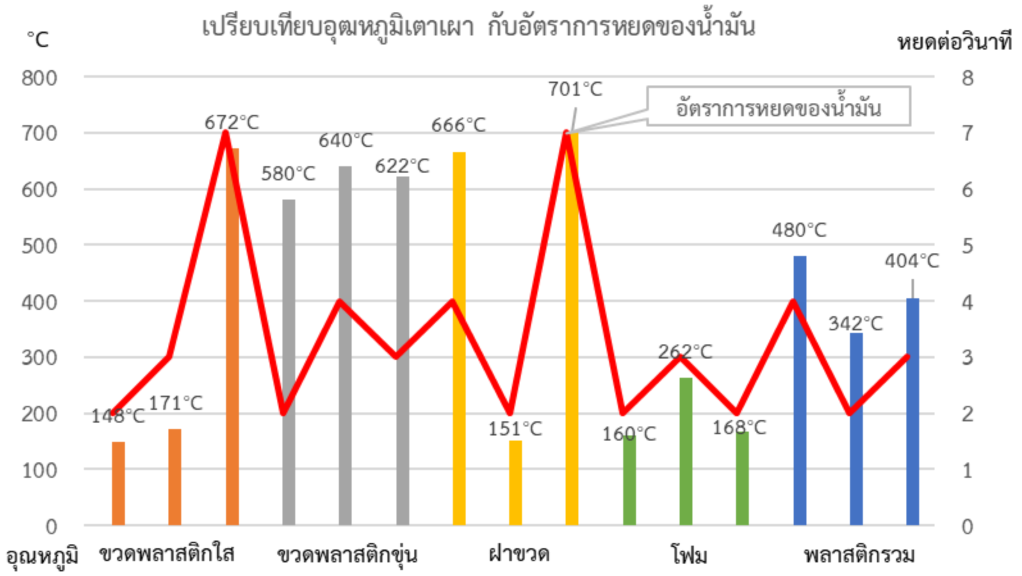
ภาพที่ 5 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบ ระยะเวลาในการเผาพลาสติก (นาที) ของแต่ละประเภทพลาสติกทั้ง 3 ครั้ง

ตารางที่ 8 อัตราการหยดปริมาณน้ำมันจากการเผาพลาสติกเทียบเวลาและอุณหภูมิในห้องเผา

ชนิดขวดพลาสติก	อุณหภูมิ ของเตาเผา (องศาเซลเซียส)	อัตราการหยดของน้ำมันพลาสติก ต่อวินาที
ขวดพลาสติกใส	148	2
	171	3
	672	7
ขวดพลาสติกขุ่น	580	2
	640	4
	622	3
ฝาขวด	666	4
	151	2
	701	7
โฟม	160	2
	262	3
	168	2

ชนิดขวดพลาสติก	อุณหภูมิ ของเตาเผา (องศาเซลเซียส)	อัตราการหยดของน้ำมันพลาสติก ต่อวินาที
พลาสติกรวม	480	4
	342	2
	404	3

กราฟแสดงผลเปรียบเทียบ ระยะเวลาในการเผาพลาสติก (นาที) ของแต่ละประเภทพลาสติก ทั้ง 3 ครั้ง จากตารางที่ 8 ขวดพลาสติกใสอัตราการกลั่น 2,3,7 หยดต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 148,171,672 องศาเซลเซียส ตามลำดับ, ขวดพลาสติกขุ่น 2,4,3 หยดต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 580,640,622 องศาเซลเซียส ตามลำดับ, ฝาขวด 4,2,7 หยดต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 666,151,701 องศาเซลเซียส ตามลำดับ, โฟม 2,3,2 หยดต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 160,262,168 องศาเซลเซียส ตามลำดับ, และพลาสติกรวม 4,2,3 หยดต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 480,342,404 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าการปรับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ปริมาณน้ำมันพลาสติกจะได้มากขึ้นตามอุณหภูมิ



ภาพที่ 6 กราฟแสดงอุณหภูมิ ของเตาเผา (องศาเซลเซียส)

การนำน้ำมันพลาสติกไปใช้กับเครื่องเครื่องตัดหญ้า (น้ำมันเบนซิน) และเครื่องสูบน้ำ (น้ำมันดีเซล)

ตารางที่ 8 ข้อมูลการนำน้ำมันพลาสติกไปใช้กับเครื่องเครื่องตัดหญ้า (น้ำมันเบนซิน) และเครื่องสูบน้ำ (น้ำมันดีเซล)

น้ำมันพลาสติกรวม (ลิตร)	น้ำมันเบนซิน (ลิตร)	น้ำมันดีเซล (ลิตร)	เครื่องยนต์	การสังเกตุ
0.5	0.5	-	เครื่องตัดหญ้า	ใช้งานปกติในระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
0.5	-	0.5	เครื่องสูบน้ำ	ใช้งานปกติระยะเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง

หมายเหตุ ราคาน้ำมันเบนซิน ลิตรละ 28 บาท และ ราคาน้ำมันดีเซลราคาลิตรละ 30 บาท

จาก ตารางที่ 8 ข้อมูลการนำน้ำมันพลาสติกไปใช้กับเครื่องเครื่องตัดหญ้า (น้ำมันเบนซิน) และเครื่องสูบน้ำ (น้ำมันดีเซล) พบว่าน้ำมันเบนซิน 0.5 ลิตร ใช้กับเครื่องตัดหญ้าระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง งบประมาณ 14 บาท น้ำมันดีเซล 0.5 ลิตร ใช้กับเครื่องสูบน้ำระยะเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง งบประมาณ 15 บาท ถ้านำมาผสมกับน้ำมันที่ได้จากการเผาขยะพลาสติกในอัตราส่วน 1:1 จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายลงร้อยละ 50

สรุปผลการวิจัย

การทดลองในครั้งนี้ทดลองเผาขวดพลาสติกใส ฝาขวด ถุงพลาสติก โฟมใส่อาหาร และพลาสติกรวม ก่อนทำการทดสอบเผาด้วยเตาเผาขยะเพื่อให้ได้น้ำมันมาทดลองทำการศึกษาข้อมูลราคาซื้อขายและระยะเวลาการย่อยสลายขวดพลาสติกและโฟม พบว่าโฟมไม่สามารถย่อยสลายได้และยังไม่สามารถขายได้ ขวดและฝาพลาสติกยังคงขายได้แต่อย่างไรก็ตาม การย่อยสลายต้องใช้เวลา 400 ปี ผลการทดลองได้ศึกษาลักษณะทางกายภาพ โดยทดลองเผาพลาสติกแต่ละชนิดทั้งหมด 3 ครั้ง ครั้งละ 5 กิโลกรัม ซึ่งพบว่าขวดพลาสติกใส เผาทั้ง 3 ครั้งมีลักษณะใส ขวดพลาสติกขุ่น เผาครั้งแรกมีลักษณะเหลืองเผาครั้งที่ 2 มีลักษณะขุ่นและมีตะกอนเผาครั้งที่ 3 มีลักษณะขุ่นเหลือง ฝาขวด เผาครั้งแรกมีลักษณะขุ่นเหลืองเผาครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 มีลักษณะสีใส ถุงพลาสติกเผาทั้ง 3 ครั้งผลออกมามีลักษณะใส โฟมใส่อาหารเผาครั้งแรกและครั้งที่สอง ผลออกมามีลักษณะเหลือง และ ครั้งที่ 3 ลักษณะเหลืองใส ข้อมูลปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่ได้ (มิลลิลิตร) ตามชนิดของพลาสติกทั้ง 3 ครั้ง 5 Kg พบว่าขวดพลาสติกใส เผาครั้งแรกได้ 3 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 2 ได้ 2.6 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 3 ได้ 3 มิลลิลิตร ขวดพลาสติกขุ่น เผาครั้งแรกได้ 1.25 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 2 ได้ 3.75 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 3 ได้ 2.5 มิลลิลิตร ฝาขวด เผาครั้งแรกได้ 1.25 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 2 ได้ 2.2 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 3 ได้ 2.5 มิลลิลิตร ถุงพลาสติก เผาครั้งทั้ง 3 ครั้ง 2.5 มิลลิลิตร โฟมใส่อาหาร เผาครั้งแรกได้ 2.5 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 2 ได้ 3.5 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 3 ได้ 3 มิลลิลิตร และ พลาสติกรวม เผาครั้งแรกได้ 3.25 มิลลิลิตร เผาครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 ได้ 3 มิลลิลิตร กราฟแสดงผลเปรียบเทียบ ปริมาณน้ำมันที่ได้ (มิลลิลิตร) ของแต่ละประเภทพลาสติกทั้ง 3 ครั้ง ระยะเวลาในการเผาพลาสติก (นาที) ตามชนิดของพลาสติกทั้ง 3 ครั้ง ทั้งหมดน้ำหนัก 5 กิโลกรัม พบว่าขวดพลาสติกใส เผาครั้งแรกใช้เวลาในการเผา 31 นาที เผาครั้งที่ 2 20 นาที เผาครั้งที่ 3 9 นาที ขวดพลาสติกขุ่น เผาครั้งแรกใช้เวลาในการเผา 26 นาที เผาครั้งที่ 2 17 นาที เผาครั้งที่ 3 16 นาที ฝาขวด เผาครั้งแรกใช้เวลาในการเผา 18 นาที เผาครั้งที่ 2 19 นาที เผาครั้งที่ 3 11 นาที ถุงพลาสติก เผาครั้งแรกใช้เวลาในการเผา 14 นาที เผาครั้งที่ 2 13 นาที เผาครั้งที่ 3 8 นาที โฟมใส่อาหาร เผาครั้งแรกใช้เวลาในการเผา 17 นาที เผาครั้งที่ 2 15 นาที เผาครั้งที่ 3 13 นาที และ พลาสติกรวม ครั้งแรกใช้เวลาในการเผา 35 นาที เผาครั้งที่ 2 และ ครั้งที่ 3 30 นาที อัตราหยดน้ำมันที่ได้ขึ้นอยู่กับการปรับอุณหภูมิสูง การนำน้ำมันพลาสติกไปใช้กับเครื่องเครื่องตัดหญ้า (น้ำมันเบนซิน) และเครื่องสูบน้ำ (น้ำมันดีเซล) น้ำมันจากพลาสติก 0.5 ลิตร ผสมกับน้ำมันเบนซิน 0.5 ลิตร ใช้งานกับเครื่องตัดหญ้าปกติในระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง และน้ำมันจากพลาสติก 0.5 ลิตร ผสมน้ำมันดีเซล 0.5 ใช้งานกับเครื่องสูบน้ำปกติในระยะเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ราคาน้ำมันเบนซิน ลิตรละ 28 บาท และ ราคาน้ำมันดีเซลราคาลิตรละ 30 บาท จะพบว่าน้ำมันเบนซิน 0.5 ลิตร ใช้กับเครื่องตัดหญ้าระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง งบประมาณ 14 บาท น้ำมันดีเซล 0.5 ลิตร ใช้กับเครื่องสูบน้ำระยะเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง งบประมาณ 15 บาท ถ้านำมาผสมกับน้ำมันที่ได้จากการเผาขยะพลาสติกในอัตราส่วน 1:1 จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ร้อยละ 50 จากการทดลองจะเห็นได้ว่าน้ำมันที่ได้สามารถนำมาใช้งานได้จริงกับเครื่องยนต์เบนซินและดีเซล อีกทั้งตัวเตาผู้สนใจคนในชุมชนสามารถผลิตใช้ได้เองซึ่งวัสดุที่ทำหารได้ตามท้องตลาด แต่อย่างไรก็ตาม การทดสอบประสิทธิภาพน้ำมันเชิงวิทยาศาสตร์มีความสำคัญถึงแม้มีหลายชุมชนในจังหวัดตากจะนำไปใช้ผลิตน้ำมันแต่การพัฒนาต่อยอดทั้งเรื่องของการทดสอบน้ำมันและการป้องกันมลพิษยังคงต้องพัฒนาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพงศ์สิริ นนทะชัย และ คุณสุริยา วรดี เครือข่ายปราชญ์ของแผ่นดิน จ.ตาก ที่ให้ข้อเสนอแนะแนวคิดในการทำงานวิจัย และ ร้านขายของเก่าในเมืองกำแพงเพชรที่ให้ข้อมูลขยะพลาสติก

ขอกราบขอบพระคุณศูนย์พลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร และหมู่บ้านรอบมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์ขยะพลาสติกมาใช้ในการเก็บข้อมูลงานิจัยและสนับสนุนให้ข้อมูลในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดีและตลอดจนเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดจนการวิจัยนี้สำเร็จ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนและให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิจัยนี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุท่านดังที่กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (MTEC). **พลาสติกรีไซเคิล** สืบค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2562 จาก https://www.mtec.or.th/bio-plastic/what-is-plastic/recycle-plastic.html.

[2] Thanet Ratanakul. **“ไม่มีตรงไหนที่ขยะพลาสติกไปไม่ถึง” แล้วพลาสติกอยู่ตรงไหน โลกจึงปวดใจมากที่สุด?** สืบค้นเมื่อ 18 มีนาคม 2562 จาก https://thematter.co/byte/where-the-plastic-hurts-earth-and-us/52278

[3] Creative Economy Agency **เมื่อพลาสติกหายไปได้ ‘Biodegradable Plastic’ ทางเลือกใหม่แห่งความยั่งยืน** สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2562 จาก https://thematter.co/byte/where-the-plastic-hurts-earth-and-us/52278

การออกแบบและพัฒนากล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
Design and deployment of Portable Multi-purpose Box by using Solar Energy

ภาคิณ มณีโชติ[1*], เทพ เกื้อทวีกุล[1], วีรพงษ์ ยิ้มยอง[1] และ กฤษฎา คำบรรลือ[1]

[1] โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร 62000

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนากล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อสามารถชาร์จได้ทั้งโทรศัพท์มือถือ และยังใช้ได้ทั้งไฟ AC และ DC โดยโครงสร้างของกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยกล่องขนาด 18 เซนติเมตร x 3 เซนติเมตร x30เซนติเมตร และมีอุปกรณ์ที่สำคัญประกอบด้วย อินเวอร์เตอร์ขนาด 150 W แบตเตอรี่ 12 V 7.6 Ah แผงโซล่าเซลล์ขนาด 10 W และคอนโทรลชาร์จเจอร์ขนาด 20 W ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า กล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือได้ดี (กรณีเป็นไฟฟ้า DC) และทดลองใช้งานของพัดลม (กรณีเป็นไฟฟ้า AC) สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้น เมื่อนำมาทดลองกับโหลดเป็นเครื่องโน๊ตบุ๊ค Vzio พบว่าเครื่องโน๊ตบุ๊ค Vzio สามารถใช้งานได้ประมาณ 1 ชั่วโมง 5 นาที หรือ 65 นาที โดยกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้งานได้ทั้งไฟ AC และ DC สามารถใช้งานในกรณีไม่มีแสงอาทิตย์อีกประมาณหนึ่งชั่วโมง ดังนั้นอุปกรณ์นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับคนบนพื้นที่ห่างไกลกันดาร เจ้าหน้าที่ป่าไม้ที่ต้องเดินป่าเดินลาดตระเวนในพื้นที่ป่าได้

คำสำคัญ: แบตเตอรี่, แผงโซล่าเซลล์, อินเวอร์เตอร์ , กล่องเอนกประสงค์

บทนำ

ปัจจุบันจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การใช้พลังงานก็เติบโตขึ้นไม่แพ้กัน ในขณะที่เชื้อเพลิงฟอสซิลกำลังจะหมดไปความต้องการไฟฟ้ากลับเพิ่มมากยิ่งขึ้น การใช้ไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น แอร์ พัดลม หลอดไฟ โทรศัพท์มือถือ เตาไฟฟ้า เป็นต้น และโทรศัพท์มือถือเป็นอุปกรณ์ติดตัวของทุกคนก็ว่าได้ ซึ่งการใช้โทรศัพท์มือถือในปัจจุบันไม่ได้เป็นแค่การโทรออกและรับสายเพียงอย่างเดียว แต่มีทั้งระบบมัลติมีเดียครบทุกรูปแบบไม่ว่าจะเป็นกล้องถ่ายรูป เครื่องเล่นMp3 เครื่องเล่น Mp4 อินเตอร์เน็ตรวมไปถึงการจัดทำเอกสารบนโทรศัพท์ การโอนเงินเป็นต้น จากการรวบรวมสถิติผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือในประเทศไทย พบว่า อัตราการเติบโตของการใช้งานในรอบ 6 ปีที่ผ่านมา จะเห็นว่าตัวเลขผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือเติบโตแบบก้าวกระโดด ในปี 2013 มีผู้ใช้อยู่ที่ 71 ล้านราย ขยับไปในปี 2014 เพิ่มเป็น 84 ล้านรายในปี 2015 และเพิ่มเป็น 92 ล้านรายในปี 2016 และ 97 ล้านรายซึ่งตัวเลขจากการรายงานของกระทรวง ICT ที่มียอดของ ผู้ใช้งานมือถืออยู่ที่เพิ่มขึ้นนับว่าประเทศไทยมีอัตราการเติบโตของคนใช้งานโทรศัพท์มือถือเพิ่มขึ้น 100% เลยทีเดียว ในขณะที่ประชากรของประเทศไทยอยู่ที่ราว 67.7 ล้านคนนั่นหมายความว่ายอดผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือของไทยเทียบกับจำนวนประชากรนั้นอยู่ที่ 109% โดยมีอัตราการใช้งานหลายเบอร์ Multiple SIM สูงถึง 35% (ผลสำรวจจาก Nielsen)เมื่อมีการใช้โทรศัพท์มือถืออย่างมากมายก็จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานซึ่งอยู่ในรูปแบบของแบตเตอรี่ และการชาร์จแบตเตอรี่ในแต่ละครั้งก็จำเป็นต้องใช้พลังงานจากไฟฟ้าหรือจะเป็นเพาวเวอร์แบงค์พลังงานเหล่านี้ล้วนมาจากพลังงานสิ้นเปลืองนอกจากนี้เทคโนโลยีเข้ามามี

* Correponding author : Tel: 0891840843. E-mail: ball_ccs04@hotmail.co.th

บทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมากโดยเฉพาะโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ก็มีความสำคัญต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์โน๊ตบุค พัดลม ไฟฉาย เป็นต้น

จากลงพื้นที่บ้านป่าคา ตำบลโป่งน้ำร้อน อำเภอคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร พบว่า เป็นพื้นที่ราบสูงที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ ดังนั้นถ้าอุปกรณ์สื่อสาร หรือ อุปกรณ์อื่นๆ แบตเตอรี่หมด ก็ไม่สามารถติดต่อสื่อสาร หรือใช้งานได้ หรือแม้แต่การเดินป่าของเจ้าหน้าที่ป่าไม้ ถ้ามีอุปกรณ์ที่สามารถพกพาได้และสามารถใช้งานได้อย่างหลากหลาย สามารถใช้งานได้ทั้งไฟ AC และDC อุปกรณ์นี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับคนบนพื้นที่ราบสูงหรือเจ้าหน้าที่ป่าไม้ที่ต้องเดินป่า ลาดตระเวนในพื้นที่ป่า

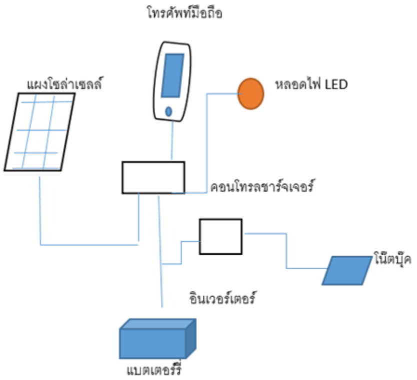
ผู้ทำวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนากล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อสามารถชาร์จได้ทั้งโทรศัพท์มือถือ และยังใช้ได้ทั้งไฟ AC และ DC ในกรณีที่แบตเตอรี่หมดยังสามาถนำแผงโซล่าเซลล์ผลิตไฟฟ้าเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ได้

วิธีการวิจัย

1. ออกแบบและพัฒนากล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

1.1 อุปกรณ์สำคัญของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่พลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นจะผลิตไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งในการนำไปใช้งานนั้นจะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ โดยรวมเข้าเป็นระบบที่ผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพที่ 1 ซึ่งมีอุปกรณ์สำคัญๆ มีดังนี้



ภาพที่1 ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

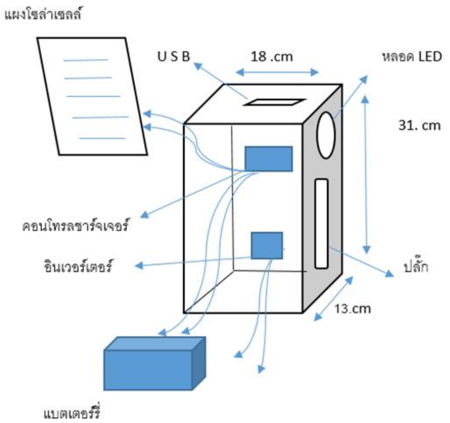
1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงและมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำมาต่อให้เป็นหลายๆ เซลล์เป็นแถวหรือเป็นชุด (Solar Array) เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าใช้งานตามที่ต้องการ ซึ่งการต่อกันแบบอนุกรม จะเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และการต่อกันแบบขนาน จะเพิ่มพลังงานไฟฟ้า

2. เครื่องควบคุมการประจุ หรือ เครื่องชาร์จเจอร์ (Charge Controller) ทำหน้าที่ประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่ และควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณเหมาะสมกับแบตเตอรี่เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมถึงการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ไปยังโหลดอีกด้วย ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ คือ เมื่อประจุกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่จนเต็มแล้ว จะหยุด หรือ ลดการประจุกระแสไฟฟ้า

3. แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้เวลาที่ต้องการ เช่น เวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เวลากลางคืน หรือ นำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ

4. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรง (DC) ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อให้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ

1.2 กล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่2 โครงสร้างของกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ในการทำวิจัยตู้ชาร์ตแบตเตอร์รี่แบบพกพาประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ เครื่องอุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบตู้ชาร์ตแบตเตอร์รี่แบบพกพา

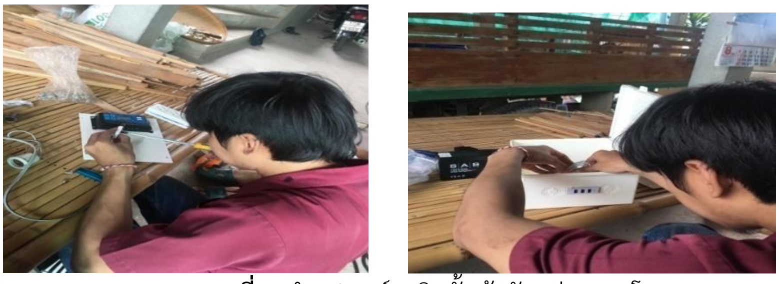
ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับที่	อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบ	ลักษณะรูปร่าง
1	อินเวอร์เตอร์	
2	แบตเตอรี่	

3	โซล่าเซลล์	
4	คอนโทรล ชาร์จเจอร์	
5	กล่อง คอนโทรล	

1.4 ขั้นตอนการสร้างกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่3 เจาะกล่องที่ซื้อมาให้ได้รูปแบบที่ต้องการออกแบบ



ภาพที่4 นำอุปกรณ์มาติดตั้งเข้ากับกล่องคอลโทรล

ภาพที่5 กล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

2. ผลการทดลองการออกแบบและพัฒนากล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

จากการออกแบบและสร้างกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้เห็นว่าอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้ ดังนั้นจะแบ่งทำการทดลอง การใช้งานกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ใน 2อย่างคือ การชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ (กรณีใช้ไฟฟ้าเป็นแบบ DC) การใช้งานของพัดลม (กรณีเป็นไฟฟ้า AC) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

2.1 สถานที่ทำการทดลอง

ตึกคณะเทคโนโลยีอุตสหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร 69 หมู่ 1 ต.นครชุม อ.เมือง จ.กำแพงเพชร 62000

2.2 การทดลองการใช้งานกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์การชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ (กรณีใช้ไฟฟ้าเป็นแบบ DC)

ภาพที่6 การชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ (กรณีใช้ไฟฟ้าเป็นแบบ DC)

2.3 การทดลองการใช้งานกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การใช้งานของพัดลม (กรณีเป็นไฟฟ้า AC)

ภาพที่ 7 ทดลองต่อกล่องใช้งานเอนกประสงค์กับพัดลม (กรณีเป็นไฟฟ้า AC)

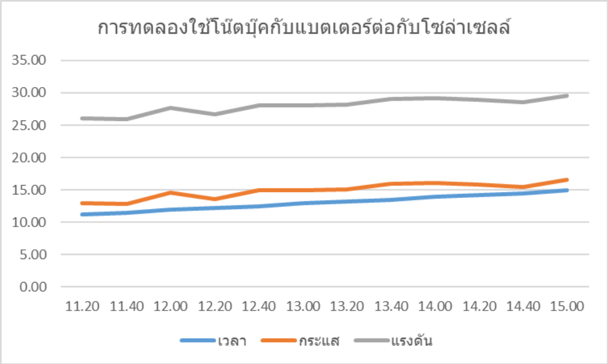
กล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือได้ดี โดยแรงดันที่ออกจาก และการใช้งานของพัดลม (กรณีเป็นไฟฟ้า AC) สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี

การทดลองการใช้งานกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้โหลดเป็นเครื่องโน๊ตบุ๊ค Vzio

ตารางที่ 2 การทดลองใช้โน๊ตบุ๊คกับแบตเตอรี่ต่อกับโซล่าเซลล์

การทดลองใช้โน๊ตบุ๊คกับแบตเตอร์รี่ต่อกับโซล่าเซลล์			
เวลา	โน๊ตบุ๊คVzio		
	กระแส	แรงดัน	ชั่วโมง/นาที
11.20	1.81	13.1	
11.40	1.42	13.1	
12.00	2.60	13.1	
12.20	1.32	13.1	
12.40	2.60	13.0	
13.00	1.99	13.0	3 ชั่วโมง 40 นาที
13.20	1.92	13.0	
13.40	2.59	13.0	
14.00	2.13	13.1	
14.20	1.60	13.1	
14.40	1.08	13.1	
15.00	1.60	13.0	
ค่าเฉลี่ย	1.88	13.05	

จากตารางที่2 พบว่าระยะเวลาของแบตเตอรี่ขนาด 12 V 7.6 Ah มีระดับประจุเต็มที่ 13.1 V โดยชาร์จกับ โซล่าเซลล์ต่อใช้งานตรงกับเครื่องโน๊ตบุ๊ค Vzio ที่เวลา 11.20 – 15.00 น. จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยแรงดันอยู่ที่ 13.05 V ซึ่งผลการทดลองใช้เวลา 3 ชั่วโมง 40 นาที ซึ่งถือว่าการออกแบบและสร้างกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้งานกับโน๊ตบุ๊ค Vzio ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

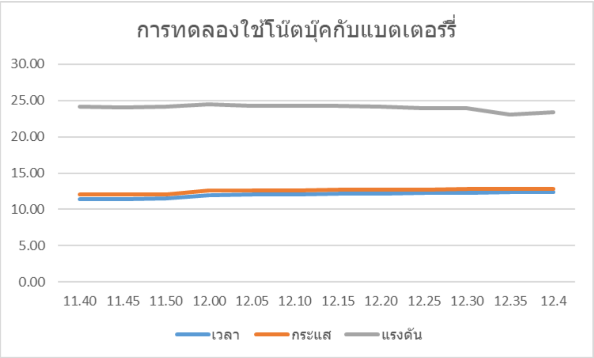


กราฟที่ 1 การทดลองใช้โน๊ตบุ๊คกับแบตเตอรี่ต่อกับโซล่าเซลล์ จะเห็นได้ว่าแรงดันจากโซล่าเซลล์คงที่เฉลี่ย13.05 V ถ้ามีแสงแดด แรงดันจากโซล่าเซลล์ชาร์จกับโทรศัพท์มือถือได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่3 การทดลองการใช้โน๊ตบุ๊คกับแบตเตอรี่

การทดลองใช้โน๊ตบุ๊คกับแบตเตอรี่			
เวลา	โน๊ตบุ๊คVzio		
	กระแส	แรงดัน	ชั่วโมง/นาที
11.40	0.62	12.1	1 ชั่วโมง 10 นาที
11.45	0.60	12.0	
11.50	0.61	12.0	
12.00	0.58	11.9	
12.05	0.57	11.7	
12.10	0.55	11.6	
12.15	0.52	11.6	
12.20	0.50	11.5	
12.25	0.51	11.2	
12.30	0.49	11.2	
12.35	0.47	10.2	
12.40	0.45	10.6	
ค่าเฉลี่ย	0.53	11.46	

จากตารางที่3 พบว่าแรงดันแบตเตอรี่ขนาด 12 V 7.6 Ah มีระดับประจุที่ 12.1Vใช้งานได้ ประมาณ 1 ชั่วโมง 5 นาที หรือ 65 นาที โดยกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้งานได้ทั้งไฟ AC และ DC สามารถใช้งานในกรณีไม่มีแสงอาทิตย์อีกประมาณหนึ่งชั่วโมง ดังนั้นอุปกรณ์นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับคนบนพื้นที่ห่างไกลกันดาร เจ้าหน้าที่ป่าไม้ที่ต้องเดินป่าเดินลาดตระเวนในพื้นที่ป่าได้(แบตเตอรี่ยังไม่เต็ม) ในขณะที่เริ่มจ่ายแรงดันให้กับเครื่องโน๊ตบุ๊ค Vzio เห็นได้ชัดว่ามีปริมาณแรงดันที่ลดลงตามระยะเวลาในการทำงานของเครื่องโน๊ตบุ๊ค Vzio จนถึงระดับแรงดัน 10.6V เครื่องโน๊ตบุ๊ค Vzio ซึ่งเป็นระยะเวลาสูงสุดที่แบตเตอรี่จ่ายแรงดันได้ คือ 1 ชั่วโมง 10 นาที ของระยะการใช้งาน

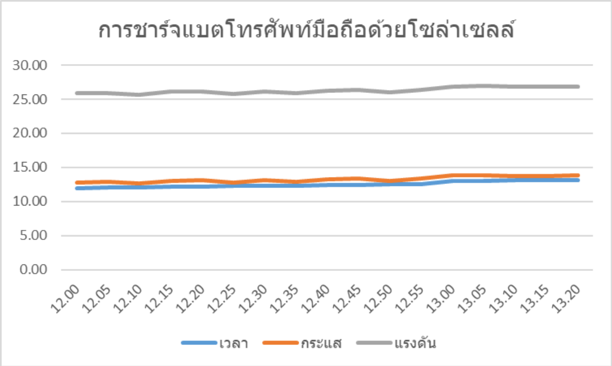


กราฟที่ 2 การทดลองใช้โน๊ตบุ๊คกับแบตเตอรี่ จะพบข้อแตกต่างจากกราฟที่ 1 คือแรงดันจะลดลงตามระยะเวลาที่ใช้เนื่องจากการใช้งานแบตเตอรี่โดยไม่มีโซล่าเซลล์

ตารางที่ 4 การชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือด้วยโซล่าเซลล์

การชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือด้วยโซล่าเซลล์				
เวลา	กระแส	แรงดัน	เปอร์เซ็นแบต โทรศัพท์	ชั่วโมง
12.00	0.83	13.0	63	1ชั่งโมง 20 นาที
12.05	0.85	13.0	67	
12.10	0.51	13.1	70	
12.15	0.91	13.1	74	
12.20	0.93	13.0	78	
12.25	0.51	13.0	81	
12.30	0.85	13.0	82	
12.35	0.53	13.0	84	
12.40	0.88	13.01	87	
12.45	0.90	13.0	88	
12.50	0.53	13.0	90	
12.55	0.87	13.0	91	
13.00	0.89	13.0	92	
13.05	0.86	13.0	94	
13.10	0.63	13.1	95	
13.15	0.59	13.1	97	
13.20	0.61	13.0	100	
ค่าเฉลี่ย	1.88	13.05	84	

จากตารางที่4 ผลการทดลองชาร์จโทรศัพท์มือถือด้วยโซล่าเซลล์จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์แบตโทรศัพท์มือถือขึ้นประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ ในทุก 5 นาที สามารถชาร์จได้ พร้อมกัน 2 เครื่องจากการทดลองกล่องชาร์จแบตเตอรี่เอนกประสงค์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลา ชาร์จถึง 1 ชั่วโมง 20 นาที จากเปอร์เซ็นต์โทรศัพท์ 63 - 100 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย 1 นาที ชาร์จได้ 0.34 เปอร์เซ็นต์



กราฟที่ 3 การทดลองชาร์จแบตโทรศัพท์มือถือด้วยโซล่าเซลล์แรงดันคงที่เฉลี่ย 13.05 V

ตารางที่ 5 การชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือด้วยแบตเตอรี่

การชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือด้วยแบตเตอรี่				
เวลา	กระแส	แรงดัน	เปอร์เซ็นแบต โทรศัพท์	ชั่วโมง
09.00	0.42	13.0	47	1ชั่วโมง 30 นาที
09.05	0.10	12.9	52	
09.10	0.11	12.9	57	
09.15	0.09	12.9	60	
09.20	0.10	12.8	62	
09.25	0.08	12.8	67	
09.30	0.10	12.8	68	
09.35	0.22	12.8	73	
09.40	0.22	12.8	75	
09.45	0.22	12.8	78	
09.50	0.22	12.8	81	
09.55	0.29	12.8	84	
10.00	0.32	12.8	87	
10.05	0.37	12.8	89	
10.10	0.41	12.8	92	
10.15	0.28	12.8	93	
10.20	0.43	12.7	94	
10.25	0.43	12.7	95	
10.30	0.43	12.7	100	

จากตารางที่5 การชาร์จแบตโทรศัพท์มือถือด้วยแบตเตอรี่ พบว่าแบตเตอรี่ขนาด 12V 7.6 Ah มีระดับประจุเต็มที่ 13.0 V โดยไม่ได้ต่อกับแผงโซล่าเซลล์ ที่เวลา 9.00 - 10.30 น. จากเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ 47 เปอร์เซ็นต์ ชาร์จจนเต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที และแรงดันแบตเตอรี่เหลืออยู่ 12.7 V ค่าเฉลี่ย การชาร์จแบตมือถืออยู่ที่ 0.58 เปอร์เซ็นต์/นาที

สรุปผลการวิจัย

จากการการออกแบบและพัฒนากล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถชาร์จได้ทั้งโทรศัพท์มือถือ และ โน๊ตบุ๊ค ใช้ได้ทั้งไฟ AC และ DC จากการทดลองพบว่า กล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือได้ดี และ เมื่อนำมาทดลองกับเครื่องโน๊ตบุ๊ค Vzio พบว่า ใช้งานได้ประมาณ 1 ชั่วโมง 5 นาที หรือ 65 นาที โดยกล่องใช้งานเอนกประสงค์แบบพกพาด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้งานได้ทั้งไฟ AC และ DCสามารถใช้งานในกรณีไม่มีแสงอาทิตย์อีกประมาณหนึ่งชั่วโมง ดังนั้นอุปกรณ์นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับคนบนพื้นที่ห่างไกลกันดาร เจ้าหน้าที่ป่าไม้ที่ต้องเดินป่าเดินลาดตระเวนในพื้นที่ป่าได้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าวิจัยฉบับนี้ สำเร็จสมบูรณ์ได้อย่างดีด้วยความอนุเคราะห์ และการให้คำปรึกษาการดำเนินงานวิจัยตั้งแต่ต้นจนจบสมบรูณ์ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ที่สนับสนุนเครื่องมือวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยเล่มนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่มากก็น้อยและ สำหรับข้อแนะนำต่างๆ ผู้วิจัยขอน้อมรับและยินดีที่จะนำไปปรับปรุงเพื่อพัฒนางานวิจัยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงพลังงาน. (2552). **แนวการส่งเสริมน้ำมันปิโตรเลียมจากขยะพลาสติก.** สืบค้น 18 มีนาคม 2562 จาก http://www.eppo.go.th/images/petroleum/Biofuel/oilplasticwaste.pdf

[2] กระทรวงพลังงาน.(2554). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564).** สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2562, จากhttp://webkc.dede.go.th/testmax/node/149

[3] เกษมตรีภาคและคณะ (2559). **การออกแบบและสร้างวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์.**นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 1221-22 กรกฎาคม 2559,มหาวิทยาลัยนเรศวร, จังหวัดพิษณุโลก.

[4] พิษณุ สะเตวิน, สิทธิพงศ์ ขุนทองจันทร์และณัฐชัย ทองสุข. (2554). **เครื่องชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือด้วยพลังงานแสงอาทิตย์**. คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

[5] ทรงศักดิ์ อินทรสิทธิ์, ธเนศ ธนิตย์ธีรพันธ์ และสมชาย อรุณรุ่งรัศมี. (2559). **การพัฒนาเครื่องชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบพกพา**. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[6]นิธิอรรถ ปรีดิ์ชม และสิริภัสสร เหล่ามะโฮง. (2552). **วงจรชาร์จแบตเตอรี่สำหรับโทรศัพท์มือถือจากเซลล์แสงอาทิตย์**. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

การพัฒนากาลักน้ำสำหรับครัวเรือนในพื้นที่ขนาดเล็ก
Siphon Development for Small Households

วรวุฒิ บุตรดี[1] ภาคิณ มณีโชติ[1] เสน่ห์ วงโสภา[1*] และวัชรพงษ์ ไม้แดง[1]
[1*]สาขาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร 62000

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการศึกษากาลักน้ำที่เหมาะสมกับครัวเรือนในพื้นที่ขนาดเล็ก โดยงานวิจัยวัดอัตราการไหลของปริมาณน้ำในความสูงแต่ละระดับและหาประสิทธิภาพในการไหลของน้ำเพื่อไปใช้ในแปลงสวนกะเพา โหระพา แมงลัก หรือผักสวนครัวอื่น ๆ ในพื้นที่ขนาดเล็กหรือในพื้นที่ 2 แปลงโดยทดลองแปลงสาธิตในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรมีขั้นตอนในการทำวิจัย คือ การศึกษาข้อมูล ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำการออกแบบระบบ ดำเนินการทดลอง/ ทดสอบแก้ไข/ ปรับปรุงวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลวิจัย ผลการวิจัยพบว่า เครื่องพัฒนากาลักน้ำที่ทำการทดลอง มีอัตราการไหลของน้ำขนาดท่อ 4 หุน โดยมีอัตราการไหล เฉลี่ย 7.02 วินาทีต่อน้ำ 1 ลิตร โดยใช้ความสูงประมาณ 60 เซนติเมตร และมีอัตราการไหลเฉลี่ย 8.21 วินทีต่อน้ำ 1 ลิตรโดยใช้ความสูงประมาณ 120 เซนติเมตร และจากการทำการทดสอบอัตราการไหลของน้ำ ด้วยเครื่องพัฒนากาลักน้ำเพื่อการวัดอัตราการไหลของน้ำในความสูงแต่ละระดับ และมีการไหลของน้ำอย่างต่อเนื่องถึงแม้จะเพิ่มระดับความสูงของถังและการนำระบบสุญญากาศมาช่วยใช้ในกาลักน้ำ เพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานทางเลือกโดยไม่ต้องอาศัยน้ำเชื้อเพลิงและไฟฟ้า รวมทั้งการใช้เครื่องตะตันแบบกาลักน้ำ ที่สามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ และแอร์แวร์ เพื่อเป็นประโยชน์ในครั้งต่อไป

คำสำคัญ:ระบบสูบน้ำ,กาลักน้ำ,พญาแร้งให้น้ำ

บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงในชีวิตประจำวันสะดวกสบาย ซึ่งปัจจุบันมนุษย์ได้ใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆได้หลากหลาย เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ และอื่น ๆ แต่ในปัจจุบันพลังงานสำคัญกำลังจะหมดลง คือเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของพลังงานที่นำมาใช้ยาก ต้องมีอุปกรณ์และเครื่องมือยุ่งยากมากขึ้นจึงจะสามารถนำมาใช้ได้ ปัญหาทางการเกษตรปัญหานี้จะทดแทนในขณะเดียวกันการขึ้นราคาน้ำมันที่สูงมากในปัจจุบันในการใช้เครื่องสูบน้ำ ซึ่งจำเป็นต้องแก้ปัญหาโดยใช้ทรัพยากรพลังงานที่มีอยู่ในประเทศที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เช่นน้ำมัน น้ำและไฟฟ้าเป็นต้นจากสาเหตุเหล่านี้คณะผู้จัดทำจึงแลเห็นความสำคัญของการเกษตรมาเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนจึงได้คิดทำโครงงานเรื่องพญาแร้งให้น้ำผลิตเพื่อศึกษาวิธีการดูดน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูง เป็นต้น

กาลักน้ำ (อังกฤษ: syphon หรือ siphon) เป็นวิธีการถ่ายเทของเหลวจากที่สูงลงไปสู่ที่ต่ำอย่างต่อเนื่องโดยผ่านตัวกลางคือท่อ หลอด หรือสาย โดยที่ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าช่วยแต่อย่างใด วิธีการทำโดยใช้หลอดหรือท่อน้ำมาเติมน้ำให้เต็ม ปิดปลายหลอดทั้งสองข้างเอาไว้ให้แน่นและนำปลายหลอดข้างใดข้างหนึ่งใส่ลงไปในภาชนะที่ต้องการที่จะถ่ายเทน้ำออก และปลายหลอดอีกข้างหนึ่งก็ใส่ไว้ในภาชนะที่รองรับและจะต้องต่ำกว่าภาชนะที่จะถ่ายน้ำออกเสมอ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำและน้ำหนักของน้ำในหลอดจะดูดเอาน้ำจากปลายหลอดด้านที่สูงกว่าลงมาสู่ด้านที่ต่ำกว่าทำให้เราถ่ายน้ำออกจากภาชนะได้อย่างง่ายดาย ซึ่งภายในท่อหรือหลอดน้ำจะกระทำกันคล้ายสายโซ่ ที่เรียงร้อยไปด้วยน้ำ ซึ่งจะดึงโมเลกุลน้ำด้วยกันตามกัน

* Corresponding author:Tel.: 099-2954267. E-mail address: sanewongsopa@gmail.com

มาโดยอาศัยพันธะไฮโดรเจน นั้นเอง ทั้งนี้ได้มีการทดลองในระบบสุญญากาศโดยสูบอากาศออกทำให้พบว่า กาลักน้ำยังคงสามารถทำงานได้ดังเดิม แสดงว่า กาลักน้ำไม่ได้อาศัยแรงดันอากาศ แต่อาศัยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและน้ำหนักของของเหลวนั้นๆกาลักน้ำจะมีรูปแบบที่ตายตัวคือตั้งอยู่บนฐานเหล็กซึ่งไม่สามารถปรับระดับได้นั้นหมายความว่าถ้าน้ำมีระดับต่ำลงก็จะไม่สามารถปรับระดับถังได้ ซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดน้ำน้อยลงไป ดังนั้นผู้วิจัยจึงคิดค้นการพัฒนากาลักน้ำเพื่อที่จะแก้จุดด้อยในข้อนี้ได้ ถ้าน้ำมีระดับที่สูงขึ้น หรือ ต่ำลงก็จะสามารถปรับระดับให้พอดีได้ และเครื่องการพัฒนากาลักน้ำนี้ยังสามารถพัฒนาได้อีกหลายหลาย เช่น ติดตั้งตัวเซ็นเซอร์เพื่อดูค่าปริมาณน้ำที่ไหลว่าคงที่หรือไม่

ศูนย์พลังงานของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เป็นแหล่งเรียนรู้ทางด้านเทคโนโลยีพลังงานต่างๆ และมีพื้นที่ในการปลูกอ้อย ข้าวโพด มะนาว โหระพา ตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง ผู้วิจัยจึงคิดอยากการพัฒนากาลักน้ำสำหรับครัวเรือนในพื้นที่ขนาดเล็กเพื่อเป็นต้นแบบไว้ขยายผลสู่ชมชนและประชาชนทุกคนที่สนใจในกาลักน้ำ

วิธีการวิจัย

การศึกษากาลักน้ำที่เหมาะสมกับครัวเรือนในพื้นที่ขนาดเล็ก ในครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดรูปแบบการวิจัย ที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ สมมุติฐานและขอบเขตของการวิจัย ตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.เพื่อออกแบบและพัฒนากาลักน้ำเพื่อสำหรับครัวเรือนในพื้นที่ขนาดเล็ก

2. เพื่อหาประสิทธิภาพของกาลักน้ำที่สามารถใช้งานสำหรับพื้นที่ขนาดเล็ก

สมมุติฐาน

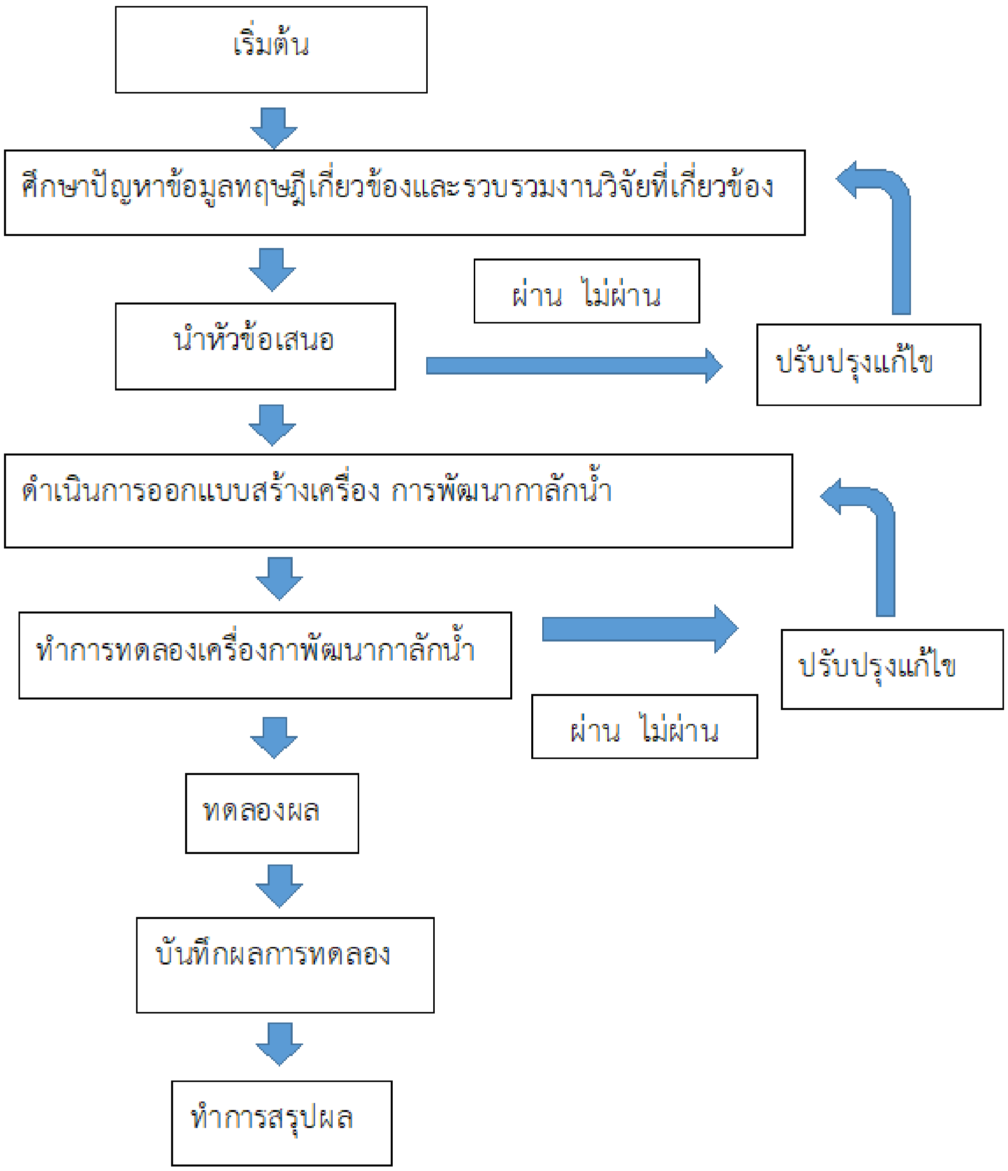
1. กาลักน้ำสามารถปรับระดับความสูงได้ 60 - 120 ซม.
2. อัตราการไหลของน้ำไม่ต่ำกว่า 5 ลิตร/นาที

ขอบเขตงานวิจัย

1. ประชากร นักศึกษาคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
2. กลุ่มตัวอย่าง นักศึกษาโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน
3. การทดสอบการไหลของปริมาณน้ำในแต่ละ ระดับไม่เกิน 2.5 เมตรในศูนย์พลังงานมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
4. อุปกรณ์และวัสดุต่างๆที่นำมาใช้ ถัง 200 ลิตร 1 ลูก รอกสำหรับเลื่อน ขึ้น-ลง ท่อ pvcและข้อต่ออื่นๆ เช่น สามทาง ข้องอ ต่อตรง

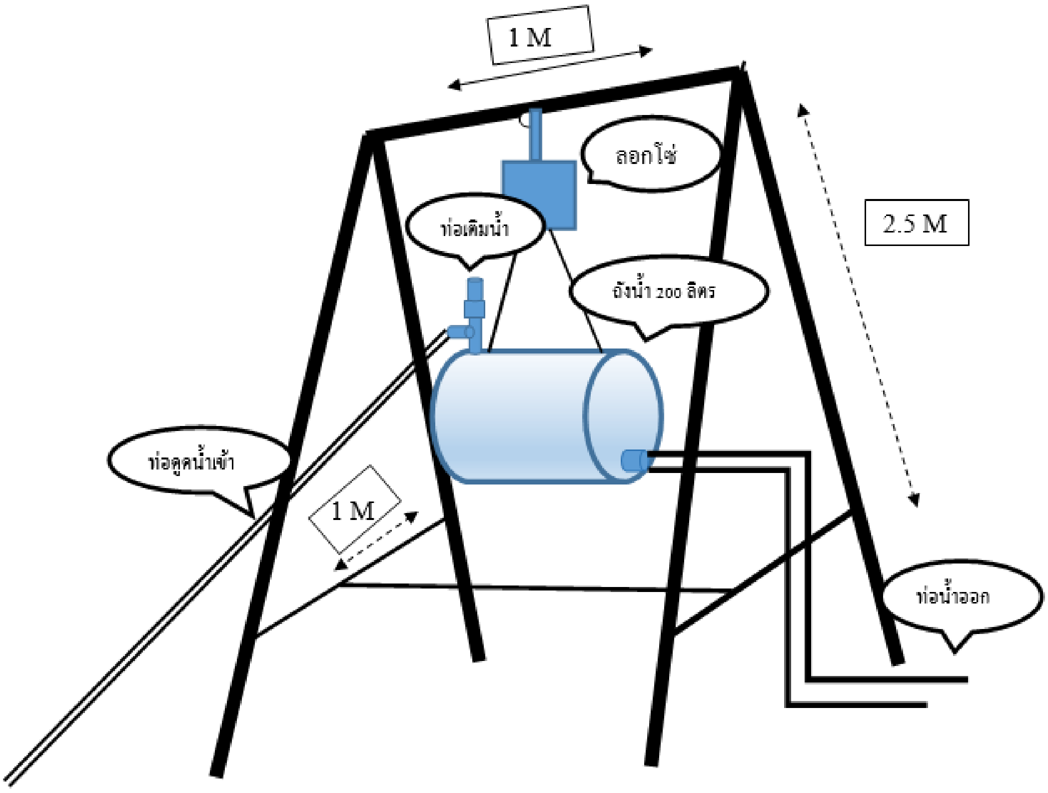
วิธีการดำเนินงานวิจัย

1) วิธีการดำเนินงานวิจัย
2) ออกแบบเครื่องการพัฒนากาลักน้ำ
3) วัสดุและอุปกรณ์การทำเครื่องการพัฒนากาลักน้ำ
4) ทดสอบประสิทธิภาพ



ภาพที่ 1 แผนผังดำเนินงาน

แบบและขนาดของเครื่องพัฒนากาลักน้ำ



ภาพที่2รูปแบบของเครื่องกาลักน้ำ

จากภาพที่ 2 ผู้วิจัยได้ออกแบบตัวโครงสร้างให้ดูคล้ายคลึงกับเสาชิงช้าเพื่อให้สามารถปรับระดับความสูงต่ำของตัวถัง200ลิตรได้ โดยมีความสูงอยู่ที่ 2.5 เมตร ความกว้างอยู่ที่ 1 เมตร และเราใช้รอกโซ่ดึงสำหรับปรับระดับความสูงต่ำของถัง โดยตัวถัง200ลิตร จะเจาะรู้ทั้งหมด 2 รู้ 1 รู้สำหรับเติมน้ำ ใช้ท่อPVC ขนาด 1 นิ้ว และใช้ท่อ 3 ทางเพื่อแยกทางสำหรับดูดน้ำ และมีวาล์วเปิดปิดสำหรับเติมน้ำ ส่วนท่อดูดน้ำใช้ท่อขนาด 4 หุน และส่วนระบายน้ำออกใช้ท่อขนาด 2 นิ้ว 2 เมตร ,ขนาด 1 นิ้ว 5 เมตร,ขนาด 4 หุน 5 เมตร ปลายท่อใช้วาล์วเปิด-ปิด วิธีใช้งานกาลักน้ำจะขั้นตอนดังนี้

1.เปิดวาล์วน้ำด้านบนสำหรับเติมน้ำ ปิดวาล์วน้ำตรงปลายท่อ เติมน้ำให้เต็มถัง

2.ปิดวาวล์น้ำสำหรับเติมน้ำ ค่อย ๆ เปิดวาล์วน้ำตรงปลายท่อ

3.เช็คตรงท่อปลายท่อที่จุ่มลงไปในน้ำว่ามีการดูดน้ำเข้าไปในถังหรือไม่

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองเก็บข้อมูลปริมาณอัตตราการไหลของน้ำในระดับความสูง และตามระยะเวลาที่กำหนดคือ 5,10,15,20ที่ความสูง 60 เซนติเมตรและวัดอัตราการไหลของน้ำและปริมาณของน้ำ

ภาพการทดลอง

ภาพที่3เครื่องกาลักน้ำ

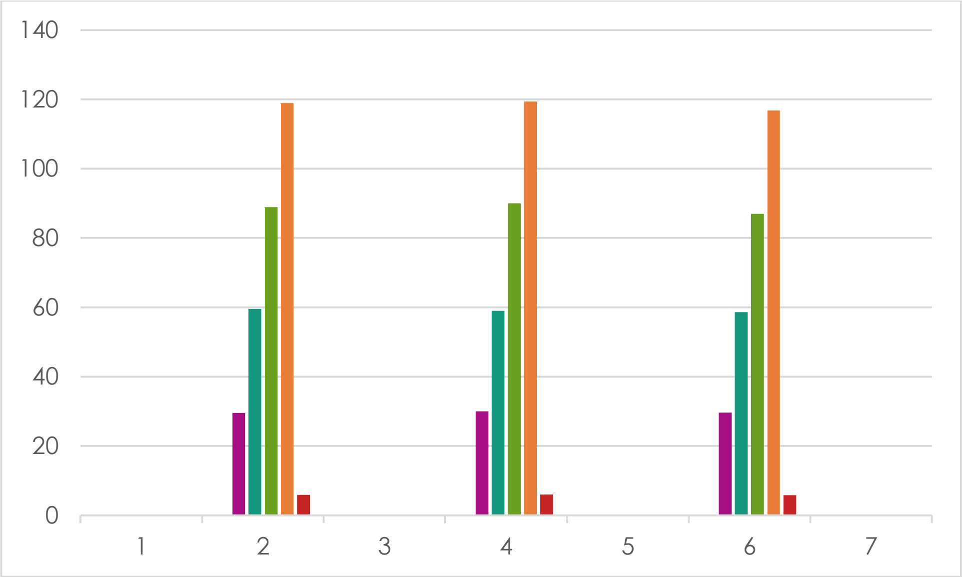
ภาพที่4ตอนน้ำไหลของเครื่องกาลักน้ำ

ผลการทดลอง

ครั้งที่	เวลา 5 นาที (ลิตร)	เวลา 10 นาที (ลิตร)	เวลา 15 นาที (ลิตร)	เวลา 20 นาที (ลิตร)	อัตราการไหลของน้ำ (นาที)
ครั้งที่ 1	36.31	72.63	108.96	147.21	7.366
ครั้งที่ 2	36.52	72.93	109.16	145.71	7.256
ครั้งที่ 3	35.66	71.08	107.07	143.62	7.142

ตารางที่ 1 ตารางการเก็บข้อมูลอัตตราปริมาณของน้ำในความสูง 60 เซนติเมตรจากพื้น

แสดงกราฟจากตาราง



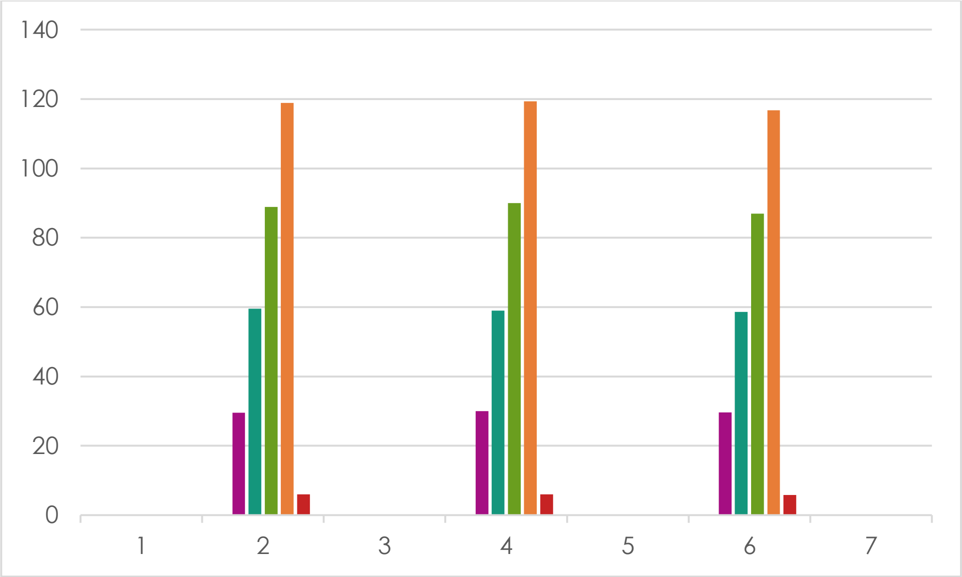
กราฟที่ 1เปรียบเทียบปริมาณน้ำในทุก ๆ 5 นาที 4รอบต่อครั้งมีทั้งหมด 4 ครั้ง

จากกราฟที่ 1 ผลการทดลองจะเห็นได้ว่ามีค่าที่แตกต่างกันไป ครั้งที่ 1 ใช้เวลา 5 นาทีดึงน้ำได้ 36.31 ลิตร ใช้เวลา 10 นาที่ดึงน้ำได้ 72.63 ลิตร ใช้เวลา 15 นาทีดึงน้ำได้ 108.96 ลิตร ใช้เวลา 20 นาทีดึงน้ำได้ 147.21 ลิตร โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 7.366 ลิตรต่อนาทีซึ่งเป็นน้ำที่ไม่น้อยเก็บครั้งที่ 2 จะมีค่าข้อมูลอยู่ที่ 36.52 โดยใช้เวลา 5 นาที และใช้เวลา 10 นาทีดึงน้ำได้ 72.93 ลิตร ใช้เวลา 15 นาทีดึงน้ำได้ 108.96 ลิตร ใช้เวลา 20 นาทีดึงน้ำได้ 145.71 ลิตร โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 7.256 ลิตร ซึ่งมีค่าแตกต่างจากครั้งที่ 1 อยู่บ้างแต่ไม่มากและเก็บข้อมูลครั้งที่ 3 ใช้เวลา 5 นาทีดึงน้ำได้ 35.66 ลิตร ใช้เวลา 15 นาทีดึงน้ำได้ 71.08 ลิตร ใช้เวลา 20 นาทีดึงน้ำได้ 143.62 ลิตร โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 7.142 จะมีค่าที่แตกต่างกันพอสมควรโดยค่าที่เก็บได้

ตารางที่ 2 ตารางการเก็บข้อมูลอัตตราปริมาณของน้ำในความสูง 120 เซนติเมตรจากพื้น

ครั้งที่	เวลา 5 นาที (ลิตร)	เวลา 10 นาที (ลิตร)	เวลา 15 นาที (ลิตร)	เวลา 20 นาที (ลิตร)	อัตราการไหลของน้ำ (นาที)
ครั้งที่ 1	29.5	59.5	88.9	118.9	5.94
ครั้งที่ 2	30	59	90	119.4	5.97
ครั้งที่ 3	29.6	58.6	87	116.8	5.84

แสดงกราฟจากตาราง



กราฟที่ 2เปรียบเทียบปริมาณน้ำในทุก ๆ 5 นาที 4รอบต่อครั้งมีทั้งหมด 4 ครั้ง

จากกราฟที่ 2 ผลการทดลองจะเห็นได้ว่ามีค่าที่แตกต่างกันไป ครั้งที่ 1 ใช้วลา 5 นาทีดึงน้ำได้ 29.5 ลิตร ใช้เวลา 10 นาทีดึงน้ำได้ 59.5 ลิตร ใช้เวลา 15 นาทีดึงน้ำได้ 88.9 ลิตร ใช้เวลา 20 นาทีดึงน้ำได้ 118.9 ลิตรโดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 5.94 ลิตรต่อนาทีครั้งที่ 2 มีค่าข้อมูลอยู่ที่ 30ลิตร โดยใช้เวลา 5 นาทีแชะใช้เวลา 10 นาทีดึงน้ำ 59 ลิตร ใช้เวลา 15 นาทีดึงน้ำได้ 119.4 ลิตรโดยเฉลี่ยของปริมาณน้ำต่อนาที 5.97 ลิตร ซึ่งมีค่าแตกต่างจากครั้งที่ 1 อยู่บ้างแต่ไม่มากและเก็บข้อมูลครั้งที่ 3 จะมีค่าที่แตกต่างกันค่าที่เก็บได้ 29.6ลิตร ในเวลา 5 นาที และใช้เวลา 10 นาทีดึงน้ำได้ 58.6 ลิตร ใช้เวลา 15 นาทีดึงน้ำได้ 87 ลิตร ใช้เวลา 20 นาทีดึงน้ำได้ 116.8 ลิตร โดยเฉลี่ยของปริมาณน้ำต่อนาที 5.84 ลิตร

สรุปผลการวิจัย

1. จากการทดสอบเครื่องพัฒนากาลักน้ำเพื่อการวัดอัตราการไหลของน้ำในความสูง60 เซนติเมตรจากพื้น โดยวัดอัตราการไหลของน้ำที่ขนาดท่อ 4 หุนโดยมีอัตราการไหลเฉลี่ย 7.2วินาทีต่อน้ำ 1 ลิตร และความสูง 120 เซนติเมตรจากพื้นโดยวัดอัตราการไหลของน้ำที่ขนาดท่อ 4 หุนโดยมีอัตราการไหลเฉลี่ย 10.19วินาทีต่อน้ำ 1 ลิตรจากการทดสอบอัตราการไหลของน้ำ ด้วยเครื่องพัฒนากาลักน้ำเพื่อการวัดอัตราการไหลของน้ำในความสูงแต่ละระดับ มีการไหลของน้ำอย่างต่อเนื่องและน้ำสามารถออกได้อย่างต่อเนื่องแม้จะเพิ่มระดับความสูงของถัง

เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องต้นแบบกาลักน้ำเพื่อการเกษตร[1] จะมีอัตตราการไหลของน้ำได้ดีกว่าเพราะใช้สำหรับพื้นที่การเกษตร โดยอัตตราการไหลของน้ำในท่อ 4 หุนคือ 4.06 วินาที ต่อน้ำ 1 ลิตร ซึ่งแตกต่างจากเครื่องการพัฒนากาลักน้ำแค่เพียง 3.14 วินาที ซึ่งไม่ต่างกันมากนักเครื่องการพัฒนากาลักน้ำนี้ยังใช้ต้นทุนไม่สูงเท่าเครื่องต้นแบบกาลักน้ำเพื่อการเกษตร

2. จากข้อมูลการทดลองในเวลา 1 วันจะได้ปริมาณของน้ำประมาณ 10080 ลิตร เหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดเล็กซึ่งเหมาะสมกับพืชผักสวนครัว เช่น พริก กระเพา โหระพา เป็นต้น และสามารถทำเป็นระบบน้ำหยดได้และมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปั๊มสูบน้ำดีเซล ปั๊มสูบน้ำดีเซล จะเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อน้ำมัน และเพื่อการลดค่าใช้จ่ายในการซื้อน้ำมัน   กาลักน้ำจึงเป็นตัวเลือกที่ในการดูดน้ำในพื้นที่ขนาดเล็กและไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ ในการดูดน้ำ

3.ปัญหาอุปสรรคการรั่วตามข้อติอต่างๆ ของเครื่องพัฒนากาลักน้ำ ทำให้เวลาเก็บข้อมูล ทำให้น้ำไหลไม่เต็มอัตรา เพราะการซื้อท่อในแต่ละร้านมีความหนาบางที่แตกต่างกันออกไป จึงทำให้ต้องวีธิการแก้ไข เพื่อทำให้ชิ้นงานสำเร็จ

3.1 ปัญหาที่มักเกิดกับกาลักน้ำ คือ รอยรั่วต่างๆ จากข้อต่อท่อหรือตัวถัง

4. ข้อเสนอแนะ

4.1เครื่องพัฒนากาลักน้ำ โดยเป็นพลังงานทางเลือกโดยไม่ต้องอาศัยน้ำมันเชื้อเพลิงและไฟฟ้า ซึ่งเป็นการใช้ระบบสุญญากาศให้เป็นประโยชน์

4.2 เครื่องตะบันแบบกาลักน้ำ สามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ และแอร์แวร์ เพื่อเป็นประโยชน์ในงานวิจัยต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษากาลักน้ำที่เหมาะสมกับครัวเรือนในพื้นที่ขนาดเล็กครั้งนี้ สำเร็จได้ด้วยดี จากการให้ความอนุเคราะห์และความช่วยเหลืออีกหลายฝ่าย ซึ่งผลจากการวิจัย ทำให้ทราบแนวทางในการศึกษาหาความรู้และประสบการณ์ที่ดี จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ทางโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในการสนันสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ พร้อมทั้งพื้นที่ในการสร้างและเก็บข้อมูลงานวิจัยในครั้งนี้อซึ่งทำให้วิจัยมีความสมบูรณ์และถูกต้องมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] สุนิษา กุลชาเตชภณ โชติพฤกษ์. (2559).**เครื่องต้นแบบกาลักน้ำเพื่อการเกษตร.**วิทยานิพนธ์โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม :มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

[2] สุรเดช ศรีปรางค์ สุทธินันท์ สอิ้ง และกิตติชัย ถมเมืองปัก.(2559).**ก๊อกระบบกาลักน้ำ.**กลุ่มวิจัยและพัฒนานวัตกรรมอาชีวศึกษา วิทยาลัยการอาชีพกันตัง.จากhttp://www.thaiinvention.net (สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2562).

[3]เจษฎา แบบอย่าง ล้อมพงศ์ แซ่เฉาธนิต มานัสพงศภัค เทียนมณีและศุภชัย ทับทิม. (2560).กลุ่มวิจัยและพัฒนานวัตกรรมอาชีวศึกษา วิทยาลัยการอาชีพบ้านแพ้ว **ชุดผลิตไฟฟ้าด้วยกาลักน้ำ.**
จาก http://www.thaiinvention.net (สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2562).

[4] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.(2559).**การผลิตและการใช้งานระบบสูบฐ้าเชิงกลสำหรับชุมชน.** ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ (สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2562).

[5]ทวีศักดิ์ ทวีวิทยาการ และคณะ **การศึกษาสมรรถนะเครื่องสูบน้ำพลังน้ำ.**วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่.

[6] นิรันดร์ สุวรรณสิทธิ์ และ วิชัย ชัยเจริญชาติ **การออกแบบและพัฒนาเครื่องสูบน้ำพลังน้ำ.**ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, 2543.

การพัฒนาระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
Development of Mobile Hydroponic Vegetable Growing System with Solar Energy

จารุกิตติ์ พิบูลนฤดม [1*] อัษฎางค์ บุญศรี[1] เกียรติศักด์ ทองรักษ์[1] อนุรักษ์ บุญรัก[1]
[1] สาขาเทคโนโลยีพลังงานพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร 62000

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่ได้ การออกแบบระบบหมุนเวียนน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ระบบหมุนเวียนน้ำ 24 ชั่วโมงและโครงสร้างระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ สามารถปลูกตามพื้นที่จำกัดได้การโดยใช้อุปกรณ์และประหยัดพลังงาน จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการปลุกผักไฮโดรโปนิกส์พบว่า ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า (A) รวม 0.52 A ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (V) รวม 13.41 V และค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า (W) รวม 6.80 W โดยใช้แผงโซล่าเซลล์ขนาด 50 W ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ปั้มน้ำ DC ขนาด 12V ทำหน้าที่ในการสูบน้ำเพื่อหมุนเวียนน้ำในการล่อเลี้ยงผักไฮโดรโปนิกส์ โดยกล่องควบคุมประกอบด้วย กล่องควบคุมที่ภายในกล่องประกอบด้วย Charge Controller, Breaker, Batteryและดิจิตอล LED มิเตอร์วัดเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ ในการควบคุมการชาร์ต การทำงานของระบบไฟฟ้า และใช้สวิทซ์ลูกลอยควบคุมระดับน้ำรุ่น ST70-AB ควบคุมระดับน้ำในถังเก็บน้ำ ให้อยู่ในตำแหน่งสูงหรือต่ำตามต้องการ โดยมีเตอรรี่ขนาด 50 A กักเก็บประจุไฟฟ้าสำหรับใช้ในช่วงกระแสไฟไม่เพียงพอ ซึ่งชุดปลูกผักไฮโดรโปนิกส์จำนวน 18 ต้น ที่มีไหลเวียนน้ำตลอด 24 ชั่วโมง จากการทดสอบพบว่าระบบหมุนเวียนน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ได้สามารถหมุนเวียนน้ำในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ได้ 24 ชั่วโมง/วัน ซึ่งสามารถปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ได้อย่างดี

คำสำคัญ: ผักไฮโดรโปนิกส์ พลังงานแสงอาทิตย์ โซล่าเซลล์

บทนำ

การปลูกผักในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นการปลูกพืชผักบนดิน การดูแลจึงมีความยากในการดูแล เช่น ปัญหาดินเป็นเชื้อรา [1] ดินหมดสภาพหรือเรียกง่ายๆว่าดินหมดสารอาหารแล้วนั้นเอง และปัญหาจากศัตรูพืช ที่เจอคือพบแมลงกัดกินใบบางครั้งก็เจอปัญหาเพลี้ยเกาะใบผักทำให้ผักเสียหาย จึงเป็นเหตุให้เกษตรกรต้องนำน้ำยาฆ่าแมลง และปุ๋ยเคมีเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาเหล่านี้ให้หมดไปจากพืชผัก แต่ปัญหาที่ตามมาคือสารพิษที่ตกค้างในพืชผัก สารพิษที่อยู่ในผักนั้นไม่สามารถล้างออกได้หมด ยังคงมีสารเคมีตกค้างอยู่ในผักอีกมาก จึงอาจจะทำให้เกิดผลเสียมากกว่าผลดี

ปัจจุบันมนุษย์ส่วนใหญ่ได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับเรื่องของการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ไว้รับประทานเอง ซึ่งการรับประทานพืชผักถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีพของมนุษย์ [2] เพราะพืชผักเป็นแหล่งของวิตามิน เกลือแร่ และเยื่อใย อีกทั้งยังมีสารอาหารที่ช่วยในการเกิดโรค ต่างๆ จึงทำให้เป็นที่นิยมในการบริโภคผักมีมากขึ้น แต่ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลัก [3] เพราะพืชผักส่วนใหญ่ที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไปพบว่ามีสารพิษตกค้างที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค หรือการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์มีไว้ขาย เพื่อเป็นการสร้างรายได้เสริม [4] การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์กำลังเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน เพราะการปลูกผักแบบไฮโดรโปนิกส์จะช่วยใน การประหยัดพื้นที่ในการปลูก [5] และไม่ปนเปื้อนสารเคมีต่างๆ ในดิน

[*] Corresponding author: Tel.: 094-7598123. E-mail address: iamalongkorn31@gmail.com

ทำให้ได้พืชผักที่มีความสะอาดมาเป็นอาหาร ในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์จำเป็นต้องใช้การหมุนเวียนน้ำในการปลูกผัก ซึ่งจะต้องใช้ปั้มน้ำที่มีพลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน [6] ทั้งนี้ปัญหาทางด้านวิกฤตพลังงาน หลายประเทศให้ความสำคัญต่อการจัดการด้านพลังงาน เพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประชากรที่มีเพิ่มขึ้นทุกวัน โดยเฉพาะประเทศไทย เป็นเมืองเกษตรกรรม

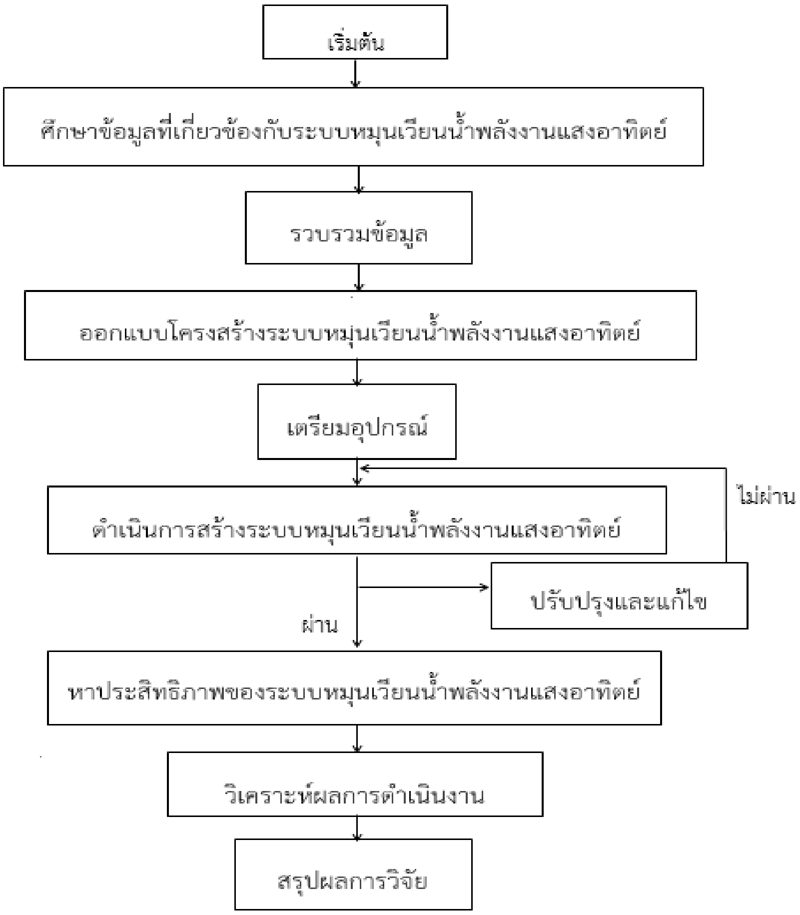
จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำพลังงานทดแทนคือ พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานสะอาด เกิดขึ้นจากธรรมชาติและสามารถหมุนเวียนได้ พลังงานที่ได้จากน้ำถือเป็นพลังงานสะอาดไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้ทั่วโลกหันมาส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานน้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้ามากขึ้นทางคณะผู้วิจัยจึงนำเข้ามาพลังงานดังกล่าวใช้ร่วมกับระบบการปลูก ผักไฮโดรโปนิกส์ โดยการเปลี่ยนมาใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ช่วยในการผลิตกระแสไฟฟ้า แทนการใช้กระแสไฟฟ้าภายในบ้าน เพื่อลดการใช้ไฟฟ้าสิ้นเปลือง งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการสร้างระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ที่สามารถปลูกแบบคอนโดและสามารถเคลื่อนที่ได้ ในรูปแบบของระบบน้ำวนได้ตลอด โดยใช้งานสวิตซ์ลูกลอยไฟฟ้า เพื่อเป็นการให้น้ำเป็นตัวควบคุมการสั่งการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำในระบบนั้นจะนำเบรกเกอร์มาสั่งการควบคุมเปิดปิดกระแสไฟฟ้าถังสารน้ำในเวลา และใช้สวิตซ์ลูกลอยตั้งการทำงานปั้มน้ำคอยสั่งการไม่ให้ปั้มน้ำไหลขึ้นสู่ถังบนอยู่ตลอดเวลา

วิธีการวิจัย

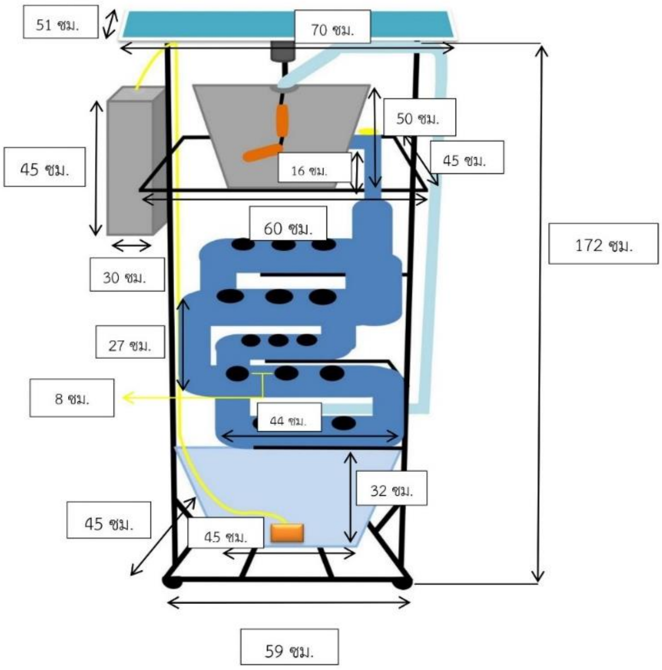
การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำออกแบบโครงสร้างการพัฒนาระบบหมุนเวียนน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ให้เกิดประโยชน์ในด้านการลดใช้ไฟฟ้า [7] หันมาใช้พลังงานทดแทนเพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้งานและเป็นประโยชน์ให้มากยิ่งขึ้นผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. วิธีการดำเนินงานวิจัย
2. การออกแบบ
3. ส่วนประกอบของระบบหมุนเวียนน้ำพลังงานแสงอาทิตย์
4. เครื่องมือและอุปกรณ์
5. ขั้นตอนการสร้างชุดปลูกไฮโดรโปนิกส์
6. แสดงการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ขนาดแผง50w
7. แสดงการติดตั้งตู้คอลโทรล
8. แสดงการการประกอบชุดปลูกไฮโดรโพนิกส์ที่สร้างเสร็จ

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



การออกแบบ



ภาพที่ 1 แสดงส่วนประกอบของระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การหาประสิทธิภาพของระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยของการชาร์จกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์เข้าสู่แบตเตอร์รี่

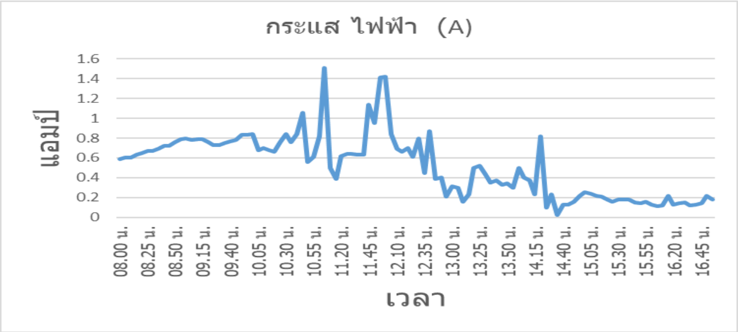
สถานที่ทำการทดลอง

บริเวณชั้นดาดฟ้าของตึกคณะเทคโน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร 69 หมู่ 1 ต.นครชุม อ.เมือง จ.กำแพงเพชร 62000

ตารางที่ 1 ข้อมูลค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าในระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ระหว่างเวลา 08.00-16.55 น. วันที่ 11-13 กันยายน พ.ศ. 2562

เวลา	กระแสไฟฟ้า (A)	เวลา	กระแสไฟฟ้า (A)	เวลา	กระแสไฟฟ้า (A)	เวลา	กระแสไฟฟ้า (A)	เวลา	กระแสไฟฟ้า (A)	เวลา	กระแสไฟฟ้า (A)
08.00	0.59	09.30	0.73	11.00	0.82	12.30	0.80	14.00	0.50	15.30	0.18
08.05	0.60	09.35	0.75	11.05	1.51	12.35	0.45	14.05	0.40	15.35	0.18
08.10	0.60	09.40	0.77	11.10	0.50	12.40	0.87	14.10	0.37	15.40	0.18
08.15	0.63	09.45	0.78	11.15	0.39	12.45	0.39	14.15	0.23	15.45	0.15
08.20	0.65	09.50	0.83	11.20	0.62	12.50	0.40	14.20	0.82	15.50	0.14
08.25	0.67	09.55	0.83	11.25	0.64	12.55	0.21	14.25	0.10	15.55	0.16
08.30	0.67	10.00	0.84	11.30	0.64	13.00	0.31	14.30	0.23	16.00	0.13
08.35	0.69	10.05	0.68	11.35	0.63	13.05	0.30	14.35	0.02	16.05	0.11
08.40	0.72	10.10	0.70	11.40	0.63	13.10	0.16	14.40	0.13	16.10	0.12
08.45	0.72	10.15	0.68	11.45	1.14	13.15	0.23	14.45	0.13	16.15	0.22
08.50	0.76	10.20	0.66	11.50	0.95	13.20	0.50	14.50	0.16	16.20	0.13
08.55	0.79	10.25	0.76	11.55	1.41	13.25	0.52	14.55	0.22	16.25	0.14
09.00	0.80	10.30	0.84	12.00	1.42	13.30	0.43	15.00	0.25	16.30	0.15
09.05	0.78	10.35	0.76	12.05	0.84	13.35	0.35	15.05	0.24	16.35	0.12
09.10	0.79	10.40	0.84	12.10	0.69	13.40	0.37	15.10	0.22	16.40	0.13
09.15	0.79	10.45	1.06	12.15	0.66	13.45	0.33	15.15	0.21	16.45	0.14
09.20	0.76	10.50	0.56	12.20	0.70	13.50	0.34	15.20	0.18	16.50	0.22
09.25	0.73	10.55	0.61	12.25	0.61	13.55	0.30	15.25	0.16	16.55	0.18

จากตารางที่ 1 พบว่าค่ากระแสไฟฟ้า (A) เฉลี่ยมากที่สุด 1.51 A ค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด 0.11 A ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า (A) รวม 0.52 A ดังภาพที่ 2

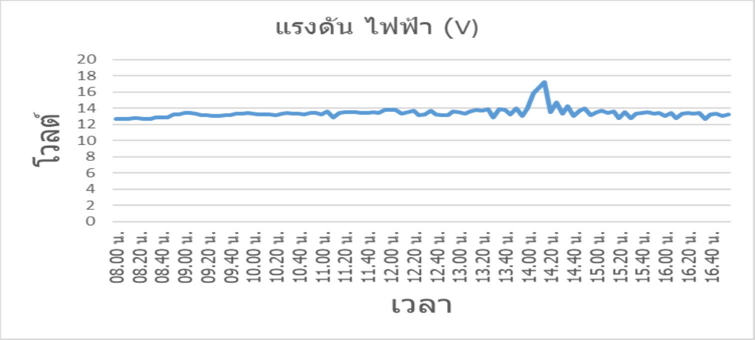


ภาพที่ 2 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าในระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ระหว่างเวลา 08.00-16.55 วันที่ 11-13 กันยายน พ.ศ. 2562

ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าในระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ระหว่างเวลา 08.00-16.55 น. วันที่ 11-13 กันยายน พ.ศ. 2562

เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)
08.00	12.7	09.30	13.0	11.00	13.2	12.30	13.2	14.00	14	15.30	12.8
08.05	12.7	09.35	13.1	11.05	13.6	12.35	13.7	14.05	15.8	15.35	13.3
08.10	12.7	09.40	13.1	11.10	12.9	12.40	13.2	14.10	16.6	15.40	13.4
08.15	12.8	09.45	13.3	11.15	13.4	12.45	13.1	14.15	17.2	15.45	13.5
08.20	12.8	09.50	13.3	11.20	13.5	12.50	13.1	14.20	13.5	15.50	13.3
08.25	12.7	09.55	13.4	11.25	13.5	12.55	13.6	14.25	14.7	15.55	13.4
08.30	12.7	10.00	13.3	11.30	13.5	13.00	13.5	14.30	13.3	16.00	13.0
08.35	12.9	10.05	13.2	11.35	13.4	13.05	13.3	14.35	14.3	16.05	13.4
08.40	12.9	10.10	13.2	11.40	13.4	13.10	13.6	14.40	13.0	16.10	12.8
08.45	12.9	10.15	13.2	11.45	13.5	13.15	13.8	14.45	13.7	16.15	13.3
08.50	13.2	10.20	13.1	11.50	13.4	13.20	13.7	14.50	14.0	16.20	13.4
08.55	13.2	10.25	13.3	11.55	13.8	13.25	13.9	14.55	13.1	16.25	13.3
09.00	13.4	10.30	13.4	12.00	13.8	13.30	12.9	15.00	13.5	16.30	13.4
09.05	13.4	10.35	13.3	12.05	13.8	13.35	13.9	15.05	13.7	16.35	12.7
09.10	13.3	10.40	13.3	12.10	13.3	13.40	13.8	15.10	13.4	16.40	13.2
09.15	13.1	10.45	13.2	12.15	13.5	13.45	13.2	15.15	13.6	16.45	13.3
09.20	13.1	10.50	13.4	12.20	13.7	13.50	14.0	15.20	12.8	16.50	13.0

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้า (V) เฉลี่ยมากที่สุด 17.2 V ค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด 12.7 V ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (V) รวม 13.41 V ดังภาพที่ 3

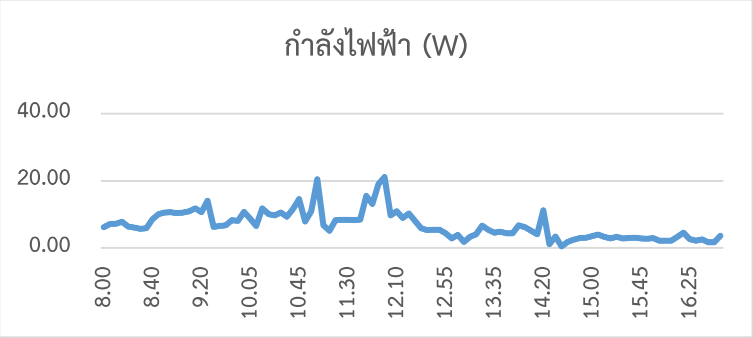


ภาพที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าในระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ระหว่าง เวลา 08.00-16.55 วันที่ 11-13 กันยายน พ.ศ. 2562

ตารางที่ 3 ข้อมูลค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้า (W) ในระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ระหว่าง เวลา 08.00-16.55 น. วันที่ 11-13 กันยายน พ.ศ. 2562

เวลา	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลา	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลา	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลา	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลา	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลา	กำลังไฟฟ้า (W)
08.00	6.22	09.30	14.04	11.00	10.96	12.30	8.05	14.00	6.72	15.30	2.82
08.05	7.11	09.35	6.29	11.05	20.40	12.35	5.89	14.05	6.16	15.35	2.93
08.10	7.24	09.40	6.55	11.10	6.71	12.40	5.28	14.10	5.15	15.40	3.08
08.15	7.81	09.45	6.78	11.15	5.09	12.45	5.37	14.15	4.13	15.45	2.84
08.20	6.40	09.50	8.25	11.20	8.24	12.50	5.37	14.20	11.21	15.50	2.79
08.25	6.10	09.55	8.04	11.25	8.37	12.55	4.35	14.25	1.18	15.55	2.95
08.30	5.72	10.00	10.77	11.30	8.37	13.00	2.84	14.30	3.46	16.00	2.21
08.35	5.93	10.05	8.71	11.35	8.31	13.05	3.86	14.35	0.43	16.05	2.14
08.40	8.51	10.10	6.60	11.40	8.44	13.10	1.77	14.40	1.82	16.10	2.18
08.45	10.06	10.15	11.75	11.45	15.53	13.15	3.31	14.45	2.47	16.15	3.33
08.50	10.56	10.20	10.09	11.50	13.13	13.20	4.11	14.50	2.94	16.20	4.56
08.55	10.69	10.25	9.71	11.55	19.04	13.25	6.67	14.55	3.01	16.25	2.66
09.00	10.32	10.30	10.59	12.00	21.11	13.30	5.42	15.00	3.51	16.30	2.14
09.05	10.59	10.35	9.31	12.05	9.66	13.35	4.59	15.05	3.97	16.35	2.54
09.10	10.91	10.40	11.57	12.10	10.91	13.40	4.83	15.10	3.35	16.40	1.72
09.15	11.79	10.45	14.52	12.15	8.91	13.45	4.36	15.15	2.86	16.45	1.73
09.20	10.61	10.50	7.91	12.20	10.28	13.50	4.34	15.20	3.33	16.50	3.64

จากตารางที่ 3 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้า (W) เฉลี่ยมากที่สุด 21.11 W ค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด 0.43 W ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า (W) รวม 6.80 W ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้า (W) ในระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ระหว่างเวลา 08.00-16.55 วันที่ 11-13 กันยายน พ.ศ. 2562

สรุปผลการวิจัย

1. จากการออกแบบระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย แผงโซล่าเซลล์ขนาด 50 W ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ปั้มน้ำ DC 12V รุ่น 1100 GPH คอยทำหน้าที่ในการสูบน้ำเพื่อหมุนเวียนน้ำในการล่อเลี้ยงผักไฮโดรโปนิกส์ กล่องควบคุมที่ภายในกล่องประกอบด้วย Charge Controller, Breaker, Battery และดิจิตอล LED มิเตอร์วัดเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ ในการควบคุมการชาร์ต การทำงานของระบบไฟฟ้า และมีสวิทซ์ลูกลอยควบคุมระดับน้ำรุ่น ST70-AB คอยควบคุมระดับน้ำในถังเก็บน้ำ ให้อยู่ในตำแหน่งสูงหรือต่ำตามต้องการสามารถใช้ต่อตรงได้กับปั้มของระบบหมุนเวียนน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ แบบเตอรรี่ขนาด 50 Ah คอยกักเก็บประจุไฟฟ้าสำหรับใช้เวลาที่แดดอ่อน หรือ ในกลางคืนที่ไม่มีแสงแดด และชุดปลูกผักสำหรับปลูกผักไฮโดรโปนิกส์จำนวน 18 ต้น ระบบหมุนเวียนน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จะทำงาน 1 นาที และ เว้น 13 นาที โดยมีสวิทซ์ลูกลอยควบคุมระดับน้ำคอยควบคุมระดับน้ำในถังเก็บน้ำสามารถปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ได้

2. จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์พบว่าค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า (A) รวม 0.52 A ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้า (V) รวม 13.41 V และค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้า (W) รวม 6.80 W ซึ่งสามารถเปิดใช้งานได้ 24 ชั่วโมง/วัน ระบบหมุนเวียนน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์สูบน้ำ 2,400 ลิตร/ชั่วโมง แบตเตอรี่สามารถทำงานได้ 8.3 ชั่วโมง เมื่อเวลาที่แดดอ่อน หรือไม่มีแสงแดดในเวลากลางคืน และแผงโซล่าเซลล์สามารถทำการชาร์ตแบตเตอรี่ให้เต็มได้ภายใน 1 วัน ทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพทั้งกลางวันและกลางคืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทพ เกื้อทวีกุล ผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้า ที่สละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษาแนะนำ และให้แนวคิดเกี่ยวงานวิจัย รวมถึงผู้เกี่ยวข้อง ที่สละเวลาพร้อมทั้งให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อวิจัยจนทำให้วิจัยเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บข้อมูลงานวิจัยและสนับสนุนให้ข้อมูลในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณร้านโอกะต่ายเอื้อเฟื้อผักในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ และให้คำแนะนำวิธีการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ เวลาใส่ปุ๋ยและให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดจนงานวิจัยสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

[1] การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์. 2561. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://plantshydroponic.wordpress.com/2018/09/27/ (28 สิงหาคม 2562)

[2] ไกรสร วอนแม้ 2560. ระบบควบคุมการให้สารอาหารสาหรับปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบน้ำบาง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกาแพงแสน

[3] ชัยอาทิตย์ อิ่นคำ และโสระยา ร่วมรังสี. 2557. ผลของการใช้สารสกัดชีวภาพเป็นแหล่งของธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดที่ปลูกในระบบไฮโดรพอนิกส์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[4] ธัชกร อ่อนบุญเอื้อ. 2557. ระบบควบคุมสารละลายอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชวิธีไฮโดรโปนิกส์. มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย

[5] วิทยา ปัญญากาศ. 2560. การสร้างและหาประสิทธิภาพระบบควบคุมสภาพแวดล้อมของการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ. วิทยาลัยเทคนิคลำปาง

[6] ศุภฤกษ์ เชาวลิตตระกูล. 2560. ระบบปลูกผักสลัดไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ. มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

[7] Medthai. 2560. 24 ประโยชน์ของผักไฮโดรโปนิกส์ ! (Hydroponics). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://medthai.com/ (27 สิงหาคม 2562)

การอบแห้งอินทผลัมด้วยรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มลมร้อน

Date Palm Drying Using Combined Far-infrared radiation and Heat Pump Dryer

ศักดิ์ชัย ดรดี[1*] กมลรักษ์ แก้งคำ[2] สุจินดา โชคบำรุง[3] กฤษ ดอนดี[3] และ พีระพล บุตรเขียว[3]

[1] สาขาวิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ชัยภูมิ 36000

[2] สาขาวิศวกรรมการผลิต โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ชัยภูมิ 36000

[3] นักศึกษาสาขาวิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ชัยภูมิ 36000

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ (สี ความเหี่ยวย่น รสชาติ) ของอินทผลัมอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มลมร้อน อินทผลัมที่ใช้ในการอบแห้งสายพันธุ์เดกเล็ท นัวร์ (Deglet Nour) ความเข้มของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวที่ใช้ในการอบแห้งแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 667.08 W/m^2, 748.34 W/m^2 และ 836.81 W/m^2 อุณหภูมิและความเร็วลมก่อนเข้าห้องอบแห้งคงที่ที่ 40 $^{\circ}$C และ 0.3 m/s ตามลำดับ ก่อนการอบแห้งจะมีการเตรียมอินทผลัม 2 วิธี คือ 1) การอบแห้งด้วยผลสด 2) การลวกด้วยน้ำเดือด จากผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งด้วยผลสดทำให้อินทผลัมอบแห้งมีรสชาติฝาด ผิวเหี่ยวย่นมีสีน้ำตาลไหม้ ซึ่งไม่ใกล้เคียงกับอินทผลัมที่ขายตามท้องตลาด หากพิจารณาผลจากการลวกด้วยน้ำเดือด 20 วินาที (เกลือ 1 ช้อนโต๊ะและน้ำส้มสายชู 1 ช้อนโต๊ะ) พบว่า ที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว 836.81 W/m^2 เวลาของการอบแห้ง 120 นาที อินทผลัมที่ผ่านกระบวนการอบแห้งจะมีรสชาติหวาน ผิวนิ่มและมีที่ที่คล้ายกับที่ขายตามท้องตลาด หากใช้ระยะการอบแห้งนานขึ้นจะทำให้อินทผลัมเหี่ยวย่นและมีสีน้ำตาลเข้มถึงไหม้

คำสำคัญ: อินทผลัมอบแห้ง รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว เครื่องอบแห้งแบบปั๊มลมร้อน

บทนำ

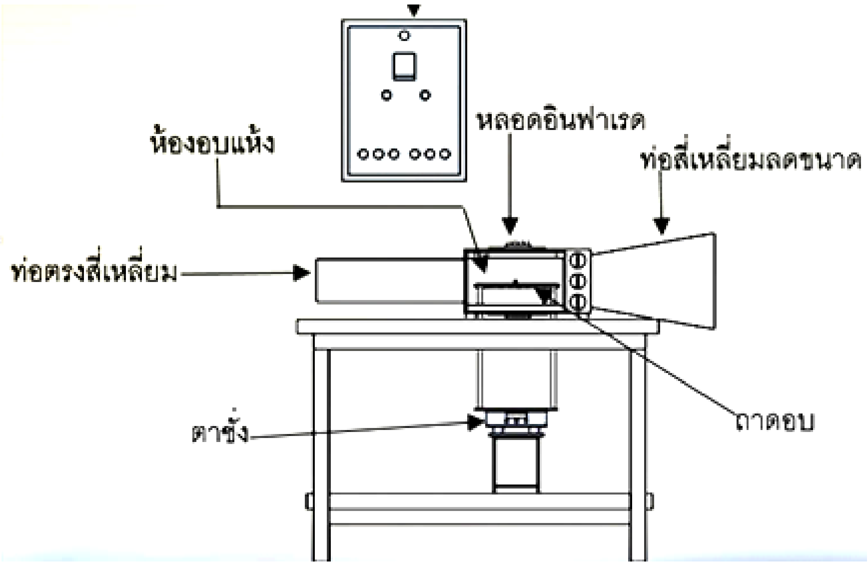
อินทผลัมมีชื่อภาษาอังกฤษว่า Date Palm และมีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า Phoenix dactylifera เป็นพืชในตระกูลปาล์มชนิดหนึ่ง มีหลากหลายพันธุ์ มีถิ่นกำเนิดในแถบตะวันออกกลาง สามารถเจริญเติบโตได้ดีในภูมิภาคที่มีอากาศร้อนและแห้งแล้งแบบทะเลทราย โดยผู้ผลิตอินทผลัมรายใหญ่ได้แก่ ซาอุดีอาระเบีย แอลจีเรีย และประเทศในแถบอาหรับ อินทผลัมมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น ช่วยบำรุงกระดูกและฟันให้แข็งแรง ช่วยบำรุงตับอ่อนรักษาโรคเบาหวาน ช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางเพศ ช่วยในการแก้กระหาย แก้อาการเจ็บคอ เป็นต้น อินทผลัมมีฤดูกาลเก็บเกี่ยวที่สั้น ไม่สามารถออกผลให้เก็บเกี่ยวได้ตลอดทั้งปีผลผลิตที่ออกมาในช่วงเก็บเกี่ยวนั้นมีจำนวนมาก เกินความต้องการของผู้บริโภคอีกทั้งอายุของผลผลิตก็ไม่ยาวนาน จึงทำให้ผลผลิตบางส่วนที่จำหน่ายไม่หมดเกิดความเสียหาย และราคาจำหน่ายในฤดูกาลลดลง เพราะในช่วงเก็บเกี่ยวอินทผลัมนั้นจะมีอินทผลัมจำนวนมากจนล้นตลาด ทำให้ราคาอินทผลัมตามฤดูกาลมีราคาตกต่ำ การอบแห้งแบบปั๊มลมร้อนเป็นวิธีที่ได้รับความสนใจและนำมาพัฒนาประยุกต์ใช้ในการบวนการถนอมอาหาร เพราะสามารถทำงานที่อุณหภูมิอบแห้งและความชื้นสัมพันธ์ของอากาศต่ำ [1] [2] [3] [4] [5]

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น โครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะได้ศึกษากระบวนการอบแห้งอินทผลัมโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดภายใต้การแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวร่วมกับการพาอากาศร้อน

[*] Corresponding author: Tel.: 063-7650875. E-mail address: ss_sukchai@hotmail.com

วิธีการวิจัย

อินทผลัมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือสายพันธุ์เดกเล็ท นัวร์ (Deglet Nour) โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งมีอุปกรณ์หลักประกอบด้วย ห้องอบแห้ง ชุดแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว ขดลวดความร้อน พัดลม Eyaportator Condenser Compressor และ Expansion value เงื่อนไขของการอบแห้งที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว 667.08 W/m^2, 748.34 W/m^2, 836.81 W/m^2 อุณหภูมิและความเร็วลมก่อนเข้าห้องอบแห้งคงที่เท่ากับ 40 $^{\circ}$C และ 0.3 m/s ตามลำดับ เมื่ออินทผลัมผ่านกระบวนการอบแห้งจนน้ำหนักของอินทผลัมไม่มีการเปลี่ยนแปลงแล้วจะถูกนำไปเปรียบเทียบคุณภาพทางด้านกายภาพกับอินทผลัมอบแห้งที่มีขายตามท้องตลาด เช่น สี รส และความเหี่ยวย่น การเตรียมผลอินทผลัมสดก่อนการอบแห้งมี 2 วิธี คือ อินทผลัมสดปราศจากการลวก และอินทผลัมลวกด้วยน้ำเดือน 20 วินาที (น้ำเกลือ 1 ช้อนโต๊ะและน้ำส้มสายชู 1 ช้อนโต๊ะ)



(ก) ห้องอบแห้ง

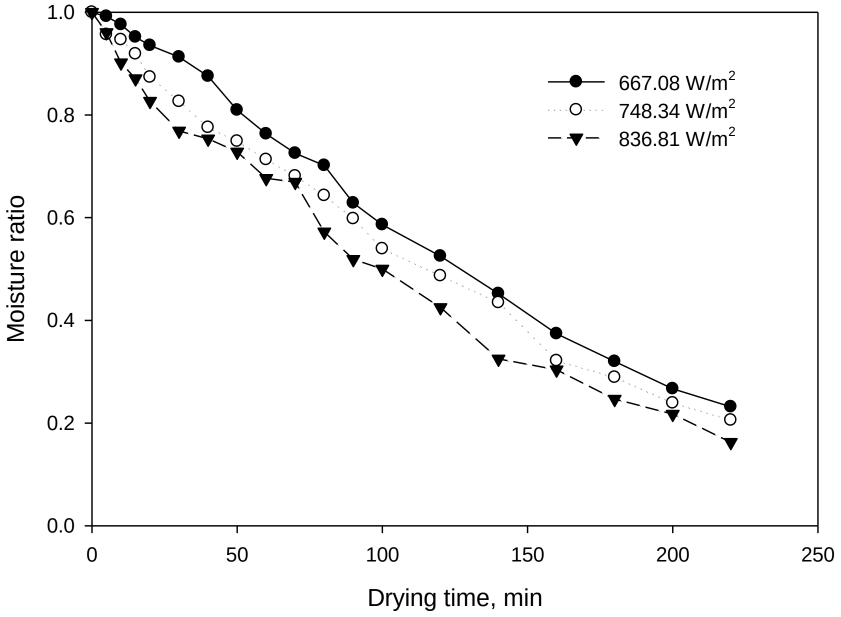
(ข) เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. อินทผลัมปราศจากการลวก

จากผลการทดลองการอบแห้งผลอินทผลัมที่ไม่ผ่านกระบวนการลวก ภายใต้การอบแห้งที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวที่ 667.08 W/m^2, 748.34 W/m^2, 836.81 W/m^2 พบว่า เมื่อความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดเพิ่มมากขึ้นสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ต่ำ ด้วยคุณสมบัติของรังสีอินฟราเรดสามารถทะลุทะลวงเข้าไปภายในผลของอินทผลัม ทำให้โมเลกุลของน้ำภายในเกิดการสั่นและมีอุณหภูมิที่สูง จึงทำให้ประสิทธิภาพการแพร่ความชื้นจากภายในมายังผิวของผลอินทผลัมได้เร็วขึ้น ลักษณะทางกายภาพด้านสีจะพบว่า เมื่อเวลาของการอบแห้งเพิ่มมากขึ้นจะทำให้มีสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 1 เนื่องอาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์กับกรดแอมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ โดยมีความร้อนเร่งปฏิกิริยา [5] หากพิจารณาความเหี่ยวย่นของผิวจะพบว่า ผิวจะมีความเหี่ยวย่นมากขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีอินฟราเรดและเวลาของการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น และส่งผลให้เนื้อภายของอินทผลัมลดลงติดกับเปลือกมีลักษณะแข็งและมีรสชาติออกฝาด และจากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับอินทผลัมที่มีขายตามท้องตลาดพบว่า ที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรด 836.81 W/m^2 และเวลาของการอบแห้งประมาณ เวลา 120 - 180 นาที เป็นช่วงที่มีความใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์จริง แต่ในทุกการทดลองนั้นหลังการจากการอบแห้งแล้วผลที่ได้ยังมีรสชาติฝาด



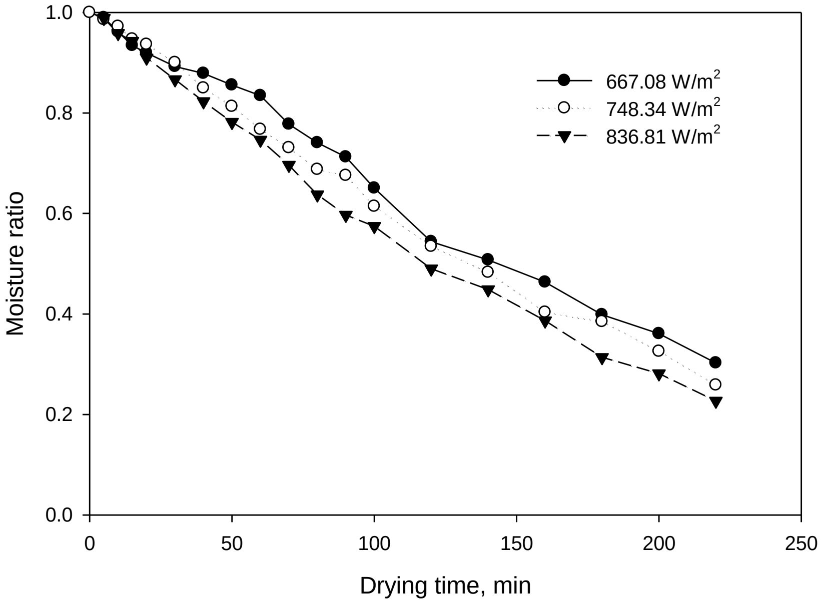
ภาพที่ 2 อิทธิพลของความเข้มต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้น (อินทผลัมไม่ผ่านกระบวนการลวก)

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของอินทผลัมที่ไม่ผ่านกระบวนการลวก ภายใต้ระยะเวลาของการอบแห้งที่แตกต่างกัน ที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรด 836.81 W/m^2

ระยะเวลาของการอบแห้ง						
ผลสด	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min	210 min

2. อินทผลัมที่ผ่านกระบวนการลวกน้ำเดือด

จากผลการทดลองการอบแห้งผลอินทผลัมที่ผ่านกระบวนการลวกด้วยน้ำเดือนที่มีการเติมเกลือ 1 ช้อนโต๊ะ และน้ำส้มสายชู 1 ช้อนโต๊ะ หลังจากนั้นให้แช่น้ำเดือดทันทีก่อนที่จะนำไปทำการอบแห้งภายใต้การอบแห้งที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวที่ 667.08 W/m^2, 748.34 W/m^2, 836.81 W/m^2 พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มของรังสีอินฟราเรดและเวลาของการอบแห้งเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3 ลักษณะของการลดลงจะเป็นแบบคงที่ ซึ่งการลวกด้วยน้ำเดือนที่มีการเติมเกลือ 1 ช้อนโต๊ะ และน้ำส้มสายชู 1 ช้อนโต๊ะ จะทำให้ผิวนิ่ม เนื้อของอินทผลัมจะสุก การเติมเกลือและน้ำส้มสายชูจะส่งผลต่อรสชาติสม่ำเสมอ [6] การอบแห้งอินทผลัมที่ผ่านกระบวนการลวกจะมีความหวานมากกว่าอินทผลัมที่ไม่ผ่านกระบวนการอบแห้ง สีผิวและเนื้อสัมผัสที่ดี โดยลักษณะทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 2



ภาพที่ 3 อิทธิพลของความเข้มต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้น (อินทผลัมที่ผ่านกระบวนการลวก)

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของอินทผลัมที่ผ่านกระบวนการลวกด้วยน้ำเดือด 20 วินาที่ ภายใต้ระยะเวลาของการอบแห้งที่แตกต่างกัน ที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรด 836.81 W/m^2 W/m^2

ระยะเวลาของการอบแห้ง						
ผลสดหลังลวก	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min	210 min

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการทดลองการอบแห้งอินทผลัมด้วยอบแห้งแบบปั๊มความร้อนร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวที่มีความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่แตกต่างกัน และมีกระบวนการเตรียมอินทผลัมการอบแห้งที่แตกต่างกัน พบว่า ที่ความเข้มของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวที่ 836.81 W/m^2 เวลาของการอบแห้ง 120 นาที และมีการลวกน้ำเกลือและน้ำส้มสายชูเป็นเวลา 20 วินาที จะส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของอินทผลัมใกล้เคียงกับที่วางขายตามท้องตลาด และมีรสชาติหวาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่การทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] เอกกฤษ แก้วเจริญ. (2561). ผลของความเร็วลมต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน**. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิน.** 21 (3), 158-166.

[2] Soponronnarit, S. and Achariyaviriya, S. (2000). Drying of Vegetable and Fruits with Heat Pump Dryer. **The Journal of the Royal Society of Thailand.** 25 (2), 182-196.

[3] Aktas, M., Khanlari, A., Amini, A. and Sevik, S. (2017). Performance Analysis of Heat Pump and Infrared-Heat Pump Drying of Grated Carrot using Energy-Exergy Methodology. **Energy Conversion and Management.** 132, 327-338.

[4] Norhaida, H., Ahmad, T., Siti, M T., W, L A., Masli I R., Law, C H. (2019). Comparison of drying kinetics and product quality from convective heat pump and solar drying of Roselle calyx. **Food and Bioprocucts Processing.** 118, 40-49.

[5] พรพิมล ม่วงไทย. (2557). การศึกษาการเกิดไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัลดีไฮด์จากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันและปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระบบต้นแบบ. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)**. 6 (12). 59-76.

[6] ขั้นตอนตากแห้ง 3 เตรียมพื้นที่-อุปกรณ์ และการลวกน้ำร้อนก่อนตากแห้ง. สืบค้นเมื่อ 30 กันยายน 2562, จาก https://www.youtube.com/watch?v=XeTmU6Acw44

การประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวสำหรับอบแห้งข้าวนึ่งกล้องด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสชน
Application of Far-infrared radiation for Parboiled brown rice drying with Impinging Stream Dryer

กมลรักษ์ แก้งคำ[1*] ศักดิ์ชัย ดรดี[2] และ กฤษ ดอนดี[3]
[1] สาขาวิศวกรรมการผลิต โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ชัยภูมิ 36000
[2] สาขาวิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ชัยภูมิ 36000
[3] นักศึกษาสาขาวิศวกรรมเครื่องกล โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ชัยภูมิ 36000

บทคัดย่อ
บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวสำหรับอบแห้งข้าวนึ่งกล้องด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสชน ตัวแปรของการศึกษาประกอบด้วยระยะห่างระหว่างผิวหลอดของหลอดรังสีอินฟราเรดกับระนาบการชนที่ 3 6 และ 9 cm ความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวที่ 1,018 W/m^2 3,081 W/m^2 และ 6,737 W/m^2 อุณหภูมิและความเร็วลมก่อนเข้าห้องอบแห้งที่ 70 ℃ และ 27 m/s ตามลำดับ ความชื้นเริ่มต้นของข้าวหอมมะลินึ่งกล้องประมาณ 43.433 %d.b. จากผลการทดลอง พบว่า ระยะห่างในการติดตั้งรังสีอินฟราเรด 3 cm ความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ 6,737 W/m^2 ส่งผลให้ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวที่ดีที่สุดได้แก่ ข้าวมีเมล็ดที่สมบูรณ์ สีขาวปนเหลือง ผิวของเมล็ดข้าวไม่เกิดการลอก ไม่มีการร้าวของเมล็ดข้าว เปอร์เซ็นต์การหักของเมล็ดไม่เกินร้อยละ 3 สำหรับผลการการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดพบว่าสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งแบบกระแสชน อินฟราเรด ข้าวหอมมะลินึ่งกล้อง

บทนำ
ข้าวนึ่งเป็นสินค้าส่งออกข้าวที่สำคัญของไทย และมีปริมาณการผลิตเป็น 1 ใน 4 ของปริมาณข้าว ทั้งหมดที่ผลิตได้ทั่วโลก [1] โดยมีขั้นตอนประกอบด้วย การแช่ การบ่ม การนึ่งทั้งเปลือก การอบแห้ง การกะเทาะแบบไม่ขัดสี สำหรับการลดการลดความชื้นหรือการอบแห้งสามารถทำไดหลายวิธี เชน เครื่องอบแหงแบบโรตารี [2] หรือ เครื่องอบแหงแบบฟลูอิไดซเบด [3] เป็นต้น ซึ่งเครื่องอบแหงที่กลาวมาจะใชพลังงานมากและเวลานาน เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงมีนักวิจัยได้นำหลักการของระบบกระแสชนมาประยุกต์ใช้ เพื่อเปนการลดการใชพลังงานและลดเวลาในการอบแหง ซึ่งเหมาะกับการอบแห้งวัสดุอนุภาคที่มีความชื้นที่ผิวสูง [4] [5] โดยพฤติกรรมคือการนำกระแสของไหลสองกระแสหรือมากกว่าที่มีอุณหภูมิและความเร็วสูงโดยมีทิศทางตรงกันข้ามมาชนกัน ซึ่งในบริเวณการชนจะมีความปั่นป่วนสูง ทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในอัตราที่สูง ดังนั้นความชื้นของอนุภาคจึงระเหยออกไปอย่างรวดเร็วส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้งโดยส่วนใหญ่จะใช้อากาศร้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว ระยะห่างของการติดตั้งและจำนวนรอบของการอบแห้งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นและลักษณะทางกายภาพของข้าวนึ่งกล้อง

[*] Corresponding author: Tel.: 089-8447908. E-mailaddress:kamonrak11@gmail.com

วิธีการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการอบแห้งข้าวหอมมะลินึ่งกล้อง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบกระแสชนร่วมกับรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว ดังแสดงในภาพที่ 1 ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ระยะห่างระหว่างผิวหลอดของหลอดรังสีอินฟราเรดกับระนาบการชนที่ 3 6 และ 9 cm ความเข้มของการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวที่ 1,018 W/m^2 3,081 W/m^2 และ 6,737 W/m^2 อุณหภูมิและความเร็วลมก่อนเข้าห้องอบแห้งที่ 70 °C และ 27 m/s ตามลำดับ ความชื้นเริ่มต้นของข้าวหอมมะลินึ่งกล้องประมาณ 43.433 %d.b. ในแต่ละเงื่อนไขการทดลองจะทำการอบแห้งจำนวน 5 รอบ การหาค่าความชื้นของข้าวหอมมะลินึ่งกล้องโดยการนำตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อนที่ อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 h (AOAC, 1985) [6] สำหรับการหาค่าความชื้นอัตราการระเหยของน้ำ และเปอร์เซ็นการแตกหักของเมล็ดข้าวของข้าวหอมมะลินึ่งกล้อง สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 1-3 ตามลำดับ

ค่าความชื้น

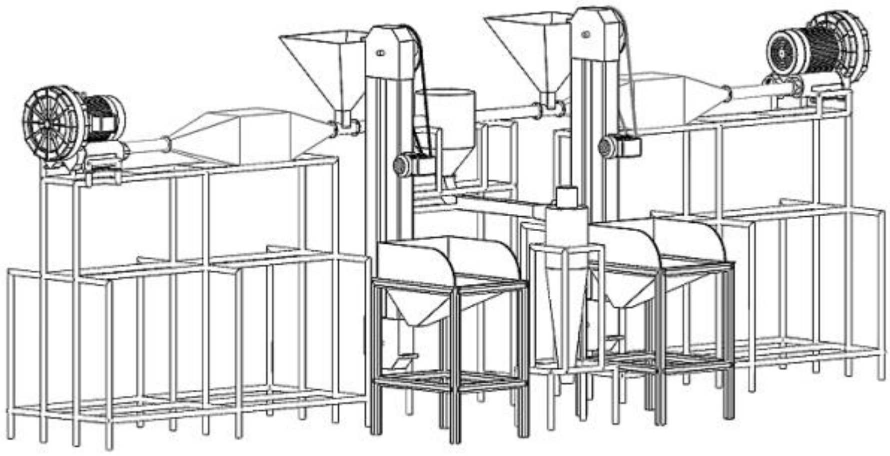
$$M_d = \frac{(w-d)}{d} \times 100\% \qquad (1)$$

อัตราการระเหยของน้ำเชิงปริมาตร [7]

$$N_v = \frac{W_p \ (X_i - X_e)}{V_r} \qquad (2)$$

เปอร์เซ็นการแตกหักของเมล็ดข้าว

$$r = \frac{w-m}{u} \qquad (3)$$



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบกระแสชนร่วมกับรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว (1) Drying Chamber (2) Pipe (3) Hopper (4) Heater (5) Globe Valve (6) High Pressure Blower (7) Cyclone

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. อิทธิพลของตัวแปรต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวหอมมะลินึ่งกล้อง

จากการอบแห้งข้าวหอมมะลินึ่งกล้องที่อุณหภูมิก่อนเข้าห้องอบแห้ง 70°C ความเร็วลม 27 m/s ระยะห่างของหลอดรังสีอินฟราเรด 3 6 และ 9 cm ที่ระดับความเข้มรังสีอินฟราเรดเท่ากัน พบว่า ระยะห่าง 3 cm สามารถลดความชื้นได้มากกว่าที่ 6 และ 9 cm ตามลำดับจาก 43.433 %d.b. เป็น 33.971 %d.b. (3cm) 35.011 %d.b. (6cm) และ 36.271 %d.b. (9cm) เนื่องจากความเข้มข้นของรังสีจะมีมากกว่าสามารถทะลุทะลวงเข้าไปภายในผิวของเมล็ดมากกว่า หากพิจารณาจากความเข้มของรังสีอินฟราเรด 1,018 W/m^2 3,081 W/m^2 และ 6,737 W/m^2 พบว่า ที่ระดับความเข้มรังสีอินฟราเรด 6,737 W/m^2 สามารถลดความชื้นได้ดีกว่า 1018.42 W/m^2 และ 3081.27 W/m^2 จากความชื้นเริ่มต้น 43.433 %d.b. เป็น 33.971 %d.b. 34.77 %d.b. และ 35.462 %d.b. เพราะว่าเมื่อความเข้มของรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในอากาศก็จะเพิ่มขึ้นทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนและอุณหภูมิผิวของวัสดุเพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสารจากบริเวณผิวของเมล็ดข้าวเปลือกออกสู่อากาศนั้นมีอัตราที่สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำที่บริเวณผิวของข้าวเปลือกเพิ่มมากขึ้นเมล็ดข้าวก็จะมีความชื้นลดลง [1] พิจารณาจากจำนวนรอบในการอบแห้งทั้งหมด 5 รอบ พบว่า การอบแห้งทั้ง 5 มีการลดความชื้นที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 1 ตัวแปรการอบแห้งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปรงความชื้น

ความเข้มของรังสีอินฟราเรด (W/m^2)	**ระยะห่างของหลอด (cm)**	**ความชื้น (%d.b.)**				
		1	**2**	**3**	**4**	**5**
1018	3	41.96	39.32	37.82	36.76	35.46
	6	42.20	40.13	38.51	37.12	36.45
	9	42.15	40.52	38.91	37.96	37.11
3081	3	42.13	39.16	37.61	36.24	35.39
	6	42.34	39.97	38.13	36.95	36.31
	9	42.55	39.86	38.76	37.62	36.96
6737	3	42.24	38.99	37.51	36.02	35.10
	6	41.97	39.75	37.95	36.71	36.13
	9	42.13	39.54	38.13	37.41	36.42

2. อิทธิพลของตัวแปรต่ออัตราการระเหยของน้ำเชิงปริมาตร

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสามารถช่วยลดความชื้นได้ดีขึ้น เมื่อนำผลการทดลองที่อบแห้งที่อุณหภูมิละ 5 รอบมาวิเคราะห์ โดยผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตร ซึ่งค่าอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มของรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวและระยะห่างของหลอดรังสีอินฟราเรดกับระนาบของกระแสชนกล่าวคือ ค่าความเข้มของรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้นและระยะห่างของหลอดรังสีสั้นที่สุดจะสามารถทำให้อัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้น [2] ที่ความเข้ม 6737 W/m^2 และระยะห่าง 3 cm จะมีอัตราการระเหยน้ำเชิงปริมาตรมากที่สุด 2573.65 kg$_{water}$ / m^{3}h

ตารางที่ 2 ตัวแปรการอบแห้งที่มีผลต่ออัตราการระเหยของน้ำเชิงปริมาตร

ความเข้มของรังสีอินฟราเรด (W/m^2)	**ระยะห่างของหลอด (cm)**	**อัตราการระเหยของน้ำเชิงปริมาตร kg_{water} / m^3h**
1018	3	1844.23
	6	1663.46
	9	1552.32
3081	3	2334.25
	6	2145.56
	9	2032.25
6737	3	2573.65
	6	2453.25
	9	2212.54

3. อิทธิพลของตัวแปรต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวหอมมะลินึ่งกล้อง

จากการหาเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวหอมมะลินึ่งกล้อง พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การแตกหักน้อยมาก ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.25% - 3.10% เนื่องจากว่า ในระหว่างกระบวนการนึ่งทำให้แป้งเกิดเป็นเจลเคลือบผิวจึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การหักลดลง สำหรับข้าวที่แตกหักนั้นอาจเกิดจากความเค้นเนื่องจากอุณหภูมิ [8]

ตารางที่ 3 ตัวแปรการอบแห้งที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวหอมมะลินึ่งกล้อง

ความเข้มของรังสีอินฟราเรด (W/m^2)	**ระยะห่างของหลอด (cm)**	**เปอร์เซ็นต์การแตกหักของเมล็ดข้าวหอมมะลินึ่งกล้อง(%)**				
		1	**2**	**3**	**4**	**5**
1018	3	1.62	1.52	1.25	1.43	1.52
	6	1.45	1.32	1.25	1.23	1.14
	9	1.32	1.23	1.21	1.19	1.15
3081	3	1.75	1.85	1.93	2.10	2.13
	6	1.63	1.52	1.43	2.06	2.02
	9	1.45	1.32	1.33	1.94	1.98
6737	3	2.65	2.67	2.95	2.98	3.10
	6	2.52	2.63	2.71	2.85	3.02
	9	2.44	2.56	2.63	2.69	2.98

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการอบแห้งข้าวหอมมะลินึ่งกล้อง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบกระแสชนร่วมกับรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวที่มีระยะการติดตั้งหลอดรังสีอินฟราเรดที่แตกต่างกัน ที่มีระยะห่างแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 3 6 และ 9 cm ความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ 1,018 W/m^2 3,081 W/m^2 และ 6,737 W/m^2 อุณหภูมิก่อนเข้าห้องอบแห้งแบบกระแสชนที่ 70 °C ความเร็วลมก่อนเข้าห้องอบแห้ง 27 m/s พบว่า ติดตั้งอินฟราเรดที่ตำแหน่งห้องอบแห้ง ที่ระยะห่างในการติดตั้งรังสีอินฟราเรด 3 cm ความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ 6,737 W/m^2 จะทำให้ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดข้าวที่ดีที่สุดได้แก่ ข้าวมีเมล็ดที่สมบูรณ์ สีขาวปนเหลือง ผิวของเมล็ดข้าวไม่เกิดการลอก ไม่มีการร้าวของเมล็ดข้าว เปอร์เซ็นต์การหักของเมล็ดร้อยละ 3.10 ซึ่งเกิดขึ้นน้อยมากเนื่องจากในระหว่างการนึ่งจะส่งผลให้ข้าวเกิดเจลลาติไนต์เซชั่นเคลือบผิวที่มีรอยร้าวโดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kwanchai และคณะ [7] นอกจากนี้ยังพบว่าใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นซึ่งมีผลอย่างยิ่งต่อคุณภาพของข้าวนึ่งกล้อง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่การทดลอง

เอกสารอ้างอิง

[1] Saifullah, M.H.S., A.D. Suter and Y. Lan. (2004). Effects of processing conditions and environmental exposure on the tensile properties of parboiled rice. **Biosystems Engineering.** 89(3), pp. 321-330.

[2] Gianini R. L., Wagner A. S. C., Luiz M. M. J., Paulo R. P., Cid M. G. A., (2010). Dynamic modeling and control of soybean meal drying in a direct rotary dryer. **Food and Bioproducts Processing.** 88, 90-98.

[3] Susama Chokphoemphuna SuriyaChokphoemphunb. (2018). Moisture content prediction of paddy drying in a fluidized-bed drier with a vortex flow generator using an artificial neural network. **Applied Thermal Engineering.** 145, 630-636.

[4] ปฏิวัติ คมวชิรกุล สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา ธนิต สวัสดิ์เสวี และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2560). การจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกนึ่งในเครื่องอบแห้งแบบกระแสชนด้วยวิธี พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณร่วมกับวิธีเอลิเมนต์ไม่ต่อเนื่อง. **การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 18 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 10.** 317-322.

[5] Kudra, T., Mujumdar, A.S. 1989. Impingement stream dryers for particles and pastes. Drying **Technology.** 7, 219-266.

[6] AOAC 1985. Officila methods of analysis. Association of official analytical chemists, Washington DC.

[7] Kwanchai, C., Sakamon, D., Somchart, S., (2011). Comparative evaluation of performance and energy consumption of hot air and superheated steam impinging stream dryers for high-moisture particulate materials. **Applied Thermal Engineering**. 31. 3444-3452.

[8] นพพร พัชรประกิติ และคณะ.(2559). กระบวนการนึ่งและอบแห้งข้าวฮางงอกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับคลื่นอินฟราเรด, **วารสารวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลลานนา.**

การประยุกต์ใช้กังหันลมอัดอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมสีเขียว
Application of compressed air turbines for green industry

วรรนิภา พงษ์ไทยสงค์[1*] อำพล อาภาธนากร[2] วิรชัย โรยนรินทร์[3]

[1,2]สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) [1,3]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

ปัจจุบันองค์กรเอกชนขนาดใหญ่ให้ความสำคัญต่อการดำเนินธุรกิจโดยมุ่งเน้นการดำเนินงานที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และชุมชนให้น้อยที่สุด โดยส่วนใหญ่จะมีระบบการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมและลดการใช้พลังงานพร้อมทั้งให้ความสนใจด้านนวัตกรรมด้านพลังงานสำหรับการนำไปให้เพื่อประหยัดพลังงานและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกัน โดยสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ได้เปิดรับสมัครผู้สนใจขอรับการสนับสนุนในโครงการขยายผลนวัตกรรมนวัตกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมสีเขียว “ระบบกังหันลมอัดอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม” โดยมีความร่วมมือกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมที่สนใจและผ่านอนุมัติรับทุนสนับสนุนรวมทั้งสิ้น 12 ราย โดยคิดการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 21,060 หน่วยไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน คิดเป็นจำนวนเงิน 105,300 บาทต่อเดือน (อัตราค่าไฟฟ้า 5 บาทต่อหน่วย)

คำสำคัญ: กังหันลมอัดอากาศ อุตสาหกรรมสีเขียว

บทนำ

อุตสาหกรรมไทยในปัจจุบัน เป็นตัวแปรสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ อีกทั้งสามารถทำให้เกิดการจ้างงาน มีการเติบโต และเกิดความก้าวหน้าในการสร้างนวัตกรรมเทคโนโลยีในด้านต่างๆ แต่ขณะเดียวกันการเจริญเติบโตอย่างก้าวกระโดดของภาคอุตสาหกรรมนั้น ทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมหาศาล ร่วมไปถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อประชาชนที่ตั้งบ้านเรือนอยู่ในบริเวณใกล้เคียงพื้นที่โรงงาน อีกทั้งสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ทั้งพืชและสัตว์ แม้กระทั่งประชาชนที่ปฏิบัติหน้าที่ภายในโรงงาน ดังนั้นจึงมีกฎหมายความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน เป็นการควบคุมความเสี่ยง เช่น ความสว่าง ความร้อน ให้อยู่ในระดับที่มนุษย์ไม่ได้รับผลกระทบ และยังสามารถทำงานโดยปลอดภัย ซึ่งโรงงานส่วนใหญ่ได้นำเอาหลักธรรมาภิบาลมาใช้เพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมควบคู่กับการป้องกันปัญหามลพิษ อีกทั้งยังสร้างความตระหนักในการรับผิดชอบต่อสังคม และสามารถอยู่ร่วมกันระหว่างสถานประกอบการกับชุมชน เพื่อให้การพัฒนาอุตสาหกรรมเป็นไปอย่างยั่งยืน

การลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นภายในโรงงานอุตสาหกรรม ควรมีการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมและลดการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด นั้นคือ เร่งสร้างความตระหนักให้แก่ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรม เน้นการบริหารจัดการภายในโรงงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ให้มีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีความจำเป็นต้องบูรณาการทั้งทางตรงและทางอ้อมอย่างเป็นระบบ เพื่อลดใช้พลังงานถ่านหินที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เป็นการตอบโจทย์ประเด็นนวัตกรรมเพื่อสังคม ในมิติด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (Environmental Stewardship) โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมมีระบบอัดอากาศและถังเก็บลมเพื่อใช้ในกิจกรรมของโรงงานเดิมอยู่แล้ว กังหันลมอัดอากาศจะถูกนำมาใช้ในการผลิตอากาศควบคู่กันไปกับระบบอัดอากาศเดิม โดยการเชื่อมต่อระบบอากาศอัดที่ได้จากกังหันลมอัดอากาศเข้าไปขนานกับระบบเดิม ซึ่งกังหันลมอัด

* Corresponding author: Tel : 0951653344 E-mail address : wannipha.p@nia.or.th

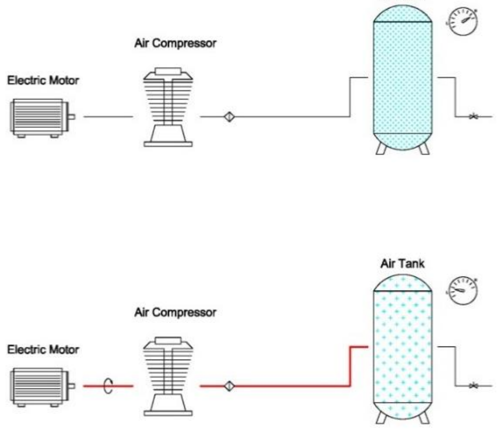
อากาศนั้นจะมีการผลิตอากาศค่อนข้างจะตลอดเวลา ทำให้เกิดการเติมอากาศที่มีแรงดันเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการสตาร์ทของแอร์คอมเพรสเซอร์ อีกทั้งถังเก็บลมสามารถลดการสูญเสียแรงดันและลมในระบบ ทำให้ระบบอัดอากาศและถังเก็บลม มีเสถียรภาพในการทำงานมากขึ้น เมื่อคิดที่ความเร็วลมเฉลี่ยที่ 5.5 เมตรต่อวินาทีต่อวัน [1] ปริมาตรของอากาศที่ได้จะเท่ากับ 748 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หากเทียบคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 52.8 kWh หรือคิดเป็นจำนวนเงินเท่า 264 บาทต่อวัน (อัตราค่าไฟฟ้า 5 บาทต่อหน่วย) ดังนั้น ภายในหนึ่งปีสามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าคิดเป็นจำนวนเงินได้ประมาณ 96,360 บาท หากคิดเมื่อได้รับการสนับสนุน จากสำนักงานฯ จะคืนทุนเมื่อผ่านไปแล้วประมาณ 5 ปี

ดังนั้น สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) (สนช.) จึงได้ริเริ่มโครงการขยายผลอุตสาหกรรมสีเขียวเพื่อสังคม ไปสู่การบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมและลดการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนภายในภาคอุตสาหกรรมไทยโดยเปิดรับข้อเสนอแนวคิดการพัฒนาในหลากหลายมิติ จากนั้นจะมีการตัดสินแนวคิดที่ดีและมีโอกาสในการขยายผล

วิธีการวิจัย

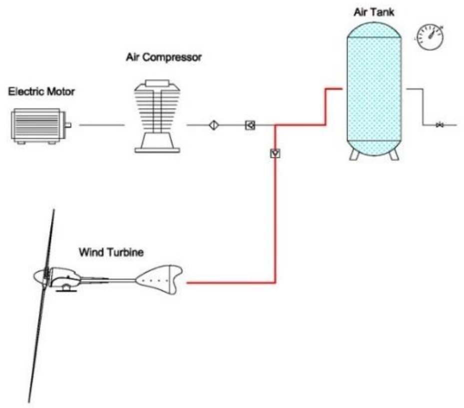
เทคโนโลยีกังหันลมอัดอากาศของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ออกแบบให้สามารถใช้งานได้ที่ความเร็วลมต่ำเหมาะสมกับศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย จึงเหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรมมีระบบอัดอากาศและถังเก็บลมเพื่อใช้ในกิจกรรมของโรงงานเดิมอยู่แล้ว กังหันลมอัดอากาศจะถูกนำมาใช้ในการผลิตอากาศควบคู่กันไปกับระบบอัดอากาศเดิม โดยการเชื่อมต่อระบบอากาศอัดที่ได้จากกังหันลมอัดอากาศเข้าไปขนานกับระบบเดิม ซึ่งกังหันลมอัดอากาศนั้นจะมีการผลิตอากาศค่อนข้างจะตลอดเวลา ทำให้เกิดการเติมอากาศที่มีแรงดันเข้าสู่ระบบต่อเนื่อง จึงเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการสตาร์ชของแอร์คอมเพรสเซอร์ และถังเก็บลม ลดการสูญเสียแรงดันและลมในระบบ ทำให้ระบบอัดอากาศ และถังเก็บลม สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการของระบบอัดอากาศที่ใช้ภายในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อเป็นการลดต้นทุนในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม โดยการนำพลังงานทดแทนจากพลังงานลมที่กังหันออกแบบมาเป็นพิเศษให้สามารถสร้างแรงบิดได้อย่างเหมาะสมกับความเร็วลมต่ำในประเทศ มาใช้เป็นตัวต้นกำลังในระบบอัดอากาศแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากขับมอเตอร์

กล่าวได้ว่ากังหันลมอัดอากาศจึงเติมอากาศที่มีแรงดันเข้าสู่ระบบเรื่อยๆ จึงทำเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อมาขับมอเตอร์ของปั๊มในการเติมอากาศเข้าสู่ระบบและถังเก็บลดการสูญเสียลมในระบบทำให้ระบบอากาศมีเสถียรภาพในการทำงานมากขึ้นอีกด้วย



ภาพที่ 1 แสดงการทำงานของระบบอัดอากาศที่ติดตั้งอยู่เดิมในโรงงานอุตสาหกรรม

จากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีอากาศบรรจุจนถึงระดับปริมาณและแรงดันที่ตั้งเอาไว้ (เต็มถังเก็บ) ตัวของมอเตอร์ก็จะไม่ทำงาน แต่เมื่อเรามีการใช้อากาศจากภายในถังเก็บ หรือมีการรั่วในระบบสายหรือเครื่องมือต่างๆ ทำให้แรงดันในถังเก็บต่ำลง จนถึงระดับที่ปริมาณของอากาศและแรงดันเหลือน้อยตามเกณฑ์ที่ตั้งเอาไว้ ตัวของมอเตอร์ของชุดอัดอากาศจะเริ่มทำงาน และจะอัดอากาศจนเต็มถังเก็บจึงจะหยุดทำงาน เมื่อมีการใช้งานอากาศจากถังเก็บอย่างต่อเนื่องดังนั้นการทำงานของระบบจะทำงานเป็นระบบวนไปตลอดเวลาอย่างต่อเนื่อง[2]



ภาพที่ 2 แสดงการทำงานของระบบอัดอากาศที่เพิ่มระบบกังหันลมอัดอากาศ

ตามที่กล่าวในข้างต้นหากมีการใช้อากาศจากถังเก็บอยู่เรื่อยๆ มอเตอร์ก็จะมีช่วงการทำงานที่ถี่มาก ทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นด้วย จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มระบบกังหันลมอัดอากาศเข้าไปต่อขนานกับระบบอัดอากาศเดิม อากาศที่ได้จากกังหันลมจะเติมเข้าไปสู่ระบบอย่างต่อเนื่องเรื่อยๆเมื่อกังหันหมุน เปรียบเสมือนว่ามีการเติมอากาศเข้าสู่ถังเก็บตลอดเวลา หากอากาศในถังเก็บมีปริมาณและแรงดันต่ำลงอากาศที่ได้จากกังหันลมอัดอากาศก็จะถูกเติมเข้าสู่ระบบทันที จนทำให้มีโอกาสน้อยลงที่มอเตอร์จะมีการทำงานและใช้ไฟฟ้ามาขับจึงเป็นการลดความถี่ของการทำงานของตัวมอเตอร์ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

คุณลักษณะเฉพาะของกังหันลมอัดอากาศขนาด 5.5 kW (7.5HP)

เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด	6.5	เมตร
จำนวนใบพัด	3-5	ใบ
ความสูงจากพื้นดินถึงจุดศูนย์กลางใบพัด	>18	เมตร
เสาเป็นแบบชนิดเสาเดี่ยวกลมกลวงความสูง	18	เมตร
เครื่องอัดอากาศ		
ขนาดเครื่องอัดอากาศ	7.5	แรงม้า
อัตราการไหลสูงสุด (ที่ความเร็วลม 9 เมตร/วินาที)	2400	ลิตรต่อนาที
แรงอัดอากาศ	7–10	บาร์
รอบการทำงานสูงสุด	400	รอบต่อนาที

ดังนั้น สนช. จึงได้ริเริ่มโครงการขยายผลกังหันลมอัดอากาศสำหรับอุตสาหกรรมสีเขียวไปสู่การบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมและลดการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนภายในภาคอุตสาหกรรมไทย โดยเปิดรับข้อเสนอแนวคิดการพัฒนาในหลากหลายมิติ จากนั้นจะมีการตัดสินแนวคิดที่ดีและมีโอกาสในการขยายผล ภายใต้กลไก Innovation Diffusion แก่องค์กรหรือหน่วยงานที่ได้รับคัดเลือกจะได้รับทุนสนับสนุนเพื่อนำไปใช้งานจริงในพื้นที่เป้าหมาย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

โครงการขยายผลนวัตกรรมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมสีเขียว “ระบบกังหันลมอัดอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม” โดยมีความร่วมมือกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม โดยมีโรงงานอุตสาหกรรมที่สนใจและนำผลงานนวัตกรรมไปใช้จริงรวมทั้งสิ้น 12 ราย หลังจากการทดสอบการใช้งานจริงทำให้เห็นว่าในเฉลี่ยแต่ละวันในการทดสอบ (9 ชั่วโมง/วัน) และบันทึกค่าแรงดันเฉลี่ยทำงานที่ 4-5 บาร์ มีอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่การใช้งานจริงที่เฉลี่ย 600- 700 ลิตรต่อนาที อย่างไรก็ตามหากในการทำงานจริง กังหันลมอัดอากาศสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งกลางวัน และกลางคืน ซึ่งสามารถนำลมอัดเก็บไว้ในถังใหญ่ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ ได้ อาทิ การเติมออกซิเจนในบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงาน เป็นต้น

ตัวอย่างผลการทดสอบการเก็บข้อมูลในพื้นที่ใช้งานจริง (ข้อมูลสำหรับ 1 โรงงาน)

ลักษณะพื้นที่อยู่บริเวณพื้นที่โล่งและไม่มีสิ่งกีดขวาง ที่มีผลกระทบต่อการเคลื่อนที่กระแสลม และอยู่ใกล้ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน อีกทั้งการเคลื่อนที่กระแสลมค่อนข้างดี (ภาพที่ 3) โดยการใช้งานเติมอากาศลงในระบบบ่อบำบัดน้ำเสียทั้งช่วงเวลากลางคืนและกลางวัน ทำให้กังหันลมอัดอากาศทำงานได้ 24 ชั่วโมง โดยสามารถนำลมอัดเก็บไว้ในถังใหญ่หรือมีการนำไปเติมออกซิเจนในบ่อบำบัดน้ำหรืองานอื่นได้ตามต้องการในการบริหารจัดการ

ภาพที่ 3 พื้นที่ติดตั้งกังหันในโครงการ

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อจำกัดในการวางกังหันลมอัดอากาศ การทำงานของกังหันลมอัดอากาศ ก็สามารถหมุนหาลมได้ทุกทิศทางความเร็วลมเฉลี่ยในการทำงานของกังหันอยู่ที่ 4.8 เมตรต่อวินาที ซึ่งเพียงพอต่อการทำงานของหัวลูกสูบอัดอากาศ จากการทดสอบติดตั้งการใช้งานกังหันลมเริ่มทำการอัดอากาศที่ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาที และทำการอัดความดันเข้าสู่ถังจนได้ถึง 4 บาร์ ระบบขยายแรงดันก็จะทำการอัดอากาศเข้าถังการใช้งานเดิมสลับต่อเนื่องกันไป ทำให้มีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าน้อยลง และลดค่าไฟฟ้าได้เฉลี่ย 35.61 หน่วยไฟฟ้าต่อวัน ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 5 เมตรต่อวินาที ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 แผงควบคุมแสดงความดันอากาศ

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลการทดสอบการทำงานของกังหันลมอัดอากาศโรงงานที่ 1
วันจันทร์ที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562

เวลาข้อมูล	แรงดัน (Bar)	อัตราการไหล (ลิตรต่อนาทีจากการเทียบ)	กำลังไฟฟ้า (watt/hr) จากการเทียบกราฟจากห้องทดสอบ
8.30	7.4	1,162	4,163
8.40	6.5	800	2,880
8.50	6.7	950	3,500
9.00	4.8	284	1,016
9.10	7.2	1,121	3,800
9.20	4.8	284	1,016
9.30	6.5	800	2,880
9.40	4.8	284	1,016
9.50	6.7	950	3,500
10.00	7.4	1,162	4,163
10.10	7.2	1,121	3,800
10.20	5.4	560	2,200
10.30	6.5	800	2,880
10.40	4.8	284	1,016
10.50	6.2	780	2,788
11.00	4.8	284	1,016
11.10	6.5	800	2,880
11.20	7.4	1,162	4,163
11.30	4.8	284	1,016
11.40	6.5	800	2,880
11.50	7.4	1,162	4,163
12.00	6.5	800	2,880

เวลาข้อมูล	แรงดัน (Bar)	อัตราการไหล (ลิตรต่อนาทีจากการเทียบ)	กำลังไฟฟ้า (watt/hr) จากการเทียบกราฟจากห้องทดสอบ
12.10	6.5	800	2,880
12.20	6.2	780	2,788
12.30	7.4	1,162	4,163
12.40	6.5	800	2,880
12.50	5.1	490	1,756
13.00	6.5	800	2,880
13.10	5.1	490	1,756
13.20	6.2	780	2,788
13.30	6.7	950	3,500
13.40	7.4	1,162	4,163
13.50	6.7	950	3,500
14.00	5.4	560	2,200
14.10	6.5	800	2,880
14.20	3.4	100	128
14.30	6.7	950	3,500
14.40	6.2	780	2,788
14.50	5.4	560	2,200
15.00	4.8	284	1,016
15.10	5.1	490	1,756
15.20	6.5	800	2,880
15.30	5.4	560	2,200
15.40	6.5	800	2,880
15.50	7.4	1,162	4,163
16.00	6.2	780	2,788
16.10	4.8	284	1,016
16.20	6.5	800	2,880
16.30	5.1	490	1,756
16.40	7.2	1,121	3,800
16.50	3.4	100	128
17.00	7.4	1,162	4,163
17.10	4.8	284	1,016
17.20	5.1	490	1,756
17.30	7.4	1,162	4,163
เฉลี่ย	6.07	733	2631

จากการทดสอบการใช้งานจริงของกังหันลมอัดอากาศโดยมีพื้นที่ติดชายฝั่งทะเลภาคใต้ มีกระแสลมที่ดีทั้งกลางวันและกลางคืน ซึ่งอากาศที่ผลิตได้ถูกนำไปใช้ในระบบบ่อบำบัดน้ำเสียโดยทำการบันทึกและเก็บข้อมูล พบว่าค่าแรงดันเฉลี่ยทำงานที่ 6.07 บาร์ มีอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่การใช้งานจริงเฉลี่ยที่ 733 ลิตรต่อนาที คิดเป็นการประหยัดไฟฟ้าได้ 2631 หน่วยไฟฟ้าต่อวัน (กรณีทำการทดสอบ 9 ชั่วโมงต่อวัน) หากคิดเป็นจำนวนเงินสำหรับงบประมาณจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้า 13,155 บาทต่อวัน [3]

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการทำงานของกังหันลมอัดอากาศ (โดยเฉลี่ย) จำนวน 12 โรงงาน

โรงงาน	แรงดัน (Bar)	อัตราการไหล (ลิตรต่อนาที่จากการเทียบ)	กำลังไฟฟ้า (watt/hr) จากการเทียปกราฟจากห้องทดสอบ
1	6.07	733.00	2631.00
2	5.61	677.19	2405.41
3	5.69	678.29	2409.41
4	6.03	719.00	2604.00
5	5.84	700.98	2544.50
6	5.87	701.87	2556.00
7	5.81	696.10	2472.00
8	5.79	692.71	2471.09
9	5.61	628.71	2255.00
10	5.56	598.00	2355.00
11	5.75	652.90	2321.00
12	5.91	739.74	2637.20
รวม	69.54	8218.49	29661.61

จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบกังหันลมอัดอากาศของทั้ง 12 โรงงาน ที่เข้าร่วมโครงการ พบว่าจากการเก็บข้อมูลผลการทดสอบการทำงาน 9 ชั่วโมงของแต่ละบริษัท สามารถคิดค่าพลังงานไฟฟ้ารวมได้เฉลี่ยประมาณ 29,662 หน่วยไฟฟ้าต่อวัน และสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 148,310 บาทต่อวัน (อัตราค่าไฟฟ้า 5 บาทต่อหน่วย) อย่างไรก็ตาม หากคิดในกรณีเดินระบบกังหันลมอัดอากาศทำงานจริงตลอด 24 ชั่วโมง การประหยัดพลังงานไฟฟ้าและงบประมาณเพิ่มมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

โครงการขยายผลนวัตกรรม นวัตกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อมสำหรับอุตสาหกรรมสีเขียว "ระบบกังหันลมอัดอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม" เป็นการตอบโจทย์ประเด็นนวัตกรรมเพื่อสังคม ในมิติด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (Environmental Stewardship) ซึ่งได้ดำเนินงานบูรณาการร่วมกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ในการต่อยอดโครงการอุตสาหกรรมสีเขียว สำหรับเทคโนโลยีที่นำมาขยายผลนวัตกรรม คือ เทคโนโลยีกังหันลมอัดอากาศ เพื่อลด

การใช้พลังงานไฟฟ้าในปั๊มลมของโรงงานอุตสาหกรรม สนับสนุนวิชาการจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นในกรณีใช้ทำงานจริงกังหันลมอัดอากาศทั้ง 12 ราย สามารถทำงานได้ตลอดทั้งวัน และคิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดค่าไฟรวมได้ประมาณเฉลี่ยวันละ 29,662 หน่วยไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน คิดการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น คิดเป็นจำนวนเงิน 148,310 บาทต่อวัน (อัตราค่าไฟฟ้า 5 บาทต่อหน่วย)

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานโครงการนี้ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิรชัย โรยนรินทร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับการให้คำปรึกษาและความรู้ด้านเทคโนโลยีกังหันลมอัดอากาศ และ นายศุภชัย โปฎก ผู้อำนวยการกองบริการงานอนุญาตโรงงาน 1 กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ในการสนับสนุนเครือข่ายโรงงานอุตสาหกรรมสีเขียว และท้ายที่สุด สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) สำหรับงบประมาณสนับสนุนโครงการ

เอกสารอ้างอิง

[1] Wirachai Roynarin B.Eng., MsC, Ph.D. Mechanical Engineering, **"The Wind Energy Development in Thailand"** Presented at UNN, Newcastle, UK on 20 April 2005

[2] แสงรุ้ง นิติภาวะชน, **"รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการนวัตกรรมด้านสังคม เรื่อง ระบบกังหันลมอัดอากาศสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กรูปพรรณ บริษัท 2 เอส เมทัล จำกัด (มหาชน)"**

[3] ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. **"รายงานการทดสอบกังหันลมอัดอากาศ"**

การพัฒนาตู้อบแห้งรมควันแบบควบคุมอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
The Development of automatic control fumigation dryer with solar energy

เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์[1*] อัษฎางค์ บุญศรี[1] รัฐพงษ์ เพลียโคตร[1] และ อภิสิทธิ์ นาภีร์[1]
[1] โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
69 ม.1 ต.นครชุม อ.เมือง จ.กำแพงเพชร 62000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างตู้อบแห้งรมควันแบบควบคุมอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พร้อมทั้งศึกษาประสิทธิภาพของตู้อบแห้งรมควันแบบควบคุมอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลและทดสอบวิจัย ณ ศูนย์พลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร ในการเก็บข้อมูลวิจัยครั้งนี้ใช้เชื้อเพลิงจำนวน 3 ชนิด ประกอบด้วย กาบมะพร้าว ซังข้าวโพดและแกลบ ซึ่งได้กำหนดอุณหภูมิภายในห้องอบ 70 องศาเซลเซียส เท่ากันทุกครั้ง ในการทดลองอบปลา

ผลการวิจัยพบว่า ตู้อบแห้งรมควันแบบควบคุมอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ออกแบบสำหรับใช้ในครัวเรือน ซึ่งมีขนาดความกว้าง 90 เซนติเมตร ความยาว 90 เซนติเมตร และความสูง 90 เซนติเมตร ใช้สังกะสีในการกรุผนังของตู้อบฯ สามรถทนอุณหภูมิความร้อนได้ไม่น้อยกว่า 100 องศาเซลเซียส ภายในตู้อบประกอบด้วยถังใส่เชื้อเพลิง มีขนาดความกว้าง 60 เซนติเมตร ความยาว 60 เซนติเมตร และความสูง 25 เซนติเมตร มีชั้นสำหรับวางวัตถุดิบในการอบ ขนาด ความกว้าง 70 เซนติเมตร ความยาว 70 เซนติเมตร และความสูง 45 เซนติเมตร จำนวน 2 ชั้น สามารถเลื่อนเข้า-ออกได้ มีระบบความคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้อบฯ แบบอัตโนมัติ คณะผู้วิจัย ได้ทำการออกแบบและเขียนโปรแกรมควบคุมบนบอร์ด (Arduino) และระบบควบคุมนี้ใช้พลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้กำหนดเงื่อนไขการควบคุมอุณหภูมิในตู้อบฯ กรณีอุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส พัดลมจะดูดอากาศภายในตู้อบฯ อัตโนมัติ กรณีอุณหภูมิ ต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส พัดลมจะหยุดทำงานอัตโนมัติ ด้านนอกตู้อบฯ มีจอแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นตลอดการใช้งาน จากการหาประสิทธิภาพของตู้อบฯ คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองจำนวน 3 ครั้ง แต่ละครั้งใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน ประกอบด้วยกาบมะพร้าว ซังข้าวโพดและแกลบ โดยทำการอบปลาช่อน จำนวน 1 กิโลกรัม ซึ่งใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน พบว่า เชื้อเพลิงกาบมะพร้าวให้ความร้อนสูงสุดถึง 78.7 องศาเซลเซียส ความชื้น 33.3 % ใช้ระยะเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง 30 นาที ใช้กาบมะพร้าว 3 กิโลกรัม การอบปลาด้วยเชื้อเพลิงซังข้าวโพดให้ความร้อน 71.3 องศาเซลเซียส ความชื้น 37.7 % ใช้ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ใช้ซังข้าวโพด 4 กิโลกรัม และการอบปลาด้วยเชื้อเพลิงแกลบให้ความร้อน 62 องศาเซลเซียส ความชื้อ 45.7 % ใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง ใช้แกลบ 5 กิโลกรัม ผลการทดลอง พบว่า กาบมะพร้าวให้ความร้อนมากที่สุด รองลงมาเป็นซังข้าวโพดและแกลบ แกลบให้ความชื้นมากที่สุด รองลงมากเป็นซังข้าวโพดและกาบมะพร้าว โดยที่เชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด สามารถอบแห้งรมควันให้ปลามีความ แห้ง สุก และ มีสีสันที่น่ารับประทาน

คำสำคัญ: ตู้อบแห้งรมควันแบบอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์,กาบมะพร้าว,ซังข้าวโพด,แกลบ

[*] Corresponding author: Tel: 062-416-2356 E-mail address: poo.sert@gmail.com

บทนำ

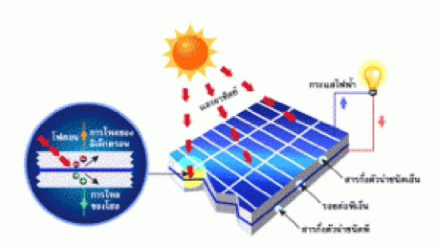
โดยทั่วไป ประเทศไทยมีเกษตรกรที่ทำการปลูก ข้าว ข้าวโพด หรือ ทำสวนมะพร้าว อยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่แล้ว ผลผลิตที่ได้จะถูกนำไปแปรรูปและมักจะเหลือเศษที่เป็นแกลบ ซังข้าวโพด หรือ เปลือกมะพร้าว จะถูกนำไปเผาทิ้ง บางส่วนอาจถูกนำไปใช้เผาเชื้อเพลิงในครัวเรือน หรือนำไปเททิ้งบนพื้นที่ร้างนอกเมืองอย่างสูญเปล่า ส่งผลให้เกิดมลพิษทางอากาศก่อกวนผู้ที่อยู่อาศัยในบริเวณรอบข้าง ส่งผลเสียต่อเนื่องเกี่ยวกับด้านสุขภาพและสุขอนามัย ในทางกลับกัน ถ้าหากมีการจัดการเกี่ยวกับเศษวัสดุที่เหลือใช้จากการแปรรูปข้างต้นไปใช้ประโยชน์ในด้านการให้ความร้อนด้วยการเผาไหม้ที่เหมาะสม ก็จะสามารถช่วยลดมลพิษกับสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้น วิธีการส่วนใหญ่ในการจัดการเกี่ยวกับปัญหาข้างต้น สามารถนำไปใช้รูปแบบอื่นได้เช่น การให้ความร้อนแบบควัน เพื่อไล่มอดในงานจักรสานไม้ หรือ อบอาหารให้มีกลิ่นหอมน่ารับประทาน กระบวนกระดังกล่าว จะเป็นการช่วยส่งเสริมให้วิถีชีวิตในชุมชนมีความเข้มแข็ง สามารถพึ่งพาตนเองได้

ในจังหวัดกำแพงเพชร เป็นอีกสถานที่หนึ่งที่อยู่ใกล้บริเวณแม่น้ำลำคลอง ซึ่งเป็นภูมิภาคที่มีปลาชุกชุม โดยเฉพาะปลาช่อน ซึ่งหาได้ง่าย หากไม่ได้ทำอาหารแบบสด ก็จะนำมาแปรรูปแบบตากแห้ง ในกลุ่มชุมชนบ้านท่าคร้อ ต.วังบัว อ.คลองขลุง จ.กำแพงเพชร ก็เป็นอีกชุมชนหนึ่งที่นิยมนำปลาช่อนมาอบแห้งรมควัน เพื่อทำให้มีเนื้อปลาแห้ง ถนอมไว้ได้นาน เนื่องจากกระบวนดังกล่าวสามารถไล่ความชื้นได้ดี จึงนิยมทำกันมาอย่างช้านาน หลังจากที่ได้ศึกษาข้อมูลดังกล่าวแล้ว ทำให้พบว่ากระบวนการที่ได้ทำขึ้น ควรมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 70 องศาเซลเซียส โดยสามารถใช้ แกลบ ซังข้าวโพด และ กาบมะพร้าว มาเป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนในการอบรมควัน บ่อยครั้งมักเกิดปัญหาความผิดพลาดของการควบคุมการแปรรูป ส่งผลให้ชาวบ้านในชุมชนเกิดการขาดทุนจากการสูญเสียวัตถุดิบที่ได้จัดหาไว้ หากมีการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตโดยที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงนี้ที่เหมาะสมสำหรับรมควัน จะส่งผลดีต่อการกระบวนผลิตเป็นอย่างมาก ที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งในรูปแบบต่างๆ อาทิเช่น วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร์ และคณะ [1] ได้พัฒนาส่งเสริมและเผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เพื่อแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้น ผลทดสอบพบว่า อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งสูงได้ถึงเฉลี่ย 50 องศาเซลเซียส สามารถใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ดี ถัดมาเป็นงานวิจัยของ สังวาลเพ็งพัด และ วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร [2] ได้ทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์เนื้อและปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือนโดยตู้อบแห้งเป็นแบบผสมสามารถใช้กับพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานเสริมจากแก๊ส LPG ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง พบว่าปลามีความชื้นก่อนอบ 77 % และ 64 % สามารถให้ความชื้นหลังจากการอบมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 17 % และ 16 % ตามลำดับ โดยอัตราการแห้งของเนื้อจะมีค่ามากกว่าปลา

จากแนวคิดที่ได้กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวทางที่จะพัฒนาตู้อบแห้งรมควันแบบควบคุมอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ช่วงที่เหมาะสมสำหรับอบรมควันปลา โดยควบคุมระบบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 ผ่านเซ็นเซอร์ DHT 22 เพื่อทำให้กระบวนแปรรูปมีประสิทธิภาพดีขึ้น และเป็นประโยชน์ต่อชุมชนที่ผลิตปลาอบแห้งหรือชุมชนใกล้เคียงที่มีวัตถุดิบที่สามารถอบแห้งแบบรมควันได้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

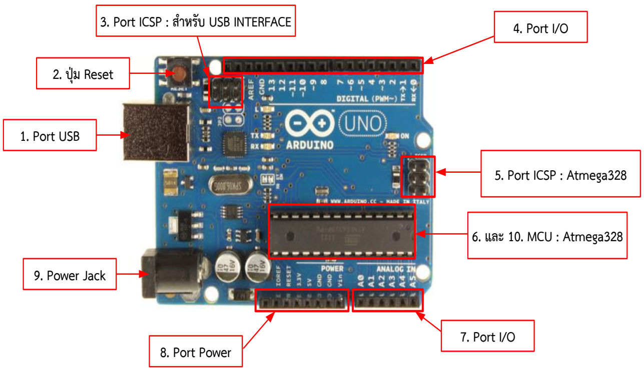
เซลล์แสงอาทิตย์ [3]



ภาพที่ 1 การผลิตไฟฟ้าด้วยโซล่าเซลล์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า พบว่ากำลังไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์จะมีประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำโซล่าเซลล์มาใช้ผลิตกำลังไฟฟ้า ลักษณะการทำงานของโซล่าเซลล์จะใช้กระบวนการโฟโตโวตาอิก (Photovotataic Effect) ในสารกึ่งตัวนำ โดยโซล่าเซลล์จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ P และสารกึ่งตัวนำ N เมื่อโซล่าเซลล์ได้รับแสงที่มีพลังงานพอจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นถ้ามีการเชื่อมต่อระหว่างผิวทั้งสองของ โซล่าเซลล์ จะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนซึ่งทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรง ดังภาพที่ 1

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 [4]



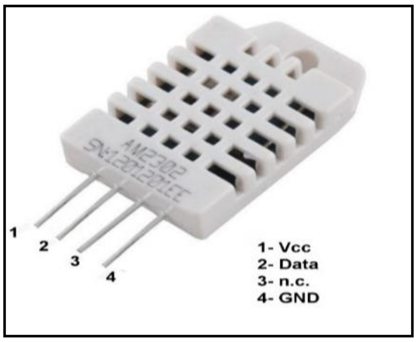
ภาพที่ 2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 เป็นอุปกรณ์ที่นิยมนำมาประมวลผลเพื่อควบคุมการทำงานโดยมีส่วนประกอบตามภาพที่ 2 ดังต่อไปนี้

1. Port USB : ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัพโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button : เป็นปุ่มกดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. I/OPort : Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จำทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx, Rx Serial, Pin3, 5, 6, 9, 10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port : Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU : Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/O Port : นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้วยังเปลี่ยนเป็นช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0 - A5
8. Power Port : ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอกประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 โวลต์, +5 โวลต์, GND, โวลต์
9. Power Jack : รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 โวลต์
10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2

เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น DHT 22 [5]

DHT 22 คือ โมดูลเซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temperature & Relative Humidity Sensor) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านระบบสมองกลฝังตัวได้หลากหลาย เช่น การวัดและควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ระบบบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิและความชื้นในห้อง เป็นต้น อุปกรณ์ประเภทนี้แตกต่างกันตามผู้ผลิต ราคา ความแม่นยำ ความละเอียดในการวัด การให้ค่าแบบดิจิทัลหรือแบบแอนะล็อก เป็นต้น การใช้งานโมดูล DHT 22 หรือ AM2302 เป็นที่นิยมเนื่องจากมีราคาที่ไม่แพงมากนัก ให้ค่าเป็นแบบดิจิทัล ใช้ขาสัญญาณดิจิทัลเพียงเส้นเดียวในการเชื่อมต่อแบบบิตอนุกรมสองทิศทาง (serial data, bi-directional) โดยนำมาเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 เพื่ออ่านค่าจากเซนเซอร์ดังแสดงตัวอย่างได้ตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น DHT 22 หรือ AM2302

ข้อมูลทางเทคนิคของเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น DHT 22 หรือ AM2302 ประกอบด้วยแรงดันกระแสตรงซึ่งใช้เป็นไฟเลี้ยงในช่วง: 3.3 โวลต์ ถึง 5.5 โวลต์ สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง: -40 ถึง 80 องศาเซลเซียสและมีค่าความผิดพลาดในการอ่านค่าไม่เกิน ±0.5 องศาเซลเซียสการวัดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์และมีค่าความผิดพลาดในการอ่านค่าไม่เกิน 2 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์อัตราการวัดสูงสุด: 0.5 รอบต่อวินาที ใช้การเชื่อมต่อทั้งหมด 4 ขา โดยที่ขาที่ 1 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อไฟเลี้ยง (VCC) ขาที่ 2 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อสัญญาณข้อมูล (Serial data, bidirectional) ขาที่ 3 ไม่ได้ใช้ในการเชื่อมต่อ ส่วนขาสุดท้าย ขาที่ 4 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อกราวด์ในระบบ

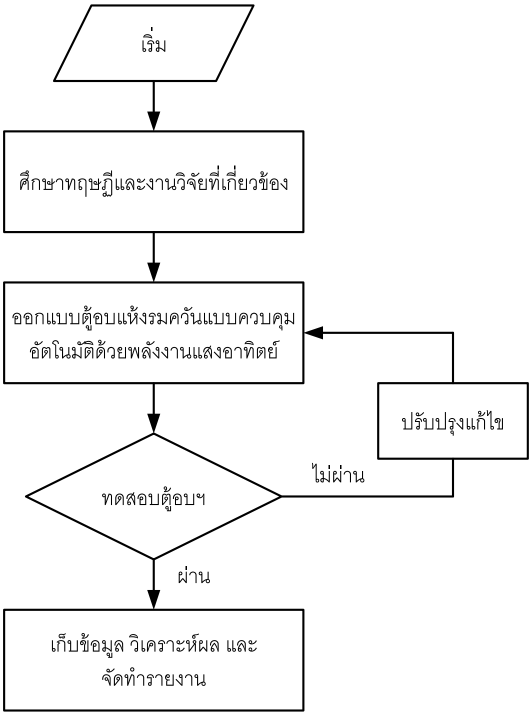
ทฤษฎีการอบแห้ง [6]

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยโดยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงทำให้เก็บรักษาได้ไม่นาน การอบแห้งจะทำให้ช่วยเก็บรักษาผลผลิตได้ยาวนานขึ้น การพัฒนากรรมวิธีการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรเป็นกระบวนการหนึ่งในงานด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่มีความสำคัญต่อการรักษาคุณภาพ ลดความสูญเสียและยืดเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ในการพัฒนาวิธีการอบแห้งผลผลิตเกษตรได้มีการพัฒนามาเป็นลำดับตั้งแต่วิธีการตากแห้งโดยอาศัยแสงแดดจนกระทั่งพัฒนามาเป็นการใช้เทคโนโลยีที่สูงขึ้น การอบแห้งมีหลายวิธีแต่ละวิธีมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการอบแห้งแบบรมควันร้อน (hot smoking) [7] เป็นการรมควันที่ใช้อุณหภูมิสูงขึ้น โดยการแขวนเนื้อสัตว์หรือวางไว้ใกล้กับไฟ ใช้อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง จะทำให้เนื้อปลาแห้งและสุกสามารถรับประทานได้ทันทีหรือจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำได้เป็นเวลานาน ดังแสดงตัวอย่างได้ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 ตัวอย่างการอบรมควัน

วิธีดำเนินการวิจัย

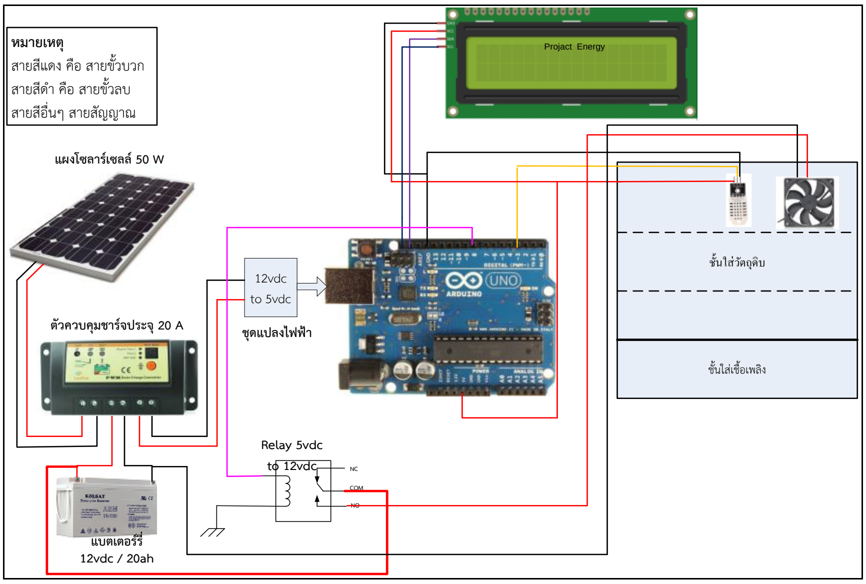
การดำเนินวิจัยการสร้างตู้อบแห้งรมควันแบบควบคุมอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในการวิจัยมีขั้นตอนการทดลอง วิธีการดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล โดยสามารถแสดงตัวอย่างขั้นตอนดำเนินการวิจัยได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

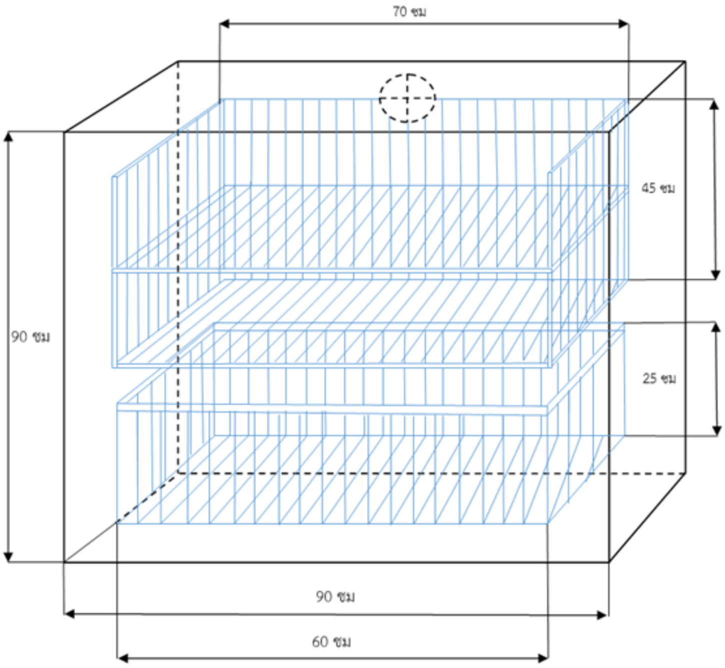
การออกแบบและสร้างตู้อบรมควันอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบระบบจะใช้แผงโซล่าร์เซลล์ขนาด 50 วัตต์ ต่อเข้าตัวควบคุมการประจุไฟฟ้าขนาด 20 แอมป์ เข้าแบตเตอรี่ขนาด 20 แอมป์แปร์ชั่วโมง เพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับระบบควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 รับค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่านเซ็นเซอร์ DHT 22 เพื่อสั่งการพัดลมขนาดแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้อบ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมที่ได้พัฒนาขึ้น

ในการสร้างตู้อบแห้งรมควันแบบควบคุมอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จะสร้างตามแบบโดยมีขนาดความกว้าง 90 เซนติเมตร ยาว 90 เซนติเมตร สูง 90 เซนติเมตรโครงสร้างทำจากเหล็กกล่องชนิดหนา ผนังเป็นสังกะสีแผ่นเรียบ และเจาะใส่พัดลมขนาด 4 นิ้ว ไว้ด้านหลัง ภายในจะมีชั้นทั้ง 3 ชั้น ชั้นล่างสุดเป็นชั้นบรรจุเชื้อเพลิง ส่วนสองชั้นด้านบนเป็นที่วางวัตถุดิบสำหรับรมควัน ดังแสดงได้ตามตัวอย่างภาพที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

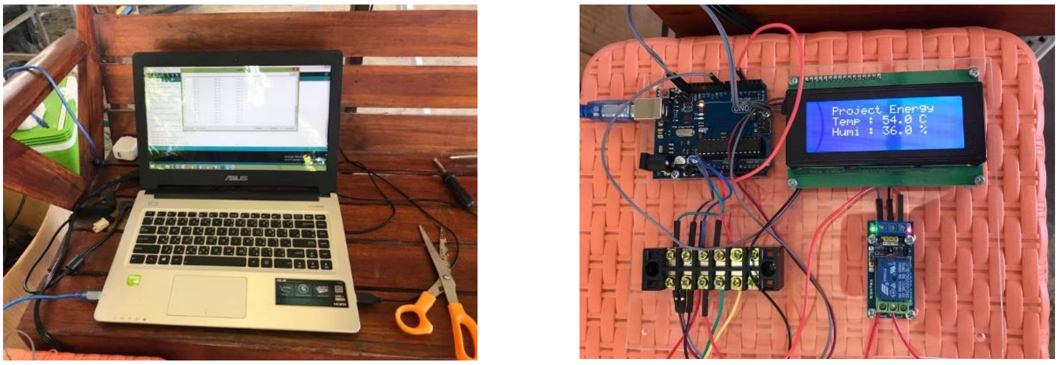


ภาพที่ 7 การออกแบบโครงสร้างตู้อบรมควัน

ภาพที่ 8 โครงสร้างตู้อบรมควันแบบเสร็จสมบูรณ์

การวัดประสิทธิภาพตู้อบรมควันอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การวัดประสิทธิภาพของระบบสามารถทำได้โดยเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นผ่านระบบมอนิเตอร์ของโปรแกรม Arduino IDE โดยเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นทุกๆ 5 นาที จากการทดลองจำนวนเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด แต่ละครั้งจะใช้เชื้อเพลิงต่างชนิดกัน ประกอบด้วยกาบมะพร้าว ซังข้าวโพดและแกลบ โดยทำการอบปลาช่อน จำนวน 1 กิโลกรัม โดยสามารถแสดงตัวอย่างภาพการบันทึกข้อมูลได้ตามภาพที่ 9 (ก) และ 9 (ข) ตามลำดับ นอกจากนี้จะแสดงผลการทดลองทางกายภาพของปลาที่ได้ผ่านการอบแห้งรมควันจากเครื่องที่ได้พัฒนาและสร้างขึ้น



(ก) การเก็บข้อมูลผ่าน Arduino IDE (ข) ระบบควบคุม

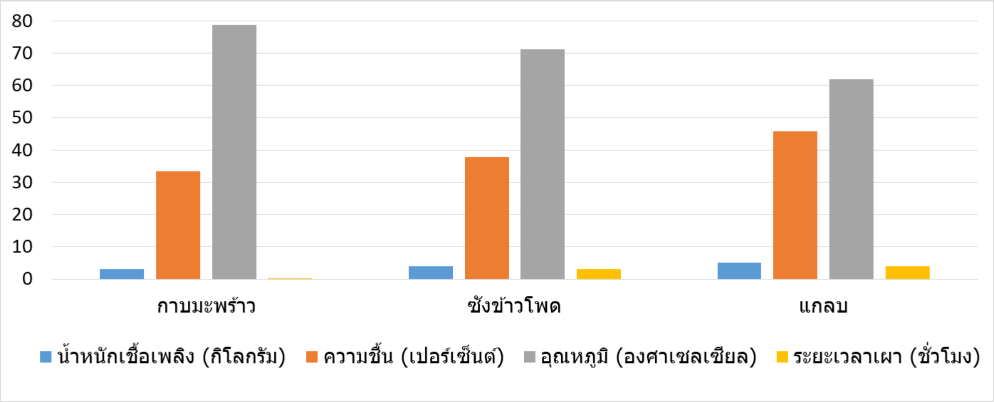
ภาพที่ 9 การวัดประสิทธิภาพตู้อบรมควันอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบระบบที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถแสดงผลค่าอุณหภูมิและความชื้นทั้ง 3 ชนิด โดยการทดสอบครั้งแรกเป็นการใช้ชนิดเชื้อเพลิงกาบมะพร้าว ครั้งที่ 2 เป็นชนิดเชื้อเพลิงซังข้าวโพด และครั้งที่ 3 เป็นชนิดเชื้อเพลิงแกลบ โดยผลการทดลองสามารถแสดงผลค่าน้ำหนักของชนิดเชื้อเพลิง ค่าสูงสุดของอุณหภูมิและความชื้น และระยะเวลาเผา ได้ดังตารางที่ 1 และสามารถแสดงผลในรูปแบบกราฟเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดได้ตามภาพที่ 10

ตารางที่ 1 ผลการเก็บข้อมูลสูงสุดของอุณหภูมิและความชื้นของเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด

ชนิดเชื้อเพลิง	น้ำหนักเชื้อเพลิง (กิโลกรัม)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาเผา (ชั่วโมง)
กาบมะพร้าว	3	33.32	78.70	2:30
ซังข้าวโพด	4	37.79	71.30	3:00
แกลบ	5	45.70	62.00	4:00



ภาพที่ 10 ผลการทดลองชนิดเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด

(ก) เชื้อเพลิงกาบมะพร้าว

(ข) เชื้อเพลิงซังข้าวโพด

(ค) เชื้อเพลิงแกลบ

ภาพที่ 11 ผลการทดลองชนิดเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด

จากกราฟในรูปที่ 10 สามารถอภิปรายผลการทดลองได้ว่า เชื้อเพลิงกาบมะพร้าวให้ความร้อนสูงสุดถึง 78.7 องศาเซลเซียส ความชื้น 33.3 % ใช้ระยะเวลาในการอบ 2 ชั่วโมง 30 นาที ใช้กาบมะพร้าว 3 กิโลกรัม การอบปลาด้วยเชื้อเพลิงซังข้าวโพดให้ความร้อน 71.3 องศาเซลเซียส ความชื้น 37.7 % ใช้ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ใช้ซังข้าวโพด 4 กิโลกรัม และการอบปลาด้วยเชื้อเพลิงแกลบให้ความร้อน 62 องศาเซลเซียส ความชื้อ 45.7 % ใช้ระยะเวลา 4 ชั่วโมง ใช้แกลบ 5 กิโลกรัม ผลการทดลอง พบว่า กาบมะพร้าวให้ความร้อนมากที่สุด รองลงมาเป็นซังข้าวโพดและแกลบ แกลบให้ความชื้นมากที่สุด รองลงมากเป็นซังข้าวโพดและกาบมะพร้าว โดยที่เชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด สามารถอบแห้งรมควันให้ปลามีความ แห้ง สุก และ มีสีสันที่น่ารับประทาน ดังแสดงได้ตามตัวอย่างภาพที่ 11 (ก) 11 (ข) และ 11 (ค) ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

ตู้อบแห้งรมควันอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มีขนาดความกว้าง 90 เซนติเมตร ยาว 90 เซนติเมตร และสูง 90 เซนติเมตร โดยมีฐานล่าง ขนาด 90 เซนติเมตร ชั้นวางผลิตภัณฑ์มีความกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร ความสูง 45 เซนติเมตร ตะแกรงเชื้อเพลิง กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร จากการหาประสิทธิภาพของตู้อบแห้งรมควันอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ทำการทดลองเชื้อเพลิงจำนวน 3 ชนิด โดยใช้กาบมะพร้าว แกลบและซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง ในการอบแต่ละชนิดใช้ระยะเวลา ต่างกัน การทดลองอบปลาในปริมาณ 1 กิโลกรัม จำนวน 3 ชุด โดยทำการเก็บข้อมูล 3 ชนิด เชื้อเพลิงกาบมะพร้าว ใช้เวลา 2 ชั่วโมงครึ่ง เชื้อเพลิงซังข้าวโพด ใช้เวลา 3 ชั่วโมง และแกลบใช้เวลา 4 ชั่วโมง เก็บข้อมูลอุณหภูมิระหว่างทำการอบ พบว่า เชื้อเพลิงกาบมะพร้าวให้ความร้อนได้มากที่สุดถึง 78.7 องศาเซลเซียส รองลงมาเป็นซังข่าวโพดอยู่ที่ 71.3 องศาเซลเซียส และแกลบให้ความร้อนอยู่ที่ 62 องศาเซลเซียสตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าผลทดสอบทางกายภาพของปลาอบแห้งรมควันจากเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด ยังให้สีสันสุกแห้งน่ารับประทานเหมาะสำหรับการบริโภคในทุกครัวเรือน

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาตู้อบรมควันอัตโนมัติด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำเร็จได้ด้วยดี จากการให้ความอนุเคราะห์และความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ทำให้ผู้วิจัยได้รับแนวคิดเกี่ยวกับงานวิจัย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย จนทำให้งานวิจัยสำเร็จอย่างสมบูรณ์ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ปรึกษาและเอื้อเฝื้อสถานที่ในการทดลอง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยจนทำให้วิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

อนึ่ง คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยเล่มนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่มากก็น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทาให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง สำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้นคณะผู้วิจัยขอน้อมรับและยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร์ และคณะ. (2548). **การพัฒนาส่งเสริมและเผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์,** มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

[2] สังวาล เพ็งพัด และ วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร. (2538). **การอบแห้งผลิตภัณฑ์เนื้อและปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานพลังงานแสงอาทิตย์ระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือน**, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

[3] Solarcell Thailand 96, **ชนิดและความหมายของ โซล่าเซลล์ Solar Cell หรือเซลล์แสงอาทิตย์**, สืบค้นเมื่อ

7 สิงหาคม 2562 , จาก https://www. http://solarcellThailand96.com/knowledge/what-solar-cell/.
[4] สุวัฒน์ เกิดมั่งมี และ คณะฯ, (2559), **เครื่องเจาะแผ่นปริ้นอัตโนมัติด้วยการขับสเต๊ปปิ้งมอเตอร์บนแกน 3 มิติ**, โครงงานสาขาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
[5] myarduino, **DHT22 Module**, สืบค้นเมื่อ 8 สิงหาคม 2562, จาก https://www.myarduino.net/article/64.
[6] ปริญญา ค้ำชู, (2555), **การอบแห้งเกสรผึ้งด้วยลมร้อนแบบเทคนิคอุณหภูมิลำดับขั้น**, วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
[7] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร,**การรมควัน,** สืบค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2562, จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0958/smoking

การออกแบบและพัฒนาล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์
Design and Development of Solar Driving Wheel for Trolley

ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล* และ กฤชนนท์ สวนจันทร์
สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ โดยนำล้อขับเคลื่อนมาประกอบเข้ากับรถเข็นทำให้รถเข็นมีลักษณะคล้ายกับรถสามล้อไฟฟ้า เพื่อช่วยลดความเหนื่อยยากให้แก่ผู้ที่ใช้งานรถเข็นทั่วไป และสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการขนย้ายอุปกรณ์/เครื่องมือ หรือผลผลิตต่าง ๆ มีการประยุกต์นำเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทำให้ไม่ต้องใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน ตัวล้อขับเคลื่อนดัดแปลงจากล้อหน้าของรถจักรยานโดยติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบดุมล้อขนาด 500 วัตต์ 48 โวลต์ มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่ด้านข้างกระบะบรรทุกของรถเข็นทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อประจุเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่สำหรับใช้งาน โดยสามารถพับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เก็บที่ด้านข้างได้ในขณะขับเคลื่อนและกางออกเมื่อต้องการชาร์จแบตเตอรี่ การทดสอบสมรรถนะการใช้งานพบว่าล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นสามารถใช้งานได้เป็นที่น่าพึงพอใจ การขับเคลื่อนบนทางราบสามารถทำความเร็วเฉลี่ยได้ประมาณ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับกรณีที่ไม่มีภาระน้ำหนักบรรทุกและมีภาระน้ำหนักบรรทุก 100 กิโลกรัม ตามลำดับ และสามารถขับเคลื่อนขึ้นทางลาดชัน 3 องศา (ร้อยละ 5.25) ได้ทั้งกรณีที่ไม่มีภาระน้ำหนักบรรทุกและมีภาระน้ำหนักบรรทุก 100 กิโลกรัม

คำสำคัญ: รถเข็น รถสามล้อไฟฟ้า เซลล์แสงอาทิตย์

บทนำ

รถเข็นเป็นเครื่องอำนวยความสะดวกพื้นฐานในการขนย้ายสิ่งของ เคลื่อนที่โดยการผลักหรือเข็น ดังนั้นในการใช้งาน ผู้ใช้จะต้องใช้กำลังของตนเองในการออกแรงผลักหรือเข็นให้รถเข็นเคลื่อนที่ ผู้ที่ต้องใช้งานรถเข็นเป็นเวลานานจะเกิดความเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้าได้ โดยเฉพาะเมื่อต้องเข็นเคลื่อนย้ายสิ่งของที่มีภาระน้ำหนักบรรทุกมากและขึ้นทางลาดชัน ปัจจุบันได้มีการใช้งานรถจักรยานไฟฟ้ากันอย่างแพร่หลายโดยการนำเอามอเตอร์ไฟฟ้ามาติดรถจักรยานเพื่อช่วยในการขับเคลื่อน ซึ่งสามารถช่วยผ่อนแรงผู้ขับขี่จากการใช้เท้าปั่นจักรยานได้ [1]

การนำจักรยานไฟฟ้ามาใช้แทนรถยนต์ รถมอเตอร์ไซค์ม มีประโยชน์ที่เห็นได้ชัด คือ เป็นการลดพลังงานเชื้อเพลิง ลดระดับฝุ่นละอองในอากาศ และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากท่อไอเสีย ทำให้สิ่งแวดล้อมดีขึ้น เป็นการช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อน และจะช่วยรัฐประหยัดเงินในเรื่องของการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ และช่วยรัฐประหยัดเงินในการดูแลสุขภาพของประชาชนอันเกิดจากฝุ่นละอองในอากาศ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากท่อไอเสีย และได้ออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานเพื่อสุขภาพที่ดีของตัวเอง [2]

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะนำแนวความคิดเรื่องจักรยานไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้กับรถเข็นสำหรับขนย้ายสิ่งของ และประยุกต์นำเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ของรถเข็นไฟฟ้าที่จะพัฒนาขึ้น

* Corresponding author: Tel.: 084 752 8947. E-mail address: tutanit@hotmail.com

ใหม่นี้ โดยจะประดิษฐ์ขึ้นเป็น “ล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์” ซึ่งเป็นนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้เทคโนโลยีที่สะอาด เป็นมิตรกับสภาพแวดล้อม สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง ซึ่งเป็นทางเลือกในการช่วยลดความเหนื่อยยากให้แก่ผู้ที่ใช้งานรถเข็น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเกษตรกรเพื่อการขนย้ายอุปกรณ์/เครื่องมือการเกษตรขนาดเล็กหรือปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ย สารป้องกัน/กำจัดศัตรูพืช รวมถึงขนส่งผลผลิตที่ผลิตได้โดยไม่ต้องใช้พาหนะที่ต้องใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกทางหนึ่ง

วิธีการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ นี้ แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

1) การออกแบบและสร้างล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบและสร้างล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวทางการพัฒนาต่อยอดสำหรับรถเข็นเดิมที่มีสามล้อ มีล้อหน้าล้อเดียว ใช้กำลังของผู้ใช้งานในการเข็นขับเคลื่อน ซึ่งมีแนวคิดการออกแบบให้สามารถเปลี่ยนล้อหน้าของรถเข็นเป็นล้อที่ขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า มีกลไกอย่างง่าย สะดวกในการเปลี่ยนล้อ และสามารถประจุไฟเข้าแบตเตอรี่ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถกางออกขณะใช้งานเพื่อประจุไฟลงแบตเตอรี่ และพับเก็บได้ขณะขับเคลื่อนเป็นรถสามล้อไฟฟ้า

2) การทดสอบล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์

การทดสอบล้อขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งเป็น 4 ส่วน คือ การทดสอบติดตั้งล้อขับเคลื่อน การทดสอบความเร็ว การทดสอบขับเคลื่อนใช้งาน และ การทดสอบการใช้กระแสไฟฟ้าขณะขับเคลื่อน มีรายละเอียด ดังนี้

2.1) การทดสอบติดตั้งล้อขับเคลื่อน โดยการประกอบล้อขับเคลื่อนเข้ากับรถเข็นและถอดออกเพื่อทดสอบความยากง่ายในการใช้งาน พร้อมทั้งจับเวลาในการประกอบล้อขับเคลื่อนเข้าและออกจากรถเข็น โดยมีผู้ใช้งานเพียงคนเดียว

2.2) การทดสอบความเร็ว ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ โดยวัดความเร็วในการขับเคลื่อนจากเครื่องมือวัดความเร็วจักรยานยี่ห้อ CATEYE ที่ติดตั้งเซนเซอร์ไว้ที่ซี่ลวดล้อหน้า และต่อสายสัญญาณมาแสดงผลที่หน้าจอด้านหน้า โดยทำการทดสอบขับเคลื่อนบนทางราบและขึ้นทางลาดชัน (ร้อยละ 10.50 และ ร้อยละ 5.25) โดยปิดระบบการประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงแบตเตอรี่ ซึ่งได้ทดสอบขับเคลื่อนรถเปล่าที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุก

2.3) การทดสอบขับเคลื่อนใช้งาน ทำการทดสอบเฉพาะทางราบ เพื่อหาระยะทางที่รถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์วิ่งได้ ความเร็วเฉลี่ย และระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ เก็บค่าทุก ๆ 15 นาที ปิดระบบชาร์จไฟจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ไม่มีภาระน้ำหนักบรรทุก และ มีภาระน้ำหนักบรรทุก 100 กิโลกรัม (ทดสอบกรณีละ 3 ครั้ง)

2.4) การทดสอบการใช้กระแสไฟฟ้าในการขับเคลื่อน ทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าขณะขับเคลื่อนที่ความเร็วคงที่ ที่ 5 10 15 และ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยอ่านค่าจากแอมมิเตอร์ที่ติดตั้งไว้ที่แผงควบคุมการจ่ายไฟที่ด้านหน้าผู้ขับขี่ ซึ่งแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณี เช่นเดียวกับการทดสอบขับเคลื่อนใช้งาน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษานี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การออกแบบและสร้างล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ 2) การทดสอบล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ และ 3) ค่าใช้จ่ายในการสร้างล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การออกแบบและสร้างล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์

รถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบถูกสร้างขึ้นตามแนวคิดในวิธีการวิจัย ซึ่งได้นำรถเข็นสามล้อเดิมมาปรับปรุงดัดแปลงโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถพับเก็บได้ และออกแบบให้รถเข็นสามารถถอดล้อหน้าเดิมออกเพื่อติดตั้งล้อขับเคลื่อนรถเข็น (ภาพที่ 1ก) แทนได้ โดยเมื่อติดตั้งล้อขับเคลื่อนแล้วจะมีลักษณะการใช้งานเป็นรถสามล้อไฟฟ้า (ภาพที่ 1ข) ซึ่งมิติโดยรวมของรถสามล้อไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หลังติดตั้งล้อขับเคลื่อนแล้ว (กว้าง x ยาว x สูง) เท่ากับ 134 x 234 x 96 เซนติเมตร โดยชิ้นส่วนที่สำคัญของรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบไปด้วยส่วนประกอบดังต่อไปนี้

(ก) ชุดล้อขับเคลื่อนรถเข็น

(ข) ตัวรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 1 รถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์

- *ตัวรถเข็น* เดิมมีกระบะบรรทุกขนาด 120 x 60 เซนติเมตร ได้นำมาติดตั้งเสาเหล็ก ขนาด 1 x 1 นิ้ว ที่มุมกระบะจำนวน 4 เสา เพื่อเป็นโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้คานเหล็กขนาด 1½ x ¾ นิ้ว อยู่สูงจากกระบะบรรทุก 62 เซนติเมตร

- *มอเตอร์ไฟฟ้า* ใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นมอเตอร์กระแสตรงแบบดุมล้อ (DC Hub Motor) ขนาด 500 วัตต์ 48 โวลต์ ติดตั้งเข้ากับวงล้อจักรยานขนาด 20 นิ้ว โดยทำงานควบคู่กับคันเร่งซึ่งติดไว้ด้านขวาของมือจับบังคับทิศทาง

- *แบตเตอรี่* เป็นแหล่งสะสมพลังงานและจ่ายไฟฟ้าไปใช้งาน ซึ่งใช้แบตเตอรี่แบบรอบลึก (Deep cycle) 12 โวลต์ ขนาด 9 แอมป์-ชั่วโมง จำนวน 4 ลูก ติดตั้งใต้กระบะบรรทุกด้านหน้า โดยสามารถสลับวงจรใช้งานได้ 2 แบบ คือ แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ สำหรับประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงแบตเตอรี่ หรือ 48 โวลต์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า

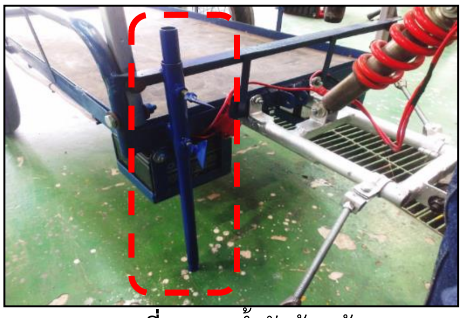
- *แผงเซลล์แสงอาทิตย์* ใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหลายผลึกซิลิคอน (Polycrystalline Silicon) 140 วัตต์ 18 โวลต์ ขนาดความกว้าง x ยาว คือ 140 x 67 เซนติเมตร ต่ออนุกรมกัน 2 แผ่น ติดตั้งด้านข้างกระบะบรรทุก น้ำหนักรวม 22 กิโลกรัม

รถเข็นเมื่อติดตั้งล้อขับเคลื่อนแล้วสามารถใช้งานเป็นรถสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับขับบรรทุกขนย้ายสิ่งของ โดยถอดล้อหน้าเดิมของรถเข็นออกแล้วติดตั้งล้อขับเคลื่อนไฟฟ้าเพื่อใช้งานขับเคลื่อนเป็นรถสามล้อไฟฟ้าหรือเปลี่ยนกลับมาใช้งานแบบรถเข็นธรรมดาโดยปลดล้อขับเคลื่อนไฟฟ้าออกแล้วติดตั้งล้อเดิมกลับเข้ามาแทน

2) การทดสอบล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์

2.1) การทดสอบติดตั้งล้อขับเคลื่อน

การทดสอบเบื้องต้นก่อนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ โดยทดลองเปลี่ยนล้อหน้ารถเข็นเป็นล้อขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งการประกอบค่อนข้างยาก เนื่องจากต้องใส่อุปกรณ์หลายส่วน จึงได้ปรับปรุงเป็นขาตะเกียบเสียบเข้ากับตัวรถเข็นแทน [3] รวมทั้งเสริมคานของรถเข็นเพื่อป้องกันการแอ่นตัว ทำให้ใช้งานได้ดีขึ้น หลังจากนั้นติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ ทำให้รถเข็นมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การใส่ล้อหน้ามอเตอร์ไฟฟ้ายากลำบากขึ้น ใช้เวลาประมาณ 3 นาที 14 วินาที ผู้วิจัยจึงปรับปรุงโดยการติดตั้งแกนเหล็กค้ำยัน (ภาพที่ 2) เพื่อช่วยยกประคองตัวรถเข็นขึ้นขณะเปลี่ยนล้อหน้า ส่งผลให้ระยะเวลาในการใส่ชุดล้อหน้าขับเคลื่อนลดลงเหลือ 1 นาที 19 วินาที



ภาพที่ 2 แกนค้ำยันล้อหน้า

2.2) การทดสอบสมรรถนะในการใช้งานรถเข็นสามล้อไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

<u>การทดสอบความเร็วและการใช้กระแสไฟฟ้าของรถเข็นสามล้อไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์</u> พบว่า การขับเคลื่อนบนทางราบโดยไม่มีน้ำหนักบรรทุก ขณะออกตัวใช้กระแสไฟฟ้า 15 แอมแปร์และค่อย ๆ ลดลงคงที่ ที่ 11 แอมแปร์ เมื่อวิ่งได้ระยะทาง 500 เมตร ทำความเร็วสูงสุด 28 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในกรณีมีภาระบรรทุก 100 กิโลกรัม ใช้กระแสไฟฟ้าในการออกตัว 15 แอมแปร์ และค่อย ๆ คงที่ ที่ 12 แอมแปร์ เมื่อวิ่งได้ 500 เมตร ทำความเร็วสูงสุดได้ 26.8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในส่วนของการขับเคลื่อนขึ้นทางลาดชันโดยออกตัวขณะรถหยุดนิ่งอยู่กับที่ รถเข็นสามารถขับเคลื่อนขึ้นทางลาดชัน ร้อยละ 4-6 ได้ ตามมาตรฐานงานสะพานทางแยกต่างระดับของกรมทางหลวง [4] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในการขับเคลื่อนรถสามล้อไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นทางลาดชัน

ภาระบรรทุก	ความลาดชัน	กระแสไฟฟ้าขณะขับเคลื่อน (แอมแปร์)
ไม่มี	3 องศา (5.25%)	5
	6 องศา (10.50%)	ไม่สามารถขึ้นทางลาดชันได้
100 กิโลกรัม	3 องศา (5.25%)	15
	6 องศา (10.50%)	ไม่สามารถขึ้นทางลาดชันได้

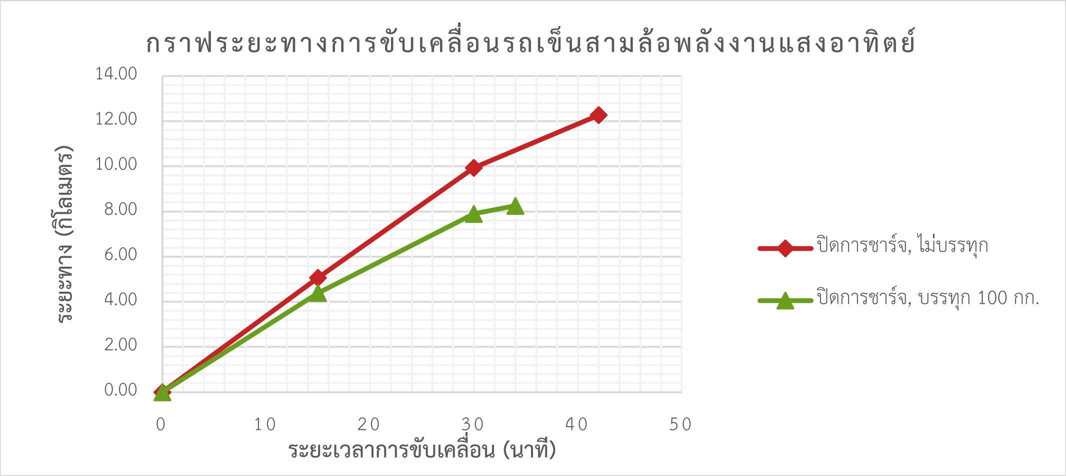
ในตารางที่ 1 พบว่า รถเข็นสามล้อไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถขึ้นทางลาดชันร้อยละ 10.50 ได้ในกรณีรถหยุดนิ่งอยู่กับที่ก่อนออกตัว แต่ถ้ารถเข็นมีระยะส่งที่เพียงพอก็จะสามารถขึ้นทางลาดชันดังกล่าวได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะส่งของรถสามล้อไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในการขึ้นทางลาดชัน ร้อยละ 10.50

ภาระบรรทุก	ไม่บรรทุก	บรรทุก 100 กิโลกรัม
ระยะส่ง (เมตร)	4.5	25

<u>การทดสอบขับเคลื่อนใช้งานรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์</u> ทำการทดสอบเพื่อหาระยะทางที่รถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์วิ่งได้ ความเร็วเฉลี่ย ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ และกระแสไฟฟ้าขณะขับเคลื่อน โดยวัดค่าทุก ๆ 15 นาที เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการขับเคลื่อนแบบไม่มีภาระบรรทุกกับมีภาระน้ำหนักบรรทุก 100 กิโลกรัม มีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

- ระยะทางในการขับเคลื่อน พบว่ากรณีไม่มีภาระบรรทุก รถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์วิ่งได้ประมาณ 12 กิโลเมตร ใช้ระยะเวลา 42 นาที ซึ่งนานกว่ากรณีมีภาระน้ำหนักบรรทุก 100 กิโลกรัม ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟระยะทางการขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ขณะปิดการชาร์จ

- ความเร็วในการขับเคลื่อน ผลการทดสอบ พบว่า กรณีไม่มีภาระน้ำหนักบรรทุก ทำความเร็วสูงสุด 27.91 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วเฉลี่ย 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่ากรณีมีภาระน้ำหนักบรรทุก 100 กิโลกรัม ทำความเร็วสูงสุด 26.03 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วเฉลี่ย 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังตารางที่ 3 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการขับเคลื่อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากพลังงานที่สะสมในแบตเตอรี่น้อยลง ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าและความเร็วมอเตอร์ลดลงด้วย

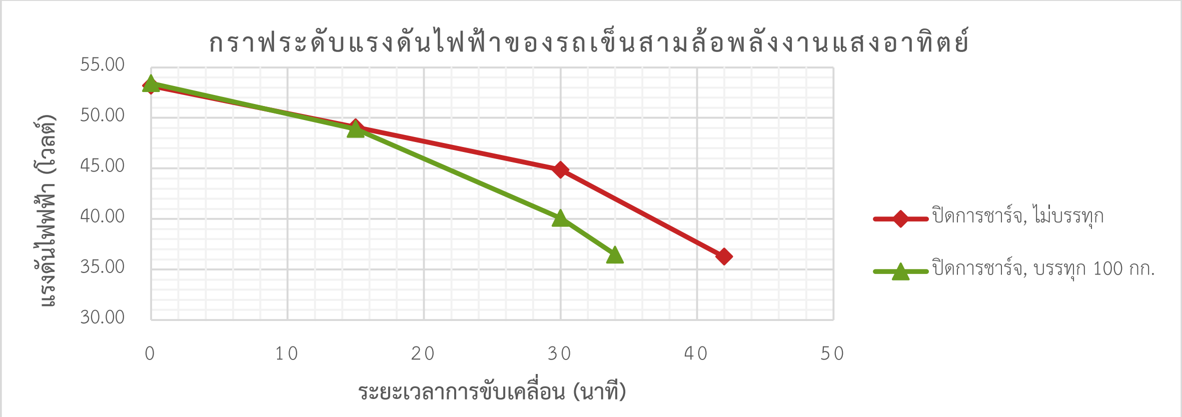
ตารางที่ 3 ความเร็วการขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์

หน่วย: กิโลเมตร/ชั่วโมง

ช่วงเวลาการขับเคลื่อน (ช่วงนาที)			0-15	15-30	30-45
กรณีที่ 1	ไม่บรรทุก	ความเร็วเฉลี่ย	20.23	19.03	11.70
		ความเร็วสูงสุด	27.97	26.77	18.93
กรณีที่ 2	บรรทุก 100 กก.	ความเร็วเฉลี่ย	17.10	13.87	6.07
		ความเร็วสูงสุด	26.03	23.40	8.80

- ระดับแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่ พบว่า ระดับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการขับเคลื่อนใช้งาน โดยกรณีที่มีภาระน้ำหนักบรรทุก 100 กิโลกรัม มีระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่ากรณีที่ไม่มีภาระน้ำหนักบรรทุก

ดังภาพที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับระยะทางที่รถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์วิ่งได้และความเร็วของรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ ตามที่กล่าวมาข้างต้น



ภาพที่ 4 กราฟระดับแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่ของรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์

- กระแสไฟฟ้าขณะขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า กรณีที่มีภาระน้ำหนักบรรทุกจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการขับเคลื่อนรถสามล้อไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มากกว่ากรณีที่ไม่มีภาระน้ำหนักบรรทุก ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่ากระแสไฟฟ้าขณะขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ความเร็วคงที่

ความเร็วการขับเคลื่อน(กิโลเมตร/ชั่วโมง)			**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**28**
กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	**กรณีที่ 1**	**ไม่บรรทุก**	1.50	4.00	7.00	8.00	10.00	11.00
	กรณีที่ 2	**บรรทุก 100 กิโลกรัม**	2.00	4.00	6.50	9.00	12.00	0.00

3) ค่าใช้จ่ายในการสร้างล้อขับเคลื่อนรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์

ล้อขับเคลื่อนรถเข็นที่สร้างขึ้น มีค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์รวมประมาณ 33,200 บาท (ไม่รวมค่าแรงในการติดตั้งอุปกรณ์) โดยมีค่าใช้จ่ายหลัก ได้แก่ ค่ารถเข็น 3 ล้อ ค่ามอเตอร์ไฟฟ้า ค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น เหล็กโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ทางไฟฟ้า (สะพานไฟ สายไฟ กล่องใส่อุปกรณ์) โวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ เป็นต้น ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์สำหรับสร้างล้อขับเคลื่อนและรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับที่	**รายการ**	**ราคาต่อหน่วย (บาท)**	**จำนวน**	**ราคารวม (บาท)**
1	รถเข็น 3 ล้อ	2,300	1	2,300
2	มอเตอร์ไฟฟ้าแบบดุมล้อ พร้อมชุดควบคุม	15,000	1	15,000
3	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด140 วัตต์	3,200	2	6,400
4	แบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ 9 แอมป์-ชั่วโมง	950	4	3,800
5	อุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ (เหล็กโครงสร้าง สายไฟ สะพานไฟ ฟิวส์ กล่องใส่อุปกรณ์)	4,500	1	4,500
6	โช๊ครถจักรยานยนต์	1,200	1	1,200
7	กุญแจสวิตซ์	120	1	120
รวม				33,320

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้ทำการออกแบบพัฒนาและสร้างล้อขับเคลื่อนรถเข็นไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งล้อขับเคลื่อนที่สร้างขึ้นสามารถต่อพ่วงเข้ากับรถเข็นธรรมดา ทำให้สามารถขับเคลื่อนเป็นรถสามล้อไฟฟ้าเพื่อบรรทุกขนย้ายสิ่งของได้และสามารถเปลี่ยนกลับเป็นล้อรถเข็นธรรมดาได้ มีชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งด้านข้างของกระบะบรรทุกซึ่งสามารถพับเก็บได้ในขณะขับเคลื่อน และสามารถกางออกเป็นหลังคาบนกระบะบรรทุกเพื่อรับแสงอาทิตย์ในการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่เมื่อแบตเตอรี่มีความจุไฟฟ้าต่ำ ขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบดุมล้อ (DC Hub Motor) ขนาด 500 วัตต์ แรงดัน 48 โวลต์ การทดสอบสมรรถนะ พบว่า ในกรณีไม่มีภาระน้ำหนักบรรทุก สามารถทำความเร็วได้ถึง 28 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ขับเคลื่อนขึ้นทางลาดชันร้อยละ 5 (ประมาณ 3 องศา) ได้ ส่วนทางลาดชันร้อยละ 10 (ประมาณ 6 องศา) สามารถขับเคลื่อนขึ้นได้แต่ต้องมีระยะส่งไม่น้อยกว่า 4 เมตร และในส่วนการทดสอบขับเคลื่อนทางราบ พบว่า กรณีไม่มีภาระน้ำหนักบรรทุกสามารถใช้งานได้ 42 นาที ได้ระยะทางประมาณ 12 กิโลเมตร โดยปิดระบบการชาร์จไฟจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในกรณีมีภาระน้ำหนักบรรทุก 100 กิโลกรัม สามารถขับคลื่อนได้ระยะทาง 8 กิโลเมตร ใช้เวลาประมาณ 32 นาที อย่างไรก็ตาม ควรมีการพัฒนากลไกในการเปลี่ยนล้อหน้าให้สามารถถอดประกอบได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และ เพิ่มความสามารถของรถเข็นสามล้อพลังงานแสงอาทิตย์ในการขับเคลื่อนขึ้นทางลาดชันให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์. (2555). จักรยานไฟฟ้าพาหนะส่วนบุคคลที่ใช้พลังงานในการขับเคลื่อนที่ถูกที่สุด. **วิศวกรรมสาร**, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 65(2) เดือนมีนาคม-เมษายน, น.80-89.

[2] ประทีป ศิริวัฒนธานี. (ม.ป.ป.). โครงการจัดทำจักรยานไฟฟ้า เพื่อการประหยัดพลังงานและสุขภาพที่ดี. **กองปฏิบัติการควบคุมระบบ**. ฝ่ายปฏิบัติการภาคเหนือ. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.

[3] Batec Mobility. (ม.ป.ป.). **HANDBIKES**. สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2558, จาก https://batec-mobility.com/en/products/ handbikes

[4] กรมทางหลวง. (ม.ป.ป.). **มาตรฐานชั้นทาง**. สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2559, จาก http://www.doh.go.th/doh/th/details/standard/standard1.html

การผลิตแป้งกล้วยครบวงจร โดยใช้เทคโนโลยีนวัตกรรมพลังงาน

Application of Renewable Energy Innovation for Completely Banana Flour Production.

โกศล แสงทอง[1*] อารยา เดียงสา ณัฐธินี สายบัวต่อ

เครือข่ายรวมใจตามรอยพ่อ ตัวแทนเครือข่ายวิถีพอเพียงภาคกลาง บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

ตำบลป่าเด็งมีการรวมตัวในการดำเนินงานในรูปของกลุ่มชื่อ เครือข่ายรวมใจตามรอยพ่อ ได้มีการตั้งเป้าหมายพึ่งพาตนเองในรูปแบบเศรษฐกิจพอเพียง และพลังงานหมุนเวียนมากว่า 10 ปี นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาการแปรรูปผลิตภัณฑ์ จึงได้จัดตั้งเป็นวิสาหกิจชุมชน ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สบู่ถ่าน แชมพูมะกรูด ยาสีฟันสมุนไพร น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น กล้วยฉาบ ขนุนทอด เป็นต้น ปัจจุบันเกษตรกรป่าเด็งที่ดำเนินการปลูกกล้วยน้ำว้านั้น ประสบปัญหาเรื่องราคาผลผลิตตกต่ำ ทีมเครือข่ายรวมใจตามรอยพ่อจึงมีแนวคิดที่จะนำกล้วยน้ำว้าดิบมาแปรรูปเป็นแป้งกล้วย โดยการใช้เทคโนโลยีเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid ขนาด 1 x 1 x 1.3 เมตร ที่มีการใช้ความร้อนจากแก๊สชีวมวลจากถ่านไม้เสริมในกระบวนการอบแห้ง โดยพิจารณาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง เช่น อุณหภูมิ ความเข้มรังสี ดวงอาทิตย์ ความชื้น เพื่อเป็นการเปรียบเทียบความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเครื่องอบแห้ง โดยจะใช้ช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ร่วมชีวมวลตั้งแต่เวลา 09.00 น.-17.00 น. เป็นเวลา 3 วัน จากผลการทดลองพบว่า ในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าดิบปริมาณ 3 กิโลกรัมใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเฉลี่ย 50 – 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาระยะในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง ความเข้มรังสี ดวงอาทิตย์เฉลี่ย 412.14 วัตต์ต่อวัน แป้งกล้วยจากกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการอบแห้งมีค่าความชื้นสุดท้าย 3.43±0.04%d.b. ซึ่งส่งผลให้ค่า Water Activity มีค่าเท่ากับ 0.22±0.01 มีค่าต่ำกว่า 0.6 ตามค่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ค่าสีของแป้งกล้วยมีค่า (L*) เท่ากับ 83.95 อัตราการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล 0.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid เท่ากับ 33.06% สามารถผลิตแป้งกล้วยได้ในปริมาณ 1.5 กิโลกรัม ซึ่งแป้งกล้วยที่ผลิตได้สามารถนำมาแปรรูปเป็นขนมได้หลายชนิด เช่น เค้กกล้วยหอม เค้กหน้านิ่ม บราวนี่ ทองม้วน เป็นต้น จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ระบบนี้มีความเหมาะสมโดยมีระยะเวลา 0.17 ปี สำหรับเปลือกกล้วยน้ำหว้าที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปนั้นทางทีมเครือข่ายรวมใจตามรอยพ่อมีแนวคิดการต่อยอดเพื่อนำไปทำแก๊สชีวภาพเพื่อใช้ภายในครัวเรือนต่อไป

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์, เครื่องอบแห้งแบบ Hybrid, แป้งกล้วย

บทนำ

ปัญหาความเหลื่อมล้ำในสังคมไทยเป็นปัญหาที่มาพร้อมกับความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจผลักให้ประเทศไทยเข้าสู่กลุ่ม”ประเทศที่มีรายได้ปานกลาง” ในนิยามของธนาคารโลก ขณะที่ผลประโยชน์ในภาคการเกษตรนั่นตกอยู่กับพ่อค้าคนกลาง และบริษัทขนาดใหญ่ ส่งผลให้ประชาชนในสังคมชนบทต้องดิ้นรนเพื่อให้ได้มาซึ่งรายได้จากการเกษตรน้อยลง หันไปหารายได้ในภาคนอกการเกษตรมากขึ้น การผลิตสินค้าการภาคการเกษตรส่วนใหญ่เป็นผลิตเพื่อจำหน่ายในลักษณะสินค้าสดจากในไร่มากกว่าที่จะนำผลผลิตมาแปรรูป เพราะความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงแหล่งทุน การขาดความรู้ความเข้าใจทั้งทางด้านการแปรรูปและเทคโนโลยี อันจะนำมาซึ่งเป็นการผลิตสินค้าเกษตรแบบครบวงจร

[*] Corresponding author: Tel.: 085-2719262. E-mail address: go_soccom_4@hotmail.com

สถานการณ์การปลูกกล้วยน้ำว้าในประเทศไทยในปี 2559 เนื้อที่เก็บเกี่ยวผลผลิตของไทยเท่ากับ 181,902 ไร่ เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 918,540 ตัน ผลผลิตต่อเนื้อที่เก็บเกี่ยว 5,050 กก./ไร่ ซึ่งกล้วยน้ำว้าเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทั่วไป จึงทำให้มีพื้นที่ปลูกกระจายอยู่ทั่วไป และมีช่องทางในการจำหน่าย ทั้งผลสดและแปรรูป มีหลากหลายผลิตภัณฑ์ ได้มากกว่ากล้วยชนิดอื่นๆ เช่น กล้วยตาก กล้วยปิ้ง กล้วยเบรกแตก กล้วยฉาบรสชาติต่างๆ ซึ่งมีจำหน่ายทั่วไป จากประเด็นดังกล่าวข้างต้นการนำกล้วยน้ำว้ามาทำเป็นแป้งนั้น ควรมีการคำนึงการผลิตอาหารปลอดภัย โดยเริ่มตั้งแต่การคัดเลือกสายพันธุ์ วิธีการปลูก การดูแลรักษา การให้น้ำ ไปจนถึงการแปรรูป นอกจากนี้ยังควรคำนึงถึงประโยชน์ของกล้วยน้ำว้าอีกด้วย

เครือข่ายรวมใจตามรอยพ่อ ตำบลป่าเด็ง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี เป็นอีกหนึ่งตำบลที่เข้าร่วมการดำเนินงานด้านพลังงานชุมชนของเครือข่ายวิถีพอเพียงภาคกลาง มีการขับเคลื่อนพลังงานชุมชน ส่งเสริมให้เกิดความเข้มแข็งและแก้ปัญหาในชุมชน จนสามารถนำเอาพลังงานด้านต่างๆ มาใช้ในครัวเรือน เครือข่ายรวมใจตามรอยพ่อได้ดำเนินการขึ้นทะเบียนเพื่อเป็นวิสาหกิจชุมชนในตำบล โดยดำเนินกิจกรรมที่นำเอากล้วยน้ำว้าดิบ มาทำเป็นแป้งกล้วยแล้วนำแป้งกล้วยมาทำเป็นขนม ต่างๆ สำหรับการผลิตแป้งกล้วยครบวงจร เกิดขึ้นจากการนำกล้วยน้ำว้ามาแปรรูปในลักษณะที่เป็นแป้งแล้วนำแป้งมาทำขนมชนิดต่างๆ จนได้รับความใจจากนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์และเทคโนโลยี มาฝึกประสบการณ์โดยขอเข้ารับการฝึกที่กระทรวงพลังงาน และฝึกประสบการณ์จริง ที่เครือข่าย รวมใจตามรอยพ่อ จำนวน 5 คน ใช้เวลาในการฝึกจำนวน 4 เดือน นักศึกษาทั้ง 5 คนมีความสนใจในด้านพลังงานและนำเอาพลังงานชุมชนมาพัฒนาเพื่อทำโครงงานวิจัย ได้ 2 โครงงานได้แก่ “การผลิตแป้งกล้วยโดยการใช้เครื่องอบแห้งแบบ Hybrid (Banana Flour Production by Solar Hybrid Dryer) และ การพัฒนาระบบก๊าซชีวภาพเพื่อประยุกต์ใช้งานในชุมชน (The Development of Biogas System Application for Community Using)

วัตถุประสงค์ในการดำเนินงานวิจัย

1.เพื่อเป็นการลดความเหลื่อมล้ำให้กับเกษตรกร และส่งเสริมอาชีพให้วิสาหกิจชุมชนด้วยลักษณะการพึ่งพาตนเองด้านพลังงาน

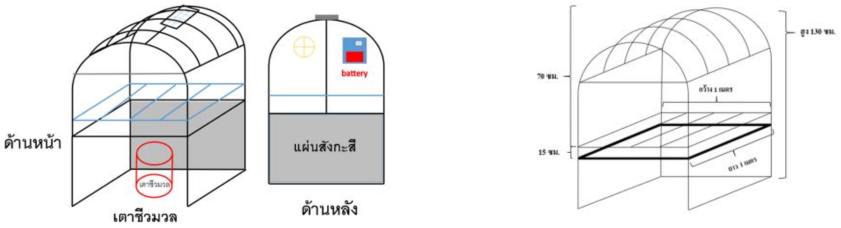
2.เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตร และลดต้นทุนในการผลิตตลอดจนการแปรรูปในลักษณะการทำการเกษตรแบบครบวงจร

3.เพื่อสร้างความร่วมมือในการทำงานร่วมกันของ ชาวบ้าน การศึกษา หน่วยงานและเอกชนอย่างยั่งยืน

วิธีการวิจัย

การออกแบบและติดตั้งเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid

ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นระบบการใช้ความร้อนร่วมการนำชีวมวลมาใช้ในกระบวนการอบแห้งกล้วยน้ำว้า โดยได้ออกแบบให้เครื่องอบแห้งสามารถรับความร้อนได้ 2 ทาง คือ ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง และได้รับจากแหล่งพลังงานความร้อนเสริม ใช้แผ่นสังกะสีปิดทึบด้านล่างของเครื่องอบแห้งเพื่อเป็นฉนวนสะสมความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล โครงสร้างของเครื่องอบแห้งทำแบบขนาดย่อส่วนที่สามารถเคลื่อนย้ายไปในสถานที่ต่างๆ ได้ และใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตเป็นหลังคาของตู้อบแห้ง เนื่องจากสามารถดัดโค้งได้ง่าย น้ำหนักเบา และแสงอาทิตย์ผ่านได้ดี เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบ Hybrid

การอบแห้ง

1.การเตรียมวัตถุดิบ

ตัดกล้วยน้ำว้าดิบ(แก่)ประมาณ 5 กิโลกรัม มาวางไว้ 1 คืนเพื่อให้ยางกล้วยออกมาก่อน แล้วนำมาแช่ในน้ำเกลือ 0.1 % เป็นเวลาประมาณ 30 นาที จากนั้นทำการปลอกเปลือกจะได้ปริมาณกล้วยน้ำว้า 2 กิโลกรัม แล้วนำกล้วยที่ปลอกเปลือกแล้วไปสไลด์เป็นแผ่นบางๆ เพื่อนำนำเข้าตู้อบแห้ง แสดงดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 กล้วยน้ำว้าดิบ

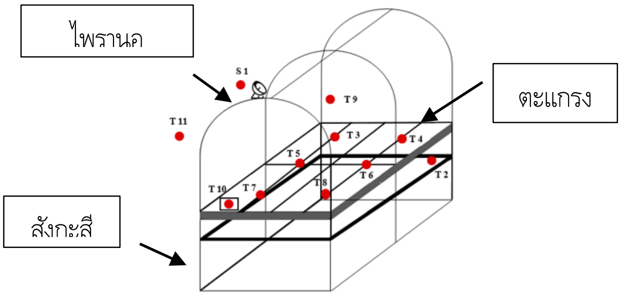
2.การอบแห้ง

นำกล้วยที่สไลด์เป็นแผ่นบางๆ แล้วเข้าเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในช่วงเช้าเวลา 09.00 น.-13.00 น. และในช่วงเวลา 13.00 น.-17.00 น. จะใช้ความร้อนร่วมจากแก๊สชีวมวลที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส อบกล้วยเป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำมาบดให้เป็นผงร่อนด้วยตระแกรง และนำผงกล้วยที่ได้ไปอบในเตาอบด้วยเตาอบอินฟาเรด อีกครึ่งชั่วโมงด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อให้สามารถเก็บแป้งไว้ได้นานขึ้น จากนั้นนำไปแปรรูปเป็นขนมต่างๆ ตามที่ต้องการได้ แสดงดังภาพที่ 3

ภาพที่ 3 การอบแห้งกล้วยน้ำว้าดิบและการทำแป้งกล้วย

การทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้ง

การทดสอบเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊สชีวมวล โดยวัดค่าต่างๆ เช่น อุณหภูมิ อัตราการไหลของอากาศ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ความชื้น เพื่อเป็นการเปรียบเทียบความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเครื่องอบแห้ง



ภาพที่ 3 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิอากาศต่างๆ

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี ระยะเวลาคืนทุนเป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุนอย่างง่ายและไม่ซับซ้อน เป็นการประเมินผลการดำเนินโครงการคร่าวๆและรวดเร็ว

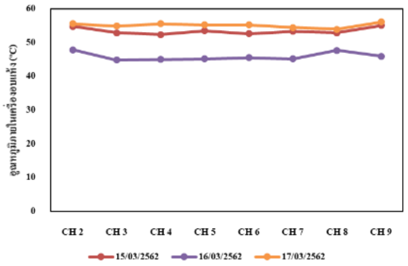
สูตร ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุนเริ่มต้น / กำไรสุทธิเฉลี่ยต่อปี

ผลการวิจัย

การทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้าภายในเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid

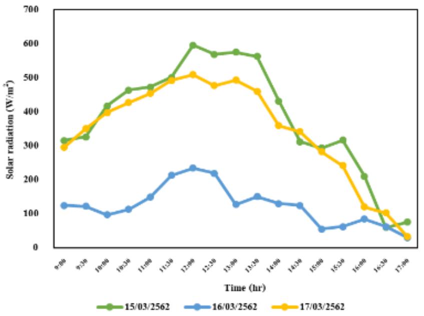
ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิภายในของเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid

พิจารณาค่าอุณหภูมิภายในทั้งหมด 8 ตำแหน่ง โดยทำการเก็บข้อมูลของช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวลตั้งแต่เวลา 09.00 น.-17.00 น. ทำการเก็บผลการทดลองเป็นเวลา 3 วัน ผลของอุณหภูมิภายในเครื่อง แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ค่าอุณหภูมิภายในของเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid (วันที่ 15-17 มีนาคม 2562)

ผลการทดลองวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid



ภาพที่ 5 ค่ารังสีดวงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid (วันที่ 15-17 มีนาคม 2562)

จากภาพที่ 4 และ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมชีวมวล โดยอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันของด้านหลังเครื่อง คือ 52, 45 และ55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยของตรงกลางเครื่อง คือ 53, 45 และ 55 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยด้านหน้าเครื่อง คือ 53, 46 และ 54 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิในช่วงแรกจะต่ำ และค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้น โดยอุณหภูมิจะมีค่าสูงในช่วง 11.00 น.–14.00 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์สูง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid

รายการ	อัตราการป้อน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)	0.05
ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (W/m2)	346.30
พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ (m2)	1
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)	33.06

ในการพิจารณาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid จะทำการพิจารณาการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาแล้ว พบว่า มีค่าพลังงานจำเพาะเท่ากับ 12.73 เมกะจูลน์ต่อกิโลกรัม และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid เท่ากับ 33.06%

ผลการวิเคราะห์ของคุณสมบัติทางกายภาพ

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการอบแห้งแบบ Hybrid ในการทำแป้งกล้วยจากกล้วยน้ำว้า นำกล้วยน้ำว้าอบแห้ง และแป้งกล้วยที่อบแห้งได้วัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab รุ่น ColorFlex EZ จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย ความชื้น ค่า aW และค่าสี ได้ผลดังแสดงดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพของกล้วยน้ำว้าอบแห้ง และแป้งกล้วย

ค่าสี	L*	a*	b*
แผ่นกล้วยน้ำว้า	63.19	4.87	17.00
แป้งกล้วย	83.95	2.95	12.81

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองโดยการวัดค่า 9 ซ้ำ

L* หมายถึง ค่าที่อ่านได้จากความสว่าง (0 = สีดำ, 100 = สีขาว)

a* หมายถึง ค่าที่บ่งบอกสีเขียวและสีแดง (- = สีเขียว, + = สีแดง)

b* หมายถึง ค่าที่บ่งบองสีเหลืองและสีน้ำเงิน (- = สีน้ำเงิน, + = สีเหลือง

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าสีของแผ่นกล้วยน้ำว้าหลังการอบแห้งมีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 63.19 เมื่อนำแผ่นกล้วยน้ำว้าไปปั่นเพื่อเป็นแป้งกล้วยจะมีค่าความสว่าง (L*) มากกว่าแผ่นกล้วยน้ำว้าอบแห้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แป้งกล้วยที่ผ่านการอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ร่วมชีวมวลจะมีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 83.95 ค่า (a*) เท่ากับ 2.95 และค่า (b*) เท่ากับ 12.81

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของการอบแห้งแป้งกล้วยจากกล้วยน้ำว้า

สมบัติทายกายภาพ	ค่า aW
แผ่นกล้วยน้ำว้า	0.23±0.01
แป้งกล้วย	0.22±0.01

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองโดยการวัดค่า 9 ซ้ำ

จากตารางที่ 3 พบว่าค่า aW ของแผ่นกล้วยน้ำว้า และแป้งกล้วยมีค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน(มผช.1380/2550)

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยพิจารณาการอบแห้งโดยใช้ความร้อนร่วมจากพลังงานแสงอาทิตย์และชีวมวลโดยค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายแป้งกล้วย

รายการ	จำนวน	ราคา
กล้วยน้ำว้า	5 กิโลกรัม	25
เกลือแกง	70 กรัม	2
แผ่นสังกะสี	3 แผ่น	450
เตาชีวมวล	1 เตา	700
แบตเตอรี่ 5 A	1 ลูก	300
เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ	1 ตัว	750
พัดลมดูดอากาศขนาด 12 V	1 ตัว	100
อัตราค่าเชื้อเพลิงชีวมวล	2 กิโลกรัม	18.6
อัตราค่าแรงงาน	ครึ่งวัน	150
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	1	5,000
รวม		29,555.6

หมายเหตุ: เตาชีวมวล 1 เตา ราคา 700 บาท (ใช้ได้ 6 ปี)

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการทำแป้งกล้วยจากกล้วยน้ำว้า = 195.6×365 = 71,394 บาท/ปี

= 71,394+280 = 71,814 บาท/ปี

ค่าใช้จ่ายในการออกแบบเครื่องอบแห้ง = 1,600+5,000 = 6,600 บาท

การคำนวณจุดคุ้มทนการใช้เครื่องอบแห้งแบบ Hybrid สำหรับอบแห้งแป้งกล้วยจากกล้วยน้ำว้า

ราคาขายผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง = 1000 บาท/กิโลกรัม

เครื่องอบแห้งสามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ 1.5 กิโลกรัม = 1.5×365 = 547.5 กิโลกรัม/ปี

ดังนั้น จะขายแป้งกล้วยได้ = 547.5 กิโลกรัม/ปี × 1000 บาท/กิโลกรัม

= 547,500 บาท/ปี

จะมีกำไรจากการอบแห้งแป้งกล้วยจากกล้วยน้ำว้า = 547,500-78,414

= 469,086 บาท/ปี

การคำนวณหาระยะคืนทุนของเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid การอบแห้งแป้งกล้วยจากกล้วยน้ำว้า

ระยะเวลาคืนทุนหาได้จาก = ราคาเครื่อง/มูลค่าเพิ่ม

= 78,414/469,086

ดังนั้นจะคืนทุน = 0.17 ปี

สรุปผลการวิจัย

การออกแบบและทดลองใช้งานเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid ขนาด 1 x 1 x 1.3 เมตร เพื่อใช้อบแห้งกล้วยน้ำว้าดิบปริมาณ 3 กิโลกรัมใช้อุณหภูมิในการอบแห้งเฉลี่ย 50 – 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาระยะในการอบแห้ง 8 ชั่วโมง ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 412.14 วัตต์ต่อวัน แป้งกล้วยจากกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการอบแห้งมีค่าความชื้นสุดท้าย 3.43±0.04 %d.b. ซึ่งส่งผลให้ค่า Water Activity มีค่าเท่ากับ 0.22±0.01 มีค่าต่ำกว่า 0.6 ตามค่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ค่าสีของแป้งกล้วยมีค่า (L*) เท่ากับ 83.95 อัตราการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล 0.5 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบ Hybrid เท่ากับ 33.06% สามารถผลิตแป้งกล้วยได้ในปริมาณ 1.5 กิโลกรัม ซึ่งแป้งกล้วยที่ผลิตได้สามารถนำมาแปรรูปเป็นขนมได้หลายชนิด เช่น เค้กกล้วยหอม เค้กหน้านิ่ม บราวนี่ ทองม้วน เป็นต้น จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ระบบนี้มีความเหมาะสมโดยมีระยะเวลา 0.17 ปี สำหรับเปลือกกล้วยน้ำว้าที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปนั้นทางทีมเครือข่ายรวมใจตามรอยพ่อมีแนวคิดการต่อยอดเพื่อนำไปทำแก๊สชีวภาพเพื่อใช้ภายในครัวเรือนต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ในอุณหภูมิที่เหมาะสมของการอบแห้ง
2. ควรคำนึงระยะเวลาในการเติมถ่านใส่เตาชีวมวล

เอกสารอ้างอิง

[1] นางสาวอารยา เดียงสา (2561) การผลิตแป้งกล้วยโดยการอบแห้งแบบ Hybrid โครงงานวิจัย การศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา สืบค้นเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2562

[2] นางสาวณัฐธินี สายบัวต่อ (2561) การพัฒนาระบบก๊าซชีวภาพเพื่อประยุกต์ใช้งานในชุมชน โครงงานวิจัย การศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา สืบค้นเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2562

การผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟโดยวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี
The Fabrication of coffee grounds activated carbon by using chemical activation

ไชยเชษฐ ขวดแก้ว[1*] พลิศภัสร์ คำฟู[1] ศิวัตม์ กมลคุณานนท์[2] อดุลย์ พุกอินทร์[3]
[1] หลักสูตรการจัดการงานวิศวกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อุตรดิตถ์ 53000
[2] หลักสูตรวิศวกรรมบริหารงานก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อุตรดิตถ์ 53000
[3] หลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อุตรดิตถ์ 53000

บทคัดย่อ

การศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ ที่ถูกคาร์บอไนเซชั่นด้วยการเผาแบบอับอากาศ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส นำผงถ่านที่ได้มาทำการกระตุ้นด้วยสารเคมี โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า ค่าร้อยละความชื้นและค่าร้อยละผลผลิตมีค่าอยู่ในช่วง 3.11 – 3.46 และ 85.29 – 85.35 ตามลำดับ ค่าการดูดซับโลหะหนักของผงถ่านมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 99.3 – 99.6 ผงถ่านที่ผ่านการกระตุ้นมีค่าการดูดซับโลหะหนักเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับผงถ่านที่ยังไม่ได้ผ่านการกระตุ้น ดังนั้น กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่กระตุ้นด้วย สารเคมี โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ได้ค่าการดูดซับผ่านตามมาตรฐานอุตสาห กรรม มอก. 900-2547

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์ กากกาแฟ การกระตุ้นด้วยสารเคมี สารละลายโซเดียมคลอไรด์

บทนำ

น้ำเสียเป็นมลพิษอย่างหนึ่งที่ออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม โลหะหนักเป็นสารพิษหลักที่ปนเปื้อนอยู่ อันได้แก่ แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว สังกะสี ทองแดงนิกเกิล เป็นต้น อันอาจนำไปสู่ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป ถ้าไม่มีการกำจัดที่ถูกต้อง อาจมีการรั่วไหลไปสู่ดินและแม่น้ำลำคลอง ไปสู่วงจรอาหารและต่อไปยังคน ก่อให้เกิดอันตรายต่อคนและสัตว์น้ำได้ ดังนั้น กระทรวงอุตสาหกรรมจึงได้ประกาศควบคุมกำหนดค่ามาตรฐานของปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักและสารอันตรายอื่นๆไว้ ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาตัวดูดซับต่างๆ มาใช้ในการกำจัดโลหะหนักเหล่านี้ เช่น ถ่านกัมมันต์ ซีโอไลต์ เรซิน เป็นต้น

ถ่านกัมมันต์ (Activate carbon) เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นโดยผ่านกระบวนการคาร์บอไนซ์โดยการเผาและอัดแรงดันที่อุณหภูมิสูง ๆ ภายใต้การควบคุมปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ผิวของคาร์บอนเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ในโครงสร้าง เกิดร่างแหรูพรุนภายในและร่างหมู่ฟังก์ชั่นบนพื้นผิวในแต่ละส่วน ทำให้ถ่านกัมมันต์มีลักษณะพิเศษ คือ มีพื้นที่สัมผัสผิวมาก ประมาณ 600-2000 ตารางเมตรต่อกรัม จึงมีสมบัติหรืออำนาจในการดูดซับสูง เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นจำนวนมากและขนาดรูพรุนก็แตกต่างกันขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายชนิดเช่น ไม้ยางพารา ไม้ไผ่ เศษไม้เหลือทิ้งและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบกะลามะพร้าว ขี้เลื่อย ซังข้าวโพด เป็นต้น การเตรียมเป็นถ่านกัมมันต์มี 2 วิธี คือ การกระตุ้น ทางกายภาพ (physical activation) และการกระตุ้นทางเคมี (chemical activation) ซึ่งวิธีการกระตุ้นทางเคมีเป็นวิธีที่มีการนำมาใช้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์กันอย่างแพร่หลาย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ เนื่องจากมีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก เวลาที่ใช้ในการกระตุ้นน้อย อุณหภูมิในการกระตุ้นต่ำ และถ่านกัมมันต์ที่ได้มีพื้นที่ผิวและปริมาณรูพรุนสูง สารเคมีที่ได้รับความนิยม

[*] Corresponding author: Tel.: 087 730 0464. E-mail address: annytum2910@gmail.com

นำมาใช้ในการกระตุ้นทางเคมี ได้แก่ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โซเดียมครอไรด์ ($NaCl_2$) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) [1] ปัจจุบันผู้ประกอบการผลิตถ่านกัมมันต์มีการนำเสนอรูปแบบการใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น เช่น การทำผลิตภัณฑ์ฟอกอากาศจากถ่านกัมมันต์ ในรูปแบบที่สวยงามใช้ในรถยนต์ ในตู้เย็น อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านเกษตรกรรม เช่น การดูดซับก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบ การดูดซับก๊าซมีเทนจากมูลสัตว์ หรือประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม เช่น ดูดซับของเสียมีเทนที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยที่แก๊สมีเทนที่ดูดซับได้จากถ่านกัมมันต์ยังสามารถนำไปพัฒนาหรือใช้เป็นพลังงานทดแทนได้อีกด้วย [2-3]

กาแฟจัดเป็นเครื่องดื่มที่ประชาชนทุกเพศทุกวัยนิยมดื่มกันอย่างแพร่หลาย สังเกตจากการที่มีร้านกาแฟตามสถานที่ต่างๆไม่ว่าจะเป็นห้างสรรพสินค้า ร้านขายหนังสือ มหาวิทยาลัย ปั๊มน้ำมัน ชุมชน หรือรถเข็นกาแฟโบราณ ผู้จำหน่ายได้สั่งกาแฟคั่วสำเร็จรูปแล้วมาบดและชงเป็นทั้งกาแฟร้อนและกาแฟเย็น ส่วนกากที่เหลือจากการชงก็ต้องทิ้ง เพราะว่าไม่สามารถให้กลิ่นและรสชาติที่ต้องการได้อีก ทำให้กากกาแฟที่เหลือจากการชงกาแฟถูกทิ้งเป็นจำนวนมากตามการบริโภคที่เพิ่มขึ้น ปัจจุบันมีการนำวัสดุเหลือใช้มาผลิตถ่านกัมมันต์เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับโลหะในการบำบัดน้ำเสีย ดูดกลิ่นและฟอกอากาศ วัสดุที่นำมาผลิตจะพิจารณาถึงองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน ได้แก่ส่วนต่างๆของพืช เช่น เนื้อไม้ เปลือก เปลือกเมล็ด เมล็ดและยางรถยนต์ เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของกากกาแฟแล้ว จะเห็นได้ว่ามีส่วนที่เป็นของแข็ง ที่เหลือจากการสกัดด้วยน้ำร้อนเป็นส่วนมาก ดังนั้นกากกาแฟเป็นส่วนหนึ่งของเมล็ดพืชน่าจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก ควรที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อเป็นตัวดูดซับที่ดีได้ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุ และเป็นการเพิ่มทางเลือกในการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการกระตุ้น จะถูกวิเคราะห์หาค่าร้อยละผลผลิต ค่าความชื้น ค่าการดูดซับโลหะหนัก และสรุปผลต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษากระบวนการ คุณสมบัติและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผลิตได้

วิธีการวิจัย

นำกากกาแฟมาชั่งน้ำหนักก่อนการอบไล่ความชื้นแล้วทำการจดค่าไว้ นำกากกาแฟเข้าในเตาอบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง_หลังจากนั้นคำนวณหาค่าร้อยละความชื้น และร้อยละผลผลิต ทำการกระตุ้นโดยทำการคาร์บอนไนเซชั่นแบบอับอากาศ ที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยการชั่งน้ำหนักก่อนเข้าเตาเผา เมื่อมาทำการคาร์บอนไนเซชั่น แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น นำกากกาแฟมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าความชื้น ค่าร้อยละผลผลิต และค่าร้อยละการดูดซับโลหะหนัก จากนั้นนำถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ได้มาบดและคัดขนาดด้วยตะแกรง นำผงถ่านที่ได้มากระตุ้นด้วยสารเคมีโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเข้าโถดูความชื้น 10 นาที จากนั้นนำเข้าตู้อบ ที่อุณหภูมิ 150 °C ชั่งน้ำหนักทุก 1 ชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่ ทำการหาค่าร้อยละความชื้นและร้อยละผลผลิต นำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการอบแล้วมาชั่งใส่ในขวดชมพู่จำนวน 1 กรัม หลังจากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 100 ppm ลงไปในขวดชมพู่ 50 ml. นำไปเขย่า 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบกำหนดแล้วนำไปกรองเพื่อแยกของแข็งออกจากของเหลว เก็บใส่ขวดเก็บตัวอย่างแล้วปิดฝาให้สนิท แล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าร้อยละการดูดซับโลหะหนักโดยค่าร้อยละการดูดซับโลหะของถ่านกัมมันต์สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$\text{ร้อยละของการดูดซับ} = \frac{\text{ผลต่างของความเข้มข้นเริ่มต้นและความเข้มข้นที่เหลือจากการดูดซับ} \times 100}{\text{ค่าความเข้มข้นเริ่มต้น}} \quad (1)$$

ก ข

ภาพที่ 1 กากกาแฟก่อนเผา (ก) และ หลังการเผาแบบอับอากาศ (ข)

ภาพที่ 2 ถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่กระตุ้นสารเคมีด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ภาพที่ 3 การทดสอบการดูดซับโลหะหนัก

ค่าความชื้นของกากกาแฟ

ค่าความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถการดูดซับ ถ้ามีค่าความชื้นสูงจะส่งผลให้การดูดซับสารละลายหรือก๊าซลดลง [4] จากผลการทดลองหาค่าความชื้นของกากกาแฟก่อนเผาคาร์บอไนเซชั่น พบว่า มีค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ย 10.71 เมื่อทำการเปลี่ยนกากกาแฟด้วยวิธีการคาร์บอไนเซชั่น ด้วยการเผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการกระตุ้นสารเคมีโดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ($NaCl_2$) พบว่าค่าร้อยละความชื้นของถ่านกัมมันต์มีค่าอยู่ในช่วง 3.11 – 3.46 โดยค่าความชื้นของถ่านกัมมันต์ที่ได้มีค่าไม่เกินร้อยละ 8

ค่าร้อยละของผลผลิตของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟ

ค่าร้อยละของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่เผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วง 94.23 – 94.50 และมีค่าลดลงเมื่อนำกระตุ้นสารเคมีโดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ($NaCl_2$) โดยค่าร้อยละของผลผลิตมีค่าเท่ากับ 85.29 – 85.35 การลดลงของค่าร้อยละของผลผลิต เป็นผลมาจากการไม่เสถียรของคาร์บอนภายในถ่าน เมื่อถูกกระตุ้นโดยสารเคมีทำให้คาร์บอนนั้นเกิดการหลุดออก ทำให้น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ลดลง

ค่าร้อยละของการดูดซับโลหะหนัก

ค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่เผาแบบอับอากาศที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าการดูดซับโลหะหนักอยู่ในช่วงค่าร้อยละ 0.33 – 4.10 ดังแสดงในตารางที่ 1 และมีค่า pH เท่ากับ 7.3 และค่าพื้นที่ผิว(BET) ของถ่านกัมมันต์ มีค่าเท่ากับ 232 m^2/g

ตารางที่ 14 ค่าการดูดซับโลหะหนักของถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่เผาแบบอับอากาศ

โลหะหนัก	**ร้อยละการดูดซับ**
Pb	1.00
Cd	0.33
Cu	0.46
Hg	0.60
Fe	4.10

เมื่อนำผงถ่านกัมมันต์มาบดและคัดขนาดด้วยตะแกรง และทำการกระตุ้นด้วยสารเคมี โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า ค่าร้อยละการดูดซับโลหะหนักมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่ามากกว่า ร้อยละ 99.3 และมีค่า pH ลดลง และค่าพื้นที่ผิว (BET) ของถ่านกัมมันต์มีค่า 729 m^2/g โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้นี้มีค่าพื้นผิวสูงขึ้น จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักได้เพิ่มขึ้น ซึ่งถ่านที่ผลิตได้ มีสี ความแข็ง ค่า pH เป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 900-2547 [5]

ตารางที่ 2 การดูดซับโลหะหนัก และค่า pH ของถ่านกัมมันต์ที่ผ่านกระตุ้นด้วยสารเคมี

โลหะหนัก	อัตราส่วน	ร้อยละการดูดซับ	ค่า pH
Pb	1 : 1	99.6	1.69
	1 : 2	99.6	1.14
	1 : 3	99.5	1.68
	1 : 4	99.4	1.24
Cd	1 : 1	99.6	1.74
	1 : 2	99.6	1.73
	1 : 3	99.4	1.73
	1 : 4	99.6	1.73
Cu	1 : 1	99.4	4.69
	1 : 2	99.3	4.66
	1 : 3	99.4	4.62
	1 : 4	99.5	4.61
Hg	1 : 1	99.5	1.09
	1 : 2	99.4	1.11
	1 : 3	99.5	1.09
	1 : 4	99.5	1.68
Fe	1 : 1	99.4	2.53
	1 : 2	99.3	2.73
	1 : 3	99.4	2.56
	1 : 4	99.5	2.73

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบค่าร้อยละความชื้น ค่าร้อยละผลผลิต ค่าการดูดซับโลหะหนัก พบว่า กระบวนการกระตุ้นถ่านกัมมันต์ด้วยสารเคมี โดยการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สามารถผลิตถ่านกัมมันต์จากกากกาแฟที่ผ่านตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 900-2547 [5] ทุกเงื่อนไข กล่าวคือ การแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ส่งผลให้เกิดการหลุดของคาร์บอนซึ่งส่งผลให้เกิดรูพรุน หรือพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นภายในผงถ่าน ซึ่งสอดคล้องกับค่าการดูดซับโลหะหนักที่มีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังจากการกระตุ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่สนับสนุนให้บริการสถานที่ เครื่องมือในการงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ธีรดิตถ์ โพธิตันติมงคล.(2560).ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรโดยการกระตุ้นทางเคมีเพื่อการประยุกต์ใช้กำจัดสารมลพิษในน้ำ.(วิจัย) กรุงเทพมหานคร:สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

[2] ปัญญา มณีจักร์. (2554). การเตรียมถ่านกัมมันต์จากลูก หูกวาง. (วิจัย) ปทุมธานี: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.

[3] จินดารันต์ นิ่มพานิช และคณะ. (2546). **การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านกัมมันต์จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร.** วิทยานิพนธ์ กศ.ม. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[4] Silgado KJ, Marrugo GD, Puello J. (2014). Adsorption of Chromium (VI) by activation carbon produced from oil palm endocarp. **Chemical Engineering Transaction**. (37), 721-726.

[5] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ถ่านกัมมันต์ มอก. 900-2547. (2547). สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.