จัดประชุมโดย

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ
(Proceedings)

การประชุมสัมมนาวิชาการ
รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17

17th Thailand Renewable Energy for Community Conference

"เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับการขยายผลสู่ชุมชนอัจฉริยะ"

28 - 30 ตุลาคม 2567 **ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม**

หัวข้อวิจัยและบทความ

- เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับชุมชน
- พลังงานทดแทนเพื่อการเกษตรอัจฉริยะ
- สิ่งแวดล้อมเพื่อความเป็นกลางทางคาร์บอนสำหรับชุมชน
- การบริหารจัดการพลังงานชุมชนอัจฉริยะ
- นวัตกรรมด้านพลังงานและยานยนต์สมัยใหม่
- นวัตกรรมทางสังคมเพื่อส่งเสริมพลังงานทดแทนภายในชุมชน

ผู้สนับสนุน

รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ (Proceedings)

การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17

17th Thailand Renewable Energy for Community Conference

พิมพ์ครั้งที่ 1 ธันวาคม 2567

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย

เรียบเรียงโดย : วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม
ต.ขี้เหล็ก อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ 50180
อีเมล์ : adiCET@cmru.ac.th
โทร : 062 3104908

จัดทำโดย : วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม
ต.ขี้เหล็ก อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่ 50180
อีเมล์ : adiCET@cmru.ac.th
โทร : 062 3104908

เลขมาตรฐานสากลประจำหนังสืออิเล็กทรอนิกส์
ISBN (E-Book) 978-616-94694-1-4

ครบรอบ ๑๐๐ ปี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

สารอธิการบดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ในนามของผู้บริหาร คณาจารย์ บุคลากร ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ มีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ได้รับเกียรติให้เป็นเจ้าภาพจัดงาน “การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 (TREC 17) หัวข้อ เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับการขยายผลสู่ชุมชนอัจฉริยะ” ในครั้งนี้ ซึ่งเป็นการประชุมวิชาการที่มุ่งส่งเสริมและสนับสนุนให้คณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ ในแวดวงวิชาการตลอดจนนักศึกษา ได้เผยแพร่ผลงานวิจัยและบริการวิชาการผ่านเวทีการนำเสนอผลงานสู่สาธารณะ รวมทั้งยังเป็นพื้นที่สำหรับหน่วยงานภาครัฐ สถาบันการศึกษา องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานภาคเอกชน ผู้ประกอบการ วิสาหกิจชุมชน และประชาชนทั่วไป ได้มีส่วนร่วมในการจัดแสดงผลงาน นิทรรศการ และการเสวนาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน นอกจากนี้ยังเป็นการสร้างบรรยากาศในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และความร่วมมือระหว่างหน่วยงานกับภาคประชาชน สังคม ชุมชน

การจัดงานในครั้งนี้สอดคล้องกับทิศทางการพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่มุ่งสู่การเป็น “สถาบันอุดมศึกษาเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น” ดังที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ได้รับการจัดอันดับ THE Impact Rankings อันดับที่ 1 สี่ปีต่อเนื่อง ของกลุ่มมหาวิทยาลัยราชภัฏ เพื่อเป้าหมายสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) นั้น

กระผมขอถือโอกาสนี้ร่วมเฉลิมฉลองการครบรอบ 100 ปี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่และขอขอบคุณสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ตลอดจนหน่วยงานเครือข่ายความร่วมมือ และผู้ให้การสนับสนุนการจัดงาน (Sponsors) รวมถึง คณาจารย์ บุคลากรเจ้าหน้าที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่มีส่วนสำคัญให้การจัดงานในครั้งนี้ได้เกิดขึ้น และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าทุกท่านจะเป็นกำลังหลักที่สำคัญต่อการพัฒนาองค์ความรู้ และเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการขับเคลื่อนการพัฒนาประเทศให้เจริญก้าวหน้าอย่างยั่งยืน และขออวยพรให้การจัดงานในครั้งนี้ ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ของการจัดงานทุกประการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี มณีโกศล)

รักษาราชการแทน อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

สารประธานคณะกรรมการดำเนินการจัดงาน TREC 17

คณบดีวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย (adiCET)
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ในนามคณะกรรมการดำเนินการจัดงาน “การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 (TREC 17) เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับการขยายผลสู่ชุมชนอัจฉริยะ “(The technology of renewable energy that is suitable for scaling to smart communities.)” รู้สึกเป็นเกียรติอย่างยิ่งที่สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยได้ให้ความไว้วางใจให้วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ในการเป็นเจ้าภาพหลักในการจัดงานในครั้งนี้ โดยเป้าหมายของการขับเคลื่อนวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มุ่งสู่การเป็นวิทยาลัยสีเขียวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ต้นแบบของ “Chiang Mai World Green City” ในการพัฒนาชุมชนสีเขียวเพื่อการพึ่งพาตนเองและอยู่ร่วมกับสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ทั้งทางด้านพลังงาน อาหารและสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปสู่การพัฒนาท้องถิ่น สังคม ประเทศและภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลกได้ และร่วมส่งเสริมการผลิตบัณฑิต สร้างบุคลากร และพัฒนางานวิจัยและบริการวิชาการเพื่อขับเคลื่อนชุมชน Smart BCG ร่วมกับการขับเคลื่อนเพื่อเป้าหมายสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ดังนั้น การจัดการประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 นี้ จึงตอบโจทย์ทั้งในเชิงนโยบาย พันธกิจ ทิศทางและเป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืน

อีกทั้งการจัดงานในครั้งนี้ ยังถือเป็นส่วนหนึ่งในการร่วมเฉลิมฉลองการครบรอบ 100 ปี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่อีกด้วย ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความมุ่งมั่นของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ในการเป็นมหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน ในนามของคณะกรรมการดำเนินการจัดงานฯ ขอขอบคุณผู้สนับสนุนจากทุกภาคส่วน ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชน ที่มีส่วนช่วยให้งานในครั้งนี้เกิดขึ้น ขอขอบคุณผู้บริหารมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่คณาจารย์ บุคลากรเจ้าหน้าที่ ทีมงานทุกท่านที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้บริหาร เจ้าหน้าที่จากส่วนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ปราชญ์ชุมชน และประชาชนทั่วไปผู้เข้าร่วมงานที่ให้การสนับสนุนในการจัดงานในครั้งนี้ และขอให้การจัดงานประสบความสำเร็จ บรรลุวัตถุประสงค์ในการดำเนินงาน และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้เข้าร่วมงานทุกท่านจะได้รับประโยชน์จากการเข้าร่วมงานในครั้งนี้เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาและต่อยอดงานหรือกิจการของตนเอง สังคม ชุมชนและประเทศชาติต่อไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยทิพย์ สินธุยา)
คณบดีวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

สารประธานที่ปรึกษา

สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (Conference of Renewable Energy for community Conferences) ได้ดำเนินการต่อเนื่องมาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2551 สืบเนื่องทุกปีจนถึงปัจจุบัน เป็นครั้งที่ 17 ภายใต้ชื่อ "เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับการขยายผลสู่ชุมชนอัจฉริยะ (The technology of renewable energy that is suitable for scaling to smart communities.) ดำเนินการโดย สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ร่วมกับวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย(adiCET) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการส่งเสริมให้นักวิชาการ อาจารย์ นักวิจัย ชุมชน เกษตรกร รวมทั้งนิสิต นักศึกษาทั่วประเทศ ได้มีโอกาสเผยแพร่ผลงานทางวิชาการสู่สาธารณะ ตลอดจนเป็นการกระตุ้นการสร้างผลงานวิจัย การพบปะแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ประสบการณ์เชิงวิชาการ ความเชี่ยวชาญ ชำนาญการ ระหว่างนักวิจัย นักวิชาการและชุมชน ซึ่งจะนำไปสู่การสรุปยอดแนวทางการวิจัยเพื่อเพื่อสังคมและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนและแก้ไขปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของชาติได้อย่างสัมฤทธิ์ผล ซึ่งจะส่งผลดีต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย

ในนามประธานที่ปรึกษาสมาคมฯ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าการประชุมวิชาการในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์แก่ทุกท่านที่เข้าร่วมประชุมและขอแสดงความขอบคุณทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องที่มีส่วนร่วมในการผลักดันและร่วมกันดำเนินการให้งานประชุมวิชาการนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิรชัย โรยนรินทร์)

ประธานที่ปรึกษาสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

สารนายกสมาคม

สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

ก้าวสู่ปีที่ 17 ของการจัดงาน “การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย เป็นการจัดการประชุมวิชาการระดับชาติ ประจำปี 2567 (TREC-17) ภายใต้ชื่อ “เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับการขยายผลสู่ชุมชนอัจฉริยะ” โดย สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ร่วมกับ วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย (adiCET) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ และหน่วยงานภาคีเครือข่าย พร้อมใจกันจัดงาน TREC-17 ในครั้งนี้ขึ้น

จุดมุ่งหมายสำคัญของสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย คือ การเป็นศูนย์กลางเชื่อมประสานการทำงานร่วมกันทั้งส่วนภาครัฐและประชาชนในการใช้พลังงานทดแทน อนุรักษ์พลังงานและใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศไทย โดยไม่สำคัญที่พลังงานทดแทนจะเป็นรูปแบบใด พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ชีวมวล หรือพลังงานจากน้ำ แต่หัวใจสำคัญหลักของการทำงานคือ การขับเคลื่อนพลังงานทดแทนเพื่อตอบสนองการพัฒนาชุมชน สังคม ท้องถิ่น และประเทศ

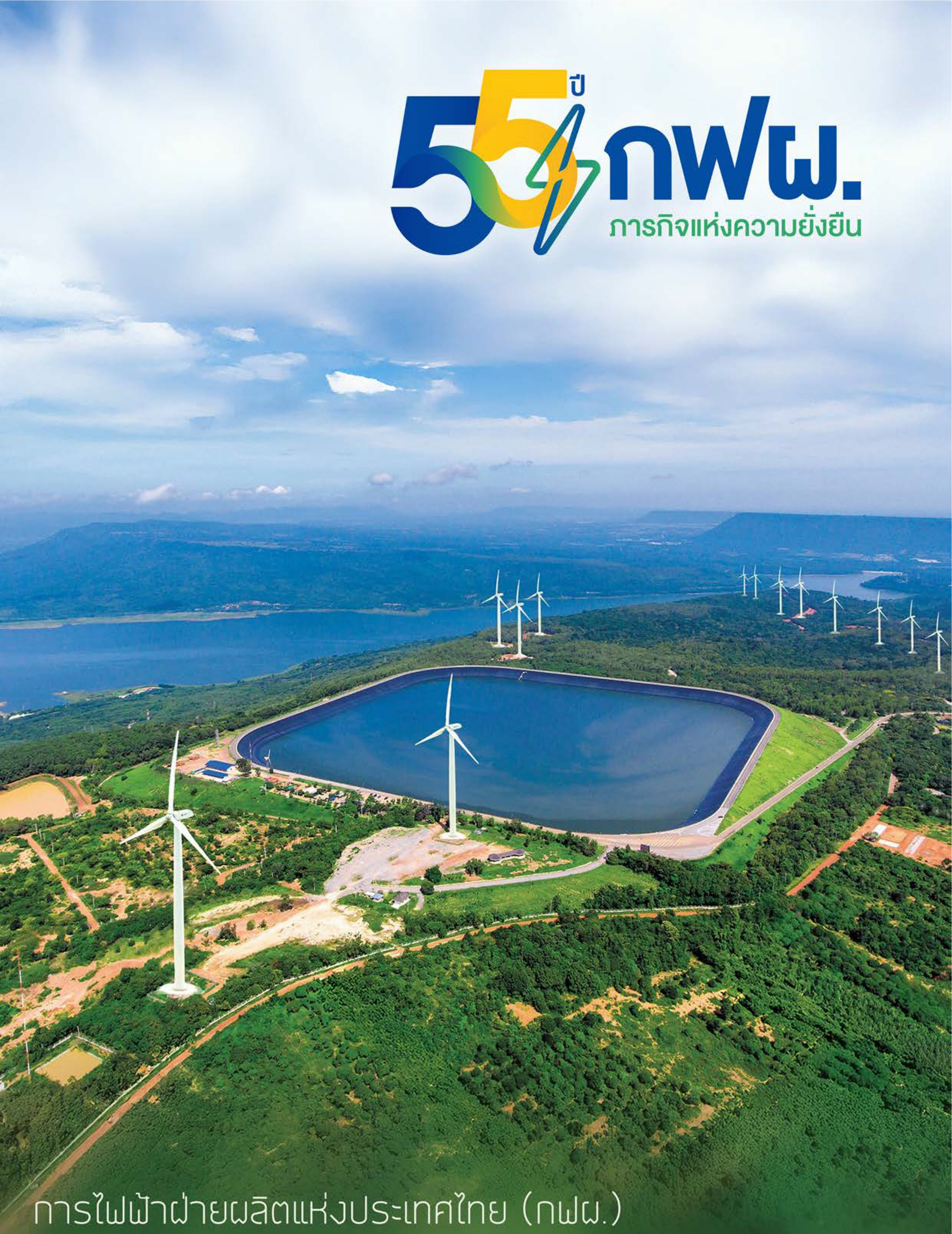
การจัดงานในครั้งนี้เป็นความร่วมมือหลากหลายภาคส่วน ได้แก่ ภาครัฐ ภาคการศึกษา ภาคเอกชน และภาคประชาชน ที่มีการบูรณาการระหว่างนักวิชาการ นักวิจัย และชุมชน ท้องถิ่นเข้าด้วยกัน โดยทุก ๆ สิ่งที่ทำชุมชนต้องเข้าถึงได้ ผ่านกิจกรรมภายในงาน อาทิ การนำเสนอผลงานทางวิชาการ นิทรรศการแสดงผลงานในส่วนของสถาบันการศึกษา นิทรรศการภาคเอกชน นิทรรศการแสดงผลงาน/ผลิตภัณฑ์จากชุมชน รวมถึงเวทีเสวนาต่างๆ กิจกรรมอบรมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) และการนำเสนอโครงการด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Idea Hack & Pitching) อีกด้วย ซึ่งหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ได้เข้าร่วมงาน ได้เกิดการเรียนรู้ พัฒนาองค์ความรู้และการต่อยอดเกิดเครือข่ายความร่วมมือ และสามารถนำความรู้แนวคิดที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการพัฒนาในท้องถิ่นต่อไป

ในนามของสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ขอขอบคุณ adiCET มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ตลอดจนหน่วยงาน องค์กรเครือข่าย ผู้ให้การสนับสนุนการจัดงาน (Sponsors) รวมถึงบุคลากร เจ้าหน้าที่ ทีมงานทุกส่วนที่เกี่ยวข้อง ที่ร่วมมือ ร่วมใจทำเกิดงานในครั้งนี้ขึ้น และขอให้การจัดงานในครั้งนี้ ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ของการจัดงานทุกประการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์ มณีโชติ)

นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

55 ปี กฟผ.
ภารกิจแห่งความยั่งยืน



การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)

เลขที่ 53 หมู่ 2 ถนนจรัญสนิทวงศ์ ตำบลบางกรวย อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี 11130

ศูนย์บริการข้อมูล กฟผ. สายด่วน 1416

คณะกรรมการที่ปรึกษา
สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

1.	รศ.ดร.วิรชัย โรยนรินทร์	ประธานที่ปรึกษา
2.	ศ.ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ	ที่ปรึกษา
3.	ศ.ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	ที่ปรึกษา
4.	ศ.ดร.พีระพงศ์ ทีฆสกุล	ที่ปรึกษา
5.	ศ.ดร.ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	ที่ปรึกษา
6.	ศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง	ที่ปรึกษา
7.	พลอากาศโท เอกราช ชาติชัย	ที่ปรึกษา
8.	ดร.มนตรี ชาลีเครือ	ที่ปรึกษา
9.	ผศ.ดร.บุญเรือง มะรังศรี	ที่ปรึกษา
10.	ดร.สาคร สร้อยสังวาล	ที่ปรึกษา
11.	ดร.วิชัย เพ็ชร์ทองคำ	ที่ปรึกษา
12.	ดร.อำพล อาภาธนากร	ที่ปรึกษา
13.	รศ.ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร	ที่ปรึกษา

คณะกรรมการ
สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

1.	รศ.ดร.พิสิษฎ์ มณีโชติ	นายกสมาคม
2.	ผศ.ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร	อุปนายก
3.	รศ.ดร.วิรชัย โรยนรินทร์	กรรมการ
4.	ผศ.ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรรค์	กรรมการและปฏิคม
5.	ดร.กฤษมาพร พึ่งโพธิ์	กรรมการและเลขานุการ
6.	นางสาวธัญญลักษณ์ ชิดโคกกรวด	เหรัญญิกและประชาสัมพันธ์
7.	รศ.ดร.ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล	นายทะเบียน

คณะกรรมการพิจารณาบทความ

1.	ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ	ที่ปรึกษา
2.	ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	ที่ปรึกษา
3.	ศาสตราจารย์ ดร.ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	ที่ปรึกษา
4.	ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง	ที่ปรึกษา
5.	ศาสตราจารย์ ดร.พีระพงศ์ ทีฆสกุล	ที่ปรึกษา
6.	ศาสตราจารย์ ดร.สำเริง จักรใจ	ที่ปรึกษา
7.	รองศาสตราจารย์ ดร.วิรชัย โรยนรินทร์	ที่ปรึกษา
8.	ดร.อำพล อาภาธนากร	ที่ปรึกษา
9.	รองศาสตราจารย์ ดร.เทพ เกื้อทวีกุล	ประธานคณะอนุกรรมการ
10.	รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฏ์ มณีโชติ	รองประธานคณะอนุกรรมการ
11.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยทิพย์ สินธุยา	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
12.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
13.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชยานนท์ สวัสดีนฤนาท	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
14.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรรค์	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
15.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภานุพงษ์ หมั่นขีด	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
16.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรารถนา มินเสน	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
17.	อาจารย์ ดร.ชเนษฐ์ วิชาศิลป์	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
18.	อาจารย์ ดร.พันธ์ลพ สินธุยา	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
19.	อาจารย์ ดร.กุลจิรา กิ่งไพร	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
20.	อาจารย์ ดร. ศิริพงศ์ ศิริสวัสดิ์	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
21.	ดร.สกลวัฒน์ เศวตรัตนกุล	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
22.	ดร.ธนัญชัย สาทะกลาง	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
23.	ดร.ศศิประภา แก้วแดง	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
24.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาคิณ มณีโชติ	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
25.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พบพร เอี่ยมใส	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
26.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์นรุตม์ บุตรพลอย	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
27.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไตรรงค์ เปลี่ยนแสง	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
28.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนูญ บูลย์ประมุข	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
29.	อาจารย์ ดร.นิวดี คลังสีดา	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
30.	รองศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
31.	รองศาสตราจารย์ ดร.บุณย์ฤทธิ์ ประสาทแก้ว	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการพิจารณาบทความ (ต่อ)

32. รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
33. รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพจน์ เวศพันธุ์	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
34. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ แย้มแฟง	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
35. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย จ้อยเจริญ	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
36. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย จันทร์เพ็ง	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
37. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาพร ประเสริฐพงค์	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
38. อาจารย์ ดร.พิรุฬห์รัชย์ ไทยสมัคร	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39. รองศาสตราจารย์ ดร.ประพิธาริ์ ธนารักษ์	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยนเรศวร
40. อาจารย์ ดร.พัชรินทร์ เยาวรัตน์	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยนเรศวร
41. อาจารย์ ดร.บงกช ประสิทธิ์	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยนเรศวร
42. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สหัถยา ทองสาร	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยนเรศวร
43. รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
44. รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร แก้วอ่อน	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยทักษิณ
45. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รวมพร นิคม	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยทักษิณ
46. อาจารย์ ดร.นเรศ ฉิมเรศ	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยทักษิณ
47. อาจารย์ ดร.วีระวุฒิ แนบเพชร	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยทักษิณ
48. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานวิทย์ แนมใส	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
49. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
50. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
51. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณีรัตน์ วงษ์ซิ้ม	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
52. ผู้ช่วยศาสตราจารย์พีระยศ แข็งขัน	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
53. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรัญ คนแรง	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
54. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนพล แสงสุวรรณ	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
55. รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ จันทร์แก้ว	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
56. รองศาสตราจารย์ ดร.ชิติ ศรีตนทิพย์	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
57. อาจารย์ ดร.สุรพล ใจวงศ์ษา	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
58. อาจารย์ ดร.มาโนช คุ้มพนาลัยสถิต	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
59. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิ์ชาติ อาจกล้า	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด
60. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณนิภา ดอกไม้งาม	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
61. อาจารย์ ดร.ชานนท์ บุญมีพิพิธ	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

คณะกรรมการพิจารณาบทความ (ต่อ)

62.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณีรัตน์ เข็มขาว	อนุกรรมการมหาวิทยาลัเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
63.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศกร คชาพงศ์กุล	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
64.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงกมล เรือนงาม	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
65.	อาจารย์ ดร.ปรางทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ	อนุกรรมการสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
66.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยแม่โจ้
67.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติกร สาสุจิตต์	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยแม่โจ้
68.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยแม่โจ้
69.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจพรรณ นิรัญศิลป์	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยแม่โจ้
70.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑาภรณ์ ชนะถาวร	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยแม่โจ้
71.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระพล ริยะนา	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยแม่โจ้
72.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญ คงกระพันธ์	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยแม่โจ้
73.	อาจารย์ ดร.ศักย์ชัย เพชรสุวรรณ	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
74.	อาจารย์ ดร.รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
75.	อาจารย์พิเชษฐ์ ทานิล	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยนอร์ท เชียงใหม่
76.	ดร.กัมปนาท ซิลวา	อนุกรรมการศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ
77.	ดร.กอบศักดิ์ ศรีประภา	อนุกรรมการศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ
78.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพร พัชรประกิติ	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
79.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคลกร ศรีวิชัย	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
80.	อาจารย์นเรศ ใหญ่วงศ์	อนุกรรมการมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

กำหนดการจัดงาน

งานประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 (TREC-17)

ภายใต้ชื่อ "เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับการขยายผลสู่ชุมชนอัจฉริยะ"

วันที่ 28 - 30 ตุลาคม 2567

ณ อาคารหอประชุมทีปังกรรัศมีโชติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม จังหวัดเชียงใหม่

28 ตุลาคม 2567	
เวลา	กิจกรรม
13:00 – 17:00	- ลงทะเบียน - เตรียมการจัดแสดงนวัตกรรมจากหน่วยงานภาครัฐ เอกชน และชุมชน ณ อาคารหอประชุมทีปังกรรัศมีโชติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม

29 ตุลาคม 2567	
เวลา	กิจกรรม
08.00 – 09.00	ลงทะเบียน ณ อาคารหอประชุมทีปังกรรัศมีโชติ ชั้น 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม
09.00 – 09.10	กล่าวต้อนรับ ผู้เข้าร่วมงานประชุมวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 โดย **รองศาสตราจารย์ ดร.ชาตรี มณีโกศล** รักษาราชการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
09.10 – 09.20	กล่าวรายงาน โดย **รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฎ์ มณีโชติ** นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
09.20 – 09.40	กล่าวเปิดงาน และปาฐกถาพิเศษ เรื่อง **"มุมมองเชิงนโยบายต่อแนวทางการพัฒนาจังหวัดเชียงใหม่ด้านพลังงานทดแทนและชุมชนอัจฉริยะ Smart digital เพื่อความยั่งยืน"** โดย **นายทศพล เผื่อนอุดม** รองผู้ว่าราชการจังหวัดเชียงใหม่
09.40 – 10.10	ปาฐกถาพิเศษ เรื่อง **"นโยบายการส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับชุมชนของประเทศไทย เพื่อเปลี่ยนผ่านสู่ชุมชนอัจฉริยะ"** โดย **นายเพทาย หมุดธรรม** หัวหน้าผู้ตรวจราชการกระทรวงพลังงาน
10.10 – 10.30	มอบประกาศเกียรติคุณแก่ผู้สนับสนุนการจัดงาน
10.30 – 10.45	ถ่ายภาพร่วมกัน
10.45 – 11.00	พักรับประทานอาหารว่าง

29 ตุลาคม 2567 (ต่อ)	
เวลา	**กิจกรรม**
11:00 – 12:00	เสวนาพิเศษ หัวข้อ “เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับการขยายผลสู่ชุมชนอัจฉริยะ” โดย 1. **ผศ.ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร** อุปนายกสมาคมฯ ประจำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2. **นายธนเดช ณัฐวัฒน์จิระประไพ** ผู้ช่วยอุปนายกชุมชนภาคใต้ 3. **นายจารุเกียรติ ปัญญาดี** พลังงานจังหวัดเชียงใหม่ 4. **นายจุลนิตย์ วังวิวัฒน์** ประธานหอการค้าจังหวัดเชียงใหม่ 5. **นายมาโนช พึ่งจะแย้ม** อุปนายกสมาคมฯ ฝ่ายชุมชน ประจำภาคเหนือ ผู้ดำเนินรายการ: **ผศ.ดร.จิรวดี ผลประเสริฐ** ผู้แทนจากสมาคม TREC
12:00 -13:00	รับประทานอาหารกลางวัน การเสวนาภาคกลางวัน (ภาคเอกชน)
12.00 – 13.00	**(เฉพาะคณะกรรมการสมาคมฯและที่ปรึกษาฯ)** ประชุมวาระพิเศษ
โซนที่ A ณ หอประชุมกลาง ชั้น 2	
13:00 – 13:45	**ส่วนที่ 1** กิจกรรมเยี่ยมชมบูธนิทรรศการชุมชนและบริษัทเครือข่าย ผู้ดำเนินรายการ: **ผศ.ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร** อุปนายกสมาคมฯ ประจำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
13:45 – 14:15	**ส่วนที่ 2** บรรยายพิเศษ เรื่องการบำบัดน้ำด้วยนวัตกรรมพลังงานทดแทน น้ำสะอาด อากาศ บริสุทธิ์เพื่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน โดย **รองศาสตราจารย์ ดร.วิรชัย โรยนรินทร์** - ที่ปรึกษาอนุกรรมาธิการพิจารณาศึกษาการส่งเสริมและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัยและนวัตกรรม - ประธานที่ปรึกษา สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
14:15 – 14.55	**ส่วนที่ 3** กิจกรรม Show & Share ไอเดียเทคโนโลยี/นวัตกรรมพลังงานทดแทนเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น
14.15 – 14.35	บรรยายพิเศษ หัวข้อ “**แนวทางการสนับสนุนผู้ประกอบการชุมชนด้วยนวัตกรรมเพื่อสังคม**” โดย **ดร.อำพล อาภาธนากร** ผู้จัดการพัฒนานวัตกรรมอาวุโส สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน)
14.35 – 14.55	บรรยายพิเศษ หัวข้อ “**เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อสนับสนุนผู้ประกอบการ**” โดย **ผู้แทน จากสำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล สาขาภาคเหนือตอนบน**
14.55 – 15.10	รับประทานอาหารว่าง

โซนที่ A ณ หอประชุมกลาง ชั้น 2 (ต่อ)	
เวลา	**กิจกรรม**
15:10 – 16.10	**กิจกรรม Show & Share: นำเสนอไอเดียเทคโนโลยี/นวัตกรรมพลังงานทดแทนเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น** (ผู้นำเสนอ 10 นาที/โครงการ และถาม-ตอบและให้คำแนะนำจากคณะกรรมการ 5 นาที/โครงการ รวมทั้งสิ้น 15 นาที/โครงการ) **คณะกรรมการตัดสินผลงาน** 1. **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑาทิพย์ เฉลิมผล** ผู้ช่วยอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 2. **ดร.อำพล อาภาธนากร** ผู้จัดการพัฒนานวัตกรรมอาวุโส สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) **ผู้ดำเนินรายการ: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรรค์** วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
15.10 – 15.25	**(1) Soil Sense: เครื่องตรวจคุณภาพดิน PH NPK Iot ชาร์จด้วยโซลาร์เซลล์** โดย **นางสาวเนตรนภา แดงนิ่ม** วิสาหกิจชุมชนอินเทลิเจ็นอกรีคัลต์เจอร์ (จังหวัดชุมพร)
15.25 – 15.40	**(2) บ้านปัญญารัง (Baan Panya Rang): รังเลี้ยงผึ้งชันโรง ควบคุมด้วยระบบ IoT ใช้โซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานขับเคลื่อนระบบ** โดย **นายธนเดช ณัฐวัฒน์จิระประไพ** วิสาหกิจชุมชนธนาคารผึ้งและชันโรงบางแก้วภาคใต้ (จังหวัดพัทลุง)
15.40 – 15.55	**(3) การพัฒนารูปแบบการบริหารสถานศึกษาร่วมพัฒนากระบวนทัศน์ใหม่ เพื่อปลูกฝังการรักษาสิ่งแวดล้อมและมุ่งสู่การใช้พลังงานสะอาด: กรณีศึกษา โรงเรียนชุมชนบ้านสี่แยก จังหวัดนครศรีธรรมราช** โดย **ดร.กันตพงศ์ คงหอม** โรงเรียนชุมชนบ้านสี่แยก จังหวัดนครศรีธรรมราช
15.55 – 16.10	**(4) Smart Simulation Game เพื่อการเรียนรู้เทคโนโลยี ร่วมกับการปฏิบัติจริง: โรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 61 จังหวัดเชียงใหม่** โดย **นายประทิน ตั้งใจ และนายสิริพิชญะ สง่าเชิม** โรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 61 จังหวัดเชียงใหม่
16.10 – 16.30	มอบประกาศนียบัตรแก่ผู้นำเสนอ Show & Share

โซนที่ A ณ หอประชุมกลาง ชั้น 2 (ต่อ)	
เวลา	กิจกรรม
16.30 – 17.00	**ส่วนที่ 4 พิธีลงนามบันทึกความร่วมมือทางวิชาการ (MOU) ระหว่าง มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา กับ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย** **ผู้ร่วมลงนาม:** **<u>มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา</u>** **ผศ.ดร.ศิริชัย นามบุรี** อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา **ผศ.ดร.อีลีหยัะ สนิโซ** รองคณบดีฝ่ายวิจัย บริการวิชาการ และกิจการนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา **อ.ดร.วาริษา วาแม** ประธานหลักสูตรวิทยาศาตรบัณฑิต สาขาพลังงานทดแทน คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา **<u>สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย</u>** **รศ.ดร.พิสิษฎ์ มณีโชติ** นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย **รศ.ดร.วิรชัย โรยนรินทร์** ประธานที่ปรึกษาสมาคม **ดร.อำพล อาภาธนากร** ที่ปรึกษาสมาคม
โซนที่ B ณ อาคารด้านข้างหอประชุม	
13:30 – 17:00	**ส่วนที่ 5 การสัมมนาเชิงปฏิบัติการ (Workshop)** <u>ห้องที่ 1</u> หัวข้อ “การจัดการขยะ เพื่อเป็นพลังงาน: เทคโนโลยีในการเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นน้ำมันดีเซล” โดย **รศ.ดร.พิสิษฎ์ มณีโชติ** นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
	<u>ห้องที่ 2</u> หัวข้อ “การยกระดับเทคโนโลยีการเปลี่ยนรถยนต์เป็นรถยนต์ไฟฟ้าเชิงพาณิชย์” โดย **ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว** รองคณบดีฝ่ายวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
โซน C ณ ห้องนำเสนอชั้น 1	
13:00 – 17:00	**ส่วนที่ 6** การนำเสนอผลงานทางวิชาการภาคบรรยาย (6 ห้องนำเสนอ)
	กลุ่มที่ 1 เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับชุมชน กลุ่มที่ 2 พลังงานทดแทนเพื่อการเกษตรอัจฉริยะ กลุ่มที่ 3 สิ่งแวดล้อมเพื่อความเป็นกลางทางคาร์บอนสำหรับชุมชน กลุ่มที่ 4 การบริหารจัดการพลังงานชุมชนอัจฉริยะ กลุ่มที่ 5 นวัตกรรมด้านพลังงานและยานยนต์สมัยใหม่ กลุ่มที่ 6 นวัตกรรมทางสังคมเพื่อส่งเสริมพลังงานทดแทนภายในชุมชน กลุ่มที่ 7 Asia Renewable Energy for Community Conference (AREC)

โซน C ณ ห้องนำเสนอชั้น 1	
เวลา	**กิจกรรม**
17:30 – 18:00	**ประชุมสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ประจำปี 2567** ณ ห้องรับรองแขก VIP และคณะกรรมการสมาคม (บริเวณด้านหลังเวทีกลาง)
18:00 – 21:00	**พิธีปิดงานประชุม** (ประกาศรางวัล Best paper, TREC Technology Award และอื่น ๆ) ณ ร้านจีเจ

30 ตุลาคม 2567 ณ วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย (adiCET)	
เวลา	**กิจกรรม**
กิจกรรม Site visit ศึกษาดูงาน “ชุมชนสีเขียวอัจฉริยะ” ณ วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม	
08.30 – 09.00	ลงทะเบียน ณ อาคารบ้านนก วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แม่ริม
09.00 – 09.30	กล่าวต้อนรับ และแนะนำวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย “ชุมชนสีเขียวอัจฉริยะ” โดย **ผศ.ดร.หทัยทิพย์ สินธุยา** คณบดีวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
09.30 – 10.30	เยี่ยมชมสถานที่ “ชุมชนสีเขียวอัจฉริยะ”
10.30 – 10.45	รับประทานอาหารว่าง
10.45 – 11.00	สรุปกิจกรรม และเดินทางกลับโดยสวัสดิภาพ

ตารางการนำเสนอบทความ

การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17

ห้องนำเสนอที่ 1 เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับชุมชน

ห้องนำเสนอที่ 1 (1A)			ผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง: ผศ.ดร. นิกราน หอมดวง ผศ.ดร.ภาคิณ มณีโชติ
ลำดับ	**เวลา**	**รหัส**	**ชื่อบทความ**
1	13:00 – 13:15	REC001	การเปรียบเทียบผลเตาผลิตถ่านชาร์กับการจำลองทางคอมพิวเตอร์ *ลลิตา เพชรใจหาญ ธเนศ ไชยชนะ เสริมสุข บัวเจริญ ณัฐพงษ์ เกี่ยวพันธุ์ ธนกฤต พิงต๊ะ จิรโชติ ยะมณี นวพล เขตวัง ณัชพงศ์ เมธาวงค์ ศุภาโชค สีใส และ ภคมน ปินตานา*
2	13:15 – 13:30	REC002	การเพิ่มสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวด้วยการเติมใบลำไยแห้ง *พัชรี อินธนู สุภัชชา ประมาศ และ ณัฐมน เพชรศิริพันธุ์*
3	13:30 – 13:45	REC003	การศึกษากระบวนการการผลิตถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงจากลูกตาลสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตาลจะรัง อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี *ลุตฟี สือนิ มูฮำมัดคอยรี หะยีบากา อีลีหย๊ะ สนิโซ และ อิสรา อาแว*
4	13:45 – 14:00	REC004	การศึกษาการใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสานแทนแป้งมันสำปะหลังในการผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้าง: สมบัติทางกายภาพ ค่าความร้อน และต้นทุนการผลิต *สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี*
5	14:00 - 14:15	REC005	การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลจากกระจูด: การเพิ่มค่าความร้อนและความเร็วในการติดไฟด้วยกาวยางพารา *ซุลกีฟลี กะดอง ฮามีดะห์ แยนา มูฮัมหมัดซัมรี โต๊ะแวหะยี ลุตฟี สือนิ ต่วนสุไรดา ต่วนปูเตะ และ อาบีดีน ดะแซสาเมาะ*
6	14:15 – 14:30	REC006	ความสามารถเชิงความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร กรณีศึกษาเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ *สรวิศ สอนสารี และ ฐิติพร เจาะจง*
7	14:30 – 14:45	REC007	การผลิตไบโอเอทานอลจากไฮโดรไลเซทชานอ้อยผ่านการกำจัดสารยับยั้งด้วยถ่านกัมมันต์และการหมักด้วยยีสต์ Pichia stipitis TISTR5806 *เตชัส พรมตา รจพรรณ นิรัญศิลป์ Rameshprabu Ramaraj นิกราน หอมดวง สุระพล ริยะนา อุกฤต สมัครสมาน และ กิตติกร สาสุจิตต์*
8	14:45 – 15:00	REC008	การประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม *สุกฤษ มณีรัตน์ ปรางทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ และ ชานนท์ บุญมีพิพิธ*

ห้องนำเสนอที่ 1 เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับชุมชน (ต่อ)

ห้องนำเสนอที่ 1 (1B)			ผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง: ผศ.ดร. ธเนศ ไชยชนะ คุณประวิทย์ นินวิเชียร
ลำดับ	เวลา	รหัส	ชื่อบทความ
1	15:15 – 15:30	REC018	ผลการกวนที่มีต่อผลการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่ *อีลีหยั๊ะ สนิโซ ลุตฟี สือนิ มูฮำมัดคอยรี หะยีบากา ฮูเซ็ง ชายดานา มารียัม เจ๊ะโว๊ะ สุวรรณา เจ๊ะแล และ วาริษา วาแม*
2	15:30 – 15:45	REC019	การจำลองการกระจายอุณหภูมิในระบบอบแห้งที่อาศัยความร้อนจากเตาเผาขยะ *อีลีหยั๊ะ สนิโซ[1] ลุตฟี สือนิ มูฮำมัดคอยรี หะยีบากา ฮูเซ็ง ชายดานา และ นูรฮาฟีกีน ดาหะมะ*
3	15:45 – 16:00	REC020	การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยแผ่นดูดซับความร้อนแบบร่องตัววี *พงษ์เจต พรหมวงศ์ ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์ อรรถพล ชัยมนัสกุล สืบสกุล คุรุรัตน์ และ สมพล สกุลหลง*
4	16:00 – 16:15	REC021	การออกแบบ สร้าง และทดสอบ เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วสำหรับการผลิตน้ำมันชีวภาพผงไผ่ *นิกราน หอมดวง กิตติกร สาสุจิตต์ ประภัสสร รัตนไพบูลย์ พนธกร เหลี่ยมเคลือบ นรินทร์ ศรีธิการ และ สุรพล ริยะนา*
5	16:15 – 16:30	REC022	การประเมินสมรรถนะการนำความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตถ่านชีวมวลร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน *มงคล จันโทภาส กิตติกร สาสุจิตต์ สุระพล ริยะนา ชูรัตน์ ธารารักษ์ พรประเสริฐ อินทะลาด และ นิกราน หอมดวง*
6	16:30 – 16:45	REC023	การทดลองผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสชนิดเบดนิ่ง *พนธกร เหลี่ยมเคลือบ กิตติกร สาสุจิตต์ เสมอขวัญ ตันติกุล ถิรวัฒน์ วงษาเทียม ลลิตา เพชรใจหาญ พัชรี อินธนู และ นิกราน หอมดวง*
7	16:45 – 17:00	REC024	การเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิส *ฐิติพงษ์ แสงจันทร์ พิสิษฏ์ มณีโชติ ไพฑูรย์ เหล่าดี สหัสธยา ทอสาร พัชชรินทร์ เยาวลักษณ์ และ ปรีชา ศรีประภาคาร*

ห้องนำเสนอที่ 2 เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับชุมชน

ห้องนำเสนอที่ 2 (2A)			ผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง: ผศ.ดร. จรัญ คนแรง อาจารย์ ดร. ธนวรรธน์ วัชรดำรงค์ศักดิ์
ลำดับ	เวลา	รหัส	ชื่อบทความ
1	13:00 – 13:15	REC009	การศึกษาสมรรถนะและความคุ้มทุนโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ *สุวิชา พุทธารัตน์ ปราการ สุวรรณเจริญ และธนวัฒน์ เฉลิมพงษ์*
2	13:15 – 13:30	REC010	การศึกษาการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแผ่นสะท้อนแสงอลูมิเนียมร่วมกับการติดตามดวงอาทิตย์ *ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล กฤชนนท์ สวนจันทร์ ศุภโชค อรุณนวล และ อธิป ศรีจันทร์*
3	13:30 – 13:45	REC011	การศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งสำหรับประเทศไทย *กฤษณชัย ยอดอรทัย และ ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล*
4	13:45 – 14:00	REC012	การศึกษาประสิทธิภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความสูงและบนพื้นที่ที่มีลักษณะแตกต่างกัน *นุรอัยนี สาแม เอกชัย สิงหเดช และ วาริษา วาแม*
5	14:00 – 14:15	REC013	อิทธิพลของอุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์ที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ *สุรัตติกาล สุวรรณพรหม สันติ หวังนิพพานโต ศักดา พรหมเหมือน พิษณุ ศรีธงชัย และศิวกรณ์ ศิริมาตยาพันธุ์*
6	14:15 – 14:30	REC014	การประยุกต์ใช้ท่อเวนจูรีเพื่อเติมอากาศในน้ำโดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ *กฤชนนท์ สวนจันทร์ ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล ภูมิ ธุวะคำ ศิวะโรจน์ บำเพ็ญทาน และพีรพล ปานโทน*
7	14:30 – 14:45	REC015	การศึกษาและสร้างต้นแบบระบบอัดอากาศเพื่อฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำแบบควบคุมอัตโนมัติโดยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดทุ่นลอยน้ำขนาด 3 กิโลวัตต์ *สิริศักดิ์ ปางวุฒิวณิชย์ วิรชัย โรยนรินทร์ วรเชษฐ์ แสงสีดา ไวยวิทย์ อุทัยเฉลิม ธนยศ คิดเมตตากุล และ สุเทพ สีมาลา*
8	14:45 – 15:00	REC016	การศึกษาสมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์บนพื้นผิวหลังคาที่แตกต่างกัน *พิพัฒน์พงศ์ กาซ้อน สราวุธ พลวงษ์ศรี สุลักษณา มงคล และ อัคrินทร์ อินทนิเวศน์*
9	15:00 – 15:15	REC017	ผลกระทบด้านอุณหภูมิและระยะความสูงจากพื้นดินในการวางแผงโซล่าเซลล์ชนิดติดตั้งบนพื้นดินในการศึกษาทดสอบจากขนาดกำลังการผลิต 4.86 กิโลวัตต์ในการผลิตไฟฟ้า *สุเทพ สีมาลา วิรชัย โรยนรินทร์ สิริศักดิ์ ปางวุฒิวณิชย์ ไววิทย์ อุทยัเฉลิม วรเชษฐ์ แสงสีดา และสุทธิศักดิ์ ขวัญเพชร*

ห้องนำเสนอที่ 2 เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับชุมชน (ต่อ)

ห้องนำเสนอที่ 2 (2B)			ผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง: ศ.ดร.พานิช อินต๊ะ อาจารย์พิเชษฐ์ ทานิล
ลำดับ	**เวลา**	**รหัส**	**ชื่อบทความ**
1	15:15 – 15:30	REC025	การศึกษาความเป็นไปได้ในการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ส่งผลต่อความชื้นและคุณภาพสีของเห็ดเยื่อไผ่เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตของวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดเยื่อไผ่และแปรรูปบ้านกอรวก *อวิรุทธ์ บัวใหญ่ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล ธเนศ ไชยชนะ ปฏิพัทธิ์ ถนอมพงษ์ชาติ วศินวิ์โรฒม์ เนติศักดิ์ และ ภคมน ปินตานา*
2	15:30 – 15:45	REC026	การประเมินผลกระทบจากการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตมะขามคลุกของวิสาหกิจชุมชน *ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด อนุพล อัคพิน ประภาศิริ ใจผ่อง และ จุฑาลักษณ์ ปานเกิด*
3	15:45 – 16:00	REC027	การพัฒนาและประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล *พรประเสริฐ อินทะลาด กิตติกร สาสุจิตต์ สุระพล ริยะนา ชูรัตน์ ธารารักษ์ มงคล จันโทภาส และ นิกราน หอมดวง*
4	16:00 – 16:15	REC028	การศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานจากขดลวดความร้อน ที่ควบคุมสภาวะอากาศอบแห้ง *สุทธิพงษ์ เรืองจิตร นิกราน หอมดวง ชูรัตน์ ธารารักษ์ สุระพล ริยะนา และ กิตติกร สาสุจิตต์*
5	16:15 – 16:30	REC029	การทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยระบบอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์ – ไฟฟ้าแบบกึ่งอัตโนมัติ *ชาญวิทย์ เทพอุโมงค์ ภคมน ปินตานา ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล และ ธเนศ ไชยชนะ*
6	16:30 – 16:45	REC030	การศึกษาผลของการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรจากการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหลือทิ้ง *ฮุซเซ็น บือแน อิลีหยะ สนิโซ ลุตฟี สือนิ และ มูฮำมัดคอยรี หะยีบากา*
7	16:45 – 17:00	REC031	การดัดแปลงวัฏจักรอัดไอสำหรับการผลิตน้ำจากอากาศ *ถิรวัฒน์ วงษาเทียม เสมอขวัญ ตันติกุล กิตติกร สาสุจิตต์[1] สุระพล ริยะนา ญานกร สุทัศมาลี พนธกร เหลี่ยมเคลือบ ลลิตา เพชรใจหาญ และ นิกราน หอมดวง*

ห้องนำเสนอที่ 3 เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับชุมชน นวัตกรรมทางสังคมเพื่อส่งเสริมพลังงานทดแทนภายในชุมชน และพลังงานทดแทนเพื่อการเกษตรอัจฉริยะ

ห้องนำเสนอที่ 3 (3A)			ผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง: ผศ.ดร. มงคลกร ศรีวิชัย อาจารย์ ดร.วินิตรา ลีละพัฒนา
ลำดับ	เวลา	รหัส	ชื่อบทความ
1	13:00 – 13:15	REC032	ความคุ้มค่าระบบพลังงานหมุนเวียนทุกช่วงเวลาในการเลี้ยงปลาพร้อมปลูกพืชแบบไม่แช่น้ำ *ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ*
2	13:15 – 13:30	REC033	การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ระบบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพื่อการแปรรูป น้ำพริกหนุ่มในระดับวิสาหกิจชุมชน *จักรพรรณ คงธนะ ชูรัตน์ ธารารักษ์ กิตติกร สาสุจิตต์ และ นิกราน หอมดวง*
3	13:30 – 13:45	SNC001	นวัตกรรมทางสังคมเพื่อส่งเสริมพลังงานทดแทนภายในชุมชน ต.สันป่าเปา อ.สันทราย จ.เชียงใหม่*กันต์กนิษฐ์ บุญธิมาศ และ ยุทธนา บุญธิมาศ*
4	13:45 – 14:00	SNC002	การประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของกลุ่มผลิตน้ำดื่มชุมชนชาวไทยภูเขาเผ่าม้ง กรณีศึกษาตำบลบ้านปง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ *รุ่งนภา จุลศักดิ์ วรพจน์ โพธาเจริญ สกลวัฒน์ เศวตรัตนกุล ธนัญชัย สาทะกลาง และ วรจิตต์ เศรษฐพรรค์*
5	14:00 - 14:15	SNC003	การวิเคราะห์ปัจจัยแห่งความสำเร็จสำหรับศูนย์การเรียนรู้พลังงานชุมชน *มาโนช พึ่งจะแย้ม และ วรจิตต์ เศรษฐพรรค์*
6	14:15 – 14:30	SNC004	การออกแบบและพัฒนาตู้อบแห้งอเนกประสงค์แบบไฮบลิดเพื่อเพิ่มศักยภาพและขีดความสามารถในแข่งขันของเกษตรแปรรูปและสมุนไพรในจังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดตาก *เทพ เกื้อทวีกุล ภาคิณ มณีโชติ จารุกิตติ์ พิบูลนฤดม อัษฎางค์ บุญศรี นิวดี คลังสีดา เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์ จตุรงค์ ธงชัย และ เศวต สมนักพงษ์*
7	14:30 – 14:45	SNC005	ถอดบทเรียนแสงสว่างทั่วดอยเพื่อการสร้างโอกาสทางการศึกษาและการรับรู้ข้อมูลข่าวสาร *ภมร ทรงยศ เอกณัฏฐ์ กระจ่างธิมาพร สุรเดช พหลโยธิน และ บวรศักดิ์ เพชรานนท์*
8	14:45 – 15:00	SNC006	การออกแบบพัฒนาเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร *สุรเชษฐ์ ตุ้มมี ภาคิณ มณีโชติ ศิรประภา พลธนะ และ เทพ เกื้อทวีกุล*

ห้องนำเสนอที่ 3 เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับชุมชน นวัตกรรมทางสังคม เพื่อส่งเสริมพลังงานทดแทนภายในชุมชน และพลังงานทดแทนเพื่อการเกษตรอัจฉริยะ (ต่อ)

ห้องนำเสนอที่ 3 (3B)			ผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง: รศ.ดร.ฤทธิชัย อัศวราชันย์ อาจารย์ ดร.พุทธดี อุบลศุข
ลำดับ	**เวลา**	**รหัส**	**ชื่อบทความ**
1	15:15 – 15:30	REA001	โรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาตที่มีการควบคุมสภาวะอากาศแบบอัจฉริยะ *อิสมาแอ ฮาเก็ง นิกราน หอมดวง กิตติกร สาสุจิตต์ และ สุระพล ริยะนา*
2	15:30 – 15:45	REA002	การศึกษาสมรรถนะของระบบควบคุมสภาพอากาศในบ่อเลี้ยงจิ้งหรีดด้วยระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ *สุลักษณา มงคล ปรีชา ศรีประภาคาร คำภา สีภา และ สราวุธ พลวงษ์ศรี*
3	15:45 – 16:00	REA003	ระบบการเพาะปลูกพืชไมโครกรีนอัจฉริยะ: การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง *ปิติภัทร ศักดิ์วงษ์ มณีรัตน์ วงษ์ซิ้ม และ เมธาพร อบทอง*
4	16:00 – 16:15	REA004	ต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชสำหรับการปลูกพืชแบบแถวตรงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ *สุทัตชา รุ่งสว่าง ยุทธพงษ์ ตาระปิน นิกราน หอมดวง กิตติกร สาสุจิตต์ เสมอขวัญ ตันติกุล ทัศนีย์ ชัยยา และ สุระพล ริยะนา*
5	16:15 – 16:30	REA005	การพยากรณ์ค่า pH และ EC ในสารละลายที่ใช้ปลูกเมล่อน *ศักดิ์ชัย ศรีมากรณ์ ณิชา นภาพร จงกะสิกิจ นพนันท์ สุขสมบูรณ์ สันติ วงศ์ใหญ่ อนุกิจ เสาร์แก้ว และ โอฬาร เชี่ยวชาญ*
6	16:30 – 16:45	REA006	การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ: กรณีศึกษาในจังหวัดสงขลา *ลัญฉกร นิลทรัตน์ และ ศรัณย์ ณรงค์กูล*
7	16:45 – 17:00	REA007	การประยุกต์ใช้ราสเบอร์รี่พายควบคุมการเปิด-ปิด ประตูอิเล็กทรอนิกส์ โดยการแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่นไลน์ *ยุทธนา อุไรชื่น ปรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง ปรีชา ศรีประภาคาร ทฤษฎี พรหมดิเรก ภาณุพงศ์ เพชรพิศ และ จักรภัทร มังคละคีรี*

ห้องนำเสนอที่ 4 สิ่งแวดล้อมเพื่อความเป็นกลางทางคาร์บอนสำหรับชุมชน และการบริหารจัดการพลังงานชุมชนอัจฉริยะ

ห้องนำเสนอที่ 4 (4A)			ผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง: ผศ.ดร.สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี ผศ.ดร.จุฑาภรณ์ ชนะถาวร
ลำดับ	เวลา	รหัส	ชื่อบทความ
1	13:00 – 13:15	ENC001	การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเมืองพัทยา *วรพต พงษ์พาลี อภิเสฏฐ์ สุวรรณสะอาด และ มณีรัตน์ เข็มขาว*
2	13:15 – 13:30	ENC002	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าใกล้ศูนย์บ้านพักอาศัย: กรณีการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวล *ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ*
3	13:30 – 13:45	ENC003	สภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งโดยใช้ครั่งเป็นตัวเชื่อมประสาน *อานนท์ โอฐธนู และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี*
4	13:45 – 14:00	ENC004	การศึกษาถึงปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงไม้ยางพาราที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกสู่ชุมชนและชั้นบรรยากาศของหม้อต้มไอน้ำ *คมสัน ศิริชาติ อชิรญา ภูหงษ์ จารุพล สุริยวนากุล เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต สัปปินันทน์ เอกอำพน สุพิชชา ถวิลไพร ภาณุพิชญ์ ขีนเขียว และ สุภชัย พลน้ำเที่ยง*
5	14:00 - 14:15	ENC005	การลดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกองจากเศษใบไม้ในป่าชุมชนพื้นที่อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่ *แสนวสันต์ ยอดคำ ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร นเรศ ใหญ่วงศ์ นนท์ นาคะเสถียร พงษ์พนัส คะชะนา และ ศิริลักษณ์ บ่อสร้าง*
6	14:15 – 14:30	ENC006	ผลการศึกษาการย้อมตอกด้วยสีธรรมชาติจากกระเจี๊ยบ *วีระบูลย์กิตติ ชุมพรผ่อง ณัฏฐกมล หมื่นรักษ์ และ ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด*
7	14:30 – 14:45	ENC007	การประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตกะทะล้อรถยนต์ *พิเชษ อรุณรุ่ง และ อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ*
8	14:45 – 15:00	ENC008	การพัฒนาระบบการจัดเก็บข้อมูลก๊าซเรือนกระจกในสถาบันอุดมศึกษา: การปรับปรุงข้อมูลกิจกรรม ปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเทคโนโลยีซอฟต์แวร์ *ปวงวิทย์ สนเลม็ด ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์ และ สมพร ช่วยอารีย์*

ห้องนำเสนอที่ 4 สิ่งแวดล้อมเพื่อความเป็นกลางทางคาร์บอนสำหรับชุมชน และการบริหารจัดการพลังงานชุมชนอัจฉริยะ (ต่อ)

ห้องนำเสนอที่ 4 (4B)			ผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง: ผศ.ดร.ชยานนท์ สวัสดีนฤนาท คุณเทอดศักดิ์ กองพรม
ลำดับ	เวลา	รหัส	ชื่อบทความ
1	15:15 – 15:30	ENC009	ออกแบบและแปรสภาพวัสดุชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้ *ลักขณา พันธุ์แสนศรี ทิพารัตน์ สหตรงจิตร และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี*
2	15:30 – 15:45	ENC010	การทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยสับปะรด *เกียรติศักดิ์ คงเขียว อภิเสฏฐ์ สุวรรณสะอาด และ มณีรัตน์ เข็มขาว*
3	15:45 – 16:00	ENC011	การศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง *ทักษิณี รักษายศ อานนท์ โอฐธนู และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี*
4	16:00 – 16:15	ENC012	การศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก *เนตรทราย เผือกผ่อง อานนท์ โอฐธนู และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี*
5	16:15 – 16:30	ENC013	การศึกษาผลกระทบอัตราการให้ความร้อนกระบวนการไพโรไลซิสที่มีผลต่อสมบัติถ่านชีวภาพไม้ไผ่ *ประภัสสร รัตนไพบูลย์ กิตติกร สาสุจิตต์ พัชรี อินธนู Rameshprabu Ramaraj เสริมสุข บัวเจริญ และ นิกราน หอมดวง*
6	16:30 – 16:45	SCM009	การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างด้วยการตรวจวัดความเข้มของแสงภายในอาคารสำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ *พงศกร สิงหปรีชา ฉัตรชาญ ทองจับ และ ปรีดา จันทวงษ์*
7	16:45 – 17:00	SCM010	การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเก่า: กรณีศึกษาอาคารอนุรักษ์พลังงานและปฏิบัติการนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ *ศุภวัฒน์ พรหมสาขา ณ สกลนคร ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร และ สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์*

ห้องนำเสนอที่ 5 การบริหารจัดการพลังงานชุมชนอัจฉริยะ
และ Asia Renewable Energy for Community Conference (AREC)

ห้องนำเสนอที่ 5 (5A)			ผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง: รศ.ดร.บุญเรือง มะรังศรี คุณวิสูตร์ ยังพลขันธ์
ลำดับ	**เวลา**	**รหัส**	**ชื่อบทความ**
1	13:00 – 13:15	SCM001	การประเมินค่าใช้จ่ายทางพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจาการใช้พลังงานระดับครัวเรือน กรณีศึกษาเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ *ธนาวัฒน์ ไชยโย รจพรรณ นิรัญศิลป์ ภคมน ปินตานา ประกิตต์ โกะสูงเนิน และ ธเนศ ไชยชนะ*
2	13:15 – 13:30	SCM002	การศึกษารูปแบบกลไกบริหารจัดการ และการดูแลรักษาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เหมาะสมกับสถานศึกษาในพื้นที่ห่างไกล กรณีศึกษา อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ *ณฐพรต คนตรง*
3	13:30 – 13:45	SCM003	การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการพัฒนาชุมชนขนาดเล็กสู่ความยั่งยืนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมผ่านการศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานในครัวเรือนและการประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานภายในชุมชน *ธนัญชัย สาทะกลาง สกลวัฒน์ เศวตรัตนกุล หทัยทิพย์ สินธุยา และ วรจิตต์ เศรษฐพรรค์*
4	13:45 – 14:00	SCM004	การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อชุมชนสำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำด้วยเครื่องมือราคาประหยัด *เสกสรร ชะนะ ญาณวุฒิ นิลทรัตน์ และ ลัญฉกร นิลทรัตน์*
5	14:00 - 14:15	SCM005	การบริหารจัดการพลังงานในกระบวนการแปรรูปชาดำชนิดผง และทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ *นฤเบศร์ หนูใสเพ็ชร สมหมาย สารมาท วรจักร์ เมืองใจ และ ภีมพัฒน์ สมประเสริฐ*
6	14:15 – 14:30	SCM006	ศึกษาค่าพลังงานเครื่องปรับอากาศแบบศูนย์รวม กับการแลกเปลี่ยนความร้อนในอัตราหน่วยพลังงาน *ภากรณ์ ปู ภาณุศักดิ์ มูลศรี เด่น คอกพิมาย รุ่งเพชร ก่องนอก วิชาญ พกประทาน และ สัญชัย รำเพยพัด*
7	14:30 – 14:45	SCM007	ผลของการปรับสัดส่วนการทำความเย็นของชิลเลอร์ในระบบเก็บน้ำเย็นต่อการลดการใช้พลังงาน ของระบบปรับอากาศ: กรณีศึกษาอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่ *นาง สานคุน ธรณิศวร์ ดีทายาท อรรถกร อาสนคำ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์*
8	14:45 – 15:00	SCM008	วงจรทอน–ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมชนิด 4 เฟส ที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ *พัทธดนย์ ณรงฤทธิ์ นันทิพัฒน์ นาคสนธิ์ อิทธิพล เหลาพรม วรวุฒิ บุตรดี อานนท์ วงษ์มณี และ อัษฎางค์ บุญศรี*

ห้องนำเสนอที่ 5 การบริหารจัดการพลังงานชุมชนอัจฉริยะ และ Asia Renewable Energy for Community Conference (AREC) (ต่อ)

Presentation room 5 (5B) (ห้องนำเสนอที่ 5)			ผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง: ผศ.ดร.สุรพล ใจวงษา ผศ.ดร.รจพรรณ นิรัญศิลป์ คุณฐนาทัศน์ โสภณอนันต์ชัย
No.	Time	Code	Article Title
1	15:15 – 15:30	AREC01	Assessment and Mitigation Strategies for Reducing Greenhouse Gas Emissions in Egg-Laying Hen Farming to Achieve Carbon Neutrality in Poultry Farming Communities *Putthadee Ubolsook Krissana Khamfong Aphirak boonmak Chattanong Podong[1] Pongthep Jansanthea Weerapon Kongnun and Yasintinee Aimyuak*
2	15:30 – 15:45	AREC02	Energy Development Assessment of Biomass Power Plant with Rice Husk Fuel Source in Thailand: Analysis of the Performance, LCOE and Carbon Emissions Reduction *Prachuab Peerapong Sonthaya Khamdech Patchara Wongtong and Promphak Boonraksa*
3	15:45 – 16:00	AREC03	Biochemical Methane Potential (BMP) of Shredded Pork Processing Wastewater Using by Cow Manure as Inoculum *Puwadon Chumpoochai Kittikorn Sasujit Jutaporn Chanathaworn Chayanon Sawatdeenarunat and Rotjapun Nirunsin*
4	16:00 – 16:15	AREC04	Analysis Solar Dryer Cylinder on Heat Transfer Convection *Sriwichai susuk Natsacha Inchoorun Weerayuth Promjan Khanittha Chawananorasest and Kusol Iamsub*

ห้องนำเสนอที่ 6 นวัตกรรมด้านพลังงานและยานยนต์สมัยใหม่

ห้องนำเสนอที่ 6 (6A)			ผู้ทรงคุณวุฒิประจำห้อง: รศ.ดร.ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล ดร.ชานนท์ บุญมีพิพิธ
ลำดับ	**เวลา**	**รหัส**	**ชื่อบทความ**
1	13:00 – 13:15	NEV001	การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลลาล์เซลล์ร่วมกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าของรถไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PVsyst *ศุภิสรา อรุณรัตน์ ดุสิต งามรุ่งโรจน์ และ ปรีดา จันทวงษ์*
2	13:15 – 13:30	NEV002	การพยากรณ์กำลังการผลิตของระบบผลิตกำลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกเสริมแรง *อนุรักษ์ แดนสีแก้ว Khin Phyu Ye Myint นนธวัช โคตรศรีวงษ์ ธีระพงษ์ บุญรักษา พรหมพักตร์ บุญรักษา และ บุญเรือง มะรังศรี*
3	13:30 – 13:45	NEV003	กลยุทธ์การจัดการพลังงานที่เหมาะสมสุดโดยใช้เทคนิคการปรับปรุงนโยบายแบบหลายตัวแทนสำหรับระบบไมโครกริดที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล *อนุรักษ์ แดนสีแก้ว วัชรากร ปิ่นธุรัตน์ และ ธีระพงษ์ บุญรักษา*
4	13:45 – 14:00	NEV004	การออกแบบและพัฒนารถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กต้นทุนต่ำสำหรับการเกษตร *รัฐพล ดุลยะลา นรากรณ์ ส่งกิตติโรจน์ ชัชพล เกษวิริยะกิจ ธนัตถา กรพิทักษ์ และ วีระพล คงนุ่น*
5	14:00 - 14:15	NEV005	การประยุกต์ใช้เส้นใยไผ่ร่วมกับวัสดุเคมีสังเคราะห์เพื่อพัฒนาเป็นฉนวนกันความร้อนในอาคาร *นิกราน หอมดวง คุณรังสฤษฎ คุณชัยมัง อาทิตยา โปธิ ประภัสสร รัตนไพบูลย์ นงเยาว์ เต๋จะใหม่ และ พัชรี อินธนู*
6	14:15 – 14:30	NEV006	ออกแบบและสร้างบ้านปรับอากาศต้นแบบสำหรับแมว *ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา ธีรภัทร ปรัชญานนท์ ปรีชา ปัญญาเครือ และ ฤทธิพร ปันเฉย*
7	14:30 – 14:45	NEV007	ระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัส *พัสตราภรณ์ อินสุข ชาริณีย์ คุ้มขุน ปนัดดา มะลิพรม อัษฎางค์ บุญศรี และ วรวุฒิ บุตรดี*
8	14:45 – 15:00	NEV008	การสร้างต้นแบบและหาศักยภาพของเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำในแม่น้ำแม่จาง ต. บ้านกิ่ว อ.แม่ทะ จ.ลำปาง *นิวัติ กิจไพศาลสกุล อดิศร ถมยา สมพร ติ๊บขัด และ อนุกิจ เสาร์แก้ว*

สารบัญ

หน้า

คณะกรรมการที่ปรึกษา สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ....ก

คณะกรรมการ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ....ก

คณะกรรมการพิจารณาบทความ .... ข

กำหนดการจัดงาน ....จ

ตารางการนำเสนอบทความ การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 ....ญ

ห้องนำเสนอที่ 1 เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับชุมชน .... ญ

ห้องนำเสนอที่ 2 เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับชุมชน .... ฏ

ห้องนำเสนอที่ 3 เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับชุมชน นวัตกรรมทางสังคมเพื่อส่งเสริมพลังงานทดแทนภายในชุมชน และพลังงานทดแทนเพื่อการเกษตรอัจฉริยะ...ฑ

ห้องนำเสนอที่ 4 สิ่งแวดล้อมเพื่อความเป็นกลางทางคาร์บอนสำหรับชุมชน และการบริหารจัดการพลังงานชุมชนอัจฉริยะ .... ณ

ห้องนำเสนอที่ 5 การบริหารจัดการพลังงานชุมชนอัจฉริยะ และ Asia Renewable Energy for Community Conference (AREC) .... ต

ห้องนำเสนอที่ 6 นวัตกรรมด้านพลังงานและยานยนต์สมัยใหม่ .... ท

สารบัญ ....ธ

เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับชุมชน 1

การเปรียบเทียบผลเตาผลิตถ่านชาร์กับการจำลองทางคอมพิวเตอร์... 2

ลลิตา เพชรใจหาญ ธเนศ ไชยชนะ เสริมสุข บัวเจริญ ณัฐพงษ์ เกี่ยวพันธุ์ ธนกฤต พิงต๊ะ จิรโชติ ยะมณี นวพล เขตวัง ณัชพงศ์ เมธาวงค์ ศุภาโชค สีใส และภคมน ปินตานา

การเพิ่มสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวด้วยการเติมใบลำไยแห้ง..................... 5

พัชรี อินธนู สุภัชชา ประมาศ และณัฐมน เพชรศิริพันธุ์

การศึกษากระบวนการการผลิตถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงจากลูกตาลสำหรับ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนตาลจะรัง อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี 15

ลุตฟี สือนิ มูฮำมัดคอยรี หะยีบากา อีลีหยัะ สนิโซ และอิสรา อาแว

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การศึกษาการใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสานแทนแป้งมันสำปะหลังในการผลิตเชื้อเพลิงเขียว
อัดแท่ง จากมูลช้าง: สมบัติทางกายภาพ ค่าความร้อน และต้นทุนการผลิต 22
สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี
การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลจากกระจูด: การเพิ่มค่าความร้อนและความเร็วในการติดไฟ
ด้วยกาวยางพารา 24
ซุลกีฟลี กะดอง ฮามีดะห์ แยนา มูฮัมหมัดซัมรี โต๊ะแวหะยี ลุตฟี สือนิ ต่วนสุไรดา
ต่วนปูเตะ และอาบีดีน ดะแซสาเมาะ
ความสามารถเชิงความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร กรณีศึกษาเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ 26
สรวิศ สอนสารี และฐิติพร เจาะจง
การผลิตไบโอเอทานอลจากไฮโดรไลเซทชานอ้อยผ่านการกำจัดสารยับยั้งด้วยถ่านกัมมันต์ และ
การหมักด้วยยีสต์ *Pichia stipitis* TISTR5806.. 33
เตชัส พรมตา รจพรรณ นิรัญศิลป์ Rameshprabu Ramaraj นิกราน หอมดวง
สุระพล ริยะนา อุกฤต สมัครสมา และกิตติกร สาสุจิตต์
การประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด
จากกากตะกอนน้ำเสีย ในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม 42
สุกฤษ มณีรัตน์ ปรางทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ และชานนท์ บุญมีพิพิธ
การศึกษาสมรรถนะและความคุ้มทุนโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์
บนหลังคาอาคาร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.. 50
สุวิชา พุทธารัตน์ ปราการ สุวรรณเจริญ และธนวัฒน์ เฉลิมพงษ์
การศึกษาการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแผ่นสะท้อนแสงอลูมิเนียม
ร่วมกับการติดตามดวงอาทิตย์ 59
ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล กฤชนนท์ สวนจันทร์ ศุภโชค อรุณนวล และอธิป ศรีจันทร์
การศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง
สำหรับประเทศไทย... 66
กฤษณชัย ยอดอรทัย และ ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล
การศึกษาประสิทธิภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความสูงและบนพื้นที่ที่มีลักษณะ
แตกต่างกัน
นุรอัยนี สาแม เอกชัย สิงหเดช และวาริษา วาแม.. 21
อิทธิพลของอุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์ที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์........................ 82
สุรัตติกาล สุวรรณพรหม สันติ หวังนิพพานโต ศักดา พรหมเหมือน พิษณุ ศรีธงชัย
และศิวกรณ์ ศิริมาตยาพันธุ์

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การประยุกต์ใช้ท่อเวนจูรี่เพื่อเติมอากาศในน้ำโดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.................. 89
กฤชนนท์ สวนจันทร์ ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล ภูมิ ธุวะคำ ศิวะโรจน์ บำเพ็ญทาน และพีรพล ปานโทน

การศึกษาและสร้างต้นแบบระบบอัดอากาศเพื่อฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำแบบควบคุมอัตโนมัติ โดยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดทุ่นลอยน้ำขนาด 3 กิโลวัตต์.. 98
สิริศักดิ์ ปางวุฒิวณิชย์ วิรชัย โรยนรินทร์ วรเชษฐ์ แสงสีดา ไวยวิทย์ อุทัยเฉลิม ธนยศ คิดเมตตากุล และสุเทพ สีมาลา

การศึกษาสมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นผิวหลังคา ที่แตกต่างกัน... 99
พิพัฒน์พงศ์ กาซ้อน สราวุธ พลวงษ์ศรี สุลักษณา มงคล และอัครินทร์ อินทนิเวศน์

ผลการกวนที่มีต่อผลการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่................. 109
อีลีหย๊ะ สนิโซ ลุตฟี สือนิ มูฮำมัดคอยรี หะยีบากา ฮูเซ็ง ชายดานา และมารียัม เจ๊ะโว๊ะ

การจำลองการกระจายอุณหภูมิในระบบอบแห้งที่อาศัยความร้อนจากเตาเผาขยะ................. 111
อีลีหย๊ะ สนิโซ ลุตฟี สือนิ มูฮำมัดคอยรี หะยีบากา ฮูเซ็ง ชายดานา และนูรฮาฟีกีน ดาหะมะ

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยแผ่นดูดซับความร้อน แบบร่องตัววี.. 119
พงษ์เจต พรหมวงศ์ ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์ อรรถพล ชัยมนัสกุล สืบสกุล คุรุรัตน์ และสมพล สกุลหลง

การออกแบบ สร้าง และทดสอบ เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วสำหรับ การผลิตน้ำมันชีวภาพผงไผ่... 121
นิกราน หอมดวง กิตติกร สาสุจิตต์ ประภัสสร รัตนไพบูลย์ พนธกร เหลี่ยมเคลือบ นรินทร์ ศรีธิการ และสุรพล ริยะนา

การประเมินสมรรถนะการนำความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตถ่านชีวมวล ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน................. 132
มงคล จันโทภาส กิตติกร สาสุจิตต์ สุระพล ริยะนา ชูรัตน์ ธารารักษ์ พรประเสริฐ อินทะลาด และนิกราน หอมดวง

การทดลองผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสชนิดเบดนิ่ง 140
พนธกร เหลี่ยมเคลือบ กิตติกร สาสุจิตต์ เสมอขวัญ ตันติกุล ถิรวัฒน์ วงษาเทียม ลลิตา เพชรใจหาญ พัชรี อินธนู และนิกราน หอมดวง

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิส 149
ฐิติพงษ์ แสงจันทร์ พิสิษฏ์ มณีโชติ ไพฑูรย์ เหล่าดี สหัสธยา ทอสาร
พัชชรินทร์ เยาวลักษณ์ และปรีชา ศรีประภาคาร

การศึกษาความเป็นไปได้ในการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อความชื้น
และคุณภาพสีของเห็ดเยื่อไผ่เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตของ
วิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดเยื่อไผ่และแปรรูปบ้านกอรวก 151
อวิรุทธ์ บัวใหญ่ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล ธเนศ ไชยชนะ ปฏิพัทธิ์ ถนอมพงษ์ชาติ
วศิน์วิโรตม์ เนติศักดิ์

การประเมินผลกระทบจากการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตมะขามคลุก
ของวิสาหกิจชุมชน 162
ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด อนุพล อัคพิน ประภาศิริ ใจผ่อง และจุฬาลักษณ์ ปานเกิด

การพัฒนาและประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล ... 172
พรประเสริฐ อินทะลาด กิตติกร สาสุจิตต์ สุระพล ริยะนา ชูรัตน์ ธารารักษ์
มงคล จันโทภาส และนิกราน หอมดวง

การอบแห้งขมิ้นชันแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานจากขดลวดความร้อน
ที่ควบคุมสภาวะอากาศอบแห้ง 183
สุทธิพงษ์ เรืองจิตร นิกราน หอมดวง ชูรัตน์ ธารารักษ์ สุระพล ริยะนา และกิตติกร สาสุจิตต์

การทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยระบบอบแห้งพลังงานความร้อนร่วม
แสงอาทิตย์ – ไฟฟ้าแบบกึ่งอัตโนมัติ 185
ชาญวิทย์ เทพอุโมงค์ ภคมน ปินตานา ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล และธเนศ ไชยชนะ

การศึกษาผลของการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร
จากการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหลือทิ้ง 191
ฮุซเซ็น บือแน อีลีหยัะ สนิโซ ลุตฟี สือนิ และมูฮำมัดคอยรี หะยีบากา

การดัดแปลงวัฏจักรอัดไอสำหรับการผลิตน้ำจากอากาศ... 193
ถิรวัฒน์ วงษาเทียม เสมอขวัญ ตันติกุล กิตติกร สาสุจิตต์ สุระพล ริยะนา ญานกร สุทัศมาลี
พนธกร เหลี่ยมเคลือบ ลลิตา เพชรใจหาญ และนิกราน หอมดวง

ความคุ้มค่าระบบพลังงานหมุนเวียนทุกช่วงเวลาในการเลี้ยงปลาพร้อมปลูกพืชแบบไม่แช่น้ำ.. 201
ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ระบบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพื่อการแปรรูปน้ำพริกหนุ่ม
ในระดับวิสาหกิจชุมชน 213
จักรพรรณ คงธนะ ชูรัตน์ ธารารักษ์ กิตติกร สาสุจิตต์ และนิกราน หอมดวง

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

พลังงานทดแทนเพื่อการเกษตรอัจฉริยะ 224

โรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาตที่มีการควบคุมสภาวะอากาศแบบอัจฉริยะ 225

อิสมาแอ ฮาเก็ง นิกราน หอมดวง กิตติกร สาสุจิตต์ และสุระพล ริยะนา

การศึกษาสมรรถนะของระบบควบคุมสภาพอากาศในบ่อเลี้ยงจิ้งหรีด

ด้วยระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 238

สุลักษณา มงคล ปรีชา ศรีประภาคาร คำภา สีภา และสราวุธ พลวงษ์ศรี

ระบบการเพาะปลูกพืชไมโครกรีนอัจฉริยะ: การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพ

ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง 240

ปิติภัทร ศักดิ์วงษ์ มณีรัตน์ วงษ์ซิ้ม และเมธาพร อบทอง

ต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชสำหรับการปลูกพืชแบบแถวตรงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์............ 250

สุทัตชา รุ่งสว่าง ยุทธพงษ์ ตาระปิน นิกราน หอมดวง กิตติกร สาสุจิตต์

เสมอขวัญ ตันติกุล ทัศนีย์ ชัยยา และสุระพล ริยะนา

การพยากรณ์ค่า pH และ EC ในสารละลายที่ใช้ปลูกเมล่อน 261

ศักดิ์ชัย ศรีมากรณ์ ณิชา นภาพร จงกะสิกิจ นพนันท์ สุขสมบูรณ์ สันติ วงศ์ใหญ่

อนุกิจ เสาร์แก้ว และโอฬาร เชี่ยวชาญ

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าและผลกระทบสิ่งแวดล้อมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์

แบบออฟกริด สำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ: กรณีศึกษาจังหวัดสงขลา.......... 271

ลัญฉกร นิลทรัตน์ และศรัณย์ ณรงค์กูล

การประยุกต์ใช้ราสเบอร์รี่พายควบคุมการเปิด-ปิด ประตูอิเล็กทรอนิกส์ โดย

การแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่นไลน์.. 281

ยุทธนา อุไรชื่น ปรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง ปรีชา ศรีประภาคาร ทฤษฎี พรหมดิเรก

ภาณุพงศ์ เพชรพิศ และจักรภัทร มังคละคีรี

สิ่งแวดล้อมเพื่อความเป็นกลางทางคาร์บอนสำหรับชุมชน.. 288

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเมืองพัทยา.................... 289

วรพต พงษ์พาลี อภิเสฏฐ์ สุวรรณสะอาด และมณีรัตน์ เข็มขาว

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าใกล้ศูนย์บ้านพักอาศัย: กรณีการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวล 296

ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ

สภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งโดยใช้ครั่งเป็นตัวเชื่อมประสาน.308

อานนท์ โอฐธนู และธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การศึกษาถึงปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงไม้ยางพาราที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกสู่ชุมชนและชั้นบรรยากาศของหม้อต้มไอน้ำ..............319
คมสัน ศิริชาติ อชิรญา ภูหงส์ จารุพล สุริยวนากุล เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต สัปปินันทน์ เอกอำพน สุพิชชา ถวิลไพร ภาณุพิชญ์ ขืนเขียว และสุภชัย พลน้ำเที่ยง

การลดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกองจากเศษใบไม้ในป่าชุมชนพื้นที่อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่..329
แสนวสันต์ ยอดคำ ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร นเรศ ใหญ่วงศ์ นนท์ นาคะเสถียร และพงษ์พนัส คะชะนา

การศึกษาการย้อมตอกด้วยสีธรรมชาติจากกระเจี๊ยบ..331
วีระบูลย์กิตติ ชุมพรผ่อง ณัฏฐกมล หมื่นรักษ์ และณัฐวุฒิ ขาวสะอาด

การประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตกะทะล้อรถยนต์..................338
พิเชษ อรุณรุ่ง และอภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ

การพัฒนาระบบการจัดเก็บข้อมูลก๊าซเรือนกระจกในสถาบันอุดมศึกษา: การปรับปรุงข้อมูลกิจกรรม ปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเทคโนโลยีซอฟต์แวร์ 345
ปวงวิทย์ สนเลม็ด ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์ และสมพร ช่วยอารีย์

ออกแบบและแปรสภาพวัสดุชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้ 352
ลักขณา พันธุ์แสนศรี ทิพารัตน์ สหตรงจิตร และธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี

การทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดผสมเศษเส้นใยสับปะรด..354
เกียรติศักดิ์ คงเขียว อภิเสฏฐ์ สุวรรณสะอาด และมณีรัตน์ เข็มขาว

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง........361
ทักษิณี รักษายศ อานนท์ โอฐธนู และธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี

การศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก..............371
เนตรทราย เผือกผ่อง อานนท์ โอฐธนู และธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี

การศึกษาผลกระทบอัตราการให้ความร้อนกระบวนการไพโรไลซิสที่มีผลต่อสมบัติถ่านชีวภาพไม้ไผ่ 382
ประภัสสร รัตนไพบูลย์ กิตติกร สาสุจิตต์ พัชรี อินธนู Rameshprabu Ramaraj เสริมสุข บัวเจริญ และนิกราน หอมดวง

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การบริหารจัดการพลังงานชุมชนอัจฉริยะ 389

การประเมินค่าใช้จ่ายทางพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจาการใช้พลังงาน ระดับครัวเรือน กรณีศึกษาเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ 390
ธนาวัฒน์ ไชยโย รจพรรณ นิรัญศิลป์ ภคมน ปินตานา ประกิตต์ โกะสูงเนิน และธเนศ ไชยชนะ

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการพัฒนาชุมชนขนาดเล็กสู่ความยั่งยืนด้านพลังงานและ สิ่งแวดล้อมผ่านการศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานในครัวเรือนและ การประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานภายในชุมชน 399
ธนัญชัย สาทะกลาง สกลวัฒน์ เศวตรัตนกุล หทัยทิพย์ สินธุยา และวรจิตต์ เศรษฐพรรค์

การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อชุมชนสำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำ ด้วยเครื่องมือราคาประหยัด 409
เสกสรร ชะนะ ญาณวุฒิ นิลทรัตน์ และลัญฉกร นิลทรัตน์

การบริหารจัดการพลังงานในกระบวนการแปรรูปชาดำชนิดผงและทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ ... 420
นฤเบศร์ หนูใสเพ็ชร สมหมาย สารมาท วรจักร์ เมืองใจ และภีมพัฒน์ สมประเสริฐ

ศึกษาค่าพลังงานเครื่องปรับอากาศแบบศูนย์รวม กับการแลกเปลี่ยนความร้อน ในอัตราหน่วยพลังงาน 429
ภากรณ์ ปู ภาณุศักดิ์ มูลศรี เด่น คอกพิมาย รุ่งเพชร ก่องนอก วิชาญ พกประทาน และสัญชัย รำเพยพัด

ผลของการปรับสัดส่วนการทำความเย็นของชิลเลอร์ในระบบเก็บน้ำเย็นต่อการลด การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ: กรณีศึกษาอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่........ 430
นาง สานคุน ธรณิศวร์ ดีทายาท อรรถกร อาสนคำ และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

วงจรทอน–ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมชนิด 4 เฟส ที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิด ด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ........ 438
พัทธดนย์ ณรงฤทธิ์ นันทิพัฒน์ นาคสนธิ์ อิทธิพล เหลาพรม วรวุฒิ บุตรดี อานนท์ วงษ์มณี และอัษฎางค์ บุญศรี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างด้วยการตรวจวัดความเข้มของแสง ภายในอาคารสำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 448
พงศกร สิงหปรีชา ฉัตรชาญ ทองจับ และปรีดา จันทวงษ์

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเก่า: กรณีศึกษาอาคารอนุรักษ์พลังงาน และปฏิบัติการนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 456
ศุภวัฒน์ พรหมสาขา ณ สกลนคร ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร และสิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์

นวัตกรรมด้านพลังงานและยานยนต์สมัยใหม่ 463

การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลลาล์เซลล์ร่วมกับสถานีอัดประจุไฟฟ้า ของรถไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PVsyst 464
ศุภิสรา อรุณรัตน์ ดุสิต งามรุ่งโรจน์ และปรีดา จันทวงษ์

การพยากรณ์กำลังการผลิตของระบบผลิตกำลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกเสริมแรง 472
อนุรักษ์ แดนสีแก้ว Khin Phyu Ye Myint นนธวัช โคตรศรีวงษ์ ธีระพงษ์ บุญรักษา พรหมพักตร์ บุญรักษา และบุญเรือง มะรังศรี

ผลของอุณหภูมิและระยะความสูงจากพื้นดินในการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้ง บนพื้นดินในการศึกษาทดสอบจากขนาดกำลังการผลิต 4.86 กิโลวัตต์ ในการผลิตไฟฟ้า 482
สุเทพ สีมาลา วิรชัย โรยนรินทร์ สิริศักดิ์ ปางวุฒิวณิชย์ ไววิทย์ อุทัยเฉลิม วรเชษฐ์ แสงสีดา ภาณุ ปทุมนพรัตน์ และสุทธิศักดิ์ ขวัญเพชร

กลยุทธ์การจัดการพลังงานที่เหมาะสมสุดโดยใช้เทคนิคการปรับปรุงนโยบาย แบบหลายตัวแทน สำหรับระบบไมโครกริดที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล 484
อนุรักษ์ แดนสีแก้ว วัชรากร ปิ่นธุรัตน์ ธีระพงษ์ บุญรักษา พรหมพักตร์ บุญรักษา กมล เรียงไธสง และบุญเรือง มะรังศรี

การออกแบบและพัฒนารถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กต้นทุนต่ำสำหรับการเกษตร 498
รัฐพล ดุลยะลา นรากรณ์ ส่งกิตติโรจน์ ชัชพล เกษวิริยะกิจ ธนัตถา กรพิทักษ์ และวีระพล คงนุ่น

การประยุกต์ใช้เส้นใยไผ่ร่วมกับวัสดุเคมีสังเคราะห์เพื่อพัฒนาเป็นฉนวนกันความร้อนในอาคาร ... 505
นิกราน หอมดวง คุณรังสฤษฎ คุณชัยมัง อาทิตยา โปธิ ประภัสสร รัตนไพบูลย์ นงเยาว์ เต๋จะใหม่ และพัชรี อินธนู

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัส 513
พัสตราภรณ์ อินสุข ชาริณีย์ คุ้มขุน ปนัดดา มะลิพรม อัษฎางค์ บุญศรี และวรวุฒิ บุตรดี
การสร้างต้นแบบและหาศักยภาพของเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำในแม่น้ำแม่จาง ต.บ้านกิ่ว อ.แม่ทะ จ.ลำปาง 520
นิวัติ กิจไพศาลสกุล อดิศร ฌมยา สมพร ติ๊บขัด และอนุกิจ เสาร์แก้ว

นวัตกรรมทางสังคมเพื่อส่งเสริมพลังงานทดแทนภายในชุมชน 531
การประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของกลุ่มผลิตน้ำดื่มชุมชนชาวไทยภูเขาเผ่าม้ง กรณีศึกษาตำบลบ้านปง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ 532
รุ่งนภา จุลศักดิ์ วรพจน์ โพธาเจริญ สกลวัฒน์ เศวตรัตนกุล ธนัญชัย สาทะกลาง และวรจิตต์ เศรษฐพรรค์
การออกแบบและพัฒนาตู้อบแห้งอเนกประสงค์แบบไฮบริดเพื่อเพิ่มศักยภาพและขีดความสามารถในแข่งขันของเกษตรแปรรูปและสมุนไพรในจังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดตาก 534
เทพ เกื้อทวีกุล ภาคิณ มณีโชติ จารุกิตติ์ พิบูลนฤดม อัษฎางค์ บุญศรี นิวดี คลังสีดา เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์ จตุรงค์ ธงชัย และเศวต สมนักพงษ์
ถอดบทเรียนแสงสว่างทั่วดอยเพื่อการสร้างโอกาสทางการศึกษาและการรับรู้ข้อมูลข่าวสาร 542
ภมร ทรงยศ เอกณัฏฐ์ กระจ่างธิมาพร สุรเดช พหลโยธิน และบวรศักดิ์ เพชรานนท์
การออกแบบและพัฒนาเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร 544
สุรเชษฐ์ ตุ้มมี ภาคิณ มณีโชติ ศิรประภา พลธนะ และเทพ เกื้อทวีกุล

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

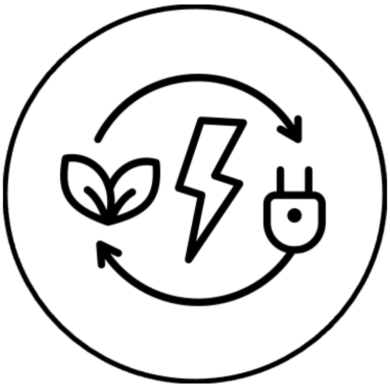
Asia Renewable Energy for Community Conference (AREC) **552**

Assessment and Mitigation Strategies for Reducing Greenhouse Gas Emissions in Egg-Laying Hen Farming to Achieve Carbon Neutrality in Poultry Farming Communities 553
Putthadee Ubolsook, Krissana Khamfong, Aphirak boonmak, Chattanong Podong, Pongthep Jansanthea, Weerapon Kongnun, and Yasintinee Aimyuak

Energy Development Assessment of Biomass Power Plant with Rice Husk Fuel Source in Thailand: Analysis of the Performance, LCOE and Carbon Emissions Reduction 554
Prachuab Peerapong, Sonthaya Khamdech, Patchara Wongtong, and Promphak Boonraksa

Biochemical Methane Potential (BMP) of Shredded Pork Processing Wastewater Using by Cow Manure as Inoculum 555
Puwadon Chumpoochai, Kittikorn Sasujit, Jutaporn, Chanathaworn, Chayanon Sawatdeenarunat, and Rotjapun Nirunsin

Analysis Solar Dryer Cylinder on Heat Transfer Convection..................................... 556
Sriwichai susuk, Natsacha Inchoorun, Weerayuth Promjan, Khanittha Chawananorasest, and Kusol Iamsub



เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับชุมชน

Appropriate Renewable Energy Technology for Communities (REC)

การเปรียบเทียบผลเตาผลิตถ่านชาร์กับการจำลองทางคอมพิวเตอร์
The Comparison of Charcoal Production in Kilns with Computer Simulations

ลลิตา เพชรใจหาญ[1] ธเนศ ไชยชนะ[1] เสริมสุข บัวเจริญ[2] ณัฐพงษ์ เกี่ยวพันธุ์[2] ธนกฤต พิงต๊ะ[2] จิรโชติ ยะมณี[2]
นวพล เขตวัง[2] ณัชพงศ์ เมธาวงค์[2] ศุภาโชค สีใส[2] และ ภคมน ปินตานา[2*]

Lalita Petchaihan[1], Tanate Chaichana[1], Sermsuk Buochareon[2], Natthaphong Kiawphan[2],
Tanakrit Pingta[2], Jirachot Yamanee[2] , Nawapol Katwung[2], Natchapong Methawong[2] ,
Supachok Seesai[2], and Pakamon Pintana[2*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[1] Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมการอนุรักษ์พลังงาน (ต่อเนื่อง) วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2] Energy Conversation Engineering (Continuing Program), School of Renewable Energy,
Maejo University, Chiang Mai 50290
Corresponding author: Tel.: 09-86196155. E-mail address: p.pintana@gmail.com

Abstract

Currently, the market offers a variety of charcoal kilns, and achieving efficient charcoal production relies on several factors. A crucial parameter in the production process is the temperature, which affects the quality of the charcoal for practical use. This research examines the design and development of a charcoal kiln by analyzing the strengths and weaknesses of existing kilns, leading to improvements that maximize efficiency for various applications, including agricultural soil enhancement, carbon sequestration, and the potential for producing activated carbon. The study involves designing the combustion chamber of the kiln, incorporating perforations for heat distribution, and utilizing computer simulation software compared to actual testing. Agricultural waste, such as corn leaves, corn stalks, and rice straw, is used to produce charcoal in a 50-liter kiln. The design parameters for the combustion chamber's core include perforation sizes ranging from 1.59 to 4.76 mm, with a distribution of 12 closed-end steel tube perforations measuring Ø2.54 cm and 10 cm in length. The results of the airflow analysis in the charcoal kiln, based on the simulation using computer software, show that the most suitable results correspond to actual tests under atmospheric pressure conditions in Chiang Mai province, with maximum air temperatures ranging from 689.60 to 906.70 ^{o}C and wall temperatures between 403.59 and 517.02 ^{o}C. This results in air density ranging from 0.30 to 1.14 kg/m³; lower ambient temperatures increase air density. The airflow speed is between 0 and 57.95 m/s. Producing charcoal using the kiln from both materials, along with utilizing Acacia wood as a fuel source to provide heat instead of electricity, yields

charcoal production rates of 29.69 to 31.45%. The temperature distribution within the charcoal kiln reaches a maximum of 551.3 to 741.3 °C and 414.0 to 669.2 °C. The analysis of charcoal properties shows a maximum density of 95.95 to 139.50 kg/m³, a maximum pH of 10.39 to 10.42, and a maximum moisture content of 4.13 to 4.25 wt.%. The computer simulation analysis of airflow temperature in the production of charcoal from corn leaves and stalks indicates a perforation size of 3.18 mm with a production time of 2 hours, achieving the best deviation of 413.8±0.24% and a standard deviation of 0.71 °C. For rice straw, with a perforation size of 1.59 mm and a production time of 3 hours, the best deviation is 540.8±0.46% with a standard deviation of 1.77 °C. and the design, construction, and testing of both perforation sizes yielded effective heat distribution in the charcoal kiln, making it most suitable for producing charcoal from different biomass sources.

Keywords: Charcoal kiln, Charcoal, Corn stalks, Rice straw, Computational, Fluid Dynamics

บทคัดย่อ

ปัจจุบันในท้องตลาดมีการผลิตเตาเผาถ่านชาร์หลากหลายรูปแบบ และการผลิตถ่านชาร์ให้ได้ประสิทธิภาพนั้นต้องอาศัยหลายปัจจัยด้วยกัน และพารามิเตอร์ที่สำคัญของการผลิต คือ อุณหภูมิในกระบวนการที่จะส่งผลต่อคุณภาพของถ่านชาร์ในการนำไปใช้งาน ซึ่งจะสอดคล้องกับการออกแบบเตาในการผลิตเพื่อใช้ในการแยกสลายด้วยความร้อนจากวัสดุธรรมชาติหรือชีวมวล การวิจัยนี้ได้ศึกษาการออกแบบและพัฒนาเตาสำหรับเผาถ่านชาร์ โดยการนำจุดบกพร่องข้อดีและข้อเสียของเตาเผาถ่านชาร์ นำมาปรับปรุงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อการใช้งานทั้งการปรับปรุงดินด้านการเกษตร การเก็บกักคาร์บอน และด้านการดูดซับหรือต่อยอดการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ได้ จึงทำการศึกษาการออกแบบห้องเผาไหม้ของเตาที่มีส่วนประกอบคือรูเจาะที่ใช้สำหรับกระจายความร้อนของเตาด้วยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์เทียบกับการทดสอบจริง เป็นการนำวัสดุชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการผลิตถ่านชาร์จากใบและต้นข้าวโพด และฟางข้าว วัสดุเกษตรเหลือทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวมาผลิตเป็นถ่านชาร์ด้วยเตาปริมาตร 50 l ซึ่งมีตัวแปรในการออกแบบแกนกลางห้องเผาไหม้ ได้แก่ ขนาดรูเจาะ 1.59-4.76 mm การกระจายของรูเจาะท่อเหล็กปลายปิดจำนวน 12 แกน Ø2.54 cm ยาว 10 cm พบว่าผลของการทดสอบการวิเคราะห์การไหลของอากาศในเตาถ่านชาร์ตามแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์มีผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับการทดสอบจริงที่สภาวะความดันบรรยากาศ ณ จังหวัดเชียงใหม่ มีอุณหภูมิอากาศสูงสุด 689.60-906.70 °C และผนังเตาสูงสุด 403.59-517.02 °C ส่งผลให้มีความหนาแน่นของของอากาศอยู่ในช่วง 0.30-1.14 kg/m^3 หากพื้นที่มีอุณหภูมิต่ำจะทำให้ความหนาแน่นของอากาศเพิ่มขึ้น ความเร็วอยู่ระหว่าง 0-57.95 m/s และการผลิตถ่านชาร์ด้วยเตาเผาถ่านชาร์จากทั้ง 2 วัสดุร่วมกับการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากไม้กระถินในการให้ความร้อนทดแทนการใช้ไฟฟ้า ส่งผลให้ผลผลิตถ่านชาร์ได้สูงสุด 29.69-31.45% การกระจายอุณหภูมิเตาถ่านชาร์สูงสุด 551.3-741.3 °C และ 414.0-669.2 °C การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชาร์ความหนาแน่นสูงสุด 95.95-139.50 kg/m^3 ความเป็นกรดด่างสูงสุด 10.39-10.42 ความชื้นสูงสุด 4.13-4.25 wt.% การวิเคราะห์การจำลองทางคอมพิวเตอร์ทางการไหลของอากาศอุณหภูมิในการผลิตถ่านชาร์ต้นและใบข้าวโพด คือการออกแบบขนาดรูเจาะเท่ากับ 3.18 mm ที่ระยะเวลาการผลิต 2 h มีความคลาดเคลื่อนที่ดีที่สุดเท่ากับ 413.8±0.24% ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.71 °C และสำหรับฟางข้าวขนาด 1.59 mm ที่ระยะเวลาการผลิต 3 h มีความคลาดเคลื่อนที่ดีที่สุดเท่ากับ 540.8±0.46% ส่วน

เบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.77 °C ซึ่งผลของการออกแบบ สร้าง และทดสอบของทั้ง 2 ขนาดรูเจาะนี้ ให้ผลการกระจายความร้อนของเตาถ่านชาร์ได้ทั่วถึงเหมาะสมมากที่สุดเมื่อนำไปผลิตถ่านชาร์จากชีวมวลที่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: เตาเผาถ่านชาร์ ถ่านชาร์ ต้นและใบข้าวโพด ฟางข้าว พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

การเพิ่มสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวด้วยการเติมใบลำไยแห้ง
The enhancement of briquettes from rice strawby added longan residue

พัชรี อินธนู[1*] สุภัชชา ประมาศ[1] และ ณัฐมน เพชรศิริพันธุ์[2]

Patcharee Intanoo[1*], Suphatcha Pramat[1], and Nattamon Petsiriphun[2]

[1] สาขาวิชานวัตกรรมเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[2] สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[1]Industrial Chemistry Innovation, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290

[2] Industrial Chemistry and Textile Technology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290

Corresponding author: Tel.: 094-619-7947. E-mail address: patchareeintanoo@gmail.com

Abstract

The objective in this research was to investigate the enhancement of thermal property of briquettes from rice straw by adding longan residue in the ratio of 1:1. From the study, it was found that the addition of longan residue improved physical properties by increasing the shatter index by 98.49 % and the densification by 12.63 %. The increase in shatter index was caused by the slightly different weight of the briquettes after being dropped by gravity onto the concrete floor at 1 meter and the initial weight (the initial and the final weights of briquettes were 1.0210 and 1.0050 g, respectively), indicating that the briquettes were more stable by co-carbonizing with longan residue. Furthermore, the thermal characteristics of rice straw briquettes containing longan residue were also enhanced. It could be indicated that the rice straw briquette might release more heat when combustion corresponding to 2.91% increase in heating value and increase in energy density (the heating value and the energy density of briquettes from rice straw by adding longan residue in the ratio of 1:1 was 17.37 MJ/kg และ 12,660.57 MJ/m^3, respectively).

Keywords: Briquette, rice straw, longan residue, physical property, thermal property

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากฟางข้าวด้วยการเติมใบลำไยแห้งลงไปในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่าเมื่อเติมใบลำไยแห้งลงไปในอัตราส่วนที่เหมาะสม พบว่าส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวดีขึ้น แสดงในรูปของความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับค่าดัชนีการแตกร่วนที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 98.49 และค่าความแน่นที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 12.63 โดยค่าดัชนีการแตก

ร่วนที่เพิ่มขึ้นนั้นเกิดจากน้ำหนักของถ่านอัดแท่งหลังจากจากการปล่อยตามแรงโน้มถ่วงโลกลงบนพื้นคอนกรีตในระยะทาง 1 เมตร เมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นมีความแตกต่างกันน้อย (น้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักสุดท้าย คือ 1.0210 และ 1.0050 กรัม) แสดงให้เห็นว่าถ่านอัดแท่งมีความคงตัว มากไปกว่านั้นเมื่อเติมใบลำไยแห้งทำให้สมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวดีขึ้น ซึ่งแสดงถึงพลังงานความร้อนที่คายออกมาในปริมาณมากเมื่อเผาไหม้ถ่านอัดแท่ง อีกทั้งความสามารถในการกักเก็บสะสมพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งยังเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับค่าความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 2.91 และความหนาแน่นของพลังงานสูง (ค่าความร้อนและความหนาแน่นพลังงานถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวผสมใบลำไยแห้งในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก คือ 17.37 MJ/kg และ 12,660.57 MJ/m^3 ตามลำดับ)

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่ง ฟางข้าว ใบลำไยแห้ง สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน

บทนำ

ในปัจจุบันปริมาณการใช้พลังงานของประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและพลังงานที่ใช้ในประเทศส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงส่งผลให้ประเทศไทยมีการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศเพื่อจัดหาพลังงานเหล่านี้ อีกทั้งยังทำให้ประเทศต้องรับภาระหนักในการลงทุนเพื่อจัดหาพลังงานให้เพียงพอต่อการใช้งานของประชากรภายในประเทศ [1] การใช้พลังงานในปริมาณมากนอกจากจะส่งผลด้านเศรษฐกิจของประเทศแล้วยังก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาวะมนุษย์ที่รุนแรงด้วย เช่น ผลกระทบด้านการลงลดทรัพยากรธรรมชาติ ผลกระทบด้านความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อม และผลกระทบด้านสุขภาวะมนุษย์ ได้แก่ การเกิดภาวการณ์ขาดแคลนพลังงาน การเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก รวมถึงการเกิดโรคภัยไข้เจ็บของมนุษย์ เป็นต้น [2] เมื่อกล่าวถึงปริมาณการใช้พลังงานของประเทศไทยแล้วพบว่าภาคพลังงานจัดเป็นภาคส่วนที่มีปริมาณการใช้พลังงานมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 44 รองลงมา คือ ภาคเกษตรและภาคอุตสาหกรรมคิดเป็นร้อยละ 23 และ 19 ตามลำดับ [3] จากปริมาณการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบันทำให้มีการคาดการณ์ว่าในปีพุทธศักราช 2563 - ปีพุทธศักราช 2573 จะยังคงพบแนวโน้มของการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นอีกร้อยละ 40 ตามโครงสร้างของจำนวนประชากรซึ่งอาจทำให้เศรษฐกิจสังคมและสิ่งแวดล้อมของประเทศถดถอยลง [4] ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นจึงมีการแสวงหาแหล่งพลังงานทางเลือกจากธรรมชาติเพื่อลดการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศและเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ตลอดจนลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและลดปัญหาสุขภาวะมนุษย์ พลังงานทางเลือกที่สามารถทดแทนพลังงานจากแหล่งทรัพยากรธรรมชาติได้ ได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ และพลังงานชีวมวล [5] ซึ่งในกลุ่มของพลังงานทางเลือกที่กล่าวมานั้นพลังงานชีวมวลถือเป็นพลังงานทางเลือกที่มีความต่อเนื่องและมีความยั่งยืนมากที่สุด กล่าวคือ เป็นพลังงานที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ได้อย่างต่อเนื่องทั้งในระยะสั้นและระยะยาวและเป็นพลังงานสะอาดที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

เมื่อกล่าวถึงอาชีพหลักของประชากรในหลายพื้นที่ทั่วโลก พบว่าประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพหลัก คือ เกษตรกร จึงทำให้ในช่วงฤดูการเก็บเกี่ยวเกิดเศษวัสดุเหลือทิ้งในปริมาณมาก เช่น ฟางข้าวและตอซังหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวรวมกันประมาณร้อยละ 46.40 โดยน้ำหนัก [6] และใบลำไยแห้งจากการตัดแต่งกิ่งร้อยละ 50.35 โดยน้ำหนัก [7] เป็นต้น เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เกิดขึ้นเหล่านี้ส่วนใหญ่มักถูกกำจัดด้วยวิธีการเผาในที่โล่ง เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วสำหรับเตรียมพื้นที่เพาะปลูกให้พร้อมกับการเพาะปลูกในฤดูกาลถัดไป อย่างไรก็ตามการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งมางการเกษตรด้วยการเผาในที่โล่งถือเป็นวิธีที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่รุนแรงที่โลกกำลังเผชิญในปัจจุบัน คือ การเกิดภาวะโลกร้อนจากปริมาณแก๊สเรือนกระจกในบรรยากาศที่มากและการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5 และ PM10)

ในชั้นบรรยากาศในปริมาณที่เกินระดับมาตรฐานจนทำให้มนุษย์เกิดโรคระบบทางเดินหายใจที่รุนแรง [8] ดังนั้นเพื่อการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในรูปแบบที่เหมาะสมและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงสุขภาวะมนุษย์ต่ำจึงมีแนวทางในการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและปัญหาสุขภาวะมนุษย์ดังกล่าวด้วยการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเป็นแหล่งพลังงานเพื่อทดแทนแหล่งพลังงานจากทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ถ่านหิน ที่มีปริมาณลดลงตามระยะเวลาที่มากขึ้น [9]

การแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนต้องคำนึงถึงความยั่งยืน ซึ่งความยั่งยืนดังกล่าวนอกจากจะแสดงออกในลักษณะการตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างต่อเนื่องแล้วยังต้องเป็นแหล่งพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย และแหล่งพลังงานทดแทนนั้น ได้แก่ พลังงานชีวมวลหรือเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตจากสารชีวมวล เช่น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เศษอาหาร ขยะอินทรีย์ รวมถึงกากตะกอนจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม เป็นต้น การนำวัสดุเหลือทิ้งจากภาคครัวเรือน จากภาคการเกษตร และจากภาคอุตสาหกรรมมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงถือเป็นการลดปริมาณขยะและลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้อีกด้วย ในการเพิ่มมูลค่าของเศษวัสดุเหลือทิ้งจะดำเนินการด้วยการเปลี่ยนให้เป็นเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานมากขึ้น โดยความสามารถในการให้พลังงานของเศษวัสดุเหลือทิ้งจะขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของเศษเหลือทิ้ง [10] อุณหภูมิหรือความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนเศษเหลือทิ้งเป็นเชื้อเพลิงและระยะเวลาที่ใช้ในการสลายตัวภายใต้ความร้อน [11] รวมถึงปริมาณขององค์ประกอบที่พบในเศษเหลือทิ้ง คือ ปริมาณเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินดังในงานวิจัยก่อนหน้าที่ผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากซังข้าวโพดและขี้เลื่อย พบว่าเมื่อเชื้อเพลิงจากซังข้าวโพดมีสมบัติทางความร้อนดีกว่าเชื้อเพลิงจากขี้เรื่อย เนื่องจากซังข้าวโพดมีปริมาณเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินมากกว่าขี้เลื่อยคิดเป็นร้อยละ 40 37 และ 5.55 โดยเฉลี่ย ตามลำดับ จึงส่งผลให้เชื้อเพลิงจากซังข้าวโพดมีค่าความร้อนสูงกว่าเพราะเชื้อเพลิงจากซังข้าวโพดมีสัดส่วนของสารที่ให้พลังงานมากกว่า คือ สารอินทรีย์ระเหยได้ (volatile matter; VM) และคาร์บอนคงที่ (fixed carbon; FC) [12] มากไปกว่านั้นสภาวะที่ใช้ในการเปลี่ยนเศษเหลือทิ้งให้เป็นเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส จะให้เชื้อเพลิงที่มีร้อยละของธาตุคาร์บอน (C) สูงกว่าการสภาวะที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส คิดเป็นร้อยละ 10.03 สภาวะอุณหภูมิการสลายตัวสูงมีอัตราการสลายตัวขององค์ประกอบเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินเป็นธาตุคาร์บอนได้ดีกว่าทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีสมบัติทางความร้อนสูงกว่า [10] เช่นเดียวกับการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษวัสดุข้าวโพดที่พบว่าเมื่อสภาวะอุณหภูมิในการสลายเศษวัสดุข้าวโพดเพิ่มสูงขึ้น สีของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวลจะเข้มขึ้นจากสีน้ำตาลแดงเป็นสีดำแสดงให้เห็นว่าสภาวะอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลให้องค์ประกอบเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมีอัตราการสลายตัวด้วยความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวมวลที่ผ่านการสลายตัว ณ สภาวะอุณหภูมิสูง คือ อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส มีร้อยละของธาตุคาร์บอนมากที่สุด คือ ร้อยละ 58.00 โดนน้ำหนัก [13] ในงานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาวิธีการจัดการเศษเหลือทิ้งชนิดฟางข้าวด้วยการนำไปเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพเท่าเทียมกับแหล่งพลังงานฟอสซิลในรูปแบบของถ่านอัดแท่ง รวมถึงมีการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวด้วยการเติมใบลำไยแห้งที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในปริมาณที่แตกต่างจากฟางข้าวอย่างนัยสำคัญในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก

วิธีการวิจัย

การผลิตถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังนี้ (1) การเตรียมฟางข้าวและใบลำไยแห้ง (Rice straw and longan residue preparation) (2) การเปลี่ยนฟางข้าวและใบลำไยแห้งเป็นผงคาร์บอน (Carbonization) (3) การผลิตถ่านอัดแท่งจากฟางข้าว (rice straw briquette production) (4) การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของถ่านอัดแท่ง (Physical and thermal properties analysis) (ภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 ขั้นตอนการการผลิตถ่านอัดแท่งจากฟางข้าว

การเตรียมฟางข้าวและใบลำไยแห้ง

ฟางข้าวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากเทศบาลตำบลหนองหาร ในเขตอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนใบลำไยแห้งได้มาจากกลุ่มเกษตรกรลำไยแปลงใหญ่ ตำบลดอนเปา ในเขตอำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อรวบรวมฟางข้าว (ประมาณ 15 กิโลกรัม) และใบลำไยแห้ง (ประมาณ 15 กิโลกรัม) ได้แล้วจะนำฟางข้าวและใบลำไยแห้งตากภายใต้แสงแดดเพื่อกำจัดความชื้นเป็นเวลา 7 วัน นำมาลดขนาดด้วยเครื่องปั่นที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบต่อนาที นาน 5 นาที และคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 250 ไมครอน เก็บผงฟางข้าวและผงใบลำไยแห้งไว้ในโถดูดความชื้น ผงฟางข้าวและผงใบลำไยแห้งที่ได้จะนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบที่ให้และไม่ให้พลังงาน (Proximate analysis) ตามวิธีที่ได้ระบุไว้ในงานวิจัยก่อนหน้า [14] และวิเคราะห์หาองค์ประกอบธาตุ (Ultimate analysis) ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ (LECO/CHNS-628)

การเปลี่ยนสารชีวมวลให้เป็นผงเชื้อเพลิง

นำผงฟางข้าว ผงลำไยแห้ง และผงฟางข้าวผสมผงใบลำไยแห้งที่ผ่านการคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด 250 ไมครอน มาเผาภายใต้สภาวะจำกัดอากาศ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที ด้วยเตาเผาไฟฟ้าขนาด 25 ลิตร (จากบริษัท พีเอพี เพาเวอร์ จำกัด) ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการคาร์บอไนซ์ (Carbonization) จะได้ผงคาร์บอนของฟางข้าว ผงคาร์บอนของใบลำไยแห้ง และผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีดำ จากนั้นนำผงคาร์บอนที่ได้วิเคราะห์หาองค์ประกอบที่ให้และไม่ให้พลังงาน ได้แก่ ความชื้น (Moisture) สารระเหยได้ (Volatile matter) คาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) และเถ้า (Ash) และองค์ประกอบธาตุ ได้แก่ ธาตุคาร์บอน ธาตุไฮโดรเจน ธาตุออกซิเจน ธาตุไนโตรเจน และธาตุซัลเฟอร์

การผลิตถ่านอัดแท่งจากฟางข้าว

การผลิตถ่านอัดแท่งจะแบ่งถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวจะแบ่งถ่านอัดแท้งออกเป็น 2 ประเภท คือ ถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวและถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ในการผลิตถ่านอัดแท่งจะดำเนินการด้วยการนำผงคาร์บอนที่ได้ไปอัดขึ้นรูปเพื่อให้มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกด้วยเครื่องอัดไฮดรอริกที่ความดัน 40 MPa ด้วยแม่พิมพ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูง 2 เซนติเมตรและ 0.5 เซนติเมตร ตามลำดับ จากนั้นนำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนต่อไป

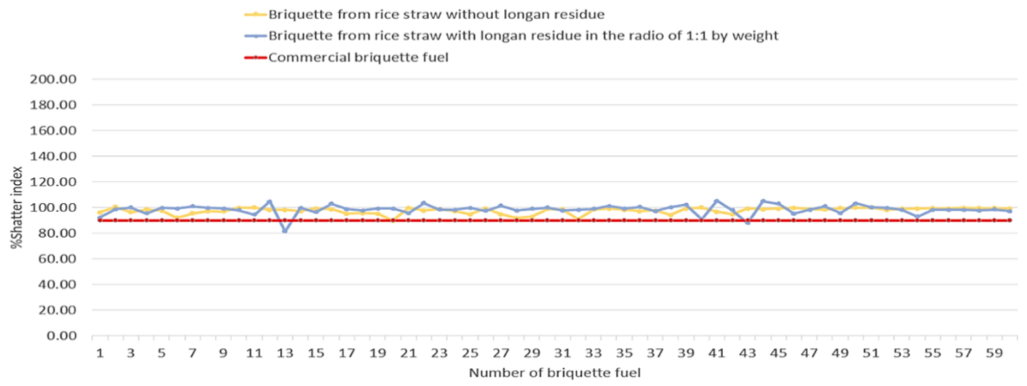
การวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่ง

การวิเคราะห์สมบัติของถ่านอัดแท่งจะแบ่งออกเป็นการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อน โดยสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งนั้นจะวิเคราะห์ความแข็งแรงเชิงกล ซึ่งจะในรูปของค่าดัชนีการแตกร่วน (% Shatter index) [15] และค่าความแน่น (Densification) [16] ส่วนสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งเป็นการวิเคราะห์ความสามารถในการให้พลังงานของถ่านอัดแท่งที่แสดงในรูปค่าความร้อน (Heating value, HV) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน (IKA/C5000 PKG) ค่าความหนาแน่นพลังงาน (Energy density, D_e) [12] และประสิทธิภาพการให้ความร้อน (Thermal efficiency) เป็นการทดสอบโดยการนำถ่านอัดแท่งที่ได้ไปจุดติดไฟแล้วนำพลังงานที่ได้ทำให้น้ำปริมาตร 20 มิลลิลิตร เดือดที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิเริ่มต้นศึกษา คือ 28 องศาเซลเซียส จากนั้นวัดปริมาตรน้ำที่เหลือจากการให้ความร้อน แล้วนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพการให้ความร้อนตามสมการของธนาพล ตันติสัตยกุลและคณะ (2558) [17]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวและถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้ง

สมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งโดยทั่วไปจะบ่งบอกถึงสมบัติเชิงกลในรูปของค่าดัชนีการแตกร่วน โดยค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งหมายถึงค่าที่แสดงถึงการเปรียบเทียบน้ำหนักของถ่านอัดแท่งเริ่มต้นและน้ำหนักที่เหลือจากการปล่อยถ่านอัดแท่งตามแรงโน้มถ่วงของโลกลงบนพื้นคอนกรีตด้วยระยะทาง 1 เมตร ค่าดัชนีการแตกร่วนมักเป็นตัวแปรที่ใช้บอกถึงความคงตัวของถ่านอัดแท่งขณะทำการขนส่งและความทนต่อแรงกระแทกของถ่านอัดแท่งที่เกิดจากการขนย้ายเพื่อการจัดเก็บ [18] จากการศึกษาค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้ พบว่าถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวมีค่าดัชนีการแตกร่วนต่ำกว่าถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก เพียงเล็กน้อย (ภาพที่ 2) และค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวและถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งโดยเฉลี่ยคือ 97.63 และ 98.49 ตามลำดับ ซึ่งค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งทั้ง 2 ประเภท นี้มีค่ามากกว่าร้อยละ 90 และมีค่ามากกว่าค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งที่ขายตามท้องตลาด แสดงให้เห็นว่าถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้มีสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งแรงและมีความคงรูปสูง กล่าวคือ ถ่านอัดแท่งยังคงลักษณะความเป็นก้อนหรือเป็นแท่งเมื่อถูกกระแทกในแนวดิ่งด้วยระยะทาง 1 เมตร และไม่เกิดการเสียรูปทรงระหว่างการขนส่งเพื่อการจัดเก็บ



ภาพที่ 2 ค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวและถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก

เมื่อเปรียบเทียบผลของค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวและถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งแล้วจะเห็นว่าค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก มีค่ามากกว่าถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวเป็นผลมาจากค่าความแน่นของถ่านอัดแท่ง โดยค่าความแน่นของถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งสูงกว่าถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวคิดเป็นร้อยละ 12.63 เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของฟางข้าว แม้ว่าจะถูกลดขนาดด้วยการปั่นและผ่านการคัดขนาดด้วยตะแกรงแล้ว ฟางข้าวยังคงลักษณะความเป็นเส้นใย ดังนั้นเมื่อผงฟางข้าวผ่านกระบวนการคาร์บอไนซ์เพื่อเปลี่ยนเป็นผงคาร์บอนจะยังคงลักษณะความเป็นเส้นใยเช่นเดิม ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้การชิดติดกันของอนุภาคคาร์บอนหลังจากการอัดให้เป็นแท่งทรงกระบอกต่ำ เพราะช่องว่างระหว่างอนุภาคคาร์บอนมีลักษณะเป็นร่องยาวจนอาจทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ ในขณะที่ใบลำไยแห้งเมื่อลดขนาดและคัดขนาดจนเป็นผงลำไยแล้วลักษณะอนุภาคของผงลำไยจะเป็นทรงกลม และเมื่อนำไปผสมกับผงฟางข้าวก่อนเข้าสู่กระบวนการคาร์บอไนซ์เพื่อเปลี่ยนเป็นผงคาร์บอนแล้วจะได้ผงคาร์บอนผสม นำผงคาร์บอนผสมที่ได้ไปอัดขึ้นรูปเป็นแท่งด้วยแรงดันที่เท่ากันจะพบว่าช่องว่างระหว่างอนุภาคคาร์บอนหลังจากการอัดจะอยู่ชิดติดกันมากกว่าจากการเติมเต็มช่องว่างที่เป็นร่องของฟางข้าวของด้วยผงคาร์บอนจากใบลำไยแห้งแสดงให้เห็นว่าถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งจะมีความแน่นมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับค่าดัชนีการแตกร่วนที่สูงกว่า มากไปกว่านั้นผงคาร์บอนจากใบลำไยแห้งอาจส่งผลให้ถ่านอัดแท่งมีการเผาไหม้ที่สม่ำเสมอและมีความต่อเนื่องมากกว่าเนื่องจากขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาคคาร์บอนมีความสม่ำเสมอและมีพื้นที่ในการเผาไหม้สูง ซึ่งอาจทำให้การเผาไหม้ถ่านอัดแท่งเป็นไปอย่างสม่ำเสมอจนสามารถให้อัตราการให้ความร้อนที่คงที่และให้พลังงานความร้อนสูง [19]

การเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวและถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้ง

ในการศึกษาสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้ พบว่าถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งจะให้สมบัติทางความร้อนที่ดีกว่ากล่าวคือ มีค่าความร้อนมากกว่าคิดเป็นร้อยละ 2.91 (ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งคือ 17.37 MJ/kg) และยังมีค่ามากกว่าการผลิตถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวโดยมีน้ำแป้งเป็นตัวเชื่อมประสานในอัตราส่วน 1:0.3 คิดเป็นร้อยละ 10.22 (ค่าความร้อนของถ่านจากฟางข้าวต่อน้ำแป้งในอัตราส่วน 1:0.3 คือ 15.76 MJ/kg) [20] เนื่องจากใบลำไยแห้งมีองค์ประกอบของส่วนที่เผาไหม้หรือส่วนที่ให้พลังงานสูงกว่านั่นคือ ใบลำไยแห้งมีสัดส่วนขององค์ประกอบที่เป็นอินทรีย์ชนิดสารระเหยได้ (Volatile matter, VM) และคาร์บอนคงที่ (Fixed carbon, FC) ที่มากกว่า (ตารางที่ 1) อีกทั้งใบลำไยแห้งยังมีสัดส่วนขององค์ประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์ที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้หรือเป็นส่วนที่ไม่ให้พลังงานต่ำกว่าคือ มีสัดส่วนขององค์ประกอบของเถ้าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าว ดังนั้นเมื่อนำใบลำไยแห้งมาผสมกับฟางข้าวเพื่อผลิตเป็นถ่านอัดแท่งแล้วจะส่งผลให้ได้ถ่านอัดแท่งที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบที่เผาไหม้ได้หรือส่วนที่ให้พลังงานได้เพิ่มมากขึ้นคิดเป็นร้อยละ 3.00 ในขณะที่ถ่านอัดแท่งจะมีสัดส่วนขององค์ประกอบที่ไม่สามารถเผาไหม้หรือส่วนที่ไม่ให้พลังงานได้ลดลงคิดเป็นร้อยละ 5.23 (ตารางที่ 1) ดังนั้นจะแสดงให้เห็นว่าถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งมีค่าความร้อนสูงกว่าและให้พลังงานความร้อนเมื่อเผาไหม้มากกว่าถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวเพียงอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของถ่านอัดแท่งที่เท่ากันจะเห็นได้ว่าหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อน (หรือต้องการพัฒนาสมบัติทางความร้อน) ของถ่านอัดแท่งสามารถดำเนินการได้ด้วยการเพิ่มชนิดของวัตถุดิบที่จะใช้ในการผลิตถ่านที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบที่ให้พลังงานสูงและนำไปผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วัตถุดิบคือใบลำไยแห้ง จากผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าการใช้วัสดุเหลือทิ้ง 2 ชนิดสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งที่ต้องการได้

ตารางที่ 1 ปริมาณองค์ประกอบที่ให้และไม่ให้พลังงาน ปริมาณองค์ประกอบของธาตุ และค่าความร้อนของฟางข้าว ใบลำไยแห้ง ผงคาร์บอนจากฟางข้าว ผงคาร์บอนจากใบลำไยแห้ง ถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าว และถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก

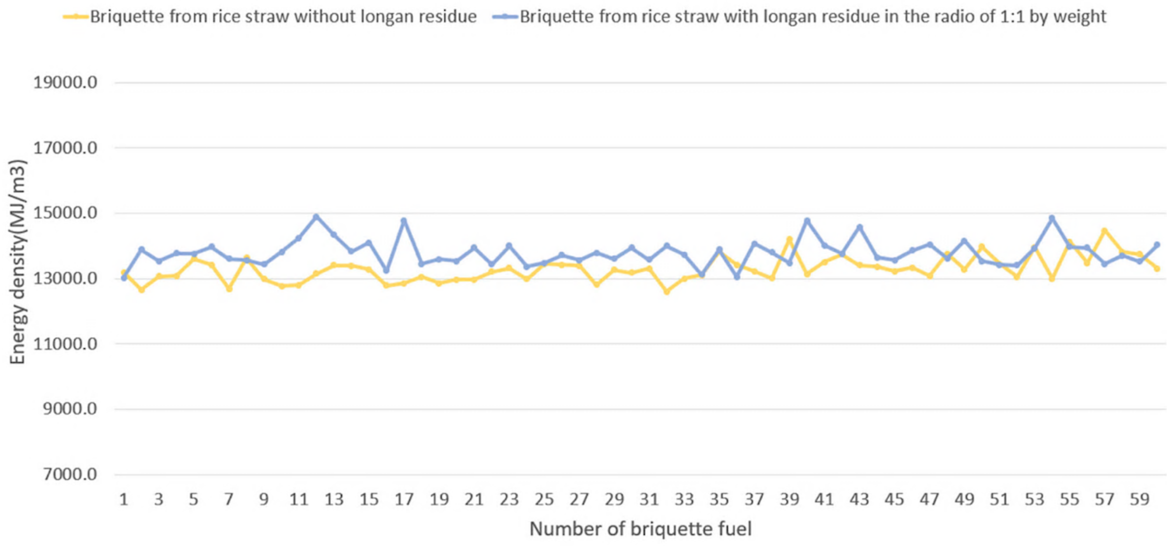
Sample	proximate analysis				ultimate analysis					heating value, HV (MJ/kg)
	%MC	%VM	%ASH	%FC	%C	%H	%O	%N	%S	
* rice straw	7.94	81.70	2.87	7.50	39.09	6.74	53.52	0.66	N.D	15.22
Carbonized rice straw	6.36	71.97	2.80	18.87	51.49	3.39	44.03	1.09	N.D	16.86
* longan residue	6.93	86.20	2.80	4.07	40.48	6.35	52.04	1.13	N.D	15.47
Carbonized longan residue	4.23	79.10	2.72	13.96	62.03	5.00	31.10	1.88	N.D	24.03
*rice straw mixed with longan residue	7.30	84.12	2.72	5.86	43.13	6.97	48.96	0.94	N.D	17.49
Carbonized rice straw briquette	6.36	71.97	2.80	18.87	51.49	3.39	44.03	1.09	N.D	16.86
Carbonized rice straw mixed with longan residue briquette	4.49	73.25	2.13	20.13	54.05	2.74	41.39	1.82	N.D	17.37

Note: *before carbonization

%MC = moisture content
%VM = volatile matter content
%ASH = ash content
%FC = fixed carbon content
%C = carbon element content
%H = hydrogen element content
%O = oxygen element content
%N = nitrogen element content
%S = sulfur element content

เมื่อนำถ่านอัดแท่งทั้ง 2 ประเภทที่ผลิตได้ไปต้มน้ำปริมาตร 20 มิลลิลิตร ณ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (จากอุณหภูมิขณะทำการศึกษาคือ 28 องศาเซลเซียส) โดยการนำถ่านอัดแท่งไปเผาไหม้โดยตรงและนำพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านอัดแท่งไปใช้ประโยชน์ด้านการต้มน้ำ พบว่าการใช้ถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งเป็นเชื้อเพลิงสำหรับต้มน้ำจากอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาสั้นกว่าการใช้ถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวเพียงอย่างเดียว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งสามารถเผาไหม้และให้พลังงานความร้อนได้มากกว่าสอดคล้องกับค่าความร้อนที่มากกว่าเนื่องจากถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งมีสัดส่วนขององค์ประกอบคาร์บอนคงที่สูงกว่าจึงบ่งบอกถึงระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ยาวนานกว่าสัมพันธ์กับความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานความร้อนไว้ในตัวถ่านอัดแท่งได้ดีกว่า แสดงในรูปค่าความหนาแน่นพลังงานของถ่านอัดแท่ง โดยถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งมีค่าความหนาแน่นพลังงานสูงกว่า (ภาพที่ 3) หากพิจารณาปริมาตรน้ำสุดท้ายหรือปริมาตรน้ำที่เหลือจากการต้มน้ำ ณ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ด้วยถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้แล้วยังพบว่าปริมาตรน้ำสุดท้ายของการใช้ถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งในการต้มน้ำต่ำกว่าการใช้ถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวเพียงอย่างเดียว นั่นคือ การทำให้น้ำระเหย ณ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ด้วยการใช้ถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งสามารถทำได้ดีกว่าการใช้ถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวเพียงอย่างเดียวและใช้ปริมาณถ่านอัดแท่งน้อยกว่าดังนี้ ปริมาณถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไย

แห้งที่ใช้ในการต้มน้ำจนถึงอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส คือ 9 กรัม ในขณะที่ปริมาณถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวที่ใช้ในการต้มน้ำคือ 15 กรัม จากปริมาณถ่านที่ใช้ในการต้มน้ำแตกต่างกันบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการให้ความร้อนของถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวเพียงอย่างเดียวที่สูงกว่า มากไปกว่านั้นถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวเพียงอย่างเดียวยังมีความสามารถในการจุดติดไฟที่ดีกว่าหรือจุดติดไฟได้เร็วกว่า ซึ่งเป็นผลมาจากสัดส่วนขององค์ประกอบสารระเหยได้ในใบลำไยแห้งมีมากกว่าและเมื่อนำไปผสมกับฟางข้าวเพื่อนำไปผลิตเป็นถ่านอัดแท่งแล้วจึงได้ถ่านอัดแท่งที่มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 1-2) โดยสัดส่วนของสารอินทรีย์ระเหยได้ที่มากขึ้นแสดงถึงความสามารถในการจุดติดไฟได้ง่ายขึ้น จากการปรับปรุงสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากฟางข้าวด้วยการเพิ่มวัตถุดิบชนิดใบลำไยแห้งลงไปในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มองค์ประกอบของใบลำไยแห้งทำให้ถ่านอัดแท่งที่ผลิตได้มีสมบัติทางความร้อนดีขึ้นในรูปของค่าความร้อนเพิ่มขึ้นและมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนได้ยาวนานขึ้น และเมื่อนำถ่านอัดแท่งไปต้มน้ำ คือ ใช้ระยะเวลาในการต้มน้ำ ณ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ได้สั้นลงด้วยปริมาณถ่านอัดแท่งที่ใช้น้อยลง



ภาพที่ 3 ค่าความหนาแน่นพลังงานของถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวและถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 2 ระยะเวลาในการจุดติดไฟ ปริมาณถ่านอัดแท่งที่ใช้ในการต้มน้ำ ณ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ของถ่านอัดแท่งแต่ละประเภท

Briquette	Heating value (MJ/kg)	Thermal efficiency	Ignitron time (min)	Briquette amount (g)
Carbonized rice straw briquette	16.86	5,431.08	21.09	9.0
Carbonized rice straw mixed with longan residue briquette	17.32	7,517.05	20.48	15.0

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการเพิ่มสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวและถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก พบว่าถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งเป็นถ่านอัดแท่งที่ให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนดีขึ้น ซึ่งแสดงถึงถ่านมีความทนต่อแรงกระแทกได้ดีสอดคล้องกับค่าดัชนีการแตกร่วนและค่าความแน่นที่สูงกว่าถ่านอัดแท่งจากผงคาร์บอนของฟางข้าวเพียงอย่างเดียวคิดเป็นร้อยละ 98.49 และ12.63 ตามลำดับ ส่วนสมบัติทางความร้อนของถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากผงคาร์บอนผสมระหว่างฟางข้าวและใบลำไยแห้งที่ดีขึ้นแสดงถึงการให้พลังงานความร้อนในปริมาณสูงกว่าสัมพันธ์กับค่าความร้อนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.91 และสามารถเก็บสะสมพลังงานความร้อนได้ดีซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นพลังงานที่มากกว่าและการใช้ปริมาณถ่านที่น้อยกว่าเมื่อพิจารณาปริมาณพลังงานความร้อนที่เท่ากัน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเทศบาลตำบลหนองหาร ในเขตอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ฟางข้าวเพื่อใช้เป็นวัสดุในการผลิตถ่านอัดแท่ง ขอขอบคุณกลุ่มเกษตรกรลำไยแปลงใหญ่ ตำบลดอนเปา อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใบลำไยแห้งเพื่อใช้เป็นวัสดุในการผลิตถ่านอัดแท่ง มากไปกว่านั้นขอขอบคุณหลักสูตรนวัตกรรมเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้อำนวยความสะดวกสำหรับสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] จรินทร์ ชลไพศาล. (2553). **สถานการณ์และแนวโน้มถ่านหินของโลกและของไทย.** กลุ่มเศรษฐกิจแร่และอุตสาหกรรมพื้นฐาน สำนักบริหารยุทธศาตร์.

[2] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. (2567). **สถานการณ์พลังงานปี 2566 และแนวโน้มปี 2567.** สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. หน้า 1-9.

[3] พุทธชาติ ทองเอม. (2547). **พลังงานในอนาคตกับการพัฒนาอย่างยั่งยืน.** กลุ่มงานบริการวิชาการ สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. 175 หน้า.

[4] คู่มือสารชีวมวลเอเชีย. **แนวทางสำหรับการผลิตและการใช้สารชีวมวล** สืบค้นข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2566, จาก http://www. jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Thai/AllT.pdf.

[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). **พลังงานชีวมวล.** สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 202 หน้า.

[6] ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ. (2556). **โครงการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน อ.จะนะ จ.สงขลา**. กลุ่มชีวมวล สำนักวิจัย ค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.

[7] ชมธิดา ชื่นนิยม. (2553). **การศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษซังข้าวโพด โดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[8] พัชรี อินธนู กนกพร คำปลิว แสนวสันต์ ยอดคำ และพัชรินทร์ สุภาพันธ์. (2565). การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน.** 5 (2), 8-17.

[9] Energy Information Administration. (2007). **International Energy Outlook**. Office of Integrated Analysis and Forecasting U.S. Department of Energy Washington, DC.

[10] Muazu, R.I. and Stegemann, J.A. (2017). Biosolids and microalgae as alternative binders for biomass fuel Briquetting. **Fuel**, 194, 339–347.

[11] Zhai, Y., Peng, C., Xu, B., Wang, T., Li, C., Zeng, G. and Zhu, Y. (2017). Hydrothermal carbonization of sewage sludge for char production with different waste biomass: Effects of reaction temperature and energy recycling. **Energy**, 127, 167-174.

[12] Zhai, Y., Wang, T., Zhu, Y., Peng, C., Wang, B., Li, X., Li, C. and Zeng, G. (2018). Production of fuel pellets via hydrothermal carbonization of food waste using molasses as a binder. **Waste management**, 77, 185–194.

[13] Wang, Q., Han, K., Gao, J., Li, H. and Lu, C. (2017). The pyrolysis of biomass briquettes: Effect of pyrolysis temperature and phosphorus additives on the quality and combustion of bio-char briquettes. **Fuel**, 199, 488-496.

[14] พัชรี อินธนู และ แพรขวัญ เกตุรมย์. (2561). การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษเปลือกถั่วลิสง. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. 28 (4), 1-11.

[15] Sengar, S.H., Mohod, A.G., Khandetod, Y.P., Patil, S.S. and Chendake A.D. (2012). Performance of Briquetting Machine for Briquette Fuel. **International Journal of Energy and Engineering**, 1, 28-34.

[16] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2558). **โครงการสาธิตการใช้เชื้อเพลิงอัดเม็ดในหม้อน้ำขนาดเล็กพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในภาคอตุสาหกรรม**. รายงานฉบับสมบูรณ์ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

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

[18] พัชรี อินธนู สิรินยา ใสเอ้ย และพิชญพร กลับกลาย. (2562). ผลของอุณหภูมิคาร์บอไนซ์ต่อคุณสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของเชื้อเพลิงแท่งจากกากปาล์มสาคูที่มีกลีเซอรีนเป็นตัวเชื่อมประสาน. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**. 12 (2), 25-35.

[19] กิตติกร สาสุจิตต์ วราพงศ์ แสนพินิจ ณัฐพงษ์ วงศ์รินทร์ และณัฐวุฒิ ดุษฎี. (2558). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากวัสดุเหลือทิ้งซังและเปลือกข้าวโพดด้วยเทคนิคการอัดรีดขึ้นรูปโดยใช้ตัวประสานแป้งมันผสมปูนขาว. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ**. 18 (1), 5-14.

[20] ศิริวรรณ ศรีสรฉัตร์. (2549). **การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากแกลบและฟางข้าว.** รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์.

การศึกษากระบวนการการผลิตถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงจากลูกตาลสำหรับ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนตาลจะรัง อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี

The study of production process of high-quality charcoalbriquettes from *Borassus flabellifer Linn* for Tan Charang Enterprise Group, Yaring District, Pattani Province

ลุตฟี สือนิ [1*] มูฮำมัดคอยรี หะยีบากา[1] อีลีหยะ สนิโซ[1] และ อิสรา อาแว[1]
Lutfee Sueni[1*], Muhammadkhoyree Hayeebaka[1], Eleeyah Saniso[1], and Isra Awae[1]

[1]สาขาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000
Renewable Energy, Yala Rajabhat University, Muang, Yala 95000, Thailand
*Corresponding Author, Email : lutfee.se@yru.ac.th

Abstract

This research study the production process of high-quality charcoal briquettes from *(Borassus flabellifer Linn.)* for Tal Jarang Community Enterprise Group, Yaring District, Pattani Province. The objectives were to find the appropriate ratio for producing high-quality charcoal briquettes from *(Borassus flabellifer Linn.)* using cassava starch as a binder. The ratios were 70:30, 80:20, and 90:10 by weight. The mechanical and physical properties of high-quality charcoal briquettes from *(Borassus flabellifer Linn.)* were tested, including friability index, density, moisture content, and heat content. The results of the research found that the ratio of 70:30 was the appropriate ratio and passed the criteria of the charcoal briquette Thai community product standard. Test results showed that the friability index of the charcoal briquette was 0.89 g, which complied with ASTM D-3033 standard in the range of 0.5-1.0 g. Density test result was 0.30 g/cm^3, which passed the criteria of Thai community product standard. 239/2557, which specified no more than 0.8 g/cm^3. Moisture content test result Equal to 2.31% passing Thai community product standards. 239/2014, which specifies moisture content not to exceed 10% and the heat energy test result is equal to 5,333 cal/g, passing Thai Community Product Standards. 239/2014, which specifies heat content not to be less than 5,000 cal/g.

Keywords: Charcoal, Charcoal briquettes, Toddy palm

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการการผลิตถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงจากลูกตาล สำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตาลจะรัง อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงจากลูกตาล

โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน อัตราส่วน ได้แก่ 70:30, 80:20 และ 90:10 โดยน้ำหนัก และทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงจากลูกตาล ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนที่ 70:30 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมและผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ซึ่งจากการทดสอบพบว่าค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่ง เท่ากับ 0.89 กรัม เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D-3033 ในช่วง 0.5-1.0 กรัม ผลการทดสอบความหนาแน่นเท่ากับ 0.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 239/2557 ที่กำหนดไม่เกิน 0.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ผลการทดสอบค่าความชื้น เท่ากับร้อยละ 2.31 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 239/2557 ที่กำหนดความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 และผลการทดสอบค่าพลังงานความร้อน เท่ากับ 5,332.62 แคลอรี่ต่อกรัม ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 239/2557 ที่กำหนดค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรี่ต่อกรัม

คำสำคัญ: ถ่าน ถ่านอัดแท่ง ลูกตาล

บทนำ

การพัฒนาพลังงานทดแทนในประเทศไทย ซึ่งมีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามนโยบายของรัฐ เพื่อลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ โดยพลังงานทดแทนที่ใช้ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม พลังน้ำ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ขยะ พลังความร้อนใต้พิภพ และเชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น เอทานอล และไบโอดีเซล จากสถิติในปี 2564 แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยใช้พลังงานทดแทน 10,459 พันต้นเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 12.63 และคิดเป็นร้อยละ 14.40 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ส่งผลให้การนำเข้าพลังงานลดลง คิดเป็นมูลค่า 170.277 ล้านบาท และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 32.08 ล้านตัน [1]

วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายชนิด เช่น ลูกตาล ซังข้าวโพด แกลบ และชานอ้อย สามารถนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง โดยต้องผ่านกระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งคุณภาพสูง การผลิตถ่านอัดแท่งมักประสบปัญหาด้านคุณภาพ เช่น ถ่านมีลักษณะเปราะ มีควันระหว่างการติดไฟ มีความชื้นเมื่อวางทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง ทำให้เกิดเชื้อราจุดติดไฟยาก และระยะเผาไหม้สั้น [2]

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการการผลิตถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงจากลูกตาล สำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตาลจะรัง อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี เนื่องจากลูกตาลเหลือทิ้งมีจำนวนมากและถูกนำมาใช้ทำเป็นเชื้อเพลิง โดยมีการพัฒนาและผลิตถ่านอัดแท่งคุณภาพสูง ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือ ไม่มีกลิ่น ไม่มีควัน ไม่แตกประทุ ขี้เถ้าน้อย ไม่ฟุ้งกระจาย ไม่ทำลายสุขภาพ ให้ความร้อนสูงสม่ำเสมอและทนทาน การผลิตถ่านอัดแท่งนี้สามารถสร้างรายได้ให้กับชุมชน สอดคล้องกับนโยบายของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงจากลูกตาล
2. เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงจากลูกตาล

วิธีการวิจัย

1. ขั้นตอนการเตรียมลูกตาล

นำลูกตาลมาตากแห้งประมาณ 3-5 วัน เพื่อลดปริมาณความชื้น นำลูกตาลมาเผาให้เป็นถ่าน ใช้เวลา 2-3 ชั่วโมง จนได้ถ่านลูกตาลที่มีลักษณะสีดำล้วน นำถ่านลูกตาลมาบดให้มีขนาดเล็กและละเอียดเป็นผงถ่าน และทำการทดลองในแต่ละอัตราส่วนที่ต่างกัน

2. ขั้นตอนการอัดถ่านแท่ง

นำผงถ่านลูกตาลแต่ละอัตราส่วนที่ต่างกัน (70:30, 80:20 และ 90:10 โดยน้ำหนัก) มาผสมกับแป้งมันและน้ำ แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน นำส่วนผสมไปเข้าเครื่องอัดแท่ง ตัดถ่านแท่งให้ได้ขนาด 10 เซนติเมตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น

3. กระบวนการขึ้นรูป

(ก) การผสมผงถ่านกับแป้งมันสำปะหลัง (ข) เทส่วนผสมลงในเครื่องอัดแท่ง (ค) การอัดแท่ง

ภาพที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปของถ่านอัดแท่ง

4. ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านทางกลและทางกายภาพถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงจากลูกตาล

ทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีการแตกร่วนโดยวิธีทิ้งจากที่สูง ตามวิธีมาตรฐานของ ASTM D-3033 นำถ่านอัดแท่งใส่ถุงพลาสติก 1 ก้อนและชั่งน้ำหนัก ปล่อยถ่านลงจากที่สูง 2 เมตร สู่พื้น ซ้ำ 3 ครั้ง นำถ่านไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 20 มิลลิเมตรและชั่งน้ำหนักถ่านอัดแท่งที่เหลือจากการร่อน โดยใช้สูตรและสมการที่ 1

$$R = \frac{W_f}{W_i} \tag{1}$$

ทำการวิเคราะห์หาความหนาแน่นการทดสอบหาความหนาแน่นโดยชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล วัดความหนาโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ วัดความยาว กว้าง และเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ โดยใช้สมการที่ 2

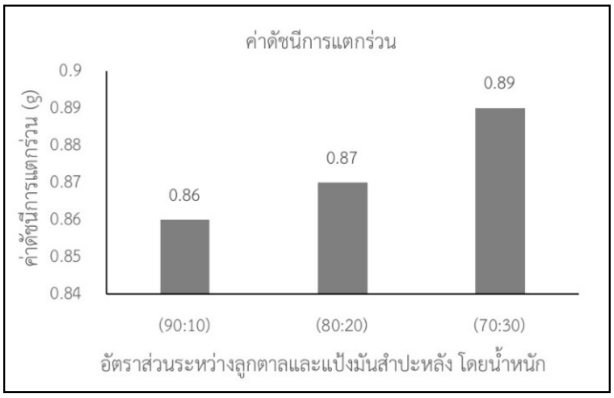
$$\rho = \frac{m}{V} \tag{2}$$

ทำการวิเคราะห์ค่าความชื้น (% Moisture Content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D-3173 เตรียมตัวอย่างทดลองและชั่งน้ำหนักถ่านก่อนเข้าตู้อบ นำถ่านที่ชั่งน้ำหนักแล้วมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วบันทึกน้ำหนักของถ่านหลังจากอบ คำนวณค่าความชื้นมาตรฐานเปียกของถ่านโดยใช้สมการที่ 3

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (3)$$

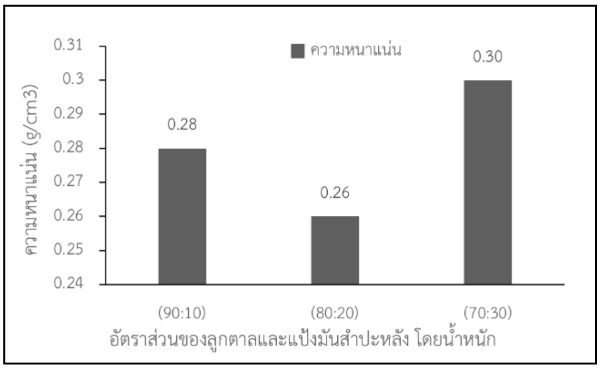
ทำการวิเคราะห์ค่าความร้อน (Heating value) นำถ่านอัดแท่งจากลูกตาลไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำถ่านอัดแท่งที่อบไล่ความชื้นแล้วมาชั่งน้ำหนักให้ได้ 0.3 กรัม เตรียมตัวอย่างใส่ถ่านอัดแท่งในถ้วย (Crucible) แล้วประกอบใส่ในกระป๋องแคลอรีมิเตอร์ (Decomposition vessel) และนำเข้าเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ โดยการทดสอบใช้เวลาในการหาค่าพลังงานความร้อนประมาณ 12 นาที ต่อ 1 ตัวอย่าง อ่านค่าพลังงานความร้อนจากเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ แล้วบันทึกผล

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย



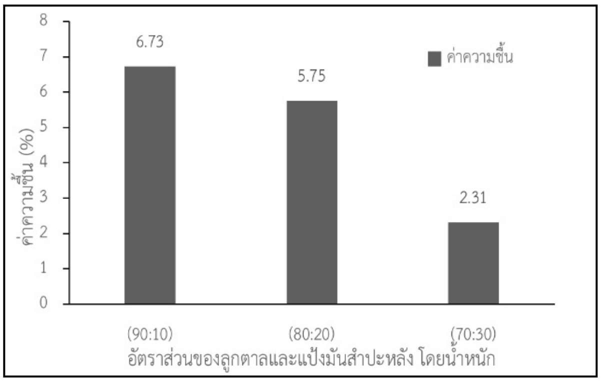
ภาพที่ 2 ค่าดัชนีการแตกร่วนของลูกตาลและแป้งมันสำปะหลัง

ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีการแตกร่วนพบว่าอัตราส่วน 90:10 โดยน้ำหนัก ค่าเฉลี่ยการแตกร่วน 0.86 อัตราส่วน 80:20 โดยน้ำหนัก ค่าเฉลี่ยการแตกร่วน 0.87 และอัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก ค่าเฉลี่ยการแตกร่วน 0.89 จะเห็นได้ว่าถ่านอัดแท่งมีความแข็งแรงและไม่แตกหักง่าย เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาค ซึ่งทุกอัตราส่วนที่ทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D-3033 และสอดคล้องกับงานวิจัยของอัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย [3] ซึ่งค่าดัชนีการแตกร่วนที่เหมาะสมต่อการใช้งานควรอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 ทำให้ถ่านอัดแท่งสามารถทนทานต่อการใช้งานและการขนส่งได้ดี



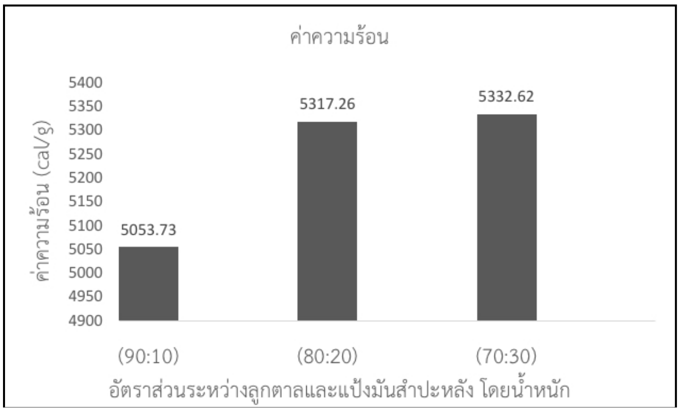
ภาพที่ 3 ค่าความหนาแน่นของลูกตาลและแป้งมันสำปะหลัง

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นพบว่าอัตราส่วน 90:10 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น 0.28 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อัตราส่วน 80:20 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น 0.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อัตราส่วน 70:30 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น 0.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วนที่ทดสอบมีค่าความหนาแน่นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 239/2557 ซึ่งกำหนดไม่เกิน 0.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากค่าความหนาแน่นบ่งบอกถึงการยึดเกาะของวัสดุได้ดี จากการศึกษากากกาแฟและกากมะพร้าวที่มีแป้งมันเป็นตัวประสานซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของลัดดา ทองชูช่วย [4] พบว่าค่าความหนาแน่นต่ำของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีข้อดีในการช่วยทำให้จุดติดไฟได้ง่ายขึ้น



ภาพที่ 4 ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่งจากลูกตาลและแป้งมันสำปะหลัง

ผลการวิเคราะห์ค่าความชื้นพบว่าอัตราส่วน 90:10 ความชื้น 6.73% อัตราส่วน 80:20 ความชื้น 5.73% อัตราส่วน 70:30 ความชื้น 2.31% อัตราส่วน 90:10 มีความชื้นสูงสุดที่ 6.73% แต่ปริมาณความชื้นทุกอัตราส่วนผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 239/2557 ซึ่งกำหนดไม่เกิน 10% การอัดเปียกแบบชนิดอัดเย็นโดยใช้ความร้อนช่วยลดความชื้นของถ่านอัดแท่ง หากไม่ใช้ความร้อนจะทำให้ถ่านอัดแท่งมีความชื้นสูงและค่าความร้อนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพุทธิธร แสงรุ่งเรือน และคณะ (2549) [5]



ภาพที่ 5 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากลูกตาลและแป้งมันสำปะหลัง

ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งที่ผลิตจากลูกตาลและแป้งมันสำปะหลัง พบว่าค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของตัวประสานลดลง ซึ่งค่าความร้อนสูงสุด ของถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วน 70:30 มีค่าพลังงานความร้อนที่ 5,332.62 แคลอรี่ต่อกรัม ซึ่งมีค่าความร้อนมากกว่าถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวและถ่านเหง้าสำปะหลัง (รุ่งโรจน์, 2553)

[6] เพราะเป็นอัตราส่วนที่มีความชื้นน้อยที่สุด จึงมีการสูญเสียความร้อนระหว่างการเผาไหม้น้อย และค่าความร้อนน้อยที่สุดของถ่านอัดแท่งที่อัตราส่วน 90:10 มีค่าพลังงานความร้อนที่ 5,053.73 แคลอรี่ต่อกรัม เพราะมีตัวประสานน้อยที่สุด ปริมาณความชื้นมากที่สุด ทำให้สูญเสียความร้อนไปกับการระเหยความชื้นในระหว่างการเผาไหม้ ทำให้ค่าพลังงานความร้อนที่ได้ต่ำลง จึงทำให้ถ่านอัดแท่งในอัตราส่วนนี้ให้ค่าพลังงานความร้อนน้อยที่สุด โดยจากการศึกษาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งแต่ละอัตราส่วน พบว่า ถ่านอัดแท่งทุกอัตราส่วน ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 239/2557 ในด้านค่าความร้อนคือต้องไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรี่ต่อกรัม

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการการผลิตถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงจากลูกตาล สำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนตาลจะรัง อำเภอยะหริ่ง จังหวัดปัตตานี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงจากลูกตาล โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน อัตราส่วน ได้แก่ 70:30, 80:20 และ 90:10 โดยน้ำหนัก และทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของถ่านอัดแท่งคุณภาพสูงจากลูกตาล ได้แก่ ค่าดัชนีการแตกร่วน ค่าความหนาแน่น ค่าความชื้นและค่าความร้อน ผลการวิจัยพบว่า อัตราส่วนที่ 70:30 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมและผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง ซึ่งจากการทดสอบพบว่าค่าดัชนีการแตกร่วนของถ่านอัดแท่ง เท่ากับ 0.89 กรัม เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D-3033 ในช่วง 0.5-1.0 กรัม ผลการทดสอบความหนาแน่น เท่ากับ 0.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 239/2557 ที่กำหนดไม่เกิน 0.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ผลการทดสอบค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 2.31 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 239/2557 ที่กำหนดความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 และผลการทดสอบค่าพลังงานความร้อน เท่ากับ 5,332.62 แคลอรี่ต่อกรัม ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. 239/2557 ที่กำหนดค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรี่ต่อกรัม

ถ่านอัดแท่งจากลูกตาลมีคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงที่อยู่ในเกณฑ์ดีตามมาตรฐานและเหมาะสมต่อการใช้งาน แม้ว่าค่าความร้อนอาจไม่สูงกว่าวัสดุอื่น ๆ มากนัก แต่การใช้ลูกตาลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่งช่วยส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และสนับสนุนการพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทนที่มีประสิทธิภาพการนำลูกตาลมาแปรรูปเป็นถ่านอัดแท่งไม่เพียงแต่ช่วยลดของเสียและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ แต่ยังช่วยสร้างจิตสำนึกในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่าในชุมชนอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

บทความเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจาก อาจารย์ลุตฟี สือนิ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ขอขอบคุณอุปกรณ์การทดลองและสถานที่ทดลองวิจัยที่โรงงานเอ็มที ถ่านอัดแท่งมลายูบางกอก

เอกสารอ้างอิง

[1] กฤษฎา บุญชม และนิลุบล ไชยสมปาน. (2563). การศึกษาถ่านอัดแท่งจากไม้ลำไย. **บทความวิจัยมหาวิทยาลัยจังหวัดเชียงใหม่**, 2, 51-56.

[2] ณัฐพล วิชาญ, กันยาพร ไชยวงศ์, พรพิมล พรมรักษา, และอภินันท์กาน้อย. (2562). การผลิตถ่านอัดแท่งด้วยเศษถ่านที่เหลือจากกระบวนการผลิตกล้วยทอดกรอบ. **วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม**, 1, 11-22.

[3] พงศกร สุรินทร์, ซูเกียรติ ธรรมจินดา, ณรงค์ ค่อมคิรินทร์, และอดิเรก เฉลียว. (2565). การผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง.**วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา**, 5, 13-20.

[4] ลัดดา ทองชูช่วย วรรัตน์ ปัตรประกร และ แววบุญ แย้มแสงสังข์. (2565). การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าว. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช**, 2, 1-11.

[5] โรสลีนา อนันตนุกูลวงศ์ รอดียะห์ เจ๊ะแม, และนุรมายามีน สาเร๊ะนุ. (2562). การผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. **วารสารวิทยาศาตร์และเทคโนโลยี,** 1, 47-53.

การศึกษาการใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสานแทนแป้งมันสำปะหลังในการผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้าง: สมบัติทางกายภาพ ค่าความร้อน และต้นทุนการผลิต

Study of Using Clay as a Binder Instead of Cassava Starch in the Production of Green Fuel Briquettes from Elephant Dung: Physical Properties, Heat Value, and Production Cost

สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี*
Surachai Narrat Jansri*

สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180
Major of Community Energy and Environment, Asian Development College for Community Economy and Technology (adiCET), Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50180
Corresponding author: Tel.: 08-253-5198-7. E-mail address: Surachai_nar@g.cmru.ac.th

Abstract

The increasing demand for renewable energy has made biomass a vital energy source for developing countries. The production of green fuel briquettes improves combustion efficiency and reduces transportation costs. Elephant dung, abundant and easy to source, is a promising raw material for fuel production. While cassava starch is typically used as a binder, its high cost led to the exploration of clay as an alternative. This study examined the physical properties, thermal characteristics, and production costs of elephant dung green fuel briquettes using clay instead of cassava starch. A 7:3:1 ratio of elephant dung, clay, and water was compressed at 40 bars for 0-20 min. Fuel briquettes compressed for 5 minutes showed strong durability, a smooth surface, and 98% shape retention, with a volume reduction of over 67% and a density exceeding 1,000 kg/m³. Although the high heating value of clay-bound briquettes (11 MJ/kg) was slightly lower than that of cassava starch (12 MJ/kg), using clay reduced raw material costs by 63%, reducing costs to just 0.33 baht per briquette. Clay is thus a viable option for commercial production, but further research on chemical properties, optimal production conditions, and the effects of elephant dung decomposition on heating value is needed.

Keywords: elephant dung, clay cassava starch, green fuel briquette, production cost

บทคัดย่อ

ความต้องการพลังงานหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้นทำให้ชีวมวลกลายเป็นแหล่งพลังงานสำคัญของประเทศกำลังพัฒนา การผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และลดต้นทุนการขนส่ง มูลช้างเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงเนื่องจากมีปริมาณมากและหาได้ง่าย โดยทั่วไปกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งมักใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน แต่ด้วยต้นทุนที่สูงจึงมีการวิจัยการใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสานทางเลือก งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาสมบัติทางกายภาพ ความร้อน และต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิงเขียวอัดแท่งจากมูลช้างโดยใช้ดินเหนียวแทนแป้งมันสำปะหลัง วัตถุดิบที่ใช้ประกอบด้วยมูลช้าง ดินเหนียว และน้ำในอัตราส่วน 7:3:1 และได้รับการอัดด้วยแรงดัน 40 bar โดยใช้ระยะเวลาการรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 0-20 min ผลการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงที่ใช้ดินเหนียวมีความแข็งแรง ทนทาน ผิวเรียบเนียน และยังคงรูปได้ดี โดยเฉพาะเมื่อรับแรงอัดเป็นเวลา 5 min ซึ่งพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรมากกว่า 67% และยังคงรูปร่างได้ถึง 98% นอกจากนี้เชื้อเพลิงมีความหนาแน่นมากกว่า 1,000 kg/m^3 แม้ว่าค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิงที่ใช้ดินเหนียวอยู่ที่ 11 MJ/kg ซึ่งต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลังเล็กน้อย (12 MJ/kg) แต่สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบได้ถึง 63% ทำให้เหลือต้นทุนเพียงแท่งละ 0.33 บาท การใช้ดินเหนียวเป็นตัวประสานจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเชิงพาณิชย์ในอนาคต อย่างไรก็ตาม ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสมบัติทางเคมี เงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสม และผลกระทบของการย่อยสลายมูลช้างต่อคุณสมบัติทางความร้อน

คำสำคัญ: มูลช้าง ดินเหนียว แป้งมันสำปะหลัง เชื้อเพลิงเขียวอัดแท่ง ต้นทุนการผลิต

การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลจากกระจูด: การเพิ่มค่าความร้อนและความเร็วในการติดไฟด้วยกาวยางพารา

Development of Biomass Pellets from *Lepironia articulata*: Enhancing Heat Energy and Ignition Speed with Natural Rubber Adhesive

ซุลกีฟลี กะดอง ฮามีดะห์ แยนา มูฮัมหมัดซัมรี โต๊ะแวหะยี ลุตฟี สือนิ ต่วนสุไรดา ต่วนปูเตะ และ อาบีดีน ดะแซสาเมาะ*
Sulkiflee Kadong, Hameedah Yaena, Mohammadsamree Tohwaehayee, Lutfee Seuni, Tuansuraida Tuanputeh, and Abedeen Dasaesamoh*

คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ยะลา 95000
Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Muang District, Yala Province 95000
*Corresponding author: Tel.: 0896569681. E-mail address: abedeen.d@yru.ac.th

Abstract

In this study, the pellet fuel from *Lepironia articulatawas* prepared using natural rubber latex and cassava starch as binders. The pellet fuel was prepared with *Lepironia articulataand* binder ratios of 50:50, 60:40, and 70:30. The results showed that the briquettes using natural rubber latex had lower density compared to those using cassava starch. Regarding moisture content, the briquettes using natural rubber latex exhibited higher moisture than those using cassava starch, both of which exceeded the standard limit of 8%. The ignition time for the briquettes using natural rubber latex was significantly shorter compared to those using cassava starch, indicating a faster ignition capability with natural rubber latex. However, cassava starch demonstrated an advantage in prolonging the combustion duration. The heat energy value of the briquettes using natural rubber latex ranged from 23.169 to 23.186 MJ/kg, which is higher than that of the briquettes using cassava starch (17.743-17.777 MJ/kg) and also exceeds the standard requirement of not less than 16.5 MJ/kg. The use of natural rubber latex as a binder shows potential in producing pellet fuel with high heat energy, though improvements in density and moisture content are necessary to meet the standard requirements and ensure practical usability. The study concludes that natural rubber latex as a binder provides advantages in terms of faster ignition and higher heat energy values.

Keywords: Lepironia articulata, Fuel Pellets, Natural rubber

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกระจูดที่ใช้กาวยางพาราและแป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน โดยเตรียมเชื้อเพลิงอัดแท่งในอัตราส่วนกระจูดและตัวประสานเท่ากับ 50:50 60:40, และ 70:30 ผลการวิจัยพบว่าเชื้อเพลิงที่ใช้กาวยางพารามีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งทั้งสองค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด (ไม่เกิน 0.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) สำหรับค่าความชื้น เชื้อเพลิงที่ใช้กาวยางพารามีค่าความชื้นสูงกว่า เทียบกับแป้งมันสำปะหลัง ระยะเวลาติดไฟของเชื้อเพลิงที่ใช้กาวยางพาราเร็วกว่าอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งมันสำปะหลังซึ่งแสดงถึงความสามารถในการติดไฟที่รวดเร็วของกาวยางพารา แต่ตัวประสานแป้งมันสำปะหลังก็มีข้อได้เปรียบในด้านการยืดระยะเวลาการเผาไหม้ ค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้กาวยางพาราอยู่ในช่วง 23.169-23.186 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง (17.743-17.777 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) และสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด (ไม่น้อยกว่า 16.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) การใช้กาวยางพาราแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงที่มีค่าพลังงานความร้อนสูง แต่ยังต้องพิจารณาการปรับปรุงความหนาแน่นและความชื้นเพื่อให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณสมบัติตามมาตรฐานและเหมาะสมสำหรับการใช้งานจริง จากการวิจัยสรุปได้ว่า การใช้กาวยางพาราเป็นตัวประสานในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งมีข้อได้เปรียบทั้งในด้านความเร็วในการติดไฟและค่าพลังงานความร้อน

คำสำคัญ: กระจูด เชื้อเพลิงอัดแท่ง ยางพารา

ความสามารถเชิงความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร กรณีศึกษาเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์

Thermal Performance of Agricultural Waste Materials: A Case Study of Giant Tamarind Peels

สรวิศ สอนสารี[1*] และ ฐิติพร เจาะจง[2]

Sorawit Sonsaree[1*], and Titiporn Chorchong[2*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

[2] สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

[1]Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok 65000

[2]Physics, Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok 65000

Corresponding author: Tel.: 055-267104 E-mail address: sorawitsonsaree@psru.ac.th

Abstract

This research investigates the thermal properties of agricultural waste, specifically giant tamarind peel, using ASTM D 3286 standard testing and analysis methods. Results indicate that: (a) When processed into briquettes, giant tamarind peel exhibits a calorific value of 6,812.73 cal/g. Which fulfills the criteria suitable for use as fuel. (b) The moisture content, ash content, and volatile matter of giant tamarind peel comply with ASTM standards, suggesting its suitability for use as a fuel; and (c) A peel/seed: tapioca starch: water ratio of 1:0.05:0.5 was found to be the optimal composition for briquetting, as it allowed for both proper formation and shape retention. This demonstrates that communities involved in the production of giant tamarind extract can utilize the residues from this process to benefit the community.

Keywords: Thermal capacity, Giant tamarind, Biomass fuel

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถเชิงความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร กรณีศึกษาเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ โดยใช้วิธีการทดสอบและการวิเคราะห์ผลตามมาตรฐาน ASTM D 3286 ผลการศึกษาพบว่า (ก) สมบัติทางเชื้อเพลิงจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์เมื่อนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจะให้ค่าความร้อนเท่ากับ 6,812.73 cal/g ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะกับการนำมาทำเป็นเชื้อเพลิง (ข) ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณสารระเหย ของเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์มีผลการทดสอบอยู่ภายใต้มาตรฐานการทดสอบของ ASTM หรืออาจกล่าวได้ว่าสามารถนำเปลือกมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้งานได้ (ค) อัตราส่วนผสม เปลือก : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ เท่ากับ 1 : 0.05 : 0.5 เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการอัดแท่ง

เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปได้และคงรูปได้ดี ดังแสดงให้เห็นว่าชุมชน/วิสาหกิจชุมชนที่มีการแปรรูปผลผลิตจากมะขามเปรี้ยวยักษ์ สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งของมะขามเปรี้ยวยักษ์มาใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อชุมชนได้
คำสำคัญ: ความสามารถเชิงความร้อน มะขามเปรี้ยวยักษ์ เชื้อเพลิงชีวมวล

บทนำ

ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก เป็นหนึ่งในชุมชนที่ต้องการความช่วยเหลือทางด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เติมโตบนฐานการเกษตรเป็นพื้นที่ผลิตและแปรรูปสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศ และด้วยเหตุนี้เองมักเกิดปัญหาหมอกควันซึ่งเป็นสาเหตุมาจากการเผาป่าเพื่อทำเป็นพื้นที่เกษตร และรวมถึงการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีจำนวนมาก จากปัญหาดังกล่าวประกอบกับการต้องการลดรายจ่าย (ต้นทุน) ครัวเรือนโดยเฉพาะค่าใช้จ่ายในส่วนของก๊าซหุงต้มหรือก๊าซแอลพีจี (LPG) ดังนั้นการหาเชื้อเพลิงมาทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้มจึงเป็นทางเลือกใหม่ที่มีความสำคัญพอๆ กับการหาแนวทางในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำเอาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาแปรรูปเพื่อเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งทดแทนการใช้แก๊สหุงต้ม ยกตัวอย่างเช่น กะลามะพร้าวและไม้ไผ่ ผักตบชวาและเหลือกมังคุด กะลามะพร้าว เปลือกทุเรียนและกากกาแฟ ฝักราชพฤกษ์ [1] นอกจากนี้จากผลการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา วิริยะ แดงทน และคณะ 2556 [2] ศึกษาผลของแป้งมันสำปะหลังและความร้อนต่อคุณลักษณะและสมบัติของถ่านอัดแท่ง โดยศึกษาการอัดแท่งในเครื่องแบบเกลียว พบว่า แป้งมันสำปะหลังที่ผสมในผงถ่านแล้วนำไปอัดสามารถช่วยเพิ่มความร้อนระหว่างการอัดถ่านและเพิ่มความหนาแน่นได้ ส่งผลให้ถ่านที่ผ่านการอัดแท่งมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เมื่อผสมแป้งมันสำปะหลังและให้ความร้อนกับกระบอกถ่านอัดแท่งส่งผลให้ผิวถ่านเรียบเนียนเป็นมันวาวไม่แตกร้าว มีค่าความร้อนสูง 27 MJ/kg และความชื้นร้อยละ 10.9 โดยน้ำหนัก ในกรณีที่ไม่ผสมแป้งมันสำปะหลังและให้ความร้อน ถ่านที่ได้จะมีความชื้นต่ำสุดร้อยละ 8.9 โดยน้ำหนัก และค่าความร้อนสูงสุด 28.4 MJ/kg วงจันทร์ นุ่นคง และ กัญญารัตน์ เมฆแก้ว (2566) [3] ศึกษาการนำเปลือกมะพร้าวที่เป็นของเหลือทิ้งจากการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งและใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุประสาน พบว่า อัตราส่วนเปลือกมะพร้าวต่อแป้งมัน 55 : 50 เหมาะสมที่สุดเนื่องจากทำให้ลักษณะภายนอกของถ่านมีผิวเรียบ มีสีดำสนิท มีค่าเฉลี่ยความชื้นคิดเป็นร้อยละ 4 เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของประเทศไทย ความหนาแน่นเฉลี่ย 0.16 g/cm^3 ค่าเฉลี่ยดัชนีการแตกร่วน 0.79 จุฑาพล จำปาแถม และคณะฯ (2565) [4] ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมบัติถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่โดยการนำผงถ่านจากไม้ไผ่กับตัวประสาน (แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ) มาผสมในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (ผงถ่าน : แป้งมัน : น้ำ) จากนั้นนำส่วนผสมไปอัดเป็นแท่งโดยใช้เครื่องอัดถ่านแบบเกรียว ผลการศึกษาพบว่า ถ่านอัดแท่งอัตราส่วน 10.0 : 1.0 : 3.5 มีประสิทธิภาพการใช้งานมากที่สุด คือ ร้อยละ 32.26 พงศกร สุรินทร์ และคณะฯ (2564) [5] ศึกษาอัตราส่วนผสมการผลิตถ่านอัดแท่งและอุณหภูมิสูงสุดของถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง ส่วนผสมจะเป็นอัตราส่วนผสมการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้งร่วมกับผงถ่านแป้งมันสำปะหลังและน้ำ โดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปถ่านด้วยเครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวยและตากแห้งถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสม เศษหน่อไม้ : ผงถ่าน : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ คือ 300 : 2,500 : 500 : 2,500 สามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุด 70 °C ช่วงเวลาที่ให้ความร้อนสูงสุด 80 นาที คิดเป็นเวลารวมในการเผาไหม้ 135 นาที อามานี สามะ และคณะ (2560) [6] หาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตถ่านอัดแท่งจากผักตบชวาต่อกะลามะพร้าว โดยทดสอบหาค่าสมบัติทางกายภาพของถ่านอัดแท่งจากผักตบชวา ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างผักตบชวาต่อกะลามะพร้าว 50 : 50 โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยมีค่าความร้อน 5,659.45 cal/g

ค่าความหนาแน่น 0.701 g/cm^3 ค่าดัชนีการแตกร่วนร้อยละเท่ากับ 0.92 ค่าความชื้นร้อยละเท่ากับ 47 และค่าอัตราการเผาไหม้เท่ากับ 1.21 h ซึ่งสามารถนำถ่านอัดแท่งนี้ไปประยุกต์ในการประกอบการต่างๆ ที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิงได้

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา พบว่า มีการประยุกต์ใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งเพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ประกอบกับมีผลการศึกษาจำนวนมากที่ศึกษาอัตราส่วนผสมในการทำถ่านอัดแท่ง ทั้งนี้ก็เพื่อให้ได้ถ่านอัดแท่งที่มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในเชิงความร้อน อีกทั้งเมื่อเศษวัสดุเหลือทิ้งต่างชนิดกัน ก็ยิ่งมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาอัตราส่วนผสมเพื่อให้เกิดการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างสูงสุด สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถเชิงความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร กรณีศึกษาเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากในพื้นที่ ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก มีการปลูกมะขามเปรี้ยวยักษ์เป็นจำนวนมาก ประกอบกับมีการจัดตั้งวิสาหกิจชุมชนเพื่อแปรรูปผลผลิตของมะขามเปรี้ยวยักษ์ เช่น มะขามเปรี้ยวยักษ์แช่อิ่ม มะขามเปรี้ยวยักษ์แช่อิ่มอบแห้ง มะขามเปียก และ มะขามคลุกเกลือ เป็นต้น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยเฉพาะเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นหากสามารถเพิ่มมูลค่า สามารถนำเอาวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปดังกล่าวที่ปกติไม่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในภาพรวมของชุมชนได้ก็จะก่อให้เกิดการเพิ่มมูลค่าอย่างมหาศาล โดยในการศึกษาจะเป็นการศึกษาหาค่าความร้อน (Heating value) ความชื้น (Moisture) ปริมาณเถ้า (Ash) และปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ตามมาตรฐาน ASTM D 3286, ASTM D 3137, ASTM D 3174 และ ASTM D 3175 ตามลำดับ

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทดสอบความสามารถเชิงความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร กรณีศึกษาเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ โดยอุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัยสามารถแสดงได้ดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ประกอบไปด้วย

(1) เปลือกมะขาม (แสดงดังภาพที่ 1 (1)) เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจากการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของกลุ่มเกษตรกรมะขามเปรี้ยวยักษ์ ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก

(2) กาวแป้งเปียก สำหรับใช้เป็นตัวประสานในการทำถ่านอัดแท่ง

(3) ตะแกรงร่อนขนาด 140 μm (แสดงดังภาพที่ 1 (2)) ใช้สำหรับร่อนเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ที่ผ่านการบดก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปดำเนินการทดสอบตามกระบวนการต่างๆ

(4) เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง (แสดงดังภาพที่ 1 (3)) ใช้สำหรับการอัดแท่งถ่านเชื้อเพลิงที่ได้จากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์

(1) เปลือกมะขามฯ

(2) ตะแกรงร่อน

(3) เครื่องอัดแท่งเชื้อเพลิง

(4) เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

(5) ถ้วยครูซิเบิล

(6) เตาเผาอุณหภูมิสูง

(7) เครื่องชั่งดิจิตอล

(8) เครื่องดูดความชื้น

(9) เครื่องบด

ภาพที่ 1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(5) เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (แสดงดังภาพที่ 1 (4)) ใช้สำหรับตรวจวัดวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

(6) ตู้อบ ใช้สำหรับอบผลิตภัณฑ์ที่ต้องการนำไปทดสอบ

(7) ถ้วยครูซิเบิล (แสดงดังภาพที่ 1 (5)) ใช้ในการเผาสารต่างๆ ที่อุณหภูมิสูงและมักจะใช้ในการเผาตะกอน เนื่องจากเบ้าเคลือบสามารถูกเผาในอุณหภูมิสูงได้ประมาณ 1,200 °C

(8) เตาเผาอุณหภูมิสูง (แสดงดังภาพที่ 1 (6)) ใช้สำหรับการให้ความร้อน การเผา การเผาเถ้า

(9) เครื่องชั่งดิจิตอล (แสดงดังภาพที่ 1 (7)) ใช้วัดน้ำหนักของวัสดุทดสอบ

(10) เครื่องดูดความชื้น (แสดงดังภาพที่ 1 (8)) ใช้สำหรับเก็บรักษาวัสดุ อุปกรณ์ที่ไวต่อความชื้น เครื่องบด (แสดงดังภาพที่ 1 (9)) ใช้สำหรับบดวัสดุทางการเกษตร โดยในงานวิจัยนี้ใช้บดเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์

<u>วิธีการดำเนินงานวิจัย</u> โดยในการศึกษามีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

(1) เตรียมตัวอย่างเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ ในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ แบบไม่เผา และ แบบเผาเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์

(2) กรณี <u>“ไม่เผาเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์”</u> <u>*(จะทำให้ทราบว่าเชื้อเพลิงเขียวเหมาะกับการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนได้หรือไม่*</u>

- นำเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์บดให้ละเอียด

- นำมาทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ ประกอบไปด้วย ความร้อน ความชื้น เถ้า และ สารระเหย

(3) กรณี “เผาเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์”

- นำเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์มาเผาถ่านในถัง 200 ลิตร (แสดงดังภาพที่ 2) และ นำไปบดละเอียด
- นำมาทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ ประกอบไปด้วย ความร้อน ความชื้น เถ้า และ สารระเหย
- ถ่านที่บดละเอียดจะถูกนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง และจะถูกนำไปทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงของเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ ประกอบด้วย ความร้อน ความชื้น เถ้า และ สารระเหย

(4) วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ภาพที่ 2 การนำเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์มาเผาถ่านในถัง 200 ลิตร

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงได้แก่ ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหย สามารถแสดงผลการวิจัยได้ดังนี้

(1) ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหย ของเชื้อเพลิงจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ *(กรณีไม่เผา)* ตามมาตรฐาน ASTM น้ำหนักในการทดลอง 1 g พบว่า ค่าความร้อนมีค่าเท่ากับ 4,481.98 cal/g, ปริมาณความชื้น 0.18%, ปริมาณเถ้า 2.42% และ ปริมาณสารระเหย 97.84% (แสดงดังตารางที่ 1) *(จากผลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ (กรณีไม่เผา) จะไม่เหมาะกับการประยุกต์นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเมื่อเทียบตามมาตรฐาน ASTM D 3286 ที่จะต้องไม่น้อยกว่า 5,000 cal/s)*

ตารางที่ 1 ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหย ของเชื้อเพลิงจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์

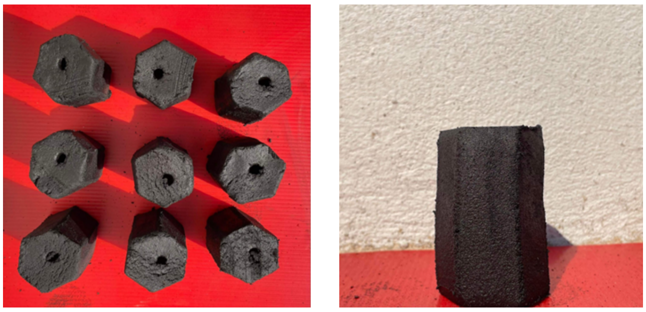
รายการ	มาตรฐานวิเคราะห์	หน่วย	ผลการทดสอบ
ค่าความร้อน (Heating value)	ASTM D 3286	cal/g	4,484.98
ปริมาณความชื้น (Moisture)	ASTM D 3173	%	0.18
ปริมาณเถ้า (Ash)	ASTM D 3174	%	2.42
ปริมาณสารระเหย (Volatile matter)	ASTM D 3175	%	97.84

(2) ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหย ของเชื้อเพลิงจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ *(กรณีเผา)* ตามมาตรฐาน ASTM น้ำหนักในการทดลอง 1 g พบว่า ค่าความร้อนมีค่าเท่ากับ 6,737.98 cal/g, ปริมาณความชื้น 0.14%, ปริมาณเถ้า 7.74% และ ปริมาณสารระเหย 83.90% (แสดงดังตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหย ของเชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์

รายการ	มาตรฐานวิเคราะห์	หน่วย	ผลการทดสอบ
ค่าความร้อน (Heating value)	ASTM D 3286	cal/g	6,737.98
ปริมาณความชื้น (Moisture)	ASTM D 3173	%	0.14
ปริมาณเถ้า (Ash)	ASTM D 3174	%	7.74
ปริมาณสารระเหย (Volatile matter)	ASTM D 3175	%	83.90

(3) ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหย ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ (แบบอัดแท่งเผา) ในการศึกษาจะผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ที่ใช้กาวแป้งเปียกเป็นตัวประสานอัดแท่งด้วยวิธีการอัดเย็น พบว่า อัตราส่วนผสม เปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ : แป้ง : น้ำ พบว่า ที่อัตราส่วน 1 : 1 : 1 และ 1 : 1 : 0.5 ไม่สามารถขึ้นรูปได้เนื่องจากอัตราส่วนผสมดังกล่าวมีกาวแป้งเปียกที่เยอะเกินไปจึงทำให้เครื่องอัดถ่านไม่สามารถผลิตถ่านได้ อัตราส่วนผสม 1 : 0.05 : 0.5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดแท่ง เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปได้และคงรูปได้ดี โดยลักษณะของเชื้อเพลิงของเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์อัดแท่งแสดงดังภาพที่ 3 นอกจากนี้ได้มีการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ตามมาตรฐาน ASTM น้ำหนักในการทดลอง 1 g พบว่า ค่าความร้อนมีค่าเท่ากับ 6,812.73 cal/g, ปริมาณความชื้น 0.05%, ปริมาณเถ้า 6.19% และ ปริมาณสารระเหย 84.33% (แสดงดังตารางที่ 3)



ภาพที่ 3 เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์

ตารางที่ 3 ค่าความร้อน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และ ปริมาณสารระเหย ของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์

รายการ	มาตรฐานวิเคราะห์	หน่วย	ผลการทดสอบ
ค่าความร้อน (Heating value)	ASTM D 3286	cal/g	6,812.73
ปริมาณความชื้น (Moisture)	ASTM D 3173	%	0.05
ปริมาณเถ้า (Ash)	ASTM D 3174	%	6.19
ปริมาณสารระเหย (Volatile matter)	ASTM D 3175	%	84.33

จากผลการศึกษาข้างต้นเมื่อนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน พบว่า (ก) เชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกมะขามมีค่าความร้อนสูงกว่าค่าความร้อนตามมาตรฐาน (ASTM D 3286 ต้องไม่น้อยกว่า 5,000 cal/s) คือ 6,812.73 cal/g (ข) ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกมะขามมีค่าความชื้นน้อยกว่าค่าความชื้นตามมาตฐาน (ASTM D 3173

ต้องไม่เกินร้อยละ 10) คือ 0.05% (ค) ปริมาณสารระเหยจะมีผลต่อค่าความร้อนโดยเชื้อเพลิงที่มีปริมาณสารระเหยสูงจะทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ได้สูง ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าปริมาณสารระเหยของเชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกมะขามมีค่าสูงเท่ากับ 84.33% และ (ง) ปริมาณเถ้าตามมาตรฐานซึ่งกำหนดปริมาณเถ้าไม่ควรสูงเกินกว่า 20% จากผลการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงถ่านจากเปลือกมะขามเปรี้ยวมีปริมาณเถ้าเท่ากับ 6.19% ดังแสดงให้เห็นว่าเปลือกมะขามสามารถที่จะนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่ง และนำมาใช้ประโยชน์ภายในชุมชนได้

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสามารถเชิงความร้อนของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร กรณีศึกษาเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ โดยผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ผลการศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงจากเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์ พบว่า เปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์เมื่อนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจะให้ค่าความร้อนเท่ากับ 6,812.73 cal/g

(2) เมื่อพิจารณา ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และปริมาณสารระเหย พบว่า เปลือกและเมล็ดมะขามเปรี้ยวยักษ์มีผลการทดสอบอยู่ภายใต้มาตรฐานการทดสอบหรืออาจกล่าวได้ว่าสามารถนำเปลือกมะขามเปรี้ยวยักษ์มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้งานได้

(3) อัตราส่วนผสม เปลือก/เมล็ด : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ เท่ากับ 1 : 0.05 : 0.5 เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการอัดแท่ง เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่สามารถขึ้นรูปได้และคงรูปได้ดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และ เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] โรสลีนา อนันตนุกูลวงศ์, รอดียะห์ เจ๊ะแม และ นุรมายามีน สาเร๊ะนุ, "การผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร," **วารสารวิทยาศาสตรีและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา**, Vol.4 No.1, หน้า 47-53, 2562.

[2] วิริยะ แดงทน, อารยันต์ วงษ์นิยม, กัณตภณ เปรมประยูร, วีรยุทธ จิ้เพชร และ สุกัญญา ทองโยธี, "ผลของแป้งและความร้อนต่อคุณลักษณ และสมบัติของถ่านอัดแท่ง," **วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์**, vol. 1, no. 2, หน้า 1-7, 2566.

[3] วงจันทร์ นุ่นคง และ กัญญารัตน์ เมฆแก้ว, "ถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าว," วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี, vol. 1, no. 1, หน้า 1-11, 2566.

[4] จุฑาพล จำปาแถม, ลำพูน เหลาราช, ภิตินันท์ อารยางค์กูร และ สุรสิงห์ อารยางกูร, "การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมและสมบัติถ่านอัดแท่งจากไม้ไผ่," **วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี**, vol. 3, no. 3, หน้า 81-93, 2565.

[5] พงศกร สุรินทร์, ชูเกียรติ ธรรมจินดา, ณรงค์ ค่อมคิรินทร์ และ อดิเรก เฉลียว, "การผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง: การผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง," **วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา**, vol. 5, no. 2, หน้า 13-20, 2564.

[6] อามานี สามะ นูรซีลา ละนุ๊ และ โรสลีนา จาราแว, "การพัฒนาถ่านอัดแท่งจากผักตบชวา." ราชภัฏวิชาการ 2560 : รายงานการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช, หน้า 187-196, 2560.

การผลิตไบโอเอทานอลจากไฮโดรไลเซทชานอ้อยผ่านการกำจัดสารยับยั้งด้วยถ่านกัมมันต์และการหมักด้วยยีสต์ *Pichia stipitis* TISTR5806

Bioethanol Production from Bagasse Hydrolysate Treated by Activated Carbon and Fermented using *Pichia stipitis* TISTR5806

เตชัส พรมตา[1] รจพรรณ นิรัญศิลป์[1] Rameshprabu Ramaraj[1] นิกราน หอมดวง[1] สุระพล ริยะนา[1]
อุกฤต สมัครสมาน[2] และ กิตติกร สาสุจิตต์[1*]
Techut Promta[1], Rotjapun Nirunsin[1], Rameshprabu Ramaraj[1], Nigran Homdoung[1], Surapon Riyana[1],
Ukrit Samaksaman[2], and Kittikorn Sasujit[1*]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2] ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000
[1]Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290
[2]Department of Natural Resource and Environmental, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000
Corresponding author: Tel.: 089-9988203. E-mail address: k.sasujit@yahoo.com

Abstract

The current global energy crisis has prompted the search for new energy sources to address the depletion of fossil fuels. Thailand has high potential for utilizing agricultural waste materials in ethanol production. However, to achieve high fermentation efficiency in ethanol production, contaminants such as furan and phenolic compounds, which inhibit microbial growth and reduce fermentation efficiency, must be removed. This research focused on the removal of these inhibitors from sugarcane bagasse hydrolysate through conditioning with activated carbon at concentrations of 1.0, 3.0, and 5.0 %w/v, conducted at a reaction temperature of 30°C for 60 minutes. The study found that at an activated carbon concentration of 5.0 %w/v, the removal rates for furan and phenolic compounds were 68.13% and 90.49%, respectively. Subsequent fermentation with *Pichia stipitis* TISTR5806 yielded the highest ethanol output, achieving 0.291 $g_{product}/g_{substrate}$ and an ethanol yield of 56.88% relative to the theoretical maximum. This was a significant improvement over the untreated hydrolysate, which resulted in an ethanol yield of 0.183 $g_{product}/g_{substrate}$ and a yield of 35.84%. Therefore, conditioning the hydrolysate to remove these inhibitors significantly enhances ethanol fermentation efficiency, leading to higher ethanol yields that can be applied in industrial ethanol production.

Keywords: Activated carbon, pretreatment, sugarcane bagasse, hydrolysate, bioethanol

บทคัดย่อ

จากวิกฤติการณ์ด้านพลังงานของโลกส่งผลทำให้ต้องหาพลังงานทางเลือกทดแทนการลดลงของเชื้อเพลิงฟอสซิล ขณะเดียวกันประเทศไทยถือว่ามีศักยภาพวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมากที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงเอทานอลได้ อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตเอทานอลเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการหมักสูงนั้นต้องกำจัดสิ่งเจือปนได้แก่สารประกอบฟูแรนและฟีนอล ซึ่งเป็นตัวการยับยั้งการเติบโตของจุลินทรีย์และส่งผลให้ประสิทธิภาพการหมักเอทานอลลดลง งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการกำจัดสารยับยั้งในไฮโดรไลเซทจากชานอ้อยโดยการปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 1.0, 3.0 และ 5.0 %w/v ที่อุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 30°C เป็นระยะเวลา 60 min ผลการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ 5.0 %w/v สามารถกำจัดสารประกอบฟูแรนและฟีนอลได้สูงสุดที่ 68.13 % และ 90.49% ตามลำดับ จากนั้นทำการหมักด้วย *Pichia stipitis* TISTR5806 ให้ผลผลิตเอทานอล และร้อยละผลผลิตเอทานอลเทียบกับทฤษฎีสูงสุดเป็น 0.291 $g_{product}/g_{substrate}$ และ 56.88 ตามลำดับ โดยให้ผลผลิตเอทานอลสูงกว่าไฮโดรไลเซทที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ ซึ่งให้ผลผลิตเอทานอล และร้อยละผลผลิตเอทานอลเทียบกับทฤษฎีเท่ากับ 0.183 $g_{product}/g_{substrate}$ และ 35.84 ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการผลิตไบโอเอทานอลโดยการปรับสภาพไฮโดรไลเซทพร้อมกับการกำจัดสารยับยั้งข้างต้นจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิการหมักเอทานอลและให้ร้อยละผลผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากชานอ้อยได้

คำสำคัญ: ถ่านกัมมันต์ การปรับสภาพ ชานอ้อย ไฮโดรไลเซท ไบโอเอทานอล

บทนำ

จากวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานของโลกในปัจจุบันส่งผลทำให้เกิดการขาดแคลนพลังงานสอดคล้องกับการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม และการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรทั่วโลกส่งผลให้เกิดความต้องการการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น ส่วนใหญ่การใช้พลังงานในปัจจุบันได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิลประกอบด้วย แก๊สธรรมชาติ น้ำมันเชื้อเพลิง และถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งแหล่งพลังงานฟอสซิลเหล่านี้ถือเป็นทรัพยากรที่มีจำกัดและมีแนวโน้มลดลงในอนาคตก่อให้เกิดการขาดแคลนพลังงานรวมไปถึงทำให้ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น นอกจากนี้ในการใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้ก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมและปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ด้วยเหตุนี้ประเทศไทยจึงได้จัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan, AEDP 2015) ขึ้นเพื่อส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนมากขึ้นและลดการใช้พลังงานจากฟอสซิล (กระทรวงพลังงาน) โดยเฉพาะพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวภาพถือเป็นพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจในปัจจุบัน เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีทรัพยากรธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ และเป็นแหล่งเกษตรกรรมของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ทำให้แต่ละปีประเทศไทยมีวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก เช่น มันสำปะหลัง ฟางข้าว ปาล์มน้ำมัน ข้าวโพด และอ้อย เป็นต้น โดยเฉพาะอ้อยมีศักยภาพในการเก็บเกี่ยวสูงสุดประมาณ 67.45 ล้านตันในช่วงปี 2566-2567 (คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย 2024) วัสดุเหล่านี้ถือเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนโดยเฉพาะไบโอเอทานอลถือเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากกระบวนการทางชีวภาพจากการหมักด้วยยีสต์ในสภาวะไร้ออกซิเจน ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลที่ได้จากการสลายตัวของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสไปเป็นเอทานอล ในปัจจุบันเอทานอลจะถูกนำมาผสมกับแก๊สโซลีนเพื่อให้ได้เป็นแก๊สโซฮออล์ เช่น E10 ประกอบด้วยแก๊สโซลีน 90% ต่อเอทานอล 10% และ E85 ประกอบด้วยอัตราส่วนในการผสมแก๊สโซลีน 15% ต่อเอทานอล 85% เป็นต้นเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาค

การขนส่ง เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมรวมทั้งเมื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์สูงกว่าเชื้อเพลิงอื่นๆ [1] ทางกระทรวงพลังงานจึงได้คาดการณ์การใช้เอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการขนส่ง และความต้องการการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลขึ้นในปี 2036 ประมาณ 11.30 ล้านลิตรต่อวัน (กระทรวงพลังงาน 2022) ในกระบวนการผลิตเอทานอลมักใช้วัตถุดิบประเภทแป้ง และน้ำตาล เช่นอ้อย และมันสำปะหลังเป็นต้น เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ให้น้ำตาลสูงในบางครั้งอาจทำให้เกิดการขาดแคลนวัตถุดิบเหล่านี้ และเกิดการแก่งแย่งอาหารจึงทำให้มีการมองหาวัตถุดิบอื่นๆเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำรองในการผลิตเอทานอลโดยเฉพาะวัสดุลิกโนเซลลูโลส ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัสดุลิกโนเซลลูโลสวัตถุดิบจะผ่านการปรับสภาพทั้งทางกายภาพและทางเคมีเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยา ลดความเป็นผลึกจากโครงสร้างเซลลูโลส และกำจัดลิกนินจากผนังเซลล์พืชหลังจากนั้นจะผ่านการไฮโดรไลซิสด้วยกรดเพื่อแตกสลายโครงสร้างพืชและได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวประกอบด้วย ไซโลส อะราบิโนส จากการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสในขณะที่กลูโคสได้จากการสลายตัวของเซลลูโลส [2] ทำให้ได้ไฮโดรไลเซทเกิดขึ้นซึ่งจะใช้เป็นแหล่งคาร์บอนในการหมัก นอกจากนี้ในกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดก่อให้เกิดสารกลุ่มหนึ่งซึ่งได้จากการสลายตัวของน้ำตาลดังกล่าว และโครงสร้างพืชประกอบด้วย สารประกอบฟูแรน ได้แก่ เฟอร์ฟูรัล และ 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล สารประกอบฟีนอล และกรดอ่อน สารเหล่านี้ก่อให้เกิดการยับยั้งเมทาบอลิซึมของยีสต์ในกระบวนการหมักเอทานอล [3] ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลลดลง เพื่อลดผลของสารยับยั้ง (Inhibitory compounds) เหล่านี้ในกระบวนการหมักและเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเอทานอลให้สูงขึ้นจึงได้มีกระบวนการกำจัดสารยับยั้ง (Detoxification) ในไฮโดรไลเซทเกิดขึ้นก่อนเข้าสู่การหมักประกอบด้วย การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การปรับสภาพเบสเกินด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ การสกัดด้วยตัวทำละลาย และการปรับสภาพโดยใช้การแลกเปลี่ยนด้วยไอออนเป็นต้น ซึ่งวิธีการที่มักนิยมใช้ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารยับยั้งสูงและใช้ต้นทุนต่ำคือ การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ซึ่งถือเป็นกระบวนการที่ถ่านกัมมันต์เข้าไปดูดซับสารยับยั้งในไฮโดรไลเซทส่งผลทำให้ปริมาณสารยับยั้งที่เป็นองค์ประกอบลดลงโดยจะส่งผลต่อการกำจัดสารประกอบฟีนอลได้ดีกว่าสารประกอบฟูแรน นอกจากนี้ผลของกระบวนการดังกล่าวส่งผลต่อการสูญเสียปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์น้อยกว่ากระบวนการอื่นๆ [4] จากงานวิจัยของ TH Nguyen et al. (2019) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเอทานอลจากสาหร่ายแดงด้วยวิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ปรับสภาพด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน และปรับสภาพเบสเกินด้วย $Ca(OH)_2$ โดยใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* พบว่าให้ผลิตเอทานอลเป็น 0.44, 0.41 และ 0.37 $g_{product}/g_{substrate}$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเอทานอล [5] และโดยทั่วไปในการหมักเอทานอลมักจะใช้จุลินทรีย์ในกลุ่มยีสต์ประกอบด้วย *Saccharomyces cerevisiae, Candida shehatae* และ *Pichia stipitis* [6] โดยเฉพาะ *Pichia stipitis* ถือเป็นจุลินทรีย์ที่น่าสนใจเนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถหมักได้ทั้งน้ำตาลในกลุ่มของคาร์บอน 5 และคาร์บอน 6 ซึ่งเป็นน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของลิกโนเซลลูโลส และสามารถผลิตเอทานอลได้ปริมาณสูงนอกจากนี้เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมเนื่องจากโครงสร้างของเซลล์ยีสต์มีความทนทานต่อสิ่งเจือปนและทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆได้ [7] งานวิจัยของ S Naseeruddin et al. (2021) แสดงให้เห็นว่า Pichia stipitis มีประสิทธิภาพในการหมักเอทานอลและให้ผลิตเอทานอลที่สูงโดยได้ทดลองหมักไฮโดรไลเซทจากกระถินหางกระรอกโดยใช้ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* (NCIM3455) เปรียบเทียบกับการหมักด้วย *Pichia stipitis* (NCIM3498) พบว่าให้ผลผลิตเอทานอลเป็น 0.429 และ 0.455 $g_{product}/g_{substrate}$ ตามลำดับ [8] เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้ใช้ชานอ้อยมาเป็นวัตถุดิบในการนำมาผลิตไบโอเอทานอล

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักเอทานอล และร้อยละผลผลิตเอทานอลให้สูงขึ้นผ่านกระบวนการกำจัดสารยับยั้งด้วยการปรับสภาพโดยใช้ถ่านกัมมันต์ก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักด้วยยีสต์ *Pichia stipitis* TISTR5806 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการหมักเอทานอลด้วยการปรับสภาพโดยใช้ถ่านกัมมันต์ และเปรียบเทียบร้อยละผลผลิตเอทานอลที่ผลิตได้ระหว่างไฮโดรไลเซทที่ผ่าน และไม่ผ่านการกำจัดสารยับยั้งในไฮโดรไลเซทจากชานอ้อย

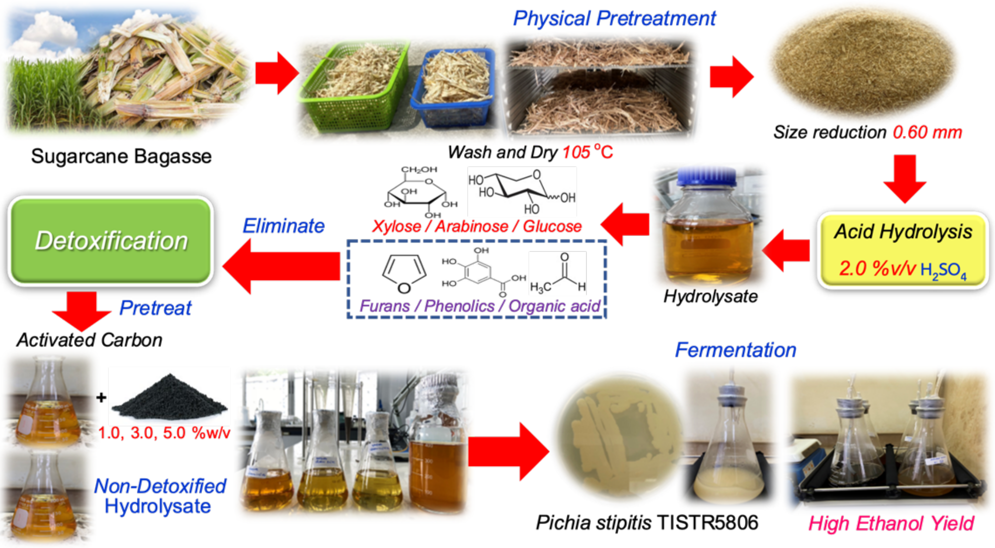
วิธีการวิจัย

การปรับสภาพวัตถุดิบและการกำจัดสารยับยั้ง

งานวิจัยนี้เลือกใช้ชานอ้อยและนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นพร้อมอบในตู้อบลมร้อนที่ 105°C เป็นเวลา 72 h จากนั้นนำมาบดโดยใช้เครื่องบดพร้อมคัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 mm จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟูริกเจือจาง 2.0 %v/v ที่อัตราส่วนของชานอ้อยต่อกรดเป็น 1 : 20 g/ml ทำปฏิกิริยาในหม้อนึ่งอัดความดันที่อุณหภูมิ 121°C ความดัน 15 psi เป็นเวลา 60 min กรองแยกกากชานอ้อยกับของเหลวด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ กระบวนการกำจัดสารยับยั้งไฮโดรไลเซทชานอ้อยจะถูกปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์ที่อัตราส่วนของถ่านกัมมันต์ต่อไฮโดรไลเซทที่ใช้เป็น 1.0, 3.0 และ 5.0 %w/v ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 60 min

การหมักไบโอเอทานอลและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

งานวิจัยนี้เลือกใช้จุลินทรีย์ *Pichia stiptis* TISTR5806 จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย โดยนำมาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว (YMP) ในปริมาตร 150 ml ประกอบด้วยยีสต์สกัด 3.0 g/l เปปโตน 5.0 g/l มอลต์สกัด 3.0 g/l และกลูโคส 10.0 g/l บ่มไว้ในเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 22 h ในการหมักเอทานอลไฮโดรไลเซทที่จะถูกปรับ pH 6.0 ก่อนทำการหมักจากนั้นนำยีสต์ *Pichia stiptis* TISTR5806 ใส่ลงในไฮโดรไลเซทที่ความเข้มข้นเชื้อเริ่มต้น 5.0 g/l หมักในปริมาตร 200 ml เขย่าควบคุมอุณหภูมิ 30 °C ความเร็วรอบในการเขย่า 120 rpm ทำการหมักเป็นเวลา 96 h เก็บตัวอย่างทุกๆ 12 h เพื่อวัดอัตราการเจริญของเชื้อ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และเอทานอล ดังแสดงในแผนผังการทดลองในงานวิจัยนี้ดังภาพที่ 1 ในส่วนของการวิเคราะห์จะใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Jenway 7200 VIS spectrophotometer (UK) ในช่วงความยาวคลื่น 335-800 nm ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณฟีนอลซัลฟูริก (Phenol sulfuric method) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะใช้วิธี Dinitrosalicylic (DNS) ที่ความยาวคลื่น 540 nm [9] ซึ่งในการวิเคราะห์สารยับยั้งที่เกิดขึ้นประกอบด้วยสารประกอบฟูแรนทั้งหมดโดยใช้กราฟมาตรฐานตามการทดลองของ Martinez et al. (2000) [10] และสารประกอบฟีนอลใช้วิธี Folin-Ciocalteu assay ใช้ความยาวคลื่น 760 nm [11] รวมถึงการวิเคราะห์เอทานอลใช้วิธี Dichromate และการเจริญของยีสต์จะใช้วิธี optical density (OD) ที่ความยาวคลื่น 585 และ 600 nm ตามลำดับ [12]



ภาพที่ 1 กรอบแผนผังการวิจัยในการกำจัดสารยับยั้งและการหมักไบโอเอทานอลจากไฮโดรไลเซทชานอ้อย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไฮโดรไลเซทชานอ้อย

จากกระบวนการไฮโดรไลซิสชานอ้อยด้วยกรดซัลฟูริก 2.0 %v/v ที่อุณหภูมิ 121 °C เป็นเวลา 60 min สำหรับการสลายโครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสเพื่อให้ได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวประกอบด้วย ไซโลส อะราบิโนส กลูโคส และฟรักโทส ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนในการหมักเอทานอล ซึ่งพบว่ามีสารประกอบอื่น ๆ ที่เป็นตัวยับยั้งการเจริญเติบโตของยีสต์ที่ใช้ในการหมักเอทานอลได้แก่ สารประกอบฟูแรน ฟีนอล และกลุ่มของกรดอินทรีย์ [13] ผลการวิเคราะห์งานวิจัยนี้ พบว่ามีน้ำตาลทั้งหมด 70.04 g/l น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 51.02 g/l และสารประกอบฟูแรนเท่ากับ 17.09 mg/l สารประกอบฟีนอลเท่ากับ 21.55 µg/l ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 1

ผลการกำจัดสารยับยั้งในไฮโดรไลเซทโดยใช้ถ่านกัมมันต์

ผลการกำจัดสารยับยั้งที่ปนเปื้อนในไฮโดรไลเซทจากชานอ้อยโดยใช้ถ่านกัมมันต์ พบว่าสามารถกำจัดสารประกอบฟูแรนได้ 0.23%, 30.66% และ 68.13% ในขณะที่สารประกอบฟีนอลสามารถถูกกำจัดได้ 25.17%, 66.46% และ 90.49% ที่ความเข้มข้นถ่านกัมมันต์เท่ากับ 1.0, 3.0 และ 5.0 %w/v ตามลำดับ ผลการศึกษายังพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ในการปรับสภาพไฮโดรไลเซทจะสามารถกำจัดสารยับยั้งได้สูงกว่า ขณะเดียวกันสามารถกำจัดสารประกอบของฟีนอลได้สูงกว่าสารประกอบฟูแรน สอดคล้องกับการศึกษาของ Germec and Turhan (2018) ที่ทำการไฮโดรไลซิสฟางข้าวด้วยกรดซัลฟูริกและไฮโดรไลเซทด้วยถ่านกัมมันต์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการไฮโดรไลซิสโดยใช้ถ่านกัมมันต์ 3.0%w/v ซึ่งสามารถกำจัดสารประกอบฟูแรนและฟีนอลได้เป็น 78.58% และ 94.67% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบฟีนอลได้ดีกว่า [1] ขณะเดียวกันการทดลองของ OL Yaya et al. (2023) ได้หาสภาวะที่เหมาสมของการกำจัดสารประกอบฟีนอลด้วยถ่านกัมมันต์จากไฮโดรไลเซทผลโกโก้ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดังกล่าวพบว่าสามารถกำจัดสารประกอบฟีนอลได้ 95.15 % ในขณะที่มีการลดลงของน้ำตาลรีดิวซ์ 28.88% [14] อย่างไรก็ตามในกระบวนปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์จะมีการสูญเสียน้ำตาลรีดิวซ์ไปในระหว่างปฏิกิริยาเนื่องจากขณะที่ไฮโดรไลเซททำปฏิกิริยากับถ่านกัมมันต์น้ำตาลรีดิวซ์ที่เป็นองค์ประกอบในไฮโดรไลเซทจะถูกดูดซับไปในขณะทำปฏิกิริยา ดังแสดงผลการศึกษาในตารางที่ 1

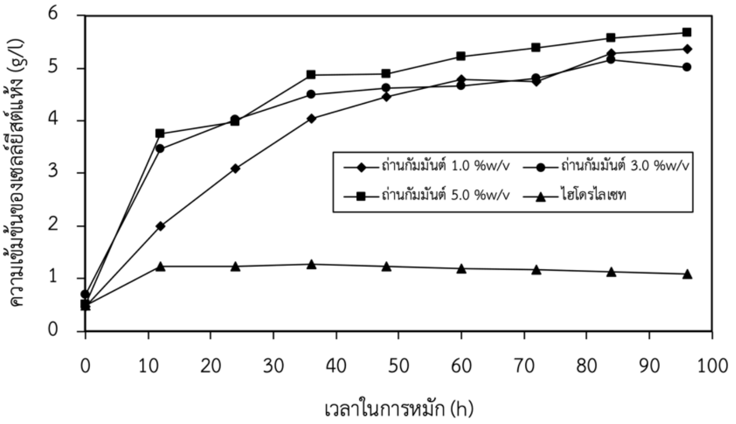
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของไฮโดรไลเซทชานอ้อยจากการปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี			
	น้ำตาลทั้งหมด (g/l)	น้ำตาลรีดิวซ์ (g/l)	สารประกอบฟูแรน (mg/l)	สารประกอบฟีนอล(µg/l)
ไฮโดรไลเซท	70.04	51.02	17.02	21.55
ถ่านกัมมันต์ 1.0 %w/v	67.8	46.67	16.98	16.13
ถ่านกัมมันต์ 3.0 %w/v	65.1	41.9	11.81	7.23
ถ่านกัมมันต์ 5.0 %w/v	57.83	39.59	5.42	2.05

ผลผลิตเอทานอลจากการหมักด้วย *Pichia stipitis* TISTR5806

ตารางที่ 2 แสดงผลการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ *Pichia stipitis* TISTR5806 จากไฮโดรไลเซทที่ไม่ผ่านการกำจัดสารยับยั้งและผ่านกระบวนการกำจัดสารยับยั้งในไฮโดรไลเซท ผลการศึกษาพบว่าอัตราการเจริญจำเพาะของยีสต์ในการหมักไฮโดรไลเซทที่ผ่านการกำจัดสารยับยั้งมีอัตราการเจริญจำเพาะสูงกว่าไฮโดรไลเซทที่ไม่ผ่านการกำจัดสารยับยั้งที่เงื่อนไขความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ 5.0 %w/v ซึ่งให้อัตราการเจริญจำเพาะสูงสุดเป็น 0.1678 h^{-1} ในขณะที่ไฮโดรไลเซท

ที่ไม่ผ่านการกำจัดสารยับยั้งมีอัตราการเจริญจำเพาะต่ำสุดเป็น 0.0766 h^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ 2 ที่พบว่าช่วงระยะเวลาการหมัก 12 h ยีสต์มีการเจริญเติบโตและแบ่งตัวอย่างรวดเร็วหลังจากนั้นเข้าสู่ช่วงที่มีการเจริญเติบโตแบบคงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลของสารยับยั้งในไฮโดรไลเซทที่ส่งผลต่อการเติบโตและเมทาบอลิซึมซึ่งทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนน้ำตาลรีดิวซ์เป็นเอทานอลลดลง นอกจากนั้นยังพบว่าการเพิ่มระดับความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสารยับยั้งในไฮโดรไลเซทเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของยีสต์ในขั้นตอนการหมักดีกว่าเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 2 ความเข้มข้นของเซลล์ยีสต์แห้งกับเวลาในการหมักเอทานอลจากไฮโดรไลเซทชานอ้อยด้วย *Pichia stipitis* TISTR5806

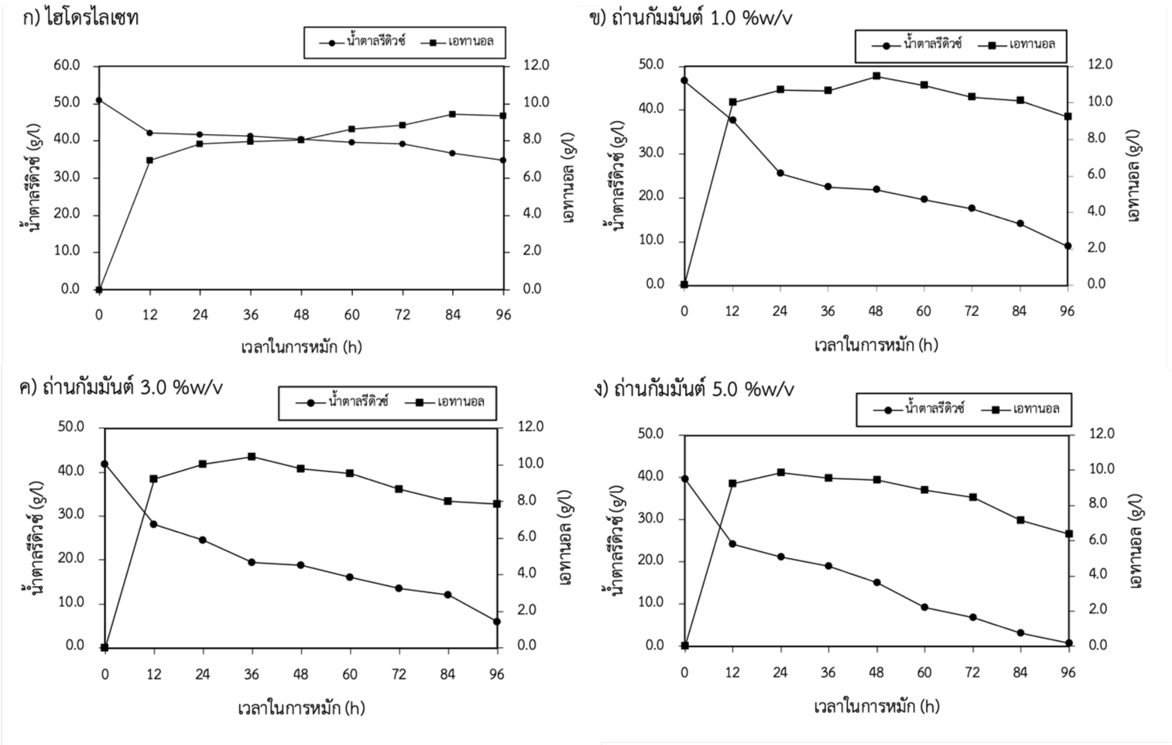
ภาพที่ 3 แสดงผลของปริมาณเอทานอลและน้ำตาลรีดิวซ์ที่ช่วงระยะเวลาการหมัก ที่ระดับความเข้มข้นของไฮโดรไลเซทที่ไม่ผ่านการกำจัดและผ่านกระบวนการกำจัดสารยับยั้งด้วยถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาการหมักไฮโดรไลเซทเพื่อการผลิตเอทานอลตลอดระยะเวลา 96 h ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลรีดิวซ์เพื่อผลิตเอทานอลผ่านกระบวนการเมทาบอลิซึมทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มลดลงขณะเดียวกันปริมาณเอทานอลมีค่าเพิ่มขึ้น ภาพที่ 3 (ก) แสดงผลการหมักไฮโดรไลเซทที่ไม่ผ่านการกำจัดสารยับยั้งพบว่าได้ปริมาณเอทานอลสูงสุดเท่ากับ 9.35 g/l คิดเป็นร้อยละผลผลิตเอทานอลเทียบกับทฤษฎีเป็น 35.84 สำหรับการหมักเอทานอลจากไฮโดรไลเซทที่ผ่านการกำจัดสารยับยั้งด้วยถ่านกัมมันต์แสดงให้เห็นว่าให้ร้อยละผลผลิตเอทานอลที่ดีกว่าแบบไม่ผ่านการกำจัดสารยับยั้งโดยให้ผลร้อยละผลผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ระยะเวลาการหมัก 36 h ให้ปริมาณเอทานอลสูงสุด 11.51 g/l ผลผลิตเอทานอลสูงสุดเป็น 0.2907 $g_{product}/g_{substrate}$คิดเป็นร้อยละผลผลิตเอทานอลเทียบกับทฤษฎีเป็น 56.88 ที่เงื่อนไขการกำจัดสารยับยั้งด้วยถ่านกัมมันต์ 5.0 %w/v ดังภาพที่ 3 (ง) ซึ่งสอดคล้องงานวิจัย Rosanna et al. (2011) ที่ได้ทำการไฮโดรไลซิสชูการ์เมเปิลด้วยกรดซัลฟูริกและทำการปรับสภาพไฮโดรไลเซทด้วยถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 5.0% w/v จากนั้นทำการหมักด้วย *Pichia stipitis* Y-7124 พบว่าสามารถกำจัดฟีนอลิกส์ได้ 70.0 % ปริมาณเอทานอล 6.5 g/l คิดเป็นผลผลิตเอทานอล 0.20 $g_{product}/g_{substrate}$ [15] ขณะเดียวกันการทดลองของ Prasad et al. (2018) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเอทานอลโดยใช้ฟางข้าวปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริก 2.0% v/v กำจัดสารยับยั้ยในไฮโดรไลเซทด้วยถ่านกัมมันต์ 5.0 %w/v และหมักด้วย *Pichia stipitis* NCIM 3498 พบว่าได้ปริมาณเอทานอลสูงสุด 5.29 %v/v ผลผลิตเอทานอลเป็น 0.44 $g_{product}/g_{substrate}$ คิดเป็นร้อยละผลผลิตเอทานอลเทียบกับทฤษฎีเป็น 87.90 [16] เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kamal et al. (2011) ที่ทำการศึกษาเปรียบการหมักเอทานอลโดยใช้ไฮโดรไลเซทต้นสาคูด้วยยีสต์ *Candida tropicalis* ปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 1.0% และ 2.5% w/v ทำปฏิกิริยาที่สภาวะเดียวกันที่อุณหภูมิห้องและเวลา 60 min พบว่าได้ผลผลิตเอทานอลเป็น 0.780 $g_{product}/g_{substrate}$ และ 0.683 $g_{product}/g_{substrate}$ และอัตราการเจริญจำเพาะของยีสต์เป็น 0.027 h^{-1} และ 0.021 h^{-1} ตามลำดับ [17] จากการหมักไบโอเอทานอลจากไฮโดรไลเซทชานอ้อยหลังจากยีสต์ผลิตเอ

ทานอลได้สูงสุดปริมาณเอทานอลจะค่อยๆลดลงเนื่องจากน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นแหล่งคาร์บอนในการหมักถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและไม่เพียงพอต่อกระบวนการเมทาบอลิซึมของยีสต์ในช่วงท้ายของการหมัก ขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ในการปรับสภาพสูงขึ้นจะทำให้ผลผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันเนื่องจากที่ความสามารถในการดูดซับสารยับยั้งของถ่านกัมมันต์ที่มากขึ้น

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการกำจัดสารยับยั้งที่ได้จากกระบวนการปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์ส่งผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของ *Pichia stipitis* TISTR5806 ที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลทั้งหมดเป็นเอทานอลได้อย่างมีประสิทธิภาพให้ร้อยละผลผลิตเอทานอลที่ได้สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรไลเซทที่ยังไม่ผ่านการกำจัดสารยับยั้ง

ตารางที่ 2 การหมักเอทานอลจากไฮโดรไลเซทชานอ้อยด้วยยีสต์ *Pichia stipitis* TISTR5806

รายละเอียด	ไฮโดรไลเซท	ไฮโดรไลเซทที่ปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์		
		1.0 %w/v	3.0 %w/v	5.0 %w/v
อัตราการเจริญจำเพาะ (h^{-1})	0.0766	0.1194	0.1328	0.1678
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้น (g/l)	51.03	46.67	41.9	39.59
ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เหลือ (g/l)	34.91	8.81	5.9	0.77
อัตราการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ (%)	31.6	81.13	85.93	98.06
เอทานอล (g/l)	9.35	10.22	10.95	11.51
ผลผลิตเอทานอล ($g_{product}/g_{substrate}$)	0.1832	0.219	0.2614	0.2907
ร้อยละผลผลิตเอทานอลเทียบกับทฤษฎี (%)	35.84	42.85	51.14	56.88
เวลาที่ผลิตเอทานอลสูงสุด (h)	96	48	36	36
อัตราการผลิตเอทานอล (g/l/h)	0.0974	0.2129	0.3242	0.3197



ภาพที่ 3 ปริมาณเอทานอลและน้ำตาลรีดิวซ์ที่ช่วงระยะเวลาการหมักเอทานอลด้วย *Pichia stipitis* TISTR5806

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเอทานอลจากชานอ้อยด้วย *Pichia stipitis* TISTR58036 ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟูริก 2.0%v/v และผ่านการปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์พบว่าในการปรับสภาพไฮโดรไลเซทชานอ้อยด้วยถ่านกัมมันต์ 5.0%w/v สามารถกำจัดสารประกอบฟูแรนและฟีนอลได้สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรไลเซทที่ไม่ผ่านการปรับสภาพเป็น 68.13% และ 90.49% ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการปรับสภาพด้วยถ่านกัมมันต์จะสามารถกำจัดสารประกอบฟีนอลได้มากกว่าฟูแรนในขณะเดียวกันที่เงื่อนไขนี้ให้ผลผลิตเอทานอลสูงสุดในขณะที่ไฮโดรไลเซทที่ไม่ผ่านการปรับสภาพแสดงผลผลิตเอทานอลต่ำสุดเป็น 0.291 และ 0.183 $g_{product}/g_{substrate}$ ตามลำดับ ขณะเดียวกันการเพิ่มความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ในกระบวนการกำจัดสารยับยั้งจะส่งผลให้เพิ่มร้อยละผลผลิตเอทานอลให้สูงขึ้นได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามการศึกษาต่อไปนั้นต้องคำนึงถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการหมักเอทานอลซึ่งมีปัจจัยอื่น ๆ ประกอบด้วยได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาการปรับสภาพวัตถุดิบ หรือกระบวนการปรับสภาพวัตถุดิบอื่นๆ รวมไปถึงวิธีการกำจัดสารยับยั้งด้วยกระบวนการอื่นๆ ก็จะส่งผลต่อปริมาณเอทานอลที่ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่สนับสนุน *Pichia stipitis* TISTR5806 และกองกายภาพและสิ่งแวดล้อมที่สนับสนุนห้องปฏิบัติในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] M. Germec and I. Turhan, "Ethanol production from acid-pretreated and detoxified rice straw as sole renewable resource," *Biomass Conversion and Biorefinery,* vol. 8, pp. 607-619, 2018.

[2] L. J. Jönsson, B. Alriksson, and N.-O. Nilvebrant, "Bioconversion of lignocellulose: inhibitors and detoxification," *Biotechnology for biofuels,* vol. 6, pp. 1-10, 2013.

[3] A. K. Chandel, S. S. da Silva, and O. V. Singh, "Detoxification of lignocellulosic hydrolysates for improved bioethanol production," *Biofuel production-recent developments and prospects,* vol. 10, p. 225, 2011.

[4] L. Canilha *et al.*, "Bioconversion of sugarcane biomass into ethanol: an overview about composition, pretreatment methods, detoxification of hydrolysates, enzymatic saccharification, and ethanol fermentation," *BioMed Research International,* vol. 2012, no. 1, p. 989572, 2012.

[5] T. H. Nguyen, I. Y. Sunwoo, G.-T. Jeong, and S.-K. Kim, "Detoxification of hydrolysates of the red seaweed Gelidium amansii for improved bioethanol production," *Applied biochemistry and biotechnology,* vol. 188, pp. 977-990, 2019.

[6] A. K. de Souza Abud, A. d. S. da Silva, and A. M. de Oliveira Junior, "Effect of inhibitors on ethanol production by Pichia stipitis in a complex culture media," *Acta Scientiarum. Technology,* vol. 39, no. 2, pp. 223-229, 2017.

[7] F. K. Agbogbo and G. Coward-Kelly, "Cellulosic ethanol production using the naturally occurring xylose-fermenting yeast, Pichia stipitis," *Biotechnology letters,* vol. 30, pp. 1515-1524, 2008.

[8] S. Naseeruddin, S. Desai, and L. V. Rao, "Co-culture of Saccharomyces cerevisiae (VS3) and Pichia stipitis (NCIM 3498) for bioethanol production using concentrated Prosopis juliflora acid hydrolysate," *bioRxiv,* p. 601278, 2019.

[9] S. S. Nielsen, "Phenol-sulfuric acid method for total carbohydrates," *Food analysis laboratory manual,* pp. 47-53, 2010.

[10] A. Martinez, M. E. Rodriguez, S. W. York, J. F. Preston, and L. O. Ingram, "Use of UV absorbance to monitor furans in dilute acid hydrolysates of biomass," *Biotechnology progress,* vol. 16, no. 4, pp. 637-641, 2000.

[11] J. C. Sánchez-Rangel, J. Benavides, J. B. Heredia, L. Cisneros-Zevallos, and D. A. Jacobo-Velázquez, "The Folin–Ciocalteu assay revisited: improvement of its specificity for total phenolic content determination," *Analytical methods,* vol. 5, no. 21, pp. 5990-5999, 2013.

[12] H.-B. Seo, H.-J. Kim, O.-K. Lee, J.-H. Ha, H.-Y. Lee, and K.-H. Jung, "Measurement of ethanol concentration using solvent extraction and dichromate oxidation and its application to bioethanol production process," *Journal of industrial Microbiology and Biotechnology,* vol. 36, no. 2, pp. 285-292, 2009.

[13] C. Cardona, J. Quintero, and I. Paz, "Production of bioethanol from sugarcane bagasse: status and perspectives," *Bioresource technology,* vol. 101, no. 13, pp. 4754-4766, 2010.

[14] O. L. Yaya *et al.*, "Multi-response and multi-criteria optimization of acid hydrolyzate detoxification of cocoa pod husks: Effect on the content of phenolic compounds and fermentable sugars," *Heliyon,* vol. 9, no. 4, 2023.

[15] R. M. Stoutenburg, J. A. Perrotta, and J. P. Nakas, "Overcoming inhibitors in a hemicellulosic hydrolysate: improving fermentability by feedstock detoxification and adaptation of Pichia stipitis," *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology,* vol. 38, no. 12, pp. 1939-1945, 2011.

[16] S. Prasad, M. K. Malav, S. Kumar, A. Singh, D. Pant, and S. Radhakrishnan, "Enhancement of bio-ethanol production potential of wheat straw by reducing furfural and 5-hydroxymethylfurfural (HMF)," *Bioresource Technology Reports,* vol. 4, pp. 50-56, 2018.

[17] S. M. M. Kamal, N. L. Mohamad, A. G. L. Abdullah, and N. Abdullah, "Detoxification of sago trunk hydrolysate using activated charcoal for xylitol production," *Procedia Food Science,* vol. 1, pp. 908-913, 2011.

การประเมินความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม

Economic Feasibility Assessment of Pellet Fuel Production From Wastewater Sludge in Palm Oil Industry

สุกฤษ มณีรัตน์[1] ปรางทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ[2] และ ชานนท์ บุญมีพิพิธ[1*]
Sukrit Maneerat[1], Prangtip Rittichote Kaewpengkrow[2], and Chanon Bunmephiphit[1*]

[1]การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170
[2]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
[1]Energy and Environmental, Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhonpathom 73170, Thailand
[2]Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Ladkrabang 10520, Thailand
*Corresponding author: Tel.: 0847772994. E-mail address: Chanon.bun@rmutr.ac.th

Abstract

Palm oil production in industrial plants, which has two types of oil extraction processes: separate oil presses and mixed oil presses. In addition to the products, waste or industrial residues from the production process include crude palm oil, palm kernel oil, empty bunches, fiber, shells, wastewater and cake decenter. All of the wastes can be utilized (Zero Waste). They can be developed into fuels that can be heated further by various processes, especially wastewater or the liquid part, which is the decanter wastewater from palm oil extraction plants in the final oil production process. The wastewater is dark brown, has a high organic content, has a low PH value (4.5), and is an emulsion that causes the problem of solids not settling, resulting in the loss of oil in these solid deposits. Therefore,

This research aims to produce pellet fuel from wastewater sludge in the palm oil production industry for the production of pellet fuel to assess the economic suitability of producing pellet fuel from wastewater sludge in the palm oil production industry. The economic suitability was considered, consisting of Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit-Cost Ratio (B/C) and Payback Period. The research results found that the economic suitability can be considered from the reduction of sludge disposal costs of 47,605.21 baht (based on the historical costs of the case study plant), which will result in a production cost of 1.00 baht/ton and can be sold at a price of 3.00 baht/ton, with a total benefit of 144.64% , making it highly economically worthwhile. This study shows that sewage sludge can be used to produce pelletized biomass.

Keywords: Biomass, Pellet, Sludge, Wastewater, Economic

บทคัดย่อ

การผลิตน้ำมันปาล์มในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีกระบวนการสกัดน้ำมัน 2 แบบ คือ หีบน้ำมันแยกและแบบหีบน้ำมันผสม นอกจากผลผลิตที่ได้แล้วนั้นของเสียหรือกากอุตสาหกรรมที่เกิดจากกระบวนการผลิต ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) น้ำมันในปาล์ม (Palm kernel Oil) ทะลายปาล์มเปล่า (Empty Bunch) เส้นใย (Fiber) กะลา (Shell) น้ำเสียและกากตะกอนน้ำมัน (Cake Decenter) ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด (Zero Waste) สามารถนำไปพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถให้ความร้อนต่อไปด้วยกระบวนการต่างๆ โดยเฉพาะน้ำเสียหรือส่วนที่เป็นของเหลวคือ น้ำทิ้งดีแคนเตอร์จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มออกจากกระบวนการผลิตน้ำมันในขั้นตอนสุดท้าย น้ำทิ้งจะสีน้ำตาลเข้ม ปริมาณสารอินทรีย์สูง มีค่า PH ต่ำ (4.5) ลักษณะเป็นอิมัลชันที่ทำให้เกิดปัญหาของแข็งไม่ตกตะกอน ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันที่อยู่ในตะกอนแข็งเหล่านี้ ดังนั้น

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อประเมินความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม ได้พิจารณาความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio, B/C) และระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) ผลการวิจัยพบว่าความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จึงพิจารณาได้จากการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอน 47,605.21 บาท (ซึ่งอ้างอิงจากค่าใช้จ่ายในอดีตของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา) จะมีต้นทุนการผลิต 1.00 บาท/ตัน และจะสามารถจำหน่ายได้ที่ราคา 3.00 บาท/ตัน และผลประโยชน์รวมเป็น 144.64% จึงมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นอย่างยิ่ง จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่ากากตะกอนน้ำเสียสามารถนำมาผลิตเป็นชีวมวลอัดเม็ดได้

คำสำคัญ: ชีวมวล อัดแท่ง ตะกอน น้ำเสีย เศรษฐศาสตร์

บทนำ

ในปี 2565 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มเพิ่มขึ้นสูงถึง 1.8 ล้านไร่ จากปี 2555 เป็นผลจากความต้องการน้ำมันปาล์มที่ผลิตเพื่อจำหน่ายทั้งภายในประเทศและเพื่อการส่งออก ซึ่งเป็นผลจากสถานการณ์วิกฤตทางด้านพลังงาน ปัญหาการเมืองและสงครามที่เกิดขึ้นอยู่ในปัจจุบัน ปัจจุบันประเทศไทยมีกลุ่มอุตสาหกรรมผู้ผลิตน้ำมันปาล์มโดยใช้ปาล์มดิบภายในประเทศจำนวน 131 แห่ง มีกำลังการผลิตรวมประมาณ 5.6 ล้านตันต่อปี จึงส่งผลต่อแนวโน้มต่อการขยายการลงทุนเพื่อปลูกปาล์มส่งเข้าโรงงาน [1]

หลังจากการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมัน จะมีการขนส่งผลผลิตเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรมที่สกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีกระบวนการสกัดน้ำมัน 2 แบบ คือ แบบมาตรฐาน (หีบน้ำมันแยก) และแบบหีบน้ำมันผสม โดยโรงงานอุตสาหกรรมที่สกัดน้ำมันแบบมาตรฐาน เป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตสูง ประมาณ 30-80 ตันต่อชั่วโมง และน้ำมันที่ได้เป็นน้ำมันคุณภาพระดับเอ ผลที่ได้ทางอ้อมและของเสียหรือกากอุตสาหกรรมที่เกิดจากกระบวนการผลิต ได้แก่ น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) น้ำมันในปาล์ม (Palm kernel Oil) ทะลายปาล์มเปล่า (Empty Bunch) เส้นใย (Fiber) กะลา (Shell) น้ำเสียและกากตะกอนน้ำมัน (Cake Decenter) [2] ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด (Zero Waste) เช่น ทะลายปาล์มเปล่า เส้นใย กะลา สามารถนำไปพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถให้ความร้อนต่อไปด้วยกระบวนการต่างๆ เช่น การตากแห้ง การผลิตถ่านหรือกระทั่งการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด โดยเฉพาะน้ำเสียหรือส่วนที่เป็นของเหลว คือ น้ำทิ้งดีแคนเตอร์จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐานหรือแบบเปียก ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้น้ำในการสกัดและเป็นเหตุให้มีน้ำ

เสียเกิดขึ้นจากกระบวนการในการผลิต ได้แก่ น้ำนึ่งปาล์ม น้ำทิ้งจากเครื่องแคนเตอร์และเครื่องกำจัดน้ำออกจากน้ำมันในขั้นตอนสุดท้าย น้ำทิ้งจะสีน้ำตาลเข้ม ปริมาณสารอินทรีย์สูง มีค่า PH ต่ำ (4.5) ลักษณะเป็นอิมัลชันที่ทำให้เกิดปัญหาของแข็งไม่ตกตะกอน ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันที่อยู่ในตะกอนแข็งเหล่านี้ [3]

ทั้งนี้ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีการนำกากตะกอนจากของเสียมาแปรรูปเป็นพลังงานเชื้อเพลิงในหลายรูปแบบ เช่น การศึกษาของกิตติมา มหาพราหมณ์และคณะ (กิตติมา มหาพราหมณ์และคณะ, 2012) ได้ทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากตะกอนของเสียของโรงงานผลิตนม ในอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างกากตะกอนของเสียผสมเปลือกกล้วยน้ำว้า พบว่ากากตะกอนของเสียผสมเปลือกกล้วยน้ำว้าที่อัตราส่วน 25 : 75 มีค่าความชื้นร้อยละ 9.7 ปริมาณเถ้าร้อยละ 15.8 ปริมาณสารระเหยร้อยละ 61.8 ปริมาณคาร์บอนคงตัวร้อยละ 9.7 และค่าความร้อนเฉลี่ย 4,195 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนได้ การศึกษาของ Longbo Jiang และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีต่อคุณสมบัติของเม็ดเชื้อเพลิงระหว่างกากตะกอนน้ำเสียและชีวมวล ผลการศึกษาพบว่ามีความหนาแน่นของเม็ดเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้นโดยจะแปรผันตามอัตราส่วนการผสมกากตะกอน ความดันและอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป โดยมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงคือร้อยละ 10–15 และการเพิ่มอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียในเม็ดเชื้อเพลิงและทำให้ความหนาแน่นและความทนทานเพิ่มขึ้นแต่จะส่งผลให้มีความชื้นและปริมาณสารระเหยมากขึ้นจนทำให้การระเหยเกิดขึ้นช้าลง และการศึกษาของ Hui Li และคณะ [4] (อังศุมน สังขพันธ์, 2560) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการอัดเม็ดเชื้อเพลิงจากการนำชีวมวลและกากตะกอนน้ำเสียมาอัดขึ้นรูป พบว่าการอัดขึ้นรูปเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียและชีวมวลที่ความดันในการอัด 55 MPa อุณหภูมิการขึ้นรูป 90 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของน้ำร้อยละ 10–15 ขึ้นรูปง่ายและมีความทนทานเหมาะสมสำหรับการอัดเม็ดเชื้อเพลิงผสมมากที่สุด Ersel Yilmaz และคณะ [5] ได้ผลิตเม็ดเชื้อเพลิงผสมจากกากตะกอนน้ำเสียและของเสียทางการเกษตร จากเศษซากสัตว์และผลมะกอก พบว่าเม็ดเชื้อเพลิงผสมจากกากตะกอนน้ำเสียและของเสียทางการเกษตรสามารถนำไปใช้ได้แต่จะให้ผลดียิ่งขึ้นเมื่อนำไปใช้ร่วมกับถ่านหิน และเนื่องจากเม็ดเชื้อเพลิงผสมอยู่ในลักษณะที่ง่ายต่อการขนส่งและเก็บรักษา จึงเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในกระบวนการทางความร้อน อีกทั้งการศึกษาของ กฤติเดช ดวงใจบุญและคณะ [6] ได้นำกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมแปรรูปปลาทูน่ากระป๋องนำมาผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิง โดยสมบัติทางกายภาพ ค่าความร้อน ต้นทุนการผลิต รวมถึงความคุ้มค่าจากการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียทดแทนการใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินมีสมบัติที่เหมาะสม สามารถใช้ทดแทนถ่านหินเนื่องจากมีองค์ประกอบของคาร์บอนค่อนข้างสูงและไม่มีกำมะถันเจือปน รวมทั้งมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงอยู่ในเกณฑ์ที่ดีคือ 12.56 MJ/kg

ดังนั้น ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงมีเป้าหมายเพื่อผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มต่อการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดเพื่อประเมินความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสียในอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม ได้พิจารณาความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio, B/C) และระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period)

วิธีการวิจัย

การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดใช้กากตะกอนน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์ม กรณีศึกษาตัวอย่างกากตะกอนจาก บริษัท เอเจ ปาล์มออย จำกัด จังหวัดชุมพร ภาพที่ 1 ด้วยเทคนิคการอัดเย็นด้วยเครื่องอัดเม็ดแบบหัวอัดแนวราบ (Flat Die) ภาพที่ 2 (ก.-ค.) มีคุณสมบัติต่อการเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ด้วย การวิเคราะห์สมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis) ประกอบไปด้วย ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon มาตรฐาน ASTM E 872) ความชื้น (Moisture มาตรฐาน ASTM E 871) ปริมาณเถ้า (Ash มาตรฐาน ASTM D1102) ปริมาณสารระเหย (Volatile Mater มาตรฐาน ASTM E 872) การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Ultimate Analysis) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบนี้จะ

เป็นการเป็นการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียได้แก่ธาตุคาร์บอน (Carbon: C) ธาตุไฮโดรเจน (Hydrogen: H) ธาตุไนโตรเจน (Nitrogen: N) ธาตุกำมะถัน (Sulfur: S) โดยใช้เครื่อง Elemental Analyzer (CHNS Analyzer) การวิเคราะห์ทดสอบสารอินทรีย์ด้วยเทคนิค FT-IR การวิเคราะห์เชิงความร้อน TG/DTA ทดสอบคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงของกากตะกอนน้ำเสียโดยหลักการวัดปริมาณควาร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดเม็ดประกอบด้วย เปอร์เซ็นต์ผลผลิตค่าความหนาแน่นรวม ค่าความคงทน ค่าความต้านทานน้ำและอัตราการใช้พลังงานของการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด ทดสอบคุณสมบัติทางด้านการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้แก่ เวลาในการจุดติดไฟและระยะเวลาในการเผาไหม้ในสัดส่วนการผสมที่แตกต่างกันตามตารางที่ 1 เพื่อประเมินความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตเพื่อใช้งานเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากกากตะกอนน้ำเสีย ประกอบด้วย มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio, B/C) และระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period)

ภาพที่ 1 ทะลายปาล์มที่ใช้ผลิตน้ำมันปาล์ม

ก.

ข.

ค.

ภาพที่ 2 ก. ลักษณะกากตะกอนจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม ข. กากตะกอนกรณีศึกษาที่ทำให้แห้งด้วยการตาก และ ค. กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ด

ตารางที่ 1 แสดงสัดส่วนระหว่างกากตะกอนน้ำเสียต่อกากตะกอนน้ำมัน (ดีเคนเตอร์) (%)

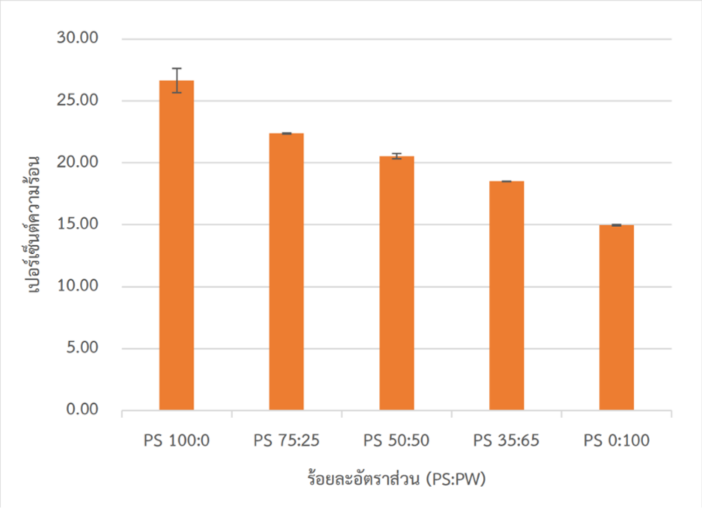
อัตราส่วน	กากตะกอนน้ำเสีย	กากตะกอนน้ำมัน(ดีเคนเตอร์)
1	0%	100%
2	25%	75%
3	50%	50%
4	75%	25%
5	100%	0%

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนโดยใช้เครื่อง Automatic Bomb Calorimeter รุ่น Leco model AC – 500 ผลการวิเคราะหาค่าความร้อน แสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 3 การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดเม็ดอัตราส่วนสัดส่วนที่ต่างกันจะส่งผลต่อคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน (PS:PW) 75:25, 50:50 และ 35:65 มีค่าความร้อนเรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนโดย Automatic Bomb Calorimeter รุ่น Lecomodel AC–500

ตัวอย่าง	**ค่าความร้อน (MJ/kg)**		**ค่าเฉลี่ย**	SD
	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2		
PS raw	26.3416	25.2277	25.78	0.7876
PW raw	14.1599	14.0687	14.11	0.0645
PS:PW 100:0	27.3395	26.6486	26.65	0.4885
PS:PW 75:25	22.4062	22.3742	22.37	0.0226
PS:PW 50:50	20.4019	20.695	20.55	0.2076
PS:PW 35:65	18.4972	18.5203	18.51	0.0163
PS:PW 0:100	15.0003	14.9293	14.97	0.0502



ภาพที่ 3 ค่าความร้อนของชีวมวล

การวิเคราะห์ด้านการเงินและการลงทุนของโครงการ กระทำได้โดยได้ทาการวิเคราะห์หาผลตอบแทนด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์ เพื่อทาการเปรียบเทียบผลประโยชน์ที่เกิดจากการลงทุนกับต้นทุนของเงินทุนที่นาไปใช้ในการก่อสร้าง การศึกษาและประเมินผลตอบแทนทางการเงินและการลงทุน มีพารามิเตอร์หลักที่นิยมใช้ในกาประเมินความเหมาะสมของโครงการด้านการลงทุนดังนี้

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) คือ มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนสุทธิหรือกระแสเงินสดของโครงการซึ่งสามารถคานวณได้ด้วยการทาส่วนลดการแสดงผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุโครงการให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน ในการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถคานวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{Benefit-Cost}{(1+i)^t} \qquad (1)$$

ระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period) คือระยะเวลาที่รายได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสามารถนาไปชาระเงินที่ใช้ลงทุนในการพัฒนาโครงการได้ครบถ้วน โดยส่วนใหญ่ใช้นับเป็นจานวนปี โครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นจะเป็นโครงการที่ดีกว่าโครงการที่มีระยะคืนทุนยาว สำหรับการคำนวณระยะเวลาคืนทุน เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน / ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี (2)

โดยที่

NPV	คือ	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิตลอดอายุของโครงการ (บาท)
B/C	คือ	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุน (%)
IRR	คือ	อัตราผลตอบแทนทางการเงิน (%)
Benefit	คือ	มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ t (บาท)
Cost	คือ	มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t (บาท)
i	คือ	อัตราคิดลด (Discount Rate) กาหนดให้มีค่าเท่ากับ 7.75%
t	คือ	ปีของโครงการ
n	คือ	อายุของโครงการ (ปี)

อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) อัตราผลตอบแทนของโครงการ คือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ท าให้ค่า NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น อัตราผลตอบแทนของโครงการจึงได้แก่อัตราดอกเบี้ยหรือ i ที่ทำให้ NPV = 0 สำหรับการคานวณการคานวณอัตราผลตอบแทนทางการเงิน เพื่อหาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$IRR = \sum_{t=0}^{n} \frac{Benefit}{(1+IRR)^t} - \frac{Cost}{(1+IRR)^t} \qquad (3)$$

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน (Benefit-Cost Ratio, B/C) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อเงินลงทุน คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนหรือมูลค่าผลตอบแทนของโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของกระแสต้นทุนหรือต้นทุนรวมของโครงการค่าพารามิเตอร์นี้ใช้วัดความคุ้มค่าของโครงการ สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$IRR = \sum_{t=0}^{n} \frac{\sum_{t=0}^{n} \frac{Benefit}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^{n} \frac{Cost}{(1+i)^t}} \quad (4)$$

หลังจากที่การผลิตชีวมวลอัดเม็ดในรูปแบบการผสมวัตถุดิบ (Blending raw material) เป็นกากดีเคนเตอร์(ขี้เค้ก) จากถังตกตะกอนของโรงงาน และตะกอนน้ำเสียได้มาจากบ่อบำบัดน้ำเสีย บริษัท เอเจ ปาล์มออย จำกัด จังหวัดชุมพร ซึ่งค่าพลังงานที่ได้รับนี้จะสามารถนามาวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์จากการใช้งานเม็ดเชื้อเพลิง

Parameter	Sewage Sludge	Palm oil	Unit
Manufacture Capacity	8,760.00	8,640.00	kg/Yrs.
Investment Costs	20,650.00	-	Baht
Material Costs	0.00	3.00	Baht/ton
Operating Costs	1.00	0.00	Baht/ton
Net Heating Value	12.56	27.79	MJ/ton
Specific Energy Cost	0.08	0.22	Baht/MJ
Energy Saving	0.03	-	Baht/MJ
Energy Saving Cost/Unit	0.79	-	Baht/kg
Disposal Cost/Unit	1.00	-	Baht/kg
Total Saving Cost/Unit	1.79	-	Baht/kg
Total Saving Cost	15,657.80	-	Baht/Yrs.
%Total Saving	59.58	-	%
NPV	47605.21	-	Baht
IRR	31.19	-	%
B/C	144.64	-	%
Payback Period	3.00	-	Yrs.

จากตารางที่ 3 เป็นการวิเคราะห์ผลอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียโดยการวิเคราะห์ผลลอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ประเมินจากพลังงานที่ได้รับจากการใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียเป็นแหล่งพลังงานทดแทนการใช้เชื้อเพลิง ซึ่งมีต้นทุนพลังงานที่ต่ำกว่าถ่านหินอยู่ที่ 0.08 บาท/MJ (ถ่านหิน 0.22 บาท/MJ) รวมทั้งยังสามารถลาค่ากำจัดกากตะกอนน้ำเสียซึ่งถือว่าเป็นผลประหยัดส่วนเพิ่มซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าการที่ใช้เม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสีย ให้ผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ดีที่สุดดังนี้ค่า Total Saving Cost 59.58%, NPV 47,605.21 บาท, IRR 31.19%, BIC 144.64% และระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 3 ปี

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดเม็ดอัตราส่วนต่างๆ พบว่า สัดส่วนที่ต่างกันจะส่งผลต่อคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน อัตราส่วนผสมที่มีการใช้กาตะกอนน้ำมันปาล์มเป็นส่วนมากจะมีค่าความคงทนสูงเมื่อเทียบกับอัตราส่วนที่มีกากตะกอนน้ำเสียเป็นส่วนมาก แต่อย่างไรก็ตามตะกอนน้ำเสียกลับจะทำให้เชื้อเพลิงอัดเม็ดมีค่าความร้อนสูงขึ้น จากผล

การทดลองขึ้นรูปของชีวมวลอัดเม็ดพบว่าอัตราส่วนผสม (PS:PW) 75:25, 50:50 และ 35:65 มีค่าความร้อนเรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราส่วนผสม (PS:PW) ที่ 75:25 จะเห็นได้ชัดว่ามีค่าความร้อนอยู่ที่ 22.37±0.05 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/Kg) ซึ่ง ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตราฐานชีวมวลอัดแท่งของประเทศไทยที่ห้ามมีค่าความร้อนต่ำกว่า 14.6 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/Kg) เกิดการสันดาปดี ติดไฟได้เร็ว จึงทำให้ต้นทุนการผลิตของเชื้อเพลิงที่สัดส่วนอัตราส่วนผสม (PS:PW) ที่ 75:25 มีค่าความร้อนสูงสุด 13.15 MJ/kg ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอน 47,605.21 บาท (ซึ่งอ้างอิงจากค่าใช้จ่ายในอดีตของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา) จะมีต้นทุนการผลิต 1.00 บาท/ตัน และจะสามารถจำหน่ายได้ที่ราคา 3.00 บาท/ตัน และผลประโยชน์รวมเป็น 144.64% จึงมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เป็นอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, **ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร**., แหล่งที่มา [ออนไลน์]: https://www.oae.go.th/ (สืบค้นเมื่อวันที่ 29 เมษายน 2566)

[2] ณัฏฐาทัศน์ เจ้นเปี้ยว., 2558., **การจัดการของเสียในอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน กรณีศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักร่วมจากทะลายเปล่าปาล์มน้ำมันและกากตะกอนดีแคนเตอร์**., ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[3] เสถียรพงษ์ อุดมศิลป์ และพูนสุข ประเสริฐสรรพ์., (2552)., **การแยกน้ำมันและของแข็งออกจากน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้จุลลินทรีย์และเอนไซม์**., วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2553, หน้า 125-134.

[4] อังศุมน สังขพันธ์., (2560)., **เชื้อเพลิงอัดแท่งร่วมจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน: กรณีศึกษาโรงบำบัดน้ำ เสียชุมชนแห่งหนึ่งในเมืองพัทยา**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[5] กฤติเดช ดวงใจบุญ เมตยา กิติวรรณ และปรางทิพย์ ฤทธิโชติ แก็งเพ็งกรอ., 2566., **การวิเคราะห์คุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากตะกอนน้ำเสียและชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน**., วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน เมษายน-มิถุนายน 2566 หน้า 29-37

[6] กฤติเดช ดวงใจบุญ เมตยา กิติวรรณ และปรางค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ., **การผลิตเม็ดเชื้อเพลิงจากกากตะกอนน้ำเสียของอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋อง**., Journal of Energy and Environment Technology., JEET 2020; 7(2): 25-39

การศึกษาสมรรถนะและความคุ้มทุนโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Study of Performance and Economics of Solar Rooftop Power Generation Project at Phetchabun Rajabhat University

สุวิชา พุทธารัตน์[1] ปราการ สุวรรณเจริญ[1*] และ ธนวัฒน์ เฉลิมพงษ์[1]

Suwicha Phuttarat[1], Prakarn Suwancharoen[1*], and Thanawat Chalermpong[1]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์ 67000
[1*]กองกลาง สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์ 67000
[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และระบบอัตโนมัติ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์ 67000
[1]Electrical Industrial Technology Program, Faculty of Agricultural and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun 67000
[1*]Central Administrative Affairs Division, Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun 67000
[1]Electronics and Automation Systems Engineering Program, Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun 67000
Corresponding author : Tel 094-790-8033 E-mail address : prakarn.suw@pcru.ac.th

Abstract

This paper presents the results of the study of the performance and cost-effectiveness of the 884.52 kWp rooftop solar power generation project at Phetchabun Rajabhat University. The solar panels had been installed on the roofs of all 3 buildings: the President's Office Building, the Gymnasium Building, and the 50th Anniversary Auditorium. The total production capacity of all 3 buildings is 884.52 kWp, using 1,638 540 Wp-solar panels, installed with 7 inverters to convert from direct current to alternating current with an output power of 100 kW/unit. The study was conducted by collecting the technical data and the annual energy management report 2022 of Rajabhat University Control Building. It was found that the proportion of electricity consumption by system in 2022 was as followed: split-type air conditioning system is 76.57%, lighting system is 22.47%, and the others is 0.96% from the total electricity consumption in 2022 equal to 2,959,440.01 kWh. The study also found that the capability of rooftop solar power generation system of Phetchabun Rajabhat University has a relatively low in annually average which can produce electricity from sunlight all year round. The average electricity production is approximately at 3,172.81 kWh/day or an average of 95,976.83 kWh/month, with an average efficiency of

72.21 percent. The proportion of electricity consumption of the rooftop solar power generation system within the university, when compared to the electricity consumption data in 2022, resulted in a decrease in electricity consumption within the university by approximately 38.92% and a payback period of the project of approximately at 7.5 years, resulting in a cost-effective installation of the system when compared to the project life is at 20 years.

Keywords: solar cells, energy management report, electrical energy quantity

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ นำเสนอผลการศึกษาสมรรถนะและความคุ้มทุนโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาขนาด 884.52 kWp อาคารมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ โดยดำเนินการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาทั้งหมด 3 อาคาร ได้แก่ อาคารสำนักงานอธิการบดี อาคารโรงยิมเนเซี่ยม และหอประชุม 50 ปี มีกำลังการผลิตทั้ง 3 อาคาร รวมทั้งสิ้นขนาด 884.52 kWp โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 540 Wp จำนวนแผงทั้งสิ้น 1,638 แผง โดยติดตั้งร่วมกับเครื่องอินเวอร์เตอร์ (Inverter) แปลงจากกระแสตรงไปเป็นกระแสสลับ ขนาดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต 100 kW/เครื่อง รวมจำนวน 7 เครื่อง ศึกษาโดยการรวบรวมข้อมูลทางด้านเทคนิคและรายงานการจัดการพลังงานประจำปี 2565 ชื่ออาคารควบคุมมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ พบว่ามีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบปี 2565 ได้แก่ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน 76.57% ระบบแสงสว่าง 22.47% และอื่น 0.96% จากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2565 เท่ากับ 2,959,440.01 kWh จากผลการศึกษาพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์มีสมรรถนะเฉลี่ยรายปีอยู่ระดับค่อนข้างต่ำสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งปี ซึ่งปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยประมาณ 3,172.81 kWh/วัน หรือ เฉลี่ยเดือนละ 95,976.83 kWh คิดค่าสมรรถนะเฉลี่ยเป็นร้อยละ 72.21 มีสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาภายในมหาวิทยาลัยเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ปี 2565 ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยลดลงมาโดยประมาณเท่ากับ 38.92 % และมีระยะเวลาคืนทุนของโครงการประมาณ 7.5 ปีส่งผลให้เกิดความคุ้มทุนในการติดตั้งระบบฯ เมื่อเปรียบเทียบกับอายุการโครงการติดตั้งมีอายุการใช้งานได้ 20 ปี

คำสำคัญ : โซลาร์เซลล์ รายงานการจัดการพลังงาน ปริมาณพลังงานไฟฟ้า

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการนำเอาเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้าอยู่ 5 ประเภท คิดเป็นร้อยละ 27.64 ของกำลังการผลิตทั้งหมดภายในประเทศ [1] ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ 18.60 % ถ่านหิน 6.37 % พลังงานหมุนเวียน 2.48 % น้ำมันดีเซล 0.01 % และพลังงานอื่น ๆ 0.18 % นอกนั้นจะเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเอกชน ซึ่งในอนาคตพลังงานเชื้อเพลิงหลักอาจส่งผลต่อความมั่นคงด้านการจัดหาพลังงานไฟฟ้า หากแหล่งทรัพยากรมีจำนวนลดน้อยลง พลังงานหมุนเวียนทางเลือกหนึ่งในการส่งเสริมหรือช่วยให้กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของประชากรภายในประเทศ พลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานทางเลือกในการเพิ่มความมั่นคงในการผลิตไฟฟ้าให้มากขึ้น คือพลังงานที่ใช้

ไม่หมดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ ได้แก่ พลังงานจากแสงอาทิตย์ ลม น้ำ ความร้อนใต้พิภพ ชีวมวล และก๊าซชีวภาพ ปัจจุบันพลังงานหมุนเวียนเป็นพลังงานทางเลือกที่นำมาใช้ทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลหรือพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น ดังนั้น พลังงานหมุนเวียนสรุปได้ว่าเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน ทำให้สามารถลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ลดต้นทุนการใช้ทรัพยากรจากฟอสซิล และมีส่วนในการส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่แตกต่างกันของพลังงานหมุนเวียนของแต่ภูมิประเทศในประเทศไทยนั้น พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพการผลิตที่มีค่อนข้างสูง และไม่มีต้นทุนเชื้อเพลิงแหล่งพลังงาน สามารถใช้ได้อย่างไม่จำกัดและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดมลพิษ จึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในประเทศไทย

พลังงานจากแสงอาทิตย์ คือพลังงานจากรังสีจากดวงอาทิตย์ที่มาถึงโลก พลังงานนี้สามารถแปลงเป็นพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า โดยใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์คือพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้เพราะแสงจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานไม่สามารถย่อยสลายหรือใช้แล้วหมดไปได้ นอกจากนั้น พลังงานแสงอาทิตย์นี้ ยังไม่ปล่อยก๊าซหรือมลพิษสู่ชั้นบรรยากาศ ต่างจากพลังงานที่ได้จากถ่านหิน น้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปและก่อให้เกิดมลพิษ ทำให้พลังงานจากแสงอาทิตย์มีความปลอดภัยสูงและยังสามารถใช้งานได้ในระยะยาว

ดังนั้น มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์เล็งเห็นว่าพลังงานหมุนเวียนนั้นมีความสำคัญในการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและเป็นไปตามแนวทางแผนยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏ เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560 – 2579) ในยุทธศาสตร์ที่ 1 การพัฒนาด้านสิ่งแวดล้อม โดยปัจจุบันทางมหาวิทยาลัยได้ทำการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาไปแล้วขนาด 884.52 kWp เป็นการเชื่อมต่อกับโครงข่ายสายส่งจากระบบการไฟฟ้า หรือเรียกระบบนี้ว่าระบบออนกริด (On Grid System) เนื่องจากระบบนี้เป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ระบบแรกที่มาจากพลังงานหมุนเวียนในมหาวิทยาลัยและไม่มีการเก็บข้อมูลของระบบไฟฟ้าที่ผลิตได้ รวมถึงจุดคุ้มทุนในการติดตั้งระบบนี้ บทความวิจัยนี้จึงเป็นวิเคราะห์การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์บนหลังคา การใช้ไฟฟ้าและการวิเคราะห์ทางการเงิน ซึ่งทางผู้เขียนมุ่งหวังว่าจะทำให้สามารถเกิดประโยชน์ต่อประชาชนและบุคลากร เพื่อให้สามารถใช้งานระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

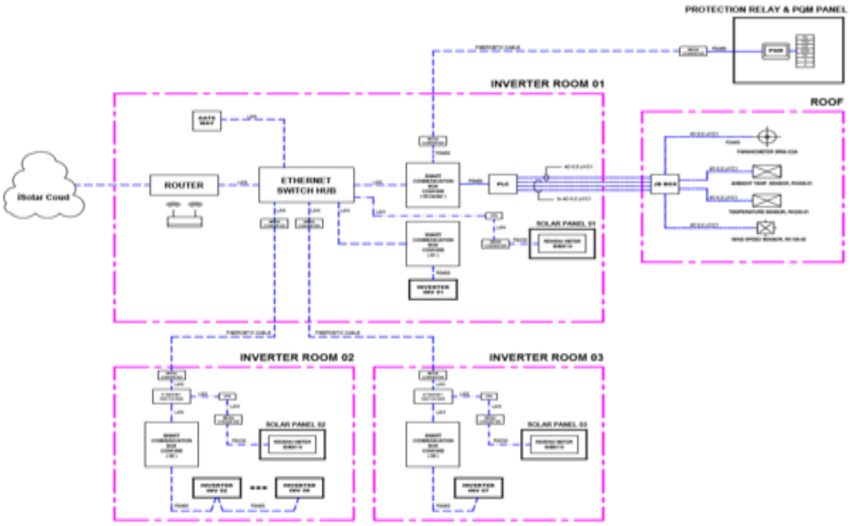
วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะและความคุ้มทุนของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ โดยพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยกัน 3 อาคาร ได้แก่ อาคารสำนักงานอธิการบดี ขนาดกำลังงานไฟฟ้า 113.40 kWp อาคารโรงยิมเนเซี่ยม ขนาดกำลังงานไฟฟ้า 128.54 kWp และอาคารหอประชุม 50 ปี ขนาดกำลังงานไฟฟ้า 642.60 kWp ตั้งอยู่ หมู่ที่ 83 หมู่ 11 ถนนสระบุรี-หล่มสัก ตำบลสะเดียง อำเภอเมืองเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ พิกัดละติจูด 16.45 องศาเหนือ และลองจิจูด 101.15 ตะวันออก ดังแสดงในภาพที่ 1 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งปี 2565 อยู่ที่ 2,959,440.01 kWh และมีค่าไฟฟ้ารวม 14,282,539.24 บาท (ค่าใช้จ่ายดังกล่าวรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%) [2]

(ก) อาคารสำนักงานอธิการบดี (ข) อาคารโรงยิมเนเซี่ยม (ค) อาคารหอประชุม 50 ปี

ภาพที่ 1 การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ส่วนการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มจากการสำรวจข้อมูลการปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยและโครงสร้างอาคารที่มีความเหมาะสมในการติดตั้ง โดยผ่านการคำนวณและรับรองด้วยวิศวกรจากบริษัทที่มาลงทุนโครงการให้กับมหาวิทยาลัย โดยระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน มีการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 540 Wp ชนิด Mono-Crystalline จำนวน 1,638 แผง ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ผ่าน Grid Connected PV Inverter ขนาด 100 kW จำนวน 7 เครื่อง ทำหน้าที่แปลงกระแสตรง (DC) เป็นกระแสไฟฟ้าสลับ (AC) จะแปลงเป็นไฟฟ้า 380 VAC 3 เฟส ที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าหรือตู้ควบคุมไฟฟ้า (MBD) คิดเป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 884.52 kWp เพื่อส่งกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าพื้นฐานของมหาวิทยาลัย ดังไดอะแกรมแสดงการทำงานของระบบในภาพที่ 2 และรายละเอียดของอุปกรณ์ ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 2 แบบไดอะแกรมแสดงการทำงานระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ตารางที่ 1 รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์

ชนิดอุปกรณ์	รายละเอียดอุปกรณ์
Photovoltaic	
Inverter	

เนื่องจากพื้นที่บนหลังคาอาคารทั้ง 3 อาคาร มีพื้นที่อย่างจำกัด ทำให้การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้บนหนังคาของโครงสร้างตามการลักษณะพื้นผิวหลังคา โดยหันหน้าไปทางทิศใต้โดยส่วนใหญ่และเชื่อมต่อกับตู้ควบคุมและอินเวอร์เตอร์เพื่อใช้งานไฟฟ้าพื้นฐานภายในมหาวิทยาลัย การบันทึกข้อมูลผ่านเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอิเล็กทรอนิกส์ส่งไปยังการจัดเก็บข้อมูลบนคลาวด์ของ Grid Connected PV Inverter งานวิจัยนี้นำผลที่จัดเก็บข้อมูลบนคลาวด์มาวิเคราะห์โดยอ้างอิงมาตรฐาน International Electro Technical Commission หรือ IEC61724 [3] สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยสมการดังต่อไปนี้

(Y_f, kWh/kWp) คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อช่วงเวลา kWh ต่อกำลังไฟฟ้าผลิตติดตั้ง kWp หรือผลผลิตสุดท้ายจะเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงจำนวนชั่วโมงที่ระบบมีการจ่ายไฟฟ้าได้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$Y_f = \frac{E_{pv(AC)}}{P_o} \qquad (1)$$

โดยที่ $E_{pv(AC)}$ คือ ผลรวมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้า(kWh) และ P_o คือ ขนาดของ ระบบ PV ที่ติดตั้ง(kWp)

(Y_r, kWh/kWp) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมบนระนาบแผงเซลล์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}} \qquad (2)$$

โดยที่ H_i คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (kWh/m^2) และ G_{STC} คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มาตรฐาน STC (1 kW/m^2)

ค่าสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ (Performance Ratio หรือ PR) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (3)$$

ส่วนค่าใช่จ่ายรวมโดยคร่าวๆของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวน 884.52 kWp เท่ากับ 42,366,740.00 บาท โดยเป็นค่าดำเนินการติดตั้งระบบรวมถึงค่าวัสดุอุปกรณ์ทั้งหมด เช่น แผงโซลาร์เซลล์ อินเวอร์เตอร์ และอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 และการประเมินความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์จะใช้ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PB) โดยคำนวณได้จากสมการที่ 4 มูลค่าในการลงทุนผลตอบแทนรายปี [4]

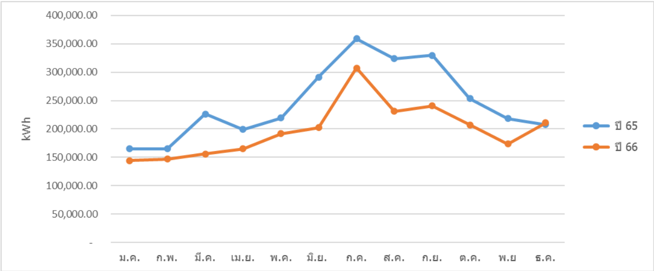
$$(PB)\ \text{ระยะเวลาคืนทุนโครงการ} = \frac{\text{มูลค่าในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนรายปี}} \quad (4)$$

ตารางที่ 2 รายละเอียดอุปกรณ์โดยประมาณในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวน 884.52 kWp

ลำดับที่	รายการ	ราคา
1	แผงโซลาร์เซลล์	21,608,640.00
2	อินเวอร์เตอร์	2,250,900.00
3	อุปกรณ์กันตก ทางเดิน งานโครงสร้างหลังคา ค่าดำเนินงาน และอื่นๆ	14,405,760.00
4	ค่าขนส่งวัสดุอุปกรณ์	1,913,265.00
5	ค่าต่อประกันอินเวอร์เตอร์ 20 ปี	1,688,175.00
6	ระบบแสดงผลและศูนย์การเรียนรู้	500,000.00
รวม		42,366,740.00

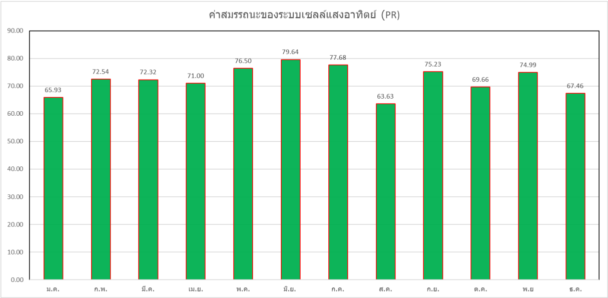
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 884.52 kWp โดยระบบที่ผลิตได้จะเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายสายส่งของการไฟฟ้า และหลังจากโครงการติดตั้งระบบเสร็จสิ้นในปี 2565 ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลบนระบบคลาวด์และบิลค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้า เพื่อมาวิเคราะห์ในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม ปี 2566 พบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานเฉลี่ยก่อนติดตั้งระบบอยู่ที่ 246,620.00 kWh และหลังติดตั้งปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าพื้นฐานเฉลี่ยอยู่ที่ 198,157.33 kWh พบว่าเมื่อนำปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2565 เท่ากับ 2,959,440.01 kWh มาเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาภายในมหาวิทยาลัย ปี 2566 เฉลี่ยได้ปีละ 1,151,722 kWh ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ปี 2565 เท่ากับ 38.92 % ดังแสดงในภาพที่ 3

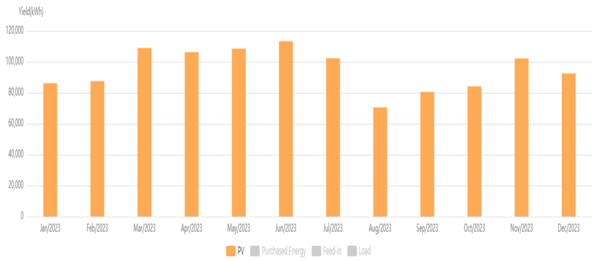


ภาพที่ 3 แสดงเปรียบเทียบระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าปี 2565 และค่าพลังงานไฟฟ้าปี 2566

ส่วนในการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์หลังทำการติดตั้งระบบพบว่าในแต่ละเดือนมีค่าพลังงานไฟฟ้าปี 2566 ที่ผลิตได้เฉลี่ยเดือนละ 95,976.83 kWh โดยมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดในเดือนมิถุนายนเท่ากับ 118,530.00 kWh และมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่ำสุดในเดือนตุลาคมเท่ากับ 79,567.00 และค่าสมรรถนะของระบบไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ [5,6] มีค่าเฉลี่ยต่อปีคิดเป็นร้อยละ 72.21 ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งประสิทธิภาพโดยรวมของค่าพลังงานที่ผลิตได้รวมถึงผลกระทบจากการสูญเสียในด้านต่างๆ เช่น การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในอินเวอร์เตอร์ การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายไฟ การสูญเสียกำลังไฟฟ้าจากระยะทาง การสูญเสียเชิงอุณหภูมิ การเสียหายของอุปกรณ์ในระบบทำให้ต้องหยุดการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อซ่อมแซม และช่วงเวลาที่ระบบลดกำลังผลิตไฟฟ้าในช่วงวันหยุดราชการวันเสาร์-อาทิตย์ ซึ่งมหาวิทยาลัยปิดการเรียนการสอนซึ่งทำให้ระบบมีการลดกำลังการผลิตลงทำให้ค่าเฉลี่ยของสมรรถนะของระบบทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ทำให้ค่าสมรรถนะเฉลี่ยค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับระบบที่มีกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าเต็มกำลัง ดังแสดงในภาพที่ 5

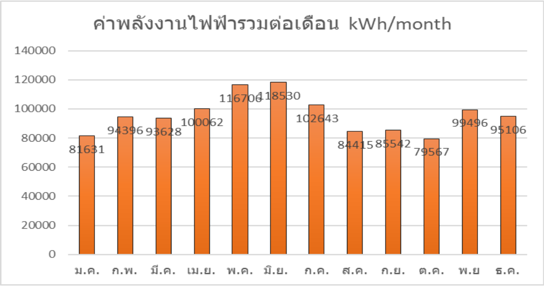


ภาพที่ 4 แสดงค่าสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ปี 2566



ภาพที่ 5 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ปี 2566

เมื่อประเมินความคุ้มทุนของผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถวิเคราะห์ได้จากข้อมูลปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ปี 2566 และโครงการต้องใช้งบประมาณลงทุนเบื้องต้นประม 42,366,740.00 บาท ซึ่งพบว่ากำลังการผลิตรวมทั้งหมดเท่ากับ 1,151,722.00 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 5,644,805.74 บาท/ปี (คิดอัตราค่าไฟฟ้า 4.90 บาท/kWh(หน่วย) โดยอ้างอิงตามประกาศอัตราคิดค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้า ณ ช่วง เวลาตามจริง) และมีระยะเวลาคืนทุนของโครงการประมาณ 7.5 ปี จากผลการคำนวณของระยะเวลาคืนทุนระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยของวันอยู่ที่ประมาณ 3,172.81 kWh/วัน ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงพลังงานไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้ต่อเดือนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ปี 2566

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาสมรรถนะและความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ติดตั้งที่บนหลังคาอาคารในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ตำบลสะเดียง อำเภอเมืองเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาดกำลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 884.52 kWp พบว่ามีสมรรถนะ (PR) ของระบบเฉลี่ยอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งปี ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานเท่ากับที่ 75 % [7] ซึ่งผลกระทบหลักมาจากวันหยุดราชการวันเสาร์-อาทิตย์ของมหาวิทยาลัย ทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าในวันหยุดนั้นทำงานอย่างไม่เต็มสมรรถนะ เพราะความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำระบบจึงควบคุมการผลิตไฟฟ้าออกมาน้อยลงเพื่อไม่ให้ไฟฟ้าไหลย้อนกลับเข้าสู่ระบบส่งกำลังของการไฟฟ้า โดยคิดเป็นร้อยละเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 72.21 ซึ่งปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยของวันอยู่ที่ประมาณ 3,172.81 kWh/วัน หรือเฉลี่ยเดือนละ 95,976.83 kWh มีสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์หลังติดตั้งบนหลังคาภายในมหาวิทยาลัยเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ปี 2565 ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยลดลงมาโดยประมาณเท่ากับ 38.92 % และมีระยะเวลาคืนทุนของโครงการประมาณ 7.5 ปี ซึ่งค่าพลังงานที่ผลิตได้มีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สภาพอากาศ ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เกิดเหตุขัดข้อง รูปแบบการติดตั้งแต่ละโครงการ และกิจกรรมภายในมหาวิทยาลัย การติดตั้งระบบไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีศักยภาพที่สามารถเพิ่มเติมได้โดยอาศัยมาตรการหรือการบริหารจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยอย่างมีประสิทธิภาพให้มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ บริษัท วีเน็ท เอสจี พาวเวอร์ จำกัด และคณะทำงานทุกท่านที่ทำการสนับสนุนให้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโครงการนี้ ทีมผู้วิจัย ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กองบริหารสื่อองค์การ ฝ่ายสื่อสารและประชาสัมพันธ์องค์การ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2567).**สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าในระบบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2567, จาก https://www.egat.co.th/home/statistics-generation-latest/

[2] สุลักษณา มงคล อัครินทร์ อินทนิเวศน์ ชวโรจน์ ใจสิน ธงชัย มณีชูเกตุ ธัญลักษณ์ สันเดช ภานุวิชญ์ พุทธรักษา ธนวัฒน์ นิลขาว และสราวุธ พลวงษ์ศรี (2565). **การศึกษาสมรรถนะและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับฟาร์มเพาะพันธุ์ปลา** ใน วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม-สิงหาคม 2565

[3] กาญจนศิษฏ์ เวชการ. (2560). **การวิเคราะห์สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบลอยน้ำพิกัด 50 kWp**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาตรบัณฑิต. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[4] วาริษา วาแม ลุตฟี สือนิ และเอกชัย สิงหเดช (2564). **การประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำสำหรับโรงเรียนในพื้นที่จังหวัดชายแดนใต้ กรณีศึกษา: โรงเรียนบ้านช่องแมว อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี** ใน วารสารวิชาการพลังงานทดแทน สู่ชุมชน ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน-ธันวาคม 2564

[5] ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2559). **รายงานฉบับสมบูรณ์ ติดตามประเมินผลการดำเนินงานโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop System)**. สืบค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2567,
จาก http://e-lib.dede.go.th/mm-data/BibA11305.pdf

[6] สมชาติ บุญศรี, สุพิชัย แสงสุวรรณ, และอิทธิพล หินดี. (2560). **การศึกษาเทคนิคการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำที่แตกต่างกัน**, รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, 22 ธันวาคม 2560, 391-397

[7] ปรัชพงศ์ นับถือตรง และนลินี หมู่หมื่นศรี (2560). **การศึกษาสมรรถนะการผลิตพลังงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงติดตั้งบนหลังคา ขนาด 25.2 kWp กรณีศึกษาวิทยาลัยธาตุพนม มหาวิทยาลัยนครพนม.** ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 วันที่ 31 พฤษภาคม ถึง 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่

การศึกษาการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแผ่นสะท้อนแสงอลูมิเนียมร่วมกับการติดตามดวงอาทิตย์

Study on Power Generation of Solar Photovoltaic Module with Aluminum Reflector Combined with Sun Tracking

ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล* กฤชนนท์ สวนจันทร์ ศุภโชค อรุณนวล และ อธิป ศรีจันทร์

Tanit Ruangrungchaikul*, Kritchanon Suanjan, Supachok Aroonnuan, and Atip Srijan

สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120
Sustainable Development Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Campus, Pathum Thani 12120
*Corresponding author: Tel.: 0847528947. E-mail address: rtanit@tu.ac.th

Abstract

The incident sunlight directly affects the electricity produced by the solar panels. Therefore, this research is interested in using the reflection technique to increase the efficiency of solar panels. In this study, aluminum sheets were installed to reflect the incident sunlight onto the solar panels and worked with a single-axis sun tracking system (north-south direction) to increase the solar radiation received by the experimental set. The study shows that aluminum sheets can be used instead of mirrors for reflection. The experimental set in which the reflector was installed at an angle of 60 degrees with the single-axis (north-south direction) tracking solar system had the best performance in generating electricity. It can increase electrical power by 18.26%, while the stationary system installed with a reflector can increase electrical power by 16.47%.

Keywords: Solar panels, Reflectors, Tracking systems

บทคัดย่อ

รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมีผลโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะนำเทคนิคการสะท้อนแสงมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการศึกษานี้ทำการติดตั้งแผ่นอลูมิเนียมเพื่อสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบให้ไปลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น และทำงานร่วมกับระบบตามดวงอาทิตย์ 1 แกน (แนวทิศเหนือ-ใต้) เพื่อเพิ่มการรับรังสีอาทิตย์ให้กับชุดทดลอง การศึกษาพบว่าแผ่นอลูมิเนียมสามารถนำมาใช้เป็นแผ่นสะท้อนแสงทดแทนการใช้กระจกเงาได้ โดยชุดทดลองที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงทำมุม 60 องศากับ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ 1 แกน (แนวทิศเหนือ-ใต้) มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าดีที่สุด ช่วยเพิ่มกำลังไฟฟ้าได้ 18.26% ในขณะที่ระบบติดตั้งอยู่กับที่แบบมีแผ่นสะท้อนแสงสามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าได้ 16.47%

คำสำคัญ: แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แผ่นสะท้อนแสง ระบบติดตามดวงอาทิตย์

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบันนี้ มีความสำคัญในหลายด้าน เป็นพลังงานสะอาดไม่มีวันหมด สามารถผลิตได้ทุกพื้นที่ที่มีแสงอาทิตย์ส่องถึง และสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้ได้โดยตรงหรือแปรรูปเพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ในการใช้งานจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [1] ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ความเข้มของแสงอาทิตย์ เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ในมุมตั้งฉากกับพื้นในช่วงเที่ยงวัน แสงจะยิ่งตัดผ่านชั้นบรรยากาศไปถึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากขึ้น ในขณะที่ช่วงเช้าหรือเย็น แสงจะเคลื่อนผ่านมวลอากาศที่หนาขึ้น ทำให้ความเข้มแสงอาทิตย์ลดลง ซึ่งส่งผลทำให้การผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ลดลง ความเข้มของแสงจึงเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญต่อการผลิตไฟฟ้า ที่ผ่านมามีการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน [2] พบว่ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 24.6% เทียบกับแบบติดตั้งอยู่กับที่ ใช้เทคนิคการสะท้อนแสงด้วยแผ่นกระจก [3] สามารถเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์จาก 51% เป็น 64% และมีการศึกษาเปรียบเทียบการใช้เทคนิคการสะท้อนแสงระหว่างแผ่นกระจกกับแผ่นอลูมิเนียม [4] พบว่าแผ่นอะลูมิเนียมสามารถเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่าแผ่นกระจกได้ 0.75-1.43% อย่างไรก็ตามการศึกษาที่ผ่านมาสามารถพัฒนาต่อไปได้อีก เนื่องจากการใช้เทคนิคสะท้อนแสงที่ใช้กระจกเงามีข้อด้อย คือ มีราคาที่สูง อาจเกิดการแตกหักได้ง่าย และมีบางพื้นที่ไม่สามารถติดตั้งกระจกเงาได้อย่างปลอดภัย เช่น ในพื้นที่ที่มีผู้คนอาศัยในบริเวณที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือพื้นที่ที่มีลมแรงจนทำให้เกิดความเสียหายต่อกระจกเงาได้

งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นสะท้อนแสงจากวัสดุชนิดอื่นที่สามารถใช้งานแทนการใช้กระจกเงาได้ โดยทำงานร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ 1 แกน (แนวทิศเหนือ-ใต้) เพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบผลิตไฟฟ้าและเพิ่มทางเลือกในการเลือกใช้แผ่นสะท้อนแสงชนิดอื่นแทนการใช้กระจกเงา

วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

1. เก็บรวบรวมและศึกษาข้อมูล

ทำการค้นคว้าและศึกษาข้อมูล จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งสื่อออนไลน์ เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบติดตามดวงอาทิตย์ ผลของการใช้แผ่นสะท้อนแสงชนิดต่าง ๆ ต่อการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รูปแบบชุดโครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสง

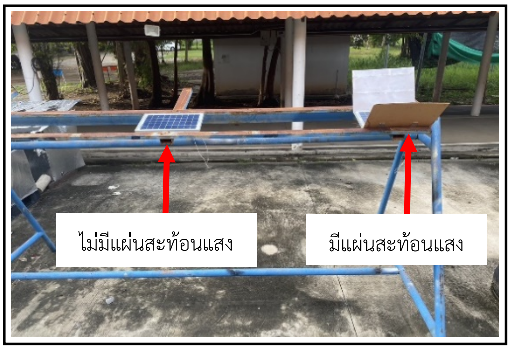
2. การออกแบบและติดตั้งแผ่นสะท้อนแสง

การออกแบบและติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประยุกต์ใช้แผ่นอลูมิเนียม [4] ติดตั้งเข้าด้านข้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 วัตต์ 2 ด้าน ที่ทำมุม 60 องศากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแผ่นอลูมิเนียมแต่ละด้านมีขนาดเท่ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีการออกแบบโดยใช้หลักการสะท้อนแสง [5]

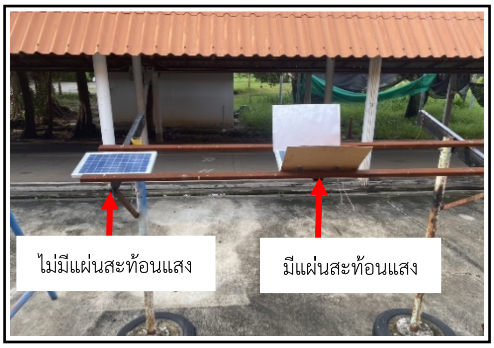
3. การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ แบบติดตั้งกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ 1 แกน (แนวทิศเหนือ-ใต้) และแบบติดตั้งอยู่กับที่ทำมุม 14 องศากับแนวราบหันหน้าเซลล์แสงอาทิตย์

ไปทางทิศใต้ โดยที่แต่ละแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ชุด คือ ชุดมีแผ่นสะท้อนแสงที่ติดตั้งด้านทิศเหนือ-ทิศใต้ และชุดไม่มีแผ่นสะท้อนแสง ทำการเก็บค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) พร้อมทั้งเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากเครื่องวัดความเข้มแสง (Solar Power Meter) ที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ซึ่งมีที่ตั้ง ณ ละติจูด 14 องศาเหนือ โดยทำการเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 29 มีนาคม 2567 ถึง 27 เมษายน 2567 แสดงดังภาพที่ 1



ก. โครงสร้างแบบติดตามดวงอาทิตย์



ข. โครงสร้างแบบติดตั้งอยู่กับที่

ภาพที่ 1 ทดสอบการทำงานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดมีแผ่นสะท้อนแสงและชุดไม่มีแผ่นสะท้อนแสง

4. การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า

การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าโดยนำข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างชุดมีแผ่นสะท้อนแสงกับชุดไม่มีแผ่นสะท้อนแสง ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$P = VI \tag{1}$$

โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

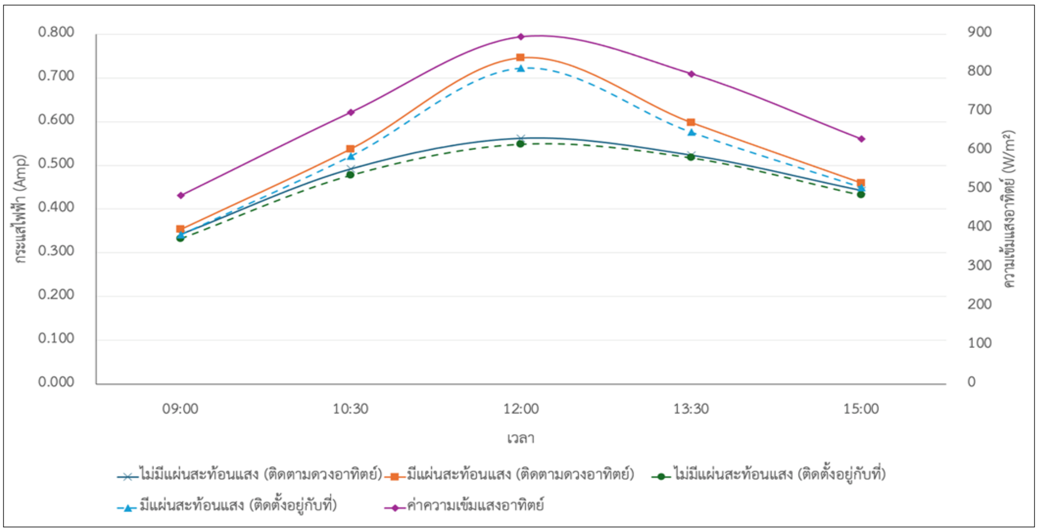
A คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การผลิตกระแสไฟฟ้า

การผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดมีแผ่นสะท้อนแสงและชุดไม่มีแผ่นสะท้อนแสง ในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้อยู่เล็กน้อยจนถึงโคจรตั้งฉากพื้นที่ศึกษา โดยช่วงดังกล่าวท้องฟ้าโปร่งใสและมีเมฆน้อย ความเข้มแสงอาทิตย์จากช่วงเช้าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยง จากนั้นจึงค่อย ๆ ลดลงไปในช่วงบ่าย ซึ่งแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับความเข้มแสงอาทิตย์สอดคล้องกับผลการศึกษาของ [6] คือ เมื่อความเข้มแสงสูงตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงขึ้นด้วยขณะเดียวกันเมื่อความเข้มแสงลดลงกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงเช่นกัน และเมื่อติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงเพิ่มเติมเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงขึ้นและมากกว่าเมื่อเทียบกับไม่มีแผ่นสะท้อนแสง เนื่องจากความเข้มแสงอาทิตย์ที่ไปตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจากการสะท้อนแสงด้วยแผ่นสะท้อนแสง โดยเฉพาะในช่วงเที่ยงที่มี

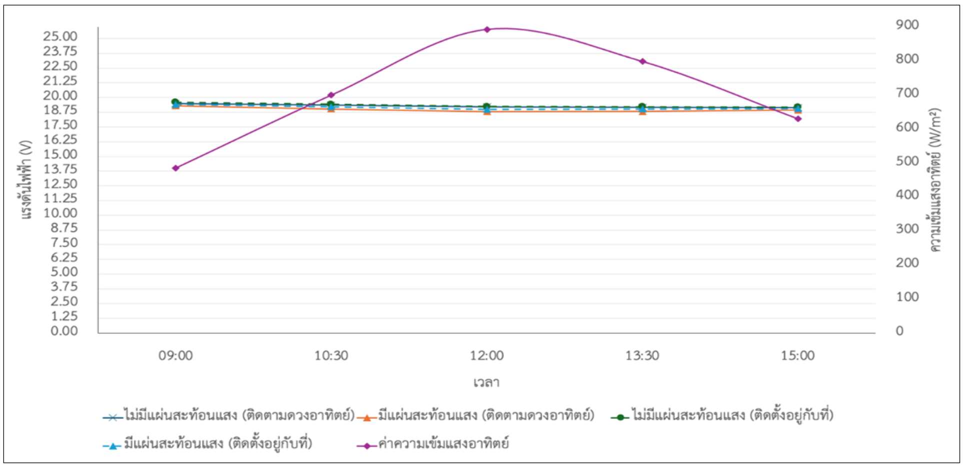
ความเข้มแสงอาทิตย์สูง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ [7] ในส่วนของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแผ่นสะท้อนแสงร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ 1 แกน (แนวทิศเหนือ-ใต้) พบว่าช่วยเพิ่มการผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้นไปอีก มีผลแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย

การผลิตแรงดันไฟฟ้า

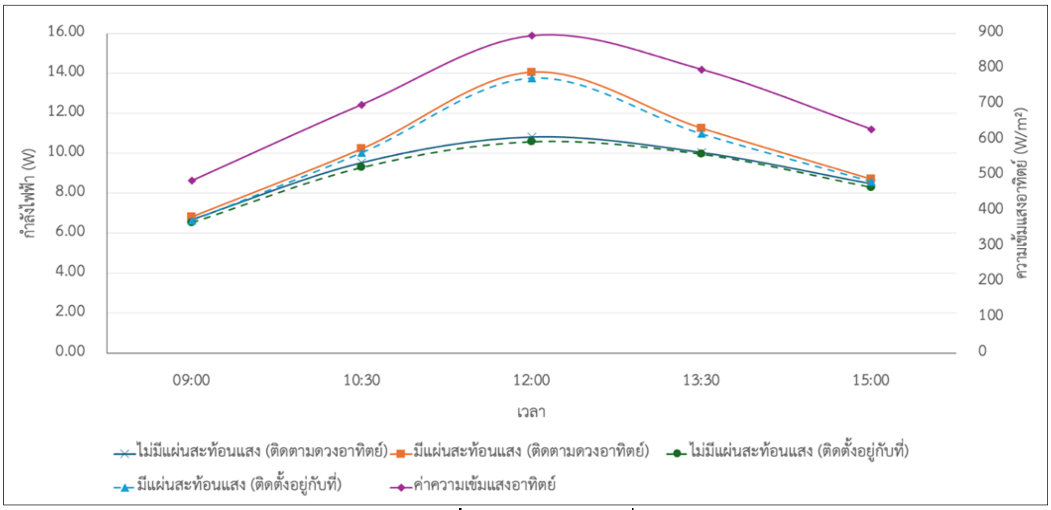
การผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดมีแผ่นสะท้อนแสงและชุดไม่มีแผ่นสะท้อนแสงแสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงที่ทำการเก็บข้อมูลมีผลไม่มากต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า แม้ว่าความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงเช้าค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นและสูงสุดในช่วงเที่ยงหรือลดลงในช่วงบ่าย แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกชุดยังค่อนข้างคงที่และไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากความเข้มแสงมีผลไม่มากต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า [8] มีผลแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย

การผลิตกำลังไฟฟ้า

การผลิตกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดมีแผ่นสะท้อนแสงและชุดไม่มีแผ่นสะท้อนแสงมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงเพิ่มเติม และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นไปอีกเมื่อติดตั้งร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ 1 แกน (แนวทิศเหนือ-ใต้) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่มีแผ่นสะท้อนแสง โดยเฉพาะในช่วงสายถึงช่วงบ่ายที่มีความเข้มแสงอาทิตย์สูง มีผลแสดงดังภาพที่ 4 อย่างไรก็ตามในช่วงเช้าและช่วงบ่ายแก่ ๆ จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่ต่างกันมากเมื่อเทียบกันทุกชุด ซึ่งมีผลมาจากช่วงดังกล่าวความเข้มแสงไม่สูงมากและแต่ละชุดได้รับแสงอาทิตย์ที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากตำแหน่งดวงอาทิตย์อยู่ในช่วงโคจรอ้อมใต้จนถึงโคจรตั้งฉากพื้นที่ศึกษา ดังนั้นหากดวงอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือมากขึ้น คาดว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแบบที่ติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ 1 แกน (แนวทิศเหนือ-ใต้) กับแบบที่ติดตั้งอยู่กับที่จะมีความแตกต่างมากขึ้น เนื่องจากช่วงดังกล่าวแบบที่ติดตั้งอยู่กับที่จะได้รับแสงอาทิตย์น้อยลงหรือแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มออกห่างจากมุมตั้งฉาก ในส่วนชุดที่ติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงจะได้รับผลกระทบน้อยกว่า เนื่องจากแผ่นสะท้อนแสงด้านทิศใต้ยังสามารถรับแสงจากดวงอาทิตย์และสะท้อนเข้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

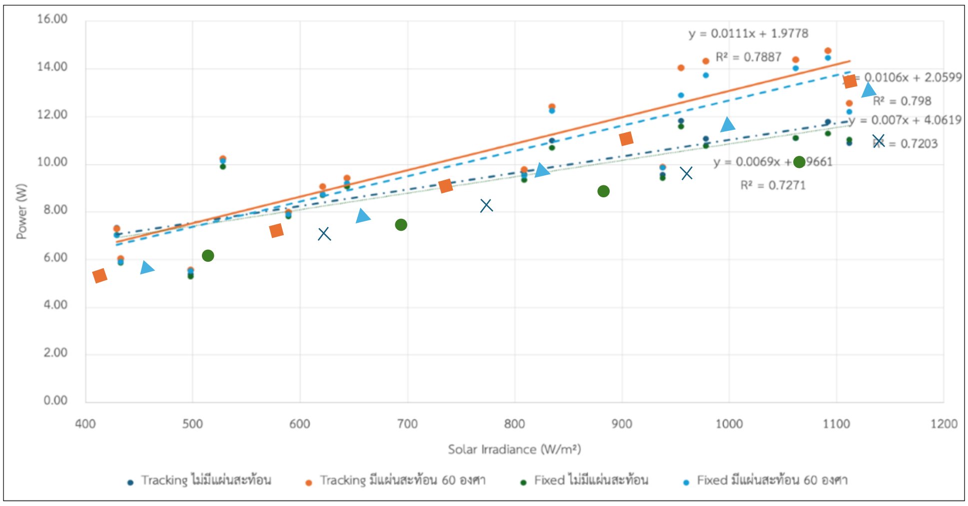


ภาพที่ 4 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

ความเข้มแสงอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

ความเข้มแสงอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลนำมาหาความสัมพันธ์ในรูปของกราฟโดยสร้างสมการหากำลังไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่าง ๆ มีผลแสดงดังภาพที่ 5 จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้นแนวโน้มความแตกต่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ระหว่างชุดมีแผ่นสะท้อนแสงและชุดไม่มีแผ่นสะท้อนแสงเพิ่มขึ้นด้วย โดยเห็นความแตกต่างได้ชัดในช่วงที่มีค่าความเข้มแสงสูง จากการคำนวณที่ค่าความเข้มแสง 600 800 และ 1000 W/m² แบบติดตั้งอยู่กับที่ชุดไม่มีแผ่นสะท้อนแสงและชุดมีแผ่นสะท้อนแสงมีความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ร้อยละ 3.82 11.06 และ 16.47 ตามลำดับ แบบติดตั้งกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ 1 แกน (แนวทิศเหนือ-ใต้) ชุดไม่มีแผ่นสะท้อนแสงและชุดมีแผ่นสะท้อนแสงมีความแตกต่างกันร้อยละ 4.60 12.42 และ 18.26 ตามลำดับ มีผลแสดงดังภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มแสงสูงขึ้นการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงยิ่งมีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มากยิ่งขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาในส่วนของชุดไม่มีแผ่นสะท้อนแสงแบบติดตั้งอยู่กับที่และแบบติดตั้งกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ 1 แกน (แนวทิศเหนือ-ใต้) จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่ต่างกันมาก เนื่องจากช่วงที่ทำการเก็บข้อมูล ตำแหน่งดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงจากอ้อมใต้อยู่เล็กน้อย

จนถึงเริ่มตั้งฉากพื้นที่ศึกษาเท่านั้น ซึ่งส่งผลให้มุมตกกระทบรังสีอาทิตย์บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย จึงมีผลต่อความแตกต่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของทั้งสองชุดไม่มาก



ภาพที่ 5 กราฟแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

ชนิดชุดทดลอง			ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²)		
			600	800	1,000
แบบ Fixed	ไม่มีแผ่นสะท้อน	กำลังไฟฟ้า (W)	8.11	9.49	10.87
	มีแผ่นสะท้อน		8.42	10.54	12.66
	ความแตกต่างแสง (%)		3.82	11.06	16.47
แบบ Tracking	ไม่มีแผ่นสะท้อน	กำลังไฟฟ้า (W)	8.26	9.66	11.06
	มีแผ่นสะท้อน		8.64	10.86	13.08
	ความแตกต่างแสง (%)		4.6	12.42	18.26

ภาพที่ 6 ค่ากำลังไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่าง ๆ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าแผ่นสะท้อนแสงที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยเฉพาะในช่วงสายถึงบ่ายที่มีความเข้มแสงสูง และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าให้มากขึ้นไปได้อีก ด้วยการติดตั้งร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ 1 แกน (แนวทิศเหนือ-ใต้) ดังนั้นหากต้องการสร้างแผ่นสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มการผลิตกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถใช้แผ่นอลูมิเนียมเป็นวัสดุสะท้อนแสงได้หรือใช้งานร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ 1 แกน (แนวทิศเหนือ-ใต้) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าขึ้นไปอีก

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถศึกษาต่อยอดได้ด้วยการทดสอบการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแผ่นอลูมิเนียมสะท้อนแสงและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือ หรือเก็บข้อมูลให้ครบตลอดทั้งปี ซึ่งจะได้

ข้อมูลการผลิตกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแผ่นอลูมิเนียมสะท้อนแสงที่ครบถ้วน และสามารถศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนติดตั้ง เพื่อการลงทุนติดตั้งใช้งานจริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการวิจัย ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Solar Matter. (2564). **ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความเข้มของแสง** สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2566, จาก https://www.solarmatterthailand.com.

[2] Shang, H., & Shen, W. (2023). Design and implementation of a dual-axis solar tracking system. **Energies,** 16(17), 6330.

[3] Zainulabdeen, F. S., Al-Hamdani, A. H., Karam, G. S., & Ali, J. H. (2019, December). Improving the performance efficiency of solar panel by using flat mirror concentrator. In **AIP Conference Proceedings.** (Vol. 2190, No. 1). AIP Publishing.

[4] Aji Lukito, G., & Nugraha, N. A. (2022). **The Effect of Refractors on Output Power at Solar Panels with Variation of Angle 60°, 75°, 90°. Doctoral dissertation**. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

[5] วีทิต วรรณเลิศลักษณ์. (2560). **แสงและกระจก** สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2566, จาก https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7244-2017-06-12-15-21-13

[6] Buni, M. J., Al-Walie, A. A., & Al-Asadi, K. A. (2018). Effect of solar radiation on photovoltaic cell. **International Research Journal of Advanced Engineering and Science.** 3(3), 47-51.

[7] Kasim, N. K., Atwan, A. F., & Eliewi, F. M. (2018, May). Improve the performance of solar modules by reflectors. In **Journal of Physics: Conference Series.** (Vol. 1032, No. 1, p. 012031).

[8] Victron energy. (2020). **PV Panel output voltage – shadow effect?** สืบค้นเมื่อวันที่ 7 สิงหาคม 2567, จาก https://www.victronenergy.com/blog/2020/02/20/pv-panel-output-voltage-shadow-effect/

การศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งสำหรับประเทศไทย
Study on the Efficiency of a Vertical Solar Power Generation System in Thailand

กฤษณชัย ยอดอรทัย และ ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล*

Grisanachai Yotooratai, and Tanit Ruangrungchaikul*

สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120
Sustainable Development Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Campus, Pathum Thani 12120
*Corresponding author: Tel.: 0847528947. E-mail address: rtanit@tu.ac.th

ABSTRACT

The vertical solar power generation system is designed for high-rise buildings with space constraints. Previous studies have shown varying results based on latitude. This research examines the efficiency of the vertical solar power generation system at a latitude of 14 degrees north. The results indicate that the seasonal north-south movement of the sun significantly impacts the system's efficiency. Specifically, the north and south sides are less efficient when the sun is on the opposite side of the installed panels. The study of the efficiency of the vertical solar power generation system found that the east and west sides have similar and higher efficiency than the north and south sides.

Keywords: Vertical solar cell, internet of thing, grid connected system

บทคัดย่อ

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง เป็นหนึ่งในรูปแบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบเพื่อประยุกต์ใช้กับอาคารสูงที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ ที่ผ่านมามีการศึกษาและได้รับผลที่แตกต่างกันเมื่อศึกษาที่ละติจูดแตกต่างกัน งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นมาเพื่อศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง โดยทำการศึกษา ณ ที่ตั้งละติจูด 14 องศาเหนือ จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการโคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้ของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง โดยเฉพาะด้านทิศใต้และทิศเหนือที่จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อดวงอาทิตย์โคจรด้านฝั่งตรงกันข้ามกับแผงที่ติดตั้ง การศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งพบว่าระบบด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงกันและสูงกว่าระบบด้านทิศเหนือและทิศใต้

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง เซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อระบบจำหน่าย

บทนำ

กระทรวงพลังงานได้ดำเนินนโยบายขับเคลื่อนการผลิตและใช้พลังทดแทนเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามเป้าหมายสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ภายในปี พ.ศ.2593 และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ ภายในปี พ.ศ.2608 [1] ในขณะที่ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยเพิ่มขึ้นสวนทางกลับกับการบรรลุเป้าหมายเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี 2563 อยู่ที่ 187,064 จิกะวัตต์ชั่วโมง และเพิ่มขึ้นเป็น 203,923 จิกะวัตต์ชั่วโมง ในปี 2566 และคาดว่าจะเพิ่มสูงขึ้นต่อไป [2] ประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ใกล้เขตเส้นศูนย์สูตรได้รับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 17.6 MJ/m^2-day เพียงพอสำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า [3] และกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายใช้ได้สำหรับพื้นที่ที่ระบบสายส่งการไฟฟ้าเข้าถึงแล้ว [4] ที่ผ่านมามีการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งคือหนึ่งในรูปแบบที่ได้รับการศึกษา จากการศึกษาพบว่าทิศตะวันตกให้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อทำการศึกษาที่ละติจูด 1 องศาเหนือ [5] และที่ละติจูด 32 องศาเหนือ ทิศใต้ให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น [6] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง [7] และการศึกษาสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งเข้ากับผนังด้านนอกอาคารสูง [8] การศึกษาประยุกต์ใช้พื้นที่ผนังอาคารด้านนอกในการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์และการใช้พื้นที่ว่างให้เกิดประโยชน์ [9] พบว่าการเพิ่มสมรรถนะกรอบอาคารสำนักงานด้วยการประยุกต์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์บังแดดติดตั้งทำมุม 90 องศากับพื้นราบหันหน้าเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในอาคารได้ 15.65% ของการใช้งานระบบปรับอากาศเดิม

อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่กล่าวถึงไปก่อนหน้านี้ยังสามารถศึกษาต่อยอดได้อีก เนื่องจากการศึกษาดังกล่าว ยังขาดการศึกษาประสิทธิภาพสำหรับทิศอื่น ๆ และการศึกษาละติจูดที่ต่างกันทำให้ได้ผลที่ต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง 4 ทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ที่ละติจูด 14 องศาเหนือ

วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

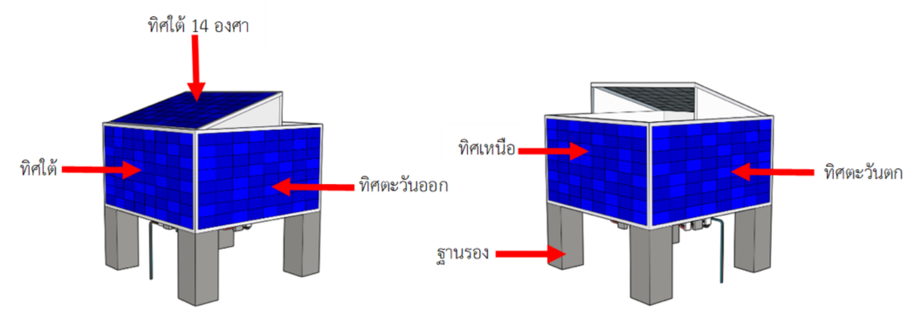
1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการเก็บรวมรวมข้อมูลจากเอกสารวิจัย บทความวิชาการ ข้อมูลอินเตอร์เน็ต เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการศึกษาทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง รวมถึงข้อมูลอื่น ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวิจัยนี้ได้

2. ออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

การออกแบบและติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง (ภาพที่ 1) มีหลักการโดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งฉากกับแนวราบบนฐานรองเป็นรูปสี่เหลี่ยม หันหน้าแผงเซลล์ไปทาง ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ทิศละ 1 ชุด พร้อมทั้งติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 14 องศากับแนวราบหันหน้าเซลล์ไปทางทิศใต้ 1 ชุด โดยที่แต่ละชุดมีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า 100 วัตต์ เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและเครื่องแปลง

กระแสไฟฟ้า (Grid Tie Invertor) จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบสายส่ง (อาคารเรียน) และวัดค่าความเข้มแสงดวงอาทิตย์จากเครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer) ที่ติดตั้งใกล้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง



ภาพที่ 1 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง

3. การทดสอบการผลิตพลังงงานไฟฟ้า

การทดสอบการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทำการเก็บข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) กำลังไฟฟ้า (วัตต์) พลังงานไฟฟ้า (วัตต์ชั่วโมง) ด้วยเซนเซอร์วัดพลังงานไฟฟ้า แบบ real-time โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Thing) พร้อมทั้งเก็บค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร) ที่บันทึกใส่ใน Secure Digital Card ตั้งแต่วันที่ 22 มีนาคม 2567 ถึง 28 พฤษภาคม 2567

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และประสิทธิภาพรวมของระบบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์: โดยนำข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และกำลังแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบไปวิเคราะห์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละทิศ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\eta_{PV}(\%) = \frac{P_{DC}}{GA} \times 100 \qquad (1)$$

โดยที่ η_{PV} คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)

P_{DC} คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบ (W)

G คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ (W/m^2)

A คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์รวม (m^2)

2) ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า: โดยนำข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปวิเคราะห์ เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในแต่ละทิศ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\eta_{inv}(\%) = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} \times 100 \qquad (2)$$

โดยที่ η_{inv} คือ ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (%)

P_{AC} คือ กำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (W)

3) ประสิทธิภาพรวมของระบบ: โดยนำข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบไปวิเคราะห์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

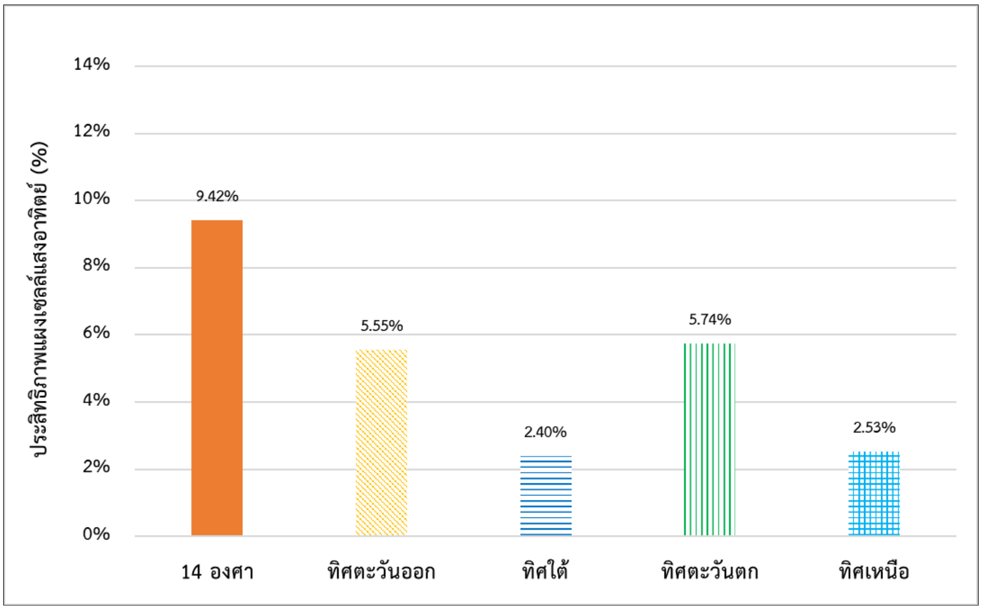
$$\eta_{SYS}(\%) = \frac{P_{AC}}{GA} \times 100 \qquad (3)$$

โดยที่ η_{SYS} คือ ประสิทธิภาพรวมของระบบ (%)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การศึกษาประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งแสดงให้เห็นว่าด้านทิศตะวันตกและทิศตะวันออกแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งมีประสิทธิภาพสูงเกินครึ่งหนึ่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งทำมุม 14 องศากับแนวราบหันไปทางทิศใต้ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกได้รับแสงอาทิตย์เต็มที่ในช่วงเช้าและแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันตกได้รับแสงอาทิตย์เต็มที่ในช่วงบ่าย ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์มีผลต่อประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [10] แต่ในส่วนของด้านทิศเหนือและทิศใต้นั้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ เนื่องจากช่วงที่ทำการศึกษาดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้อยู่เล็กน้อยจนถึงโคจรอ้อมเหนือเล็กน้อย จึงส่งผลให้มุมตกกระทบรังสีแสงอาทิตย์ห่างจากมุมแนวตั้งฉากกับแผง หรือที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สูง มีผลแสดงดังภาพที่ 2

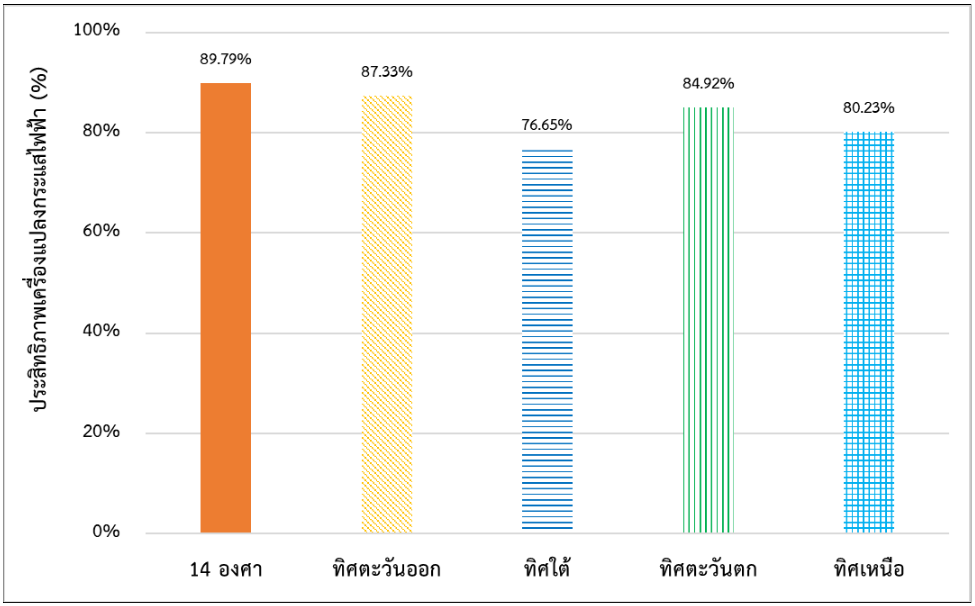


ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจากผลวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและตะวันตกมีประสิทธิภาพใกล้เคียง เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าโดยทั่วไปอยู่ที่ 85%-90% [11] และกับแบบติดตั้งทำมุม 14 องศากับแนวราบหันไปทางทิศใต้มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 89.79% แต่ในส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้นั้นมีประสิทธิภาพ

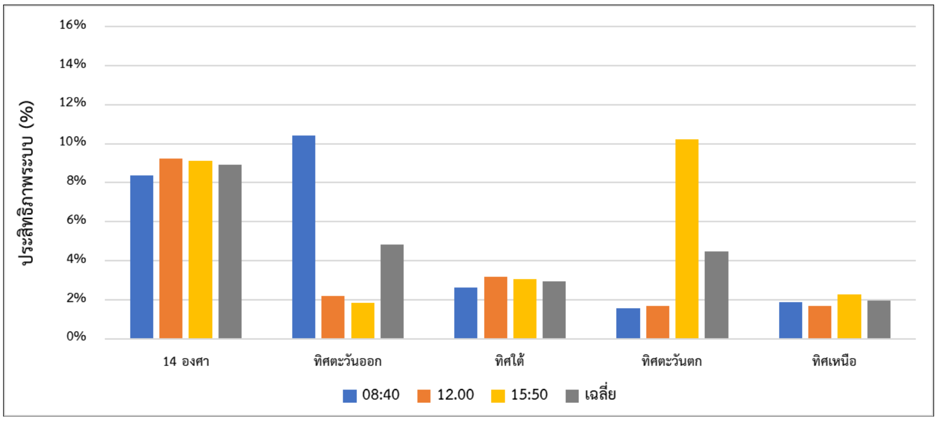
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ต่ำกว่า มีผลแสดงดังภาพที่ 3 เนื่องจากทั้งสองทิศนี้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สูงมากเมื่อเทียบกับด้านทิศตะวันออกและตะวันตก ดังนั้นจึงอธิบายได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งในแต่ละทิศได้รับแตกต่างกัน ส่งผลต่อประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าด้วย สอดคล้องกับผลการศึกษาของ [12] คือ ยิ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มาก ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นไปด้วย ขณะเดียวกันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์น้อยประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าลดลงเช่นกัน เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ



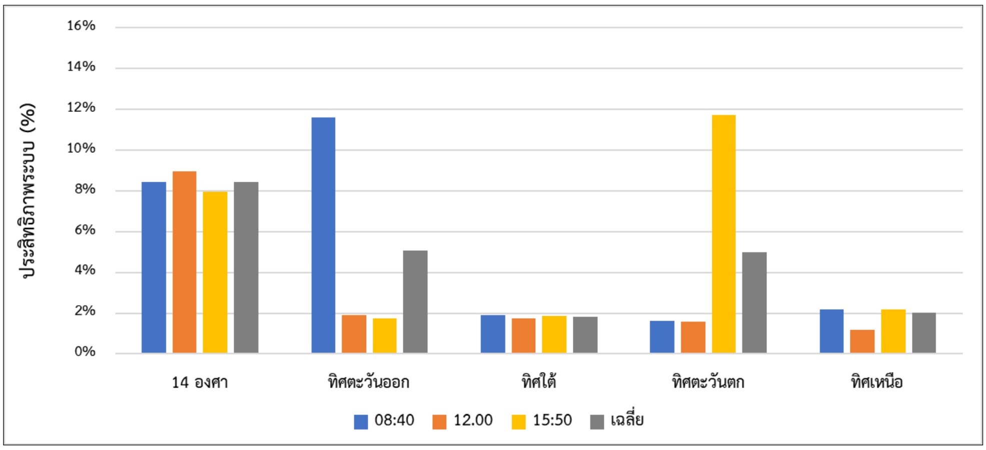
ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

ประสิทธิภาพรวมของระบบ

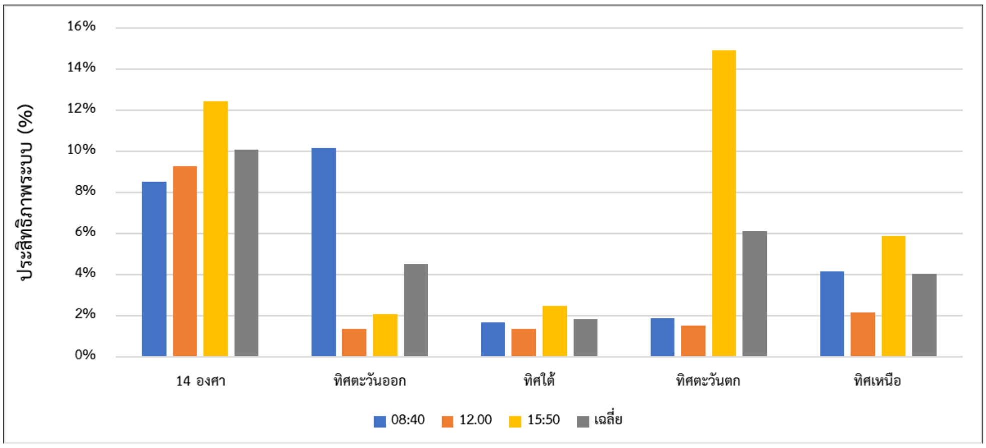
ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการโคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้ของดวงอาทิตย์มีผลไม่มากต่อประสิทธิภาพรวมของระบบด้านทิศตะวันออกและตะวันตก แม้ว่าในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอ้อมใต้ประสิทธิภาพรวมของระบบลดลงเล็กน้อย แต่ประสิทธิภาพรวมของระบบเฉลี่ยไม่แตกต่างกันมาก ในส่วนด้านทิศเหนือและทิศใต้นั้นมีผลมาก โดยเฉพาะด้านทิศใต้จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพรวมของระบบลดลงจากเดิม เมื่อการโคจรของดวงอาทิตย์เปลี่ยนจากอ้อมใต้ไปโคจรอ้อมเหนือ เช่นเดียวกันเมื่อการโคจรของดวงอาทิตย์เปลี่ยนจากอ้อมเหนือกลับมาโคจรอ้อมใต้ ประสิทธิภาพรวมของระบบด้านทิศเหนือจะลดลงเช่นกัน มีผลแสดงดังภาพที่ 4-6 อย่างไรก็ตามจากการศึกษาคาดว่าประสิทธิภาพรวมของระบบด้านทิศเหนือจะสามารถเพิ่มขึ้นได้อีกเมื่อดวงอาทิตย์โคจรอ้อมเหนือมากขึ้น เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศเหนือจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น เช่นเดียวกันเมื่อดวงอาทิตย์กลับมาโคจรอ้อมทิศใต้มากขึ้นกว่าช่วงที่ทำการทดสอบ ประสิทธิภาพรวมของระบบด้านทิศใต้มีแนวโน้มจะสูงขึ้นเนื่องจากมุมที่รังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบจะเข้าหามุมที่ตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น หรือได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น



ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพรวมของระบบ ณ วันที่ 22 มีนาคม 2567



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพรวมของระบบ ณ วันที่ 30 เมษายน 256



ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพรวมของระบบ ณ วันที่ 28 พฤษภาคม 2567

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าช่วงการโคจรอ้อมเหนือและอ้อมใต้ของดวงอาทิตย์มีผลต่อประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งโดยเฉพาะด้านทิศใต้และทิศเหนือ ที่จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อดวงอาทิตย์โคจรไปฝั่งตรงกันข้ามแผงที่ติดตั้ง ส่วนระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกมีประสิทธิภาพสูงและใกล้เคียงกัน ดังนั้นหากต้องการใช้ประโยชน์พื้นที่ด้านข้างอาคารในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า การติดตั้งแบบแนวตั้งด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกจะมีความเหมาะสมมากกว่า ด้านทิศเหนือและทิศใต้ เนื่องจากจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกันในทุก ๆ วัน ในขณะที่แผงด้านทิศเหนือและทิศใต้จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีขึ้นในช่วงที่ดวงอาทิตย์โคจรอยู่ในฝั่งที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่านั้น

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถศึกษาต่อยอดได้ด้วยการทดสอบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งและ เก็บข้อมูลให้ครบตลอดทั้งปี ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้งครบถ้วนมากยิ่งขึ้น และสามารถศึกษาติดตั้งใช้งานจริงกับอาคารพร้อมทั้งศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบแนวตั้ง ก่อนที่จะนำไปติดตั้งใช้งานจริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่มอบทุนเรียนดีเพื่อกาศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา ตามบันทึกข้อตกลงเลขที่ ทบ 40/2565 และขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการวิจัย ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2566). **นโยบายและแผนพลังงานหมุนเวียนของประเทศไทย หลักสูตรวิทยากรพลังงานสำหรับนักบริหารรุ่นใหม่ รุ่น 9 (วพม. 9)** สืบค้นเมื่อ 26 ธันวาคม 2566, จาก https://www.thailand-energy-academy.org/assets/upload/coursedocument/file/Renewable%20Energy%20Policy.pdf

[2] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2567). **สถานการณ์พลังงานปี 2566 และแนวโน้มปี 2567** สืบค้นเมื่อ 14 ตุลาคม 2567, จาก https://www.eppo.go.th/images/Energy-Statistics/energyinformation/Forecast/Shortterm Forecast/EnergyForecast2023.pdf

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). **โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (ปี 2560)** สืบค้นเมื่อ 26 ธันวาคม 2566, จาก https://www.dede.go.th /download/OpenBigData/Solar_Map_1_2560.pdf

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2554). **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2** สืบค้นเมื่อ 26 ธันวาคม 2566, จาก https://www.dede.go.th/article_attach/h_solar.pdf

[5] Shen, J. L. T., & Fan, J. (2015). **Study on the performance of vertical solar pv systems in tropical region.** School of Electrical and Electronic Engineering, Singapore Polytechnic.

[6] Pantić, L. S., Pavlović, T. M., & Milosavljević, D. D. (2015). A practical field study of performances of solar modules at various positions in Serbia. **Thermal Science.** 19(suppl. 2), 511-523.

[7] Reker, S., Schneider, J., & Gerhards, C. (2022). Integration of vertical solar power plants into a future German energy system. **Smart Energy.** 7, 100083.

[8] Ghazali, A., Haw, L. C., Mat, S., & Sopian, K. (2017). Performance and financial evaluation of various photovoltaic vertical facades on high-rise building in Malaysia. **Energy and Buildings.** (134), 306-318.

[9] ศศิเทพ ศรีไชยกิจ. (2557). การเพิ่มสมรรถนะของกรอบอาคารด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของอาคารสำนักงาน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

[10] เอกพันธ์ ผัดศรี คณภรณ์ ก้อนแก้ว และอัครินทร์ อินทนิเวศน์. (2561). “การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ และสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบ เชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 kW”, ใน **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ครั้งที่ 3 ประจำปี 2561,** วันที่ 30 สิงหาคม 2561 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี

[11] กรมประชาสัมพันธ์. (2564). **พลังงานทางเลือก ตอน 2 อินเวอร์เตอร์** สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มิถุนายน 2567, จาก https://www.prd.go.th/th/content/category/detail/id/31/iid/10928

[12] Mondol, J. D., Yohanis, Y. G., & Norton, B. (2007). The effect of low insolation conditions and inverter oversizing on the long-term performance of a grid-connected photovoltaic system. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications,** 15(4), 353-368.

การศึกษาประสิทธิภาพในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความสูงและบนพื้นที่ที่มีลักษณะแตกต่างกัน

The Efficiency Study of Solar Panel Installation at Different Height Levels and Area Types

นูรอัยนี สาแม[1] เอกชัย สิงหเดช[2] และ วาริษา วาแม[1*]
Nur-ainee Samae[1], Ekachai Singhadet[2], and Warisa Wamae[*]

[1] สาขาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000
[2] กองกลาง สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000
[1] Renewable Energy Technology, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Muang, Yala 95000
[2] Central Administrative Affairs Division, Yala Rajabhat University, Muang, Yala 95000
*Corresponding author: Tel.: 08-19638505. E-mail address: warisa.w@yru.ac.th

Abstract

The objective of this research is to study the efficiency of solar panels installed at 4 different heights: 30, 60, 90, and 120 centimeters and on 3 different types of floors: on the ground, on crushed stone, and concrete. Electric current, voltage, solar radiation intensity, ambient temperature, and under solar panel temperature were recorded at four solar panel height levels. The solar radiation was collected over intensity range of 700–1100 W/m^2 to calculate the efficiency of solar panel. The study results, it was found that the temperature under panels installed on all three floor types decreased as the panel height increased. This is related to the efficiency of the panel increasing as the panel height increases as well. The panels installed at a height of 120 centimeters on a concrete floor had the highest efficiency, at 19.02 percent, followed by the ground, and crushed stone floors at 18.82% and 18.26%, respectively.

Keywords: Solar panel, installation area, efficiency

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งที่ระดับความสูงแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 30, 60, 90, และ 120 เซนติเมตร และติดตั้งบนพื้นที่ที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 ประเภท ได้แก่ การติดตั้งบนพื้นดิน พื้นหินคลุก และพื้นคอนกรีต ในแต่ละการทดลองได้บันทึกค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และนำข้อมูลที่บันทึกได้ในช่วงที่มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ระหว่าง

700–1,100 W/m^2 มาคำนวณค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละการทดลอง จากผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิใต้แผงที่ติดตั้งบนพื้นทั้ง 3 ประเภทลดลงเมื่อระดับความสูงของแผงเพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของแผงที่เพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของแผงเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยแผงที่มีการติดตั้งที่ระดับความสูง 120 เซนติเมตร บนพื้นคอนกรีตมีประสิทธิภาพสูงสุด คือ ร้อยละ 19.02 รองลงมาเป็นพื้นดิน และพื้นหินคลุก ที่ร้อยละ 18.82 และ 18.26 ตามลำดับ

คำสำคัญ : แผงเซลล์แสงอาทิตย์, พื้นที่ติดตั้ง, ประสิทธิภาพ

บทนำ

การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายและเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาด สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า และสามารถสร้างรายได้จากการขายไฟฟ้าคืนให้การไฟฟ้าที่สำคัญ การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันมีราคาที่ถูกลง ทำให้การติดตั้งมีความคุ้มค่ามากยิ่งขึ้นและคืนทุนได้เร็วขึ้น ซึ่งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันสามารถติดตั้งได้หลากหลายพื้นที่ ทั้งบนพื้น บนหลังคาบ้าน บนหลังคาจอดรถ บนผิวน้ำ เป็นต้น โดยให้อยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ดีตลอดทั้งวัน และไม่มีการบดบังเซลล์แสงอาทิตย์จากสิ่งรอบข้างอื่นใด ทั้งนี้ การติดตั้งบนพื้นดิน ยังมีความสำคัญและได้รับความนิยม โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้าที่ต้องการกำลังการผลิตสูง เช่น โซล่าร์ฟาร์ม เป็นต้น เนื่องจากติดตั้งและดูแลรักษาระบบได้ง่าย

การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นนิยมติดตั้งแบบยึดอยู่กับที่ เนื่องจากติดตั้งง่ายและลงทุนน้อย ซึ่งนอกจากการติดตั้งบนพื้นดินโดยตรงแล้ว ยังมีการติดตั้งโดยการปรับพื้นที่ให้มีความเหมาะสมและสะดวกในการดูแล เช่น การเทหินคลุกเพื่อป้องกันหญ้าขึ้นในบริเวณที่ติดตั้งแผง การเทพื้นคอนกรีตเพื่อป้องกันการกระเด็นของดินหรือหิน หรือการติดตั้งบนหลังคาที่มีลักษณะเป็นพื้นคอนกรีตบนดาดฟ้า เป็นต้น โดยลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันดังกล่าว มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity, ε) ที่ต่างกันเช่นกัน เช่น พื้นคอนกรีต มีค่า ε อยู่ในช่วง 0.88 - 0.94 ส่วนพื้นดิน มีค่า ε อยู่ในช่วง 0.93 - 0.96 เป็นต้น [1] ทั้งนี้ ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สิ่งที่ควรพิจารณาคือประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผง และปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อุณหภูมิของแผง โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุกๆ 1 องศาเซลเซียส สามารถส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.5 จึงมีผลที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงไปด้วย [2] ดังนั้น การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่ความร้อนต่างกัน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แตกต่างกัน นอกจากนี้ ระยะทางของการแผ่รังสีความร้อน ยังมีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิของแผง การติดตั้งแผงในระดับความสูงที่แตกต่างกัน จึงอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงได้เช่นกัน

งานวิจัยนี้ จึงสนใจศึกษาผลของระดับความสูงในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่มีลักษณะแตกต่างกัน เพื่อหาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเพื่อใช้ในการพิจารณาความเหมาะสมในการติดตั้งต่อไป

วิธีดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. โครงเหล็กสำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การประกอบโครงเหล็กติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้เหล็กกล่องขนาด 2x1 นิ้ว ซึ่งเป็นโครงติดตั้งที่สามารถปรับระดับความสูงของแผงได้ 4 ระดับ ได้แก่ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร

2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ขนาด 160 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 18.8 โวลท์ กระแสสูงสุด 8.51 แอมแปร์

3. เครื่องทดสอบระบบโซล่าเซลล์

เครื่องทดสอบระบบโซล่าเซลล์ (Seaward รุ่น PV150) สำหรับวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ วัดค่าแรงดันไฟฟ้า วัดค่ากำลังไฟฟ้า วัดค่ากระแสไฟฟ้า วัดค่าอุณหภูมิบรรยากาศและวัดค่าอุณหภูมิใต้แผงโซล่าเซลล์

4. เครื่องวัดความเร็วลม

เครื่องวัดความเร็วลม Digital Anemometer รุ่น GM816A สำหรับวัดความเร็วลมและอุณหภูมิแวดล้อม

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. ออกแบบโครงสร้างติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถปรับระดับความสูงได้

3. ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่ที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 ประเภท ได้แก่ พื้นดิน พื้นคอนกรีต และพื้นหินคลุก ณ อาคารปฏิบัติการพลังงานทดแทน ศูนย์การเรียนรู้แม่ลาน มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

4. เก็บข้อมูลวิจัยและบันทึกผล โดยบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม และอุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ทั้งหน้าแผงและใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ระดับความสูงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 4 ระดับ ได้แก่ 30, 60, 90, และ 120 เซนติเมตร บนพื้นที่ติดตั้งที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยระดับความสูงที่กำหนด เป็นระดับความสูงที่วัดจากด้านหน้าหรือด้านที่ต่ำสุดของแผง ติดตั้งหันไปทางทิศใต้ และทำมุมเอียง 10 องศา ทั้งนี้การเลือกช่วงระดับความสูงที่ศึกษาระหว่าง 30 ถึง 120 เซนติเมตร เป็นระดับความสูงต่ำสุดและสูงสุดที่สามารถดูแลระบบได้ง่าย ไม่เป็นอุปสรรคในการตรวจสอบหรือตรวจวัดค่าต่างๆ ของแผง โดยหากระดับความสูงต่ำกว่า 30 เซนติเมตร อาจมีความเสี่ยงจากการกระเด็นของเศษหินหรือวัสดุจากพื้นได้ง่าย และหากระดับความสูงมากกว่า 120 เซนติเมตร การดูแลบำรุงรักษา การทำความสะอาด การตรวจสอบความสมบูรณ์ของแผงจะทำได้ยากขึ้น

5. วิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง เพื่อคำนวณประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งบนพื้นที่ที่มีลักษณะแตกต่างกัน

6. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งที่ระดับความสูง 30, 60, 90, และ 120 เซนติเมตร บนพื้นที่ที่มีลักษณะแตกต่างกัน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. บันทึกข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า อุณหภูมิแผงโซล่าเซลล์ทั้งบนแผงและใต้แผงที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้เครื่องทดสอบระบบโซล่าเซลล์ (Seaward รุ่น PV150)

2. การวัดอุณหภูมิแวดล้อมและความเร็วลม โดยใช้ Digital Anemometer รุ่น GM816A

3. การเก็บข้อมูลทั้งข้อ 1 และ 2 ทุก 15 นาที

4. ดำเนินการเก็บข้อมูลผลการทดลอง ณ อาคารปฏิบัติการพลังงานทดแทน ศูนย์การเรียนรู้แม่ลาน มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

5. ช่วงเวลาในการทดสอบและเก็บข้อมูล เวลา 09:00 น. - 15:00น.

การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Energy conversion efficiency) คืออัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเอาท์พุตสูงสุดต่อพลังงานของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเรียกว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และใช้สัญลักษณ์ว่า η คำนวณได้จาก

$$\text{ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าเอาท์พุตสูงสุด} \times 100\%}{\text{พื้นที่รับแสง} \times \text{กำลังของแสงที่ตกกระทบเซลล์}}$$

$$\eta = \frac{p_{max}(W)}{A(m^2) \times p_{in}(W)} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

p_{max} คือ กำลังไฟฟ้าเอาท์พุตสูงสุด

$A(m^2)$ คือ พื้นที่รับแสง

$p_{in}(W)$ คือ กำลังของแสงที่ตกกระทบเซลล์

และกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ คำนวณได้จาก

$$P = VI \quad (2)$$

เมื่อ P คือ กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (W)

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าของแผงเซลล์อาทิตย์ (V)

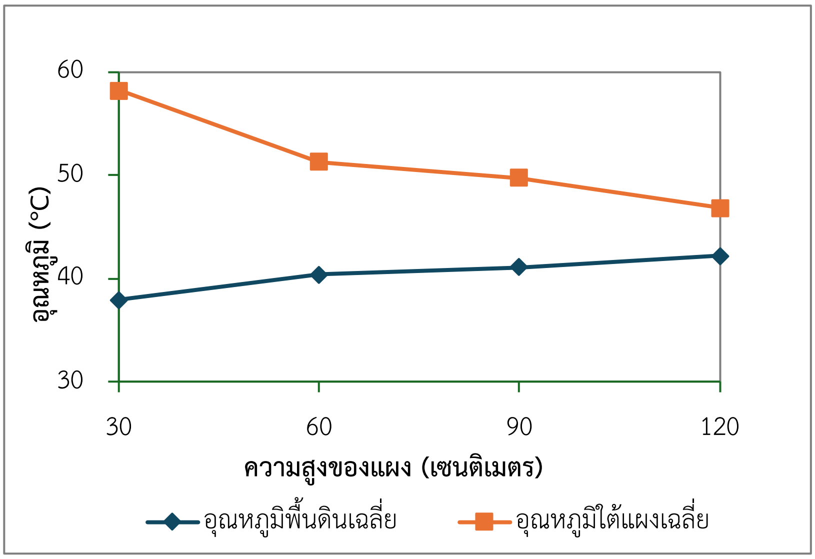
I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านของแผงเซลล์อาทิตย์ (A)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการทดลอง

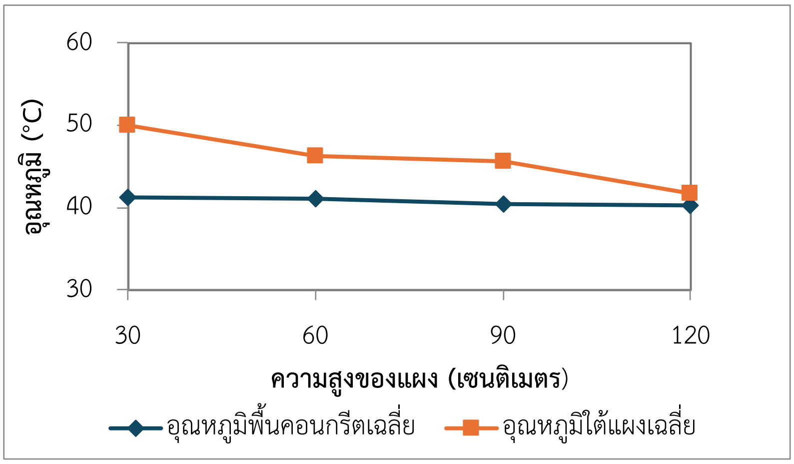
ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของพื้นที่และอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 ประเภท ได้แก่ พื้นดิน พื้นคอนกรีต และพื้นหินคลุก ดังแสดงในภาพที่ 1 ที่ระดับความสูง 4 ระดับ ได้แก่ 30, 60, 90, และ 120 เซนติเมตร ได้บันทึกอุณหภูมิของพื้นแต่ละประเภทและนำมาหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของพื้นที่และอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการเก็บข้อมูลในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ระหว่างช่วงเวลา 09.00 – 15.00 น. ช่วงค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 700-1100 W/m^2 พบว่า การติดตั้งบนพื้นทั้ง 3 ประเภทที่ระดับความสูง 120 เซนติเมตร เป็นระดับความสูงที่ทำให้อุณหภูมิใต้แผงมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งอุณหภูมิที่วัดได้เหนือพื้นหินคลุกมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดประมาณ 43.2 °C รองลงมาเป็นพื้นดินเฉลี่ย 42.2 °C และพื้นคอนกรีตเฉลี่ย 41.2 °C ขณะที่อุณหภูมิใต้แผงที่ติดตั้งบนพื้นดินมีค่าสูงสุด เท่ากับ 58.2°C รองลงมาเป็นพื้นคอนกรีต และพื้นหินคลุก เท่ากับ 50°C และ 49.5°C ตามลำดับ ดังข้อมูลแสดงในภาพที่ 2 – 4

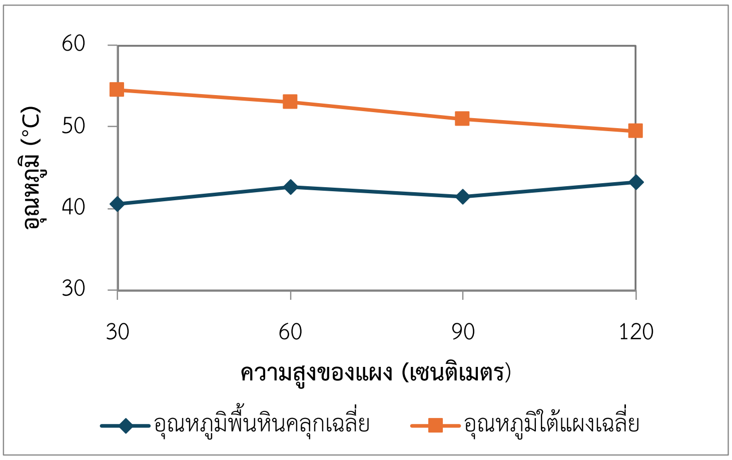
ภาพที่ 1 ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่มีลักษณะแตกต่างกัน
ก) การติดตั้งบนพื้นดิน ข) การติดตั้งบนพื้นคอนกรีต และ ค) การติดตั้งบนหินคลุก



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นดินกับอุณหภูมิใต้แผงเฉลี่ยที่ความสูงทั้ง 4 ระดับ



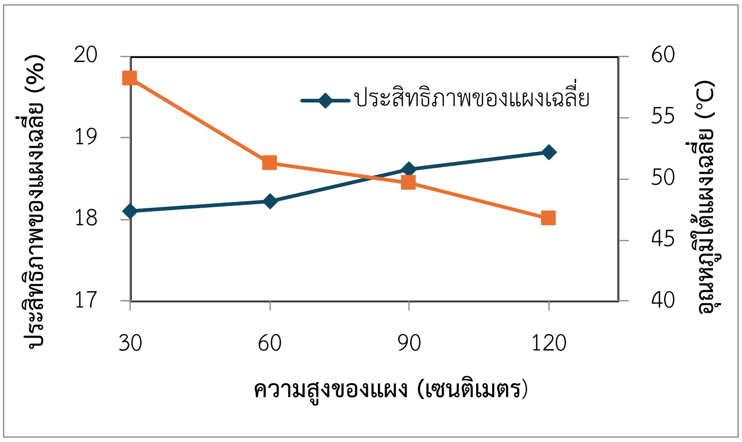
ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นคอนกรีตกับอุณหภูมิใต้แผงเฉลี่ยที่ความสูงทั้ง 4 ระดับ



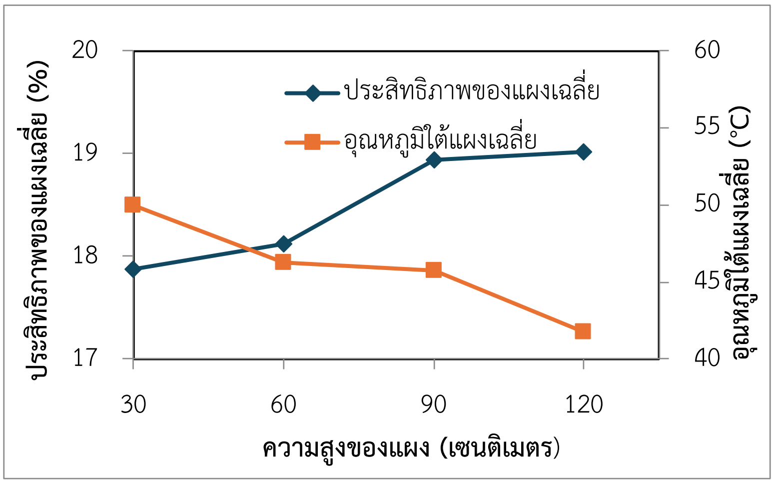
ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิพื้นหินคลุกกับอุณหภูมิใต้แผงเฉลี่ยที่ความสูงทั้ง 4 ระดับ

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นแต่ละประเภท

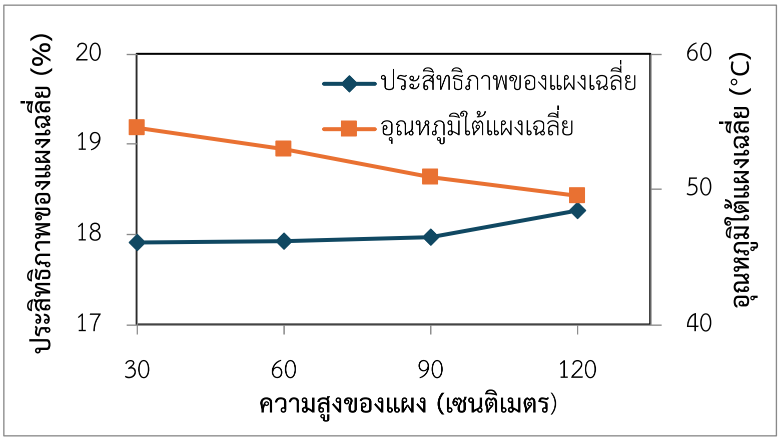
จากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน พื้นคอนกรีต และพื้นหินคลุก บันทึกข้อมูลเพื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของแผงกับอุณหภูมิใต้แผง พบว่า ค่าประสิทธิภาพของแผงมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน คือประสิทธิภาพของแผงเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นมี ซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิใต้แผงที่ลดลง โดยการติดตั้งบนพื้นทั้ง 3 ประเภทมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ระดับความสูง 120 เซนติเมตร โดยพื้นที่มีอุณหภูมิใต้แผงต่ำสุดคือพื้นคอนกรีต เฉลี่ย 41.8°C ค่าประสิทธิภาพของแผงเฉลี่ยประมาณร้อยละ 19.02 รองลงมาเป็นพื้นดิน มีอุณหภูมิใต้แผงที่ระดับความสูง 120 เซนติเมตร เฉลี่ย 46.8°C ค่าประสิทธิภาพของแผงเฉลี่ยสูงสุดประมาณร้อยละ 18.82 และพื้นหินคลุก มีอุณหภูมิใต้แผงที่ระดับความสูง 120 เซนติเมตร เฉลี่ย 49.5°C ค่าประสิทธิภาพของแผงเฉลี่ยประมาณร้อยละ 18.26 ดังแสดงในภาพที่ 5 - 7 จากผลการศึกษา เห็นได้ว่า อุณหภูมิใต้แผงมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของแผงที่ติดตั้งบนพื้นที่แตกต่างกันเทียบกับความสูงทั้ง 4 ระดับ ดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการลดอุณหภูมิใต้แผงด้วยวิธีการนำน้ำเย็นมาลดอุณหภูมิใต้แผง [3] การใช้ท่อความร้อนแบบแบนโดยใช้เอทานอลเป็นสารทำงานเพื่อระบายความร้อนใต้แผง [4] และการลดอุณหภูมิของแผงด้วยการพ่นน้ำและแบบน้ำหยด [5] ซึ่งมีผลทำให้สามารถเพิ่มค่าประสิทธิภาพของแผงได้



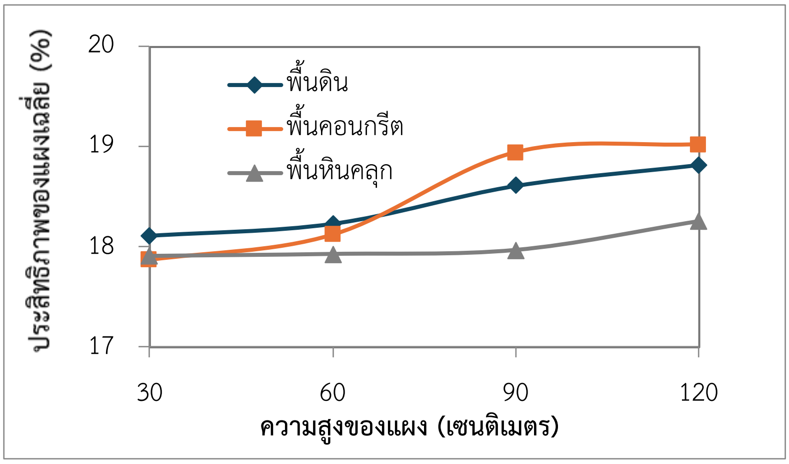
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิใต้แผงกับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดิน ที่ระดับความสูงต่างๆ



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิใต้แผงกับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นคอนกรีตที่ระดับความสูงต่างๆ



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิใต้แผงกับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นหินคลุกที่ระดับความสูงต่างๆ



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นประเภทต่างๆ ที่ความสูง 4 ระดับ

ทั้งนี้ ระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิใต้แผงที่ลดลง เนื่องจากความร้อนที่สะท้อนจากพื้นดิน พื้นคอนกรีต และพื้นหินคลุกไปยังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้น หากติดตั้งในระดับความสูงของแผง (วัดจากด้านหน้าแผงหรือด้านที่ต่ำที่สุด) เกิน 120 เซนติเมตร อาจทำให้อุณหภูมิใต้แผงลดลงได้อีก แต่จะส่งผลให้การบำรุงรักษาและการทำความสะอาดมีความยากลำบากมากขึ้น เนื่องจากเป็นระดับความสูงที่เกินระดับที่สามารถมองเห็น การตรวจสอบ การตรวจวัดค่าต่างๆ หรือความสมบูรณ์บนหน้าแผง และทำความสะอาดได้ การติดตั้งโดยทั่วไปจึงมักติดตั้งที่ระดับความสูงของด้านหน้าแผงไม่เกิน 120 เซนติเมตร

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งที่ระดับความสูงที่แตกต่างกัน 4 ระดับ (วัดจากด้านหน้าหรือด้านที่ต่ำสุดของแผง) ได้แก่ 30, 60, 90 และ 120 เซนติเมตร และติดตั้งบนพื้นที่มีลักษณะแตกต่างกัน 3 ประเภท ได้แก่ พื้นดิน พื้นคอนกรีต และพื้นหินคลุก โดยเก็บบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิพื้น และอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้หันไปทางทิศใต้ ทำมุมเอียง 10 องศากับแนวระดับ จากผลการทดลองพบว่า การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นทั้ง 3 ประเภท ค่าประสิทธิภาพมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความสูง 120 เซนติเมตร แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นคอนกรีตมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาเป็นพื้นดิน และพื้นหินคลุก โดยมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 19.02, 18.82 และ 18.26 ตามลำดับ ทั้งนี้ พบว่าค่าประสิทธิภาพที่สูงขึ้นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิใต้แผงที่ลดลง อย่างไรก็ตาม การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น อาจสามารถลดอุณหภูมิใต้แผงและเพิ่มค่าประสิทธิภาพของแผงได้ แต่จะเป็นอุปสรรคในการดำเนินการดูแลรักษาระบบการทำความสะอาด การตรวจสอบและตรวจวัดสภาพความสมบูรณ์ของแผง รวมถึงมีต้นทุนด้านโครงสร้างติดตั้งแผงที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจาก ดร.วาริษา วาแม อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย และคุณเอกชัย สิงหเดช วิศวกรพลังงาน ขอขอบคุณอุปกรณ์การทดลองและสถานที่ทดลองวิจัยที่ศูนย์การเรียนรู้แม่ลาน มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). **ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานอาวุโส ด้านความร้อน**. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

[2] กองถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี . (ม.ป.ป.). **การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์**. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

[3] พศวีร์ ศรีโหมด เติมพงษ์ ศรีเทศ วิชชากร เฮงศรีธวัช และพงศกร เจริญสุข. (2563). การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์. **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า** ครั้งที่ 43/28-30 ตุลาคม 2563 มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[4] อนุรัตน์ เทวตา และ ยุธนา ศรีอุดม. (2561). การศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อความร้อนแบบแบน. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร**. 12(2), 83-93.

[5] ประภาพิทย์ บุญหล้า เจริญพร เลิศสถิตธนกร และ นุชิดา สุวแพทย์. (2556). การปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเทคนิคการลดอุณหภูมิ. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**. 8(2), 1-10.

อิทธิพลของอุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์ที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์
Influence of under solar cell panel temperature on its efficiency

สุรัตติกาล สุวรรณพรหม[1], สันติ หวังนิพพานโต[1], ศักดา พรหมเหมือน[1], พิษณุ ศรีธงชัย[1] และ ศิวกรณ์ ศิริมาตยาพันธุ์[5]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
[2] โรงเรียน มอ. วิทยานุสรณ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90112
Corresponding author: E-mail address: aaaeen1@gmail.com

Abstract

The purpose of this research was to studied the Influence of under solar cell panel temperature on the efficiency of solar cell panel by varies the air temperature under of its. The test set consisted of 260-watt solar cell panel that was made of poly-crystalline. At the range intensity of the sun is 900-1,000W/m2, the first test is controlled the air temperature at under solar cell panel, while the second test is watered on the surface of solar cell panel, temperature and the power of its were recorded with Solar PV tester (SEAWARD PV200) in accordance with international standards IEC 61829 ,The results showed that the efficiency of solar cell panel was decreased when the under solar cell panel temperature was high, and the efficiency of solar cell panel while watered on its surface was higher than normally temperature surface about 13.8% at the same under solar cell panel temperature.

Keywords: Efficiency, Solar cell panel, below solar cell panel temperature

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์ต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศใต้แผงโซลาร์เซลล์ ชุดทดสอบประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 260 วัตต์ ทำจากโพลีคริสตัลไลน์ ที่ช่วงความเข้มของดวงอาทิตย์อยู่ที่ 900-1,000วัตต์ต่อตารางเมตร การทดสอบครั้งแรกจะควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ใต้แผงโซลาร์เซลล์ การทดสอบครั้งที่สองจะรดน้ำบนพื้นผิวแผงโซลาร์เซลล์ อุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ถูกบันทึกด้วยเครื่องทดสอบโซลาร์เซลล์(SEAWARD PV200) ตามมาตรฐาน IEC 61829 ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ลดลงเมื่ออุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์สูงขึ้น และประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ขณะรดน้ำบนพื้นผิวจะสูงกว่าอุณหภูมิพื้นผิวปกติประมาณ 13.8% ณ อุณหภูมิภายใต้แผงโซลาร์เซลล์เท่ากัน

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพ แผงโซลาร์เซลล์ อุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์

บทนำ

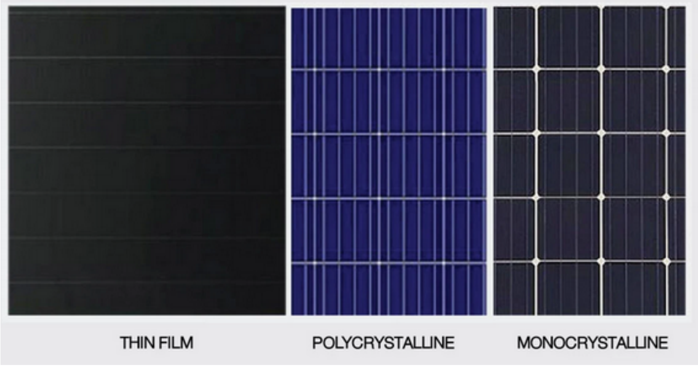
ในปัจจุบันมีการใช้เชื้อเพลิงที่ได้จากธรรมชาติในประเทศเป็นอย่างมากเช่น น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งมีแนวโน้มในการนำเข้ามาจากต่างประเทศมากขึ้นทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงขึ้นทุกปี แสงอาทิตย์มีประโยชน์ในหลายรูปแบบทั้งโซลาร์ฮีท(Solar heat) และโซลาร์เซลล์(Solar cell) งานวิจัยนี้จะนำโซลาร์เซลล์ (Solar Cell)มาใช้ประโยชน์ให้เต็มประสิทธิภาพมากสุดทำให้สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงได้เป็นจำนวนมากในแต่ละปี จากข้อมูลกรมพัฒนาพลังงานทดแทน [1] กล่าวถึงการสะสมความร้อนภายในโครงสร้างแผงโซลาร์เซลล์ ถ้าแผงโซลาร์เซลล์เซลล์มีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 25 °C มีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของโซลาร์เซลล์ลดลงประมาณ 0.5% ต่อ 1°C ที่สูงขึ้น ดังนั้นที่อุณหภูมิทำงานจริงประมาณ 50 – 60 °C ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์จะลดลง ประมาณ 10% – 15% จากปัจจัยดังกล่าวทำให้มีการวิจัยเพื่อเพิ่มสมรรถนะของแผงโซลาร์เซลล์มากขึ้น Beihua[2] ได้ศึกษาผลของฝุ่นกับสมรรถนะของแผงโซลาร์เซลล์ซึ่งมีผลให้สมรรถนะลดลง Phuengkum [3] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของแผงโซลาร์เซลล์ โดยระบบหล่อเย็นด้วยน้ำและอากาศพบว่าทำให้อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ ลดลง 21.05 °C และ9.19 °C ตามลำดับและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 0.51% และ 0.28% ตามลำดับ Bhulla [4] ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ โดยการลดอุณหภูมิด้วยการระบายความร้อน แบบพ่นและหยดน้ำบนผิวหน้าแผงโซลาร์เซลล์ พบว่าสามารถลดอุณหภูมิโดยเฉลี่ย 30.1% และ39.9% ตามลำดับ ส่งผลให้แผงโซลาร์เซลล์ มีค่าประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น 8.6% และ 12.6% ตามลำดับ ดังนั้น การศึกษาวิธีการระบายความร้อนออกจากแผงโซลาร์เซลล์เป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก

วัตถุประสงค์การวิจัยนี้จะใช้การพาความร้อนแบบธรรมชาติในการระบายความร้อนจากแผงโซลาร์เซลล์โดยการควบคุมอุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์ในย่าน 30-60°C และทดสอบภายใต้แสงอาทิตย์จริงในช่วงความเข้มแสง 900-1,000W/m^2 ใช้เครื่องมือSEAWARD รุ่น PV200[6] บันทึกค่าอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าของแผงแบบอัตโนมัติตามมาตรฐาน IEC 61829 พร้อมจำลองฝนตก(รดน้ำ)บนผิวหน้าด้านบนของแผงโซลาร์เซลล์อย่างทันทีทันใด เพื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ ผลการวิจัยที่ได้จะเป็นแนวทางการนำแผงโซลาร์เซลล์มาใช้ได้เต็มประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

วิธีการวิจัย

1. ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์

แผงโซลาเซลล์ที่มักนำมาใช้แบ่งออกเป็น 3ชนิดคือแผงโซลาเซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells) แผงโซลาเซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells)และ แผงโซลาเซลล์ชนิด ฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cells)ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผงโซลาร์เซลล์ชนิดต่างๆ[5]

2.ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับอุณหภูมิและการคำนวณประสิทธิภาพ (η) ของแผงโซลาร์เซลล์

คุณสมบัติของโซลาร์เซลล์เมื่ออุณหภูมิ(T)สูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง[1] ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด(P_{Max}) ของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วยดังสมการ

$$P_{Max} \infty T \tag{1}$$

เมื่อเราเขียนขอบเขต(Boundary layer)รอบแผงโซลาร์เซลล์ตามภาพที่ 2 จะเห็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกและเข้าขอบเขตตามลำดับ ดังนั้นสามารถหาประสิทธิภาพ (η) ของแผงโซลาร์เซลล์ได้ตามสมการที่ (1)

$$\eta = \frac{P_{elec}}{P_{sun}} = \frac{IU}{AG} \tag{2}$$

Pelec คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานไฟฟ้าหรือกำลังไฟฟ้า (W)

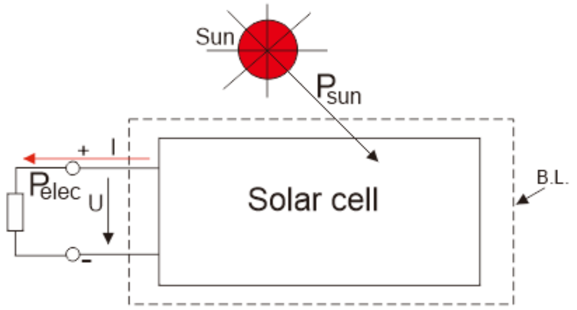
Psun คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานแสงหรือกำลังของแสง (W)

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

U คือ แรงดันไฟฟ้า (V)

G คือ ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2)

A คือ พื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ของแผงโซลาร์เซลล์ (m^2)



ภาพที่ 2 การเขียนขอบเขตเพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์

1.อุปกรณ์ในการทดสอบ

1.1แผงโซลาร์เซลล์

แผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ทดสอบจะมีพิกัดตามตารางที่1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติที่สำคัญของแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ทดสอบ

1.Rated Maximum Power(Pm)	260W	2.Voltage at Pmax(Vmp)	30.60V
3.Current at Pmax(Imp)	8.50A	4. Open-Circuit Voltage(Voc)	37.80V
5.Short-Circuit Current(Isc)	9.04A	6. Normal Operating Cell Temp(NOCT)	48±2 °C
7.Maximum System Voltage	1,000VDC	8. Maximum Series Fuse Rating	15A
9. Operating Temperature	-40 °C to +85 °C	10. Application Class	Class A

11. Cell Technology Poly-Si	12. Weight 18kg
12. Dimension(mm) 1650x992x40	13. Standard test : AM=1.5, E=1,000W/m^2, TC-25'C

1.2 เครื่องมือวัดความเข้มแสงดวงอาทิตย์และอุณหภูมิ

เครื่องมือวัดความเข้มแสงดวงอาทิตย์และอุณหภูมิโดยรอบและอุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์จะแสดงในภาพที่ 3 ก.) เครื่องมือวัดนี้สามารถวัดมุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์และส่งสัญญาณไร้สายไปยังอุปกรณ์บันทึกข้อมูลได้

1.3 เครื่องบันทึกI-V curveและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์

เครื่องบันทึกI-V curveและกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ จะรับค่าความเข้มแสงมาแสดงผลที่นี่ เมื่อเลือก Mode 3 จะแสดงผล Voc, Isc, Vmpp, Impp,FF ดังนั้น เมื่อกดปุ่ม Auto เครื่องมือวัดนี้จะทำการเปลี่ยนค่าโหลดอัตโนมัติเพื่ออ่านค่ากระแสอย่างรวดเร็ว จากนั้นกดปุ่ม SAVE เพื่อบันทึกค่าและประมวลผลทำกราฟ I-V curve และ Maximum power จากการวัด(Measuring) และแบบปรับค่าจากการวัดสู่ค่า Standard test อย่างอัตโนมัติ

ก.) ข.) ค.)

ภาพที่ 3 อุปกรณ์ในการทดสอบ ก.)เครื่องมือวัดความเข้มแสงดวงอาทิตย์และอุณหภูมิ ข.)เครื่องบันทึกI-V curveและกำลังไฟฟ้าสูงสุด ค.) การติดตั้งเครื่องมือวัด

2.ขั้นตอนการทดสอบ

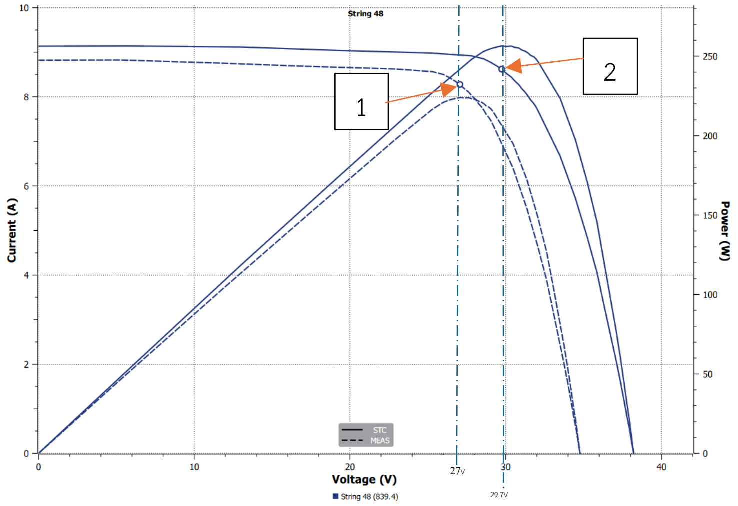
1) ติดตั้งเครื่องมือวัดกับแผงโซลาร์เซลล์ ในที่ร่มให้เรียบร้อย ตามภาพที่ 3 ค.)
2) เลื่อนแผงโซลาร์เซลล์และเครื่องวัดทั้งหมดให้รับแสงจากดวงอาทิตย์
3) อ่านค่าอุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์และเมื่อได้ความเข้มแสงในย่าน 900-1,000W/m^2 กดปุ่ม Auto เพื่อประมวลผลและบันทึกค่าในแฟ้มไว้
4) อุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์จะค่อยๆสะสมสูงขึ้น ก็ทำตามขั้นตอน 3 ไปเรื่อยๆ
5) เมื่ออุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์นิ่งแล้วให้หยุดการทดลอง
6) จำลองเหตุการณ์เมื่อฝนตกลงมาด้านบนผิวหน้าของแผงโซลาร์เซลล์ โดยการรดน้ำบนแผงทันที จากนั้นทำตามขั้นตอนที่ 3

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยอิทธิพลของอุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์มีดังนี้

1.ค่า I-V curve และ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์

จากเครื่องบันทึกค่าจะแสดงค่า I-V curve และ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ได้ผลจากการวัดและจากการแปลงค่าเข้าเงื่อนไขการทดสอบ(stc) ดังภาพที่ 4

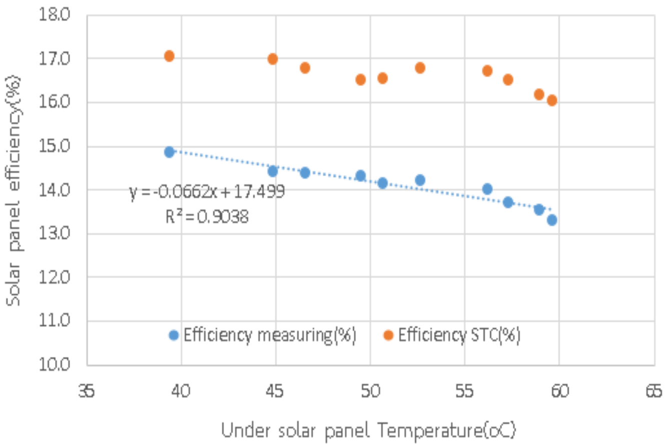


ภาพที่ 4 I-V curve และ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ได้ผลจากการวัดและการแปลงค่าเข้าเงื่อนไขมาตรฐานการทดสอบ(stc) ณ อุณหภูมิใต้แผง 45.04 ^{o}C และความเข้มแสงตกกระทบ 839.4W/m^2

จากภาพที่ 4 พบว่าค่าจากการวัด(เส้นประ)น้อยกว่าค่ามาตรฐาน(เส้นทึบ)เพราะมีการแปลงค่าจากการวัดจริงเข้าเงื่อนไขการทดสอบ(stc) Standard test : E=1,000W/m^2, TC=25^{o}C ตำแหน่งการเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมี 2จุด บน I-V curve ของค่าจากการวัดและมาตรฐาน ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดการวัดเกิดที่จุด 1 มีค่า 224W(ณ แรงดันไฟฟ้า 27V, กระแสไฟฟ้า 8.3A) สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของการเทียบไปที่มาตรฐานจะเกิดที่จุด 2 มีค่าเท่ากับ 256W(ณ แรงดันไฟฟ้า 29.7V, กระแสไฟฟ้า 8.6A) จากข้อมูลเห็นว่าเมื่ออุณหภิสูงขึ้นทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้มีค่าต่ำลงสอดคล้องกับสมการที่ 1

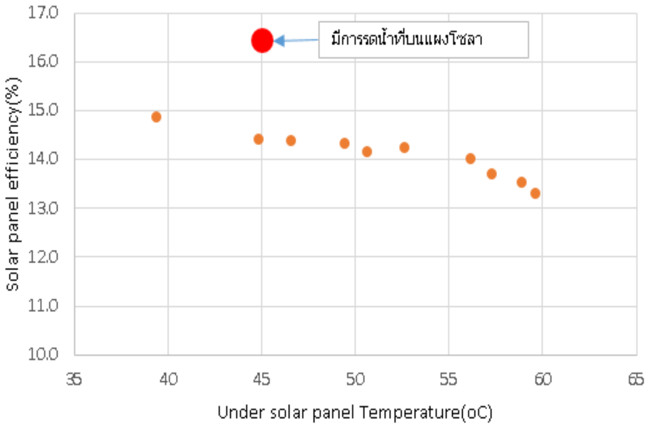
2.ค่าประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์

ภาพที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์กรณีวัดจริงและปรับเทียบที่มาตรฐาน(STC) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์ จะพบว่าอุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพของแผงโซลาเซลล์ร์กรณีวัดจริงจะลดลงตามสมการ Efficiency(%)= -0.0662Temp+17.499



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์ ณ ความเข้มแสงในช่วง900-1,000W/m^2

ภาพที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์กรณีวัดจริง เมื่อมีการรดน้ำบนบนแผงแผงโซลาร์เซลล์ ทำให้เกิดการระบายความร้อนและอุณหภูมิลดลง จะพบว่าที่อุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์เดียวกันจะทำให้ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์เพิ่มขึ้นเท่ากับ [(16.4-14.4)/14.4]*100% = 13.8%



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ เมื่อมีการระบายความร้อนด้านบนผิวของแผงโซลาร์เซลล์ด้วยอุณหภูมิใต้แผงประมาณ 45°C

สรุปผลการวิจัย

อิทธิพลของอุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์สามารถสรุปได้ดังนี้

1.เมื่ออุณหภิสูงขึ้นทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้มีค่าต่ำลงสอดคล้องกับสมการที่ 1

2.อุณหภูมิใต้แผงโซลาร์เซลล์เพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ลดลง

3.เมื่อมีการระบายความร้อนด้านบนผิว(จำลองฝนตก)ของแผงโซลาร์ด้วยน้ำทันทีทันใดทำให้ประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์สูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. **การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.**

[2] Beihua He; Hao Lu and Madina. **Experimental study on the effect of dust deposition on the Output performance of photovoltaic modules.** 2022 International Conference on Renewable Energies and Smart Technologies (REST)

[3] N. Phuengkum. (2008). **Increasing Performance of Solar Cell Panels by Cooling System.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[4] P. Bhulla, C. Lertsatittanakorn and N. Suwaphat. (2013). The Improvement of Photovoltaic Module Efficiency using Temperature Reduction Techniques. **European Journal of Agronomy.** 14 (3), 81-111.

[5] Md Faysal Nayan; S. M. Safayet Ullah and S. N. Saif (2016). **Comparative analysis of PV module efficiency for different types of silicon materials considering the effects of environmental parameters**. International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT).

[6] Seaward Electronic Ltd. **More about the PV200**, จาก https://www.seaward.com/gb/support /solar/ 389a915-pv200 -complete-kit/.

การประยุกต์ใช้ท่อเวนจูรี่เพื่อเติมอากาศในน้ำโดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
The Application of Solar-powered Venturi tube for Water Aeration

กฤชนนท์ สวนจันทร์*, ธนิท เรืองรุ่งชัยกุล, ภูมิ ธุวะคำ, ศิวะโรจน์ บำเพ็ญทาน และ พีรพล ปานโทน

Kritchanon Suanjan*, Tanit Ruangrungchaikul, Poom Tuwakhum, Siwaroj Bumpenthan, and Peerapon Panthon

สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120
Department of Sustainable Development Technology, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University, Rangsit Campus, Pathum Thani 12120
*Corresponding author: Tel.: 084-9693112. E-mail address: ksuanjan@tu.ac.th

Abstract

This research studies the application of solar-powered venturi tube for surface water aeration which studied venturi tube sizes (¼ inch and ½ inch) and optimum aeration time for discharge water for agriculture. The DC power supply was set as an energy source; dissolved oxygen (DO), pH, and total dissolved solids (TDS) are water quality parameters in 70 liters of experimental reactor. A result showed two sizes of venturi tubes similarly increased DO in water in range of 4.5-6.7 mg/L by 45 minutes of aeration time. Considering cost and bubble size, the ½-inch venturi tube was effective because it is lower cost and smaller bubble size production. Then using solar energy as a power source, the venturi aeration system used 120 minutes of aeration time to agriculture and industry standard water quality (DO ≥ 4.5 mg/L). However, if passed standard water quality for aquatic animals' life uses 180 minutes of aeration time (DO ≥ 6.5 mg/L), and total dissolved solids (TDS) removal should not exceed 20%. In addition, the system can regularly aerate during sunlight by DC-DC step-down converter, and the cost-benefit analysis of a solar-powered venturi aeration system is worth the investment with 281.76 baths of Net Present Value (NPV), 8.29% of Interest Rate ratio (IRR), 7-year 3-month 21-day of Discounted Payback Period (DPB), and 1.37 of Benefit-Cost ratio (B/C). Last, this research is a water aeration system that is easily accessible to the community, which is driven by clean energy, saves energy, and improves water quality from the community up to the national.

Keywords: venturi, micro bubble, aeration system, dissolved oxygen, solar energy

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการประยุกต์ใช้ท่อเวนจูรี่เพื่อเติมอากาศในน้ำผิวดินโดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยศึกษาขนาดของท่อเวนจูรี่ (¼ นิ้ว และ ½ นิ้ว) และระยะเวลาการเติมอากาศที่เหมาะสมเพื่อนำน้ำไปใช้ทางการเกษตร ซึ่งใช้เครื่องแปลงไฟฟ้าแบบกระแสตรงเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน โดยวัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ พีเอช และค่าของแข็งละลายในน้ำ ในกระบะทดสอบ 90 ลิตร ผลการทดลองพบว่า ท่อเวนจูรี่ทั้งสองขนาดเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้ใกล้เคียงกัน โดยทำให้ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 4.5-6.7 มิลลิกรัมต่อลิตร (มก./ล.) โดยใช้เวลาในการเติมอากาศอย่างน้อย 45 นาที และเมื่อพิจารณาต้นทุนและขนาดฟองอากาศ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ท่อเวนจูรี่ขนาด ½ นิ้ว เนื่องจากมีต้นทุนต่ำกว่าและมีฟองอากาศขนาดเล็กกว่า จากนั้นเชื่อมต่อกับระบบเติมอากาศในน้ำโดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่สามารถเติมอากาศให้อยู่ในเกณฑ์ของน้ำที่สามารถใช้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมได้ (ออกซิเจนละลายในน้ำ ≥ 4.5 มก./ล.) โดยใช้เวลาเติมอากาศ 120 นาที แต่ถ้าต้องการให้น้ำมีความเหมาะสมต่อการมีชีวิตของสัตว์น้ำ ต้องใช้เวลาในการเติมอากาศ 180 นาทีขึ้นไป (ออกซิเจนละลายในน้ำ ≥ 6.5 มก./ล.) และ ระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่สามารถบำบัดของแข็งละลายทั้งหมดในน้ำได้ไม่เกิน ร้อยละ 20 นอกจากนั้นระบบยังสามารถเติมอากาศได้อย่างสม่ำเสมอในช่วงที่มีแสงอาทิตย์โดยใช้อุปกรณ์ปรับกำลังไฟฟ้า ซึ่งช่วยประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายได้ และ มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ 281.76 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายใน ร้อยละ 8.29 ระยะเวลาคืนทุน 7 ปี 3 เดือน 21 วัน และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน เท่ากับ 1.37 ซึ่งงานวิจัยนี้ เป็นระบบเติมอากาศในน้ำที่ชุมชนสามารถเข้าถึงได้ง่าย ใช้พลังงานสะอาด ประหยัดพลังงาน และช่วยปรับปรุงให้คุณภาพน้ำให้ดีขึ้นตั้งแต่ระดับชุมชนจนถึงระดับประเทศ

คำสำคัญ: เวนจูรี่ ฟองอากาศแบบไมโคร ระบบเติมอากาศ ออกซิเจนละลายในน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์

บทนำ

การเติมอากาศในน้ำ คือกลไกการนำออกซิเจนจากอากาศไปสัมผัสกับน้ำเพื่อให้อนุภาคของออกซิเจนละลายเมื่อสัมผัสกับน้ำ ช่วยลดก๊าซมลพิษที่ปนเปื้อนในน้ำ เช่น CO_2 H_2S และ VOCs [1-3] ส่งผลให้คุณภาพน้ำดีขึ้นและทำให้จุลินทรีย์ย่อยสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ โดยกลไกการเติมอากาศในน้ำมีหลากหลายวิธี เช่น การเพิ่มการเคลื่อนไหวของน้ำ การใช้อุปกรณ์นำอากาศลงไปในน้ำ การเพิ่มพืชน้ำ เป็นต้น ซึ่งระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่ เป็นหนึ่งในการเติมอากาศที่ใช้อุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นคอคอดเพื่อเพิ่มความเร็วน้ำ แล้วดูดอากาศจากภายนอกเข้ามาผสมกับน้ำทำให้เกิดฟองอากาศจิ๋ว (Micro bubble) ทำให้ออกซิเจนถูกตรึงในน้ำนานขึ้น แบคทีเรียในน้ำสามารถใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และมลพิษในน้ำได้ดีขึ้น นอกจากนั้น โครงสร้างของระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่ไม่ซับซ้อน ติดตั้งได้สะดวก บำรุงรักษาง่าย และ ชิ้นส่วนสึกหรอได้ยากเนื่องจากไม่มีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนที่ภายในท่อเวนจูรี่ [4-6]

จากการศึกษา การประยุกต์ใช้ไมโครบับเบิ้ลโอโซนร่วมกับระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่ ในการบำบัดน้ำ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถเพิ่มออกซิเจนในน้ำได้เพียง 0.17 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถทำงานได้สูงสุด 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยต้องใช้เวลาในการประจุแบตเตอรี่ถึง 6 ชั่วโมง 30 นาที [7] ซึ่งการนำแบตเตอรี่มาใช้เป็นแหล่งพลังงานต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบค่อนข้างสูง คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการออกแบบและประยุกต์ใช้ท่อเวนจูรี่เพื่อเติมอากาศในน้ำโดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ให้มีประสิทธิภาพในการเติมอากาศสูงขึ้น มีการทำงานยาวนานขึ้นและไม่มีการใช้แบตเตอรี่เพื่อลดค่าใช้จ่ายและค่าบำรุงรักษาในระบบ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบขนาดของท่อเวนจูรี่ใน

ระบบเติมอากาศในน้ำโดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ และ เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบฯ ซึ่งเป็นปัจจัยในการพิจารณาความคุ้มค่าต่อการลงทุน

วิธีการวิจัย

การประยุกต์ใช้ท่อเวนจูรี่เพื่อเติมอากาศในน้ำโดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ทำการศึกษา 3 ช่วง ดังต่อไปนี้

1) การเปรียบเทียบขนาดของท่อเวนจูรี่ที่มีผลต่อการเติมอากาศในน้ำ

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบขนาดของท่อเวนจูรี่ที่มีผลต่อการเติมอากาศในน้ำมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1) ท่อเวนจูรี่ที่นำมาประยุกต์ใช้เพื่อเติมอากาศในน้ำ คือ วาล์วผสมปุ๋ย ที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด โดยเลือกใช้ท่อเวนจูรี่ 2 ขนาด คือ ¼ นิ้ว และ ½ นิ้ว ดังภาพที่ 1 และตารางที่ 1 โดยนำท่อเวนจูรี่เชื่อมต่อเครื่องสูบน้ำแบบจุ่มกระแสตรง 70 วัตต์ 12 โวลต์ อัตราการไหล 70 ลิตรต่อนาที โดยใช้ไฟฟ้าจากอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า (DC Power supply) ยี่ห้อ Wanptek KPS3010D (0-10 แอมแปร์, 0-30 โวลต์) โดยปรับกำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 70 วัตต์ (12 โวลต์ 5.83 แอมแปร์) จากนั้นนำท่อเวนจูรี่และเครื่องสูบน้ำเวนจูรี่จุ่มในกระบะผสมคอนกรีตที่ใส่น้ำผิวดิน 90 ลิตร ดังภาพที่ 2

1.2) บันทึกค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) พีเอช (pH) และของแข็งละลายในน้ำ (Total Dissolved Solid, TDS) โดยทำการเติมอากาศทั้งหมด 60 นาที บันทึกค่าทุก ๆ 5 นาที และเลือกระยะเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าต่าง ๆ ยอมรับได้ตามมาตรฐาน คือ DO ≥ 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) pH อยู่ในช่วง 5.0-9.0 และ TDS ≤ 2,000 mg/L [6-7]

1.3) เปรียบเทียบต้นทุนของระบบเติมอากาศในน้ำที่ใช้ท่อเวนจูรี่ทั้ง 2 ขนาดโดยไม่รวมค่าติดตั้งอุปกรณ์และอุปกรณ์ที่ใช้เหมือนกัน (เครื่องสูบน้ำแบบจุ่ม อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า)

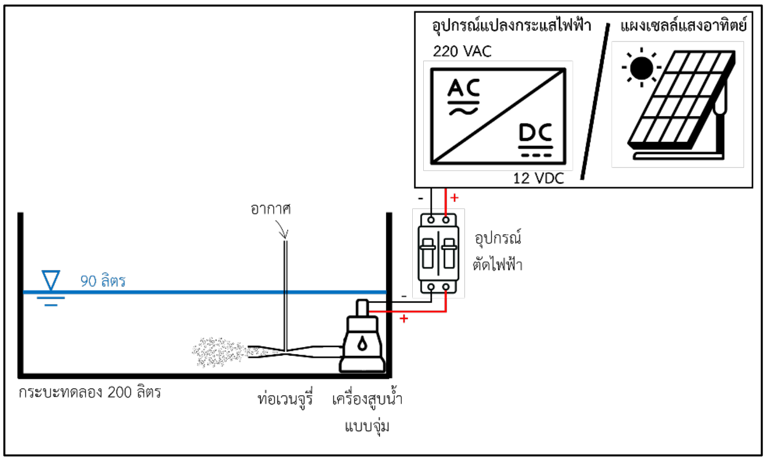
(ก) ขนาด ¼ นิ้ว

(ข) ขนาด ½ นิ้ว

ภาพที่ 1 ท่อเวนจูรี่ (วาล์วผสมปุ๋ย)

ตารางที่ 1 ข้อมูลเฉพาะของวาล์วผสมปุ๋ย (ท่อเวนจูรี่) ทั้ง 2 ขนาด

ขนาดท่อเวนจูรี่ (นิ้ว)	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, Diameter (มม.)	ความยาวท่อ, L (มม.)	เส้นผ่านศูนย์กลางท่ออากาศ, a (มม.)	ขนาดรูคอคอด, Throat diameter (มม.)
¼	12	57	6	1.8
½	48	275	12	15



ภาพที่ 2 ผังวงจรการเปรียบเทียบขนาดของท่อเวนจูรี่ที่มีผลต่อการเติมอากาศในน้ำ

2) การออกแบบและทดสอบระบบเติมอากาศด้วยท่อเวนจูรี่โดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบเติมอากาศด้วยท่อเวนจูรี่โดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ออกแบบจากท่อเวนจูรี่ที่สามารถทำให้ออกซิเจนละลายได้ดี และมีต้นทุนไม่สูง จากการเปรียบเทียบขนาดของท่อเวนจูรี่เพื่อเติมอากาศในน้ำหัวข้อที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 เปลี่ยนแหล่งจ่ายพลังงานจากอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตัดไฟฟ้า (DC circuit breaker) และ อุปกรณ์ปรับกำลังไฟฟ้า (DC-DC step-down converter) ดังภาพที่ 2 เพื่อให้ระบบเติมอากาศด้วยท่อเวนจูรี่ทำงานด้วยกำลังไฟฟ้าคงที่ในช่วงที่มีแสงอาทิตย์

2.2 บันทึกค่า DO pH TDS กำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำแบบจุ่ม (หน่วย : วัตต์) และ ความเข้มแสงอาทิตย์ (หน่วย : วัตต์ต่อตารางเมตร) โดยทำการเติมอากาศทั้งหมด 6 ชั่วโมง และบันทึกผลทุก ๆ 1 ชั่วโมง เลือกระยะเวลาที่เหมาะสมที่ทำให้ค่า DO pH และ TDS ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

3) การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบเติมอากาศด้วยท่อเวนจูรี่โดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

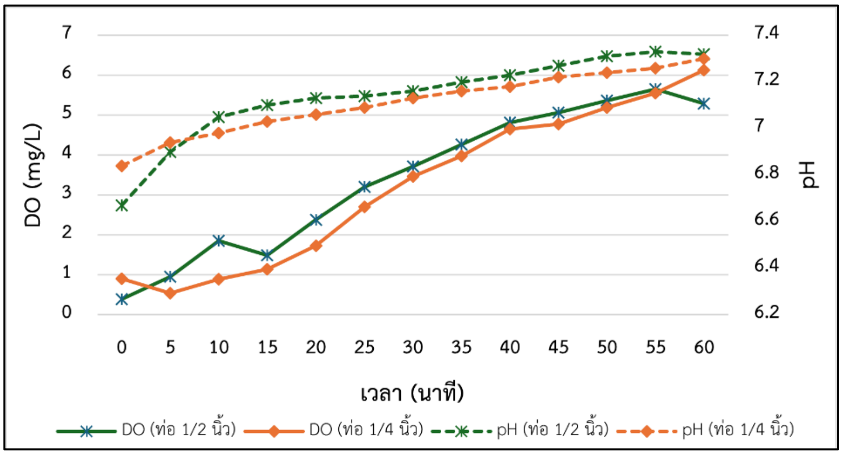
การประเมินความคุ้มทางเศรษฐศาสตร์ของระบบเติมอากาศด้วยท่อเวนจูรี่โดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ทราบว่าระบบที่ได้ออกแบบมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ โดยวิเคราะห์จาก 4 ตัวชี้วัด ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio: B/C) และระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (Discounted Payback Period: DPB) โดยมีระยะเวลาโครงการ 10 ปี อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 7

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

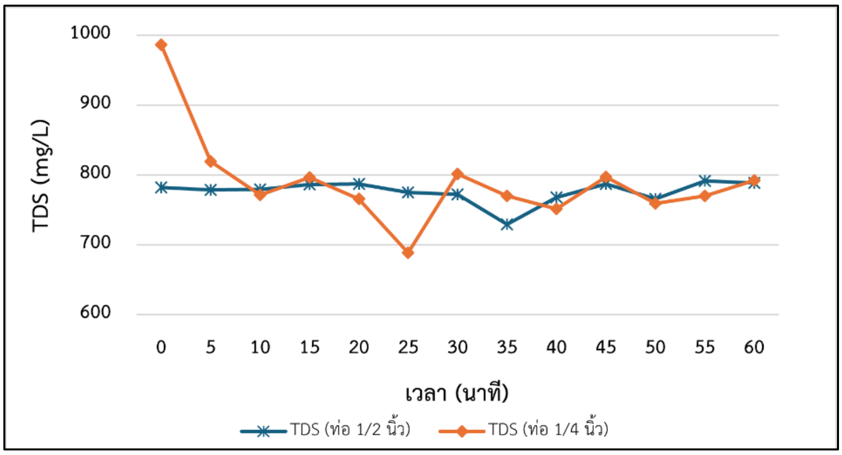
การประยุกต์ใช้ท่อเวนจูรี่เพื่อเติมอากาศในน้ำโดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) ผลการเปรียบเทียบขนาดของท่อเวนจูรี่ที่มีผลต่อการเติมอากาศในน้ำ 2) ผลการออกแบบและทดสอบระบบเติมอากาศด้วยท่อเวนจูรี่โดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และ 3) ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบเติมอากาศด้วยท่อเวนจูรี่โดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ผลการเปรียบเทียบขนาดของท่อเวนจูรี่ที่มีผลต่อการเติมอากาศในน้ำ

ผลของการทดสอบระบบเติมอากาศในน้ำแบบเวนจูรี่ท่อขนาด ½ นิ้ว และ ¼ นิ้ว พบว่า ประสิทธิภาพการทำงานของท่อเวนจูรี่ทั้งสองขนาด มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยใช้กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 70 วัตต์ ระบบเติมอากาศนี้ทำให้ค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) และค่าพีเอช (pH) เพิ่มจนสามารถรักษาระดับมาตรฐาน สามารถใช้ในการเกษตรได้โดยการเติมอากาศเป็นระยะเวลา 40 นาที ดังภาพที่ 3 และบำบัดของแข็งที่ละลายในน้ำ (TDS) ได้สูงสุดร้อยละ 20 ดังภาพที่ 4 ซึ่งระบบนี้เหมาะกับน้ำที่มีค่า TDS ไม่เกิน 2,200 mg/L เพื่อสามารถนำน้ำที่ผ่านการเติมอากาศไปใช้ในอุปโภคและเพาะปลูกพืชทนเค็มได้ตามมาตรฐานค่า TDS ในน้ำที่เหมาะกับระบบชลประทานเพื่อการเกษตร [8-11]



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า DO กับ pH ของระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่ขนาด ¼ นิ้ว และ ½ นิ้ว



ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่า TDS ของระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่ขนาด ¼ นิ้ว และ ½ นิ้ว

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนของระบบเติมอากาศที่ใช้ท่อเวนจูรี่ทั้ง 2 ขนาดโดยไม่รวมค่าติดตั้งอุปกรณ์และอุปกรณ์ที่ใช้เหมือนกัน (เครื่องสูบน้ำแบบจุ่ม อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า) พบว่า ระบบที่ใช้ท่อเวนจูรี่ขนาด ½ นิ้ว มีค่าใช้จ่ายรวม 138 บาท ซึ่งน้อยกว่าต้นทุนของระบบเติมอากาศที่ใช้ท่อเวนจูรี่ขนาด ¼ นิ้ว (ค่าใช้จ่ายรวม 200 บาท) ดังตารางที่ 2 อีกทั้งเมื่อสังเกตทางกายภาพ พบว่า ท่อเวนจูรี่ขนาด ½ นิ้วผลิตฟองอากาศขนาดไมโครมากกว่าท่อเวนจูรี่ขนาด ¼ นิ้ว แสดงดัง

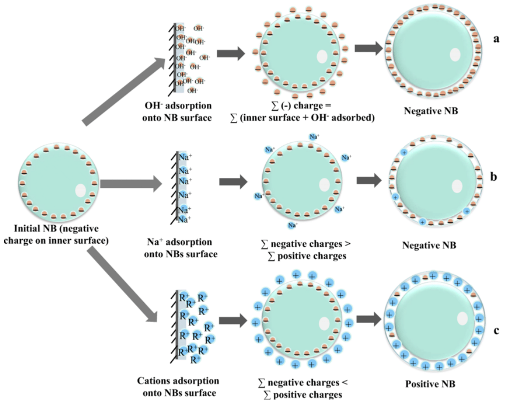
ภาพที่ 5 จากเหตุผลข้างต้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ท่อเวนจูรี่ขนาด ½ นิ้ว มาติดตั้งกับระบบเติมอากาศที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะศึกษาในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 2 ต้นทุนของระบบเติมอากาศในน้ำที่ใช้ท่อเวนจูรี่ทั้ง 2 ขนาด

รายการที่	รายละเอียดอุปกรณ์	ต้นทุนของระบบเติมอากาศ (บาท)	
		ใช้ท่อเวนจูรี่ ¼ นิ้ว	ใช้ท่อเวนจูรี่ ½ นิ้ว
1	ท่อเวนจูรี่ (รวมท่อ PVC)	150	100
2	ข้อลด ½ นิ้ว	-	38
3	ข้อต่อลดเกลียวใน-นอกทองเหลือง 1/4-1/2 นิ้ว	35	-
4	ข้อต่อลดพลาสติก 4 มม. - 6 มม.	15	-
	รวม	**200**	**138**

(ก) ใช้ท่อเวนจูรี่ขนาด ¼ นิ้ว

(ข) ใช้ท่อเวนจูรี่ขนาด ½ นิ้ว



(ค) การเกิดไอออนบวกหรือลบของฟองอากาศ [6, 12]

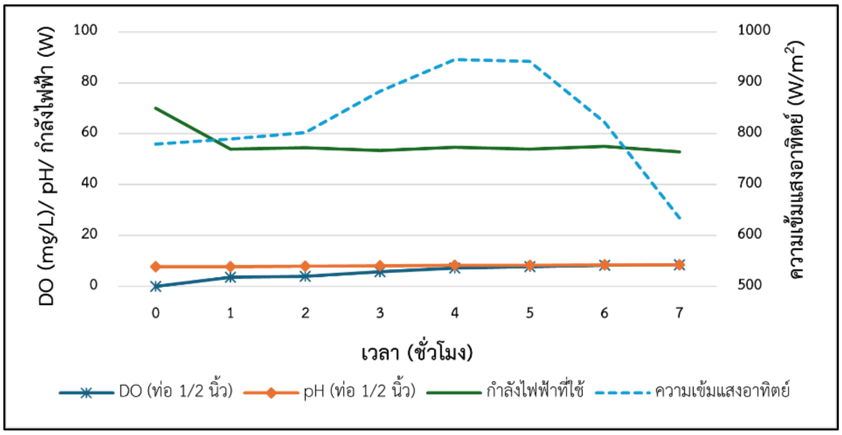
ภาพที่ 5 ลักษณะฟองอากาศของระบบเติมอากาศในน้ำแบบเวนจูรี่

2) ผลการออกแบบและทดสอบระบบเติมอากาศในน้ำด้วยท่อเวนจูรี่โดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

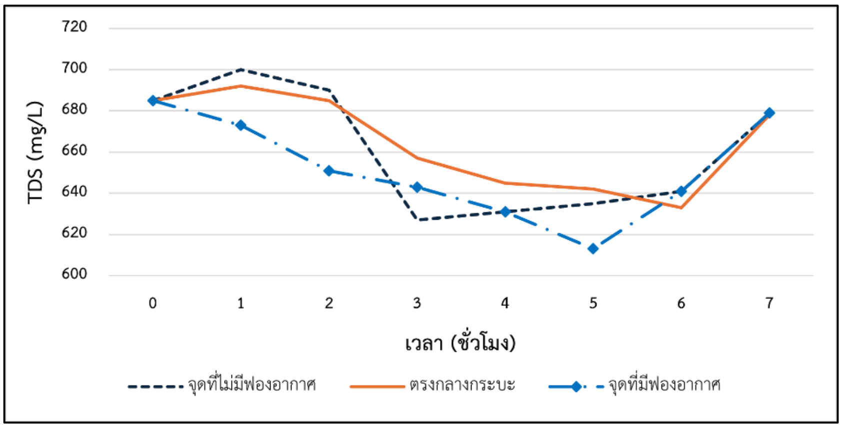
ผลการวิจัยพบว่า เมื่อระยะเวลาในการเติมอากาศเพิ่มขึ้น ค่า DO จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ระยะเวลาเติมอากาศ 120 นาที อยู่ในเกณฑ์ของน้ำที่สามารถใช้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมได้ (DO ≥ 4.5 mg/L) แต่ถ้าต้องการให้น้ำมีความเหมาะสมต่อการมีชีวิตของสัตว์น้ำ ต้องใช้เวลาในการเติมอากาศ 180 นาทีขึ้นไป (DO ≥ 6.5 mg/L) ในส่วนของค่า pH ในน้ำมีค่าสูงขึ้น ตามค่า DO ดังภาพที่ 6 เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในน้ำทางอ้อมจากการเติมออกซิเจน คือ ในน้ำผิวดินที่มีค่า DO ต่ำ เนื่องจากปริมาณแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศในกลุ่มอะซีโตเจนิก (Acetogenic bacteria) มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งผลิตกรดอินทรีย์ (กรดอะซีติก กรดฟอร์มิก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน) ทำให้น้ำเป็นกรด ค่า pH ลดลง แต่ถ้ามีการเติมอากาศในน้ำ แบคทีเรียในกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเป็นกรดในน้ำลดลงค่า pH จึงเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการผลิตกรดจากแบคทีเรียไม่ใช้อากาศน้อยลง [13-15]

เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำที่มีต้นกำลังจากเซลล์แสงอาทิตย์ 200 วัตต์ พบว่า เครื่องสูบน้ำมีกำลังไฟฟ้าคงที่แม้ความเข้มแสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลง เป็นผลมาจากระบบเติมอากาศที่ได้ออกแบบขึ้น ได้ติดตั้งอุปกรณ์ปรับลดกำลังไฟฟ้าเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (200 วัตต์) ให้คงที่ตามกำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ (40 วัตต์) โดยปรับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้คงที่ที่ 12 โวลต์ 5 แอมแปร์ ซึ่งส่งผลให้มีอัตราการเติมอากาศที่คงที่ตลอดช่วงที่มีแสงอาทิตย์ ทำให้ค่า DO ในน้ำสูงขึ้น

ในส่วนของค่า TDS มีผลใกล้เคียงกับผลของหัวข้อที่ 1 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทดสอบกับน้ำที่มีค่า TDS ที่ 670-700 mg/L ระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่สามารถบำบัดได้ไม่เกิน ร้อยละ 20 ดังภาพที่ 7 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์น้ำที่มีเงื่อนไขในการใช้งานระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง ของน้ำที่ใช้ในการชลทานเพื่อการเกษตรขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) โดยในกระบะทดลอง จุดที่ค่า TDS ต่ำจะอยู่ในบริเวณที่ไม่มีฟองอากาศ และ จุดตรงกลางกระบะทดลอง ซึ่งเป็นผลมาจากฟองอากาศแบบไมโครที่มีประจุลบบริเวณผิวจับตัวกับไอออนของสารละลายในน้ำบางส่วน ทำให้จับตัวเป็นสารแขวนลอยในน้ำ ดังภาพที่ 5-ค ทำให้ค่า TDS ต่ำกว่าบริเวณที่เกิดฟองอากาศแบบไมโคร



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO pH กำลังไฟฟ้าที่ใช้ ของระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่ขนาด ½ นิ้ว โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 7 ค่า TDS ของระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่ขนาด 1/2 นิ้ว โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่จุดต่าง ๆ คือ จุดที่ไม่มีฟองอากาศ ตรงกลางกระบะ และ จุดที่มีฟองอากาศ

3) ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบเติมอากาศในน้ำด้วยท่อเวนจูรี่โดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบฯ พบว่า มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 281.76 บาท มีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 8.29 ระยะเวลาคืนทุน 7 ปี 3 เดือน 21 วัน และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C) เท่ากับ 1.37 ซึ่งมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

จากผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ข้างต้นเป็นผลของระบบเติมอากาศในน้ำด้วยท่อเวนจูรี่โดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในน้ำผิวดินปริมาตร 90 ลิตร ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนมากกว่าครึ่งหนึ่งของอายุโครงการ อาจเป็นผลมาจากระบบมีขนาดเล็กแต่มีการลงทุนสูง โดยถ้ามีการขยายขนาดของระบบให้ใหญ่ขึ้น หรือลดกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงมา อาจจะช่วยให้ระยะเวลาคืนทุนน้อยลงและมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนเพิ่มมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

ระบบเติมอากาศในน้ำด้วยท่อเวนจูรี่โดยใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ จากการทดลองโดยใช้น้ำผิวดิน 90 ลิตร พบว่า การใช้ท่อเวนจูรี่ (วาล์วผสมปุ๋ย) ขนาด ½ นิ้ว ที่เชื่อมต่อกับเครื่องสูบน้ำแบบจุ่ม และอุปกรณ์ปรับกำลังไฟฟ้าที่ให้พลังงานคงที่ที่ 70 วัตต์ (ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 200 วัตต์ เป็นแหล่งพลังงาน) โดยไม่มีแบตเตอรี่ สามารถเติมอากาศในน้ำ ทำให้ค่า DO มีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (≥6.5 mg/L) โดยใช้เวลาในการเติมอากาศไม่ต่ำกว่า 180 นาที โดยมีข้อจำกัดคือน้ำผิวดินต้องมีค่า TDS ไม่เกิน 2,200 mg/L เพื่อสามารถนำน้ำที่ผ่านการเติมอากาศไปใช้ในอุปโภคและเพาะปลูกพืชทนเค็มได้ (ระบบฯ บำบัด TDS ไม่เกินร้อยละ 20) เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า ระบบดังกล่าวมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน และ สามารถต่อยอดระบบเติมอากาศนี้ เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับเติมอากาศในน้ำสำหรับชุมชน เช่น บ่อเลี้ยงกุ้ง บ่อเลี้ยงปลา แหล่งน้ำชุมชน เป็นต้น ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนายั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่สนับสนุนงบประมาณ และ สถานที่ในการทำวิจัย ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **เทคโนโลยีระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่ โครงการสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน**. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

[2] บรรจง สุขแจ่ม. (2556). **ปรับปรุงเครื่องเติมอากาศผิวน้ำ**. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

[3] อุทัย ผ่องรัศมี, เสนีย์ ศิริไชย, จักรกฤษณ์ ขันทอง, ภาสกร ผ่องรัศมี และ ช่วงชัย ชุปวา. (2563). การออกแบบและสร้างอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำชนิดใบพัดแบบหนามทุเรียนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. **วารสารวิทยาศาสตร์ แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.** 17 (2), 76-87.

[4] มงคล มงคลวงศ์โรจน์. (2550). “การศึกษาการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศ”, ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45,** วันที่ 30 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ 2550 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[5] Levitsky, I., Tavor, D. and Gitis, V. (2022). Micro and Nanobubbles in Water and Wastewater Treatment: A State-of-the-art review, สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2567, จาก https://www.researchgate.net/publication/359578606_Micro_and_nanobubbles_in_water_and_wastewater_treatment_A_state-of-the-art_review.

[6] Zhang, M., Qiu, L. and Liu G. (2020). Basic characteristics and application of micro-nano bubbles in water treatment, สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2567, จาก https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/510/4/042050.

[7] ปฏิวัติ บุญมา, ชาญณรงค์ หนูอินทร์ และ ประมุข อุณหเลขกะ. (2561). การประยุกต์ใช้ไมโครบับเบิ้ลโอโซนร่วมกับระบบเติมอากาศแบบเวนจูรี่ในการบำบัดน้ำ ในคลองพระพิมลราชา ตลาดน้ำไทรน้อย อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี. **วารสารวิชาการ มทร. สุวรรณภูมิ**. 6 (1), 45-54.

[8] Ayers, R.S. and Westcot D.W. (1985). **Water quality for agriculture.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

[9] เกษตรฟิวชั่น. (2559). ความรู้เกี่ยวกับค่า TDS และเครื่องวัดค่า TDS, สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2567, จาก http://kasetfusion.lnwshop.com/article/7.

[10] อุดมพร ผาสุข. (2564). **รายงานประจำปี 2564 คุณภาพน้ำชลประทาน (มาตรา 8).** สุพรรณบุรี : กรมชลประทาน.

[11] กรมชลประทาน. (2532). **หลักเกณฑ์การกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งในทางน้ำชลประทาน.** กรุงเทพฯ : กรมชลประทาน.

[12] Liu, M., Wang, J., and Peng, Z. (2023) Effects of micro-bubble aeration on the pollutant removal and energy-efficient process in a floc–granule sludge coexistence system. **Water Sci Technol**. 88 (11), 3044–3055. https://doi.org/10.2166/wst.2023.376.

[13] กรมควบคุมมลพิษ. (2558). **คู่มือความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นและการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยตนเอง**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[14] พัชรินทร์ อินทมาส, อดิศร ไกรนรา, ทิฆัมพร เขมวงศ์ และ พรหมพักตร์ บุญรักษา. (2565). การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศในน้ำด้วยกังหันพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือ. **Rattanakosin Journal of Science and Technology (RJST).** 4 (1), 43-53.

[15] Heriyati, E., Rustadi, R., Isnansetyo, A., Triyatmo, B., Istiqomah, I., Deendarlianto, D., and Budhijanto, W. (2021) Microbubble Aeration in A Recirculating Aquaculture System (RAS) Increased Dissolved Oxygen, Fish Culture Performance, and Stress Resistance of Red Tilapia (*Oreochromis sp.*). **Trends Sci.** 19 (20), 1–11. https://doi.org/10.48048/tis.2022.6251

การศึกษาและสร้างต้นแบบระบบอัดอากาศเพื่อฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำแบบควบคุมอัตโนมัติโดยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดทุ่นลอยน้ำขนาด 3 กิโลวัตต์

Studying and Prototyping of Automatic Air Compress System Control for Aquaculture using Energy from 3 kW PV Floating

สิริศักดิ์ ปางวุฒิวณิชย์[1] วิรชัย โรยนรินทร์[1,2]* วรเชษฐ์ แสงสีดา[1] ไวยวิทย์ อุทัยเฉลิม[1] ธนยศ คิดเมตตากุล[1]
และ สุเทพ สีมาลา[1]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110
[2] ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110
*Corresponding author: Tel.: 02-5493433. E-mail address: wirachai.r@en.rmutt.ac.th

Abstract

In this study, a prototype of a 3-kilowatt compressed air system was developed to supply energy to a 5-horsepower air pump for a 400 square meter aquaculture farm with a water depth of 3 meters. The average solar radiation intensity measured was 500 watts per square meter, and the system was able to generate approximately 90 cubic meters of compressed air per day on average. If fossil fuel electricity were used, the system would consume about 20 kilowatt-hours of electricity per day, or 7,300 kilowatt-hours per year. By using this floating solar-powered compressed air system, it is estimated that greenhouse gas emissions, specifically CO_2, can be reduced by approximately 3.94 kilograms of carbon annually. The tests and analysis of the system indicate that its operational efficiency is around 45% when powered by the floating solar energy system.

Keyword: compressed air system, solar energy, buoyancy devices

บทคัดย่อ

ในการศึกษาและสร้างต้นแบบระบบอัดอากาศขนาด 3 กิโลวัตต์เพื่อจ่ายพลังงานให้กับปั๊มลมขนาด 5 แรงม้า สำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำขนาดพื้นที่ 1 งานที่ความลึกของน้ำ 3 เมตร โดยค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่วัดได้เฉลี่ย 500 วัตต์ต่อตารางเมตร ได้อากาศอัดขณะที่ระบบพลังงานทำงานได้วันละ 90 ลูกบาศก์เมตรโดยเฉลี่ย ซึ่งถ้าหากระบบอัดอากาศนี้ใช้ไฟฟ้าจากฟอสซิลจะใช้ไฟฟ้าประมาณ 20 หน่วยไฟฟ้าต่อวันหรือ 7,300 หน่วยฟ้าต่อปี ดังนั้นหากใช้ระบบอัดอากาศโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดทุ่นลอยน้ำนี้ จะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก CO_2 ได้ประมาณ 3.94 กิโลกรัมคาร์บอนต่อปี และในการทดสอบและวิเคราะห์ระบบทำให้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบคิดได้ประมาณ 45% ในการทำงานของระบบอัดอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดทุ่นลอยน้ำ

คำสำคัญ: ระบบอัดอากาศ พลังงานแสงอาทิตย์ ทุ่นลอยน้ำ

การศึกษาสมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นผิวหลังคาที่แตกต่างกัน

Study of the performance of power generation from solar panels on different roof surfaces

พิพัฒน์พงศ์ กาซ้อน[1] สราวุธ พลวงษ์ศรี[1] สุลักษณา มงคล[1] และอัครินทร์ อินทนิเวศน์[1]

Pipatpong Kasorn[1], Sarawut Polvongsri[1], Sulaksana Mongkon[1], and Akarin Intaniwet[1]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[1]School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

Corresponding author: Tel.: 088-2687904. E-mail address: a.intaniwet@hotmail.co.th

Abstract

The surface on which solar panels are installed plays a significant role in their electricity production and efficiency. Different types of surfaces lead to varying levels of heat accumulation. This research aims to study the performance of solar panels installed on different roofing surfaces in Chiang Rai province, including corrugated roofs, metal sheet roofs, and concrete roofs. The solar panels were installed with a 10 cm gap between the roof and the panel, using panels with a maximum output of 420 W. The test was conducted over 7 days under clear sky conditions. The results showed that solar panels installed on concrete roofs (CPAC) had the highest performance, with an average electrical conversion efficiency of 23.84% throughout the experiment. The daily average energy production was 3.579 kWh/kWp. This superior performance was due to the lower operating temperature of the solar panels installed on concrete roofs, with an average panel temperature approximately 2°C lower than the other two roof types.

Keywords: Monocrystalline Solar Panels, Types of Roofs for Installation, Performance of Solar Panels, Efficiency of Solar Panels

บทคัดย่อ

พื้นผิวในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีความสำคัญต่อการผลิตและประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยลักษณะของพื้นผิวที่ติดตั้งแตกต่างกันจะส่งผลให้เกิดการสะสมของความร้อนที่ไม่เหมือนกัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศึกษาสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นผิวหลังคาที่แตกต่างกัน ในจังหวัดเชียงราย ประกอบด้วย หลังคาชนิดลอนคู่ เมทัลชีท และซีแพค โดยมีช่องว่างระหว่างหลังคากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 10 cm และใช้แผงที่มีกำลังการผลิตสูงสุด 420 W ใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมด 7 วัน ที่สภาพอากาศท้องฟ้า

เปิด จากการทดสอบพบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นผิวหลังคาซีแพคจะมีสมรรถนะสูงที่สุดโดยมีประสิทธิภาพการแปลงทางไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดลองเท่ากับ 23.84% และมีความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายวันเฉลี่ยตลอดการทดสอบได้เท่ากับ 3.579 kWh/kW$_p$ ซึ่งสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าที่สูงที่สุดเป็นผลมาจากอุณหภูมิแผงระหว่างการทำงานที่น้อยที่สุดของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาซีแพคโดยมีอุณหภูมิแผงเฉลี่ยต่ำกว่าการติดตั้งบนพื้นผิวหลังคาอีกสองชนิดประมาณ 2 °C

คำสำคัญ: แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ ชนิดของหลังคาในการติดตั้ง สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

บทนำ

รัฐบาลในหลายประเทศทั่วโลกกำลังเร่งผลักดันนโยบายด้านพลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเป็นทางการ ทำให้การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน สถิติการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วโลกถึงปี 2023 รวมกันถึงปริมาณประมาณ 714 GW ในปี 2023 ที่ผ่านมาในประเทศไทย พบว่าการติดตั้งระบบผลิตพลังงานทดแทนมีปริมาณรวมทั้งสิ้น 12,005 MW ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปีก่อน โดยมีอัตราเพิ่มขึ้นประมาณ 1.3% ส่วนใหญ่เป็นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ปริมาณประมาณ 2,979.4 MW หรือคิดเป็น 24.88% ของระบบผลิตพลังงานทดแทนทั้งหมดในประเทศ และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยภาพรวมแนวโน้มการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ของไทยในปี 2567 จะเพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะบนหลังคาที่อยู่อาศัยและอาคารโรงงาน (Solar Rooftop) ตามแผนปฏิบัติการด้านพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2567-2580 (AEDP2024) และแผนปฏิบัติการด้านการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2567-2580 (EEP2024) ที่ปรับเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น [1] และปัจจุบันในจังหวัดเชียงรายมีกระแสความต้องการในการติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้นเมื่อเทียบกับปี 2564-2565 และส่วนใหญ่จะเป็นการติดตั้งโซล่าร์รูฟท็อบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ โดยจะติดตั้งบนหลังคาบ้าน ไม่ว่าจะเป็นหลังคาชนิดซีแพค หลังคาชนิดลอนคู่ และหลังคาชนิดเมทัลชีท เป็นต้น และมีบางส่วนที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แยกจากตัวบ้านออกไป

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง [2] ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันจะมีอยู่ 3 ประเภทคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด ฟิล์มบาง หรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์อะมอร์ฟัส [3] คอนโทรลชาร์จ ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันและควบคุมกระแสไฟที่ไหลเข้าและออกจากแบตเตอรี่ในเวลากลางวันและกลางคืน อินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้เป็นกระแสไฟฟ้าสลับ

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สอดคล้องกับการใช้ชีวิตในปัจจุบัน [4] โดยระบบจะผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้เองภายในอาคารโรงงาน ถ้าระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้เกินความต้องการก็สามารถที่จะนำไปจำหน่ายให้กับหน่วยงานภาครัฐหรือเอกชนต่อไป [5] แต่การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นยังพบปัญหาในการใช้งาน เนื่องจากเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับรังสีอินฟราเรด จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เกิดความร้อนขึ้น บริเวณพื้นผิวที่รับแสงและสะสมความร้อนภายในโครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งโดยทั่วไป

ค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อ้างอิงจากผู้ผลิตจะมีอุณหภูมิทำงานอยู่ที่ 25 °C แต่หากเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 25 °C จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง [6] เช่น งานวิจัยในอดีตของ สิทธิพัฒน์ ภู่ทอง และคณะ พบว่า ปัจจัยด้านอุณหภูมิมีผลกระทบที่สำคัญในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ หากอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นทุก 1 °C การผลิตไฟฟ้าจะลดลงประมาณ 0.5% เมื่อเปรียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้พ่นละอองน้ำ ในช่วงที่แสงอาทิตย์มีความเข้มสูง (มากกว่า 1,000 W/m2) การพ่นละอองน้ำเฉพาะที่ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยด้านหน้าแผงลงได้ 19.9 °C และลดอุณหภูมิเฉลี่ยด้านหลังได้ 24.9 °C และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 13.78% [7] ดังนั้น พื้นผิวในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีความสำคัญต่อการผลิตและประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยลักษณะของพื้นผิวที่ติดตั้งแตกต่างกันจะส่งผลให้เกิดการสะสมของความร้อนที่ไม่เหมือนกัน

ดังนั้น จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลกระทบของพื้นผิวหลังคาต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ โดยจะศึกษาในสภาพพื้นผิวหลังคาต่าง ๆ จำนวน 3 ลักษณะพื้นผิว ประกอบด้วย พื้นผิวหลังคาชนิดซีแพค หลังคาชนิดลอนคู่ และหลังคาชนิดเมทัลชีท และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีช่องว่างระหว่างหลังคากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 10 cm ผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้จะช่วยให้เกิดความรู้ความเข้าใจถึงผลของพื้นผิวหลังคาสมรรถนะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อันจะก่อให้เกิดการเลือกใช้ลักษณะของหลังคาได้เหมาะสมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อไป

วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการจำลองโครงสร้างหลังคา 3 ลักษณะพื้นผิว ประกอบด้วย พื้นผิวหลังคาชนิดซีแพค หลังคาชนิดลอนคู่ และหลังคาชนิดเมทัลชีท โดยมีช่องว่างระหว่างหลังคากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 10 cm ดังภาพที่ 1 ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ตั้งแต่เวลา 8.00 น. – 17.00 น. เก็บข้อมูลทุก ๆ 15 นาที ในการเก็บรวมรวมข้อมูล กำลังไฟที่วัดใช้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เก็บข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์วัดพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Module Analyzer) ยี่ห้อ PROVA รุ่น PROVA-210 จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Monocrystalline ในกลุ่ม tier 1 ขนาด 420 W ยี่ห้อ Longi รุ่น LR5-54HPB-420M ขนาด 111.3*172.2 cm^2 โดยมี ค่ากำลังไฟฟฟ้าสูงสุด (Pmax) 420 W ค่าแรงดันไฟฟ้าตอนวงจรเปิด (V_{oc}) 37.75V ค่ากระแสลัดวงจร (I_{sc}) 14.01A ค่าแรงดันสูงสุด (V_{mp}) 31.73V และค่ากระแสสูงสุด (I_{mp}) 13.24A ใช้สายไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (PV) หรือสายไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ PV1-F" (Photovoltaic cables PV1-F) ขนาด 4 mm^2 ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบ เก็บข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์วัดความเข้มของแสง ยี่ห้อ CEM รุ่น DT-1307 อุณหภูมิ เก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ยี่ห้อ Lutron รุ่น TM-1947SD เก็บข้อมูลจำนวน 9 จุด ได้แก่ 1. อุณหภูมิหน้าแผงตรงกลาง 2. อุณหภูมิหลังแผงตรงกลาง 3. อุณหภูมิบนหลังคาตรงกลาง 4. อุณหภูมิลมเข้าด้านล่างแผงตรงกลาง 5. อุณหภูมิลมเข้าด้านหลังแผง 6. อุณหภูมิลมเข้าด้านบนแผง 7. อุณหภูมิโดยรอบ 8. อุณหภูมิบนหลังคาด้านล่างแผง และ 9. อุณหภูมิบนหลังคาด้านบนแผง

ภาพที่ 1 การจำลองติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นผิวหลังคาชนิดซีแพค หลังคาชนิดลอนคู่ และหลังคาชนิดเมทัลชีท

ในการวิเคราะห์สมรรถนะและประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์บนพื้นผิวหลังคาชนิดซีแพค หลังคาชนิดลอนคู่ และหลังคาชนิดเมทัลชีท โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าพลังงานที่ได้จากการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าของหลังคาแต่ละชนิด หาได้จากสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$P_{max} = I_{mp} V_{mp} \tag{1}$$

เมื่อ P_{max} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (W)

V_{mp} คือ ค่าแรงดันสูงสุด (V)

I_{mp} คือ ค่ากระแสสูงสุด (A)

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{mp} I_{mp}}{GA} *100\% = \frac{P_{max}}{GA} *100\% \tag{2}$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ (%)

P_{in} คือ กำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบ (W)

G คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบ (W/m^2)

A คือ พื้นที่ผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน (m^2)

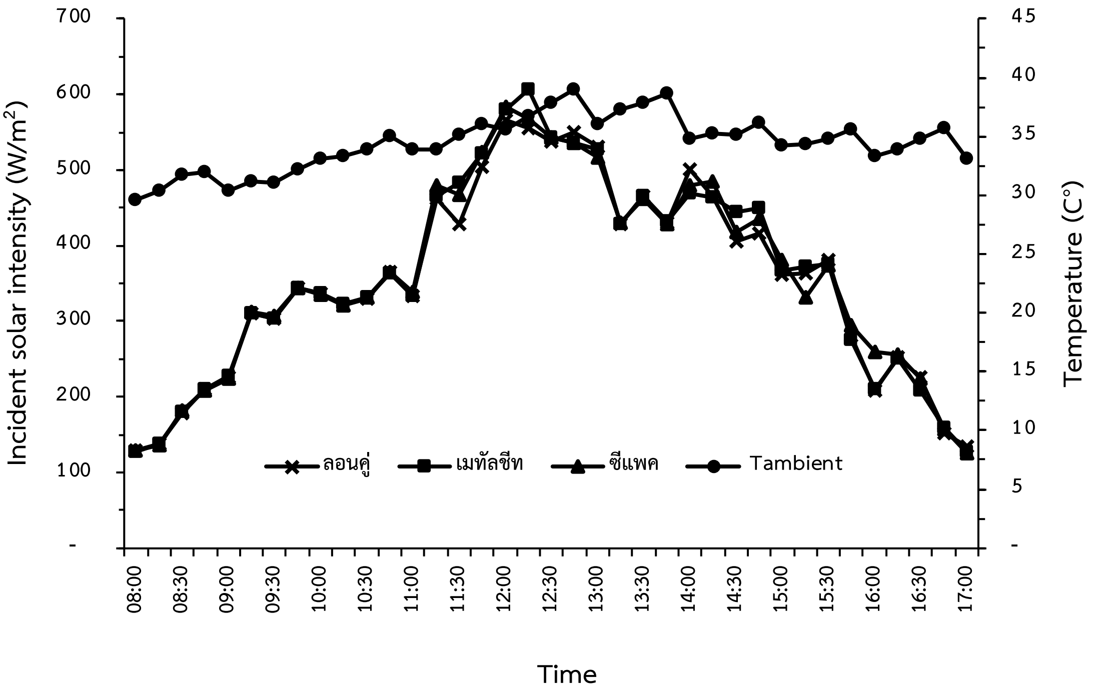
P_{max} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (W)

V_{mp} คือ ค่าแรงดันสูงสุด (V)

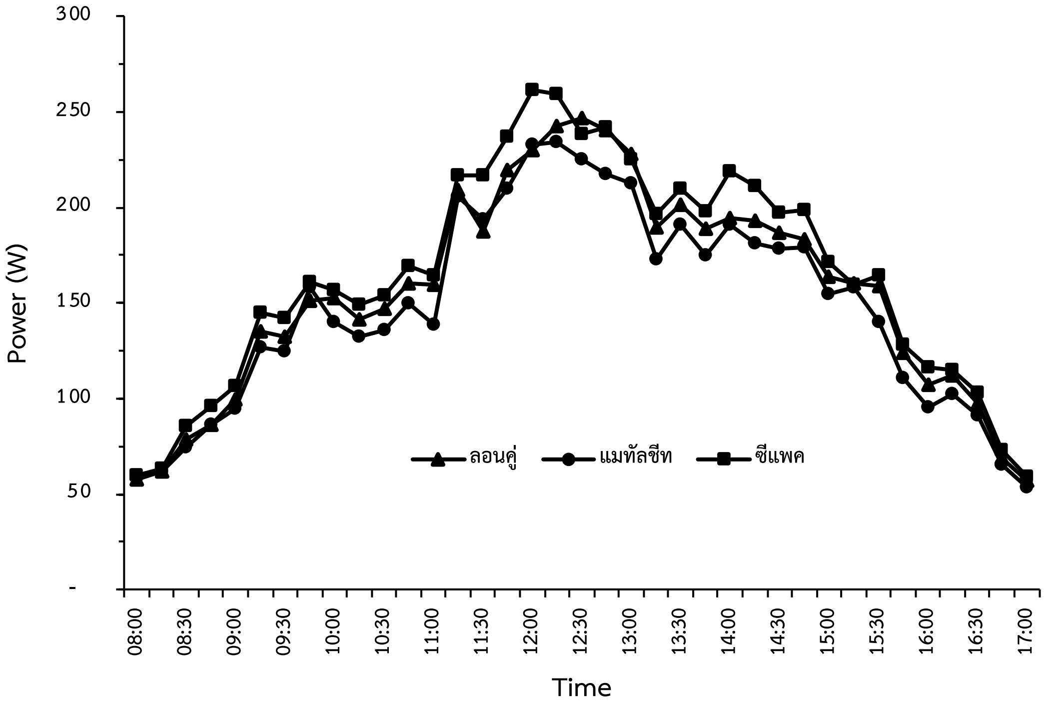
I_{mp} คือ ค่ากระแสสูงสุด (A)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ภาพที่ 2 แสดงค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบและอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยในช่วงเวลา 7 วัน ที่ทำการทดสอบของแต่ละพื้นที่ โดยทั้ง 7 วัน โดยมีค่ารังสีอาทิตย์ที่ใกล้เคียงกัน จากการทดสอบพบว่า ค่ารังสีอาทิตย์ของพื้นที่หลังคาทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้ง 7 วันของพื้นที่หลังคาชนิดลอนคู่ เท่ากับ 354.90 W/m^2 ณ เวลาที่มีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดคือเวลา 12.00 น. ที่อุณหภูมิ 35.55 °C ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์ เท่ากับ 566.57 W/m^2 และ ณ เวลาที่มีค่ารังสีอาทิตย์ต่ำสุดคือเวลา 8.00 น. ที่อุณหภูม 29.59 °C ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์ เท่ากับ 128.14 W/m^2 ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้ง 7 วันของพื้นที่หลังคาชนิดเมทัลชีท เท่ากับ 359.01 W/m^2 ณ เวลาที่มีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดคือเวลา 12.15 น. ที่อุณหภูมิ 36.75 °C ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์ เท่ากับ 606.14 W/m^2 และ ณ เวลาที่มีค่ารังสีอาทิตย์ต่ำสุดคือเวลา 8.00 น. ที่อุณหภูม 29.59 °C ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์ เท่ากับ 126.57 และค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้ง 7 วันของพื้นที่หลังคาชนิดซีแพค เท่ากับ 359.35 W/m^2 ณ เวลาที่มีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุดคือเวลา 12.00 น. ที่อุณหภูมิ 35.55 °C ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์ เท่ากับ 583.00 W/m^2 และ ณ เวลาที่มีค่ารังสีอาทิตย์ต่ำสุดคือเวลา 17.00 น. ที่อุณหภูมิ 33.04 °C ซึ่งมีค่ารังสีอาทิตย์ เท่ากับ 126.00 W/m^2 ดังภาพที่ 2

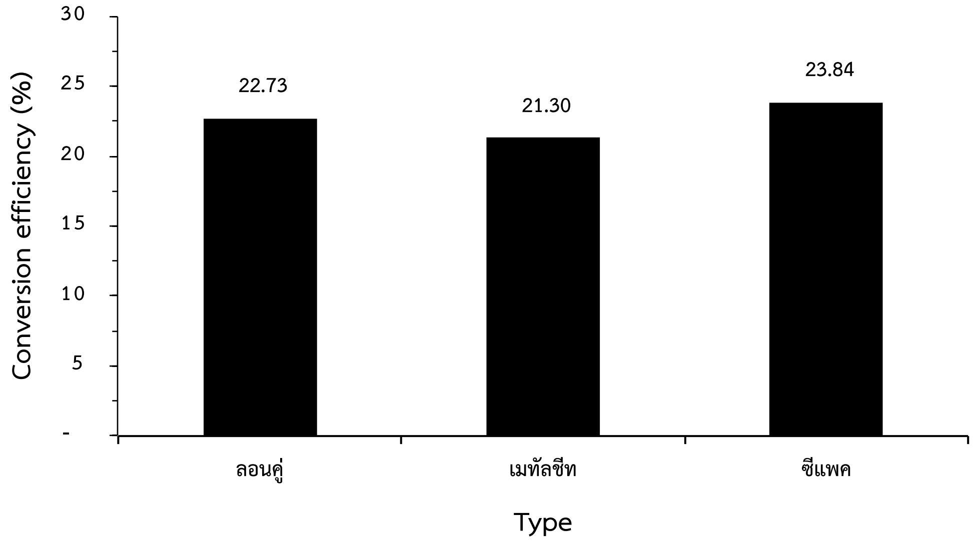


ภาพที่ 2 ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบและอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยในช่วงเวลา 7 วัน ที่ทำการทดสอบของแต่ละพื้นที่



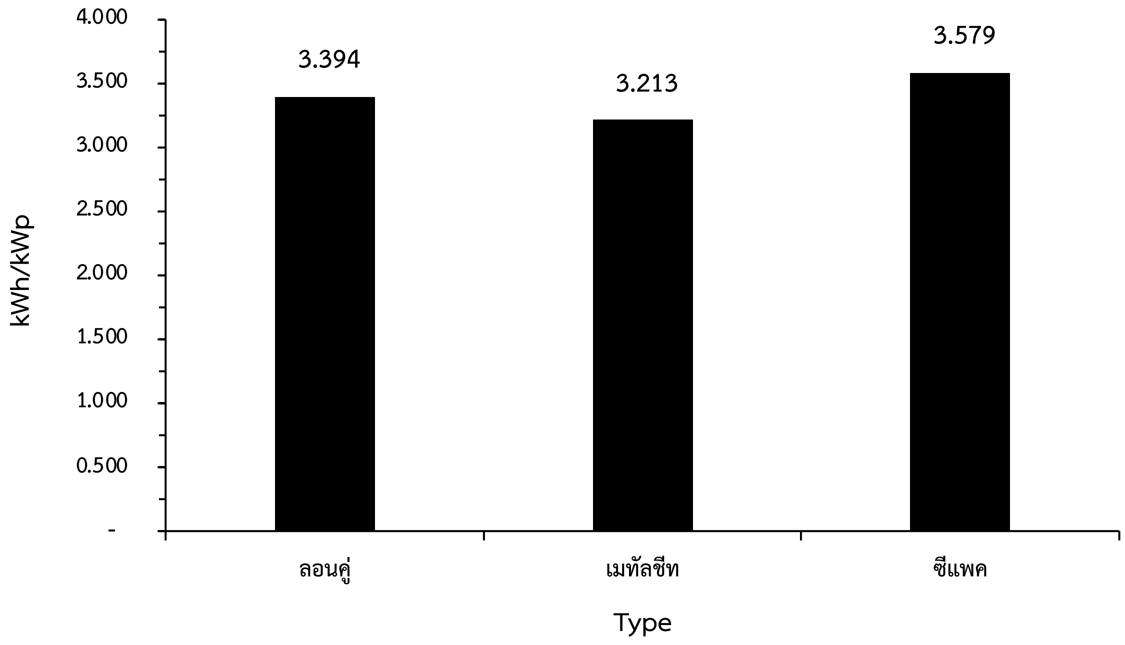
ภาพที่ 3 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นผิวหลังคา 3 ชนิด

ภาพที่ 3 แสดงกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาตลอดระยะเวลาการทดสอบทั้ง 7 วัน จากผลการทดสอบพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาชนิดซีแพค จะมีค่ากำลังไฟฟ้าตลอดทั้งวันสูงกว่าแผงที่ติดตั้งบนหลังคาชนิดลอนคู่และหลังค่าชนิดเมทัลชีท โดยกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 12.00 น. ซึ่งสอดคล้องกับเวลาที่มีค่ารังสีอาทิตย์สูงที่สุด ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งไว้บนหลังคาซีแพคจะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 261 W และมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 164 W ซึ่งสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาชนิดลอนคู่ และหลังคาชนิดเมทัลชีทประมาณ 10-20 W ภาพที่ 4 แสดงค่าประสิทธิภาพการแปลงทางไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบของแผงที่ติดตั้งบนหลังคาทั้ง 3 ลักษณะพื้นผิว จากรูปพบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาชนิดซีแพค มีประสิทธิภาพการแปลงทางไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 23.84% รองลงมาคือ หลังคาชนิดลอนคู่ มีค่าเฉลี่ยทั้ง 7 วัน คิดเป็น 22.73% และหลังคาชนิดเมทัลชีทมีค่าเฉลี่ยทั้ง 7 วัน คิดเป็น 21.30%



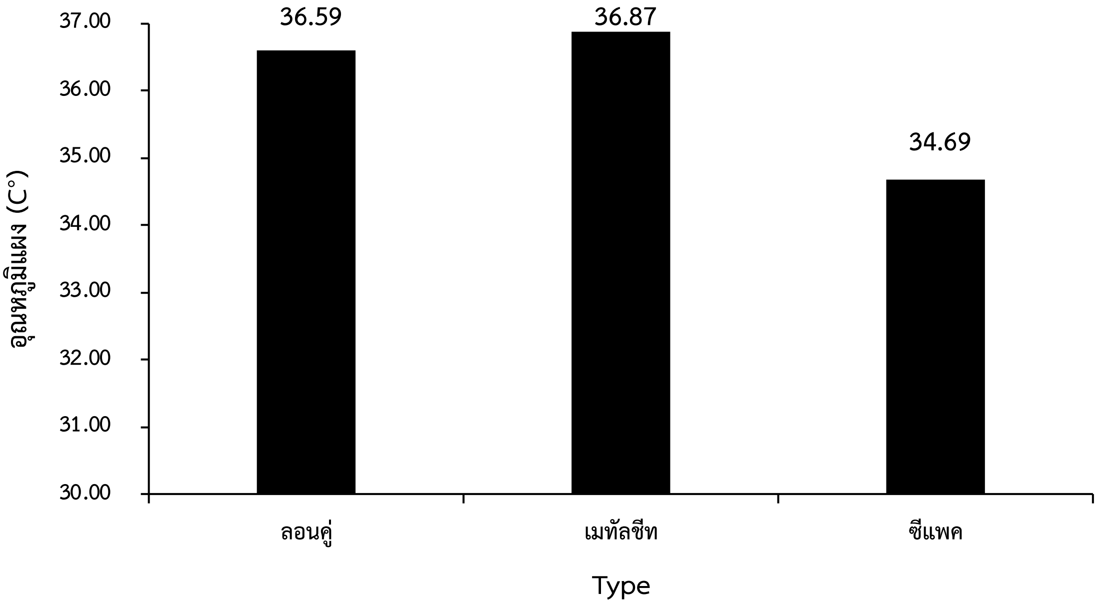
ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นผิวหลังคา 3 ลักษณะพื้นผิว ตลอดช่วงเวลาทดลอง 7 วัน

ภาพที่ 5 แสดงผลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาทั้ง 3 ลักษณะพื้นผิว โดยเป็นค่าเฉลี่ยนตลอดทั้ง 7 วันที่ทำการทดสอบ จากผลพบว่า ชนิดหลังคาที่มีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขนาดของระบบที่ติดตั้งสูงสุด คือ หลังคาชนิดซีแพค มีค่าพลังงานที่ผลิตได้เท่ากับ 3.579 kWh/kWp รองลงมาคือ หลังคาชนิดลอนคู่ มีค่าพลังงานที่ผลิตได้เท่ากับ 3.394 kWh/kWp และหลังคาชนิดเมทัลชีท มีค่าพลังงานที่ผลิตได้เท่ากับ 3.213 kWh/kWp



ภาพที่ 5 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยในแต่ละวันที่ทำการทดสอบ

อุณหภูมิของแผงตลอดเฉลี่ยในช่วงเวลา 7 วัน ที่ทำการทดสอบของแต่ละพื้นที่ พบว่า ชนิดหลังคาที่มีอุณหภูมิของแผงตลอดเฉลี่ยสูงสุด คือ หลังคาชนิดเมทัลชีท มีอุณหภูมิของแผงตลอดเฉลี่ยเท่ากับ 36.87 C° รองลงมาคือ หลังคาชนิดลอนคู่ มีอุณหภูมิของแผงตลอดเฉลี่ยเท่ากับ 36.59 C° และ หลังคาชนิดซีแพค มีอุณหภูมิของแผงตลอดเฉลี่ยเท่ากับ 34.69 C° ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 อุณหภูมิของแผงเฉลี่ยที่ติดตั้งบนพื้นผิวหลังคา 3 ชนิด ตลอดช่วงเวลาทดลอง 7 วัน

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นผิวหลังคาแต่ละชนิด พบว่า หลังคาที่มีประสิทธิภาพและสมรรถนะมากที่สุดคือ หลังคาชนิดซีแพค รองลงมาคือ หลังคาชนิดลอนคู่ และหลังคาชนิดเมทัลชีท โดยหลังคาแต่ละชนิดอาจมีผลต่อประสิทธิภาพและสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แตกต่างกัน เนื่องจากอาจมีปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น อุณหภูมิ การกระจายความร้อน และการสะท้อนแสงของพื้นผิวหลังคา ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ หลังคาชนิดซีแพค มีความสามารถในการกระจายความร้อนได้ดีและสะสมความร้อนได้มากกว่าหลังคาชนิดอื่น ๆ ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาซีแพคสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดในช่วงเวลาที่มีแสงแดดแรงที่สุด นอกจากนี้ หลังคาชนิดซีแพคยังมีความหนามากกว่าหลังคาชนิดอื่น ทำให้การถ่ายเทความร้อนไปยังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ส่งผลให้แผงสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น หลังคาชนิดลอนคู่ มีความสามารถในการสะท้อนแสงและกระจายความร้อนได้ดีกว่าหลังคาชนิดเมทัลชีท แต่ยังด้อยกว่าหลังคาชนิดซีแพค เนื่องจากหลังคาชนิดลอนคู่ทำจากวัสดุที่ไม่สามารถสะสมความร้อนได้ดีเท่าหลังคาชนิดซีแพค ทำให้สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาชนิดลอนคู่จะอยู่ในระดับปานกลาง และหลังคาชนิดเมทัลชีท เป็นวัสดุที่มีความหนาน้อยและนำความร้อนได้ดี จึงทำให้หลังคาชนิดเมทัลชีทร้อนเร็วเมื่อโดนแสงแดด ส่งผลให้ความร้อนถูกส่งต่อไปยังแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างรวดเร็ว ทำให้สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นหรือความร้อนที่สะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า [9] ทั้งนี้ อุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกพื้นผิวหลังคา [10] การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายนอกจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร้อนขึ้น ส่งผลให้กระบวนการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เกิดความเสียหายจากความร้อนและประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าลดลง

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของพื้นผิวหลังคาต่อสมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในจังหวัดเชียงราย โดยทดลองจากพื้นผิวหลังคา 3 ลักษณะพื้นผิว ประกอบด้วย พื้นผิวหลังคาชนิดซีแพค หลังคาชนิดลอนคู่และหลังคาชนิดเมทัลชีท ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 420 W โดยติดตั้งแผงทำมุมเอียงเท่ากับละติจูดของพื้นที่ หันหน้าแผงไปทางทิศใต้ และติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีช่องว่างระหว่างหลังคากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 10 cm โดยได้ทำการวัดและเก็บข้อมูลในการทดลองพร้อมกันทุกชนิดหลังคา และได้ใช้เครื่องมือในการวัดประกอบด้วย อุปกรณ์วัดพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Module Analyzer) ยี่ห้อ PROVA รุ่น PROVA-210 อุปกรณ์วัดความเข้มของแสง ยี่ห้อ CEM รุ่น DT-1307 และเครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ ยี่ห้อ Lutron รุ่น TM-1947SD ผลการศึกษาสรุปได้ว่า (1) พื้นผิวที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีสมรรถนะมากที่สุด คือ พื้นผิวหลังคาชนิดซีแพค มีกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถสร้างได้เฉลี่ยเท่ากับ 164.12 W และกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถสร้างได้ มีค่าแรงดัน 261.45 W (2) พื้นผิวที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ หลังคาชนิดซีแพค มีประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งวัน คิดเป็น 23.49% และมีประสิทธิภาพสูงสุด คิดเป็น 24.89% และ (3) พื้นผิวที่มีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขนาดของระบบที่ติดตั้ง (Array Yield) สูงสุด คือ หลังคาชนิดซีแพค มีค่าพลังงานที่ผลิตได้เท่ากับ 3.579 kWh/kWp น้อยสุดคือ หลังคาชนิดเมทัลชีท มีค่าพลังงานที่ผลิตได้เท่ากับ 3.213 kWh/kWp ทั้งนี้ อาจมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบหรืออิทธิพลต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น อุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อาจทำให้สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณการสนับสนุนของทุนอุดหนุนงานวิจัยจากโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตศึกษาทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้และขอบคุณคณะอาจารย์ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ในการให้คำแนะนำในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] พลกฤต กล่ำเครือ. (2565). **โซลาร์รูฟท็อปปี 65 ยังแรงไม่หยุด ลุ้นแพกเกจ EV รัฐหนุนโตเพิ่ม**. สืบค้นเมื่อ 29 มิถุนายน 2566. จาก https://mgronline.com/

[2] สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย. (2563). **พลังงานแสงอาทิตย์.** สืบค้นเมื่อ 29 มิถุนายน 2566. จาก http://reca.or.th/solar/

[3] กระทรวงพลังงาน. (2564). **ทำความรู้จักกับ 3 ชนิด ของโซลาร์เซลล์.** สืบค้นเมื่อ 29 มิถุนายน 2566. จาก https://energy.go.th/th/provincial-energy-activity/29841

[4] ศุภชัย เอกอุ่น. (2566). **ระบบโซลาร์รูฟท็อป.** สืบค้นเมื่อ 29 มิถุนายน 2566. จาก https://mgronline.com/

[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (มปป.). **โซล่าร์รูฟท็อบ.** สืบค้นเมื่อ 29 มิถุนายน 2566. จาก https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=50270

[6] อนุรัตน์ เทวตา และยุธนา ศรีอุดม. (2562). การศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อความร้อนแบบแบน. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร**, 12(2), 83-94.

[7] สิทธิพัฒน์ ภู่ทอง และคณะ. (2561). การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ละอองน้ำลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม**, 5(2), 20-26.

[8] Govindasamy, D., & Kumar, A. (2023). Experimental analysis of solar panel efficiency improvement with composite phase change materials. **Renewable Energy**, 212, 175-184.

[9] Ebhota, W.S. & Tabakov, P.Y. (2022). Assessment and performance analysis of roof-mounted crystalline stand-alone photovoltaic (SAPV) system at selected sites in South Africa. **Bulletin of the National Research Centre**, 46, 236, 1-15.

[10] Ebhota, W.S. & Tabakov, P.Y. (2023). Influence of photovoltaic cell technologies and elevated temperature on photovoltaic system performance. **Ain Shams Engineering Journal**, 14(7), 1-10.

ผลการกวนที่มีต่อผลการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่
The Effect of Stirring on Biogas Production Using a Simple Fixed-Dome Biogas System

อีลีหยัะ สนิโซ[1*] ลุตฟี สือนิ[1] มูฮำมัดคอยรี หะยีบากา[1] ฮูเซ็ง ชายดานา[2] มารียัม เจ๊ะโว๊ะ[3]
สุวรรณา เจ๊ะแล[1] และวาริษา วาแม[1]
Eleeyah Saniso[1*], Lutfee Seni[1], Muhammadkhoiri Hayibaka[1], Huseng Chaydana[2],
Mareeyam Chewoh[3], Suwanna Chelae[1], and Warisa Wamae[1]

[1] สาขาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน [2] สาขาฟิสิกส์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000
[3] นักวิชาการสุขาภิบาลชำนาญการ เทศบาลตำบลมะรือโบตก อำเภอระแงะ จังหวัดนราธิวาส 96130
[1] Renewable Energy Technology Program, [2] Physics Industrial Program, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Muang District, Yala Province, 95000
[3] Sanitation Technical Officer, Professional Level, Marueboktok Subdistrict Municipality, Ra-ngae District, Narathiwat Province, 96130
Corresponding author: Tel.: 086-2960787. E-mail address: eleeyah.s@yru.ac.th

Abstract

This study investigates biogas production from household organic waste using both stirred and non-stirred methods in a fixed-dome biogas system with a diameter of 120 cm and a depth of 180 cm. The fermentation process involves the use of fresh cow manure as the initial feedstock. An initial batch of approximately 190 kg of cow manure was added at the beginning of the experiment. Following a 5-day initial period, 3 kg of food waste was subsequently added every 3 days. The results indicate that the produced biogas contained various components, including CH_4, CO_2 and H_2S with concentrations of 63.87%, 26.14%, and 21.92 ppm in the stirring process, and 63.51%, 28.26%, and 3.73 ppm in the non-stirring process, respectively.

Keywords: Biogas digester, Organic waste, Household, Green energy

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในครัวเรือนแบบไม่กวนและกวนตลอดช่วงการผลิตด้วยระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบโดมคงที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 cm ความลึก 180 cm ซึ่งหมักเศษอาหารที่ได้จากครัวเรือนโดยใช้มูลวัวสดเป็นอาหารตั้งต้นด้วยการเติมครั้งเดียวในตอนแรกประมาณ 190 kg หลังจากนั้น 5 วัน จึงเติมเศษอาหารจำนวน 3 kg ทุก ๆ 3 วัน ซึ่งพบว่า มีส่วนประกอบของก๊าซมีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เฉลี่ยเท่ากับ 63.87%, 26.14% และ 21.92 ppm และ 63.51%, 28.26% แลพ 3.73 ppm กรณีที่ไม่มีการกวนและมีการกวนตามลำดับ

คำสำคัญ: ระบบผลิตไบโอก๊าซ, ขยะอินทรีย์, ครัวเรือน, พลังงานเขียว

การจำลองการกระจายอุณหภูมิในระบบอบแห้งที่อาศัยความร้อนจากเตาเผาขยะ
Simulation of Temperature Distribution in a Drying System Utilizing Heat from a Waste Incinerator

อีลีหย๊ะ สนิโซ[1*] ลุตฟี สือนิ[1] มูฮำมัดคอยรี หะยีบากา[1] ฮูเซ็ง ชายดานา[2] และ นูรฮาฟีกีน ดาหะมะ[1]

Eleeyah Saniso[1*], Lutfee Seni[1], Muhammadkhoiri Hayibaka[1], Huseng Chaydana[2], and Nurhafikeen Dahama[1]

[1] สาขาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน [2] สาขาฟิสิกส์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000

[1] Renewable Energy Technology Program, [2] Physics industrial Program, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Muang District, Yala Province, 95000

Corresponding author: Tel.: 086-2960787. E-mail address: eleeyah.s@yru.ac.th

Abstract

The study focusses on creating a 3D model of a drying system that utilizes thermal energy from a community waste incinerator. The drying chamber has dimensions of 75 x 65 x 62 cm³, with hot air entering the chamber from the bottom through an 11 cm diameter air duct. The model was created using SolidWorks 2022 software on a computer with an Intel(R) Core (TM) i5-7200U processor. The assumed outlet air velocities are 5, 10, and 100 m/s, while the inlet ambient air velocities are 1 and 5 m/s, and the inlet hot air velocities are 5 and 10 m/s. The inlet hot air temperature is 500°C, and the ambient air temperature is 32°C, respectively. The results indicate that installing fans in three positions. The inlets for hot air and ambient air entering the drying chamber, as well as at the air outlet, can effectively distribute heat throughout the drying chamber without requiring high air velocity. This configuration ensures thorough mixing and uniform heat distribution within the chamber.

Keywords: 3D Simulation, Temperature distribution, Drying system, Waste incinerator

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการแบบจำลองสามมิติ (3D) ของระบบอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตการเกษตรที่ใช้พลังงานความร้อนจากเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชน โดยมีห้องอบแห้งขนาด 75 x 65 x 62 cm^3 มีอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้งที่ด้านล่างผ่านท่อนำอากาศร้อนขนาด 11 cm โดยใช้ซอฟต์แวร์ SolidWorks 2022 ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ประมวลผลแบบ Intel(R) Core(TM) i5-7200U โดยกำหนดความเร็วลมที่ทางออกเท่ากับ 5, 10 และ 100 m/s ความเร็วลมอากาศ

แวดล้อมเข้าเท่ากับ 1 และ 5 เมตรต่อวินาที และความเร็วลมอากาศร้อนเข้าเท่ากับ 5 และ 10 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอากาศร้อนและอุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่ทางเข้าเท่ากับ 500 และ 32°C ตามลำดับ จากการจำลองพบว่า การติดตั้งพัดลมทั้ง 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ที่ทางอากาศร้อนและอากาศแวดล้อมเข้าห้องอบแห้งและที่ทางอากาศออกจากห้องอบแห้งจะช่วยให้ไม่ต้องใช้ความเร็วลมสูงมากในการผสมและกระจายความร้อนให้ทั่วถึงในห้องอบแห้ง

คำสำคัญ: การจำลองสามมิติ การกระจายอุณหภูมิ ระบบอบแห้ง เตาเผาขยะ

บทนำ

การพัฒนาระบบอบแห้งความร้อนร่วมจากชีวมวลหรือแหล่งเชื้อเพลิงอื่น ๆ เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวลสำหรับโรงอบแห้งยางพารา [1,2] เช่นเดียวกันกับ ธวัชชัย เทพนวล และคณะ [3] ที่ได้พัฒนาโรงอบแห้งยางพาราแผ่นพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานชีวมวล ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ แผงรับรังสีที่ทำจากแผ่นโพรีคาร์บอเนตและแผ่นสังกะสีขนาด 202 x 155 x 83 m^3 ทำมุมเฉียง 25 องศา มีท่อขนาด 3 นิ้ว สำหรับนำความร้อนไปยังโรงอบแห้ง เตาชีวมวลเป็นตัวส่งความร้อนไปยังท่อเพื่อกระจายความร้อนในโรงอบแห้ง และโรงอบแห้งขนาด 150 x 200 x 170 m^3 พบว่า ที่อุณหภูมิภายนอกเกิน 36°C อุณหภูมิในห้องอบแห้งจะสูงถึง 46-52°C สามารถอบแห้งยางแผ่นดิบให้แห้งได้ใน 3-4 วัน และกรณีที่อุณหภูมิในห้องอบแห้งต่ำกว่า 46°C สามารถจุดไฟที่เตาชีวมวลเพื่อช่วยเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งได้ นอกจากนี้ Dhanushkodi et al. [4] ได้วิเคราะห์แบบจำลองลักษณะเฉพาะของการอบแห้งเม็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut) ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมชีวมวล และ Yahya et al. [5] ได้พัฒนาระบบอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิไดซ์เบดที่อาศัยพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์และชีวมวล พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศร้อน 61 และ 78°C ใช้เวลา 1281 และ 796 min มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) เท่ากับ 4.76 และ 4 kWh/kg และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 13.45% และ 16.28% ตามลำดับ

ในขณะที่การประยุกต์ใช้แบบจำลองการไหลเชิงคำนวณ (computational fluid dynamics, CFD) กับระบบอบแห้งได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง [6] บนพื้นฐานของแบบจำลองช่วงเวลาเชิงผลต่าง (finite difference time domain, FDTD) หรือการวิเคราะห์องค์ประกอบจำกัด (finite element analysis, FEA) ซึ่งแบบหลังได้รับความนิยมมากกว่าในการวิเคราะห์ระบบอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ในวิธีการ FEA โปรแกรมซอฟต์แวร์จะทำการแบ่งวัตถุเสมือนสองมิติหรือสามมิติออกเป็นองค์ประกอบย่อย จากนั้นจะตั้งสมการอนุพันธ์ย่อยที่อธิบายการถ่ายเทความร้อน มวล และ/หรือโมเมนตัมสำหรับแต่ละองค์ประกอบ ระบบสมการที่ได้จะถูกแก้ไขโดยซอฟต์แวร์ และผลลัพธ์จะถูกแสดงผลให้ผู้ใช้เห็น โดยแบบจำลอง CFD สามารถจำแนกได้ตามขนาดของเรขาคณิตพื้นฐานที่สนใจ เช่น ชิ้นอาหารที่กำลังอบแห้งแต่ละชิ้น ถาดหรือกลุ่มของชิ้นอาหาร ตู้ของเครื่องอบแห้ง หรือระบบเครื่องอบแห้งทั้งหมด แบบจำลองเหล่านี้ยังสามารถจำแนกได้ตามรูปแบบการถ่ายเทความร้อน มวล และโมเมนตัมที่รวมอยู่ด้วย เครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนด้วยลมร้อนมาตรฐานสามารถสร้างแบบจำลองโดยพิจารณาการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำและการพาความร้อน อย่างไรก็ตาม การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีความท้าทายเพิ่มเติมในการสร้างแบบจำลอง เนื่องจากต้องรวมการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีด้วย นอกจากนี้ ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (W/m^2) มีความแปรผันตามเวลาโดยธรรมชาติ และรังสีที่เข้าถึงตัวสะสมหรือตู้ของเครื่องอบแห้งประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจาย

โดย Gago and Mesa [7] ได้ออกแบบการจำลองเครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเมล็ดพืชสมุนไพรและอาหารสัตว์โดยใช้ซอฟต์แวร์ SolidWorks ในขณะที่ Dhanushkodi et al. [8] ได้สร้างและทดสอบเครื่องอบแห้ง

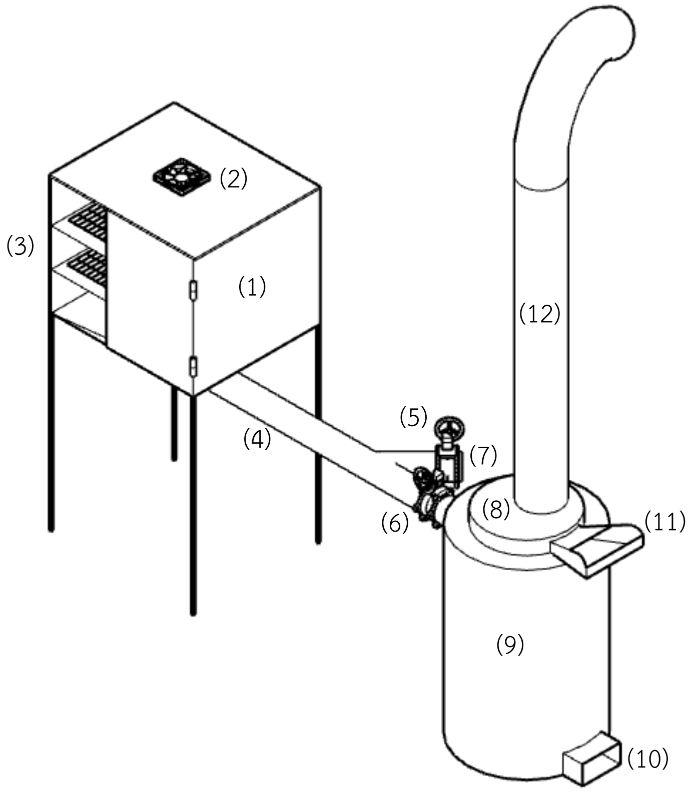
ไฮบริดที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และชีวมวลโดยไม่มีถาดหรือน้ำหนักใด ๆ การกระจายตัวของอุณหภูมิของการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งถูกดำเนินการด้วย SolidWorks 2020 ผลลัพธ์อาจยอมรับได้เมื่อเทียบกับค่าทดลอง การใช้ CFD เป็นเครื่องมือในการจัดการอุณหภูมิและความเร็วของอากาศในห้องอบแห้งทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถดำเนินการเพื่อออกแบบระบบเครื่องอบแห้งได้ CFD ถูกใช้เป็นเครื่องมือในการทำนายการกระจายตัวของอุณหภูมิและการไหลของอากาศในห้องอบแห้งเพื่อให้ได้การอบแห้งที่สม่ำเสมอ CFD ยังถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อศึกษารูปแบบการไหลของอากาศในห้องอบแห้ง การกระจายตัวของอุณหภูมิและการไหลของอากาศในห้องอบแห้งที่สม่ำเสมอเป็นสิ่งสำคัญมากเพราะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพและความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ที่กำลังอบแห้ง นอกจากนี้ Saniso and Hayibaka [9] รายงานว่า การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและประหยัดค่าใช้จ่ายในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เพื่อออกแบบเครื่องอบแห้งทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์เฉพาะ จำเป็นต้องพิจารณาความสัมพันธ์ทางอุณหพลศาสตร์สำหรับระบบเครื่องอบแห้งทางการเกษตร การจำลอง CFD ถูกใช้บ่อยครั้งในการออกแบบเครื่องอบแห้ง การศึกษานี้ได้นำเสนอการจำลองเครื่องอบแห้งทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแบ่งระบบเครื่องอบแห้งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ แผงรับแสงอาทิตย์ขนาดกว้าง 2.0 m ยาว 2.0 m และสูง 0.2 m และห้องอบแห้งขนาดกว้าง 1.0 m ยาว 2.0 m และสูง 0.6 m การกระจายอุณหภูมิและรูปแบบการไหลของอากาศในห้องอบแห้งและแผงรับแสงอาทิตย์ได้รับการจำลองด้วย CFD ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของอากาศในห้องอบแห้งโดยเฉลี่ยขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศเริ่มต้น เมื่อความเร็วของอากาศเริ่มต้นเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของอากาศในห้องอบแห้งโดยเฉลี่ยจะลดลง นอกจากนี้ อุณหภูมิของอากาศและความเร็วของอากาศในห้องอบแห้งที่มีความเร็วอากาศเข้าเริ่มต้นต่ำจะแจกแจงอย่างสม่ำเสมอกว่าที่มีความเร็วอากาศเข้าเริ่มต้นสูง

การวิจัยนี้ จึงได้จำลองการกระจายอุณหภูมิในระบบอบแห้งที่อาศัยความร้อนจากเตาเผาขยะด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งติดตั้งพัดลมและความเร็วลมที่เหมาะสมของระบบอบแห้งที่อาศัยความร้อนจากเตาเผาขยะ

วิธีการวิจัย

1. ระบบอบแห้งที่อาศัยความร้อนจากเตาเผาขยะ

ระบบอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตการเกษตรที่ใช้พลังงานความร้อนจากเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชน ได้ออกแบบและสร้างขึ้นให้สามารถใช้งานได้ง่ายกับชุมชน **ดังภาพที่ 1**

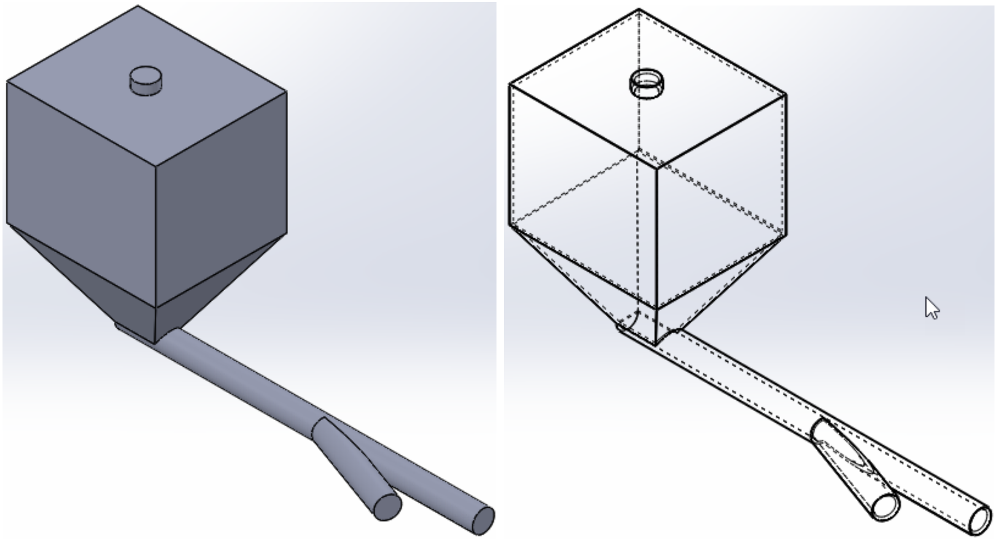


ภาพที่ 1 ระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนจากเตาเผาขยะอย่างง่าย

ระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนจากเตาเผาขยะอย่างง่ายประกอบด้วย (1) ผนังห้องอบแห้งที่หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนโพลีเอ็มพี่อีความหนา 1 cm เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอก (2) พัดลมดูดอากาศออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm สำหรับความคุมการไหลของอากาศในห้องอบแห้งให้ได้ความเร็วต่าง ๆ ตามที่กำหนด (3) ตะแกรงวางวัสดุอบแห้งที่สามารถเลื่อนเข้าออกได้ จำนวน 2 ชั้น (4) ท่อนำอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้งขนาด 11 cm ความยาว 200 cm (5) วาล์วแบบผี่เสื้อสำหรับควบคุมอากาศแวดล้อมเข้ามาผสมที่ท่อนำอากาศร้อน (6) วาล์วแบบผี่เสื้อสำหรับควบคุมอากาศร้อนที่ออกมาจากถังสะสมความร้อนมาผสมกันกับอากาศแวดล้อมให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสม (7) ช่องนำอากาศแวดล้อมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 cm เข้าผสมกับอากาศร้อนในท่อนำอากาศร้อน (8) ถังด้านในสำหรับเผาขยะขนาดความจุ 120 l (9) ถังด้านนอกสำหรับสะสมความร้อนขนาดความจุ 200 l (10) ช่องอากาศเข้าเตาเผา/นำขี้เถ้าออกขนาดช่อง 20 x 15 cm^2 (11) ช่องนำขยะ/เติมเข้าเผาขนาดช่อง 20 x 10 cm^2 และ (12) ท่อนำควันจากการเผาไหม้ขยะออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm

2. การจำลองการกระจายอุณหภูมิในระบบอบแห้ง

แบบจำลองสามมิติ (3D) ของระบบอบแห้งวัสดุอาหารและผลผลิตการเกษตรที่ใช้พลังงานความร้อนจากเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดห้องอบแห้งเท่ากับ 75 x 65 x 62 cm^3 ด้านในมีตะแกรงจำนวน 2 ชั้น ขนาดรูตะแกรงเท่ากับ 1 x 1 cm^2 ตะแกรงที่ 1 และ 2 วางสูงจากขอบล่างของห้องอบแห้งเท่ากับ 20 cm และ 40 cm ตามลำดับ (ตะแกรงไม่ได้นำมาพิจารณาในการจำลอง) มีอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้งที่ด้านล่างผ่านท่อนำอากาศร้อนขนาด 11 cm ดังภาพที่ 2 โดยใช้ซอฟต์แวร์ SolidWorks 2022 [10] ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ประมวลผลแบบ Intel(R) Core(TM) i5-7200U, 64 bit/2.5 GHz มีหน่วยความจำและฮาร์ดดิสก์ขนาด 8.0 GB และ 9.3 GB ตามลำดับ ซึ่งกำหนดเงื่อนไขการจำลอง ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 2 ระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานความร้อนจากเตาเผาขยะอย่างง่ายประกอบการจำลองการกระจายความร้อนในห้องอบแห้ง

ตารางที่ 1 เงื่อนไขและข้อกำหนดของการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

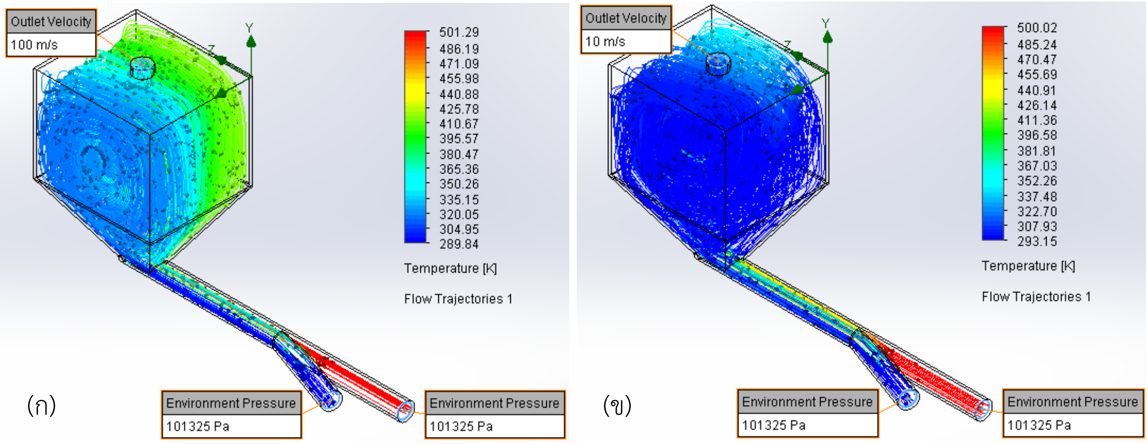
พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	หน่วย
ความเร็วลม		
ที่ทางอากาศออกห้องอบแห้ง	ความดันบรรยากาศ และความเร็วลม 5, 10, 100	m/s
ที่ทางอากาศแวดล้อมเข้าห้องอบแห้ง	ความดันบรรยากาศ และความเร็วลม 1, 5	m/s
ที่ทางอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้ง	5, 10	m/s
อุณหภูมิ		
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	32	°C
อุณหภูมิอากาศร้อน	500	°C

วิธีการเชิงตัวเลขแบบปริมาตรจำกัด (Finite volume method) ถูกใช้ในการแก้สมการด้วยซอฟต์แวร์ SolidWorks 2022 ที่ใช้เมชแบบเครือข่ายสามมิติแบบไม่มีโครงสร้างชนิดเซลล์สี่เหลี่ยมปริซึมจำนวน 47,946 เซลล์ โดยมีระดับความละเอียดของการตั้งค่าตาข่ายระดับ 4 การจำลองดำเนินการในสภาวะคงที่ กำหนดเงื่อนไขที่ทางอากาศออกและทางอากาศแวดล้อมและอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้ง โดยที่ผนังส่วนต่าง ๆ กำหนดเป็นแบบอะเดียแบติก ไม่มีการสูญเสียความร้อนและความขรุขระเป็นศูนย์

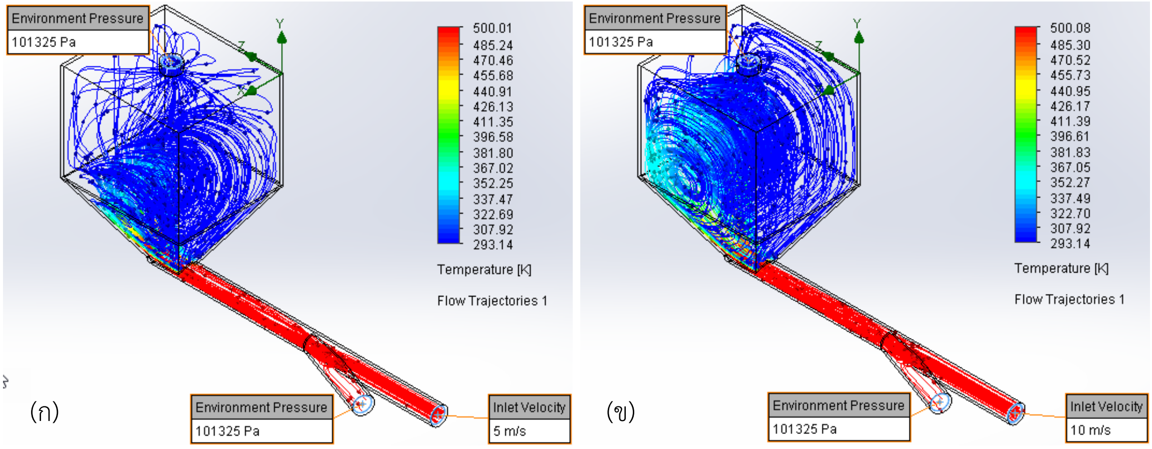
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

กรณีติดตั้งพัดลมที่ทางอากาศออกจากห้องอบแห้ง ดังภาพที่ 3 เมื่อกำหนดความเร็วลมออกจากห้องอบแห้งเท่ากับ 10 m/s และ 100 m/s โดยที่อากาศแวดล้อมและอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้งอย่างอิสระ พบว่า ที่ความเร็วอากาศออกจากห้องอบแห้งที่สูง (100 m/s) การไหลของอากาศร้อนและอากาศแวดล้อมแยกกันอย่างเด่นชัด โดยด้านหนึ่งยังเป็นอากาศแวดล้อมซึ่งมีอุณหภูมิต่ำและอีกด้านหนึ่งเป็นอุณหภูมิที่มาจากท่ออากาศร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่ามากจึงส่งผลให้ความร้อนในห้องอบแห้งไม่สม่ำเสมอ ดังภาพที่ 3(ก) ในขณะเดียวกันเมื่อลดความเร็วอากาศออกจากห้องอบแห้ง (10 m/s) จะเห็นการผสมกันของอากาศแวดล้อมกับอากาศร้อนมากขึ้น ดังภาพที่ 3(ข) จึงมีผลให้ความร้อนในห้องอบแห้งมีการกระจายสม่ำเสมอมากขึ้น

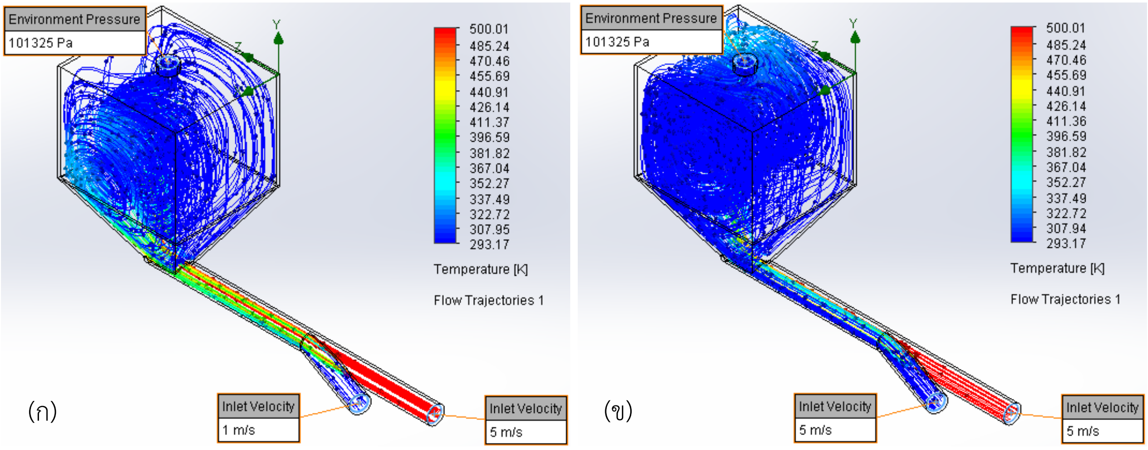
กรณีติดตั้งพัดลมที่ทางอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้ง ดังภาพที่ 4 เมื่อกำหนดความเร็วลมเข้าห้องอบแห้งเท่ากับ 5 m/s และ 10 m/s โดยที่อากาศแวดล้อมไหลเข้าและอากาศในห้องอบแห้งไหลออกอย่างอิสระ พบว่า ที่ความเร็วอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้งที่สูง (10 m/s) ดังภาพที่ 4(ก) การไหลของอากาศร้อนและอากาศแวดล้อมจะผสมกันได้ดีกว่าที่ความเร็วลมต่ำ ดังภาพที่ 4(ข) เนื่องจากความเร็วของอากาศร้อนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงกว่าส่งผลให้เกิดแรงเคลื่อนและการไหลวนของอากาศได้ดีกว่าจึงมีผลให้ความร้อนในห้องอบแห้งมีการกระจายสม่ำเสมอมากขึ้นจนออกจากห้องอบแห้งในที่สุด กรณีติดตั้งพัดลมที่ทางอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้งซึ่งกำหนดความเร็วลมเท่ากับ 5 m/s และติดตั้งพัดลมที่ทางอากาศแวดล้อมเข้าห้องอบแห้งซึ่งกำหนดความเร็วลมเท่ากับ 1 และ 5 m/s ดังภาพที่ 5 โดยที่อากาศออกจากห้องอบแห้งอย่างอิสระ พบว่า ที่ความเร็วอากาศแวดล้อมเข้าต่ำ (1 m/s) การไหลของอากาศร้อนและอากาศแวดล้อมจะผสมและกระจายตัวอยู่ทั่วห้องอบแห้งโดยเฉพาะที่ครึ่งล่างของห้องอบแห้ง ดังภาพที่ 5(ก)



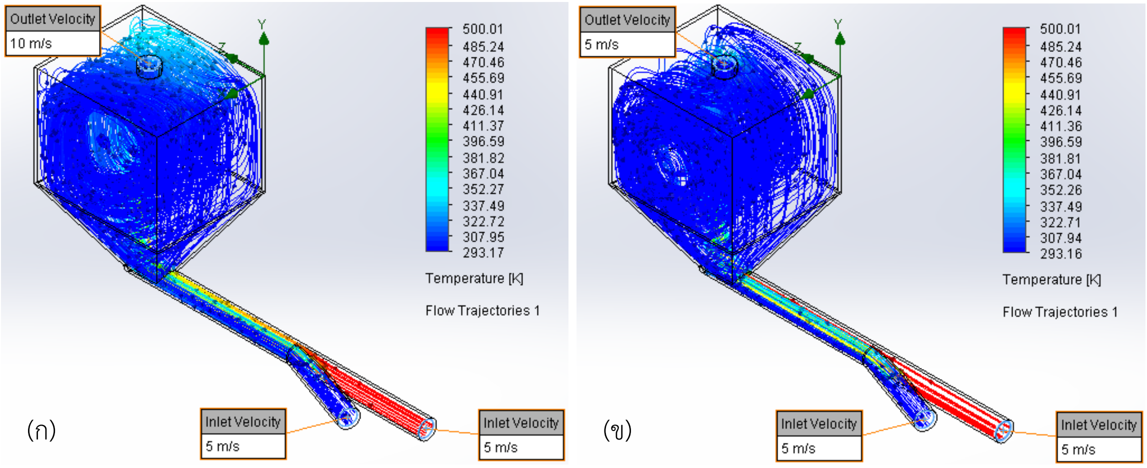
ภาพที่ 3 กรณีติดตั้งพัดลมที่ทางอากาศออกห้องอบแห้ง (กำหนดความเร็วลมเท่ากับ 10 และ 100 m/s)



ภาพที่ 4 กรณีติดตั้งพัดลมที่ทางอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้ง (กำหนดความเร็วลมเท่ากับ 5 และ 10 m/s)



ภาพที่ 5 กรณีติดตั้งพัดลมที่ทางอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้ง (กำหนดความเร็วลมเท่ากับ 5 m/s) และทางอากาศแวดล้อมเข้าห้องอบแห้ง (กำหนดความเร็วลมเท่ากับ 1 และ 5 m/s)



ภาพที่ 6 กรณีติดตั้งพัดลมที่ทางอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้ง (กำหนดความเร็วลมเท่ากับ 5 m/s) ที่ทางอากาศแวดล้อมเข้าห้องอบแห้ง (กำหนดความเร็วลมเท่ากับ 5 m/s) และที่ทางอากาศออกจากห้องอบแห้ง (กำหนดความเร็วลมเท่ากับ 5 และ 10 m/s)

ในขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศแวดล้อมเข้าห้องอบแห้ง (5 m/s) จะเห็นอากาศแวดล้อมเด่นชัดมากขึ้น ดังภาพที่ 5(ข) จึงมีผลให้ความร้อนในห้องอบแห้งลดลงและแยกตัวกับอากาศร้อนที่เข้ามาในห้องอบแห้งเด่นชัดมากขึ้น และกรณีติดตั้งพัดลมที่ทางอากาศร้อนและอากาศแวดล้อมเข้าห้องอบแห้งซึ่งกำหนดความเร็วลมเท่ากับ 5 m/s และติดตั้งพัดลมที่ทางอากาศออกจากห้องอบแห้งซึ่งกำหนดความเร็วลมเท่ากับ 5 และ 10 m/s ดังภาพที่ 6 ซึ่งพบว่า ที่ความเร็วอากาศออกจากห้องอบแห้งสูง (10 m/s) การไหลของอากาศร้อนและอากาศแวดล้อมจะผสมและกระจายตัวอยู่ทั่วห้องอบแห้งจนออกจากห้องอบแห้ง ดังภาพที่ 6(ก) ซึ่งแตกต่างกันกับกรณีที่ความเร็วอากาศออกจากห้องอบแห้งต่ำ (5 m/s) จะเห็นอากาศแวดล้อมอย่างเด่นชัดและส่วนมากแยกออกจากอากาศร้อน ดังภาพที่ 6(ข) จึงมีผลให้ความร้อนในห้องอบแห้งกระจายได้ไม่สม่ำเสมอ

สรุปผลการวิจัย

กรณีติดตั้งพัดลมของระบบอบแห้งที่อาศัยความร้อนจากเตาเผาขยะนั้นควรติดตั้งทั้ง 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ที่ทางอากาศร้อนและอากาศแวดล้อมเข้าห้องอบแห้งและติดตั้งที่ทางอากาศออกจากห้องอบแห้งด้วย จึงจะช่วยให้ไม่ต้องใช้ความเร็วลมสูงมากในการผสมและกระจายความร้อนให้ทั่วถึงในห้องอบแห้ง อย่างไรก็ดีต้องทำการทดสอบเพิ่มอีกเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์และชี้ชัดได้ว่าแต่ละตำแหน่งต้องใช้ความเร็วลมเท่าใด จึงจะได้เงื่อนไขของความเร็วลมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบอบแห้งที่อาศัยความร้อนจากเตาเผาขยะ

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (Fundamental Fund: FF) ประจำปีงบประมาณ 2565 มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ขอขอบคุณ ดร.รอมสัน หมาดมานัง และ ดร.จุฑามาศ แก้วมณี คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองและการลงพื้นที่เก็บข้อมูลในชุมชน

เอกสารอ้างอิง

[1] กัน ผาสุข. (2552). **การพัฒนาโรงอบแห้งยางพาราที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และชีวมวล.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[2] Sonthikun, S., Chairat, P., Fardsin, K., Kirirat, P., Kumar, A. and Tekasakul, P. (2016). Computational fluid dynamic analysis of innovative design of solar-biomass hybrid dryer: An experimental validation. **Renewable Energy.** 92, 185-191.

[3] ธวัฒน์ชัย เทพนวล สุวิทย์ เพชรห้วยลึก ซุลกิพลี กาซอ พรศักดิ์ สมประสงค์ และภรพนา บัวเพชร์. (2553). การใช้พลังงานของโรงอบยางแผ่นดิบพลังงานร่วมแสงอาทิตย์และชีวมวล. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ.** 12 (3), 119-128.

[4] Dhanushkodi, S., Wilson, V. H. and Sudhakar, K. (2017). Mathematical modeling of drying behavior of cashew in a solar biomass hybrid dryer. **Resource-Efficient Technologies.** 3 (4), 359-364.

[5] Yahya, M., Fudholi, A. and Sopian, K. (2017). Energy and exergy analyses of solar-assisted fluidized bed drying integrated with biomass furnace. **Renewable Energy.** 105, 22-29.

[6] Milczarek, R.R. and Alleyne, F.S. (2017). Mathematical and computational modeling simulation of solar drying systems. In: Prakash O and Kumar A (eds.). Solar Drying Technology, Green Energy and Technology, Springer Nature Singapore, Pte Ltd.

[7] Gago, Y.R. and Mesa, Y.M. (2020). Design and simulation of a solar dryer for botanical seeds of grass and forage. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**. 9 (1), 26-36.

[8] Dhanushkodi, S., Wilson, V.H. and Sudhakar, K. (2015). Simulation of solar biomass hybrid dryer for drying cashew kernel. **Advances in Applied Science Research**. 6 (8), 148-154.

[9] Saniso, E. and Hayibaka, M. (2022). Computational fluid dynamics (CFD) simulation of a solar agricultural dryer. **International Journal of Mechanical Engineering.** 7 (2), 1230-1237.

[10] SilidWorks EDU Edition STAND-ALONE. (2022). Serial Number 9700030598825877GB7PDH7K. AppliCAD Public Company Limited.

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยแผ่นดูดซับความร้อนแบบร่องตัววี

Heat transfer augmentation in solar air heater with V-grooved absorber plate

พงษ์เจต พรหมวงศ์[1], ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์[2], อรรถพล ชัยมนัสกุล[3], สืบสกุล คุรุรัตน์[3] และ สมพล สกุลหลง[3*]

Pongjet Promvonge[1], Panuwat Hoonpong[2], Attaphon Chaimanatsakun[3], Suabsakul Gururatana[3], and Sompol Skullong[3*]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

[3] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี 20230

[1] Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520

[2] Department of Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi 15000

[3] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi 20230

Corresponding author: Tel.: 0841955912. E-mail address: sompol@eng.src.ku.ac.th

Abstract

This research paper presents a study on the effect of groove depth on heat transfer and flow characteristics in a solar air heater channel fitted with multiple V-grooves on the absorber plate. The channel has rectangular cross-section with uniform heat flux conditions. The experiments are carried out by varying airflow rate in term of Reynolds number ranging from 5300 to 22,600. The V-groove with a single transverse pitch to channel height (P/H=PR) of 0.8 and attack angle of (α) of 45° pointing upstream are mounted on the upper plate only (absorber plate). The effect of three groove depth to channel height ratio (d/H) of 0.32, 0.24 and 0.16 on heat transfer in terms of Nusselt number (Nu) and friction loss in terms of friction factor (f) are experimentally investigated. The experimental result shows that the V-grooves with d/H = 0.32 provides higher Nusselt number and friction factor than other V-grooves and the smooth channel and also provides highest thermal enhancement factor (TEF) than other V-grooves as well.

Keywords: Heat transfer, Solar air heater, V-groove, Absorber plate, Thermal performance

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของความลึกของร่องต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการไหลในท่อเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยแผ่นดูดซับความร้อนเซาะร่องรูปตัววีแบบต่อเนื่อง การทดลองดำเนินการโดยใช้อัตราการไหลของอากาศในช่วงเลขเรย์โนลด์ส 5300 ถึง 22,600 ร่องรูปตัววีที่มีระยะพิตช์ต่อความสูงท่อ (P/H=PR) เท่ากับ 0.8 และมุมปะทะการไหล (α) เท่ากับ 45 องศา โดยปลายตัววีชี้ทวนกระแสการไหลของอากาศและถูกติดตั้งด้านบนของช่องขนานเป็นแผ่นดูดซับความร้อน ในการทดลองทำศึกษาอิทธิพลอัตราส่วนความลึกของร่องต่อความสูงท่อ 3 ค่า คือ d/H = 0.32, 0.24 และ 0.16 ที่มีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนโดยแสดงในเทอมของเลขนัสเซิลท์ (Nusselt Number, Nu) และการสูญเสียความดันโดยแสดงในเทอมของตัวประกอบความเสียดทาน (Friction Factor, f) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเซาะร่องรูปตัววีที่อัตราส่วนความลึกของร่องต่อความสูงท่อ (d/H) เท่ากับ 0.32 ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบความเสียดทานสูงสุด โดยมีค่าสูงกว่าร่องรูปตัววีที่ความลึกอื่นๆ รวมทั้งแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ และยังให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal enhancement factor, TEF) สูงสุด

คำสำคัญ: การถ่ายเทความร้อน เครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์ ร่องตัววี แผ่นดูดซับความร้อน สมรรถนะเชิงความร้อน

การออกแบบ สร้าง และทดสอบ เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วสำหรับการผลิตน้ำมันชีวภาพผงไผ่
Design, construction and test of fast pyrolysis reactor for production of bamboo powder bio-oil

นิกราน หอมดวง[1,*] กิตติกร สาสุจิตต์[1] ประภัสสร รัตนไพบูลย์[1] พนธกร เหลี่ยมเคลือบ[1]
นรินทร์ ศรีธิการ[2] และ สุรพล ริยะนา[1]
Nigran Homdoung[1,*] Kittikorn Sasujit[1] Praphatsorn Rattanaphaiboon[1] Phontakorn Liam-kloub[1],
and Surapon Riyana[1]

[1]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2]แผนกวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่ 50200
[1]School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290
[2]Auto Mechanic Division, Chiangmai Technical College, Chiang Mai 50200
[*]Corresponding author: Tel.: 084-1773632. E-mail address: nigranghd@gmail.com

Abstract

This research aims to design, construct and test the operation of a fast ablative pyrolysis reactor for bio-oil production from bamboo powder. The design and construction focus on the analysis and calculation of the volume of the pyrolysis reactor chamber and the ability to generate a pyrolysis temperature sufficient for the pyrolysis process at bamboo powder feeding rate in the range of 2-10 kg/h. The design of the pyrolysis reactor was resulted in a pyrolysis chamber with a volume of 21.1 L, a cylindrical was cone shape and using grade 304 stainless steel for construction. The side walls were covered with 10 cm thick microfiber insulation and use cooking gas in conjunction with a burner for heating. The temperature reduction for condensing crude bio-oil was used water to reduce the temperature and works together with a cooling tower for cooling. The pyrolysis reactor can produce a temperature in the reactor chamber in the range of 700-800 °C. At pyrolysis temperature of 700 °C, the pyrolysis reactor can produce bio-oil, charcoal and pyrolysis gas up to 62%, 19.1% and 18.8%, respectively. The test results of the pyrolysis reactor are satisfactory, and the design and construction of this reactor will be a prototype for the further development of commercial fast pyrolysis reactors.

Keywords: pyrolysis process, pyrolysis reactor, bio-oil, bamboo

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบ สร้าง และทดสอบ การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วชนิดเลียดละลาย (Ablative reactor) สำหรับการผลิตน้ำมันชีวภาพจากผงไผ่บง การออกแบบและการสร้างมุ่งเน้นการวิเคราะห์คำนวณหาปริมาตรห้องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสและความสามารถในการสร้างอุณหภูมิไพโรไลซิสให้เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยากระบวนการไพโรไลซิสที่อัตราการป้อนผงไผ่บงอยู่ในช่วง 2-10 kg/h โครงสร้างหลักของเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วที่ออกแบบ ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสและเครื่องควบแน่นน้ำมันชีวภาพ ผลการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส ได้ขนาดห้องไพโรไลซิสมีปริมาตร 21.1L มีรูปแบบเป็นทรงกระบอกกรวย ใช้เหล็กสแตนเลสเกรด 304 ในการสร้างด้านข้างผนังหุ้มด้วยฉนวนไมโครไฟเบอร์ที่ความหนา 10 cm และใช้แก๊สหุงต้มต่อร่วมกับหัวเผาในการป้อนให้ความร้อน การลดอุณหภูมิสำหรับการควบแน่นน้ำมันชีวภาพดิบใช้น้ำในการลดอุณหภูมิและทำงานร่วมกับหอผึ่งเย็นในการระบายความร้อน ในการทดสอบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสามารถสร้างอุณหภูมิในห้องปฏิกรณ์ได้อยู่ในช่วง 700-800 $^{\circ}$C และที่อุณหภูมิไพโรไลซิส 700 $^{\circ}$C เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสามารถผลิต น้ำมันชีวภาพ ถ่านชาร์ และไพโรไลซิสแก๊สได้สูงสุด 62%, 19.1% และ 18.8% ตามลำดับ ผลการทดสอบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสอยู่ในระดับพอใจ และการออกแบบ สร้างเครื่องปฏิกรณ์นี้จะเป็นต้นแบบในการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วในเชิงพานิชย์ต่อไป

คำสำคัญ : กระบวนการไพโรไลซิส เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส น้ำมันชีวภาพ ไผ่

บทนำ

วิกฤตการณ์การลดลงของแหล่งพลังงานจากฟอสซิลและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูงเป็นทำให้ราคาของพลังงานเพิ่มสูงขึ้นและเป็นสาเหตุการเกิดภาวะโลกร้อนเพิ่มสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากมาย เช่น การเพิ่มขึ้นของน้ำทะเล การเกิดพายุที่รุนแรง น้ำท่วมฉับพลัน การเกิดภัยแล้ง และไฟป่า เป็นต้น [1] การลดการใช้แหล่งเชื้อเพลิงจากฟอสซิลและการหันมาพัฒนาการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพจากพลังงานชีวมวลที่มีอยู่เป็นแนวทางที่สามารถแก้ไขปัญหาเรื่องนี้ได้ การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพจากชีวมวลในปัจจุบันยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการหรือเป็นเพียงต้นแบบการผลิตเท่านั้น การพัฒนาน้ำมันชีวภาพในเชิงพาณิชย์ยังไม่มีการดำเนินการอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากหลายประการ เช่น คุณภาพหรือคุณสมบัติของน้ำมันค่อนข้างต่ำ การปรับปรุงมีซับซ้อนยุ่งยาก และต้นทุนการผลิตน้ำมันไม่ชัดเจน เป็นต้น [2] ดังนั้นการศึกษา พัฒนา และวิจัยการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับประเทศไทยและทั่วโลกจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการกำหนดอนาคตของการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพและการลดปัญหาของการเกิดโลกร้อนในอนาคตได้ [3]

การผลิตน้ำมันชีวภาพโดยทั่วไปมี 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นตอนการย่อยสลายชีวมวลให้เป็นของเหลวหรือน้ำมันชีวภาพดิบและการปรับปรุงน้ำมันชีวภาพดิบให้เป็นน้ำมันชีวภาพสำหรับใช้งานการเผาไหม้ การผลิตน้ำมันชีวภาพดิบจะใช้กระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว ซึ่งกระบวนการนี้เป็นกระบวนการให้ความร้อนในสภาวะไร้ออกซิเจนหรือมีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย การสลายตัวของชีวมวลจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเวลาการคงอยู่ของไออยู่ในช่วง 2-3 s อุณหภูมิทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 400-600 $^{\circ}$C [3] ผลผลิตหลักที่ได้จากกระบวนการได้แก่ น้ำมันชีวภาพดิบ ถ่านชาร์ และแก๊สที่ไม่ควบแน่น การพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาสายงานด้านการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยทั่วไปเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสมีหลายแบบ เช่น เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด เครื่องปฏิกรณ์แบบแบบสกรู เครื่องปฏิกรณ์แบบตกอิสระ เครื่องปฏิกรณ์แบบกรวยหมุน และเครื่องปฏิกรณ์แบบเลียดละลาย เป็นต้น ซึ่งแต่ละแบบก็มีข้อดี ข้อจำกัดแตกต่างกันไป สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นให้ความสนใจการออกแบบ พัฒนา และสร้างเครื่อง

ปฏิกรณ์ไพโรไลซิสที่สามารถสร้างได้ง่าย กลไกไม่ซับซ้อน มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีและมีประสิทธิภาพทางพลังงานสูง [4] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกที่จะศึกษา พัฒนาและออกแบบ สร้าง เครื่องปฏิกรณ์แบบเลียดละลายขึ้น โดยเครื่องปฏิกรณ์ที่พัฒนาเบื้องต้นมีเงื่อนไขที่สามารถสร้างอุณหภูมิได้สูงกว่า 400 °C ขึ้นไป เปลี่ยนรูปผงไผ่ให้เป็นน้ำมันชีวภาพดิบได้ตามเงื่อนไขการทดลองในห้องปฏิบัติการ รองรับการไพโรไลซิสผงไผ่ได้ในช่วง 2-10 kg/h หลักการของเครื่องปฏิกรณ์แบบเลียดละลายคือความร้อนจะถูกถ่ายเทจากผนังเครื่องปฏิกรณ์ที่ร้อนเพื่อหลอมชีวมวลที่ถูกกดทับ ความร้อนจะเคลื่อนตัวผ่านชีวมวลเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็ว ระเหยกลายไปไอหรือก๊าซ สุดท้ายจะถูกควบแน่นด้วยชุบควบแน่นกลายเป็นน้ำมันชีวภาพลำดับถัดไป จุดเด่นของเครื่องปฏิกรณ์แบบเลียดละลายที่นำมาศึกษาในครั้งนี้คือเป็นเทคโนโลยีที่สามารถสร้างได้ง่าย กลไกหรือกระบวนการทำงานไม่ซับซ้อน เหมาะสมสำหรับรองรับการใช้งานกับวัตถุดิบที่หลากหลายและเหมาะสมสำหรับการศึกษากระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วในระยะแรก ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษา ออกแบบ พัฒนา จะเป็นต้นแบบนำร่องในการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วและการพัฒนาน้ำมันชีวภาพจากวัสดุชีวมวลชนิดอื่นๆ ต่อไป อันนำมาซึ่งความก้าวหน้าของการพัฒนาน้ำมันชีวภาพให้กับประเทศต่อไป

วิธีการวิจัย

1. เงื่อนไขการออกแบบ

เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วที่พัฒนามีอุปกรณ์หลัก 2 ส่วน คือ เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วและชุดควบแน่นก๊าซให้เป็นของเหลวหรือน้ำมันชีวภาพดิบ โดยเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบ และพัฒนาจะเป็นเครื่องปฏิกรณ์แบบเลียดละลาย (Ablative reactor) ใช้ไผ่บงซึ่งมีลักษณะเป็นผงในการเป็นวัสดุตั้งต้น การผลิตน้ำมันชีวภาพ มีการกำหนดเป้าหมายการเปลี่ยนรูปผงไผ่เป็นก๊าซและน้ำมันชีวภาพไว้ที่ 2-10 kg/h ใช้แก๊สหุงต้มเป็นแหล่งให้ความร้อน และกำหนดอุณหภูมิห้องปฏิกิริยไพโรไลซิสไว้ในช่วง 400-700 °C ใช้ไนโตรเจนเป็นแก๊สพา เมื่อผงไผ่บงทำปฏิกิริยาสลายตัวจะมีสภาพเป็นไพโรไลซิสแก๊สและไหลเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลตั้งฉาก เกิดการควบแน่นเป็นของเหลวหรือน้ำมันชีวภาพ ความร้อนจากไพโรไลซิสแก๊สจะถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำหล่อเย็นและไหลเข้าสู่หอผึ่งเย็นเพื่อระบายความร้อนต่อไป การลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นนอกจากใช้หอผึ่งเย็นแล้วยังสามารถใช้ระบบการผลิตน้ำเย็นในการถ่ายเทความร้อนให้กับระบบได้ [5] ระบบนี้สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีแต่มีข้อจำกัดในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงเกินไปป้อนเข้าระบบ

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วและเครื่องควบแน่น

เงื่อนไขการออกแบบ	ค่ากำหนดออกแบบ
การบวนการผลิตน้ำมันชีวภาพ	ไพโรไลซิสแบบเร็ว (Fast pyrolysis)
ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์	เลียดละลาย (Ablative reactor)
ชีวมวล/ลักษณะชีวมวลผลิตน้ำมันชีวภาพ	ไม้ไผ่/ผงละเอียด
ขนาดผงไผ่	< 1 mm
อัตราการแปรรูปชีวมวลผงเป็นน้ำมันชีวภาพ	10 kg/h
เชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าระบบ/ค่าความร้อน	แก๊สหุงต้ม/45,000 kJ/kg
แก๊สพา (Carrier gas)	ไนโตรเจน
อุปกรณ์การควบแน่น	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนไหลตั้งฉาก
ของเหลวแลกเปลี่ยนความร้อน	น้ำ

2. การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็ว

การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการคำนวณหาปริมาตรห้องสำหรับการให้ความร้อนในกระบวนการไพโรไลซิส การคำนวณเริ่มต้นจากการหาปริมาณความร้อนของการสลายตัวของผงไผ่โดยได้กำหนดอัตราการสลายตัวไว้ 10 kg/h จากนั้นคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน ปริมาณความร้อนที่ระบบต้องการ อัตราการป้อนสลายตัวของผงไผ่ พื้นที่ที่ต้องการโปรยผงไผ่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส สมการที่ใช้ในการออกแบบมีดังต่อไปนี้ [6]

$$Q_{PB} = mC_P\Delta T$$ สมการที่ 1

กำหนดให้ Q_{PB} คือ ความร้อนเพื่อการสลายตัวของผงไม้ไผ่ m คือ อัตราการสลายตัวของผงไม้ไผ่ C_P คือ ค่าความร้อนจำเพาะผงไม้ไผ่ (2.22 J/g-°C) ΔT คือ อุณหภูมิชีวมวลเริ่มต้น (30°C) และอุณหภูมิชีวมวลสุดท้าย (600°C)

$$\eta_{PR} = \frac{Q_{PB}}{Q_{in}}$$ สมการที่ 2

กำหนดให้ η_{PR} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ (50%) Q_{in} คือ ปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ หรือปริมาณความร้อนที่ต้องการ

$$Q_{in} = m_g LHV_{lpg}$$ สมการที่ 3

กำหนดให้ m_g คือ อัตราความสิ้นเปลืองแก๊สหุงต้ม LHV_{lpg} คือ ค่าความร้อนของแก๊สหุงต้ม (45,000 kJ/kg)

$$M_B = \frac{m}{\rho_B} \times 1000 \times 1000$$ สมการที่ 4

กำหนดให้ M_B คือ อัตราการป้อนหรือย่อยสลายผงไผ่เชิงปริมาตร (cm^3/s) ρ_B คือ ความหนาแน่นผงไม้ไผ่เฉลี่ย (130 kg/m^3)

$$A_{PR} = \frac{m_B}{T_B}$$ สมการที่ 5

กำหนดให้ A_{PR} คือ พื้นที่ที่ต้องการโปรยผงไผ่ต่อเวลา (cm^2) T_B คือ ความหนาของผงไผ่เมื่ออยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (1 mm)

$$D_{PR} = \sqrt{A_{PR}\frac{4}{\pi}1.5}$$ สมการที่ 6

กำหนดให้ D_{PR} คือ เส้นผ่าศูนย์กลางในการโปรยผงต่อเวลา (cm)

$$M_{PG} = \frac{m \times 0.75}{\rho_{PG}}$$ สมการที่ 7

กำหนดให้ M_{PG} คือ ปริมาณไพโรไลซิสแก๊สที่ได้ (L/s) ρ_{PG} คือ ความหนาแน่นไพโรไลซิสแก๊สเฉลี่ย (1.1 g/L)

$$L_{PR} = \frac{M_{PG}}{A_{PR}} \times 2$$ สมการที่ 8

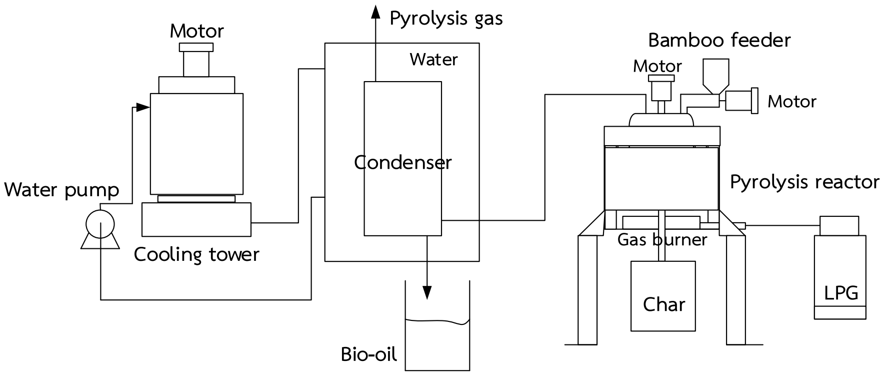
กำหนดให้ L_{PR} คือ ความสูงของห้องไพโรไลซิส (cm)

ตารางที่ 2 ผลการออกแบบขนาดห้องเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสผงไผ่

ผลการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็ว	ค่าออกแบบ
ปริมาณความร้อนเพื่อการสลายตัวของผงไม้ไผ่	3.515 kW
ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์	50%
ปริมาณความร้อนที่ต้องการ	7.03 kW
อัตราการป้อนหรือย่อยสลายผงไผ่	21.36 cm^3/s
พื้นที่ที่ต้องการโปรยผงไผ่	272.02 cm^2
การออกแบบเส้นผ่าศูนย์กลางในการโปรยผง	30 cm
ปริมาณไพโรไลซิสแก๊สที่ได้จากกระบวนการ	1.89 L/s
การออกแบบความสูงของห้องไพโรไลซิส	30.35 cm

3. ระบบผลิตน้ำมันชีวภาพจากผงไผ่

การผลิตน้ำมันชีวภาพจากผงไผ่มีอุปกรณ์หลักในการผลิตทั้งหมด 2 ส่วน ประกอบด้วย ชุดเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วและชุดควบแน่นไพโรไลซิสแก๊สให้กลายเป็นน้ำมันชีวภาพ [7] เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วได้ออกแบบพัฒนา และนำมาทดสอบ ห้องเครื่องปฏิกรณ์มีปริมาตรขนาด 21.2 L ใช้วัสดุเป็นเหล็กสแตนเลสหนา 5 mm ภายในมีเพลาต่อร่วมกับใบพัดใบสำหรับหมุนกวาดให้ผงไผ่ติดสัมผัสกับผนังความร้อน ห้องเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิการทำงานออกแบบอยู่ในช่วง 400-700 $^{\circ}$C และใช้ไนโตรเจนเป็นแก๊สพา ผนังหุ้มด้วยฉนวนเป็นไฟเบอร์เซรามิก ด้านบนมีเกลียวสกรูสำหรับป้อนผงไผ่และเพลาชุดใบกวนที่ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 90 W ด้านล่างเครื่องปฏิกรณ์มีช่องลำเลียงถ่านออกและเก็บถ่าน ความร้อนที่ป้อนให้กับระบบใช้แก๊สหุงต้มและหัวแก๊สรุ่น KB 11 การทำงานเมื่อให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์และมีการป้อนผงไผ่ ผงไผ่จะสลายตัวไปเป็นไพโรไลซิสแก๊สและจะถูกส่งไปให้กับชุดคอนเดนเซอร์เพื่อควบแน่นเป็นของเหลวหรือน้ำมันชีวภาพ ไพโรไลซิสแก๊สบางส่วนที่ไม่ควบแน่นจะถูกปล่อยออกทางด้านบน ความร้อนจากไพโรไลซิสแก๊สจะถ่ายเทความร้อนให้กับชุดคอนเดนเซอร์และคอนเดนเซอร์จะถ่ายเทให้กับน้ำ น้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกนำไประบายความร้อนที่ชุดหอผึ่งเย็นโดยการใช้ปั๊มน้ำในการลำเลียงและขนาดและพัดลมระบายความร้อนขนาด 370 W



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมระบบผลิตน้ำมันชีวภาพจากผงไผ่

4. วิธีการทดสอบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส

ผงไผ่ที่นำมาใช้เป็นไผ่บงตัดมาจากแปลงปลูกของเกษตรกรในพื้นที่อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ไผ่ที่นำมาครั้งแรกจะมีขนาดลำไผ่ 3.8-5.0 cm มีลักษณะแห้งสนิท จากนั้นจะนำมาผ่าแยกและทำการบดด้วยเครื่องบดให้ละเอียด ตากให้แห้ง จากนั้นนำมาร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 mm ให้ได้ผงไม้ไผ่ขนาด 1 mm [8] ในการทดสอบจะมีการจุดหัวเผาและให้ความร้อนกับเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส พร้อมกับเริ่มปล่อยแก๊สไนโตรเจน จนมีอุณหภูมิห้องไพโรไลซิสเพิ่มสูงถึง 500 $^{\circ}$C ชั่งน้ำหนักผงไผ่และบันทึกเวลาเริ่มต้น จากนั้นเปิดสวิทย์มอเตอร์ให้เกลียวสกรูขับผงไผ่ให้โปรยลงในห้องไพโรไลซิส สังเกตและบันทึกอุณหภูมิห้องไพโรไลซิส ทุกๆ 5 นาที เปิดวาล์วให้ไพโรไลซิสแก๊สไหลเข้าสู่ชุดคอนเดนเซอร์และเปิดสวิทย์ปั๊มน้ำเพื่อให้น้ำไหลเวียนในระบบ ดำเนินการป้อนผงไผ่ที่อัตราการป้อน 0.16 kg/min ดำเนินการเก็บข้อมูลน้ำมันชีวภาพ ถ่านชาร์ที่ได้ ตรวจวัดการใช้พลังงานความร้อนและไฟฟ้าทั้งระบบ

ภาพที่ 2 ไผ่บงและการลดขนาดให้เป็นผง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบ สร้างและทดสอบการทำงานเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็ว

ภาพที่ 3 แสดงผลการสร้างเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็ว ชนิดเลียดละลาย เป็นไปตามแบบแปลน และผลการคำนวณ โดยห้องไพโรไลซิสมีขนาด 21.1 L ทำหน้าที่ทำให้ผงไผ่เกิดการสลายตัวด้วยความร้อนและกลายเป็นไพโรไลซิสแก๊ส การทดสอบอุณหภูมิในสภาวะไม่ป้อนผงไผ่ เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็วสามารถสร้างอุณหภูมิในห้องได้สูงสุดอยู่ในช่วง 700-800 $^{\circ}$C ที่ระยะเวลาให้ความร้อนเฉลี่ย 60 min ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง การกวนของใบพัดห้องปฏิกรณ์สามารถกวนได้อย่างต่อเนื่องโดยสามารถปรับความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 0-15 rpm ระบบการป้อนชีวมวลสามารถป้อนผงไผ่ได้ตั้งแต่ 2-10 kg/h ในส่วนของการลำเลียงเอาถ่านชาร์ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ระบบสามารถนำเอาถ่านชาร์ออกได้อย่าง

ต่อเนื่องและชุดถังเก็บถ่านชาร์สามารถเก็บถ่านชาร์ได้ประมาณ 1-3 kg/h ในด้านของระบบระบายความร้อนให้กับชุดคอนเดนเซอร์ ระบบสามารถลดอุณหภูมิน้ำได้ต่ำสุด 40 °C ในขณะที่อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 40-70 °C ในภาพรวมผลการทดสอบเบื้องต้นเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

ภาพที่ 3 ภาพถ่ายการทดสอบระบบผลิตน้ำมันชีวภาพจากผงไผ่

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของผงไผ่บง

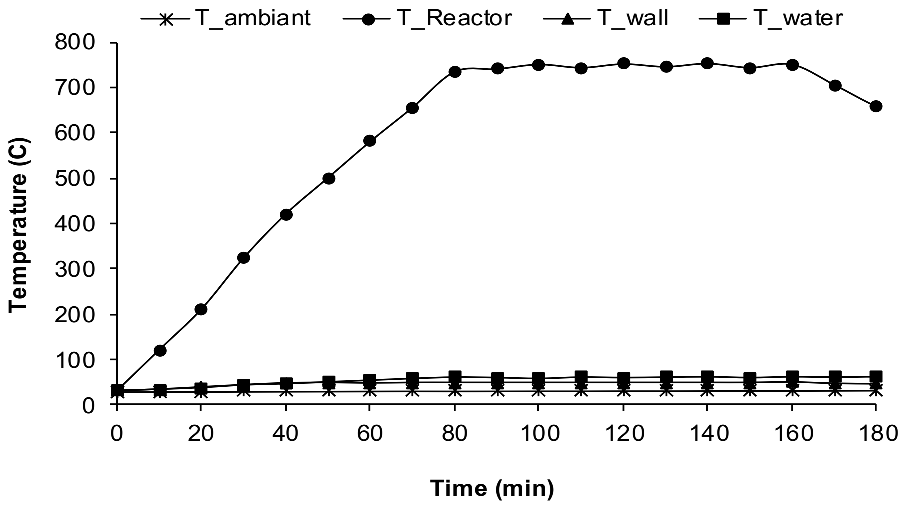
ก่อนดำเนินการทดสอบผลิตน้ำมันจากผงไผ่ได้มีการนำเอาผงไผ่บงไปวิเคราะห์โดยวิธีประมาณ และวิธีการแบบแยกธาตุ พบว่าผงไผ่บงในงานวิจัยนี้มีค่าความชื้น สารระเหย คาร์บอนคงที่ และปริมาณเถ้า มีค่าเฉลี่ย 5.98% 75.51% 16.98% และ 1.53% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4 ในส่วนของการวิเคราะห์แบบแยกธาตุได้จได้ค่าคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และซันเฟอร์ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 49.69% 6.34% 0.57% 43.25% 0.20% ตามลำดับ ในด้านของค่าความร้อนของผงไผ่บง มีค่าเท่ากับ 16.21 MJ/kg อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ดำเนินการด้านการวิเคราะห์ทางเคมีเกี่ยวกับผงไผ่พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองจากการวิเคราะห์โดยประมาณ และแบบแยกธาตุ มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของไผ่บง

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี	Chen et al, 2015 [9]	Se Hwi Park, 2019 [10]	This work
Proximate analysis (%)			
Moisture	4.6	7.1	5.98
Volatile matter	75.19	75.4	75.51
Fixed carbon	17.69	15.1	16.98
Ash	2.52	2.44	1.53
Ultimate analysis (%)			
Carbon	49.00	48.7	49.64
Hydrogen	2.95	6.0	6.34
Nitrogen	0.32	0.33	0.57
Oxygen	47.5	44.9	43.25
Sulfur	0.23	0.05	0.20
ค่าความร้อนไผ่บง (MJ/kg)	18.03	18.41	16.21

3. การวิเคราะห์อุณหภูมิการทำงานเครื่องปฏิกรณ์

ภาพที่ 4 แสดงผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็ว โดยมีการวัดอุณหภูมิจุดสำคัญ 4 จุด ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิห้องไพโรไลซิส อุณหภูมิผนังชั้นนอก และอุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำแลกเปลี่ยนความร้อนในสภาวะที่มีมีการระบายความร้อนด้วยหอผึ่งเย็นอย่างต่อเนื่อง การทดลองทดสอบการทำงานใช้เวลาในการทดสอบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 h โดยพบว่า อุณหภูมิอากาศแวดล้อมระหว่างการทดลองมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 29-33 °C การปรับอัตราการไหลของแก๊สหุงต้มส่งผลให้อุณหภูมิในห้องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิเฉลี่ย 10 °C/min ดังนั้นที่ระยะเวลาการทดสอบ 50 min อุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์จะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 500 °C นอกจากนี้เมื่อมีการปรับเพิ่มอัตราการไหลก๊าซหุงต้มเพิ่มขึ้นห้องไพโรไลซิสจะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นได้อีก โดยอุณหภูมิห้องเพิ่มสูงขึ้นได้ถึง 750 °C ความสามารถในการทำอุณหภูมิได้สูงขึ้นในระดับนี้เป็นผลมาจากการหุ้มฉนวนไมโครไฟเบอร์ที่มีความหนาประมาณ 10 cm หรือ ประมาณ 4 นิ้ว การวัดอุณหภูมิผนังด้านนอกเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสวัดได้สูงสุดไม่เกิน 50 °C ในขณะที่อุณหภูมิของน้ำในถังแลกเปลี่ยนความร้อนหรือชุดถังควบแน่นน้ำที่ไหลเวียนมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 50-60 °C [11]



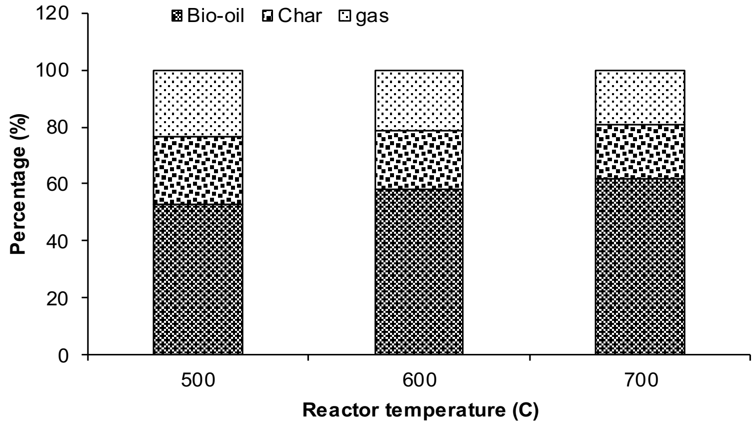
ภาพที่ 4 ผลการวัดอุณหภูมิในห้องปฏิกรณ์ในระหว่างกระบวนการผลิตน้ำมันชีวภาพจากผงไผ่

4. การวิเคราะห์สัดส่วนน้ำมันชีวภาพและถ่านชาร์

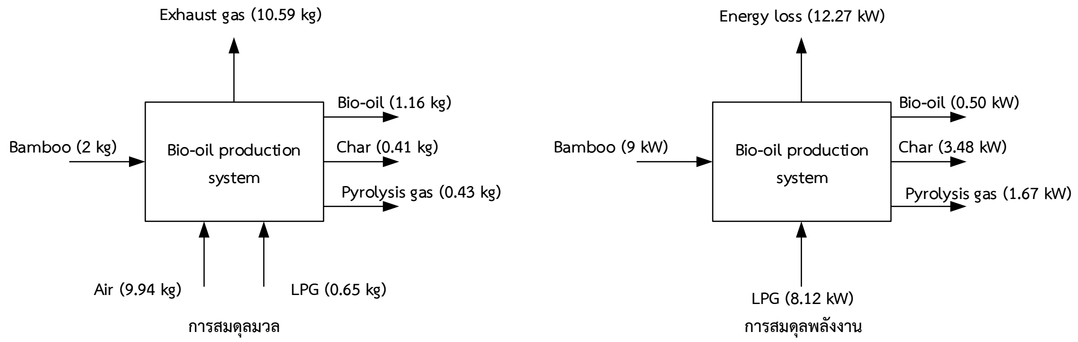
ภาพที่ 5 แสดงผลการทดลองกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วของไผ่บง ภายใต้อุณหภูมิไพโรไลซิสในช่วง 500-700 °C ที่อัตราการป้อนชีวมวลผงไผ่เฉลี่ย 2 kg/h ผลการทดสอบพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วประกอบด้วย ของเหลว ของแข็ง และแก๊ส โดยในส่วนของเหลวคือน้ำมันชีวภาพ ของแข็งคือถ่านชาร์และแก๊สคือไพโรไลซิสแก๊ส การเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิสจะทำให้น้ำมันชีวภาพที่ได้เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่มวลของแข็งและไพโรไลซิสแก๊สจะลดลง การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 700 °C จะให้สัดส่วนของน้ำมันชีวภาพเกิดขึ้นสูงสุด โดยมีสัดส่วนน้ำมันชีวภาพ ถ่านชาร์และไพโรไลซิสแก๊สในสัดส่วน 62% 19.1% และ 18.9% ตามลำดับ ในขณะที่การให้ความร้อนในกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 500 °C ให้สัดส่วนของเหลว ของแข็ง และแก๊สเท่ากับ 53% 23.4% และ 23.6% ตามลำดับ การเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิสจะทำให้มวลของชีวมวลหรือวัสดุมีอัตราการสลายตัวได้สูงกว่าการใช้อุณหภูมิไพโรไลซิสที่ต่ำ[12]

5. การสมดุลมวลและพลังงานการผลิตน้ำมันชีวภาพ

ภาพที่ 6 แสดงผลการสมดุลมวลและพลังงานในกระบวนไพโรไลซิสแบบเร็วของการผลิตน้ำมันชีวภาพจากผงไผ่ภายใต้อุณหภูมิไพโรไลซิส 600 °C ที่อัตราการป้อนชีวมวลผงไผ่เฉลี่ย 2 kg/h โดยพบว่า มวลผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วได้น้ำมันชีวภาพ 1.16 kg ถ่าน 0.41 kg และไพโรไลซิสแก๊ส 0.43 kg ในด้านของพลังงานที่ให้ความร้อนกับระบบใช้แก๊สหุงต้มทั้งหมด 0.65 kg คิดเป็นมวลอากาศที่ใช้สันดาปตามทฤษฎี 9.94 kg ในด้านการสมดุลพลังงานผงไผ่ที่ป้อน 2 kg/h คิดเป็นพลังงานที่ป้อนเข้ารวม 9 kW ได้พลังงานในส่วนของน้ำมันชีวภาพ ถ่าน และไพโรไลซิสแก๊ส 0.50 kW, 3.48 kW และ 1.67 kW ตามลำดับ ในขณะที่การใช้พลังงานจากแก๊สหุงต้มที่ป้อนเข้าคำนวณได้ 8.12 kW และระบบมีการสูญเสียความร้อนประมาณ 12.27 kW อย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเครื่องปฏิกรณ์นี้สามารถคำนวณได้ 33.05% และประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปทางพลังงานคิดได้ 62.87% [13]



ภาพที่ 5 การวิเคราะห์สัดส่วนน้ำมันชีวภาพ ถ่านชาร์ และไพโรไลซิสแก๊ส



ภาพที่ 6 การสมดุลมวลและพลังงานในกระบวนการผลิตน้ำมันชีวภาพจากไผ่

สรุปผลการวิจัย

เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเร็ว ชนิดเลียดละลายที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถทำงานและผลิตน้ำมันชีวภาพจากผงไผ่ได้เป็นที่พอใจ โดยห้องไพโรไลซิสผงไผ่ที่ออกแบบไว้มีปริมาตร 21 L สามารถรองรับกระบวนการไพโรไลซิสผงไผ่ได้สูงสุด 10 kg และสร้างอุณหภูมิได้สูงสุดช่วง 700-800 °C ในด้านการทดลอง การเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิสที่สูงขึ้นจะทำให้ได้น้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้น ในขณะที่ถ่านชาร์และไพโรไลซิสแก๊สลดลง ที่อุณหภูมิการทดลองสูงสุด 700 °C ให้สัดส่วน

น้ำมันชีวภาพ ถ่านชาร์ และไพโรไลซิสแก๊สในสัดส่วน 62%, 19.1% และ 18.9% ตามลำดับ ในขณะที่การทดสอบที่อุณหภูมิ 600 °C ได้น้ำมันชีวภาพ 1.16 kg ถ่าน 0.41 kg และไพโรไลซิสแก๊ส 0.43 kg ประเมินประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของระบบได้ 33.05% และประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปทางพลังงานได้ 62.87% น้ำมันชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนค่อนข้างต่ำ ดังนั้นเมื่อนำไปใช้งานจำเป็นต้องมีการนำไปเพิ่มหรือปรับปรุงคุณภาพให้มีคุณสมบัติของการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2567 และสำนักวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่สนับสนุนและจัดสรรทุนการวิจัย ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนที่สนับสนุนการใช้พื้นที่ เครื่องมือสำหรับการศึกษาวิจัย และขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศในด้านวิศวกรรมพลังงาน สิ่งแวดล้อมและการแก้ไขปัญหาภัยพิบัติหมอกควันที่สนับสนุนนักวิจัยในการทดสอบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส

เอกสารอ้างอิง

[1] Shabir A.Wani, Malik Asif, Shazia Lone, Showket.A.Dar and Shah Asif. (2013). **Research Article Global Warming and its Impact on Environment.** International Journal of Recent Scientific Research Research Vol. 4, Issue, 4, pp. 490- 494,

[2] Narayan Lal Panwar, Arjun Sanjay Paul. (2021). **An overview of recent development in bio-oil upgrading and separation techniques Environ.** Environmental Engineering Research 2021; 26(5).

[3] ฟ้าใหม่ ศรีสุราษฎร์ และอดิศักดิ์ ปัตติยะ. (2566). **การไพโรไลซีสแบบเร็วไม้กระถินยักษ์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบสั่นชนิดท่อทรงกระบอก.** วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม ปีที่ 16 ฉบับที่ 2, หน้า 56-68.

[4] M. N. Uddin, Kuaanan Techato, Juntakan Taweekun, M. Mofijur, M. G. Rasul, T. M. I. Mahlia and S. M. Ashrafur. (2018). **An Overview of Recent Developments in Biomass Pyrolysis Technologies.** Energies 2018, 11, pp. 3115.

[5] วิรุณ โมนะตระกูล, รัชพล สันติวรากร และพจน์ศิรินทร์ ลิมปินันทน. (2562). **โครงการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงโดยกระบวนการไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกชุมชน กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.** งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

[6] Adegoke S.O., Adeleke A.A., Ikubanni P.P., Falode A.O, Alawode A.J., Agboola O.O., and Adediran A.A. (2021). **Design and Fabrication of an Ablative Pyrolyzer for Production of Bio- lubricants and chemicals in Oil Well Drilling Application. International Conference on Energy and Sustainable Environment**. International Conference on Energy and Sustainable Environment IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (2021).

[7] Citation: Mehdi, R.; Khoja, A.H.; Naqvi, S.R.; Gao, N.; Amin, N.A.S. (2022). **A Review on Production and Surface Modifications of Biochar Materials via Biomass Pyrolysis Process for Supercapacitor Applications**. Catalysts 2022, 12, pp.798.

[8] Fang Liang, Ruijuan Wang, Xiang Hongzhong, Xiaomeng Yang, Tao Zhang, Wanhe Hu,Bingbing Mi, Zhijia Liu. (2018). **Investigating pyrolysis characteristics of moso bamboo through TG-FTIR and Py-GC/MS**. Bioresource Technology. Volume 256, pp. 53-60.

[9] Wei-Hsin Chen, Shih-Hsien Liu, Tarng-Tzuen Juang, Chi-Ming Tsai and Yi-Qing Zhuang. (2015). **Characterization of solid and liquid products from bamboo torrefaction**. Applied Energy 160 (2015). pp. 829–835.

[10] Se Hwi Park, Jae Hyuk Jang, Nyoman J Wistara, Fauzi Febrianto and Min Lee. (2019). **Fuel properties of Indonesian bamboo carbonized at different temperatures.** BioResources, 14(2), pp. 4224-4235.

[11] Gulom Uzakov, Sayyora Mamatkulova, Shaxriyor Ergashev, Farruh Qodirov and Aziz Turayev. (2023). **Modeling of heat exchange processes in a condenser of a pyrolysis bioenergy plant**. BIO Web of Conferences , 02 (2023).

[12] Leni Maulinda, Husni Husin, Nasrul Arahman, Cut Meurah Rosnelly, Muhammad Syukri, Nurhazanah Fahrizal Nasution and Ahmadi. (2023). **The Influence of Pyrolysis Time and Temperature on the Composition and Properties of Bio-Oil Prepared from Tanjong Leaves (Mimusops elengi).** Sustainability 2023, 15, 13851.

[13] Kaushlendra Singh, E. W. Tollner, Sudhagar Mani, L. Mark Risse, K. C. Das, and John Worley. (2015). **Emergy Synthesis of a Pyrolysis Process.** Proceedings from the Fifth Biennial Emergy Conference, Gainesville, Florida. pp. 245-252.

การประเมินสมรรถนะการนำความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตถ่านชีวมวลร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

Performance evaluation of utilizing waste heat from the biomass charcoal production process in conjunction with solar energy for designing a heat exchanger

มงคล จันโทภาส[1] กิตติกร สาสุจิตต์[1] สุระพล ริยะนา[1] ชูรัตน์ ธารารักษ์[1] พรประเสริฐ อินทะลาด[1] และ นิกราน หอมดวง[1*]

Monkol Janthopas [1], Kittikorn Sasujit[1], Surapon Riyana [1], Churat Tararux[1],

Phonepaseuth Inthalath[1], and Nigran Homdoung[1*]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[1] School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

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

Abstract

This research aims to study and test the preliminary performance of solar dryer and biomass charcoal production machine. The results was used to design a heat exchanger for drying chili peppers at a drying temperature of 60°C and a continuous drying time of 14-16 h. The solar dryer used in the test was a dome type, active type. The potential for temperature generation in the drying chamber was evaluated, while the biomass charcoal kiln focused on evaluating the temperature of flue gases released from the exhaust chimney during the charcoal production process. The experimental results was showed that, the solar dryer could generate temperatures in the range of 25-60°C, with an average temperature of 41.44 °C during a total sunlight exposure of 8 h. The operation of the biomass charcoal production machine measured the maximum chimney temperature of 550°C, with an average temperature of 476°C. The appropriate temperature range for heating the solar dryer starts from 150 °C onwards. Thermal energy from solar energy can be produced at 0.12 kW, while the system requires waste heat energy from the charcoal kiln as high as 11.90 kW. Overall, the analysis of the feasibility of using waste heat from the charcoal kiln was highly possible and appropriate for the current global warming reduction situation.

Keywords: Chili drying, solar energy, Charcoal Kiln, waste heat, biomass energy

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาและทดสอบหาสมรรถนะเบื้องต้นของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กับเครื่องผลิตถ่านชีวมวล สำหรับนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการอบแห้งพริกจินดาที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C ที่ระยะเวลาการอบแห้งต่อเนื่อง 14-16 h เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาทดสอบ

เป็นแบบโดมชนิคแอคทีฟ ดำเนินการประเมินศักยภาพในการสร้างอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ในขณะที่เครื่องผลิตถ่านชีวมวลมุ่งเน้นประเมินอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ทิ้งออกจากปล่องไอเสียระหว่างกระบวนการผลิตถ่าน ผลการทดลองวัดอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าเครื่องอบแห้งสามารถสร้างอุณหภูมิได้อยู่ในช่วง 25-60 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ย 41.44 °C ในช่วงของการรับแสงอาทิตย์รวม 8 h การทำงานเครื่องผลิตถ่านชีวมวลวัดอุณหภูมิปล่องได้สุงสุด 550°C คิดเป็นอุณหภูมิเฉลี่ย 476°C ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมเพียงพอต่อการให้ความร้อนเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มตั้งแต่อุณหภูมิ 150 °C เป็นต้นไป พลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้ 0.12 kW ขณะที่ระบบมีความต้องการพลังงานความร้อนทิ้งจากเครื่องผลิตถ่านสูงถึง 11.90 kW ในภาพรวมการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตถ่านมาใช้งานมีความเป็นไปได้สูงและเหมาะสมกับสถานการณ์ความต้องการลดโลกร้อนในปัจจุบัน

คำสำคัญ: การอบแห้งพริก พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องผลิตถ่าน ความร้อนทิ้ง พลังงานชีวมวล

บทนำ

ปัจจุบันสถานการณ์เรื่องโลกร้อน ความผันผวนของราคาของพลังงาน และความพยายามลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นทิศทางที่โลกให้ความสนใจ [1] การใช้พลังงานในอนาคตจำเป็นต้องใช้พลังงานที่สะอาดและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก การพัฒนาเครื่องมือ เครื่องใช้ อุปกรณ์ต่างๆ จำเป็นต้องมีการเชื่อมโยงหรือคำนึงถึงการรองรับการใช้พลังงานสะอาดที่จะเกิดขึ้นในอนาคตด้วย ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตร-อุตสาหกรรม มีแนวทางชัดเจนในการขับเคลื่อนนโยบายด้านการแปรรูปผลผลิตให้เพิ่มสูงขึ้น [2] หนึ่งในเทคโนโลยีที่สำคัญสำหรับประเทศไทยคือเทคโนโลยีการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การอบแห้งผลผลิตทางเกษตรแบ่งขนาดได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มการอบแห้งระดับอุตสาหกรรม และกลุ่มการอบแห้งระดับชุมชนหรือวิสาหกิจ กลุ่มการอบแห้งระดับอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้พลังงานที่มีความเสถียรและต่อเนื่อง เช่น ก๊าซหุงต้ม หรือน้ำมันดีเซล เป็นต้น ในขณะที่กลุ่มชุมชน วิสาหกิจชุมชน จะมุ่งเน้นการใช้พลังงานตามธรรมชาติ เช่น การตากแดดและการใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดในด้านปริมาณความร้อนที่ไม่เพียงพอและไม่สามารถอบแห้งต่อเนื่องยาวนานได้ ในขณะที่การอบแห้งในเชิงอุตสาหกรรมกลับมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในปริมาณสูง [3] ซึ่งประเด็นนี้ปัจจุบันบางประเทศใช้เป็นเครื่องมือในการนำเข้าสินค้าจากประเทศไทย จากข้อจำกัดของทั้ง 2 เทคโนโลยีนี้ งานวิจัยจึงมีแนวคิดในการที่จะพัฒนาเครื่องอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรที่สามารถอบแห้งได้อย่างต่อเนื่อง ใช้พลังงานที่สะอาด เช่น พลังงานชีวมวล หรือพลังงานชีวภาพ เป็นต้น และต้นทุนการผลิตต่ำ ที่สามารถทำงานได้ทัดเทียมกับเครื่องอบแห้งในภาคอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ในการสร้างเครื่องอบแห้งที่มีข้อจำกัดเหล่านี้จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษา ทดสอบ เพื่อหาเงื่อนไของค์ประกอบเบื้องต้นเพื่อใช้ประกอบสำหรับการออกแบบคำนวณให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมก่อน ดังนั้นในบทความฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษา ทดลอง เพื่อหาเงื่อนไขปริมาณความร้อน และอุณหภูมิที่เหมาะสมของการบูรณาการแหล่งความร้อนพลังงานทดแทน 2 แหล่ง คือ พลังงานแสงอาทิตย์จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานชีวมวล จากการปล่อยความร้อนทิ้งในกระบวนการผลิตถ่านชีวมวล ผลจากการทดลองอุปกรณ์ทั้ง 2 ชุด จะถูกนำไปวิเคราะห์และเป็นค่าตัวเลขเริ่มต้นของการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่เหมาะสมในการนำพลังงานจากภายนอกเข้ามาเสริมให้กับเครื่องเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยมีเป้าหมายหลักที่จะทำให้เครื่องอบแห้งนี้สามารถทำงานได้เทียบเท่ากับเครื่องอบแห้งในภาคอุตสาหกรรม และที่สำคัญเครื่องอบแห้งประเภทน่าจะเข้าไปสนับสนุนกิจกรรมหรือกิจการของกลุ่มวิสาหกิจในประเทศไทยได้ในอนาคต

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการใช้พลังงานจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตถ่านชีวมวล เพื่อออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในการอบแห้งพริกที่อุณหภูมิ 60°C และระยะเวลา 14-16 h โดยพบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถสร้างอุณหภูมิได้เฉลี่ย 41.44°C ส่วนก๊าซร้อนจากเครื่องผลิตถ่านมีอุณหภูมิสูงสุด 550°C ซึ่งสามารถนำมาเสริมระบบอบแห้งได้ การนำความร้อนทิ้งมาใช้มีศักยภาพช่วยลดการใช้พลังงานฟอสซิลและลดก๊าซเรือนกระจก ทำให้การวิจัยนี้มีความสำคัญต่อการพัฒนาเทคโนโลยีอบแห้งที่ยั่งยืนในอนาคต

วิธีการวิจัย

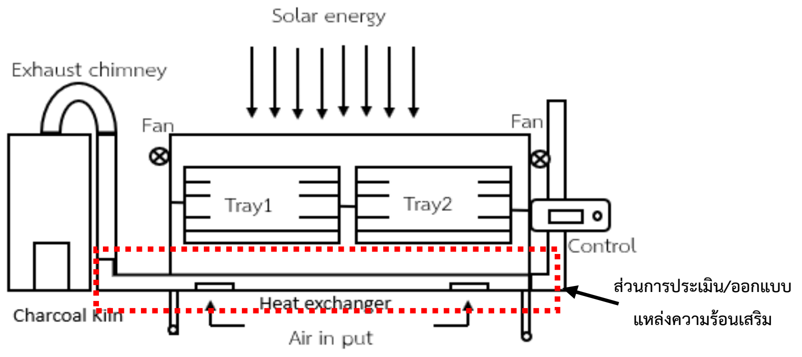
เครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์วิจัย

- เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การหาเงื่อนไขความต้องการพลังงานความร้อนสำหรับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรได้ใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ แบบโดมครึ่งวงกลม ในการทดลอง ผลผลิตทางการเกษตรที่นำมาวิเคราะห์และทดสอบเป็นพริกจินดา ซึ่งการอบแห้งพริกชนิดนี้จะใช้เวลาที่ยาวนาน ในกรณีของการใช้เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนในภาคอุตสาหกรรมจะใช้เวลาอบแห้งเป็นระยะเวลา 14-16 h [4] ที่อุณหภูมิการอบแห้ง 60°C ระยะเวลาการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นขณะเดียวกันในส่วนกรณีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเดียวโดยการใช้เครื่องอบแห้งแบบโดม จะใช้เวลารวมทั้งสิ้น 5-7 days [5] เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาทดสอบเป็นแบบถาดหมุนแนวนอน ดังภาพที่ 1 แบ่งชุดถาดหมุนเป็น 2 ชุด แต่ละชุดมี 8 ถาด แต่ละถาดบรรจุพริกจินดาได้ประมาณ 2 kg รวมปริมาณพริกอบแห้งต่อรอบประมาณ 32 kg ข้อมูลจำเพาะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เบื้องต้น เครื่องอบแห้งมีปริมาตรในห้องอบรวม 4.95 m^3 หรือ ผนังด้านข้างมี 3 ชั้น ตรงกลางหุ้มฉนวนใยแก้วป้องกันความร้อน พื้นที่รับแสงอาทิตย์รวม 10.36 m^2 ชุดถาดหมุนเป็น 2 ชุด ใช้มอเตอร์เกียร์ขนาด 90 W หมุนที่ความเร็วรอบได้ในช่วง 2-10 rpm

- เครื่องผลิตถ่านชีวมวล

แหล่งความร้อนที่จะนำมาใช้ร่วมในการผลิตลมร้อนเพื่อการอบแห้งพริกจินดาร่วมกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์คือ แหล่งความร้อนทิ้งจากปล่องเครื่องผลิตถ่านชีวมวล ซึ่งเครื่องผลิตถ่านนี้ใช้กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าในการผลิตถ่าน เชื้อเพลิงที่นำมาผลิตถ่านชีวมวลและเป็นเชื้อเพลิงที่ป้อนให้ความร้อนกับกระบวนการไพโรไลซิสใช้ไม้ลำไยที่มีขนาด 1-2.5 inch ความชื้นเริ่มต้นไม่เกิน 20% จากการทดลองวิจัยที่ผ่านมาพบว่าความร้อนที่ทิ้งจากปล่องนี้มีประมาณเกือบ 70% เครื่องผลิตถ่านชีวมวลที่นำมาทดลองมีปริมาตร 300 L บรรจุไม้ได้สูงสุด 50 kg มีอัตราความสิ้นเปลืองไม้เฉลี่ย 1.64 kg/h และระยะเวลาการผลิตถ่านรวม 5 h ต่อรอบการผลิต [6]



ภาพที่ 1 แผนภาพการติดตั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กับเครื่องผลิตถ่านชีวมวล

พริกจินดาและการเตรียม

พริกที่นำมาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นพริกจินดาแดง ดังภาพที่ 2 มาจากแหล่งซื้อขายในตลาดตัวเมืองเชียงใหม่ พริกที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพริก 8.27mm ความยาว 81.55 mm ความชื้นเริ่มต้น 70-75% การหาความชื้นเริ่มต้นหาได้จากการอาพริกไปอบให้ความร้อนที่ 105 °C เป็นระยะเวลา 72 h ชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้ง และหาค่าความชื้นจากสมการหาความชื้นจากวัสดุ [7]

ภาพที่ 2 พริกจินดาและการตากในเครื่องอบแห้ง

เครื่องมือวัดและวิธีการวิจัย

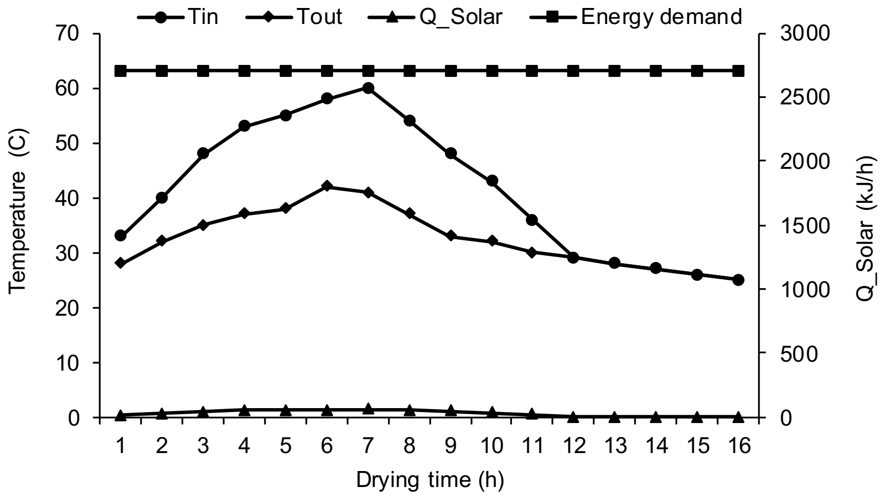
งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือวัดประกอบด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลสำหรับวัดมวลของพริกจินดาก่อนและหลังการอบแห้งเพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ถูกระเหยออกจากพริกโดยเป็นผลิตภัณฑ์ของ Oufeiai รุ่นDT-580 ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 30 kg ค่าละเอียด 1g เครื่องวัดความเข้มแสงใช้สำหรับวัดค่าความเข้มแสงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นผลิตภัณฑ์ของ CEM รุ่น DT-1307 วัดความเข้มแสงได้สูงถึง 1999 W/m² ในส่วนของเครื่องวัดอุณหภูมิจะใช้สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด Type K วัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง จำนวน 4 จุด เป็นผลิตภัณฑ์ของ Luthon รุ่น TM - 947SD วัดค่าอุณหภูมิได้ในช่วง -100 ถึง 1300°C มีค่าความละเอียด 0.1°C ด้านการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ใช้พัดลมขนาดกระแสสลับ แรงดันไฟฟ้า 220V กระแสไฟฟ้า0.13A ขนาด 120×120×38mm ในการดูดเอาความชื้นและความร้อนบางส่วนออก การควบคุมได้ใช้ชุดควบคุมอุณหภูมิของ Diymore รุ่น STC – 3028 วัดคุมอุณหภูมิได้ในช่วง -20°C ~ 80°C และความชื้น: 00% ~ 100% ความแม่นยำ ±1° C และ 0.1% RH

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์อุณหภูมิภายในและภายนอกเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 3 แสดงผลการวัดอุณหภูมิภายใน (Tin) อุณหภูมิภายนอก (Tout) ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์-ชีวมวล และค่าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Q_Solar) ที่ผลิตได้ และความต้องการพลังงานความร้อนในการอบแห้งที่ระยะเวลา 16 h โดยเริ่มต้นการอบแห้งที่เวลา 08.00 AM-23.00 PM ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-60 °C คิดเป็นอุณหภูมิเฉลี่ย 41.44 °C [8] ในขณะที่ภายนอกเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-42 °C คิดเป็นอุณหภูมิเฉลี่ย 32.5 °C อุณหภูมิภายใน และอุณหภูมิภายนอกของเครื่องอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อเริ่มมีแสงอาทิตย์โดยอุณหภูมิจะเกิดขึ้นสูงสุดอยู่ในช่วงของเวลา 1 PM-3 PM จากนั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลา 7 PM อุณหภูมิภายในและภายนอกจะเท่ากัน เมื่อพิจารณาในส่วนของพลังงานความร้อนที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ช่วงเวลาดังกล่าวพลังงานแสงอาทิตย์ให้พลังงานอยู่ในช่วง 16.31-61.99 kJ/h ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละชั่วโมง ในขณะที่ความต้องการพลังงานความร้อนสำหรับการอบแห้งพริกเฉลี่ยที่ 60°C ต้องใช้พลังงานถึง 2707.2 kJ/h จากข้อมูล

ปริมาณความร้อนเพื่อการระเหยน้ำออกจากพริกสามารถระเหยได้แต่ไม่เพียงพอดังนั้น ถ้าต้องการให้พริกมีความชื้นเหลือประมาณ 10% จะต้องใช้เวลาอบแห้งรวมประมาณ 6-7 days [9]



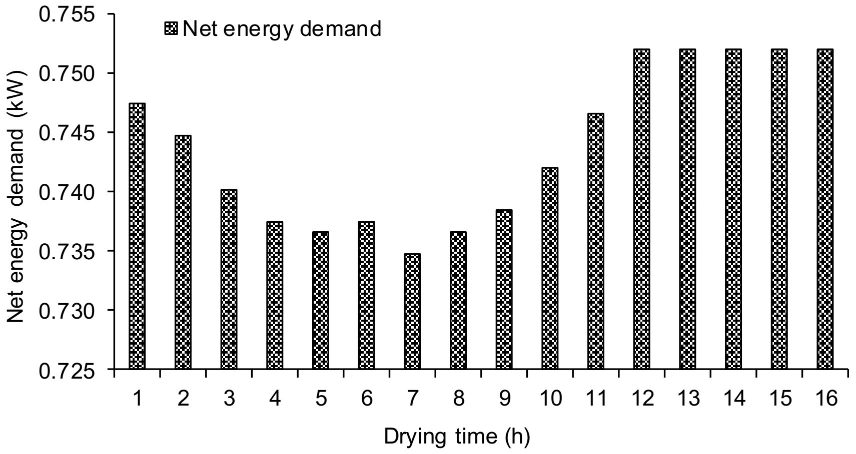
ภาพที่ 3 อุณหภูมิภายใน ภายนอกและความต้องการพลังงานความร้อนของเครื่องอบแห้ง

การวิเคราะห์ความต้องการพลังงานในการอบพริก

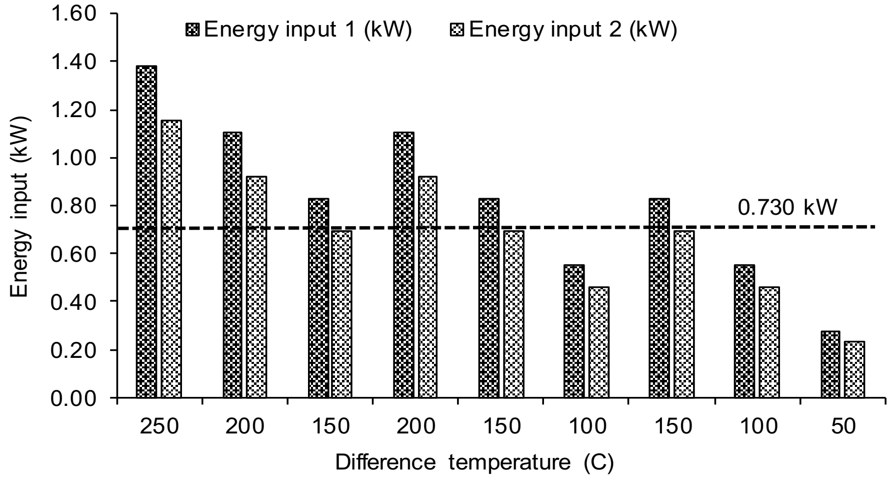
ภาพที่ 4 แสดงภาพรวมของความต้องการพลังงานความร้อนสุทธิของการอบแห้งพริกต่อเนื่องที่ระยะเวลา 16 h ผลการวิเคราะห์นี้เป็นการชี้ให้เห็นว่าถ้าต้องการอบแห้งพริกจำนวน 32 kg ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่จำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนจากแหล่งอื่นเพิ่มเติม โดยพบว่าช่วงระยะเวลาการอบแห้งพริกที่ 6-8 h หรือที่เวลา 1 PM-3 PM มีความต้องการพลังงานความร้อนเพิ่มต่ำสุดในขณะที่ระยะเวลาการอบที่ 12-16 h หรือ 7 PM-11 PM มีความต้องการพลังงานความร้อนสูงสุด ทั้งนี้ช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีความเข้มแสงอาทิตย์เหลือแล้ว ผลการคำนวณถ้าต้องการอบแห้งพริกที่อุณหภูมิเฉลี่ย 60°C ด้วยระยะเวลาที่จำกัดไว้ 16 h จำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนเพิ่มเพิ่มอยู่ในช่วง 2,645.20-2707.2 kJ/h คิดเป็นปริมาณความร้อนรวม 40,515 kJ/h หรือ 11.25 kW หรือ0.744 kW ซึ่งปริมาณความร้อนที่ต้องการนี้จะเป็นข้อมูลเพื่อการออกแบบและหาแหล่งพลังงานความร้อนที่จะเข้ามาเสริมให้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานได้ต่อเนื่องใกล้เคียงกับเครื่องอบแห้งในระดับอุตสาหกรรมที่มีความโดดเด่นในด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระหว่างการทำงาน

ความเหมาะสมช่วงอุณหภูมิและอัตราการไหลแก๊สร้อนสำหรับการอบแห้ง

ภาพที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิภายในและภายนอกปล่องความร้อนของเครื่องผลิตถ่านชีวมวล เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการนำไปออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับป้อนให้กับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยพบว่าอัตราการไหลและผลต่างของอุณหภูมิแก๊สร้อนมีผลต่อปริมาณความร้อนที่จะนำไปออกแบบ [10] ผลการจำลองช่วงอุณหภูมิภายในและภายนอกปล่องที่อัตราการไหลแก๊สร้อนที่ 20 kg/h และ 24 kg/h หรือ Energy input 1 และ Energy input 2 พบว่า อัตราการไหลแก๊สร้อนที่ 20 kg/h จำเป็นต้องใช้ความต่างอุณหภูมิตั้งแต่ 200°C ขึ้นไปปริมาณความร้อนถึงจะเพียงพอต่อการอบแห้งพริกที่ปริมาณ 32 kg และในขณะที่การใช้อัตราการไหลแก๊สร้อน 24 kg/h จำเป็นต้องใช้ความต่างอุณหภูมิตั้งแต่ 150°C เป็นต้นไป การใช้อัตราการไหลแก๊สร้อนและช่วงอุณหภูมิที่ต่ำจะต้องมีการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีพื้นที่การถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าปกติ การเลือกใช้ช่วงอุณหภูมิและอัตราการไหลของแก๊สร้อนที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเวลาในการออกแบบ



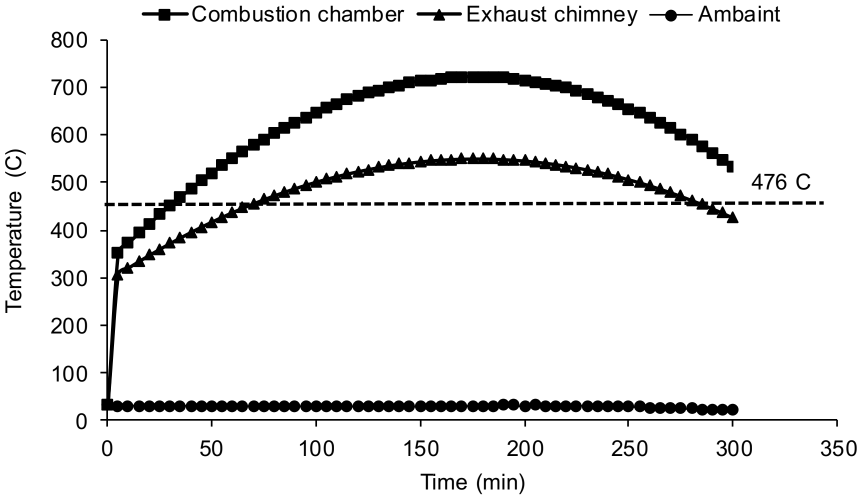
ภาพที่ 4 การวิเคราะห์ความต้องการพลังงานความร้อนเพิ่มเติมในการอบแห้งพริก



ภาพที่ 5 การวิเคราะห์ช่วงอุณหภูมิและอัตราการไหลแก๊สร้อนสำหรับการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

3.4 การประเมินปริมาณความร้อนทิ้งเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบช้า

ภาพที่ 6 แสดงผลการทดสอบการผลิตถ่านชีวมวลด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบช้าโดยใช้ซังข้าวโพดในการผลิตถ่านและใช้ไม้ลำไยในการผลิตความร้อนแก่เครื่องปฏิกรณ์ [11] ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่ใช้ไม้ลำใยร่วมกับไพโรไลซิสแก๊สให้อุณหภูมิสูงสุด 722.38˚C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทำงาน 611˚C ด้านค่าอุณหภูมิปล่องความร้อนให้ค่าสูงสุด 550.44˚C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดการทำงาน 476.69 ˚C ในขณะที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงสุดไม่เกิน 35˚C จากข้อมูลวิเคราะห์ได้ว่าผลต่างของอุณหภูมิปล่องความร้อนกับอุณหภูมิแวดล้อมต่างกันมากกว่า 400˚C ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงในการนำเอาความร้อนส่วนนี้มาใช้งาน อย่างไรก็ตามเมื่อมีการนำเอาความร้อนไปใช้งานจำเป็นต้องมีการสร้างท่อความร้อนเข้ากับเครื่องอบแห้งโดยใช้ความยาวไม่ต่ำกว่า 2 m ดังนั้นเป็นไปได้ว่าความร้อนบางส่วนจะต้องมีการสูญเสียออกไปจากท่อความร้อน ซึ่งในการออกแบบสร้างจะต้องมีการออกแบบฉนวนกันความร้อนเพิ่มเติมเพื่อให้ลดการสูญเสียความร้อนต่ำสุด ภาพรวมที่ผลต่างอุณหภูมินี้จะทำให้การนำเอาความร้อนไปใช้งานได้อย่างแน่นอน



ภาพที่ 6 แสดงผลอุณหภูมิการผลิตถ่านชีวมวลด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบช้า

3.5 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการนำเอาความร้อนทิ้งมาใช้อบแห้ง

ในภาพรวมการประเมินความเป็นไปได้ของการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ร่วมกับพลังงานชีวมวลภายใต้การนำเอาความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตถ่านชีวมวลมาแลกเปลี่ยนสร้างลมร้อนในเครื่องอบแห้งสำหรับการอบแห้งพริกจำนวน 32 kg และภายใต้อุณหภูมิอบแห้งที่ 60°C ต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 16 h ทำงานเทียบเท่ากับเครื่องอบแห้งลมร้อนในระดับอุตสาหกรรม [12] ผลการประเมินสรุปได้ว่าการเอาความร้อนทิ้งมาใช้ในกรณีนี้มีความเป็นไปได้สูงมาก โดยพลังงานความร้อนหลักที่นำมาใช้จะต้องเป็นพลังงานความร้อนจากชีวมวลเนื่องจากมีสัดส่วนความร้อนป้อนเข้าสูงถึง 11.90 kW ในขณะที่พลังงานแสงอาทิตย์สามารถป้อนได้ต่อวันประมาณ 0.12 kW เท่านั้น การใช้พลังงานลักษณะนี้มีข้อดีในด้านของการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก [13] และการพัฒนาเครื่องอบแห้งที่สามารถตอบโจทย์การอบแห้งเชิงพานิชย์ให้กับกลุ่มเกษตรกรต้นทุนต่ำได้

สรุปผลการวิจัย

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถสร้างอุณหภูมิการอบแห้งอยู่ในช่วง 25-60°C คิดเป็นอุณหภูมิเฉลี่ย 41.44 °C โดยช่วงเวลา 1 PM-3 PM เป็นช่วงที่พลังงานแสงอาทิตย์ให้ความร้อนกับเครื่องอบอบแห้งได้สูงสุด การออกแบบคำนวณปริมาณความต้องการพลังงานความร้อนจากชีวมวลมวลมีความต้องการ 11.25 kW ในขณะที่พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตความร้อนได้ 0.12 kW ในด้านการทดสอบการผลิตถ่าน ผลต่างอุณหภูมิที่สูงจะทำให้มีพลังงานความร้อนเพียงพอต่อการอบแห้งพริก โดยผลต่างอุณหภูมิภายในปล่องกับอุณหภูมิแวดล้อมต่ำสุดไม่ควรเกิน 150 °C ที่การปรับอัตราการไหลของแก๊สร้อน 20 kg/h ในภาพรวมการประเมินผลการนำเอาความร้อนทิ้งจากการผลิตถ่านชีวมวลมาใช้ออกแบบร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งมีความเป็นไปได้สูงมาก ทั้งนี้การออกแบบจะต้องคำนึงถึงการสูญเสียความร้อนของท่อความร้อนและการสูญเสียตวามร้อนจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้โครงการผลิต และพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในประเทศอาเซียนที่สนับสนุนเงินทุนในด้านการศึกษาและการทำวิจัยสำหรับนักศึกษาระดับ

บัณฑิตศึกษา ขอบคุณห้องปฏิบัติการพลังงานสะอาดและเกษตรอัจฉริยะ (Clean Energy & Smart Agricultural Laboratory) วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่สนับสนุนเครื่องมือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Månberger, A. (2021). **Reduced use of fossil fuels can reduce supply of critical resources.** Biophysical Economics and Sustainability, 6(2), 6.

[2] นำเจริญ พินิจ, ณิศาธร, จารุศิริ, & วิชชากร. (2017). การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ และเวลาที่ชีวมวลสัมผัสกับความร้อนของผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพบนเครื่องไพโรไลซิสแบบต่อเนื่อง **Journal of Science and Technology,** 9(17), 41-51.

[3] Dhumad, S. Z., Jasim, O. Z., & Hamed, N. H. (2023). The evaluation of carbon monoxide emissions using regression analysis and GIS techniques. In IOP Conference Series: **Earth and Environmental Science** (Vol. 1129, No. 1, p. 012041). IOP Publishing.

[4] Rajaram, m. g. s. (2020). **Development of steam assisted system for solar dryer** (doctoral dissertation, department of electrical and other energy sources, college of agricultural engineering and technology, dr. balasaheb sawant konkan krishi vidyapeeth).

[5] Sharma, M. (2023). **Design, development and numerical characterization of indirect domestic hybrid solar dryer** (Doctoral dissertation, Bennett university).

[6] Saipanya, I., Homdoung, N., Sasujit, K., Ramaraj, R., & Tippayawong, N. (2022, November). Carbonization of oil palm empty fruit bunches in a fixed-bed pyrolysis reactor for community use. **In AIP Conference Proceedings** (Vol. 2681, No. 1). AIP Publishing.

[7] Ajuebor, F., Aworanti, O. A., Agbede, O. O., Agarry, S. E., Afolabi, T. J., & Ogunleye, O. O. (2022). **Drying process optimization and modelling the drying kinetics and quality attributes of dried chili pepper** (Capsicum frutescens L.). Trends in Sciences, 19(17), 5752-5752.

[8] Pongpattanasiri, C., Sonsiri, A., Punyakum, V., Amdee, N., & Tantiwattanodom, C. (2023). OPTIMIZED PARAMETERS OF DRIED RED CHILI ON THE ROTARY DRYER PROCESS. **Life Sciences and Environment Journal**, 24(2), 273-284.

[9] Kokate, Y. D., Baviskar, P. R., Baviskar, K. P., Deshmukh, P. S., Chaudhari, Y. R., & Amrutkar, K. P. (2023). **Design, fabrication and performance analysis of indirect solar dryer**. Materials Today: Proceedings, 77, 748-753.

[10] Zhang, X., Yang, J., Fan, Y., Zhao, X., Yan, R., Zhao, J., & Myers, S. (2020). **Experimental and analytic study of a hybrid solar/biomass rural heating system.** Energy, 190, 116392.

[11] ศรีปราโมช, & วร เวช. (2019). ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อคุณภาพของน้ำมันชีวภาพจากไพโรไลซิส ชิ้นไม้ยูคาลิปตัส และ ซังข้าวโพดในเครื่องปฏิกรณ์เบดนิ่ง.

[12] วีรชัย แผ่นอุไร, ธีทัต ดลวิชัย, & โศรฎา แข็งการ. (2024). ผลกระทบของอุณหภูมิอบแห้งในการอบแห้ง ข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุน. *วารสาร วิศวกรรม และ เทคโนโลยี อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, *2*(4), 1-11.

[13] Romero, J. P., & Gramkow, C. (2021). Economic complexity and greenhouse gas emissions. **World Development,** 139, 105317.

การทดลองผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสชนิดเบดนิ่ง

Experiment on the production of pyrolysis oil from plastic waste using a fixed-bed pyrolysis process

พนธกร เหลี่ยมเคลือบ[1] กิตติกร สาสุจิตต์[1] เสมอขวัญ ตันติกุล[1] ถิรวัฒน์ วงษาเทียม[1] ลลิตา เพชรใจหาญ[1]
พัชรี อินธนู[2] และ นิกราน หอมดวง[1]*
Phontakorn Liam-kloub[1], Kittikorn Sasujit[1], Samerkwan Tantikul[1] Tirawat Wongsatiam[1],
Lalita Petchaihan[1], Patcharee Intanoo[2], and Nigran Homdoung[1]*

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2] ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[1] School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290
[2] Industrial Chemistry Innovation, Faculty of Science, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290
*Corresponding author: Tel: 084-1773632 E-mail address: nigranghd@gmail.com

Abstract

In the past few years, the world has been aware of the importance and has continuously campaigned to reduce the use of plastic bags, both in the public and private sectors, in order to preserve our world in the long run. This is because such impacts have had a wide impact on both humans and the environment. Plastic is a material that is widely used and its usage in various fields has been continuously increasing. Moreover, its natural decomposition occurs very slowly. Even the burning of plastic produces carbon dioxide and other toxic gases, which are the causes of global warming. This is the reason for this research to experiment on the production of oil from plastic waste using the fixed-bed pyrolysis process to find a method to produce oil from plastic with higher efficiency. Therefore, the objective of this research is to find the effect of the pyrolysis process temperature on the amount of plastic oil yield using temperatures of 500, 600, and 700 degrees Celsius, a nitrogen gas flow rate of 100 liters per hour, and to study the basic properties of polyethylene plastic oil to analyze the physical properties, such as solid content, density, and acidity-alkalinity. The experiment found that the higher pyrolysis temperature tends to increase gas, where 500 °C gives the highest yield of plastic oil at 16.54%. The result of the analysis of the properties of bio-oil obtained from the most suitable temperature found that the solid content was 2.85%, the density was 0.65-0.75 g/mL, and the pH was in the range of 5.0-6.0.

Keywords: Plastic oil, Pyrolysis, Plastic, Waste to energy

บทคัดย่อ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทั่วโลกต่างตื่นตัวให้ความสำคัญ พร้อมช่วยกันรณรงค์ลดการใช้ถุงพลาสติกอย่างต่อเนื่อง ทั้งทางภาครัฐ หรือเอกชน เพื่อรักษาโลกของเราให้ดำรงต่อไปได้ในระยะยาว เนื่องจากผลกระทบดังกล่าวได้ส่งผลกระทบในวงกว้างทั้งต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม พลาสติกถือเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางจนมีปริมาณการใช้งานในด้านต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งการสลายตัวโดยธรรมชาติเกิดขึ้นได้ช้ามากแม้แต่การเผาทำลายพลาสติกยังก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซพิษอื่น ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนอีกด้วย จึงเป็นสาเหตุให้เกิดงานวิจัยนี้เป็นการทดลองผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิสชนิดเบดนิ่ง เพื่อหาแนวทางในการผลิตน้ำมันจากพลาสติกที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อหาผลของอุณหภูมิกระบวนการไพโรไลซิสต่อปริมาณผลได้ของสมบัติของน้ำมันพลาสติกโดยใช้อุณหภูมิ 500 600 และ 700 องศาเซลเซียส อัตราการไหลแก๊สไนโตรเจน 100 ลิตรต่อชั่วโมง และศึกษาสมบัติพื้นฐานของน้ำมันพลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene) มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ ปริมาณของแข็ง ความหนาแน่น และค่าความเป็นกรด-ด่าง จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิไพโรไลซีสที่สูงขึ้นมีแนวโน้มของแก๊สสูงขึ้น โดยที่ 500 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ปริมาณผลได้ของน้ำมันพลาสติกสูงสุดที่ 16.54% และผลการวิเคราะห์สมบัติของไบโอออยล์ซึ่งได้จากอุณหภูมิเหมาะสมที่สุด พบว่าปริมาณของแข็งมี 2.85% ความหนาแน่น 0.65-0.75 กรัมต่อมิลลิลิตร และค่าความเป็น กรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.0 - 6.0

คำสำคัญ: น้ำมันพลาสติก ไพโรไลซิสแบบเร็ว ถุงพลาสติก พลังงานจากขยะ

บทนำ

มนุษย์เริ่มรู้จักพลาสติกกลางศตวรรษที่ 19 ซึ่งเป็นวัสดุศาสตร์ประเภทหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติที่มีความทนทานแข็งแรง มีความ ยืดหยุ่นสูง และมีน้ำหนักเบา ดังนั้นจึงนิยมนำไปใช้สร้างสรรค์สิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่นภาชนะบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์เฟอร์นิเจอร์ ของเล่นเด็กตลอดจนอุปกรณ์ในงานก่อสร้างเป็นต้น และเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกอย่าง รวดเร็วในช่วงระยะหนึ่งร้อยปีที่ผ่านมา จึงส่งผลต่อความต้องการในการใช้งานผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จึงส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกมากขึ้นไปด้วย [7] ประเทศไทยมีขยะพลาสติกประมาณร้อยละ 12 ของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือประมาณปีละ 2 ล้านตัน มีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ประมาณปีละ 0.5 ล้านตัน (ร้อยละ 25) ส่วนที่เหลือ 1.5 ล้านตัน (ร้อยละ 75) [1] ซึ่งพลาสติกส่วนใหญ่เป็นพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (Single-use plastics) อาทิ ถุงร้อน ถุงเย็น ถุงหูหิ้ว แก้วพลาสติก หลอดพลาสติก กล่องโฟมบรรจุอาหาร ไม่มีการนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ โดยส่วนใหญ่จะถูกทิ้งเป็นขยะมูลฝอยในปริมาณและสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี 2563 ได้มีการศึกษาปริมาณขยะพลาสติกที่เกิดขึ้น ในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 พบว่า มีขยะพลาสติกประมาณ 6,300 ตัน/วัน หรือเพิ่มขึ้น ร้อยละ 15 ของปริมาณขยะพลาสติกเมื่อเทียบกับในช่วงเวลาเดียวกันในสถานการณ์ปกติ เมื่อปี 2562 (ปี 2562 มีปริมาณขยะพลาสติกเฉลี่ย 2 ล้านตัน หรือประมาณ 5,500 ตัน/วัน) [2] โดยการนำมาผลิตน้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการเปลี่ยนพลาสติกเพื่อให้ได้ก๊าซเชื้อเพลิงและน้ำมัน จะเรียกรวมว่า กระบวนการพีจีแอล (PGL process) ซึ่งประกอบด้วย 3 กระบวนการ คือ กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis process) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification) และกระบวนการลิควิแฟรกชัน (Liquefaction) โดยทั้ง 3 กระบวนการนี้ ใช้หลักการที่ให้ความร้อนกับสารเพื่อให้สายโซ่โมเลกุลของสารถูกตัดขาดในสภาวะปราศจากออกซิเจน (หรือมีออกซิเจนน้อย) จะได้ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ออกมา ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้

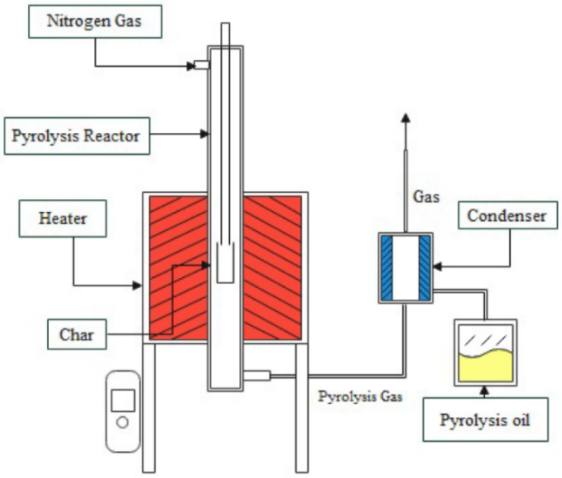
จากกระบวนการไพโรไลซิสจะได้ก๊าซและน้ำมัน กระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นจะได้ก๊าซสังเคราะห์ (ไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์) และกระบวนการลิควิแฟรกชันเป็นกระบวนการที่มีการใช้ตัวทำละลาย ร่วมกับความร้อนจะได้น้ำมันเป็นผลิตภัณฑ์หลัก [3]

กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis process) เพื่อเปลี่ยนพลาสติกให้ได้น้ำมันเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด จากบรรดากระบวนการทางความร้อนต่าง ๆ เนื่องจากมีความยุ่งยากน้อยกว่า โดยทั่วไปการไพโรไลซิสจะควบคุมในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันประมาณร้อยละ 38 - 55 แก๊สประมาณร้อยละ 10 – 30 [8] ส่วนที่เหลือเป็นของแข็ง เนื่องจากมีน้ำมันหลายชนิดปนกันอยู่ เช่น น้ำมัน เบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันก๊าด และน้ำมันเตา อาจมีสารแปลกปลอมปนอยู่ เช่น กรด หรือกำมะถัน จะทำให้เครื่องยนต์เกิดการน็อคได้ นอกจากนี้น้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแม้จะมีน้ำมันหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ แต่ถูกขายเหมารวมเป็นน้ำมันเตาเนื่องจากเป็นองค์ประกอบน้ำมันที่มีปริมาณมากที่สุดและด้วยความไม่ยุ่งยากในกระบวนการและทางการตลาด และน้ำมันเตามักนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเตาเผาในโรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น ทำให้ถูกมองว่าไม่คุ้มค่าในเชิงพาณิชย์

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาทดลองการผลิตน้ำมันพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE) ดังภาพที่ 1 เนื่องจากการไพโรไลซิสนั้นเป็นการกำจัดขยะในอีกวิธีการหนึ่งและยังได้น้ำมันมาเพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิง โดยทำการไพโรไลซิสจากเตาปฏิกรณ์ขนาดเล็ก (Lab scale) ที่มีการใส่วัสดุ 40 กรัมต่อครั้ง เพื่อเป็นแนวทางในการขยายขนาดเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 5 – 10 กิโลกรัมต่อครั้ง เตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้าให้มีอุณหภูมิ 500 - 700 องศาเซลเซียส เนื่องจากต้องการดูแนวโน้มของเตาที่สร้างขึ้นมาร่วมกับการดูผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจากกระบวนการ ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนหรือออกซิเจนน้อยมาก [8] โดยกระบวนการไพโรไลซิสต้องการผลิตภัณฑ์ทีมากที่สุด คือ ของเหลวหรือน้ำมัน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการไพโรไลซิสประกอบด้วย ขั้นแรก การสลายตัวของสารระเหยออกจากวัตถุดิบ ขั้นที่สอง เป็นการแตกตัวของวัตถุดิบเองโดยที่จะแตกตัวออกเป็นโมเลกุลที่เล็กลง จนกระทั่งเกิดการแตกตัวที่สมบูรณ์ในสภาวะความอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด แต่ถ้าอุณหภูมิและเวลามากเกินไปสารที่ได้จากการแตกตัวของสารจะรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ ซึ่งอาจจะกลายเป็นของแข็ง ข้นเหนียวที่เห็นติดอยู่ตามผนังอุปกรณ์ไพโรไลซิส [7]

ภาพที่ 1 ถุงพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน



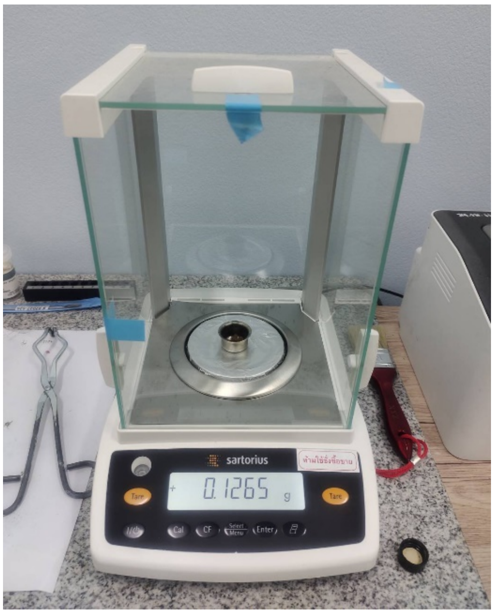
ภาพที่ 2 แผนภาพเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิส

เครื่องมือวิเคราะห์

- เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter) ยี่ห้อ LECO รุ่น AC500 ใช้วิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมะนไพโรไลซิส ระบบปฏิบัติการที่ใช้เทอร์โมมิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ 0.0001 °C วัดอุณหภูมิทุกๆ 6 วินาที การจุดระเบิด (combustion vessel) ใช้ได้ทั้งเส้นลวด หรือ เส้นด้าย

ภาพที่ 3 เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb calorimeter)

- เครื่องชั่งในห้องแล็ปปฏิบัติการ (Semi-micro balance) รุ่น ENTRIS224i-1S ความละเอียดในการอ่านค่า 0.1 มิลลิกรัม ความสามารถในการชั่งน้ำหนักสูงสุด 220 กรัม ระบบปรับเทียบมาตราฐานเครื่องชั่งแบบใช้ตุ้มน้ำหนักภายในตัวเครื่องเป็นมาตรฐาน (Internal Adjustment Weight) จานชั่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร



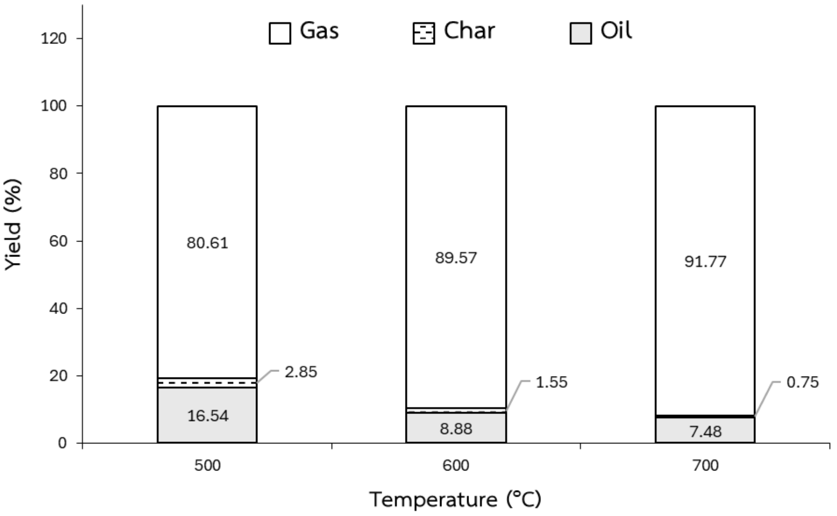
ภาพที่ 4 เครื่องชั่งในห้องแล็ปปฏิบัติการ

- เครื่องวัดกรด-ด่าง (pH Meter) ยี่ห้อ Horiba รุ่น LAQUAtwin PH 33 ช่วงการวัด pH 0.0 ถึง 14.0 ปริมาตรตัวอย่างการวัดต่ำสุดที่วัดได้ 0.1 มิลลิลิตร

ภาพที่ 5 เครื่องวัดกรด-ด่าง (pH Meter)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

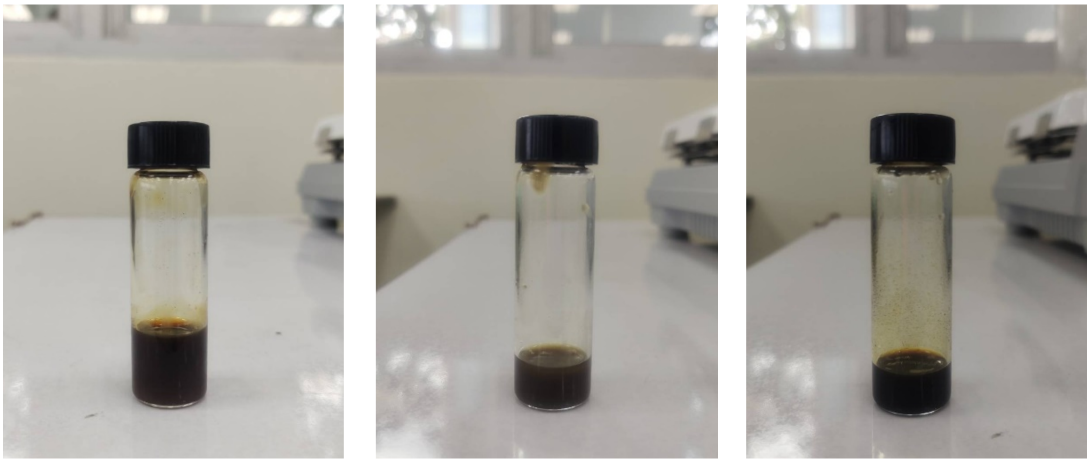
จากการทำการทดสอบการผลิตน้ำมันจากถุงพลาสติก ที่อุณภูมิ 500 600 และ 700 องศาเซลเซียสจากภาพที่ 3 พบว่าที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำมันมากที่สุดคือ 16.54% มีปริมาณถ่าน 2.85% และมีปริมาณแก๊ส 80.61% รองลงมาได้แก่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส 8.88%, 1.55% และ 89.57% ตามลำดับ ได้ปริมาณต่ำที่สุดได้แก่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส 7.48%, 0.75% และ 91.77% ตามลำดับ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการควบแน่นคืออุณหภูมิบรรยากาศที่ 30-35 องศาเซลเซียส ซึ่งปริมาณต่าง ๆ ที่ออกมาทั้ง 3 ระดับอุณหภูมินั้น อาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากการที่ไอน้ำมันติดและควบแน่น ภายในเตาไพโรไลซิสก่อนจะออกมาควบแน่นและความเร็วของแก๊สที่ผ่านระบบการควบแน่นจึงทำให้มีแนวโน้มของปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่คงที่



ภาพที่ 6 ร้อยละผลผลิตของของน้ำมัน ถ่าน และแก๊ส

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพลาสติก

ลักษณะความเข้มของสีน้ำมันพลาสติกมีความแตกต่างกันดังภาพที่ 7 โดยสีของน้ำมันจากพลาสติกที่อุณหภูมิ 500 องศา เป็นสีน้ำตาลอ่อน ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีสีน้ำตาลอ่อนอมเขียว และสีของน้ำมันที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นสีน้ำตาลเข้มมากกว่าที่อุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิความร้อนในการไพโรไลซิสมีผลต่อสีของน้ำมันพลาสติก



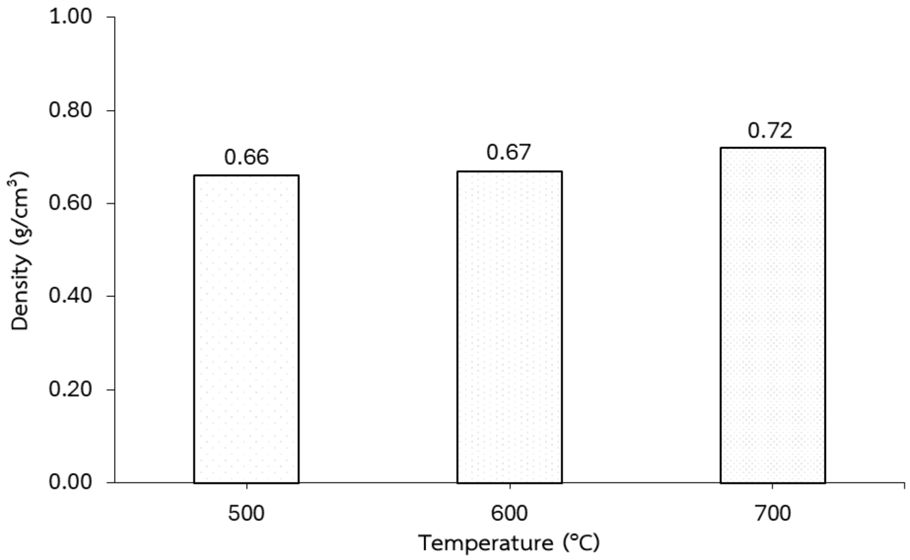
(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 7 สีของน้ำมันพลาสติกจากทั้ง 3 อุณหภูมิ

(ก) อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส (ข) อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส (ค) อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส

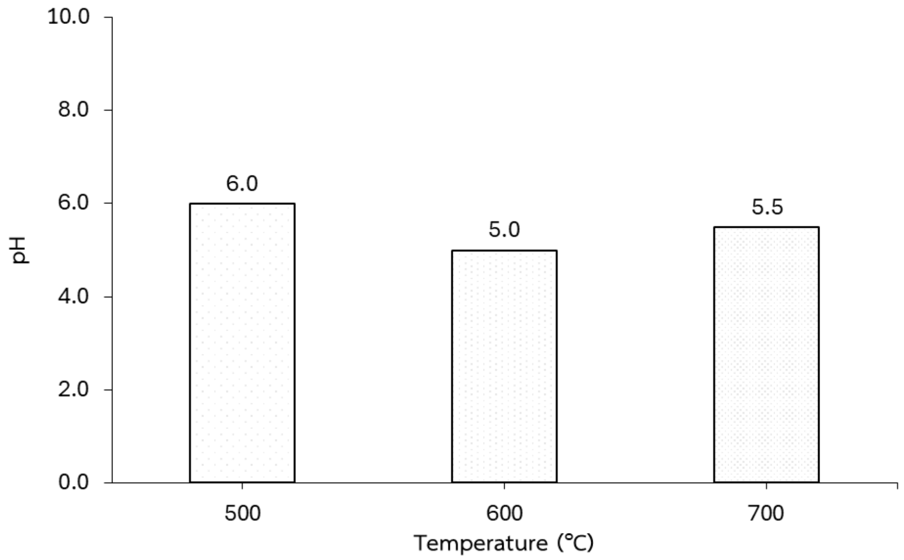
ภาพที่ 8 การปรับอุณหภูมิไพโรไลซิส 500 - 700 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิสส่งผลต่อความหนาแน่นของน้ำมันพลาสติก ค่าความหนาแน่นของน้ำมันพลาสติกที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.66 g/cm^3 ถัดมาเป็นอุณหภูมิ 600 องศา ค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.67 g/cm^3 และที่อุณหภูมิสูงสุดมีความ

หนาแน่น 0.72 g/cm^3 ทำการเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันพลาสติกมีความหนาแน่นต่ำกว่า โดยทั่วไปน้ำมันดีเซลมีค่าความร้อนอยู่ที่ 0.87-0.95 g/cm^3 ซึ่งความหนาแน□นของไบโอออยล□อยู□ในช□วง 0.94-1.09 g/cm^3 ซึ่งมีค□าเป□นไปตามมาตรฐานไบโอออยล□ทั่วไป [6]



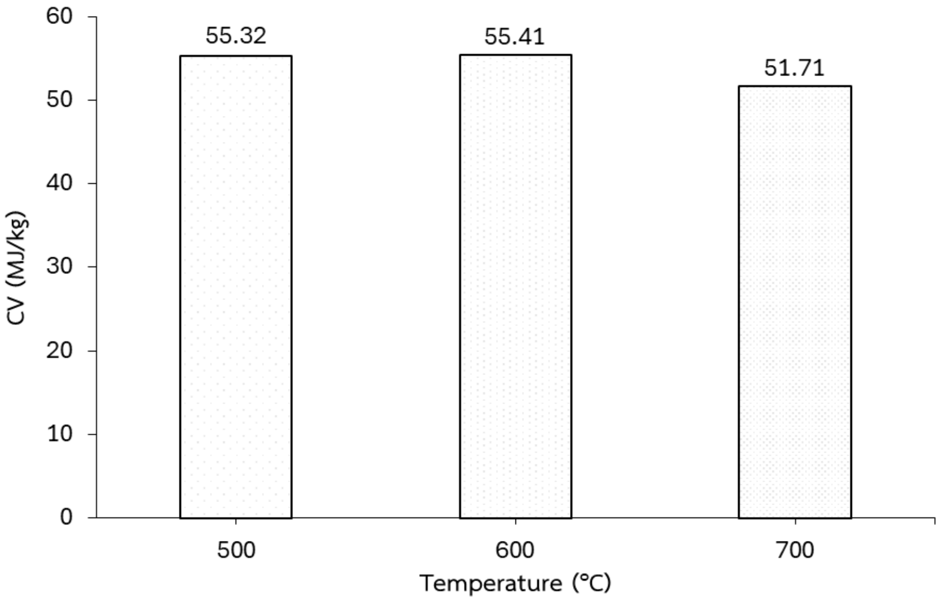
ภาพที่ 8 ความหนาแน่นน้ำมันพลาสติก

ภาพที่ 9 แสดงผลค่ากรด-ด่างของน้ำมันพลาสติก ผลการทดสอบพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิสส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำมันพลาสติก โดยที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ให้ค่าความเป็นกรดอ่อนที่สุด มีค่า pH 6.0 ถัดมาอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ให้ค่าความเป็นกรดมากกว่าที่อุณหภูมิ 500 และ 700 องศาเซลเซียส มีค่า pH 5.0 ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส มีค่า pH 5.5 ทำเปรียบเทียบกับค่ากรด-ด่างของน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันพลาสติกให้ค่าความเป็นกรดสูงกว่า โดยทั่วไปน้ำมันดีเซลมีค่า pH 6.5 – 7



ภาพที่ 9 ค่ากรด-ด่างน้ำมันพลาสติก

ภาพที่ 10 แสดงผลการปรับอุณหภูมิไพโรไลซิส 500 - 700 องศาเซลเซียส มีผลต่อค่าความร้อนของน้ำมันพลาสติก ผลการทดสอบพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิสส่งผลต่อค่าความร้อนของน้ำมันพลาสติก ค่าความร้อนน้ำมันพลาสติกสูงสุดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 600 องศา โดยมีค่าความร้อน 55.41 MJ/kg ถัดมาเป็นอุณหภูมิ 500 องศา มีค่าความร้อน 55.32 MJ/kg และสุดท้ายค่าความร้อนต่ำสุด 51.71 MJ/kg ที่อุณหภูมิสูงสุด อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันพลาสติกให้ค่าความร้อนสูงกว่า โดยทั่วไปน้ำมันดีเซลมีค่าความร้อนอยู่ที่ 45 – 46 MJ/kg



ภาพที่ 10 ค่าความร้อนน้ำมันพลาสติก

สรุปผลการวิจัย

ขยะพลาสติกที่นำมาทดสอบเป็นจากพลาสติกที่บรรจุห่อหุ้มเครื่องใช้ไฟฟ้า แห้ง มีความสะอาดไม่มีเศษดินและน้ำปนเปื้อนอยู่ในวัสดุ โดยการใช้เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสชนิดเบดนิ่งเป็นการไพโรไลซิสแบบช้า สามารถผลิตน้ำมันได้โดยได้สัดส่วนน้ำมันสูงสุด 16.54% ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส การใช้อุณหภูมิที่สูงเกินทำให้น้ำมันได้ลดลง ค่าความร้อนของน้ำมันพลาสติกที่อุณหภูมิ 500-700 องศาเซลเซียส มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 51 - 55 MJ/kg และสูงกว่าน้ำมันดีเซล การใช้งานน้ำมันจากพลาสติกนี้สามารถไปใช้กับเครื่อยนต์สันดาปภายในได้ แต่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันในเบื้องต้นก่อน จะทำให้การใช้น้ำมันเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และปัจจัยที่กระทบต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณน้อยกว่าของผู้วิจัยรายอื่นอาจเกิดจากความสูญเสียระหว่างขั้นตอนการไพโรไลซิส ขนาดเตา และกระบวนการทำในแต่ละขั้นตอน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ ทุนสนับสนุนงานวิจัยภายใต้โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิต วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนสิ่งอำนวยความสะดวกและงบประมาณการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2564). **ข้อมูลขยะมูลฝอยชุมชน เอกสารประกอบการจัดทำรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2564**. (เอกสารอัดสำเนา).

[2] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2563).**รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2562**. กรุงเทพมหานคร.

[3] เรียบร้อย เจริญ, & ประเสริฐ. (2019). **การผลิตเชื้อเพลิงเหลวทดแทนดีเซลจากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกและชีวมวล**. UNISEARCH (Unisearch Journal), 6(3), 10-16.

[4] นำพร ปัญญโญใหญ่, ทิพาพร คำแดง, & ธนศิษฏ์ วงศ์ศิริอำนวย. (2017). **การผลิตน้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติกและ การประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็ก**. วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม, 1(1), 85-97.

[5] ธันยบูรณ์ ถาวรวรรณ์ (2563). การศึกษาการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ 2563(2) กรกฎาคม – ธันวาคม, 15-32

[6] ศรายุทธ ซาเสน, นุชิดา สุวแพทย์, & อดิศักดิ์ ปัตติยะ. (2013). ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณผลได้และสมบัติของไบโอออยล์จากกระบวนการไพโรไลซีสแบบเร็วโดยใช้กากสบู่ดำในเตาปฏิกรณ์แบบตกอิสระ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 32(4), 526-530.

[7] เดช เหมือนขาว, ยงยุทธ ดุลยกุล และชัยยุทธ มีงาม. (2556). การศึกษาและออกแบบการผลิตน้ำมันดิบจากขยะพลาสติก. การประชุมวิชาการการพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน 2556 ครั้งที่ 3 “ชุมชนท้องถิ่นฐานรากการพัฒนาประชาคมอาเซียน” 9-10 พฤษภาคม 2556 (502-508).

[8] Achyut K. Panda, R.K. Singh and D.K. Mishra. (2010). Thermolysis of waste plastics to liquid fuel A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products - A world prospective. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 233–248

[9] Oasmaa A, Peacocke C. Properties and fuel use of biomass-derived fast pyrolysis liquids: A guide: VTT Technical Research Centre of Finland; 2010. 134 p.

การเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิส
Plastic Waste Conversion into Fuel Oil through the Pyrolysis Process

ฐิติพงษ์ แสงจันทร์[1] พิสิษฎ์ มณีโชติ[2] ไพฑูรย์ เหล่าดี[3] สหัสธยา ทอสาร[2] พัชชรินทร์ เยาวลักษณ์[2]
และ ปรีชา ศรีประภาคาร[1*]

[1]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
[2]วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์
อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000
[3]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300
[1]Faculty of Science Mahasarakham University, Kham Riang Subdistrict, Kantharawichai District
Maha Sarakham Province 44150
[2]School of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Naresuan University, Tha Pho Subdistrict,
Mueang Phitsanulok District, Phitsanulok Province 65000
[3]Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, 128 Huay Kaew Road Chang
Phueak Subdistrict, Mueang District, Chiang Mai Province 50300
*Corresponding author: Tel.: +66 82 629 8916. E-mail address: sriprapakhan@gmail.com

Abstract

The objective of this research is to provide an alternative solution for managing plastic waste found in landfills, which is a significant source of environmental pollution. This is achieved through the use of pyrolysis processes to reduce waste in a way that minimizes pollution and allows for the conversion of the resulting product (oil) into further usable resources. This study uses plastic waste from landfills, such as plastic bags, hot and cold bags, food wraps, snack bags, and straws—items that are typically single-use and abundant in landfills. After sorting the plastic types, a portion of the plastic was tested for moisture content, which was found to be 5.057%. The waste was categorized into three types based on cleanliness. Type 1 refers to unsorted plastic that is used directly without any cleaning, with a moisture content of 6.25%. Type 2 refers to plastic that has been shaken to remove loose debris before use, with a moisture content of 5.17%. Type 3 refers to plastic that has been shaken and wiped clean before use, with a moisture content of 4.92%. These types were compared to determine which treatment method yields the highest oil output.In this study, the pyrolysis process was carried out at a controlled temperature of approximately 500°C, with internal and gas exit temperatures monitored. Each experiment used 3 kilograms of plastic waste. The results showed that Type 1 (unwashed and unsorted plastic) produced 520 milliliters of oil, Type 2 (shaken to remove debris) produced 1,010 milliliters of oil,

and Type 3 (shaken and wiped clean) produced 1,300 milliliters of oil. The remaining residue in the reactor for Type 1, Type 2, and Type 3 was 0.88 kilograms, 0.66 kilograms, and 0.58 kilograms, respectively. The burning times were 110, 135, and 135 minutes, respectively. From the comparison, Type 3 yielded the highest amount of oil, so it was further analyzed for its properties, including density, viscosity, chemical composition, and heating value.The results showed that the oil from Type 3 had a density of 0.77632 g/cm³, a viscosity of 1.740 cSt, and an elemental composition of carbon at 83.572%, hydrogen at 13.927%, and nitrogen at 0.27459%. The heating value was 40.6542 MJ/kg.

Keywords: Plastic waste, Fuel oil, Pyrolysis process, Combustion

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นอีกทางเลือกในการจัดการขยะพลาสติกที่มีอยู่ตามบ่อขยะ ซึ่งเป็นมลพิษมากมายต่อสิ่งแวดล้อมโดยการนำกระบวนการไพโรไลซิสมาใช้เพื่อให้สามารถกำจัดขยะได้แบบที่เกิดมลพิษน้อยและนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ(น้ำมัน)มาใช้ประโยชน์ต่อไปได้อีก วิจัยนี้ใช้ขยะพลาสติกจากบ่อขยะ เช่น ถุงหูหิ้ว ถุงร้อน ถุงเย็น แร็ปอาหาร ถุงขนม หลอด เป็นต้น ซึ่งมีอยู่ มากมายในบ่อขยะเพราะเป็นประเภทที่ใช้แล้วทิ้งหลังจากที่แยกประเภทของพลาสติกออกแล้วได้นำพลาสติกบางส่วนไปทำ การตรวจหาความชื้นและมีความชื้นอยู่ที่ 5.057% ผู้วิจัยได้มีการแบ่งขยะออกเป็น 3 แบบตามความสะอาดคือ แบบที่ 1 หมายถึงไม่ได้มีการทำความสะอาดใดคัดแยกชนิดพลาสติกแล้วนำไปใช้เลย มีความชื้นอยู่ที่ 6.25% แบบที่ 2 หมายถึง ทำ มาสะบัดเอาเศษต่างๆออกก่อนค่อยนำไปใช้ มีความชื้นอยู่ที่ 5.17% และแบบที่ 3 หมายถึง นำมาสะบัดและใช้ผ้าเช็ด เพื่อให้สะอาดมากที่สุดค่อยนำไปใช้ และมีความชื้นอยู่ที่ 4.92% เพื่อนำมาเปรียบเทียบว่าการจัดการขยะแบบไหนได้น้ำมัน เยอะที่สุด ในงานวิจัยนี้จะควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ อยู่ที่ประมาณ 500 องศาเซลเซียสและเก็บอุณหภูมิภายในถัง และอุณหภูมิแก็สร้อนที่ออกจากกระบวนการ โดยแต่ละการทดลองจะใช้ขยะพลาสติกปริมาณ 3 กิโลกรัม ผลที่ได้จากการ ทดลอง โดยที่แบบที่ 1 (ไม่ได้มีการทำความสะอาดใดๆคัดแยกชนิดพลาสติกแล้วนำไปใช้เลย) แบบที่ 2 (สะบัดเอาเศษต่างๆ ออกก่อนค่อยนำไปใช้)และแบบที่ 3 (นำมาสะบัดและใช้ผ้าเช็ดเพื่อให้สะอาดมากที่สุดค่อยนำไปใช้) ได้น้ำมันแบบที่ 1 อยู่ที่ 520 มิลลิลิตร แบบที่ 2 อยู่ที่ 1010มิลลิลิตร แบบที่ 3 อยู่ที่ 1300 มิลลิลิตร มีกากตะกอนภายในเตาแบบที่ 1 อยู่ที่ 0.88 กิโลกรัม แบบที่ 2 อยู่ที่ 0.66 กิโลกรัม แบบที่ 3 อยู่ที่ 0.58 กิโลกรัม ใช้เวลาในการเผาไหม้อยู่ที่ 110 ,135 และ135 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกันจะเห็นว่า แบบที่ 3 ได้ผลน้ำมันมากที่สุด จึงนำแบบที่ 3 ไปตรวจหาคุณสมบัติหาค่าความ หน่าแน่น ความหนืด คุณสมบัติทางเคมีและค่าความร้อน ผลที่ได้คือ ค่าความหนาแน่น 0.77632 g/cm3 ค่าความหนืด 1.740 cSt และ carbon %,Hydrogen %,Nitrogen % มีองค์ประกอบของธาตุ 83.572 % , 13.927 % , 0.27459 % ตามลำดับ และมีค่าความร้อน 40.6542MJ/kg

คำสำคัญ: ขยะพลาสติก, น้ำมันเชื้อเพลิง, กระบวนการไพโรไลซิส,การเผาไหม้

การศึกษาความเป็นไปได้ในการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อความชื้นและคุณภาพสีของเห็ดเยื่อไผ่เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตของวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดเยื่อไผ่และแปรรูปบ้านกอรวก

Study of the feasibility of drying with solar energy that affect the moisture and color quality of bamboo mushrooms in order to improve the production process of the Ban Kor Ruak Bamboo Mushroom Cultivation and Processing Community Enterprise

อวิรุทธ์ บัวใหญ่[1] ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล[1] ธเนศ ไชยชนะ[1] ปฏิพัทธิ์ ถนอมพงษ์ชาติ[2] วศินวิโรตม์ เนติศักดิ์[3]
และ ภคมน ปินตานา[1*]

Awirut Buayai[1], Yingrak Auttawaitkul[1], Tanate Chaichana[1], Patipat Thanompongchart[2],
Wasivirot Netisak[3], and Pakamon Pintana[1*]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
[2] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
[3] คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
[1] School of Renewable Energy, Maejo University
[2] Faculty of Industrial Technology Rajabhat Uttaradit
[3] Faculty of Industrial Technology Rajabhat Lampang
Corresponding author: E-mail address: p.pintana@gmail.com

Abstract

This research aimed to study the moisture content, drying rate, color change and cost-effectiveness of bamboo mushroom drying. The methods used included solar drying, hot air oven and natural sunlight drying from 09.00 A.M. to 16.00 P.M. The temperature, weight and light intensity were measured every hour. The results showed that the solar drying system for drying bamboo mushroom gave the lowest final moisture content at 2.34% w.b. and the highest drying rate at 14.98 $kg_w/kg_{dry}.h$ at 13.00 hrs. Comparison of color change of bamboo mushroom drying compared to the initial bamboo mushroom product. Drying using a hot air oven gave the lowest color change ΔE value of 73.41, followed by drying bamboo mushrooms with a solar drying system ΔE = 74.44 and natural sunlight drying ΔE = 75.71, respectively. The drying of bamboo mushrooms with a solar drying system showed a color change value similar to that of a hot air oven, and the payback period was 31 production runs. Therefore, the solar drying system is a suitable technology to invest in instead of drying with a hot air oven. It can increase the value of bamboo mushroom products for the Ban Korwak Bamboo Mushroom Cultivation and Processing Community Enterprise and can be further developed for sustainability.

Keywords: Drying, Bamboo mushrooms, Color value, Solar drying system

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชื้น อัตราการอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงค่าสี และความคุ้มค่า คุ้มทุนในการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ ประกอบด้วยการอบแห้งโดย ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ หม้ออบลมร้อน และวิธีการตากแดดธรรมชาติ ในช่วงเวลาระยะเวลา 09.00 – 16.00 น. โดยวัดอุณหภูมิ ชั่งน้ำหนัก และวัดค่าความเข้มแสงทุกๆ 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่นั้นให้ค่าความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุดที่ 2.34 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตราฐานเปียกและอัตราการอบแห้งสูงสุดที่ 14.98 กรัม$_{\text{น้ำ}}$/กรัม$_{\text{แห้ง}}$•ชั่วโมง ณ ช่วงเวลา 13.00 น. การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าสีของการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์เห็ดเยื่อไผ่เริ่มต้น การอบแห้งโดยใช้หม้ออบลมร้อนจะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสี ΔE น้อยที่สุดคือ 73.41 ตามด้วยการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ΔE = 74.44 และวิธีการตากแดดธรรมชาติ ΔE = 75.71 ตามลำดับ โดยการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีที่ใกล้เคียงกับการใช้หม้ออบลมร้อนและมีระยะเวลาในการคืนทุนที่การผลิต 31 ครั้ง ดังนั้นระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมในการลงทุนเพื่อใช้แทนการอบแห้งด้วยหม้ออบลมร้อน สามารถเพิ่มมูลค่าผลผลิตเห็ดเยื่อไผ่ให้กับวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดเยื่อไผ่และแปรรูปบ้านกอรวก และสามารถนำไปต่อยอดให้มีความยั่งยืนต่อไปได้

คำสำคัญ: การอบแห้ง เห็ดเยื่อไผ่ ค่าสี ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

บทนำ

เห็ดเยื่อไผ่ (Dictyophora indusiate (Pers.) Fisch) เป็นเห็ดที่มีมูลค่าสูง ที่มาของชื่อเห็ดเยื่อไผ่ตั้งตาม ลักษณะเด่น เช่น เห็ดเต้นรำ (Dancing mushroom) ซึ่งเป็นการสังเกตตรงส่วนที่เป็นหมวกเห็ด มีลักษณะ คล้ายกระโปรงลูกไม้สุภาพสตรีเมื่อโดนลมพัด คล้ายสุภาพสตรีเต้นระบำ [1] ลักษณะทั่วไปของเห็ดเยื่อไผ่ ดอกอ่อนมีลักษณะ ก้อนกลมสีขาวคล้ายไข่นก ระยะดอกบาน ลำต้น และหมวกเห็ดจะยืดตัวแทรกออกจากเปลือก มักขึ้นเป็นดอกเดี่ยว และเมื่อโตเต็มที่มีลักษณะเด่น คือหมวกเห็ดมีรูปร่างเหมือนตาข่ายหรือแห หรือกระโปรงลูกไม้ของสุภาพสตรีการแปรรูปเห็ดในปัจจุบันโดยเฉพาะเห็ดเยื่อไผ่หรือเห็ดร่างแห มีคุณสมบัติเชิงบำบัดโรคเนื่องจากมีสารออกฤทธิ์ด้านสรรพคุณทางยา แต่เนื่องจากไม่สามารถเก็บรักษาความสดของดอกเห็ดไว้ได้นาน เห็ดจะเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายตัวเอง (Autolysis) จึงทำให้เห็ดเน่าเสียได้ง่าย ดังนั้นการเก็บรักษาเห็ด ให้ได้คุณภาพก่อนส่งออก และสภาวะเห็ดล้นตลาด องค์ความรู้ทางด้านการแปรรูปผลผลิตเห็ดด้วยวิธีการอบแห้ง จึงมีส่วนช่วยรักษาคุณภาพของเห็ดไว้ได้นาน โดยความชื้นของเห็ดเยื่อไผ่ในการอบแห้งคือ 8-12 % [2] การศึกษาการใช้เทคโนโลยีในการอบแห้ง เพื่อลดปริมาณความชื้นหรือไล่ปริมาณความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ การอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีต้นทุนไม่สูงและสามารถนำมาส่งเสริมให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้ กระทรวงพลังงาน โดยสำนักงานพลังงานจังหวัดลำปางได้จัดโครงการเพิ่มสมรรถนะด้านการบริหารและจัดการพลังงานครบวงจรในชุมชนระดับตำบลและเครือข่ายพลังงานชุมชน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2567 (งบเงินอุดหนุน) ได้มีแนวทางส่งเสริมระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดเยื่อไผ่และแปรรูปบ้านกอรวก เพื่อนำไปแปรรูปเห็ดเยื่อไผ่ด้วยวิธีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดเยื่อไผ่และแปรรูปบ้านกอรวก ได้มีการเริ่มเพาะเห็ดเยื่อไผ่ เมื่อปี พ.ศ. 2561 และภายหลังเริ่มมีลูกค้าเป็นจำนวนมากและเริ่มมีการส่งให้กับกลุ่มลูกค้าที่อยู่ทั้งประเทศไทยและต่างประเทศ จึงเริ่มใช้วิธีการยืดอายุการเก็บรักษาโดยการอบแห้ง ทั้งนี้ยังขาดใน

เรื่องของการศึกษาความเป็นไปได้ในการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากสีของผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อราคาจำหน่าย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้วิเคราะห์ ค่าความชื้น อัตราส่วนความชื้น อุณหภูมิการอบแห้ง ค่าความเข้มแสง ค่าสีของการอบแห้ง และกำไรกับความคุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดเยื่อไผ่และแปรรูปบ้านกอรวก ได้สามารถนำไปต่อยอดในการแปรรูปเห็ดเยื่อไผ่ต่อไป

วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดการทดลองอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ 3 วิธี คือ 1. การอบแห้งระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 2 x 2 เมตร โดยใช้แผงโซล่าเซลล์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับพัดลมระบายอากาศ ผนังตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำจากโพลี่คาร์บอเนต และภายในสามารถบรรจุตะแกรง ได้จำนวน 4 ตะแกรง เริ่มอบแห้ง เวลา 09.00 – 16.00 น. ชั่งน้ำมวลรวม/ครั้ง ทุก ๆชั่วโมง พร้อมวัดอุณหภูมิของเห็ดเยื่อไผ่ด้วยโพรบวัดอุณหภูมิบริเวณเหนือของผลิตภัณฑ์เห็ดเยื่อไผ่ และค่าความเข้มแสง ทุก ๆชั่วโมง 2. การอบแห้งโดยใช้หม้ออบลมร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดเยื่อไผ่และแปรรูปบ้านกอรวกใช้อยู่ในปัจจุบัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 เซนติเมตร บรรจุวัตถุดิบที่ต้องการอบได้ 5 ชั้น ปรับระดับความร้อนได้ 35 – 70 องศาเซลเซียส กำลังไฟฟ้า 345 วัตต์ ใช้ไฟฟ้า 220-230 โวลต์, 50 เฮิรตซ์ การทดลองใช้อุณหภูมิการอบแห้ง 40 องศาเซลเซียส ตามที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดเยื่อไผ่และแปรรูปบ้านกอรวก ใช้จริง อบแห้งระยะเวลา 6 ชั่วโมง พร้อมวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง และชั่งมวลในการอบแห้งทุก ๆชั่วโมง และ 3. การตากแดดธรรมชาติเริ่มอบแห้งเวลา 09.00 – 16.00 น. ชั่งมวลรวม/ครั้ง ทุก ๆชั่วโมง พร้อมวัดอุณหภูมิของเห็ดเยื่อไผ่ด้วยโพรบวัดอุณหภูมิบริเวณเหนือของผลิตภัณฑ์เห็ดเยื่อไผ่ และค่าความเข้มแสง ทุก ๆชั่วโมง การอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ ใช้ปริมาณครั้งละ 10 ชิ้น ต่อการทดลอง (เนื่องจากวัตถุดิบมีมูลค่าสูงกิโลกรัมละ700 บาท) โดยเตรียมวัตถุดิบ ด้วยการล้างทำความสะอาด ดิน หรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ จากนั้นนำเห็ดเยื่อไผ่มาจัดเรียงลงในตะแกรง เพื่อเตรียมเข้ากระบวนการอบแห้งทุกวิธีการอบแห้งทำการทดลองซ้ำ จำนวน 1 ครั้ง แล้วนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนต่อไป

(ก) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

(ข) หม้ออบลมร้อน

(ค) ตากแดดธรรมชาติ

ภาพที่ 1 วิธีการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่

การวิเคราะห์ข้อมูล

การหาความชื้นของผลิตภัณฑ์ เมื่อเตรียมผลิตภัณฑ์ในการอบแห้งเสร็จจะนำไปอบแห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐานของ AOAC (2000) เพื่อใช้ในการหาน้ำหนักแห้ง หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าปริมาณความชื้น (Moisture content,MC) สามารถคำนวนได้จากสมการที่ (1) [3]

$$M_w = \frac{w - d}{w} x100$$

$$M_d = \frac{w - d}{d} x100 \qquad (1)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตราฐานเปียก (เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตราฐานเปียก)

M_w คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตราฐานแห้ง)

w คือ มวลที่เวลาใดๆของผลิตภัณฑ์ (กรัม)

d คือ น้ำหนักแห้งของผลิตภัณฑ์ (กรัม)

อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio) ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในวัตถุ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) [4]

$$MR = \left(\frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} \right) \qquad (2)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (กรัม$_{\text{น้ำ}}$ /กรัม$_{\text{แห้ง}}$)

M_i คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุ (กรัม$_{\text{น้ำ}}$ /กรัม$_{\text{แห้ง}}$)

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุที่สภาวะการอบแห้ง (กรัม$_{\text{น้ำ}}$ /กรัม$_{\text{แห้ง}}$)

หรือสามารถคำนวณอัตราส่วนความชื้นอย่างง่ายจากสมการ (3)

$$MR = \frac{M_t}{M_i} \qquad (3)$$

เนื่องจากค่าของความชื้นสมดุลของวัสดุที่สภาวะการอบแห้ง (M_{eq}) มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความชื้นที่เวลาใดๆ [5]

การหาอัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) ในการทดลองได้ดำเนินการบันทึกการเปลี่ยนมวลหรือปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการทดลองจะสามารถวิเคราะห์หาอัตราการอบแห้ง ตามสมการที่ (4) [6]

$$DR = \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \tag{4}$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (กรัม$_{น้ำ}$/กรัม$_{แห้ง}$·ชั่วโมง)
M_t คือ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เวลา ใดๆ (กรัม$_{น้ำ}$ /กรัม$_{แห้ง}$)
$M_{t+\Delta t}$ คือ ความชื้นของผลิตภัณฑ์ก่อนการอบแห้งในช่วงเวลา Δt (กรัม$_{น้ำ}$ /กรัม$_{แห้ง}$
T คือ ช่วงเวลาการอบแห้ง (ชั่วโมง)

การทดสอบคุณภาพด้านสี ก่อนและหลังการอบแห้งจะทดสอบสีด้วยเครื่อง Portable Colorimeter ยี่ห้อ 3nh รุ่น NR110 โดยจะนำค่าความแตกต่างของสีมาเปรียบเทียบกันที่เงื่อนไขใดมีค่า ΔE น้อยที่สุด จะถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้งมากที่สุด คำนวณได้จากสมการที่ (5) [7]

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \tag{5}$$

เมื่อ ΔE คือ ความแตกต่างของสีโดยรวม
ΔL คือ ความแตกต่างของความสว่าง
Δa คือ ความแตกต่างของความเป็นสีแดงถึงสีเขียว
Δb คือ ความแตกต่างของความเป็นสีเหลืองถึงน้ำเงิน

การวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่า

ต้นทุน ประกอบด้วย วัตถุดิบทางตรง ค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ [8] สามารถหาได้จากสมการที่ (6)

$$\text{ต้นทุนการผลิต} = \frac{\text{วัตถุดิบ+ค่าใช้จ่ายการผลิต}}{\text{ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้}} \tag{6}$$

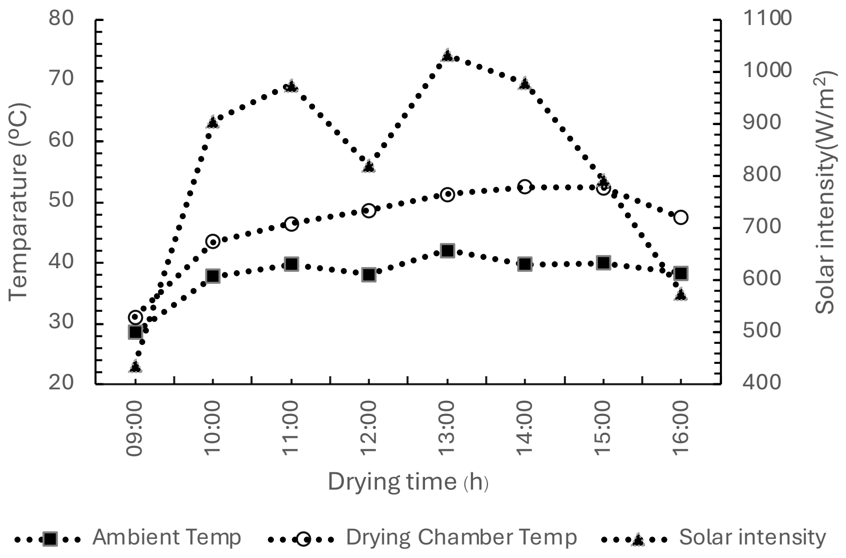
ระยะเวลาคืนทุน เป็นการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ก่อนการตัดสินการลงทุน [9] สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (7)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{มูลค่าการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิสะสมรายปี}} \tag{7}$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

อุณหภูมิและค่าความเข้มแสงของการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่

การอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ด้วยวิธีการอบแห้งโดยใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการตากแดดธรรมชาติ มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ แสดงตามภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 437 – 1033 วัตต์/ตารางเมตร , 28.5 – 42 องศาเซลเซียส และ 31.1 – 52.45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจะสังเกตุได้ว่าอุณหภูมิภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มแสงอาทิตย์จนถึงระยะเวลาการอบแห้งที่เวลา 13.00 น. จะได้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดที่ 1033 วัตต์/ตารางเมตร อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ 42 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 51.3 องศาเซลเซียส จากนั้นเริ่มลดลงตามระยะเวลาการอบแห้งทั้งวิธีการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดธรรมชาติ

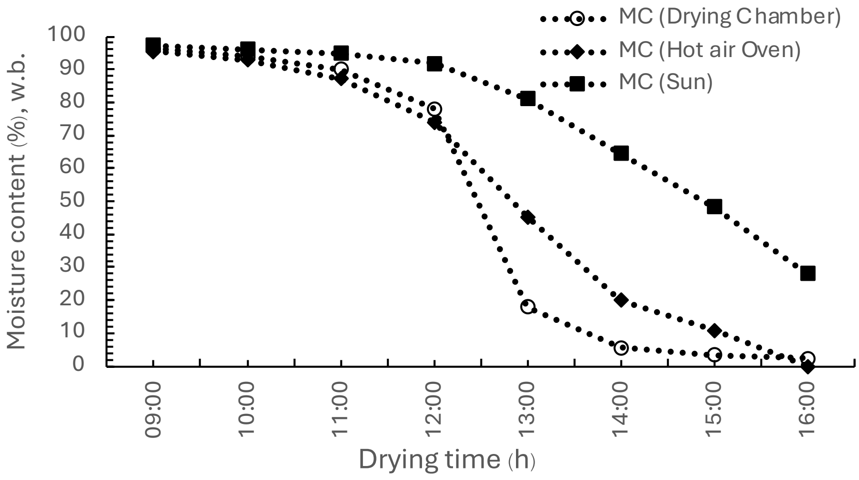


ภาพที่ 2 อุณหภูมิและค่าความเข้มแสงของการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่

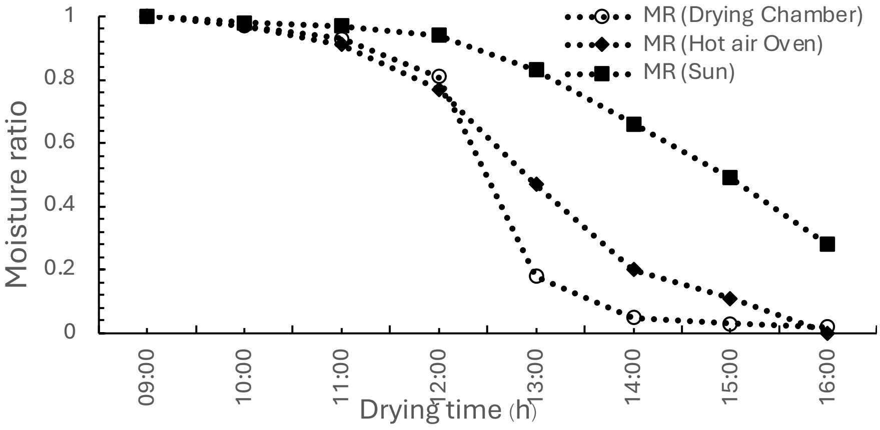
การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและอัตราส่วนความชื้นของเห็ดเยื่อไผ่

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นและอัตราส่วนความชื้นของเห็ดเยื่อไผ่ ในการทำแห้งด้วยวิธีต่างๆ เช่น การอบแห้งโดยใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อบแห้งโดยใช้หม้ออบลมร้อน และวิธีการตากแดดธรรมชาติ แสดงตามภาพที่ 3 ปริมาณความชื้นเทียบกับระยะเวลาการอบแห้ง และภาพที่ 3 อัตราส่วนความชื้นเทียบกับระยะเวลาการอบแห้ง ค่าความชื้นเริ่มต้นของเห็ดเยื่อไผ่ คือ 97.28 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตราฐานเปียก ตามภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นสุดท้ายในการทำให้แห้ง เท่ากับ 2.34 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตราฐานเปียก, 10.96 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตราฐานเปียก และ 28.16 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตราฐานเปียก ตามลำดับ การอบแห้งโดยใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดธรรมชาติ ใช้เวลาในการอบแห้ง 7 ชั่วโมง และการอบแห้งโดยใช้หม้ออบลมร้อน ใช้เวลาในการอบแห้ง 6 ชั่วโมง การอบแห้งโดยใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะให้ปริมาณความชื้นสุดท้ายน้อยที่สุด ตามมาด้วยการอบแห้งโดยใช้หม้ออบลมร้อน และการตากแดดธรรมชาติ ตามลำดับ โดยความชื้นสุดท้ายของการตากแดดธรรมชาติไม่ผ่านเกณฑ์

ของการแนะนำสำหรับการจัดเก็บเห็ดเยื่อไผ่แห้งที่ 12 เปอร์เซ็นต์ [2] การลดลงของปริมาณความชื้นขึ้นกับปริมาณอุณหูมิที่สูงขึ้น ตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ และการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์อบแห้ง ในทำนองเดียวกันอัตราส่วนความชื้นมีแนวโน้มที่ลดลงทุกวิธีการทำแห้ง ตามภาพที่ 4 โดยอัตราส่วนความชื้นสูงที่สุด คือ การอบแห้งโดยใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ตามมาด้วยการอบแห้งโดยใช้หม้ออบลมร้อน และการตากแดดธรรมชาติ ตามลำดับ



ภาพที่ 3 ปริมาณความชื้นเทียบกับระยะเวลาการอบแห้ง

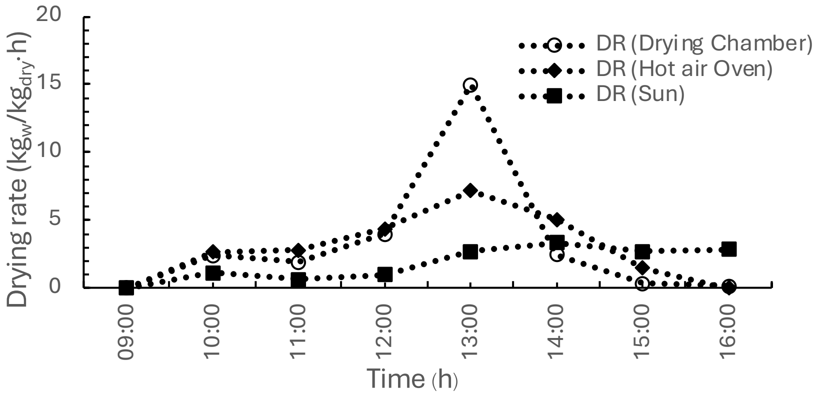


ภาพที่ 4 อัตราส่วนความชื้นเทียบกับระยะเวลาการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งของเห็ดเยื่อไผ่

อัตราการอบแห้งของเห็ดเยื่อไผ่ โดยใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อบแห้งโดยใช้หม้ออบลมร้อน และวิธีการตากแดดธรรมชาติ แสดงตามรูปภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าอัตราการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ ช่วงเวลา 13.00 น. ด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อบแห้งโดยใช้หม้ออบลมร้อน มีอัตราการอบแห้งสูงที่สุดที่ 14.98, 7.18 กรัม$_{\text{น้ำ}}$/กรัม$_{\text{แห้ง}}$·ชั่วโมง ตามลำดับ และวิธีการตากแดดธรรมชาติ ที่เวลา 14.00 น. มีอัตราการอบแห้งสูงที่สุดที่ 3.34 กรัม$_{\text{น้ำ}}$/กรัม$_{\text{แห้ง}}$·ชั่วโมง จากนั้นอัตราการอบแห้งจะลดลง ความชื้นของเห็ดเยื่อไผ่จะลดลงตามเวลาในช่วงสุดท้ายของการอบแห้งและมีอัตราการ

อบแห้งต่ำที่สุด เนื่องจากได้มีการระเหยความชื้นออกไปจากเห็ดเยื่อไผ่ไปเป็นจำนวนมาก จึงเหลือปริมาณความชื้นในเห็ดเยื่อไผ่ในการระเหยน้อยลง ซึ่งเป็นไปตามรูปภาพที่ 2 ปริมาณความชื้นเทียบกับระยะเวลาการอบแห้ง



ภาพที่ 5 อัตราการอบแห้งของเห็ดเยื่อไผ่

การเปลี่ยนแปลงค่าสีของการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่

สีของผลิตภัณฑ์เป็นหนึ่งปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการยอมรับของผู้บริโภค ลักษณะที่มองเห็นได้และการเปลี่ยนแปลงค่าสีจะประกอบไปด้วยค่า L*, a* และ b* ของผลิตภัณฑ์เห็ดเยื่อไผ่อบแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 1 ประกอบไปด้วยวิธีการอบแห้งดังนี้ ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อบแห้งโดยใช้หม้ออบลมร้อน และวิธีการตากแดดธรรมชาติ เมื่อเทียบกับค่าสีของเห็ดเยื่อไผ่ที่ค่า L*, a* และ b* เริ่มต้นของเห็ดเยื่อไผ่เท่ากับ 59.01, 2.80, และ 16.26 ตามลำดับ ค่า L*, a* และ b* เพิ่มขึ้นในทุกวิธีของการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่มากขึ้นมีผลต่อค่า L*, a* และ b* ของเห็ดเยื่อไผ่อบแห้งให้มีปริมาณที่มากขึ้น ความแตกต่างของสีโดยรวม ΔE ของเห็ดเยื่อไผ่อบแห้ง แสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าวิธีการตากแดดธรรมชาติค่า $\Delta E = 75.71$, ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ค่า $\Delta E = 74.44$, อบแห้งโดยใช้หม้ออบลมร้อนค่า $\Delta E = 73.41$ โดยพบว่าความแตกต่างของสีโดยรวม ΔE ของเห็ดเยื่อไผ่อบแห้ง นั้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิและค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ และเห็นได้ว่าการอบแห้งด้วยหม้ออบลมร้อนจะมีค่าความแตกต่างของสีโดยรวม ΔE น้อยที่สุดเนื่องจากมีการใช้อุณหภูมิคงที่ตลอดเวลาการอบแห้งและไม่มีการสัมผัสกับความเข้มของแสงอาทิตย์ แต่เป็นที่น่าสนใจที่ความแตกต่างของสีโดยรวม ΔE ของเห็ดเยื่อไผ่โดยใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกับการอบแห้งโดยใช้หม้ออบลมร้อน เพราะอุณหภูมิในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ค่อนข้างมีความสม่ำเสมอของอุณหภูมิการอบแห้งและการระเหยความชื้นของเห็ดเยื่อไผ่ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงกว่า 45 องศาเซลเซียส [2] สำหรับการอบแห้งด้วยระบบอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ อาจส่งผลต่อสารออกฤทธิ์ด้านสรรพคุณทางยา ทำให้มูลค่าของเห็ดเยื่อไผ่ลดลง จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม

ตารางที่ 1 ลักษณะปรากฏณ์และการเปลี่ยนแปลงค่าสีโดยรวมของการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่

Fresh	Drying Chamber	Hot Air Oven	Sun
L* = 59.01±4.27	L* = 67.49±4.48	L* = 66.20±2.70	L* = 69.79±1.80
a* = 2.80±0.76	a* = 8.61±2.78	a* = 9.06±0.60	a* = 6.76±0.89
b* = 16.26±1.72	b* = 29.92±3.46	b* = 30.39±0.74	b* = 27.63±2.30
ΔE = -	ΔE = 74.44±2.37	ΔE = 73.41±2.31	ΔE = 75.71±2.92

การวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าในการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่

ต้นทุนหลักสำหรับการอบแห้งคือ วัตถุดิบ ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ได้กำหนดพื้นที่ในการตากแดดธรรมชาติเท่ากับพื้นที่ของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 2x2 เมตร แต่ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถอบแห้งได้ 2 ชั้น จึงมีปริมาณการใช้วัตถุดิบมากกว่าเป็น 2 เท่า ดังนั้นต้นทุนในการดำเนินการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ของระบบการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จึงมากที่สุด และมีต้นทุนคงที่ของราคาเครื่องสูงสุดด้วย แต่มีต้นทุนดำเนินการทั้งหมด (บาท/กิโลกรัม) น้อยที่สุด เมื่อคำนวณกำไรจากการขาย จะพบว่าการอบแห้งด้วยระบบการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นให้กำไรในการผลิตต่อรอบสูงที่สุด อีกทั้งการตากแดดธรรมชาติยังมีการใช้จำนวนวันในการอบแห้งต่อครั้งมากกว่า 1 วันเพื่อให้ได้ความชื้นตามกำหนด เมื่อพิจารณาระยะเวลาคืนทุนจะพบว่าการใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถคืนทุนได้เมื่อดำเนินการผลิตเห็ดเยื่อไผ่อบแห้ง 31 ครั้ง อย่างไรก็ตามในการทดสอบไม่ได้บรรจุวัตถุดิบเต็มความจุของหม้ออบลมร้อนและตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการอบแห้งลดลงและส่งผลให้ระยะเวลาการคืนทุนมีความแตกต่างจากตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าในการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่

รายการ	ตากแดดธรรมชาติ	หม้ออบลมร้อน	ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
ปริมาณวัตถุดิบ (กิโลกรัม/รอบ)	4	0.5	8
ราคาวัตถุดิบ (บาท/กิโลกรัม)	700	700	700
การใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง/รอบ)	-	0.197	-
ราคาไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	-	4.22	-
ต้นทุนไฟฟ้า	-	5	-
น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้ (กิโลกรัม/รอบ)	0.53	0.06	1.07
ต้นทุนดำเนินการทั้งหมด (บาท/รอบ)	2,800	355	5,600
ต้นทุนดำเนินการทั้งหมด (บาท/กิโลกรัม)	5,283	5,940	5,253
ราคาผลิตภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม)	6,000	6,000	6,000
กำไรจากการขายผลิตภัณฑ์ (บาท/รอบ)	380	5	820
ราคาเครื่องอบแห้ง (บาท/เครื่อง)	-	500	25,000
จำนวนวันทำงาน (วัน/ปี)	240	120	120
ระยะเวลาคืนทุน (รอบ)	-	100	31

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ประกอบด้วยการอบแห้งโดย ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อบแห้งโดยใช้หม้ออบลมร้อน และวิธีการตากแดดธรรมชาติ ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งเฉลี่ย 6 – 7 ชั่วโมง การอบแห้งด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่นั้นให้ค่าความชื้นสุดท้ายต่ำที่สุดที่ 2.34 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตราฐานเปียก และอัตราการอบแห้งสูงสุดที่ 14.98 กรัม$_{\text{น้ำ}}$/กรัม$_{\text{แห้ง}}$·ชั่วโมง ที่ช่วงเวลา 13.00 น. ในขณะที่การตากแดดธรรมชาติไม่สามารถทำให้ความชื้นผลิตภัณฑ์ผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือ 12% เมื่อพิจารณาคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเห็ดเยื่อไผ่แห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีการทั้ง 3 เทียบกับผลิตภัณฑ์เห็ดเยื่อไผ่เริ่มต้น พบว่าการอบแห้งโดยใช้หม้ออบลมร้อนจะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสี ΔE น้อยที่สุดคือ 73.41 ตามด้วยการอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ΔE = 74.44 และวิธีการตากแดดธรรมชาติ ΔE = 75.71 การอบแห้งเห็ดเยื่อไผ่ด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงค่าสีที่ใกล้เคียงกับการใช้หม้ออบลมร้อน และมีระยะเวลาในการคืนทุนที่การผลิต 31 ครั้ง เมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการทดลองและวิเคราะห์พบว่าระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ผลิตเห็ดเยื่อไผ่อบแห้ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทุนสนับสนุนการทำวิจัย โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และขอขอบคุณสถานที่และอุปกรณ์ต่างๆ ของสำนักงานพลังงานจังหวัดลำปาง ที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] อังคมีน บูรณารมย์. (2549). **เห็ดร่างแหหรือเห็ดเยื่อไผ่**. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[2] สำนักงานวิจัยและพัฒนาทางเกษตร เขตที่ 8 (2565) “**การเพาะเห็ดเยื่อไผ่ในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง**” กรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[3] สุห์ดี นิเซ็ง, ภาณุมาศ สุยบางดำ, กฤษณพงศ์ สังขวาสี และสุพัตรา เพ็งเกลี้ยง. (2562). การศึกษาผลของขนาดช่องระบายความชื้นสำหรับการอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานผสมผสาน. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย**. 11(1), 158-168.

[4] I.Ceylan and A.E.Gurel, “Solar-assisted fluidized bed dryer integrated with a heat pump for mint leaves,” **Applied Thermal Engineering**, vol. 106,pp. 899 – 905 , 2016

[5] D. Jain and P.B. Pathare, “Study the drying kinetics of open sun drying of fish,” **Journal of Food Engineering**, vol. 78 ,no.4,pp. 1315 – 1319, 2007.

[6] Y. Qiu , M.li, R.H.E. Hassanien, Y. Wang, X. Luo, and Q. Yu, “Performance and operation mode analysis of a heat recovery and thermal storage solar – assisted heat pump drying system,” **Solar Energy**, vol. 137, pp. 225 – 235, 2016.

[7] Caparino, O.A., Tang, J., Nindo, C. I., Sablani, S. S., Powers, J. R., & Fellman, J. K. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. **Journal of Food Engineering**, 111, 135-148

[8] อินทิรา สุวรรณดี, ภัทรวดี พิมโกทา, พรทิวา ทมถา, สุพรรษา อามาตย์สมบัติ, อัจฉราภรรณ์ บุตรภักดี และหทัยการญจน์ เวียงหลวง. (2563). **การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตปลาร้าแปรรูป: กรณีศึกษา กลุ่ม**

แจ่วบอง OTOP 3 ดาว บ้านหนองแก อำเภอศรีบุญเรือง จังหวัดหนองบัวลำภู. อุดรธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

[9] จิราภรณ์ แก้วเดียว (2562). **การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟาเรด สำหรับผลิตภัณฑ์ปลา**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมมหาบัณฑิต. เชียงใหม่ : หาวิทยาลัยแม่โจ้.

การประเมินผลกระทบจากการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตมะขามคลุกของวิสาหกิจชุมชน

The Impact Assessment of Solar Crop Dryer for the Tamarind Snacks Production of Community Enterprises

ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1*] อนุพล อัคพิน[2] ประภาศิริ ใจผ่อง[3] และจุฑาลักษณ์ ปานเกิด[1]

Nattawut Khaosaad[1*], Anupon Akkapin[2], Prapasiri Jaipong [3], and Juraluk Pankerd[1]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 65000
[2]ศูนย์เรียนรู้เกษตรทฤษฎีใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 65000
[3]สาขาวิชาสัตวศาสตร์และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 65000
[1]General science, Faculty of Education, Pibulsongkram Rajabhat University 65000
[2]New Theory Agriculture Learning Center, Pibulsongkram Rajabhat University 65000
[3]Animal Sciences and Aquaculture Program, Faculty of Food and Agricultural Technology, Pibulsongkram Rajabhat University 65000
Corresponding author: Tel.: 0817178093 E-mail address: nattawut.kh@psru.ac.th

Abstract

This article presented the Impact Assessment of Solar Crop Dryer on the Tamarind Snacks Production of Community Enterprises. This project started from January - July 2024 (6 months). A solar crop dryer of 12 square meters (2 meters wide and 6 meters long) was constructed for Community Enterprises in April 2024. The researcher used the collected data from May 2024 to July 2024 (3 months) because the community enterprise produced tamarind snacks for the solar crop dryer. The tool of this project is the five-phase academic service project impact assessment form used for data collection including the social, economic, cultural, environmental, and health impacts. The assessment involved interviews with renewable energy technology experts, the community enterprise, the public, and the research team. The impact assessment data was analyzed and synthesized to assess the project's impact.

From the analysis and synthesis of the assessment data from all project participants, the results of each dimension can be summarized as follows:

- The social impact

The community enterprise effectively utilized the solar crop dryer and the knowledge was the other community groups and the public, thereby expanding their network.

- The economic impact

The community enterprise produced higher-quality products and increased production volume.

- The cultural impact

The community enterprise did not need to alter its lifestyle.

- The environmental impact,

The technology was non-polluting within the community.

- The health impact

The community enterprise produced more hygienic products, leading to improved community health and better hygienic drying practices.

The research team concluded that the community could utilize their knowledge of renewable energy technology. and allow for the dissemination of solar crop dryer construction and improve the identified areas, such as designing a lighter structure for the solar drying facility. The solar crop dryers solved the community enterprise problems and increased productivity. The social return on investment (SROI) was calculated to be 0.46.

Keywords: Impact / Solar Crop Dryer / Community Enterprises

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการประเมินผลที่ได้รับจากการโครงการส่งเสริมการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตมะขามคลุกของวิสาหกิจชุมชน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม - กรกฎาคม 2567 เป็นระยะเวลา 6 เดือน ซึ่งในการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 12 ตารางเมตร (กว้าง 2 ยาว 6 เมตร) ให้กับวิสาหกิจชุมชนแล้วเสร็จในสิ้นเดือนเมษายน 2567 ซึ่งวิสาหกิจชุมชนเริ่มใช้งานจริงตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2567 ทางคณะผู้วิจัยจึงดำเนินการเก็บข้อมูลผลกระทบจากการใช้งานตามระยะเวลาที่วิสาหกิจเริ่มใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จนสิ้นสุดระยะเวลาดำเนินโครงการ คือ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2567 จนถึงเดือนกรกฎาคม 2567 เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 3 เดือน โดยใช้เครื่องมือ คือ แบบประเมินผลกระทบโครงการบริการวิชาการ 5 มิติ ได้แก่ มิติผลกระทบทางสังคม มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม มิติที่ 4 มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และมิติที่ 5 มิติผลกระทบทางสุขภาพ โดยใช้แบบประเมินสัมภาษณ์ผู้เข้าร่วมโครงการจำนวน 4 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ตัวแทนวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตมะขามคลุก และประชาชนทั่วไป รวมถึงคณะผู้วิจัย หลังจากนั้นนำข้อมูลจากแบบประเมินผลมาวิเคราะห์เพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการดังกล่าว

จากการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลของแบบประเมินผลของผู้เข้าร่วมโครงการทุกกลุ่ม สามารถสรุปผลแต่ละมิติได้ดังนี้

- มิติทางสังคม วิสาหกิจชุมชนได้ใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จริง และสามารถนำองค์ความรู้ไปใช้ในการฝึกอบรมให้แก่วิสาหกิจกลุ่มอื่นและประชาชนทั่วไปต่อได้ รวมถึงทำให้มีเครือข่ายเพิ่มขึ้น
- มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ วิสาหกิจชุมชนสามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพและมีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น
- มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม วิสาหกิจชุมชนจึงไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตใดๆ
- มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เป็นเทคโนโลยีมีไม่มีมลพิษในชุมชน

- มิติผลกระทบทางสุขภาพ วิสาหกิจชุมชนมีการผลิตสินค้าที่มีสุขอนามัยเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ชุมชนสุขภาพดีขึ้น และชุมชนทราบถึงแนวทางในการตากแห้งที่ถูกสุขอนามัยเพิ่มขึ้น

ในส่วนของคณะผู้วิจัยมีความคิดเห็นต่อการดำเนินโครงการ โครงการนี้ทำให้วิสาหกิจชุมชนมีองค์ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในการแก้ปัญหาจากความต้องการของวิสาหกิจชุมชนได้ และสามารถเผยแพร่การสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ และจุดด้อยของโครงการคณะผู้วิจัยจะนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีน้ำหนักเบาขึ้น รวมถึงโครงการได้รับการยอมรับจากวิสาหกิจชุมชน เนื่องจากวิสาหกิจชุมชนลองใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว สามารถตอบโจทย์ความต้องการและแก้ปัญหาของวิสาหกิจชุมชน อีกทั้งวิสาหกิจชุมชนมีแนวโน้มสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มเติมด้วยการลงทุนของกลุ่มเอง และจากการดำเนินโครงการนี้มีผลตอบแทนทางสังคมเท่ากับ 0.46

คำสำคัญ: ผลกระทบ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ วิสาหกิจชุมชน

บทนำ

จากการลงพื้นที่สำรวจความต้องการของวิสาหกิจชุมชนที่ผลิตมะขามคลุกจำหน่าย พบว่า วิสาหกิจชุมชนที่ผลิตมะขามคลุกนั้นมีปัญหาเกี่ยวกับการตากมะขามเพื่อใช้ในการทำมะขามคลุก เนื่องจากในการตากของวิสาหกิจชุมชนนั้นเป็นการตากแห้งแบบกลางแจ้งในพื้นที่โล่ง ทำให้มีฝุ่น และแมลงรบกวน พร้อมทั้งความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่มาได้ไม่ต่อเนื่อง ทำให้มะขามที่ตากไม่เป็นความต้องการเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง และฤดูกาลที่แปรปรวน เช่น ฝนตกนอกฤดูหรือช่วงฝนตกหนัก เป็นต้น ทำให้ตากมะขามไม่ได้หรือมะขามขึ้นราจากความชื้น จากสาเหตุดังกล่าวนั้นจึงส่งผลต่อการผลิตมะขามคลุกแห้งไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค ทางคณะผู้วิจัยจึงเสนอการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแนวทางการแก้ปัญหาในการตากแห้งมะขามของวิสาหกิจชุมชน [1,2] โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนรูปแบบหนึ่งที่ช่วยลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซต์สู่ชั้นบรรยายอากาศ ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของความร้อน และเพื่อเป็นการส่งเสริมให้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกตามนโยบายของกระทรวงพลังงาน ที่มีเป้าหมายในการใช้งาน 30 % ในปี 2580 [3] ซึ่งการดำเนินงานสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในครั้งนี้เป็นการลงทุนร่วมกันระหว่างคณะผู้วิจัยกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน โดยหลังจากการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และวิสาหกิจชุมชนได้เริ่มใช้งาน วิสาหกิจชุมชนได้สะท้อนผลการใช้งานหลากหลายประเด็น เช่น ช่วยแก้ปัญหาเรื่องฝุ่น แมลงรบกวน และยังสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตมะขามได้ ในพื้นที่ที่น้อยลง เป็นต้น จากเสียงสะท้อนดังกล่าว ทางคณะผู้วิจัยจึงลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลเพื่อเป็นการยืนยันการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงงานแสงอาทิตย์เพื่อติดตามและประเมินผลกระทบในการบริการวิชาการสู่สังคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของการประโยชน์เป็นเรื่องสำคัญที่สะท้อนผลที่เกิดต่อเนื่องจากผลผลิต และยังตอบสนองต่อจุดประสงค์ของวิสาหกิจชุมชน รวมถึงเพื่อให้ทราบถึงผลลัพธ์และผลกระทบจากการส่งเสริมการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตมะขามคลุกของวิสาหกิจชุมชนจึงจำเป็นในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาและปรับปรุงการดำเนินโครงการ รวมถึงการส่งเสริมหรือสนับสนุนโครงการในลักษณะเช่นนี้ที่จะทำให้ความเป็นอยู่ของคนในชุมชนให้ดีขึ้น มีความสุข และมั่นคง รวมทั้งการเสริมสร้าง ฐานรากของสังคมให้โครงสร้างสังคมโดยรวมแข็งแรง มั่นคง และรองรับการพัฒนาประเทศให้มีความมั่นคงและยั่งยืนได้ต่อไป

วิธีการวิจัย

โครงการนี้มีระยะเวลาในการดำเนินโครงการเป็นระยะเวลา 6 เดือน (ตั้งแต่เดือนมกราคม 2567 จนถึงเดือนกรกฎาคม 2567 ซึ่งเริ่มวางแผนดำเนินการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตมะขามคลุกของวิสาหกิจชุมชน ขนาด 12 ตารางเมตร (กว้าง 2 ยาว 6 เมตร) ร่วมกับวิสาหกิจชุมชนที่ผลิตมะขามคลุกซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายหลัก ซึ่งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สร้างแล้วเสร็จสิ้นเดือนเมษายน 2567 ซึ่งวิสาหกิจชุมชนสามารถใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2567 คณะผู้วิจัยจึงเริ่มเก็บข้อมูลผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้งานเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2567 จนถึงเดือนกรกฎาคม 2567 เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 3 เดือน และการประเมินในครั้งนี้ไม่ได้มุ่งเพียงกลุ่มเป้าหมายหลักเพียงอย่างเดียว ถือว่าผู้เข้าร่วมทั้งหมดมีผลต่อผลลัพธ์และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการดำเนินกิจกรรม ในการประเมินผลกระทบในครั้งนี้มีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คณะวิจัยสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีผู้เข้าร่วมโครงการทั้งหมด 4 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านเทคโนโลยีพลังงานทดแทน จำนวน 1 คน

กลุ่มที่ 2 ตัวแทนวิสาหกิจชุมชน จำนวน 5 คน

กลุ่มที่ 3 ประชาชนทั่วไป จำนวน 5 คน

กลุ่มที่ 4 คณะผู้วิจัย จำนวน 4 คน

รวมจำนวนผู้เข้าร่วมทั้งสิ้น 15 คน ซึ่งแต่ละกลุ่มสัมภาษณ์โดยใช้แบบประเมินผลกระทบ ซึ่งการเลือกกลุ่มเป้าหมายเป็นการเลือกแบบเฉพาะเจาะจงโดยพิจารณาจากความตั้งใจในการอบรมและได้ทำกิจกรรมที่เห็นถึงผลลัพธ์และผลกระทบได้อย่างชัดเจนจากการดำเนินการกิจกรรม รวมไปถึงการสัมภาษณ์ของคณะผู้วิจัย

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เป็นแบบประเมินผลกระทบโครงการบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์) ซึ่งได้พัฒนาปรับปรุงมาจากประเมินผลกระทบที่เป็นประโยชน์จากโครงการบริการวิชาการสู่สังคมของนิคม นาคอ้าย [4] ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 สัมภาษณ์ผู้เข้ารับการอบรม ประกอบด้วย 5 มิติ ได้แก่

มิติที่ 1 มิติผลกระทบทางสังคม มี 3 ตัวบ่งชี้ ประกอบด้วย

ตัวบ่งชี้ที่ 1 คือ ความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้ของผู้รับบริการในการพัฒนา

ตัวบ่งชี้ที่ 2 คือ เครือข่ายความร่วมมือหรือเครือข่ายขยายผล

ตัวบ่งชี้ที่ 3 คือ แหล่งเรียนรู้หรือฐานข้อมูลความรู้ที่เป็นประโยชน์

มิติที่ 2 มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ มี 2 ตัวบ่งชี้ ประกอบด้วย

ตัวบ่งชี้ที่ 1 คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือผลงานของผู้รับบริการวิชาการ

ตัวบ่งชี้ที่ 2 คือ มูลค่าทางเศรษฐกิจที่เกิดกับบุคคล กลุ่มคน และชุมชน

มิติที่ 3 มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม มี 1 ตัวบ่งชี้ คือ การพัฒนาบนพื้นฐานอัตลักษณ์ของกลุ่มผู้รับบริการ

มิติที่ 4 มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม มี 1 ตัวบ่งชี้ คือ สภาพแวดล้อมที่ดีของชุมชนหรือหน่วยงานหรือพื้นที่ที่ได้รับการบริการวิชาการ

มิติที่ 5 มิติผลกระทบทางสุขภาพ มี 1 ตัวบ่งชี้ คือ สุขภาพของผู้รับบริการ

ส่วนที่ 2 สัมภาษณ์ผู้ให้การอบรม (คณะผู้วิจัย) มี 1 มิติ คือ มิติผลกระทบทางสังคม มี 3 ตัวบ่งชี้ ประกอบด้วย

ตัวบ่งชี้ที่ 1 คือ ประโยชน์และคุณค่าต่อคนในสถาบันหรือต่อผู้ให้บริการวิชาการ

ตัวบ่งชี้ที่ 2 คือ การนำผลการบริการวิชาการมาปรับปรุงกระบวนการบริการวิชาการ

ตัวบ่งชี้ที่ 3 คือ การได้รับรางวัลหรือได้รับการยกย่องของผู้ให้บริการวิชาการ

ขั้นตอนที่ 3 ทำการสัมภาษณ์ผู้เข้าร่วมโครงการ ในแต่ละกลุ่ม ได้แก่กลุ่มที่ 1 ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านเทคโนโลยีพลังงานทดแทน จำนวน 1 คน กลุ่มที่ 2 ตัวแทนวิสาหกิจชุมชน จำนวน 5 คน กลุ่มที่ 3 ประชาชนทั่วไป จำนวน 5 คน และกลุ่มที่ 4 คณะผู้วิจัย จำนวน 4 คน โดยในการสัมภาษณ์ของแต่ละกำหนดห่วงโซ่ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ในส่วนของปัจจัยนำเข้า (Input) กิจกรรม (Activities) ผลผลิต (Output) ผลลัพธ์ (Outcome หรือ Impact) ไว้เพื่อนำข้อมูลต่างๆ มาประเมินผลตอบแทนทางสังคม (Social Return on Investment: SROI)

ขั้นตอนที่ 4 นำข้อมูลจากแบบประเมินที่สัมภาษณ์ผู้เข้าร่วมโครงการในแต่ละกลุ่มมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ ได้แก่ปัจจัยนำเข้า (Input) กิจกรรม (Activities) ผลผลิต (Output) และผลลัพธ์ (Outcome หรือ Impact) เพื่อประเมินผลตอบแทนทางสังคม (Social Return on Investment: SROI) [5,6] โดยวิเคราะห์รายรับและรายจ่ายที่สัมพันธ์กับกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเฉพาะมิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ และใช้ค่าแทนทางการเงินของผลลัพธ์ทางสังคมที่ไม่มีราคาตลาดด้วยการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ (Cost-Benefit Analysis)

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ตารางที่ 1 ผลการสัมภาษณ์ของผู้ทรงคุณวุฒิ

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม	
ตัวบ่งชี้ที่ 1 (ความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้ของผู้รับบริการในการพัฒนา)	- วิสาหกิจชุมชนสามารถนำองค์ความรู้จากการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตมะขามได้จริง และสามารถเป็นแหล่งฝึกอบรมให้แก่วิสาหกิจกลุ่มอื่นและประชาชนทั่วไปได้
ตัวบ่งชี้ที่ 2 (เครือข่ายความร่วมมือหรือเครือข่ายขยายผล)	- ศูนย์เรียนรู้เกษตรทฤษฎีใหม่จังหวัดพิษณุโลก มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม - คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม - คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม - คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม - และภาคีเครือข่ายอื่นๆ
ตัวบ่งชี้ที่ 3 (แหล่งเรียนรู้หรือฐานข้อมูลความรู้ที่เป็นประโยชน์)	- ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำให้พัฒนาเป็นแหล่งเรียนรู้ให้แก่คนในชุมชน และควรขยายผลไปยังวิสาหกิจกลุ่มอื่น รวมถึงประชาชนทั่วไปที่สนใจประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้
มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ	
ตัวบ่งชี้ที่ 1 (คุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือผลงานของผู้รับบริการวิชาการ)	- คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่มีสุขอนามัยเพิ่มขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 2 (มูลค่าทางเศรษฐกิจที่เกิดกับบุคคล กลุ่มคน และชุมชน)	- วิสาหกิจชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้น

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
<u>มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม</u> (การพัฒนาบนพื้นฐานอัตลักษณ์ของกลุ่มผู้รับบริการ)	- วัฒนธรรมการใช้ชีวิตเช่นเดิม ไม่มีกระทบที่จะต้องทำการแปลงวิถีชีวิตแต่อย่างใด
<u>มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม</u> (สภาพแวดล้อมที่ดีของชุมชนหรือหน่วยงานหรือพื้นที่ที่ได้รับการบริการวิชาการ)	- เทคโนโลยีที่ใช้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานสะอาดมาประยุกต์ใช้ จึงไม่มีผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของวิสาหกิจชุมชน
<u>มิติผลกระทบทางสุขภาพ</u> (สุขภาพของผู้รับบริการ)	- เทคโนโลยีที่ใช้ไม่มีส่วนใดที่เป็นอันตรายหรือเป็นพิษต่อผู้ใช้งาน จึงไม่มีผลกระทบทางด้านสุขภาพของผู้ใช้งาน - ผู้บริโภคจะได้รับผลิตภัณฑ์ที่มีสุขอนามัยเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 ผลการสัมภาษณ์ของตัวแทนวิสาหกิจชุมชน

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
<u>มิติผลกระทบทางสังคม</u>	
ตัวบ่งชี้ที่ 1 (ความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้ของผู้รับบริการในการพัฒนา)	- สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปเผยแพร่ให้กับวิสาหกิจกลุ่มอื่น ชุมชนหรือผู้ที่สนใจได้ - มีการทำงานดีขึ้น รวดเร็วขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 2 (เครือข่ายความร่วมมือหรือเครือข่ายขยายผล)	หน่วยงานรัฐ และเอกชนร่วมกัน
ตัวบ่งชี้ที่ 3 (แหล่งเรียนรู้หรือฐานข้อมูลความรู้ที่เป็นประโยชน์)	สามารถใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้เป็นแหล่งเรียนรู้ที่มีประโยชน์ต่อวิสาหกิจกลุ่มอื่นและประชาชนทั่วไปได้
<u>มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ</u>	
ตัวบ่งชี้ที่ 1 (คุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือผลงานของผู้รับบริการวิชาการ)	- ผลิตภัณฑ์สะอาดขึ้น - สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้เพิ่มขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 2 (มูลค่าทางเศรษฐกิจที่เกิดกับบุคคล กลุ่มคน และชุมชน)	- สามารถองค์ความรู้ที่จากการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ต่อยอด และสามารถสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยตนเองได้ - ลดเวลาในการตากแห้งได้ - ลดพื้นที่ในการตากแห้ง - มีรายได้เพิ่มขึ้น

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
<u>มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม</u> (การพัฒนาบนพื้นฐานอัตลักษณ์ของกลุ่มผู้รับบริการ)	เป็นเทคโนโลยีที่กลุ่มตนเองอย่างได้ จึงไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตเช่นเดิม
<u>มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม</u> (สภาพแวดล้อมที่ดีของชุมชนหรือหน่วยงานหรือพื้นที่ที่ได้รับการบริการวิชาการ)	เป็นเทคโนโลยีที่เป็นใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จึงไม่มีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม
<u>มิติผลกระทบทางสุขภาพ</u> (สุขภาพของผู้รับบริการ)	- สุขภาพจิตดีขึ้น ลดความกังวลเรื่องการคุณภาพและปริมาณการผลิตสินค้า - ทำให้กลุ่มตนเองมีความมั่นใจในคุณภาพผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการสัมภาษณ์ประชาชนทั่วไป

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
<u>มิติผลกระทบทางสังคม</u>	
ตัวบ่งชี้ที่ 1 (ความสามารถในการประยุกต์ใช้ความรู้ของผู้รับบริการในการพัฒนา)	- วิสาหกิจสามารถผลิตสินค้าได้คุณภาพดีขึ้น - ชุมชนได้โอกาสเรียนรู้การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น
ตัวบ่งชี้ที่ 2 (เครือข่ายความร่วมมือหรือเครือข่ายขยายผล)	หน่วยงานรัฐ เอกชน และคนในชุมชนร่วมกัน
ตัวบ่งชี้ที่ 3 (แหล่งเรียนรู้หรือฐานข้อมูลความรู้ที่เป็นประโยชน์)	นำองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในครัวเรือนของตนเองได้
<u>มิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ</u>	
ตัวบ่งชี้ที่ 1 (คุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือผลงานของผู้รับบริการวิชาการ)	สร้างอาชีพเพิ่มขึ้นให้กับตนในชุมชน
ตัวบ่งชี้ที่ 2 (มูลค่าทางเศรษฐกิจที่เกิดกับบุคคล กลุ่มคน และชุมชน)	มีรายได้เพิ่มขึ้น

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม (การพัฒนาบนพื้นฐานอัตลักษณ์ของกลุ่มผู้รับบริการ)	เทคโนโลยีนี้ไม่มีการทำให้ชุมชนต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิต
มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (สภาพแวดล้อมที่ดีของชุมชนหรือหน่วยงานหรือพื้นที่ที่ได้รับการบริการวิชาการ)	เทคโนโลยีใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จึงไม่มีมลพิษในชุมชน
มิติผลกระทบทางสุขภาพ (สุขภาพของผู้รับบริการ)	- สุขภาพดีขึ้น - มีแนวทางในการตากแห้งที่ถูกสุขอนามัยเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4 ผลการสัมภาษณ์คณะผู้วิจัย

มิติของผลกระทบ	ผลการสัมภาษณ์
มิติผลกระทบทางสังคม	
ตัวบ่งชี้ที่ 1 (ประโยชน์และคุณค่าต่อคนในสถาบันหรือต่อผู้ให้บริการวิชาการ)	- สามารถนำองค์ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในการแก้ปัญหาจากความต้องการของวิสาหกิจชุมชนได้ - ได้เผยแพร่องค์ความรู้ในการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ - ศูนย์เรียนรู้เกษตรทฤษฎีใหม่มีแหล่งเรียนรู้ให้กับนักศึกษา และบุคคลภายนอก
ตัวบ่งชี้ที่ 2 (การนำผลการบริการวิชาการมาปรับปรุงกระบวนการบริการวิชาการ)	- จุดด้อยของโครงสร้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีน้ำหนักมากไป ตัวแทนของวิสาหกิจชุมชนจึงแนะนำให้คณะผู้วิจัยลองออกแบบหรือเลือกวัสดุที่ใช้ในการทำโครงสร้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีน้ำหนักเบาขึ้น ทางคณะผู้วิจัยจึงจะนำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงให้โครงสร้างเบา
ตัวบ่งชี้ที่ 3 (การได้รับรางวัลหรือได้รับการยกย่องของผู้ให้บริการวิชาการ)	- ได้รับการยอมรับจากวิสาหกิจชุมชน เนื่องจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งสามารถใช้งานได้จริงและตอบโจทย์ความต้องการของวิสาหกิจชุมชน - วิสาหกิจชุมชนมีแนวโน้มสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มเติมด้วยการลงทุนของกลุ่มเอง

ส่วนปัจจัยนำเข้าเป็นต้นทุนรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดในกระบวนการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวนเงินทั้งสิ้น 40,000 บาท มีปริมาณผลิตมะขามจากเครื่องอบแห้ง 10 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นก่อนมีเครื่องอบแห้ง รายได้ที่เกิดขึ้นหลังหักค่าใช้จ่ายทั้งหมด เท่ากับ 20 บาทต่อกิโลกรัม ทำให้ผลการประเมินผลตอบแทนทางสังคมจากใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตมะขามคลุกของวิสาหกิจชุมชน ในมิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ ซึ่งประเมินตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2567 จนถึงเดือนกรกฎาคม 2567 เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 3 เดือนนั้น พบว่า มีอัตราส่วนผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุน เท่ากับ 0.46 ในการประเมินผลกระทบจากการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สอดคล้องกับสกุลทิพย์ กีรติพันธวงศ์ และคณะ [7,8] ที่ได้ประเมินผลกระทบที่เกิดจากดำเนินโครงการระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลจากแผ่นเซรามิก และโครงการระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลจากแผ่นเซรามิกสำหรับผลิตเครื่องดนตรีอีสาน พบว่า โครงการสามารถทำให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมในการเพิ่มปริมาณการผลิต ผลิตภัณฑ์มีมาตราฐานและคุณภาพเพิ่มขึ้น มีต้นแบบในการศึกษามากขึ้น มีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น มีเครือข่ายการทำงานเพิ่มขึ้น หน่วยงานมีภาพลักษณ์ที่ดีขึ้น และ

บุคลากรเกิดความตระหนักในการอนุรักษ์ธรรมชาติเพิ่มขึ้น หลังจากเสร็จสิ้นการดำเนินโครงการ ทั้ง 2 โครงการสามารถสร้างผลตอบแทนทางสังคม คิดเป็นมูลค่า 3.20 บาท และ 2.39 บาท ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

จากการประเมินผลการดำเนินโครงการโดยสัมภาษณ์ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ตัวแทนวิสาหกิจชุมชน และประชาชนทั่วไป ทั้งสิ้น 5 มิติ ซึ่งทั้ง 4 กลุ่ม มีความคิดเห็นต่อการดำเนินโครงการแต่ละด้านดังนี้

1. ด้านมิติทางสังคม โครงการสามารถส่งเสริมให้วิสาหกิจชุมชนได้ใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จริง และสามารถนำองค์ความรู้ในการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการฝึกอบรมให้แก่วิสาหกิจกลุ่มอื่นและประชาชนทั่วไปได้ ซึ่งทำให้เกิดภาคีเครือข่ายในการทำงานเพิ่มขึ้น

2. ด้านมิติผลกระทบทางเศรษฐกิจ โครงการสามารถส่งเสริมวิสาหกิจชุมชนสามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพเพิ่มขึ้นและมีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น

3.มิติผลกระทบทางวัฒนธรรม โครงการสามารถส่งเสริมเทคโนโลยีที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมหรือวิถีชีวิตของวิสาหกิจชุมชนและชุมชน ชุมชนจึงไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการใช้ชีวิตใดๆ

4. มิติผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โครงการสามารถส่งเสริมเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จึงไม่มีมลพิษในชุมชน

5. มิติผลกระทบทางสุขภาพ โครงการสามารถส่งเสริมให้วิสาหกิจชุมชนมีการผลิตสินค้าที่มีสุขอนามัยเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ชุมชนสุขภาพดีขึ้น และชุมชนแนวทางในการตากแห้งที่ถูกสุขอนามัยเพิ่มขึ้น

และคณะผู้วิจัยมีความคิดเห็นต่อการดำเนินโครงการในมิติทางสังคมว่า โครงการส่งเสริมให้วิสาหกิจชุมชนนำองค์ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในการแก้ปัญหาจากความต้องการของวิสาหกิจชุมชนได้ และวิสาหกิจชุมชนสามารถเผยแพร่องค์ความรู้ในการสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ มีเครือข่ายความร่วมมือเพิ่มขึ้น ในการดำเนินมีจุดด้อยที่ตัวแทนของวิสาหกิจชุมชนจึงแนะนำให้คณะผู้วิจัยลองออกแบบหรือเลือกวัสดุที่ใช้ในการทำโครงสร้างของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีน้ำหนักเบาขึ้น ซึ่งโครงการได้รับการยอมรับจากวิสาหกิจชุมชน เนื่องจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งสามารถใช้งานได้จริงและตอบโจทย์ความต้องการของวิสาหกิจชุมชน อีกทั้งวิสาหกิจชุมชนมีแนวโน้มสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มเติมด้วยการลงทุนของกลุ่มเอง

ส่วนผลการประเมินผลตอบแทนทางสังคมจากใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตมะขามคลุกของวิสาหกิจชุมชน เท่ากับ 0.46

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับงบประมาณจากโครงการยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ขอขอบพระคุณคณาจารย์จากคณะครุศาสตร์ คณะเทคโนโลยีเกษตรและอาหาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ศูนย์เรียนรู้เกษตรทฤษฎีใหม่จังหวัดพิษณุโลก มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และกลุ่มวิสาหกิจชุมชนมะขามสร้างชีวิตบ้านปากน้ำปอย หน่วยงานราชการ และหน่วยงานเอกชนต่าง ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และทำให้การดำเนินโครงการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] สราวุฒิ แนบเนียร. (2563). การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือน. **วารสารบริการวิชาการสถาบันอุดมศึกษาไทยรับใช้สังคม**. 1 (1), 19-31.

[2] พัชราภรณ์ อินริราย ธวัลรัตน์ สัมฤทธิ์ วรลักษณ์ สุริวงษ์ และ สุรินทราพร ชั่งไชย. (2564). การศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.**วารสารเกษตรพระวรุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.** 18(2), 87-96.

[3] วัฒนพงษ์ คุโรวาท. (2567) .**นโยบายด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย**. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 30% (พ.ศ.2561-2580).

[4] นิคม นาคอ้าย. (2557). **การประเมินผลกระทบที่เป็นประโยชน์จากโครงการบริการวิชาการสู่สังคมประจำปีงบประมาณ 2555-2556**. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

[5] ทอดเกียรติ แก้วพวง ปิยะพงษ์ ยงเพชร พรรณี พิมพ์โพธิ์ จารุนันท์ ไชยนาม ฉัตรชัย เสนขวัญแก้ว วุฒิวัฒน์ อนันต์พฒิเมธ และดรัสวิน วงศ์ปรเมษฐ์. (2566). การประเมินผลลัพธ์และผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุนสำหรับงานบริการวิชาการแก่ชุมชน : กรณีศึกษาการสร้างองค์ความรู้และยกระดับทักษะอาชีพด้านเทคโนโลยีพลังงานทดแทนเพื่อการเข้าถึงแหล่งทุนแก่กลุ่มเครือข่ายบ้านมั่นคงชนบท อำเภอวังน้ำเย็น จังหวัดสระแก้ว. **วารสารวิชาการรับใช้สังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.** 7 (1), 33-45.

[6] กฤติกา ศรีโปดก. (2563). ความคุ้มค่าของเงินลงทุนพลังงานทางเลือก กรณีศึกษา โครงการผลิตไฟฟ้า ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาศูนย์จำหน่ายสินค้าโฮมโปร ศูนย์จำหน่ายสินค้าเมกาโฮม และศูนย์การค้ามาร์เก็ตวิลเลจ. วารสารวิชาการสังคมศาสตร์เครือข่ายวิจัยประชาชื่น. 2(1), 52-69.

[7] สกุลทิพย์ กีรติพันธวงศ์ และคณะ. (2564). **ผลประเมินโครงการระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลจากแผ่นเซรามิกสำหรับผลิตเครื่องดนตรีอีสาน**. สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2567 จาก https://openimpactdata.net/report/22040032/one-page.

[8] สกุลทิพย์ กีรติพันธวงศ์ และคณะ. (2564). **ผลประเมินโครงการระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบโดมร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลจากแผ่นเซรามิก.** สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2567 จาก https://openimpactdata.net /report/22060063/one-page.

การพัฒนาและประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล
Development and performance evaluation of a solar dryer combined with biomass energy

พรประเสริฐ อินทะลาด[1,*] กิตติกร สาสุจิตต์[1] สุระพล ริยะนา[1] ชูรัตน์ ธารารักษ์[1] มงคล จันโทภาส[1] และ นิกราน หอมดวง[1]
Phonepaseuth Inthalath[1] Kittikorn Sasujit[1] Surapon Riyana [1] *Churat Tararux*[1]
Monkol Janthopas and Nigran Homdoung[1]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[1] School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290
Corresponding author: Tel.: 084-1773632. E-mail address: nigranghd@gmail.com

Abstract

This research aims to design, develop and construct a solar dryer combined with biomass energy and conduct preliminary performance tests of the dryer. This dryer can operate in both sunlight and non-sunlight conditions. During the absence of sunlight, this dryer uses biomass energy as the main heat source for drying that can dry continuously for 1-20 h and supports drying yields of 10-35 kilograms per batch. The dimensions, width, length, and height of the dryer were 1.5 × 2.2 × 1 m. The solar heat collector uses polycarbonate sheets, and the side walls was covered with 1-inch thick fiberglass insulation. A 5 kW biomass stove with a finned heat exchanger were installed underneath the dryer. The product trays are horizontal rotating trays with 16 trays and the initial drying experiment used lemongrass. The experimental results was showed that, the solar dryer combined with biomass energy can dry sliced lemongrass very well. The experiment with biomass in the absence of sunlight can create a maximum temperature in the drying room of 70 °C and during the experiment can create a hot air with a temperature between 60-65 °C. During test, the dryer consumed an average of 0.6-1 kg/h of briquetted charcoal. The total drying time of lemongrass was of 14 h at final moisture content of 10%. Overall, this solar dryer combined biomass energy can be used to support small-scale farmers in processing their products very well.

Keyword: drying, dryer, solar energy, biomass energy, lemongrass

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบพัฒนาสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล และการทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งในเบื้องต้น เครื่องอบแห้งนี้สามารถทำงานได้ในสภาวะที่มีแสงอาทิตย์และไม่มีแสงอาทิตย์ ในระหว่างไม่มีแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งนี้จะใช้พลังงานชีวมวลเป็นแหล่งความร้อนหลักในการอบแห้ง สามารถอบแห้งได้ตั้งแต่ 1-20 h ต่อเนื่องได้และรองรับผลผลิตในการอบแห้งต่อครั้ง 10-35 kg ขนาดความกว้าง ความยาว และความสูงของเครื่องอบแห้งเท่ากับ 1.5 × 2.2 × 1.5 m แผงรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ใช้แผ่นโพลี่คาร์บอเนต และผนังด้านข้างหุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนาประมาณ 1 inch ด้านใต้เครื่องอบแห้งติดตั้งเตาชีวมวลขนาด 5 kW พร้อมชุดแลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบ ถาดวางผลิตภัณฑ์เป็นแบบถาดหมุนในแนวนอน มีจำนวน 16 ถาด การทดลองใช้ตะไคร้ในการทดลองอบแห้งเบื้องต้น ผลการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลสามารถอบแห้งตะไคร้ได้เป็นอย่างดี ในการทดลองสภาวะไม่มีแสงอาทิตย์ สามารถสร้างอุณหภูมิในห้องอบแห้งได้สูงสุด 70 °C ในระหว่างการทดสอบเครื่องอบแห้งมีความสิ้นเปลืองถ่านอัดแท่งเฉลี่ย 0.6-1 kg/h การอบแห้งตะไคร้ใช้เวลาทั้งหมดสูงสุด 14 h และมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับร้อยละ 10 ในภาพรวมเครื่องอบแห้งนี้สามารถนำไปใช้ส่งเสริมเกษตรกรรายย่อยในการแปรรูปผลผลิตได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: การอบแห้ง เครื่องอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล ตะไคร้

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรที่หลากหลาย ในแต่ละปีจะมีสินค้าทางการเกษตรที่ล้นตลาดเป็นจำนวนมาก กระบวนการแปรรูปด้วยการอบแห้งจึงมีความสำคัญในการลดความสูญเสียและการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าเกษตรของประเทศไทย [1] การอบแห้งในระดับวิสาหกิจชุมชนหรือผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นเลือกใช้แหล่งพลังงานจากฟอสซิลเป็นหลัก ข้อดีของการใช้พลังงานจากแหล่งนี้คืออุณหภูมิมีความเสถียรและสามารถควบคุมกระบวนการอบแห้งได้ง่าย อย่างไรก็ตามด้วยสภาวะโลกร้อนที่กำลังเป็นปัญหาสำคัญของมวลมนุษยชาติ ความพยายามและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเป็นแนวทางสำคัญของการลดโลกร้อนได้ [2] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นและสนใจในการพัฒนาระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทดแทนการใช้เชื้อเพลิงกลุ่มฟอสซิลเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ แต่อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ก็มีข้อจำกัดในด้านของความเข้มแสงที่ไม่สม่ำเสมอและมีช่วงระยะเวลาการให้แสงที่สั้นไม่สัมพันธ์กับระยะเวลาการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร และเพื่อเป็นการตอบโจทย์การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างแท้จริง บทความนี้จึงได้นำเอาเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอยู่ในท้องถิ่นเข้ามาเป็นแหล่งพลังงานความร้อนให้กับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มเติม [3] เพื่อให้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีที่ตอบโจทย์ให้กับชุมชน เกษตรกรหรือผู้ประกอบการได้อย่างแท้จริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์แสดงผลของการพัฒนาออกแบบ สร้าง และทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล สำหรับการอบแห้งตะไคร้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับผู้ประกอบการและนักวิจัยที่จะดำเนินการพัฒนาเครื่องอบแห้งจากพลังงานทดแทนรวมถึงการนำเอาเทคโนโลยีนี้ไปใช้ในอนาคต ในส่วนของตะไคร้ที่ใช้อบแห้งหรือให้ความสนใจ เนื่องจากประเทศไทยมีการเพาะปลูกจำนวนมาก ตะไคร้เป็นทั้งพืชสมุนไพรและเป็นพืชที่ใช้ประกอบอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงมาก สามารถแปรรูปเป็นเครื่องปรุงเครื่องแกงได้หลายชนิดและสามารถส่งออกต่างประเทศได้ ในทางกลับกันในบางฤดูกาลราคาของตะไคร้ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการใช้วิธีการอบแห้งด้วยพลังงานทดแทนจึงมีความน่าสนใจ ซึ่งถ้าอบแห้งได้ตามสมมุติฐานจะช่วย

ลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศได้ อันนำมาซึ่งเป็นการสนับสนุนการการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรออกสู่ต่างประเทศ

วิธีการวิจัย

แนวคิดการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล

แนวคิดของการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นแนวคิดของการผสมผสานแหล่งพลังงานความร้อนที่สะอาดได้แก่ ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ และแหล่งความร้อนจากเชื้อเพลิงชีวมวล โดยมุ่งเน้นให้เครื่องนี้สามารถดำเนินการอบแห้งให้แล้วเสร็จสิ้นภายใน 1 รอบ ของการอบแห้งในแต่ละครั้ง คือ ตั้งแต่ 5-15 ชั่วโมง หรือมากกว่านั้น ความจุในการป้อนวัสดุเพื่อการอบแห้งอยู่ในช่วง 10-20 กิโลกรัม/ครั้ง ขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาแน่นของวัสดุอบแห้ง ในด้านของวัสดุส่วนรับแสงอาทิตย์มุ่งเน้นใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตมาใช้ในการสร้างห้องอบเนื่องจากมีน้ำหนักเบา หาซื้อง่าย และขึ้นรูปโค้งได้ดีกว่ากระจก นอกจากนี้เมื่อนำไปใช้ในอนาคตราคาเครื่องอบแห้งนี้ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่เกษตรกรหรือผู้ประกอบการขนาดเล็กเป็นเจ้าของได้ เหมาะสำหรับการอบแห้งผลผลิตในระดับชุมชน และมีการใช้พลังงานที่สะอาด มีประสิทธิภาพสูง และมีคุ้มค่า เงื่อนไขในการออกแบบเบื้องต้นแสดงดังตารางที่ 1

การวิเคราะห์เงื่อนไขการออกแบบพบว่าการใช้เครื่องอบแห้งแบบชั้นวางมีปัญหาในด้านการอบแห้ง ได้แก่ ความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ดังนั้นระหว่างการอบจึงจำเป็นต้องเคลื่อนย้าย สลับที่ หรือการกลับด้านของผลผลิต เพื่อให้ผลผลิตได้รับความร้อนสม่ำเสมอ การดำเนินการประเด็นนี้ทำให้เกิดความล่าช้า และทำให้ต้นทุนเพิ่มสูงขึ้นการเทียบกับเครื่องอบแห้งถาดหมุนแนวตั้งแบบใช้อินฟราเรดร่วมลมร้อน ระบบนี้เป็นระบบที่ดีมีความเสถียรสูง และเป็นที่นิยมของผู้ประกอบการ แต่ปัญหาของเครื่องชนิดนี้คือการใช้เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลที่นำไปสู่การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ มีราคาที่ค่อนข้างแพง และต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะพัฒนาเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานที่สะอาดและมีราคาที่ชุมชนจับต้องได้ จึงเป็นที่มาของการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบถาดหมุนในแนวนอน (Horizontal rotating tray dryer) ดังภาพที่ 1 ตามหลักการเครื่องอบแห้งนี้จะใช้ความร้อนจากพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์และชีวมวลเป็นหลัก การออกแบบอุปกรณ์และระบบมุ่งแก้ไขข้อจำกัดของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบชั้นวางอยู่กับที่ เครื่องอบแห้งนี้จะติดตั้งถาดอบแห้งกับแขนของแกนหมุนและแขนแกนหมุนจะยึดติดอยู่กับแกนเพลาซึ่งวางในแนวนอน เมื่อเพลาหมุนถาดอบแห้งจะเปลี่ยนตำแหน่งตลอดเวลและได้รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานชีวมวลไปพร้อมกันทุกถาด การหมุนของถาดอบแห้งจะช่วยสร้างความปั่นป่วนกระแสลมร้อนภายในเครื่องอบแห้ง ทำให้เกิดการกระจายตัวของลมร้อนภายในเครื่องอบแห้งได้อย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามการจัดวางถาดในลักษณะนี้ก็มีข้อจำกัดในด้านการออกแบบขนาดของถาดและจำนวนของถาด ดังนั้นก่อนการออกแบบจึงได้ดำเนินการออกแบบพื้นที่และจำนวนของถาดและนำไปทดสอบในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Solid work) โดยพบว่า ถ้าจะออกแบบเครื่องอบแห้งที่มีความกว้างไม่เกิน 1.5 m ความยาว 2-2.2 m และ ความสูงไม่เกิน 1.5 m จะสามารถใส่ถาดชั้นวางวัสดุได้สุงสุด 8 ถาดเท่านั้นที่ขนาดความยาวของถาด 1 m และ ความกว้างของถาดไม่เกิน 50 cm ถ้าออกแบบใช้ถาดมีขนาดเกินกว่านี้ เมื่อถาดหมุนเคลื่อนที่จะเกิดการชนกับถาดที่ติดตั้งกับแขนยึดที่อยู่ใกล้กันและทำให้วัสดุร่วงจากถาด การคำนวณหามวลวัสดุที่อยู่บนถาดชั้นวางคำนวณได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$m_{m1} = \sigma \times A_t \times n \qquad \text{สมการที่ 1}$$

กำหนดให้ m_{m1} คือมวลวัสดุที่อยู่บนถาดชั้นวาง (kg) σ คืออัตราส่วนมวลตะไคร้สับกับพื้นที่การวาง (kg/m^2) A_t คือ ขนาดพื้นที่ของถาด (m^2) และ n คือจำนวนของถาด ซึ่งถ้าคำนวณมวลวัสดุที่อยู่บนถาดชั้นวางจะได้มวลเพียง 8 kg เท่านั้น ดังนั้นถ้าต้องการมวลวัสดุในการอบแห้งเริ่มต้นจะต้องออกแบบชุดถาดชั้นวาง จำนวน 2 ชุด รวมถาดชั้นวาง 16

ถาด คิดเป็นมวลวัสดุในการอบแห้งแต่ละครั้ง 16 kg การนำเอาน้ำออกจากวัสดุในการอบแห้งหรือความต้องการใช้ปริมาณความร้อนในการระเหยน้ำในวัสดุคำนวณได้จากสมการนี้ [4]

$$Q_W = \frac{m_w \times h_{fg}}{T_D}$$ สมการที่ 2

กำหนดให้ m_w คือมวลของน้ำในวัสดุ (kg) h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของกลายเป็นไอ (2257.5 kJ/kg) T_D คือ ระยะเวลาของการอบแห้ตะไคร้ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 $^{\circ}$C จะใช้เวลาอยู่ในช่วง 10-15 h

เนื่องจากระบบอบแห้งจะมีการใช้แหล่งความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์และมีการออกแบบพื้นที่รับแสงเป็นลักษณะโดมโค้งครึ่งวงกลม การคำนวณหาขนาดพื้นที่รับความเข้มแสงอาทิตย์ดังสมการต่อไปนี้

$$A_S = \frac{1}{2} \times \pi \times D \times L$$ สมการที่ 3

เมื่อ A_S คือ ขนาดพื้นที่รับความเข้มแสงอาทิตย์ (m^2) D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางโดมรับความเข้มแสงอาทิตย์ (m)
L คือ ความยาวเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (m) การคำนวณหาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะใช้อบแห้งวัสดุได้วิเคราะห์จาก ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2566 ในพื้นที่อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (ε) 17.15 MJ/m^2-day ดังนั้นสามารถหาพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะใช้อบแห้งวัสดุได้ดังนี้

$$Q_{SD} = \frac{\varepsilon}{A_S \times T_D}$$ สมการที่ 4

ในกระบวนการถ่ายเทพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้กับห้องอบแห้งจำเป็นต้องผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนต ดังนั้นประสิทธิภาพการถ่ายเทพลังงานจะลดลงคิดเป็นร้อยละ 50 ขณะเดียวกันระหว่างการอบแห้งจะมีการสูญเสียความร้อนผ่านผนังของเครื่องอบแห้งและการสูญเสียความร้อนจากการไล่ความชื้นคิดเป็นร้อยละ 60 และสุดท้ายจะมีการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการลดลงของความเข้มแสงอาทิตย์คิดเป็นร้อยละ 30 ดังนั้นปริมาณความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะใช้อบแห้งวัสดุได้จริง (Q_{SD-AC}) คำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$Q_{SD-AC} = Q_{SD} \times \eta_{PO} \times \eta_{HL} \times \eta_R$$ สมการที่ 5

เมื่อ η_{PO} คือ ประสิทธิภาพการถ่ายเทพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนต (%) η_{HL} คือ ประสิทธิภาพการถ่ายเทพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านผนังและการไล่ความชื้น (%) η_R คือ การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการลดลงของความเข้มแสงอาทิตย์ (%) ในบางครั้งการอบแห้งวัสดุจำเป็นต้องดำเนินอย่างต่อเนื่องในขณะที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ดังนั้นการใช้พลังงานชีวมวลจึงมีความจำเป็น การคำนวณหาปริมาณความร้อนและอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลสามารถคำนวณได้ดังนี้ [5]

$$Q_{Bi} = \frac{Q_W}{\eta_{HE} \times \eta_{BS}}$$ สมการที่ 6

$$m_{Bi} = \frac{Q_{Bi}}{LHV_{Bi}}$$ สมการที่ 7

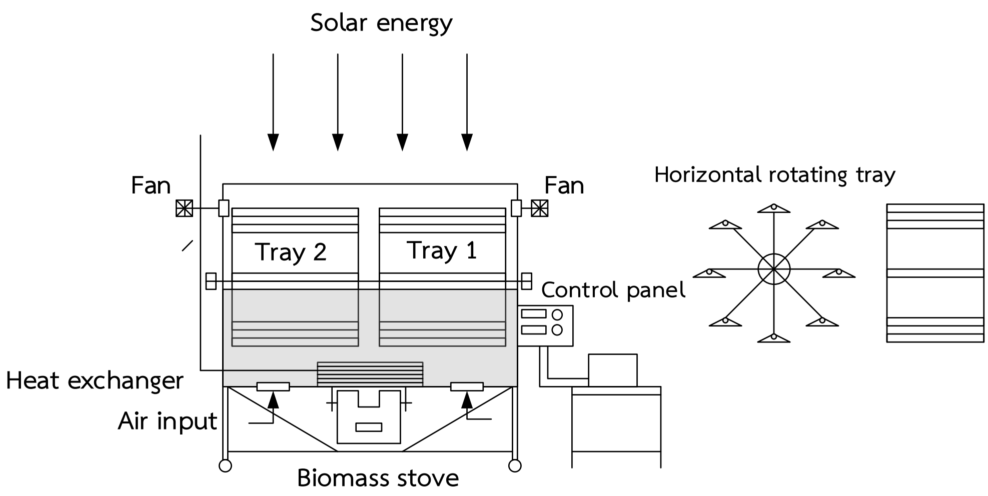
Q_{Bi} คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งขณะที่ไม่มีแสงอาทิตย์ (kW) η_{HE} คือ ประสิทธิภาพความร้อนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชีวมวล (%) กำหนดค่าการออกแบบ 70% η_{BS} คือ ประสิทธิภาพความร้อนเตาชีวมวล (%) กำหนดค่าการออกแบบไว้ 15% m_{Bi} คือ อัตราความสิ้นเปลืองชีวมวล (kg/s) และ LHV_{Bi} คือ ค่าความร้อนของชีวมวล (kJ/kg)

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการออกแบบเครื่องอบแห้งตะไคร้เบื้องต้น

เงื่อนไขการออกแบบ	ค่ากำหนดออกแบบ	หน่วย
วัสดุหรือพืชที่ใช้ออกแบบ	ตะไคร้	-
น้ำหนักวัสดุหรือพืชเริ่มต้นการอบแห้ง	10-20	kg
ความชื้นเริ่มต้น	80	%
ความชื้นสุดท้าย	10	%
อุณหภูมิห้องอบแห้งที่ออกแบบ	60-70	$^{\circ}$C
อัตราส่วนมวลต่อพื้นที่ต้องการ	4	Kg/m^2
พลังงานความร้อนหลักที่ใช้ออกแบบ	พลังงานแสงอาทิตย์	-
พลังงานความร้อนสำรองที่ใช้ออกแบบ	พลังงานชีวมวล	-
ความสามารถในการอบแห้งต่อเนื่อง	4-15	h
การไหลเวียนของอากาศภายในแตกต่างไม่เกิน	5	$^{\circ}$C
วัสดุรับพลังงานแสอาทิตย์	แผ่นโพลีคาร์บอเนต	แผ่น

ต้นแบบและข้อมูลทางเทคนิคเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล

ภาพที่ 1 แสดงเครื่องอบแห้งถาดหมุนแนวนอนที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล เครื่องอบแห้งแบ่งอุปกรณ์การทำงานเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนห้องอบแห้ง ส่วนผลิตลมความร้อน และส่วนของการวัดควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้ง ส่วนห้องอบแห้ง ประกอบด้วย ส่วนของถาดหมุนแนวนอนมีจำนวนทั้งหมด 2 ชุด มีถาดวางวัสดุรวมกัน 16 ถาด รองรับมวลตะไคร้สับได้ 16 กิโลกรัม/ถาด ติดตั้งร่วมกับชุดหมุนแกนเพลาตันวางแนวนอนขนาด 37 mm ความยาวเพลา 2.2 เมตร มีลูกปืนรองรับ 3 จุด ได้แก่ตรงหัว กลาง และตรงท้าย การหมุนของเพลาใช้มอเตอร์เกียร์ทดขนาด 90 W หมุนเพื่อให้เกิดการไหลเวียนอากาศร้อนภายในเครื่องอบและรับความร้อนได้สม่ำเสมอจากพลังงานแสงอาทิตย์ทางด้านบน และพลังงานชีวมวลจากทางด้านล่าง ความเร็วรอบการหมุนสามารถปรับความเร็วรอบได้ ส่วนผลิตลมความร้อนประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วน คือเตาชีวมวลและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เตาชีวมวลที่นำมาใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm สามารถผลิตความร้อนได้อยู่ในช่วง 3-7 kW ในกรณีใช้ถ่านชีวมวล เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำหน้าที่รับความร้อนจากเตาชีวมวลและถ่ายเทความร้อนผ่านครีบความร้อนให้กับอากาศในห้องอบแห้งมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อน 1 m^2 ในส่วนของชุดการวัดและควบคุมการทำงานจะมีการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิภายในจำนวน 4 จุด และความชื้น 1 จุด โดยหัววัดอุณหภูมิและความชื้นอย่างละ 1 จุด ทำหน้าที่เป็นตัวรับและส่งสัญญาณควบคุมการทำงานให้กับพัดลมสำหรับควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของเครื่องอบแห้ง รายละเอียดข้อมูลทางเทคนิคเครื่องอบแห้งแสดงตารางที่ 2



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล

ตารางที่ 2 ผลการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล

ผลการออกแบบเครื่องอบแห้ง	ค่าการออกแบบ
มิติขนาดเครื่องอบแห้ง (กว้างXยาวXสูง)	1.5x2x1.5 m
ปริมาณการอบแห้งตะไคร้	16 kg
ปริมาณความร้อนที่ต้องการใช้อบแห้ง	0.467 kW
พลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ป้อนเข้า	0.502 kW
พลังงานความร้อนจากชีวมวลป้อนเข้า	4.56 kW
ลักษณะอากาศเข้า	Natural
การนำความชื้นออก	พัดลม
ฉนวนความร้อน	ใยแก้ว
ความสิ้นเปลืองชีวมวลออกแบบ	0.641 kg/h

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

1. ตะไคร้และการเตรียม

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ ตะไคร้ ที่หาได้ซื้อมาจากตลาดในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ตะไคร้ที่นำมาอบแห้งมีอายุประมาณ 3 เดือน มีขนาดเฉลี่ย 1.5 cm ยาว 30 cm แต่ละหัวมีน้ำหนักเฉลี่ย 20 g เมื่อตัดใบของตะไคร้ออกก่อนการที่จะนำมาอบแห้งดำเนินการเอาเปลือกนอกออกก่อน จากนั้นนำมาหั่นประมาณ 0.5-1.0 cm การจัดเตรียมตะไคร้ที่หั่นแล้วสำหรับการอบแห่งจัดเตรียมไว้ประมาณ 16-17 kg

ภาพที่ 2 ลักษณะของตะไคร้ และตะไคร้ที่หั่นแล้วก่อนการนำไปอบแห้ง

2. เครื่องมือวัดและวิเคราะห์

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ใช้วัดสำหรับชั่งน้ำหนักตะไคร้ ก่อนและหลังอบแห้ง เป็นผลิตภัณฑ์ของ CST รุ่น CDR-30 ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 30 kg ค่าความละเอียด 1 g เครื่องวัดอุณหภูมิใช้วัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง มีการวัดทั้งหมด 4 จุด หัวหรือสายวัดอุณหภูมิเป็นแบบ Type K เครื่องบันทึกข้อมูลใช้ผลิตภัณฑ์ Lutron รุ่น TM-947USB วัดอุณหภูมิได้สูงสุดและต่ำสุดได้ 1300 °C และ -100 °C มีค่าความผิดพลาด ±0.5% มีความแม่นยำ ±0.5% เครื่องวัดควบคุมอุณหภูมิใช้สำหรับปรับอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งให้คงที่ตลอด 60 °C ใช้ผลิตภัณฑ์ของ SHTROLรุ่น: STC-3028 สามารถควบคุมอุณหภูมิสูงสุด70-99 °C และต่ำสุด -20 °C เครื่องวัดนี้จะทำงานร่วมกับพัดลมระบายอากาศ ในกรณีอุณหภูมิสูงเกิน 60 °C พัดลมจะระบายความร้อนในตู้อบแห้งออก ในส่วนของการวัดค่าความชื้นเริ่มต้นของตะไคร้ ได้ใช้ตู้อบแห้งลมร้อนขนาด 100 liter เป็นผลิตภัณฑ์ของ JSR รุ่น JSOF-250 ตู้อบแห้งลมร้อนสร้างอุณหภูมิได้สูงสุด 250 °C ใช้งานร่วมกับเครื่องชั่งดิจิทัลแบบ 4 ตำแหน่ง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของ AND รุ่น GH-252 ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 250 g มีค่าความผิดพลาด และค่าความแม่นยำ ±0.001 g และ ±0.002 g ตามลำดับ

3. การทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

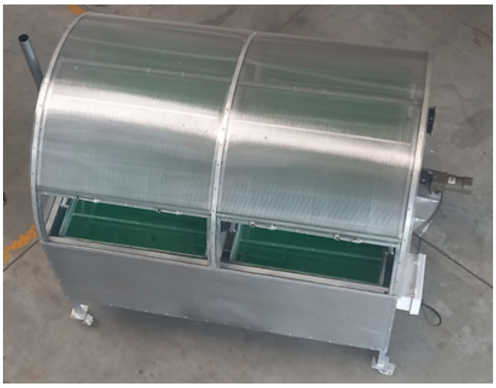
การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องอบแห้งได้เริ่มต้นจากการเอานำเอาตะไคร้ที่ได้เตรียมมาหั่นเป็นชิ้น จากนั้นนำมาวางบนตะแกรงถาดละ 1 kg จำนวน 16 ถาด ในแต่ละถาดมีการมีการสุ่มคัดแยกเพื่อวัดน้ำหนักตะไคร้ทุกๆ ชั่วโมง เป็นระยะเวลารวมการอบแห้ง 14 h เพื่อให้ความชื้นสุดท้ายลดลงเหลือ 10% การให้ความร้อนใช้เตาชีวมวลขนาด 5 kW ให้ความร้อน ใช้ถ่านชีวมวลในการเผาให้ความร้อนเฉลี่ย 1 kg/h ค่าความร้อนถ่านชีวมวล 25-26 MJ/kg การหาความชื้นเริ่มต้นของตระไคร้ได้นำตะไคร้ส่วนหนึ่งมาวัดน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นระยะเวลา 72 h [6] ดำเนินการวัดน้ำหนักสุดท้าย จากนั้นใช้สมการหาความชื้นวัสดุคำนวณความชื้นเริ่มต้น ในส่วนข้อมูลได้วิเคราะห์อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งเมื่อใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล การวิเคราะห์การสูญเสียมวลจากผลิตภัณฑ์และ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ ของเครื่องอบแห้ง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนา สร้าง และการทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล

ภาพที่ 3 แสดงภาพถ่ายของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมพลังงานชีวมวล เครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นมีปริมาตรห้องอบแห้งรวม 4.95 m^3 ด้านบนใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตพับม้วนให้ผิวโค้งเรียบ แผ่นโพลีคาร์บอเนตยอมให้แสงอาทิตย์ผ่านได้ดีในขณะที่รังสีความร้อนผ่านออกได้ต่ำ [7] ครึ่งวงกลม ผนัง 4 ด้าน ใช้เหล็กแผ่นบางหุ้มด้วยฉนวนใย

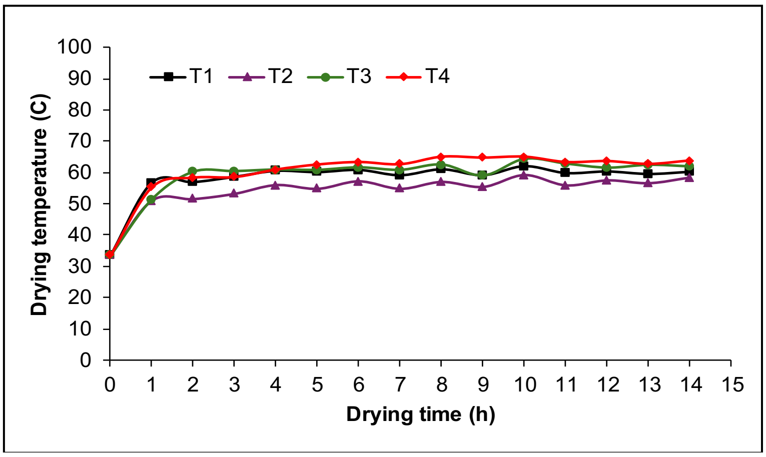
แก้วมีความหนารวมประมาณ 1 inch ด้านล่างมีเตาชีวมวลให้ความร้อนร่วมกับชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งเป็นแบบครีบ การทดสอบการทำงานเบื้องต้นมอเตอร์เกียร์สามารถขับชุดถาดหมุนได้ดีและต่อเนื่อง การปรับสมดุลของแต่ละถาดปรับได้ดีถาดไม่พลิกคว่ำ การทดสอบอบแห้งตะไคร้ การป้อนความร้อนจากเตาชีวมวลเพียงพอต่อการสร้างอุณหภูมิตามที่ได้ออกแบบไว้ และสามารถอบแห้งได้อย่างต่อเนื่อง ชุดควบคุมอุณหภูมิทำงานตรงกับค่าอุณหภูมิที่ปรับตั้งไว้



ภาพที่ 3 ลักษณะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวล

การวิเคราะห์อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งด้วยการอบแห้งตะไคร้

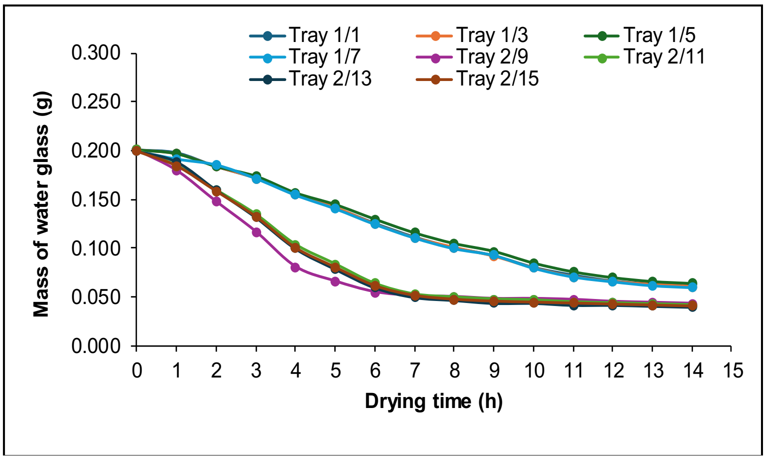
ภาพที่ 4 แสดงอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งเมื่อใช้ความร้อนจากเตาชีวมวลที่ระยะเวลาการทดสอบ 14 ชั่วโมง ผลการทดสอบ พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชีวมวลสามารถสร้างอุณหภูมิได้ตามความต้องการในการอบแห้งตะไคร้ในช่วง 55 ถึง 65 °C การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการคือ 60 °C ใช้ระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง การเปรียบเทียบตำแหน่งของอุณหภูมิทั้ง 4 จุด มีค่าแตกต่างกันเฉลี่ย 4 - 6 °C โดยตำแหน่งจุดอุณหภูมิด้านบนหรือใกล้โดมรับแสงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิสูงกว่าด้านล่างหรือพื้นของเครื่องอบแห้งซึ่งมีสาเหตุมาจากความหนาแน่นของอากาศเมื่อมีอุณหภูมิสูงจะลอยสะสมอยู่ด้านบนของเครื่องอบแห้ง [8] ขณะเดียวกันถ้าเทียบกับอุณหภูมิของชุดถาดที่ 1 กับชุดถาดที่ 2 อุณหภูมิบริเวณกลุ่มชุดถาดที่ 2 ให้อุณหภูมิสูงกว่าบริเวณถาดที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณนั้นมีปล่องท่อไอเสียท่อความร้อนจากเตามวลพาดผ่านจึงทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนออกมาทำให้อุณหภูมิบริเวณนั้นเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 4 ลักษณะอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งเมื่อใช้ความร้อนจากเตาชีวมวล

การวิเคราะห์การสูญเสียมวลผลิตภัณฑ์เทียบกับระยะเวลาการอบแห้ง

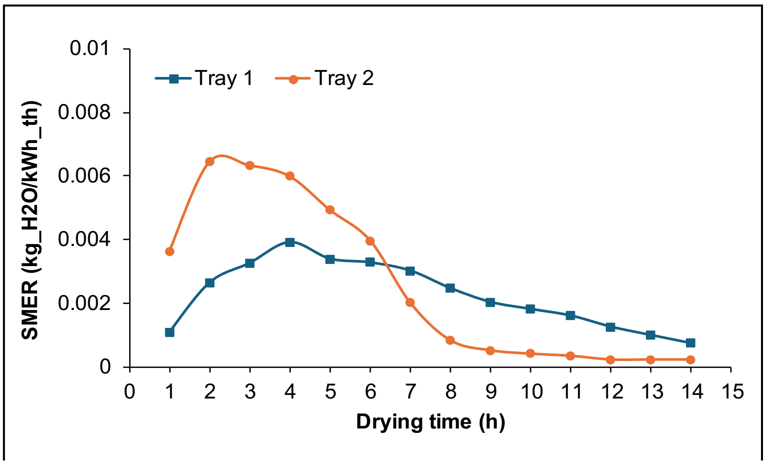
ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบการสูญเสียมวลผลิตภัณฑ์ของตะไคร้เทียบกับระยะเวลาการอบแห้งจำนวน 14 h ผลการศึกษาพบว่า ชุดถาดหมุนที่ 2 ให้อัตราการสูญเสียมวลในตะไคร้สูงกว่าชุดถาดหมุนที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากมีท่อไอเสียหรือปล่องความร้อนเตาชีวมวลอยู่ใกล้กับชุดถาดหมุนที่ 2 อย่างไรก็ตามถ้าต้องการให้การสูญเสียมวลของแต่ละถาดเท่ากัน จะต้องติดตั้งกล่องหรือท่อความร้อนให้ใกล้กับชุดถาดหมุนที่ 1 การสูญเสียมวลในผลิตภัณฑ์อบแห้งจะแปรผันลดลงตามระยะเวลาที่อบแห้ง [9] การเปรียบเทียบมวลของตะไคร้ในชุดถาดหมุนเดียวกันมีอัตราการสูญเสียมวลไปในทิศทางเดียวกัน ในการทดลองการสูญเสียมวลของชุดถาดหมุนที่ 1 เท่ากับ 0.0007 g/h และชุดถาดหมุนที่ 2 มีอัตราการสูญเสียมวลเฉลี่ยเท่ากับ 0.0908 g/h



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบการสูญเสียมวลผลิตภัณฑ์ของชุดถาดหมุนในแนวนอน

การวิเคราะห์อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ

ภาพที่ 6 แสดงอัตราการระเหยน้ำจำเพาะของการอบแห้งตะไคร้ที่ระยะเวลา 14 h พบว่าชุดถาดหมุนที่ 2 ให้อัตราการระเหยน้ำจำเพาะสูงกว่าชุดถาดหมุนที่ 1 โดยอัตราการระเหยน้ำจำเพาะมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันอัตราการระเหยน้ำจำเพาะที่ระยะเวลาอบแห้ง 2 ถึง 8 h จะให้อัตราการระเหยน้ำสูงทั้งนี้เนื่องจาก อัตราการระเหยน้ำสูงในช่วงแรกเนื่องจากความชื้นในตะไคร้ยังมีมาก ทำให้น้ำระเหยออกมาได้เร็ว แต่เมื่อเวลาผ่านไป หลังจากช่วงเวลา 5-6 ชั่วโมง ความชื้นลดลง อัตราการระเหยน้ำจึงลดลงตามลำดับ [10]



ภาพที่ 6 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะของการอบแห้งตะไคร้

สรุปผลการวิจัย

ผลการออกแบบ คำนวณ และสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวล สามารถดำเนินการสร้างได้ดี โดยเครื่องอบแห้งสามารถทำงานได้ในสภาวะมีแสงอาทิตย์ และไม่มีแสงอาทิตย์ ห้องอบแห้งที่พัฒนามีปริมาตรรวม 4.95 m^3 ชุดถาดเป็นแบบถาดหมุนในแนวนอนมีจำนวน 16 ถาด ใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตรับแสงอาทิตย์และใช้เตาชีวมวลขนาด 5 kw ป้อนความร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบครีบ เครื่องอบแห้งสามารถสร้างอุณหภูมิทดสอบในสภาวะไม่มีแสงอาทิตย์และใช้ เตาชีวมวลสามารถสร้างอุณหภูมิในห้องอบได้ในช่วง 50-65 °C เมื่ออบแห้งตะไคร้ใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ย 14 h ความชื้นสุดท้ายเหลือ 10% อัตราการสูญเสียมวล 0.0007-0.0908 g/h ในภาพรวมเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับชีวมวลนี้สามารถนำไปใช้ ในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ ได้ และควรมีการส่งเสริมให้กับกลุ่มเกษตรกรนำไปแปรรูปสินค้าทางการเกษตรของตนเอง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้โครงการผลิต และพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในประเทศอาเซียนที่สนับสนุนเงินทุนในด้านการศึกษาและการทำวิจัยสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ขอบคุณห้องปฏิบัติการพลังงานสะอาดและเกษตรอัจฉริยะ (Clean Energy & Smart Agricultural Laboratory) วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่สนับสนุนเครื่องมือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กมลวรรณ จิตจักร และธวัชชัย อ่องประเสริฐ. (2022). **การอบแห้งมะเขือเทศราชินีด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบบังคับร่วมกับความร้อนเสริมจากอินฟราเรด.** วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 17 (2), 42-54.

[2] สุธาสินี ผากา. (2560). **พลังงานทดแทนในสถานการณ์ภาวะโลกร้อน.** วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 11 (2), 49-57.

[3] K. ELAVARASAN, VINITHA VERMA and B. A. SHAMASUNDAR. (2017). **Development of prototype solar-biomass hybrid dryer and its performance evaluation using salted fish (Cynoglossus spp.).** Indian J. Fish., 64 (Special Issue). 123-129.

[4] EL- Amin Omda Mohamed Akoy, Mohamed Ayoub Ismail, El-Fadil Adam Ahmed and W. Luecke. (2015). **Design and Construction of a Solar Dryer for Mango Slices.** Conference: Trope tag 2006 Prosperity & poverty in a globalized world: Challenges for Agricultural Research. Bonn, Germany, October 11-13, 2006.

[5] นิกราน หอมดวง, เจนจิรา อุตเรือน, กิตติกร สาสุจิตต□, สุรพล ริยะนา และพันธวัฒน□ ไชยวรรณ. (2565). **การประเมินสมรรถนะเตาชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับการใช้ถ่านอัดแท่งและเศษไม้เป็นเชื้อเพลิง.** วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน 6 (1).

[6] Cereals & Grains Association. (1999). **Moisture—Air-Oven Methods**. AACC International Method 44-15.02.

[7] สมจิต หล้าพรม, ไพโรจน์ เอกอุหาร และ ณัฐพงศ์ ดิษฐเจริญ. (2561). **ตู้อบอเนกประสงค์พลังงานแสงอาทิตย์และอินฟราเรด.** การประชุมวิชาการระดับชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 5, 438-452.

[8] ณฤทธิ์ วรหาญ. (2565). **การศึกษาการอบแห้งกล้วยภายในพาราโบลาโดม.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[9] วิศิษฐ์ ลีลาผาติกุล. (2024). การศึกษาเชิงทดลองอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยตู้อบแห้งแบบหลายชั้นพลังงานแสงอาทิตย์
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม 25 (1), 43-51.

[10] ณัฐพงษ์ วงศ์บับพา, กระวี ตรีอำนรรค และเทวรัตน์ ตรีอำนรรค. (2565). **อิทธิพลของอากาศอบแห้งแบบเป็นช่วงต่อการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม.** วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ 8 (2), 131-143.

การอบแห้งขมิ้นชันแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานจากขดลวดความร้อนที่ควบคุมสภาวะอากาศอบแห้ง

Drying of Turmeric Using a Hybrid Solar Energy System Integrated with Controlled Air Conditioning and Thermal Energy from Heating Coils

สุทธิพงษ์ เรืองจิตร[1] นิกราน หอมดวง[1] ชูรัตน์ ธารารักษ์[1] สุระพล ริยะนา[1] และ กิตติกร สาสุจิตต์[1*]

Suttipong Ruanjit[1], Nigran Homdoung[1], Churat Tararax[1], Surapon Riyana[1], and Kittikorn Sasujit[1*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

[1] Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290

Corresponding author: Tel.: (+66) 89-9988203. E-mail address: k.sasujit@yahoo.com

Abstract

Turmeric is a popular herb for consumption due to its medicinal properties, and is also developed into cosmetic products , which has a high demand in the market. This research studies the drying of turmeric using a combination of a 1.7 x 2.5 x 2.1 m solar dryer covered with polycarbonate sheets and a 2 kW heating coil that controls the drying air temperature not exceeding 55 ^{o}C. The experiment was conducted by cutting turmeric with an initial moisture content of 563.57 %db into 2-5 mm thick pieces, totaling 20 kg, and drying for 36 h until the final moisture content was 1.49 %db. The results showed that the solar radiation intensity between 9.00 and 17.00 hrs. had an average of 598.6-640.81 w/m^2, which is the condition that causes the moisture content and the moisture rate to decrease rapidly in the first 4 h During 17.00 h it was found that the drying house temperature was lower than 45^{o}C, using the heating coil as an additional heat source. From the analysis of the drying system efficiency, 22.44%, specific energy consumed of 4.02 MJ/kg water and specific water evaporation rate of 0.898 kg water/kWh were obtained. However, the drying time to obtain the dried turmeric powder with a moisture content lower than 11.11%db. was only 22 h

Keywords: Hybrid solar dryer, turmeric, heating coil, controlled air conditioning

บทคัดย่อ

ขมิ้นชันเป็นพืชสมุนไพรที่ได้รับความนิยมในการบริโภคเนื่องจากมีสรรพคุณทางยารักษาโรครวมถึงการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางทำให้เกิดความต้องการในตลาดสูง งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันแบบผสมผสานโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 1.7 x 2.5 x 2.1 m คลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต และพลังงานจากขดลวดความร้อนขนาด 2 kW ที่ควบคุมอุณหภูมิสภาวะอากาศอบแห้งไม่เกิน 55 °C ดำเนินการทดลองโดยนำขมิ้นชันที่มีค่าความชื้นเริ่มต้น 563.57 %db. นำมาหั่นเป็นชิ้นขนาดความหนา 2 – 5 mm จำนวน 20 kg นำไปอบแห้งจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 36 h จนถึงความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 1.49 %db. ผลการวิจัยพบว่าความเข้มรับสีอาทิตย์เวลา 9.00 – 17.00 น.มีค่าเฉลี่ย 598.6 – 640.81 w/m^2 เป็นสภาวะที่ทำให้ความชื้นและอัตราความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก 4 h และในช่วงเวลา 17.00 น. พบว่าอุณหภูมิโรงอบแห้งต่ำกว่า 45 °C จะใช้พลังงานจากขดลวดความร้อนเป็นแหล่งความร้อนเสริม จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบการอบแห้งเป็น 22.44% ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 4.02 $MJ/kg_{\text{water evap}}$ และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ 0.898 $kg_{\text{water evap}}$ / kWh อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการอบแห้งให้ได้ตามมาตรฐานขมิ้นชันผงอบแห้งมีค่าความชื้นต่ำกว่า 11.11%db. จะใช้ระยะเวลา 22 hrs.

คำสำคัญ: โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ขมิ้นชัน ขดลวดความร้อน การควบคุมสภาวะอากาศ

การทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยระบบอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์ – ไฟฟ้าแบบกึ่งอัตโนมัติ

Experiment of Banana Drying by Semi-automatic Dryer Solar Combine with Electric

ชาญวิทย์ เทพอุโมงค์[1] ภคมน ปินตานา[1] ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล และ ธเนศ ไชยชนะ[1*]
Chanwit Tepumong[1], Pakamon Pintana[1], Yingrak Attawaetchakul, and Tanat Chaichana [1*]

[1]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[1]School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290
Corresponding author: Tel.: 081-5406768 E-mail address: Tanatecha@hotmail.com

Abstract

This research aimed to experiment with drying bananas using a semi-automatic solar-electricity combined heat drying system. The experiment used 5 kg of bananas at a time under temperatures of 50, 55, and 60 °C to study the drying time, drying rate, and moisture ratio of bananas. The experiment discovered that drying took the shortest time at 60 °C, then at 55 and 50 °C. The drying time of 60 °C was short, taking a total of 27 h. The moisture was of 15.53%wb. The drying rate in the first hour was 0.11 kg_{evap}/kg_{dry} h. After 6 h, the drying rate remained constant throughout the drying process, and the moisture ratio in the first hour was 0.99 and the last hour was 0.23. The 60 °C condition can dry bananas quickly, which is suitable for supporting the community to use in product processing to add value to agricultural products.

Keywords: Banana Drying, Drying rate, Moisture ratio

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ได้ทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยระบบอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์ - ไฟฟ้า แบบกึ่งอัตโนมัติ การทดสอบใช้กล้วยน้ำว้าครั้งละ 5 kg ภายใต้อุณหภูมิ 50 55 และ 60 °C ศึกษาระยะเวลาการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง และอัตราส่วนความชื้นของกล้วยน้ำว้า การทดสอบพบว่าที่อุณหภูมิ 60 °C ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นใช้เวลาทั้งสิ้น 27 h มีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 15.53%wb รองลงมาได้แก่ 55 และ 50 °C อัตราการอบแห้งในช่วงโมงแรกมีอัตราการอบแห้งอยู่ที่ 0.11 kg_{water}/kg_{dry} h เมื่อผ่านไป 6 h จะมีอัตราการอบแห้งคงที่ตลอดการอบแห้ง และมีอัตราส่วนความชื้นในชั่วโมงแรกอยู่ที่ 0.99 และชั่วโมงสุดท้ายอยู่ที่ 0.23 เงื่อนไข 60 °C สามารถอบแห้งกล้วยได้อย่างรวดเร็วเหมาะที่จะนำไปสนับสนุนให้กับชุมชนเพื่อใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าทางการเกษตรต่อไป

คำสำคัญ: กล้วยน้ำว้า การอบแห้ง อัตราการอบแห้ง อัตราส่วนความชื้น

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศแห่งเกษตรกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรสู่ท้องตลาดเป็นจำนวนมาก ทั้งผลผลิตสดและผลผลิตแปรรูป โดยเฉพาะอย่างยิงผลผลิตที่ผ่านกระบวนการแปรรูปส่วนใหญ่มาจากผลผลิตที่ล้นตลาด มีราคาตกต่ำ การแปรรูปจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตนั้น การแปรรูปของเกษตรกรส่วนใหญ่ในกระบวนการอบแห้ง จะใช้วิธีการตากแห้ง ซึ่งเป็นวิธีการที่มีมาอย่างยาวนาน เช่น ข้าว ลำไย กล้วย และสมุนไพรต่าง ๆ ซึ่งเป็นวิธีการที่มีต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสียในด้านการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการตากแห้งตามธรรมชาติมักจะปนเปื้อน ฝุ่นละออง มีสัตว์และแมลงรบกวน และผลิตภัณฑ์แห้งได้ยากในฤดูฝน และเกิดการเน่าเสียได้ส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์ [1] ปัจจุบันมีนักวิจัยได้คิดค้นเครื่องอบแห้งประเภทต่าง ๆ ทั้งในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ทำให้สามารถลดการใช้พลังงาน [2-7] แต่ก็ยังมีข้อบกพร่องในด้านการควบคุมอุณหภูมิทำให้อุณหภูมิการอบแห้งผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอส่งผลต่อระยะเวลาการอบแห้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยระบบอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์ – ไฟฟ้า แบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งจะสามารถลดควบคุมอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ สามารถลดความชื้นของกล้วยอบแห้งได้อย่างต่อเนื่อง การทดสอบนี้จึงมุ่งเน้นการทดสอบหาเงื่อนไงที่เหมาะสมต่อการอบกล้วยน้ำว้าสำหรับนำไปขยายผลต่อเกษตรกรต่อไป

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้กล้วยน้ำว้าเป็นวัตถุหลักในการอบแห้ง มีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ 61.79-67.70%wb เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์ – ไฟฟ้า แบบกึ่งอัตโนมัติทำจากสแตนเลส 304 หลังคาทำจากโพลีคาร์บอเนต มีชั้นวาง 3 ชั้น ดังภาพที่ 1 ห้องอบแห้งมีขนาด 200 cm x 100 cm x 70 cm (กว้าง x ยาว x สูง) ถาดวางผลิตภัณฑ์มีขนาด 95 cm x 95 cm (กว้าง x ยาว) ดังภาพที่ 2 ระบบควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วยพัดลมดูดอากาศภายใน 4 เครื่อง ชุดฮีตเตอร์และพัดลมดูดอากาศภายนอก 1 ชุด ทำหน้าที่เป็นแหล่งความร้อนเสริม ระบบควบคุมอุณหภูมิ 1 ชุด ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิให้สม่ำเสมอ ดังภาพที่ 3

การวิเคราะห์การอบแห้ง

การวิเคราะห์การอบแห้งได้ทำการวิเคราะห์การความชื้นตามมาตรฐานเปียก ดังสมการที่ (1) การหาอัตราอบแห้ง (Drying rate) ดังสมการที่ (2) การวิเคราะห์อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio) เป็นตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับความชื้นในวัสดุ [8] สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)

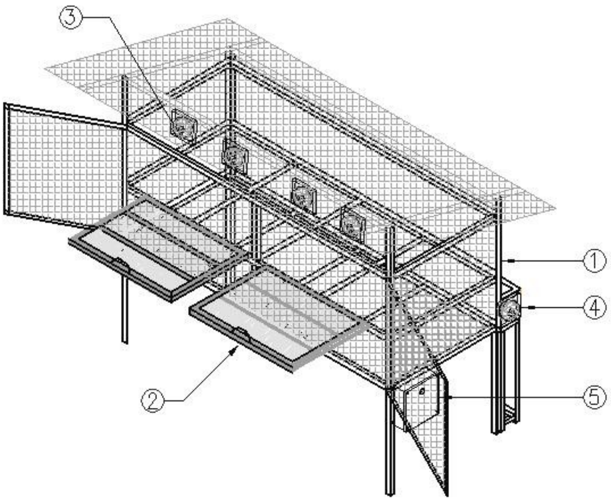
$$M_w(\%wb) = \frac{w - d}{w} x100 \qquad (1)$$

$$DR(kg_{evap} / kg_{dry}h) = \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \qquad (2)$$

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} \qquad (3)$$

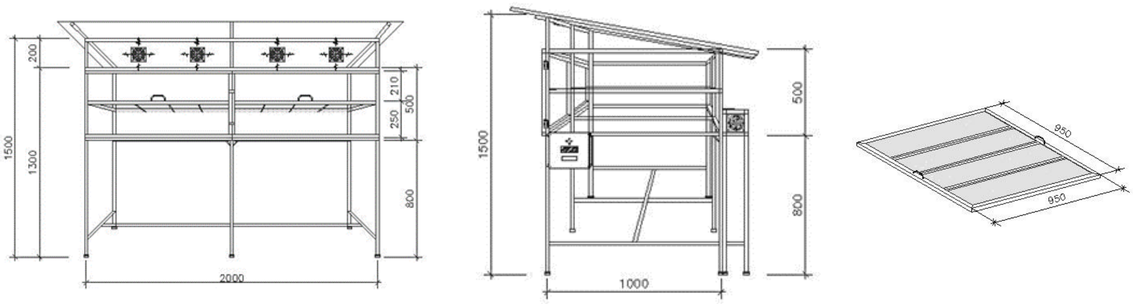
เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb) w คือ น้ำหนักของวัสดุ (kg) d มวลของวัสดุแห้ง (kg) DR คือ อัตราการอบแห้ง ($kg_{evap}/kg_{dry}h$) M_t คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ ของวัสดุ (kg_{evap}/kg_{dry}) $M_{t+\Delta t}$ คือ ความชื้นของวัสดุก่อนการ

อบแห้งในช่วงเวลา Δt (kgevap/kgdry) Δt คือ ช่วงเวลาในการอบแห้ง (h) MR คือ อัตราส่วนความชื้น M_i คือ ความชื้นเริ่มต้น ของวัสดุ (kg_{evap}/kg_{dry}) และ M_{eq} คือ ความชื้นสมดุลของวัสดุที่สภาวะการอบแห้ง (kg_{evap}/kg_{dry})



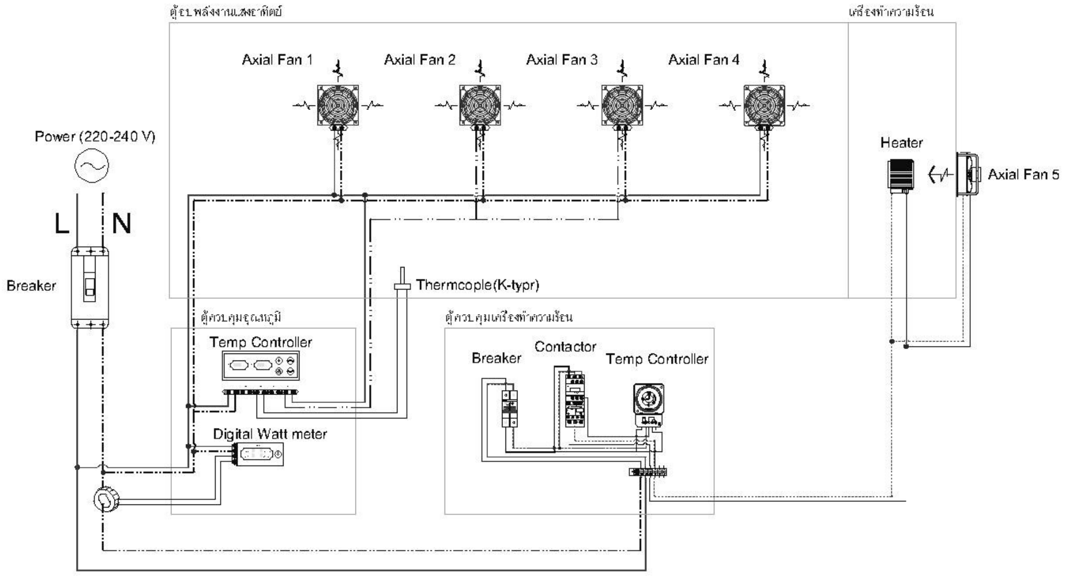
CCT NO.	DESCRIPTION
1	ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์
2	ชั้นวางตากผลิตภัณฑ์
3	ชุด พัดลมระบายความชื้น
4	ชุด Heater
5	ชุด ควบคุมความร้อนและความชื้น

ภาพที่ 1 แผนภาพระบบอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์ - ไฟฟ้า แบบกึ่งอัตโนมัติ



ด้านหน้า ด้านข้าง ถาดใส่ผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 2 ลักษณะเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์ - ไฟฟ้า แบบกึ่งอัตโนมัติ

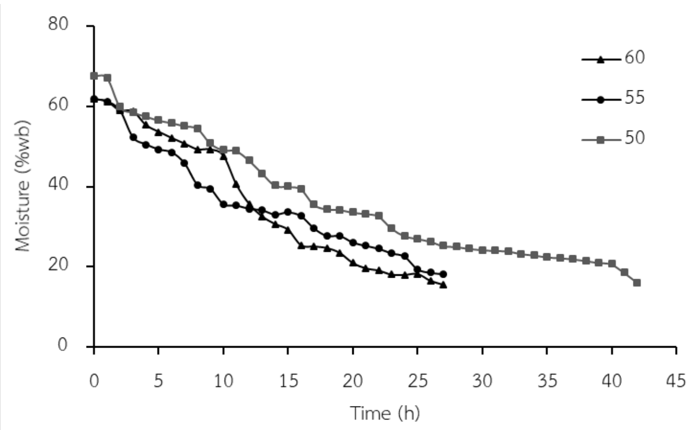


ภาพที่ 3 ชุดควบคุมอุณหภูมิเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์ - ไฟฟ้า แบบกึ่งอัตโนมัติ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์การลดลงความชื้นของการอบกล้วยน้ำว้า

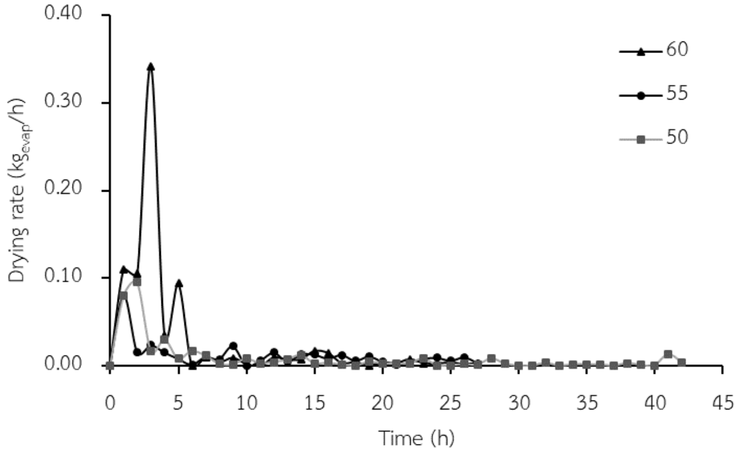
การวิเคราะห์การลดลงความชื้นของการอบกล้วยน้ำว้า พบว่าการอบแห้งกล้วยน้ำว้าสามารถอบแห้งได้อย่างต่อเนื่องเนื่องจากในช่วงที่ไม่มีแสงแดดเครื่องอบแห้งสามารถอบแห้งได้โดยมีความร้อนเสริมจากฮีตเตอร์ทำให้อุณหภูมิการอบแห้งค่อนข้างสม่ำเสมอ ที่อุณหภูมิ 60 °C ในช่วง 1-10 h กล้วยน้ำว้ามีการลดลงของความชื้นอย่างช้า ๆ ในขณะที่หลังจาก 10-15 h ของความชื้นอย่างรวดเร็ว และหลังจากใช้ระยะเวลาอบแห้งทั้งสิ้น 27 h มีความชื้นสุด้ทายอยู่ที่ 15.53%wb โดยทั่วไปการอบแห้งกล้วยจะมีความชื้นต่ำกว่า 20%wb [9] การอบแห้งที่อุณหภูมิที่ 55 °C มีพฤติกรรมการลดลงของความชื้นคล้ายกับที่อุณภูมิ 60 °C ใช้ระยะเวลาการอบแห้งทั้งสิ้น 27 h แต่มีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 18.22 %wb ในขณะที่อุณหภูมิการอบแห้งที่ 50 °C ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสูงสุดอยู่ที่ 42 มีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 16.12%wb ดังภาพที่ 4 สำหรับการตากแห้งกล้วยตามธรรมชาติจะใช้เวลาถึง 7 -8 วัน ซึ่งเหลือความชื้นสุดท้าย 40 (%wb) [1] จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการอบแห้งดังกล่าวใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการตากแห้งตามธรรมชาติ



ภาพที่ 4 การลดลงความชื้นของการอบกล้วยน้ำว้า

การวิเคราะห์อัตราการอบแห้งกล้วยน้ำว้า

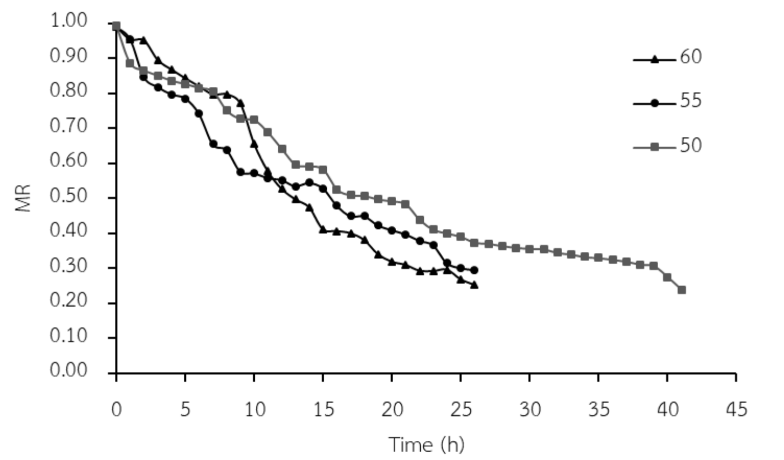
ภาพที่ 5 แสดงอัตราการอบแห้งกล้วยน้ำว้าเทียบกับระยะเวลา พบว่าอัตราการอบแห้งมีค่าสอดคล้องกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ลดลง จากภาพจะสังเกตได้ว่าในช่วงแรกของการอบแห้งจะมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าการอบแห้งในช่วงท้าย โดยในชั่วโมงแรกกล้วยน้ำว้าที่อุณหภูมิ 60 55 และ 50 °C มีอัตราการอบแห้งอยู่ที่ 0.11 0.08 และ 0.08 $kg_{evap}/kg_{dry}h$ ตามลำดับ เนื่องจากในช่วงแรกผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงกว่าช่วงในช่วงสุดท้าย



ภาพที่ 5 อัตราการอบแห้งกล้วยน้ำว้าเทียบกับระยะเวลา

การวิเคราะห์อัตราส่วนความชื้นการอบแห้งกล้วยน้ำว้า

ภาพที่ 6 แสดงอัตราส่วนความชื้นของการอบแห้ง พบว่าในช่วงแรกของการอบแห้งมีอัตราส่วนความชื้นที่สูง โดยอุณหภูมิ 60 55 และ 50 °C ในชั่วโมงแรกมีอัตราส่วนความชื้นอยู่ที่ 0.99 ทุกเงื่อนไขอุณหภูมิ เมื่อเวลาผ่านไปอัตราส่วนความชื้นมีการลดลงอย่างต่อเนื่อง จนเมื่อใกล้สิ้นสุดกระบวนการอบแห้งอัตราส่วนความชื้นมีการลดลงเพียงเล็กน้อยสอดคล้องกับการลดลงของความชื้นและอัตราการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ โดยในช่วงเวลาสุดท้ายของกระบวนการอบแห้งกล้วยน้ำว่ามีอัตราส่วนความชื้นอยู่ในช่วง 0.25 0.29 และ 0.24 ตามลำดับ



ภาพที่ 6 อัตราส่วนความชื้นการอบแห้งกล้วยน้ำว้า

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยระบบอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมแสงอาทิตย์ – ไฟฟ้า แบบกึ่งอัตโนมัติ อุณหภูมิ 60 °C ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้น ใช้เวลาทั้งสิ้น 27 h มีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 15.53%wb รองลงมาได้แก่ 55 และ 50 °C อัตราการอบแห้งในช่วงโมงแรกมีอัตราการอบแห้งอยู่ที่ 0.11 kg_{evap}/kg_{dry} h เมื่อผ่านไป 6 h จะมีอัตราการอบแห้งคงที่ตลอดการอบแห้ง และมีอัตราส่วนความชื้นในชั่วโมงแรกอยู่ที่ 0.99 และชั่วโมงสุดท้ายอยู่ที่ 0.24 เงื่อนไขการอบแห้ง 60 °C เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมสามารถอบแห้งกล้วยได้อย่างรวดเร็วเหมาะที่จะนำไปสนับสนุนให้กับชุมชนเพื่อใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าทางการเกษตรต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย และเครื่องมือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สราวุฒิ แนบเนียร, เพ็ญพร นิ่มนวล และ อรอนงค์ เสนาะจิต. (2563). การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือน. **วารสารบริการวิชาการสถาบันอุดมศึกษาไทยรับใช้สังคม**, 1(1), 19-31

[2] ธีรพัฒน์ กู่วรรณรัตน์ และวัชรินทร์ ดงบัง. (2551). สมรรถนะของอุปกรณ์อบแห้งกุ้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. การประชุมวิชาการเครือข่าพลังงานแห้งประเทศไทย ครั้งที่ 4, โรงแรมโรสการ์เด้นริเวอร์ไซด์ สวนสามพราน จังวัดนครปฐม

[3] Eltawil, M.A., Azam,M.M., Alghannam,A.O. (2018). Solar PV powered mixed-mode tunnel dryer for drying potato chips. **Renewable Energy**, 116, 594-605.

[4] Fudholi, A., Sopian,K., Yazdi, M.H., Ruslan, M.H., Gabbasa, M., Kazem, H.A. (2014). Performance analysis of solar drying system for red chili**. Solar Energy**, 99, 47-54.

[5] Janjai, S. (2012). A greenhouse type solar dryer for small-scale dried food industries: development and dissemination. **International Journal Energy and Environment**, 3, 383-98.

[6] Nabnean, S., Janjai, S., Thepa, S., Sudaprasert, K., Songprakorp, R., Bala, B.K. (2016). Experimental performance of a new design of solar dryer for drying osmotically dehydrated cherry tomatoes. **Renewable Energy**, 94, 147-156.

[7] Prakash, O., Kumar, A., Laguri, V. (2016). Performance of modified greenhouse dryer with thermal energy storage. **Energy Reports**, 2, 155-162.

[8] วสันต์ จีนธาดา, บัญญัติ นิยมวาส และอเนก ไทยกุล. (2561). การทดลองศึกษาสภาวะการอบแห้งปลาของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบควบคุมอุณหภูมิด้วยการเปิด-ปิดช่องระบายอากาศ. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**, 28(3), 525-536.

[9] เจิมธง ปรารถนารักษ์, จุติพร อินทะนิน, กชศร หัสโรค์ และพรอริยา ฉิรินัง. (2567). ผลกระทบของห้องอบสองชั้นต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกระบวนการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**, 14(2)

การศึกษาผลของการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร จากการประยุกต์ใช้มอเตอร์เหลือทิ้ง

Study the Effects of Magnet Pole Arrangement in a Permanent Magnet Generator Applied from Discarded Motors

ฮุซเซ็น บือแน อีลีหย๊ะ สนิโซ ลุตฟี สือนิ และ มูฮำมัดคอยรี หะยีบากา*

Hussen Buenae, Eleeyah Saniso, Lutfee Sueni, and Muhammadkhoiri Hayibaka*

สาขาวิชาพลังงานทดแทน คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ยะลา 95000

Renewable Energy Technology Program, Faculty of Science Technology and Agriculture,

Yala Rajabhat University, Yala 90000

Corresponding author: Tel.: 0862968790. E-mail address: muhammadkhoiri.h@yru.ac.th

Abstract

This research aims to repurpose discarded motors from water pumps as permanent magnet generators and to investigate the effects of magnet pole arrangements on their efficiency in generating electrical energy. The centrifugal water pump motor model used in the experiment was ORONO KO-101. Four magnet arrangements were designed for testing: NS NS, NN NN, N NS N, and the original unmodified arrangement. Each configuration used four magnets with dimensions of 50 mm x 25 mm x 10 mm, each having a magnetic field strength of 0.65 T. The components were assembled with copper coils, and the generator's performance was tested by adjusting the rotational speed from 100 to 600 RPM, while measuring the electromotive force (EMF), current, and power output. The results indicated that the NS NS magnet pole arrangement yielded the highest power output. At a rotational speed of 600 RPM under no-load conditions, the EMF was 34.01 volts. Under load conditions, the EMF, current, and power output were 12.54 volts, 0.92 amperes, and 11.54 watts, respectively. This study highlights the importance of designing and arranging magnet poles appropriately, as it significantly affects the magnetic field distribution and enhances the efficiency of electricity generation from discarded motors. It also promotes the optimal use of community resources.

Keywords: Generator, Permanent magnet, Discarded Motors

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำมอเตอร์เหลือทิ้งจากปั๊มน้ำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวร และเพื่อศึกษาผลของการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กต่อสมรรถนะในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยใช้มอเตอร์จากปั๊มน้ำหอยโข่ง รุ่น ORONO KO-101 ในการทดลองทำการออกแบบการวางแม่เหล็ก 4 รูปแบบ ได้แก่ NS NS, NN NN, N NS N และการจัดเรียงแม่เหล็กแบบดั้งเดิมที่ยังไม่ได้ปรับปรุง แต่ละชุดใช้แม่เหล็กขนาด 50 mm x 25 mm x 10 mm จำนวน 4 อัน ซึ่งแต่ละอันมีความเข้มสนามแม่เหล็กเท่ากับ 0.65 T ทำการประกอบชิ้นส่วนเข้ากับขดลวดทองแดงและทดสอบสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการปรับความเร็วรอบการหมุนตั้งแต่ 100-600 RPM พร้อมวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่าการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กแบบ NS NS สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด โดยจากการทดสอบที่ความเร็วรอบ 600 RPM ขณะไม่ต่อโหลดให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 34.01 โวลต์ และจากการทดสอบขณะต่อโหลดให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เท่ากับ 12.54 V 0.92 A และ 11.54 W ตามลำดับ และงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการออกแบบและการจัดเรียงขั้วแม่เหล็กที่เหมาะสม ซึ่งมีผลต่อการกระจายของสนามแม่เหล็กอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เพิ่มสมรรถนะในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์เหลือทิ้งและส่งเสริมการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในชุมชนอย่างเต็มศักยภาพ

คำสำคัญ: เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แม่เหล็กถาวร มอเตอร์เหลือทิ้ง

การดัดแปลงวัฏจักรอัดไอสำหรับการผลิตน้ำจากอากาศ

Modification of vapor compression cycle for Atmospheric Water Generation

ถิรวัฒน์ วงษาเทียม[1] เสมอขวัญ ตันติกุล[1] กิตติกร สาสุจิตต์[1] สุระพล ริยะนา[1] ญานกร สุทัศมาลี[1] พนธกร เหลี่ยมเคลือบ[1] ลลิตา เพชรใจหาญ[1] และ นิกราน หอมดวง[1*]

Tirawat Wongsatiam[1], Samerkawn Tantikul[1], Kittikorn Sasujit[1], Surapol Riyana[1], Yanakorn Sutasamalee[1], Phontakorn Liamkloub[1], Lalita Petchaihan[1], and Nigran Homdoung[1*]

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

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

Abstract

Atmospheric Water Generation (AWG) systems are a technology that has the potential to solve water scarcity problems in many areas around the world, including some areas of Thailand. It relies on the principle of extracting moisture or water vapor from the air and condensing it into water. The design and development of atmospheric water generation systems require the study of variables that affect water production. Therefore, this research aims to study and analyze the variables that affect water generation using a mathematical model in conjunction with an atmospheric water generator that uses the principle of condensing moisture in the air into water by cooling using a vapor compression cycle. The atmospheric water generator consists of a 12,283 BTU/h vapor compression refrigeration system and four cross-flow heat exchangers that act as cold coils, arranged in series to lower the temperature of the supplied air to the dew point. The relative humidity and temperature of the air fed into the atmospheric water generator are in the range of 75% - 90% and 25-35 °C, respectively, while the airflow rate is in the range of 6-8 m^3/min. The results of the study found that temperature, relative humidity, and airflow rate affect the atmospheric water generation rate, with the optimal temperature, relative humidity, and flow rate for the highest water generation being 35 °C, 90%, and 8 m^3/min respectively, the maximum water generation rate was 2.65 kg/h. The specific energy consumption of the atmospheric water generation system was in the range of 0.56–0.95 kWh/L.

Keywords: Air, Water, humidity, Vapor compression refrigeration, Atmospheric water generation

บทคัดย่อ

การผลิตน้ำจากอากาศเป็นเทคโนโลยีที่มีความเป็นไปได้ในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำในหลายพื้นที่ทั่วโลก รวมทั้งในบางพื้นที่ของประเทศไทย โดยอาศัยหลักการดึงเอาความชื้นหรือไอน้ำที่อยู่ในอากาศมาควบแน่นให้กลายเป็นน้ำ การออกแบบ และพัฒนาระบบผลิตน้ำจากอากาศจำเป็นต้องศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตน้ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตน้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ร่วมกับเครื่องผลิตน้ำจากอากาศโดยใช้หลักการทำให้ความชื้นในอากาศควบแน่นเป็นน้ำด้วยการทำความเย็นโดยใช้วัฏจักรอัดไอ ซึ่งเครื่องผลิตน้ำจากอากาศประกอบด้วยระบบเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 12,283 BTU/h เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลขวางซึ่งทำหน้าที่เป็นคอยล์เย็น 4 ชุด วางเรียงซ้อนต่อกันเป็นแบบอนุกรม เพื่อทำให้อากาศที่ถูกป้อนเข้ามีอุณหภูมิต่ำลงจนถึงจุดควบแน่น ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศที่ป้อนเข้าสู่เครื่องผลิตน้ำจากบรรยากาศอยู่ในช่วง 75% - 90% และ 25-35 °C ตามลำดับ ในขณะที่อัตราการไหลของอากาศอยู่ในช่วง 6-8 m^3/min ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการไหลของอากาศมีผลกระทบต่อการผลิตน้ำจากอากาศ โดยที่อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการไหลที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดคือ 35 °C, 90% และ 8 m^3/min ตามลำดับ สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 2.65 kg/h อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.56-0.95 kWh/L

คำสำคัญ: อากาศ น้ำ ความชื้น การทำความเย็นด้วยวัฏจักรอัดไอ การผลิตน้ำจากอากาศ

บทนำ

น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิต ถึงแม้ว่าน้ำจะเป็นทรัพยากรหมุนเวียน แต่ 96.5% ของปริมาณน้ำทั้งหมดบนโลกเป็นน้ำทะเลในมหาสมุทร มีส่วนที่เหลือเพียง 2.5% เท่านั้นที่เป็นน้ำจืด และในน้ำจืด 68.7% ถูกกักเก็บในรูปแบบของน้ำแข็งและหิมะ อีก 30.1% ส่วนเป็นน้ำใต้ดิน ดังนั้นจึงเหลือน้ำจืดที่ผิวดินและอื่น ๆ เพียง 1.2% และเมื่อแบ่งออกเป็น 100 ส่วนจะเห็นว่ามีน้ำหรือไอน้ำอยู่ในชั้นบรรยากาศถึง 3% ซึ่งมากกว่าน้ำในแม่น้ำหลายเท่าตัว การผลิตน้ำจากอากาศ (Atmospheric water generation: AWG) เป็นวิธีการทางเลือกหนึ่งที่มีความสามารถในการผลิตน้ำจืด นอกเหนือจากการใช้กลยุทธ์การกักเก็บน้ำจากน้ำผิวดิน และการขุดเจาะน้ำบาดาลแหล่งน้ำใต้ดิน การผลิตน้ำจากอากาศเป็นวิธีการที่ค่อนข้างใหม่ การผลิตน้ำด้วยวิธีนี้จะเน้นการผลิตน้ำเพื่อนำไปบริโภค จากการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยในปีที่ผ่านมาและปี 2563 ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 35-42 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ยสูง 60-80% และเมื่อใช้ไซโครเมตริกชาร์ทในการคำนวณหาอุณหภูมิจุดไอน้ำกลั่นตัวหรือจุดน้ำค้าง โดยพบว่าใช้อุณหภูมิเพียง 27-34 °C น้ำในอากาศก็สามารถกลั่นตัวได้ ทั้งนี้จะต้องออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพจึงจะดำเนินการได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงสนใจและมุ่งเน้นในการออกแบบ พัฒนา ทดสอบ และประเมินสมรรถนะของระบบผลิตน้ำจากอากาศเพื่อการอุปโภคบริโภค เพื่อแก้ไขปัญหาดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

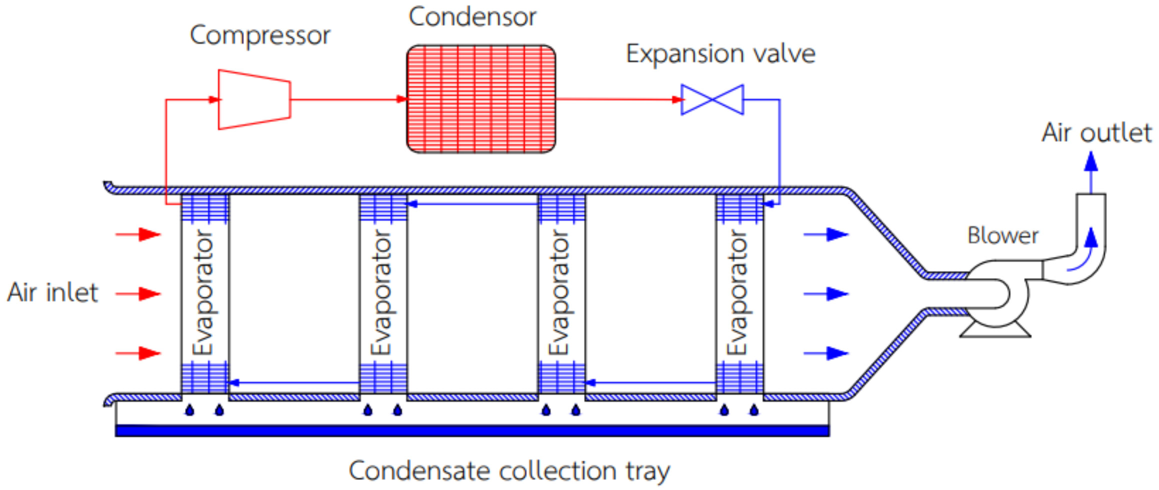
เทคโนโลยีการผลิตน้ำจากอากาศ คือการดึงน้ำจากอากาศหรือการสกัดน้ำจากอากาศที่มีไอน้ำผสมและแทรกตัวอยู่ ซึ่งในปัจจุบันมีวิธีการสกัดน้ำออกมาได้หลายรูปแบบเช่น การสกัดน้ำจากอากาศด้วยการทำความเย็นด้วยวัฏจักรอัดไอ การสกัดน้ำจากอากาศด้วยการทำความเย็นจากเทอร์โมอิเล็กตริก การสกัดน้ำจากอากาศด้วยการเก็บน้ำค้าง การสกัดน้ำจากอากาศด้วยการเก็บหมอก การสกัดน้ำจากอากาศด้วยการใช้การดูดซับ เป็นต้น การผลิตน้ำจากอากาศโดยใช้การทำความเย็นด้วยวัฏจักรอัดไอ (Vapour compression refrigeration) เป็นวิธีการที่นิยมใช้สำหรับการผลิตน้ำจากอากาศ [1-3] ซึ่งใช้หลักการเช่นเดียวกับ ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ และเครื่องลดความชื้น คือทำให้อากาศที่มีความชื้น มีอุณหภูมิลดต่ำลงกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งจะทำให้ไอน้ำไม่สามารถแทรกตัวอยู่ในอากาศที่อุณหภูมิและความชื้นนี้ได้ จึงทำให้เกิดการควบแน่นกลายเป็นของเหลว โดยขั้นตอนในการทำงานจะเริ่มจากพัดลมหรือโบล์วเวอร์ดูดอากาศชื้นผ่านคอยล์เย็นทำให้

อากาศชื้นเย็นลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง จากนั้นจะเกิดการควบแน่นที่คอยล์เย็นและกลายเป็นหยดน้ำ โดยระบบการผลิตน้ำจากอากาศโดยใช้การทำความเย็นแบบอัดไอนี้มีข้อดีคือสามารถผลิตน้ำได้จำนวนมากกว่า 1000 L/day โดยการใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ [3] แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตน้ำค่อนข้างสูงประมาณ 1-4 L/kWh [4-6] และจะยิ่งสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากยิ่งขึ้นเมื่อทำงานที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ โดยการทำงานที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 20% จากแผนภูมิไซโครเมตริกจะเห็นว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะมีค่าต่ำกว่า 0 °C จึงทำให้เกิดน้ำที่ควบแน่นที่คอยล์เย็นกลายเป็นน้ำแข็ง ซึ่งจะเกิดการสะสมของน้ำแข็งและอุดตันคอยล์เย็นทำให้ระบบไม่สามารถทำงานในสภาพอากาศแบบนี้ได้ [7] สำหรับการสกัดน้ำจากอากาศด้วยการทำความเย็นแบบอัดไอนั้นจะให้สมรรถนะดีที่สุด เนื่องจากเทคโนโลยีนี้มีความสามารถในการผลิตน้ำสูง สามารถออกแบบปรับเพิ่มขนาดได้ตามความต้องการ แม้ว่าต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนการทำงานของระบบต่าง ๆ แต่ก็ให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูง มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานได้จริง แต่ยังติดอยู่ในด้านการมีต้นทุนการผลิตที่สูง ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตน้ำจากอากาศด้วยการทำความเย็นแบบอัดไอ เพื่อทำให้ความสามารถในการผลิตน้ำสูงขึ้นในขณะที่ใช้พลังงานน้อยลงเพื่อทำให้ต้นทุนในการผลิตน้ำจากอากาศต่ำลงจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ

วิธีการวิจัย

1. ระบบผลิตน้ำจากอากาศ

ต้นแบบระบบผลิตน้ำจากอากาศใช้หลักการทำความเย็นแบบอัดไอ ประกอบด้วยคอมเพลสเซอร์ (Compressor) คอยล์ร้อน (Condensor) เอ็กซ์แพนชั่นวาล์ว (Expansion Valve) คอยล์เย็น (Evaporator) โดยระบบทำความเย็นแบบอัดไอนี้มีกำลังการทำความเย็น 12,283 BTU/h และติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรือคอยล์เย็นจำนวน 4 ชุดวางเรียงต่อกันแบบอนุกรม ภายในท่อสี่เหลี่ยมขนาด 0.35 m x 0.35 m เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศจากภายนอกระบบการป้อนอากาศใช้โบลเวอร์ขนาด 373 W อากาศที่มีความชื้นสูงไหลผ่านท่ออากาศเข้า ชุดคอยล์เย็น และโบลเวอร์ แล้วปล่อยอากาศที่มีความชื้นต่ำออกสู่ระบบภายนอก ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบผลิตน้ำจากอากาศด้วยการทำความเย็นแบบอัดไอ

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะระบบผลิตน้ำจากอากาศด้วยการทำความเย็นแบบอัดไอ

อุปกรณ์	รายละเอียด
ชุดคอมเพลสเซอร์	LG/S13 LCK NR1
กำลังการทำความเย็น	3,600 W (12,283 BTU/h)
กำลังไฟฟ้า	1,150 W
สารทำความเย็น	R 22/1.19
โบลเวอร์	373 W
คอยล์เย็น	cross flow 4 panel

2. การประเมินสมรรถนะระบบผลิตน้ำจากอากาศ

ระบบผลิตน้ำจากอากาศทำการทดลองในเขตพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในช่วง 25-35 °C และ 75-90% ตามลำดับ โดยใช้การควบคุมสภาวะอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้วยเครื่องปรับสภาพอากาศ ESSOM รุ่น TH 518 ในขณะที่อัตราการไหลของอากาศป้อนระหว่าง 6-8 m^3/min โดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์โบลเวอร์ Mitsubishi รุ่น D700 ความดันบรรยากาศ 100.91 kPa ระยะเวลาทดสอบเก็บตัวอย่างน้ำทุก ๆ 1 ชั่วโมง เทอร์โมมิเตอร์และเครื่องวัดความชื้นคือ UNI-T รุ่น A12T ช่วงการวัด –10-50 °C (ความแม่นยำ ±1°C) ในขณะที่ความชื้นในอากาศสามารถวัดได้ระหว่าง 10-99 % (ความแม่นยำ ±5%) อัตราการไหลของอากาศใช้เครื่องวัดแบบใบพัด รุ่น WM04 การวัดความเร็วในช่วง 0-45 m/s (ความแม่นยำ 3%) น้ำหนักน้ำวัดจากเครื่องชั่งดิจิตอล Sunford รุ่น ACS-30-FC31 ขนาด 30 kg (ความละเอียดชั่ง 10 g) การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิ ความชื้น อัตราการไหลของอากาศ และประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่มีต่ออัตราการผลิตน้ำจากอากาศ [8] สามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$WGR = \frac{V}{T} \quad (1)$$

เมื่อ WGR คือ อัตราการผลิตน้ำจากอากาศ (L/h) V คือ ปริมาตรน้ำ (L) และ T คือ เวลา (h)

3. อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ

การวิเคราะห์อัตราการใช้พลังงานจำเพาะ คือ การใช้พลังงานต่อหน่วยถือเป็นหนึ่งในดัชนีประสิทธิภาพพลังงาน [9] สามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$SEC = \frac{P}{WGR} \quad (2)$$

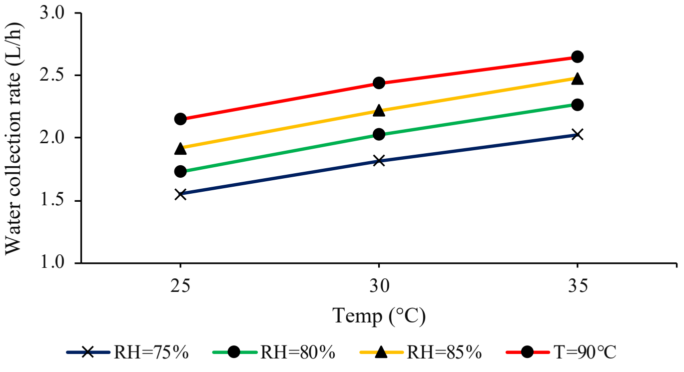
เมื่อ SEC คือ อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ (kWh/L) P คือ กำลังไฟฟ้า (kW) และ WGR คือ อัตราการผลิตน้ำจากอากาศ (L/h)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลของการปรับอุณหภูมิที่มีต่อการผลิตน้ำจากอากาศ

ภาพที่ 2 แสดงถึงผลของการปรับอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าระบบผลิตน้ำจากอากาศเพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ได้ โดยทำการปรับค่าอุณหภูมิที่ 25-35 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 75-90% อัตราการไหลอากาศเข้าระบบ 8 m^3/min ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของอากาศมีผลต่ออัตราการผลิตน้ำจากอากาศ อุณหภูมิเหมาะสมที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดเกิดขึ้นที่ 35 °C ในทุกค่าความชื้นสัมพัทธ์ ในขณะที่อัตราการผลิตน้ำต่ำสุดเกิดขึ้นที่ 25°C ในทุกค่าความชื้น

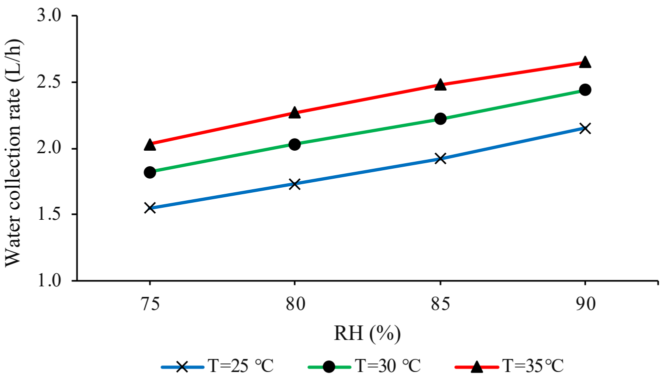
สัมพัทธ์เช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศหรืออากากาศที่มีอุณหภูมิสูง จะส่งผลให้ระบบผลิตน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาก่อน [5,10] โดยอากาศที่อุณหภูมิ 35 °C สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 2.03-2.65 kg/h เนื่องมาจากที่อุณหภูมิสูงนั้นไอน้ำสามารถแทรกตัวอยู่ในอากาศได้ในปริมาณที่สูงกว่าอุณหภูมิต่ำ ซึ่งคุณสมบัติของอากาศในลักษณะนี้สามารถดูได้จากแผนภูมิไซโครเมตริก



ภาพที่ 2 ผลของการปรับอุณหภูมิที่มีต่อการผลิตน้ำจากอากาศ

2. ผลของการปรับความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อการผลิตน้ำจากอากาศ

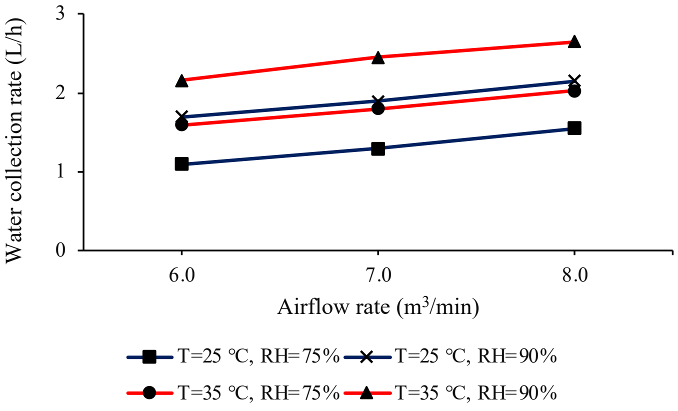
ภาพที่ 3 แสดงถึงผลของการปรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนเข้าระบบผลิตน้ำจากอากาศเพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ได้ โดยทำการปรับค่า ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 75-90% อุณหภูมิที่ 25-35 °C อัตราการไหลอากาศเข้าระบบ 8 m^3/min ผลการศึกษาพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีผลต่ออัตราการผลิตน้ำจากอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสมที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดเกิดขึ้นที่ 90% ในทุกค่าอุณหภูมิ ในขณะที่อัตราการผลิตน้ำต่ำสุดเกิดขึ้นที่ 75% ในทุกค่าอุณหภูมิเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหรืออากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะส่งผลให้ระบบผลิตน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาก่อน [5, 8, 10] โดยอากาศที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 2.15-2.65 kg/h เนื่องมาจากที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงนั้นไอน้ำสามารถแทรกตัวอยู่ในอากาศได้ในปริมาณที่สูงกว่าอุณหภูมิต่ำ ซึ่งคุณสมบัติของอากาศในลักษณะนี้สามารถดูได้จากแผนภูมิไซโครเมตริกเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 3 ผลของการปรับความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อการผลิตน้ำจากอากาศ

3. ผลของการปรับอัตราการไหลของอากาศที่มีต่อการผลิตน้ำจากอากาศ

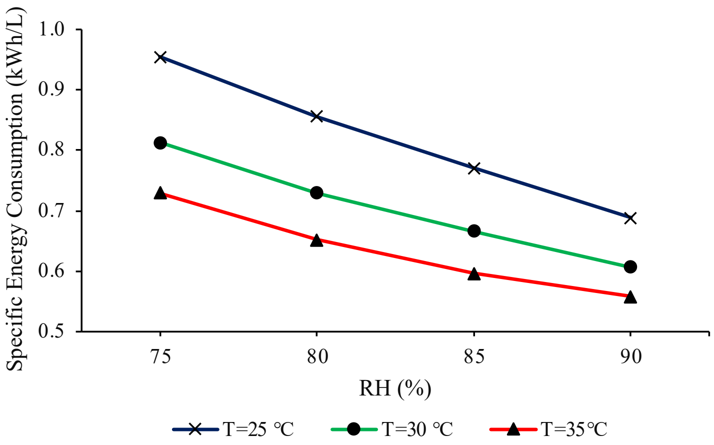
ภาพที่ 4 แสดงถึงผลของการปรับอัตราการไหลของอากาศเข้าระบบผลิตน้ำจากอากาศเพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่ได้ โดยทำการปรับค่าอัตราการไหลของอากาศ 6-8 m^3/min อุณหภูมิที่ 25 และ 35 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 75% และ 90% ผลการศึกษาพบว่า อัตราการไหลของอากาศมีผลต่ออัตราการผลิตน้ำจากอากาศ อัตราการไหลของอากาศที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดเกิดขึ้นที่ 8 m^3/min ทุกสภาพอากาศ ในขณะที่อัตราการผลิตน้ำต่ำสุดเกิดขึ้นที่ 6 m^3/min ทุกสภาพอากาศเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศ จะส่งผลให้ระบบผลิตน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาก่อน [4,9] โดยอากาศที่อัตราการไหลของอากาศ 8 m^3/min สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 1.55-2.65 kg/h



ภาพที่ 4 ผลของการปรับอัตราการไหลของอากาศที่มีต่อการผลิตน้ำจากอากาศ

4. อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ

ภาพที่ 5 แสดงถึงอัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ ซึ่งในอุปกรณ์หลักในระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจะประกอบไปด้วย คอมเพลสเซอร์ พัดลมระบายความร้อนของคอยล์ร้อน และโบลเวอร์ ผลการศึกษาพบว่า อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.56– 0.95 kWh/L อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศต่ำสุดจะเกิดขึ้นที่สภาพอากาศที่มีความชื้นสูงและอุณหภูมิสูง เนื่องจากให้อัตราการผลิตน้ำสูง ส่วนอัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศสูงสุดจะเกิดขึ้นที่สภาพอากาศที่มีความชื้นต่ำและอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากให้อัตราการผลิตน้ำต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [6,11,12] โดยพบว่าอัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.18– 1.78 kWh/L



ภาพที่ 5 อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ

สรุปผลการวิจัย

1. ผลของการปรับอุณหภูมิมีผลต่อการผลิตน้ำจากอากาศ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศหรืออากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้ระบบผลิตน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิเหมาะสมที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดเกิดขึ้นที่ 35 °C สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 2.03-2.65 kg/h

2. ผลของการปรับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีผลต่อการผลิตน้ำจากอากาศ การเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศหรืออากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะส่งผลให้ระบบผลิตน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์เหมาะสมที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดเกิดขึ้นที่ 90% สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 2.15-2.65 kg/h

3. ผลของการปรับอัตราการไหลของอากาศเข้าระบบผลิตน้ำจากอากาศมีผลต่ออัตราการผลิตน้ำจากอากาศ การเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจะส่งผลให้ระบบผลิตน้ำได้เพิ่มสูงขึ้น อัตราการไหลของอากาศที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสูงสุดเกิดขึ้นที่ 8 m^3/min สามารถผลิตน้ำได้สูงสุดที่ 1.55-2.65 kg/h

4. อัตราการใช้พลังงานจำเพาะของระบบผลิตน้ำจากอากาศ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.56– 0.95 kWh/L

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้อนุเคราะห์ให้ทุนสนับสนุนงบประมาณการวิจัย รวมไปถึงเครื่องมือ อุปกรณ์และพื้นที่ในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Alkinani, S. S., El-Amin, M. F., & Brahimi, T. (2022). Numerical modeling and analysis of harvesting atmospheric water using porous materials. Separations, 9(11), 364.

[2] Raveesh, G., Goyal, R., & Tyagi, S. K. (2021). Advances in atmospheric water generation technologies. Energy Conversion and Management, 239, 114226.

[3] Magrini, A., Cattani, L., Cartesegna, M., & Magnani, L. (2015). Integrated systems for air conditioning and production of drinking water–Preliminary considerations. Energy Procedia, 75, 1659-1665.

[4] Patel, J., Patel, K., Mudgal, A., Panchal, H., & Sadasivuni, K. K. (2020). Experimental investigations of atmospheric water extraction device under different climatic conditions. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 38, 100677.

[5] Zolfagharkhani, S., Zamen, M., & Shahmardan, M. M. (2018). Thermodynamic analysis and evaluation of a gas compression refrigeration cycle for fresh water production from atmospheric air. Energy Conversion and Management, 170, 97-107.

[6] Talib, A. J., Khalifa, A. H. N., & Mohammed, A. Q. (2019). Performance study of water harvesting unit working under iraqi conditions. International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, 27(01), 1950011.

[7] Salehi, A. A., Ghannadi-Maragheh, M., Torab-Mostaedi, M., Torkaman, R., & Asadollahzadeh, M. (2020). A review on the water-energy nexus for drinking water production from humid air. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 120, 109627.

[8] Ahmad, F. F., Ghenai, C., Al Bardan, M., Bourgon, M., & Shanableh, A. (2022). Performance analysis of atmospheric water generator under hot and humid climate conditions: drinkable water production and system energy consumption. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 6, 100270.

[9] Fu, H., Xu, W., Liu, Z., & Yan, K. (2022). Fog droplet collection by corona discharge in a needle–cylinder electrostatic precipitator with a water cooling system. Separations, 9(7), 169.

[10] Bagheri, F. (2018). Performance investigation of atmospheric water harvesting systems. Water resources and industry, 20, 23-28.

[11] Peeters, R., Vanderschaeghe, H., Rongé, J., & Martens, J. A. (2020). Energy performance and climate dependency of technologies for fresh water production from atmospheric water vapour. Environmental Science: Water Research & Technology, 6(8), 2016-2034.

[12] Homdoung, N., Sasujit, K., Thararux, C. (2022). Development prototype of water agricultural generated system from air with using ground coolant and solar energy final report.

ความคุ้มค่าระบบพลังงานหมุนเวียนทุกช่วงเวลาในการเลี้ยงปลาพร้อมปลูกพืชแบบไม่แช่น้ำ

The Value of NZEB All Time for Aquaponic

ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ
Yodphatarachai Kanitpunyacharoen

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
Engineering Management, Faculty of Industrial Technology
Uttaradit Rajabhat University
Corresponding author: 063 395 5198 E-mail: kunrda@uru.ac.th

Abstract

The Value of Renewable Energy Systems at All Times in Aquaponics aims to develop a prototype of a renewable energy system for aquaponics purposes and to test whether such a system is worthwhile by using an experimental research method of raising tilapia with mint and watercress. It was observed that the power generation and storage sources could simultaneously supply power from solar cells and the power grid continuously and sufficiently for all usage times, with a payback period of 1.02 to 1.93 years. To achieve continuous cash flow and profitability throughout the year, a minimum budget of 21,000 baht per year is recommended. Moreover, the sales volume of the product should exceed 260 kilograms per year at a selling price of at least 60 baht per kilogram. With the discount rate set at 10 percent, one should expect a payback period of 3 years, an investment return of 1.4 percent, a benefit-cost ratio of 1.33, a net present value of 475 baht, and an internal return of 10.81 percent.

Keyword: Renewable Energy, Aquaponic, NZEB, All Time

บทคัดย่อ

ความคุ้มค่าระบบพลังงานหมุนเวียนทุกช่วงเวลาในการเลี้ยงปลาพร้อมปลูกพืชแบบไม่แช่น้ำ มีเป้าประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบการใช้พลังงานหมุนเวียนทุกช่วงเวลาในการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่แช่น้ำและประเมินความคุ้มค่าระบบผลิตพลังงานด้วยวิธีวิจัยเชิงทดลองปฏิบัติการจากการเลี้ยงปลานิลร่วมกับการปลูกสาระแหน่และวอเตอร์เครส พบว่า แหล่งผลิตและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าสามารถผสมผสานการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้อย่างต่อเนื่องเพียงพอต่อการใช้งานทุกช่วงเวลา มีระยะเวลาคืนทุน 1.02–1.93 ปี เมื่อต้องการให้เกิดความคุ้มค่าอย่างต่อเนื่องและมีกระแสเงินสดหมุนเวียนตลอดปี ควรตั้งงบลงทุนไม่น้อยกว่า 21,000 บาทต่อปี มีปริมาณการขายผลผลิตไม่น้อยกว่า 260 กิโลกรัมต่อปี ด้วยราคาขายไม่น้อยกว่า 60 บาทต่อกิโลกรัม กำหนดอัตราลดมูลค่าเงินอยู่ที่ร้อยละ

10 จะก่อให้เกิดระยะเวลาคืนทุน 3 ปี มีค่าผลตอบแทนจากการลงทุน ร้อยละ 1.4 มีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินทุน 1.33 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 475 บาท และมีผลตอบแทนภายใน ร้อยละ 10.81

คำสำคัญ: พลังงานหมุนเวียน, เลี้ยงปลา, ปลูกผัก, การใช้พลังงานเข้าใกล้ศูนย์, 24 ชั่วโมง

บทนำ

การเลี้ยงปลาในบ่อประดิษฐ์ที่มีพื้นที่จำกัด จำเป็นต้องมีระบบรักษาปริมาณออกซิเจนในน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ และสารแขวนลอยในน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมและเพียงพอต่อปริมาณปลาภายในบ่อและต้องรักษาอย่างต่อเนื่องทุกช่วงเวลา เนื่องจากบ่อประดิษฐ์มีขนาดและพื้นที่เฉพาะแตกต่างจากพื้นที่ทางธรรมชาติที่มีขนาดและพื้นที่ใหญ่ [1] ดังนั้นการเลี้ยงปลาในบ่อประดิษฐ์ในพื้นที่จำกัดต้องอาศัยอุปกรณ์การทำงานเพื่อควบคุมค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในน้ำและจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าทุกช่วงเวลาให้กับอุปกรณ์ควบคุม ก่อเกิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าในการเลี้ยงปลา [2] ดังนั้นหากสามารถสร้างแนวทางการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า และใช้ประโยชน์จากน้ำในการเลี้ยงปลาให้เป็นรายได้จักเป็นประโยชน์สูงสุดในการเลี้ยงปลา

การใช้ประโยชน์จากน้ำในการเลี้ยงปลาปัจจุบันมีการนำน้ำหมุนเวียนมาเพาะปลูกผักเพื่อสร้างรายได้ เรียกว่าระบบอควาโปนิกส์ [3] ด้านพลังงานไฟฟ้าได้นำพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในช่วงเวลากลางวันเพื่อลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า หากแต่ในช่วงเวลาไม่มีแสงอาทิตย์ยังคงต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าปกติทำให้มีค่าใช้จ่ายอยู่ในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้นต้องดำเนินการจัดทำระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าสำหรับช่วงเวลากลางคืนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวันให้เพียงพอเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางคืนจากแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าปกติ [4] รวมทั้งต้องมีระบบรักษาปริมาณพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาแสงอาทิตย์อ่อนหรือไม่มีในช่วงเวลากลางวันพร้อมด้วย เพื่อรักษาคุณภาพและปริมาณน้ำในระบบการเลี้ยงปลาพร้อมปลูกผักให้เหมาะสมทุกช่วงเวลา [5] และจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีระบบการติดตามและตรวจสอบอย่างมีประสิทธิภาพ ประสิทธิผล [6]

การตระหนักถึงการรักษาคุณภาพและปริมาณน้ำในระบบการเลี้ยงปลาพร้อมปลูกพืชรวมทั้งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมด้วยนั้นจำเป็นต้องแสวงหาแนวทางการสร้างแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าที่พร้อมใช้งานตลอดเวลารวมทั้งต้องศึกษาถึงความคุ้มค่าของการสร้างแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าทุกช่วงเวลาหากแต่ต้องมีค่าใช้จ่ายพลังงานที่น้อยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมพร้อมไปด้วย งานวิจัยนี้จึงมุ่งมั่นใช้พลังงานหมุนเวียนทุกช่วงเวลาในการเลี้ยงปลาพร้อมปลูกผักแบบไม่แช่น้ำซึ่งระบบพลังงานที่สร้างขึ้นต้องให้มีความโดดเด่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีระบบการผสมผสานแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าปกติร่วมตลอดเวลาเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ทำงานได้ทุกช่วงเวลาอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งอุปกรณ์ทำงานเพื่อควบคุมคุณภาพและปริมาณน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งหมด ทำให้การบำรุงรักษาง่าย สามารถจัดหาได้ในท้องถิ่น ใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงานน้อย และมีประสิทธิภาพดี

วิธีการวิจัย

การศึกษาความคุ้มค่าระบบพลังงานหมุนเวียนทุกช่วงเวลาในการเลี้ยงปลาพร้อมปลูกพืชแบบไม่แช่น้ำมีวิธีวิจัยแบบเชิงทดลองปฏิบัติการจริงเพื่อให้ได้ต้นแบบการทำงานและผลการปฏิบัติการที่สอดคล้องกับเป้าหมายการวิจัย โดยมีการดำเนินการดังนี้

1. ออกแบบและสร้างระบบบ่อหรือถังเลี้ยงปลาและระบบถังบำบัดน้ำเลี้ยงปลา

ระบบบ่อหรือถังเลี้ยงปลาในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบลักษณะถังหรือบ่อเลี้ยงปลาสำหรับปลานิลแบบทรงกระบอก กว้าง 90 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร ขนาดปลานิล 1 กิโลกรัม จำนวน 10 ตัว ด้วยอัตราส่วนระหว่างปลานิล 1 ตัว ต่อปริมาณน้ำ เท่ากับปลานิล 1 ตัว ต่อน้ำ 10 ลิตร ซึ่งขนาดถังที่ได้ต้องไม่น้อยกว่า 100 ลิตร ที่มีการติดตั้งชุดดูดมูลปลาแบบแรงดันธรรมชาติพร้อมกับการรักษาระดับน้ำภายในถังหรือบ่อเลี้ยงปลา และติดตั้งอุปกรณ์เติมอากาศภายในถังหรือบ่อเลี้ยงปลา ขนาด 38 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 ตัว ต่อด้วยติดตั้งระบบบำบัดน้ำ ขนาด 100 ลิตร ภายในถังบำบัดน้ำบรรจุหินภูเขาไฟ จำนวน 5 กิโลกรัม แผ่นกรองหยาบ จำนวน 1 ชั้น แผ่นกรองละเอียด จำนวน 1 ชั้น พร้อมกับติดตั้งถังพักน้ำหลังการบำบัดน้ำและปั๊มน้ำเพื่อไหลเวียนน้ำกลับไปยังถังหรือบ่อเลี้ยงปลาและแปลงปลูกผัก ขนาด 8 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 ตัว (ดังภาพที่ 1)

2. ออกแบบและสร้างระบบปลูกผักแบบไม่แช่น้ำด้วยท่อพีวีซีพร้อมระบบการไหลเวียนน้ำ

ระบบปลูกผักแบบไม่แช่น้ำด้วยท่อพิวีซี ขนาด 4 นิ้ว ยาว 200 เซนติเมตร จำนวน 4 ท่อน ทำการเจาะรูหรือช่องปลูกผัก จำนวน 20 รูหรือช่องต่อท่อน โดยจัดทรงรูหรือช่องให้ปากขยายและเอียงขนานกับแนวท่อเท่ากับขนาดถ้วยปลูกผัก ขนาด 35 เซนติเมตร แล้วทำการติดตั้งท่อพิวีซีสำหรับปลูกผักไว้กับคานระยะห่างแต่ละท่อน 60-70 เซนติเมตร ด้านล่างติดตั้งอ่างพลาสติกรวบรวมน้ำและพักน้ำ พร้อมกับติดตั้งปั๊มน้ำ ขนาด 8 ลิตรต่อนาที จำนวน 1 ตัว เพื่อไหลเวียนน้ำกลับไปยังถังหรือบ่อเลี้ยงปลา (ดังภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 ระบบถังหรือบ่อเลี้ยงปลา ถังบำบัดน้ำเลี้ยงปลา และแปลงปลูกพืชแบบไม่แช่น้ำ

3. ออกแบบและสร้างระบบควบคุมการไหลเวียนน้ำเลี้ยงปลาพร้อมการให้น้ำแปลงปลูกผักแบบไม่แช่น้ำ

การควบคุมการไหลเวียนน้ำภายในถังหรือบ่อเลี้ยงปลาพร้อมกับการให้น้ำแปลงปลูกผัก ด้วยการใช้วาล์วไฟฟ้าในการควบคุมการให้น้ำผัก จำนวน 2 ตัว ติดตั้ง ณ บนท่อพีวีซีของแปลงปลูกผัก จำนวน 1 ตัว และติดตั้งบริเวณอ่างพลาสติกรวบรวมน้ำ จำนวน 1 ตัว โดยกำหนดให้สลับการทำงานตามช่วงเวลาของการให้น้ำของพืชที่ปลูก ที่สั่งการจากอุปกรณ์ควบคุมเวลาการให้น้ำพืชแบบอัตโนมัติ ซึ่งมีปั๊มน้ำที่ได้ติดตั้งไว้ที่ถังพักน้ำหลังการบำบัดน้ำของบ่อเลี้ยงปลาและปั๊มน้ำที่ได้ติดตั้งไว้ที่อ่างพลาสติกรวบรวมน้ำของแปลงปลูกผักสำหรับการสร้างการไหลเวียนน้ำทั้งน้ำในการเลี้ยงและการให้น้ำพืช ทั้งนี้ระดับน้ำจะถูกควบคุมให้อยู่ในระดับที่กำหนดไว้ด้วยลูกลอยไฟฟ้าเพื่อเปิดทางแหล่งน้ำที่เชื่อมท่อน้ำเข้าจากภายนอกที่มีคุณภาพเหมาะสมกับการเลี้ยงปลาไว้เพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยหายไปในการไหลเวียนน้ำโดยติดตั้งไว้ ณ ถังพักน้ำหลังการบำบัดน้ำของถังหรือบ่อเลี้ยงปลา (ดังภาพที่ 2)

ภาพที่ 2 ระบบควบคุมการไหลเวียนน้ำเลี้ยงปลาพร้อมการให้น้ำแปลงปลูกผักแบบไม่แช่น้ำ

4. ออกแบบและสร้างระบบผลิตและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบเลี้ยงปลาพร้อมปลูกผักแบบไม่แช่น้ำ (ดังภาพที่ 3) มีการใช้พลังงานรวมต่อวัน 1,542.80 วัตต์ต่อวัน (ดังตารางที่ 1) ค่าที่บอกความสามารถของแบตเตอรี่ (Depth Of Discharge) กำหนดไว้ 80 เปอร์เซ็นต์ ขนาดของแบตเตอรี่ 12 โวลต์ 120 Ah จำนวน 1 ลูก เนื่องจากความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน อยู่ในช่วง 0 – 4 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน (ดังตารางที่ 2) ขนาดอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่ 12 V 30 A จำนวน 1 ตัว และขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 445 วัตต์ แบบโมโนฮาร์ดเซลล์ จำนวน 1 แผ่น (ดังตารางที่ 3)

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ในระบบเลี้ยงปลาพร้อมปลูกผักแบบไม่แช่น้ำ

อุปกรณ์	พิกัด	จำนวน	ชั่วโมงใช้งาน	พลังงานรวม
ปั๊มออกซิเจน	12 Vdc 18 W 18 LPM	1	19	342.00 W/d
ปั๊มน้ำ	12 VDC 19 W 8 LPM	2	19	722.00 W/d
วาล์วควบคุมน้ำ	12 Vdc 0.1 A 1.2 W	2	19	45.60 W/d
อุปกรณ์ควบคุมเวลา	12 Vdc 2 A 24 W	1	19	456.00 W/d
	พลังงานรวมต่อวัน			1,565.60 W/d

ตารางที่ 2 ความต้องการขนาดแบตเตอรี่

ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน	กำลังสูงสุด	แรงดันระบบต่ำสุด
0 – 4	0 – 1	12
2 – 6	1 - 2	24
4 – 12	2 – 4	48
8+	4 – 8	60+

ที่มา : [7]

ตารางที่ 3 อุปกรณ์ระบบแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

อุปกรณ์	ขนาด	จำนวน
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	445 W, Mono Half Cell	1
Vmp 41.20 V, Imp 10.81 A, Voc 49.00 V, Isc 11.54 A		
แบตเตอรี่ Deep Cycle	12 Vdc 120 Ah	1
อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ	12-24 Vdc 30 A	1
อุปกรณ์ควบคุมเวลาให้น้ำผัก	12 Vdc 2 A 24 W	1
สวิทย์ชิ่ง	Input 220 Vac output 24 Vdc 30 A	1
ไดโอดบริดจ์	50 A, 1000 V, 3 phase rectifiers	1
คาปาซิเตอร์	1000 μF, 450 Vdc	1

การกำหนดขนาดแบตเตอรี่

$$Wh_{batt} = \frac{E_{demand}}{Use_{DoD}} \quad (1)$$

= 1,565.60 / 0.6

= 2,609.33 Wh

= 2.6 kWh

การกำหนดความจุแบตเตอรี่

$$Ah_{batt} = \frac{\text{ความจุพลังงานของแบตเตอรี่ที่ต้องการ}}{\text{แรงดันแบตเตอรี่ของระบบ}} \quad (2)$$

= 2,609.33 / 12

= 217.44 Ah

การกำหนดขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$Watt_{PV} = \frac{\left[\frac{\text{ความต้องการพลังงานต่อวัน}}{\text{อัตราส่วนสมรรถนะเซลล์แสงอาทิตย์}}\right]}{PSH} \quad (3)$$

= (1,565.60/0.65)/5.0

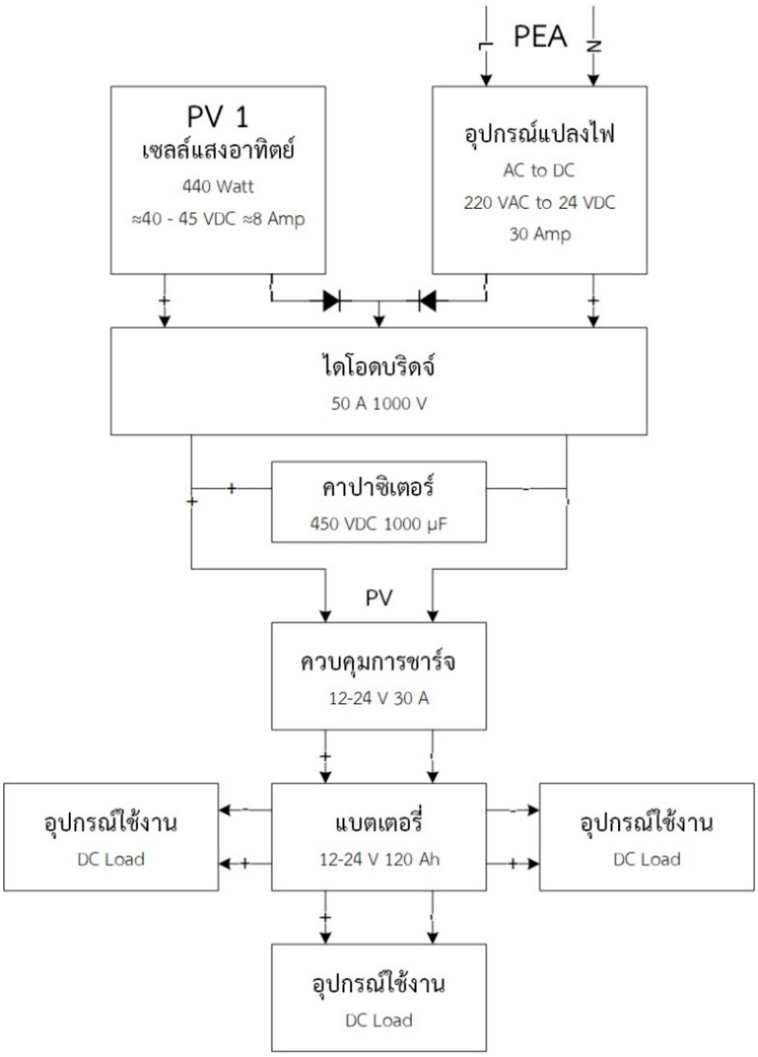
= 481.72 Watt

การกำหนดขนาดอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จประจุ

$$Amp._{charger} = \frac{\text{กำลังวัตต์สูงสุดของแผงเซลล์}}{\text{แรงดันสูงสุดของแผงเซลล์}} x \text{ ร้อยละระดับพลังงานสูงสุดของแผงเซลล์} \quad (4)$$

= (445 / 49.00) x 1.2

= 10.90 Amp.

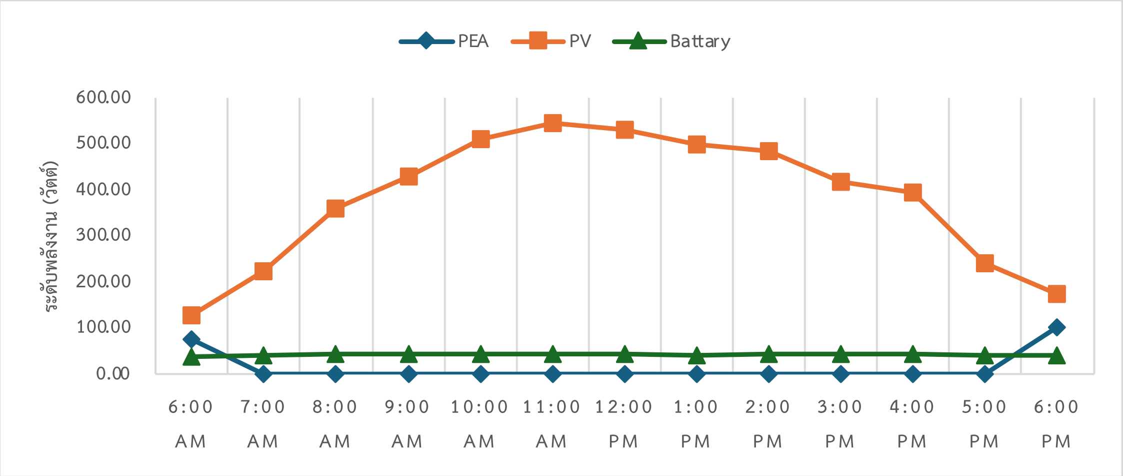


ภาพที่ 3 ระบบผลิตและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การประเมินความคุ้มค่าการใช้พลังงานหมุนเวียนทุกช่วงเวลาสำหรับเลี้ยงปลาพร้อมปลูกผักแบบไม่แช่น้ำ ครั้งนี้ดำเนินการในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม 2566 พบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่โดยรวมในช่วงเวลา 06.00 นาฬิกา ถึง ช่วงเวลา 18.00 นาฬิกา เท่ากับ 545.45 วัตต์ โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 41.96 วัตต์ต่อชั่วโมง การใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด 44.64 วัตต์ ช่วงเวลา 10.00 นาฬิกาและการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยสุด 38.85 วัตต์ ช่วงเวลา

06.00 นาฬิกา (ดังภาพที่ 1 และตารางที่ 4) หากพิจารณาตามขนาดพิกัดของแบตเตอรี่ที่ได้ติดตั้งไว้ 12.00 โวลต์ 120 แอม-ชั่วโมง จะได้พลังงานทั้งหมดของแบตเตอรี่ เท่ากับ 1,440 วัตต์ (1.440 กิโลวัตต์) การใช้พลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่โดยรวมคิดเป็นร้อยละ 37.88 ของพลังงานทั้งหมดที่มีอยู่ในแบตเตอรี่ รวมทั้งพบว่าแรงดันแบตเตอรี่ในช่วงเวลาข้างต้น มีแรงดันพลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ย 14.36 โวลต์ สูงสุด 14.98 โวลต์ และน้อยสุด 13.35 โวลต์ แสดงถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวมีการดึงพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 13.51 วัตต์ และในช่วงเวลาตั้งแต่ 7.00 นาฬิกา ถึง 5.00 นาฬิกา ไม่มีการดึงพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (ดังภาพที่ 1 และตารางที่ 4)



ภาพที่ 4 การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และการใช้งานพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 4 การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และการใช้พลังงานไฟฟ้า

ช่วงเวลา	PEA			PV			แบตเตอรี่		
	แรงดัน	กระแส	พลังงาน	แรงดัน	กระแส	พลังงาน	แรงดัน	กระแส	พลังงาน
06:00 am	235.12	0.32	75.24	38.51	3.34	128.62	13.35	2.91	38.85
07:00 am	233.32	0.00	0.00	40.23	5.58	224.48	14.45	2.90	41.91
08:00 am	225.35	0.00	0.00	42.02	8.55	356.27	14.48	2.97	43.01
09:00 am	235.53	0.00	0.00	43.11	9.98	430.24	14.55	2.89	42.05
10:00 am	233.45	0.00	0.00	45.89	11.10	506.38	14.98	2.98	44.64
11:00 am	232.41	0.00	0.00	45.55	11.98	545.69	14.78	2.95	43.60
12:00 pm	234.55	0.00	0.00	45.88	11.56	530.37	14.59	2.96	43.19
13:00 pm	233.45	0.00	0.00	43.56	11.45	498.76	14.68	2.78	40.81
14:00 pm	232.41	0.00	0.00	44.89	10.78	483.91	14.56	2.93	42.66
15:00 pm	235.43	0.00	0.00	41.95	9.95	417.40	14.45	2.95	42.63
16:00 pm	233.54	0.00	0.00	43.87	8.97	393.51	14.38	2.97	42.71
17:00 pm	230.53	0.00	0.00	40.78	5.89	240.19	13.65	2.89	39.45
18:00 pm	233.40	0.43	100.36	39.98	4.32	172.71	13.78	2.90	39.96
เฉลี่ย	232.96	0.06	13.51	42.79	8.73	379.58	14.36	2.92	41.96
สูงสุด	235.53	0.43	100.36	45.89	11.98	545.69	14.98	2.98	44.64
ต่ำสุด	225.35	0.00	0.00	38.51	3.34	128.62	13.35	2.78	38.85

ช่วงเวลา	PEA			PV			แบตเตอรี่		
	แรงดัน	กระแส	พลังงาน	แรงดัน	กระแส	พลังงาน	แรงดัน	กระแส	พลังงาน
SD	2.67	0.14	33.37	2.44	2.96	143.22	0.47	0.05	1.71
รวมต่อวัน	-	-	175.60	-	-	4,934.56	-	-	545.45

ผลการใช้พลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งผลิตและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในการเลี้ยงปลาข้างต้นมีการดึงพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นส่วนน้อยอาจเป็นเพราะมีการใช้ไดโอดแบบโมดูลเพื่อรวมพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่มีศักยภาพสูงกว่าเป็นสำคัญสอดคล้องกับผลการศึกษาของวิจัยหลายท่านในการใช้วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ชนิดเต็มคลื่นระหว่างไดโอด 4 ตัว เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสามารถทำให้ประหยัดพลังงานในระบบได้อย่างมีนัยยะสำคัญ [8], [9], [10], [11] รวมทั้งสอดคล้องกับผลการเพิ่มผลิตภาพพลังงานกับการเพิ่มผลิตภาพแรงงาน [2] นั้นควรให้ความสำคัญในการเพิ่มผลิตภาพของการลดใช้พลังงานในการผลิตจะสามารถทำให้สร้างมูลค่าทางการเงินในการประกอบกิจการและเป็นประโยชน์ต่อภาพลักษณ์ที่ดีให้กับองค์กร

ด้านการปลูกพืชแบบไม่แช่น้ำ พบว่า ระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่แช่น้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ระยะเวลา 2 เดือน ความหนาแน่นการเลี้ยงปลานิลเริ่มต้น 50 ตัว การให้อาหารเม็ดร่วมกับแหนแดงและใบไชยา พบว่าปลานิลมีอัตราการรอดตายร้อยละ 80 มีการเจริญเติบโตดีตามปกติ ด้านผลการทดลองปลูกสาระแหน่ และวอเตอร์เกรสแบบแนวตั้ง จำนวนหลุมปลูกทั้งสิ้น 84 หลุม มีการตั้งเวลารดน้ำอัตโนมัติ พบว่า สาระแหน่ และ วอเตอร์เกรสมีการเจริญเติบโตที่ดี มีขนาดของใบ และน้ำหนักเพิ่มขึ้น อายุการเก็บเกี่ยวผลผลิต สาระแหน่ และวอเตอร์เกรส สามารถเก็บเกี่ยวได้ภายใน 14 วัน ส่งผลให้ในรอบ 1 เดือนสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ 2 รอบ และการวัดคุณภาพน้ำ pH ที่วัดได้ดังนี้ ถังเลี้ยงปลา 6.92 ถังบำบัด 6.83 ถังกักเก็บน้ำ 6.87 และแปลงเพาะปลูกแนวตั้ง 6.87 ซึ่งเหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืช (ดังภาพที่ 5 และ 6)

ภาพที่ 5 การเลี้ยงปลานิล

ภาพที่ 6 การปลูกผักแบบไม่แช่น้ำ

ผลการเลี้ยงปลา จำนวน 40 – 50 ตัว พร้อมปลูกพืชแนวตั้งแบบไม่แช่น้ำ จำนวน 4 แถว 80 – 100 หลุม พบว่าสามารถปลูกพืชได้หลากหลายชนิด อาทิ ผักคะน้า ผักแพว ใบชะพู สาระแหน่ วอเตอร์เครส เป็นต้น โดยมิต้องเพิ่มเติมสารอาหารใด ๆ ซึ่งจากการตรวจสอบคุณภาพน้ำเกี่ยวกับความเป็นกรด-ด่าง (pH 6.75) อยู่ในสภาวะเป็นเหมาะสมกับการปลูกพืช (ดังภาพที่ 7) โดยช่วงเวลาการดำเนินการเลี้ยงปลาในระยะเวลา 1 เดือน สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตสาระแหน่และวอเตอร์เครสได้ถึง 2 ครั้งต่อเดือน และเมื่อนำไปจำหน่ายให้กับผู้สนใจสามารถขายได้ในราคา 80 – 100 บาท หรือสูงกว่าขึ้นอยู่กับช่วงเวลาทางการตลาดในขณะนั้น ๆ ทำให้เกิดเป็นรายได้ต่อปีโดยประมาณ 3,500 – 3,800 บาท และเมื่อสิ้นปีจักสามารถจับปลาขายได้อีกทางหนึ่งเกิดเป็นรายได้เพิ่มขึ้น 1,900 – 2,000 บาท รวมรายได้ทั้งสิ้นหากดำเนินการตลอดปีสามารถสร้างรายได้จากระบบการเลี้ยงปลาพร้อมปลูกพืชที่ได้สร้างขึ้นเป็นต้นแบบถึง 9,000 – 17,800 บาทต่อปี มีระยะเวลาคืน 1 ปี (ดังตารางที่ 5) สอดคล้องกับผลการศึกษาการทำสวนครัวยุดใหม่ [12] จากการปลูกผักร่วมเลี้ยงปลาเป็นเส้นทางสู่ความอยู่เย็นเป็นสุขเนื่องจากทำได้ง่าย สะดวกต่อการจัดการ ใช้แรงงานน้อย ใช้น้ำน้อย ลดขยะ รวมทั้งสามารถทำให้การเข้าถึงผักปลอดภัยได้ง่ายขึ้น สามารถปลูกพืชได้ตามความต้องการ

ภาพที่ 7 การเก็บเกี่ยวผลผลิตการปลูกผัก การตรวจวัดคุณภาพน้ำ และการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 5 ความคุ้มค่าการเลี้ยงปลาพร้อมปลูกผักแบบไม่แช่น้ำ

ชนิดพืช	**กำลังผลิต**		**ระยะเก็บเกี่ยว**	**ราคา**		**รายได้**	
	กรัม		วัน	บาทต่อกิโลกรัม		น้อยสุด	มากสุด
สะระแหน่	2,000	2,500	15	80	90	160.00	225.00
				รวมต่อปี		3,840.00	5,400.00
วอเตอร์เครส	1,500	2,000	15	100	200	150.00	400.00
				รวมต่อปี		3,600.00	9,600.00
ชนิดปลา	**กำลังผลิต**		**ระยะเวลาการจับ**	**ราคา**		**รายได้**	
	ตัว		วัน	บาทต่อกิโลกรัม		น้อยสุด	มากสุด
ปลานิล	40	50	365	60	70	1,920.00	2,800.00
	น้ำหนักต่อตัว		0.8				
	รวมรายได้ทั้งหมดต่อปี (บาท)					9,360.00	17,800.00
	งบพัฒนาระบบ (บาท)					18,080	
	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)					1.93	1.02

แนวทางการลงทุนที่สามารถดำเนินงานเพื่อการแข่งขันได้ที่ต้องมีแหล่งผลิตพลังงานที่มีประสิทธิภาพ สามารถลดใช้พลังงานไฟฟ้าพร้อมทั้งสามารถขยายผลการเป็นผู้ประกอบการได้ในอนาคต [13], [14], [15] ภายใต้สถานการณ์และเงื่อนไขต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องของการบริหารจัดการในการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่แช่น้ำข้างต้น อาทิ กำหนดงบลงทุนเบื้องต้นโดยรวมต่อปีไว้ที่ 21,000 บาท แยกเป็นค่าใช้จ่ายเครื่องมืออุปกรณ์ จำนวน 20,000 บาทต่อปี และเงินทุนหมุนเวียนเพื่อดูแลระบบและปัจจัยการผลิตที่เกี่ยวข้อง 1,000 บาทต่อปี ควรมีปริมาณการขายโดยรวมต่อปี 260 กิโลกรัม ราคาขายกิโลกรัมละ 60 บาท จักสามารถทำให้เกิดเป็นผลตอบแทนการลงทุนและมีเงินสดหมุนเวียน (Cash Flow) อยู่ในสภาวะที่สามารถแข่งขันได้อย่างปลอดภัยและเหมาะสม โดยจะมีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) อยู่ที่ 3.11 ปี ค่าผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on Investment; ROI) ร้อยละ 1.4 ภายใต้อัตราคิดลดหรือค่าปรับเพิ่มหรือลดมูลค่าของเงินเมื่อผ่านกาลเวลา (Discounted Rate) ร้อยละ 10 มีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินทุน เท่ากับ 1.33 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV) อยู่ที่ 475 บาท และตัวชี้วัดผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return; IRR) อยู่ที่ร้อยละ 10.81

สรุปผลการวิจัย

ความคุ้มค่าการใช้พลังงานหมุนเวียนทุกช่วงเวลาสำหรับเลี้ยงปลาพร้อมปลูกผักแบบไม่แช่น้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่แช่น้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และเพื่อศึกษาความคุ้มค่าการใช้แหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับเลี้ยงปลาพร้อมปลูกผักแบบไม่แช่น้ำ ด้วยการวิจัยแบบเชิงทดลอง เริ่มด้วยการออกแบบระบบเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชแบบไม่แช่น้ำ จากนั้นออกแบบระบบแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อด้วยการเลี้ยงปลานิลเพื่อให้เกิดสารอาหารสำหรับพืช เมื่อได้สารอาหารในระดับที่เหมาะสมทำการสำรวจพืชที่เหมาะสมกับคุณภาพและปริมาณสารอาหารเพื่อปลูกพืชในระบบ สุดท้ายดำเนินการรวบรวมข้อมูลการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชและติดตามพร้อมตรวจสอบการทำงานของระบบทั้งหมด พบว่า ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วย

เซลล์แสงอาทิตย์มีระดับพลังงานไฟฟ้าเพียงพอตลอดเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ ปลาที่เลี้ยงในระบบมีการเจริญเติบโตอยู่ในเกณฑ์ดีทั้งขนาดและน้ำหนักสอดคล้องกับระยะเวลาการเลี้ยงโดยทั่วไป ด้านพืชที่ปลูกเจริญเติบโตดี ได้ปริมาณและน้ำหนักที่ดี เมื่อนำไปจำหน่ายสอดคล้องกับความต้องการของตลาด รวมทั้งมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 1.02-1.93 ปี ทั้งหากต้องการทำเป็นกิจการจำเป็นต้องมีปริมาณการขายผลผลิตต่อปีไม่น้อยกว่า 260 กิโลกรัม ด้วยราคาขายไม่ต่ำกว่า 60 บาทต่อกิโลกรัม

ข้อเสนอแนะควรศึกษาการเลี้ยงปลาและพืชอื่น ๆ เพิ่มขึ้น ร่วมทั้งพัฒนาวิธีการเพิ่มสารอาหารที่ไม่ได้จากการเลี้ยงปลาสำหรับพืชให้ครอบคลุมกับความต้องการของพืช ด้านระบบผลิตและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ควรพัฒนาระบบควบคุมระดับคุณภาพแบตเตอรี่ให้มีความสัมพันธ์กับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมทั้งระบบควบคุมการชาร์จประจุด้วยกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคให้มีความสัมพันธ์กับระดับความสามารถการคายประจุของแบตเตอรี่เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าของระบบที่เหมาะสมอย่างต่อเนื่อง

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยความคุ้มค่าการใช้พลังงานหมุนเวียนทุกช่วงเวลาสำหรับเลี้ยงปลาพร้อมปลูกผักแบบไม่แช่น้ำประสบผลสำเร็จและลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัยจากโครงการชุมชนภิวัตน์ภายใต้แผนงานยุทธศาสตร์เป้าหมาย (Spearhead) ด้านสังคม คนไทย 4.0 คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปี พ.ศ. 2566 ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ผู้วิจัยหวังอย่างยิ่งการศึกษาวิจัยนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้สนใจศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] ชำนาญ ขวัญสกุล. (2567). ความหนาแน่นที่เหมาะสมของการปลูกผักบุ้งจีนร่วมกับการเลี้ยงปลานิลด้วยระบบอควาโปรนิกส์. **วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร**. 41(1), 52–64.

[2] Yongxiang Shi, Junmeng Lyu, Julie T.Miao, Zhiwei Lian and Li Lan. (2024). Energy saving first or productivity first? – Maximize the economic benefits of urban office buildings. **Journal of Energy & Buildings**. 320, 1-10.

[3] ธีระรัตน์ ชิณแสน นภาพร เวชกามา จักรกฤษณ์ วรรณวิชิต เมวิกา อันทะลัย อภิชาต ออมอด และเกศศิรินทร์ แสงมณี. (2560). ผลการใช้น้ำเหลือทิ้งจากการเลี้ ยงปลาดุกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ในระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินแบบสารละลายธาตุอาหารไม่หมุนเวียน. **วารสารเกษตรพระวรุณ**. ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน, 71-81.

[4] Samvid Parajili, Tek Narayan Bhattarai, Shiva Gorjian, Meththika Vithanage and Shukra Raj Paudel. (2023). Assessment of potential renewable energy alternatives for a typical greenhouse aquaponics in Himalayan Region of Nepal. **Journal of Applied Energy**. 344, 1-22.

[5] Praveen Chandramenon, Amar Aggoun and Fideline Tchuenbou-Magaia. (2024). Smart approaches to Aquaponics 4.0 with focus on water quality-Comprehensive review. **Journal of Computers and Electronics in Agriculture**. 255, 1-12.

[6] M.M.M. Mahmoud, Rania Darwish and A.M. Bassiuny. (2023). Development of an economic smart aquaponic system based on IoT. **Journal of Engineering Research**. article in press, 1-9.

[7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. (2567). **การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์**. สืบค้นเมื่อ 6 กรกฎาคม 2566, จาก https://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%20%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%9C%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%88%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B9%81%E0%B8%AA%E0%B8%87%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%97%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%A2%E0%B9%8C%20BLN_0.pdf

[8] ปฏิญาณ เกิดลาภ ชุติพนธ์ อู่ยายโสม และกนกพร รอดแสวง. (2557). การศึกษาการใช้พลังงานของวงจรเรียงกระแสแบบบริดส์ชนิดเต็มคลื่นระหว่างไดโอด 4 ตัว และไดโอดแบบโมดูลสำหรับแหล่งจ่ายไฟของหลอดไฟฟ้าแอลอีดี. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอิสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน, 123-130.

[9] Felice Maiorce, Fabio Giusa, Carlo Trigona and Bruno Ando. (2013). Diode-less mechanical H-Bridge rectifier for “zero threshold” vibration energy harvesters. **Journal of Sensors and Actuators A.** 201, 246-253.

[10] Marco Bllato, Luigi Costanzo and Massimo Vitelli. (2017). Resonant electromagnetic vibration harvesters: Determination of the equivalent electric circuit parameters and simplified closed-from analysis for the identification of the optimal diode bridge rectifier DC load. **Journal of Electrical Power and Energy Systems**. 84, 111-123.

[11] Andoni Ustasun, Pablo Sanchis, Idoia San Martin, Jesus Lopez and Luis Marroyo. (2013). Modeling of small wind turbines based on PMSG with diode bridge for sensorless maximum power tracking. **Journal of Renewable Energy**. 55, 138-149.

[12] กมล เลิศรัตน์. (2557). สวนครัวยุคใหม่ปลูกผักร่วมกับเลี้ยงปลา: เส้นทางสู่ความอยู่เย็นเป็นสุขของสังคมไทยอย่างยั่งยืน. **วารสารแก่นเกษตร.** 42 (3), 265-270.

[13] S.A. Gillani, R. Abbasi, P. Martinez and R. Ahmad. (2022). Review on Energy Efficient Artificial Illumination in Aquaponics. **Journal of Cleaner and Circular Bioeconomy**. 2, 1-11.

[14] Wenjing Zhao, Chang Liu, Daoliang Li and Yingying Zheng. (2024). Energy-saving techniques in urban aquaponics farms by optimizing equipment operating scheme. **Journal of Aquaculture**. 587, 1-11.

[15] Yingying Zheng, Wenjing Zhao, Monika Varga and Daoliang Li. (2024). Stochastic energy management of large industrial-scale aquaponics considering robust optimization-based demand response program. **Journal of Applied Energy**. 374, 1-13.

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ระบบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเพื่อการแปรรูปน้ำพริกหนุ่มในระดับวิสาหกิจชุมชน

Economic analysis of Freeze Drying System for Northern Thai Green Chili Dip Processing in Community Enterprise

จักรพรรณ คงธนะ[1] ชูรัตน์ ธารารักษ์[1] กิตติกร สาสุจิตต์[1] และนิกราน หอมดวง[1*]

[1]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290
School of Renewable Energy, Maejo University, 63 Village No.4, Nong Han Subdistrict, San Sai District, Chiang Mai Province 50290
[*]Corresponding author: Tel.: +66 84 177 3632. E-mail address: nigran@mju.ac.th

Abstract

This research aimed to investigate the Economic analysis of a freeze-drying system for processing young chili paste at the community enterprise level. Using the freeze-drying system for processing young chili and calculating return on investment, (ROI) and internal rate of return, (IRR). The result was that the investment cost of the Freeze-drying system for the Community Enterprise is 1,000,000 baht. It can produce Northern Thai Green Chili Dip Processing amount of 18,900 packaging per year, 45 baht per packaging. Circulation cost of 850,000 baht per year, in terms of break-even point, is 1,484.99 packaging and shows in terms of payback period is 1.7 years, and Return on Investment, (ROI) and Internal Rate of Return, (IRR) are 14% and 46.70% respectively.

Keywords: Freeze Drying System, Thai Green Chili Dip, Community Enterprise

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ระบบอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งสำหรับการแปรรูปน้ำพริกหนุ่มในระดับวิสาหกิจชุมชน ทำการอบแห้งน้ำพริกหนุ่มด้วยระบบอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และประเมินผลตอบแทนจากการลงทุน ROI และอัตราผลตอบแทน IRR ผลการศึกษาพบว่า ระบบอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนเบื้องต้น 1,000,000 บาท สามารถผลิตน้ำพริกหนุ่มแช่เยือกแข็งได้จำนวน 18,900 แพ็คต่อปี ราคาจำหน่ายแพ็คละ 45 บาท คิดเป็นยอดขายเท่ากับ 850,000 บาทต่อปี โดยมีจุดคุ้มทุน 1,484.99 แพ็ค ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.7 ปี ผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) เท่ากับ 14% และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 46.70%

คำสำคัญ: ระบบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง น้ำพริกหนุ่ม วิสาหกิจชุมชน

บทนำ

ปัจจุบันการแปรรูปอาหารเป็นกระบวนการที่มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับวิสาหกิจชุมชน ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจท้องถิ่น น้ำพริกหนุ่มซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อเสียงจากภาคเหนือของประเทศไทย ดังแสดงตามภาพที่ 1 ได้รับความนิยมทั้งในประเทศและต่างประเทศ การแปรรูปน้ำพริกหนุ่มเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาและขยายตลาดจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญและควรได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การทำแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze-Drying) หรือที่เรียกกันว่า ไลโอฟิไลเซชัน (Lyophilization) เป็นกระบวนการกำจัดความชื้นที่ใช้ในหลายอุตสาหกรรม เช่น อาหาร ยา และเทคโนโลยีชีวภาพ กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับการแช่แข็งผลิตภัณฑ์ ลดแรงดันรอบๆ และกำจัดน้ำแข็งโดยการระเหิด (การเปลี่ยนจากของแข็งเป็นก๊าซโดยไม่ผ่านสถานะของเหลว) ระบบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการเก็บรักษาคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติของน้ำพริกหนุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในระดับวิสาหกิจชุมชนยังคงเป็นเรื่องใหม่ และจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน [1]

ภาพที่ 1 ลักษณะกายภาพน้ำพริกหนุ่ม

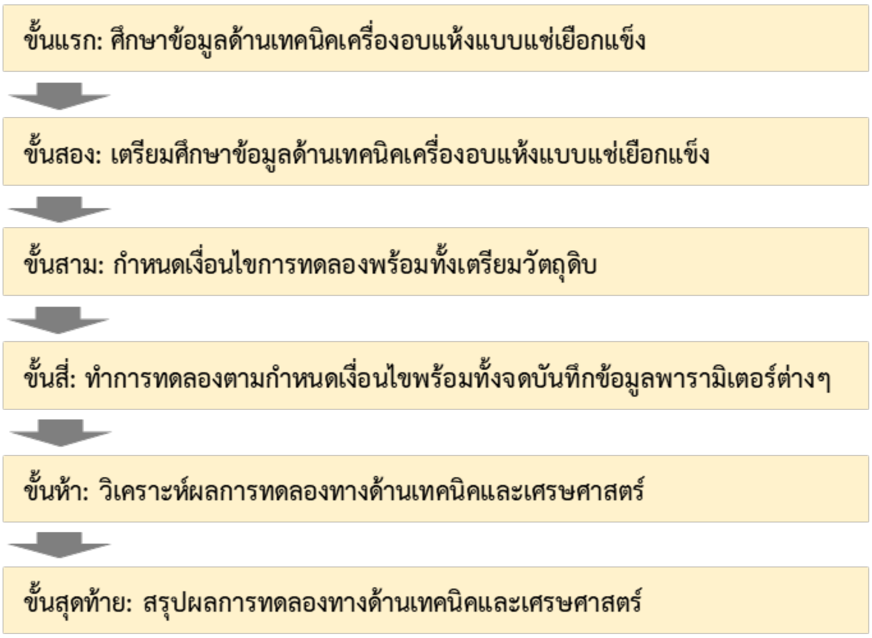
วัฒนธรรมอาหารของประชาชนทางภาคเหนือนิยมน้ำพริกถือเป็นอาหารประจำภาค ทั้งนี้น้ำพริกหนุ่มยอดนิยมของคนเชียงใหม่ มีอยู่ 4 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ น้ำพริกหนุ่มดำรง น้ำพริกหนุ่มศรีพรรณ น้ำพริกหนุ่มเจ๊หงษ์ และน้ำพริกหนุ่มแหนมบุญศรี มีความ แสดงตามภาพที่ 2 ทั้งนี้แต่ละผู้ผลิตมีความแตกต่างรสชาติ และส่วนประกอบ ตามแต่ความต้องการผู้บริโภค

ภาพที่ 2 น้ำพริกหนุ่มยอดนิยมของคนเชียงใหม่

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของระบบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งสำหรับการแปรรูปน้ำพริกหนุ่มในระดับวิสาหกิจชุมชน โดยการลงทุนเริ่มแรกจะใช้เครื่อง Freeze Dryer รุ่น Harvest Right Small Freeze Dryer

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ *ขั้นแรก* ศึกษาข้อมูลด้านเทคนิคเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง *ขั้นที่สอง* เตรียมศึกษาข้อมูลด้านเทคนิคเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (ทั้งนี้เครื่องดังกล่าวติดตั้ง ณ ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรม ภาค 1 จังหวัดเชียงใหม่) *ขั้นที่สาม* กำหนดเงื่อนไขการทดลองพร้อมทั้งเตรียมวัตถุดิบ *ขั้นที่สี่* ทำการทดลองตามกำหนดเงื่อนไขพร้อมทั้งจดบันทึกข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ *ขั้นที่ห้า* วิเคราะห์ผลการทดลองทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ *และขั้นสุดท้าย* สรุปผลการทดลองทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ แสดงตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการอบน้ำพริกหนุ่ม

ทำการจัดเตรียมน้ำพริกหนุ่มสด 1,000 g ตักแบ่งใส่ถ้วยขนาด 66 x 21 mm ชั่งน้ำหนักของถ้วยและปรับค่าเป็นศูนย์ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล แบ่งน้ำพริกหนุ่มใส่แต่ละถ้วยในปริมาณ 20 g ทั้งหมดจำนวน 50 ถ้วย ใช้ระยะเวลาอบ 24 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้อบ -40 องศาเซลเซียส ลักษณะการจัดวาง ดังแสดงตามภาพที่ 4 การคำนวณน้ำหนักน้ำพริกหนุ่มต่อรอบ(Batch) สำหรับทำฟรีซดราย จำนวน 5 ชั้น (ถาด)ๆ ละ 21 ถ้วยๆ ละ 20 กรัม (ใช้เวลา 24 ชั่วโมง) ดังนั้น ตัวอย่างการเตรียมอบแห้งน้ำพริกหนุ่มสามารถคำนวณได้ดังรายการต่อไปนี้

21 ถ้วย x 5 ชั้น x 20 grams เท่ากับ 2,100 grams คิดเป็น 2.10 kg/Batch/day

1 เดือน ทำการ Freeze Dry เท่ากับ 15 Batch คิดเป็น 31.50 kg/Batch/month

1 ปี ทำการ Freeze Dry เท่ากับ 180 Batch คิดเป็น 378 kg/Batch/year

ภาพที่ 4 ตัวอย่างการเตรียมอบแห้งน้ำพริกหนุ่ม

การอบแห้งน้ำพริกหนุ่มเป็นแบบครั้ง (Batch) แต่ละครั้งทำการบรรจุเข้าไปในเครื่องอบแห้งแบบ Freeze dry จัดวางเป็นชั้นๆ แสดงตามภาพที่ 5 เครื่องอบแบบ Freeze dry ที่ใช้แบรนด์ Harvest Right, LLC. Model No: HRFDL, High: 2.8 MPa, Low: 0.44 MPa กำลังไฟฟ้า 4,400 W ความต่างศักย์ไฟฟ้า 220 V ความถี่ 50 Hz และกระแสไฟฟ้า 20 A

(ก) การจัดวางภาชนะในเครื่องอบแห้งแบบ Freeze dry

(ข) เครื่องอบแห้งแบบ Freeze dry

ภาพที่ 5 การบรรจุจัดวางภาชนะในเครื่องอบแห้งแบบ Freeze dry

การวิเคราะห์ค่าความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุ ซึ่งโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ [2] คือ 1. การเปรียบเทียบมวลของวัสดุชื้น เรียกว่า ความชื้นมาตรฐานเปียก นิยมใช้ในทางการค้าหรือการซื้อขายผลผลิตทางการเกษตร 2. การเปรียบเทียบมวลของวัสดุแห้ง เรียกว่า ความชื้นมาตรฐานแห้ง นิยมใช้ในเอกสารวิชาการ เนื่องจากมวลแห้งจะมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการทำแห้ง และง่ายต่อการอ้างอิงโดยความชื้นทั้ง 2 มาตรฐานสามารถหาได้จากสมการ (1) และ (2) ดังต่อไปนี้

มาตรฐานเปียก

$$M_w = [(w-d)/w] \times 100\% \quad (1)$$

มาตรฐานแห้ง

$$M_d = [(w-d)/d] \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (%db) M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db) w คือ น้ำหนักของวัสดุ (kg) และ d คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg)

สามารถคำณวนหาปริมาณน้ำที่ต้องกำจัดออกได้ตามสมการที่ (3)

$$m_w = (w-d) \quad (3)$$

เมื่อ m_w คือ มวลของน้ำที่ถูกกำจัดออก (kg)

อัตราการระเหยของน้ำจากการทำแห้ง

คำนวณหาอัตราการระเหยของน้ำออกจาวสัดุอบแห้ง ต้องมีการกำหนดเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (4) [2]

$$\dot{m}_w = \frac{m_w}{t} \times 100\% \quad (4)$$

เมื่อ $\dot{m}_w$ คือ อัตราการระเหยน้ำ (kg/h) และ t คือ เวลาที่ใช้ในการทำแห้ง (h)

การวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption) คือ การวิเคราะห์ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการระเหยน้ำออกจากวัสดุ สามารถคำนวณได้ตามความสัมพันธ์สมการที่ (5) และ (6) [3]

$$SEC = \frac{Q_E}{m_w} \quad (5)$$

$$Q_E = 3.6E_P \quad (6)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg) Q_E คือ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งหมด (MJ) และ E_P คือ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (kWh)

การประเมินประสิทธิภาพการทำแห้ง

ประสิทธิภาพการทำแห้งเป็นการคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำเทียบกับพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการทำแห้ง สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (7) [3]

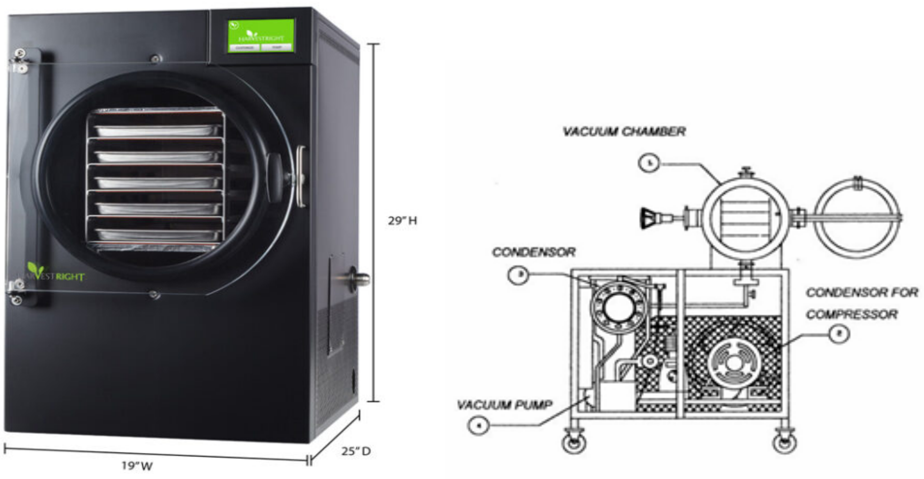
$$\eta_{total} = \frac{m_w \times h_{fg}}{Q_E} \times 100 \qquad (7)$$

เมื่อ η_{total} คือ ประสิทธิภาพการทำแห้ง (%)

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงการระเหยของน้ำ (MJ/kg)

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

การลงทุนในเครื่องจักร-อุปกรณ์ (Capital Investment) เมื่อคิดคำนวณค่าอุปกรณ์:(Equipment Costs) ที่ใช้เพื่อการทดสอบอุปกรณ์การทำแห้งแบบแช่แข็ง ของบริษัท HARVEST Right ราคาเครื่อง (3,395 ดอลลาร์ คิดอัตราแลกเปลี่ยนที่ 34.04 บาทต่อดอลลาร์) คิดเป็นเงินบาท เท่ากับ 115,433.34 บาท (อัตราแลกเปลี่ยน 34.001 บาท ต่อ 1 ดอลลาร์ สรอ. อ้างอิงข้อมูลอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน https://www.bot.or.th/th/statistics/exchange-rate.html) [4] คุณลักษณะของเครื่อง (Specification of Freeze Dryer – Model Medium) แสดงตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เครื่อง Harvest right small freeze dryer

ต้นทุนการดำเนินงาน (Operating Costs)

การสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่อง Freeze-drying ในกระบวนการทำแห้งแบบแช่แข็งเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานสูง ซึ่งต้องการพลังงานจำนวนมากสำหรับการแช่แข็ง การรักษาสภาพสุญญากาศและการระเหิดการคำนวณค่าไฟของเครื่อง Freeze Dry

ค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่าย (Baht) = จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (Unit) x อัตราค่าไฟฟ้า (Unit/baht)

จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (Unit) = กำลังไฟฟ้า (kW) x จำนวนชั่วโมงใช้งาน (hr)

ตารางที่ 1 รายละเอียดของการคำนวณค่าไฟฟ้าเครื่อง Harvest right small Freeze Dryer

Parameters	Freeze Dry	Units
น้ำหนักน้ำพริกหนุ่ม	378	kg/year
ค่าพลังงานไฟฟ้า	14.9	kW/hr
ระยะเวลา Freeze Dry ต่อครั้ง (หรือ 1 Batch)	24	hr
ค่าไฟ 1 ชม.(14.9 หน่วยต่อชั่วโมง) คิดค่าไฟที่หน่วยละ 3.9361 บาท	58.65	Baht
ค่าไฟ 1 Batch	1,407.60	Baht
จำนวนรอบที่สามารถทำงานได้แบบต่อเนื่องใน 1 เดือน	15	Batch
ต้นทุนค่าไฟต่อเดือน	21,114	Baht
ต้นทุนค่าไฟต่อปี	253,368	Baht

การวิเคราะห์ต้นทุนผลิตภัณฑ์

วิเคราะห์ต้นทุนผลิตภัณฑ์ โดยแยกประเภทต้นทุน เช่น ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ต้นทุนผันแปร (Variable cost) ต้นทุนรวม Total Cost

ตารางที่ 2 ประมาณการขาย

รายการ	**ราคาต่อหน่วย**
น้ำพริกหนุ่ม Freeze Dry	378 kg/year
ยอดขาย/ปี (ขนาด 20 grams)	จำนวน 18,900 pack
ราคาขาย 45 baht/pack	850,000 baht/year

ตารางที่ 3 ต้นทุนการผลิต

รายการ	**ราคารวม**
น้ำพริกหนุ่ม Freeze Dry	378 kg/year
งบประมาณวัตถุดิบ	378,000 baht/year
งบประมาณแรงงาน	280,800 baht/year
งบประมาณบรรจุภัณฑ์	81,099 baht/year

ตางรางที่ 4 ราคาต้นทุนวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	**ปริมาณที่ใช้**	**ราคาทุน**
น้ำเพริกหนุ่ม (สด) (ราคา 200 Baht/kg)	1,890 kg/year	378,000 baht/year

ค่าจ้างแรงงาน (Labor costs) แม้ว่าการดำเนินงานบางส่วนจะสามารถทำโดยอัตโนมัติได้ แต่ยังต้องใช้แรงงานที่มีทักษะเพื่อดูแลและบำรุงรักษาอุปกรณ์ ซึ่งทำให้ต้นทุนแรงงานสูงขึ้น ดังแสดงตามตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 ต้นทุนแรงงาน

ประเภท	**ระยะเวลาที่ใช้**	**ต้นทุนต่อเดือน**	**ต้นทุนต่อปี**
ต้นทุนแรงงานผลิตและบำรุงรักษา	1 คน/500 บาท/วัน	13,000	156,000
ต้นทุนแรงงานบรรจุ	1 คน/400 บาท/วัน	10,400	124,800
รวมค่าต้นทุนแรงงาน		**280,800 บาทต่อปี**	

ตารางที่ 6 ค่าใช้จ่ายบรรจุภัณฑ์

ประเภท	ราคาต่อหน่วย	ต้นทุนต่อเดือน	ต้นทุนต่อปี
ซองซีลสุญญากาศ	150 บาท/100 ซอง	1,170	14,040
ถ้วยฟลอยด์	3.35 บาท/ชิ้น	5,276.25	63,315
ซองกันชื้น	0.40 บาท/ซอง	312	3,744
ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ดรวม		**81,099 บาทต่อปี**	

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการประเมินด้านเทคนิคการอบน้ำพริกหนุ่ม (ก) น้ำพริกหนุ่ม (ก่อนอบ) แบบ Freeze dry มีน้ำหนัก 20 g เมื่อผ่านกระบวนการอบแบบ Freeze dry เป็นเวลา 24 h แสดงตามภาพที่ 6 พบว่า (ข) น้ำพริกหนุ่ม (หลังอบ) แบบ Freeze dry น้ำหนักลดลงจากเดิม 20 g เหลือเพียง 4 g เมื่อคำนวณหา M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (%db) M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db) และปริมาณน้ำที่ระเหยออก m_w ตามความสัมพันธ์สมการ (1) (2) และ (3) พบว่า ความชื้นมาตรฐานเปียก เท่ากับ 400% ความชื้นมาตรฐานแห้ง 80% และประมาณน้ำที่ระเหยออก 0.083 kg/h

(ก) น้ำพริกหนุ่ม (ก่อนอบ) แบบ Freeze dry

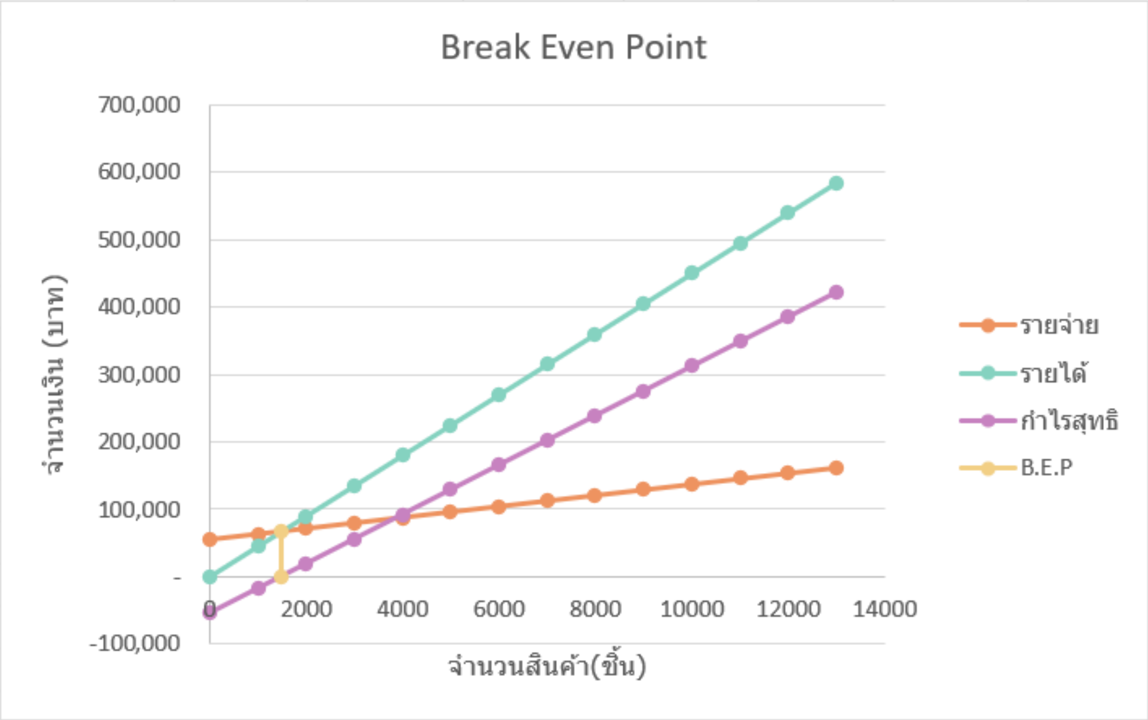
(ข) น้ำพริกหนุ่ม (หลังอบ) แบบ Freeze dry

ภาพที่ 6 เปรียบเทียบผลการอบแห้งน้ำพริกหนุ่ม

กำลังไฟฟ้าเครื่องอบแห้งแบบ Freeze dry ขนาด 4.4 kW เมื่อทำการอบแห้ง 24 h คิดเป็นพลังงานไฟฟ้า 105.6 kWh/batch เมื่อคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการแต่ละครั้ง พบว่า 528 baht/batch (หมายเหตุ คำนวณค่าไฟฟ้า 5 baht/kWh) ผลของการวิจัยจะนำไปสู่การเพิ่มมูลค่าของน้ำพริกหนุ่มให้มีราคาสูงในเชิงตลาด สำหรับธุรกิจขนาดเล็กนำไปสู่การส่งออกน้ำพริกหนุ่ม ตลอดทั้งสามารถเก็บรักษาคุณภาพของน้ำพริกหนุ่มได้ระยะเวลานานขึ้น

ผลความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจ (Economic viability) การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-Even Analysis) จุดคุ้มทุนของผลิตภัณฑ์ น้ำพริกหนุ่ม Freeze Dry ต้นทุนคงที่ เท่ากับ 54,514 บาท ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย เท่ากับ 8.29 บาทต่อหน่วย ราคาขาย 45 บาท/แพ็ค (20 กรัม)

ประเมินจุดคุ้มทุนสูตรคำนวณจุดคุ้มทุน ณ ปัจจุบัน เท่ากับต้นทุนคงที่/(ราคาขาย - ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย) 54,514/(45 - 8.29) เท่ากับ 1,484.99 ชิ้น คิดเป็นเงิน 66,824.57 ผลการการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน แสดงตามภาพที่



ภาพที่ 7 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของน้ำพริกหนุ่มแบบฟรีซดราย

ผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on Investment, ROI) ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น การกำหนดราคาผลิตภัณฑ์ ความต้องการของตลาด และประสิทธิภาพในการดำเนินงาน สำหรับผลิตภัณฑ์เฉพาะหรือสินค้าที่มีอัตรากำไรสูง ROI อาจน่าสนใจ แม้ว่าจะมีการลงทุนเริ่มต้นที่สูงก็ตามมูลค่าปัจจุบันสุทธิจากการลงทุน - NPV (Net Present Value)

ผลตอบแทนจากการลงทุน Return on Investment (ROI) ความสำคัญของ ROI การวัดความสำเร็จในธุรกิจในเรื่องของการดำเนินธุรกิจ ROI เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญ (KPI) ที่ช่วยวัดกำไรจากการลงทุน เมื่อธุรกิจต้องการตรวจสอบความคุ้มค่าของการลงทุน ไม่ว่าจะเป็นการซื้ออุปกรณ์ใหม่ การเริ่มแคมเปญการตลาดหรือการลงทุนในการวิจัยและพัฒนา การคำนวณ ROI ช่วยให้เข้าใจว่าแนวทางการลงทุนไหนที่นำไปสู่กำไรและแนวทางไหนที่ขาดทุน

สมการการคำนวณ ROI = (รายได้ – ต้นทุนของสินค้าที่ขายไป) / ต้นทุนของสินค้าที่ขายไป x 100

แสดงวิธีการคำนวณ การลงทุนซื้อเครื่อง Freeze dry สำหรับอบแห้งน้ำพริกหนุ่มเพื่อจำหน่าย

ประมาณการขาย

รายการ	รวม
น้ำพริกหนุ่ม ฟรีซดราย	378 กิโลกรัม/ปี
รายได้จากการขาย	850,000 บาท/ปี

ต้นทุนการผลิต

รายการ	รวม
ต้นทุนเครื่อง Freeze Dryer	115,433.34 บาท
ต้นทุนวัตถุดิบ	378,000 บาท/ปี
ต้นทุนแรงงาน	280,800 บาทต่อปี
ต้นทุนบรรจุภัณฑ์	81,099 บาทต่อปี
รวม	**739,899 บาทต่อปี**

คำนวณค่า ROI สามารถประเมินได้ตามความสัมพันธ์ คือ (รายได้ – ต้นทุนของสินค้าที่ขายไป)/ต้นทุนของสินค้าที่ขายไป x 100 เมื่อแทนความตัวแปร พบว่า (850,000 – 739,899)/739,899 x 100 = 0.14 ดังนั้น ROI มีค่าเท่ากับ 14 %

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลต่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับเงินลงทุนเริ่มต้น ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการ [1, 5]

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ NPV

Period	Values
0	-1,000,000
1	-450,000
2	800,000
3	1,000,000
4	1,500,000
5	2,000,000
rate	**12.00%**
NPV	**2,035,880.46**

ตารางที่ 8 อัตราผลตอบแทนภายใน IRR

IRR (Internal Rate of Return) **อัตราผลตอบแทนภายใน**	
Period	Values
0	-1,000,000
1	-450,000
2	800,000
3	1,000,000
4	1,500,000
5	2,000,000
guess rate	**10.00%**
IRR	**46.70%**
NPV	**0**

$$\sum_{i=0}^{n}\frac{Values_i}{(1+IRR)^i}=0 \tag{7}$$

$$0=-1,000,000+\frac{-450,000}{(1+IRR)}+\frac{800,000}{(1+IRR)^2}+\frac{1,000,000}{(1+IRR)^3}\frac{1,500,000}{(1+IRR)^4}+\frac{2,000,000}{(1+IRR)^5}$$

IRR = 46.70%

สรุปผลการวิจัย

ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งน้ำพริกหนุ่มด้วยกระบวนการทำแห้งแบบแช่แข็งสำหรับการแปรรูปน้ำพริกหนุ่มในระดับวิสาหกิจชุมชน โดยการลงทุนเริ่มแรกจะใช้เครื่อง Freeze Dryer รุ่น Harvest Right Small Freeze Dryer สำหรับวิสาหกิจชุมชน ในราคา 115,433.34 บาท ซึ่งสามารถผลิตน้ำพริกหนุ่ม Freeze Dry ได้จำนวน 18,900 แพ็คต่อปี จำหน่ายแพ็คละ 45 บาท คิดเป็นยอดขายเท่ากับ 850,000 บาทต่อปี โดยมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1,484.99 แพ็ค ซึ่งคิดเป็นรายได้ที่จุดคุ้มทุนเท่ากับ 66,824.57 บาท

ผลตอบแทนจากการลงทุน (ROI) เท่ากับ 14% และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 46.70% ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.7 ปี ซึ่งจากการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) พบว่า กระแสเงินสดเป็นบวกตั้งแต่ปีที่ 2 ของการดำเนินงาน ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้และความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของการนำระบบทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งมาใช้ในการแปรรูปน้ำพริกหนุ่มในระดับวิสาหกิจชุมชน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการทำวิจัย วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และขอขอบคุณศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมจังหวัดเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัยในครั้งนี้ ท้ายสุดขอขอบคุณสถาบันวิจัยและบริการวิชาการด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชน วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาที่สนับสนุนบุคคลากรและวิชาการ

บรรณานุกรม

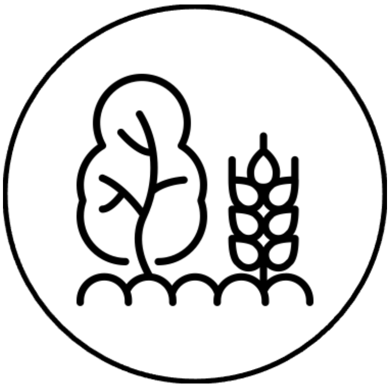
[1] สุภกิจ ชัยเมืองเลน, ประภัสสร รัตนไพบูลย์, กิตติกร สาสุจิตต์, ชูรัตน์ ธารารักษ์, สุระพล ริยะนา, เสริมสุข บัวเจริญ และ นิกราน หอมดวง (2567). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและเศรษฐศาสตร์การอบแห้งพืชวงศ์ขิงโดยใช้เครื่องอบแห้งถาดหมุนอินฟราเรด, วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน.
ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 หน้า 45-56.

[2] จิราภรณ์ แก้วเดียว. 2562. การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟาเรด สำหรับผลิตภัณฑ์ปลา. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[3 ณัฐชนน ตาเสาร์ และชาญณรงค์ สายแก้ว. 2557. การใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งสำลีพันก้าน. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[4] อ้างอิงข้อมูลอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน https://www.bot.or.th/th/statistics/exchange-rate.html)

[5] มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. เครื่องมือในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ. สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2566, จาก https://www.stou.ac.th/stouonline/lom/data/sec/Lom14/04.html



พลังงานทดแทนเพื่อการเกษตรอัจฉริยะ

Renewable Energy for Smart Agriculture (REA)

โรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาตที่มีการควบคุมสภาวะอากาศแบบอัจฉริยะ
An Intelligent Climate-Controlled Greenhouse for Eocanthecona Furcellata (Wolff)

อิสมาแอ ฮาเก็ง นิกราน หอมดวง กิตติกร สาสุจิตต์ และ สุระพล ริยะนา*

Isma-ae Hakeng, Nigran Homdoung, Kittikorn Sasujit, Surapon Riyana*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

School of Renewable Energy, Maejo University, Nongharn, Sansai, Chiangmai, 50290

*Corresponding author: Tel.: 0933036346. E-mail address: surapon_r@mju.ac.th

Abstract

This work is proposed a 3 m x 8 m x 3 m smart greenhouse for Eocanthecona Furcellata (Wolff). It can constrain 50 boxes such that each box can constrain 50 wolffs. It is based on NodeMCU ESP-32 in conjunction with the environment sensors. The aims of the proposed smart greenhouse is that it can control the ambient temperature to be in the range between 25 °C and 29 °C. Moreover, it can control the relative humidity to be in the range between 65 %RH and 85 %RH. To evaluate the proposed greenhouse and the proposed smart greenhouse control system, we use extensive experiments that can indicate their efficiency and effectiveness by comparing with both existing techniques such that they are also proposed for growing wolffs, i.e., growing wolffs as the outdoor and a greenhouse without smart greenhouse control systems. From the experimental results, we found that the proposed smart greenhouse is a greenhouse that is efficient and effective for growing wolffs. That is, it has the efficiency in the term of controlling the environment inside the greenhouse to be more than both compared techniques. Moreover, we found that the proposed smart greenhouse is more effective than the compared techniques, which is between 8% and 13%. Furthermore, the breeders raised in the smart greenhouse laid 15% more eggs than those raised in the normal greenhouse, and each round of raising wolffs in the proposed smart greenhouse costs about 486 baht to use electricity. For this reason, the proposed smart greenhouse can increase the income from growing wolffs.

Keywords: Eocanthecona Furcellata (Wolff), Smart greenhouse, Smart control system, Internet of Things (IoT), Sensor, Smart farm.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างโรงเรือนและระบบควบคุมโรงเรือนแบบอัจฉริยะสำหรับมวนพิฆาตที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมวนพิฆาต โดยโรงเรือนที่นำเสนอจะมีขนาด 3 m x 8 m x 3 m จะสามารถบรรจุกล่องเลี้ยงมวนพิฆาตได้จำนวน 50 กล่อง ซึ่งแต่ละกล่องจะสามารถเลี้ยงมวนพิฆาตได้ 50 ตัว และระบบควบคุมโรงเรือนอัจฉริยะที่นำเสนอจะถูกพัฒนาจาก NodeMCU ESP32 ร่วมกับระบบเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อม เป้าหมายของงานวิจัยคือการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้อยู่ในช่วง 25 °C ถึง 29 °C และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศให้อยู่ในช่วง 65 %RH ถึง 85 %RH เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของโรงเรือนและระบบควบคุมที่นำเสนอ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโดยเปรียบเทียบกับระบบการเลี้ยงมวนพิฆาตแบบไม่ใช้โรงเรือนและระบบโรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาตทั่วไป จากผลการทดลองผู้วิจัยพบว่าระบบโรงเรือนอัจฉริยะที่นำเสนอมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการเลี้ยงมวนพิฆาตที่ดีกว่าระบบการเลี้ยงมวนพิฆาตภายนอกโรงเรือนและระบบโรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาตทั่วไป นั่นก็คือระบบโรงเรือนอัจฉริยะที่นำเสนอจะมีประสิทธิภาพในด้านการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนดีกว่าระบบการเลี้ยงมวนพิฆาตแบบภายนอกโรงเรือนและระบบโรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาตทั่วไป มากไปกว่านั้นผลการทดลองยังชี้ให้เห็นอีกว่าระบบโรงเรือนอัจฉริยะที่นำเสนอยังมีประสิทธิผลในด้านการเลี้ยงมวนพิฆาตที่ดีกว่าระบบการเลี้ยงมวนพิฆาตแบบภายนอกโรงเรือนและระบบโรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาตทั่วไป นั่นก็คือมวนพิฆาตที่ถูกเลี้ยงภายในระบบโรงเรือนอัจฉริยะที่นำเสนอจะมีอัตราการรอดชีวิตที่มากกว่าโรงเรือนทั่วไปประมาณ 8% ถึง 13% มากไปกว่านั้นแม่พันธุ์มวนพิฆาตที่ถูกเลี้ยงภายในโรงเรือนอัจฉริยะวางไข่ได้มากกว่าแม่พันธุ์มวนพิฆาตที่ถูกเลี้ยงในโรงเรือนทั่วไป 15% และแต่ละรอบการเลี้ยงมวนพิฆาตในโรงเรืองอัจฉริยะจะมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้าประมาณ 486 บาท จึงส่งผลให้เกษตรกรผู้เลี้ยงมวนพิฆาตมีรายได้จากการจำหน่ายมวนพิฆาตที่มากกว่าการเลี้ยงมวนพิฆาตแบบภายนอกโรงเรือนและระบบโรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาตทั่วไป

คำสำคัญ: มวนพิฆาต โรงเรือนอัจฉริยะ ระบบควบคุมอัจฉริยะ อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อม เกษตรอัจฉริยะ

บทนำ

อาชีพเกษตรกรรมคือหนึ่งในอาชีพหลักของคนไทย โดยเฉพาะคนไทยที่อาศัยอยู่ในเขตพื้นที่นอกเมืองหรือในเขตพื้นที่ชนบทของประเทศไทย แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของผู้วิจัยพบว่าปัจจุบันนี้มีหลากหลายปัญหาทางด้านเกษตรกรรมที่เกษตรกรจะต้องใส่ใจก่อนลงมือดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในภาคเกษตรกรรมเพื่อให้ได้มาซึ่งผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณของผลผลิตที่เพียงพอต่อความต้องการบริโภคและเพียงพอต่อการนำไปจัดจำหน่ายสำหรับสร้างรายได้ให้แก่ครอบครัว ตัวอย่างของปัญหาที่เกษตรกรมักจะพบเจอในการทำเกษตรกรรม เช่น ปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของโลก [1] ปัญหาการขาดแคลนน้ำ [2] ปัญหาคุณภาพของดินไม่เหมาะสมต่อการปลูกและเจริญเติบโตของพืช [3] ปัญหาแมลงศัตรูพืช [4] ปัญหาวัชพืช [5] และปัญหาอื่นๆ เพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้เกษตรกรหลายๆ ท่านจึงได้มีการนำเอาสารเคมีทางการเกษตรมาประยุกต์ใช้งาน ตัวอย่างเช่น การใช้ปุ๋ยเคมี [6] การใช้สารเคมีสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืช [7] และการใช้สารเคมีสำหรับกำจัดวัชพืช [8] เป็นต้น ถึงแม้ว่าสารเคมีทางการเกษตรเหล่านี้จะสามารถใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ได้กล่าวถึงข้างต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มันมักจะนำไปสู่ปัญหาทางด้านสุขภาพของเกษตรกรที่สัมผัสสารเคมีเหล่านี้โดยตรง เนื่องจากสารเคมีทางการเกษตรส่วนใหญ่จะส่งผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์ มากไปกว่านั้นผู้วิจัยยัง

พบอีกว่าการทำเกษตรกรรมแบบใช้สารเคมียังนำไปสู่ปัญหาด้านสารพิษตกค้างในผลผลิตทางการเกษตร ด้วยเหตุผลนี้จึงนำไปสู่ปัญหาทางด้านสุขภาพของผู้บริโภคเช่นเดียวกัน นอกจากปัญหาทางด้านสุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภคแล้วการทำเกษตรกรรมโดยใช้สารเคมีทางการเกษตรยังนำไปสู่ปัญหาการทำลายคุณภาพของดินและทำลายสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ [9] ด้วยเหตุผลนี้ปัจจุบันจึงมีการรณรงค์ให้เกษตรกรทำการเกษตรแบบลดการใช้สารเคมีหรือที่เราเรียกว่า “การทำเกษตรแบบปลอดภัย (Good Agriculture Practices: GAP) [10]” โดยแนวคิดของการทำเกษตรแบบปลอดภัยคือการทำเกษตรกรรมที่อนุญาตให้เกษตรกรสามารถใช้สารเคมีได้บางประเภทและจะต้องมีการเว้นระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่จะนำไปบริโภคหรือจัดจำหน่ายที่ปลอดภัย ส่งผลให้ปริมาณสารเคมีที่ตกค้างในผลผลิตทางการเกษตรที่ลดลง นอกจากนี้ยังมีการรณรงค์ให้เกษตรกรทำการเกษตรแบบปราศจากการใช้สารเคมีในการบวนการผลิตผลผลิตทางการเกษตรอีกด้วย โดยเราจะเรียกการทำเกษตรกรรมแบบนี้ว่า “เกษตรอินทรีย์ (Organic Agriculture) [11]” ซึ่งการทำเกษตรกรรมในรูปแบบนี้จะมุงเน้นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้วัสดุหรือสิ่งของที่มีอยู่ตามธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด แต่การทำเกษตรอินทรีย์มักจะพบปัญหาเกี่ยวกับแมลงศัตรูพืชทำลายพืชที่ปลูกเนื่องจากไม่มีสารเคมีที่คอยกำจัดแมลงศัตรูพืชเหล่านี้ เพื่อแก้ไขปัญหานี้นักวิจัยหรือผู้เชี่ยวชาญทางด้านการปราบปรามศัตรูพืชแนะนำให้ใช้แมลงศัตรูธรรมชาติของแมลงศัตรูพืชในการทำลายแมลงศัตรูพืช ตัวอย่างเช่น การใช้แมลงช้างปีกใสในการทำลายเพลี้ย หนอนผีเสื้อ หนอนแมลง และเพลี้ยไฟ เป็นต้น การใช้ด้วงดินในการทำลายทาก หอยทาก หนอน และหนอนกะหล่ำปลี เป็นต้น การใช้เต่าทองในการกำจัดเพลี้ยและไร และการใช้ด้วงทหาร (Soldier Beetles) ในการทำลายเพลี้ยและหนอน โดยปกติการใช้แมลงศัตรูธรรมชาติกำจัดแมลงศัตรูพืชเป็นวิธีการทำเกษตรแบบดั้งเดิมที่อาศัยความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ และจากการศึกษาผู้วิจัยพบว่าหนึ่งในแมลงศัตรูธรรมชาติที่ได้รับความนิยมและมีความต้องการจากเกษตรกร คือ “มวนพิฆาต (Stink bug or Eocanthecona furcellata (Wolff)) [12]” ดังแสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1 มวนพิฆาต [กรมวิชาการเกษตร:2561]

มวนพิฆาตเป็นแมลงตัวห้ำชนิดหนึ่งที่มีลักษณะการทำลายแมลงศัตรูพืชโดยใช้ปากดูด เกษตรกรนิยมนำมาใช้ในการควบคุมหรือกำจัดหนอนศัตรูพืชชนิดต่างๆ โดยเฉพาะหนอนผีเสื้อและหนอนที่มีลำตัวอ่อนนุ่ม เช่น หนอนใยผัก หนอนกระทู้ผัก หนอนเจาะสมอฝ้าย และหนอนคืบกะหล่ำ เป็นต้น จากการศึกษาของผู้วิจัยพบว่าในวงจรชีวิตของมวนพิฆาต 1 ตัว จะสามารถทำลายหนอนศัตรูพืชได้ประมาณ 214 ถึง 258 ตัว ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6 ตัว/วัน มวนพิฆาตมีชีวิตประมาณ 30 ถึง 40 วัน โดยสามารถแบ่งช่วงของการมีชีวิตออกได้ 3 ช่วง ได้แก่ ไข่ ตัวอ่อน และตัวโตเต็มวัย ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยมวนพิฆาตจะสามารถนำไปใช้งานโดยการนำตัวมวนพิฆาตตัวอ่อน (ระยะ 2 ขึ้นไป) หรือตัวโตเต็มวัยไปปล่อยในพื้นที่ที่ต้องการกำจัดแมลงศัตรูพืช โดยมีสัดส่วนของการปล่อย 100 ตัว/ไร่ แต่หากเป็นแปลงไม้ผลให้ปล่อย 100 ตัว/ต้น หรือ แต่หากศัตรูพืชมีการระบาดมากให้ปล่อยมวนพิฆาต 2,000 ตัว/ไร่ หรือจำนวนการปล่อยของมวนพิฆาตจะขึ้นอยู่กับระดับปัญหาแมลงศัตรูพืชที่เกิดขึ้นในพื้นที่การเกษตร

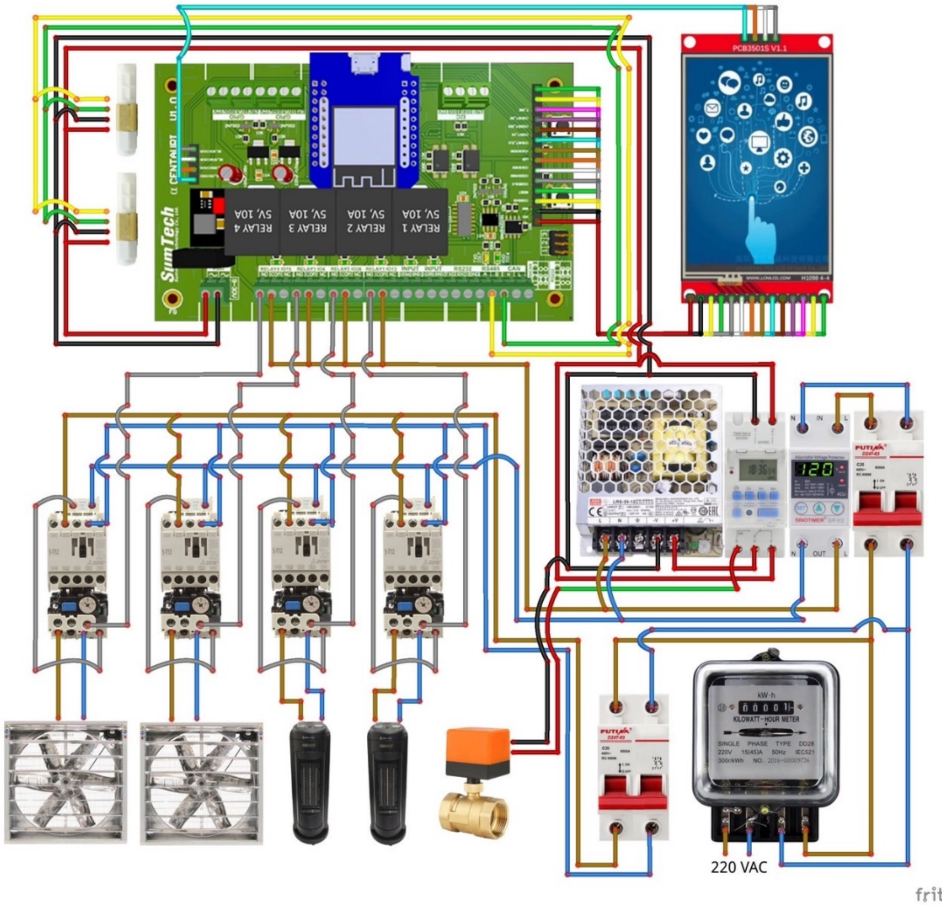
ภาพที่ 2 วงจรชีวิตของมวนพิฆาต [กรมส่งเสริมการเกษตร:2565]

จากปริมาณหรือจำนวนของมวนพิฆาตที่จำเป็นต่อการกำจัดแมลงศัตรูพืชในแต่ละพื้นที่ที่ผู้วิจัยได้อธิบายถึงข้างต้น จะเห็นว่าในแต่ละพื้นที่ต้องการมวนพิฆาตจำนวนมากเพื่อใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืช ซึ่งมีจำนวนที่มากกว่ามวนพิฆาตที่มีอยู่ในธรรมชาติทั่วไป ด้วยเหตุผลนี้การเลี้ยงมวนพิฆาตเพื่อนำไปใช้ในการเพิ่มจำนวนมวนพิฆาตในพื้นที่เกษตรกรรมเป็นอีกหนึ่งทางเลือก แต่การเลี้ยงมวนพิฆาตที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลที่ดีจะต้องเลี้ยงและขยายพันธุ์ในโรงเลี้ยงที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม และจากการศึกษาของผู้วิจัยเกี่ยวกับการเลี้ยงมวนพิฆาตเพื่อนำไปใช้ในงานเกษตรกรรมในปัจจุบันนี้ ผู้วิจัยพบว่าเกษตรกรนิยมนำมวนพิฆาตมาเลี้ยงในกล่องใสแล้วเก็บไว้ในพื้นที่ร่มตามบ้านเรือนและการเลี้ยงมวนพิฆาตภายในโรงเรือนแบบกึ่งปิด ส่งผลให้จำนวนและคุณภาพของผลผลิตมวนพิฆาตขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมโดยรอบของสถานที่เลี้ยง เนื่องจากผู้เลี้ยงไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาตได้ จึงส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมจำนวนและคุณภาพของผลผลิตมวนพิฆาตได้ ด้วยเหตุผลนี้ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอโรงเรือนสำหรับมวนพิฆาตที่มีขนาด 3 m x 8 m x 3 m จะสามารถบรรจุกล่องเลี้ยงมวนพิฆาตได้จำนวน 50 กล่อง ซึ่งแต่ละกล่องจะสามารถเลี้ยงมวนพิฆาตได้ 50 ตัว และระบบควบคุมโรงเรือนอัจฉริยะที่นำเสนอจะถูกพัฒนาจาก NodeMCU ESP32 ร่วมกับระบบเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อม เป้าหมายของงานวิจัยคือการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้อยู่ในช่วง 25 °C ถึง 29 °C และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศให้อยู่ในช่วง 65 %RH ถึง 85 %RH เพื่อให้เกษตรกรสามารถเลี้ยงและขยายพันธุ์มวนพิฆาตได้ตลอดทั้งปี มากไปกว่านั้นเพื่อให้เกษตรกรสามารถควบคุมจำนวนและคุณภาพของผลผลิตมวนพิฆาตได้ ส่งผลให้มีแมลงศัตรูธรรมชาติสำหรับใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืชในภาคเกษตรกรรมเพียงพอต่อความต้องการใช้งานและช่วยลดปัญหาการใช้สารเคมีและนำไปสู่การทำเกษตรอินทรีย์แบบยั่งยืน

วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินการออกแบบและสร้างโรงเรือนและระบบควบคุมอัจฉริยะสำหรับควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาต ผู้วิจัยได้มีการกำหนดขั้นตอนในการวิจัยดังนี้

1) ออกแบบและสร้างระบบควบคุมโรงเรือนอัจฉริยะ

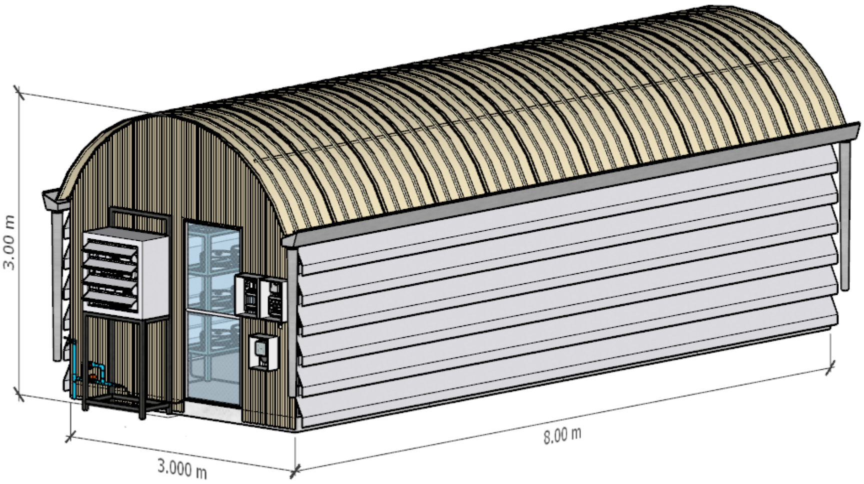


ภาพที่ 3 การเชื่อมโยงอุปกรณ์ของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนแบบอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาต

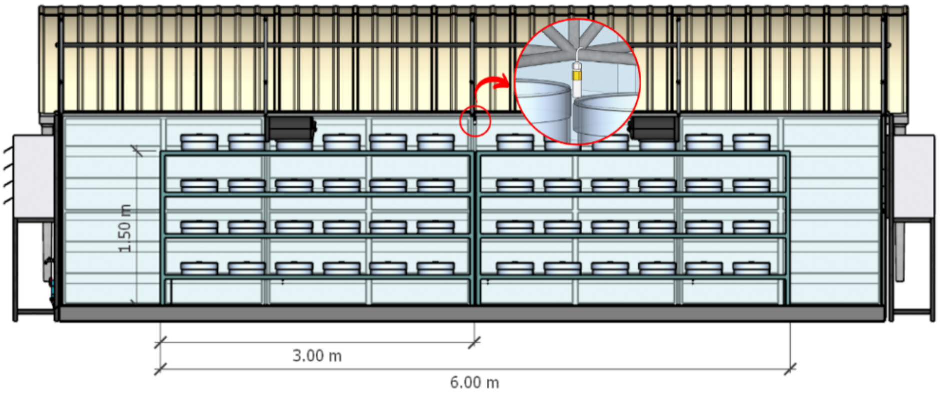
ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะออกแบบและสร้างระบบควบคุมโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาต โดยระบบควบคุมจะถูกสร้างจาก NodeMCU ESP32 ร่วมกับเซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในอากาศ (เซนเซอร์วัดสภาพแวดล้อมในอากาศ) รุ่น TH02S ที่มีรูปแบบการเชื่อมต่อแบบ RS-485 จำนวน 2 ตัว บอดเรท (Baudrate) สำหรับการใช้งานเป็น 2400, 4800, หรือ 9600 สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -30 ℃ ถึง 80 ℃ ที่มีความละเอียดเท่ากับ 0.1 ℃ และความแม่นยำ (ความผิดพลาด) ในการวัดอุณหภูมิเท่ากับ ±0.5 ℃ ส่วนค่าความชื้นในอากาศเซนเซอร์สามารถวัดได้ในช่วง 0 %RH ถึง 100 %RH ที่มีความละเอียดในการวัดอุณหภูมิคือ 0.1 %RH และความแม่นยำในการ (ความผิดพลาด) วัดอุณหภูมิเท่ากับ ±5 %RH โดยตัวที่หนึ่งจะถูกนำไปติดตั้งด้านนอกของโรงเรือนเพื่อใช้ในการอ่านค่าชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในอากาศภายนอกโรงเรือน ส่วนเซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิตัวที่เหลือจะถูกนำไปติดตั้งในโรงเรือนเพื่ออ่านค่าชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในอากาศภายในโรงเรือน จอแสดงผลข้อมูลของระบบควบคุมจะเป็นแบบ TFT LCD ขนาด 4.0" ที่มีความละเอียด 480 x 320 พิกเซล และสวิทซ์ที่ใช้ในการ ปิด-เปิด อุปกรณ์ควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน (พัดลมดูดอากาศและอุปกรณ์ทำความร้อน) จะเป็นแบบรีเลย์สวิตช์ (Relay Switches) ร่วมกับแมกเนติกสวิทช์ (Magnetic Switches) ส่วนระบบเพิ่มความชื้นหน้าดินภายในโรงเรือนจะใช้ไทม์เมอร์สวิตช์ (Timer Switches) ร่วมกับโซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valves) มากไปกว่านั้นในระบบควบคุมยังมีการติดตั้งระบบป้องกันไฟกระชากและมิเตอร์วัดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในกระบวนการเพาะเลี้ยงมวนพิฆาต เพื่อให้เกษตรกรผู้เลี้ยงมวนพิฆาตได้ทราบถึงต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าในการเพาะเลี้ยงมวนพิฆาตในระบบควบคุมได้มีการติดตั้งมิเตอร์สำหรับวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วย

โดยเป้าหมายของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนแบบอัจฉริยะที่นำเสนอคือควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้อยู่ในช่วง 25 °C ถึง 29 °C และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศให้อยู่ในช่วง 65 %RH ถึง 85 %RH โดยการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนแบบอัจฉริยะที่นำเสนอจะแสดงในภาพที่ 3 และรูปจริงของระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนแบบอัจฉริยะที่นำเสนอจะแสดงในภาพที่ 4

ภาพที่ 4 การติดตั้งระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนแบบอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาต



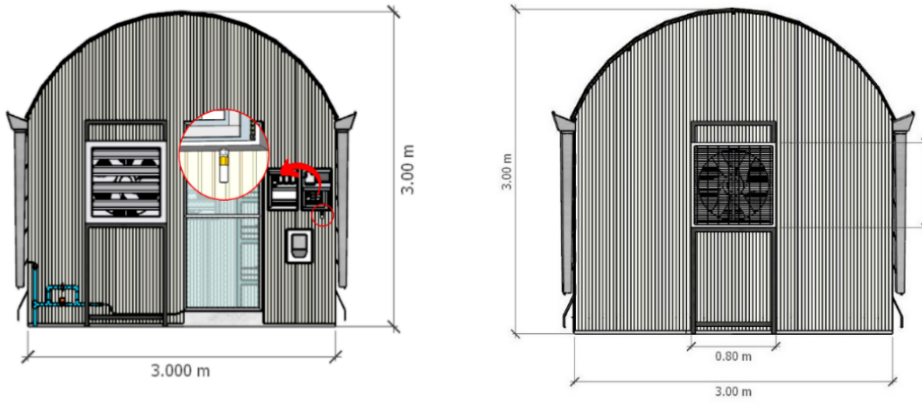
ภาพที่ 5 มุมมองการออกแบบของโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาต



ภาพที่ 6 มุมมองการออกแบบการวางถาดเลี้ยงมวนพิฆาตและเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนอัจฉริยะ

2) ออกแบบและสร้างโรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาต

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะทำการออกแบบและสร้างโรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาต โดยโรงเรือนที่นำเสนอจะมีขนาด 3 m x 8 m x 3 m หลังคาทรงโค้งดังแสดงในภาพที่ 5 ผนังด้านนอกทำจากแผ่นเมทัลชีทที่มีฉนวนกันความร้อนและแผ่นสังกะสี ผนังด้านในถูกคลุมด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีน (Polyethylene) เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกโรงเรือนไหลเข้ามาในโรงเรือนได้ มีชั้นวางกล่องเลี้ยงมวนพิฆาต 4 ชั้น โดยจะสามารถวางกล่องเลี้ยงมวนพิฆาตได้จำนวน 50 กล่อง ดังแสดงในภาพที่ 6 และแต่ละกล่องจะสามารถเลี้ยงมวนพิฆาตได้ 50 ตัว มากไปกว่านั้นจะมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดสภาพแวดล้อม (ความชื้นและอุณหภูมิในอากาศ) ทั้งภายนอกและภายในโรงเรือนดังแสดงในภาพที่ 6 และ 7 มีการติดตั้งพัดลมสำหรับปรับระดับความชื้นและระดับอุณภูมิสองตัว โดยพัดลมดูดอากาศตัวที่หนึ่งจะทำหน้าที่ดูดอากาศ ความชื้น และอุณหภูมิจากภายนอกโรงเรือนเข้าไปในโรงเรือนและพัดลมดูดอากาศตัวที่สองจะทำหน้าที่ในการดูดอากาศ ความชื้น และอุณหภูมิจากภายในในโรงเรือนออกไปทิ้งภายนอกโรงเรือน มากไปกว่านั้นในโรงเรือนยังมีการติดตั้งระบบเพิ่มความชื้นหน้าดินภายในโรงเรือนเพื่อใช้เพิ่มความชื้นในโรงเรือนในกรณีที่ความชื้นในโรงเรือนมีระดับต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงมวนพิฆาต และมีระบบทำความร้อนภายในโรงเรือนในกรณีที่ระดับของอุณหภูมิภายในโรงเรือนมีระดับต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงมวนพิฆาต โดยภาพจริงของโรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาตอัจฉริยะที่นำเสนอจะถูกแสดงในภาพที่ 8

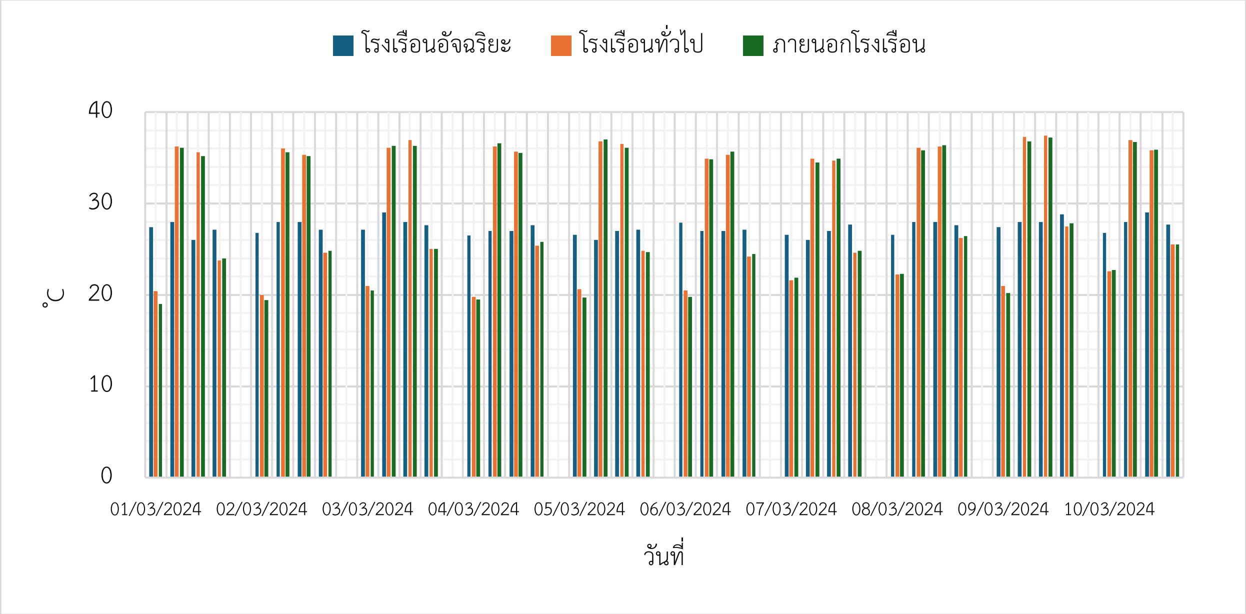


ภาพที่ 7 มุมมองการออกแบบของการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายนอกโรงเรือนและการติดตั้งพัดลมดูดอากาศ

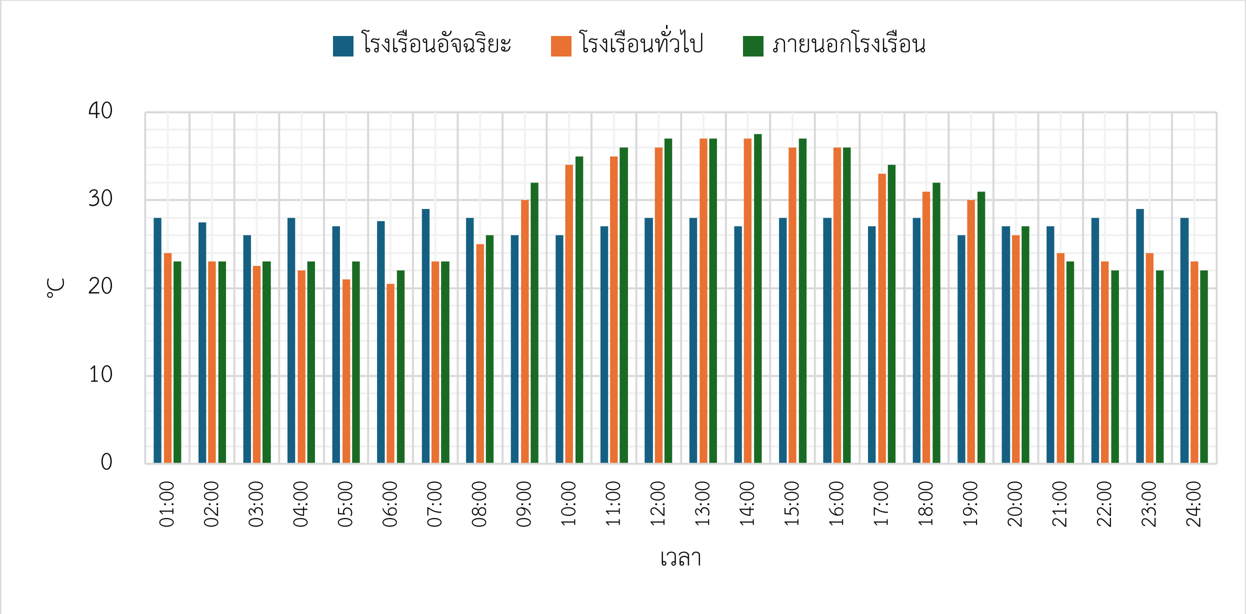
ภาพที่ 8 โรงเรือนอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาต

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

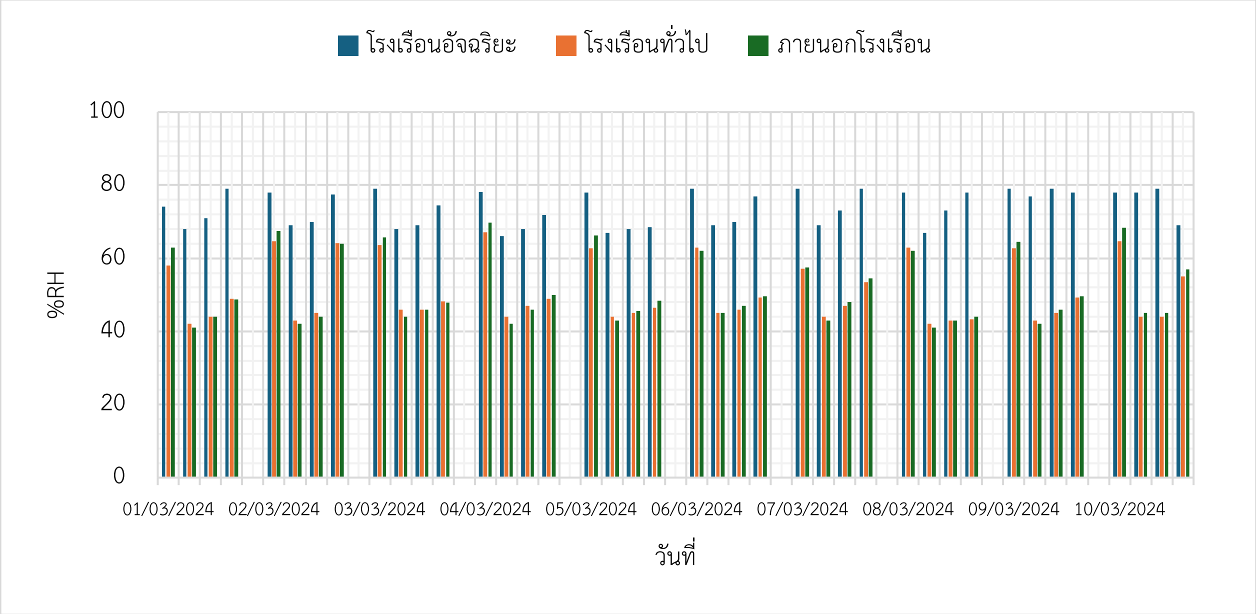
การออกแบบและการพัฒนาโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาต เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นเกี่ยวกับพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับใช้งานในภาคเกษตรกรรม โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาโรงเรือนและระบบควบคุมโรงเรือนแบบอัจฉริยะสำหรับมวนพิฆาตที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมวนพิฆาตแบบอัตโนมัติโดยการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งร่วมกับเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อม เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของโรงเรือนและระบบควบคุมอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาตที่นำเสนอผู้วิจัยได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกับโรงเรือนทั่วไปที่ไม่มีระบบควบคุมสภาพแวดล้อมอัจฉริยะ (โรงเรือนแบบกึ่งเปิด) และสถาพแวดล้อมด้านนอกโรงเรือน โดยการทดลองที่หนึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลในด้านการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือน ซึ่งได้ทำการทดลองในช่วงวันที่ 01/03/2024 ถึง 10/03/2024 จาก 4 ในช่วงเวลา 06:00 12:00 17:00 และ 24:00 น. จากผลการทดลองที่แสดงในภาพที่ 9 เราจะเห็นว่าโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาตที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในด้านการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่ดีกว่าโรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาตทั่วไป นั่นก็คืออุณหภูมิภายในโรงเรือนอัจฉริยะจะอยู่ในช่วง 26 °C ถึง 29 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมวนพิฆาต ในขณะที่อุณหภูมิภายในโรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาตทั่วไปจะอยู่ในช่วง 21 °C ถึง 37 °C ซึ่งมีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกโรงเรือนและไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมวนพิฆาต



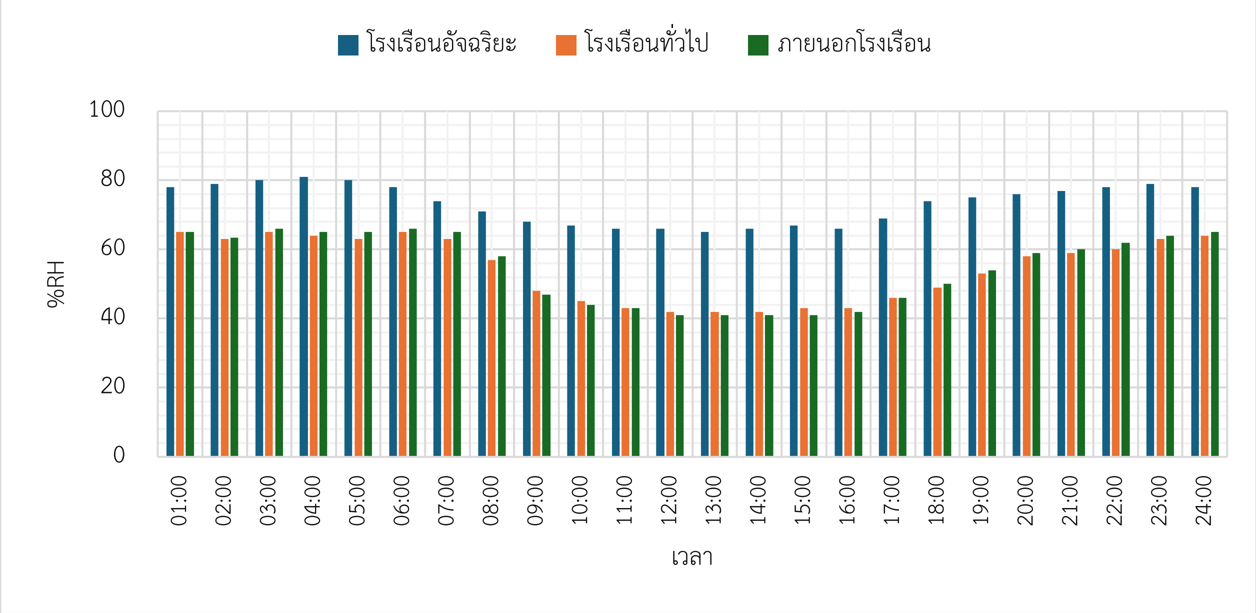
ภาพที่ 9 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในโรงเรือนอัจฉริยะ โรงเรือนทั่วไป และสภาพแวดล้อมภายนอก



ภาพที่ 10 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในโรงเรือนอัจฉริยะ โรงเรือนทั่วไป และสภาพแวดล้อมภายนอก
ในแต่ละช่วงเวลาของวัน



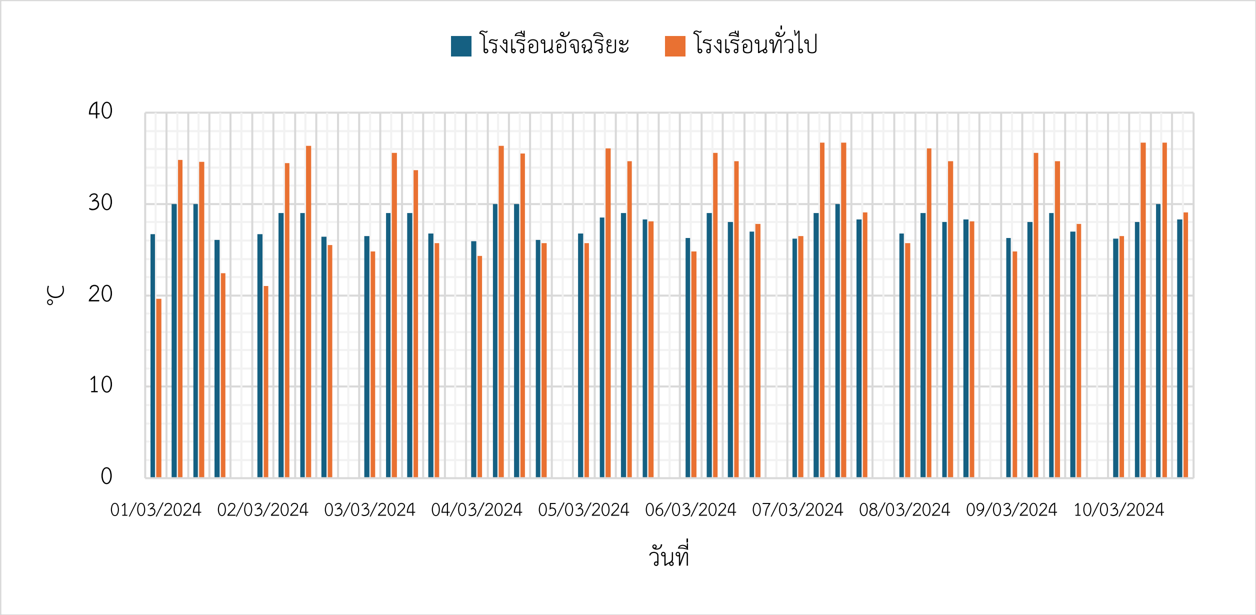
ภาพที่ 11 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในโรงเรือนอัจฉริยะ โรงเรือนทั่วไป และสภาพแวดล้อมภายนอก



ภาพที่ 12 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในโรงเรือนอัจฉริยะ โรงเรือนทั่วไป และสภาพแวดล้อมภายนอก ในแต่ละช่วงเวลาของวัน

เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาตที่นำเสนอที่ชัดเจนขึ้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับของอุณหภูมิภายในโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาตในแต่ละช่วงเวลาของวัน จากผลการทดลองที่แสดงในภาพที่ 10 เราจะเห็นอย่างได้อย่างชัดเจนว่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาตที่นำเสนอจะมีระดับอุณหภูมิที่ค่อนข้างคงที่โดยจะอยู่ในช่วง 26 °C ถึง 29

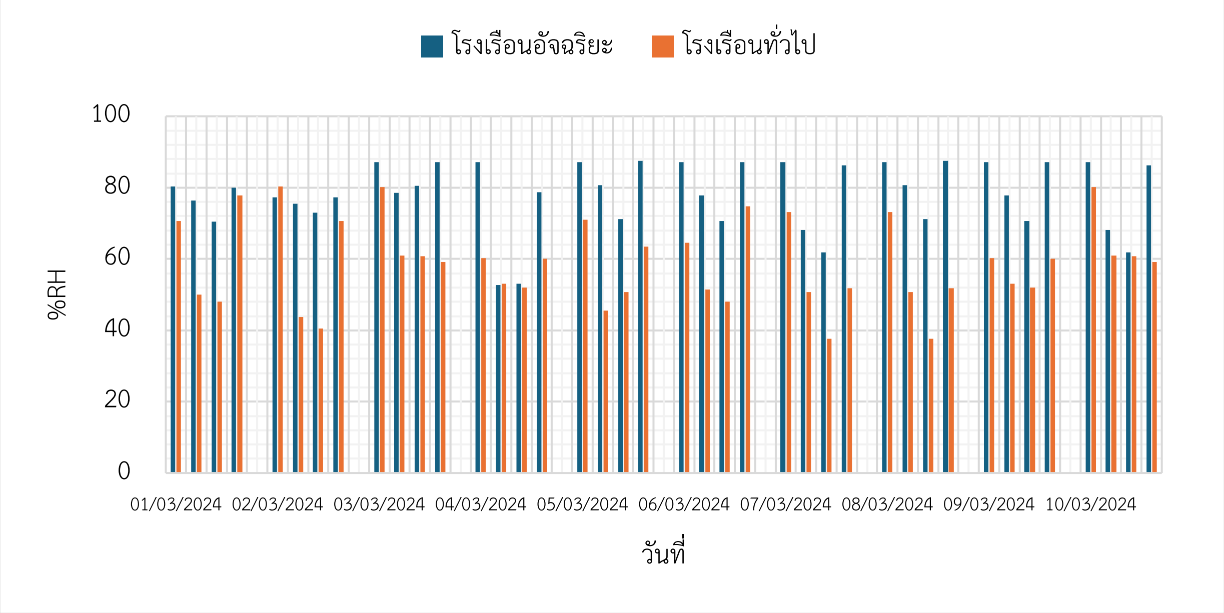
°C ส่วนอุณหภูมิภายในโรงเรือนทั่วไปจะมีค่าต่ำในช่วงกลางคืนและจะมีค่าสูงตอนกลางวันโดยจะอยู่ในช่วง 21 °C ถึง 37 °C ซึ่งเป็นช่วงของอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมวนพิฆาต



ภาพที่ 13 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในกล่องเลี้ยง

การทดลองที่สามผู้วิจัยจะทำการทดลองเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของโรงเรือนและระบบควบคุมโรงเรือนอัจฉริยะที่นำเสนอในด้านของการควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในโรงเรือน เช่นเดียวกันในการทดลองนี้ผู้วิจัยจะทำการทดลองในช่วงวันที่ 01/03/2024 ถึง 10/03/2024 จาก 4 ช่วงเวลา คือ 06:00 12:00 17:00 และ 24:00 น. จากผลการทดลองที่แสดงในภาพที่ 11 เราจะเห็นว่าโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาตที่นำเสนอมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลในด้านการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่ดีกว่าโรงเรือนทั่วไป โดยจะมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในโรงเรือนจะอยู่ในช่วง 65 %RH ถึง 81 %RH ซึ่งเป็นช่วงของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมวนพิฆาต แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองเราจะเห็นว่าระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในโรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาตทั่วไปจะมีค่าใกล้เคียงกับระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายนอกโรงเรือนและจะมีค่าต่ำกว่าระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของโรงเรือนที่นำเสนออย่างมาก โดยจะมีระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ในช่วง 42 %RH ถึง 65 %RH ซึ่งเป็นช่วงของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมวนพิฆาต

เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาตที่ชัดเจนขึ้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อแสดงให้เห็นถึงระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในโรงเรือนในแต่ละช่วงเวลาของวัน จากผลการทดลองที่แสดงในภาพที่ 11 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในโรงเรือนอัจฉริยะสำหรับมวนพิฆาตที่นำเสนอจะค่อนข้างคงที่คืออยู่ในช่วง 65 %RH ถึง 81 %RH ส่วนระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในโรงเรือนทั่วไปจะมีค่าต่ำกว่า โดยจะอยู่ในช่วง 42 %RH ถึง 65 %RH ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมวนพิฆาต



ภาพที่ 14 กราฟเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศภายในกล่องเลี้ยง

เนื่องจากการเลี้ยงมวนพิฆาตที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นการเลี้ยงในกล่องเลี้ยงที่ถูกจัดเก็บไว้ในโรงเรือน ดังนั้นในการทดลองที่ห้าและหกผู้วิจัยจะแสดงให้เห็นระดับของอุณหภูมิและระดับของความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในกล่องเลี้ยงมวนพิฆาต โดยผลการทดลองจะถูกแสดงไว้ในภาพที่ 13 และ 14 ตามลำดับ จากผลการทดลองผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่ากล่องเลี้ยงมวนพิฆาตที่อยู่ในโรงเรือนอัจฉริยะที่นำเสนอมีระดับอุณหภูมิและระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมวนพิฆาตที่มากกว่าโรงเรือนเลี้ยงมวนพิฆาตทั่วไป ส่งผลให้มวนพิฆาตที่ถูกเลี้ยงในโรงเรือนอัจฉริยะมีอัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตที่ดีกว่ามวนพิฆาตที่ถูกเลี้ยงในโรงเรือนทั่วไปประมาณ 8% ถึง 13% และผู้วิจัยยังพบอีกว่าแม่พันธุ์ของมวนพิฆาตที่ถูกเลี้ยงในโรงเรือนอัจฉริยะจะมีจำนวนไข่ที่มากกว่าแม่พันธุ์ของมวนพิฆาตที่ถูกเลี้ยงในโรงเรือนทั่วไปประมาณ 15%

มากไปกว่านั้นจากการทดลองผู้วิจัยพบว่าโรงเรือนอัจฉริยะที่นำเสนอใช้ไฟฟ้าในการเลี้ยงมวนพิฆาตในแต่ละรอบประมาณ 250 หน่วย โดยอ่านจากมิเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้ง ดังนั้นในแต่ละรอบการเลี้ยงมวนพิฆาตในโรงเรืองอัจฉริยะจะมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้าประมาณ 150 * 3.24 = 486 บาท

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาโรงเรือนสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาตขนาด 3 m x 8 m x 3 m และระบบควบคุมโรงเรือนแบบอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาตที่ถูกสร้างจากเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งร่วมกับเซนเซอร์วัดสภาพแวดล้อม โดยจากการทดลองผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่าโรงเรือนและระบบควบคุมโรงเรือนแบบอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาตที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นหนึ่งในโรงเรือนและระบบควบคุมโรงเรือนแบบอัจฉริยะที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสำหรับใช้ในการเลี้ยงมวนพิฆาต เพราะโรงเรือนและระบบควบคุมโรงเรือนแบบอัจฉริยะสำหรับเลี้ยงมวนพิฆาตที่ถูกนำเสนอสามารถควบคุมระดับอุณภูมิและระดับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมวนพิฆาตได้ตลอดเวลา

เอกสารอ้างอิง

[1] จรีวรรณ จันทร์คง, เกศสุดา สิทธิสันติกุล, นิโรจน์ สินณรงค์ และ กฤตวิทย์ อัจฉริยะพานิชกุล. (2562). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย [วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย].

[2] ชนิษฎา ชูสุข, สายฝน แสงหิรัญ ทองประเสริฐ, สมกฤษ มีปิด และ ดารารัตน์ ชัยมนตรี. (2559). การปรับตัวของชุมชนต่อปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา กรณีศึกษา ตำบลร้าแดง อำเภอสิงหนคร และตำบลเชิงแส อำเภอกระแสสินธุ์ จังหวัดสงขลา [ไม่ได้ตีพิมพ์].

[3] นุจรินทร์ ศิริวาลย์. (2554). การปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้ยิปซัมเพื่อความยั่งยืนทางการเกษตร [วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร].

[4] ระวีรัสมิ์ ขวัญซ้าย, นารีรัตน์ สีระสาร และบำเพ็ญ เขียวหวาน. (2566). การได้รับการส่งเสริมการจัดการศัตรูพืชโดยวิธีผสมผสานของเกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนในอำเภอเมืองระนอง จังหวัดระนอง. [วารสารวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมการเกษตร].

[5] สิปปวิชญ์ปัญญาตุ้ย, สมนึก แก้วเกาะสะบ้า, นิพนธ์ บุญมี, ชุติมา สุขโภคี, ทิวากร คำเงิน, รัชนีกร เหม่ชัยภูมิ และเจนจิรา หม่องอ้น. (2564). ผลของชนิดวัสดุคลุมดินต่อการควบคุมวัชพืชในการผลิตเมล็ดพันธุ์หลักข้าวไร่พันธุ์อาร์ 258 : กรณีศึกษาศูนย์วิจัยข้าวสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่. [วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี].

[6] สาวิตรี สุวรรณ์. (2555). การใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตปาล์มน้ำมันของเกษตรกรในอำเภอบ้านนาเดิม จังหวัดสุราษฎร์ธานี. [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์] มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

[7] วิลาสิณี ทองบุ, พรนภา ศุกรเวทย์ศิริ และ สุนิสา ชายเกลี้ยง. (2562). ความชุกของพิษจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในเกษตรกรจังหวัดร้อยเอ็ด : กรณีศึกษาพื้นที่โซนใต้. [วารสารสาธารณสุขมหาวิทยาลัยบูรพา].

[8] ชลธิชา ภูคองตา. (2562). การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชในนาข้าวของเกษตรกร ตำบลชุมพวง อำเภอชุมพวง จังหวัดนครราชสีมา. [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์] มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

[9] วันปิติ ธรรมศรี. (2564). ผลกระทบทางสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรไทย. [วารสารเกษตรพระจอมเกล้า].

[10] วงเดือน สุนทรวิภาต และคณะ. (2549). การศึกษาการผลิตพืชผักปลอดภัยจากสารพิษตามหลักการทำการเกษตรที่ดีและเหมาะสมในพื้นที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่. [ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

[11] สรพงค์ เบญจศร. (2553). เกษตรอินทรีย์ในประเทศไทย. [วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ].

[12] ศมาพร แสงยศ. (2562). แมลงตัวห้ำ: ตัวควบคุมแมลงศัตรูพืชโดยชีววิธี. [เอกสารที่ไม่ได้ตีพิมพ์]. คณะผลิตกรรมการเกษตร, มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาสมรรถนะของระบบควบคุมสภาพอากาศในบ่อเลี้ยงจิ้งหรีดด้วยระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

Performance Study of Climate Control Systems in Cricket Container Using Solar Water Heating Systems

สุลักษณา มงคล[1], ปรีชา ศรีประภาคาร[2], คำภา สีภา[3] และ สราวุธ พลวงษ์ศรี[1*]

[1] หน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

[2] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

[3] สำนักงานพลังงานจังหวัดขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

[1]Smart energy and environmental research unit, School of renewable energy, Maejo University, San Sai District, Chiang Mai Province 50290

[2]Faculty of science, Mahasarakham University, Khamriang Sub-District, Kantarawichai District, Maha Sarakham Province, 44150

[3]Provincial energy office-KhonKaen, Muang Khon kaen, Khon Kaen, 40000

Corresponding author: Tel.: 090-3302479 E-mail address: Sarawut-energy@hotmail.com

Abstract

This research examines the performance of a climate control system in cricket containers using a solar water heating system. The study involves designing a suitable water heating system for temperature control in three cricket containers and comparing the farming results between containers with and without the system. The design required two flat-plate solar collectors, each with an area of 2.16 m², connected to a 300-liter hot water storage tank. A modified automotive air conditioning condenser was used as a heat exchanger to increase the temperature in the cricket containers. The installed system successfully maintained the temperature in the cricket containers between 28-32°C, while containers without the system experienced a low of 16.3°C. The containers with the climate control system shortened the farming cycle by seven days per cycle and produced 7 kg per cycle more crickets per farm per cycle compared to farms without the system. With an investment of 120,000 THB, farmers could increase their annual income by 21,600 THB, achieving a payback period of 4.60 years.

Keywords: Solar water heating systems, Cricket container, Climate control systems, Performance

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของระบบควบคุมสภาพอากาศในบ่อเลี้ยงจิ้งหรีดด้วยระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะทำการออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนที่เหมาะสมกับการควบคุมอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงจิ้งหรีด 3 บ่อ และทำการติดตั้งระบบเพื่อเปรียบเทียบผลการเลี้ยงระหว่างบ่อที่ติดตั้งระบบและบ่อที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ จากการออกแบบระบบพบว่า จะต้องใช้แผงตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบขนาด 2.16 m^2 จำนวน 2 แผง ต่อเข้ากับถังเก็บน้ำร้อนขนาด 300 ลิตร ใช้แผงคอนเดนเซอร์แอร์รถยนต์ดัดแปลงเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเพิ่มอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงจิ้งหรีด เมื่อนำไปติดตั้งและเลี้ยงจิ้งหรีดพบว่า บ่อที่ติดตั้งระบบควบคุมสภาพอากาศสามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศในบ่อเลี้ยงจิ้งหรีดให้อยู่ในช่วง 28-32 $^\circ$C ได้ตลอดเวลา ในขณะที่บ่อที่ไม่ได้ติดตั้งระบบฯ อุณหภูมิในบ่อมีอุณหภูมิต่ำสุด 16.3 $^\circ$C เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการเลี้ยงและปริมาณจิ้งหรีดที่เลี้ยงพบว่า บ่อที่ติดตั้งระบบควบคุมสภาพอากาศในบ่อใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงสั้นกว่าบ่อที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ 7 วัน/รอบการเลี้ยง และสามารถเลี้ยงจิ้งหรีดได้มากกว่า 7 kg/บ่อ/รอบการเลี้ยง โดยมีเงินลงทุน 120,000 บาท สามารถเพิ่มรายได้ให้เกษตรกร 21,600 บาท/ปี คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 4.60 ปี

คำสำคัญ: ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ บ่อเลี้ยงจิ้งหรีด ระบบควบคุมสภาพอากาศ สมรรถนะ

ระบบการเพาะปลูกพืชไมโครกรีนอัจฉริยะ: การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ปิติภัทร ศักดิ์วงษ์[1] มณีรัตน์ วงษ์ซิ้ม [2*] และ เมธาพร อบทอง[3]

[1,2] สาขาการจัดการสมาร์ตซิตี้และนวัตกรรมดิจิทัล คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 14500
[3] สาขาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 415000
[1,2] Smart city management and digital innovation, Faculty of mahasarakham business school, Mahasarakham University, Mahasarakham 41500
[3] Business Computer, Faculty of mahasarakham business school, Mahasarakham University, Mahasarakham 41500
Corresponding author: Tel.: 086-8722722. E-mail address: manirath.w@acc.msu.ac.th

Abstract

This research investigates the factors affecting the germination and growth of microgreens in conventional cultivation systems that rely on human oversight. Key factors studied include fungi, pests, temperature, relative humidity, soil moisture, light intensity, and water quality. The findings from this study led to the design, development, and performance analysis of an intelligent microgreen cultivation system using Internet of Things (IoT) technology. The system controls the growing environment by maintaining optimal soil moisture levels and providing light through Light Emitting Diodes (LEDs) with wavelengths between 430-660 nanometers from 06:00 to 18:00, ensuring that the plants can photosynthesize in a closed system without natural sunlight.

The system controls five primary factors: light management, temperature and relative humidity control, soil moisture regulation, and water quality and temperature control. The experimental results showed that microgreens cultivated with this intelligent system exhibited better growth than those grown using conventional methods. The average stem length was approximately 3.9 centimeters longer in the IoT-controlled system, and growth was more uniform across the entire tray. Additionally, the time to harvest was reduced by 2-3 days compared to traditional cultivation methods.

The developed system successfully maintained environmental temperatures below 30°C, relative humidity between 60-90%, moderate soil moisture, and water temperature below 28°C. This research demonstrates that the intelligent cultivation system can significantly enhance microgreen growth efficiency and is suitable for producing high-quality microgreens in limited spaces.

Keywords: Micro-green, IoT, Smart Farming

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการงอกและเจริญเติบโตของผักไมโครกรีนในระบบการเพาะปลูกแบบทั่วไปที่อาศัยการดูแลของมนุษย์ โดยปัจจัยที่พิจารณาได้แก่ เชื้อรา ศัตรูพืช อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดิน ปริมาณแสง และคุณภาพของน้ำ จากผลการศึกษานำไปสู่การออกแบบ พัฒนา และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบการเพาะปลูกผักไมโครกรีนแบบอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ซึ่งระบบนี้ควบคุมสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูกให้เหมาะสมตลอดระยะเวลาการเพาะ โดยมีการใช้แสงจากไดโอดเปล่งแสง (LED) ในย่านความถี่ 430-660 นาโนเมตร ตั้งแต่เวลา 06.00 น. ถึง 18.00 น. เพื่อช่วยให้ผักสามารถสังเคราะห์แสงได้ในระบบปิดที่ไม่มีแสงธรรมชาติ

การควบคุมในระบบนี้ประกอบด้วย 5 ปัจจัยหลัก ได้แก่ การควบคุมแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดิน และคุณภาพน้ำ ผลการทดลองพบว่าผักที่เพาะปลูกด้วยระบบอัจฉริยะมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าการเพาะปลูกแบบทั่วไป ทั้งในด้านความยาวเฉลี่ยของลำต้น ซึ่งมากกว่าประมาณ 3.9 เซนติเมตร และการเจริญเติบโตที่สม่ำเสมอทั่วทั้งถาด นอกจากนี้ยังสามารถลดระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวได้ 2-3 วัน ระบบที่พัฒนาสามารถควบคุมอุณหภูมิสภาพแวดล้อมให้ต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วงร้อยละ 60-90 ความชื้นในดินอยู่ในระดับปานกลาง (Moist) และควบคุมอุณหภูมิของน้ำให้อยู่ต่ำกว่า 28 องศาเซลเซียส

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าระบบการเพาะปลูกอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของพืชไมโครกรีนและสามารถนำไปใช้ในการผลิตพืชผักที่มีคุณภาพสูงได้ในพื้นที่จำกัด

คำสำคัญ: ไมโครกรีนอัจฉริยะ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สมาร์ตฟาร์ม

บทนำ

ปัจจุบันนวัตกรรมเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะในนโยบาย Thailand 4.0 ซึ่งเน้นการขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรม กลุ่มเป้าหมายหลัก ได้แก่ อาหาร เกษตร และเทคโนโลยีชีวภาพ ซึ่งเกษตรกรในยุคนี้ได้เริ่มใช้เทคโนโลยีในการปรับปรุงกระบวนการเพาะปลูกภายใต้แนวคิด "Smart Farmer" เพื่อให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพการที่คนในสังคมเมืองมีจำนวนมากขึ้น ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพจากการบริโภคอาหารที่ไม่เพียงพอหรือไม่ปลอดภัย เนื่องจากข้อจำกัดด้านพื้นที่ เช่น ห้องเช่าหรือคอนโดมิเนียม ทำให้ไม่สามารถเพาะปลูกผักได้เอง โดยเฉพาะผักที่ต้องการแสงแดดและพื้นที่เพาะปลูกที่เพียงพอ ปัญหานี้ส่งผลให้การบริโภคพืชผักในทวีปเอเชียต่ำกว่ามาตรฐานที่องค์กรอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) แนะนำ

หนึ่งในทางแก้ไขคือการบริโภคพืชผักต้นงอก (sprout) และไมโครกรีน (microgreen) ซึ่งเป็นพืชที่เพาะปลูกง่ายในพื้นที่จำกัดและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าผักที่เจริญเติบโตเต็มที่ อย่างไรก็ตาม ยังมีความต้องการในการพัฒนาเทคโนโลยีและเครื่องมือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะปลูก

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาระบบการเพาะปลูกผักไมโครกรีนแบบอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) สำหรับการเพาะปลูกในพื้นที่จำกัด โดยระบบนี้สามารถควบคุมและตรวจสอบผ่านแอพพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน เพื่อตอบโจทย์การเพาะปลูกผักที่มีคุณภาพและปลอดสารพิษตามความต้องการของผู้บริโภคในสังคมเมือง

<u>ผักไมโครกรีน</u>

ผักไมโครกรีนเป็นผลผลิตที่เกิดจากการนำเมล็ดผักหรือสมุนไพรมาเพาะให้งอกและ เจริญเติบโตหลังจากงอกออกมาจากเมล็ดแล้วใบเลี้ยงคลี่เต็มที่ มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 7-14 วัน หลังการเพาะปลูก [1] นิยมรับประทานส่วนที่อยู่ เหนือดินขึ้นมามีคุณค่าทางอาหารสูงเป็นแหล่งของวิตามิน เกลือแร่ และแร่ธาตุต่างๆเมื่อเปรียบเทียบ กับผักชนิดเดียวกันที่มีการเจริญเติบโตเต็มที่ผักไมโครกรีนจึงถูกนำมาประกอบเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในกลุ่มของคนรักสุขภาพ เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูงมี สารพฤกษเคมี ซึ่งเป็นมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีฤทธิ์ต้านอาการอักเสบ สามารถลดภาวะของโรคต่างๆ ได้แก่ โรคหัวใจขาดเลือด โรคเส้นเลือดในสมองตีบ ลดอัตราการป่วยและอัตราการเสียชีวิตจาก โรคมะเร็ง นอกจากผักไมโครกรีนนี้ยังมีสีสันสวยงาม เนื้อสัมผัสกรอบอร่อย และมีรสชาติที่เข้มกว่าผักที่เจริญเติบโตทั่วไปจึงนิยมนำมารับประทานสดมากกว่าการนำไปประกอบอาหารหรือทำให้สุก [2]

ภาพที่ 1 ไมโครกรีน

พืชไมโครกรีนมีคุณค่าทางอาหารสูงและรสชาติดี แต่มีราคาค่อนข้างสูง แต่อย่างไรก็ตามเรา สามารถปลูกพืชไมโครกรีนเพื่อรับประทานเอง และมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการซื้อมาจากห้างสรรพสินค้า มากเพียงแค่มีพื้นที่เล็ก ๆ ที่แสงแดดสามารถส่องถึงใช้ภาชนะขนาดเล็กที่สามารถใส่ดินและน้ำสำหรับการเพาะปลูกที่สำคัญคือต้องมีเมล็ดพืชที่ต้องการปลูกซึ่งคนเมืองที่มีพื้นที่ที่จำกัดก็สามารถปลูกได้ เช่น หน้าต่าง ระเบียง หรือทางหนีไฟก็ได้

โดยการเพาะผักไมโครกรีนแบบทั่วไปจะต้องนำเมล็ดแช่น้ำอย่างน้อย 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาโรยในถาดเพาะที่เตรียมไว้ กลบดินทับบาง ๆ เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะทำให้ต้นอ่อนโตเร็วขึ้นความชื้นมากเกินไป จะทำให้เกิดเชื้อราในดิน และจะส่งผลให้พืชเป็นโรครา ใบเป็นจุดด่าง มีศัตรูพืช [2] อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเพาะผักไมโครกรีนต้องต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงร้อยละ 65 ถึง 90 ระดับ ส่วนความชื้นในดินต้องอยู่ในระดับชื้นเหมาะสม (Moist) และอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกต้องต่ำกว่า 28 องศาเซลเซียส มิเช่นนั้นเมล็ดจะไม่สามารถดูดน้ำได้ทำให้การเจริญเติบโตช้า หรืออาจจะหยุดชะงักนอกจากนี้อาจจะขาดแคลเซียม ทำให้เกิดโรคปลายใบไหม้ (Tip burn) ได้ ดังนั้นจำเป็นต้องคอยดูแลปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการงอกของผักให้เหมาะสมอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้ได้ผักที่สะอาด มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ลำต้นอวบ และกรอบอร่อย นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินและสีแดงสามารถช่วยให้ผักเจริญเติบโตได้ในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์ โดยแสงสีน้ำเงินมีความยาวคลื่น 430-460 นาโนเมตร และแสงสีแดงมีความยาวคลื่น 630-660 นาโนเมตร ในอัตราส่วนแสงสีน้ำเงินต่อแสงสีแดงเป็น 1:3 ซึ่งเป็นย่านความยาวคลื่นที่ช่วยให้พืชในช่วงระยะผักงอกมีการเจริญเติบโตได้เร็วขึ้นได้ [3]

<u>การพัฒนาเกษตรสมัยใหม่ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง</u>

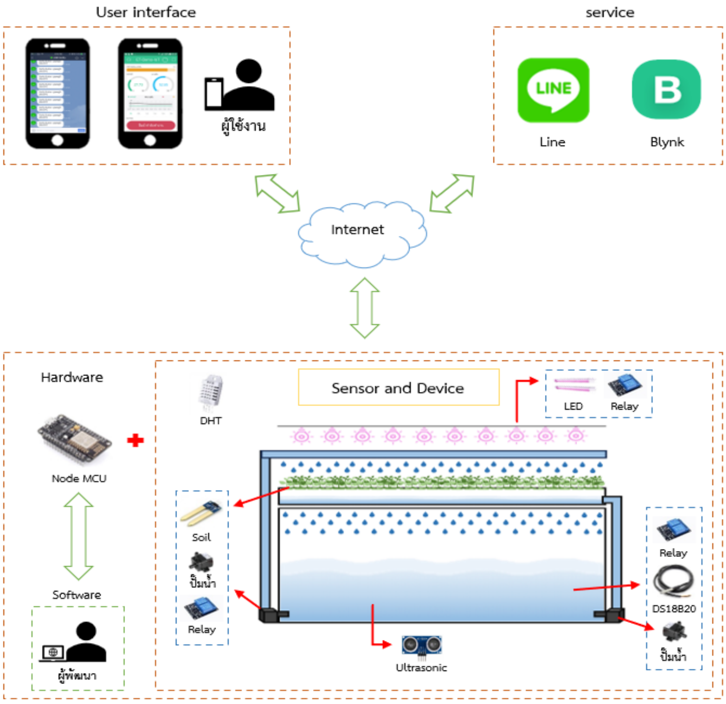
การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างประชากรสถานการณ์ปัจจัยการผลิตภาคเกษตร สถานการณ์ปัจจัยภายนอกการผลิตภาคเกษตร และปัจจัยการผลิตทางการเกษตร ปัญหาการผลิตภาคเกษตรกรรมของไทยที่ขาดความตระหนักและความเข้าใจการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพการเพิ่มผลผลิตที่มุ่งเน้นการเพิ่มปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ยการขาดข้อมูลความต้องการปัจจัยการผลิตของพืช เช่น น้ำและปุ๋ยเพื่อจัดการปัญหาที่เลี่ยงต่อการผลิตภาคเกษตรจึงมีความสำคัญที่แนวคิดการทำเกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture) มีหลักสำคัญโดยเริ่มต้นจากข้อมูล เช่น ความชื้น ปริมาณธาตุอาหาร สภาพอากาศในพื้นที่ ในการวิเคราะห์เก็บข้อมูลเชิงพื้นที่เช่น Image Technology, Remote sensing, UAV เทคโนโลยีเหล่านี้ช่วยจัดทำแผนที่แสดงข้อมูลพื้นที่ปลูกและข้อมูลพื้นที่รายแปลงมีความแน่นยำและรวดเร็ว นำไปสู่การตัดสินใจใส่ปัจจัยการผลิตรายแปลง [4]

การเกษตรแม่นยำเป็นการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่ในยุคสารสนเทศ (Information age) กับการเติบโตของอุตสาหกรรมเกษตร โดยระบบการจัดการพืชแบบผสมผสาน (Integrated crop management) ที่เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิดในพื้นที่ปลูกขนาดเล็ก การตัดสินใจเพื่อกำหนดการผลิตต้องพิจารณาถึงประโยชน์ด้านเศรษฐกิจและด้านสิ่งแวดล้อมใช้ข้อมูลการวิเคราะห์เพื่อการจัดการจากเทคโนโลยีระบบพื้นฐานประกอบด้วย GPS (Global positioning system) ระบบเซนเซอร์ (Remote sensing) GIS (Geographic information system) การประยุกต์ใช้งานในการทำเกษตรได้แก่ ระบบติดตามผลผลิตอย่างต่อเนื่อง การวัดสารอาหารและความชื้นในดิน การสุ่มตัวอย่างดินเพื่อสร้างแผนที่สารอาหาร (map of nutrient) ในดินการจัดการข้อมูลที่ประกอบด้วยผลผลิต แผนที่ลักษณะดินและปริมาณสารอาหารในดิน การจัดการเกษตร Climate Smart agriculture (CSA) เป็นการพัฒนาการเกษตรโดยมีนโยบายการพัฒนาที่เน้นการใช้เทคนิคการเพาะปลูก 1) เพิ่มผลผลิต 2) ลดความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและ 3) ลดการปล่อยมลพิษก๊าซเรือนกระจกจากการประชุม Hague Conference on Agriculture, Food Security and Climate Change ปี 2010 แต่คนไทยนิยมดัดแปลงใหม่ว่า Smart Agriculture และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้ขับเคลื่อนนโยบายให้เกษตรกรเป็นเกษตรปราดเปรื่องหรือเกษตรมืออาชีพ (Smart Farmer) [5]

วิธีการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในส่วนนี้จะแบ่งงานออกเป็นหกส่วนหลัก ๆ ส่วนแรกเป็นการเขียนโปรแกรม เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบตามหลักการทำงานและการประมวลผล โดยการสร้างชุดคำสั่งไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ควบคุมการเปิด-ปิดไฟเพาะปลูกผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ส่วนที่สองเป็นการวัดอุณหภูมิภายในน้ำและสั่งให้เครื่องปั๊มน้ำทำงานแบบอัตโนมัติ เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำเพาะปลูก ส่วนที่สามเป็นการวัดระดับน้ำ เพื่อตรวจสอบปริมาทน้ำเพาะปลูก ส่วนที่สี่เป็นการวัดค่าความชื้นของดินที่เพาะปลูก เพื่อสั่งให้เครื่องปั๊มน้ำทำการรดน้ำแบบอัตโนมัติ ส่วนที่ห้าจะเป็นการวัดอุณหภูมิและค่าความชื้นในอุปกรณ์เพาะปลูก และส่วนสุดท้ายคือการออกแบบหน้าจอแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk เพื่อให้ผู้ใช้สามารถควรคุมและดูข้อมูลผ่านสมาร์ทโฟนได้ โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎี การพัฒนาระบบสารสนเทศ (System Development Life Cycle : SDLC) ในขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน 1) ศึกษาระบบและวิเคราะห์ปัญหาระบบการทำงานเดิม 2) การพัฒนาระบบเพาะปลูกพืชไมโครกรีน โดยใช้ (System Development Life Cycle : SDLC) เพื่อเป็นการพัฒนาระบบ 3) การออกแบบเครือข่ายงานใหม่ 4) การออกแบบการทำงานของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (Hardware) 5) การใช้เครื่องมือสร้างและพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software) 6) การออกแบบอุปกรณ์เพาะปลูก และ 7) วิธีการวัดผลการวิจัย

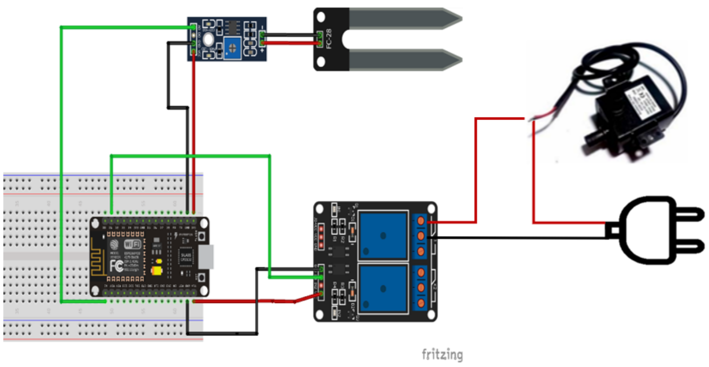
การออกแบบเครือข่ายงานใหม่



ภาพที่ 2 สถาปัตยกรรมระบบการเพาะปลูกพืชไมโครกรีนแบบอัจริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

การออกแบบระบบเครือข่ายใหม่ จำแนกออกเป็น 4 ส่วนสำคัญ ดังนี้ ส่วนที่ 1 จะเป็นในส่วนของอุปกรณ์ Hardware โดยแบ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ออกเป็นดังนี้ 1. อุปกรณ์เซ็นเซอร์ 2. อุปกรณ์ใช้ในการดูแลผักไมโครกรีน 3. Node MCU ESP8266 อุปกรณ์ทั้ง 3 ส่วนนี้จะทำงานร่วมกัน ซึ่งมี Node MCU เป็นตัวกลางในการควรคุมระบบทั้งหมด Node MCU 1 ตัว จะต่อเข้ากับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ 2 ตัว เพื่อทำการควบคุมระบบการทำงานของเครื่องเพราะปลูกผักไมโครกรีน จากการรับค่าจากอุปกรณ์เซ็นเซอร์ และเมื่อได้รับค่าจากอุปกรณ์เซ็นเซอร์มาแล้ว Node MCU ก็จะนำค่าที่ได้จากอุปกรณ์เซ็นเซอร์ไปประมวลผล เพื่อสั่งให้อุปกรณ์เพาะปลูกทำงาน อุปกรณ์ที่รับคำสั่งจาก Node MCU คือ ปั๊มน้ำ ซึ่งจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ตัว โดยปั้มน้ำตัวที่ 1 จะทำงานตามค่าที่ได้รับจาก Soil Moisture Sensor Module เมื่อค่าความชื้นในดินที่ได้รับอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนด ปั๊มน้ำตัวที่ 1 จะทำการนำเอาน้ำในถังส่งผ่านท่อไปรดน้ำผักในแปลงเพาะปลูก ปั๊มน้ำตัวที่ 2 จะทำงานตามค่าที่ได้รับจาก DS18B20 Temperature Sensor เมื่อค่าอุณหภูมิในน้ำที่ได้รับอยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดปั้มน้ำตัวที่ 2 จะทำการนำเอาน้ำที่อยู่ในถังเพาะปลูกส่งขึ้นรางน้ำบนถังน้ำ เพื่อลดอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูกให้อยู่ในอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับผักในแปลงเพาะปลูก อุปกรณ์ที่รับคำสั่งจาก Node MCU ต่อมาคือ หลอดไฟ LED Grow Ligh จะทำงานตามเวลาที่ได้ตั้งไว้คือ 06.00น. ถึง 18.00 น. เมื่ออยู่ในเงื่อนไขที่กำหนด หลอดไฟ LED Grow Ligh จะทำงานเพื่อให้แสงกับผักที่อยู่ในแปลงเพาะปลูก ส่วน Ultrasonic Sensor และ DHT Sensor จะทำงานร่วมกับ ส่วนที่ 2 คือ ส่วนของ Service โดยจะส่งค่าที่ได้จากการวัดผ่าน Internet ไปยังแอพพลิเคชั่น Blynk เพื่อให้ผู้ใช้สามารถติดตามข้อมูลและควรคุมอุปกรณ์เพาะปลูกได้ และในส่วนของแอพพลิเคชั่น Line จะทำการแจ้งเตือนเมื่อระบบเพาะปลูกมีความผิดปกติ โดยแอพพลิเคชั่น Blynk และ Line จะทำการส่งข้อมูลผ่าน Internet ไปในยังส่วนที่ 3 ที่เป็นส่วนของ User Interface เพื่อสามารถให้ผู้ใช้งานทำงานผ่านระบบสมาร์ทโฟนได้ และทั้งหมด 3 ส่วนนี้จะทำงานได้นั้น ต้องผ่านการออกแบบและพัฒนาทั้ง Hardware และ Software ในส่วนที่ 4 โดยผู้พัฒนาระบบ ซึ่งจะอธิบายกระบวนการทำงานของระบบการเพาะปลูกพืชไมโครกรีนแบบอัจริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในหัวข้อต่อไป

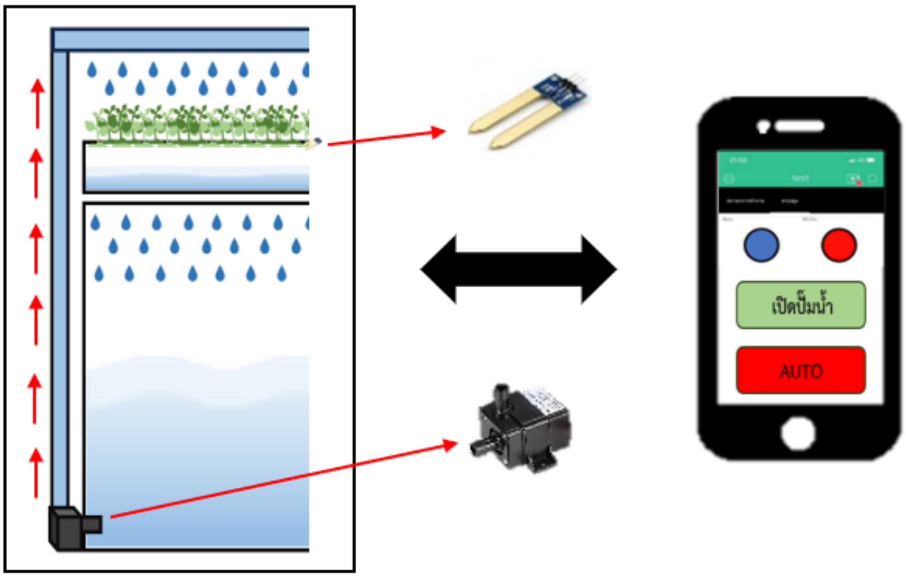
<u>ระบบเปิด-ปิดปั๊มน้ำ</u>



ภาพที่ 3 ลักษณะและการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระบบเปิด-ปิดปั๊มน้ำ

Soil Moisture Sensor Module เป็นเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินสามารถนำเซ็นเซอร์ไปเสียบลงดินในแปลงเพาะปลูกได้ เพื่อวัดความชื้นของดินในการเพาะปลูก และ Node MCU จะส่งคำสั่งไปยัง Relay ตามค่าที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ เพื่อสั่งการทำงานของ Relay ให้ทำการเปิด-ปิดปั๊มน้ำที่ต่อกับระบบไฟฟ้าให้ทำงานในการรดน้ำในแปลงเพาะปลูก

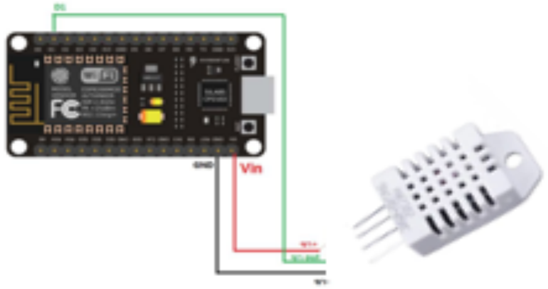
ผู้ดูแลระบบสามารถสั่งควบคุมการเปิด-ปิดปั๊มน้ำ ผ่านแอปพลิเคชัน (Blynk) หรือ สั่งให้เปิด-ปิดแบบอัตโนมัติด้วยการวัดค่าข้อมูลความชื้นในดินจาก Soil Moisture Sensor Module และสามารถตรวจเช็คสถานการณ์ทำงานได้



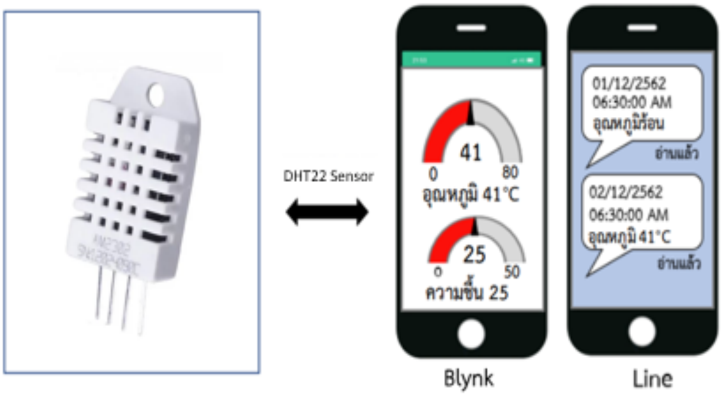
ภาพที่ 4 การทำงานของระบบเปิด-ปิดปั๊มน้ำ

ระบบวัดอุณหภูมิอุปกรณ์เพาะปลูก

DHT22 คือ โมดูลหรือเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศที่มีราคาถูก ใช้งานง่ายและสามารถใช้งานกับ Node MCU และ Arduino Uno R3 ได้ ซึ่งจะมีอยู่สองแบบ คือ แบบที่มาเป็นโมดูลกับแบบที่มีแต่เซ็นเซอร์มาให้อย่างเดียว โดยการรับส่งข้อมูลจาก DHT22 นั้นจะใช้สายสัญญาณเส้นเดียวกัน



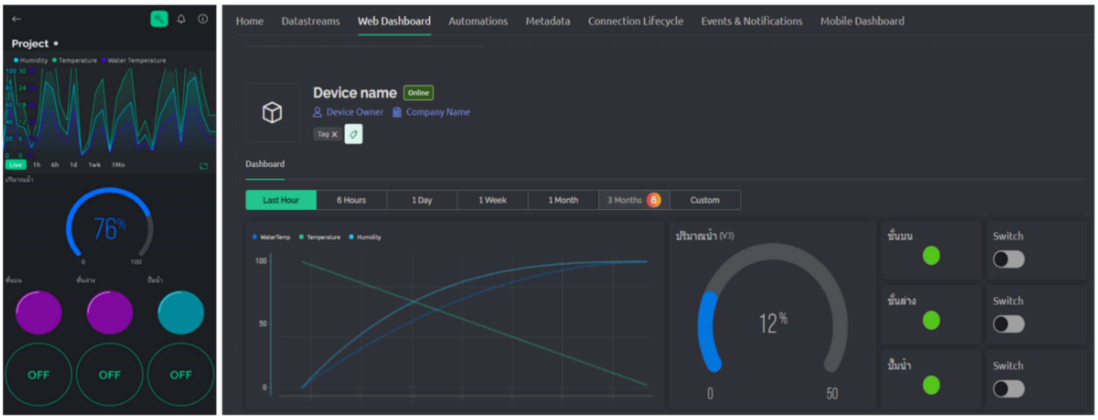
ภาพที่ 5 ลักษณะและการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระบบวัดอุณหภูมิอุปกรณ์เพาะปลูก



ภาพที่ 6 การทำงานของระบบวัดอุณหภูมิอุปกรณ์เพาะปลูก

การพัฒนาระบบการควบคุมการเพาะปลูกพืชไมโครกรีน

ระบบการเพาะปลูกพืชไมโครกรีนแบบอัจริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ได้นำ Arduino IDE คือ โปรแกรมที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมคำสั่งควบคุมอุปกรณ์เซ็นเซอร์ และ Blynk ที่เป็นแพลตฟอร์มเครื่องมือสำหรับใช้ในการพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มาใช้ในการพัฒนาระบบเพาะปลูกพืชไมโครกรีน โดยพิจารณาจากความสามารถที่หลากหลายและยังสามารถใช้งานได้ทั้งระบบเว็บและสมาร์ทโฟน ซึ่งตอบโจทย์ในการพัฒนาและใช้งานง่ายมากกว่าแพลตฟอร์มระบบอื่น รองรับอุณกรณ์ได้หลากหลายไม่ต้องพัฒนาระบบเครื่องแม่ข่าย (Server) เองทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการพัฒนา User Interface ในส่วนนี้จะเป็นหน้าจอแสดงผลและควบคุมอุปกรณ์ในการเพาะปลูก โดยผู้ใช้งานสามารถดูสถานะต่างๆ และควบคุมอุปกรณ์เพาะปลูกได้ผ่านระบบเว็บและสมาร์ทโฟน

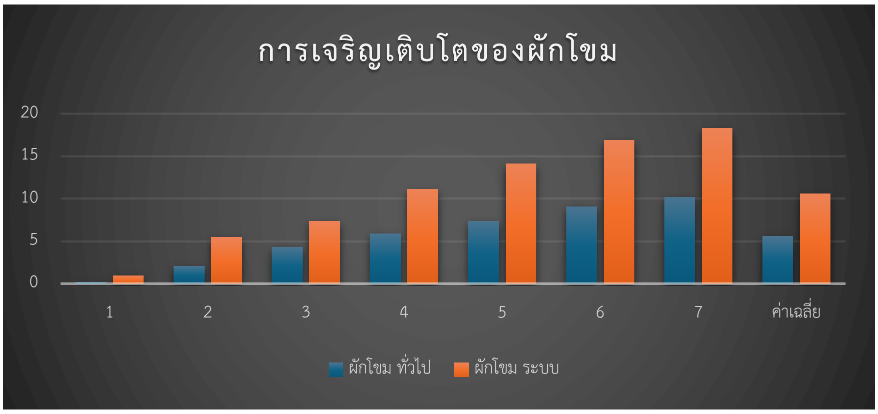


mobile web

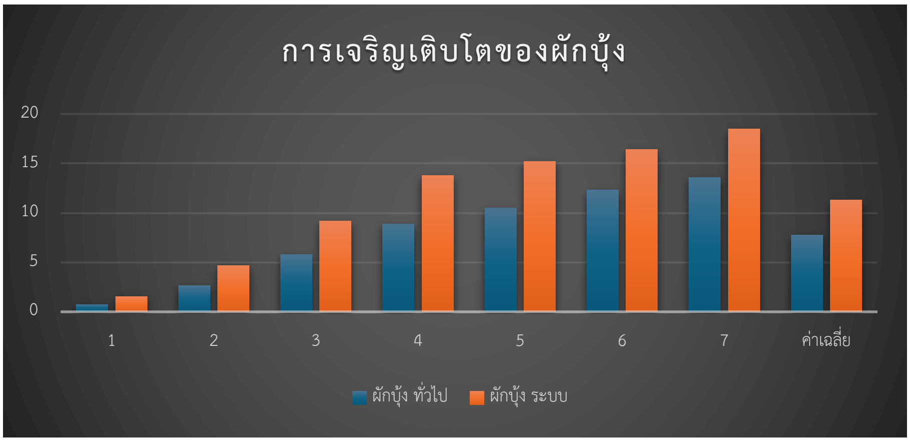
ภาพที่ 7 ส่วนของ User Interfaceระบบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

กรเปรียบเทียบกรเจริญเติบโตของผักทั้ง 3 ชนิด จกกรทดลองการเพะปลูกผักไมโครกรีนทั้งแบบทั่วไปและการเพาะปลูกด้วยระบบ แสดงดังภาพที่ 8 พบว่าการเพาะปลูกด้วยระบบมีการเจริญเติบโตดีกว่าการเพาะปลูกแบบทั่วไป ทั้งการเจริญเติบโตของลำต้น ราก และใบ ความยาวลำต้นเฉลี่ยของผักโขมยาวกว่าถึง 5.0 เซนติเมตร ความยาวลำต้นเฉลี่ยของผักบุ้งยาวกว่าถึง 3.5 เซนติเมตร และความยาวลำต้นเฉลี่ยของทานตะวันยาวกว่าถึง 3.9 เซนติเมตร และการเจริญเติบโตของผักที่เพาะปลูกด้วยระบบมีความใกล้เคียงกันทั่วทั้งถาด



ภาพที่ 8 กราฟผลการทดลองการเพาะปลูกทั่วไปและการเพาะปลูกด้วยระบบของผักโขม



ภาพที่ 9 กราฟผลการทดลองการเพาะปลูกทั่วไปและการเพาะปลูกด้วยระบบของผักบุ้ง

ภาพที่ 10 กราฟผลการทดลองการเพาะปลูกทั่วไปและการเพาะปลูกด้วยระบบของต้นทานตะวัน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นี้ศึกษาและพัฒนาระบบเพาะปลูกพืชไมโครกรีนแบบอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เพื่อใช้ในการเพาะปลูกในพื้นที่จำกัด ระบบนี้ประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ได้แก่ ระบบเปิด-ปิดไฟเพาะปลูก ระบบเปิด-ปิดปั๊มน้ำ ระบบวัดอุณหภูมิในน้ำ ระบบวัดระดับน้ำ และระบบวัดอุณหภูมิอุปกรณ์เพาะปลูก การทดลองเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างการเพาะปลูกแบบทั่วไปและการเพาะปลูกด้วยระบบอัจฉริยะนี้ดำเนินการเป็นเวลา 14 วัน แบ่งออกเป็น 7 ช่วง ช่วงละ 2 วัน

ผลการทดลองพบว่าการเพาะปลูกด้วยระบบอัจฉริยะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการเพาะปลูกแบบทั่วไป โดยมีการเจริญเติบโตของลำต้น ราก และใบที่ดีกว่า ความยาวลำต้นเฉลี่ยของผักโขม ผักบุ้งจีน และทานตะวันยาวกว่าถึง 5.0 เซนติเมตร, 3.5 เซนติเมตร, และ 3.9 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ การเจริญเติบโตของพืชในถาดเพาะปลูกยังมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

ในการออกแบบระบบ ผู้วิจัยเลือกใช้เซนเซอร์และอุปกรณ์ที่มีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย ซึ่งลดต้นทุนในการพัฒนา แม้เซนเซอร์ที่ใช้อาจมีความแม่นยำน้อยกว่าเซนเซอร์ราคาแพง แต่งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาสามารถใช้งานได้จริงในการเพาะปลูกพืชไมโครกรีน

การทดลองสรุปได้ว่าระบบสามารถควบคุมสภาวะต่าง ๆ ได้เหมาะสม ซึ่งส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น ลดระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวได้ 2-3 วัน เมื่อเทียบกับวิธีการเพาะปลูกทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

[1] พ. ช. ย. ห. ร. โคตร, เ. จ. ร. เ. ย. กุล, and ภ. ม. ฤ. ท. ไชย, "ผล ของ สาร กระตุ้น ชีวภาพ ต่อ ปริมาณ สาร ต้าน อนุมูล อิสระ และ ความ สามารถ ใน การ ยับยั้ง อนุมูล อิสระ ใน ไมโคร กรี น ผัก พื้นเมือง วงศ์ Brassicaceae," *Thai Science and Technology Journal,* pp. 109-123, 2019.

[2] จิระเดช แจ่มสว่าง และวรรณวิไล อินทนู, "การผลิตเชื้อราไตรโคเดอร์มาชนิดสดด้วย เทคนิคอย่างง่ายเพื่อใช้ควบคุมโรคเน่าระดับดินของถั่วฝักยาวที่เกิดจากเชื้อรา sclerotium rolfsii,," การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ *40,* pp. 4-7, 2545.

[3] K.-H. Lin, M.-Y. Huang, W.-D. Huang, M.-H. Hsu, Z.-W. Yang, and C.-M. Yang, "The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (Lactuca sativa L. var. capitata)," *Scientia Horticulturae,* vol. 150, pp. 86-91, 2013/02/04/ 2013, doi: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.002.

[4] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, "แรงงานกับการเปลี่ยนแปลงของภาคการเกษตรไทย," 2560. [Online]. Available: https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/NorthEastern/DocLib_Research/.

[5] กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, "แผนพัฒนาการเกษตรในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับบที่ 12.," 2559.

ต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชสำหรับการปลูกพืชแบบแถวตรงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์
A Prototype of AI-Powered Weeding Machines for Direct Row Crops

สุทัตชา รุ่งสว่าง ยุทธพงษ์ ตาระปิน นิกราน หอมดวง กิตติกร สาสุจิตต์ เสมอขวัญ ตันติกุล ทัศนีย์ ชัยยา และ สุระพล ริยะนา*

Sutatcha Rungsawang, Yuthapong tarapin, Nigran Homdoung, Kittikorn Sasujit, Samerkhwan Tantikul, Tatsanee Chaiya, and Surapon Riyana*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

School of Renewable Energy, Maejo University, Nongharn, Sansai, Chiangmai, 50290

*Corresponding author: Tel.: 0933036346. E-mail address: surapon_r@mju.ac.th

ABSTRACT

This work aims to design and construct a 1.00 m x 0.70 m x 0.43 m machine for weeding Amaranthus Viridis L., Echinochloa Crus-Galli L., Eclipta Prostrata L., Desmodium Triflorum L., and Cyperus Rotundus L. The constructed machine is based on an NVIDIA® Jetson Nano™ 2GB Developer Kit in conjunction with a NodeMCU ESP-32 and a 70 MP Camera. The drive system of the constructed weeding machine is based on four electric motor wheels. To eliminate weeds, a vertical actuator is used. To claim the constructed weeding machine is an efficient and effective machine for eliminating weeds, it is evaluated at three different ranges of times which are 9.00 – 10.20, 12:10 - 13:30, and 16.00 – 17.30 on three 0.70 m x 5.00 m plots. Each plot plants twenty mustard greens, twenty barnyard grasses, twenty goosegrasses, twenty nut sedges, and twenty pigweeds. The experimental results show that the constructed weeding machine has an average detection accuracy of 70%. The average time spent on weed removal per plot was 10.07 minutes and the average time spent on weed removal was 1.57 minutes/plant. Specifically, the constructed weeding machine achieved detection accuracies of 71% between 16:00 and 17:30, 70% between 9:00 and 10:20, and 69% between 12:10 and 13:30. The reduced efficiency during the 12:10 to 13:30 period was due to the intense brightness of the sunlight, which caused the images captured by the webcam to be less clear than at other times.

Keywords: Weed machinery, Artificial intelligence, Smart farm, Smart machinery

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และสร้างต้นแบบเครื่องกำจัดวัชพืชขนาด 1.00 m x 0.70 m x 0.43 m สำหรับใช้กำจัดวัชพืชแบบแถวตรงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับกำจัดวัชพืช 5 ชนิด ได้แก่ หญ้าผักโขม หญ้าข้าวนก หญ้ากะเม็ง หญ้าเกล็ดหอย และหญ้าแห้วหมู โดยปัญญาประดิษฐ์สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องกำจัดวัชพืชที่นำเสนอจะถูกสร้างจาก NVIDIA® Jetson Nano™ 2GB Developer Kit ร่วมกับ NodeMCU ESP-32 กล้องเว็บแคมที่มีความละเอียดของการจับภาพเท่ากับ 70 MP และระบบขับเคลื่อนแบบล้อมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 8 นิ้ว ที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 12 VDC จำนวน 2 ล้อ และหัวกำจัดวัชพืชถูกติดตั้งไว้ปลายกระบอกไฟฟ้าที่กำหนดให้เคลื่อนที่แบบแนวดิ่งร่วมกับลิเนียร์ไกด์ที่ทำหน้าที่เป็นรางสไลด์และรับน้ำหนักกระบอกไฟฟ้า เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพ และประสิทธิผลของเครื่องกำจัดวัชพืชที่นำเสนอทางผู้วิจัยได้กำหนดเวลาทดสอบที่แตกต่างกันสามช่วงเวลา คือ 9.00 – 10.20, 12:10 - 13:30, และ 16.00 – 17.30 บนแปลงปลูกพืชขนาด 0.70 m x 5.00 m จำนวนสามแปลง 3 ซ้ำ โดยแต่ละแปลงจะปลูกวัชพืช หญ้าผักโขม หญ้าข้าวนก หญ้ากะเม็ง หญ้าเกล็ดหอย และหญ้าแห้วหมู อย่างละ 20 ต้น จากการทดสอบผู้วิจัยพบว่าเครื่องกำจัดวัชพืชที่นำเสนอมีความแม่นยำในการกำจัดวัชพืชเฉลี่ยเท่ากับ 70% เวลาที่ใช้ในการกำจัดวัชพืชต่อแปลงเฉลี่ยเท่ากับ 10.07 นาที และเวลาที่ใช้ในการกำจัดวัชพืชเฉลี่ยเท่ากับ 1.57 นาที/ต้น มากไปกว่านั้นผู้วิจัยพบว่าช่วงเวลา 16.00 – 17.30 น. เครื่องกำจัดวัชพืชที่นำเสนอจะมีประสิทธิภาพการทำงานดีที่สุดคือมีความแม่นยำเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 71% และในช่วงเวลา 9.00 – 10.20 น. มีความแม่นยำเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 70% ส่วนในช่วงเวลา 12:10 - 13:30 น. จะมีความแม่นยำเฉลี่ยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69% สาเหตุที่เวลา 16.00 – 17.30 น. เครื่องกำจัดวัชพืชที่นำเสนอมีประสิทธิภาพการทำงานที่ต่ำกว่าช่วงเวลาอื่นเพราะในช่วงเวลาดังกล่าวมีแสงสว่างจ้าเกินไปส่งผลให้รูปภาพที่อ่านได้จากกล้องเว็บแคมมีความคมชัดเจนน้อยกว่าช่วงเวลาอื่น

คำสำคัญ: เครื่องกำจัดวัชพืช ปัญญาประดิษฐ์ เกษตรอัจฉริยะ เครื่องจักรอัจฉริยะ

บทนำ

อาชีพเกษตรกรรมคือหนึ่งในอาชีพหลักของคนไทย โดยเฉพาะคนไทยที่อาศัยอยู่ในเขตชนบทของประเทศไทย มากไปกว่านั้นอาชีพเกษตรกรรมยังเป็นหนึ่งในรากฐานที่สำคัญของวัฒนธรรม และสังคมไทยในแผนพัฒนากลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนบน 1 ได้รายงานผลการศึกษาเกี่ยวกับอาชีพเกษตรกรรมในประเทศไทยพบว่าในปัจจุบันนี้ (พ.ศ. 2567) มีประชากรประมาณ 6.4 ล้านครัวเรือนที่ประกอบอาชีพทางด้านเกษตรกรโดยจะกระจายอยู่ในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย แนวทางการทำเกษตรในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังจะเป็นการทำเกษตรแบบอาศัยธรรมชาติ และสามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ กสิกรรม [1] ปศุสัตว์ [2] การประมง [3] และป่าไม้ [4] ซึ่งการประกอบอาชีพเกษตรกรรมแต่ละประเภทเกษตรกรมักจะเจอปัญหาเกี่ยวกับการทำเกษตรกรรมที่จะต้องแก้ไขแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของสภาพแวดล้อมในขณะที่ดำเนินกิจกรรมทางด้านเกษตรกรรม แม้แต่ทำเกษตรกรรมประเภทเดียวกันในพื้นที่ และเวลาที่แตกต่างกันก็นำไปสู่ลักษณะของปัญหาที่แตกต่างกัน หนึ่งในปัญหาหลักของเกษตรกรที่ประกอบอาชีพกสิกรรมคือปัญหาทางด้านวัชพืชเนื่องจากวัชพืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี และมีความทนทานมากกว่าพืชที่ปลูก ส่งผลให้พืชที่ปลูกไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดี และไม่สมบูรณ์ร่วมไปถึงการนำไปสู่ปัญหาผลผลิตไม่มีคุณภาพและปัญหาการมีปริมาณผลผลิตที่น้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ซึ่งวัชพืชที่พบบ่อยจะอยู่ในวงศ์หญ้า (Poaceae) [5] และชนิดที่พบบ่อยที่สุด คือ หญ้าผักโขม (*Amaranthus Viridis L.*) [6] หญ้าข้าวนก (*Echinochloa Crus-Galli L.*) [7] หญ้ากะเม็ง (*Eclipta Prostrata L.*) [8] หญ้าเกล็ดหอย (*Desmodium Triflorum L.*) [9] และหญ้าแห้วหมู (*Cyperus Rotundus L.*) [10] จากการศึกษาพบว่า

หญ้าผักโขมเป็นพืชที่ขึ้นง่ายและแพร่ขยายอย่างรวดเร็ว จะขึ้นอยู่ทั่วไปตามแหล่งธรรมชาติ จะพบมากในบริเวณสวนผัก สวนผลไม้ และไร่นา หญ้าผักโขม มักสร้างความเสียหายให้พืชเศรษฐกิจ เช่น แย่งธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช น้ำ แสงสว่าง ทำให้พืชที่ปลูกไว้ไม่เจริญเติบโต และให้ผลผลิตน้อยลง ตัวอย่างรูปของหญ้าผักโขมแสดงในภาพที่ 1

ภาพที่ 1 หญ้าผักโขม (*Amaranthus Viridis L.*)

ภาพที่ 2 หญ้าข้าวนก (*Echinochloa Crus-Galli L.*)

ภาพที่ 3 หญ้ากะเม็ง (*Eclipta Prostrata L.*)

ภาพที่ 4 หญ้าเกล็ดหอย (*Desmodium Triflorum L.*)

หญ้าข้าวนกหรือหญ้าพุ่มพวงเป็นวัชพืชที่พบได้ทั่วไปตามพื้นที่ชื้นแฉะ และมีน้ำขังในช่วงหน้าฝน โดยเฉพาะแปลงเพาะปลูก แพร่กระจายได้เร็ว ทนต่อดินเค็ม และดินเปรี้ยวได้สูง หญ้าข้าวนกมีลักษณะลำต้น และใบคล้ายกับต้นข้าว ตัวอย่างรูปของหญ้าข้าวนกหรือหญ้าพุ่มพวงแสดงในภาพที่ 2 หญ้ากะเม็งเป็นวัชพืชที่สร้างความเสียหายแก่พื้นที่ปลูกเป็นอย่างมากมักจะพบขึ้นบริเวณชุ่มชื้น เช่น ในนาข้าว ริมคลอง ริมบ่อน้ำ และในแปลงพืชไร่ทั่วไป หญ้ากะเม็งเป็นวัชพืชที่ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด ตัวอย่างรูปของหญ้ากะเม็งแสดงในภาพที่ 3 หญ้าหญ้าเกล็ดหอยเป็นพืชล้มลุกจำพวกหญ้าที่ทอดเลื้อยไปตามพื้นดิน ซึ่งจะมีสูงได้ประมาณ 4.5 cm - 12.5 cm และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นมีขนาดประมาณ 0.6 mm - 1.1 mm พบได้ในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ตัวอย่างรูปของหญ้าเกล็ดหอยแสดงในภาพที่ 4 หญ้าแห้วหมูเป็นพืชใบเลี้ยงเดียวเป็นพืชจำพวกไม้ล้มลุก ลำต้นอยู่ใต้ดิน มีลักษณะเป็นหัวกลม และมีตาจำนวนมาก ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ดหรือหัวใต้ดิน แห้วหมูจัดเป็นวัชพืชที่มีการกระจายพันธุ์ในเขตร้อนที่กำจัดยากเพราะมีหัวใต้ดิน และทนต่อสารกำจัดวัชพืช ตัวอย่างรูปของหญ้าแห้วหมูแสดงในภาพที่ 5

ภาพที่ 5 หญ้าแห้วหมู (Cyperus Rotundus L.)

เพื่อแก้ไขปัญหาวัชพืชที่ได้กล่าวถึงต้นเกษตรกรบางพื้นที่จึงเลือกใช้วิธีการกำจัดวัชพืชโดยการถอนจากการใช้แรงงานมนุษย์โดยตรง [11] ถึงแม้ว่าจะเป็นวิธีที่ปลอดภัย และทำลายธรรมชาติหรือสภาพแวดล้อมน้อยที่สุดแต่มันมักจะไม่มีประสิทธิภาพเมื่อมีปริมาณของวัชพืชที่จะต้องกำจัดจำนวนมาก เพื่อแก้ไขปัญหานี้เกษตรกรบางพื้นที่จึงเลือกใช้งานเครื่องจักรกลทางการเกษตรในการกำจัดวัชพืช [12] ถึงแม้ว่าวิธีการกำจัดวัชพืชนี้จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้แรงงานมนุษย์ แต่มันก็นำไปสู่ปัญหาการทำเกษตรที่มีต้นทุนสูง ส่งผลให้เกษตรกรที่มีต้นทุนต่ำไม่สามารถเข้าถึงได้เนื่องจากไม่มีต้นทุนในการจัดซื้อเครื่องจักรกลทางการเกษตรมาใช้งาน ด้วยเหตุผลเหล่านี้เกษตรกรหลาย ๆ พื้นที่จึงเลือกแก้ไขปัญหาวัชพืชโดยใช้สารเคมีสำหรับกำจัดศัตรูพืชเพราะเป็นวิธีการกำจัดวัชพืชที่มีต้นทุนต่ำ และมีประสิทธิภาพที่ดีแต่ว่าการกำจัดวัชพืชโดยวิธีนี้ก็นำไปสู่ปัญหาอื่น ๆ เช่น ปัญหาทางด้านสุขภาพของเกษตรที่สัมผัสสารเคมีทางการเกษตร ซึ่งเราจะสามารถพบได้ทั้งผลกระทบที่เป็นพิษแบบเฉียบพลัน โดยเกษตรกรจะมีอาการในทันทีหลังจากสัมผัสสารเคมี เช่น คลื่นไส้ อาเจียน ปวดหัว ปวดกล้ามเนื้อ ท้องร่วง หายใจติดขัด หรือตาพร่า เป็นต้น ผลกระทบที่เป็นพิษแบบเรื้อรัง ซึ่งจะเกิดจากการสะสมสารพิษที่ก่อให้เกิดโรคหรือปัญหาอื่น ๆ ในระยะยาว เช่น มะเร็ง เบาหวาน อัมพฤกษ์ อัมพาต โรคผิวหนังต่างๆ การเป็นหมัน การพิการของทารกแรกเกิด หรือการเสื่อมสมรรถภาพทางเพศ เป็นต้น ปัญหาสารพิษปนเปื้อนในผลผลิตทางการเกษตร ปัญหาจุลินทรีย์และสัตว์ในดินตายส่งผลให้เกินปัญหาดินเสื่อมคุณภาพในระยะยาว และปัญหาสารเคมีทางการเกษตรไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจนส่งผลให้สัตว์น้ำหรือพืชน้ำตายหรือจำนวนลดลง มากไปกว่านั้นอาจจะส่งผลให้สัตว์น้ำมีสารพิษสะสมในตัวซึ่งจะนำอันตรายไปสู่เกษตรกรที่จับสัตว์น้ำเหล่านั้นมารับประทาน จากรายงานการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรของประเทศไทยในปี 2565 พบว่ามีการนำเข้าวัตถุอันตรายทางการเกษตรจำนวน 136,101,303 kg ซึ่ง 74,164,721 kg เป็นวัตถุอันตรายทางการเกษตรชนิดกำจัดวัชพืช จากตัวเลขดังกล่าวจะชี้ให้เห็นพบว่าเกษตรกรมีการใช้สารเคมีในการกำจัดวัชพืชจำนวนมาก เพื่อแก้ไข้ปัญหาการใช้สารเคมีในภาคการเกษตรแนวคิดการทำเกษตรหลาย ๆ แนวคิดจึงได้ถูกเสนอขึ้นมา โดยแนวจะมีสองแนวคิดที่ถูกยอมรับ และมีการนำไปปฏิบัติกันอย่างกว้างขวางคือ “การทำเกษตรปลอดภัย (Good Agriculture Practices: GAP) [13]” และ “การทำเกษตรอินทรีย์ (Organic Farming) [14]”

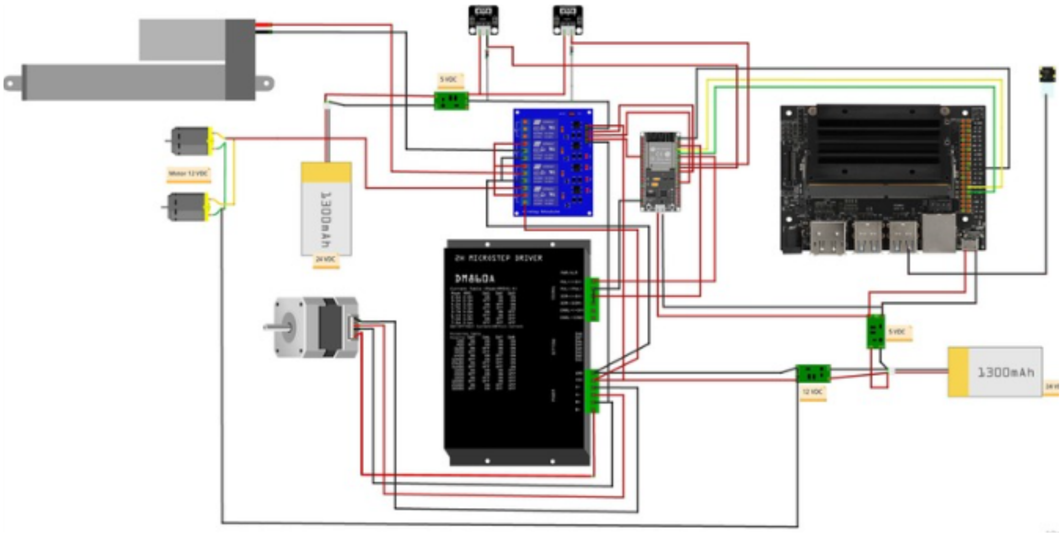
การทำเกษตรปลอดภัยคือการทำเกษตรที่ยังอนุญาตให้เกษตรกรยังสามารถใช้สารเคมีทางการเกษตรบางตัวได้ แต่จะต้องมีการเว้นระยะการเก็บเกี่ยวที่ปลอดภัย ส่วนการทำเกษตรอินทรีย์เป็นการทำเกษตรแบบไม่อนุญาตให้ใช้สารเคมีในทุก ๆ กระบวนการตั้งแต่เพาะต้นกล้า ปลูก ดูแล จนถึงการเก็บเกี่ยว ด้วยเหตุผลนี้ส่งผลให้เกิดความยุ่งยากเมื่อต้องการทำเกษตรอินทรีย์ในพื้นที่ขนาดใหญ่ เพื่อแก้ไขปัญหานี้ผู้วิจัยจะนำเสนอเครื่องต้นแบบเครื่องกำจัดวัชพืชขนาด 1.00 m x 0.70 m x 0.43 m สำหรับใช้กำจัดวัชพืชแบบแถวตรงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับกำจัดวัชพืช 5 ชนิด ได้แก่ หญ้าผักโขม หญ้าข้าวนก หญ้ากะเม็ง หญ้าเกล็ดหอย และหญ้าแห้วหมู โดยต้นแบบเครื่องกำจัดวัชพืชที่นำเสนอจะถูกสร้างจาก

NVIDIA® Jetson Nano™ 2GB Developer Kit ร่วมกับ NodeMCU ESP-32 และกล้องเว็บแคมที่มีความละเอียดของการจับภาพเท่ากับ 70 MP ที่ใช้ระบบขับเคลื่อนแบบล้อมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 8 นิ้ว ที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 12 VDC จำนวน 2 ล้อ และหัวกำจัดวัชพืชถูกติดตั้งไว้ปลายกระบอกไฟฟ้าที่กำหนดให้เคลื่อนที่แบบแนวดิ่งร่วมกับลิเนียร์ไกด์ที่ทำหน้าที่เป็นรางสไลด์และรับน้ำหนักกระบอกไฟฟ้า

วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินการออกแบบ และสร้างต้นแบบเครื่องกำจัดวัชพืชขนาด 1.00 m x 0.70 m x 0.43 m สำหรับใช้กำจัดวัชพืชแบบแถวตรงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับกำจัดวัชพืช 5 ชนิด ได้แก่ หญ้าผักโขม หญ้าข้าวนก หญ้ากะเม็ง หญ้าเกล็ดหอย และหญ้าแห้วหมู โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้มีการกำหนดขั้นตอนในการวิจัยดังนี้

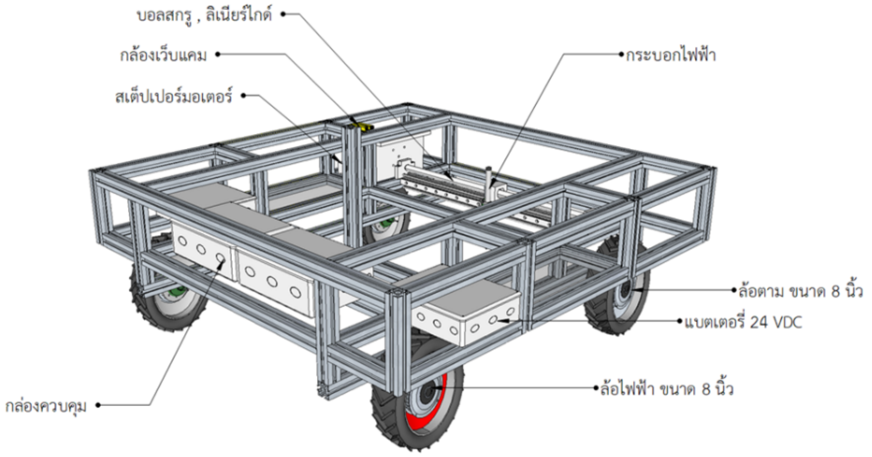
1. ออกแบบ และสร้างระบบควบคุมการทำงานของต้นแบบเครื่องกำจัดวัชพืช



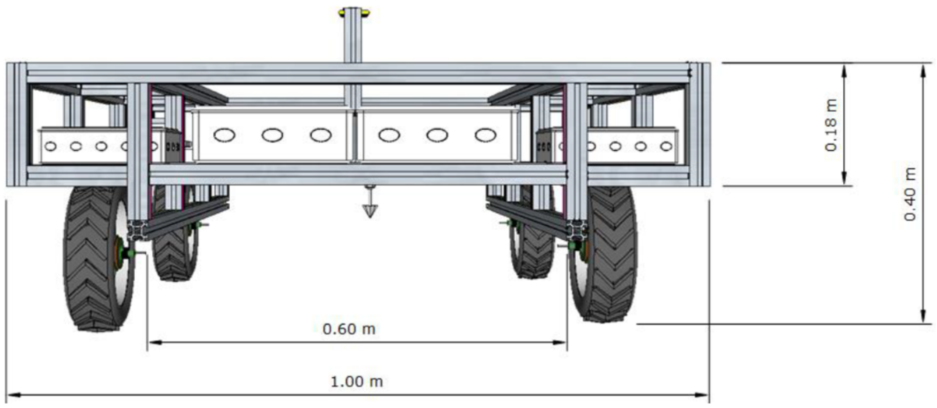
ภาพที่ 6 การเชื่อมโยงอุปกรณ์ของระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกำจัดวัชพืช

ในขั้นตอนนี้ทางผู้วิจัยจะออกแบบ และสร้างระบบควบคุมอัจฉริยะแบบปัญญาประดิษฐ์ของเครื่องกำจัดวัชพืชสำหรับการปลูกพืชไร่หรือพืชสวนแบบแถวตรง โดยระบบควบคุมที่สร้างขึ้นจะใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ 12 VDC ที่มีขนาดความจุ 20,000 mAh จำนวน 2 ก้อน ซึ่งแบตเตอรี่ทั้งสองก้อนจะถูกจัดวางในตำแหน่งซ้าย และขวาของเครื่องกำจัดวัชพืชเพื่อสร้างสมดุลทางด้านน้ำหนักให้กับเครื่องกำจัดวัชพืชตอนเคลื่อนที่ แบตเตอรี่ก้อนที่หนึ่งจะใช้เป็นแหล่งพลังไฟฟ้าให้กับชุดสมองกล ซึ่งประกอบด้วย NVIDIA® Jetson Nano™ 2GB Developer Kit, NodeMCU ESP-32, และ Microstep Driver แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ของระบบควบคุมบางตัวที่ใช้ในระบบควบคุมถูกออกแบบให้สามารถใช้แรงดันไฟฟ้าได้เพียง 5 VDC ส่งผลให้ไม่สามารถต่อเข้ากับแบตเตอรี่ขนาด 12 VDC ได้โดยตรง เพื่อแก้ไขปัญหานี้ผู้วิจัยได้ติดตั้งวงจรลดแรงดันไฟฟ้าแบบ Step-Down สำหรับลดแรงดันไฟฟ้าจาก 12 VDC เป็น 5 VDC เพื่อให้อุปกรณ์เหล่านั้นสามารถใช้งานพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ได้ แบตเตอรี่ก้อนที่สองจะถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำหรับใช้ในระบบขับเคลื่อนของเครื่องกำจัดวัชพืช ซึ่งประกอบด้วย Stepping Motor, Limit Switch, Actuator และ Electric Motor โดย NVIDIA® Jetson Nano™ 2GB Developer Kit จะถูกต่อเข้ากับกล้องเว็บแคมสำหรับใช้ในการตรวจจับตำแหน่งวัชพืชเพื่อ

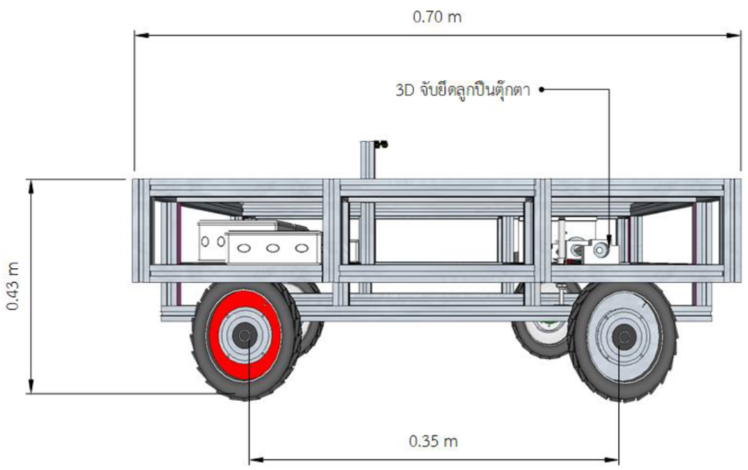
สั่งการให้ Actuator ทำงาน ซึ่ง Actuator จะทำงานแบบการแนวดิ่งในการกำจัดวัชพืช ส่วนสเต็ปมอเตอร์จะถูกใช้ในการเคลื่อนที่ของ Actuator ในแนวนอนสำหรับให้ Actuator สามารถขยับด้านซ้ายและด้านขวาได้เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดวัชพืช ส่วน NodeMCU ESP-32 จะถูกใช้เป็นสมองกลสำหรับควบคุมมอเตอร์ระบบขับเคลื่อนเพื่อให้เคลื่อนที่ไปด้านหน้าและถอยหลังได้อย่างเหมาะสม โดยการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบควบคุมอัจฉริยะแบบปัญญาประดิษฐ์แสดงในภาพที่ 6 มากไปกว่านั้นในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะมีการกำหนดกระบวนการทำงานของระบบควบคุมอัจฉริยะแบบปัญญาประดิษฐ์โดยใช้ภาษา Python และจัดเตรียมข้อมูลพื้นฐานของวัชพืชจากการเก็บรูปถ่ายวัชพืชแต่ละชนิด ๆ ชนิดละห้าสิบรูป จากนั้นนำรูปเหล่านี้ไปเพิ่มจำนวนและถูกสร้างในมุมมองที่แตกต่างกันโดยใช้เทคนิค Image Augmentation โดยผ่านบริการจาก Web Service (Roboflow) และรูปภาพเหล่านี้จะถูกแบ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ (Training Set) ของโมเดลการตรวจจับวัตถุ YOLOv5 โดยผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำในการจับภาพมากกว่า 90% จากผลการทดสอบของข้อมูลทดสอบ (Test Dataset) แต่เมื่อนำโมเดล YOLOv5 ไปใช้จริงในเครื่องกำจัดวัชพืชที่นำเสนอมีความแม่นยำในการกำจัดวัชพืชเฉลี่ยเท่ากับ 70% เนื่องจากแสงสว่างจ้าเกินไปส่งผลให้รูปภาพที่อ่านได้จากกล้องเว็บแคมมีความคมชัดน้อยลง



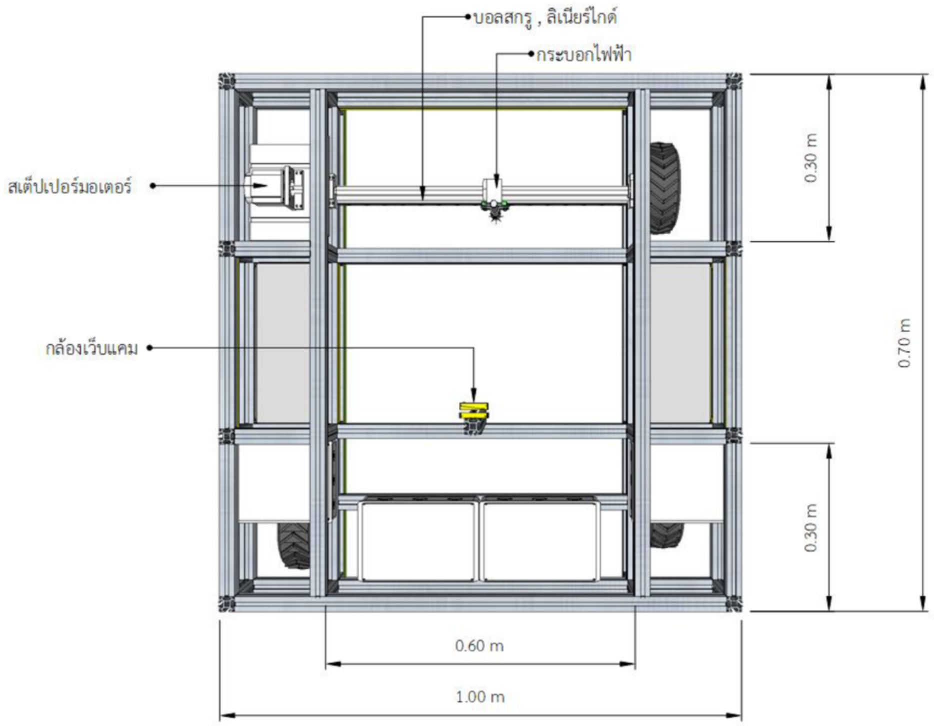
ภาพที่ 7 ภาพมุมมองการออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืช



ภาพที่ 8 ภาพมุมมองการออกแบบเพื่อแสดงให้เห็นขนาดของต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชจากด้านหน้า



ภาพที่ 9 ภาพมุมมองการออกแบบเพื่อแสดงให้เห็นขนาดของต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชจากด้านข้าง



ภาพที่ 10 ภาพมุมมองการออกแบบเพื่อแสดงให้เห็นขนาดของต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชจากด้านบน

2. การออกแบบ และสร้างของต้นแบบเครื่องกำจัดวัชพืช

ในขั้นตอนที่นี้ผู้วิจัยจะออกแบบ และสร้างต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชสำหรับการปลูกพืชแบบแถวตรงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ โดยในลำดับที่หนึ่งของขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะทำการออกแบบภาพ 3D ของเครื่องจักรกำจัดวัชพืชเพื่อแสดงให้เห็นถึงลักษณะของเครื่องจักรกำจัดวัชพืชก่อนจะดำเนินการสร้างจริงโดยใช้โปรแกรม SketchUp โดยภาพมุมมองของการ

ออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชจะแสดงในภาพที่ 7 ส่วนมุมมองการออกแบบเพื่อแสดงให้เห็นถึงขนาดของต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชจากด้านหน้า ด้านข้าง และด้านบนจะแสดงในภาพที่ 8, 9, และ 10 ตามลำดับ โครงสร้างของต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชจะสร้างจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ (Aluminium Profiles) ขนาด 30 mm x 30 mm ส่วนแบตเตอรี่ และระบบควบคุมจะถูกจัดเก็บไว้ในกล่องกันน้ำพลาสติกสำหรับป้องกันสิ่งสกปรก น้ำ และอื่น ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายระหว่างใช้งาน โดยรูปจริงของต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชจะแสดงในภาพที่ 11

ภาพที่ 11 ต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชสำหรับการปลูกพืชแบบแถวตรงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การออกแบบ และการพัฒนาต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชสำหรับการปลูกพืชแบบแถวตรงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นเกี่ยวกับพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับใช้งานในภาคเกษตรกรรม โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบ และพัฒนาต้นแบบเครื่องจักร และระบบควบคุมอัจฉริยะแบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับเครื่องจักรกำจัดวัชพืชสำหรับการปลูกพืชแบบแถวตรง เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพ และประสิทธิผลของต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชสำหรับการปลูกพืชแบบแถวตรงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ที่นำเสนอผู้วิจัยได้ทำการทดสอบที่แตกต่างกันสามช่วงเวลา คือ 9.00 – 10.20, 12:10 - 13:30, และ 16.00 – 17.30 บนแปลงปลูกพืชขนาด 0.70 m x 5.00 m จำนวนสามแปลง โดยแต่ละแปลงจะปลูกวัชพืชหญ้าผักโขม หญ้าข้าวนก หญ้ากะเม็ง หญ้าเกล็ดหอย และหญ้าแห้วหมู อย่างละยี่สิบ20ต้น จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 1 ผู้วิจัยพบว่าเครื่องกำจัดวัชพืชที่นำเสนอมีความแม่นยำในการกำจัดวัชพืชเฉลี่ยเท่ากับ 70% เวลาที่ใช้ในการกำจัดวัชพืชต่อแปลงเฉลี่ยเท่ากับ 10.07 นาที และเวลาที่ใช้ในการกำจัดวัชพืชเฉลี่ยเท่ากับ 1.57 นาที/ต้น มากไปกว่านั้นผู้วิจัยพบว่าช่วงเวลา 16.00 – 17.30 น. เครื่องกำจัดวัชพืชที่นำเสนอจะมีประสิทธิภาพการทำงาน

ดีที่สุดคือมีความเม่นยำเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 71% และในช่วงเวลา 9.00 – 10.20 น. มีความแม่นยำเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 70% ส่วนในช่วงเวลา 12:10 - 13:30 น. จะความแม่นยำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 69% สาเหตุที่เวลา 16.00 – 17.30 น. เครื่องกำจัดวัชพืชที่นำเสนอมีประสิทธิภาพการทำงานที่ต่ำกว่าช่วงเวลาอื่นเพราะในช่วงเวลาดังกล่าวมีแสงสว่างจ้าเกินไปส่งผลให้รูปภาพที่อ่านได้จากกล้องเว็บแคมมีความคมชัดน้อยกว่าช่วงเวลาอื่น

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ และประสิทธิผลของต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชสำหรับการปลูกพืชแบบแถวตรงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์

เวลา	แปลงที่	รอบที่	จำนวนต้น			แม่นยำ (%)	ผิดพลาด (%)	เวลา/แปลง (นาที)	เวลาเฉลี่ย/ต้น (นาที)
			กำจัด	ผิดพลาด	ทั้งหมด				
9:00	1	1	69	31	100	69%	31%	10.01	1.00
9:10		2	71	29	100	71%	29%	10.2	1.02
9:20		3	69	31	100	69%	31%	10.02	1.00
ค่าเฉลี่ย						**70%**	**30%**	**10.08**	**1.01**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						**1.15%**	**1.15%**	**0.11**	**0.01**
9:30	2	1	70	30	100	70%	30%	10.00	1.00
9:40		2	70	30	100	70%	30%	10.02	1.00
9:50		3	71	29	100	71%	29%	10.30	10.3
ค่าเฉลี่ย						**70%**	**30%**	**10.11**	**1.01**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						**0.58%**	**0.58%**	**0.17**	**0.02**
10:00	3	1	70	30	100	70%	30%	10.00	1.00
10:10		2	70	30	100	70%	30%	10.01	1.00
10:20		3	71	29	100	71%	20%	10.04	1.00
ค่าเฉลี่ย						**70%**	**30%**	**10.02**	**1.00**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						**0.58%**	**0.58%**	**0.02**	**0.00**
12:10	1	1	69	31	100	69%	31%	8.09	0.81
12:20		2	68	32	100	68%	32%	10.01	1.00
12:30		3	70	30	100	70%	30%	10.1	1.01
ค่าเฉลี่ย						**69%**	**31%**	**9.40**	**0.94**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						**1.00%**	**1.00%**	**1.14**	**0.11**
12:40	2	1	66	34	100	68%	34%	8.00	0.80
12:50		2	70	30	100	70%	30%	10.00	1.00
13:00		3	68	32	100	68%	32%	7.01	0.70
ค่าเฉลี่ย						**69%**	**32%**	**8.34**	**0.83**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						**1.15%**	**2.00%**	**1.52**	**0.15**
13:10	3	1	70	30	100	70%	30%	9.5	0.95
13:20		2	69	31	100	69%	31%	7.1	0.15
13:30		3	70	30	100	70%	30%	8.72	0.96
ค่าเฉลี่ย						**70%**	**30%**	**8.72**	**0.87**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						**0.58%**	**0.58%**	**1.40**	**0.14**
16:00	1	1	71	29	100	71%	29%	10.1	1.01
16:20		2	72	28	100	72%	28%	10.15	1.02

เวลา	แปลงที่	รอบที่	จำนวนต้น			แม่นยำ (%)	ผิดพลาด (%)	เวลา/แปลง (นาที)	เวลาเฉลี่ย/ต้น (นาที)
			กำจัด	ผิดพลาด	ทั้งหมด				
16:30		3	71	29	100	71%	29%	10.11	1.01
ค่าเฉลี่ย						**71%**	**29%**	**10.12**	**10.10**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						**0.58%**	**0.58%**	**2.65**	**0.26**
16:40	2	1	70	30	100	70%	30%	10.12	1.01
16:50		2	72	28	100	72%	28%	12.20	1.02
17:00		3	70	30	100	70	30	10.09	1.01
ค่าเฉลี่ย						**71%**	**29%**	**10.14**	**1.01**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						**1.15%**	**1.15%**	**0.06**	**0.01**
17:10	3	1	71	29	100	71%	29%	10.01	1.00
17:20		2	71	29	100	71%	28%	10.02	1.00
17:03		3	72	28	100	72%	29%	10.21	1.02
ค่าเฉลี่ย						**71%**	**28%**	**10.08**	**1.01**
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						**0.58%**	**0.58%**	**0.11**	**0.01**

สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยนำเสนอต้นแบบเครื่องจักรกำจัดวัชพืชสำหรับการปลูกพืชแบบแถวตรงโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ที่มีขนาด 1.00 m x 0.70 m x 0.43 m เป้าหมายของเครื่องจักรคือกำจัดวัชพืช 5 ชนิด ได้แก่ หญ้าผักโขม หญ้าข้าวนก หญ้ากะเม็ง หญ้าเกล็ดหอย และหญ้าแห้วหมู โดยปัญญาประดิษฐ์สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องกำจัดวัชพืชที่นำเสนอจะถูกสร้างจาก NVIDIA® Jetson Nano™ 2GB Developer Kit ร่วมกับ NodeMCU ESP-32 และกล้องเว็บแคมที่มีความละเอียดของการจับภาพเท่ากับ 70 MP โดยปัญญาประดิษฐ์ของจักรกำจัดวัชพืชจะถูกสร้างจากภาษา Python มากไปกว่านั้นข้อมูลพื้นฐานของวัชพืชที่จะถูกทำลายโดยเครื่องจักรที่นำเสนอคือรูปถ่ายวัชพืชเป้าหมาย นั่นก็คือวัชพืชเป้าหมายแต่แต่ละชนิดๆ จะถูกถ่ายรูปจำนวน 50 รูป รูปเหล่านี้จะถูกนำไปเพิ่มจำนวน และถูกสร้างในมุมมองที่แตกต่างกันโดยใช้เทคนิค Image Augmentation โดยผ่านบริการจาก Web Service (Roboflow) และรูปภาพเหล่านี้จะถูกแบ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการเรียนรู้ (Training Set) ของโมเดลการตรวจจับวัตถุ YOLOv5 โดยผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำในการจับภาพมากกว่า 90% จากผลการทดสอบของข้อมูลทดสอบ (Test Dataset) แต่เมื่อนำโมเดล YOLOv5 ไปใช้จริงในเครื่องกำจัดวัชพืชที่นำเสนอมีความแม่นยำในการกำจัดวัชพืชเฉลี่ยเท่ากับ 70% เนื่องจากแสงสว่างจ้าเกินไปส่งผลให้รูปภาพที่อ่านได้จากกล้องเว็บแคมมีความคมชัดน้อยลง เวลาที่ใช้ในการกำจัดวัชพืชต่อแปลงเฉลี่ยเท่ากับ 10.07 นาที และเวลาที่ใช้ในการกำจัดวัชพืชเฉลี่ยเท่ากับ 1.57 นาที/ต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] โสภณ แย้มกลิ่น. (2567). เกษตรกรรม. https://www.sophony.co/agribusiness/.

[2] สุวรรณา ทองดอนคำ. (ม.ป.ป.). การจัดการฟาร์มและการบริหารธุรกิจปศุสัตว์. [เอกสารที่ไม่มีการตีพิมพ์]. คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร สาขาสัตวศาสตร์

[3] จิรวัฒน์ จันทร์สว่าง. (2554). ประมงพื้นบ้าน. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร]. ฐานข้อมูลงานวิจัย (Thaijo).

[4] พงศ์วิชญ์ กันทะวงศ์ และวรทัศน์ อินทรัคคัมพร. (2557). ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ของชาวปกาเกอะญอในโครงการสถานีพัฒนาการเกษตรที่สูงตามพระราชดำริดอยแบแล อำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่. วารสารเกษตร 30(1): 71-78

[5] ออลล์เกษตรเมล็ดพันธุ์ผัก เมล็ดพันธุ์ดอกไม้ และเคมีเกษตร. (ม.ป.ป.). https://www.allkaset.com.

[6] Souliphong Khounthavong. (2562). ผลของการใช้ผักโขม (Amaranthus spinosus L.) ที่มีการปรับปรุงคุณภาพโดยการเสริมด้วยเอนไซม์ย่อยเยื่อใยหรือการหมักต่อ ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ลักษณะซากคุณภาพเนื้อและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลำไส้เล็ก ของสุกรพันธุ์ราด [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทที่ไม่มีการตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[7] จรัญญา ปิ่นสุภา, อุษณีย์ จินดากุล, เอกรัฐ ธนูทอง, เทิดพงศ์ มหาวงษ์, และสุพรรณิกา อินต๊ะนนท์. (2565). ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสัณฐานของหญ้าข้าวนก (Echinochloa crus-galli (L.) Beauv) กับความต้านทานต่อสารกำจัดวัชพืช Quinclorac.วารสารวิชาการเกษตร 40(1): 59-71

[8] กรกนก เอกโยธินวงศ์, นิรมล ศากยวงศ์, และสมจิต ดำริห์อนันต์. (2563). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดกะเม็ง.

[9] เมดไทย. (2563). สรรพคุณและประโยชน์ของหญ้าเกล็ดหอย. https://medthai.com/.

[10] ศิริวัฒณา ลาภหลาย. (2557). การศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดจากต้อยติ่งในการยับยั้งการเจริญของ Staphylococcus aureus. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 6(6) 1-6

[11] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ. (ม.ป.ป.). การกำจัดหรือการควบคุม, https://www.saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=3 &chap=8 &page=t3 - 8 - infodetail05.html

[12] ศิริเจษฎ์ กองแก้ว, สิงห์รัญ ชารี, ประไพพรรณ สิทธิกูล, บัณฑิต ทองสร้อย, และกฤษณ์ ผลโพธิ์. (2564). การพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดวัชพืชในแปลงข้าวโพดหวาน. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย 27(2). 12-18

[13] สำนักงานควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. (ม.ป.ป.). https://www.doa.go.th.

[14] การทำเกษตรอินทรีย์. (2558). การทำเกษตรอินทรีย์. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทที่ไม่มีการตีพิมพ์]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การพยากรณ์ค่า pH และ EC ในสารละลายที่ใช้ปลูกเมล่อน

ศักดิ์ชัย ศรีมากรณ์[1] ณิชา นภาพร จงกะสิกิจ[2*] นพนันท์ สุขสมบูรณ์[3], สันติ วงศ์ใหญ่[4] อนุกิจ เสาร์แก้ว[5] และ โอฬาร เชี่ยวชาญ[6]

Sakchai Srimakorn[1], Nicha Naphaphon Jongkasikit[2*], Noppanun Suksomboon[3], Sunti Wongyai[4], Anukit Saokeaw[5], and Oran Chieochan[6]

[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100
[4] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100
[5,6] สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100
[1,2,3] Software Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Lampang Rajabhat University, Lampang 52100
[4] Industrial Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Lampang Rajabhat University, Lampang 52100
[5,6] Information Technology, Faculty of Science,
Lampang Rajabhat University, Lampang 52100
Corresponding author: Tel.: 095-4492316. E-mail address: sakchaisr@gmail.com

Abstract

Forecasting environmental variables, such as electrical conductivity (EC) and pH, in melon cultivation within automated greenhouses is crucial for optimizing environmental control and improving crop management. This study applied the ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) and SARIMA (Seasonal ARIMA) models to forecast EC and pH, both of which play a vital role in melon growth. Auto-ARIMA was used to identify the optimal parameters. The ARIMA (10,1,0) model was determined to be the most suitable for EC prediction, while ARIMA (10,1,1) was found to be the most suitable for predicting pH.

The forecasted EC values ranged from 1190 to 1240µS/cm, slightly below the optimal range for melon cultivation, which typically falls between 1500 and 2500µS/cm. The predicted pH values ranged from 6.4 to 6.6, exceeding the ideal range of 5.8 to 6.2, indicating that pH adjustments are necessary to enhance nutrient absorption by plants.

The evaluation of forecast accuracy using RMSE and MAE revealed that the RMSE for EC was 134.64 and the MAE was 116.53, while the RMSE for pH was 0.60 and the MAE was 0.54. These results suggest that the pH forecast was more accurate than the EC forecast, based on RMSE and MAE values. Improving the models and adjusting environmental factors in the greenhouse could more effectively enhance melon yield and quality.

Keywords: Melon cultivation, Automated greenhouse, Environmental factor forecasting

บทคัดย่อ

การพยากรณ์ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ค่า EC (Electrical Conductivity) และค่า pH ในการปลูกเมล่อนในโรงเรือนอัตโนมัติ เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมสภาพแวดล้อมและการจัดการพืช งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการใช้โมเดล ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) และ SARIMA (Seasonal ARIMA) ในการพยากรณ์ค่า EC และ pH ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเมล่อน โดยใช้ Auto-ARIMA เพื่อค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ผลการวิจัยพบว่าโมเดล ARIMA (10,1,0) เหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ค่า EC และโมเดล ARIMA (10,1,1) เหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ค่า pH

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่า EC ที่พยากรณ์ได้อยู่ในช่วง 1190 ถึง 1240µS/cm ซึ่งต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกเมล่อนเล็กน้อย โดยช่วงที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1500 and 2500µS/cm การพยากรณ์นี้บ่งบอกถึงความจำเป็นในการปรับปรุงการให้สารอาหารเพิ่มเติมเพื่อให้พืชเติบโตได้ดีขึ้น ส่วนค่า pH ที่พยากรณ์ได้อยู่ในช่วง 6.4 ถึง 6.6 ซึ่งสูงกว่าช่วงที่เหมาะสมเล็กน้อย โดยช่วงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกเมล่อนอยู่ระหว่าง 5.8 ถึง 6.2 ซึ่งแสดงถึงความจำเป็นในการปรับลดค่า pH เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมสารอาหารของพืช

การประเมินความแม่นยำของการพยากรณ์โดยใช้ค่า RMSE และ MAE พบว่า RMSE สำหรับค่า EC คือ 134.64 และ MAE คือ 116.53 ในขณะที่ RMSE สำหรับค่า pH คือ 0.60 และ MAE คือ 0.54 ผลลัพธ์เหล่านี้บ่งชี้ว่าการพยากรณ์ค่า pH มีความแม่นยำใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าการพยากรณ์ค่า EC การปรับปรุงโมเดลและการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมในโรงเรือนจะช่วยเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของเมล่อนอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การปลูกเมล่อน โรงเรือนอัตโนมัติ การพยากรณ์ปัจจัยสิ่งแวดล้อม

บทนำ

การควบคุมปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในโรงเรือนอัตโนมัติเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปลูกพืช โดยเฉพาะพืชที่ต้องการการดูแลเฉพาะ เช่น เมล่อน ซึ่งต้องการสภาพแวดล้อมและสารอาหารที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง แม้ว่าค่า EC (Electrical Conductivity) และ pH จะไม่ใช่ปัจจัยสิ่งแวดล้อมโดยตรง แต่ถือเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของสารละลายธาตุอาหารที่พืชได้รับ ค่า EC สะท้อนถึงความเข้มข้นของสารอาหารในสารละลาย ส่วนค่า pH มีผลต่อความสามารถในการดูดซึมสารอาหารของรากพืช ดังนั้น การควบคุมและพยากรณ์ค่าทั้งสองนี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของเมล่อน (Jones & Cooper, 2021; Zhao & Li, 2021) ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน การใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) เพื่อพยากรณ์ค่า EC และ pH ได้ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตัดสินใจในการปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม (Zhang et al., 2023) พบว่าโมเดล SARIMA และ XGBoost มีประสิทธิภาพสูงในการพยากรณ์ค่า EC และ pH โดยเฉพาะในข้อมูลที่มีความซับซ้อนหรือมีปัจจัยฤดูกาลเกี่ยวข้อง การวิจัยแสดงให้เห็นว่าโมเดล XGBoost มีค่า R^2 สูงถึง 0.9929 และค่า Residual Predictive Deviation (RPD) สูงถึง 11.8464 ซึ่งสะท้อนถึงความแม่นยำที่สามารถช่วยเพิ่มคุณภาพและปริมาณผลผลิตของเมล่อนได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ (Kim & Park, 2022) ยังได้ศึกษาการนำปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาใช้ในการควบคุมสิ่งแวดล้อมในโรงเรือนอัจฉริยะ ซึ่งพบว่า AI และ Machine Learning มีบทบาทสำคัญในการพยากรณ์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณ CO2 การใช้ AI ช่วยให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ทำให้การตัดสินใจในการปรับสภาพแวดล้อมทำได้อย่างทันเวลา (Smith & Thompson,

2022) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพยากรณ์ระดับสารอาหารในโรงเรือนอัตโนมัติ โดยใช้โมเดล ARIMA ในการพยากรณ์ค่า EC และ pH พบว่าการพยากรณ์ด้วย ARIMA ช่วยให้การควบคุมค่าเหล่านี้แม่นยำและสามารถปรับให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชได้ การพยากรณ์ปัจจัยเหล่านี้ยังช่วยลดความเสี่ยงจากความไม่สมดุลของธาตุอาหารและป้องกันการขาดสารอาหารในช่วงเวลาที่พืชต้องการมากที่สุด (Ramirez & Garcia, 2020) แสดงให้เห็นว่าโมเดล ARIMA สามารถนำมาใช้ในการควบคุมปัจจัยสิ่งแวดล้อมในระบบเกษตรอัจฉริยะได้อย่างแม่นยำ โดยช่วยให้การจัดการและพยากรณ์ค่า EC และ pH มีประสิทธิภาพสูงในข้อมูลที่เป็นอนุกรมเวลา การพยากรณ์ค่าตัวบ่งชี้อย่าง EC และ pH จึงมีความสำคัญในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืชในระบบเกษตรอัจฉริยะ (Müller & Schneider, 2022) การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลา เช่น ARIMA และ SARIMA ร่วมกับ Machine Learning ช่วยให้เกษตรกรสามารถปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ ส่งผลให้การผลิตพืชในโรงเรือนอัตโนมัติยั่งยืนและคุ้มค่ามากขึ้น (Wang & Liu, 2019; Kwon & Choi, 2021; Singh & Patel, 2022)

วัตถุประสงค์

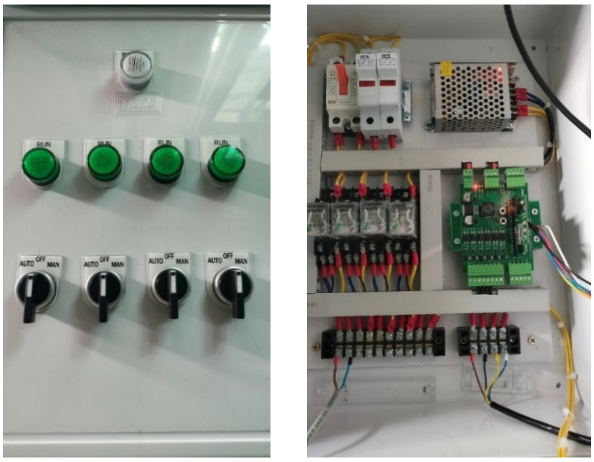
1. เพื่อสังเคราะห์ข้อมูลการเพาะปลูกเมล่อน โดยการศึกษาค่า pH และ EC ในสารละลายที่ใช้ปลูกเมล่อน เพื่อให้สามารถนำความรู้นี้ไปประยุกต์ใช้กับการปลูกเมล่อนอย่างมีประสิทธิภาพ
2. เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับเครื่องมือวัดจริงที่ใช้ในโรงเรือน และปรับเทียบเครื่องมือวัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำในการวัดสภาพแวดล้อมของโรงเรือนเมล่อน

วิธีการวิจัย

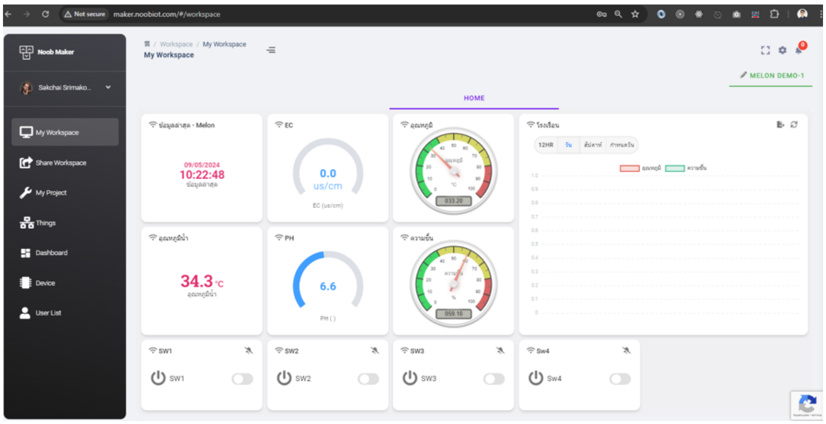
การออกแบบตู้ควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกเมล่อน

ระบบควบคุมอัตโนมัติในโรงเรือนถูกออกแบบมาเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในโรงเรือนและแสดงค่าจากอุปกรณ์เซนเซอร์ที่วัดสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ค่า EC, ค่า pH, อุณหภูมิ และความชื้น ระบบนี้ประกอบด้วยเว็บแอปพลิเคชันที่สื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งติดตั้งภายในโรงเรือน โดย ESP32 จะเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้วัดค่า EC, pH และอุณหภูมิ ซึ่งสามารถควบคุมระบบได้ทั้งในรูปแบบอัตโนมัติและการปรับเอง

ในการวัดค่า EC และ pH จำเป็นต้องทำการปรับเทียบเครื่องมือวัดทุกครั้งก่อนใช้งานเพื่อความแม่นยำ อุปกรณ์เซนเซอร์วัดค่า EC จะถูกปรับเทียบด้วยสารละลายที่มีค่ามาตรฐาน เช่นเดียวกับเครื่องวัดค่า pH ที่ปรับเทียบกับสารละลายที่มีค่า pH กำหนดไว้ล่วงหน้าเพื่อให้แน่ใจว่าค่าที่วัดได้มีความถูกต้อง การปรับเทียบนี้เป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้ระบบสามารถแสดงผลข้อมูลที่น่าเชื่อถือบนแอปพลิเคชัน รูปแบบตู้ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกเมล่อนดังภาพที่ 1 ส่วนของเว็บแอปพลิเคชันแสดงข้อมูลค่า EC, pH, อุณหภูมิ และความชื้นดังภาพที่ 2 สำหรับการเพาะเมล่อนในกะบะและการตรวจสอบการวัดค่า pH ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 1 ตู้ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกเมล่อน



ภาพที่ 2 เว็บแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ

ภาพที่ 3 การเพาะเมล่อนในกะบะ และการวัดค่า pH น้ำก่อนใช้ระบบควบคุม

การวัดและการปรับเทียบเครื่องมือ (Calibration)

ก่อนการวัดค่าต่าง ๆ ในโรงเรือน การปรับเทียบเครื่องมือวัด เช่น เซนเซอร์วัดค่า EC และ pH เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทำก่อนการใช้งานทุกครั้ง เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ กระบวนการปรับเทียบนี้จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการวัด และทำให้ค่าที่บันทึกมีความแม่นยำสูง การวัดค่าต่าง ๆ จะถูกตรวจสอบโดยอุปกรณ์วัดที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว เช่น เครื่องวัดค่า pH จะถูกปรับเทียบกับสารละลายมาตรฐานที่รู้ค่าล่วงหน้าเพื่อลดความคลาดเคลื่อน

ชุดข้อมูล (Dataset)

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ได้จากการปลูกเมล่อนในโรงเรือนอัตโนมัติ โดยการบันทึกข้อมูลถูกดำเนินการทุก 1 ชั่วโมง ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2567 จนถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2567 ทำให้ได้ข้อมูลทั้งหมด 2184 แถว ข้อมูลประกอบด้วย 5 คอลัมน์หลัก ได้แก่ คอลัมน์ "Timestamp" ซึ่งบันทึกเวลาและวันที่ของการเก็บข้อมูล คอลัมน์ "EC (µS/cm)" ซึ่งแสดงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำในโรงเรือนที่สะท้อนถึงปริมาณสารอาหารที่ละลายในน้ำ โดยค่า EC ควรอยู่ระหว่าง 1500 - 2500µS/cm สำหรับการปลูกเมล่อน คอลัมน์ "pH" ซึ่งแสดงระดับความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โดยค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกเมล่อนคือ 5.8 - 6.2 คอลัมน์ "Temperature (°C)" แสดงอุณหภูมิของโรงเรือนในหน่วยองศาเซลเซียส และคอลัมน์ "Humidity (%)" แสดงระดับความชื้นในโรงเรือนเป็นเปอร์เซ็นต์ ความชื้นและอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของเมล่อน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลจำนวน 10 แถว

1	Timestamp	EC (µS/cm)	pH	Temperature (°C)	Humidity (%)
2	4/1/2024 0:00	1195.546122	6.933595433	27.12577943	81.48993082
3	4/1/2024 1:00	1039.991241	6.689832042	26.34951516	89.93654125
4	4/1/2024 2:00	1044.912876	6.149648219	23.87217857	70.45517399
5	4/1/2024 3:00	1295.376861	5.550742976	29.09040941	84.98993227
6	4/1/2024 4:00	1299.681776	7.000300563	29.69532542	80.92904468
7	4/1/2024 5:00	1209.379495	5.929507332	21.73639313	80.74159336
8	4/1/2024 6:00	1215.921846	7.168947487	22.23012641	69.77506785
9	4/1/2024 7:00	1026.966291	6.34058052	25.25631028	83.56805377
10	4/1/2024 8:00	1258.273255	6.654154885	20.91250569	87.01128067

การทดสอบความนิ่งของข้อมูล (ADF Test)

ก่อนที่จะนำชุดข้อมูลไปพยากรณ์นั้น การวิเคราะห์ข้อมูลประเภท Time Series จำเป็นต้องมีข้อมูลที่นิ่ง (stationary) จึงต้องทำการทดสอบความนิ่งของข้อมูลด้วย Augmented Dickey-Fuller Test (ADF Test) การทดสอบนี้ทำเพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลไม่มีแนวโน้มระยะยาวหรือความแปรปรวนที่เพิ่มขึ้น โดยผลลัพธ์จากการทดสอบ ADF แสดงว่าข้อมูล EC มีค่า ADF Statistic = -31.91 และ p-value = 0.0 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลนี้มีความนิ่ง นอกจากนี้ ข้อมูล pH ก็แสดงผลลัพธ์ที่คล้ายกันโดยมีค่า ADF Statistic = -20.25 และ p-value = 0.0 ซึ่งหมายความว่าข้อมูลพอเพียงสำหรับการพยากรณ์ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบความนิ่งของข้อมูล

Values	ADF Statistic	p-value
EC (µS/cm)	-31.91	0.0
pH	-20.25	0.0

การใช้ Auto-ARIMA โดย Auto-ARIMA จะทำการทดลองพารามิเตอร์หลายๆ ชุดและเลือกพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าตัวชี้วัด AIC (Akaike Information Criterion) ต่ำที่สุด ในการพยากรณ์ค่า EC พบว่าโมเดลที่เหมาะสมที่สุดคือ ARIMA (10,1,0) ซึ่งมีค่า AIC = 28031.49 หมายความว่าโมเดลนี้ใช้ค่า lag ของข้อมูลย้อนหลัง 10 ค่า และทำ differencing 1 ครั้ง สำหรับค่า pH โมเดลที่เหมาะสมที่สุดคือ ARIMA (10,1,1) โดยมีค่า AIC = 3888.19 ซึ่งโมเดลนี้ใช้ค่า lag 10 ค่า และมีพารามิเตอร์ moving average 1 ค่า การใช้ Auto-ARIMA ช่วยให้การเลือกพารามิเตอร์เป็นไปอย่างสะดวกรวดเร็ว และเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดโดยใช้ Auto-ARIMA ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์โดยใช้ Auto-ARIMA

Parameter	Best Model	AIC
Model for EC	ARIMA (10,1,0)	28031.49
Model for pH	ARIMA (10,1,1)	3888.19

การพยากรณ์ด้วยโมเดล ARIMA โมเดล ARIMA นี้มีพารามิเตอร์หลักสามตัวคือ p ซึ่งเป็นจำนวน lags ของข้อมูลย้อนหลังที่ใช้ในส่วนของ Autoregressive (AR), d ซึ่งเป็นจำนวนครั้งของการทำ differencing เพื่อทำให้ข้อมูลนิ่ง และ q ซึ่งเป็นจำนวน lags ของความผิดพลาดที่ใช้ในส่วนของ Moving Average (MA) สูตรการคำนวณของโมเดล ARIMA มีรูปแบบดังสมการที่ 1

$$y_t = \mu + \sum_{i=1}^{p} \phi_i y_{t-i} + \in_t + \sum_{j=1}^{q} \theta_j \epsilon_{t-j} \tag{1}$$

โดยที่

y_t คือ ค่าที่เราต้องการพยากรณ์

μ คือ ค่าเฉลี่ย

ϕ_i คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปร AR (Autoregressive)

θ_j คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปร MA (Moving Average),

$\in_t$ คือ ค่าความผิดพลาด (error)

โมเดล ARIMA(10,1,0) ถูกเลือกใช้ ซึ่งหมายความว่ามีการใช้ข้อมูลย้อนหลัง 10 จุด, ทำ differencing 1 ครั้ง และไม่มีการใช้ Moving Average

โมเดล SARIMA (Seasonal ARIMA) เป็นการขยายจาก ARIMA เพื่อรองรับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นฤดูกาล (seasonality) โดยเพิ่มพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับฤดูกาล ได้แก่ P (จำนวน lags ของ AR ในส่วนฤดูกาล), D (จำนวนครั้งของการทำ differencing ในฤดูกาล), Q (จำนวน lags ของ MA ในฤดูกาล), และ s (ระยะเวลาของฤดูกาล) สูตรการคำนวณของโมเดล SARIMA มีรูปแบบดังสมการที่ 2

$$y_t = \mu + \sum_{i=1}^{p} \phi_i y_{t-i} + \sum_{i=1}^{P} \Phi_i y_{t-i\cdot s} + \epsilon_t + \sum_{j=1}^{q} \theta_j \epsilon_{t-j} + \sum_{j=1}^{Q} \Theta_j \epsilon_{t-j\cdot s} \quad (2)$$

โดยที่

ϕ_i และ Φ_i คือ สัมประสิทธิ์ของ AR และ Seasonal AR

θ_j และ Θ_jคือ สัมประสิทธิ์ของ MA และ Seasonal MA

s คือ ความยาวของฤดูกาล

โมเดล SARIMA ถูกใช้ในการพยากรณ์ค่า EC และ pH โดยการใช้ Auto-ARIMA เพื่อตรวจหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ผลการพยากรณ์ด้วย SARIMA สำหรับค่า EC ได้ค่า SARIMA (10,1,0)(1,1,1,12) ซึ่งหมายถึงการใช้ข้อมูลย้อนหลัง 10 จุดและพิจารณาฤดูกาลทุก 12 ช่วงเวลา ส่วนค่า pH ใช้โมเดล SARIMA (10,1,1)(1,1,1,12)

การประเมินผลลัพธ์ด้วยค่า RMSE (Root Mean Squared Error) และ MAE (Mean Absolute Error)

การตรวจสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเมล่อนในโรงเรือนอัตโนมัติ ค่า RMSE และ MAE เป็นดัชนีที่ใช้วัดความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่พยากรณ์ได้กับค่าจริง โดย RMSE จะให้ความสำคัญกับค่าความผิดพลาดขนาดใหญ่ ส่วน MAE จะคำนวณความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยในทุกจุดข้อมูล ซึ่งทั้งสองค่านี้ยิ่งมีค่าน้อยลง หมายถึงการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น และมีความใกล้เคียงกับค่าจริง หลังจากที่ทำการพยากรณ์แล้ว ค่า RMSE และ MAE ใช้ในการประเมินความแม่นยำของการพยากรณ์ มีรูปแบบดังสมการที่ 3

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3)$$

โดย

y_i คือ ค่าจริง

$\hat{y}_i$ คือ ค่าที่พยากรณ์ได้

n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด

MAE (Mean Absolute Error) คำนวณจากความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงและค่าที่พยากรณ์โดยไม่ใช้การยกกำลังสอง มีรูปแบบดังสมการที่ 4

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i - \hat{y}_i| \quad (4)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากตารางที่ 4 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ด้วยตัวชี้วัด RMSE (Root Mean Squared Error) และ MAE (Mean Absolute Error) ช่วยให้สามารถประเมินความแม่นยำของการพยากรณ์ค่า EC และ pH ได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า RMSE สำหรับการพยากรณ์ค่า EC คือ 134.64 และ MAE คือ 116.53 ซึ่งแสดงถึงความคลาดเคลื่อนที่ยังคงมีอยู่บ้างในการพยากรณ์ค่า EC ขณะที่สำหรับค่า pH พบว่า RMSE = 0.60 และ MAE = 0.54 ซึ่งมีความแม่นยำสูงกว่าและใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่า

ตารางที่ 4 ดัชนีที่ใช้วัดความคลาดเคลื่อน

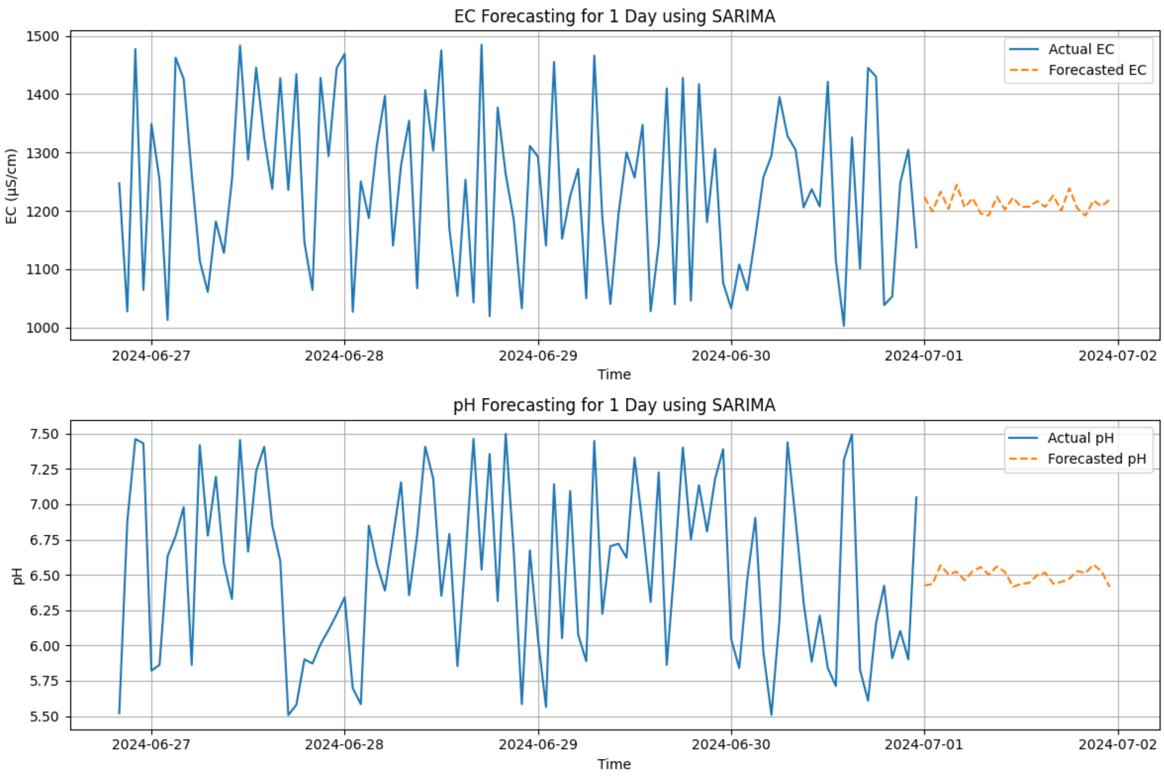
Values	RMSE	MAE
EC (μS/cm)	134.64	116.53
pH	0.60	0.54

สำหรับผลการพยากรณ์ค่า EC และ pH นั้นแสดงให้เห็นว่าค่า EC ที่พยากรณ์ได้อยู่ในช่วง 1190 - 1240μS/cm ซึ่งต่ำกว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับการปลูกเมล่อน ซึ่งควรอยู่ในช่วง 1500 and 2500μS/cm ขณะที่ค่า pH ที่พยากรณ์ได้อยู่ในช่วง 6.4 - 6.6 ซึ่งสูงกว่าช่วงที่เหมาะสมซึ่งควรอยู่ระหว่าง 5.8 - 6.2 ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในโรงเรือน โดยควรเพิ่มค่า EC เพื่อให้พืชสามารถดูดซึมสารอาหารได้เพียงพอ และปรับลดค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพื่อให้พืชสามารถดูดซึมสารอาหารได้เต็มที่และเจริญเติบโตได้ดีขึ้น ดังตารางที่ 5 และภาพที่ 4

ตารางที่ 5 การพยากรณ์ค่า EC และ pH ในวันถัดไป (1วัน)

Timestamp	EC Forecast (μS/cm)	pH Forecast
7/1/2024 0:00	1223.607	6.424496
7/1/2024 1:00	1198.781	6.435576
7/1/2024 2:00	1232.806	6.567622
7/1/2024 3:00	1203.243	6.503559
7/1/2024 4:00	1244.705	6.522083
7/1/2024 5:00	1205.839	6.46147
7/1/2024 6:00	1221.745	6.526734
7/1/2024 7:00	1195.058	6.554342
7/1/2024 8:00	1192.118	6.500307
7/1/2024 9:00	1223.906	6.559311
7/1/2024 10:00	1202.272	6.520571
7/1/2024 11:00	1222.577	6.415822
7/1/2024 12:00	1206.798	6.435775
7/1/2024 13:00	1206.869	6.442847
7/1/2024 14:00	1216.657	6.497089
7/1/2024 15:00	1206.835	6.515436
7/1/2024 16:00	1226.049	6.437714
7/1/2024 17:00	1200.306	6.449081
7/1/2024 18:00	1238.474	6.473268
7/1/2024 19:00	1204.100	6.525941
7/1/2024 20:00	1191.752	6.511856

Timestamp	EC Forecast (µS/cm)	pH Forecast
7/1/2024 21:00	1217.608	6.571301
7/1/2024 22:00	1207.850	6.525039
7/1/2024 23:00	1218.987	6.415221



ภาพที่ 4 แสดงผลการพยากรณ์ค่า EC และ pH วันถัดไป (1วัน)

สรุปผลการวิจัย

จากการพยากรณ์ค่า EC (Electrical Conductivity) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ระดับความเข้มข้นของสารอาหารในน้ำที่ใช้ปลูกเมล่อน พบว่า RMSE = 134.64 และ MAE = 116.53 ซึ่งแสดงถึงความคลาดเคลื่อนในระดับที่ยอมรับได้ ค่า EC ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกเมล่อนควรอยู่ระหว่าง 1500 and 2500µS/cm ค่า EC ที่สูงเกินไปอาจทำให้รากพืชได้รับสารอาหารมากเกินไป ส่งผลให้เกิดความเครียดและลดคุณภาพของผลผลิต ในทางกลับกัน ค่า EC ที่ต่ำเกินไปจะบ่งบอกถึงการขาดสารอาหาร ส่งผลให้พืชเติบโตไม่สมบูรณ์ การพยากรณ์ค่า EC ที่แม่นยำจะช่วยในการปรับการให้ปุ๋ยและน้ำอย่างเหมาะสม เพื่อเสริมการเจริญเติบโตของเมล่อน

สำหรับการพยากรณ์ค่า pH พบว่า RMSE = 0.60 และ MAE = 0.54 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนนี้ถือว่าสูงเมื่อเทียบกับช่วงค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกเมล่อน (5.8 - 6.2) โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากพิจารณาค่าพยากรณ์ที่มีค่าคลาดเคลื่อน 0.5 ค่า pH ที่สูงหรือต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสมจะส่งผลต่อการดูดซึมสารอาหารสำคัญ เช่น เหล็กและแมงกานีส การพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้นจะช่วยให้สามารถปรับสภาพดินและน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นในการวิจัยนี้ควรพิจารณาถึงความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของการพยากรณ์ค่า pH โดยอาจปรับปรุงโมเดลหรือวิธีการพยากรณ์ให้แม่นยำมากขึ้น

การพยากรณ์ค่า EC และ pH ที่แม่นยำจะช่วยให้เกษตรกรสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนอัตโนมัติได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดความเสี่ยงในการขาดหรือได้รับสารอาหารเกินความจำเป็น และเพิ่มคุณภาพและปริมาณผลผลิตของเมล่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนงบประมาณปี 2567 จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.)

เอกสารอ้างอิง

[1] Zhang, L., Wang, X., & Liu, H. (2023). **A Study on Environmental Control and Yield Prediction in Greenhouse Melon Cultivation Using SARIMA and XGBoost Models**. Agricultural Data Science, 21(4), 567-580.

[2] Kim, S. J., & Park, J. H. (2022). **Application of AI and Machine Learning in Smart Greenhouses for Precision Agriculture: A Focus on Melon Production**. Journal of Precision Agriculture, 14(2), 101-115.

[3] Smith, A. T., & Thompson, L. (2022). **Forecasting Nutrient Levels in Greenhouse Cultivation Using Time Series Analysis. International Journal of Agricultural Technology**, 33(1), 89-102.

[4] Jones, R., & Cooper, M. (2021). **The Impact of pH and EC on Nutrient Absorption in Hydroponic Systems: A Comprehensive Review**. Journal of Agricultural Science, 58(3), 189-202.

[5] Müller, A., & Schneider, J. (2022). **Analyzing Seasonal Variations in Greenhouse Climate Control Using SARIMA Models**. Computational Agriculture, 33(4), 123-136.

[6] Singh, R., & Patel, S. (2022). **Improving Crop Yield Prediction in Hydroponics Using Time Series Analysis and Neural Networks**. Journal of Precision Farming, 19(2), 133-148.

[7] Kwon, H. J., & Choi, Y. S. (2021). **Forecasting Environmental Factors in Smart Greenhouses with AI Techniques: A Comparative Study of ARIMA and LSTM**. International Journal of Smart Agriculture, 12(3), 74-85.

[8] Zhao, Y., & Li, X. (2021). **Monitoring and Forecasting pH and EC Levels in Agricultural Greenhouses Using IoT Sensors**. Agricultural Engineering Technology, 40(1), 99-110.

[9] Ramirez, P., & Garcia, F. (2020). **Utilizing ARIMA Models for Environmental Control in Smart Agriculture Systems**. Environmental Modelling & Software, 45(2), 67-79.

[10] Wang, T., & Liu, D. (2019). **Precision Agriculture Using Machine Learning: EC and pH Forecasting in Controlled Environments**. Journal of Computational Agriculture, 27(5), 45-60.

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าและผลกระทบสิ่งแวดล้อมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริด สำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ: กรณีศึกษาจังหวัดสงขลา

Economic Feasibility Analysis and Environmental Impact Assessment of Off grid Solar Energy Systems for Smart Greenhouses: A Case Study in Songkhla Province

ลัญฉกร นิลทรัตน์[1*] และ ศรัณย์ ณรงค์กูล[1]

Lanchakorn Nintarat[1], and Sarun Narongkul[1]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและไอโอที คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 90000
[1]Department of Information Technology and IoT, Faculty of Industrial Technology
Songkhla Rajabhat University 90000
*Corresponding author: Tel.: 091-0489818. E-mail address: Lanchakorn.ni@skru.ac.th

Abstract

This research aims to study the feasibility of using off-grid solar energy systems for a 6x15 meter smart greenhouse in Songkhla Province, Thailand, by analyzing both economic value and environmental impact. The study begins with an analysis of the greenhouse's energy demand for tobacco cultivation, which was found to be 3.88 kWh per day. Subsequently, an appropriate solar power system was designed, consisting of a 1.12 kW solar panel array and a 650 Ah, 24V battery bank. The economic analysis reveals that the project has a payback period of 12.5 years, a positive net present value (NPV) of 11,234.56 baht, and an internal rate of return (IRR) of 4.37%, which is higher than the 3% discount rate used in the analysis, indicating long-term investment viability. Additionally, the system can reduce greenhouse gas emissions by 25.50 tCO2e over the project's 25-year lifespan, which is equivalent to planting 425 trees, reflecting significant environmental benefits. The results of this study demonstrate that the use of off-grid solar energy systems for smart greenhouses is not only economically viable in the long term but also has a significant positive impact on the environment. This aligns with Thailand's sustainable agricultural development approach and greenhouse gas emission reduction goals.

Keywords: Solar energy, Off-grid system, Smart greenhouses, Economic analysis, Greenhouse gas reduction

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะขนาด 6x15 เมตร ในจังหวัดสงขลา ประเทศไทย โดยวิเคราะห์ทั้งในแง่ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม การศึกษาเริ่มจากการวิเคราะห์ความต้องการพลังงานของโรงเรือนสำหรับการปลูกต้นยาสูบ ซึ่งพบว่ามีความต้องการพลังงาน 3.88 kWh ต่อวัน จากนั้นทำการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม ประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 1.12 kW และแบตเตอรี่ขนาด 650 Ah ที่แรงดันไฟฟ้า 24V ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า โครงการมีระยะเวลาคืนทุน 12.5 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เป็นบวกที่ 11,234.56 บาท และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ที่ 4.37% ซึ่งสูงกว่าอัตราคิดลดที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ 3% แสดงถึงความคุ้มค่าในการลงทุนระยะยาว นอกจากนี้ ระบบสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 25.50 tCO2e ตลอดอายุโครงการ 25 ปี ซึ่งเทียบเท่ากับการปลูกต้นไม้ 425 ต้น สะท้อนให้เห็นถึงประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะไม่เพียงแต่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระยะยาว แต่ยังส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาการเกษตรอย่างยั่งยืนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์ ระบบออฟกริด โรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ การลดก๊าซเรือนกระจก

บทนำ

ภาคการเกษตรในประเทศไทยกำลังเผชิญกับความท้าทายหลายประการ ทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การขาดแคลนแรงงาน และความต้องการเพิ่มผลผลิตเพื่อรองรับประชากรที่เพิ่มขึ้น [1] แนวโน้มการพัฒนาการเกษตรในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566-2570) ได้เน้นย้ำถึงความสำคัญของการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาใช้ในภาคเกษตรกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและความยั่งยืน [2] ในบริบทนี้ โรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ (Smart Greenhouse) จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากในการแก้ไขปัญหาและตอบสนองต่อความท้าทายดังกล่าว

โรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะช่วยให้เกษตรกรสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมการเพาะปลูกได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้สามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืช รวมถึงลดการใช้ทรัพยากรและปัจจัยการผลิต [3] โรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะที่ใช้ในการศึกษานี้มีขนาด 6x15 เมตร ออกแบบเฉพาะสำหรับการปลูกต้นยาสูบ ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในจังหวัดสงขลา โรงเรือนนี้ใช้เทคโนโลยี IoT (Internet of Things) ในการควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง และการให้น้ำ ทำให้สามารถสร้างสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นยาสูบได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม การดำเนินการโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะมีความต้องการพลังงานสูง โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบแสงสว่าง ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ตลอดจนระบบให้น้ำและปุ๋ย [4] ซึ่งส่งผลให้มีต้นทุนการดำเนินงานที่สูงและอาจไม่เหมาะสมกับเกษตรกรรายย่อย ในขณะเดียวกัน ประเทศไทยมีศักยภาพสูงในด้านพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งรวมถึงจังหวัดสงขลาที่มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปีสูงถึง 17-18 MJ/m^2-day [5] พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสูงในการตอบสนองความต้องการพลังงานของโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ การบูรณาการระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับโรงเรือนไม่เพียงแต่จะช่วยลดต้นทุนการดำเนินงานในระยะยาว แต่ยังสอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและ

พลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580 (AEDP2018) ของประเทศไทย ที่มุ่งเน้นการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในภาคการผลิตไฟฟ้า [6] นอกจากนี้ การใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดยังช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการติดตั้งโรงเรือนในพื้นที่ห่างไกลที่ระบบไฟฟ้าเข้าไม่ถึง และลดการพึ่งพาระบบไฟฟ้าจากสายส่ง

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะในจังหวัดสงขลา โดยมีวัตถุประสงค์หลักดังนี้

1. เพื่อวิเคราะห์ความต้องการพลังงานของโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะขนาด 6x15 เมตร สำหรับการปลูกต้นยาสูบในจังหวัดสงขลา
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดที่เหมาะสมกับความต้องการพลังงานของโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ
3. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น

ผลการวิจัยนี้จะเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาการเกษตรอัจฉริยะที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 7 (พลังงานสะอาดที่ทุกคนเข้าถึงได้) และเป้าหมายที่ 13 (การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ) [7]

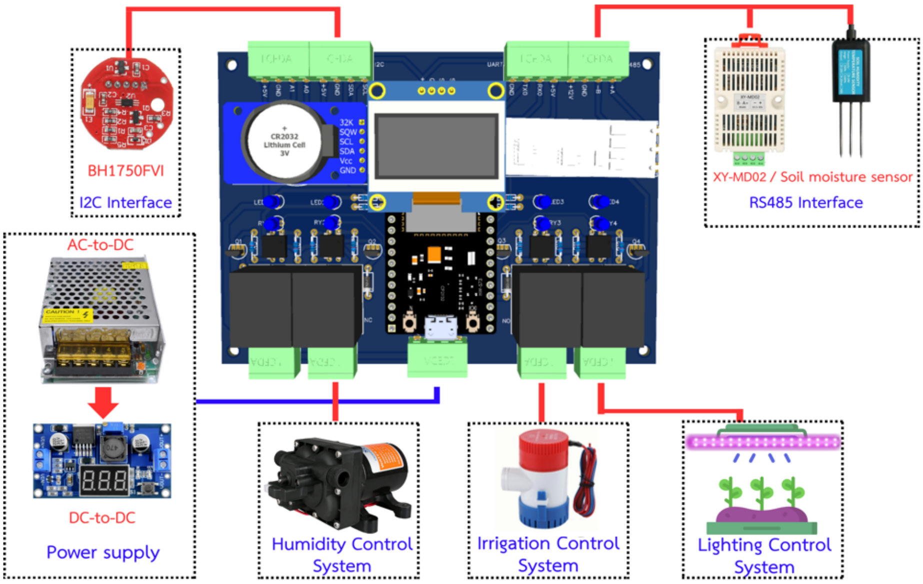
วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์ความต้องการพลังงาน การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

1. การวิเคราะห์ความต้องการพลังงาน

การวิเคราะห์ความต้องการพลังงานสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและมีความสำคัญโดยประกอบด้วยขั้นตอนหลายขั้นตอน เริ่มจากการระบุอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในโรงเรือน จากนั้นรวบรวมข้อมูลกำลังไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์และประมาณการเวลาการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะที่ใช้ในการศึกษานี้มีขนาด 6x15 เมตร สูง 4 เมตร รวมพื้นที่ใช้สอย 90 ตารางเมตร โครงสร้างทำจากเหล็กชุบกัลวาไนซ์ หลังคาและผนังเป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนตใส หนา 6 มิลลิเมตร เพื่อให้แสงผ่านได้ดี ลักษณะอัจฉริยะของโรงเรือนประกอบด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT [8] ซึ่งมีอุปกรณ์หลักดังนี้ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน ระบบแสงเทียม ระบบควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยอัตโนมัติ ระบบควบคุมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และซอฟต์แวร์ควบคุมที่พัฒนาขึ้นเฉพาะ ซึ่งได้แสดงภาพรวมของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะดังภาพที่ 1 ข้อมูลเหล่านี้นำไปสู่การคำนวณพลังงานที่ใช้ต่อวันและปริมาณพลังงานรวมที่ต้องการ การวิเคราะห์ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความแปรปรวนตามฤดูกาล ภาระทางไฟฟ้าสูงสุด และการขยายตัวในอนาคต นอกจากนี้ ข้อมูลสภาพอากาศและความเข้มแสงอาทิตย์ในพื้นที่มีความสำคัญต่อการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ขั้นตอนสุดท้ายคือการสร้างโปรไฟล์การใช้พลังงาน ซึ่งแสดงรูปแบบการใช้พลังงานตลอด 24 ชั่วโมง การวิเคราะห์อย่างละเอียดและรอบคอบจะช่วยให้การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริด มีประสิทธิภาพ เหมาะสมกับการใช้งานจริง และคุ้มค่าในระยะยาว อีกทั้งยังช่วยป้องกันปัญหาการออกแบบระบบที่ไม่เหมาะสม ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของโรงเรือนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ภาพที่ 1 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ



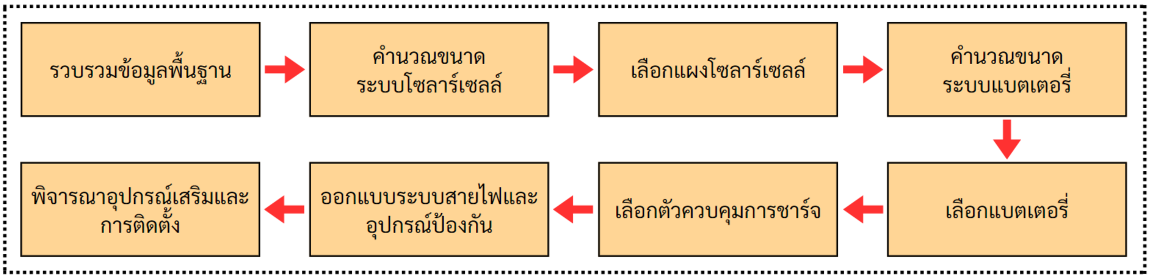
ภาพที่ 2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ

ภาพที่ 2 แสดงแผนผังการเชื่อมต่อของระบบควบคุมสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นบอร์ด ESP32 DEVKIT V1 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน มีจอ OLED แสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ บอร์ดควบคุมนี้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์หลายส่วน เริ่มจากด้านบนซ้ายมีโมดูล BH1750FVI ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง ทำให้ระบบสามารถตรวจสอบปริมาณแสงที่พืชได้รับได้อย่างแม่นยำ ด้านบนขวามีเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินและอินเตอร์เฟซแบบ RS485 ซึ่งช่วยในการตรวจวัดความชื้นของดินและการสื่อสารข้อมูล ส่วนด้านล่างของภาพแสดงระบบย่อยที่สำคัญ ได้แก่ ระบบจ่ายไฟ DC-to-DC ที่ทำหน้าที่แปลงและจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ระบบควบคุมความชื้นที่ช่วยรักษาระดับความชื้นในอากาศให้เหมาะสม ระบบควบคุมการให้น้ำที่จัดการการรดน้ำพืชอย่างอัตโนมัติ และระบบควบคุมแสงสว่างที่ปรับระดับแสงให้เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช การเชื่อมต่อแบบนี้ทำให้ระบบสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ โดยบอร์ดควบคุมจะประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ และสั่งการระบบย่อยให้ทำงานสอดคล้องกัน เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ทำให้โรงเรือนสามารถควบคุมปัจจัยสำคัญต่าง ๆ เช่น แสง น้ำ และความชื้น ได้อย่างแม่นยำและอัตโนมัติ ส่งผลให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณสูงขึ้น

2. การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะเป็นกระบวนการที่ต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย โดยมีเป้าหมายหลักคือการสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการผลิตพลังงานตามความต้องการ ในขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมต้นทุนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม [9] แสดงขั้นตอนการออกแบบดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์

3. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะเป็นขั้นตอนสำคัญในการตัดสินใจลงทุน โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ด้านดังนี้

3.1 ด้านการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ขั้นตอนการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดในโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ เป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยในการตัดสินใจลงทุนและประเมินประโยชน์ที่จะได้รับทั้งในแง่เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม [9] โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอน 1 การคำนวณต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (CAPEX) ซึ่งประกอบด้วยค่าอุปกรณ์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าติดตั้ง และค่าออกแบบ

CAPEX = ค่าแผงโซลาร์เซลล์ + ค่าแบตเตอรี่ + ค่าอุปกรณ์อื่น ๆ + ค่าติดตั้ง + ค่าออกแบบ (1)

ขั้นตอน 2 คำนวณต้นทุนดำเนินการและบำรุงรักษา (OPEX) ซึ่งรวมถึงค่าบำรุงรักษาประจำปีและค่าเปลี่ยนอุปกรณ์ตามอายุการใช้งาน

OPEX รายปี = ค่าบำรุงรักษาประจำปี + (ค่าเปลี่ยนแบตเตอรี่ ÷ อายุการใช้งานแบตเตอรี่) (2)

ขั้นตอน 3 การประมาณการผลประโยชน์ที่ได้รับ ซึ่งหลัก ๆ คือค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้

ผลประโยชน์รายปี = ระบบผลิตไฟฟ้าได้ × จำนวนวัน × ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย/kWh (3)

ขั้นตอน 4 คำนวณตัวชี้วัดทางการเงินระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน = CAPEX ÷ (ผลประโยชน์รายปี - OPEX รายปี) (4)

ขั้นตอน 5 คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} - I_0 \tag{5}$$

ขั้นตอน 6 คำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR)

$$\sum_{t=0}^{n} \frac{(B_t - C_t)}{(1+IRR)^t} - I_0 = 0 \tag{6}$$

โดยที่ B_t = ผลประโยชน์ในปีที่ t

C_t = ต้นทุนในปีที่ t

r = อัตราคิดลด (ในกรณีนี้ใช้ 3%)

t = ปีที่ 0 ถึง n (อายุโครงการ 25 ปี)

I_0 = เงินลงทุนเริ่มต้น

3.2 ด้านการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ในส่วนของการคำนวณปริมาณการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบไว้ และค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย เพื่อคำนวณปริมาณ CO_2 ที่ลดได้เมื่อเทียบกับการใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่ง [10] โดยใช้ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย ที่ 0.5 kg CO_2 ต่อ kWh

ปริมาณ CO_2 ที่ลดได้ต่อปี = พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี × ค่าการปลดปล่อย CO_2 ต่อหน่วยไฟฟ้า (7)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะในจังหวัดสงขลา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในภาคเกษตรกรรม ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางการพัฒนาพลังงานทดแทนและการเกษตรอัจฉริยะของประเทศไทย การศึกษานี้ครอบคลุมการวิเคราะห์ความต้องการพลังงาน การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม ตลอดจนการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

1. ผลการวิเคราะห์ความต้องการพลังงาน

การวิเคราะห์ความต้องการพลังงานเป็นขั้นตอนสำคัญในการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดสำหรับโรงเรือนเพาะปลูก โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินปริมาณพลังงานที่จำเป็นต้องผลิตให้เพียงพอต่อการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในโรงเรือน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการอุปกรณ์และการใช้พลังงาน

อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า	จำนวน	เวลาใช้งาน/วัน	พลังงานที่ใช้/วัน
หลอดไฟ LED Full Spectrum	100W	4 ชุด	4 ชั่วโมง	1,600 Wh
ปั๊มน้ำแรงดันสูง	80W	2 ตัว	4 ชั่วโมง	640 Wh
วงจรควบคุมอัจฉริยะ	10W	1 ชุด	24 ชั่วโมง	240 Wh
มอเตอร์ดูดสารละลาย	36W	3 ตัว	2 ชั่วโมง	216 Wh

ตารางที่ 1 แสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดในโรงเรือน ซึ่งประกอบด้วยหลอดไฟ LED ปั๊มน้ำ วงจรควบคุมอัจฉริยะ และมอเตอร์ดูดน้ำ แต่ละอุปกรณ์มีกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยหลอดไฟ LED ใช้พลังงานมากที่สุดที่ 1,600 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ตามด้วยปั๊มน้ำที่ 640 วัตต์-ชั่วโมง วงจรควบคุมที่ 240 วัตต์-ชั่วโมง และมอเตอร์ดูดน้ำที่ 216 วัตต์-ชั่วโมง จากนั้นรวมพลังงานของทุกอุปกรณ์ ได้ความต้องการพลังงานรวมประมาณ 2.696 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน อย่างไรก็ตาม เราต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ด้วย เช่น ค่าสูญเสียในระบบและการขยายตัวในอนาคต จึงมีการเผื่อค่าสูญเสียในระบบ 20% เพื่อรองรับความไม่มีประสิทธิภาพของอุปกรณ์และการสูญเสียในสายไฟ และเผื่อการขยายตัวในอนาคตอีก 20% เพื่อรองรับการเพิ่มอุปกรณ์หรือการใช้งานที่อาจเพิ่มขึ้น หลังจากการปรับค่าจะได้ความต้องการพลังงานที่ประมาณ 3.88 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งเป็นค่าที่ควรใช้ในการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ เรายังต้องพิจารณาภาระทางไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้ารวมเมื่อทุกอุปกรณ์ทำงานพร้อมกัน ในกรณีนี้คือ 0.68 กิโลวัตต์ ข้อมูลนี้สำคัญสำหรับการออกแบบในลำดับถัดไป

2. ผลการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์

ขั้นตอนแรกของการออกแบบคือการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ ได้แก่ ความต้องการพลังงานของโรงเรือนโดยได้รวบรวมจากรายการอุปกรณ์และการใช้พลังงานในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าพลังที่ใช้ในโรงเรือนทั้งหมด 3.88 kWh ต่อวัน และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยในพื้นที่จังหวัดสงขลาซึ่งอยู่ที่ 17.2 MJ/m²-day หรือ 4.78 kWh/m²/วัน [5] ข้อมูลเหล่านี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการคำนวณขนาดของระบบ จากนั้นคำนวณขนาดระบบโซลาร์เซลล์ที่ต้องการ โดยนำความต้องการพลังงานหารด้วยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย และเผื่อค่าประสิทธิภาพอีก 15% ทำให้ได้กำลังการผลิตที่ต้องการประมาณ 0.934 kW ซึ่งนำไปสู่การเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบ Polycrystalline ขนาด 280W จำนวน 4 แผง เพื่อให้ได้กำลังการผลิตรวม 1,120W การเลือกใช้แผง Polycrystalline แทน Monocrystalline เป็นหนึ่งในวิธีการลดต้นทุน แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเล็กน้อย แสดงการคำนวณดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การคำนวณขนาดระบบโซลาร์เซลล์

รายการ	การคำนวณ	ผลลัพธ์	หน่วย
กำลังการผลิตที่ต้องการ	3.88 ÷ 4.78	0.812	kW
กำลังการผลิตที่ต้องการ (เผื่อ 15%)	0.812 × 1.15	0.934	kW
จำนวนแผงโซลาร์เซลล์ (280W)	934 ÷ 280	3.34 ≈ 4	แผง
กำลังการผลิตรวม	4 × 280	1,120	W

ขั้นตอนต่อมาคือการคำนวณขนาดระบบแบตเตอรี่ โดยคำนึงถึงการสำรองพลังงานไว้ใช้ 2 วัน และใช้แบตเตอรี่ชนิด Deep Cycle Lead-Acid ที่ใช้งานได้ 50% ของความจุ ทำให้ต้องการแบตเตอรี่ขนาด 650 Ah ที่แรงดัน 24V การเลือกใช้แบตเตอรี่ Lead-Acid แทน Lithium-ion เป็นอีกหนึ่งวิธีในการลดต้นทุน แม้ว่าจะมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าและต้องการการดูแลรักษามากกว่า แสดงการคำนวณดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การคำนวณขนาดระบบแบตเตอรี่

รายการ	การคำนวณ	ผลลัพธ์	หน่วย
พลังงานสำรอง (2 วัน)	3.88 × 2	7.76	kWh
ความจุแบตเตอรี่ (DoD 50%)	7.76 ÷ 0.5	15.52	kWh
ความจุแบตเตอรี่ (Ah)	15,520 ÷ 24	647	Ah

สำหรับตัวควบคุมการชาร์จเลือกใช้แบบ PWM ขนาด 60A ซึ่งมีราคาถูกกว่าแบบ MPPT แต่ยังคงเพียงพอสำหรับระบบขนาดเล็กนี้ ส่วนระบบสายไฟและอุปกรณ์ป้องกันเลือกใช้ขนาดที่เหมาะสมกับกระแสสูงสุดในระบบ และใช้ฟิวส์แทนเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อประหยัดต้นทุน นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงโครงสร้างรองรับแผงโซลาร์เซลล์ โดยอาจเลือกใช้วัสดุราคาประหยัด เช่น เหล็กอาบสังกะสี แทนอลูมิเนียม และวางแผนการติดตั้งที่อาจทำเองบางส่วนเพื่อลดค่าใช้จ่าย โดยสรุปการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบต้นทุนต่ำนี้เป็นการสร้างสมดุลระหว่างประสิทธิภาพและต้นทุน โดยเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีราคาประหยัดแต่ยังคงสามารถตอบสนองความต้องการพลังงานของโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะได้

3. ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ส่วนนี้เป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งพบว่า โครงการวิจัยนี้มีความเป็นไปได้ในการลงทุน เมื่อคำนวณต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (CAPEX) อยู่ที่ 104,000 บาท ดังข้อมูลดังตารางที่ 4 และมีต้นทุนดำเนินการและบำรุงรักษา (OPEX) 800 บาทต่อปี ในขณะที่ผลประโยชน์ที่ได้รับต่อปีอยู่ที่ 8,315.28 บาท ทำให้โครงการมีระยะเวลาคืนทุน 12 ปี 6 เดือน ซึ่งถือว่าค่อนข้างนาน แต่เมื่อพิจารณาในระยะยาว 25 ปี พบว่าโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เป็นบวกที่ 11,234.56 บาท และมีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ที่ 4.37% ซึ่งสูงกว่าอัตราคิดลดที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ 3%

ตารางที่ 4 ค่าใช้จ่ายของต้นทุนในแต่ละรายการ (CAPEX)

รายการ	ราคา (บาท)
แผงโซลาร์เซลล์ (4 แผง)	44,000
แบตเตอรี่	36,000
ตัวควบคุมการชาร์จ	8,000
อุปกรณ์ติดตั้งและสายไฟ	11,000
ค่าแรงติดตั้ง	5,000
รวม CAPEX	**104,000**

อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาคืนทุนที่ค่อนข้างนานอาจเป็นอุปสรรคสำหรับเกษตรกรรายย่อยที่มีข้อจำกัดด้านเงินทุน ดังนั้น การวิเคราะห์ความอ่อนไหวจึงมีความสำคัญ ผลการวิเคราะห์พบว่า หากค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 10% จะทำให้ NPV เพิ่มขึ้นเป็น 25,987.32 บาท และ IRR เพิ่มขึ้นเป็น 5.82% นอกจากนี้ หากได้รับเงินสนับสนุนจากภาครัฐ 20% ของต้นทุนเริ่มต้นจะทำให้ NPV เพิ่มขึ้นเป็น 32,034.56 บาท และ IRR เพิ่มขึ้นเป็น 6.89% ซึ่งแสดงให้เห็นว่านโยบายสนับสนุนจากภาครัฐสามารถช่วยเพิ่มความคุ้มค่าของโครงการได้อย่างมีนัยสำคัญ ในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โครงการนี้สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 1.02 tCO_2e ต่อปี หรือ 25.50 tCO_2e ตลอดอายุโครงการ 25 ปี ซึ่งเทียบเท่ากับการปลูกต้นไม้ 425 ต้น การลดการขับรถยนต์ 98,076 กิโลเมตร การยกเลิกการเดินทางโดยเครื่องบินไป-กลับ กรุงเทพฯ-ภูเก็ต 3.19 เที่ยวต่อปี หรือการลดการใช้แอร์ขนาด 12,000 BTU 0.7 เครื่องต่อปี (ใช้ 8 ชั่วโมงต่อวัน) ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าโครงการมีส่วนช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปได้ว่า โครงการนี้นอกจากจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้ว ยังสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ (SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 7 (พลังงานสะอาดที่ทุกคนเข้าถึงได้) และเป้าหมายที่ 13 (การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ) การสนับสนุนโครงการลักษณะนี้จึงเป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาภาคการเกษตรอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การพิจารณามาตรการสนับสนุนทางการเงินสำหรับเกษตรกรรายย่อยยังคงเป็นประเด็นสำคัญที่ควรได้รับการพิจารณาเพื่อให้การนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะในจังหวัดสงขลาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนาภาคเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน ผลการวิจัยพบว่าระบบที่ออกแบบสามารถตอบสนองความต้องการพลังงานของโรงเรือนได้อย่างเพียงพอ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 1.12 kW และแบตเตอรี่ขนาด 650 Ah ที่ 24V การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าโครงการมีความคุ้มค่าในระยะยาว แม้จะมีระยะเวลาคืนทุนค่อนข้างนานที่ 12.5 ปี แต่ก็ให้ผลตอบแทนภายในที่ 4.37% ซึ่งสูงกว่าอัตราคิดลดที่ใช้ในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ โครงการยังส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมโดยสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 25.50 tCO_2e ตลอดอายุโครงการ 25 ปี ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในภาคเกษตรกรรมไม่เพียงแต่เป็นไปได้ในทางเทคนิค แต่ยังมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และเป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว การส่งเสริมและสนับสนุนการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้จึงเป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาการเกษตรอัจฉริยะและการเปลี่ยนผ่านสู่พลังงานสะอาดของประเทศไทย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สำหรับการสนับสนุนทุนนำเสนองานวิจัย ซึ่งเป็นโอกาสอันมีค่าในการเผยแพร่ผลงานและแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2565). ยุทธศาสตร์เกษตรและสหกรณ์ ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560–2579). กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[2] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2565). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566-2570). กรุงเทพฯ: สำนักนายกรัฐมนตรี.

[3] Hemming, S., de Zwart, F., Elings, A., Petropoulou, I., & Dieleman, V. (2020). Cherry tomato production in intelligent greenhouses Sensors and AI for control of climate, irrigation, crop yield, and quality. Sensors, 20(22), 6430.

[4] Zhang, M., Yan, T., Wang, W., Jia, X., Wang, J., & Klemeš, J. J. (2022). Energy-saving design and control strategy towards modern sustainable greenhouse: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 164, 112602.

[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

[6] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2562). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580 (AEDP2018). กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.

[7] United Nations. (2015). Sustainable Development Goals. Retrieved from https://sdgs.un.org/goals.

[8] Shamshiri, R. R., Kalantari, F., Ting, K. C., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C., ... & Shad, Z. M. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 11(1), 1-22.

[9] Canakci, M., & Akinci, I. (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. Energy, 31(8-9), 1243-1256.

[10] Yano, A., & Cossu, M. (2019). Energy sustainable greenhouse crop cultivation using photovoltaic technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 109, 116-137.

การประยุกต์ใช้ราสเบอร์รี่พายควบคุมการเปิด-ปิด ประตูอิเล็กทรอนิกส์ โดยการแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่นไลน์

Application of Raspberry pie board to control open-close of electronic doors by sending notifications via LINE application.

ยุทธนา อุไรชื่น* ปรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง ปรีชา ศรีประภาคาร ทฤษฎี พรหมดิเรก ภาณุพงศ์ เพชรพิศ และ จักรภัทร มังคละคีรี

Yuthana Uraichun*, Poramate Chunpang, Preecha Sriprapakhan, Tissadee Prohmdirek Phanupong Pechpis, and Jakapat Mungkalakeeree

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150
Department of Physics, Faculty of Science, MAHASARAKHAM UNIVERSITY.
Khamriang Sub-District, Kantarawichai District, Maha Sarakham Province, 44150 THAILAND
*Corresponding author: Tel.: 081-923-6136. E-mail address: yuthana.u@msu.ac.th

Abstract

This research aims to study, design, and develop an electronic door opening and closing control system via the Internet that notifies the user of the usage via the LINE application to ensure that the user's commands can work perfectly. The User Interface (UI) was designed to work via the network with Node-RED, which is connected to the Raspberry Pi board, and to send operating conditions to open and close the electronic door mechanism system using command codes on the Arduino board. Node-RED sends data to notify the user via the mobile application. In addition, the study found that connecting the device to operate via the network of a general service provider does not require authentication, so the device can be easily connected to the network. The results of the system test concluded that the electronic door opening and closing control system via the Internet can be used in practice. Therefore, the opening and closing control system of doors can be applied to any houses, buildings, and other appropriate systems.

Keywords: User Interface (UI), Raspberry Pi board, Arduino board

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ ศึกษาออกแบบและพัฒนาการควบคุมสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์ประตูอิเล็กทรอนิกส์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ที่มีการแจ้งเตือนการใช้งานผ่านทางแอพพลิเคชั่นไลน์ เพื่อให้ทราบและมั่นใจในคำสั่งที่ผู้ใช้งานสั่งงานออกไปทำงานได้อย่างสมบูรณ์ โดยทำการออกแบบหน้าต่าง User Interface (UI) สั่งงานผ่านเครือข่ายด้วย Node

– RED ที่เชื่อมต่อเข้าบอร์ด Raspberry Pi และส่งเงื่อนไขการทำงานเพื่อเปิดปิดระบบกลไกประตูอิเล็กทรอนิกส์ด้วยโค้ดคำสั่งบนบอร์ด Arduino พร้อมทั้งกำหนดให้ Node – RED มีการส่งข้อมูลแจ้งเตือนการทำงานผ่านทางแอพพลิเคชั่น จากการศึกษาพบว่า การเชื่อมต่ออุปกรณ์เพื่อให้สั่งงานผ่านเครือข่ายของผู้ให้บริการเอกชนทั่วไปนั้น เครือข่ายไม่จำเป็นต้องมีการยืนยันตัวต้น จึงจะทำให้อุปกรณ์สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้ง่าย และจากผลการทดสอบระบบได้ข้อสรุปว่า การควบคุมสั่งงานเปิดปิดประตูอิเล็กทรอนิกส์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสามารถใช้งานได้จริง โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดประตูบ้าน อาคาร หรือระบบอื่น ๆ ที่เหมาะสมได้

คำสำคัญ: ส่วนเชื่อมประสานกับผู้ใช้ (UI) บอร์ดราสเบอร์รี่พาย บอร์ดอาดูโน่

บทนำ

ในสังคมโลกปัจจุบันและอนาคต องค์ความรู้ทางฟิสิกส์และฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์ถือเป็นศาสตร์สาขาวิชาหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีให้มีความทันสมัย เช่น คอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน หรือเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เป็นต้นโดยมนุษย์สามารถนำเทคโนโลยีเหล่านี้ เข้ามาช่วยประกอบการทำงานหรือกิจกรรมอื่น ๆ เพื่อตรวจสอบและประมวลผลการทำงานได้อย่างเหมาะสม ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจและมุ่งเน้นที่จะนำเสนอการประยุกต์ใช้ความรู้ทางฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์ และเทคโนโลยี มาพัฒนาบอร์ด Raspberry Pi (V3 model B) ที่สามารถทำงานได้เหมือนคอมพิวเตอร์เครื่องเล็ก ๆ ซึ่งรองรับระบบปฏิบัติการ Linux ที่เรียกว่า Raspbian [1] โดยบอร์ด Raspberry Pi จะมีการทำงานที่โดนเด่นต่างจากการทำงานของบอร์ดคอมพิวเตอร์ทั่ว ๆ และบอร์ดอื่น ๆ นั่นคือ ตัวบอร์ด Raspberry Pi สามารถเชื่อมต่อกับอุกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เซนเซอร์ต่าง ๆ ได้อย่างมากมายหลายชนิด โดยสามารถกระทำผ่านทางจุดเชื่อมต่อ GPIO (General Purpose Input Output) และเหมาะกับการนำมาประมวลผลข้อมูลที่ไม่มีความซับซ้อนมาก จากจุดเด่นดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ ศึกษาออกแบบและพัฒนาการควบคุมสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์ประตูอิเล็กทรอนิกส์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ที่มีการแจ้งเตือนการใช้งานผ่านทางแอพพลิเคชั่นไลน์ เพื่อให้ทราบและมั่นใจในคำสั่งที่ผู้ใช้งานสั่งงานออกไปทำงานได้อย่างสมบูรณ์

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลและแบ่งการศึกษาออกเป็นส่วน ๆ ดังนี้

1) โปรแกรมและซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง (ภาษา C, Node-RED)

C Language (ภาษาซี) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับพัฒนาโปรแกรมทั่วไป และถูกนำไปใช้ในระบบปฏิบัติการต่าง ๆ จนถูกใช้เป็นภาษาพื้นฐานสำหรับภาษาอื่น เช่น ภาษาจาวา Java ภาษาพีเอชพี (PHP) ภาษาซีชาร์ป C# ภาษาซีพลัสพลัส C++ ภาษาเพิร์ล (Perl) ภาษาไพทอล (Python) หรือภาษารูบี้ (Ruby) ภาษาซีเป็นภาษาเขียนโปรแกรมระบบเชิงคำสั่ง (หรือเชิงกระบวนงาน) ถูกออกแบบขึ้นเพื่อใช้แปลด้วยตัวแปลโปรแกรมแบบการเชื่อมโยงที่ตรงไปตรงมา สามารถเข้าถึงหน่วยความจำในระดับล่าง

Node-RED เป็น Flow-Based Programming ที่ไม่จำเป็นต้องเขียน Code ในการพัฒนาโปรแกรม เพียงเลือก Node มาวางแล้วเชื่อมต่อก็สามารถควบคุม 1/0 ได้ โดย Node-RED จะมี Node ให้เลือกใช้งานอย่างหลากหลาย มีเครื่องมือสามารถสร้างฟังก์ชัน JavaScript ได้โดยใช้ Text Editor และยังสามารถบันทึก Function, Templates, Flows เพื่อไปใช้งานกับงานอื่นต่อไป Node-RED นั้นทำงานบน Node.js ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานกับ Raspberry Pi

เนื่องจากใช้ทรัพยากรน้อย ขนาดไฟล์ไม่ใหญ่และ Node.js ยังทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้ Raspberry Pi สามารถติดต่อกับ Web Browser และอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ [2]

2) อุปกรณ์บอร์ดและเครื่องมือสำหรับทดสอบระบบ (Raspberry Pi, Arduino UNO, Stepper Motor)

Raspberry Pi เป็นคอมพิวเตอร์ในบอร์ดเดียว (Single Board Computer) มีขนาดเล็กมาก มีความสามารถในการรองรับระบบปฏิบัติการ Linux ที่เรียกว่า Raspbian ที่บรรจุลงใน SD การ์ดสำหรับการพัฒนาไปสู่บอร์ด Embedded Linux ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ ของบอร์ด Raspberry Pi จะมีจุดเชื่อมต่ออุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตทั้งผ่านพอร์ต USB, LAN, HDMI, CSI, DSI, AUDIO, ช่องสัญญาณภาพและ GPIO (General Purpose Input Output) สำหรับต่อกับวงจรหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ [3-4]

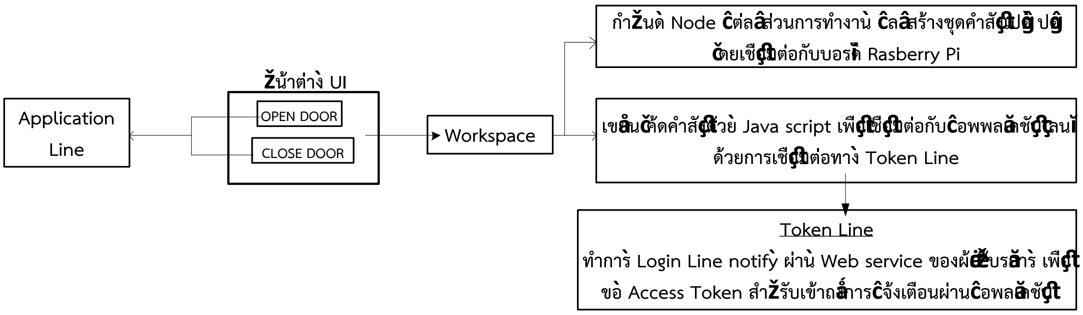
Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย ผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริมประเภทต่าง ๆ (Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น) มาเชื่อมเข้ากับบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้ [5-6]

Stepping Motor (สเต็ปปิงมอเตอร์) หรือ Stepper Motor (สเต็ปเปอร์มอเตอร์) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยสัญญาณพัลส์ มีลักษณะการขับเคลื่อนโดยการหมุนรอบแกน 360 องศา ที่ไม่ต่อเนื่องแต่จะเคลื่อนไปเป็นสเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1, 1.5, 1.8 หรือ 2 องศา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแต่ละโครงสร้างของมอเตอร์ ข้อดีของมอเตอร์ประเภทนี้ คือ สามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนได้อย่างแม่นยำด้วยองศาหรือระยะทาง โดยการใช้งาน Stepping Motor จะต้องมี Stepping Motor Drive และ Controller ที่เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการขับเคลื่อนการทำงานของมอเตอร์ [7]

3) ออกแบบ สร้างกลไกลจำลองอย่างง่ายสำหรับทดสอบ

3.1) ออกแบบหน้าต่างการทำงาน (User Interface: UI) และการเชื่อมต่อด้วย Node – RED

ทำการออกแบบหน้าต่าง UI และกำหนด Node ต่าง ๆ สำหรับการทำงาน บน Node – RED โดยสร้างชุดคำสั่งเปิด ปิดที่สามารถติดต่อกับบอร์ด Raspberry Pi ได้โดยตรงและสามารถแสดงผลแจ้งเตือนการทำงานจากหน้าต่าง UI ไปยังแอพพลิเคชั่นไลน์ได้ [8-10]

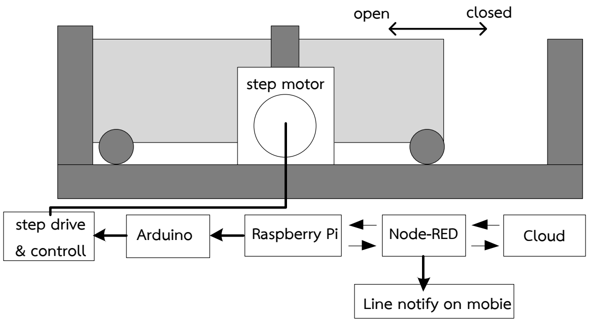


ภาพที่ 1 แสดงแผนผังการออกแบบการทำงานบน Node - RED

3.2) ติดตั้งอุปกรณ์เข้ากลไกเปิดปิดประตู

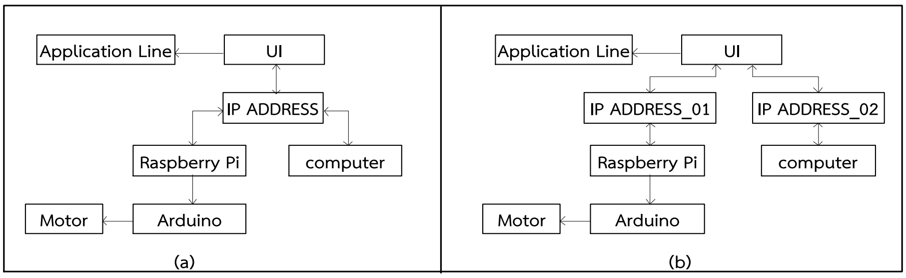
ทำการเชื่อมต่อบอร์ด Raspberry Pi กับ Arduino ผ่านช่องต่อ GPIO จากนั้นทำการเขียนโค้ดโปรแกรมในส่วนของบอร์ด Arduino เพื่อควบคุมการทำงานของ Stepping Motor สำหรับการเปิด ปิดกลไก ซึ่งจากแผนภาพที่ 1. และ 2. เมื่อเลือกคำสั่งการทำงานใด ๆ จากหน้าต่าง UI แล้ว บอร์ด Raspberry Pi จะรับคำสั่งการทำงานจาก Node – RED แล้ว

ส่งเงื่อนไขไปยังบอร์ด Arduino ที่จะทำให้กลไกทำงาน และขณะเดียวกันจะมีการแจ้งเตือนยืนยันสถานะของผลการทำงานไปยังแอพพลิเคชั่นไลน์ด้วย



ภาพที่ 2 แสดงแผนผังการบอร์ดการทำงานเข้ากับกลไกเปิดปิดประตู

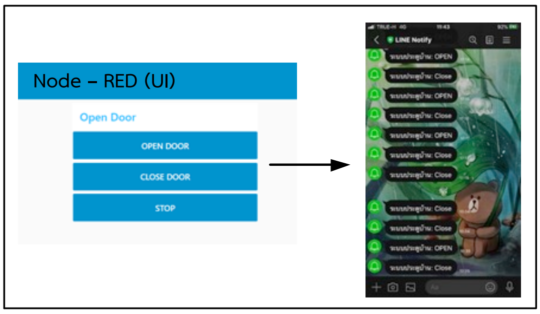
เนื่องจากระบบได้มีการออกแบบให้กลไกเปิด ปิด ทำงานได้จากการติดต่อผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตด้วยหน้าต่าง UI งานวิจัยนี้จึงจะทำการทดสอบการเชื่อมต่อของบอร์ด Raspberry Pi กับคอมพิวเตอร์ ผ่านหมายเลขผู้ให้บริการเครือข่าย (IP Address) โดยกำหนดสองเงื่อนไขคือ ทั้งสองอุปกรณ์อยู่ในวง IP Address เดียวกัน และ อยู่ต่างวงกัน เพื่อทดสอบและยืนยันประสิทธิภาพในการทำงานของระบบกลไกรวมถึงการแจ้งเตือนผลการทำงานผ่านทางแอพพลิเคชั่น



ภาพที่ 3 (a) แสดงแผนผังเชื่อมต่อบอร์ด Raspberry Pi และคอมพิวเตอร์ที่อยู่ใน วง IP ADDRESS เดียวกัน
(b) แสดงแผนผังเชื่อมต่อบอร์ด Raspberry Pi และคอมพิวเตอร์ที่อยู่ต่าง วง IP ADDRESS เดียวกัน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1) ผลทดสอบการเชื่อมต่อ Node – RED กับ บอร์ด Raspberry Pi



ภาพที่ 4 แสดงผลคำสั่งการแจ้งเตือนการทำงานจาก UI ไปยังแอพพลิเคชั่นไลน์

จากการสร้างส่วนการทำงานของ Node ต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อเข้ากับบอร์ด Raspberry Pi และออกแบบหน้าต่าง UI บน Node – RED หากทำการกดเลือกปุ่มการทำงาน OPEN DOOR / CLOSE DOOR จะแสดงการแจ้งเตือนคำสั่งทำงานดังกล่าวไปยังแอพพลิเคชั่นไลน์ ตามผลลัพธ์ในภาพที่ 4.

2) ผลทดสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับเครือข่าย

การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ทั้งสอง (Raspberry Pi และคอมพิวเตอร์) ในแต่ละวงเครือข่ายได้เชื่อมต่อเข้ากับหมายเลข IP เครือข่ายของภาคเอกชนทั่วไป เพื่อแสดงผลลัพธ์ในการควบคุม สั่งเปิดปิดอิเล็กทรอนิกส์และการแสดงผลแจ้งเตือนการทำงานผ่านทางแอพพลิเคชั่น ซึ่งผลการทดสอบและความสัมพันธ์ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 1. และ 2.

ตารางที่ 1 แสดงผลการควบคุมระบบที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านหมายเลข IP เครือข่ายวงเดียวกัน

จำนวนทดสอบ (ครั้ง)	IP เครือข่าย	IP อุปกรณ์	ชื่ออุปกรณ์	ผลการเชื่อมต่อ	กลไก/แจ้งเตือน
1	172.20.10.1	10.100.31.204 172.20.10.6	Raspberry pi Computer	สามารถเชื่อมต่อกันได้	ทำงานสมบูรณ์
2		10.100.31.204 172.20.10.6	Raspberry pi Computer	สามารถเชื่อมต่อกันได้	ทำงานสมบูรณ์
3		10.100.31.204 172.20.10.6	Raspberry pi Computer	สามารถเชื่อมต่อกันได้	ทำงานสมบูรณ์

ตารางที่ 2 แสดงผลการควบคุมระบบที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านหมายเลข IP เครือข่ายต่างวงกัน

จำนวนทดสอบ (ครั้ง)	IP เครือข่าย	IP อุปกรณ์	ชื่ออุปกรณ์	ผลการเชื่อมต่อ	กลไก/แจ้งเตือน
1	172.20.10.1 10.20.2.1	10.160.68.255 10.20.2.34	Raspberry pi Computer	สามารถเชื่อมต่อกันได้	ทำงานสมบูรณ์
2	172.20.10.1 10.20.2.1	10.160.68.255 10.20.2.34	Raspberry pi Computer	สามารถเชื่อมต่อกันได้	ทำงานสมบูรณ์
3	172.20.10.1 10.20.2.1	10.160.68.255 10.20.2.34	Raspberry pi Computer	สามารถเชื่อมต่อกันได้	ทำงานสมบูรณ์

จากตารางที่ 1. และ 2. จะเห็นได้ว่าการเชื่อมต่ออุปกรณ์บอร์ด Raspberry Pi และคอมพิวเตอร์ ที่มี IP Address อยู่ในวง IP เครือข่ายเดียวกันและต่างวงกันของผู้ให้บริการเอกชนทั่วไปนั้น ได้แสดงผลการเชื่อมต่อ รวมถึงกลไกการเปิดปิดประตูอิเล็กทรอนิกส์และการแจ้งเตือนผลการทำงานอย่างสมบูรณ์ เนื่องจาก IP Address เอกชนทั่วไป สามารถ Forward Port ได้กับ Port อื่น เพราะไม่จำเป็นต้องมีการยืนยันตัวตนเข้าใช้งาน นั่นแสดงให้เห็นว่า หากอุปกรณ์ทั้งสองตัวนี้มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายที่สามารถ Forward Port ได้อย่างสมบูรณ์ ผลลัพธ์การทำงานของกลไกและการแจ้งเตือนผ่านแอพพลิเคชั่นไลน์จะทำงานได้อย่างสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์

สรุปผลการวิจัย

เพื่อให้ระบบที่ควบคุมสั่งการผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตมายังบอร์ด Raspberry Pi อย่างง่ายและได้ผลดี ควรให้อุปกรณ์เชื่อมต่อกับเครือข่ายที่ไม่จำเป็นต้องยืนยันตัวตน ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์มีการเชื่อมต่อ IP Address กับผู้ให้บริการเครือข่ายเอกชนทั่วไปได้อย่างสมบูรณ์ โดยผลการควบคุมสั่งงานเปิดปิดประตูอิเล็กทรอนิกส์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตสามารถใช้งานได้จริง รวมทั้งผลของการแจ้งเตือนคำสั่งการทำงานจาก Node – RED ไปยังแอพพลิเคชั่นไลน์ทำให้ผู้ใช้งานมั่นใจได้ว่าระบบกลไกทำงานได้อย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดประตูบ้าน อาคาร หรือระบบอื่น ๆ ที่เหมาะสมได้ ทั้งนี้ ผู้ใช้งานหรือนักพัฒนา อาจจะสามารถพัฒนาระบบ ด้วยการใช้เซนเซอร์ตรวจจับผลการทำงานจริงของกลไกผ่านทางบอร์ด Arduino ให้ส่งข้อมูลการทำงานย้อนกลับมายัง Raspberry Pi และแจ้งเตือนผ่านเครือข่ายต่อไป เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความมั่นใจเพิ่มขึ้นต่อการทำงานของระบบอย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่อำนวยความสะดวกในส่วนสถานที่สำหรับสร้างอุปกรณ์ ทดลอง จัดเก็บข้อมูล จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Sk Riyazhussain, Riyazhussain, C.R.S. Lokesh, P.Vamsikrishna, Goli Rohan.(2016). Raspberry Pi Controlled Traffic Density Monitoring System. **The IEEE WiSPNET**. 1178-1181.

[2] การใช้งาน Node-RED บน Raspberry Pi. สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2566, จาก http://www.eduthaieasyelec.com

[3] PoundXl. **Raspberry Pi คืออะไร ?** สืบค้นเมื่อ 22 กุมภาพันธ์ 2567, จาก https://wp.me/p7OfTN-8

[4] เริงศักดิ์ สายรัตน. (2561). **ระบบตรวจสอบอัตราการเต้นของหัวใจผ่านเครือข่ายแบบไร้สาย.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[5] Siwakorn Jindarat, Pongpisitt Wuttidittachotti. (2015). Smart Farm Monitoring Using Raspberry Pi and Arduino. **International Conference on Computer, Communication, and Control Technology.** 1(9), 201-208.

[6] Chinoros Laongwan. (2023). THE CONTROL SYSTEM KALAMAE FILLING SEMI-AUTOMATIC MACHINE, **JOURNAL OF INDUSTRIAL EDUCATION.** 17(2), 10-25.

[7] ดวงกมล ดังโพนทอง, จักรกฤกษ์ จันทร์ศิริ, ภาณุวัตร รื่นเรื่องฤทธิ์ และวสันต์ ปินะเต. (2561). **การส่งเสริมเทคโนโลยีเครื่องจ่ายยาสำหรับผู้สูงอายุเพื่อใช้ประโยชน์ในชุมชุน เขต อำเภอกุดรัง จังหวัดมหาสารคาม.** รายงานการวิจัย : มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

[8] ธนวัฒน์ นาโพธิ์ตอง.(2562). **การประยุกต์ใช้ราสเบอร์รี่พายควบคุมการเปิด-ปิด อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านการแจ้งเตือนโดย แอพพลิเคชั่นไลน์**, วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาฟิสิกส์.มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

[9] Connected services.**notify-bot.line** สืบค้นเมื่อ 23 ธันวาคม 2566,จาก https://notify-bot.line.me/my/

[10] วีระศักดิ์ ชื่นตา, นิฏฐิตา เชิดชู และสิทธิชัย ชาวนา. (2563). “การแปลงระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำแบบออฟไลน์ให้เป็นระบบออนไลน์แบบเวลาจริงด้วยเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง”, ใน **งานประชุมวิชาการ**

ระดับชาติครั้งที่ 12 ประจำปี 2563มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, วันที่ 9 – 10 กรกฎาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม

สิ่งแวดล้อมเพื่อความเป็นกลางทางคาร์บอนสำหรับชุมชน

Environment for Carbon Neutrality for Communities (ENC)

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเมืองพัทยา
Assessment of greenhouse gas emissions from domestic wastewater treatment systems in Pattaya City

วรพต พงษ์พาลี[1] อภิเสฏฐ์ สุวรรณสะอาด[2,*] และ มณีรัตน์ เข็มขาว[1,*]
Woraphot Phongphalee[1], Apised Suwansaard[2, *], and Maneerat Khemkhao[1, *]

[1]วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170
[1]Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170
[2]Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170
*E-mail corresponding author: maneerat.khe@rmutr.ac.th, apised.suw@rmutr.ac.th

Abstract

The domestic wastewater treatment plant of Pattaya City, located in Nong Yai District, Chonburi Province, receives wastewater from Pattaya and Na Kluea and covers a total area of 36 km^2. It has an average domestic wastewater volume of 57,705 m^3/day that is treated by activated sludge. This research aims to assess the organization's carbon footprint of the wastewater treatment plant, both directly (including the amount of organic matter in the incoming wastewater, fuel combustion, and organizational activities) and indirectly (including the use of electricity, tap water, and chemicals). It was found that the total carbon footprint from the wastewater treatment system in 2023 was estimated to be 4,762.27 tons CO_2e/year, or 0.22 kg CO_2e/m^3 treated wastewater. In terms of the total carbon footprint, direct greenhouse gas emissions accounted for the highest proportion, accounting for 58.82%, while indirect greenhouse gas emissions were mainly from electricity consumption, counting for 40.79%.

Keywords: Greenhouse gas, Domestic wastewater, Pattaya City, Wastewater treatment plant

บทคัดย่อ

โรงบำบัดน้ำเสียชุมชนของเมืองพัทยา ที่ตั้งอยู่ในอำเภอหนองใหญ่ จังหวัดชลบุรี ซึ่งรองรับน้ำเสียจากพื้นที่พัทยาและนาเกลือรวม 36 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำเสียชุมชุนเข้าระบบเฉลี่ย 57,705 ลูกบาศก์เมตร/วัน บำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศด้วยระบบตะกอนเร่ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของโรงบำบัดน้ำเสียทั้งทางตรง ได้แก่ ปริมาณสารอินทรีย์น้ำเสียขาเข้า การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและกิจกรรมในองค์กร และทางอ้อม ได้แก่ การใช้ไฟฟ้า น้ำประปาและสารเคมี พบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมจากระบบบำบัดน้ำเสียในปี พ.ศ. 2566 ประเมินได้เท่ากับ 46,254.62 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี หรือ 2.16 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อลูกบาศก์

เมตรน้ำเสีย ในปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมด การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงมีสัดส่วนสูงสุดคิดเป็นร้อย 95.76 ในขณะที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมทั้งหมด พบว่ามาจากการใช้พลังงานไฟฟ้ามีส่วนสำคัญ

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก น้ำเสียชุมชน เมืองพัทยา โรงบำบัดน้ำเสีย

บทนำ

วัตถุประสงค์ของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน คือ การกำจัดมลพิษจากน้ำที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ เพื่อปกป้องแหล่งน้ำและระบบนิเวศจากมลพิษที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas, GHG) จากโรงบำบัดน้ำเสียกลายเป็นประเด็นสำคัญในปัจจุบัน และถือเป็นหนึ่งในความท้าทายด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากตลอดขั้นตอนการบำบัด โรงบำบัดน้ำเสียมีส่วนในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและมลพิษทางอากาศ การปล่อยมลพิษสามารถจำแนกได้เป็นการปล่อยโดยตรงและโดยอ้อม ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของมลพิษ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีวภาพเป็นหลัก โดยเกิดขึ้นในระหว่างการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ที่มีคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ผ่านกระบวนย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรีย ก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อย ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และมีเทน (CH_4) การปล่อยก๊าซเรือนกระจากทางอ้อม หมายถึง การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานสำหรับการดำเนินการภายในโรงบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้ยังรวมถึงการปล่อยไนตรัสออกไซด์ และมีเทนซึ่งมีศักยภาพในการทำให้โลกร้อนที่ 300 และ 30 ของ CO_2-equivalent ตามลำดับ ดังนั้นการปล่อยก๊าซเหล่านี้เพียงเล็กน้อยก็มีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างมาก [1-3]

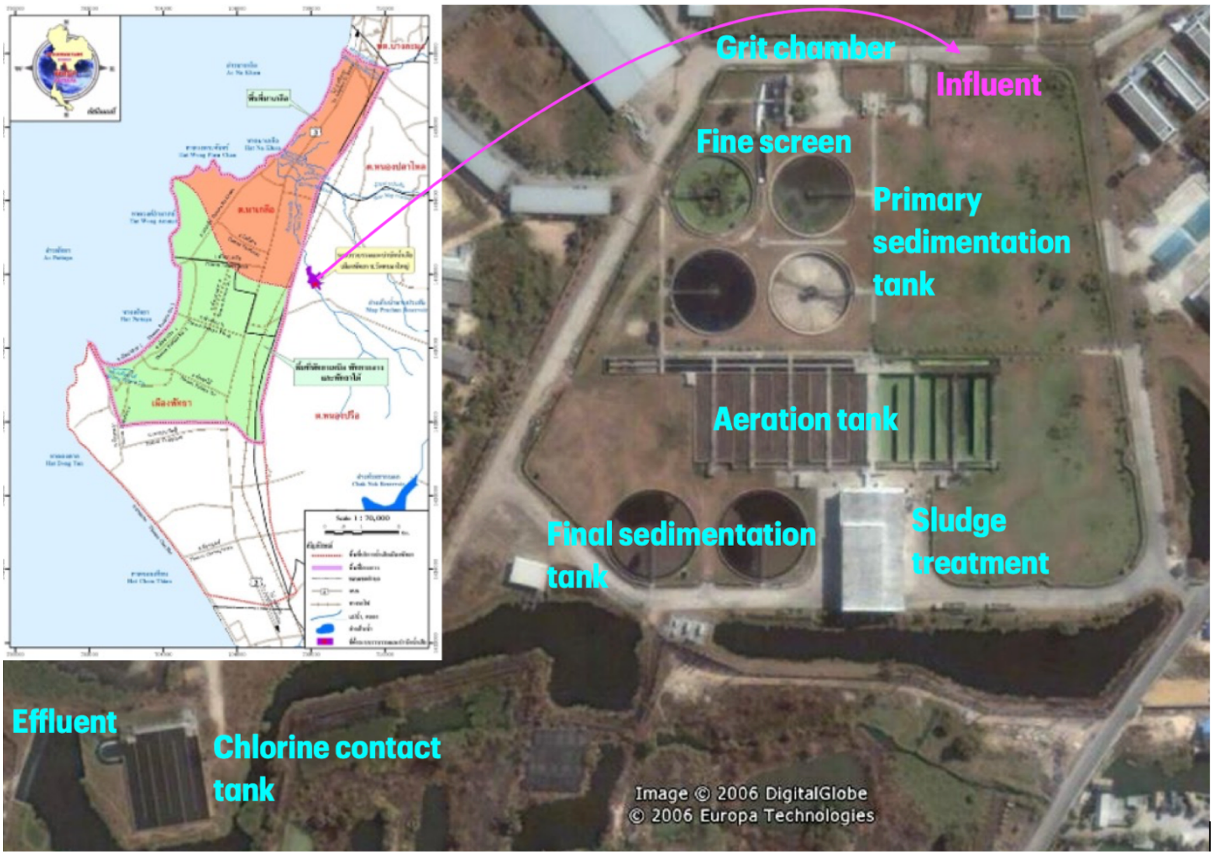
การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องกับโรงบำบัดน้ำเสีย สามารถทำได้โดยการเลือกเทคโนโลยีการบำบัดที่เหมาะสม การปรับปรุงกระบวนการบำบัด การเลือกชนิดของปั๊มน้ำที่ใช้ที่มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน รวมทั้งการใช้พลังงานทางเลือก เช่น พลังงานจากโซล่าร์เซลล์ และการนำมีเทนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดมาใช้เป็นพลังงาน [4-5] อย่างไรก็ตามการประเมินสาเหตุของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโรงบำบัดน้ำเสีชุมชน และการเลือกวิธีการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสม จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน

ดังนั้นการศึกษานี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้พลังงานจากโรงบำบัดน้ำเสียเมืองพัทยา ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้ง ไนตรัสออกไซด์ และมีเทน ในรูป CO_2-equivalent ทั้งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้ทั้งทางตรงและทางอ้อม เพื่อนำผลการประเมินที่ได้นี้ไปใช้ในการศึกษามาตรการในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโรงบำบัดน้ำเสียต่อไป

วิธีการวิจัย

พื้นที่สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการบำบัดน้ำเสียชุนเมืองพัทยา คือ โรงบำบัดน้ำเสียเมืองพัทยา ซอยหนองใหญ่ (ภาพที่ 1) มีพื้นที่ 80 ไร่ ครอบคลุมพื้นที่ให้ให้บริการประมาณ 36 ตร.กม. รองรับน้ำเสียจากพื้นที่พัทยาและนาเกลือ โดยออกแบบให้มีความสามารถบำบัดน้ำเสียได้ 65,000 ลบ.ม./วัน เป็นระบบบำบัดแบบใช้อากาศชนิดตะกอนเร่ง (Activated sludge) ปัจจุบันมีน้ำเสียเข้าระบบเฉลี่ยประมาณ 57,705 ลบ.ม./วัน โดยน้ำเสียจะถูกรวบรวมด้วยท่อรวบรวมน้ำทิ้งรวมจากพื้นที่นาเหลือและพัทยา แล้วส่งน้ำเสียมาที่โรงบำบัดน้ำเสียด้วยปั๊มที่ตั้งอยู่ที่สถานีสูบน้ำเสีย เมื่อน้ำเสียมาที่โรงบำบัดน้ำเสีย ตะกอนหรือทรายจะถูกแยกด้วย grid chamber ส่วนขยะชิ้นเล็กๆ ที่มากับน้ำเสียจะถูกด้วยแยกด้วย fine screen จากน้ำเสียจะถูกปล่อยให้ตะกอนเบื้องต้นที่ primary sedimentation tank โดยแยก

อนุภาคของแข็งและตะกอนลอยออก จากนั้นน้ำเสียจะเข้าสู่บ่อเติมอากาศ มีระยะเวลากักเก็บเฉลี่ยที่ 9.25 ชม. และปล่อยให้ตกตะกอนที่ final sedimentation tank ซึ่งน้ำที่ผ่านการบำบัดจะถูกฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนโดยมีเวลาสัมผัสคลอรีน 30 นาที ก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป ขณะที่ตะกอนจาก primary sedimentation tank และ final sedimentation tank จะถูกส่งไปยังเครื่องรีดตะกอนและเติมสารโพลิเมอร์ จากนั้นตะกอนแห้งจะถูกขนไปตากแห้งที่ลานตากตะกอน



ภาพที่ 1 โรงบำบัดน้ำเสียเมืองพัทยา ซอยหนองใหญ่

รวบรวมข้อมูลและจัดทำบัญชีสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยคาร์บอน ใช้ข้อมูลการดำเนินงานประจำปี พ.ศ. 2566 ขอบเขตของการศึกษาจะครอบคลุมกระบวนการบำบัดน้ำเสียทั้งหมด การใช้สารเคมี การขนส่งตะกอน และการใช้พลังงาน นอกจากนี้ ยังรวมการปล่อยมลพิษจากการกำจัดตะกอน ซึ่งกิจกรรมหลักที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียทั้งหมด 3 ขอบเขต โดยขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงที่เกิดจากการเผาไหม้ที่อยู่กับที่ จากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ และจากการรั่วไหลและอื่นๆ ขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้ไฟฟ้า และขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ เช่น การใช้น้ำประปาจากการประปาส่วนภูมิภาค การใช้คลอรีนและสารพอลิเมอร์ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง สามารถคำนวณได้จากจากสมการที่ 1 ถึง 6 [6]

$$GHG_{s\ on-site} = \sum\left[CO_{2\ unit\ process} + \left(GWP_{CH_4} x CH_{4\ unit\ process}\right) + \left(GWP_{N_2O} x N_2O_{unit\ process}\right)\right] \quad (1)$$

$$M_{BOD} = \left(\Delta BOD\ x\ Q_{flow}\right) x\ 10^{-3} \quad (2)$$

$$M_{TN} = \left(\Delta TN\ x\ Q_{flow}\right) x\ 10^{-3} \quad (3)$$

$$CO_{2\ unit\ process} = EF_{CO_2}\ x\ M_{BOD} \quad (4)$$

$$CH_{4\,unit\,process} = EF_{CH_4}\, x\, M_{BOD} \quad (5)$$

$$N_2O_{unit\,process} = EF_{N_2O}\, x\, M_{TN} \quad (6)$$

เมื่อ $GHG_{s\ on\text{-}site}$ คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ปล่อยออกมาระหว่างกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ($kgCO_2eq$), $CO_{2\ unit\ process}$ คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (kg/d), $CH_{4\ unit\ process}$ คือ ปริมาณก๊าซมีเทน (kg/d), $N_2O_{unit\ process}$ คือ ปริมาณก๊าซไนตรัสออกไซด์ (kg/d), GWP คือ ค่าศักยภาพในการเกิดโลกร้อน ($kgCO_2e/kg$), Q_{flow} คือ อัตราการไหล (m^3/d), M_{BOD} คือ ปริมาตรของบีโอดี (kgBOD), M_{TN} คือ ปริมาตรของไนโตรเจนทั้งหมด (kgTKN), ΔBOD คือ ค่าบีโอดีที่ลดลง (mg/L) และ ΔTN คือ ค่าไนโตรเจนทั้งหมดที่ลดลง (mg/L) [6-7]

การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม จากการใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำประปา และการใช้สารเคมี สามารถคำนวณได้จากจากสมการที่ 7 ถึง 9 [6]

$$GHG_{electric\ off-site} = \sum (E_{unit\ process}\ x\ EF_{Elect}) \quad (7)$$

$$GHG_{water\ off-site} = \sum (W_{unit\ process}\ x\ EF_{water}) \quad (8)$$

$$GHG_{chemical\ off-site} = \sum (C_{unit\ process}\ x\ EF_{chemical}) \quad (9)$$

โดยที่ EF electricity คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสีย, $E_{unit\ process}$ คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh), EF_{water} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำประปา, $W_{unit\ process}$ คือ ปริมาณการใช้น้ำประปาสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (m^3), $EF_{chemical}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้สารเคมี และ $C_{unit\ process}$ คือ ปริมาณการใช้สารเคมี (kg/m^3) [6]

ตารางที่ 1 บัญชีรายการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ โรงบำบัดน้ำเสียหนองใหญ่ ปี พ.ศ. 2566

ขอบเขต	รายการ	ปริมาณ	EF ($kg\ CO_2e/unit$)	อ้างอิงจาก Thai National Database
1	น้ำเสีย	21,435,606 m^3	0.129	การจัดการมูลฝอย และการปรับปรุงน้ำเสียชุมชน_584
	ดีเซล	10,047 L	2.7406	26_Deisel oil (mobile combustion on road)
	เบนซิน	1,573 L	2.2394	23_Motor gasoline-uncontrolled (mobile combustion on road)
2	ไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	3,245,389.93 kWh	0.5986	ไฟฟ้า_59
3	น้ำประปาส่วนภูมิภาค	16,715 m^3	0.541	น้ำประปาและน้ำอุตสาหกรรม_61
	สารเคมี	89.80 kg	2.2	Kyung et al. [6]
	คลอรีน	157,343 L	1.0548	เคมีภัณฑ์_621
	โพลีเมอร์ประจุบวก	1,120 kg	1.43	อุตสาหกรรมสิ่งทอ_27
	ดีเซล	10,047 L	0.3522	พลังงาน_55
	เบนซิน	1,573 L	0.4024	พลังงาน_52
	น้ำมันไฮดรอลิค	254 L	0.8319	เคมีภัณฑ์_598
	น้ำมันเกียร์	630 L	1.07	วัสดุอุตสาหกรรม_8 น้ำมันเกียร์
	จารบี	218 kg	1.0547	วัสดุอุตสาหกรรม_5 จารบี
	กระดาษ	510 kg	2.102	เยื่อกระดาษ_592 กระดาษพิมพ์เขียนแบบไม่เคลือบผิว

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

โรงบำบัดน้ำเสียหนองใหญ่เป็นระบบตะกอนเร่ง รับน้ำเสียจากพื้นที่เขตนาเกลือ พัทยาเหนือ พัทยากลาง และพัทยาใต้บางส่วน ข้อมูลคุณลักษณะน้ำเสียและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปี พ.ศ. 2566 แสดงในตารางที่ 2 โดยพบว่าน้ำเสียมีค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายของเสียอินทรีย์ในน้ำเสียเฉลี่ย 100.62 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีการทางเคมี เฉลี่ย 126.64 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เฉลี่ย 12.65 มิลลิกรัมต่อลิตร จากข้อมูลยังพบว่า น้ำทิ้งหรือน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว มีคุณลักษณะเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษ ที่ออกโดยอาศัยอำนาจตามกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ โดยมีค่าบีโอดี ประมาณ 14.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (มาตรฐานไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร) และมีค่าไนโตรเจนทั้งหมด ประมาณ 1.92 มิลลิกรัมต่อลิตร (มาตรฐานไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ตารางที่ 2 ข้อมูลคุณลักษณะน้ำเสียและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปี พ.ศ. 2566

เดือน	น้ำเสียเข้าระบบ (m^3)	$BOD_{ขาเข้า}$ (mg/L)	$COD_{ขาเข้า}$ (mg/L)	$TKN_{ขาเข้า}$ (mg/L)	$NO_3\text{-}N_{ขาเข้า}$ (mg/L)	$BOD_{ขาออก}$ (mg/L)	$TKN_{ขาออก}$ (mg/L)
มกราคม	2,080,652	105.50	125.42	12.78	0.26	13.8	2.71
กุมภาพันธ์	1,839,560	92.50	120.84	13.67	0.19	13.6	1.91
มีนาคม	1,854,726	102.70	123.72	15.21	0.18	14.4	1.85
เมษายน	1,564,265	103.90	139.37	14.49	0.31	15.7	1.88
พฤษภาคม	1,785,769	93.00	143.88	11.82	0.68	13.6	1.40
มิถุนายน	1,687,963	116.20	143.19	14.06	0.24	15.5	2.71
กรกฎาคม	1,810,742	93.80	123.57	10.59	0.21	12.5	1.24
สิงหาคม	1,813,931	93.60	139.43	13.35	0.18	12.8	2.01
กันยายน	1,766,988	96.40	116.70	11.85	0.12	13.0	1.59
ตุลาคม	1,809,859	100.30	92.05	10.62	0.10	14.0	1.79
พฤศจิกายน	1,728,274	111.80	102.42	11.09	0.19	15.7	1.94
ธันวาคม	1,692,877	97.70	149.12	12.23	0.13	13.6	2.01
เฉลี่ย	1,786,300.50	100.62	126.64	12.65	0.23	14.0	1.92

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียของ ปี 2566 แสดงในตารางที่ 3 พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 46,254.62 ตัน CO_2 เทียบเท่าต่อปี โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงเป็นสาเหตุหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการบำบัดน้ำเสียคิดเป็นร้อยละ 95.68 รองลงมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 4.20 ในขณะที่การใช้น้ำประปาและสารเคมีมีแค่ร้อยละ 0.04

เพื่อขจัดปัจจัยของความแตกต่างในคุณภาพของน้ำเข้าและน้ำออก จึงคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อ 1 kg BOD ที่กำจัดโดยโรงบำบัดน้ำเสียคิดเป็น 24.93 kg CO_2e/kg BOD ในขณะงานวิจัยที่ผ่านอยู่ที่ 2.064 kgCO_2e/kg BOD [8] และ 3.31 kgCO_2e/kg BOD [9] ซึ่งงานวิจัยมีค่าห่าง 7-12 เท่า แสดงให้เห็นว่า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการกำจัดได้รับผลกระทบจากจากภูมิภาค กระบวการ ขนาด และเวลาในการเก็บตัวอย่าง [8]

สำหรับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง พบว่า มาจากการปล่อย CO_2 โดยตรงจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียคิดเป็นร้อยละ 99.05 ส่วนการปล่อย CH_4 และ N_2O มีสัดส่วนเพียงเล็กน้อยอยู่ที่ร้อยละ 0.61 และ 0.34 ตามลำดับ สำหรับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าเป็นสาเหตุหลักของการปล่อย

ก๊าซเรือนกระจก ซึ่งโรงบำบัดน้ำเสียใช้ไฟฟ้า 3.24 ล้าน kWhr เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียเป็นระบบบำบัดแบบใช้อากาศ ต้องใช้ปั๊มเพื่อเติมอากาศ สารเคมีหลักคือพอลิเมอร์ประจุบวกใช้ไป 1,120 กก. ใช้น้ำประปา 16,715 ลบ.ม.

สำหรับความเข้มข้นของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในปี 2566 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมาต่อน้ำเสียหนึ่งลูกบาศก์เมตรทั้งหมดดำเนินการ คือ 2.16 $kgCO_2e/m^3$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำของกรุงเทพมหานครทั้ง 7 แห่ง ที่อยู่ในช่วง 1.50-2.69 $kgCO_2e/m^3$ [10] แต่มีสูงกว่าเมื่อเทียบกับผลการวิจัยที่มาจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบใช้อากาศของต่างประเทศ โดยมีค่าอยู่ที่ 0.438 $kgCO_2e/m^3$ [11], 0.38 $kgCO_2e/m^3$ [8] และ 0.228~0.245 $kgCO_2e/m^3$ [9]

ตารางที่ 3 คาร์บอนฟุตพริ้นส์รายปี จากหน่วยการทำงานต่างๆ

tCO_{2eq}/yr	$kgCO_{2eq}/kg\ BOD_{rem}$	$kgCO_{2eq}/kg\ TN_{rem}$	$kgCO_{2eq}/m^3$ treated WW
4,762.27	27.58	178.27	0.22

Direct emission (tCO_{2eq}/yr)		Indirect emission (tCO_{2eq}/yr)					
Treatment process	Mobile combustion	Electricity	Water	Chemicals	Lubricant	Engines	Paper
2,765.19	36.03	1,942.69	9.04	2.18	0.99	5.06	1.07

สรุปผลการวิจัย

ปริมาณน้ำเสียขาเข้าและค่าความสกปรกเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียคิดเป็นร้อยละ 95.76 โดยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่จากคาร์บอนไดออกไซด์ 4,762.27 tCO_2e/yr การใช้ไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม 1,942.69 tCO_2e/yr ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดต่อหน่วยน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 0.22 $kgCO_2e/m^3$

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการช่างสุขาภิบาลเมืองพัทยา โรงบำบัดน้ำเสียเมืองพัทยาซอยหนองใหญ่สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสีย

เอกสารอ้างอิง

[1] Daelman, M.R.J., van Voorthuizen, E.M., Van Dongen, L.G.J.M., Volcke, E.I.P. and Van Loosdrecht, M.C.M. (2013). Methane and nitrous oxide emissions from municipal wastewater treatment–results from a long-term study. **Water Science and Technology**. 67(10), 2350-2355. https://doi.org/10.2166/wst.2013.109

[2] Hwang, K.L., Bang, C.H. and Zoh, K.D. (2016). Characteristics of methane and nitrous oxide emissions from the wastewater treatment plant. **Bioresource Technology.** 214, 881-884. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.047

[3] Mannina, G., Ekama, G., Caniani, D., Cosenza, A., Esposito, G., Gori, R., Garrido-Baserba, M., Rosso, D. and Olsson, G. (2016). Greenhouse gases from wastewater treatment—A review of modelling tools. **Science of the Total Environment**. 551, 254-270. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.163

[4] Yapıcıoğlu, P. and Demir, Ö. (2021). Minimizing greenhouse gas emissions of an industrial wastewater treatment plant in terms of water–energy nexus. **Applied Water Science.** 11(180), 1-14. DOI: 10.1007/s13201-021-01484-4

[5] Tong, Y., Liao, X., He, Y., Cui, X., Wishart, M., Zhao, F., Liao, Y., Zhao, Y., Lv, X., Xie, J. and Liu, Y. (2024). Mitigating greenhouse gas emissions from municipal wastewater treatment in China. **Environmental Science and Ecotechnology.** 20, 100341. https://doi.org/10.1016/j.ese.2023.100341

[6] Kyung, D., M. Kim, J. Chang and W. Lee. (2015). Estimation of greenhouse gas emissions from a hybrid wastewater treatment plant. **Journal of Cleaner Production**. 95, 117-123.

[7] Bao, Z., D. Sun and S. Sun. (2016). Assessment of greenhouse gas emission from A/O and SBR wastewater treatment plants in Beijing, China. **International Biodeterioration & Biodegradation.** 108, 108-114.

[8] Lin, L. (2020). Carbon emission assessment of wastewater treatment plant based on accounting perspective. In **E3S Web of Conferences** 194, 04049. EDP Sciences.

[9] Shahabadi M.B., Yerushalmi L., Haghighat F. (2009) Impact of process design on greenhouse gas (GHG) generation by wastewater treatment plants. **Water Research.** 43, 2679-2687.

[10] ญาณิศา ส่องประทีป และ ชลอ จารุสุทธิรักษ์. (2561). "การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร", ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 56** หน้า 1007-1014. วันที่ 6 – 9 กุมภาพันธ์ 2561

[11] Keller, J., Hartley, K. (2003). Greenhouse gas production in wastewater treatment: process selection is the major factor. **Water Science and Technology.** 47(12), 43-48.

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าใกล้ศูนย์บ้านพักอาศัย: กรณีการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวล
Nearly Zero Emissions for Residential Homes: Case Study of Syngas Power Generator

ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ
Yodphatarachai Kanitpunyacharoen

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
Engineering Management, Faculty of Industrial Technology
Uttaradit Rajabhat University
Corresponding author: 063 395 5198   E-mail: kunrda@uru.ac.th

Abstract

The near-zero greenhouse gas emission in residential housing project aims to develop a prototype of self-consumption electricity generation using syngas to reduce electricity usage from the Provincial Electricity Authority and lower greenhouse gas emissions to near zero using the experimental research method involving real user groups. Starting with an analysis of the electricity consumption activities during the daytime among the occupational groups at their residences, which guides the creation of a prototype that satisfies the users' needs. The prototype is then installed alongside the Provincial Electricity Authority grid to evaluate the experiment results. The results indicated that the experiment achieved the greenhouse gas emissions target of zero, reduced electricity consumption by 3,370.20 units per year, and cut greenhouse gas emissions by 1,669.597 kilograms of carbon equivalent per year, with a technology payback period of 2.75 years.

Keyword: NZEB, Home, Syngas, Charcoal, Bamboo

บทคัดย่อ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าใกล้ศูนย์บ้านพักอาศัยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาต้นแบบการผลิตไฟฟ้าใช้เองด้วยก๊าซชีวมวลเพื่อลดใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและประเมินผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้เข้าใกล้ศูนย์ด้วยวิธีการวิจัยเชิงทดลองปฏิบัติการกับกลุ่มผู้ใช้งานจริง เริ่มด้วยการวิเคราะห์กิจกรรมการใช้ไฟฟ้าช่วงเวลากลางวันของกลุ่มอาชีพ ณ บ้านพักอาศัยของตนเอง แล้วดำเนินการพัฒนาเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าใช้เองด้วยก๊าซชีวมวลตามความเหมาะสมของผู้ใช้งานและติดตั้งเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวลให้ผสมผสานไฟฟ้ากับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้วประเมินผลการปฏิบัติการ พบว่า ผลการทดลองปฏิบัติการสามารถลดการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้เท่ากับศูนย์เป็นไปตามเป้าหมาย 100 เปอร์เซ็นต์ โดยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 3,370.20 หน่วยต่อปี ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1,669.597 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่าต่อปี มีระยะเวลาคืนทุนเทคโนโลยี 2.75 ปี

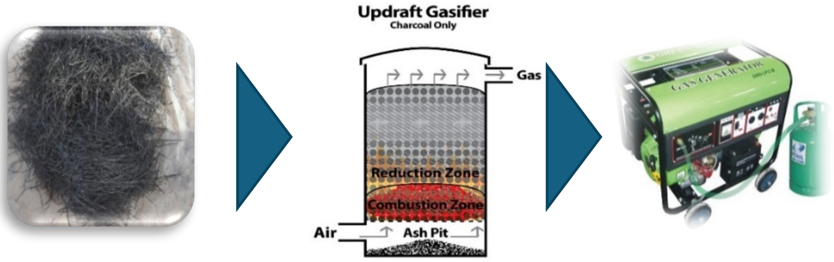
คำสำคัญ: ปล่อยก๊าซสุทธิเป็นศูนย์ บ้านพักอาศัย ก๊าซชีวมวล ถ่าน ไม้ไผ่

บทนำ

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2566 อยู่ที่ระดับ 243.6 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์ มาจากภาคอุตสาหกรรม ภาคครัวเรือน ภาคเกษตรกรรม ภาคพณิชยกรรม และกิจกรรมอื่น ๆ [1] โดยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายบ้านอยู่อาศัย ปี พ.ศ. 2566 จำนวน 9,969 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ภาคอุตสาหกรรม จำนวน 30,716 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ภาคเกษตรกรรม 2,266 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ภาคสาขาขนส่ง 32,978 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ และ ภาคธุรกิจการค้า 7,139 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ [2] ซึ่งปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับผลการศึกษาสถานการณ์พลังงานในประเทศช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม ปี พ.ศ. 2567 สูงถึง 36,367 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบโดยภาคบ้านพักอาศัยมีจำนวนถึง 4,400 กิโลตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ [3] จำเป็นต้องแสวงหาแนวทางการลดใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง

การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องข้างต้นเนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีพหรือการสร้างรายได้ให้กับทุกภาคส่วนทำให้ต้องสร้างประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการผลิตพลังงานไฟฟ้าแนวทางใหม่ ๆ [4] รวมทั้งพัฒนาระบบการเชื่อมโยงแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนให้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกไปพร้อมด้วยเนื่องจากเป็นการสร้างกระบวนการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนได้ถึงร้อยละ 83.13 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ หรือสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าใกล้ศูนย์ (Nearly Zero Emissions) [5] อีกทั้งทำเป็นธนาคารพลังงานชุมชนสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้พลังงานหมุนเวียนได้อีกทางหนึ่ง อาทิ ป่าไม้ แสงอาทิตย์ ลม หรือน้ำ ด้วยการวางระบบบริหารจัดการแบบมีส่วนร่วมในทุกภาคส่วน ส่งเสริมความรู้ความเข้าใจ และส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนในการดำรงชีพและการประกอบกิจการ รวมทั้งนำวัสดุเหลือใช้อื่น ๆ มาผลิตพลังงานไฟฟ้า [6],[7] อันจะทำให้เกิดประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรของประเทศได้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ

การผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวลเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่เหมาะสมกับชุมชนอย่างยิ่งเนื่องจากเป็นการนำวัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปไม้ไผ่แล้วทำการเพิ่มคุณค่าให้เป็นวัสดุเชื้อเพลิงพลังงานเพื่อนำเข้ากระบวนการแปรสภาพเป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่สามารถติดไฟได้ (ดังภาพที่ 1) และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อนำเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วไปขับเคลื่อนอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้า (Generator) เพื่อนำมาใช้ในการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ของผู้ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ระดับบ้านพักอาศัย กลุ่มอาชีพในชุมชน ผู้ประกอบการกลุ่มวิสาหกิจชุมชนทั้งขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นแนวทางการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างดียิ่งอีกทั้งเป็นการสร้างการมีส่วนร่วมการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง รวมทั้งเป็นการเพิ่มคุณค่าวัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เกิดการสร้างงานในชุมชน และสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่อีกด้วย งานวิจัยนี้มีความมุ่งมั่นเพื่อสร้างแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าใกล้ศูนย์จากการพัฒนาต้นแบบการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวล และเพื่อประเมินผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความคุ้มค่าการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวล



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตก๊าซชีวมวล (ก๊าซซิฟิเคชั่น)

วิธีการวิจัย

การสร้างแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าใกล้ศูนย์จากการพัฒนาต้นแบบการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวลและการประเมินผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความคุ้มค่าการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวล ใช้วิธีการวิจัยเชิงทดลองปฏิบัติการกับกลุ่มผู้ใช้งานจริงที่เป็นกลุ่มอาชีพแปรรูปไม้ไผ่ ณ บ้านพักอาศัยของตนเอง มีการดำเนินการดังนี้

1. วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าบ้านพักอาศัย

การใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยและกลุ่มวิสาหกิจชุมชน พบว่า มีอุปกรณ์ไฟฟ้าใช้งานภายในพื้นที่ปฏิบัติงานของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ประกอบด้วย อุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า จำนวน 2 ตัว ขนาด 2,238 วัตต์ และ ขนาด 1,492 วัตต์ จำนวน 1 ตัว พัดลม จำนวน 3 ตัว ขนาด 38, 50 และ 50 วัตต์ หลอดตะเกียบ ขนาด 14 วัตต์ จำนวน 1 ตัว หลอดนิออน ขนาด 9 วัตต์ จำนวน 1 หลอด และ ตู้น้ำเย็น ขนาด 79 วัตต์ จำนวน 1 ตู้ มีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ ที่ทำการกลุ่มแปรรูป 6.13 ชั่วโมงต่อวัน จำนวนวันใช้งานต่อเดือน 17.50 วันต่อเดือน มีหน่วยการใช้งานรวมต่อวัน 23.92 หน่วยต่อวัน และมีค่าใช้จ่ายรวมต่อวัน 90.18 บาทต่อวัน โดยค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ยตามบิลค่าไฟฟ้าของผู้ประกอบการ เท่ากับ 3.77 บาทต่อหน่วย (ดังตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ ที่ทำการกลุ่มแปรรูป

อุปกรณ์ไฟฟ้า	พิกัด (วัตต์)	จำนวน (ชิ้น)	เวลาใช้งาน (ชั่วโมงต่อวัน)	จำนวนวันใช้งาน (วันต่อเดือน)	หน่วยการใช้ (หน่วยต่อวัน)	ค่าใช้จ่าย* (บาทต่อวัน)
มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 3 แรง	2,238	1	6	16	13.43	50.62
มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 2 แรง	1,492	1	6	16	8.95	33.75
พัดลม ขนาด 14 นิ้ว	38	1	6	16	0.23	0.86
พัดลม ขนาด 16 นิ้ว	50	1	6	16	0.30	1.13
พัดลม ขนาด 18 นิ้ว	47	1	6	16	0.28	1.06
หลอดตะเกียบ	14	1	0	0	0.00	0.00
หลอดนีออน	9	1	11	30	0.10	0.37
ตู้น้ำเย็น	79	1	8	30	0.63	2.38
เฉลี่ย	**3,967**	**8**	**6.13**	**17.50**	**23.92**	**90.18**

หมายเหตุ : *ค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ยตามบิลค่าไฟฟ้า เท่ากับ 3.77 บาทต่อหน่วย

ด้านการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยผู้ประกอบการเนื่องจากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนต่อพลังงานไฟฟ้าจากบ้านพักอาศัยทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับการใช้งานภายในบ้านพักอาศัย โดยพบว่า อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้งานภายในบ้านพักอาศัย ประกอบด้วย ตู้เย็น จำนวน 1 หลัง ขนาด 110 วัตต์ พัดลม จำนวน 3 ตัว ขนาด 38 วัตต์ หลอดตะเกียบ ขนาด 14 วัตต์ จำนวน 10 ตัว หลอดนิออน ขนาด 46 วัตต์ จำนวน 1 หลอด และอื่น ๆ มีหน่วยการใช้งานรวมต่อวัน 22.91 หน่วยต่อวัน และมีค่าใช้จ่ายรวมต่อวัน 86.35 บาทต่อวัน (ดังตารางที่ 2)

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยและการประกอบการช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน พบว่า มีหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 271.75 หน่วยต่อเดือน สูงสุด 324.00 หน่วยต่อเดือน น้อยที่สุด 203.00 หน่วยต่อเดือน และมีค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 1,024.44 บาทต่อเดือน สูงสุด 1,221.41 บาทต่อเดือน น้อยที่สุด 765.27 บาทต่อเดือน (ดังตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ บ้านพักอาศัย

อุปกรณ์ไฟฟ้า	**พิกัด** (วัตต์)	**จำนวน** (ชิ้น)	**เวลาใช้งาน** (ชั่วโมงต่อวัน)	**จำนวนวันใช้งาน** (วันต่อเดือน)	**หน่วยการใช้** (หน่วยต่อวัน)	**ค่าใช้จ่าย** (บาทต่อวัน)
ตู้เย็น ขนาด 5 คิว	110	1	12	30	1.32	4.98
แอร์ 9,000 btu	1,400	1	8	30	11.20	42.22
กาน้ำร้อน 1 ลิตร	350	1	2	30	0.70	2.64
พัดลม ขนาด 14 นิ้ว	38	2	6	30	0.46	1.72
พัดลม ขนาด 14 นิ้ว	38	1	8	30	0.30	1.15
ทีวี ขนาด 32 นิ้ว	65	1	1	30	0.07	0.25
ทีวี ขนาด 42 นิ้ว	95	1	10	30	0.95	3.58
หลอดตะเกียบ	14	3	10	30	0.42	1.58
หลอดตะเกียบ	14	7	3	30	0.29	1.11
หลอดนีออนยาว	46	1	1	30	0.05	0.17
เครื่องซักผ้า 5 kg	550	1	2	30	1.10	4.15
เครื่องทำน้ำอุ่น	3,500	1	1	30	3.50	13.20
ปั๊มน้ำอัตโนมัติ	350	1	5	30	1.75	6.60
หม้อหุงข้าว 2 ลิตร	350	1	1	30	0.35	1.32
หม้อหุงข้าว 3 ลิตร	450	1	1	5	0.45	1.70
รวม	**7,370.00**	**24**	**-**	**-**	**22.91**	**86.35**
เฉลี่ย	491.33	-	4.73	28.33	1.51	5.69
สูงสุด	3,500.00	7.00	12.00	30.00	11.20	42.22
ต่ำสุด	14.00	1.00	1.00	5.00	0.05	0.17

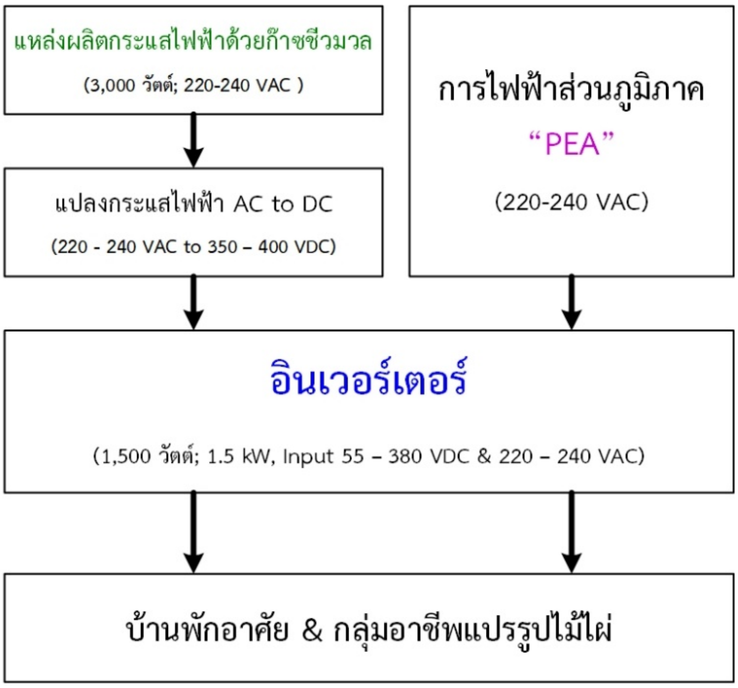
ตารางที่ 3 หน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าฐานกลุ่มวิสาหกิจชุมชน (บ้านพักอาศัยและที่ทำการกลุ่ม)

เดือน	**หน่วยไฟฟ้าฐาน** (kWh)	**ค่าไฟฟ้าฐาน**
เมษายน	323.00	1,217.64
มีนาคม	324.00	1,221.41
กุมภาพันธ์	237.00	893.44
มกราคม	203.00	765.27
เฉลี่ย	271.75	1,024.44
สูงสุด	324.00	1,221.41
ต่ำสุด	203.00	765.27

2. ออกแบบแนวทางการลดใช้พลังงานไฟฟ้าบ้านพักอาศัย

ผลประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าบ้านพักอาศัยและกลุ่มอาชีพแปรรูปไม้ไผ่ พบว่า มีปริมาณการใช้กำลังพลังงานไฟฟ้ารวมในช่วงเวลากลางวันอย่างต่อเนื่อง 3,967 วัตต์ โดยมีกำลังพลังงานไฟฟ้าที่เป็นอุปกรณ์ทำงานประเภทมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นหลัก จำนวน 2 ตัว รวม 3,730 วัตต์ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมีลักษณะการใช้งานที่ต้องมีกำลังพลังงานไฟฟ้ารองรับแรงกระชากทางไฟฟ้าตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อให้กลุ่มอาชีพและบ้านพักอาศัยสามารถมีแนวทางการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ การออกแบบแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าต้องเป็นอุปกรณ์ที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าในขณะมอเตอร์ไฟฟ้าทำงานได้ตลอดเวลารวมทั้งสามารถลดการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าได้ด้วย

การออกแบบระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าพร้อมกับการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า ได้ออกแบบเป็นการใช้แหล่งผลิตพลังงาน 2 แหล่งพลังงาน (ดังภาพที่ 2) ประกอบด้วย แหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ของกลุ่มอาชีพแปรรูปไม้ไผ่ ขนาด 3,000 วัตต์ (3 กิโลวัตต์) แล้วแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นกระแสสลับ (220 -240 โวลต์-เอซี) เป็นกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (350 – 400 โวลต์-ดีซี) เพื่อป้อนเข้าอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ ขนาด 1,500 วัตต์ (1.5 กิโลวัตต์) รวมทั้งผสมผสานพลังงานไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) ในขณะพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวลไม่เพียงพอกับอุปกรณ์ใช้งานของกลุ่มอาชีพแปรรูปไม้ไผ่และบ้านพักอาศัย (ดังภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 แนวทางการลดใช้พลังงานไฟฟ้าบ้านพักอาศัยและกลุ่มอาชีพแปรรูปไม้ไผ่

อินเวอร์เตอร์

(1,500 Watt, Input 400 VDC, MPPT 55-380 VDC)

เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวล

(3,000 Watt, Output 220-250 VAC)

อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า

(1,500 Watt, Input 220-240 VAC & 48 VDC to 350-400 VDC)

ภาพที่ 3 อุปกรณ์ผสมผสานพลังงานไฟฟ้า

3. พัฒนาเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวลจากถ่านไม้ไผ่

การพัฒนาแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวลจากถ่านไม้ไผ่ ได้พิจารณาจากการมีวัสดุเหลือใช้ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเป็นหลัก รวมทั้งจากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับแหล่งการใช้งานพลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยและกลุ่มอาชีพในช่วงเวลากลางวันเป็นหลัก เมื่อได้ดำเนินการรวบรวบข้อมูลการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน พบว่า กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมีอุปกรณ์ไฟฟ้าใช้งาน 2 พื้นที่ โดยภายในพื้นที่ปฏิบัติงานมีจำนวน 8 รายการ มีพิกัดกำลังไฟฟ้ารวมทั้ง 3,976.00 วัตต์ ระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์เฉลี่ยต่อวัน 6.13 ชั่วโมงต่อวัน และมีจำนวนวันใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 17.50 วันต่อเดือน (ดังตารางที่ 4) รวมทั้งได้นำตัวอย่างเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนได้ทดลองปฏิบัติด้วยตนเอง

ตารางที่ 4 การใช้งานเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่

ประเด็นการติดตาม	ผลการติดตาม
รายการอุปกรณ์การใช้งานในพื้นที่ปฏิบัติงานรวม (ชิ้น)	8.00
พิกัดกำลังไฟฟ้าอุปกรณ์ใช้งานรวม (วัตต์)	3,976.00
ระยะเวลาใช้งานอุปกรณ์เฉลี่ยต่อวัน (ชั่วโมงต่อวัน)	6.13
จำนวนวันใช้งานอุปกรณ์เฉลี่ยต่อเดือน (วันต่อเดือน)	17.50

เมื่อพิจารณาข้อมูลพื้นฐานการใช้งานพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้การนำเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ไปใช้งานจริงในพื้นที่ได้และความเหมาะสมถึงตัวแทนการนำไปใช้งานร่วมกับประธานกลุ่มรวมทั้งจากการทดลองปฏิบัติใช้ตัวอย่างเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ พบว่า สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจได้แนะนำดำเนินการปรับปรุงลักษณะการติดตั้งเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ก่อนนำไปใช้งานให้กับสมาชิกกลุ่ม รวมทั้งทั้งควรปรับปรุงขนาดโครงสร้างการติดตั้งเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ให้มีขนาดกระทัดรัดเหมาะสมมากขึ้น รวมทั้งดำเนินการแนะนำเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ในลักษณะเฉพาะกลุ่มสมาชิกก่อนเพื่อให้สมาชิกกลุ่มได้รับรู้และสัมผัสกับเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ได้เพิ่มมากขึ้น (ดังภาพที่ 4)

ภาพที่ 4 การปรับปรุงเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่

4. ติดตั้งเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่และประเมินผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การใช้งานเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่หลังการติดตั้งการใช้งานให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่สามารถทำงานได้ปกติ อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกประเภทและขนาดสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ หากแต่ผู้ประกอบการเห็นว่าจักต้องมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ใหม่ เนื่องจากเสียงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีผลต่อการทำงานมากกว่าปกติที่ทำงานอยู่เดิม ดังนั้นผู้ถ่ายทอดเทคโนโลยีและกลุ่มวิสาหกิจชุมชนจึงได้ดำเนินการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการวางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ใหม่ (ดังภาพที่ 5) ด้านการประเมินผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นการนำผลลัพธ์หน่วยการใช้ไฟฟ้าที่สามารถลดได้จากการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) คูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor; EF)

ภาพที่ 5 การติดตามและปรับเปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้ง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการสร้างแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าใกล้ศูนย์จากการพัฒนาต้นแบบการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวล

ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่เพื่อให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนใช้เทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ ณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่ ตำบลถ้ำฉลอง อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งเป็นกลุ่มอาชีพของเกษตรกรเกี่ยวกับการผลิตไม้ไผ่ เพาะพันธุ์กล้าไม้ไผ่ แปรรูปไม้ไผ่ และผลิตอาหารจากไผ่ พบว่า ผู้ใช้เทคโนโลยีมีความพึงพอใจถ่ายทอดเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่โดยได้ติดตั้งเพื่อเป็นตัวแทนในพื้นที่ จำนวน 1 กลุ่ม คือ กลุ่มอาชีพของนายจำนงค์ แสนเขียว เลขที่ 30/2 หมู่ที่ 3 ตำบลถ้ำฉลอง เพื่อเป็นการทดสอบใช้งานและติดตั้งกับอุปกรณ์ที่ตนเองมีอยู่ พบว่า เทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวล สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้รวม 12.77 หน่วยต่อวัน (ระยะเวลา 6 ชั่วโมง) เฉลี่ย 2.13 หน่วยต่อวัน สูงสุด 3.48 หน่วยต่อวัน และน้อยสุด 0.74 หน่วยต่อวัน โดยคิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 48.13 บาทต่อวัน เฉลี่ยต่อชั่วโมง เท่ากับ 8.02 บาท สูงสุด 13.12 บาท และน้อยสุด 2.81 บาท โดยมีปริมาณการใช้ถ่านไม้ไผ่ในระยะเวลา 6 ชั่วโมง จำนวน 8.94 กิโลกรัม โดยเฉลี่ย 1.49 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีปริมาณการใช้มากที่สุด 1.65 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และน้อยที่สุด 1.35 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (ดังตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ผลการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่

ชั่วโมง	ปริมาณถ่าน (kg)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	แรงดันไฟฟ้า (Volt)	กระแสไฟฟ้า (Amp.)	หน่วยไฟฟ้า (kWh/hr)	ค่าใช้จ่าย (บาทต่อชั่วโมง)
1	1.35	744.14	256.60	2.90	0.74	2.81
2	1.53	645.00	258.00	2.50	1.29	4.86
3	1.46	671.06	258.10	2.60	2.01	7.59
4	1.57	543.06	258.60	2.10	2.17	8.19
5	1.65	613.20	255.50	2.40	3.07	11.56
6	1.38	580.06	252.20	2.30	3.48	13.12
รวม	**8.94**	**3,796.52**	-	-	**12.77**	**48.13**
เฉลี่ย	1.49	632.75	256.50	2.47	2.13	8.02
สูงสุด	1.65	744.14	258.60	2.90	3.48	13.12
ต่ำสุด	1.35	543.06	252.20	2.10	0.74	2.81

ผลจากติดตั้งเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่และการดำเนินกิจกรรมอย่างต่อเนื่องทำให้มีเกษตรกรและผู้สนใจเรียนรู้เข้าศึกษาดูงาน ณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ได้ติดตั้งเทคโนโลยี ทำให้ผู้ดำเนินการโครงการได้มีโอกาสได้แนะนำการขยายผลและแนะนำการนำไปใช้งานและขยายผลได้อย่างต่อเนื่อง (ดังภาพที่ 6) สอดคล้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนปลูกไผ่เพื่อผลิตพลังงานชีวมวลเนื่องจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและชีวมวลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี [8] สอดคล้องกับผลการศึกษาถึงพืชพลังงานแห่งอนาคตจากไผ่นั้นเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และสามารถปรับตัวให้เข้าสภาพแวดล้อมเกือบทุกพื้นที่ของประเทศไทยได้เป็นอย่างดี ทุกส่วนของต้นไผ่สามารถนำไปใช้ได้หลากหลาย ช่วยป้องกันชะล้างพังทลายและกัดเซาะหน้าดิน อีกทั้งยังสามารถสกัดเป็นน้ำมันดิบได้อีกด้วย [9] อีกทั้งสามารถสร้างการเชื่อมโยงกับแหล่งผลิตพลังงานแสงแดด ลม หรือก๊าซชีวภาพได้อีกด้วยโดยจักสามารถทำให้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือสร้างความเป็นกลางคาร์บอนได้เป็นอย่างดี [5]

ภาพที่ 6 การดูงานผู้ผลิตกล้าไม้ไผ่ แปรรูปไม้ไผ่ ผู้ผลิตถ่านไม้ไผ่ และชุมชน ภายในพื้นที่

ผลการตรวจสอบการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้างต้น ทีมงานดำเนินการโครงการได้ติดตามการใช้งานเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ของผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนที่ได้ติดตั้งเทคโนโลยีไปเพื่อเป็นวิทยากรประจำพื้นที่สำหรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องประจำชุมชนรวมทั้งเป็นแหล่งศึกษาดูงานประจำชุมชนให้กับผู้สนใจเรียนรู้และนำไปใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่อง พบว่า ผู้ประกอบการวิสาหกิจชุมชนสามารถปฏิบัติได้อย่างถูกต้องในแต่ละประเด็นด้วยการสัมภาษณ์และการปฏิบัติให้ดู อาทิ การใส่เชื้อเพลิง การจุดติดเชื้อเพลิง การปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า การหยุดใช้งานเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้า และการหยุดใช้งานเครื่องผลิตไฟฟ้าชั่วคราว

ผลการติดตั้งเทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ ตั้งแต่การเผาถ่านให้ได้คุณภาพเหมาะสมให้เกิดเป็นถ่านพลังงานสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ การเตรียมวัสดุเชื้อเพลิงถ่านสำหรับเข้าเตาผลิตก๊าซชีวมวล และการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ ทำให้ผู้ได้รับการถ่ายทอดและศึกษาดูงาน ประกอบด้วย ผู้เผาถ่านเป็นอาชีพหลักและเสริม ผู้ปลูกต้นไม้ไผ่เป็นอาชีพหลักและเสริม ผู้แปรรูปไม้ไผ่เป็นอาชีพหลักและเสริม รวมทั้งผู้ใช้แรงงานทั้งในกลุ่มอาชีพเผาถ่าน ผู้ปลูกไม้ไผ่ และผู้แปรรูปไม้ไผ่ มีความสนใจกันหลากหลายเพื่อนำอุปกรณ์และเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าไปใช้งาน กลุ่มสมาชิกหลากหลายข้างต้น ได้รวมกลุ่มขอคำแนะนำในการสร้างเตาเผาถ่านคุณภาพแบบไร้ควันเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในการสร้างวัสดุพื้นฐานของการนำไปใช้อีกทั้งสามารถสร้างเป็นรายได้เสริมได้รวดเร็ว เป็นจำนวนถึง 18 ราย เพื่อสร้างอุปกรณ์เตาเผาถ่านคุณภาพสูงแบบไร้ควัน (ดังภาพที่ 7)

ภาพที่ 7 การสร้างเตาเผาถ่านแบบไร้ควันเพื่อสร้างวัตถุดิบการผลิตก๊าซชีวมวลในท้องถิ่น

ความสนใจของเกษตรกรและกลุ่มอาชีพในชุมชนยังสามารถจัดทำเป็นธนาคารพลังงานชุมชนสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้พลังงานทดแทนโดยวางรูปแบบการจัดการแบบมีส่วนร่วมบนพื้นฐานของการสร้างขีดความสามารถทางเทคนิคและการร่วมทุนลงทุนเพื่อให้มีเงินทุนไหลเข้าและไหลออกสมดุลกับรายได้และการผลิตพลังงานไฟฟ้า [6] สอดคล้องกับการศึกษาการบริการจัดการพลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตพลังงานใช้ในระดับชุมชนและระดับครัวเรือนด้วยการ

ส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลในครัวเรือน ส่งเสริมการปลูกพืชพลังงาน ส่งเสริมให้ความรู้ความเข้าใจและประโยชน์ของพลังงานหมุนเวียนแก่ชุมชน ชาวบ้าน อย่างต่อเนื่อง [10]

2. ผลการประเมินผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความคุ้มค่าการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวล

ผลที่เกิดขึ้นจากการใช้เทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ พบว่า หากกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ดำเนินการผลิตกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องตลอดเป็นระยะเวลา 22 วัน ๆ ละ 6 ชั่วโมง จักสามารถลดหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ถึง 280.85 หน่วยต่อเดือน (12.77 หน่วยต่อวัน x 22 วันต่อเดือน) คิดเป็นค่าใช้จ่าย เท่ากับ 1,058.80 บาทต่อเดือน หรือเท่ากับ 12,705.66 บาทต่อปี ซึ่งอาจทำให้ไม่มีค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าฐานจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยมีระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 2.75 ปี โดยสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ไม่น้อยกว่า 1,669.597 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่าต่อปี (ดังตารางที่ 6) หากแต่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์มอเตอร์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนของเครื่องตอกไม้ไผ่และเครื่องตัดไม้ไผ่ ก่อนเพื่อให้เหมาะสมกับกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีใช้งานอยู่

ตารางที่ 6 วิเคราะห์ผลประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า

รายการ	หน่วยการใช้ต่อเดือน	บาทต่อเดือน	หน่วยต่อปี	บาทต่อปี
ผลลัพธ์การผลิตพลังงานไฟฟ้า	280.85	1,058.80	3,370.20	12,705.66
ผลประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้า	271.75		3,261.00	12,293.97
เป้าหมายการผลิตพลังงานไฟฟ้า	300.00		3,000.00	13,572.00
เงินลงทุน	35,000.00			บาท
ระยะเวลาคืนทุน	2.75			ปี
ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	1,669.597 (3,370.20 x 0.4954)			$kgCO_2e$/ปี

หมายเหตุ : ลดใช้พลังงานไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 0.4954 $kgCO_2e$ [11]

ผลการใช้ถ่านไม้ไผ่เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่า มีค่าใช้จ่ายน้อยในช่วงระยะเวลาทำงานของกลุ่มอาชีพซึ่งมีปริมาณการใช้ถ่านไม้ไผ่ 8.94 กิโลกรัมในช่วงเวลา 6 ชั่วโมง หากคิดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงถ่านกิโลกรัมละ 10 บาท [12] จะมีค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงอยู่ที่ 89.40 บาทต่อช่วงเวลา 6 ชั่วโมง สอดคล้องกับผลการพัฒนาแหล่งพลังงานชีวมวลสำหรับระบบสูบน้ำแบบเคลื่อนที่ที่พบว่าการใช้เชื้อเพลิงถ่านในการสูบน้ำมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยโยเฉลี่ย 0.75 กิโลกรัมถึง 1 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยผลการประเมินประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลเหลือทิ้งด้วยเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบก๊าซไหลลงต้องทำให้อุณหภูมิก๊าซไหลเข้าประมาณ 38 องศาเซลเซียส [4] รวมทั้งให้ห้องเผาไหม้มีความร้อนมากกว่า 700 องศาเซลเซียส จะทำให้ก๊าซชีวมวลหรือพลังงานที่ได้มีคุณภาพสูง [13] ลดปริมาณน้ำมันดินหรือสารทาร์ออกจากก๊าซชีวมวลได้เป็นอย่างสูง [14] สิ่งสำคัญของการใช้พลังงานชีวมวลมาผลิตพลังงานไฟฟ้าจำเป็นเชื่อมโยงกับแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงอื่น ๆ ได้แก่ น้ำมันสังเคราะห์จากธรรมชาติ จากเศษพลาสติก แสงอาทิตย์ ลม น้ำ หรือเศษอาหารประเภทอินทรีย์ เป็นต้น [7] ซึ่งอาจสร้างเป็นแหล่งพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงป้อนให้กับบ้านพักอาศัยหรือผู้ประกอบการที่ต้องการใช้ความร้อนในการประกอบกิจการอันเป็นแนวทางการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนหรือก๊าซเรือนกระจกด้วยการใช้ชีวมวลหรือแหล่งพลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ [15] เพื่อรักษาระดับพลังงานไฟฟ้าและความร้อนในพื้นที่ที่ต้องการทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนให้เพียงพอต่อการใช้งานอย่างต่อเนื่อง

สรุปผลการวิจัย

การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าใกล้ศูนย์จากการใช้เทคโนโลยีผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวลจากถ่านไม้ไผ่และการประเมินผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความคุ้มค่าการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวล ด้วยการวิจัยเชิงทดลองปฏิบัติการกับกลุ่มเป้าหมายทางการตลาดหรือผู้ใช้จริงในพื้นที่เป้าหมาย เริ่มจากการผลิตวัสดุเชื้อเพลิงถ่านไม้ไผ่ในพื้นที่เป้าหมายให้มีคุณภาพ สร้างและปรับปรุงเทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้สอดคล้องกับพื้นที่เป้าหมายและผู้ใช้งานจริง และดำเนินการติดตั้งใช้งานจริงเพื่อรวบรวมข้อมูลและข้อเสนอแนะ รวมทั้งขยายองค์ความรู้เทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้เองให้เกิดการรับรู้อย่างทั่วถึงกับบุคคลในพื้นที่เป้าหมาย อันจักสามารถทำให้กลุ่มเป้าหมายมีความรู้ความเข้าใจ เห็นคุณค่าวัสดุเหลือใช้จากการประกอบอาชีพแปรรูปไม้ไผ่ของตนเองและทราบแนวทางการประกอบอาชีพหลักหรืออาชีพเสริมตลอดห่วงโซ่ของการแปรรูปไม้ไผ่

ผลการดำเนินการตามเป้าหมายการลดใช้พลังงานไฟฟ้าจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้เองด้วยก๊าซชีวมวลให้ได้ไม่น้อยกว่า 300 หน่วยต่อเดือนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้เท่ากับศูนย์ (เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์) พบว่า ผลการทดลองเชิงปฏิบัติการกับกลุ่มเป้าหมายทางการตลาดหรือผู้ใช้จริงในพื้นที่เป้าหมาย สามารถลดการปลดปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้เท่ากับศูนย์ตามเป้าหมาย โดยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 280.85 หน่วยต่อเดือน สูงกว่าหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนของกลุ่มเป้าหมาย (271.75 หน่วยต่อเดือน) หรือ 3,370.20 หน่วยต่อปี คิดเป็นการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้เองด้วยก๊าซชีวมวลได้ถึง 1,669.597 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า ทั้งนี้มีข้อเสนอแนะเพื่อนำไปใช้ในการดำเนินการครั้งถัดไป คือ การพิจารณาความต้องการของกลุ่มเป้าหมายแยกความต้องการออกเป็นแต่ละห่วงโซ่ของการผลิตและแปรรูปของไม้ไผ่ให้เกิดความชัดเจนตั้งแต่เริ่มต้นโครงการจักสามารถทำให้เกิดการขยายผลในแต่ช่วงได้ชัดเจนมากขึ้น รวมทั้งพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านไม้ไผ่ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น อาทิ ระบบควบคุมความเร็วรอบ ระบบควบคุมการจุดติดเชื้อเพลิง ระบบควบคุมการป้อนเชื้อเพลิง เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

การผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวมวลจากถ่านไม้ไผ่เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเข้าใกล้ศูนย์ ประสบผลสำเร็จและลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัยจากอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ แผนงานการส่งเสริมการนำนวัตกรรมไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่เพื่อพัฒนาสังคมและชุมชน ปี พ.ศ. 2564 ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ผู้วิจัยหวังอย่างยิ่งการศึกษาวิจัยนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้สนใจศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน. (2567). การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) จากการใช้พลังงาน ปี 2566. สืบค้นเมื่อ 19 กันยายน 2566, จาก file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/2023Y_Emission.pdf

[2] __________. (2567). สถานการณ์พลังงานในประเทศไทย มกราคม - ธันวาคม 2566. สืบค้นเมื่อ 19 กันยายน 2566, จาก https://www.dede.go.th/uploads/12_SIT_DEC_66_da093bcad3.pdf?updated_at=2024-04-09T02:05:13.078Z

[3] __________. (2567). สถานการณ์พลังงานในประเทศไทย มกราคม - พฤษภาคม 2567. สืบค้นเมื่อ 19 กันยายน 2566, จาก https://www.dede.go.th/uploads/12_SIT_DEC_66_da093bcad3.pdf?updated_at=2024-04-09T02:05:13.078Z

[4] สุรียา สมุทรจักร และ ณภัทร จักรวัฒนา. (2559). การประเมินประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลเหลือทิ้งด้วยเตาแก๊สซิไฟเออร์แบบก๊าซไหลลง. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย. 30 (3), 37-46.

[5] Yuanlong Qin, Kai Zhao, Xiaojing Wu, Peijing Li, Taixiu Liu, Gang Pei and Qibin Liu. (2024). Near-zero-emission multifunctional system for combined electricity and methanol with synergistic conversion of solar energy and natural gas. Journal of Energy Conversion and Management. 305, 1-15.

[6] ธีรศิลป์ กันธา ณัฐิยา ตันตรานนท์ สิตานนท์ เจษฎาพิพัฒน์ และพิสิษฏ์ มณีโชติ. (2560). ธนาคารพลังงานชุมชนสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้พลังงานทดแทน กรณีศึกษา ชุมชนชนบทในจังหวัดตาก. วารสารวิจัยราชภัฏเชียงใหม่. 18 (1), 5-17.

[7] Xinyue Zhao, Heng Chen, Huanlin Zhao, Peiyuan Pan, Wenchao Li and Gang Xu. (2024). Process design and techno-economic analysis of the coproduction of oil, electricity, and protein from plastic and biomass using an integrated system. Journal of Energy Conversion and Management. 321, 1-9.

[8] ผานิตย์ ถิรพลงาม ศุภวรรณ มาลีหวล จงจิต ลิอ่อนรัมย์ และประสาน สุขสุทธิ์. (2563). การศึกษาความเป็นได้ในการลงทุนปลูกไผ่เพื่อผลิตพลังงานชีวมวลในจังหวัดสระแก้ว. วารสารวิชาการและวิจัยสังคมศาสตร์. 15 (3), 61-74.

[9] ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก. (2557). ไผ่ : พืชพลังงานแห่งอนาคต. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 22 (1), 130-136.

[10] วิสาขา ภู่จินดา และสิริสุดา หนูทิมทอง. (2556). การบริหารจัดการพลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตพลังงานใช้ในระดับชุมชนและระดับครัวเรือน : กรณีศึกษา ชุมชนเกาะพะลวย. วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม. 9 (2), 45-64.

[11] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2567). Emission Factor (CFO). สืบค้นเมื่อ 19 กันยายน 2566, จาก https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=YjNKbllXNX BlbUYwYVc5dVgyVnRhWE56YVc5dQ

[12] ศุภานัน กันไชย นิลลุบล พินยงค์ ยศภัทรชัย คณิตปัญญาเจริญ และเดชะ มั่นคงติพนธ์ (2564). “การพัฒนาแหล่งพลังงานชีวมวลสำหรับระบบสูบน้ำแบบเคลื่อนที่”. ใน การประชุมวิชาการและการนำเสนอ ผลงานวิจัยระดับชาติเครือข่ายบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ (GNRU) ครั้งที่ 21, 108-115, วันที่ 9 มิถุนายน 2564 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, กำแพงเพชร : มหาวิทยาลัยราชภัฏ กำแพงเพชร.

[13] Jerzy Chojnacki, Jan Kielar, Jan Najser, Jaroslav Frantik, Tomas Najser, Marcel Mikeska, Blazaj Gaze and Bernard Knutel. (2024). Straw pyrolysis for use in electricity storage installations. Journal of Heliyon. 10, 1-15.

[14] Ali Zabihi, Barat Ghobadin, Seyed Hashem Samadi, Mark Lefsrud and Haniyeh Samadi. (2024). Tar removal from synthesis gas by a walnut shell downdraft fixed bed gasifier. Journal of Energy Conversion and Management. 319, 1-9.

[15] Elie Antar and Etienne Robert. (2024). Thermodynamic analysis of small-scale polygeneration system producing natural gas, electricity, heat, and carbon dioxide from biomass. Journal of Energy. 290, 1-9.

สภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งโดยใช้ครั่งเป็นตัวเชื่อมประสาน

Optimum conditions for pressing particleboards from dry leaves using shellac as a binder

อานนท์ โอฐธนู[1] และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี[1,2*]
Arnon Aotthanu[1], and Tammasak Punsaensri[1,2*]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่
[2] ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมพลังงาน สิ่งแวดล้อม และภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
[1]Forest Industry Technology, Maejo University Phrae Campus, Phrae
[2] Excellence center of energy environment and smog disaster problem, Maejo University, Chiang Mai
Corresponding author: Tel.: 092 541 4498. E-mail address: tammasak@mju.ac.th

Abstract

This research aimed to study the optimum conditions for pressing particleboards from dry leaves using shellac as a binder. The study will use shellac at 10%, 20% and 30%. The particle board compression test was conducted at three temperature levels: 150, 200, and 250 °C, and the particle board compression time was used at three temperature levels: 10, 15, and 20 min., with 3 sheets of particle board being compressed at each time. The shape of the particleboard was observed, the result was recorded, and the economic analysis was performed.

The results of the study found that the temperature of particle board extrusion at 250 °C, with a resin content of 30% and a compression time of 20 min., results in the most complete particleboard formation. The production of particle board from dry leaves with a size of 20x30 cm. and a thickness of 1 cm. can produce 20 sheets/day with a production cost of 39 baht/m^2 and a break-even point of 0.1 year.

Keywords: optimum conditions, particleboard, dry leaves, shellac, binder

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งโดยใช้ครั่งเป็นตัวเชื่อมประสาน โดยในการศึกษาจะใช้ครั่งที่ 10%, 20% และ 30% ทำการทดสอบอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 150, 200 และ 250 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ระยะเวลา 3 ระดับ คือ 10, 15, และ 20 นาที โดยอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลเวลาละ 3 แผ่น ทำการสังเกตลักษณะรูปทรงของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลพร้อมบันทึกผลและทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ผลการศึกษา พบว่า การอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ปริมาณครั่ง 30% และระยะเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นภาพที่ 20 นาที สามารถอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลได้สมบูรณ์ที่สุด และการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งขนาด 20x30 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร จะสามารถผลิตได้ 20 แผ่นต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 39 บาทต่อตารางเมตร และจะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 0.1 ปี

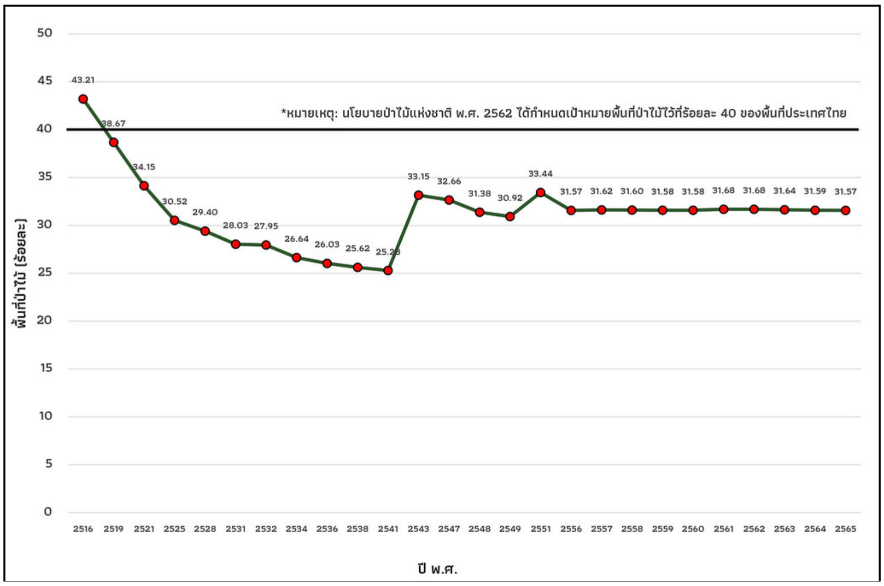
คำสำคัญ: สภาวะที่เหมาะสม, แผ่นไม้ปาร์ติเกิล, ใบไม้แห้ง, ครั่ง, ตัวเชื่อมประสาน

บทนำ

ใบไม้เป็นส่วนที่สร้างอาหารโดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ใบไม้มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันหลายแบบ ใบไม้เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งก็จะร่วงหล่นจากต้นและกลายเป็นใบไม้แห้ง โดยใบไม้แห้งเป็นวัสดุจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นวัตถุอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ ใบไม้แห้งถือเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถลุกไหม้ได้ หากมีจำนวนมาก ๆ และขาดการจัดการที่ดีและเลือกใช้วิธีการเผาแทนวิธีการอื่น ๆ เพราะเป็นหนทางที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว ต้นทุนต่ำ โดยเฉพาะการเผาใบไม้แห้ง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการเกิดฝุ่นละอองหมอกควันพิษ (PM 2.5) ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นประจำในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายนของทุกปี ถ้ามีการจัดการที่ดีด้วยวิธีการนำใบไม้แห้งมาใช้ประโยชน์ เช่น ทำปุ๋ย กระถางเพาะกล้าไม้ จานใส่อาหาร เป็นต้น ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการเกิดฝุ่นละอองหมอกควันพิษ (PM 2.5) ได้

ภาพที่ 1 ใบไม้แห้งที่ร่วงหล่นและการจัดการด้วยวิธีการเผา

และจากปัญหาวิกฤตการณ์ป่าไม้ในประเทศไทย โดยในปี 2565 ประเทศไทยมีพื้นที่ที่มีสภาพป่าไม้เพียงร้อยละ 31.57 ของพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งลดลดลงจากปี 2564 ประมาณร้อยละ 0.02 อย่างไรก็ตามจากรายงานสถานการณ์ป่าไม้ของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 – 2565 พบว่า มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าไม้ค่อนข้างจะคงที่ สาเหตุสำคัญที่ทำให้พื้นที่ป่าไม้ลดลง ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use Change) การเกิดจากปัญหาไฟป่า (Forest Fire) หรือการบุกรุกทำลายป่า เป็นต้น [1]



ภาพที่ 2 สถิติพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทย พ.ศ. 2516 – 2565 (มูลนิธิสืบนาคะเสถียร, 2565)

จากปัญหาดังกล่าว หากสามารถลดปริมาณไม้แห้งและหาวัสดุที่สามารถทดแทนไม้ได้ จะช่วยลดฝุ่นละอองหมอกควันพิษ (PM 2.5) ลดการเกิดจากปัญหาไฟป่า (Forest Fire) หรือการบุกรุกทำลายป่า และหากนำใบไม้แห้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เกิดคุณค่าและเพิ่มมูลค่า โดยการพัฒนาใบไม้แห้งให้เป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิลเพื่อใช้ทดแทนไม้ โดยการนำใบไม้แห้งที่ไร้ค่าให้กลายเป็นส่วนหนึ่งในแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ซึ่งจะช่วยให้ใบไม้แห้งมีมูลค่า โดยจากการรวบรวมข้อมูล เช่น การศึกษาผลิตภัณฑ์วัสดุผสมจากเส้นใยใบตองแห้งและเศษยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว นำมาผสมกับน้ำยางธรรมชาติความเข้มข้น 60% เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม [2] การพัฒนาสมบัติของแผ่นประกอบที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ผสมเศษพลาสติกเพื่อการประยุกต์ใช้ในงานอาคารพักอาศัย [3] ในปีถัดมามีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการอัดขึ้นรูปกระถางจากวัสดุชีวมวลโดยใช้วิธีการอัดแบบร้อน [4] การศึกษาตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล [5] และ การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากวัสดุชีวมวลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ [6] ต้นปี 2567 มีการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล [7] เป็นต้น

ดังนั้นดังนั้นทางผู้วิจัยจึงคิดว่าการจะลดวัสดุชีวมวลโดยเฉพาะใบไม้แห้งได้ ต้องหาแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้ใบไม้แห้งด้วยการพัฒนาแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งโดยใช้ครั่งเป็นตัวเชื่อประสาน ซึ่งเป็นแนวทางที่จะสามารถช่วยตอบโจทย์ได้ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ใบไม้แห้ง ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการบริหารจัดการวัสดุชีวมวล และจากข้อมูลข้างต้น มีความเป็นไปได้ในการนำใบไม้แห้งมาเป็นส่วนผสมในการพัฒนาแผ่นไม้ปาร์ติเกิล เพื่อเปิดโอกาสให้กับชุมชนนำใบไม้แห้งที่มีอยู่จำนวนมากใช้ให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่า ประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุน และที่สำคัญจะสามารถลดปริมาณเชื้อเพลิงหรือใบไม้แห้งในการเผาไหม้ทั้งในพื้นที่ป่าและพื้นที่การเกษตรได้ ทำให้ชุมชนมีรายได้ และสามารถนำมาใช้ทดแทนไม้ได้

วัตถุประสงค์

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งโดยใช้ครั่งเป็นตัวเชื่อมประสาน และเพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องสับย่อยใบไม้
2. เครื่องอัดไฮดรอลิคพร้อมแผ่นให้ความร้อน
3. พิมพ์สำหรับอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิล
4. ครั่งบด
5. เครื่องชั่งทศนิยม2ตำแหน่ง
6. ถังผสมวัสดุ
7. เกียงเหล็ก
8. ใบสัก
9. เครื่องบดสมุนไพร

วิธีการวิจัย

ในการสภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งโดยใช้ครั่งเป็นตัวเชื่อประสาน มีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาปัญหาและความเป็นไปได้ โดยได้ศึกษาเกี่ยวกับเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ถึงข้อมูลเชิงพื้นที่ รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการอัดขึ้นรูป ออกแบบแม่พิมพ์ ตัวเชื่อมประสาน และวางแผนการทดลอง

2. เตรียมวัสดุชีวมวล โดยใช้ใบไม้แห้งในพื้นที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ในการศึกษานี้ คือ ใบสัก นำวัสดุดังกล่าวมาสับย่อยให้ละเอียดด้วยเครื่องสับย่อย ดังภาพที่ ส่วนตัวเชื่อมประสานในการศึกษานี้เลือกใช้ครั่งเป็นตัวเชื่อมประสาน เนื่องจากเป็นตัวเชื่อประสานธรรมชาติ ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ผลิต

ภาพที่ 3 ใบสักสับย่อย

ภาพที่ 4 ครั่งบดละเอียด

3. ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิล โดยทำการผลิตจะใช้ใบไม้แห้งจำนวน 480 กรัม และใช้ความเข้มข้นครั่ง จำนวน 3 ค่า คือ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำส่วนผสมดังกล่าวใส่แม่พิมพ์ที่มีขนาด 20x30 ซม. เพื่อทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปแบบร้อน ด้วยอุณหภูมิ จำนวน 3 ค่า คือ 150°C, 200°C และ 250°C ใช้ระยะเวลาในการอัดแช่จำนวน 3 ค่า คือ 10, 15 และ 20 นาที ซึ่งระยะเวลาในการอัดแช่แต่ละเวลาจะทำการอัดแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจำนวน 3 แผ่น สังเกตุลักษณะทางกายภาพแล้วบันทึกผล

ภาพที่ 5 เครื่องอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งแบบร้อน

4. วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ คือ ระยะเวลาคืนทุน ต้นทุนการผลิต

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือ ระยะที่ผลตอบแทนสุทธิจากการ ดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าเงินลงทุนโครงการ หรือหมายถึง จำนวนปีที่จะได้รับผลตอบแทนคุ้มค่ากับเงินลงทุน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ดังนี้ คือ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนเฉลี่ยสุทธิต่อปี}} \tag{1}$$

ต้นทุนการผลิต (Cost of Production) คือค่าใช้จ่ายต่างๆ ทั้ง ที่เป็นตัวเงินและไม่ใช่ตัวเงิน ที่ผู้ผลิตจ่ายออกไปเพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้า หรือบริการที่ต้องการ

$$\text{ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายต่างๆ}}{\text{จำนวนการผลิตทั้งหมด}} \tag{2}$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบสภาวะในการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งโดยใช้ครั่งเป็นตัวเชื่อประสาน

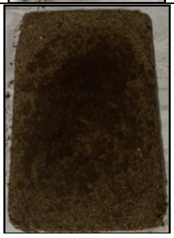
การอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งโดยใช้วิธีการอัดแบบร้อน จากการทดสอบพบว่าการอัดขึ้นรูปกระถางที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปกระถาง และระยะเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นภาพที่ 20 นาที

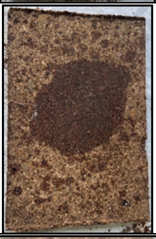
ตารางที่ 1 ผลการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งโดยใช้วิธีการอัดแบบร้อน

% ครั่ง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	รายละเอียดการอัดขึ้นรูปกระถาง	ภาพ
10%	150	10	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิล วัสดุไม่ยึดเกาะแตกร้าวง่าย ครั่งบริเวณตรงกลางแผ่นละลายเล็กน้อย มีลักษณะงอเล็กน้อย	

% ครั่ง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	รายละเอียดการอัดขึ้นรูปกระถาง	ภาพ
10%	150	15	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิล วัสดุไม่ยึดเกาะ แตกร้าวง่าย ครั่งบริเวณตรงกลางแผ่นละลายเล็กน้อย	
		20	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิล วัสดเริ่มยึดเกาะ ขอบแตกน้อยลง ครั่งบริเวณตรงกลางแผ่นละลายมากกว่าเวลา 15 นาทีและเวลา 10 นาที	
	200	10	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลบิ่นเล็กน้อย ครั่งบริเวณตรงกลางแผ่นละลาย แต่ไม่ทั่วทั้งแผ่น	
		15	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่นครั่งบริเวณตรงกลางแผ่นละลาย แต่ไม่ทั่วทั้งแผ่น	
		20	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่นเล็กน้อย ครั่งละลายเป็นจุดทั่วทั้งแผ่น การยึดเกาะไม่ดี	
	250	10	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่นครั่งไม่มีรอยละลาย	
		15	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น ครั่งละลายเป็นจุด	

% ครั่ง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	รายละเอียดการอัดขึ้นรูปกระถาง	ภาพ
	250	20	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น ครั่งละลายทั่วบริเวณประมาณ 80%ของพื้นที่แผ่นไม้ปาร์ติเกิล	
20%	150	10	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ดี แต่ไม่ทั่วทั้งแผ่น	
		15	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ดี แต่ไม่ทั่วทั้งแผ่น	
		20	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ดี แต่ไม่ทั่วทั้งแผ่น	
	200	10	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ดี แต่ไม่ทั่วทั้งแผ่น	
		15	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ดี ละลายได้ทั่วทั้งแผ่น	
	200	20	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ดี ละลายได้ทั่วทั้งแผ่น	

% ครั่ง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	รายละเอียดการอัดขึ้นรูปกระถาง	ภาพ
20%	250	10	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ดี ละลายได้ทั่วทั้งแผ่น	
	250	15	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ดี ละลายได้ทั่วทั้งแผ่น	
		20	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ดี ละลายได้ทั่วทั้งแผ่น มีความแข็งแรง	
30%	150	10	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย มีความแข็งแรง ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ดี ละลายได้ทั่วทั้งแผ่น	
		15	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย มีความแข็งแรง ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ดี ละลายได้ทั่วทั้งแผ่น	
		20	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย มีความแข็งแรง ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ดี ละลายได้ทั่วทั้งแผ่น	
	200	10	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย มีความแข็งแรง ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ทั่วทั้งแผ่น	

% ครั่ง	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	รายละเอียดการอัดขึ้นรูปกระถาง	ภาพ
30%	200	15	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย มีความแข็งแรง ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ทั่วทั้งแผ่น	
		20	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย มีความแข็งแรง ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ทั่วทั้งแผ่น	
	250	10	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้ไม่สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีรอยบิ่น เล็กน้อย มีความแข็งแรง ครั่งบริเวณกลางแผ่นละลายได้ทั่วทั้งแผ่น	
		15	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีความแข็งแรง ครั่งละลายได้ดีทั่วทั้งแผ่น	
		20	แผ่นไม้ปาร์ติเกิลขึ้นรูปได้สมบูรณ์บริเวณขอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลมีความแข็งแรง ครั่งละลายได้ดีทั่วทั้งแผ่น	

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ขนาด 20x30 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร จะสามารถผลิตได้ 20 แผนต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 39 บาทต่อตารางเมตร (รวมค่าวัตถุดิบและค่าแรงงาน) และจะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 0.1 ปี หรือประมาณ 1 เดือน 6 วัน

การอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งใช้อัตราส่วน 10:3 โดยน้ำหนัก เมื่อได้แผ่นไม้ปาร์ติเกิล ไม่ต้องนำไปตากให้แห้ง เนื่องจากเป็นการอัดขึ้นรูปแบบร้อน โดยอัดขึ้นภาพที่อุณหภูมิ 250 °C ระยะเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 15 นาที และมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมกับการนำมาผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลได้ดีที่สุด เนื่องจากครั่งละลายได้ทั่วทั้งแผ่นวัสดุจัเนื่องจากวัสดุชีวมวลที่สับย่อยจนมีขนาดเล็กสามารถผสมเข้ากันได้ดี ทำให้การขึ้นรูปสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ใช้เวลาเฉลี่ยในการอัดขึ้นรูปประมาณ 15 นาที และจำนวนแผ่นปาร์ติเกิลที่ได้มีคุณภาพเฉลี่ยที่ดี ซึ่งสอดคล้องกับ Raghavendra and et al. [9] ที่กล่าวว่า ต้องทำการลดขนาดของวัสดุเพื่อให้ง่ายต่อการขึ้นรูป และการลดขนาดของวัสดุสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคุณสมบัติของวัสดุได้อีกด้วย ดังนั้นแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจะมีความแข็งแรง เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

สรุปผลการวิจัย

1. อัตราส่วนผสมของใบไม้แห้งต่อครั่ง เป็น 10:3 เหมาะสมสำหรับการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง

2. สภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิล คือ อุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 15 นาที สามารถอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลได้สมบูรณ์

3. การผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ขนาด 20x30 เซนติเมตร หนา 1.1 เซนติเมตร จะสามารถผลิตได้ 20 แผนต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 39 บาทต่อต่อตารางเมตร และจะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 0.1 ปี หรือ ประมาณ 1 เดือน 6 วัน

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง “การออกแบบและพัฒนาการแปรสภาพวัสดุชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้” ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณด้าน ววน. ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2567 สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ผ่านมหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารอ้างอิง

[1] มูลนิธิสืบนาคะเสถียร. (2565). **สถานการณ์ป่าไม้ไทย 2565.** สืบค้นจาก https://www.seub.or.th/document/%e0%b8%aa%e0%b8%96%e0%b8%b2%e0%b8%99%e0%b8%81%e0%b8%b2%e0%b8%a3%e0%b8%93%e0%b9%8c%e0%b8%9b%e0%b9%88%e0%b8%b2%e0%b9%84%e0%b8%a1%e0%b9%89%e0%b9%84%e0%b8%97%e0%b8%a2/2023-235/

[2] สมพงษ์ พิริยายนต์, กิตติศักดิ์ บัวศรี และ ประยูร สุรินทร์. (2562). **การศึกษาผลิตภัณฑ์วัสดุผสมจากเส้นใยใบตองแห้งและเศษยางรถยนต์ที่ใช้.** การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33 วันที่ 2-5 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 จังหวัดอุดรธานี

[3] กัลยลักษณ์ มุกด์ธนะอนันต์, ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์, ทรงกลด จารุสมบัติและ จิฐิพร วงศ์วัชรไพบูลย์. (2562). การพัฒนาสมบัติของแผ่นประกอบที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ผสมเศษพลาสติกเพื่อการประยุกต์ใช้ในงานอาคารพักอาศัย. การประชุมวิชาการประจำปี 2562 “10th Built Environment Research Associates Conference (BERAC 2019)” คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, วันอังคาร ที่ 25 มิถุนายน 2562 ณ หอศิลปวัฒนธรรมแห่งกรุงเทพมหานคร, กรุงเทพมหานคร

[4] ปพนธีร์ ผดุงกรรณ์ และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. (2566). **การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการอัดขึ้นรูปกระถางจากวัสดุชีวมวลโดยใช้วิธีการอัดแบบร้อน.** การประชุมทางวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 (TREC-16) ระหว่างวันที่ 2 - 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร.

[5] อานนท์ โอฐธนู และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. (2566). **การศึกษาตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล.** การประชุมทางวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 (TREC-16) ระหว่างวันที่ 2 - 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร.

[6] ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี, ทิพารัตน์ สหตรงจิตร และ ลักขณา พันธุ์แสนศรี. (2566). **การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากวัสดุชีวมวลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์.** การประชุมทางวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 (TREC-16) ระหว่างวันที่ 2 - 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร.

[7] ทักษิณี รักษายศ และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. (2567). **ศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล.** การประชุมวิชาการระดับชาติการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 10 หรือ NCTIM 2024 วันที่ 8 มีนาคม 2567.

[8] เนตรทราย เผือกผ่อง และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. (2567). **การศึกษาการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนและความเป็นฉนวนของแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล.** การประชุมวิชาการระดับชาติการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 10 หรือ NCTIM 2024 วันที่ 8 มีนาคม 2567.

[9] Raghavendra, S.N., Ramachandra Swamy, S.R., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Kumar, S. and Tharanathan, R. (2005). **Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber**. :281-286.

การศึกษาถึงปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงไม้ยางพาราที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกสู่ชุมชนและชั้นบรรยากาศของหม้อต้มไอน้ำ

Investigation of the effect of rubberwood fuel moisture content on carbon monoxide emission from a steam boiler

คมสัน ศิริชาติ[1] อชิรญา ภูหงษ์[1] จารุพล สุริยวนากุล[1] เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต[1] สัปปินันทน์ เอกอำพน[1]
สุพิชชา ถวิลไพร[2] ภาณุพิชญ์ ขืนเขียว[2] และ <u>สุภชัย พลน้ำเที่ยง</u>[1*]
Komsan Sirichart[1], Achiraya Phoohong[1], Jarupol Suriyawanakul[1], Kiatfa Tangchaichit[1],
Sappinandana Akamphon[1], Supitcha Tawinprai[2], Panupich Kheunkhieo[2], and <u>Supachai Polnumtiang</u>[1*]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น 40000
[1] Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002
[2]Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan,
Khon Kaen campus 40000
Corresponding author: Tel.: 084-4000052. E-mail address: supapol@kku.ac.th

Abstract

This research investigated the effect of moisture content in rubberwood fuel on carbon monoxide (CO) emissions from boilers. Rubberwood is widely used as a biomass raw material. Rubberwood fuel contains a relatively high moisture content, which can significantly affect combustion efficiency and emissions. Rubberwood fuel samples with moisture contents of 15, 25, 35 and 45 percent were selected. Emissions from the combustion of the samples were then subsequently compared to determine the relationship between the moisture content of the fuel and the CO emissions, which showed that the samples CO emission were 3360, 3,560 3,882, and 4,328 ppm, respectively. The results provided valuable insights into biomass fuel combustion engineering and practical recommendations for improving combustion efficiency and reducing CO emissions from a boiler. It also emphasized the importance of sustainable fuel management, and promoted clean energy production in community and industrial environments.

Keywords: Moisture, rubberwood fuel, Cabon monoxide, atmosphere, steam boiler

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของความชื้นในเชื้อเพลิงไม้ยางพาราต่อการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากหม้อต้มไอน้ำสู่ชุมชนและบรรยากาศ ไม้ยางพาราเป็นวัตถุดิบชีวมวลที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเชื้อเพลิงไม้ยางพารามีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูงซึ่งอาจส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้และการปล่อยมลพิษ ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกตัวอย่างเชื้อเพลิงฟืนไม้ยางพาราที่มีความชื้นในเนื้อไม้ ได้แก่ 15, 25, 35 และ 45 เปอร์เซ็นจากนั้นทำการตรวจสอบการปล่อยก๊าซ CO จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของหม้อต้มไอน้ำ เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงและการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ผลที่ได้คือปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีค่า 3,360 3,560 3,882 และ 4,328 ppm ตามลำดับ จากผลของการศึกษาแสดงให้เห็นถึงปริมาณในการปล่อย CO จะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความชื้นในเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้มีส่วนสำคัญในการให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าต่อวิศวกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล และให้คำแนะนำเชิงปฏิบัติในการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้พร้อมทั้งลดการปล่อย CO ต่อสิ่งแวดล้อมของหม้อต้มไอน้ำ นอกจากนี้ยังเน้นย้ำถึงความสำคัญของการจัดการเชื้อเพลิงอย่างยั่งยืน และส่งเสริมการผลิตพลังงานที่สะอาดในสภาพแวดล้อมของชุมชนและอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: ความชื้น, เชื้อเพลิงไม้ยางพารา, ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์, ชั้นบรรยากาศ, หม้อต้มไอน้ำ

บทนำ

หม้อต้มไอน้ำ (Steam boiler) ถือว่าเป็นเครื่องจักรสำคัญในการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม เช่น ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากไอน้ำแรงดันสูง ตลอดจนการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตสิ่งทอ, อุตสาหกรรมปิโตรเคมี และอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ เป็นต้น เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ในหม้อต้มไอน้ำนั้นมีหลายชนิด อันได้แก่เชื้อเพลิงจากฟอสซิล (Fossil) เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา ถ่านหิน และวัสดุชีวมวล (Biomass) ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น แกลบ เชื้อเพลิงไม้ เป็นต้น ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นถือได้ว่าเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล [1] ในกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยเฉพาะเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีความชื้นสูง ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และอาจก่อให้เกิดก๊าซที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ปัญหาที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่มีประสิทธิภาพนำไปสู่การปล่อยมลพิษออกสู่บรรยากาศและสิ่งแวดล้อม ซึ่งปรากฏในรูปของก๊าซไอเสียที่ก่อให้เกิดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เช่น จากไอเสียของโรงไฟฟ้าชีวมวล [2] และยังก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยไม่จำเป็นซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งก๊าซพิษเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพความเป็นอยู่ของมนุษย์ [3] ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide: CO) เป็นก๊าซชนิดหนึ่งที่เป็นผลิตภัณฑ์ของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่มีผลทำให้ร่างกายเกิดสภาวะขาดออกซิเจน ส่งผลให้ฮีโมโกบิลจับออกซิเจนในร่างกายสิ่งมีชีวิตได้น้อยลง อาการที่พบได้บ่อยคือ ปวดศีรษะและวิงเวียนศีรษะ [4]

นักวิจัยพยายามที่จะศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลากหลายวิธีเพื่อทำนายถึงการปล่อยก๊าซและใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับปริมาณของการของการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์จากการเผาไหม้จากชีวมวลจากเตาเผาเป็นการเปรียบเทียบ โดยในการทดลองนี้ได้ใช้เตาเผาขนาดเล็ก (small-scale furnace) จากการทดลองพบว่านักวิจัยได้ให้ความสำคัญของ Fuzzy model control loop เป็นที่เหมาะสมและแนะนำสำหรับการทดลอง [5] ในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาเชื้อเพลิงของหม้อต้มไอน้ำอัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศก็มีความสำคัญต่อของประสิทธิภาพ

การเผาไหม้เช่นกัน [6] ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยใช้เชื้อเพลิงเป็นขี้เลื่อยไม้ยางพารา (rubberwood sawdust) และกำหนดให้มีอากาศเกินในการเผาไหม้ เป็น 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอากาศเกินที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าความร้อนสูงสุด และเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนคงเหลือถือว่าน้อยที่สุด อีกทั้งยังให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงสุดที่ 89.29 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ยังพบว่าอากาศเกิน (excess air) [3,7] ในการเผาไหม้มีผลต่อการเกิดก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ ไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศซึ่งก๊าซดังกล่าวเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นการควบคุมการไหลของอากาศที่แม่นยำจะส่งผลให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ในการทดลองเพื่อลดปริมาณความชื้นของชานอ้อยในโรงไฟฟ้าชีวมวล พบว่าการลดความชื้นจาก ร้อยละ 51.3 ให้เหลือ 37.2 จะทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.7 [8] และนอกจากนี้จากการศึกษายังพบอีกว่าภาระความร้อนที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศจะสูงขึ้นเมื่อความชื้นของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำนั้นมีปริมาณความชื้นที่สูง [9]

ปัญหามลพิษจากไอเสียที่ปล่อยออกมาจากหม้อต้มไอน้ำที่เกิดขึ้นจากการจัดการเชื้อเพลิงที่ไม่มีประสิทธิภาพ ที่มีสาเหตุมาจากความชื้นของเชื้อเพลิงเป็นหลัก ซึ่งส่งผลให้เกิดกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของหม้อต้มไอน้ำเป็นผลให้เกิดมลพิษของไอเสียที่เกินเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับมาตรฐานคุณภาพอากาศที่ระบายออกจากปล่องโรงงาน อ้างอิงตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ออกตามความใน พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกนอกโรงงาน พ.ศ. 2549 ซึ่งสำหรับคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) จะควบคุมไว้ที่ 690 ppm (ส่วนในล้านส่วน) [10] และในประเทศเวียดนามจะควบคุมไว้ที่ประมาณ 900 ppm [11] จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงไม้ยางพาราที่มีผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ของการเผาไหม้หม้อไอน้ำออกสู่ชุมชนและชั้นบรรยากาศ

วิธีการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยในนี้ ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การเก็บข้อมูลเบื้องต้น การส่งตัวอย่างของเชื้อเพลิงเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบ และการวิเคราะห์ผลกระทบจากความชื้นในเชื้อเพลิงที่มีผลต่อคุณภาพของไอเสีย

การเก็บข้อมูลเบื้องต้น

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลที่จำเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลจำเพาะของหม้อต้มไอน้ำที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งหม้อต้มไอน้ำมีความสามารถผลิตไอน้ำได้ 2 ตันต่อชั่วโมงและมีรายละเอียดดังแสดงใน ตารางที่ 1 และ เชื้อเพลิงฟืนไม้ยางพารา ซึ่งภาพของหม้อต้มไอน้ำ และโครงสร้างหม้อต้มไอน้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ดังแสดงใน ภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ตามลำดับ

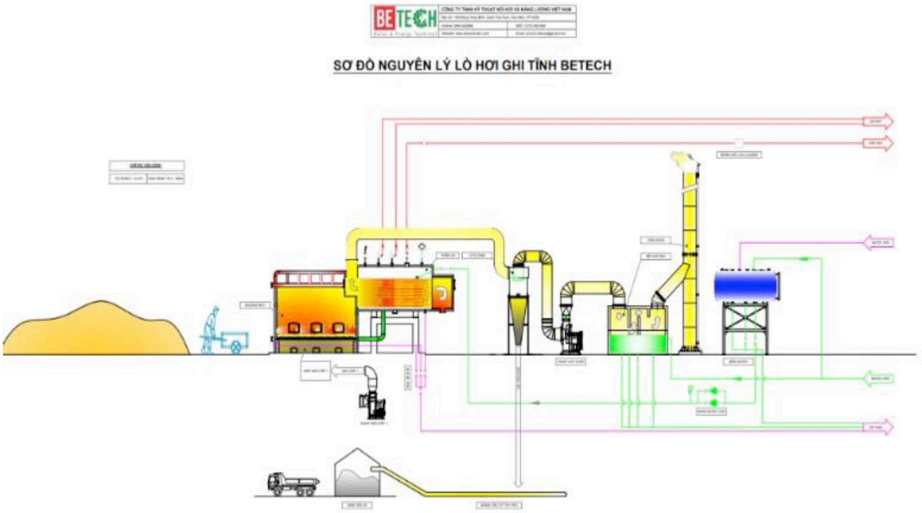
ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลจำเพาะของหม้อต้มไอน้ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้

พารามิเตอร์	**ขนาด**
หม้อต้มไอน้ำ (Ton/hr)	2
Model (รุ่น)	BE-BT-2000
ความดันใช้งาน (bar)	10
อัตราป้อนเชื้อเพลิง (kg/hr)	200
อัตราไหลของน้ำป้อน (kg/hr)	360
อุณหภูมิน้ำป้อน (^{0}C)	33
อัตราการไหลของอากาศ (m^3/hr)	2,250
ความเร็วรอบของพัดลมดูดอากาศ (RPM)	2000

การวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงไม้ยางพารา

ในการเตรียมอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงฟืนไม้ยางพาราเพื่อส่งวิเคราะห์นั้นควรให้ความระมัดระวังเกี่ยวกับความชื้นในเนื้อไม้ที่อาจจะเปลี่ยนแปลงได้ในระหว่างขนส่ง จึงมีความจำเป็นในการเก็บไม้ไว้ในภาชนะที่ปิดมิดชิด ตัวอย่างเช่นถุงซิปล็อค จากนั้นนำตัวอย่างของเชื้อเพลิงส่งไปยังห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐานเพื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของเชื้อเพลิงไว้เป็นค่าอ้างอิง

ภาพที่ 1 แสดงถึงหม้อต้มไอน้ำที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างของระบบหม้อต้มไอน้ำที่ใช้ในการศึกษา

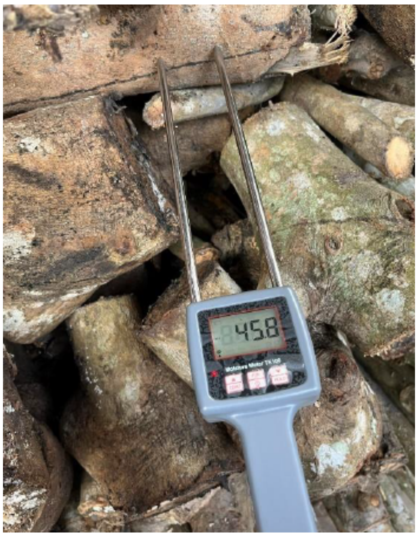
ขั้นตอนในการทดลอง

ในส่วนของการทดสอบผู้วิจัยได้ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างเชื้อเพลิงที่จะทดสอบออกเป็น 4 กลุ่ม ซึ่งปริมาณความชื้นเฉลี่ยของเชื้อเพลิงไม้ยางพารา ณ เมืองโฮจิมินห์ ประเทศเวียดนาม ซึ่งเป็นสถานที่ที่ใช้ทำการทดลองจะมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 45-46 จากนั้นทำการแบ่งกลุ่มเพื่อลดปริมาณความชื้นให้มีปริมาณความชื้นร้อยละ 35, 25, 15 ตามลำดับ โดยการ

ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ในบริเวณควบคุม โดยแบ่งกลุ่มละ 200 กิโลกรัม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของฟืนไม้ยางพารา ต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 3

ภาพที่ 3 การนำตัวอย่างเชื้อเพลิงผึ่งแดดเพื่อลดความชื้นและการชั่งน้ำหนัก

จากนั้นจึงทำการวัดปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงด้วยเครื่องมือวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเชื้อเพลิง (moisture meter) รุ่น TK100 ดังแสดงในภาพที่ 4 แล้วจึงทำการเปิดระบบของเตาเผาไหม้ของหม้อต้มไอน้ำด้วยการควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงในอัตรา 200 กิโลกรัม/ชั่วโมง จากนั้นกำหนดให้พัดลมดูดอากาศ (ID fan) ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที และพัดลมเป่าอากาศ (FD fan) ที่อัตราการไหล 2,250 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง แล้วจึงทำการวัดค่าไอเสียเมื่ออุณหภูมิห้องเผาไหม้ที่อ่านได้จากตู้ควบคุมอยู่ระหว่าง 500-700 องศาเซลเซียส จับเวลาและบันทึกผล โดยที่เงื่อนไขที่ได้กล่าวมานั้นจะต้องควบคุมให้ใกล้เคียงกันทุกการทดลอง ภาพที่ 5 เป็นภาพแสดงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงไม้ยางพาราในห้องเผาไหม้ของหม้อต้มไอน้ำที่ใช้ในการทดลอง ในการวัดปริมาณก๊าซไอเสียนั้นจะทำการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซไอเสียด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย Testo 310 ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 4 เครื่องมือวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเชื้อเพลิง (moisture meter) รุ่น TK100 ที่ใช้ในการทดลองนี้

ภาพที่ 5 เชื้อเพลิงไม้ยางพาราในห้องเผาไหม้ของหม้อต้มไอน้ำ

ภาพที่ 6 เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพไอเสียในการทดลองนี้

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ข้อมูลจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวมวลนั้นเป็นคุณสมบัติเฉพาะของเชื้อเพลิงซึ่งองค์ประกอบของธาตุแบบประมาณ (Approximate Value) เพื่อแสดงสัดส่วนปริมาณความชื้น (Moisture), ปริมาณสารระเหย (Volatiles), ปริมาณเถ้า (Ash) และปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D1762-84 ซึ่งตัวอย่างเชื้อเพลิงที่นำไปวิเคราะห์นั้นเป็นตัวอย่างของความชื้นเฉลี่ยที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อตั้มไอน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้ มีค่าร้อยละ 46.8, 43.8, 1.31, 8.05 ตามลำดับ ในส่วนองค์ประกอบแบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) นั้นเป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงองค์ประกอบธาตุของเชื้อเพลิง ซึ่งประกอบด้วย คาร์บอน, ไฮโดรเจน, ออกซิเจน, ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Carbon, Hydrogen, Nitrogen and Sulfur analyzer; CHNS-932 ซึ่งผลการวิเคราะห์ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ

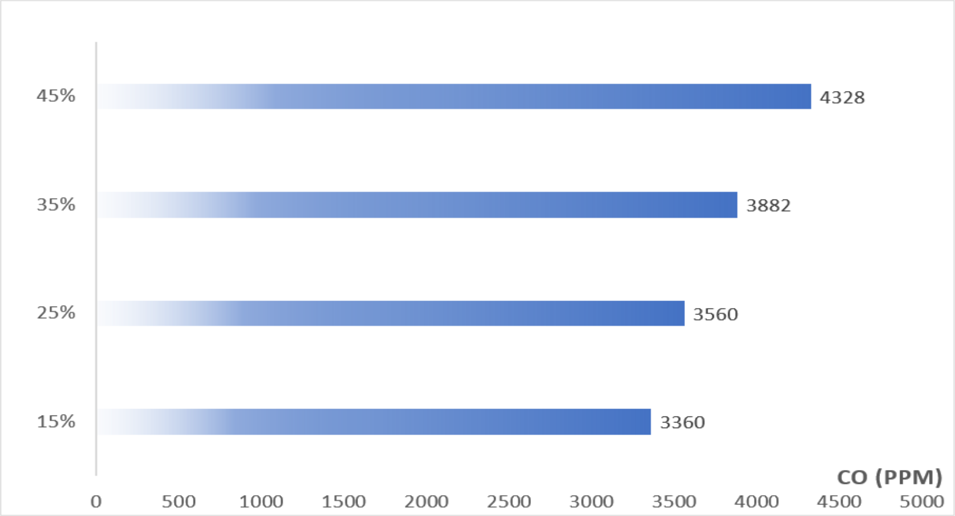
26.6, 2.6, 22.5, 0.17, 0.03 ตามลำดับ ทั้งนี้ธาตุองค์ประกอบที่สำคัญ และมีผลต่อค่าความร้อนได้แก่ คาร์บอนและไฮโดรเจน เนื่องจากคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นตัวทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ และพลังงานความร้อนในกระบวนการเผาไหม้แบบสมบูรณ์ อย่างไรก็ตามหากมีไฮโดรเจนมากในปฏิกริยาการเผาไหม้สมบูรณ์ จะเกิดน้ำมาก ส่งผลต่อเนื่องให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากการดูดซับพลังงานของน้ำ สามารถสรุปผลการวิเคราะห์องค์ประกอบได้ดัง ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการสรุปผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงไม้ยางพารา

วิธีการวิเคราะห์	คุณสมบัติของเชื้อเพลิง	ผลทดสอบ
องค์ประกอบแบบประมาณ	ความชื้น (%)	46.8
(Proximate analysis)	สารระเหย (% VM)	43.8
	ขี้เถ้า (% Ash)	1.31
	คาร์บอนคงตัว (% FC)	8.05
องค์ประกอบแบบแยกธาตุ	คาร์บอน (% C)	26.6
(Ultimate analysis)	ไฮโดรเจน (% H)	2.6
	ไนโตรเจน (% N)	0.17
	ซัลเฟอร์ (% S)	0.03
	ออกซิเจน (% O)	22.5

จากการศึกษาผลกระทบของความชื้นในเชื้อเพลิงฟืนไม้ยางพาราที่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์ของหม้อต้มไอน้ำ การวิเคราะห์ผลกระทบของความชื้นในเชื้อเพลิงกับปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้นั้น เนื่องจากสภาพอากาศที่ของสถานที่ที่ติดตั้งหม้อต้มไอน้ำนั้น มีฝนตกอยู่เป็นประจำจึงส่งผลให้เชื้อเพลิงมีความชื้นสูง ซึ่งจากการตรวจวัดพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเชื้อเพลิงฟืนไม้ยางพาราโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 46.8 จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบของความชื้นของเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพหม้อต้มไอน้ำ โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างการศึกษาออกเป็น 4 กลุ่มโดยการตรวจวัดเปอร์เซ็นต์ความชื้นในเชื้อเพลิงโดยการสุ่มตัวอย่างได้ความชื้นที่ทำการศึกษาร้อยละ 15, 25, 35 และ 45 โดยเฉลี่ยกำหนดให้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ที่ 200 กิโลกรัม/ชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศป้อนเข้าห้องเผาไหม้ประมาณ 2,250 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง และความเร็วรอบของพัดลมดูดอากาศ 2000 รอบต่อนาที

ผลการศึกษาถึงผลกระทบของความชื้นในเชื้อเพลิงฟืนไม้ยางพาราต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ความชื้นเชื้อเพลิงร้อยละ 15 ตรวจวัดปริมาณองค์ประกอบไอเสียพบว่าประกอบไปด้วย คาร์บอนมอนนอกไซด์ 3,360 ppm ที่ความชื้นเชื้อเพลิงร้อยละ 25 ตรวจวัดปริมาณองค์ประกอบไอเสียพบว่าประกอบไปด้วย คาร์บอนมอนนอกไซด์ 3,560 ppm ที่ความชื้นเชื้อเพลิงร้อยละ 35 ตรวจวัดปริมาณองค์ประกอบไอเสียพบว่าประกอบไปด้วย คาร์บอนมอนนอกไซด์ 3,882 ppm และที่ความชื้นของเชื้อเพลิงร้อยละ 45 เมื่อตรวจวัดปริมาณองค์ประกอบไอเสียพบว่าประกอบไปด้วยคาร์บอนมอนนอกไซด์ 4,328 ppm และจากการเปรียบเทียบองค์ประกอบของในไอเสียแต่ละชนิดพบว่าที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 15 มีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ 3,360 ppm และที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 45 มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำ และทำให้เกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ 4,328 ppm ดังสรุปและแสดงใน ภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงไม้ยางพารากับก๊าซไอเสีย CO (ppm)

ข้อเสนอแนะและอุปสรรคในการทดลอง

ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยนี้ สรุปได้ดังนี้

1. มีการเปลี่ยนผู้ดูแลการป้อนเชื้อเพลิงเป็นรอบ ซึ่งแต่ละคนก็จะมีความแม่นยำในการป้อนเชื้อเพลิงต่างกัน เนื่องจากเป็นการป้อนด้วยการใช้แรงงานคน อาจจะส่งผลต่อผลการทดลอง
2. พื้นที่และบริเวณจัดเก็บเชื้อเพลิงในการทดลองมีบริเวณจำกัดและสภาพอากาศที่ร้อนชื้นจึงมีผลต่อการจัดเก็บเชื้อเพลิงไม้ยางพารา
3. อาจเกิดผลการคลาดเคลื่อนของการทดลอง เนื่องจากสภาพแวดล้อมของแต่ละวันมีความแตกต่างกัน
4. ในการทำการทดลอง ผู้ทดลองไม่สามารถทำการทดลองเป็นเวลายาวนานต่อเนื่องได้ เนื่องจากจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของโรงงาน

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลกระทบของความชื้นในเชื้อเพลิงฟืนไม้ยางพารากับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของหม้อต้มไอน้ำ พบว่าที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นในเชื้อเพลิง ร้อยละ 15, 25, 35 และ 45 โดยเฉลี่ยนั้น ที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 15 มีประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงที่สุด เกิดคาร์บอนมอนอกไซด์เพียง 3,360 ppm และที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 45 มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ต่ำที่สุด และทำให้เกิดคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงถึง 4,328 ppm ซึ่งแตกต่างกันร้อยละ 28.79 สามารถสรุปได้ว่าความชื้นในเชื้อเพลิง แปรผันกับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้น กล่าวคือเมื่อปริมาณความชื้นในเชื้อเพลิงมีปริมาณที่สูง ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ก็จะสูงตาม และในขณะเดียวกันเมื่อปริมาณความชื้นต่ำ ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกสู่บรรยากาศก็จะต่ำด้วย แสดงให้เห็นว่าความชื้นในเชื้อเพลิงส่งผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกสู่ชุมชนและบรรยากาศอย่างมีนัยสำคัญ

งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการวางแผนเรื่องของเชื้อเพลิงชีวมวล โดยเฉพาะเชื้อเพลิงแข็งที่มีลักษณะเป็นท่อนฟืน เมื่อไอเสียที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ของหม้อต้มไอน้ำที่มีคุณภาพต่ำย่อมหมายถึงการเผาไหม้นั้นมีประสิทธิภาพต่ำ ส่งผลต่อต้นทุนของเชื้อเพลิงในการการผลิตไอน้ำที่สูงตามไปด้วย และที่สำคัญยังเป็นผลทำให้เกิดมลพิษต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมอันเป็นสาเหตุของก๊าซเรือนกระจกด้วย

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นเพียงการศึกษาในเรื่องผลกระทบของความชื้นของเชื้อเพลิงต่อปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกสู่ชุมชนและบรรยากาศเท่านั้น ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้นั้นยังคงถือว่ามีค่าที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นยังมีอีกหลายตัวแปรที่ต้องคำนึงถึงเช่น สภาพโดยทั่วไปของหม้อต้มไอน้ำ คุณภาพของน้ำป้อน ปริมาณอากาศเกินที่ป้อนเข้าห้องเผาไหม้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเชื้อเพลิงแข็งรวมไปถึงอัตราการป้อนของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าห้องเผาไหม้ที่เหมาะสมที่ยังต้องพิจารณาและทำการศึกษาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท Thien Phuoc Manufacturing And Trading Company Limited. Lot B8 - B9, Nhi Xuan Industrial Park, Xuan Thoi Son commune, Hoc Mon District, Ho Chi Minh, Viet Nam สำหรับการสนับสนุนอุปกรณ์ เครื่องจักร และแรงงานในการทดลอง ซึ่งทำให้การวิจัยนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี ส่งผลให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ในการทำงาน การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่าย ดังนี้

1. นายอรรถพล เลาห์ขจร ตำแหน่ง ประธานกรรมการบริหาร
2. นายธงไชย เดือนแสงเพ็ญ ตำแหน่ง กรรมการบริหาร

และบุคคลท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Huang H, Gao Y, Chen H, Wu Y, Wang J, Yu C, et al. (2023). **Biomass briquette fuel, boiler types and pollutant emissions of industrial biomass boiler: A review**. Particuology. 77, 79–90.

[2] จุฑามาศ แก้วมณี. (2566). **การประเมิณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตามหลักการประเมิณวัฏจักรของโรงไฟฟ้าชีวมวล**. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชากสรจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

[3] Petrocelli D, Lezzi AM. (2014). **CO and NO emissions from pellet stoves: an experimental study.** Journal of Physics: Conference Series. 501.

[4] วุฒิเชษฐ รุ่งเรือง. (2021). ภาวะพิษจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์. **Thai Journal of Hospital and Pharmacy,** 31.

[5] Böhler L, Goertler G, Krail J, Kozek M. (2019). **Carbon monoxide emission models for small-scale biomass combustion of wooden pellets.** Applied Energy. 254.

[6] Mungchu A, Saenpong A, Chaiphet K, Duanguppama K, Turakarn C. (2023). **The effect of excess air on combustion behaviors in vertical pulverized biomass burner.** J Mater Sci Appl Energy. 12.

[7] Stanisławski R, Robert Junga, Nitsche M. (2022). **Reduction of the CO emission from wood pellet small-scale boiler using model-based control**. Energy. 243.

[8] กมล เฟื่องเจริญ. (2563). **การประเมิณประสิทธิภาพของการผลิตไอน้ำจากการลดความชื้นของชานอ้อย กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าชีวมวล.** สารนิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศษสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[9] Ladislav Dzurenda and Adrian Banski. (2019). **The effect of Firewood Moisture Content on the Atmospheric Thermal Load by Flue Gases Emitted by a Boiler.** Sustainability. 11(1). 284.

[10] มาตรฐานคุณภาพอากาศที่ปล่องระบายออกนอกโรงงานอุตสาหกรรม, สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2567, จาก 2023111012.pdf (diw.go.th)

[11] The Socialist Republic of Vietnam. QCVN19: 2009/BTNMT. **National Technical Regulation on Industrial Emission of Inorganic Substances and Dust**. สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2567 จาก https://www.scribd.com/document/381756688/QCVN-19-2009-BTNMT

การลดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปุ๋ยอินทรีย์แบบไม่พลิกกลับกองจากเศษใบไม้ ในป่าชุมชนพื้นที่อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่

Greenhouse Gas Emissions Reduction of Composting Without Turning from Leaves of Community Forests in Wiang Haeng District, Chiang Mai Province

แสนวสันต์ ยอดคำ[1*] ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร[2] นเรศ ใหญ่วงศ์[3] นนท์ นาคะเสถียร[4] พงษ์พนัส คะชะนา[4] และ ศิริลักษณ์ บ่อสร้าง[4]

Sanwasan Yodkhum[1*], Chanawat Nitatwichit[2], Narat Yaiwong[3], Non Nakasathian[4], Pongpanat Kachana[4], and Sirilak Borsang[4]

[1] หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2] หลักสูตรวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[3] สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย 57100
[4] ฝ่ายพัฒนาความยั่งยืนภาครัฐและกิจการสัมพันธ์ เครือเจริญโภคภัณฑ์ กรุงเทพฯ 10310
[1] Agricultural Engineering, Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, Chiang Mai, 50290
[2] Food Engineering, Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, Chiang Mai, 50290
[3] Energy Engineering, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, 57100
[4] Development and Corporate Relations and Coordination Public Sector, Charoen Pokphand Group, 10310
Corresponding author: Tel.: 089-7599112. E-mail address: sanwasan@mju.ac.th

Abstract

This study conducted a project to collect leaf litter from community forests in Wiang Haeng District, Chiang Mai Province from April to May 2024. The three communities, consisting of six villages, were managed. The total number of leaves from the community forest that were collected was approximately 74,925 kilograms. All leaf scraps will be transported as raw materials for compost production by using the composting method without turning to reduce the amount of biomass in forests and reduce the chances of forest fires in the area.

The greenhouse gas emissions reduction of this project was assessed by using the calculation method based on the Thailand Voluntary Emission Reduction Method (T-VER) to produce compost or soil conditioners from organic waste according to the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization); TGO. The results of this study found that the Greenhouse gas emissions reduction of this project was approximately 62.71 tCO_2e when compared with landfilling and approximately 102.97 tCO_2e when compared with open burning leaves litter in community forests. In addition, it was found

that Greenhouse gas emissions reduction per weight of leaves litter when compared with landfilling and open burning were 0.84 and 1.37 tCO_2e/ton of leaves, respectively.

Keywords: Greenhouse gas emissions, Compost, Leaves, Community Forest

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ดำเนินโครงการจัดเก็บเศษใบไม้จากป่าชุมชนในพื้นที่อำเภอเวียงแหง จังหวัดเชียงใหม่ ในช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2567 จำนวน 3 ตำบล รวม 6 หมู่บ้าน สามารถจัดเก็บเศษใบไม้ได้รวม 74,925 กิโลกรัม โดยเศษใบไม้ทั้งหมดจะถูกขนไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้วิธีการหมักแบบไม่พลิกกลับกอง เพื่อลดปริมาณชีวมวลในป่าและลดโอกาสในการเกิดไฟป่าพื้นที่ โครงการได้ดำเนินการประเมินความสามารถในการลดก๊าซเรือนกระจกของโครงการ โดยใช้วิธีการคำนวณตามระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ (T-VER) สำหรับการผลิตปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์ที่องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) ได้กำหนดแนวทางไว้

โดยผลการประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกของโครงการพบว่า โครงการสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 62.71 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เมื่อเทียบกับการฝังกลบ และสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 102.97 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เมื่อเทียบกับการเผาเศษใบไม้ นอกจากนี้ยังพบว่า ก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดเมื่อเทียบกับน้ำหนักของเศษใบไม้ที่นำไปผลิตปุ๋ยอินทรีย์ของกรณีฐานการฝังกลบและการเผาเศษใบไม้ เท่ากับ 0.84 และ 1.37 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อเศษใบไม้ 1 ตัน ตามลำดับ

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก ปุ๋ยอินทรีย์ เศษใบไม้ ป่าชุมชน

การศึกษาการย้อมตอกด้วยสีธรรมชาติจากกระเจี๊ยบ
The study of dyeing with natural color from roselle

วีระบูลย์กิตติ ชุมพรผ่อง[1*] ณัฏฐกมล หมื่นรักษ์[1] และ ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด[1]
Veeraboonkitt Chumpornpong[1*], Nattakamon Muenrak[1], and Nattawut Khaosaad[1]

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 65000
[1]General Science Education, Faculty of Education, Pibulsongkram Rajabhat University 65000
Corresponding author: Tel : 088-2938403 E-mail address: veeraboonkitt.c@psru.ac.th

Abstract

This article presented the dyeing with natural colors from roselle. The 4 ratios of roselle comparison with sappanwood. Each time, the amount of water was controlled at 2 liters, the color distillation was 30 minutes, and the dyeing was 20 minutes. Each ratio contained 200 grams of roselle and added alum and salt as color fixing agents, the sappanwood was 400 grams, 20 grams of alum, and 20 grams of salt. After that, the color shades compared the ratio of sappanwood colors.

The result of the first ratio was a light color, very dark, and slightly bright. It was not the sappanwood colors. The second ratio was lightly dark and lightly bright. It was not the sappanwood color. The third ratio was a dark and very bright color with a sappanwood color, and the fourth ratio was a dark and bright color with a sappanwood color shade. The results of the third and fourth ratios have a color shade close to that of sappanwood. The development of the roselle color used 30 and 40 grams of color-fixing agents, namely alum and salt, respectively. The sappanwood color extracted for comparison used 20 grams of color-fixing agents, namely alum and salt. Some color-fixing agents used in the development of roselle are not much different, which makes the color extracted from roselle have an effective color shade close to that of sappanwood, and the community uses roselle color instead of sappanwood color or mix it with sappanwood color.

Keywords: Dyes, Natural color, Roselle, Distillation

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาการย้อมตอกด้วยสีธรรมชาติจากกระเจี๊ยบ โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนของสารสกัดของกระเจี๊ยบในการย้อมตอก ทั้งหมด 4 อัตราส่วนกับสารสกัดของแก่นฝาง ซึ่งในแต่ละครั้งจะควบคุมปริมาณน้ำ 2 ลิตร เวลาที่ใช้ในการสกัดสี 30 นาที และเวลาที่ใช้ในการย้อมตอก 20 นาที โดยแต่ละอัตราส่วนมีปริมาณของกระเจี๊ยบ 200 กรัม และใส่สารส้มกับเกลือที่เป็นสารช่วยติดสี หลังจากนั้นนำสีแต่ละอัตราส่วนนำไปย้อมตอก เพื่อเปรียบเทียบเฉดสีต่อไป

ผลการย้อมตอกอัตราส่วนที่ 1 พบว่า ตัวอย่างมีสีที่ได้มีความอ่อน สีไม่ค่อยเข้ม และมีความสว่างเล็กน้อย เฉดสีที่ได้ไม่มีความใกล้เคียงกับสีของแก่นฝาง อัตราส่วนที่ 2 พบว่า ตัวอย่างมีสีที่ได้มีความอ่อน สีมีเข้มเล็กน้อย มีความสว่างเล็กน้อย เฉดสีที่ได้ไม่มีความใกล้เคียงกับสีของแก่นฝาง อัตราส่วนที่ 3 พบว่า ตัวอย่างมีสีที่ได้มีความเข้ม มีความสว่างมาก เฉดสีที่มีความใกล้เคียงกับสีของ แก่นฝาง และอัตราส่วนที่ 4 พบว่า ตัวอย่างมีสีที่ได้มีความเข้ม มีความสว่างพอใช้ได้เฉดสีที่มีความใกล้เคียงกับสีของแก่นฝาง จากผลการศึกษาพบว่า การย้อมตอกด้วยอัตราส่วนที่ 3 และ 4 มีสีมีเฉดสีใกล้เคียงกับสีแก่นฝาง โดยการพัฒนาสีของกระเจี๊ยบใช้ปริมาณสารช่วยติดสี คือ สารส้ม และเกลืออย่างละ 30 กรัม และ 40 กรัม ตามลำดับ และสีของแก่นฝางที่สกัดมาเปรียบเทียบใช้ปริมาณสารช่วยติดสี คือ สารส้ม และเกลืออย่างละ 20 กรัม จะเห็นว่าปริมาณสารช่วยติดสีที่ใช้ในการพัฒนากระเจี๊ยบมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งทำให้สีที่สกัดจากกระเจี๊ยบได้เฉดสีที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับสีแก่นฝาง และสามารถส่งเสริมให้ชุมชนใช้สีจากกระเจี๊ยบทดแทนสีจากแก่งฝาง หรือ ผสมผสานกับสีแก่นฝางได้

คำสำคัญ: การย้อมตอก สีธรรมชาติ กระเจี๊ยบ การสกัด

บทนำ

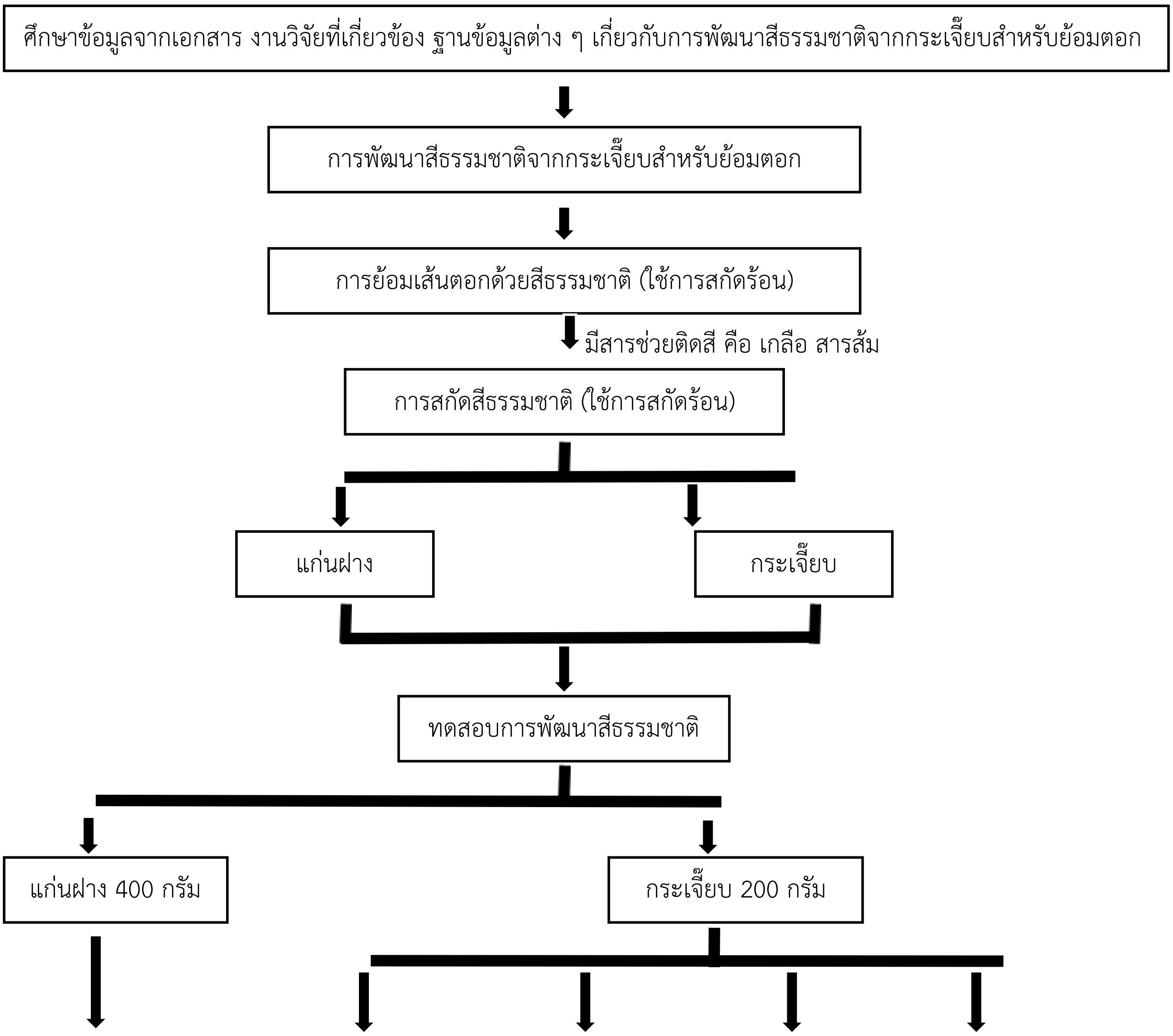
ในปัจจุบันได้มีการนำภูมิปัญญาท้องถิ่นมาพัฒนาและต่อยอด เพื่อความอยู่รอดของบุคคลทางด้านเศษฐกิจและสังคมเนื่องจากภูมิปัญญาท้องถิ่นเกิดขึ้นจากความรู้ ประสบการณ์ และแนวคิดของคนในชุมชน ได้มีการถ่ายทอดภูมิปัญญาท้องถิ่นและสืบสานต่อกันมา เครื่องจักสานถือว่าเป็นแขนงหนึ่งในงานหัตถกรรม ที่มนุษย์นำมาใช้นานนับพันปีจนถึงปัจจุบันเครื่องจักสานก็ยังคงถูกนำมาใช้อย่างต่อเนื่อง พร้อมกับการพัฒนาวิธีการผลิต รูปแบบและการตลาด โดยการเพิ่มลวดลายสีสันของเครื่องจักสานให้มีความทันสมัย ซึ่งสามารถกระจายอย่างทั่วถึงทั้งในและต่างประเทศ จนสามารถเป็นสินค้าที่เป็นหน้าเป็นตาให้กับประเทศ เช่น การนำไม้ไผ่มาผลิตพัด การนำใบตาลมาผลิตเป็นหมวก เป็นต้น หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน โรงงานอุตสาหกรรม [1-2] ต่างก็ตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมและได้พยายามปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต โดยก่อให้เกิดผลกระทบหรือความเสี่ยงอันจะเกิดขึ้นต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้นกระบวนการย้อมด้วยสีธรรมชาติ จึงเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยม โดยเฉพาะสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ประเภทผ้า และเครื่องจักสาน เช่น ผักตบชวา กก ผู้ผลิตเริ่มมีแนวคิดย้อมสีด้วยสีธรรมชาติ เพราะสินค้าส่งออกที่ใช้วัสดุในท้องถิ่น และกระบวนการผลิตแบบเทคโนโลยีสะอาด จะได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก สีของผลิตภัณฑ์ก็เป็นสิ่งหนึ่งที่ดึงดูดใจผู้ซื้อ สีที่ใช้มีทั้งสีธรรรรมชาติและสีสังเคราะห์ แตในที่นี้จะกล่าวเฉพาะสีธรรมชาติที่นำมาใช้ในการย้อม สีธรรมชาติเป็นสีที่ได้จาก พืช สัตว์และแร่ธาตุ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษใดๆ ต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ใช้ แต่มีข้อเสียคือ สีไม่เข้ม สีตกง่าย สีธรรมชาติถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ นิยมนำมาใช้เป็นสารให้สีในผลิตภัณฑ์อาหาร ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์สีย้อมผม และนำสีมาย้อมผลิตภัณฑ์หัตถกรรมพื้นบ้าน การย้อมผ้า การย้อมกระดาษสา การย้อมเครื่องจักสานจากไม้ไผ่ เป็นต้น แต่เนื่องจากการนำสีจากธรรมชาติมาย้อมจะเกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา เช่น สีที่ย้อมติดไม่คงทน และได้เฉดสีไม่ตรงตามที่ต้องการ จึงได้มีการนำเอาหลักวิชาเคมีเข้ามาช่วยในการผลิตสี ปรับปรุงกระบวนการย้อม ลดเวลาการย้อม ได้เฉดสีตามที่ต้องการ สีที่ได้มีความคงทนมากขึ้น และสามารถย้อมวัสดุได้หลายประเภท

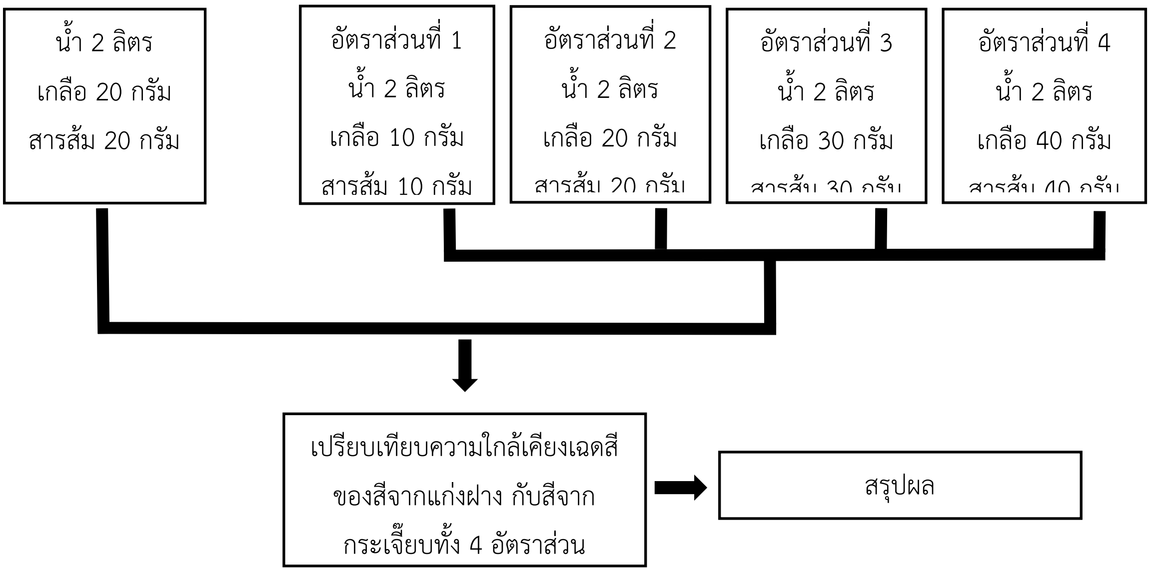
ดังนั้น คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการย้อมตอกด้วยสีธรรมชาติจากกระเจี๊ยบ เพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของสารสกัดของแก่นฝางและกระเจี๊ยบในการย้อมตอก เพื่อให้สามารถย้อมเส้นตอกไม้ไผ่ด้วยสีธรรมชาติ โดยสีที่เลือก คือ สีแดง ที่

เลือกเฉดสีนี้เลือกจากความนิยมของสีในปัจจุบันที่นำมาใช้ย้อมเส้นตอกไม้ไผ่ จากที่ศึกษามาพืชที่ใช้มาสกัดสีแดงในคือแก่นฝาง ซึ่งเป็นพืชที่มีเฉดสีความเข้มของสีแดงมากที่สุด แต่ด้วยจังหวัดพิษณุโลกแก่นฝางหาตามท้องถิ่นได้ยากจะต้องซื้อตามร้านค้าที่มีขาย ทางคณะผู้วิจัยจึงได้คิดที่จะนำกระเจี๊ยบป่ามาพัฒนาให้ได้สีแดงที่มีเฉดสีใกล้เคียงกับแก่นฝางเพื่อใช้ในการย้อมตอกไม้ไผ่ ซึ่งกระเจี๊ยบป่าเป็นพืชท้องถิ่นที่หาได้ง่าย ไม่เสียค่าใช้จ่ายจึงได้นำมาพัฒนา โดยการใช้วิธีย้อมสีธรรมชาติด้วยการสกัดสีแบบร้อน และใส่สารช่วยติดสีคือสารส้ม ผงฟู ในขั้นตอนการสกัดสีและย้อมตอก เพราะการสกัดสีแบบร้อน และการใส่สารเหล่านี้จะช่วยให้มีสีเด่นชัด และสีติดคงทนจนสามารถนำเส้นตอกไม้ไผ่ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องจักสานที่มีคุณภาพ มีความปลอดภัย และเป็นที่นิยมของผู้บริโภคเหมาะสมกับไลฟ์สไตล์และเทรนด์โลกในปัจจุบันที่ผู้คนให้ความใส่ใจต่อสุขภาพ [3] ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์จนสามารถขยายกลุ่มผู้บริโภคและขยายกลุ่มตลาดส่งออก อีกทั้งยังเป็นการอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่สืบทอดกันมาอย่างยาวนานให้คงอยู่กับคนรุ่นใหม่ เป็นการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ และยังเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับคนในชุมชนได้มีงานทำที่มั่นคงอีกด้วย

วิธีการวิจัย

การดำเนินการพัฒนาสีธรรมชาติจากกระเจี๊ยบสำหรับย้อมตอก ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาสีของกระเจี๊ยบดังนี้





ผลการวิจัย

การพัฒนาสีธรรมชาติจากกระเจี๊ยบสำหรับย้อมตอก มีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของสารสกัดของแก่นฝางและกระเจี๊ยบในการย้อมตอก ดังนี้

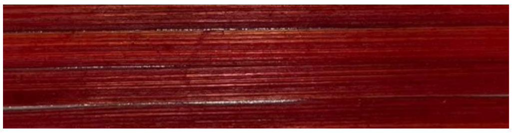
1. ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนของแก่นฝางและกระเจี๊ยบในการย้อมตอก

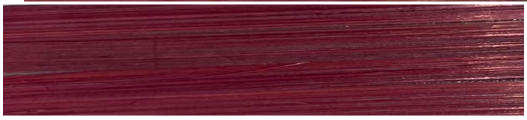
ตารางที่ 1 แสดงปริมาณความเข้มข้นของสารสกัดแก่นฝางและกระเจี๊ยบในอัตราส่วนที่ต่างกันของสารสกัดสี

ครั้งที่	ปริมาณความเข้มข้น (ร้อยละโดยปริมาตร)			
	สกัดสีแก่นฝาง		สกัดสีกระเจี๊ยบ	
	น้ำ	แก่นฝาง	น้ำ	กระเจี๊ยบ
1	90.91	9.09	95.24	4.76
2			93.02	6.98
3			90.90	9.09
4			88.89	11.11

จากตารางที่ 1 สารสกัดสีกระเจี๊ยบที่ความเข้มข้นร้อยละ 9.09 ให้ความเข้มและสว่างของสีแดงใกล้เคลียงกับสารสกัดสีของแก่นฝาง สามารถแยกออกด้วยสายตา

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณความเข้มข้นของสารช่วยติดสีในการย้อมสีแก่นฝางและกระเจี๊ยบ

ครั้งที่	ปริมาณความเข้มข้น (ร้อยละโดยปริมาตร)			ผลการพัฒนาสีย้อม
	ย้อมสีแก่นฝาง			
	สีสกัดแก่นฝาง	เกลือ		
1	9.09	0.99		
	ย้อมสีกระเจี๊ยบ			
	สีสกัดกระเจี๊ยบ	เกลือ	สารส้ม	

ครั้งที่	ปริมาณความเข้มข้น (ร้อยละโดยปริมาตร)			ผลการพัฒนาสีย้อม
1	9.09	0.50	0.50	
2	9.09	0.98	0.98	
3	9.09	1.46	1.46	
4	9.09	1.92	1.92	

จากตารางที่ 2 สารช่วยติดสีการย้อมสีกระเจี๊ยบ เกลือที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.46 และสารส้มที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.46 ให้ความเข้มและสว่างของสีแดง ให้ติดมากขึ้น ใกล้เคลียงกับสารสกัดสีของแก่นฝาง สามารถแยกออกด้วยสายตา

2. ผลการพัฒนาสีย้อมธรรมชาติจากกระเจี๊ยบ

ตารางที่ 3 ผลการพัฒนาสีย้อมธรรมชาติจากกระเจี๊ยบ

อัตราส่วนที่	เวลาในการย้อม (นาที)	ปริมาณสารช่วยติด (กรัม)		ผลการพัฒนาสีย้อมจากกระเจี๊ยบ
		สารส้ม (โปแตสเซียมอลัม)	เกลือ (โซเดียมคลอไลด์)	
1	20	10	10	
2	20	20	20	
3	20	30	30	
4	20	40	40	

จากตารางที่ 3 ผลการพัฒนาสีย้อมจากกระเจี๊ยบ อัตราส่วนที่ 4 ที่มีปริมาณเกลือ 40 กรัม สารส้ม 40 กรัม ให้ความเข้มและความสว่างของสีแดงดีที่สุด ใกล้เคลียงกับสารสกัดสีของแก่นฝาง สามารถแยกออกด้วยสายตา

ผลการวิจัยอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบการพัฒนาสีกระเจี๊ยบ อัตราส่วนที่ 1 จะใช้ปริมาณกระเจี๊ยบ 200 กรัม ปริมาณสารส้ม 10 กรัม ปริมาณเกลือ 10 กรัม ปริมาณน้ำ 2 ลิตร ใช้เวลาในการสกัดสี 10 นาที และใช้เวลาในการย้อมตอก 20 นาที ผลการพัฒนาสีกระเจี๊ยบอัตราส่วนที่ 1 พบว่า สีที่ได้มีความอ่อน จาง สีไม่ค่อยเข้ม และมีความสว่างเล็กน้อย เฉดสีที่ได้ไม่มีความใกล้เคียง

กับสีของแก่นฝาง อัตราส่วนที่ 2 จะใช้ปริมาณกระเจี๊ยบ 200 กรัม ปริมาณสารส้ม 20 กรัม ปริมาณเกลือ 20 กรัม ปริมาณน้ำ 2 ลิตร ใช้เวลาในการสกัดสี 10 นาที และใช้เวลาในการย้อมตอก 20 นาที ผลการพัฒนาสีกระเจี๊ยบอัตราส่วนที่ 2 พบว่า สีที่ได้มีความอ่อน จาง สีมีเข้มเล็กน้อย มีความสว่างเล็กน้อย เฉดสีที่ได้ไม่มีความใกล้เคียงกับสีของแก่นฝาง อัตราส่วนที่ 3 จะใช้ปริมาณกระเจี๊ยบ 200 กรัม ปริมาณสารส้ม 30 กรัม ปริมาณเกลือ 30 กรัม ปริมาณน้ำ 2 ลิตร ใช้เวลาในการสกัดสี 10 นาที และใช้เวลาในการย้อมตอก 20 นาที ผลการพัฒนาสีกระเจี๊ยบอัตราส่วนที่ 3 พบว่า สีที่ได้มีความเข้ม มีความสว่างมาก เฉดสีที่มีความใกล้เคียงกับสีของแก่นฝาง และอัตราส่วนที่ 4 จะใช้ปริมาณกระเจี๊ยบ 200 กรัม ปริมาณสารส้ม 40 กรัม ปริมาณเกลือ 40 กรัม ปริมาณน้ำ 2 ลิตร ใช้เวลาในการสกัดสี 10 นาที และใช้เวลาในการย้อมตอก 20 นาที ผลการพัฒนาสีกระเจี๊ยบอัตราส่วนที่ 4 พบว่า สีที่ได้มีความเข้ม มีความสว่างพอใช้ได้ เฉดสีที่มีความใกล้เคียงกับสีของแก่นฝาง

จากการพัฒนาสีธรรมชาติจากกระเจี๊ยบสำหรับย้อมตอกทั้ง 4 อัตราส่วน สรุปได้ว่าการพัฒนาอัตราส่วนที่ 1 และ 2 ได้สีที่มีความอ่อน สีไม่เข้ม ไม่มีความสว่าง เฉดสีที่ได้ไม่มีความใกล้เคียงเฉดสีของแก่นฝาง การพัฒนาอัตราส่วนที่ 3 ได้สีที่มีความเข้ม มีความสว่างมาก เฉดสีที่ได้มีความใกล้เคียงกับสีของแก่นฝาง และการพัฒนาครั้งที่ 4 ได้สีที่มีความเข้ม มีความสว่างพอใช้ได้ เฉดสีที่ได้มีความใกล้เคียงกับสีของแก่นฝาง

สรุปผลการวิจัย

เฉดสีของกระเจี๊ยบที่ได้รับการพัฒนาแล้วทั้ง 4 อัตราส่วน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเฉดสีของแก่นฝาง จะพบว่าการพัฒนาสีของกระเจี๊ยบอัตราส่วนที่ 1 และ 2 เฉดสีไม่มีความใกล้เคียงกับเฉดสีของแก่นฝาง อัตราส่วน 3 และ 4 เฉดสีมีความใกล้เคียงกับเฉดสีของแก่นฝาง เนื่องจากปริมาณของสารช่วยติดสีที่ต่างกัน ในอัตราส่วนที่ 1 และ 2 ปริมาณของสารช่วยติดสีไม่มากพอเลยทำให้เฉดสีที่ได้ไม่ใกล้เคียง ส่วนอัตราส่วนที่ 3 และ 4 ปริมาณของสารช่วยติดสีมากจึงทำให้เฉดสีที่ได้มีความใกล้เคียง

การพัฒนาสีกระเจี๊ยบในอัตราส่วนที่ 3 และ 4 ได้ผลการพัฒนาสีมีเฉดสีใกล้เคียงกับสีแก่นฝาง โดยการพัฒนาสีของกระเจี๊ยบใช้ปริมาณสารช่วยติดสี คือ สารส้ม และเกลืออย่างละ 30 กรัม และ 40 กรัม ตามลำดับ และสีของแก่นฝางที่สกัดมาเปรียบเทียบใช้ปริมาณสารช่วยติดสี คือ สารส้ม และเกลืออย่างละ 20 กรัม จะเห็นว่าปริมาณสารช่วยติดสีที่ใช้ในการพัฒนากระเจี๊ยบมีความแตกต่างกันไม่มากนัก จึงถือว่าการพัฒนาสีของกระเจี๊ยบได้เฉดสีที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับสีแก่นฝาง ทางผู้พัฒนาเห็นถึงความสำคัญของกระเจี๊ยบที่หาได้ง่ายตามท้องถิ่น ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อกระเจี๊ยบเพื่อนำมาสกัดสีแล้วนำไปย้อมตอก สอดคล้องกับ ชานนท์ แสงโสด และสุภา จุฬคุปต์ (2562) ศึกษาชนิดของสารช่วยติด และระยะเวลาในการย้อมที่เหมาะสมในการย้อมตอกไม้ไผ่ด้วยสีธรรมชาติจากกากกาแฟ โดยการนำไม้ไผ่นวล มาผ่านกระบวนการจักตอกให้ได้เป็นเส้นตอกไม้ไผ่ที่มีขนาดความกว้าง 0.2 เซนติเมตร ยาว 120 เซนติเมตร หนา 1 มิลลิเมตร นำไปย้อมในน้ำย้อมที่ประกอบด้วยกากกาแฟสายพันธุ์อาราบิกา ที่ผ่านการชง 1 ครั้งจำนวน 600 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 12 กรัม ต่อน้ำ 3,000 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ทำการศึกษาปัจจัยในการย้อม 2 ปัจจัย คือ ชนิดของสารช่วยติดโดยแปรเป็น 2 ระดับ คือ น้ำสารช่วยติดจากใบยูคาลิปตัสสด น้ำสารช่วยติดจากสารส้ม

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จลุล่วงของวิจัยนี้ได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด และอาจารย์ว่าที่ร้อยตรีวีระบูลย์กิตติ ชุมพรผ่อง ที่ช่วยให้คำปรึกษาคำแนะนำในการทำวิจัย ให้คำชี้แนะเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง

ของโครงงานนี้ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดียิ่ง จนทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณด้วยความรักและความเคารพเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ, สุนทร ดุริยะประพันธ์, ทักษิณ อาชวาคม, สายันต์ ตันพานิช, ชลธิชา นิวาสประกฤติ และปรียา นันท์ศรสูงเนิน.(2544). **ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้** : พืชที่ให้สีย้อมและแทนนิน. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์กรุงเทพฯ.

[2] วิชาญ วันโพนทอง. (2548). การย้อมสีด้วยสีธรรมชาติ. **วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ**, 53(168), 35-37.

[3] มยุรี คุณิรัตน์, แพรวพรรณ ดวงไข, สุชยา วิริยะการุณย์ และศิวพร หอมหวล. (2557). “การสกัดและการประยุกต์ใช้สีย้อมธรรมชาติจากพืชในท้องถิ่นสำหรับย้อมเนื้อเยื่อพืช” ใน **การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**, วันที่ 21-24 พฤษภาคม 2557 ณ หอประชุมไพรพะยอม. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

[4] ชานนท์ แสงโสด และสุภา จุฬคุปต์. (2562). “การพัฒนาตอกไม้ไผ่ย้อมสีธรรมชาติจากกากกาแฟ สำหรับผลิตภัณฑ์งานจักสาน” ใน **การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 11**, วันที่ 27 มีนาคม 2563 ณ ห้องประชุมช่อแก้ว. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสนันทา

การประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตกะทะล้อรถยนต์
Assessment of Carbon Dioxide Emissions from Car Wheel Rim Production

พิเชษ อรุณรุ่ง[1] และ อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ[2*]
Pichat Arunrung[1], and Apirak Sawatkit[2*]

[1,2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพฯ 10900
[1,2]Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Sripatum University
Jatujak Bangkok 10900
[*] Corresponding author: Tel.: 02-5791111, E-mail address : apirak.sa@spu.ac.th

Abstract

This paper studies the carbon dioxide emission assessment of the manufacturing process of 15-inch diameter automotive wheels. It has an average production capacity of 3,000,000 units per year the Gate-To-Gate (G2G) life cycle assessment method. The study started by collecting physical data and resource usage. The assessment results found that the carbon dioxide emissions of the production were 207,757 kgCO_2eq. t is divided into the acquisition of raw materials of 190,801 kgCO_2eq, accounting for 92 percent, and the production process of 16,956 kgCO_2eq, accounting for 8 percent. The production process is also divided into 2 parts: the electrical energy part of 78 percent and the use of LPG gas of 22 percent. When compared per unit of production, it has a value of 18.88 kgCO_2eq/piece. The results of this study can be used as base year data that the factory does not yet have to determine the reduction of carbon dioxide emissions in production. The study has determined the guidelines for reducing carbon dioxide emissions from equipment used in the production process, such as improving the fuel combustion process. Reducing heat loss and improving machine efficiency, as well as recycling scrap materials back to their original grades, are all guidelines for manufacturers going forward.

Keywords: carbon dioxide, wheel rim, production process

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาการประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของกระบวนการผลิตกะทะล้อรถยนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นิ้ว มีกำลังการผลิตเฉลี่ย 3,000,000 อันต่อปีโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Gate-To-Gate (G2G) การศึกษาเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลทางกายภาพและการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ผลการประเมินพบว่าปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของการผลิตเท่ากับ 207,757 kgCO_2eq แบ่งเป็นการได้มาวัตถุดิบ 190,801 kgCO_2eq คิดเป็นร้อยละ 92 และกระบวนการผลิต 16,956 kgCO_2eq คิดเป็นร้อยละ 8 จากกระบวนการผลิตก็ยังแบ่ง

ออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของพลังงานไฟฟ้าร้อยละ 78 และการใช้ก๊าซ LPG ร้อยละ 22 เมื่อเทียบต่อหน่วยผลผลิตจะมีค่า 18.88 kgCO_2eq/อัน ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลปีฐานที่ทางโรงงานยังไม่มีเพื่อนำไปกำหนดการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการผลิตได้ จากการศึกษาได้กำหนดแนวทางของการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเช่น การปรับปรุงกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง การลดการสูญเสียความร้อนและการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรรวมทั้งการ recycle เศษวัสดุให้กลับไปเป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่มีเกรดคงเดิมเหล่านี้ล้วนเป็นแนวทางให้กับผู้ผลิตต่อไป

คำสำคัญ: คาร์บอนไดออกไซด์ กะทะล้อ กระบวนการผลิต

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นประเด็นสำคัญที่ทั่วโลกกำลังเผชิญ อุตสาหกรรมการผลิตซึ่งเป็นหนึ่งในแหล่งที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกขนาดใหญ่ จำเป็นต้องพิจารณาและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเร่งด่วน การผลิตกะทะล้อเหล็กเป็นหนึ่งในกระบวนการอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานและวัตถุดิบจำนวนมาก กระบวนการนี้มีการปล่อยคาร์บอนในหลายขั้นตอน ด้วยเหตุนี้การประเมินคาร์บอนของกระบวนการผลิตจึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถระบุจุดที่ควรปรับปรุงเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และนำไปสู่กระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น นอกจากนั้นการผลิตและส่งออกสินค้ากลุ่มโลหะจะถูกควบคุมโดยกำแพงภาษีคาร์บอนที่จะเกิดขึ้นโดย CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism) ซึ่งเป็นมาตรการที่กำหนดให้สินค้านำเข้าจากประเทศนอกสหภาพยุโรปต้องผ่านการตรวจสอบและชำระค่าปรับคาร์บอน หากสินค้าดังกล่าวมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดโดยสหภาพยุโรป (EU) และผลิตภัณฑ์กะทะล้อยังเป็นซัพพลายเชนที่สำคัญให้กับกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์อื่น ๆ ด้วย

จากปัญหาดังกล่าวการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินคาร์บอนผลิตภัณฑ์ (product carbon footprint assessment) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้วัดและประเมินผลกระทบของผลิตภัณฑ์ต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของอุตสาหกรรมการผลิตล้อรถยนต์หรือกะทะล้อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นิ้ว มีกำลังการผลิตเฉลี่ย 3,000,000 อันต่อปี เพื่อจำหน่ายภายในประเทศและส่งออกไปต่างประเทศ ในการศึกษาจะพิจารณาว่าในกระบวนการผลิตมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากน้อยเพียงใด โดยแสดงผลเป็นปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่ารวมและต่อหน่วยผลผลิต เพื่อใช้เป็นข้อมูลปีฐานข้อมูลเบื้องต้นของการผลิตและเป็นแนวทางให้สถานประกอบการนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิต หรือออกแบบการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมได้เพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในศึกษาอาศัยข้อมูลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ที่แสดงใน [1] และที่ผ่านมามีการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมน้ำตาล [2] ผลิตภัณฑ์นักเก็ตไก่ [3] ซึ่งใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการศึกษานี้ เพราะในอุตสาหกรรมโลหะหนักยังมีข้อมูลไม่มากนัก

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตกระทะล้อเหล็ก เพื่อเป็นข้อมูลในการบริหารจัดการทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพและประหยัดรวมถึงช่วยในการกำหนด carbon Intensity ให้กับผลิตภัณฑ์

วิธีการวิจัย

การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของผลิตภัณฑ์เริ่มจากการ จัดทำข้อมูลบัญชีรายการนั่นคือการเก็บข้อมูลรายการวัตถุดิบ พลังงาน ทรัพยากรและปัจจัยการผลิต ของเสียที่เกิดจากการผลิตกะทะล้อเหล็ก โดยพิจารณาเฉพาะในส่วนของกระบวนนำเข้าวัตถุดิบและการผลิตและเป็นการคำนวณแบบ Business-To-Business Product (B2B) เมื่อกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาแล้วจึงทำการวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมเพื่อแสดงชนิดและปริมาณของ สารขาเข้า (input) และสารขาออก (0utput) ของกระบวนการผลิตได้แก่ปริมาณการใช้พลังงาน ทรัพยากรและของเสียที่ถ่ายเทออกจากกระบวนการผลิตตามแผนผังที่แสดงอยู่ในภาพที่ 1 จากนั้นจึงแปรข้อมูลที่ได้จากการ ใช้ทรัพยากรและมวลสารต่าง ๆ ที่ปลดปล่อยจากกระบวนการผลิตให้อยู่ในรูปของการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) โดยอาศัยข้อมูล Emission Factor (EF) จากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [4] และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลรวมทั้งหาแนวทางในการลดหากสามารถดำเนินการได้ ขั้นตอนของการศึกษามีดังนี้

1. กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดรูปแบบการศึกษาเป็นแบบ Gate-To-Gate (G2G) หรือ Partial LCA
2. จัดทำบัญชีรายการโดยการเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตเช่น วัตถุดิบ ทรัพยากร พลังงานที่ใช้ ฯลฯ วิเคราะห์และรวบรวมบัญชีชนิดและปริมาณสารขาเข้า-สารขาออก ของแต่ละกิจกรรม
3. ทำการประเมินผลกระทบโดยแปลงข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิของแต่ละกระบวนการให้อยู่ในรูปของปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า
4. เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ในขั้นตอนการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกสุทธิที่ปล่อยออกมาตลอดกระบวนการผลิตนั้นรวมทั้งสารขาเข้าและสารขาออกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) ดังนี้

$$GHGs = \sum_{i=1}^{n}(Q_i \times EF_i) \qquad (1)$$

เมื่อ *GHGs* (Greenhouse gas) คือปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ปล่อยออกมาระหว่างกระบวน การผลิตที่พิจารณา (kgCO_2eq), *Q* คือปริมาณสารที่ปันส่วนต่อหน่วยวัตถุดิบหรือทรัพยากรที่ใช้ (kg), *EF* คือ Emission Factor ของวัตถุดิบหรือทรัพยากรที่ใช้ (kgCO_2eq/หน่วย), ***i*** คือจำนวนข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออก

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ประเมินจากสมการที่ (2) ดังนี้

$$Electrical\ Energy = power \times Op.hr \times eff. \times LF. \qquad (2)$$

เมื่อ *Electrical Energy* คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh), *power* คือกำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ในเครื่องจักรต่าง ๆ แต่ไม่รวมส่วนของห้องเย็นซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนกลาง(kW), *Op.hr* คือชั่วโมงใช้งานเครื่องจักรในกรบวนการผลิต (hr.), *eff.* คือค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์สมมติเท่ากับ 80% และ *LF.* คือโหลดแฟคเตอร์ของการใช้งานเฉลี่ย (80%)

ปริมาณก๊าซ LPG ที่ใช้กับหม้อไอน้ำขนาดหำลังการผลิต 3 ตันต่อชั่วโมง ผลิตไอน้ำความดัน 5 bar.g เพื่อนำไอน้ำไปใช้ในกระบวนการล้างเตรียมผิวงานประเมินจากสมการที่ (3)

$$m_f = \frac{m_s \times (h_g - h_f)}{\eta_b \times \text{HHV}} \times Op.hr \qquad (3)$$

เมื่อ m_f คือปริมาณก๊าซ LPG ที่ใช้ในกระบวนการผลิต (kg), m_s คือปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (kg/hr), η_b คือประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสมมติให้เท่ากับ 80 %, h_f คือ เอนทาลปีของน้ำป้อนหม้อไอน้ำอุณหภูมิ 90 °C (kJ/kg), h_g คือ เอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัวความดัน 5 bar.g (kJ/kg), HHV. คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (kJ/kg)

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการเผาไหม้ก๊าซ LPG สำหรับกระบวนการผลิตประเมินจากสมการที่ (4) ดังนี้

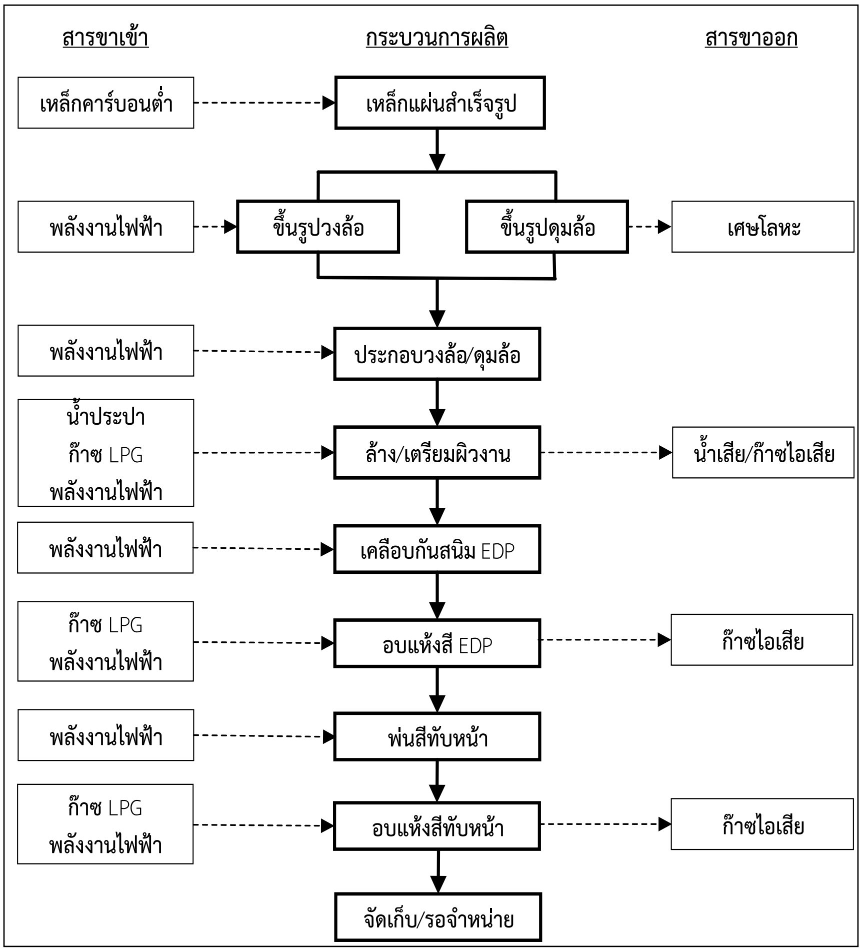
$$Gas\ use\ =\ m_f \times EF. \times GWP \qquad (4)$$

เมื่อ *Gas use* คือปริมาณคาร์บอนไดอ๊อกไซด์เทียบเท่าที่ปล่อยออกจากการใช้ก๊าซ LPG ในกระบวนการผลิต ($kgCO_2eq$), *EF* คือ Emission factor ของก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์, (CO_2) ก๊าซมีเธน, (CH_4) และไนโตรเจนอ๊อกไซด์, (NO_2 kg LPG./kg) GWP (Global Warming Potential) คือศักยภาพในการทำให้เกิดโลกร้อนของก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์,(CO_2) ก๊าซมีเธน,(CH_4) และก๊าซไนโตรเจนอ๊อกไซด์ ,NO_2 ($kgCO_2$/kg)

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตประเมินจากสมการที่ (5) ดังนี้

$$Waste\ water\ =\ V \times BOD. \times MCF. \times GWP. \qquad (5)$$

เมื่อ Waste water คือปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าของน้ำเสีย ($kgCO_2eq$), V คือปริมาณน้ำเสียจากกระบวนการผลิต (liter), BOD (Biochemical oxygen demand) คือปริมาณออกซิเจนในน้ำเสียจากผลน้ำในห้องปฏิบัติการ (mg/liter), MCF. Methane Conversion Factor, ($kgCH_4$ /kg BOD)



ภาพที่ 1 แผนผังกระบวนการผลิตกะทะล้อ

ขั้นตอนในการผลิตกะทะล้อรถยนต์

1. วัตถุดิบซึ่งเป็นแผ่นเหล็กสำเร็จรูปจะถูกนำมาปั๊มขึ้นรูปเป็นดุมล้อและม้วนเป็นวงล้อตามขนาดที่กำหนดโดยเครื่องจักรที่

ใช้ในกระบวนการผลิตมีมอเตอร์ขนาด 55 kW และ 75 kW เป็นต้นกำลัง

2. นำดุมล้อและวงล้อประกอบเข้าด้วยกันโดยการเชื่อมไฟฟ้า (electrical welding) และนำไปล้างทำความสะอาดเพื่อเตรียมพื้นผิว
3. ชุบด้วยสี EDP (electrodeposition paint) เพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากสนิมแบบใช้กระแสไฟฟ้าในการชุบและถูก นำไปอบแห้งในเตาอบที่มีอุณหภูมประมาณ 95 -100 °C โดยใช้ก๊าซ LPG ในการให้ความร้อน
4. พ่นสีทับหน้า (top coat spray) เพื่อเพิ่มความสวยงามให้กับผลิตภัณฑ์และอบแห้งด้วยความร้อนอีกครั้งก่อนเก็บเข้า warehouse เพื่อรอการจัดจำหน่ายต่อไป

ในภาพที่ 1 ซึ่งแสดงแผนผังขั้นตอนการผลิตกะทะล้อเหล็ก รวมทั้งสารขาเข้าที่ใช้ในการผลิตและสารขาออกที่เกิดจากกระบวนการผลิตโดยพิจารณาช่วงเวลาการผลิตในหนึ่งช่วงเวลาหรือ 20 ชั่วโมงต่อวัน

ผลการวิจัย

จากการจัดทำบัญชีรายการวัตถุดิบ รวมทั้งปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตในหนึ่งช่วงเวลาที่พิจารณา สามารถแปลงให้เป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดอ๊อกไซด์เทียบเท่าได้ โดยการนำปริมาณสารดังกล่าวที่บันทึกได้ไปคำนวณกับค่า emission factor ทำให้ได้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในรูปของปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในหน่วย $kgCO_2eq$ ของสารขาเข้าและสารขาออกดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 โดยการคำนวณตามสมการที่ 1-5

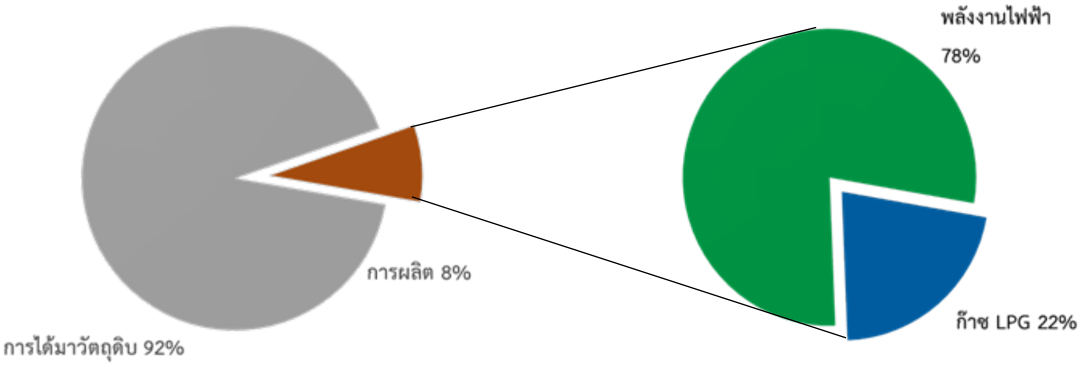
ตารางที่ 1 บัญชีรายการและปริมาณสารขาเข้า

กระบวนการ	**ทรัพยากร**	**ปริมาณ**	Emission Factor [4]	**เทียบเท่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์**
นำเข้าวัตถุดิบ	เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	126,000 kg	1.5143 $kgCO_2eq/kg$	190,801 $kgCO_2eq$
ขึ้นรูปวงล้อ	พลังงานไฟฟ้า	9,100 kWh	0.4999 $kgCO_2eq/kWh$	4,549 $kgCO_2eq$
ขึ้นรูปดุมล้อ	พลังงานไฟฟ้า	7,280 kWh	0.4999 $kgCO_2eq/kWh$	356kg CO_2eq
ประกอบวงล้อ/ดุมล้อ	พลังงานไฟฟ้า	2,600 kWh	0.4999 $kgCO_2eq/kWh$	1,300 $kgCO_2eq$
ล้าง/เตรียมผิวงาน	น้ำประปา	50 m^3	0.7948 $kgCO_2eq/ m^3$	39.74 $kgCO_2eq$
	พลังงานไฟฟ้า	7,800 kWh	0.4999 $kgCO_2eq/kWh$	3,900 $kgCO_2eq$
	ก๊าซ LPG	260 kg	3.1134 $kgCO_2eq/kg$	810 $kgCO_2eq$ (GWP)*
เคลือบสี EDP	พลังงานไฟฟ้า	2,080 kWh	0.4999 $kgCO_2eq/kWh$	1,040 $kgCO_2eq$
อบแห้งสี EDP	พลังงานไฟฟ้า	1,040 kWh	0.4999 $kgCO_2eq/kWh$	520 $kgCO_2eq$
	ก๊าซ LPG	390 kg	3.1134 $kgCO_2eq/kg$	1,215 $kgCO_2eq$ (GWP)*
พ่นสีทับหน้า	พลังงานไฟฟ้า	1,820 kWh	0.4999 $kgCO_2eq/kWh$	910 $kgCO_2eq$
อบแห้งสีทับหน้า	พลังงานไฟฟ้า	1,300 kWh	0.4999 $kgCO_2eq/kWh$	650 $kgCO_2eq$
	ก๊าซ LPG	520 kg	3.1134 $kgCO_2eq/kg$	1,620 $kgCO_2eq$ (GWP)*

(GWP)* รวมค่า Global Warming Potential ของก๊าซตามสมการที่ 4

ตารางที่ 2 บัญชีรายการและปริมาณสารขาออก

กระบวนการ	ทรัพยากร	ปริมาณ	BOD.	MCF.($kgCH_4$/kg BOD)	GWP.	เทียบเท่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์
ล้าง/เตรียมผิวงาน	น้ำเสีย	50 m^3	120 mg/l	0.3	25	45 $kgCO_2eq$



ภาพที่ 2 สัดส่วนปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สรุปผลการวิจัย

ผลการประเมินการปล่อยคาร์บอนของกระบวนการผลิตกะทะล้อ ตั้งแต่ขั้นตอนการนำเข้าวัตถุดิบในขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตในช่วงเวลาที่พิจารณาตามภาพที่ 2 พบว่าเมื่อนำข้อมูลมาเปลี่ยนเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของการผลิตรวมมีค่าเท่ากับ 207,757 $kgCO_2eq$ แบ่งเป็นขั้นตอนการได้มาของวัตถุดิบมีค่า 190,801 $kgCO_2eq$ หรือร้อยละ 92 ส่วนที่เหลืออีก 16,956 $kgCO_2eq$ หรือร้อยละ 8 เป็นการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ของกระบวนการผลิต ซึ่งในส่วนของการผลิตนั้นได้แบ่งการใช้พลังงานออกเป็นสองส่วนหลัก ๆ คือการใช้พลังงานไฟฟ้า 13,225 $kgCO_2eq$ และก๊าซ LPG 3,645 $kgCO_2eq$ ขณะที่มีกำลังการผลิตในช่วงที่พิจารณาเฉลี่ย 11,000 ชิ้น เมื่อเทียบต่อหนึ่งหน่วยผลผลิต (carbon Intensity) จะมีค่าเท่ากับ 18.88 $kgCO_2eq$ ในเบื้องต้นผู้ผลิตอาจใช้ข้อมูลการศึกษานี้เป็นข้อมูลของปีฐานได้เพื่อใช้ในการกำหนดเป้าหมายและแผนของการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ในอนาคต หรือเป็นข้อมูลเพือ benchmark จากแหล่งข้อมูลอื่นต่อไป ในการกำหนดเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละปีอาจกำหนดให้ลดลงร้อยละ 2 เมื่อเทียบกับปีฐาน โดยพิจารณาจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตโดยการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ เช่นการปรับปรุงการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ ปรับปรุงหัวพ่นก๊าซ LPG หรือการลดการสูญเสียความร้อนจากเตาอบและบริเวณช่องเปิดต่าง ๆ รวมถึงได้แนะนำวิธีการปรับตั้งปริมาณก๊าซที่ใช้โดยการสังเกตุสีของเปลวไฟที่จะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์และทำให้การใช้ก๊าซ LPG ลดลง ในส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับระบบผลิตลมอัดสามารถลดการสูญเสียพลังงานโดยการลดลมรั่วในเครื่องจักร หรือการเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงทดแทนของเดิมที่เป็นต้น นอกจากนั้นการนำวัสดุเศษเหล็กผ่านเข้ากระบวนการ recycle ก็เป็นทางเลือกที่ดีเนื่องจากมันสามารถนำกลับไปเป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่มีเกรดคงเดิมได้ ทั้งนี้ควรเริ่มจากมาตรการหรือวิธีการที่มีการลงทุนน้อยก่อนแล้วจึงเพิ่มมาตรการที่ลงทุนมากขึ้นตามลำดับตามเป้าหมายที่ผู้ผลิตต้องการ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท เซ็นทรัล มอเตอร์วีล (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งเป็นสถานที่ในการทำวิจัย ขอบคุณผู้บริหารและพนักงานทุกท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจและคำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด และขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ให้การสนับสนุนทางด้านต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (2566) **สถาบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ** สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. พิมพ์ ครั้งที่ 4, เมษายน 2566

[2] ฉันทนา พันธุ์เหล็กและคณะ. (2558) **คาร์บอนฟุตพริ้นท์เพื่อการวางแผนจัดการด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของอุตสาหรรมน้ำตาล**. สืบค้นเมื่อ 21 ตุลาคม 2563. จาก www.nuir.lib.nu.ac.th.

[3] วันชัย บุญอำไพ และอภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ (2566),การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตนักเก็ตไก่,**การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 23**, วันที่ 9-10 พฤษภาคม 2567 ณ โรงแรม พูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด จังหวัดขอนแก่น

[4] TGO. ค่า Emission Factor แบ่งตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม (2552).: **องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)**. กรุงเทพฯ. สืบค้นเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2563. จาก http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/

[5] ข้อกำหนดและแนวทางการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์, **องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)**, พิมพ์ ครั้งที่ 7, ธันวาคม 2563

การพัฒนาระบบการจัดเก็บข้อมูลก๊าซเรือนกระจกในสถาบันอุดมศึกษา: การปรับปรุงข้อมูลกิจกรรม ปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเทคโนโลยีซอฟต์แวร์

Advancing greenhouse gas inventories for higher education institutions: activity data improvement, emission factors, and software

ปวงวิทย์ สนเลม็ด [1*] ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร [2] สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์ [3] และ สมพร ช่วยอารีย์ [4]

[1*]สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ วิทยาลัยพลังงานละสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา
[2, 3] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา
[4] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินร์ วิทยาเขตปัตตานี
[1*] Smart Energy and Environmental Management,
Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin Salaya.
[2,3] Rajamangala University of Technology Rattanakosin Salaya.
[4] Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University Pattani Campus.

Abstract

The problem of climate change is becoming a severe, dire crisis and has a direct impact on all life on Earth. Educational institutions as educational organizations must carry out the drive to reduce greenhouse gas emissions according to the agenda that Thailand has set for carbon neutrality. or net zero greenhouse gas emissions in 2050 and 2065, respectively. This research was done in the form of innovation development. Under this approach, to study the appropriate format for use as data in developing a prototype software for storing basic information on activities that cause greenhouse gases. Focus on collecting data on 5 main resources: water, energy including electricity and fuel, paper, and waste sent to landfill. Can be used as a database and analyze preliminary greenhouse gas data. The development of this software will be used through a program written to work on a Web Application using Emission Factor data from the Greenhouse Gas Management Organization from 2021 - 2024. Set up the system and information on the use of resources Academic Resources Office Prince of Songkla University Pattani Campus it is usability testing data. By displaying results in the form of a summary message through. A screen that summarizes all information in Dashboard for easier communication and understanding. Shows gas emissions separated by scope. This development will serve as a guideline for collecting data and improving it for use in the service of government agencies. and continue to the future, use in the green office evaluation system.

Keywords: Climate Change, Emission Factor, Web Application, Dashboard, Green Office

บทคัดย่อ

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) กำลังเป็นวิกฤตการณ์ที่มีความรุนแรง เลวร้าย และมีผลกระทบโดยตรงต่อทุกชีวิตบนโลก สถาบันการศึกษาในฐานะเป็นองค์กรด้านการศึกษาที่จะต้องดำเนินการขับเคลื่อนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามวาระที่ประเทศไทยได้กำหนดไว้ที่ ความเป็นกลางทางคาร์บอน หรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ในปี พ.ศ. 2593 และ 2608 ตามลำดับ งานวิจัยนี้ได้ทำในรูปแบบการพัฒนานวัตกรรม ภายใต้แนวทางดังกล่าวเพื่อศึกษารูปแบบที่เหมาะสมสำหรับเป็นข้อมูลในการพัฒนาซอฟต์แวร์ต้นแบบการจัดเก็บข้อมูลพื้นฐานกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก เน้นการเก็บข้อมูลใน 5 ทรัพยากรหลัก คือ น้ำ พลังงานทั้งส่วนของ ไฟฟ้า และเชื้อเพลิง กระดาษ และของเสียประเภทส่งฝังกลบ สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลก๊าซเรือนกระจกเบื้องต้น การพัฒนาซอฟต์แวร์นี้จะเป็นการใช้ผ่านโปรแกรมที่เขียนมาเพื่อทำงานบนเว็บไซต์ (Web Application) ใช้ข้อมูลค่า Emission Factor (EF) ขององค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (อบก.) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 – 2567 การติดตั้งระบบ และข้อมูลการใช้ทรัพยากรของสำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี เป็นข้อมูลทดสอบการใช้งาน โดยแสดงผลในรูปของการสรุปผ่านหน้าจอที่การสรุปข้อมูลทุกอย่างให้อยู่ในหน้าจอเดียว (Dashboard) เพื่อให้สามารถสื่อสารและความเข้าใจที่ง่ายขึ้น แสดงการปล่อยก๊าซแยกตามขอบเขต ซึ่งการพัฒนาครั้งนี้จะได้เป็นแนวทางในการดำเนินการเก็บข้อมูลและปรับปรุงใช้ในเชิงบริการทั้งหน่วยงานรัฐ และเอกชนต่อไปในอนาคต อาทิ การใช้งานในระบบการประเมินสำนักงานสีเขียว (Green Office) เป็นต้น

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โปรแกรมที่เขียนมาเพื่อทำงานบนเว็บไซต์ หน้าจอที่สรุปข้อมูลทุกอย่างให้อยู่ในหน้าจอเดียว

บทนำ

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) กำลังเป็นวิกฤตการณ์ที่มีความรุนแรง เลวร้าย และมีผลกระทบโดยตรงต่อทุกชีวิตบนโลก ต้องยอมรับว่าเวลานี้โลกกำลังเผชิญความ “แปรปรวน” จากเหตุภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นซ้ำแล้วซ้ำเล่าสาเหตุหลักมาจาก “ภาวะโลกเดือด (Global Boiling)” ซึ่งคือ ภาวะที่โลกกำลังเผชิญกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างรุนแรง หรืออาจจะกล่าวได้ว่ามนุษย์กำลังเข้าสู่ช่วงของยุคที่ร้อนขึ้นจนเป็นสถิติ ซึ่งแปลได้ว่าโลกกำลังร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว จุดเริ่มสำคัญมาจากฝีมือมนุษย์ในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หมุดหมายสำคัญคือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต้องเป็นกลางภายในปี พ.ศ. 2593 และต้องลดให้ได้ครึ่งหนึ่งก่อนภายในปี พ.ศ. 2573 เพื่อควบคุมไม่ให้อุณหภูมิโลกร้อนเฉลี่ยไม่ให้เกิน 1.5 องศาเซลเซียส

ปัจจุบันและแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในอนาคต การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจะเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องตระหนักเห็นคุณค่าในการดูแลรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพราะสิ่งเหล่านี้มีผลโดยตรงต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต สถาบันการศึกษาในระดับอุดมศึกษา เป็นหน่วยงานสำคัญในการสร้าง การพัฒนา บุคลากรของประเทศ และยังเป็นหน่วยงานสำคัญในการผลิตบัณฑิตแห่งการเรียนรู้ ความคิดสร้างสรรค์ เป็นนักปฏิบัติ อีกทั้งเป็นคลื่นลูกใหม่ที่สามารถเป็นแรงผลักดันให้ผู้คนสนใจและเข้าร่วมการดูแลรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พัฒนาเทคโนโลยีใหม่ด้วยการศึกษาพัฒนาการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการตอบสนองการพัฒนาประสิทธิภาพการเรียนรู้ สถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษา ต้องขับเคลื่อนในแนวทางของประเทศและโลก การจัดทำระบบข้อมูลก๊าซเรือนกระจก เพื่อเป็นข้อมูลขั้นต้นสำหรับสถานศึกษาน่าจะเป็นประโยชน์ขั้นต้นโดยเฉพาะในแนวทางของ

สถาบันการศึกษาต่างๆ ที่ต้องปรับตัวเข้าสู่ มหาวิทยาลัยที่มุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (A university aiming for carbon neutrality)

เพื่อให้การดำเนินการด้านการจัดเก็บข้อมูลก๊าซเรือนกระจกของสถาบันการศึกษาหรือองค์กรที่สนใจบรรลุผลได้นั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนา Web Application เพื่อการคำนวณ เก็บข้อมูล และรายงานผลก๊าซเรือนกระจก ในทรัพยากรสำคัญ อาทิ น้ำประปา ไฟฟ้า เชื้อเพลิง สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการเตรียมความพร้อมสำหรับ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ส่งเสริมการมีส่วนร่วม มีเจตคติที่ดีในการดูแลรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม รวมถึงการสร้างความร่วมมือในระดับสถานศึกษา ต่อการพัฒนากลไกด้านความเป็นกลางทางคาร์บอน ที่มีประสิทธิภาพ สามารถดำเนินชีวิตที่เหมาะสมนำไปสู่กระบวนการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไปในอนาคต

วิธีการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาซอฟต์แวร์ ที่เกี่ยวข้องกับการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบที่เหมาะสม รวมถึงการนำค่า Emission Factor ก๊าซเรือนกระจกที่น่าเชื่อถือ สามารถอ้างอิงได้มาเป็นฐานข้อมูล โดยสืบค้นจากงานวิทยานิพนธ์ ผลงานตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติและนานาชาติ ดำเนินการสืบค้นจากเว็บไซต์หน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง เช่น องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม

1. การกำหนดขอบเขตองค์กร

งานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตองค์กร ขอบเขตการประเมินแบบ Operational Control ควบคู่กับขอบเขตองค์กรตามแนวทาง TGO Guideline การดำเนินการครั้งนี้ ข้อมูลเซิร์ฟเวอร์และทรัพยากรเพื่อใช้ทดสอบ ได้รับการอนุเคราะห์และสนับสนุนจาก สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยสวขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี จังหวัดปัตตานี โดยข้อมูลด้านทรัพยากรแยกตามขอบเขต (Scope) 1 – 3

ขอบเขตที่ 1 (Scope I) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง หมายถึง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในขอบเขตองค์กรของตนเอง การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง การใช้สารดับเพลิงประเภท CO_2

ขอบเขตที่ 2 (Scope II) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม หมายถึง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมใดๆ ภายในองค์กรมีการใช้พลังงานจากแหล่งผลิตอื่นๆ นอกขอบเขตองค์กรของตนเอง เช่น การรับซื้อพลังงานไฟฟ้า ไอน้ำ และความร้อน น้ำประปา (การประปานครหลวง)

ขอบเขตที่ 3 (Scope III) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ หมายถึง การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากกิจกรรมอื่นๆ นอกเหนือจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงและทางอ้อมจากการใช้พลังงาน เช่น การใช้กระดาษ การส่งของเสียออกไปกำจัดนอกองค์กร น้ำประปา (การประปาส่วนภูมิภาค) เป็นต้น

2. การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมที่เกิดขึ้น จะดำเนินการตามสมการที่ 1 โดยรูปแบบการเก็บผลการประเมินจะดำเนินการบนโปรแกรมที่พัฒนาบน Web Application: GHG Database System โดยออกแบบที่รองรับการคำนวณ และแสดงผลทั้งค่าการปล่อย CO_2 ผลรวมแต่ละขอบเขตกิจกรรม แสดงการเปรียบเทียบรายปีย้อนหลังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 – 2567 อ้างอิงสูตรการคำนวณ (สมการที่ 1) คือ

การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก = ข้อมูลกิจกรรม x ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (1)

(GHG Emission) (Activity Data) (Emission factor)

Activity Data (AD) คือ ข้อมูลกิจกรรม เช่น ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) เชื้อเพลิง (litre) ปริมาณการใช้กระดาษ (kg) เป็นต้น

Emission factor (EF) คือ ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรม อ้างอิงตาม The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) หรือองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO) หรือหน่วยงานอื่นๆ ที่มีความน่าเชื่อถือ

3. ศึกษา วิเคราะห์ ออกแบบระบบฐานข้อมูลก๊าซเรือนกระจก โดยทำการศึกษา รวบรวมข้อมูล ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทต่างๆ จากแหล่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ โดยอ้างอิงวิธีการคำนวณตามแนวทางที่องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ให้การยอมรับ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และออกแบบเพื่อหารูปแบบเกี่ยวกับสารสนเทศให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ โดยใช้หลักการตามวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) แสดงดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 System Development Life Cycle: SDLC

4. ทำการพัฒนาระบบฐานข้อมูลและระบบสารสนเทศก๊าซเรือนกระจก โดยนำระบบที่ได้วิเคราะห์และออกแบบมาทำการพัฒนาโปรแกรมในรูปแบบของ Web Application เพื่อใช้เผยแพร่ข้อมูลผ่านทางอินเตอร์เน็ต โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็นส่วนหลักๆ ได้ 2 ส่วน ดังนี้

4.1 Front End เป็นส่วนที่แสดงผลข้อมูลที่เกี่ยวกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้กับผู้ใช้งาน

4.2 Back End เป็นส่วนที่ใช้ในการบริหารจัดการเนื้อหาข้อมูล โครงสร้างเว็บไซต์ ส่วนนี้ใช้สำหรับผู้ดูแลระบบ

4.3 การติดตั้งโปรแกรม ทดสอบระบบโดยมีการนำเข้าข้อมูลก๊าซเรือนกระจกจริงที่เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการทดสอบระบบการสืบค้นฐานข้อมูล

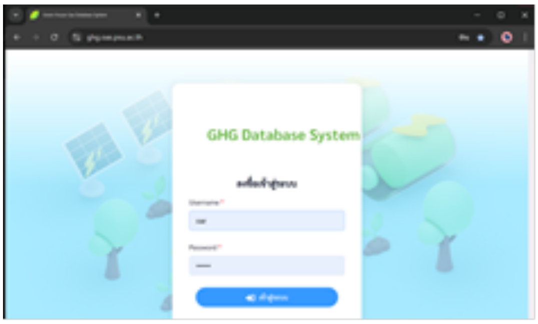
4.4 การเผยแพร่ข้อมูล การแสดงผล และทดสอบการทำงานระยะแรกจะกำหนดผู้ใช้งานระบบ ผ่าน https://ghg.oas.psu.ac.th/

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยสามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ต้นแบบบน Web Application ชื่อ “GHG Database System” โดยออกแบบระบบฐานข้อมูลให้สอดคล้องกับการคำนวณ การเก็บข้อมูลก๊าซเรือนกระจกแบบรายปี ใช้ข้อมูลย้อนหลัง ปี 2564 – 2567 (ก.ค.67) โครงสร้างข้อมูลแบบ อาร์โมเดล (Entity Relationship Model: ER Model) แสดงดังภาพที่ 2

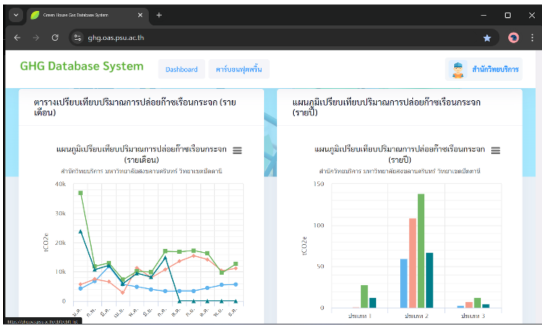
ภาพที่ 2 การแนวคิดการออกแบบระบบระบบ

โปรแกรมออกแบบพัฒนาให้ทำงานบน Web Application สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการคำนวณ การจัดเก็บ การตรวจสอบ และติดตามผล การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉพาะประเภท คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนเฉพาะในส่วนการทิ้งของเสียชนิดฝังกลบ เท่านั้น การแบ่งการเก็บข้อมูลทำใน 3 ขอบเขต (Scope 1 – 3) แยกผลแต่ละปี แต่ละขอบเขต มีการเปรียบเทียบข้อมูลเป็นร้อยละอย่างชัดเจนครบถ้วน โดยใช้ค่า Emission Factor (EF) ย้อนหลังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2564 – 2567 (ปี 67 การบันทึกข้อมูลถึงเดือน ก.ค.67) รูปแบบการใช้งานจะมีการกำหนดสร้างหน่วยงานผู้ใช้งานขั้นตอนการใช้งานและส่วนผู้ดูแลที่ชัดเจนเพื่อจะกำหนด username และ password ให้ผู้ใช้งานอีกครั้งหนึ่ง แสดงดังภาพที่ 3



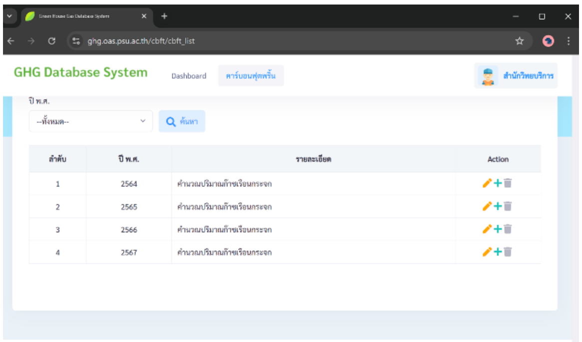
ภาพที่ 3 แสดงการเข้าใช้งาน

โปรแกรมบน Web Application สามารถแสดงผลในรูปแบบ Dashboard มีการแสดงผลเป็นแผนภูมิเปรียบเทียบรายปี เทียบข้อมูลการเพิ่ม - ลด รายปี งานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลทรัพยากรด้านต่างๆ จากหน่วยงาน สำนักวิทยบริการ มอ. วิทยาเขตปัตตานี โดยย้อนหลังเพื่อให้มีการแสดงผลที่ง่ายต่อการใช้งาน โดยค่า EF ในแต่ละปีจะอ้างอิงจาก อบก. โดยกำหนดค่าเป็นค่าเฉพาะในแต่ละปี เพื่อไม่ให้กระทบค่าเดิมในปีที่ผ่านมา แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การแสดงผลแบบ Dashboard

การบันทึกข้อมูลการใช้ทรัพยากรจะมีการจำแนกรายปี รายขอบเขต และรายกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน(ในส่วนการฝังกลบ) ทั้ง 3 ขอบเขต เพื่อให้ผู้ใช้งานจะได้สะดวกต่อการลงข้อมูล และการแสดงผลที่จะมีความชัดเจน มีรูปแบบที่ง่ายต่อการนำไปใช้งาน เช่นการกำหนดแนวทางลดการปล่อย หรือชดเชยต่อไปแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การบันทึกข้อมูลรายปี

การประเมินผลการใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นบน Web Application มีประสิทธิภาพในด้านการใช้งาน และการออกแบบสามารถทำงานได้ตามกรอบการทำงานที่กำหนดไว้ จากการประเมินผลของผู้ทดสอบการใช้งานจำนวน 5 ราย ผู้วิจัยประเมินจากผู้ทดลองใช้ของสำนักวิทยบริการ มอ. วิทยาเขตปัตตานี และบุคลากรภายนอก ที่ทดลองใช้งาน ผลด้านการทำงานมีความสามารถใช้งานได้สะดวกเข้าใจง่าย การแสดงผลทำได้ครบถ้วนไม่ซับซ้อน ผลอยู่ในระดับ ดีมาก ด้านความถูกต้องในการทำงานเป็นไปตามการทดลองใช้งานอยู่ในระดับ ดีมาก ด้านการรักษาความปลอดภัยออกแบบให้มีผู้ดูแลทำให้ควบคุมการใช้งานอยู่ในระดับ ดีมาก ด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับที่น่าพอใจภาพรวมอยู่ในระดับ ดีมาก (ระหว่างร้อยละ 80 – 89) คู่มือการใช้งานอยู่ในในช่วงการจัดทำให้สอดคล้องกับการใช้งาน รวมถึงการใช้งานในการเก็บข้อมูลอื่นๆ อาทิ สำนักงานสีเขียว (Green Office) และเตรียมนำไปใช้งานกับทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลยา ต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากกระบวนการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบฐานข้อมูลแบบ อีอาร์โมเดล มีกระบวนการทำงานที่ไม่ได้มีความซับซ้อน มีหลักการตายตัวว่าจะต้องทำอะไรก่อนหรือหลัง ทำให้การประยุกต์ใช้เทคนิคต่างๆ สะดวก เข้าใจได้ไม่ยาก มีแพลตฟอร์มอย่างเช่น Scanbook ที่สามารถนำมาปรับใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ เกิดความสอดคลองกัน สามารถสนับสนุน

กระบวนการพัฒนาซอฟต์แวร์ อีกทั้งรูปแบบการพัฒนาบน Web Application ยังสะดวกต่อผู้พัฒนาและผู้ใช้งานอีกด้วย การประเมินผลการใช้งานจากกลุ่มทดสอบ มีผลการประเมินโดยรมในระดัยดีมาก (ร้อยละ 80 -89) ในส่วนการทดลองนี้ได้พัฒนาโดยใช้รูปแบบและข้อมูลพื้นฐานที่มีแหล่งอ้างอิงเป็นที่ยอมรับ ทำให้โปรแกรมสามารถทำงานตามที่กำหนดไว้ได้ครบถ้วน สามารถนำข้อมูลที่ได้เป็นฐานในการจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละองค์กรได้ระดับหนึ่งโดยเฉพาะทรัพยากรสำคัญหลักๆ ไม่ว่าจะเป็นน้ำ ไฟฟ้า เชื้อเพลิง กระดาษ ของเสียฝังกลบ ทำให้กระบวนการขับเคลื่อนเรื่องความเป็นกลางทางคาร์บอน น่าจะมีแนวทางที่ชัดเจนขึ้นในแต่ละองค์กรทั้งนี้ส่วนสำคัญคือ การเริ่มหาเครื่องนี้ในการจัดการเรื่องการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างจริงจังต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร ช่วยอารีย์ ผู้อำนวยการสำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการให้คำปรึกษา ช่วยดำเนินงานวิจัย ตลอดจนได้ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ อันเป็นประโยชน์ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ชิดชนก โชคสุชาติ, ไกรศรี ไกรฤกษ์, ระบบจัดการข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสำนักทรัพยากร การเรียนรู้คุณหญิงหลงสุนทร อรรถกระวี ตามเกณฑ์มาตรฐานสำนักงานสีเขียว

[2] นพดล กรประเสริฐ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปรเมศวร์ เหลือเทพ, ธเนศ เสถียรนาม, การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อประเมินโครงการ

[3] Awanthi, M. G. G., & Navaratne, C. M. (2018). Carbon footprint of an organization: A tool for monitoring impacts on global warming. Procedia engineering, 212, 729-735.

[4] Baiping Chen, Lars Fæste, Rune Jacobsen, Ming Teck Kong, Dylan Lu, and Thomas Palme. (2020). How China Can Achieve Carbon Neutrality by 2060. Available: (Online)

[5] ข้อมูล Emission Factor องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจกปี พ.ศ. 2564 – 2567

ออกแบบและแปรสภาพวัสดุชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้

Design and transformation of biomass materials into biodegradable mulch products

ลักขณา พันธุ์แสนศรี[1], ทิพารัตน์ สหตรงจิตร[1] และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี[1,2*]
Lukkhana Punsaensri[1], Tiparad Sahatrongjit[1],and Tammasak Punsaensri[1,2*]

[1]มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่
[2]ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมพลังงาน สิ่งแวดล้อม และภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
[1]Maejo University Phrae Campus, Phrae
[2] Excellence center of energy environment and smog disaster problem, Maejo University, Chiang Mai

Corresponding author: Tel.: 092 541 4498. E-mail address: tammasak@mju.ac.th

Abstract

The objective of this research is to design and the transformation of biomass materials into biodegradable mulch products. It will study mold, mulch design, material mixing ratio, physical and mechanical properties, and economic worthiness.

From the test of mulch sheets, it was found that the physical properties of mulch sheets in the ratio of 7:5:1 (biomass: cassava starch: rubber) will have a slower deterioration rate than mulch sheets in the ratio of 7:5 (biomass: cassava starch). This can be considered from the swelling according to the thickness of the mulch sheet. Mulch sheets in the ratio of 7:5 is brittle and easily broken. As for the mechanical properties, it was found that mulch sheets in the ratio of 7:5:1 can withstand more pressure and are more flexible than mulch sheets in the ratio of 7:5. As for the deterioration of the mulch sheet, it was found that mulch sheets in the ratio of 7:5 can be used for no more than 35 days before deteriorating, but mulch sheets in the ratio of 7:5:1 can be used for more than 40 days. Mulch sheets made from biomass materials have a unit cost of 9.53 baht per square meter, which is still more expensive than plastic mulch sheets generally available in the market. But if the mulch sheets made from biomass materials are used in agriculture, it can reduce PM 2.5 emissions by 26.71 kg/year and carbon dioxide emissions by 2.52 ton/year.

Key words: Biomass, mulching, Extrusion machine

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและแปรสภาพวัสดุชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้ โดยจะศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบแม่พิมพ์ ออกแบบแผ่นคลุมดิน อัตราส่วนผสมของวัสดุ คุณสมบัติเชิงกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากการทดสอบแผ่นคลุมดิน พบว่า คุณสมบติเชิงกายภาพของแผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5:1 (วัสดุชีวมวล:แป้งมัน:น้ำยางพารา) จะมีอัตราการเสื่อมสภาพที่ช้ากว่าแผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5 (วัสดุชีวมวล:แป้งมัน) พิจารณาได้จากการพองตัวตามความหนาของแผ่นคลุมดิน แผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5 มีความเปราะแตกหักได้ง่าย ส่วนคุณสมบติเชิงกล พบว่า แผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5:1 สามารถรับแรงกดและมีความยืดหยุ่นมากกว่าแผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5 และการเสื่อมภาพของแผ่นคลุมดิน พบว่า แผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5 สามารถใช้งานได้ไม่เกิน 35 วัน ก็เสื่อมภาพ แต่แผ่นคลุมดินในอัตราส่วน 7:5:1 สามารถใช้งานได้เกิน 40 วัน แผ่นคลุมดินจากวัสดุชีวมวลมีต้นทุนต่อหน่วยเท่ากับ 9.53 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งยังมีราคาที่แพงกว่าพลาสติกคลุมดินที่มีจำหน่ายทั่วไปในตลาด แต่หากนำแผ่นคลุมดินที่ผลิตจากวัสดุชีวมวลมาใช้ในการเกษตร จะสามารถลดการปล่อย PM2.5 ได้ 26.71 กิโลกรัมต่อปี และลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 2.52 ตันต่อปี

คำสำคัญ : ชีวมวล แผ่นคลุมดิน เครื่องอัดขึ้นรูป

การทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดผสมเศษเส้นใยสับปะรด
Testing of mechanical and physical properties of fiber cement boards mixed with pineapple fiber scraps

เกียรติศักดิ์ คงเขียว[1] อภิเสฏฐ์ สุวรรณสะอาด[2,*] และ มณีรัตน์ เข็มขาว[1,*]
Keattisak Kongkeawand[1], Apised Suwansaard[2,*], and Maneerat Khemkhao[1,*]

[1]วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170
[1]Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170
[2]Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170
*Corresponding author: maneerat.khe@rmutr.ac.th, apised.suw@rmutr.ac.th

Abstract

This research examined the mechanical and physical properties of a fiber cement board mixed with pineapple fiber scraps derived from agricultural waste. The pineapple fiber craps were mixed with cement in ratios of 60:40, 70:30, and 80:20. When the fiber board cement specimens were cured for 28 days, their mechanical and physical properties were tested according to the Thai Industrial Standard (TIS) 878-2537. The mixture ratio of 80:20 demonstrated a modulus of rupture of 17.44 MPa and a modulus of elasticity of 3,049.17 MPa. The water absorption was 13.19%, and the density was 1.287 g/cm^3, meeting the criteria of the industrial standard. The thickness swelling was found to be the lowest, at 4. The testing results of mechanical and physical properties indicate that the fiber cement board mixed with pineapple fiber at an 80:20 ratio is the most appropriate.

Keywords: Agricultural waste, pineapple fiber scraps, fiber cement board, physical property, chemical property

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดผสมเศษเส้นใยสับปะรดจากของเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยใบสัปปะรดที่ร้อยละ 60:40 70:30 และ 80:20 เมื่อตัวอย่างไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดมีอายุการบ่มครบ 28 วัน ทำการทดสอบสมสมบัติทางกลและทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 878-2537 ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนผสมที่ร้อยละ 80:20 ให้ค่าโมดูลัสแตกหักเป็น 17.44 เมกะปาสคาล ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเป็น 9.17 เมกะปาสคาล มีค่าการดูดซึมร้อยละ 13.19 และค่าความหนาแน่น

เท่ากับ 1.28 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และการพองตัวมีค่าน้อยที่สุดร้อยละ 4.84 ผลการทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพระบุว่า แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมกับเส้นใยสับปะรดในอัตราส่วน 80:20 เหมาะสมที่สุด

คำสำคัญ: ของเหลือทิ้งทางการเกษตร เศษเส้นใยสับปะรด ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล

บทนำ

สับปะรดเป็นผลผลิตที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากทั้งทางด้านอุตสาหกรรมแปรรูปและการส่งออก ซึ่งในประเทศไทยมีปริมาณผลผลิตสับปะรดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.7-2.0 ล้านตันต่อปี ดังตารางที่ 1-1 และมีปริมาณการส่งออกอยู่ที่ 5.0-7.0 แสนตันต่อปี ดังตารางที่ 1-2 โดยแบ่งเป็นสับปะรดกระป๋องประมาณ 4.0-5.0 แสนตันต่อปี และน้ำสับปะรดประมาณ 0.8-1.2 แสนตันต่อปี ปัจจุบันแหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญของประเทศไทยยังคงอยู่ทางภาคกลางตอนล่าง โดยเฉพาะพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์และจังหวัดเพชรบุรี โดยจะเห็นได้ว่าสับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทำรายได้เข้าประเทศไทยในจำนวนมหาศาล มีการผลิตและส่งออกเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศไทย เนื่องด้วยความต้องการของตลาดที่สูงทั้งในประเทศและต่างประเทศอีกทั้งยังมีเกษตรกรที่หันมาปลูกพืชชนิดนี้เป็นจำนวนมากและมีแนวโน้มที่จะมากขึ้นทุกปี ดังนั้นจึงทำให้เกิดโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตซึ่งส่งผลให้เกิดปริมาณขยะจากของเหลือทิ้งทางการเกษตร คือเศษใบสับปะรดที่เหลือใช้ ดังภาพที่ 1 ที่ทำให้เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมเพราะปัจจุบันมีการเผาขยะจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก จึงเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกจากการเผาขยะ และอาจทำให้มีผลกระทบต่อชุมชนและสังคมตามมาได้ ดังนั้นทุกกลุ่มทุกฝ่ายจึงต้องหาแนวทางเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ให้ควบคู่ไปพร้อมกับการรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม โดยการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากการพัฒนาอุตสาหกรรม

ด้วยเหตุนี้จึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการคิดค้นนวัตกรรม เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสิ่งที่เหลือใช้จากของเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งการผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด [1] ดังภาพที่ 2 ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ดี เพราะสามารถนำเศษเส้นใยสับปะรดที่เหลือใช้จากการเกษตร มาผลิตเป็นแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดได้ [2] ซึ่งแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดตามท้องตลาดนั้นจะมีส่วนผสมของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [3] และเส้นใยเซลลูโลสจากต้นไม้ ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์โดยใช้อัตราส่วนผสมเศษเส้นใยสับปะรดที่เหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อนำไปทดแทนเส้นใยเซลลูโลสจากต้นไม้ได้ [4] เนื่องจากในเศษเส้นใยสับปะรดนั้นก็มีเซลลูโลสอยู่มากจึงสามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ และแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดยังสามารถนำไปทำเป็นแผ่นพื้น, ผนังแบบเบา และฝ้าเพดานได้ [5] นอกจากนี้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดยังมีคุณสมบัติแข็งและเหนียวอีกทั้งยังนำความร้อนต่ำ และสามารถดัดให้โค้งงอได้ ดังภาพที่ 3 เพราะเส้นใยเซลลูโลสช่วยเสริมความยืดหยุ่นให้กับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด จากคุณสมบัติดังกล่าวแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ในบ้านหรืออาคารที่ต้องการประหยัดพลังงาน

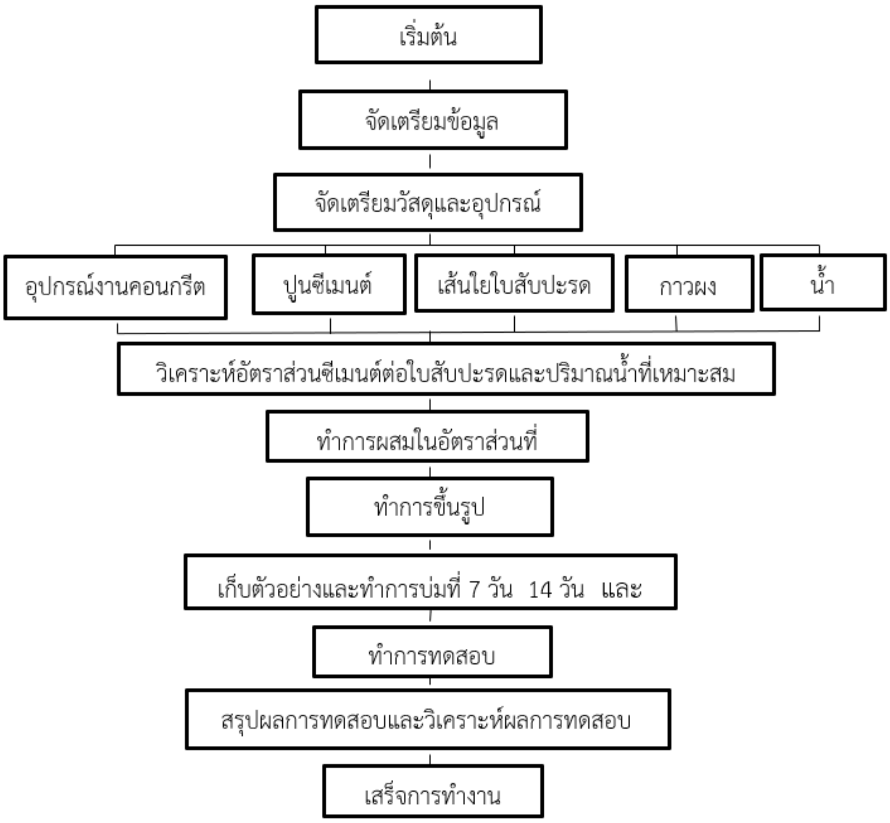
ภาพที่ 1 เศษใบสับปะรดที่เหลือใช้

ภาพที่ 2 แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด

ภาพที่ 3 แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดที่ถูกดัดให้โค้งงอ

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการนำวัสดุธรรมชาติเหลือใช้จากของเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าให้มากขึ้น โดยนำเศษเส้นใยใบสับปะรดที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปเส้นใยสำหรับสิ่งทอมาเป็นส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์บอร์ด ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 878-2537) [6] โดยการแทนอัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยใบสับปะรด ร้อยละ 60:40 70:30 และ 80:20 โดยการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การจัดเตรียมวัสดุ การออกแบบส่วนผสมแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดผสมเศษเส้นใยสับปะรด การทดสอบสมบัติทางกลและทางกายภาพโดยทำการทดสอบโมดูลัสแตกหัก ทดสอบการดูดซึมน้ำ ทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่น การทดสอบการพองตัว และการทดสอบความหนาแน่นโดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงาน ตามภาพที่ 4 ดังนี้



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินวิธีวิจัย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

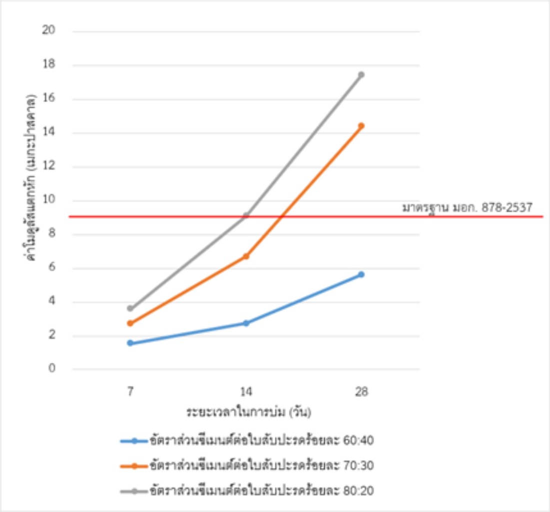
จากที่ได้ทำการทดสอบแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดได้ทำการศึกษาวิธีการขั้นตอนการผลิตและการทดสอบคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางกายภาพ [7-12] โดยทำการทดสอบเพื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ข้อมูลและพิจารณาเปรียบเทียบผลต่าง ๆ ให้สอดคล้องที่จะนำไปใช้งานอย่างถูกต้องและเหมาะสมกับประเภทงานซึ่งรายละเอียดผลการทดสอบมี ดังนี้

1) ผลการทดสอบกำลังต้านทานโมดูลัสแตกหัก

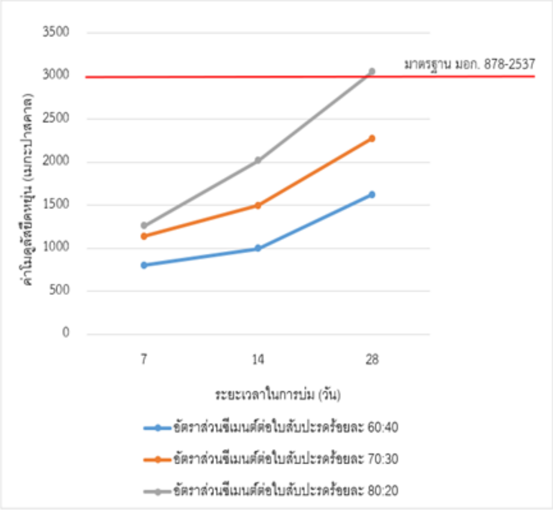
ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสแตกหักของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดใช้ ระยะเวลาในการบ่มที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วันโดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยใบสับปะรดที่ร้อยละ 60:40 70:30 และ 80:20 เมื่อนำมาทดสอบหาค่าโมดูลัสแตกหักของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดพบว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดมีค่าโมดูลัสแตกหักเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างการทดสอบที่ 7วัน และ 14วัน พบว่าค่าโมดูลัสแตกหักมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 3.703 เมกะปาสคาล และเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างการทดสอบที่ 14 วัน และ 28 วันพบว่าค่าโมดูลัสแตกหักมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 6.076 เมกะปาสคาล จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นว่านอกจากปัจจัยด้านอัตราส่วนผสมแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นอีกที่สามารถทำให้มีค่าโมดูลัสแตกหักมากขึ้นนั่นก็คือระยะเวลาในการบ่มเนื่องจากยิ่งบ่มเป็นเวลานาน น้ำและซีเมนต์ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นก็จะส่งผลให้มีกำลังและความแข็งแรงมากขึ้น ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเกิดขึ้นอยู่เรื่อย ๆ จนกว่าความชื้นหรือน้ำจะระเหยออกจากชิ้นตัวอย่างจนหมด ดังภาพที่ 5

2) ผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

ผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดใช้ระยะเวลาในการบ่มที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วันโดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดร้อยละ 60:40 70:30 และ 80:20 เมื่อนำมาทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด พบว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างการทดสอบที่ 7 วัน และ 14 วันพบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 437.98 เมกะปาสคาล และเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างการทดสอบที่ 14 วัน และ 28 วัน พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 812.77 เมกะปาสคาล จากข้อมูลจะเห็นว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นก็มีอัตราที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องมาจากปัจจัยเกี่ยวกับระยะเวลาการบ่ม เพราะเมื่อมีการบ่มนาน ๆ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและส่งผลให้คอนกรีตเริ่มแข็งตัวทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ค่ากำลังต้านทานโมดูลัสแตกหัก



ภาพที่ 6 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

3) ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ

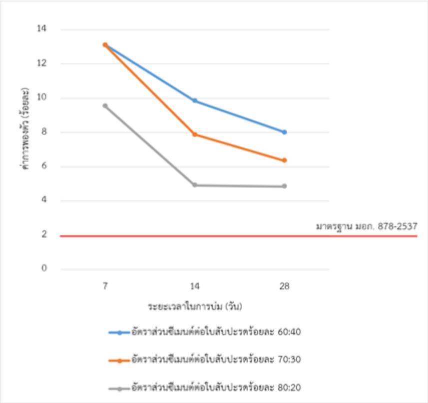
ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดใช้ระยะเวลาในการบ่มที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน โดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดร้อยละ 60:40 70:30และ 80:20 เมื่อนำมาทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด พบว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดมีค่าการดูดซึมน้ำลดลงตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างการทดสอบที่ 7 วัน และ 14 วัน พบว่าค่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลงเฉลี่ยร้อยละ 2.6 และเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างการทดสอบที่14 วัน และ 28 วัน พบว่าการดูดซึมน้ำมีค่าลดลงเฉลี่ยร้อยละ 7.51 เมื่อพิจารณาที่ 28 วัน โดยอัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดร้อยละ 80:20 มีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดร้อยละ 13.19 แสดงให้เห็นว่าในอัตราส่วนที่เศษเส้นใยสับปะรดมีปริมาณน้อยจะทำให้มีการดูดซึมน้ำน้อย ดังภาพที่ 7

4) ผลการทดสอบหาค่าการพองตัว

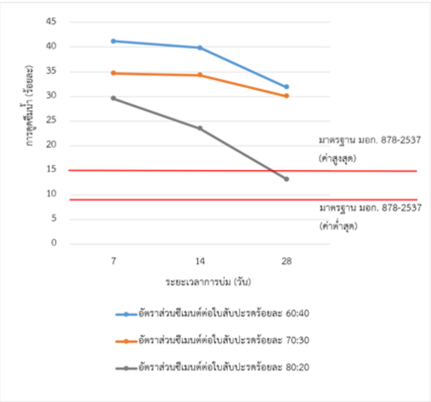
ผลการทดสอบการพองตัวของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดใช้ระยะเวลาในการบ่มที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน โดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดร้อยละ 60:40 70:30 และ 80:20 เมื่อนำมาทดสอบหาค่าการพองตัวของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดพบว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด มีค่าการพองตัวลดลงตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างการทดสอบที่7 วัน และ 14 วันพบว่าค่าการพองตัวมีค่าลดลงเฉลี่ยร้อยละ 4.367 และเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างการทดสอบที่ 14 วันและ 28 วันพบว่าการพองตัวมีค่าลดลงเฉลี่ยร้อยละ 1.14 และเมื่อพิจารณาที่ 28 วัน อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดร้อยละ 80:20 มีการพองตัวน้อยที่สุดร้อยละ 4.84 แสดงให้เห็นว่าในอัตราส่วนที่มีปริมาณเศษเส้นใยสับปะรดมากจะทำให้มีการพองตัวมากไปตามลำดับ ดังภาพที่ 8

5) ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น

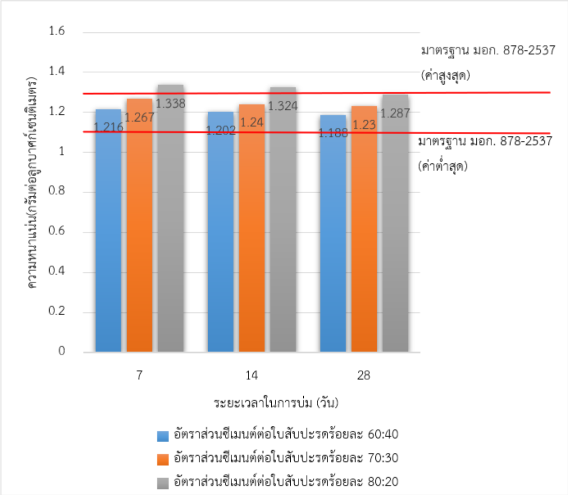
ค่าความหนาแน่นของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดใช้ระยะเวลาในการบ่มที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน โดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดร้อยละ 60:40 70:30 และ 80:20 เมื่อนำมาทดสอบหาค่าความหนาแน่นของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด พบว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดมีความหนาแน่นลดลงตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างการทดสอบที่ 7 วัน และ 14 วัน พบว่าค่าความหนาแน่นมีค่าลดลงเฉลี่ย 0.0183 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างการทดสอบที่ 14 วัน และ 28 วัน พบว่าความหนาแน่นมีค่าลดลงเฉลี่ย0.020 และเมื่อพิจารณาเฉพาะที่ 28 วัน อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดร้อยละ 60:40 มีความหนาแน่นน้อยที่สุดเท่ากับ 1.188 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าในอัตราส่วนที่มีปริมาณเศษเส้นใยสับปะรดมากจะทำให้มีความหนาแน่นน้อยเพราะเศษเส้นใยสับปะรดมีน้ำหนักเบา และเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 878-2537 กำหนดไว้ว่าต้องมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถึง 1.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [13] ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 7 ค่าการดูดซึมน้ำ



ภาพที่ 8 ค่าการพองตัว



ภาพที่ 9 ค่าความหนาแน่น

จากการศึกษาและได้ทำการทดสอบแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดผสมเศษเส้นใยสับปะรดในอัตราส่วนร้อยละ ร้อยละ 60:40 70:30 และ 80:20 พบว่า แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดผสมเศษเส้นใยสับปะรดอัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดร้อยละ 80:20 ในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มีแนวโน้มอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สุด และค่าการแทนที่เส้นใยในปริมาณเหมาะสมอัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดร้อยละ 80:20 มีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดร้อยละ 13.19 แสดงให้เห็นว่าในอัตราส่วนที่เศษเส้นใยสับปะรดมีปริมาณน้อยจะทำให้มีการดูดซึมน้ำน้อย ไม่เกิดการเยิ้มในส่วนผสมทำให้เกิดกำลังสูงขึ้นด้วย

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดผสมเศษเส้นใยสับปะรดในอัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า อัตราส่วนที่ดีที่สุดของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดผสมเศษเส้นใยสับปะรดโดยอัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดร้อยละ 80:20 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าโมดูลัสแตกหัก โมดูลัสยืดหยุ่น การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่น ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนค่าการพองตัวไม่ผ่านเกณฑ์ แต่มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน

สมบัติทางกลของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดผสมเศษเส้นใยสับปะรดที่อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดร้อยละ 80:20 มีสมบัติทางกลที่ดีที่สุดสามารถรับกำลังต้านทานโมดูลัสแตกหักสูงสุดที่ 17.44 เมกะปาสคาล และโมดูลัสยืดหยุ่นสูงสุดที่ 3,049.17 เมกะปาสกาล เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 878-2537 พบว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดผสมเศษเส้นใยสับปะรดอัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดร้อยละ 80:20 ในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มีแนวโน้มอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สุด

อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดร้อยละ 80:20 มีสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุด ให้ค่าดูดซึมน้ำร้อยละ 13.19 การพองตัวร้อยละ 4.84 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดอื่น ๆ พบว่าการดูดซึมน้ำกับค่าการพองตัวมีค่าน้อยที่สุด และน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างที่อัตราส่วนร้อยละ 80:20 เฉลี่ยเท่ากับ 901.33 กรัม และในอัตราส่วนร้อยละ 80:20 มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.287 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 878-2537 ที่กำหนดไว้ว่าค่าความหนาแน่นของชิ้นตัวอย่างต้องอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนซีเมนต์ต่อเศษเส้นใยสับปะรดร้อยละ 80:20 ในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน มีแนวโน้มอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ รวมถึงนักศึกษาและอาจารย์พงศ์ภูมิ ศรชมแก้ว สาขาวิศวกรรมโยธา ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Pavit ization, แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด, ออนไลน์ [11 พฤศจิกายน 2558] สาระสังเขป สืบค้นจาก : http://fibersmartboardscg.blogspot.com/2015/01/what-is-fibercement.html.

[2] Wazzadu.com, คุณสมบัติแผ่นซีเมนต์บอร์ด, ออนไลน์ [13 กรกฎาคม 2017] สาระสังเขป สืบค้นจาก : https://www.wazzadu.com/article/1271.

[3] ทีพีไอ โพลีน, ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, ออนไลน์, สาระสังเขป สืบค้นจาก:http://www.tpipolene.co.th/th/cement-th/structural/item/40-red

[4] ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย, และนันทยา เก่งเขตร์กิจ, ธันวาคม 2557 , "ใบสับปะรด: แหล่งเส้นใยธรรมชาติที่ไม่ควรมองข้าม" ฉบับที่ 2, หน้า 1-9.

[5] ศูนย์พัฒนาโลหะและวัสดุแห่งชาติ, โครงการพัฒนากาวติดไม้, ออนไลน์ [23 สิงหาคม 2550]สาระสังเขป สืบค้นจาก : http://forprod.forest.go.th/forprod/WoodComposite.

[6] กระทรวงอุตสาหกรรม, สิงหาคม , "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 878-2537", สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม

[7] ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์, และคณะ, ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ,คณะวิศวกรรมศาสตร์และการผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2555

[8] ปิยรัตน์ เปาเล้ง, และคณะ, ศึกษาคุณสมบัติทางกลและกายภาพของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยจากขยะกล่องเครื่องดื่ม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2556

[9] สมชาย บุญพิทักษ์, ศึกษาการพัฒนากระดาษเหลือใช้เป็นแผ่นประกอบทดแทนไม้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ออกมาในลักษณะที่เป็นแผ่น, สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547

[10] มนตรี วารุกา, ศึกษาการนำเยื่อกระดาษจากกระดาษใช้แล้วสำหรับการผลิตไฟเบอร์กลาส,สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร, มหาวิทยาลัยมหิดล, 2543

[11] สมชาย อินทะตา, และชนิดา ขันคา, ศึกษาการใช้ฟางข้าวเพื่อผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดฉนวนกันความร้อน, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 2558

[12] สุริยา พรมเลิศ, และพงศกร โสะหาบ, ศึกษาแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดผสมกระดาษเพื่อใช้ในการตกแต่งอาคาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

[13] ASTM. 2003. C29 Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. Philadelphia: ASTM.

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง
Study of physical properties and mechanical properties of particle board from dry leaves

ทักษิณี รักษายศ[1] อานนท์ โอฐธนู[1] และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี[1,2*]
Thaksini Raksayod[1], Arnon Aotthanu[1], and Tammasak Punsaensri[1,2*]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่
[2] ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมพลังงาน สิ่งแวดล้อม และภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
[1]Forest Industry Technology, Maejo University Phrae Campus, Phrae
[2] Excellence center of energy environment and smog disaster problem, Maejo University, Chiang Mai
Corresponding author: Tel.: 092 541 4498. E-mail address: tammasak@mju.ac.th

Abstract

This research aimed to study the physical and mechanical properties of particleboard from dry leaves. The study used a mixing ratio of 10:2 and 10:3 by weight (dry leaves:lac). The compression tests were conducted at two temperatures, 200 and 250 °C, and two compression times, 15 and 20 min., by compressing three particleboard samples. The results of the study found that the compression molding of particleboard from dry leaves at a mixing ratio of 10:3 by weight, using a temperature of 250 °C and a compression time of 20 min. is the optimum condition. It can completely compress particleboard, with physical properties and mechanical properties passing the TIS 876-2547 standard. Making particleboards from dry leaves can help reduce the use of dry teak leaves by 20,000 kg/year, reduce the emission of dust particles (PM 2.5) by 267.1 kg/year, and reduce the emission of carbon dioxide by 24 tons/year.

Keywords: physical properties, mechanical properties, particle board, dry leaves

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง โดยในการศึกษาจะใช้อัตราส่วนผสม 10:2 และ 10:3 โดยน้ำหนัก (ใบไม้แห้ง:ครั่ง) ทำการทดสอบอัดขึ้นภาพที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 200 และ 250 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูป 2 ระดับ คือ 15 และ 20 นาที โดยอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ตัวอย่างละ 3 แผ่น ผลการศึกษา พบว่า การอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งที่อัตราส่วนผสม 10:3 โดยน้ำหนัก ใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูป 20 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสม สามารถอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลได้สมบูรณ์ มีคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 876-2547 และการทำแผ่น

ไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งสามารถช่วยลดการใช้ปริมาณใบสักแห้งได้ 20,000 กิโลกรัมต่อปี ลดการปล่อยฝุ่นละออง (PM 2.5) ได้ 267.1 กิโลกรัมต่อปี และลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 24 ตันต่อปี

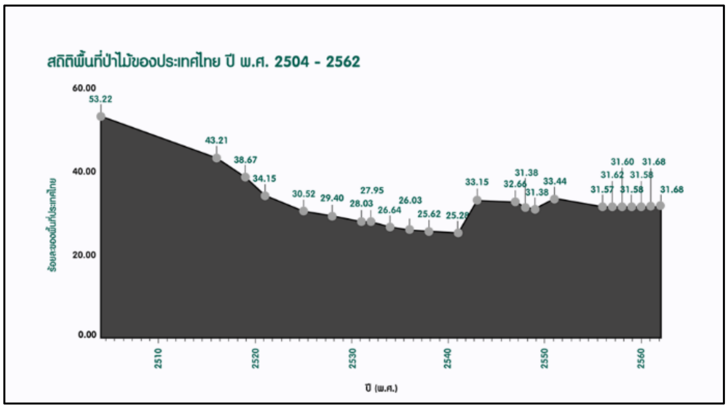
คำสำคัญ: สมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล แผ่นไม้ปาร์ติเกิล ใบไม้แห้ง

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวนมาก ซึ่งประกอบไปด้วยเศษวัสดุจากการทำการเกษตร อาทิเช่น จากการทำไร่ ทำสวน ทำนา และจากการทำปศุสัตว์ โดยใบไม้แห้งก็ถือเป็นเศษวัสดุเหลือใช้จากการทำสวนป่า เช่น ใบสัก ใบยางพลวง ใบยางเหียง เป็นต้น ซึ่งปริมาณใบไม้แห้งเหล่านี้ มีส่วนน้อยที่จะนำกลับมาใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมัก หรือนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ส่วนมากถูกปล่อยทิ้งไว้ตามพื้นที่สวนป่า หรือถูกจัดการด้วยวิธีการเผา ซึ่งการเผาเป็นวิธีที่ง่ายและมีค่าใช้จ่ายน้อย แต่การเผาก็ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เกิดปัญหาหมอกควันพิษ อากาศมีฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM 2.5) มากขึ้น โดยกรมควบคุมมลพิษ (2561) ระบุว่าการเผาในพื้นที่สวนป่าหรือเกษตรก่อให้เกิดฝุ่นละออง PM2.5 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 5 ของปริมาณ PM2.5 ทั้งหมดที่เกิดขึ้น

ภาพที่ 1 ใบไม้แห้งในสวนและการจัดการด้วยการเผา

จากปัญหาพื้นที่ป่าไม้มีสภาพเสื่อมโทรม และมีแนวโน้มลดลงอย่างมาก เนื่องมาจากสาเหตุสำคัญหลายประการ ได้แก่ การลักลอบตัดไม้ทำลายป่า การเผาป่า การบุกรุก ทำลายป่า เพื่อต้องการที่ดินเป็นที่อยู่อาศัย และทำการเกษตร การทำไร่เลื่อนลอยของชาวเขาในพื้นที่ต้นน้ำลำธาร และการใช้ที่ดินเพื่อrการพัฒนาประเทศ การที่พื้นที่ป่าไม้ทั่วประเทศลดลงอย่างมาก ได้ส่งผลกระทบต่อการควบคุมระบบนิเวศโดยส่วนรวมอย่างแจ้งชัด เช่น กรณีเกิดวาตภัย และอุทกภัยครั้งร้ายแรง ทั่วทุกพื้นที่ของประเทศ ปัญหาความแห้งแล้งในภาคต่างๆ ของประเทศ และปัญหาน้ำท่วม ในฤดูฝนอย่างรุนแรง อันก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตผลทางการเกษตร ชีวิต และทรัพย์สิน นอกจากนี้ยังเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านอื่นๆ เช่น การสูญเสียหน้าดิน ทำให้สูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปัญหาการตื้นเขินของแหล่งน้ำ และปัญหาสภาพดินฟ้าอากาศแปรปรวน เป็นต้น [1]



ภาพที่ 2 สถิติพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทย (สำนักจัดการที่ดินป่าไม้, 2565)

ปัญหาดังกล่าว หากสามารถลดปริมาณใบไม้แห้งในพื้นที่ได้และหาวัสดุอื่นที่สามารถนำมาทดแทนไม้ได้ จะสามารถช่วยลดปริมาณใบไม้แห้ง ลดการตัดไม้ ลดการเผาและลดฝุ่นละอองหมอกควันพิษ (PM 2.5) และหากนำใบไม้แห้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เกิดคุณค่าและเพิ่มมูลค่า โดยการนมาอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิลได้ ก็จะช่วยลดการเกิดจากปัญหาไฟป่า และการบุกรุกทำลายป่า ช่วยให้คนในชุมชนมีส่วนร่วมในพื้นที่เพื่อจัดการทรัพยากร แนวทางที่น่าสนใจและนำไปใช้เพื่อแก้ปัญหากล่าวได้ คือ การนำใบไม้แห้งไปอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิล เพื่อใช้ทดแทนไม้ โดยการนำใบไม้แห้งที่ไร้ค่า นำมาแปรสภาพให้กลายเป็นส่วนหนึ่งในแผ่นไม้ปาร์ติเกิล จะสามารถช่วยให้ใบไม้แห้งมีมูลค่า กลายเป็นสินค้ามีราคา และทำให้ชาวบ้านเก็บใบไม้แห้งไปจำหน่ายได้ สามารถตอบโจทย์ได้ทั้งในเรื่องการลดฝุ่นละอองหมอกควันพิษ (PM 2.5) ลดการเกิดจากปัญหาไฟป่า และการบุกรุกทำลายป่าลงไปได้ พร้อม ๆ กับทำให้คนในชุมชนมีอาชีพและมีรายได้ จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ทำให้ทราบว่ามีการศึกษาแผ่นผนังภายในอาคารจากใบสักผสมยางบง [2] ผลิตภัณฑ์วัสดุผสมจากเส้นใยใบตองแห้งและเศษยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว นำมาผสมกับน้ำยางธรรมชาติความเข้มข้น 60% เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม [3] การพัฒนาสมบัติของแผ่นประกอบที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ผสมเศษพลาสติกเพื่อการประยุกต์ใช้ในงานอาคารพักอาศัย [4] ในปีถัดมามีการศึกษาคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพของเศษใบสักผสมโพลียูรีเทนสำหรับใช้งานกับแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด [5] ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการอัดขึ้นรูปกระถางจากวัสดุชีวมวลโดยใช้วิธีการอัดแบบร้อน [6] การศึกษาตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล [7] และการออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากวัสดุชีวมวลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์อ [8] ต้นปี 2567 มีการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล [9] และการศึกษาการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนและความเป็นฉนวนของแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล [10] เป็นต้น

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงคิดว่าการจะลดวัสดุชีวมวลโดยเฉพาะใบไม้แห้งได้ ต้องหาแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้ใบไม้แห้งด้วยการพัฒนาแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง ซึ่งจะเป็นแนวทางที่จะสามารถช่วยตอบโจทย์และแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ใบไม้แห้งและเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคด้านการบริหารจัดการวัสดุชีวมวล จากข้อมูลข้างต้น มีความเป็นไปได้ในการนำใบไม้แห้งมาเป็นส่วนผสมในการพัฒนาแผ่นไม้ปาร์ติเกิล เพื่อเปิดโอกาสให้กับชุมชนนำใบไม้แห้งที่มีอยู่จำนวนมากใช้ให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่า โดยการทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะใช้ตัวเชื่อมปนะสานธรรมชาติ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุน และที่สำคัญสามารถลดปริมาณใบไม้แห้งในพื้นที่การเกษตรได้ ทำให้ชุมชนมีรายได้และสามารถนำมาใช้ทดแทนไม้ได้ เหมาะสมกับบริบทของชุมชนและการใช้งานต่อไป

วิธีการวิจัย

ในการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง มีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาปัญหาและความเป็นไปได้ โดยได้ศึกษาเกี่ยวกับเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ถึงข้อมูลเชิงพื้นที่ รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการอัดขึ้นรูป ออกแบบแม่พิมพ์ และวางแผนการทดลอง

2. เตรียมวัสดุชีวมวล โดยใช้วัสดุชีวมวลในพื้นที่การเกษตรที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ ใบสัก นำวัสดุดังกล่าวมาสับย่อยให้ละเอียดด้วยเครื่องสับย่อย

ภาพที่ 3 การเตรียมใบสักแห้งสับย่อย

ภาพที่ 4 ครั่งบดละเอียด

3. ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง ในการผลิตจะใช้อัตราส่วนผสม ใบสักแห้งสับย่อย:ครั่ง ในอัตราส่วน 10:3 โดยน้ำหนัก คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำส่วนผสมดังกล่าวใส่แม่พิมพ์เพื่อทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปแบบร้อนแบบโยก ที่ใช้ขดลวดความร้อนขนาด 1,000W เป็นตัวทำความร้อน โดยตั้งอุณหภูมิที่ 250 °C โดยใช้ระยะเวลาในการอัดแช่เป็น 20 นาที แล้วแกะแม่พิมพ์

ภาพที่ 5 เครื่องอัดขึ้นรูปกระถางแบบร้อน

4. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล ดังนี้

4.1 การทดสอบความชื้น

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อวัดความชื้นขนาด 50x50 มิลลิเมตรทำการชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลที่มีความละเอียดถึง 0.01 g. กำหนดให้เป็นมวลของชิ้นทดสอบก่อนอบ อบชิ้นทดสอบในตู้อบที่อุณหภูมิ (103 ± 2) °C จนได้มวลคงที่ คือ มวลของชิ้นทดสอบ เมื่อชั่ง 2 ครั้งที่เวลาห่างหัน 6 ชั่วโมง ต้องไม่แตกต่างกันเกิน 0.1 % ของมวลชิ้นทดสอบ จากนั้นปล่อยให้เย็น ชั่งชิ้นทดสอบเป็นมวลของชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง คำนวณหาค่าปริมาณความชื้นจากมวลก่อนและหลังการอบของชิ้นทดสอบจากสมการ

$$\text{Moisture content (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ m_1 = มวลของชิ้นทดสอบก่อนอบ (g) และ m_2 = มวลของชิ้นทดสอบหลังอบ (g)

4.2 การทดสอบความหนาแน่น

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อทดสอบความหนาแน่นขนาด 50x50 มิลลิเมตร ทำการชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลที่มีความละเอียดถึง 0.01 g. วัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์เป็นตัววัดหรือเครื่องมือที่สามารถวัดความหนาได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกัน และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ถึง 20 มิลลิเมตร วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบแผ่นชิ้นไม้ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 มิลลิเมตร จากนั้นใช้เวอร์เนียร์แคลิปเปอร์หรือเครื่องมือวัดอื่นหรือเทียบเท่า อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร วัดความกว้างและยาวของชิ้นทดสอบ โดยวางเครื่องมือทำมุมกับแนวระนาบของชิ้นทดสอบ ประมาณ 45 องศา คำนวณหาค่าความหนาแน่น จากสมการ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น (kg/m^3), m = มวลของชิ้นทดสอบ (kg) และ V = ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (m^3)

4.3 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ขนาด 50x50 มิลลิเมตร ชิ้นทดสอบที่ใช้ตรวจสอบโดยไม่ต้องปรับสภาวะแล้วนำชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นมาชั่งน้ำ หนักโดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.01 กรัม น้ำหนักที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักก่อนแช่น้ำ นำชิ้นทดสอบที่ชั่งน้ำหนักแล้วแช่ลงในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้องโดยต้องให้ชิ้นทดสอบได้ฉากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนของชิ้นทดสอบอยู่ใต้ระดับผิวน้ำ ประมาณ 25 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการแช่น้ำ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมงแล้ว รีบนำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมด แล้วนำไปชั่งน้ำหนักทันทีน้ำหนักที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ 2 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำ ต่ออีก22 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วนำขึ้นมาชั่งน้ำหนักตามวิธีเดิม นำหนักที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักแช่น้ำ 24 ชั่วโมง นำค่าน้ำหนักที่ชั่งได้มาคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ ที่ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง คำนวณได้จากสูตร

$$\text{MA (\%)} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ MA = ค่าการดูดซึมน้ำ (%), w_1 = น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (g) และ w_2 = น้ำหนักหลังอบ (g)

4.4 การทดสอบการพองตัวตามความหนา

การทดสอบการพองตัวตามความหนาตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อทดสอบการพองตัวตามความหนา ขนาด 50x50 มิลลิเมตร ทำการชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล วัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์ที่สามารถวัดความหนาได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบแผ่นชิ้นไม้ทั้ง 4 ด้าน และ

ให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 มิลลิเมตร แล้วทำเครื่องหมายตามตำแหน่งที่วัดไว้ซึ่งเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ (20+2) องศาเซลเซียส โดยตั้งชิ้นทดสอบให้ได้ตั้งฉากกับผิวน้ำให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร แต่ละชิ้นต้องห่างกัน และต้องห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมงแล้ว นำชิ้นทดสอบมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระจก ปล่อยชิ้นทดสอบไว้อีก 1 ชั่วโมงแล้วนำชิ้นทดสอบขึ้นมาวัดตามความหนาตามตำแหน่งเดิม คำนวณเปอร์เซ็นต์การพองตัวตามความหนาของแผ่นทดสอบก่อนและหลังแช่น้ำจากสมการ

$$\text{Thickness swelling (\%)} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ t_1 = ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (mm) และ t_2 = ความหนาของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (mm)

4.5 การทดสอบความต้านแรงดึง

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 ซึ่งกำหนดขนาดของชิ้นทดสอบไว้ที่ ขนาดไม่น้อยกว่า 50 × 50 มิลลิเมตร ติดแผ่นชิ้นไม้อัดกับเครื่องดึง แล้วนำไปเข้าเครื่องดึง ดึงให้แผ่นชิ้นไม้อัดแยกออกจากกัน ซึ่งปกติจะแยกจากในชั้นไส้ อัตราการเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงจนกระทั่งแผ่นชิ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที แต่ไม่มากกว่า 90 วินาที ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดราบกำหนดว่า แผ่นชิ้นไม้อัดขนาด 3 มิลลิเมตรถึง 6 มิลลิเมตร ต้องมีความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าไม่น้อยกว่า 0.45 MPa โดยทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine

4.6 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 ซึ่งกำหนดขนาดของชิ้นทดสอบไว้ที่ 50x200 มิลลิเมตร วางชิ้นทดสอบบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่างกัน 15 เท่าของความหนาระบุชิ้นทดสอบ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นจำนวนเต็ม ของ 10 mm.) แต่ต้องไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร ให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นอออกไปจากจุดที่รองรับประมาณ 25 มิลลิเมตร ให้แรงกดที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เครื่องกดที่ใช้สามารถวัดแรงกดได้ละเอียดถึง 5 N หรือ 5 % ของแรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกด จนกระทั่งชิ้นทดสอบหักต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที แต่ไม่มากกว่า 90 วินาที ความเร็วในการกดประมาณ 10 มิลลิเมตรต่อนาที โดยทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine คำนวณความต้านทานแรงดัดและค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจากสมการ

ค่าความต้านทานแรงดัด (MOR) คือ $$f_m = \frac{3F_{max}l_1}{2bt^2} \quad (5)$$

เมื่อ f_m = ความต้านทานแรงดัด (MPa), F_{max} = แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ (N), l_1 = ระยะห่างของแท่นรองรับ (mm), b = ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ (mm) และ t = ความหนที่จุดกึ่งกลางชิ้นทดสอบ (mm)

ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (MOE) คือ $$E_m = \frac{l_1^3(F_2 - F_1)}{4bt^3(a_1 - a_2)} \quad (6)$$

เมื่อ E_m = มอดุลัสยืดหยุ่น (MPa), l_1 = ระยะห่างของแท่งรองรับ (mm), F_2-F_1 = แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงกราฟเป็นเส้นตรง (N), b = ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ (mm), t = ความหนที่จุดกึ่งกลางชิ้นทดสอบ (mm) และ a_1- a_2 = ระยะแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง (mm)

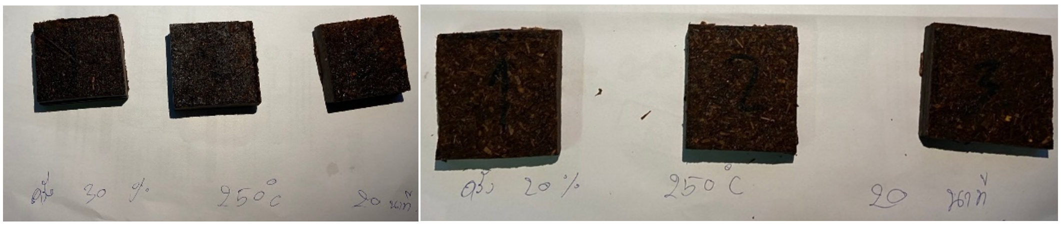
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ จะหาความชื้น ความหนาแน่น การพองตัวตามความหนา และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง โดยทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ

อัตราส่วนผสม ใบสักแห้งสับย่อย: ครั่ง	ระยะเวลาในการอัด (Minute)	อุณหภูมิในการอัด (°C)	ความชื้น (% wb)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)	การพองตัวตามความหนา (%)
10:2	20	200	9.04 % wb	730	74.53%	25.26 %
		250	5.53 % wb	660	27.98%	14.60 %
10:3	20	200	9.5 % wb	740	50.31%	21.77 %
		250	3.50 % wb	760	24.85%	3.37 %

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งในอัตราส่วน 10:3 (ใบสักแห้งสับย่อย:ครั่ง) จะมีอัตราการเสื่อมสภาพที่ช้ากว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งในอัตราส่วน 10:2 (ใบสักแห้งสับย่อย:ครั่ง) พิจารณาได้จากการพองตัวตามความหนาและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง (ดังภาพที่ 6) โดยทั้ง 2 อัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547



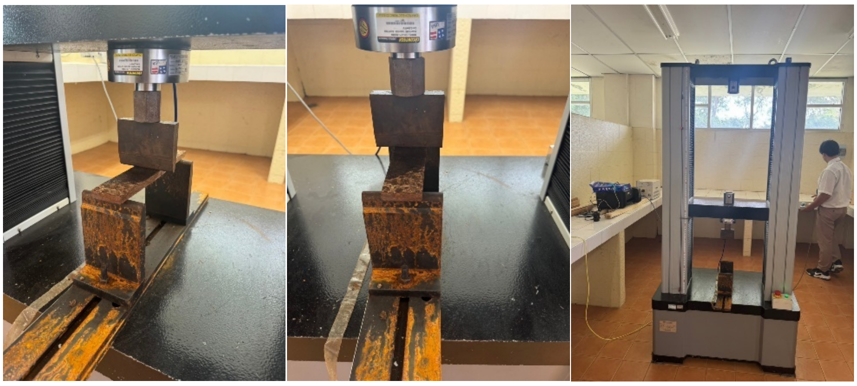
ภาพที่ 6 การทดสอบการพองตัวตามความหนาและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล (ดังภาพที่ 7) จะทำการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น โดยทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

อัตราส่วนผสม ใบสักแห้งสับย่อย:ครั่ง	ระยะเวลาในการอัด (Minute)	อุณหภูมิในการอัด (°C)	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
10:2	20	200	0.128	3.181	1,897.116
		250	0.169	4.046	2,996.385
10:3	20	200	0.142	1.639	1,153.682
		250	**0.409**	**9.070**	**6,186.559**

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งในอัตราส่วน 10:3 (ใบสักแห้งสับย่อย:ครั่ง) สามารถรับแรงกดและมีความยืดหยุ่นมากกว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งในอัตราส่วน 10:2 (ใบสักแห้งสับย่อย:ครั่ง) ซึ่งแสดงถึงความทนทานและการหยืดหยุ่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง โดยอัตราส่วน 10:3 (ใบสักแห้งสับย่อย:ครั่ง) ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547



ภาพที่ 7 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง ใช้อัตราส่วน 10:3 (ใบสักแห้งสับย่อย:ครั่ง) โดยน้ำหนัก มีคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 ซึ่งสอดคล้องกับ นงค์นุช กลิ่นพิกุล [11] ที่ได้กล่าวว่า ส่วนผสมแชลแลคที่ 30% เป็นอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่กำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และวัสดุชีวมวลที่สับย่อยจนมีขนาดเล็ก สามารถผสมเข้ากันได้ดี ทำให้การขึ้นรูปสามารถขึ้นรูปได้ง่าย จำนวนแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งที่ได้มีคุณภาพเฉลี่ยที่ดี ซึ่งสอดคล้องกับ Raghavendra and et al. [12] ที่กล่าวว่า ต้องทำการลดขนาดของวัสดุเพื่อให้ง่ายต่อการขึ้นรูป และการลดขนาดของวัสดุสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคุณสมบัติของวัสดุได้อีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

1. แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งในอัตราส่วน 10:3 (ใบสักแห้งสับย่อย:ครั่ง) มีคุณสมบัติเชิงกายภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547
2. แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งในอัตราส่วน 10:3 (ใบสักแห้งสับย่อย:ครั่ง) มีคุณสมบัติเชิงกลผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547
3. สภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้ง คือ อุณหภูมิที่ 250 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 20 นาที ใช้ครั่งเป็นตัวเชื่อมประสาน 30%
4. แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งสามารถช่วยลดการใช้ปริมาณใบสักแห้งได้ 20,000 กิโลกรัมต่อปี
5. แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งสามารถช่วยลดการปล่อยฝุ่นละออง (PM 2.5) ได้ 267.1 กิโลกรัมต่อปี และลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 24 ตันต่อปี

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง “การออกแบบและพัฒนาการแปรสภาพวัสดุชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้” ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณด้าน ววน. ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2567 สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ผ่านมหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักจัดการที่ดินป่าไม้. (2565). **โครงการจัดทำข้อมูลสภาพพื้นที่ป่าไม้ ปี พ.ศ. 2565**. สำนักจัดการที่ดินป่าไม้ กรมป่าไม้.

[2] โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์ และคณะ. (2560). **แผ่นผนังภายในอาคารจากใบสักผสมยางบง.** นิทรรศการผลงานนวัตกรรม งานเกษตรแฟร์ ประจำปี 2560

[3] สมพงษ์ พิริยายนต์, กิตติศักดิ์ บัวศรี และ ประยูร สุรินทร์. (2562). **การศึกษาผลิตภัณฑ์วัสดุผสมจากเส้นใยใบตองแห้งและเศษยางรถยนต์ที่ใช้**. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33 วันที่ 2-5 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 จังหวัดอุดรธานี

[4] กัลยลักษณ์ มุกด์ธนะอนันต์, ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์, ทรงกลด จารุสมบัติและ จิฐิพร วงศ์วัชรไพบูลย์. (2562). **การพัฒนาสมบัติของแผ่นประกอบที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ผสมเศษพลาสติกเพื่อการประยุกต์ใช้ในงานอาคารพักอาศัย.** การประชุมวิชาการประจำปี 2562 “10th Built Environment Research Associates Conference (BERAC 2019)” คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, วันอังคารที่ 25 มิถุนายน 2562 ณ หอศิลปวัฒนธรรมแห่งกรุงเทพมหานคร, กรุงเทพมหานคร

[5] Masturi et al. (2020). **Mechanical and physical properties of teak leaves waste/polyurethane composites for particleboard application.** Advanced Composites Letters Volume 29: 1–8

[6] ปพนธีร์ ผดุงกรรณ์ และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. (2566). **การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการอัดขึ้นรูปกระถางจากวัสดุชีวมวลโดยใช้วิธีการอัดแบบร้อน.** การประชุมทางวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 (TREC-16) ระหว่างวันที่ 2 - 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร.

[7] อานนท์ โอฐธนู และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. (2566). **การศึกษาตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล.** การประชุมทางวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 (TREC-16) ระหว่างวันที่ 2 - 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร.

[8] ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี, ทิพารัตน์ สหตรงจิตร และ ลักขณา พันธุ์แสนศรี. (2566). **การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากวัสดุชีวมวลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์.** การประชุมทางวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 (TREC-16) ระหว่างวันที่ 2 - 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร.

[9] ทักษิณี รักษายศ และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. 2567. **ศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล.** การประชุมวิชาการระดับชาติการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 10 หรือ NCTIM 2024 วันที่ 8 มีนาคม 2567.

[10] เนตรทราย เผือกผ่อง และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. 2567. **การศึกษาการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนและความเป็นฉนวนของแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล.** การประชุมวิชาการระดับชาติการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 10 หรือ NCTIM 2024 วันที่ 8 มีนาคม 2567.

[11] นงค์นุช กลิ่นพิกุล. 2557. **การศึกษาแผ่นใยไม้อัดจากเศษขี้เลื่อยโดยใช้ผลผลิตจากครั่งเป็นตัวประสาน.** โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ งบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2557. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

[12] Raghavendra, S.N., Ramachandra Swamy, S.R., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Kumar, S. and Tharanathan, R. 2005. **Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber**. :281-286.

การศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก

Study of physical properties and mechanical properties of particle board from Teak sawdust

เนตรทราย เผือกผ่อง[1] อานนท์ โอฐธนู[1] และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี[1,2*]
Natsay Phuakpong[1] Arnon Aotthanu[1], and Tammasak Punsaensri[1,2*]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่
[2] ศูนย์ความเป็นเลิศด้านวิศวกรรมพลังงาน สิ่งแวดล้อม และภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
[1]Forest Industry Technology, Maejo University Phrae Campus, Phrae
[2] Excellence center of energy environment and smog disaster problem, Maejo University, Chiang Mai
Corresponding author: Tel.: 092 541 4498. E-mail address: tammasak@mju.ac.th

Abstract

This research aimed to study the physical and mechanical properties of particleboards from teak sawdust. The study used a mixing ratio of 10:3 by weight (teak sawdust:lac). The compression test was performed at 250 °C and the compression time was 20 minutes. Three particle board sheets were extruded for testing and economic value analysis. The results of the study found that the particle board press from teak sawdust at a mixing ratio of 10:3 by weight, using a temperature of 250 °C and a pressing time of 20 min., can press particle boards completely. The physical properties and mechanical properties pass the TIS 876-2547 standard. The production of particle boards from teak sawdust with a size of 20x30 cm. can produce 20 boards per day with a production cost per unit of 39 baht/ m^2 and the break-even point will be for 1 month and 6 days. Making particleboards from dry leaves can help reduce the use of teak sawdust by 21.88 tons/year, reduce the emission of dust particles (PM 2.5) by 278.28 kg/year, and reduce the emission of carbon dioxide by 26.25 tons/year.

Keywords: physical properties, mechanical properties, particle board, teak sawdust

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก โดยในการศึกษาจะใช้อัตราส่วนผสม 10:3 โดยน้ำหนัก (ขี้เลื่อยไม้สัก:ครั่ง) ทำการทดสอบอัดขึ้นภาพที่อุณหภูมิ 250 °C และใช้ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูป 20 นาที โดยอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิล จำนวน 3 แผ่น และทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลการศึกษา พบว่า การอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สักที่อัตราส่วนผสม 10:3 โดยน้ำหนัก ใช้อุณหภูมิ 250 °C ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูป 20 นาที สามารถอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลได้สมบูรณ์ มีคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 การผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สักขนาด 20x30 cm. จะ

สามารถผลิตได้ 20 แผ่นต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 39 บาทต่อตารางเมตร และจะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1 เดือน 6 วัน และการทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งสามารถช่วยลดการใช้ปริมาณขี้เลื่อยไม้สักได้ 21.88 ตันต่อปี ลดการปล่อยฝุ่นละออง (PM 2.5) ได้ 278.28 กิโลกรัมต่อปี และลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 26.25 ตันต่อปี

คำสำคัญ: สมบัติเชิงกายภาพ, สมบัติเชิงกล, แผ่นไม้ปาร์ติเกิล, ขี้เลื่อยไม้สัก

บทนำ

ไม้สัก มีชื่อทางการค้าว่า Teak ทางพฤกษศาสตร์หรือวิทยาศาสตร์ว่า *Tectona grandis* L. เป็นต้นไม้ที่มีชื่อเสียงรู้จักกันแพร่หลายทั่วโลก มีถิ่นกำเนิดอยู่เฉพาะในเอเชียแถบประเทศอินเดียตอนใต้ พม่า ไทย ลาว และอินโดนีเซีย เนื้อไม้สามารถใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ เนื่องจากมีคุณสมบัติของเนื้อไม้ละเอียด ตกแต่งได้ง่าย ลวดลายสวยงาม และมีความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศ [1] สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบตามอายุ และขนาดของไม้ตั้งแต่ไม้ซุงขนาดใหญ่นำมาแปรรูปใช้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือน เฟอร์นิเจอร์ ไม้ปาร์เก้ ไม้อัด ไม้แกะสลัก ต่อเรือเป็นต้น ไม้ซุงขนาดเล็ก สามารถนำมาทำบ้านไม้ซุง นำมาผ่าซีกทำเป็นไม้โมเสดวงกบ ประตู หน้าต่างได้ทำให้ไม้สักเป็นที่นิยมโดยทั่วไปในแถบเอเชีย [2] ไม้สักพบมากที่สุดในเขตจังหวัดภาคเหนือของประเทศไทย คือ เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง แพร่ และน่าน

จังหวัดแพร่เป็นจังหนึ่งในภาคเหนือที่มีการปลูกไม้สักมานานแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากความนิยมในการนำมาใช้สร้างบ้านเรือน หรือเฟอร์นิเจอร์ทำให้ความต้องการไม้สักเพื่อเป็นวัตถุดิบในโรงเลื่อย และโรงงานไม้ต่าง ๆ มีปริมาณมาก และคาดการณ์ว่าความต้องการไม้ในอนาคตจะมีแนวโน้มมากขึ้น ทำให้เกิดการตัดไม้สักเพิ่มมากขึ้น จากกระบวนการแปรรูปไม้สักเหล่านั้น พบว่า การใช้ประโยชน์จากไม้สักยังไม่คุ้มค่า มีปริมาณเศษไม้เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ดังนั้น ถ้าสามารถนำเอาเศษไม้เหลือทิ้งเหล่านั้นไปทำให้เกิดประโยชน์ เช่น เป็นไม้ประกอบ นอกจากจะไม่ต้องเสียงบประมาณในการกำจัดของเสียแล้ว ยังสามารถเพิ่มรายได้ให้กับสถานประกอบการ และชุมชนอีกด้วย แต่ถ้าไม่สามารถนำเศษไม้ และขี้เลื่อยที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปไม้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างอื่น เศษไม้และขี้เลื่อยเหล่านั้นก็จะกลายเป็นขยะ และแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อรา โรงเลื่อยไม้ต่าง ๆ ก็อาจจะต้องเสียงบประมาณในการกำจัดของเสียเหล่านั้น โดยเฉพาะการเผา ซึ่งเป็นต้นเหตุสำคัญในการเกิดฝุ่นควัน PM 2.5 คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเขม่า เป็นต้น [3]

ภาพที่ 1 ขี้เลื่อยไม้สักจากโรงงานแปรรูปไม้สักและโรงงานทำเฟอร์นิเจอร์จากไม้สัก

ภาพที่ 2 การเผาขี้เลื่อยไม้สัก

จากปัญหาดังกล่าว หากสามารถลดปริมาณขี้เลื่อยไม้สักได้และหาวัสดุอื่นที่สามารถนำมาทดแทนไม้ได้ จะสามารถช่วยลดปริมาณขี้เลื่อยไม้สัก ลดการเผาและลดฝุ่นละอองหมอกควันพิษ (PM 2.5) และหากนำขี้เลื่อยไม้สักมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เกิดคุณค่าและเพิ่มมูลค่า ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการใช้ประโยชน์เศษไม้ และเศษเหลือทางการเกษตรเพื่อผลิตเป็นอุตสาหกรรมมีความเจริญก้าวหน้า สามารถใช้เศษไม้ ปลายไม้ ไม้ขนาดเล็ก กิ่งขนาดใหญ่ และวัสดุเส้นใยพืชเกษตรมาย่อยละเอียดแล้วอัดเป็นแผ่นวัสดุทดแทนไม้ธรรมชาติ ได้โดยวัสดุที่ทำจากเศษเหลือทิ้งเหล่านี้กำลังเป็นที่สนใจมีการผลิตและนำไปใช้ทดแทนไม้จริงมากขึ้น [4] จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ทำให้ทราบว่ามีการศึกษาผลิตภัณฑ์วัสดุผสมจากเส้นใยใบตองแห้งและเศษยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว นำมาผสมกับน้ำยางธรรมชาติความเข้มข้น 60% เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่อนุรักษ์สิ่งแวดล้อม [5] การพัฒนาสมบัติของแผ่นประกอบที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ผสมเศษพลาสติกเพื่อการประยุกต์ใช้ในงานอาคารพักอาศย [6] ในปีถัดมามีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการอัดขึ้นรูปกระถางจากวัสดุชีวมวลโดยใช้วิธีการอัดแบบร้อน [7] การศึกษาตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล [8] และ การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากวัสดุชีวมวลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์อ [9] ต้นปี 2567 มีการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล [10] และการศึกษาการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนและความเป็นฉนวนของแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล [11] เป็นต้น

อย่างไรก็ตามที่ผ่านมาการผลิตเป็นแผ่นไม้อัดนิยมใช้สารยูเรียฟอร์มัลดิไฮด์และสารไอโซไซยาเนตเป็นตัวประสานซึ่งสารดังกล่าวมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพ เช่น ระบบทางเดินหายใจ ดวงตา ผิวหนัง และเป็นสารก่อมะเร็ง [12] อีกทั้งในกระบวนการผลิตต้องใช้อุณหภูมิ และมีเครื่องจักรเข้ามาเกี่ยวข้อง เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงคิดว่าการจะลดวัสดุชีวมวลโดยเฉพาะเลื่อยไม้สัก ต้องหาแนวทางในการเพิ่มมูลค่าด้วยการพัฒนาแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก และครั่งเป็นตัวเชื่อมประสาน เนื่องจากครั่งเป็นตัวเชื่อมประสานธรรมชาติ มีความเหนียวยืดหยุ่นได้ มีความสามารถในการยึดเกาะกับวัตถุทั่วไปได้เป็นอย่างดี ไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าสารยูเรียฟอร์มัลดิไฮด์และสารไอโซไซยาเนต ซึ่งจะเป็นแนวทางที่จะสามารถช่วยตอบโจทย์และแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ขี้เลื่อยไม้สักและเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคด้านการบริหารจัดการวัสดุชีวมวล จากข้อมูลข้างต้น มีความเป็นไปได้ในการนำขี้เลื่อยไม้สักมาเป็นส่วนผสมในการพัฒนาแผ่นไม้ปาร์ติเกิล เพื่อเปิดโอกาสให้กับชุมชนนำขี้เลื่อยไม้สักที่มีอยู่จำนวนมากใช้ให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่า โดยการทำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สักจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะใช้ตัวเชื่อมปนะสานธรรมชาติ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุน และที่สำคัญสามารถลดปริมาณขี้เลื่อยไม้สักได้ ทำให้ชุมชนมีรายได้ และสามารถนำมาใช้ทดแทนไม้ได้ เหมาะสมกับบริบทของชุมชนและการใช้งานต่อไป

วิธีการวิจัย

ในการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก มีขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาปัญหาและความเป็นไปได้ โดยได้ศึกษาเกี่ยวกับเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ถึงข้อมูลเชิงพื้นที่ รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการอัดขึ้นรูป ออกแบบแม่พิมพ์ และวางแผนการทดลอง

2. เตรียมวัสดุ โดยใช้ขี้เลื่อยไม้สักจากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้สักหรือโรงงานทำเฟอร์นิเจอร์จากไม้สัก และใช้ครั่งเป็นตัวเชื่อมประสาน

3. ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก ในการผลิตจะใช้อัตราส่วนผสม ขี้เลื่อยไม้สัก:ครั่ง ในอัตราส่วน 10:3 โดยน้ำหนัก คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำส่วนผสมดังกล่าวใส่แม่พิมพ์เพื่อทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปแบบร้อนแบบโยก ที่ใช้ขดลวดความร้อนขนาด 1,000W เป็นตัวทำความร้อน โดยตั้งอุณหภูมิที่ 250 °C โดยใช้ระยะเวลาในการอัดแช่เป็น 20 นาที แล้วแกะแม่พิมพ์

ภาพที่ 3 เครื่องอัดขึ้นรูปกระถางแบบร้อน

4. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล ดังนี้

4.1 การทดสอบความชื้น

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อวัดความชื้นขนาด 50x50 มิลลิเมตรทำการชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลที่มีความละเอียดถึง 0.01 g. กำหนดให้เป็นมวลของชิ้นทดสอบก่อนอบ อบชิ้นทดสอบในตู้อบที่อุณหภูมิ (103 ± 2) °C จนได้มวลคงที่ คือ มวลของชิ้นทดสอบ เมื่อชั่ง 2 ครั้งที่เวลาห่างหัน 6 ชั่วโมง ต้องไม่แตกต่างกันเกิน 0.1 % ของมวลชิ้นทดสอบ จากนั้นปล่อยให้เย็น ชั่งชิ้นทดสอบเป็นมวลของชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง คำนวณหาค่าปริมาณความชื้นจากมวลก่อนและหลังการอบของชิ้นทดสอบจากสมการ

$$\text{Moisture content (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ m_1 = มวลของชิ้นทดสอบก่อนอบ (g) และ m_2 = มวลของชิ้นทดสอบหลังอบ (g)

4.2 การทดสอบความหนาแน่น

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อทดสอบความหนาแน่นขนาด 50x50 มิลลิเมตร ทำการชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลที่มีความละเอียดถึง 0.01 g. วัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์เป็นตัววัดหรือเครื่องมือที่สามารถวัดความหนาได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกัน และมีเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ถึง 20 มิลลิเมตร วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบแผ่นชิ้นไม้ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 มิลลิเมตร จากนั้นใช้เวอร์เนียร์แคลิปเปอร์หรือเครื่องมือวัดอื่นหรือเทียบเท่า อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร วัดความกว้างและยาวของชิ้นทดสอบ โดยวางเครื่องมือทำมุมกับแนวระนาบของชิ้นทดสอบ ประมาณ 45 องศา คำนวณหาค่าความหนาแน่น จากสมการ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น (kg/m^3) , m = มวลของชิ้นทดสอบ (kg) และ V = ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (m^3)

4.3 การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

การทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ตัดชิ้นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ขนาด 50x50 มิลลิเมตร ชิ้นทดสอบที่ใช้ตรวจสอบโดยไม่ต้องปรับสภาวะแล้วนำชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นมาชั่งน้ำ หนักโดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.01 กรัม น้ำหนักที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักก่อนแช่น้ำ นำชิ้นทดสอบที่ชั่งน้ำหนักแล้วแช่ลงในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้องโดยต้องให้ชิ้นทดสอบได้ฉากกับระดับผิวน้ำ ให้ขอบบนของชิ้นทดสอบอยู่ใต้ระดับผิวน้ำ ประมาณ 25 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการแช่น้ำ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 2 ชั่วโมงแล้ว รีบนำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมด แล้วนำไปชั่งน้ำหนักทันทีน้ำหนักที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ 2 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำ ต่ออีก 22 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดแล้วนำขึ้นมาชั่งน้ำหนักตามวิธีเดิม นำหนักที่ชั่งได้เป็นน้ำหนักแช่น้ำ 24 ชั่วโมง นำค่าน้ำหนกัที่ชั่งได้มาคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำ ที่ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง คำนวณได้จากสูตร

$$MA\,(\%) = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ MA = ค่าการดูดซึมน้ำ (%), w_1 = น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (g) และ w_2 = น้ำหนักหลังอบ (g)

4.4 การทดสอบการพองตัวตามความหนา

การทดสอบการพองตัวตามความหนาตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อทดสอบการพองตัวตามความหนา ขนาด 50x50 มิลลิเมตร ทำการชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล วัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์ที่สามารถวัดความหนาได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบแผ่นชิ้นไม้ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 มิลลิเมตร แล้วทำเครื่องหมายตามตำแหน่งที่วัดไว้ซึ่งเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ (20+2) องศาเซลเซียส โดยตั้งชิ้นทดสอบให้ได้ตั้งฉากกับผิวน้ำให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร แต่ละชิ้นต้องห่างกัน และต้องห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมงแล้ว นำชิ้นทดสอบมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระจก ปล่อยชิ้นทดสอบไว้อีก 1 ชั่วโมงแล้วนำชิ้นทดสอบขึ้นมาวัดตามความหนาตามตำแหน่งเดิม คำนวณเปอร์เซ็นต์การพองตัวตามความหนาของแผ่นทดสอบก่อนและหลังแช่น้ำจากสมการ

$$\text{Thickness swelling}\,(\%) = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ t_1 = ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (mm) และ t_2 = ความหนาของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (mm)

4.5 การทดสอบความต้านแรงดึง

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 ซึ่งกำหนดขนาดของชิ้นทดสอบไว้ที่ ขนาดไม่น้อยกว่า 50 × 50 มิลลิเมตร ติดแผ่นชิ้นไม้อัดกับเครื่องดึง แล้วนำไปเข้าเครื่องดึง ดึงให้แผ่นชิ้นไม้อัดแยกออกจากกัน ซึ่งปกติจะแยกจากในชั้นไส้ อัตราการเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงจนกระทั่งแผ่นชิ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที แต่ไม่มากกว่า 90 วินาที ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดราบกำหนดว่า แผ่นชิ้นไม้อัดขนาด 3 มิลลิเมตรถึง 6 มิลลิเมตร ต้องมีความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าไม่น้อยกว่า 0.45 MPa โดยทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine

$$\text{ความต้านทานแรงดึง (MPa)} = \frac{F}{WL} \tag{5}$$

เมื่อ F = แรงดึงสูงสุด (N), W= ความกว้างของชิ้นทดสอบ (mm.) และ L = ความยาวของชิ้นทดสอบ (mm.)

4.6 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 ซึ่งกำหนดขนาดของชิ้นทดสอบไว้ที่50x200 มิลลิเมตร วางชิ้นทดสอบบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่างกัน 15 เท่าของความหนาระบุชิ้นทดสอบ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นจำนวนเต็ม ของ 10 mm.) แต่ต้องไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร ให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นอออกไปจากจุดที่รองรับประมาณ 25 มิลลิเมตร ให้แรงกดที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เครื่องกดที่ใช้สามารถวัดแรงกดได้ละเอียดถึง 5 N หรือ 5 % ของแรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกด จนกระทั่งชิ้นทดสอบหักต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที แต่ไม่มากกว่า 90 วินาที ความเร็วในการกดประมาณ 10 มิลลิเมตรต่อนาที โดยทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine คำนวณความต้านทานแรงดัดและค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจากสมการ

$$\text{ค่าความต้านทานแรงดัด (MOR) คือ } f_m = \frac{3F_{max}l_1}{2bt^2} \tag{6}$$

เมื่อ f_m = ความต้านทานแรงดัด (MPa), F_{max} = แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ (N), l_1 = ระยะห่างของแท่นรองรับ (mm), b = ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ (mm) และ t = ความหนที่จุดกึ่งกลางชิ้นทดสอบ (mm)

$$\text{ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (MOE) คือ } E_m = \frac{l_1^3(F_2-F_1)}{4bt^3(a_1-a_2)} \tag{7}$$

เมื่อ E_m = มอดุลัสยืดหยุ่น (MPa), l_1 = ระยะห่างของแท่งรองรับ (mm), F_2-F_1 = แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงกราฟเป็นเส้นตรง (N), b = ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ (mm), t = ความหนที่จุดกึ่งกลางชิ้นทดสอบ (mm) และ a_1- a_2 = ระยะแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง (mm)

5. วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ คือ ระยะเวลาคืนทุน ต้นทุนการผลิต

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือ ระยะที่ผลตอบแทนสุทธิจากการ ดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าเงินลงทุนโครงการ หรือหมายถึง จำนวนปีที่จะได้รับผลตอบแทนคุ้มค่ากับเงินลงทุน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรการคำนวณได้ดังนี้ คือ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนเฉลี่ยสุทธิต่อปี}} \tag{8}$$

ต้นทุนการผลิต (Cost of Production) คือค่าใช้จ่ายต่างๆ ทั้ง ที่เป็นตัวเงินและไม่ใช่ตัวเงิน ที่ผู้ผลิตจ่ายออกไปเพื่อให้ได้มาซึ่งสินค้า หรือบริการที่ต้องการ

$$\text{ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายต่างๆ}}{\text{จำนวนการผลิตทั้งหมด}} \tag{9}$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การเตรียมวัสดุชีวมวล

ขี้เลื่อยไม้สัก เป็นผลพลอยได้จากการเลื่อยไม้สัก มีลักษณะเป็นผงไม้ละเอียด เป็นของเสียในโรงงานที่เป็นพิษ ขี้เลื่อยไม้สักมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบจำนวนมาก โดยองค์ประกอบทางเคมีของขี้เลื่อยไม้สักประกอบไปด้วย คาร์บอน (carbon) 60.8%, ไฮโดรเจน (hydrogen) 5.2%, ออกซิเจน (oxygen) 33.8% และไนโตรเจน (nitrogen) 0.9%. ไม้แห้งจะจะมีองค์ประกอบคือ เซลลูโลส(cellulose), ลิกนิน (lignin), เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) และอื่นๆ (5-10%)

ภาพที่ 4 ขี้เลื่อยไม้สัก

ครั่งเป็นแมลงขนาดเล็กชนิดหนึ่ง มีตัวสีแดง มีงวงเจาะลงในกิ่งไม้เพื่อดูดน้ำเลี้ยง ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ สร้างรังห่อหุ้มป้องกันตัว รังประกอบด้วยสารสีม่วงแดง ครั่งจะอาศัยอยู่ตามกิ่งของต้นไม้ เช่น จามจุรี(ฉำฉา) พุทรา สะแก เป็นต้น ครั่งจะอาศัยดูดกินน้ำเลี้ยงจากเปลือกต้นไม้ ตัวครั่งจะปล่อยชัน (resin) ที่เรียกว่า “ครั่ง” (Lac) ออกมาจากต่อมตามตัว เพื่อห่อหุ้มทำรังคลุมตัว สำหรับอยู่อาศัยวางไข่ และเลี้ยงตัวอ่อน

ภาพที่ 5 ครั่งบด

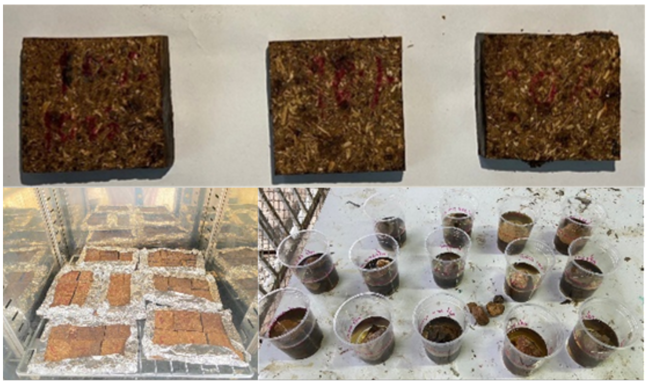
การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ จะหาความชื้น ความหนาแน่น การพองตัวตามความหนา และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ทำการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก โดยใช้อัตราส่วน 10:3 โดยน้ำหนัก (ขี้เลื่อยไม้สัก:ครั่ง) อัดที่อุณหภูมิ 250 °C เป็นเวลา 20 นาที โดยทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ

แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก	ความชื้น (% wb)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (%)	การพองตัวตามความหนา (%)
1	3.06	850	10.38	3.80
2	2.58	790	10.38	3.77
3	1.07	740	11.12	4.36
เฉลี่ย	**2.24**	**790**	**10.63**	**3.98**

หมายเหตุ : เกณฑ์ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 ความชื้น 4%- 13%, ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 400 kg/m^3 ถึง 900 kg/m^3 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำที่ 2 ชม. ไม่เกิน 40% ที่ 24 ชม. ไม่เกิน 80% และการพองตัวตามความหนา ไม่เกิน 12%

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก ที่ใช้อัตราส่วน 10:3 โดยน้ำหนัก (ขี้เลื่อยไม้สัก:ครั่ง) อัดที่อุณหภูมิ 250 °C เป็นเวลา 20 นาที มีอัตราการเสื่อมสภาพที่ช้า พิจารณาได้จากค่าการพองตัวตามความหนาและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ที่มีค่าต่ำ เมื่อพิจารณาคุณสมบัติเชิงกายภาพจากค่าข้างต้น แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สักที่ผลิตผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547



ภาพที่ 6 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพ

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล จะทำการทดสอบความต้านทานแรงดึง ความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น โดยทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก	ความต้านทานแรงดึง (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
1	0.398	25.787	17,839.85
2	0.576	20.184	13,269.68
3	0.284	23.233	16,240.10
เฉลี่ย	**0.419**	**23.068**	**15,783.21**

หมายเหตุ : เกณฑ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 ความต้านทานแรงดึงตั้งฉาก ไม่น้อยกว่า 0.4 MPa, ความต้านแรงดัด (MOR) ไม่น้อยกว่า 14 MPa และมอดุลัสยืดหยุ่น (MOE) ไม่น้อยกว่า 1,800 MPa

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก ใช้อัตราส่วน 10:3 โดยน้ำหนัก (ขี้เลื่อยไม้สัก:ครั่ง) อัดที่อุณหภูมิ 250 °C เป็นเวลา 20 นาที มีความแข็งแรง ทนทาน เนื่องจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล มีค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยที่ 0.419 MPa ค่า MOR เฉลี่ยที่ 23.068 MPa และค่า MOE เฉลี่ยที่ 15,783.21 MPa แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สักที่ผลิตผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547

ภาพที่ 7 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิล ขนาด 20x30 เซนติเมตร หนา 1.1 เซนติเมตร จะสามารถผลิตได้ 20 แผนต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 39 บาทต่อตารางเมตร (รวมค่าวัตถุดิบและค่าแรงงาน) และจะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 0.1 ปี หรือประมาณ 1 เดือน 6 วัน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก ในอัตราส่วน 10:3 (ขี้เลื่อยไม้สัก:ครั่ง) โดยน้ำหนัก มีคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547 ซึ่งสอดคล้องกับ นงค์นุช กลิ่นพิกุล [13] ที่ได้กล่าวว่าส่วนผสมแชลแลคที่ 30% เป็นอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่กำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และวัสดุชีวมวลที่สับย่อยจนมีขนาดเล็ก สามารถผสมเข้ากันได้ดี ทำให้การขึ้นรูปสามารถขึ้นรูปได้ง่าย จำนวนแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งที่ได้มีคุณภาพเฉลี่ยที่ดี ซึ่งสอดคล้องกับ Raghavendra and et al. [14] ที่กล่าว

ว่า ต้องทำการลดขนาดของวัสดุเพื่อให้ง่ายต่อการขึ้นรูป และการลดขนาดของวัสดุสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคุณสมบัติของวัสดุได้อีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

1. สภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก ใช้อัตราส่วน 10:3 (ขี้เลื่อยไม้สัก:ครั่ง) อัดที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 20 นาที ใช้ครั่งเป็นตัวเชื่อมประสาน 30%

2. แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สัก ในอัตราส่วน 10:3 (ขี้เลื่อยไม้สัก:ครั่ง) มีคุณสมบัติเชิงกายภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547

3. แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สักในอัตราส่วน 10:3 (ขี้เลื่อยไม้สัก:ครั่ง) มีคุณสมบัติเชิงกลผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.876-2547

4. การผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สักขนาด 20x30 cm. จะสามารถผลิตได้ 20 แผ่นต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 39 บาทต่อตารางเมตร และมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1 เดือน 6 วัน

5. แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากขี้เลื่อยไม้สักสามารถช่วยลดการใช้ปริมาณขี้เลื่อยไม้สักได้ 21.88 ตันต่อปี

6. แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากใบไม้แห้งสามารถช่วยลดการปล่อยฝุ่นละออง (PM 2.5) ได้ 278.28 กิโลกรัมต่อปี และลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 26.25 ตันต่อปี

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง “การออกแบบและพัฒนาการแปรสภาพวัสดุชีวมวลเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นคลุมดินที่ย่อยสลายได้” ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณด้าน ววน. ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2567 สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ผ่านมหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมป่าไม้. (2556). องค์ความรู้ของไม้สักไทย. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[2] สำนักส่งเสริมการปลูกป่า. (2553). ส่วนปลูกป่าภาคเอกชน. กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[3] กิตติยากรณ์ รองเมือง. (2558). การประเมินการปลดปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[4] วรธรรม อุ่นจิตติชัย. (2555). วัสดุทดแทนไม้. กรมป่าไม้ กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรุงเทพฯ.

[5] สมพงษ์ พิริยายนต์, กิตติศักดิ์ บัวศรี และ ประยูร สุรินทร์. (2562). **การศึกษาผลิตภัณฑ์วัสดุผสมจากเส้นใยใบตองแห้งและเศษยางรถยนต์ที่ใช้**. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33 วันที่ 2-5 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 จังหวัดอุดรธานี

[6] กัลยลักษณ์ มุกด์ธนะอนันต์, ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์, ทรงกลด จารุสมบัติและ จิฐิพร วงศ์วัชรไพบูลย์. (2562). การพัฒนาสมบัติของแผ่นประกอบที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ผสมเศษพลาสติกเพื่อการประยุกต์ใช้ในงานอาคารพักอาศัย. การประชุมวิชาการประจำปี 2562 “10th Built Environment Research Associates Conference (BERAC 2019)” คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, วันอังคารที่ 25 มิถุนายน 2562 ณ หอศิลปวัฒนธรรมแห่งกรุงเทพมหานคร, กรุงเทพมหานคร

[7] ปพนธีร์ ผดุงกรรณ์ และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. (2566). **การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการอัดขึ้นรูปกระถางจากวัสดุชีวมวลโดยใช้วิธีการอัดแบบร้อน.** การประชุมทางวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 (TREC-16) ระหว่างวันที่ 2 - 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร.

[8] อานนท์ โอฐธนู และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. (2566). **การศึกษาตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล.** การประชุมทางวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 (TREC-16) ระหว่างวันที่ 2 - 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร.

[9] ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี, ทิพารัตน์ สหตรงจิตร และ ลักขณา พันธุ์แสนศรี. (2566). **การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์จากวัสดุชีวมวลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์.** การประชุมทางวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 16 (TREC-16) ระหว่างวันที่ 2 - 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2566 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร.

[10] ทักษิณี รักษายศ และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. (2567). **ศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล.** การประชุมวิชาการระดับชาติการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 10 หรือ NCTIM 2024 วันที่ 8 มีนาคม 2567.

[11] เนตรทราย เผือกผ่อง และ ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี. (2567). **การศึกษาการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนและความเป็นฉนวนของแผ่นชิ้นไม้อัดจากวัสดุชีวมวล.** การประชุมวิชาการระดับชาติการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 10 หรือ NCTIM 2024 วันที่ 8 มีนาคม 2567.

[12] สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว. (2554). ข้อกำนดฉลากสีเยวผลิตภัณฑ์แผ่นอัดสำหรับงานอาคาร ตกแต่งและอุตสาหกรรมเครื่องเรือน. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

[13] นงค์นุช กลิ่นพิกุล. (2557). **การศึกษาแผ่นใยไม้อัดจากเศษขี้เลื่อยโดยใช้ผลผลิตจากครั่งเป็นตัวประสาน.** โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ งบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2557. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

[14] Raghavendra, S.N., Ramachandra Swamy, S.R., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Kumar, S. and Tharanathan, R. (2005). **Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber**. :281-286.

การศึกษาผลกระทบอัตราการให้ความร้อนกระบวนการไพโรไลซิสที่มีผลต่อสมบัติถ่านชีวภาพไม้ไผ่
Study of the Effect of Heating Rate in the Pyrolysis Process on the Properties of Bamboo Biochar

ประภัสสร รัตนไพบูลย์[1], กิตติกร สาสุจิตต์[1], พัชรี อินธนู[2], Rameshprabu Ramaraj1, เสริมสุข บัวเจริญ และ นิกราน หอมดวง[1*]

Praphatsorn Rattanaphaiboon[1], Kittikorn Sasujit[1], Patcharee Inthanoo[2], Rameshprabu Ramaraj[1], Sermsuk buacharoen[1], and Nigran Homduang[1*]

[1]วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[1]School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290
[2]Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290
Corresponding author: Tel.: 084-1773632. E-mail address: nigranghd@gmail.com

Abstract

Biochar is a carbon-rich material with a porous structure. It is an absorption material. Biochar is used to improve soil quality and absorb various toxic substances, including carbon dioxide, to reduce global warming. This research aimed to study the effect of the heating rate of the pyrolysis process on the properties of biochar as a carbon dioxide adsorption material. The pyrolysis process was used at 700 ^{o}C for 60 min at three different heating rates: 5 10 and 15 ^{o}C/min under a nitrogen gas atmosphere at a feeding rate of 5 L/min. The biomass used to produce biochar was bamboo. The study results showed that the pyrolysis process gave a percentage yield of bamboo biochar of 24.58-26.37%, wood vinegar of 40.29-43.99% and non-condensable gas of 31.43-33.34%. Using a scanning electron microscope (SEM), the morphology of bamboo biochar showed that at a heating rate of 5 ^{o}C/min, it had large and small pores distributed throughout its surface in longitudinal and cross-sectional images. The structure of bamboo biochar has larger pores, and the delamination of the structural wall increases with increasing heating rate, causing the bamboo biochar to lose its porous structure. The heating value (ASTM 5865) was increased from raw material by 49-51% from 16.38 MJ/kg to 32.56-33.62 MJ/kg. Bamboo biochar has a highly porous structure that can enhance its porosity to absorb carbon dioxide and produce carbon neutrality for communities in the future.

Keywords: Bamboo, Biochar, Pyrolysis process, Heating rate

บทคัดย่อ

ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอนมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นรูพรุนจึงมีคุณสมบัติเป็นวัสดุดูดซับถูกนำมาใช้เป็นวัสดุในการปรับปรุงคุณภาพของดิน และใช้ดูดซับสารพิษต่าง ๆ รวมถึงการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อลดปัญหาโลกร้อน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบอัตราการให้ความร้อนกระบวนการไพโรไลซิสที่มีผลต่อสมบัติถ่านชีวภาพสำหรับเป็นวัสดุดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กระบวนการไพโรไลซิสใช้ที่อุณหภูมิ 700 °C ระยะเวลา 60 min อัตราการให้ความร้อนแตกต่างกัน 3 เงื่อนไข ได้แก่ 5 10 และ 15 °C/min ภายใต้บรรยากาศก๊าซไนโตรเจนที่อัตราการป้อน 5 L/min ชีวมวลที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพ คือ ไม้ไผ่ ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการไพโรไลซิสได้ร้อยละผลผลิตถ่านชีวภาพไผ่อยู่ที่ 24.58-26.37% น้ำส้มควันไม้ 40.29-43.99% และก๊าซที่ไม่ควบแน่น 31.43-33.34% เมื่อวิเคราะห์โครงสร้างลักษณะสัณฐานของถ่านชีวภาพไผ่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ถ่านชีวภาพไผ่ที่อัตราการให้ความร้อน 5 °C/min มีรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวทั้งภาพตามแนวยาวและภาพตัดขวาง เมื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อนที่ 10 และ 15 °C/min โครงสร้างของถ่านมีรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้น และมีการหลุดออกของผนังโครงสร้างเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อนทำให้ถ่านชีวภาพไผ่มีการสูญเสียโครงสร้างของรูพรุน เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความร้อน (มาตรฐาน ASTM 5865) ถ่านชีวภาพไผ่มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากวัตถุดิบตั้งต้น 49-51% จาก 16.38 MJ/kg เป็น 32.56-33.62 MJ/kg ถ่านชีวภาพไผ่ที่ได้มีลักษณะโครงสร้างรูพรุนสูงสามารถยกระดับรูพรุนให้มีสมบัติการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสร้างความเป็นกลางทางคาร์บอนให้กับชุมชนในอนาคตได้

คำสำคัญ: ไผ่ ถ่านชีวภาพ ไพโรไลซิส ลักษณะสัณฐาน ค่าความร้อน

บทนำ

ถ่านชีวภาพ (Biochar) เป็นวัสดุที่อุดมไปด้วยคาร์บอนที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่มีการควบคุมอุณภูมิและจำกัดอากาศไม่ให้มีออกซิเจนหรือมีปริมาณน้อย เรียกกระบวนการนี้ว่า “การแยกสลายด้วยความร้อนหรือกระบวนการไพโรไลซิส” โดยทั่วไปใช้อุณหภูมิสูงกว่า 600 °C [1] การผลิตถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสจะได้ถ่านชีวภาพที่มีลักษณะสัณฐานพื้นที่ผิวขนาดกลางถึงสูง ถ่านชีวภาพที่ได้จึงมีความเป็นรูพรุน โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพนิยมใช้วัสดุชีวมวล และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักปริมาณสูงกว่า 45% และมีสารระเหยต่ำ [2] และ [3] ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวแปรด้านอุณหภูมิ ระยะเวลา และอัตราการให้ความร้อนของกระบวนการไพโรไลซิส การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพในการบวนการดูดซับจะขึ้นอยู่กับเคมีพื้นผิวและโครงสร้างรูพรุน [1] อัตราการให้ความร้อนของกระบวนการไพโรไลซิสเป็นตัวแปรที่กำหนดลักษณะโครงสร้างถ่านชีวภาพ และยังเป็นปัจจัยสำคัญในการก่อตัวคาร์บอนของถ่านถ่านชีวภาพในระหว่างการจัดเรียงตัวใหม่ของสถานะของแข็ง อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านได้อธิบายผลกระทบของอุณหภูมิ ระยะเวลา และชนิดของวัตถุดิบ เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์-เคมีของถ่านชีวภาพ ในขณะที่ผลของอัตราการความร้อนนั้นไม่ค่อยได้รับการพิจารณาให้เป็นตัวแปรหลัก [4] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบอัตราการให้ความร้อนกระบวนการไพโรไลซิสที่มีผลต่อสมบัติถ่านชีวภาพไม้ไผ่เพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับต่อไป

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ไม้ไผ่ที่เป็นเศษวัตถุดิบเหลือทิ้งจากการผลิตไม้เสียบลูกชิ้นความยาว 12.7 cm (ความยาว 5 inch) และเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตถ่านชีวภาพ อุณหภูมิไพโรไลซิส คือ 700 °C เป็นระยะเวลา 1 h

อัตราการให้ความร้อนแตกต่างกัน คือ 5 10 และ 15 °C/min โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนไหลเวียนในกระบวนการการทดสอบผลิตถ่านชีวภาพไผ่ด้วยกระบวนไพโรไลซิสที่อัตราการไหล 5 L/min โดยใช้เครื่องไพโรไลซิสแบบช้าระดับห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นเตาเผาอุณหภูมิสูงโดยใช้ความร้อนจากฮีทเตอร์ที่ใช้ขดลวดไฟฟ้าเป็นแหล่งความร้อน ใช้กำลังไฟฟ้าให้กับขดลวดฮีทเตอร์ 5,000 W แรงดันไฟฟ้า 220 V ที่ความถี่ 50 Hz สามารถทำอุณหภูมิสูงสุดได้ 1,200 °C ดังภาพที่ 1 กระบวนการควบแน่นเพื่อเก็บน้ำส้มควันไม้ใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อนอุณหภูมิน้อยกว่า 10 °C

การวิเคราะห์คุณสมบัติ

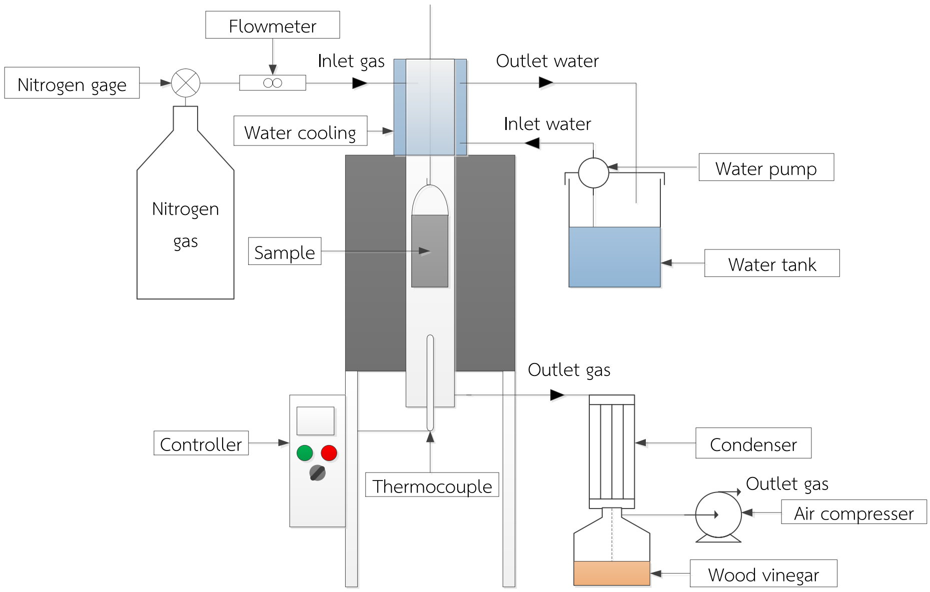
การผลิตถ่านชีวภาพไผ่ ได้ทำการวิเคราะห์ร้อยละผลผลิตถ่านชีวภาพ น้ำส้มควันไม้ และก๊าซ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)-(3) [5] การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานโครงสร้างของถ่านชีวภาพไผ่ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสมรรถนะสูงชนิดฟิลด์อิมิชชัน (FE-SEM) รุ่น CLARA ยี่ห้อ TESCAN ที่สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ การวิเคราะห์ค่าความร้อนตามมาตรฐาน ASTM D5865 [6] ด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่าความร้อนบอมบ์แคลอริมิเตอร์ รุ่น AC500 ยี่ห้อ LECO

$$CY(\%) = \frac{C_m}{DW_m} x100 \tag{1}$$

$$LY(\%) = \frac{L_m}{DW_m} x100 \tag{2}$$

$$GY(\%) = 100 - (CY + LY) \tag{3}$$

เมื่อ CY คือ ร้อยละผลผลิตของถ่านชีวภาพ C_m คือ มวลของถ่านชีวภาพ DW_m มวลของวัตถุดิบตั้งต้น LY คือร้อยละผลผลิตของน้ำส้มควันไม้ L_m คือ มวลของน้ำส้มควันไม้ และ GY คือ ร้อยละของก๊าซที่เกิดขึ้น

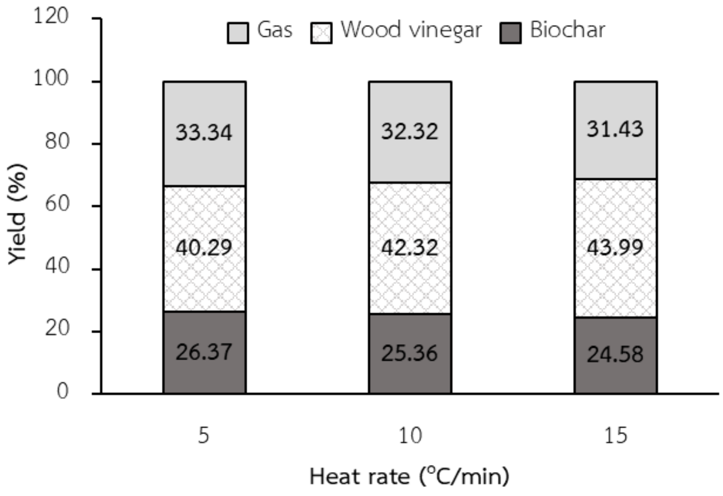


ภาพที่ 1 แผนภาพเครื่องไพโรไลซิสแบบช้าระดับห้องปฏิบัติการ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์ร้อยละผลผลิต

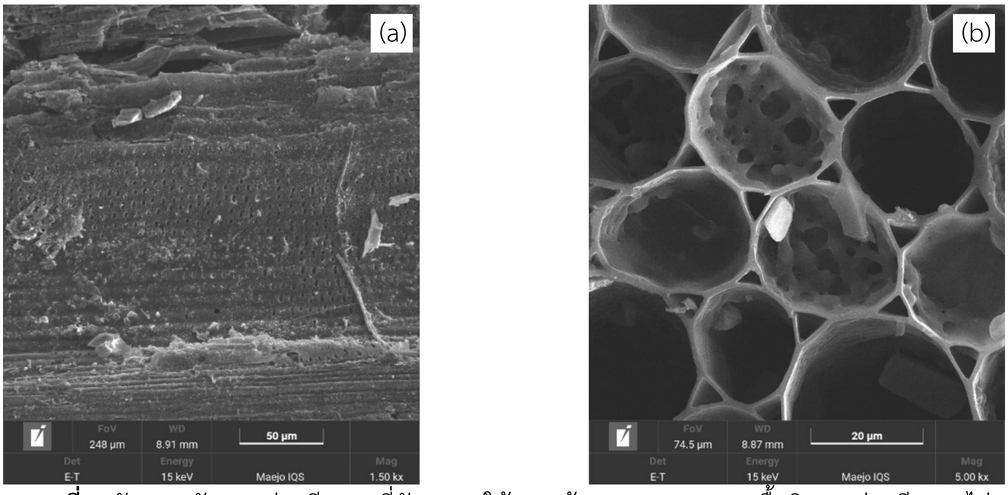
การวิเคราะห์ร้อยละผลผลิตถ่านชีวภาพไผ่ น้ำส้มควันไม้ และก๊าซ พบว่าที่อุณหภูมิ 700 °C ระยะเวลา 1 h มีร้อยละผลผลิตถ่านอยู่ที่ 24.58% น้ำส้มควันไม้ 40.29-43.99% และก๊าซ 31.43-33.34% ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการให้ความร้อน การเพิ่มอัตราการให้ความร้อนส่งผลกระทบต่อร้อยละผลผลิตถ่านชีวภาพทำให้ร้อยละลผลผลิตถ่านชีวภาพไผ่ลดลง สังเกตได้จากภาพที่ 2 อัตราการให้ความร้อน 5 °C/min มีร้อยละผลผลิตถ่านสูงสุดอยู่ที่ 26.37% ส่งผลให้เกิดก๊าซส่วนที่ควบแน่นได้ต่ำสามารถกลั่นตัวเป็นน้ำส้มควันไม้ได้ 40.29% และยังมีก๊าซบางส่วนไม่สามารควบแน่นได้สูงสุดคือ 33.34% ในขณะที่การเพิ่มอัตราการให้ความร้อนที่ 10 และ 15 °C/min ส่งผลให้ได้ร้อยละผลผลิตถ่านชีวภาพไผ่ลดลง ได้น้ำส้มควันไม้เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นอัตราการให้ความร้อนจึงเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อร้อยละผลผลิตของถ่านชีวภาพ การเพิ่มอัตราการให้ความร้อนจะส่งผลให้ได้ผลผลิตของถ่านลดลง [4] และ [7]



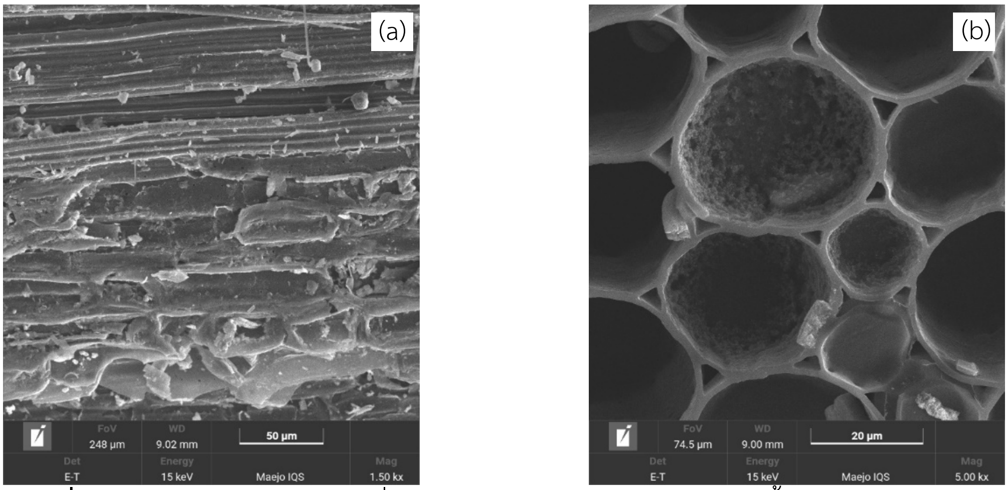
ภาพที่ 2 ร้อยละผลผลิตของถ่านชีวภาพไผ่ น้ำส้มควันไม้ และก๊าซ

การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานรูพรุนของถ่านชีวภาพไผ่

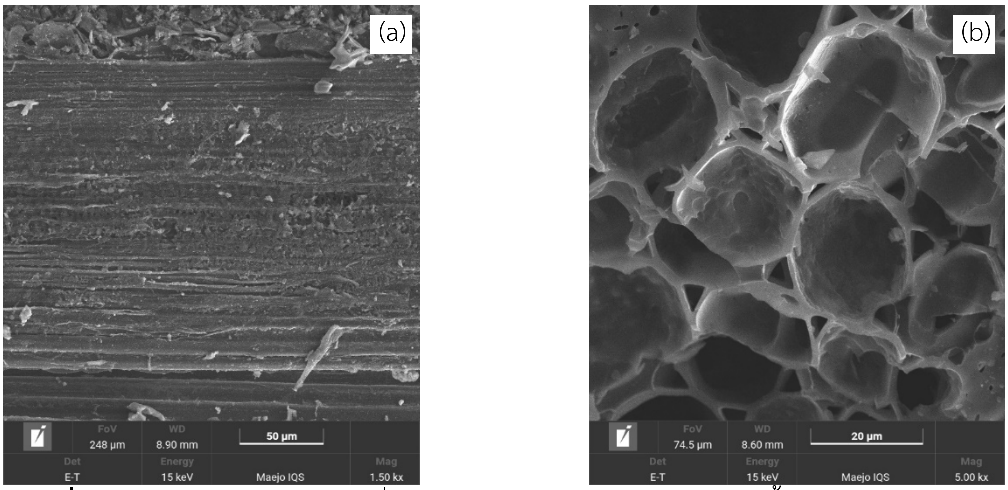
ลักษณะสัณฐานรูพรุนของถ่านชีวภาพไผ่ พบว่าอัตราการให้ความร้อน 5 °C/min โครงสร้างถ่านชีวภาพไผ่เกิดรูพรุนที่พื้นที่ผิวด้านนอกและเกิดการเรียงตัวกันของรูพรุนที่เป็นระเบียบดังภาพที่ 3(a) เมื่อศึกษาลักษณโครงสร้างรูพรุนภายในตามภาพตัดขวาง ดังภาพที่ 3(b) พบว่าเกิดรูพรุนขนาดกลางภายในรูพรุนขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วทุกรูพรุยขนาดใหญ่ เมื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อน 10 และ 15 °C/min ส่งผลให้รูพรุนที่ผิวด้านนอกของถ่านชีวภาพเริ่มสลายตัวทำให้พื้นที่ผิวของถ่านมีความเรียบมากขึ้น ในขณะเดียวกันรูพรุนภายในรูพรุนขนาดใหญ่ก็เกิดการสลายตัวทำให้รูพรุนมรขนาดใหญ่เพิ่มสูงขึ้น ดังภาพที่ 4(a) 4(b) 5(a) และ 5(b) ดังนั้นอัตราการให้ความร้อนจึงเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโครงสร้างของรูพรุน [4] การเพิ่มอัตราการให้ความร้อนจะส่งผลให้เกิดการสลายตัวของสารระเหยเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและมีพื้นผิวที่เรียบเนียนขึ้น [8]



ภาพที่ 3 ลักษณะสัณฐานถ่านชีวภาพที่อัตราการให้ความร้อน 5 ^{o}C/min (a) พื้นผิวของถ่านชีวภาพไผ่ และ (b) รูพรุนของถ่านชีวภาพไผ่



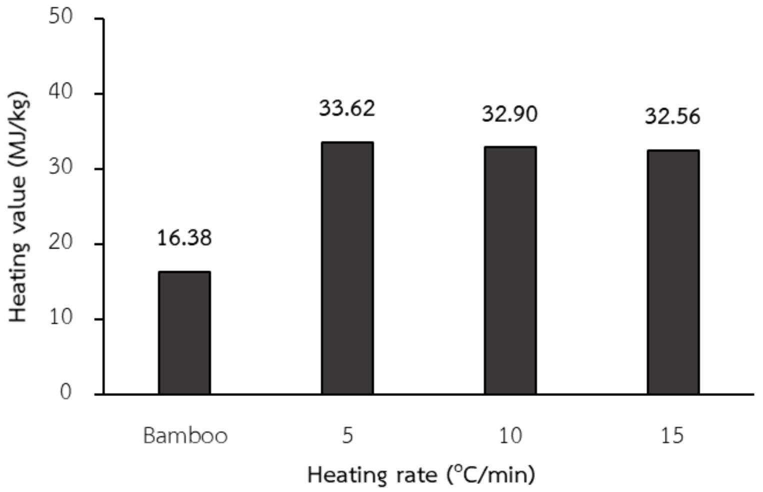
ภาพที่ 4 ลักษณะสัณฐานถ่านชีวภาพที่อัตราการให้ความร้อน 10 ^{o}C/min (a) พื้นผิวของถ่านชีวภาพไผ่ และ (b) รูพรุนของถ่านชีวภาพไผ่



ภาพที่ 5 ลักษณะสัณฐานถ่านชีวภาพที่อัตราการให้ความร้อน 15 ^{o}C/min (a) พื้นผิวของถ่านชีวภาพไผ่ และ (b) รูพรุนของถ่านชีวภาพไผ่

การวิเคราะห์ค่าความร้อน

การวิเคราะห์ค่าความร้อนไผ่และถ่านชีวภาพไผ่ พบว่าถ่านชีวภาพไผ่มีค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น 49-51% จาก 16.38 MJ/kg เป็น 32.56-33.62 MJ/kg จากภาพที่ 6 สังเกตได้ว่าอัตราการให้ความร้อนที่ 5 °C/min มีค่าความร้อนสูงสูงที่สุดคือ 33.62 MJ/kg จากการทดสอบพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อนที่สูงขึ้นจะนำไปสู่การสลายตัวอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้สูญเสียคาร์บอนซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญของค่าความร้อนส่งผลให้ค่าความร้อนลดลง [9] อย่างไรก็ตามก็มีการลดลงของค่าความร้อนเพียง 0.34-1.06 MJ/kg หรือคิดเป็น 1.03-3.15%



9

ภาพที่ 6 ค่าความร้อนของไผ่และถ่านชีวภาพไผ่

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 700 °C ระยะเวลา 1 h ที่อัตราการให้ความร้อนแตกต่างกัน คือ 5 10 และ 15 °C/min ถ่านชีวภาพไผ่มีร้อยละผลิตถ่านอยู่ที่ 24.58-26.37% น้ำส้มควันไม้ 40.29-43.99% และก๊าซที่ไม่ควบแน่น 31.43-33.34% โครงสร้างลักษณะสัณฐานของถ่านชีวภาพไผ่ที่อัตราการให้ความร้อน 5 °C/min มีรูพรุนขนาดใหญ่และขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวทั้งภาพตามแนวยาวและภาพตัดขวาง เมื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อนที่ 10 และ 15 °C/min โครงสร้างของถ่านมีรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้น และมีการหลุดออกของผนังโครงสร้างเพิ่มขึ้นทำให้ถ่านชีวภาพไผ่มีการสูญเสียโครงสร้างของรูพรุน เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพไผ่มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากวัตถุดิบตั้งต้น 49-51% จาก 16.38 MJ/kg เป็น 32.56-33.62 MJ/kg จากลักษณะโครงสร้างความเป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพไผ่ที่อัตราการให้ความร้อน 15 °C/min สามารถยกระดับรูพรุนให้มีสมบัติการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อสร้างความเป็นกลางทางคาร์บอนให้กับชุมชนในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย และห้องปฏิบัติการพลังงานสะอาดและเกษตรอัจฉริยะ (Clean Energy & Smart Agricultural Laboratory) วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่สนับสนุนเครื่องมือในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ธินัดดา พลล้ำ. (2565). **การปรับปรุงถ่านชีวภาพจากผักตบชวาด้วยการฉายรังสีเพื่อใช้ในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมมหาบัณฑิต. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[2] Wenny, M., Rani. K., Zakiyah, R., Supriyadi1, Artoto, A., Lutfi, R. and Endhah, P. (2019). Carbonization process of water hyacinth as an alternative renewable energy material for biomass cook stoves applications. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**. 239, 0.12035, April 2019.

[3] รัชพล พะวงศ์รัตน์. (2558). กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 2(1), 143-157.

[4] Shagali, A., Hu, S., Wang, Y., Li, H., Wang, Y., Su, S. and Xiang, J. (2021). Comparative study on one-step pyrolysis activation of walnut shells to biochar at different heating rates. **Energy Reports**. 7(2021), 388–396.

[5] Nurhidayah, M., Adilah, S. and Nurhayati, A. (2012). Slow Pyrolysis of Cassava Wastes for Biochar Production and Characterization. **Iranica Journal of Energy & Environment.** 3 (Special Issue on Environmental Technology, 60-65.

[6] ASTM International. (2019). Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. DOI: 10.1520/D5865_D5865M-19.

[7] Alexandru, F., Dumitru, T., Andrzej, B., Przemyslaw, B., George, C., Sptimiu L., Jakub, P., Arkadiusz, D. Marcin, D. (2017). Effect of Temperature and Heating Rate on the Char Yield in Sorghum and Straw Slow Pyrolysis. **REV. CHIM**. 68(3), 576-580.

[8] Kuo, Z., Doan, P., Daniel, G., Elsa, W., Ange, N. and Gilles, F. (2015). The effect of temperature and heating rate on char properties obtained from solar pyrolysis of beech wood. **Bioresource Technology**. 182(2015). 114-119.

[9] Anurita, S. and Dooshyantsingh, O. (2020). Effect of pyrolysis temperature on product yields of palm fibre and its biochar characteristics. **Materials Science for Energy Technologies**. 3(2020). 575-583.

การบริหารจัดการพลังงานชุมชนอัจฉริยะ

Smart Community Energy Management (SCM)

การประเมินค่าใช้จ่ายทางพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานระดับครัวเรือน กรณีศึกษาเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

Assessment of energy costs and environmental impacts from household energy use: a case study of Muang Kaen Phatthana Municipality, Mae Taeng District, Chiang Mai Province

ธนาวัฒน์ ไชยโย[1] รจพรรณ นิรัญศิลป์[1] ภคมน ปินตานา[1] ประกิตต์ โกะสูงเนิน[2] และ ธเนศ ไชยชนะ[1*]
Tanawat Chaiyo[1] Rotjapun Nirunsin[1] Pakamon Pintana[1] Prakit Kohsungnoen[2] , and Tanate Chaichana[1*]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยแม่โจ้ - แพร่ เฉลิมพระเกียรติ แพร่ 54140
[1]Renewable Energy Engineering, College of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290
[2]Plant production technology, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140
Corresponding author: Tel.: 094-728-1606. E-mail address: Tanawat10022540@gmail.com

Abstract

The objective of this research is to assess household energy expenditure in the community area of Muang Kaen Phatthana Municipality, Mae Taeng District, Chiang Mai Province and to analyze the amount of greenhouse gas emissions from energy use. A questionnaire was used to collect data from 360 sample households in the area to analyze the amount of greenhouse gas emissions from energy consumption. The study considered electricity, energy from vehicle fuel, and energy from cooking fuel. Households were divided into 6 groups based on their main income: I1-I6, ranked from the lowest to the highest income. The results of the study found that energy expenditures per income of each group accounted for 28.02, 25.45, 19.04, 20.64, 20.44, and 20.33% of the I1-I6 groups, respectively. The average energy expenditure was 22.65% of income, divided by type: fuel 72%, electricity 22%, and cooking fuel 6%. The average energy consumption was 3,883.9 MJ/month/household. The average energy consumption of each household group was 1,916.5, 2,493.0, 2,902.1, 4,153.6, 5,156.2, and 6,682.1 MJ/month/household, ranked from groups I1-I6, respectively. The total energy consumption in terms of electrical energy was 19%, energy in the vehicle fuel group was 63%, and energy in the cooking fuel group was 18%. It was found that households in group I6 had an average energy consumption higher than households in group I1 by 3.48 times. The average greenhouse gas emission from energy consumption was 333.96 kgCO_2eq/month/household. It was found that households in group I6 had an average greenhouse gas emission from energy consumption higher than households in group I1 by 3.53 times.

Keywords: Community energy, greenhouse gas emissions, electrical energy

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้มีเพื่อประเมินค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานภาคครัวเรือนในพื้นที่ชุมชนของเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ และทำการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน โดยใช้แบบสอบถามเก็บข้อมูลจากครัวเรือนกลุ่มตัวอย่าง 360 ครัวเรือนในพื้นที่เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน โดยพิจารณาจากพลังงานไฟฟ้า พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิงยานพาหนะ และพลังงานจากเชื้อเพลิงเพื่อการหุงต้ม และแบ่งกลุ่มครัวเรือนจากรายได้หลักเป็น 6 กลุ่มคือ I1-I6 โดยเรียงจากรายน้อยจนถึงรายได้มากสุดถามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานต่อรายได้แต่ละกลุ่มร้อยละ 28.02 25.45 19.04 20.64 20.44 และ 20.33 ของกลุ่ม I1-I6 ตามลำดับและค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเฉลี่ยร้อยละ 22.65 ของรายได้แบ่งตามประเภทคือน้ำมันเชื้อเพลิงร้อยละ 72 ไฟฟ้าร้อยละ 22 และเชื้อเพลิงหุงต้มร้อยละ 6 การใช้พลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 3,883.9 MJ/เดือน/ครัวเรือน โดยการใช้พลังงานเฉลี่ยครัวเรือนแต่ละกลุ่มคือ 1,916.5 2,493.0 2,902.1 4,153.6 5,156.2 และ 6,682.1 MJ/เดือน/ครัวเรือน เรียงจากกลุ่ม I1-I6 ตามลำดับ โดยมีการใช้พลังงานรวมในส่วนของพลังงานไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 19 พลังงานในกลุ่มเชื้อเพลิงยานพาหนะร้อยละ 63 และพลังงานในกลุ่มของเชื้อเพลิงหุงต้มร้อยละ 18 และพบว่าครัวเรือนกลุ่ม I6 มีการใช้พลังงานสูงกว่าครัวเรือนกลุ่ม I1 เฉลี่ยเท่ากับ 3.48 เท่า ส่วนปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 333.96 kgCO_2eq/เดือน/ครัวเรือน และพบว่าครัวเรือนกลุ่ม I6 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานเฉลี่ยสูงกว่าครัวเรือนกลุ่ม I1 เท่ากับ 3.53 เท่า

คำสำคัญ: พลังงานชุมชน การปล่อยก๊าซเรือนกระจก พลังงานไฟฟ้า

บทนำ

จากการบริโภคพลังงานของประเทศที่มากนั้นทำให้แหล่งพลังงานในประเทศมีไม่เพียงพอจึงได้รับผลกระทบจากวิกฤตราคาพลังงานอย่างหนัก ทำให้ประเทศไทยจำเป็นต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศทั้งน้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติ [1] และการบริโภคพลังงานสิ้นเปลืองนั้นยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำให้การเกิดสภาวะเรือนกระจก (The Greenhouse Effect) ปรากฏการณ์การลดของชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Depletion) และสภาวะโลกร้อน (Global Warming) ในระยะยาวอีกด้วย [2] ปัญหาทางด้านวิกฤตการณ์พลังงาน และสิ่งแวดล้อมกระทรวงพลังงานจึงได้ทบทวนการจัดทำแผนพลังงาน 5 แผนหลักในช่วงปี พ.ศ. 2558 – 2579 ที่สอดคล้องกับรอบของการจัดทำแผนบูรณาการพลังงานระยะยาว (Thailand Integrated Energy Blueprint, TIEB) เพื่อให้การบริหารจัดการด้านพลังงานของประเทศระบบ [3] ถึงแม้การปรับแผนการบริหารจัดการเชื้อเพลิงของประเทศเพื่อลดต้นทุน เพื่อบรรเทาผลกระทบแต่ก็บรรเทาได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ทำให้ภาครัฐจำเป็นต้องขอความร่วมมือจากประชาชนช่วยประหยัดพลังงานเพื่อฝ่าวิกฤตพลังงาน เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการพลังงาน และสิ่งแวดล้อมของประเทศนั้น เบื้องต้นต้องทราบปริมาณการใช้พลังงานในพื้นที่นั้น ๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการหาแนวทางในการจัดการลดการใช้พลังงาน และเป็นการช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานภาคครัวเรือนในพื้นที่ชุมชนของเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ และทำการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน

วิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบสอบถามสำหรับการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่มพลังงานไฟฟ้า (แสงสว่าง,ความร้อน,มอเตอร์หมุน,ความเย็น,อิเล็กทรอนิกส์)

กลุ่มพลังงานเชื้อเพลิงยานพาหนะ (น้ำมันแบนซิน,น้ำมันดีเซล)

กลุ่มพลังงานเชื้อเพลิงหุงต้ม (แก๊ส LPG,ฟืน,ถ่าน) [4]

2.2 การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง เพื่อลงพื้นที่ทำการเก็บข้อมูล โดยใช้วิธีการกำหนดกลุ่มตัวอย่างตามวิธีการของทาโร ยามาเน่ (Taro Yamane) ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.05 [5] ซึ่งพบว่าในพื้นที่เขตที่ 1 เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่มี 9 ชุมชนซึ่งมีจำนวนครัวเรือน 1,803 ครัวเรือน [6]

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

เมื่อ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของประชากร

e = ความคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่าง 0.05

2.3 เก็บข้อมูลในพื้นที่เขตที่ 1 ของเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ทั้ง 9 ชุมชนจากการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง และจำแนกระดับการใช้พลังงานตามรายได้เป็น 6 กลุ่มดังนี้

I1 รายได้น้อย (ต่ำกว่า 5,000 บาทต่อเดือน)

I2 รายได้ค่อนข้างน้อย (5,001-10000 บาทต่อเดือน)

I3 รายได้ปานกลาง (10,001-15,000 บาทต่อเดือน)

I4 รายได้ค่อนข้างมาก (15,001-20,000 บาทต่อเดือน)

I5 รายได้มาก (20,001-25,000 บาทต่อเดือน)

I6 รายได้มากที่สุด (มากกว่า 25,000 บาทต่อเดือน)

2.4 วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานโดยใช้ค่าพลังงานเทียบเท่า (MJ/Unit) และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Emission Factor) โดยค่า Emission Factor ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ใช้คำนวณพลังงานโดยแปลงเป็นพลังงานเทียบเท่าและค่า Emission Factor

ชนิดพลังงาน	หน่วย (Unit)	Energy Equivalent (MJ/Unit) [7]	Emission Factor ($kgCO_2eq$/Unit) [8]	ชนิดพลังงาน	หน่วย (Unit)	Energy Equivalent (MJ/Unit) [7]	Emission Factor ($kgCO_2eq$/Unit) [8]
ไฟฟ้า	kWh	3.60	0.4999	LPG	kg	50.22	3.1134
Benzene	Liter	31.48	2.3116	ฟืน	kg	15.99	1.7909
Diesel	Liter	36.42	2.9793	ถ่าน	kg	28.88	-

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ข้อมูลทั่วไปของชุมชน

จากการเก็บข้อมูลเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ จากกลุ่มตัวอย่าง 360 ครัวเรือนการประกอบอาชีพหลักของครัวเรือนพบว่าร้อยละ 40 เป็นอาชีพรับจ้างทั่วไปร้อยละ 26 เป็นอาชีพเกษตรกรร้อยละ 20 เป็นอาชีพค้าขายร้อยละ 3 เป็นอาชีพข้าราชการ และร้อยละ 11 เป็นอาชีพอื่น ๆ ส่วนของรายได้หลักของครัวเรือนต่อเดือนพบว่าร้อยละ 42.78 เป็นครัวเรือนกลุ่ม I1 ร้อยละ 24.44 เป็นครัวเรือนกลุ่ม I2 ร้อยละ 11.11 เป็นครัวเรือนกลุ่ม I3 ร้อยละ 10.28 เป็นครัวเรือนกลุ่ม I4 ร้อยละ 6.94 เป็นครัวเรือนกลุ่ม I5 และร้อยละ 4.44 เป็นครัวเรือนกลุ่ม I6

3.2 ข้อมูลอุปกรณ์ทางด้านพลังงาน

การสำรวจจำนวนอุปกรณ์ทางด้านพลังงานที่จำแนกตามรายได้หลักของครัวเรือนทั้ง 6 กลุ่มรายได้สามารถแสดงรายละเอียดของแต่ละกลุ่มพลังงานได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อุปกรณ์ทางด้านพลังงาน

รายการ		I1	I2	I3	I4	I5	I6	รวม	หน่วย
จำนวนตัวอย่าง		**154**	**88**	**39**	**38**	**25**	**16**	**360**	**ครัวเรือน**
ไฟฟ้าเพื่อแสงสว่าง	หลอดไส้	111	39	10	67	35	37	299	หลอด
	หลอดฟูลออเรสเซนต์	431	185	91	81	61	46	895	หลอด
	หลอดตะเกียบ	98	80	50	55	48	11	342	หลอด
	หลอด LED	287	266	163	91	33	139	979	หลอด
ไฟฟ้าเพื่อความร้อน	กระติกน้ำร้อน	73	46	24	26	13	11	193	เครื่อง
	กระทะไฟฟ้า	9	7	4	4	3	4	31	เครื่อง
	เครื่องปิ้งขนมปัง	6	2	2	3	0	7	20	เครื่อง
	เตาไฟฟ้า	6	3	4	10	9	5	37	เครื่อง
	เตาไมโครเวฟ	30	15	16	12	7	9	89	เครื่อง
	เตาอบไฟฟ้า	13	9	6	16	12	4	60	เครื่อง
	หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	121	66	34	22	11	12	266	เครื่อง
	เครื่องทำน้ำอุ่น	2	0	2	12	9	3	28	เครื่อง
	เครื่องเป่าผม	74	40	23	18	8	12	175	เครื่อง
	เตารีด	13	16	9	24	13	12	87	เครื่อง
ไฟฟ้าเพื่อมอเตอร์หมุน	ยานยนต์ไฟฟ้า	12	2	6	4	2	4	30	คัน
	เครื่องปั่น	35	14	11	10	2	8	80	เครื่อง
	จักรเย็บผ้าไฟฟ้า	8	8	0	2	4	1	23	เครื่อง
	เครื่องดูดฝุ่น	7	9	4	10	4	9	43	เครื่อง
	พัดลมเพดาน	28	16	9	20	21	1	95	เครื่อง
	พัดลมฝาผนัง	52	29	18	18	7	9	133	เครื่อง
	พัดลมตั้งโต๊ะ	179	103	45	40	22	24	413	เครื่อง
	เครื่องซักผ้า	127	78	38	27	11	15	296	เครื่อง
ไฟฟ้าเพื่อความเย็น	ตู้เย็น	166	98	46	37	18	22	387	เครื่อง
	เครื่องปรับอากาศ	33	31	14	20	12	23	133	เครื่อง
ไฟฟ้าเพื่ออิเล็กทรอนิกส์	โทรทัศน์	139	86	41	26	12	16	320	เครื่อง
	วิทยุ	17	5	2	1	0	0	25	เครื่อง
	คอมพิวเตอร์	4	3	0	2	0	0	9	เครื่อง
	เครื่องปริ้น	0	3	5	6	1	6	21	เครื่อง
ยานพาหนะ	จักรยานยนต์	183	122	65	35	18	25	448	คัน
	รถยนต์ เก๋ง	6	1	1	5	2	2	17	คัน
	รถยนต์ กระบะ	17	18	11	16	14	10	86	คัน
	อีแต๋น	29	18	16	18	10	10	101	คัน
	รถไถนา	0	1	0	1	0	0	2	คัน
	เครื่องสูบน้ำ	0	0	0	1	0	0	1	เครื่อง
	เครื่องตัดหญ้า	2	5	1	4	2	1	15	เครื่อง
เตาหุงต้ม	เตาแก๊ส	154	88	40	37	25	16	154	เตา
	เตาฟืน	154	88	40	37	25	16	154	เตา

3.3 ปริมาณการใช้พลังงาน

จากข้อมูลที่ดำเนินการเก็บในขั้นตอนการเก็บข้อมูล ที่ประกอบด้วย ชนิดของอุปกรณ์ทางด้านพลังงาน กำลังหรือขนาดของอุปกรณ์ทางด้านพลังงาน เวลาในการใช้งาน ประมาณพลังงานที่ใช้ นำมาทำการวิเคราะห์รายครัวเรือน (รายแบบสอบถาม) พบว่าครัวเรือนที่ใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุดคือครัวเรือนกลุ่ม I1 มีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 112.39 kWh/เดือน/ครัวเรือน และครัวเรือนที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดคือครัวเรือนกลุ่ม I6 มีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 415 kWh/เดือน/ครัวเรือน ในส่วนของปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง ครัวเรือนกลุ่ม I1 เป็นครัวเรือนที่มีการใช้น้อยเช่นเดียวกันแต่ในทางกลับกันพบว่าครัวเรือนที่ใช้น้ำมันดีเซลมากที่สุดคือครัวเรือนกลุ่ม I5 ที่ 75.89 Liter/เดือน/ครัวเรือน และกลุ่มเชื้อเพลิงหุงต้มพบว่าครัวเรือนที่ใช้ฟืนมากที่สุด 17.14 kg/เดือน/ครัวเรือน เป็นกลุ่มครัวเรือน I1 และครัวเรือนที่ใช้แก๊ส LPG มากที่สุด 9.06 kg/เดือน/ครัวเรือน เป็นครัวเรือนกลุ่ม I4 รายละเอียดรวมดังแสดงข้อมูลการใช้ปัจจัยทางด้านพลังงานเฉลี่ยในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้ปัจจัยทางด้านพลังงานเฉลี่ย

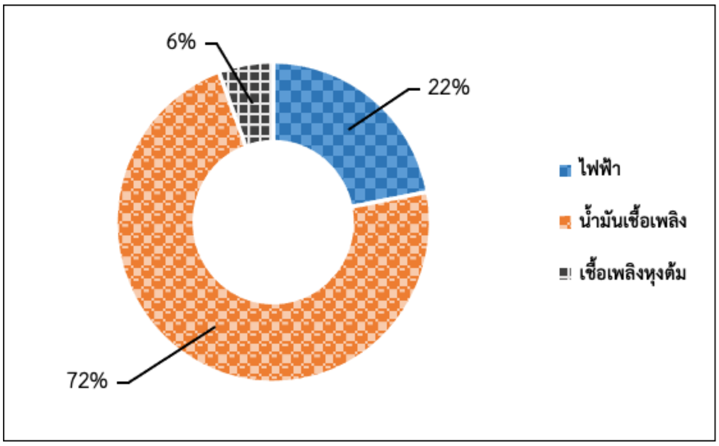
ประเภท		I1	I2	I3	I4	I5	I6	เฉลี่ย
ไฟฟ้า (kWh/เดือน/ครัวเรือน)	แสงสว่าง	14.75	17.01	17.59	20.26	26.90	38.60	22.52
	ความร้อน	21.31	26.73	34.61	39.47	32.46	60.31	35.82
	มอเตอร์หมุน	20.13	24.13	28.64	21.93	34.07	29.51	26.40
	ความเย็น	47.32	67.62	72.87	115.73	108.34	273.65	114.26
	อิเล็กทรอนิกส์	8.85	9.69	9.24	9.54	8.75	12.92	9.83
	รวมไฟฟ้า	112.36	145.18	162.96	206.93	210.52	415.00	208.83
เชื้อเพลิงยานพาหนะ (Liter/เดือน/ครัวเรือน)	Benzene	12.27	22.42	22.67	43.56	37.13	75.03	35.51
	Diesel	9.86	13.03	26.49	36.27	75.89	57.02	36.42
เชื้อเพลิงหุงต้ม (kg/เดือน/ครัวเรือน)	LPG	6.56	6.91	7.95	9.06	7.79	8.98	7.87
	ฟืน	17.14	14.52	7.44	5.92	1.20	2.19	8.07
	ถ่าน	5.65	7.31	4.12	5.78	1.92	9.13	5.65

*พิจารณา load factor 0.5 ของการเดินเครื่องใช้ไฟฟ้าความเย็น [9]

จากปริมาณการใช้ปัจจัยด้านพลังงานตารางที่ 3 สามารหาค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานโดยนำปริมาณที่ใช้ไปคูณกับราคาพลังงานแต่ละประเภท ดังแสดงตารางที่ 4 ซึ่งเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานต่อรายได้แต่ละกลุ่มร้อยละ 28.02 25.45 19.04 20.64 20.44 และ 20.33 ของกลุ่ม I1-I6 ตามลำดับและค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเฉลี่ยร้อยละ 22.65 ของรายแบ่งได้ตามประเภทจากมากไปน้อยคือน้ำมันเชื้อเพลิงร้อยละ 72 ไฟฟ้าร้อยละ 22 และเชื้อเพลิงหุงต้มร้อยละ 6 ดังแสดงดังภาพที่ 1

ตารางที่ 4 ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเฉลี่ยต่อรายได้

ประเภท	I1	I2	I3	I4	I5	I6	เฉลี่ย
ไฟฟ้า	393.26	508.13	570.36	724.26	736.82	1,452.50	730.91
น้ำมันเชื้อเพลิง	830.86	1,201.66	1,641.13	2,685.24	3,728.03	4,450.69	2,408.29
เชื้อเพลิงหุงต้ม	176.78	198.98	168.18	202.12	133.30	237.47	186.05
รวม	1,400.90	1,908.77	2,379.67	3,611.62	4,598.15	6,140.66	3,325.25
รายรับเฉลี่ย (บาท/เดือน)	5,000	7,500	12,500	17,500	22,500	27,500	-
ค่าใช้จ่ายพลังงานต่อรายได้ (ร้อยละ)	28.02	25.45	19.04	20.64	20.44	22.33	22.65

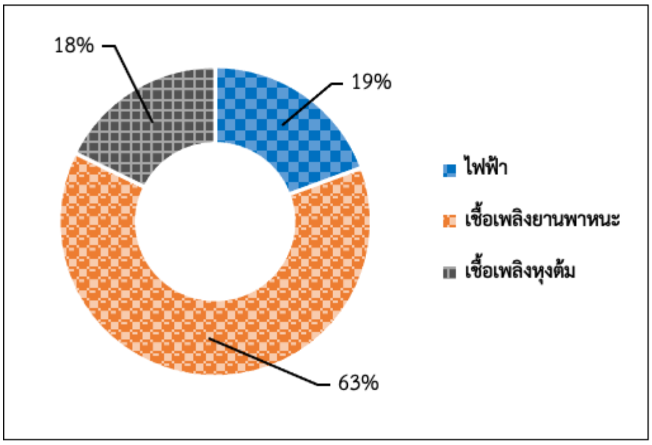


ภาพที่ 1 สัดส่วนค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเฉลี่ยต่อรายได้

เมื่อพิจารณาเป็นปริมาณการใชพลังงานเทียบเท่าพบว่า มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 3,883.9 MJ/เดือน/ครัวเรือน โดยครัวเรือนกลุ่ม I1 มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 1,916.40 MJ/เดือน/ครัวเรือน และครัวเรือนกลุ่ม I6 มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 6,682.10 MJ/เดือน/ครัวเรือน ดังแสดงในตารางที่ 4 ทั้งนี้เมื่อจำแนกตามกลุ่มพลังงานพบว่ากลุ่มพลังงานไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 19 พลังงานกลุ่มเชื้อเพลิงยานพาหนะร้อยละ 63 และพลังงานในกลุ่มของเชื้อเพลิงหุงต้มร้อยละ 18 ดังแสดงในภาพที่ 1 การใช้พลังงานระหว่างกลุ่ม I1 กับกลุ่ม I6 มีการใช้พลังงานที่ต่างกัน 3.48 เท่า

ตารางที่ 4 ปริมาณพลังงาน (MJ/เดือน/ครัวเรือน)

ประเภท		I1	I2	I3	I4	I5	I6	เฉลี่ย	ร้อยละ
ไฟฟ้า	แสงสว่าง	53.1	61.2	63.3	73	96.9	139	81.1	10.79
	ความร้อน	76.7	96.2	124.6	142.1	116.9	217.1	128.9	17.15
	มอเตอร์หมุน	72.5	86.9	103.1	78.9	122.6	106.2	95	12.64
	ความเย็น	170.3	243.4	262.3	416.6	390	985.2	411.3	54.72
	อิเล็กทรอนิกส์	31.8	34.9	33.3	34.4	31.5	46.5	35.4	4.71
	รวม	404.4	522.6	586.6	745	757.9	1494	751.7	100.00
เชื้อเพลิงยานพาหนะ	Benzene	386.2	705.8	713.5	1,371.10	1,168.80	2,361.90	1,117.90	45.73
	Diesel	359.10	474.4	964.7	1,320.80	2,763.80	2,076.50	1,326.50	54.27
	รวม	745.3	1180.2	1678.2	2691.9	3932.6	4438.4	2444.4	100.00
เชื้อเพลิงหุงต้ม	LPG	329.5	346.8	399.4	455	391	451.2	395.5	57.51
	ฟืน	274.1	232.2	118.9	94.7	19.2	35	129	18.76
	ถ่าน	163.1	211.1	119	167.1	55.5	263.5	163.2	23.73
	รวม	766.7	790.1	637.3	716.8	465.7	749.7	687.7	100.00
รวม		1,916.40	2,492.90	2,902.10	4,153.70	5,156.20	6,682.10	3,883.80	



ภาพที่ 2 สัดส่วนของการใช้พลังงานในกลุ่มของพลังงานต่าง ๆ

3.4 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน

ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานจากตารางที่ 3 เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังก็จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 5 ซึ่งพบว่าแต่ละครัวเรือนมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานเฉลี่ย 333.96 kgCO_2eq/เดือน/ครัวเรือน ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังระหว่างรายได้น้อยสุดกับรายได้มากสุดมีความต่างกันที่ 3.53 เท่า

ตารางที่ 5 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน (kgCO_2eq/เดือน/ครัวเรือน)

ประเภท		I1	I2	I3	I4	I5	I6	เฉลี่ย	ร้อยละ
ไฟฟ้า	แสงสว่าง	7.38	8.5	8.8	10.13	13.45	19.3	11.26	10.79
	ความร้อน	10.65	13.36	17.3	19.73	16.23	30.15	17.9	17.15
	มอเตอร์หมุน	10.06	12.06	14.32	10.96	17.03	14.75	13.2	12.64
	ความเย็น	23.65	33.8	36.43	57.85	54.16	136.8	57.12	54.71
	อิเล็กทรอนิกส์	4.42	4.84	4.62	4.77	4.38	6.46	4.92	4.71
	รวม	56.16	72.56	81.47	103.44	105.25	207.46	104.4	100.00
เชื้อเพลิงยานพาหนะ	Benzene	28.36	51.82	52.39	100.68	85.83	173.43	82.09	43.07
	Diesel	29.37	38.81	78.91	108.05	226.09	169.87	108.52	56.93
	รวม	57.73	90.63	131.3	208.73	311.92	343.3	190.61	100.00
เชื้อเพลิงหุงต้ม	LPG	20.43	21.5	24.76	28.2	24.24	27.97	24.52	62.92
	ฟืน	30.7	26.01	13.32	10.6	2.15	3.92	14.45	37.08
	ถ่าน	-	-	-	-	-	-	-	-
	รวม	51.13	47.51	38.08	38.8	26.39	31.89	38.97	100.00
รวม		165.02	210.7	250.85	350.97	443.56	582.65	333.98	

สรุปผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในส่วนของครัวเรือนในพื้นที่ชุมชนของเทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ และทำการะวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน โดยแบ่งกลุ่มรายได้ 6 กลุ่มสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานต่อรายได้แต่ละกลุ่มร้อยละ 28.02 25.45 19.04 20.64 20.44 และ 20.33 ของกลุ่ม I1-I6 ตามลำดับและค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเฉลี่ยร้อยละ 22.65 ของรายแบ่งได้ตามประเภทจากมากไปน้อยคือน้ำมันเชื้อเพลิงร้อยละ 72 ไฟฟ้าร้อยละ 22 และเชื้อเพลิงหุงต้มร้อยละ 6

- ครัวเรือนมีการใช้พลังงานเฉลี่ย 3,883.9 MJ/เดือน/ครัวเรือน โดยการใช้พลังงานครัวเรือนแต่ละกลุ่มเฉลี่ย 1,916.5 2,493.0 2,902.1 4,153.6 5,156.2 และ6,682.1 MJ/เดือน/ครัวเรือน ตั้งแต่กลุ่ม I1-I6 ตามลำดับ

- มีการใช้พลังงานในส่วนของพลังงานไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 19 พลังงานเชื้อเพลิงยานพาหนะร้อยละ 63 และ พลังงานเชื้อเพลิงหุงต้มร้อยละ 18

- ครัวเรือนกลุ่ม I6 มีการใช้พลังงานสูงกว่าครัวเรือนกลุ่ม I1 เฉลี่ยเท่ากับ 3.48 เท่า

- ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 333.96 $kgCO_2eq$/เดือน/ครัวเรือน โดยที่ 165.03 210.72 250.84 350.98 443.55 และ582.65 $kgCO_2eq$/เดือน/ครัวเรือน เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน I1-I6 ตามลำดับและครัวเรือนกลุ่ม I6 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานสูงกว่าครัวเรือนกลุ่ม I1 3.53 เท่า

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนการวิจัยเพื่อการศึกษาในครั้งนี้ โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปีการศึกษา 2565

เอกสารอ้างอิง

[1] กลุ่มวิชาการ กองพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, "ทำไม“ประหยัดพลังงาน” ช่วยชาติได้ ?," 2567. [Online]. Available: https://enhrd.dede.go.th.

[2] ส. กระทรวงพลังงาน, "การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานปี2564," 2564.

[3] ส. กระทรวงพลังงาน, "แผนบูรณาการพลังงานระยะยาว," 2559.

[4] ประภากร เลาเรืองและคณะ, "การใช้พลังงานและการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในพื้นที่บ้านวังป้อง อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่," การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14, โนโวเทล ระยอง, 2561.

[5] T. Yamane, "Statistics," in An Introductory Analysis.3rdEd, New York, 1997.

[6] เทศบาลเมืองเมืองแกนพัฒนา, “แผนพัฒนาท้องถิ่น 2566-2570,” 2564.

[7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลัง, "รายงานพลังงานของประเทศไทย," 2565, p. 32.

[8] องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก, "ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)," 2565.

[9] ศิริลักษณ์ ช่วยเวช.(2567). "การประเมินการใช้พลังงานและปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสถานประกอบการท่องเที่ยวขนาดเล็กในพื้นที่ ม่อนแจ่ม อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่," ประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 23), pp. 367-370, 14-15 มีนาคม 2567.

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการพัฒนาชุมชนขนาดเล็กสู่ความยั่งยืนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ผ่านการศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานในครัวเรือนและการประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานภายในชุมชน

Feasibility Analysis for Developing Small Communities in Energy and Environmental Sustainability via the Study of Residential Energy Consumption Patterns and Evaluation of Community Potential

ธนัญชัย สาทะกลาง สกลวัฒน์ เศวตรัตนกุล หทัยทิพย์ สินธุยา และ วรจิตต์ เศรษฐพรรค์*
Thananchai Sataklang, Sakollawat Sawetrattanakul, Hathaithip Sintuya, and Worajit Setthapun*

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50300
Asian Development College for Community Economy and Technology,
Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50300
Corresponding author: Tel.: 089-839-8049. E-mail address: worajit@g.cmru.ac.th

Abstract

The management of energy in communities, particularly throughout small, remote locales due to the frequent lack of access to external energy sources. This study aims to examine the practicality of creating small communities that prioritize energy and environmental sustainability. It specifically focuses on two key areas: analyzing the energy demands and consumption patterns of buildings and assessing the energy potential of the community. The study seeks to comprehend the magnitude and trends of energy usage in small communities, which is crucial for the development and implementation of suitable renewable energy systems. The research is divided into three primary stages: gathering data on energy consumption and behavior within buildings, evaluating the community's capacity for renewable energy sources, and examining the practicality of implementing these renewable energy solutions to improve efficiency and sustainability. The findings indicate that there is a variability in energy consumption within buildings throughout the day, with a slightly higher demand observed in the evening. The daily energy demand for the entire community remains relatively stable, with an average of 1,451.69 kWh per day. The study suggests that the community has the capacity to produce renewable energy, with solar energy meeting around 30.28% of the energy needs and wind energy meeting up to 83.99%. The findings offer recommendations for the sustainable development of small communities in relation to energy and the environment, with the objective of successfully attaining net-zero energy targets. The data can be utilized to facilitate policy formulation for the future advancement of small communities.

Keywords: Small Communities, Energy Sustainability, Energy Demand, Community potential, Net-Zero Goals

บทคัดย่อ

การจัดการพลังงานในชุมชนโดยเฉพาะในชุมชนขนาดเล็กในพื้นที่ห่างไกล และเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความยั่งยืนของชุมชน เนื่องจากชุมชนขนาดเล็กมักมีข้อจำกัดในการเข้าถึงพลังงานจากแหล่งภายนอก เพื่อให้ชุมชนสามารถบริหารจัดการพลังงานชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสม งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการพัฒนาชุมชนขนาดเล็กสู่ความยั่งยืนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม โดยเน้นการศึกษาในสองประเด็นหลัก ได้แก่ การประเมินความต้องการและพฤติกรรมการใช้พลังงานในครัวเรือนและการประเมินศักยภาพของชุมชน เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการพัฒนาชุมชนสู่ความยั่งยืนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม การศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานในครัวเรือนมีวัตถุประสงค์เพื่อทำความเข้าใจปริมาณและรูปแบบการใช้พลังงานของชุมชนขนาดเล็ก ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวางแผนและออกแบบระบบพลังงานทดแทนที่เหมาะสมต่อความต้องการ โดยแบ่งการศึกษาเป็นสามขั้นตอนหลัก คือการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานและพฤติกรรมภายในอาคาร, การประเมินศักยภาพพลังงานของชุมชนจากแหล่งพลังงานทดแทนและการวิเคราะห์ความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานทดแทนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนของการจัดการพลังงานในชุมชน โดยผลจากศึกษาพบว่าลักษณะความต้องการใช้พลังงานภายในอาคารจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเช้า และช่วงเย็น โดยช่วงเย็นจะมีความต้องการสูงกว่าช่วงเช้าเล็กน้อย ทั้งนี้ปริมาณความต้องการพลังงานภายในอาคารของแต่ละวันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ยทั้งชุมชนต่อวันเท่ากับ 1,451.69 kWh และเมื่อพิจารณาศักยภาพของชุมชนพบว่ามีความเป็นไปได้ของการสร้างพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนจากภายในชุมชน โดยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถตอบสนองความต้องการพลังงานได้ประมาณ 30.28% ในขณะที่พลังงานลมสามารถตอบสนองได้ถึง 83.99% ของความต้องการพลังงานทั้งหมด ผลการวิจัยจะช่วยสร้างแนวทางการพัฒนาชุมชนขนาดเล็กให้มีความยั่งยืนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อเพิ่มศักยภาพในการบรรลุเป้าหมายพลังงานสุทธิเป็นศูนย์อย่างมีประสิทธิภาพของชุมชน โดยข้อมูลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อสนับสนุนการวางแผนการพัฒนาเชิงนโยบายสำหรับชุมชนขนาดเล็กในอนาคต

คำสำคัญ: ชุมชนขนาดเล็ก ความยั่งยืนด้านพลังงาน ความต้องการพลังงาน ศักยภาพของชุมชน พลังงานสุทธิเป็นศูนย์

บทนำ

การจัดการพลังงานในชุมชนโดยเฉพาะในชุมชนขนาดเล็กในพื้นที่ห่างไกล และเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความยั่งยืนของชุมชน เนื่องจากชุมชนขนาดเล็กมักมีข้อจำกัดในการเข้าถึงพลังงานจากแหล่งภายนอก และระยะทางจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งส่งผลกะทบเรื่องระบบไฟฟ้าปลายสาย เช่น ระดับแรงดันไฟฟ้าตก และไฟฟ้าดับ ซึ่งเป็นหนึ่งในความท้าทายสำหรับการบริหารจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งพลังงานภายนอกรวมถึงการเลือกใช้แหลางพลังงานที่มีในพื้นที่ ซึ่งจะช่วยให้ชุมชนสามารถควบคุมและบริหารจัดการการใช้พลังงานได้อย่างเหมาะสม เป็นระบบ และมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันแนวคิดเรื่องการพัฒนาชุมชนที่สามารถบริหารจัดการพลังงานได้ด้วยตัวเองอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นแนวทางการบริหารจัดการที่ได้รับความนิยมและได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับพฤติกรรมความต้องการใช้พลังงานในครัวเรือน ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการวางแผนและพัฒนาแนวทางการจัดการพลังงานได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้หนึ่งในพื้นที่ที่มีปัญหาดังกล่าวคือ หมู่บ้านแม่ตะมาน ตั้งอยู่ในตำบลกึ๊ดช้าง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นชุมชนขนาดเล็กที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ชนบททางภาคเหนือของประเทศไทย โอบล้อมด้วยธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์ มีทั้งภูเขาและแม่น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่

สำคัญ ส่งผลให้วิถีชีวิตของชาวบ้านส่วนใหญ่พึ่งพาการเกษตรและการเลี้ยงสัตว์ รวมถึงการใช้พลังงานที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติเป็นหลัก โดยชุมชนดังกล่าวมีประชากรประมาณ 760 คน แบ่งเป็นชาย 375 คน และหญิง 380 คน โดยมีจำนวนครัวเรือนทั้งหมด 328 ครัวเรือน เมื่อพิจารณาตามกลุ่มอายุพบว่ากลุ่มอายุ 21–31 ปี เป็นกลุ่มที่มีจำนวนมากที่สุด รองลงมาคือกลุ่มอายุ 31–50 ปี และประชากรจะลดลงตามอายุที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากหมู่บ้านตั้งอยู่ในพื้นที่ปลายสายของระบบสายส่งไฟฟ้า ปัญหาที่ตามมาคือแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอและไฟฟ้าดับบ่อยครั้ง สร้างความเดือดร้อนให้กับชาวบ้านในชีวิตประจำวันและการทำมาหากิน ด้วยเหตุนี้ การจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านพลังงานอย่างยั่งยืน จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยให้ชุมชนลดการพึ่งพาทรัพยากรจากภายนอก และส่งเสริมความมั่นคงด้านพลังงานในระยะยาว การพัฒนาชุมชนให้เป็นชุมชนอัจฉริยะที่บริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของคนในพื้นที่ได้อย่างเป็นรูปธรรม

การนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการตรวจวัดและเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน รวมถึงการศึกษาศักยภาพของพื้นที่สามารถช่วยให้เข้าใจรูปแบบและพฤติกรรมการใช้พลังงานมีผลโดยตรงต่อการทราบปริมาณความต้องการ และพฤติกรรมการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ [1-4] รวมถึงเป็นข้อมูลสำหรับการบริการจัดการพลังงานให้เหมาะสมสำหรับชุมชน ซึ่งถือเป็นหนึ่งในกุญแจสำคัญในการประเมินศักยภาพของชุมชนในการพัฒนาให้เป็นชุมชนที่มีพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานในครัวเรือนในชุมชนขนาดเล็ก โดยใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดการใช้พลังงาและพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในอาคาร เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการพัฒนาชุมชนสู่ความยั่งยืนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อให้ชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองได้มากขึ้น ลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งพลังงานภายนอก และสร้างสังคมที่ยั่งยืนในระยะยาว

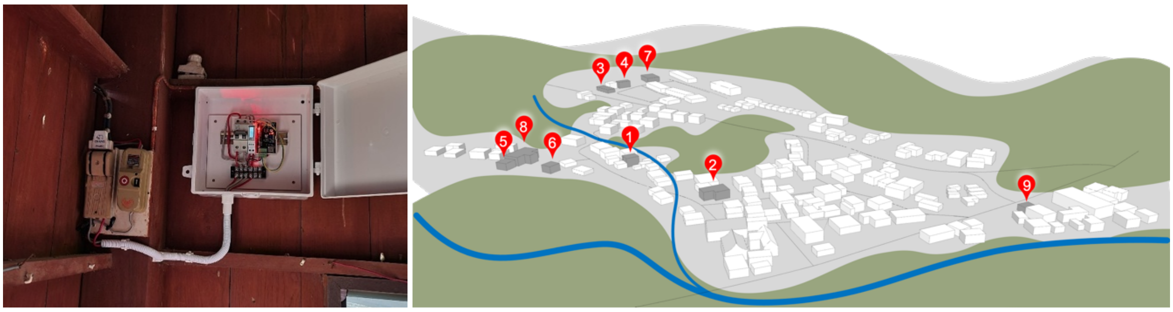
วิธีการวิจัย

ในขั้นตอนการวิเคราะห์และศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาชุมชนขนาดเล็กเพื่อมุ่งสู่การเป็นชุมชนอัจฉริยะด้านการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในชุมชนได้อย่างเหมาะสมนั้น มีวิธีการเป็นอย่างมาก และหนึ่งในวิธีการที่ความเหมาะสมคือการเข้าในบริบทของพื้นที่ เข้าใจพฤติกรรมการความต้องการและการใช้พลังงาน และทราบถึงศักยภาพของชุมชน ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นตอนการศึกษาปริมาณความต้องการใช้พลังงาน ขั้นตอนการศึกษาศักยภาพ และขั้นตอนการวิเคราะห์ความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของชุมชน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

การศึกษาปริมาณความต้องการใช้พลังงาน

การศึกษาปริมาณความต้องการใช้พลังงานภายในอาคารนั้นจะแบ่งขั้นตอนการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วยส่วนที่ 1 การเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร และส่วนที่ 2 การเก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในอาคาร

การเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (Smart Meter, SM) แสดงในภาพที่ 1 (ก) โดยจะทำหน้าที่ตรวจวัดและเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าสะสมภายในอาคารทุก 15 นาที และได้ทำการติดตั้งในอาคารตัวอย่างในหมู่บ้านทั้งหมด 9 อาคาร แสดงดังภาพที่ 1 (ข) ทั้งนี้ในการเลือกอาคารตัวอย่างในชุมชนเพื่อติดตั้ง SM สำหรับการเก็บข้อมูลนั้นได้แบ่งการคัดเลือกตามข้อมูลส่วนบุคคลของผู้อยู่อาศัยในอาคาร โดยเน้นช่วงอายุ 11-70 ปี เนื่องจากเป็นช่วงอายุที่มีผลต่อการบริโภคพลังงานและน้ำในครัวเรือนมากที่สุด และคิดเป็น 95.74% ของประชากรทั้งหมดในชุมชน [5-7]



(ก) (ข)

ภาพที่ 1 (ก) อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ภายในอาคารตัวอย่าง
(ข) แผนที่ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของภายหมู่บ้าน

การเก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในอาคาร เป็นการใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือสำหรับการเก็บข้อมูลในชุมชนทั้งหมด 270 คน โดยแบบสอบถามจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้อาศัยภายในอาคาร ในส่วนนี้จะสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล เช่น เพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือน ข้อมูลส่วนนี้ใช้ในการจัดกลุ่มผู้ใช้งาน เนื่องจากส่งผลต่อการบริโภคในครัวเรือน [3-4], [8-9] ส่วนที่ 2 ข้อมูลเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร เป็นการเก็บข้อมูลโดยการสำรวจและสอบถามจากผู้ใช้งานโดยตรง เช่น จำนวนและขนาดของหลอดไฟ พัดลม เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า โทรทัศน์ รวมถึงความถี่และระยะเวลาของกิจกรรมในครัวเรือน เช่น การเปิดไฟ อาบน้ำ และซักผ้า ส่วนที่ 3 ระยะเวลาของแต่ละกิจกรรม โดยเก็บข้อมูลเวลาและความถี่ของกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในอาคารผ่านแบบสอบถามที่ระบุช่วงเวลาเป็นช่วงละ 30 นาที ตั้งแต่ 0:00 น. ถึง 23:30 น. ข้อมูลจะแบ่งเป็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นในวันธรรมดาและวันหยุดเพื่อระบุและวิเคราะห์ความแตกต่างในการใช้เวลา และส่วนที่ 4 ข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าโดยจะเป็นการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายรายเดือนในครัวเรือน โดยข้อมูลจะรวบรวมย้อนหลังเป็นเวลา 1 ปี เพื่อศึกษาแนวโน้มการใช้พลังงานที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

การศึกษาศักยภาพของชุมชน

การศึกษาศักยภาพด้านพลังงานของชุมชนนั้นจะพิจารณาจากภูมิศาสตร์ลักษณะของชุมชน และความต้องการทรัพยากรที่ระบุไว้ตามความพร้อมของทรัพยากรที่มีในพื้นที่ โดยได้มุ่งเน้นที่พลังงานทดแทนเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในชุมชน ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับศักยภาพด้านพลังงานในแต่ละด้าน ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานจากของเสีย (ขยะ) [10-11] ในการเก็บข้อมูลศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ การเก็บข้อมูลความเข้มของรังสีของแสงอาทิตย์ เปอร์เซ็นต์การบดบังของแสง และพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้ง [12-13] ข้อมูลพลังงานลม จะเก็บข้อมูลความเร็วและทิศทางลม รวมถึงพื้นที่และลักษณะการติดตั้ง [14-17] และข้อมูลศักยภาพพลังงานจากของเสียนั้น จะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของเสีย ประเภทของเสีย ค่าความร้อนของของเสีย และพื้นที่ติดตั้ง [18-19] ข้อมูลเหล่านี้ช่วยในการประเมินศักยภาพการใช้พลังงานในแต่ละด้านเพื่อการจัดการทรัพยากรในชุมชนอย่างมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของชุมชน

การวางแผนการจัดการทรัพยากรชุมชนผ่านการวิเคราะห์ความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของชุมชนมีเป้าหมายเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรของชุมชนตามหลักการของชุมชนอัจฉริยะ การเพิ่มประสิทธิภาพหารใช้พลังงานโดยการเปรียบเทียบข้อมูลจากความต้องการของชุมชนและศักยภาพของเพื่อหาทรัพยากรที่เหมาะสมในการใช้ในชุมชน ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมจะต้องพิจารณาจากขนาด และงบประมาณของเทคโนโลยีเพื่อรองรับความ

ต้องการของชุมชนทั้งหมดได้อย่างเหมาะสม ในกรณีที่มีศักยภาพไม่เพียงพอจำเป็นต้องพิจารณาส่วนอื่นประกอบเทคโนโลยี เช่น ระบบขนส่ง และการจัดเก็บเพื่อรองรับความต้องการของชุมชนทั้งหมด

การวิเคราะห์ความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของชุมชนเพื่อความยั่งยืนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ในส่วนของพลังงานจะมีการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานรวมถึงพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม ชีวมวล และขยะ การเพิ่มประสิทธิภาพศักยภาพพลังงานต้องเหมาะสมกับบริบทของชุมชน การวิเคราะห์นี้จะพิจารณาการใช้พลังงานหมุนเวียนให้เหมาะสมกับความต้องการและข้อจำกัดของชุมชน เพื่อให้แน่ใจว่ามีการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน [20-23]

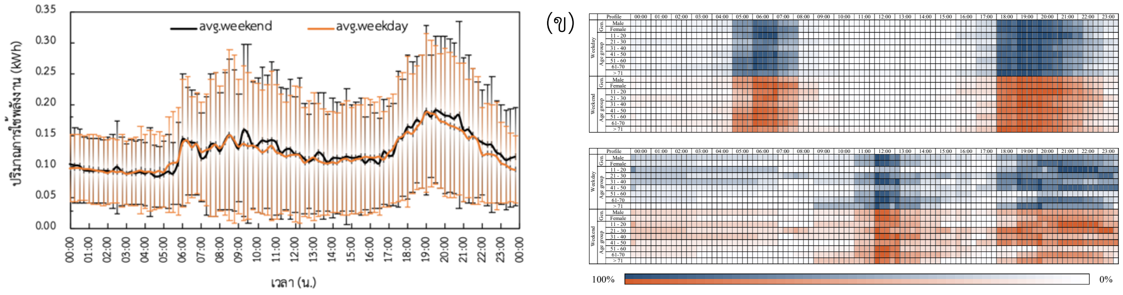
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการพัฒนาชุมชนขนาดเล็กสู่ความยั่งยืนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ผ่านการศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานในครัวเรือนและการประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานภายในชุมชนโดยการใช้เครื่องมือ 2 รูปแบบ คือการใช้ระบบติดติดตามปริมาณการใช้พลังงานในครัวเรือนแบบอัจฉริยะ หรือ Smart meter ร่วมกับการใช้เครื่องมือแบบสอบถามเพื่อสอบถามพฤติกรรมการใช้พลังงานในแต่ละอาคารของแต่ละกลุ่มผู้ใช้งาน แสดงผลการศึกษาดังนี้

ปริมาณความต้องการใช้พลังงาน

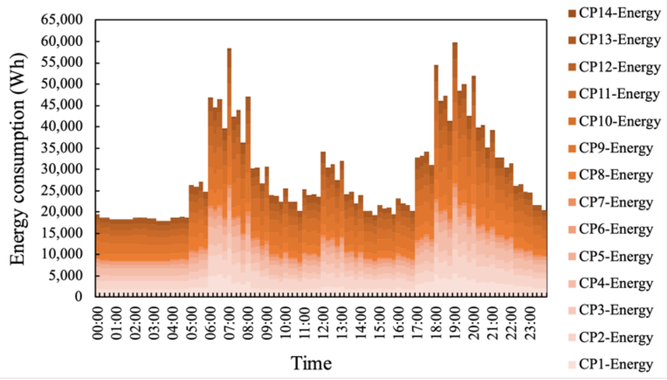
การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณความต้องการสใช้พลังงานไฟฟ้าปละพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในอาคารของแต่ละกลุ่มผู้ใช้งานมีข้อมูลลักษณะความต้องการใช้พลังงานในครัวเรือนเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เช่น ข้อมูลจากตัวอย่างการใช้พลังงานภายในอาคารที่ 1 พบว่าในช่วงเวลา 6:00 น. การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.10–0.12 kWh และจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเช้า การใช้พลังงานสูงสุดในช่วงเช้านี้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.19 kWh จากนั้นปริมาณการใช้พลังงานลดลงเล็กน้อยจนถึงเวลา 13:30 น. และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเย็นในเวลา 17:30 น. และถึงจุดสูงสุดในช่วง 19:00 น. เมื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานตามวันในสัปดาห์ พบว่าในช่วงก่อนเวลา 6:00 น. การใช้พลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 0.09–0.10 kWh และจะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเช้า โดยเฉพาะระหว่าง 8:00–10:00 น. โดยในวันอาทิตย์ถึงวันเสาร์ การใช้พลังงานสูงสุดอยู่ที่ 0.17, 0.16, 0.17, 0.15, 0.15, 0.16 และ 0.17 kWh ตามลำดับ สำหรับช่วงเวลาเย็น การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในช่วง 19:00–20:00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่การใช้พลังงานภายในอาคารสูงสุดในแต่ละวัน โดยการใช้พลังงานสูงสุดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.22, 0.20, 0.21, 0.19, 0.20, 0.19 และ 0.19 kWh ตามลำดับในวันต่าง ๆ ของสัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างวันธรรมดาและวันหยุดสุดสัปดาห์ พบว่าไม่มีความแตกต่างในการใช้พลังงานอย่างชัดเจน การใช้พลังงานในช่วงเช้าสูงสุดในวันธรรมดาอยู่ที่ 0.15 kWh ที่เวลา 8:30 น. และในวันหยุดสุดสัปดาห์สูงสุดที่ 0.16 kWh ที่เวลา 9:15 น. แสดงลักษณะใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารเฉลี่ยในภาพที่ 2 (ก) จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าจากทั้ง 9 อาคารมาวิเคราะห์ร่วมพบว่าลักษณะการใช้พลังงานในครัวเรือนทั้งหมดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีการใช้พลังงานสูงสุดในช่วงเช้าและเย็น

(ก) (ข)



ภาพที่ 2 (ก) ลักษณะใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารเฉลี่ยใน 1 วัน และ (ข) ตัวอย่างความถี่ของการการเปิดระบบส่องสว่างและการใช้พัดลมภายในอาคารเฉลี่ยใน 1 วัน ของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง เปรียบเทียบระหว่างวันธรรมดาและวันหยุด

จากข้อมูลพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในอาคารจากแบบสอบถามแสดงให้เห็นพฤติกรรมการดำเนินกิจกรรมภายในอาคารของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดแบ่งออกเป็น 14 กลุ่มผู้ใช้พลังงาน แสดงตัวอย่างความถี่ของการทำกิจกรรมดังภาพที่ 2 (ข) และเมื่อนำข้อมูลจาก Smart Meter และแบบสอบถามมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ พบว่าปริมาณความต้องการใช้พลังงานภายในอาคารสอดคล้องต่อปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคาร ทั้งนี้เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อคำนวณปริมาณความต้องการใช้พลังงานรวมของทั้งชุมชนจากข้อมูลสัดส่วนของกลุ่มผู้ใช้งานในชุมชนทั้งหมด พบว่าปริมาณการใช้พลังงานกลุ่มผู้ใช้งานจะได้ค่าเฉลี่ยปริมาณความต้องการพลังงานต่อวัน แสดงดังภาพที่ 3 โดยภาพแสดงลักษณะความต้องการใช้งานพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้แต่ละกลุ่มตามที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ ของวัน ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 1,451.69 kWh โดยการใช้ไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 29.29 kWh ที่เวลา 19:30 น. และช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดเท่ากับ 9.78 kWh ที่เวลา 13:30 น. โดยพบว่าชุมชนมีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดวันอยู่ที่ 28.72 kWh และมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 2,756.86 kWh

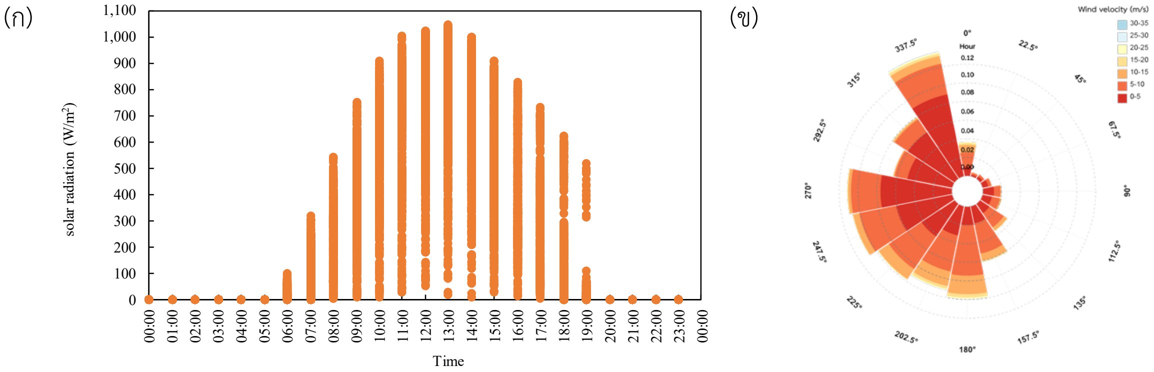


ภาพที่ 3 ปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อวันของแต่ละกลุ่มผู้ใช้ภายในอาคาร

ศักยภาพด้านพลังงานทดแทนของชุมชน

จากข้อมูลพบว่าค่าความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ในชุมชนมีค่ามากกว่า 900 W/m² ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงตุลาคม เมื่อพิจารณาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดทั้ง 12 เดือน พบว่ามีค่าเฉลี่ยต่อเดือนประมาณ 2,729.61 2,716.84 2,347.43 1,923.32 1,816.43 1,741.49 1,844.76 1,749.13 1,573.23 1,686.07 1,658.88 และ 1,637.05 kWh/m^2 จากเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมตามลำดับ โดยแสดงลักษณะความเข้มรังสีอาทิตย์ตามช่วงเวลาดังภาพที่ 4 (ก) ที่แสดงศักยภาพทางพลังงานเฉลี่ยในพื้นที่ชุมชนตลอดระยะเวลา 12 เดือน และเมื่อพิจารณาศักยภาพทางพลังงานในพื้นที่ชุมชนพบว่ามีศักยภาพของพลังงานลม ความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 5.40 m/s แสดงข้อมูลดังภาพที่ 4 (ข) แสดงกราฟศักยภาพทางพลังงานลม และทิศทางลมเฉลี่ย 12 เดือน ในพื้นที่ชุมชน เมื่อนำความเร็วลมมาพิจารณาขนาดกังหันลมที่สามารถติดตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้าในชุมชน พบว่าปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับทั้งขนาดของกังหันลมและประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า โดยทั่วไปกังหันลมที่ใช้ในชุมชนมีขนาดตั้งแต่ 10 - 100 kW กรณีศึกษากังหันลมขนาด 50 kW ที่มีประสิทธิภาพ 40% จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 26.38 kWh ดังนั้น ความเร็วลม 5.4 m/s เมื่อใช้กังหันลมขนาด 50 kW ที่มีประสิทธิภาพ 40% จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 26.38 kWh/h ทั้งนี้เมื่อพิจารณาศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากขยะ พบว่าจากข้อมูลปริมาณขยะรวมทั้งหมดในชุมชนมีปริมาณขยะทั่วไป 7.59 kg ขยะเปียก 0.01 kg และขยะรีไซเคิล 0.02 kg เมื่อวิเคราะห์ปริมาณขยะเฉลี่ยต่อคนต่อวันในชุมชนอยู่ที่ 0.01 kg ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยต่อวันของประเทศไทยที่อยู่ที่ 1.15 kg/person และเมื่อวิเคราะห์ตามบริบทของพื้นที่พบว่าชุมชนแม่ทะมานมีการจัดการขยะที่มาจากการมีส่วนร่วมของสังคม กระบวนการนี้มุ่งเน้นไปที่การสร้างความตระหนักรู้และความเข้าใจในสถานการณ์ขยะใน

ชุมชน รวมถึงการหารือเกี่ยวกับแนวทางการจัดการขยะที่เหมาะสม ก่อนที่จะมีแผนการจัดการขยะแบบมีส่วนร่วม ชุมชนมีปริมาณขยะเฉลี่ยต่อวัน 1.05 kg/person แต่หลังจากเริ่มกระบวนการจัดการขยะแบบมีส่วนร่วม ปริมาณขยะลดลงเหลือ 0.02 kg/person และเมื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากขยะพบว่าชุมชนมีปริมาณขยะไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงาน

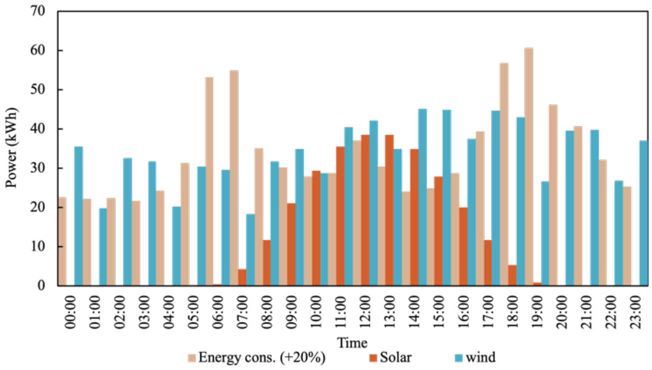


ภาพที่ 4 ลักษณะกราฟแสดงศักยภาพทางพลังงานเฉลี่ยในพื้นที่ชุมชน (ก) พลังงานแสงอาทิตย์ และ (ข) พลังงานลม

ความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของสู่ความยั่งยืนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม

การพัฒนาชุมชนอัจฉริยะในด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมถือเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างความยั่งยืนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรอย่างสูงสุด การประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของศักยภาพในชุมชนด้วยแหล่งพลังงานหมุนเวียนในชุมชน โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ถือเป็นขั้นตอนสำคัญสำหรับการวางแผนจัดการพลังงานในชุมชน จากการศึกษาพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าในช่วงกลางวัน โดยเฉพาะระหว่างเวลา 10:00 น. ถึง 16:00 น. ซึ่งอย่างไรก็ตามความสามารถในการผลิตพลังงานพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวสามารถตอบสนองความต้องการใช้พลังงานได้เพียง 30.28% ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดในชุมชน ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการตอบสนองความต้องการพลังงานในชุมชนได้อย่างเต็มที่ จึงจำเป็นต้องมีการจัดการพลังงานอย่างเหมาะสม เช่น การเก็บพลังงานส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่เพื่อนำมาใช้ในช่วงเวลาที่การผลิตพลังงานต่ำหรือช่วงเวลาที่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้

ในขณะเดียวกันศักยภาพของพลังงานลมกลับมีความสามารถในการตอบสนองความต้องการพลังงานของชุมชนได้ถึง 83.99% ของความต้องการทั้งหมด โดยพลังงานลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้นตามความเร็วลมที่เหมาะสม เมื่อวิเคราะห์การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยการติดตั้งกังหันลมจะสามารถช่วยสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อใช้ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้การจัดการพลังงานของชุมชนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทั้งนี้การนำพลังงานหมุนเวียนทั้งสองแหล่งมาใช้ร่วมกันเป็นกลยุทธ์สำคัญที่จะช่วยพัฒนาชุมชนอัจฉริยะให้มีความยั่งยืน โดยสามารถพึ่งพาตนเองด้านพลังงานได้อย่างเต็มที่ ทั้งยังช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งพลังงานภายนอกและลดผลกระทบการการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานไม่หมุนเวียนได้อย่างยั่งยืน



ภาพที่ 5 กราฟการผลิตพลังงานเฉลี่ยตามช่วงเวลาระหว่างศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์และลมของชุมชน

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาชุมชนขนาดเล็กสู่ความยั่งยืนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มีความเป็นไปได้สูงเมื่อพิจารณาจากพฤติกรรมการใช้พลังงานในครัวเรือนและการประเมินศักยภาพของชุมชน โดยพบว่าชุมชนมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ย 1,451.69 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน โดยการใช้พลังงานสูงสุดเกิดขึ้นในเวลา 19:30 น. และต่ำสุดในเวลา 13:30 น. รูปแบบการใช้พลังงานมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งสัปดาห์ ไม่พบความแตกต่างที่มีนัยสำคัญระหว่างวันธรรมดาและวันหยุด ซึ่งสะท้อนพฤติกรรมการใช้พลังงานที่สอดคล้องกับบริบทของชุมชนที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมและแรงงานรับจ้างเป็นหลัก เมื่อวิเคราะห์ศักยภาพด้านพลังงานทดแทน พบว่าชุมชนมีความเหมาะสมต่อการพัฒนาแหล่งพลังงานหมุนเวียน โดยพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงตุลาคมสามารถผลิตพลังงานได้เฉลี่ย 2,729.61 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อเดือน ขณะที่พลังงานลมมีความเร็วเฉลี่ย 5.40 เมตรต่อวินาที ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การวิเคราะห์ศักยภาพพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถตอบสนองความต้องการพลังงานได้ประมาณ 30.28% ในขณะที่พลังงานลมสามารถตอบสนองได้ถึง 83.99% ของความต้องการพลังงานทั้งหมด การบูรณาการแหล่งพลังงานหมุนเวียนทั้งสองประเภทจะช่วยเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของชุมชน ทำให้การพัฒนาสู่ความยั่งยืนด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และลดการพึ่งพาพลังงานจากภายนอกได้อย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนด้านวิชาการและทรัพยากรในการดำเนินการวิจัย รวมถึงหมู่บ้านแม่ตะมาน โรงเรียนบ้านแม่ตะมาน และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านแม่ตะมาน ตำบลกกี๊ดช้าง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลภาคสนามและให้การสนับสนุนข้อมูลอันเป็นประโยชน์ งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความร่วมมือจากทุกฝ่าย โดยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะมีส่วนช่วยในการพัฒนาชุมชนสู่ความยั่งยืนในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Y. Zheng, D. Novianto, Y. Zhang, Y. Ushifusa, and W. Gao, “Study on Residential Lifestyle and Energy Use of Japanese Apartment/Multidwelling Unit–An Investigation on Higashida Smart Community of Kitakyushu,” Procedia Soc Behav Sci, vol. 216, no. October 2015, pp. 388–397, 2016, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.12.052.

[2] K. Steemers and G. Y. Yun, “Household energy consumption: A study of the role of occupants,” Building Research and Information, vol. 37, no. 5–6, pp. 625–637, 2009, doi: 10.1080/09613210903186661.

[3] S. Thapar, “Energy consumption behavior: A data-based analysis of urban Indian households,” Energy Policy, vol. 143, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2020.111571.

[4] L. N. Tran, W. Gao, D. Novianto, Y. Ushifusa, and H. Fukuda, “Relationships between household characteristics and electricity end-use in Japanese residential apartments,” Sustain Cities Soc, vol. 64, no. March 2020, p. 102534, 2021, doi: 10.1016/j.scs.2020.102534.

[5] H. Estiri and E. Zagheni, “Age matters: Ageing and household energy demand in the United States,” Energy Res Soc Sci, vol. 55, pp. 62–70, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.erss.2019.05.006.

[6] N. Inoue, S. Matsumoto, and K. Mayumi, “Household energy consumption pattern changes in an aging society: the case of Japan between 1989 and 2014 in retrospect,” International Journal of Economic Policy Studies, vol. 16, no. 1, pp. 67–83, Feb. 2022, doi: 10.1007/s42495-021-00069-y.

[7] A. Powell, “Harvard research shows energy use climbs with age and temperature,” Harvard Gazette. Accessed: Mar. 13, 2023. [Online]. Available: https://news.harvard.edu/gazette/story/2019/06/harvard-research-shows-energy-use-climbs-with-age-and-temperature/

[8] H. Bello, “Impact of Changing Lifestyle on Municipal Solid Waste Generation in Residential Areas: Case Study of Qatar,” Int J Waste Resour, vol. 08, no. 02, 2018, doi: 10.4172/2252-5211.1000335.

[9] D. Novianto, M. D. Koerniawan, M. Munawir, and D. Sekartaji, “Impact of lifestyle changes on home energy consumption during pandemic COVID-19 in Indonesia,” Sustain Cities Soc, vol. 83, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.scs.2022.103930.

[10] S. Ahmad and R. M. Tahar, “Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia,” Renew Energy, vol. 63, pp. 458–466, 2014, doi: 10.1016/j.renene.2013.10.001.

[11] A. A. Medina-Santana, A. Flores-Tlacuahuac, L. E. Cárdenas-Barrón, and L. F. Fuentes-Cortés, “Optimal design of the water-energy-food nexus for rural communities,” Comput Chem Eng, vol. 143, p. 107120, 2020, doi: 10.1016/j.compchemeng.2020.107120.

[12] Serm Janjai, Solar Radiation. Nakornpathom, Thailand: Silpakorn University Central Library, 2013. [Online]. Available: http://phy.sc.su.ac.th/book/solar_book.pdf

[13] Q. Zhong and D. Tong, “Spatial layout optimization for solar photovoltaic (PV) panel installation,” Renew Energy, vol. 150, pp. 1–11, May 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.12.099.

[14] S. N. Akour, M. Al-Heymari, T. Ahmed, and K. A. Khalil, “Experimental and theoretical investigation of micro wind turbine for low wind speed regions,” Renew Energy, vol. 116, pp. 215–223, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.renene.2017.09.076.

[15] A. Gagliano, F. Nocera, F. Patania, and A. Capizzi, "Assessment of micro-wind turbines performance in the urban environments: An aided methodology through geographical information systems," International Journal of Energy and Environmental Engineering, vol. 4, no. 1, pp. 1–14, 2013, doi: 10.1186/2251-6832-4-43.

[16] A. I. Idriss, R. A. Ahmed, A. I. Omar, R. K. Said, and T. C. Akinci, "Wind energy potential and micro-turbine performance analysis in Djibouti-city, Djibouti," Engineering Science and Technology, an International Journal, 2019, doi: 10.1016/j.jestch.2019.06.004.

[17] V. Kouloumpis, R. A. Sobolewski, and X. Yan, "Performance and life cycle assessment of a small scale vertical axis wind turbine," J Clean Prod, vol. 247, p. 119520, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119520.

[18] T. R. Ayodele, A. S. O. Ogunjuyigbe, and M. A. Alao, "Life cycle assessment of waste-to-energy (WtE) technologies for electricity generation using municipal solid waste in Nigeria," Appl Energy, vol. 201, pp. 200–218, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.05.097.

[19] L. P. Joseph and R. Prasad, "Assessing the sustainable municipal solid waste (MSW) to electricity generation potentials in selected Pacific Small Island Developing States (PSIDS)," J Clean Prod, vol. 248, p. 119222, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119222.

[20] Y. Chen and M. Hu, "Balancing collective and individual interests in transactive energy management of interconnected micro-grid clusters," Energy, vol. 109, pp. 1075–1085, 2016, doi: https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.052.

[21] L. J. de V. B. da Silva, I. F. S. dos Santos, J. H. R. Mensah, A. T. T. Gonçalves, and R. M. Barros, "Incineration of municipal solid waste in Brazil: An analysis of the economically viable energy potential," Renew Energy, vol. 149, pp. 1386–1394, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.10.134.

[22] X. Xu, W. Hu, D. Cao, Q. Huang, C. Chen, and Z. Chen, "Optimized sizing of a standalone PV-wind-hydropower station with pumped-storage installation hybrid energy system," Renew Energy, vol. 147, pp. 1418–1431, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.09.099.

[23] J. Zhu, Y. Shen, Z. Song, D. Zhou, Z. Zhang, and A. Kusiak, "Data-driven building load profiling and energy management," Sustain Cities Soc, vol. 49, 2019, doi: 10.1016/j.scs.2019.101587.

การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อชุมชนสำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำด้วยเครื่องมือราคาประหยัด

Development of Low-Cost Community Technology for Water Quality Monitoring Using Affordable Instruments

เสกสรร ชะนะ[2] ญาณวุฒิ นิลทรัตน์[1] และ ลัญฉกร นิลทรัตน์[2*]
Sekesan Chana[2], Yanawut Nintarat[1], and Lanchakorn Nintarat[2*]

[1]โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ 73170
[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและไอโอที คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 90000
[1]Mahidol Wittayanusorn School 73170
[2]Department of Information Technology and IoT, Faculty of Industrial Technology Songkhla Rajabhat University 90000
*Corresponding author: Tel.: 091-0489818. E-mail address: Lanchakorn.ni@skru.ac.th

Abstract

This research aims to develop and evaluate the performance of a low-cost water quality monitoring device for communities, using Arduino board with pH and dissolved oxygen (DO) sensors. Results show that the pH sensor has high accuracy, with an average error of 2.27% and a correlation coefficient of 0.9886 compared to standard instruments. The DO sensor provides reliable results within normal usage ranges, although it has limitations in measuring low concentrations. The automatic alert and control system operates efficiently. The device can operate continuously for up to 120 hours in power-saving mode. Real-environment testing confirms accuracy in various water sources, with average errors less than 2% for pH and 4% for DO measurements. Despite some limitations, this tool is overall highly efficient, cost-effective, and suitable for community use, promoting sustainable local water resource management.

Keywords: Water quality, Low-cost technology, pH measurement, Dissolved oxygen

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำสำหรับชุมชน โดยใช้บอร์ดอาดุยโน่ร่วมกับเซนเซอร์วัดค่า pH และออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) ผลการวิจัยพบว่าเซนเซอร์ pH มีความแม่นยำสูง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 2.27% และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.9886 เมื่อเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน เซนเซอร์ DO ให้ผลลัพธ์น่าเชื่อถือในช่วงการใช้งานปกติ แม้จะมีข้อจำกัดในการวัดค่าระดับต่ำ ระบบแจ้งเตือนและควบคุมอัตโนมัติทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์สามารถทำงานต่อเนื่องได้นานถึง 120 ชั่วโมงในโหมดประหยัดพลังงาน

การทดสอบในสภาพแวดล้อมจริงยืนยันความแม่นยำในแหล่งน้ำที่หลากหลาย โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยกว่า 2% สำหรับ pH และน้อยกว่า 4% สำหรับ DO แม้มีข้อจำกัดบางประการ แต่โดยรวมเครื่องมือนี้มีประสิทธิภาพสูง ราคาประหยัด และเหมาะสมสำหรับการใช้งานในชุมชน ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนในระดับท้องถิ่น

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำ เทคโนโลยีต้นทุนต่ำ การตรวจวัดความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนละลายในน้ำ

บทนำ

ในปัจจุบัน คุณภาพน้ำเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ระบบนิเวศ และการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน [1] การตรวจสอบและเฝ้าระวังคุณภาพน้ำอย่างสม่ำเสมอจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในชุมชนห่างไกลหรือพื้นที่ที่มีทรัพยากรจำกัด [2] อย่างไรก็ตาม เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำที่มีความแม่นยำสูงมักมีราคาแพงและต้องการผู้เชี่ยวชาญในการใช้งาน ทำให้การตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างทั่วถึงและต่อเนื่องเป็นไปได้ยาก [3] นอกจากนี้ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเป็นอีกประเด็นสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่ [4] เครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำที่ใช้พลังงานต่ำจะช่วยลดต้นทุนในการดำเนินงานและเอื้อต่อการใช้งานในพื้นที่ห่างไกลที่มีข้อจำกัดด้านแหล่งพลังงาน [5] การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อชุมชนสำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำด้วยเครื่องมือราคาประหยัดจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการแก้ปัญหาดังกล่าว [6] โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี อาดุยโน่ ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มอิเล็กทรอนิกส์แบบเปิดที่มีราคาไม่แพง สามารถเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ต่าง ๆ ได้ง่าย และมีการใช้พลังงานต่ำ [7] ร่วมกับการออกแบบระบบที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยให้สามารถพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำที่มีต้นทุนต่ำ ใช้งานง่าย และประหยัดพลังงาน [8]

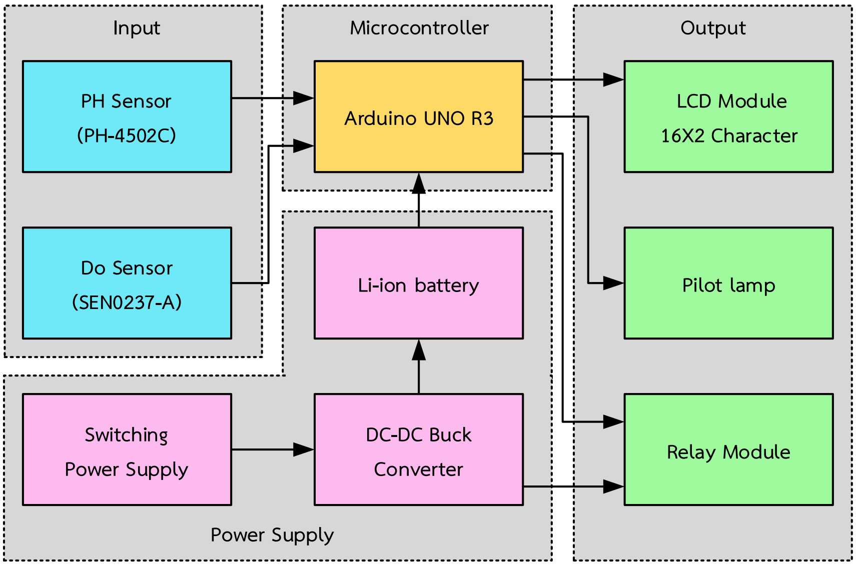
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้ อาดุยโน่ ยูโน่ อาร์สาม ที่สามารถวัดค่า pH และปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการบ่งชี้คุณภาพน้ำ [9] โดยคำนึงถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานในพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านแหล่งพลังงานได้ [10] ผลการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพน้ำที่มีประสิทธิภาพ ราคาประหยัด และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนในระดับชุมชนและท้องถิ่น

วิธีการวิจัย

การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อชุมชนสำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำด้วยเครื่องมือราคาประหยัดนี้ได้ดำเนินการตามกระบวนการวิจัยและพัฒนาอย่างเป็นระบบ โดยมุ่งเน้นการสร้างนวัตกรรมที่มีประสิทธิภาพ ใช้งานง่าย และตอบสนองความต้องการของชุมชนอย่างแท้จริง วิธีการดำเนินการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ส่วน ได้แก่

1. การออกแบบฮาร์ดแวร์

ในการพัฒนาเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำสำหรับชุมชน การออกแบบฮาร์ดแวร์เป็นขั้นตอนสำคัญที่ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และการประหยัดพลังงาน โดยมีองค์ประกอบหลักตามบล็อกไดอะแกรม ดังภาพที่ 1

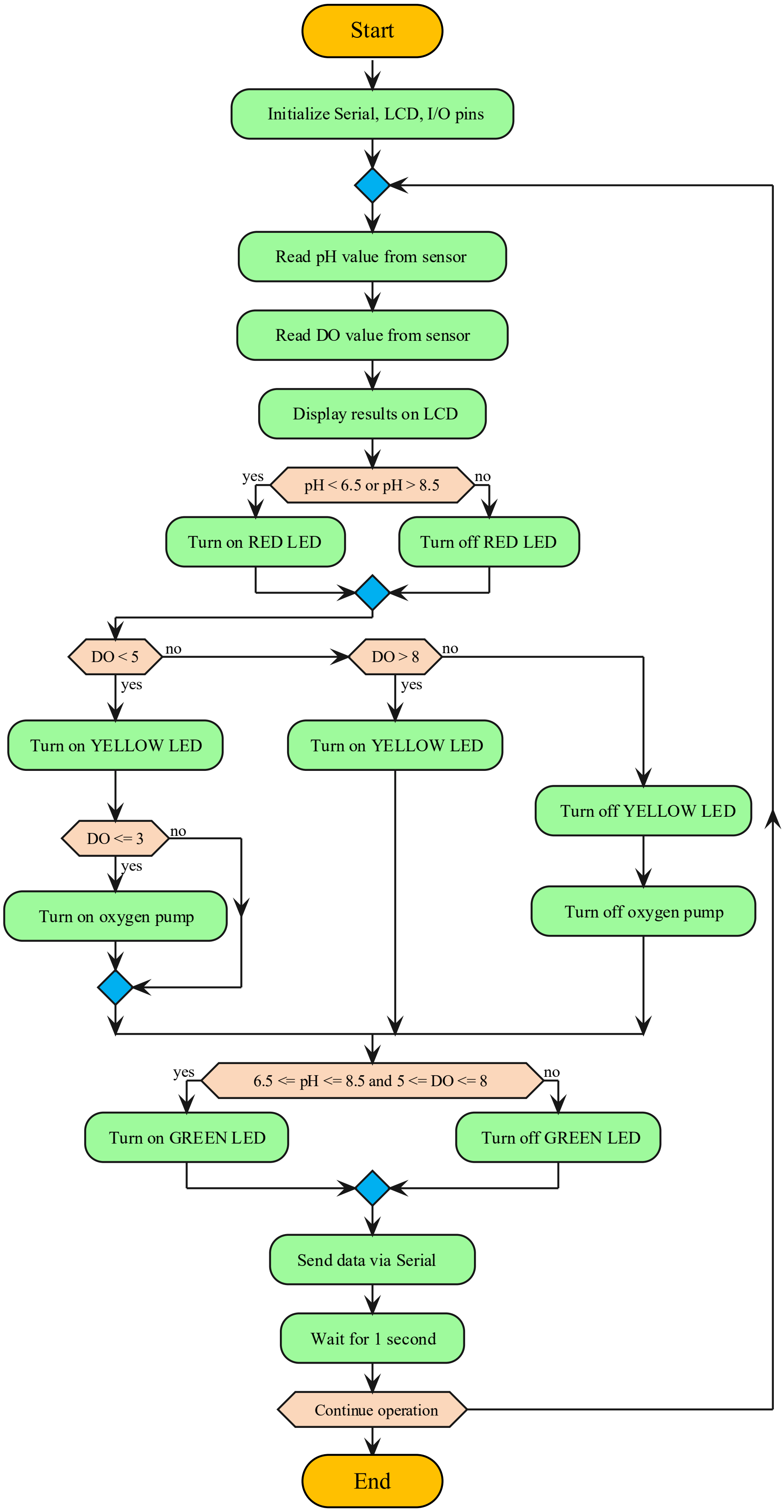


ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำที่พัฒนาขึ้น

หัวใจสำคัญของระบบคือบอร์ดอาดุยโน่ ยูโน่ อาร์สาม ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความยืดหยุ่นสูง ราคาไม่แพง และมีชุมชนนักพัฒนาขนาดใหญ่สนับสนุน ทำให้เหมาะสมกับการพัฒนาโครงการต้นแบบ บอร์ดนี้ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ และควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด สำหรับการตรวจวัดค่า pH เราเลือกใช้เซนเซอร์รุ่น PH-4502C ซึ่งมีความแม่นยำสูงและราคาไม่แพง เซนเซอร์นี้สามารถวัดค่า pH ได้ในช่วง 0-14 ซึ่งครอบคลุมช่วงการใช้งานทั่วไป ในส่วนของการวัดปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) เราใช้เซนเซอร์รุ่น SEN0237-A ซึ่งมีความไวสูงและสามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เซนเซอร์ทั้งสองชนิดนี้ถูกเชื่อมต่อเข้ากับบอร์ดอาดุยโน่ผ่านพอร์ตแอนะล็อก เพื่อให้สามารถอ่านค่าได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำ การแสดงผลข้อมูลใช้จอแอลซีดีขนาด 16x2 ตัวอักษร ซึ่งมีขนาดกะทัดรัด ประหยัดพลังงาน และสามารถแสดงข้อมูลได้ชัดเจน จอแอลซีดี นี้เชื่อมต่อกับอาดุยโน่ผ่าน I^2C interface เพื่อประหยัดจำนวนขาที่ใช้และลดความซับซ้อนในการเดินสายไฟ ระบบแจ้งเตือนใช้ไฟ แอลอีดี สามสี ได้แก่ สีแดง เขียว และเหลือง เพื่อแสดงสถานะคุณภาพน้ำแบบง่ายและรวดเร็ว โดยสีเขียวหมายถึงคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ปกติ สีเหลืองหมายถึงต้องเฝ้าระวัง และสีแดงหมายถึงคุณภาพน้ำอยู่ในระดับที่เป็นอันตราย ไฟแอลอีดี เหล่านี้ถูกควบคุมโดยตรงจากขาดิจิตอลของ อาดุยโน่ นอกจากนี้ เรายังได้ติดตั้งระบบควบคุมเครื่องเติมออกซิเจนอัตโนมัติ โดยใช้รีเลย์ขนาด 5V เชื่อมต่อกับขาดิจิตอลของ อาดุยโน่ ระบบนี้จะทำงานเมื่อค่า DO ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ช่วยรักษาระดับออกซิเจนในน้ำให้เหมาะสมสำหรับสิ่งมีชีวิตในน้ำ การออกแบบระบบพลังงานเป็นอีกส่วนสำคัญ เราใช้แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนขนาด 3.7V 2000mAh ร่วมกับวงจร DC-DC Buck Converter เพื่อแปลงแรงดันให้เหมาะสมกับการทำงานของอาดุยโน่และอุปกรณ์ต่าง ๆ การออกแบบนี้ช่วยให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟภายนอก เหมาะสำหรับการใช้งานในพื้นที่ห่างไกล ทั้งหมดนี้ถูกประกอบเข้าด้วยกันในกล่องพลาสติกกันน้ำ เพื่อป้องกันความเสียหายจากความชื้นและแสงแดด ทำให้เครื่องมือมีความทนทานและเหมาะสมกับการใช้งานภาคสนาม การออกแบบฮาร์ดแวร์นี้คำนึงถึงการใช้งานจริงในชุมชน โดยเน้นความง่ายในการใช้งาน ความทนทาน และการบำรุงรักษาที่ไม่ซับซ้อน ขณะเดียวกันก็ยังคงไว้ซึ่งประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจวัดคุณภาพน้ำ การออกแบบนี้จึงเป็นพื้นฐานสำคัญที่จะช่วยให้ชุมชนสามารถติดตามและจัดการคุณภาพน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยต้นทุนที่เหมาะสมและเทคโนโลยีที่เข้าถึงได้

2. การออกแบบซอฟต์แวร์

การออกแบบซอฟต์แวร์สำหรับเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำนี้เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและละเอียดอ่อน โดยมีเป้าหมายหลักในการสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้งานง่าย และตอบสนองความต้องการของชุมชนได้อย่างแท้จริง การใช้ภาษา C++ บนแพลตฟอร์มอาดุยโน่ ไอดีอี ทำให้การพัฒนาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้รับการสนับสนุนจากชุมชนนักพัฒนาขนาดใหญ่ โครงสร้างของซอฟต์แวร์ได้รับการออกแบบอย่างเป็นระบบ แบ่งเป็นโมดูลต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่เฉพาะ ทำให้ง่ายต่อการพัฒนา ทดสอบ และปรับปรุงในอนาคต ความสำคัญได้ถูกให้กับการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการคำนวณค่า pH และ DO ที่แม่นยำ รวมถึงการใช้เทคนิคการปรับเทียบและการชดเชยอุณหภูมิเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวัด การประหยัดพลังงานเป็นอีกหนึ่งจุดเน้นสำคัญในการออกแบบ โดยใช้เทคนิคการจัดการพลังงานของ อาดุยโน่ เช่น การใช้โหมดสลีพ และการปรับความถี่ในการอ่านค่า นอกจากนี้ ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติและระบบควบคุมเครื่องเติมออกซิเจนได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคุณภาพน้ำ ความท้าทายในการสร้างระบบที่เสถียรและทนทานต่อสภาพแวดล้อมการใช้งานจริงได้รับการจัดการผ่านการพัฒนาโค้ดที่สามารถจัดการกับข้อผิดพลาดและกลับมาทำงานได้อย่างถูกต้องหลังจากเกิดปัญหา ส่วนติดต่อผู้ใช้ได้รับการออกแบบให้เรียบง่ายแต่มีประสิทธิภาพ ช่วยให้ผู้ใช้สามารถอ่านข้อมูลและดำเนินการต่าง ๆ ได้อย่างสะดวก การทดสอบซอฟต์แวร์ได้ดำเนินการอย่างละเอียดและครอบคลุม ทั้งการทดสอบแยกโมดูลและการทดสอบระบบรวม เพื่อให้มั่นใจว่าซอฟต์แวร์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกสถานการณ์ สุดท้าย การออกแบบได้คำนึงถึงความยืดหยุ่นและความสามารถในการขยายระบบในอนาคต เตรียมพร้อมสำหรับการเพิ่มฟังก์ชันใหม่ ๆ หรือการเชื่อมต่อกับระบบอื่น ๆ เช่น ไอโอที ซึ่งได้แสดงผังงานที่พัฒนาขึ้นดังภาพที่ 2



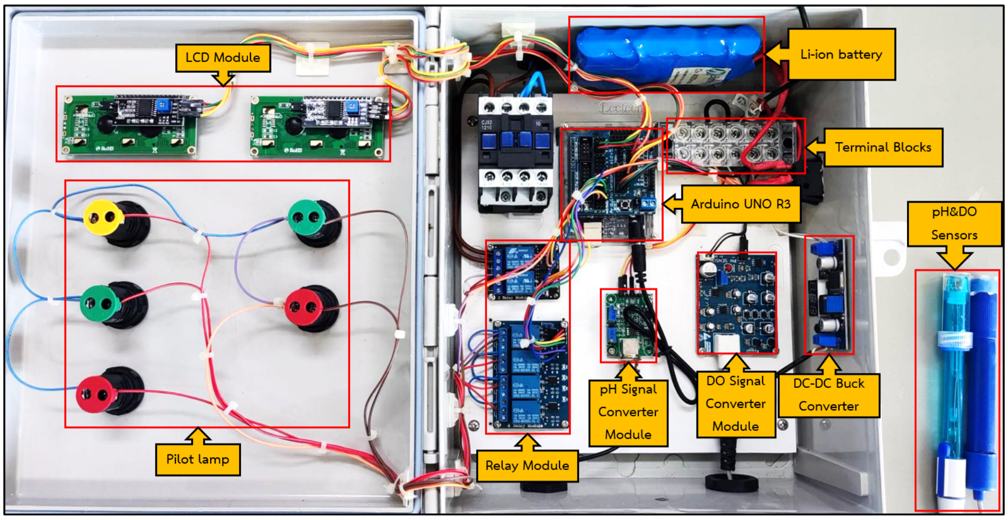
ภาพที่ 2 ผังงานของระบบที่พัฒนาขึ้น

3. การออกแบบระบบประหยัดพลังงาน

การออกแบบระบบประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านแหล่งพลังงาน โดยมุ่งเน้นการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าที่สุด หัวใจสำคัญของระบบประหยัดพลังงานคือการใช้โหมดสลีพของอาดุยโน่ เมื่อไม่มีการวัดค่า ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานลงอย่างมาก ในระหว่างที่อยู่ในโหมดสลีพนี้ ระบบจะปิดการทำงานของส่วนประกอบที่ไม่จำเป็น แต่ยังคงสามารถตื่นขึ้นมาทำการวัดค่าตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ การออกแบบวงจรจ่ายไฟที่มีประสิทธิภาพโดยใช้ DC-DC Buck Converter ช่วยให้สามารถแปลงแรงดันจากแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อน การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานต่ำ เช่น แอลซีดี แบบ Low-power และแอลอีดีประสิทธิภาพสูง ก็เป็นอีกหนึ่งกลยุทธ์ในการประหยัดพลังงาน รวมถึงการออกแบบซอฟต์แวร์ให้มีการจัดการการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้อย่างชาญฉลาด เช่น การปิดไฟแอลอีดี หรือหน้าจอแอลซีดี เมื่อไม่จำเป็น การออกแบบระบบประหยัดพลังงานนี้ไม่เพียงแต่ช่วยให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้ยาวนานขึ้นด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ แต่ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาในระยะยาว ทำให้เครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำ จึงเป็นทางเลือกที่คุ้มค่าและยั่งยืนสำหรับชุมชนในการติดตามและจัดการคุณภาพน้ำ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อชุมชนสำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำด้วยเครื่องมือราคาประหยัด ได้ดำเนินการอย่างเป็นระบบ โดยมุ่งเน้นการสร้างนวัตกรรมที่ตอบสนองความต้องการของชุมชนในการติดตามและจัดการคุณภาพน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยและการอภิปรายผลที่จะนำเสนอต่อไปนี้ สะท้อนให้เห็นถึงความสำเร็จ ความท้าทาย และโอกาสในการพัฒนาการวิจัยอนาคต และในภาพที่ 3 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น



ภาพที่ 3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น

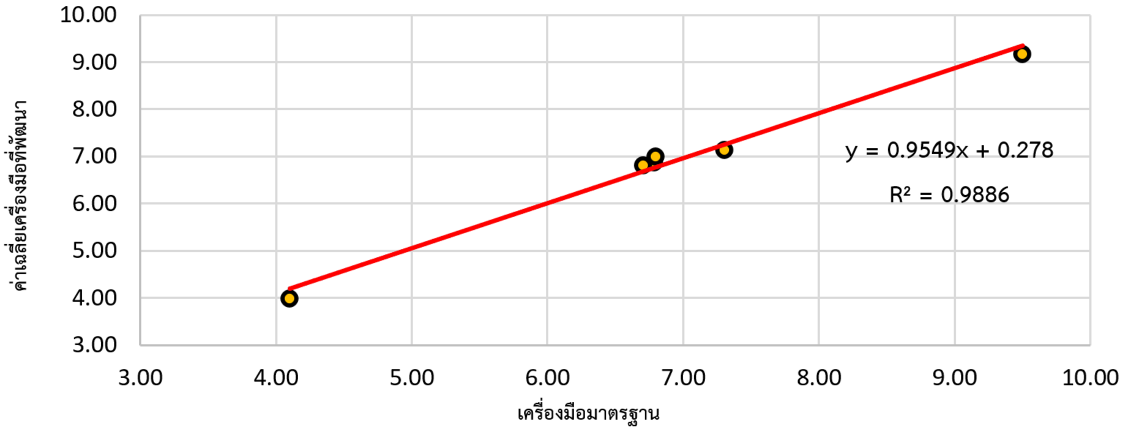
4. การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์

การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ pH และ DO เป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำสำหรับชุมชน โดยมุ่งเน้นการประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ สำหรับเซนเซอร์ pH การทดสอบดำเนินการโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานที่ค่า pH 4.01, 6.86 และ 9.18 รวมถึงตัวอย่างน้ำจริงจากแหล่งต่าง ๆ เช่น

บ่อน้ำ คูน้ำ และสระน้ำ การวัดแต่ละครั้งเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์ pH ที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำสูง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง 2.27% และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.9886 ซึ่งบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ที่แข็งแกร่งระหว่างค่าที่วัดได้กับค่ามาตรฐาน แสดงดังภาพที่ 4

ตารางที่ 1 การทดสอบความแม่นยำของเซนเซอร์ pH

สารละลายทดสอบ	ค่าเฉลี่ยเครื่องมือที่พัฒนา	ค่าเฉลี่ยเครื่องมือมาตรฐาน	ความคลาดเคลื่อน (%)
สารละลาย 4.01	4.10	4.01	2.50
สารละลาย 6.86	6.78	6.86	1.17
สารละลาย 9.18	9.50	9.18	3.49
บ่อน้ำ	6.80	7.00	2.86
คูน้ำ	6.70	6.80	1.47
สระน้ำ	7.30	7.15	2.10



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความแม่นยำของเซนเซอร์ pH

ต่อไปเป็นการทดสอบเซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen หรือ DO) เป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำ กระบวนการนี้ดำเนินการอย่างเป็นระบบเพื่อให้มั่นใจในความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ การทดสอบเริ่มต้นด้วยการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่มีค่าออกซิเจนละลายที่ทราบแน่ชัด โดยเลือกใช้ค่ามาตรฐานสามระดับ ได้แก่ 2 mg/L, 6 mg/L และ 10 mg/L ซึ่งครอบคลุมช่วงการใช้งานทั่วไปในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ระดับต่ำ (2 mg/L) จำลองสภาวะน้ำที่มีออกซิเจนต่ำซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ระดับกลาง (6 mg/L) แทนสภาวะปกติของแหล่งน้ำธรรมชาติ และระดับสูง (10 mg/L) สะท้อนถึงน้ำที่มีการเติมออกซิเจนสูง ในแต่ละระดับความเข้มข้น การทดสอบดำเนินการซ้ำ 10 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือทางสถิติ การทำซ้ำหลายครั้งนี้ช่วยลดผลกระทบจากความผันแปรที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละ การวัด และทำให้สามารถประเมินความเที่ยงตรง (Precision) ของเซนเซอร์ได้ดียิ่งขึ้น ในแต่ละการวัด เซนเซอร์ DO จะถูกจุ่มลงในสารละลายมาตรฐาน และบันทึกค่าที่อ่านได้ทั้งในรูปแบบของความเข้มข้นออกซิเจน (mg/L) และค่าแรงดันไฟฟ้า (mV) ที่เซนเซอร์ผลิตขึ้น การบันทึกทั้งสองค่านี้มีความสำคัญ เนื่องจากค่า mV เป็นสัญญาณดิบที่เซนเซอร์ผลิต ซึ่งจะถูกแปลงเป็นค่าความเข้มข้นออกซิเจนผ่านการคำนวณทางอิเล็กทรอนิกส์ แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนละลายในน้ำ

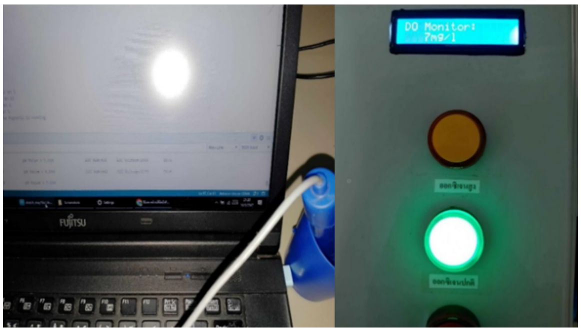
ครั้งที่	DO 2 mg/L		DO 6 mg/L		DO 10 mg/L	
	ค่าอ่าน	**ค่าแรงดันไฟฟ้า**	**ค่าอ่าน**	**ค่าแรงดันไฟฟ้า**	**ค่าอ่าน**	**ค่าแรงดันไฟฟ้า**
1	2.01	10.20	5.98	30.50	9.97	50.80
2	1.99	10.10	6.02	30.70	10.03	51.00
3	2.02	10.30	5.99	30.60	9.98	50.90
4	2.00	10.20	6.01	30.70	10.01	51.00
5	1.98	10.00	6.03	30.80	10.02	51.10
6	2.01	10.20	5.97	30.40	9.99	50.90
7	2.03	10.30	6.00	30.60	10.00	51.00
8	1.99	10.10	6.02	30.70	10.04	51.20
9	2.00	10.20	5.99	30.60	9.98	50.90
10	2.02	10.30	6.01	30.70	10.01	51.00
ค่าเฉลี่ย	**2.01**	**10.20**	**6.00**	**30.60**	**10.00**	**51.00**

5. การทดสอบระบบแจ้งเตือนและควบคุม

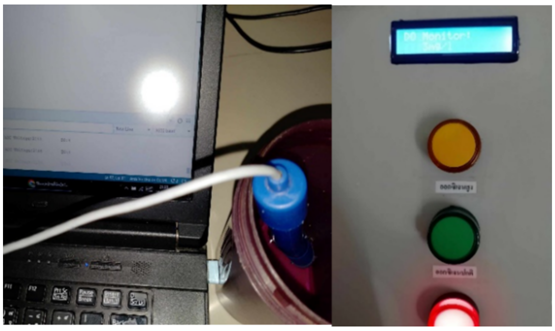
การทดสอบระบบแจ้งเตือนและควบคุมเป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำสำหรับชุมชน โดยมุ่งเน้นการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของระบบอัตโนมัติที่ออกแบบมาเพื่อแจ้งเตือนและควบคุมคุณภาพน้ำ การทดสอบเริ่มต้นด้วยการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในการใช้งานจริง โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

การทดสอบระบบแจ้งเตือน

สำหรับระบบแจ้งเตือน การทดสอบดำเนินการโดยการปรับค่า pH และ DO ให้อยู่ในระดับต่าง ๆ ทั้งในช่วงปกติและช่วงวิกฤต เพื่อตรวจสอบการทำงานของไฟแอลอีดีแจ้งเตือน โดยกำหนดให้ ไฟสีเขียวแสดงสถานะปกติ (pH 6.5-8.5, DO 5-8 mg/L) ไฟสีเหลืองแสดงสถานะเฝ้าระวัง (pH 6.0-6.5 หรือ 8.5-9.0, DO 4-5 หรือ 8-9 mg/L) ไฟสีแดงแสดงสถานะวิกฤต (pH < 6.0 หรือ > 9.0, DO < 4 หรือ > 9 mg/L) การทดสอบนี้ทำซ้ำหลายครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าระบบแจ้งเตือนทำงานได้อย่างถูกต้องและสม่ำเสมอในทุกสถานการณ์ แสดงดังภาพที่ 5



(ก) แสดงสถานะปกติ



(ข) แสดงสถานะวิกฤต

ภาพที่ 5 ผลการทดสอบระบบแจ้งเตือน

การทดสอบระบบควบคุม

ส่วนการทดสอบระบบควบคุม มุ่งเน้นที่การทำงานของเครื่องเติมออกซิเจนอัตโนมัติ โดยจำลองสถานการณ์ที่ระดับออกซิเจนในน้ำต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (< 4 mg/L) เพื่อตรวจสอบว่าระบบสามารถเปิดเครื่องเติมออกซิเจนได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว นอกจากนี้ ยังทดสอบการปิดระบบเมื่อระดับออกซิเจนกลับสู่ค่าปกติ เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบแจ้งเตือนสามารถแสดงสถานะได้อย่างถูกต้องตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีความแม่นยำในการเปลี่ยนสีไฟแจ้งเตือนตามระดับคุณภาพน้ำ ส่วนระบบควบคุมเครื่องเติมออกซิเจนทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเปิดและปิดระบบได้อย่างเหมาะสมตามระดับออกซิเจนในน้ำ

การทดสอบประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

การทดสอบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำที่พัฒนาขึ้นเป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในชุมชน โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลหรือมีข้อจำกัดด้านแหล่งพลังงาน การทดสอบดำเนินการโดยวัดการใช้พลังงานของระบบในสภาวะการทำงานต่าง ๆ ได้แก่ โหมดปกติ โหมดประหยัดพลังงาน และขณะทำการวัดและประมวลผล ผลการทดสอบพบว่าในโหมดปกติ เครื่องใช้พลังงานเฉลี่ย 120 mW ขณะที่ในโหมดประหยัดพลังงาน การใช้พลังงานลดลงเหลือเพียง 20 mW ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบจัดการพลังงานที่พัฒนาขึ้น นอกจากนี้ ยังทำการทดสอบระยะเวลาการทำงานเมื่อใช้แบตเตอรี่ขนาด 2000mAh พบว่าเครื่องสามารถทำงานได้ต่อเนื่องนานถึง 72 ชั่วโมงในโหมดปกติ และยาวนานถึง 120 ชั่วโมงเมื่อใช้โหมดประหยัดพลังงาน ซึ่งถือว่าเพียงพอสำหรับการใช้งานในภาคสนามหลายวันโดยไม่ต้องชาร์จแบตเตอรี่ แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในแต่ละสภาวะการทำงาน

สภาวะการทำงาน	การใช้พลังงาน (mW)	ระยะเวลาทำงาน (ชั่วโมง)
โหมดปกติ	120	72
โหมดประหยัดพลังงาน	20	120
ขณะวัดและประมวลผล	150	60
สแตนด์บาย	10	240

การทดสอบในสภาพแวดล้อมจริง

การทดสอบเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำในสภาพแวดล้อมจริงเป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ ซึ่งจะสรุปผลการทดสอบในรูปแบบตารางเปรียบเทียบดังนี้

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบในสภาพแวดล้อมจริง

แหล่งน้ำ	พารามิเตอร์	เครื่องที่พัฒนา	เครื่องมาตรฐาน	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
แม่น้ำ	pH	7.2	7.3	1.37
	DO (mg/L)	6.8	7.0	2.86
สระน้ำ	pH	6.9	7.0	1.43
	DO (mg/L)	5.5	5.7	3.51
น้ำบาดาล	pH	6.7	6.8	1.47
	DO (mg/L)	3.2	3.3	3.03
น้ำทิ้งชุมชน	pH	8.1	8.2	1.22
	DO (mg/L)	2.8	2.9	3.45

โดยรวม ผลการทดสอบในสภาพแวดล้อมจริงแสดงให้เห็นว่าเครื่องตรวจวัดคุณภาพน้ำที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสูง สามารถใช้งานได้จริงในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย และให้ผลการวัดที่ใกล้เคียงกับเครื่องมือมาตรฐาน ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อชุมชนในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อชุมชนสำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำต้นทุนต่ำด้วยเครื่องมือราคาประหยัดเป็นก้าวสำคัญในการแก้ปัญหาการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลหรือชุมชนที่มีทรัพยากรจำกัด [1] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพน้ำโดยใช้เทคโนโลยีอาดุยโน่ [7] ร่วมกับเซนเซอร์วัดค่า pH และออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการบ่งชี้คุณภาพน้ำ [9] ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้งานจริงในชุมชน จากการทดสอบ พบว่าเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tuna et al. [5] ที่แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องมือวัดแบบพกพาและต้นทุนต่ำสำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ ระบบแจ้งเตือนและควบคุมอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำได้อย่างทันท่วงที

ด้านการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการใช้งานในพื้นที่ห่างไกล [4] ระบบที่พัฒนาขึ้นแสดงประสิทธิภาพที่น่าพอใจ สามารถทำงานได้ต่อเนื่องเป็นเวลานานในโหมดประหยัดพลังงาน ซึ่งเพียงพอสำหรับการใช้งานในภาคสนามหลายวันโดยไม่ต้องชาร์จแบตเตอรี่ การทดสอบในสภาพแวดล้อมจริงยืนยันความแม่นยำและความทนทานของอุปกรณ์ โดยแสดงผลการวัดที่น่าเชื่อถือในแหล่งน้ำที่หลากหลาย อย่างไรก็ตาม การวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ควรได้รับการพัฒนาต่อไปในอนาคต เช่น การปรับปรุงความแม่นยำของเซนเซอร์ในสภาวะที่ท้าทาย และการเพิ่มประสิทธิภาพการตอบสนองของระบบควบคุมให้รวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การพัฒนาระบบการสอบเทียบอัตโนมัติเพื่อรักษาความแม่นยำในระยะยาวก็เป็นอีกประเด็นที่ควรพิจารณา จากการทบทวนวรรณกรรมล่าสุด [2, 6, 8, 10] พบว่าแนวโน้มการใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและ IoT (Internet of Things) ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำกำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การบูรณาการเทคโนโลยีเหล่านี้เข้ากับระบบที่พัฒนาขึ้นนี้จึงเป็นทิศทางที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาในอนาคต การเชื่อมต่อกับระบบคลาวด์จะช่วยให้สามารถติดตามคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์และจากระยะไกลได้ ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมาก [8] นอกจากนี้ การพัฒนาแอปพลิเคชันมือถือที่ใช้งานง่ายสำหรับชุมชนเพื่อแสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำ จะช่วยให้ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงและเข้าใจข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การมีส่วนร่วมในการดูแลรักษาแหล่งน้ำในชุมชนอย่างยั่งยืน สอดคล้องกับแนวทางของ WHO ในการส่งเสริมการเข้าถึงน้ำสะอาดและสุขอนามัยที่ดี [1] ในระยะยาว การศึกษาผลกระทบของการใช้เทคโนโลยีนี้ต่อการจัดการทรัพยากรน้ำในชุมชนจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการปรับปรุงและพัฒนานโยบายด้านสิ่งแวดล้อมในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศ นอกจากนี้ การพัฒนาโมเดลการทำนายคุณภาพน้ำโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์บนพื้นฐานของข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากระบบนี้ จะช่วยในการคาดการณ์และป้องกันปัญหาคุณภาพน้ำในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3]

โดยสรุป การวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีต้นทุนต่ำในการแก้ปัญหาการตรวจสอบคุณภาพน้ำในชุมชน ซึ่งเป็นก้าวสำคัญในการส่งเสริมการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน การพัฒนาต่อยอดและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีนี้ในวงกว้าง โดยเฉพาะการบูรณาการกับเทคโนโลยี IoT และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจะช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนและส่งเสริมการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในระยะยาว ทั้งนี้ ความร่วมมือระหว่างนักวิจัย ชุมชน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะเป็นกุญแจสำคัญในการขับเคลื่อนการพัฒนาเทคโนโลยีด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้าถึงได้และยั่งยืนสำหรับทุกคนในสังคม สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การอนามัยโลก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สำหรับการสนับสนุนทุนนำเสนองานวิจัย ซึ่งเป็นโอกาสอันมีค่าในการเผยแพร่ผลงานและแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] World Health Organization. (2021). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda. https://www.who.int/publications/i/item/9789240023642

[2] Adu-Manu, K. S., Tapparello, C., Heinzelman, W., Katsriku, F. A., & Abdulai, J. D. (2017). Water quality monitoring using wireless sensor networks: Current trends and future research directions. ACM Transactions on Sensor Networks, 13(1), 1-41.

[3] Mukhopadhyay, S. C., & Mason, A. (2015). Smart sensors for real-time water quality monitoring. Springer International Publishing.

[4] International Energy Agency. (2022). Energy efficiency 2022. https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2022

[5] Tuna, G., Arkoc, O., & Gulez, K. (2013). Continuous monitoring of water quality using portable and low-cost measuring instruments. Environmental Monitoring and Assessment, 185(11), 9385-9395.

[6] Pule, M., Yahya, A., & Chuma, J. (2017). Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality. Journal of Applied Research and Technology, 15(6), 562-570.

[7] Banzi, M., & Shiloh, M. (2022). Getting started with Arduino: The open source electronics prototyping platform (4th ed.). Maker Media, Inc.

[8] Geetha, S., & Gouthami, S. (2017). Internet of things enabled real time water quality monitoring system. Smart Water, 2(1), 1-19.

[9] United States Environmental Protection Agency. (2023). National recommended water quality criteria. https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria

[10] Zulkifli, C. Z., Garfan, S., Talal, M., Alamoodi, A. H., Alamleh, A., Ahmaro, I. Y. Y., Sulaiman, S., Ibrahim, A. B., Zaidan, B. B., Ismail, A. R., Alshalawi, T., Saad, N. H., Muhammad, M. R., & Zaidan, A. A. (2022). IoT-Based Water Monitoring Systems: A Systematic Review. Water, 14(22), 3621.

การบริหารจัดการพลังงานในกระบวนการแปรรูปชาดำชนิดผง และทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

Energy management in the process of processing black tea powder and product quality testing

นฤเบศร์ หนูใสเพ็ชร[1*] สมหมาย สารมาท[2] วรจักร์ เมืองใจ[3] และ ภีมพัฒน์ สมประเสริฐ[4]
Narubet Nusaipetch[1*], Sommai Saramath[2], Worrajak Muangjai[3], and Pheemmaphat Somprasert[4]

[1*]สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ 50230
[2]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 50300
[3]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 50300
[4]สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ 50230
[1]Mechanical Engineering, Faculty of of Engineering, North-Chiang Mai University, 50230
[2]Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, 50300
[3]Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, 50300
[4]Industrial Engineering, Faculty of of Engineering, North-Chiang Mai University, 50230
*Corresponding author: Tel.:0804986686 E-mail address: narubet69@gmail.com

Abstract

The purpose of this research is to manage energy in the process of producing black tea powder and to test the quality of the product by using a Pelton water turbine to drive a 2.5 kW generator through a 5 kW inverter system, with backup power from a 10 kWh battery, to be used in the 3.5 kW tea drying process for a 5-hour production cycle. The system test results showed that the Pelton turbine has a sufficient rotational speed to drive the 2.5 kW generator with a pulley ratio of 5:1. Energy management within the organic tea drying facility is integrated with the community's 30 kW hydropower plant, with the system operating during periods of low electricity usage by the community. The system primarily uses energy from the 2.5 kW hydropower plant. Testing the black tea powder production process found that the quality of the tea in terms of color, aroma, and taste meets good quality standards and has a distinctive tea aroma, which can increase the market value of the black tea powder product.

Keywords: Black tea, Pelton water turbine, Energy management

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อการบริหารจัดการพลังงานในกระบวนการแปรรูปชาดำชนิดผง และการทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยการใช้กังหันน้ำแบบเพลตันขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2.5 กิโลวัตต์ ผ่านชุดอินเวอร์เตอร์ 5 กิโลวัตต์ และพลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ขนาด 10 กิโลวัตต์ชั่วโมง เพื่อใช้ในกระบวนการอบชากำลังไฟฟ้า 3.5 กิโลวัตต์

ในรอบการผลิตอบ 5 ชั่วโมง ผลการทดสอบระบบพบว่ากังหันน้ำชนิดเพลตันมีความเร็วรอบเพียงพอสำหรับขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2.5 กิโลวัตต์ ด้วยการทดรอบมู่เลย์อัตราทด 5:1 การบริหารจัดการพลังงานภายในโรงอบชาได้มีการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำของชุมชนขนาด 30 กิโลวัตต์ ซึ่งการใช้งานของระบบจะทำงานในช่วงเวลาที่ชาวบ้านในชุมชนใช้ไฟฟ้าน้อย และระบบจะใช้พลังงานจากไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาด 2.5 กิโลวัตต์ เป็นหลัก จากการทดสอบกระบวนการแปรรูปชาดำชนิดผงพบว่าคุณภาพชามีสี กลิ่น รสชาติ อยู่ในเกณฑ์คุณภาพดี และมีกลิ่นของชาที่เป็นเอกลักษณ์ ซึ่งสามารถเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ชาดำชนิดผงเพื่อจำหน่ายออกสู่ท้องตลาด

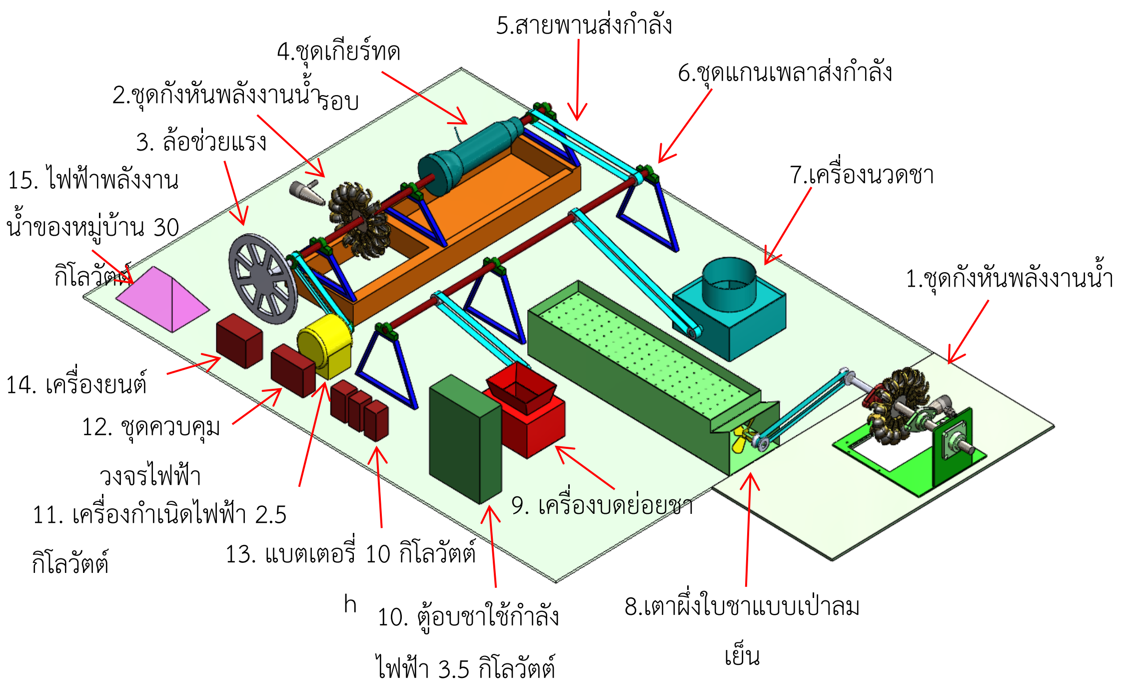
คำสำคัญ: ชาดำชนิดผง กังหันน้ำเพลตัน การบริหารจัดการพลังงาน

บทนำ

พื้นที่ไร่ชาดอยปู่หมื่น อำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่ มีการประกอบอาชีพการปลูกชา และแปรรูปชาเป็นหลัก โดยพื้นที่หมู่บ้านอยู่ห่างไกลความเจริญไม่มีระบบไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเข้าถึง ซึ่งปัจจุบันใช้ไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กระดับหมู่บ้านขนาดกำลังไฟฟ้า 30 กิโลวัตต์จึงไม่เพียงพอสำหรับกระบวนการแปรรูปชาในช่วงเวลาที่ชาวบ้านต้องใช้ไฟฟ้าสำหรับการดำรงชีพ ปัญหาสำหรับการแปรรูปชาดำชนิดผงซึ่งต้องผ่านกระบวนการอบด้วยเครื่องอบไฟฟ้ากำลัง 3.5 กิโลวัตต์ โดยพื้นที่โรงแปรรูปชาติดตั้งชุดกังหันพลังงานน้ำเพลตันขนาดเล็กกำลังไฟฟ้า 2.5 กิโลวัตต์ และใช้การเปลี่ยนรูปพลังงานน้ำเป็นพลังงานกลขับเคลื่อนระบบกลไกการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการแปรรูปชาทุกกระบวนการแปรรูปที่มีอยู่เดิมจึงเป็นปัญหาและอุปสรรค์ในการแปรรูปชาจึงต้องใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนต้นกำลังในการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใช้ก๊าซหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงในการคั่ว ย่างและอบใบชา อีกทั้งสภาพอากาศที่มีเมฆปกคลุมตลอดทั้งปีทำให้ไม่สามารถใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพจุดแข็งชุมชนแห่งนี้มีความอุดมสมบูรณ์มีแหล่งน้ำไหลผ่านตลอดทั้งปีที่ระดับความสูงหัวน้ำประมาณ 50–60 เมตร ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานสำหรับขับเคลื่อนชุดกังหันพลังงานน้ำขนาดเล็กได้

โดยแนวทางพัฒนากังหันพลังงานน้ำมีบทสำคัญในการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้ประโยชน์จากพลังงานน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ใบพัดเกลียวในกังหันน้ำช่วยเพิ่มการผลิตไฟฟ้าโดยการยืดเวลาปฏิสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคการไหลของน้ำและใบพัด [1] กังหันน้ำเพลตัน (Pelton) ซึ่งเป็นที่รู้จักในด้านประสิทธิภาพและโครงสร้างที่เรียบง่ายสามารถใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าขนาดเล็ก [2] การเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบระบบกลไกลควรพิจารณา รูปทรงทางเรขาคณิตของลูกถ้วย(Bucket) การวางตำแหน่งของหัวฉีด (Jet) และอัตราการไหลของน้ำเพื่อเพิ่มกำลังการถ่ายโอนพลังงานไปยังเพลา [3] ซึ่งอัตราการไหลที่ปล่อยน้ำมากเท่าใดก็ยิ่งมีจำนวนความเร็วรอบการหมุนของล้อกังหันน้ำมากขึ้นเท่านั้น และมุมของหัวฉีดน้ำมีผลมากต่อการทำงานของกังหันเพลตันที่ส่งผลต่อความเร็วรอบและพลังงานที่เกิดขึ้น[4]

โดยแนวทางการใช้กังหันพลังงานน้ำชนิดเพลตัน (Pelton Turbine) ที่แรงดันน้ำประมาณ 4-5 บาร์ ขับเคลื่อนชุดกำเนิดไฟฟ้า 2.5 กิโลวัตต์ สำหรับใช้ร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำประจำหมู่บ้านผ่านชุดควบคุมไฟฟ้าที่ใช้กับตู้อบชากำลังไฟฟ้า 3.5 กิโลวัตต์ ซึ่งจะทำให้สามารถแปรรูปชาดำชนิดผง (Black Tea Powder) โดยหลักการออกแบบบริหารจัดการพลังงาน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงแบบแปลนการพัฒนาระบบพลังงานทางเลือกสำหรับการแปรรูปชา

วิธีการวิจัย

การออกแบบและสร้างชุดกังหันน้ำแบบเพลตัน (Pelton Turbine)

กังหันน้ำแบบเพลตัน เป็นกังหันน้ำแบบแรงกระแทกที่มีใช้อยู่มากที่สุดในปัจจุบันซึ่งเหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีความสูงหัวน้ำ (Head) สูง เครื่องกังหันน้ำชนิดนี้ถูกขับด้วยพลังงานจลน์ของน้ำทีพุ่งเป็นลำจากหัวฉีด (Nozzle) วิ่งไปกระแทกกับกระพ้อซึ่งติดอยู่รอบใบพัด แล้วถูกผลักให้หมุนไป กระพ้อตัวต่อไปก็จะหมุนมาอยู่ในตำแหน่งที่ถูกน้ำฉีดพุ่งชนอีก เป็นเช่นนี้ต่อเนื่องกันไป เกิดการหมุนและมีแรงบิด (Torque) ที่สามารถนำไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้

การออกแบบกังหันน้ำจะคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกังหันน้ำ (pitch circle diameter : p.c.d.) โดยพิจารณาค่าความสูงหัวน้ำ และอัตราการไหลของน้ำ ความเร็วรอบการหมุนที่ได้จะไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ความเร็วรอบประมาณ 1,450 รอบต่อนาที ดังนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกังหันน้ำของชุดกังหัน ที่ความสูงหัวน้ำสุทธิ 60 เมตร ได้ดังนี้ (ภาพที่ 2)

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกังหันน้ำ (pitch circle diameter : p.c.d.)

$$p.c.d = \frac{38\sqrt{H_{net}}}{rpm} = \frac{38\sqrt{60}}{1,450} = 0.203\,\text{m} \quad (200\text{mm}) \qquad (1)$$

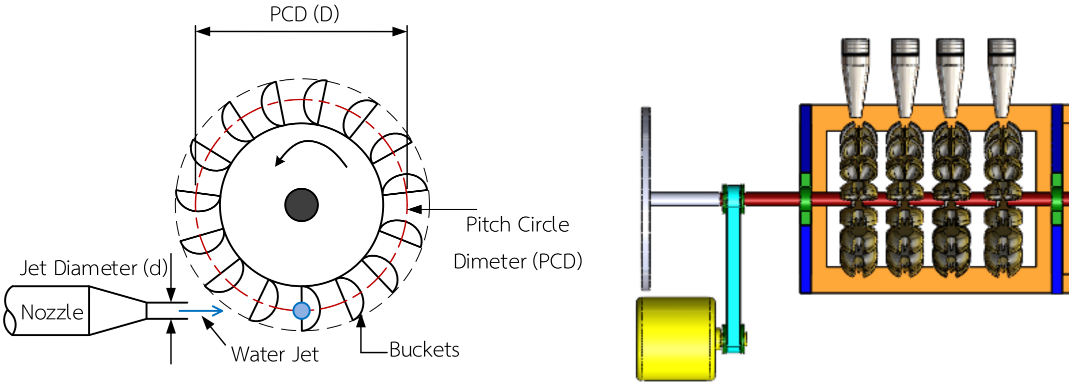
เมื่อ H_{net} = ระดับความสูงของหัวน้ำ

rpm = ความเร็วรอบ

อัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่กังหันน้ำเท่ากับ 0.011 m^3/s สามารถหาเส้นผ่าศูนย์กลางของเจ็ต (jet diameter) คือ

$$\text{Jet diameter} = \sqrt{\frac{\text{Flow}}{3.43\sqrt{H_{net}}}} = \sqrt{\frac{0.011}{3.43 \times \sqrt{60}}} = 0.20\text{m} \quad (20\text{mm}) \qquad (2)$$

เมื่อ *Flow* = อัตราการไหลของน้ำ



ภาพที่ 2 ชุดกังหันน้ำเพลตัน

การออกแบบชุดใบกังหันน้ำ (Bucket) เป็นแบบถ้วยผ่าครึ่งวงกลมมีส่วนเว้าสำหรับการถ่ายเทน้ำที่มากระทบ ส่วนกลางมีส่วนกั้นเพื่อการสะท้อนน้ำออกด้านข้างขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อโลหะโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบกังหัน 7 เซนติเมตร จำนวน 16 ใบ จำนวน 4 ชุด เนื่องจากการใช้ชุดกังหันน้ำเป็นต้นกำลังสำหรับเครื่องจักรแปรรูปชาในกระบวนการ จากผลการทดสอบที่ความดันน้ำ 4 บาร์ ใช้มู่เลย์ขับ 10 นิ้ว และมู่เลย์ตาม ขนาด 2 นิ้ว วัดความเร็วรอบเฉลี่ยของแกนเพลาใบพัดลมเท่ากับ 1,400 รอบต่อนาที ดังภาพที่3

ภาพที่ 3 การทดสอบความเร็วรอบชุดกังหันพลังงานน้ำ

การออกแบบบริหารจัดการพลังงานสำหรับโรงอบชา

การออกแบบระบบชุดขับเคลื่อนกังหันพลังงานน้ำที่ความเร็วรอบประมาณ 1,300 – 1,500 รอบต่อนาที หมุนแกนเพลาชุดต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า 2.5 กิโลวัตต์ โดยการบริหารจัดการพลังงานของโรงอบชา ซึ่งระบบการบริหารจัดการพลังงานจะมีระบบที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานอยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 ระบบคือ

1. โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำของหมู่บ้านขนาด 30 กิโลวัตต์

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก 2.5 กิโลวัตต์

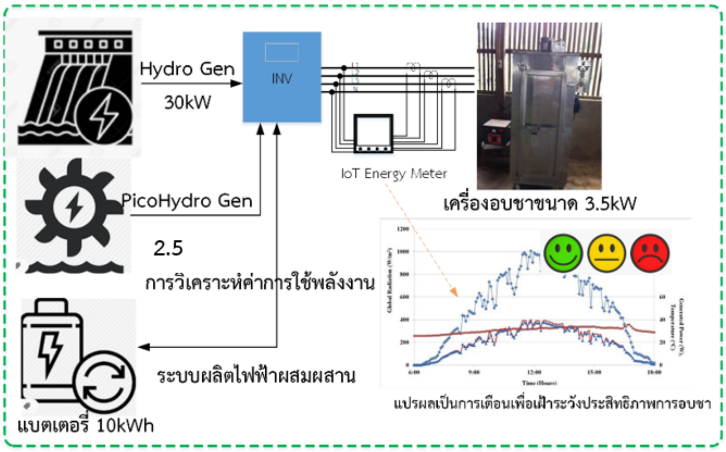
3. แบตเตอรี่สำรองไฟฟ้าขนาด 10 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ทั้งสามระบบจะมีการต่อผ่านระบบ hybrid inverter ขนาด 5 กิโลวัตต์ เพื่อใช้สำหรับจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงชา และเครื่องอบชาขนาด 3.5 กิโลวัตต์ (การอบชาจะใช้เวลาในการอบ 5 ชั่วโมงต่อเนื่อง) และกำหนดให้มีการอบชาช่วงเวลา 00:00-05:00 น. เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่ชาวบ้านใช้ไฟฟ้า โดยแนวทางการบริหารจัดการพลังงานดังนี้

1. ในช่วงเวลาปกติที่มีพลังงานน้ำจากท่อส่งน้ำเข้ามาในโรงแปรรูปชา กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 2.5 กิโลวัตต์ พลังงานจะถูกจ่ายให้กับ hybrid inverter และจะจ่ายพลังงานให้โรงอบชาและตู้อบชา ส่วนแบตเตอรี่ 10 กิโลวัตต์ชั่วโมงจะทำการสำรองไฟและไม่ถูกดึงพลังงานมาใช้งาน และไม่มีการดึงพลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ 30 กิโลวัตต์

2. ในช่วงเวลาไม่ปกติที่มีพลังงานน้ำจากท่อส่งน้ำเข้ามาในโรงแปรรูปชา กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 2.5 กิโลวัตต์ แต่มีกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอจะจ่ายพลังงานให้โรงอบชาและตู้อบชา hybrid inverter และจะจ่ายพลังงานให้โรงอบชาและตู้อบชา และดึงพลังงานจากแบตเตอรี่ 10 กิโลวัตต์ชั่วโมง เพื่อมาชดเชยพลังงานที่ไม่เสถียรเมื่อระบบกลับมาเป็นปกติจะทำการสำรองไฟและปรับกลับมาการทำงานแบบปกติ

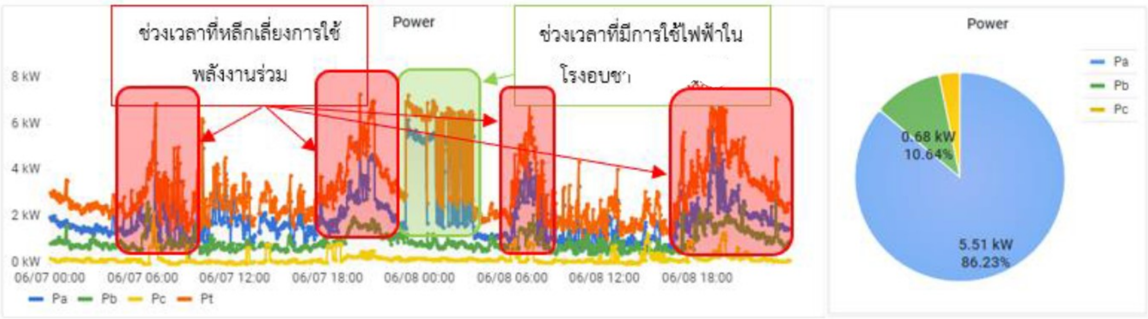
3. ในช่วงเวลาไม่ปกติที่ไม่มีพลังงานน้ำจากท่อส่งน้ำเข้ามาในโรงแปรรูปชา กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 2.5 กิโลวัตต์ ไม่สามารถจ่ายพลังงานให้โรงอบชาและตู้อบชา hybrid inverter และจะดึงพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ 30 กิโลวัตต์ ของหมู่บ้านมาจ่ายพลังงานให้โรงอบชาและตู้อบชา จะมีการติดตั้ง energy meter เพื่อคิดค่าไฟฟ้าให้กับส่วนกลางของหมู่บ้านตามปกติ และดึงพลังงานจากแบตเตอรี่ 10 กิโลวัตต์ชั่วโมง เพื่อมาชดเชยพลังงาน เมื่อระบบกลับมาเป็นปกติหรือกระบวนการอบสิ้นสุดจะทำการสำรองไฟ และกลับมาทำงานตามการทำงานแบบปกติโดยการดึงพลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ 30 กิโลวัตต์ จะกำหนดเวลาให้ทำ 2 ช่วง ที่ได้ข้อมูลการใช้พลังงานของหมู่บ้านมาจากการเก็บข้อมูลโดยใช้ Energy meter และระบบ IoT คือช่วงเวลา 9:00-16:30 น. (6.5 ชั่วโมง) และช่วงเวลา 23.00-05.00 น.(6 ชั่วโมง) ดังภาพที่ 4



Hybrid inverter

ภาพที่ 4 ระบบบริหารจัดการพลังงานสำหรับกระบวนการแปรรูปชาผ่านระบบ Hybrid inverter ขนาด 5 กิโลวัตต์

การใช้พลังงานของโรงอบชาเดิมใช้ระบบไฟฟ้าขนาด 30 กิโลวัตต์ ของหมู่บ้านซึ่งแบ่งไฟฟ้าออกเป็น 3 เฟส โดยในเฟสที่ที่โรงอบชาใช้ คือ เฟส A ซึ่งเดิมทีมีการใช้พลังงานที่สูงอยู่แล้วการใช้พลังงานของโรงอบชาในเฟสนี้จึงทำให้ไฟฟ้าในเฟสดังกล่าวมีการใช้พลังงานที่สูง โดยมีการติดตามข้อมูลด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง(Iot) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงอบชาโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานของชุมชน และช่วงเวลาหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานร่วม

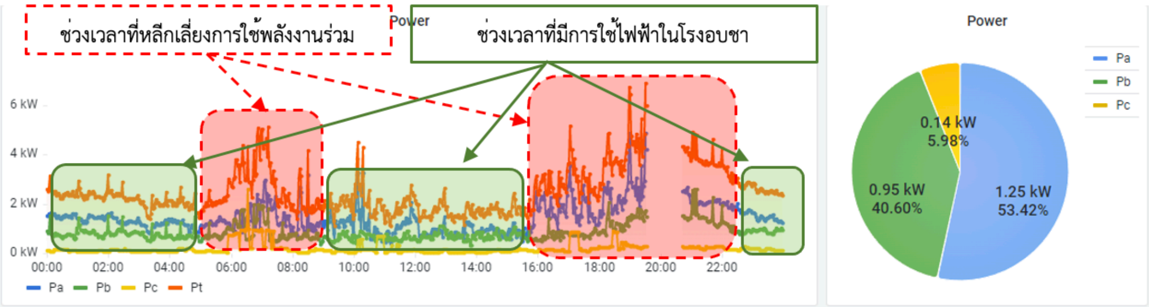
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การออกแบบระบบกังหันพลังงานน้ำและการบริหารจัดการพลังงาน

จากการออกแบบการทำงานของระบบบริหารจัดการพลังงานของโรงอบชาแล้วนั้น ได้มีการดำเนินงานเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การทดสอบและการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับบริหารจัดการพลังงานของโรงแปรรูปชาในการทดสอบ จะทดสอบภายในห้องทดลอง โดยทดสอบฟังก์ชั่นการใช้งานเบื้องต้นก่อนนำไปติดตั้งจริงภายในพื้นที่หลังจากทดสอบการทำงานของอินเวอร์เตอร์ให้สามารถใช้งานกับแหล่งพลังงานหลายแหล่งแล้ว จะนำไปติดตั้งภายในพื้นที่จริง ซึ่งมีแหล่งพลังงานจาก (1) ไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาด 2.5 กิโลวัตต์ (2)แบตเตอรี่ ขนาด 10 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 3)ไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาด 30 กิโลวัตต์ของชุมชน

ผลการติดตั้งสามารถช่วยให้โรงอบชาใช้พลังงานจากไฟฟ้าพลังงานน้ำ ขนาด 2.5 กิโลวัตต์ และ แบตเตอรี่ 10 กิโลวัตต์ชั่วโมง เป็นหลัก ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงอบชาไม่ต้องใช้ไฟฟ้าส่วนรวมของชุมชน โดยเงื่อนไขการทำงานที่กำหนดไว้ คือ ระบบจะเริ่มจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในโรงอบชา โดยใช้ไฟฟ้าพลังงานน้ำ 5 กิโลวัตต์ เมื่อน้ำไม่เพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้า ระบบจะนำพลังงานจากแบตเตอรี่ที่สำรองไว้ได้มากสุดถึง 5 ชั่วโมง มาจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในโรงอบชา (เส้นเต็ม) โดยจะเลี่ยงการแปรรูปชาในช่วงที่ชาวบ้านในชุมชนมีความต้องการการใช้ไฟฟ้ามาก เพื่อป้องกันการใช้งานเกินพิกัดของระบบผลิตไฟฟ้า (เส้นประ) ในกรณีที่ไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาด 2.5 กิโลวัตต์ และ แบตเตอรี่ไม่มีพลังงานที่จะจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ จะใช้ไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาด 30 กิโลวัตต์ รายละเอียดการติดตามข้อมูลในช่วงที่ใช้ระบบบริหารจัดการพลังงานของโรงอบชา ดังภาพที่ 6



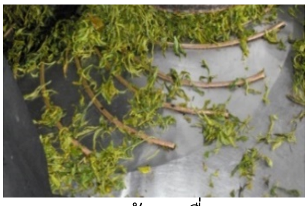
ภาพที่ 6 การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงอบชา โดยใช้ระบบบริหารจัดการพลังงาน

การทดสอบคุณภาพชา

การทดสอบคุณภาพชาเริ่มจากกระบวนการโดยมีขั้นตอนเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณภาพมีมูลค่ามากขึ้นในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ชาดำชนิดผง โดยมีขั้นตอน ⟶ เก็บยอดชาสด ⟶ ผึ่งชา (ด้วยเตาผึ่งประมาณ 4 ชั่วโมง) ⟶ นวดชา ⟶ บดย่อย⟶ หมักชา ⟶ อบชาด้วยตู้อบ ตามลำดับผลิตภัณฑ์ชาที่ได้ คือชาดำชนิดผง (Black Tea Powder) โดยใช้ชาสด 20 กิโลกรัมจะได้ชาผง 4 กิโลกรัม แสดงขั้นตอนการแปรรูป ดังภาพที่ 7

1.ยอดชาสดพันธ์อัสสัม

2. ผึ่งยอดชาสด 4 ชั่วโมง


3. นวดชาด้วยเครื่องนวด

4. บดชาด้วยเครื่อง

5. หมักชาในถาด

6. อบแห้งด้วยตู้อบไฟฟ้า

7. ชาดำชนิดผง

ภาพที่ 7 แสดงขั้นตอนการแปรรูปชาดำชนิดผง

การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาที่ผ่านกระบวนการแปรรูป โดยนักวิชาการจากศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร และใช้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชามาตรฐาน กรมวิชาการเกษตรหลวงเชียงใหม่ เป็นตัวอย่างอ้างอิง เพื่อกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชา ลักษณะชาที่ทดสอบคุณภาพน้ำชา ดังภาพที่ 8

ภาพที่ 8 แสดงการทดสอบคุณภาพชา

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบคุณภาพชาดำชนิดผง

ลำดับ	รายการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส	ค่าระดับการประเมิน
1	ลักษณะภายนอกรูปทรงของใบชา	ดีมาก
2	ลักษณะภายนอกสีของใบชา	ดี
3	ลักษณะรูปทรงของกากชา	ดี
4	ลักษณะสีของกากชา	ดีมาก
5	ลักษณะสีของน้ำชา	ดีมาก
6	ลักษณะกลิ่นของน้ำชา	ดีมาก
7	ลักษณะรสชาติของน้ำชา	ดีมาก

ซึ่งจากผลการทดสอบคุณภาพชา พบว่า สี กลิ่น รสชาติ อยู่ในเกณฑ์คุณภาพดี และมีกลิ่นของชาที่เป็นเอกลักษณ์ ซึ่งสามารถนำไปสู่การตลาดที่ดีต่อไปในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการแปรรูปชาโดยใช้พลังงานทางเลือกโดยแนวทางการใช้แรงดันน้ำขับเคลื่อนกังหันพลังงานน้ำชนิดเพลตัน (Pelton Turbine) ที่แรงดันน้ำประมาณ 4-5 บาร์ ทดรอบด้วยมู่เลย์อัตราทด 5:1 ทำให้มีความเร็วรอบเพียงพอสำหรับขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2.5 กิโลวัตต์ใช้ร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำประจำหมู่บ้านผ่านชุดควบคุมไฟฟ้าที่ใช้กับตู้อบชากำลังไฟฟ้า 3.5 กิโลวัตต์

การติดตั้งอุปกรณ์บริหารจัดการพลังงานภายในโรงอบชา ได้มีการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาด 5 กิโลวัตต์ พลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ขนาด 10 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ ไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาด 30 กิโลวัตต์ ซึ่งการใช้งานของระบบจะทำงานในช่วงเวลาที่ชาวบ้านในชุมชนใช้ไฟฟ้าน้อย และระบบจะใช้พลังงานจากไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาด 5 กิโลวัตต์ เป็นหลัก เมื่อน้ำไม่เพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้า ระบบจะดึงพลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ขนาด 10 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งสามารถสำรองไฟฟ้าได้ 5 ชั่วโมง ในกรณีที่แหล่งพลังงานทั้ง 2 แหล่งดังกล่าว ไม่เพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้า และอยู่นอกเหนือจากการที่ชาวบ้านในชุมชนใช้ไฟฟ้า จะนำพลังงานจากไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาด 30 กิโลวัตต์ มาใช้งาน อีกทั้งยังมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่สะดวกต่อการดำเนินงานภายในโรงอบชา ได้แก่ ส่วนของแสงสว่างและส่วนของกำลังที่เพียงพอต่อการใช้ในการอบชาต่อรอบ โดยรอบการอบชาจะใช้เวลาในการแปรรูปเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

ผลการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า 2.5 กิโลวัตต์ ด้วยกังหันพลังงานน้ำและการออกแบบระบบการติดตั้งอุปกรณ์ควมคุมแรงดันไฟฟ้าเพื่อการบริหารจัดการพลังงานทำให้สถานประกอบการสามารถแปรรูป

ผลิตภัณฑ์ชาดำชนิดผง ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ชามีราคาสูงขึ้น และสามารถต่อยอดทำแผนธุรกิจผลิตภัณฑ์ชาดำชนิดผงบรรจุกล่องที่จะสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับสถานประกอบการได้ต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ ที่สนับสนุนเครื่องมือในการทดสอบ ทุนสนับสนุนจากโครงการแพลตฟอร์มบริหารจัดการทรัพยากรผู้มีศักยภาพของกลุ่มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล เพื่อปฏิรูประบบการพัฒนากำลังคนของประเทศ Talent Mobility ภายใต้โครงการ Talent Resource Managements (TRM) และวิสาหกิจชุมชนชาดอยปู่หมื่น สำหรับพื้นที่จัดทำโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Zhang, Shuai., Zhang, Xuefeng., Zhang, Zhu., Wang, Pengrui., Li, Jinchang., Qian, Qiang., Hui, Qiong., Zhao, Xiaoming., Cao, Aihong. (2019). Turbine water turbine.

[2] Suyetno, A., Marsono, M., & Nurmalasari, R. (2023, March). Development of Arduino-based digital data acquisition on the Pelton turbine trainer. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2671, No. 1). AIP Publishing.

[3] Solemslie, B. W., & Dahlhaug, O. G. (2014, March). A reference pelton turbine-design and efficiency measurements. In IOP conference series: earth and environmental science (Vol. 22, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.

[4] Asrafi, I., Yerizam, M., Effendi, S., & Mataram, A. (2019, April). Micro hydro electric power plant (MHEP) prototype a study of the effect of blade numbers toward turbine rotational velocity. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1198, No. 4, p. 042001). IOP Publishing.

[5] Oo, T. Z., Nyi, N., & Khaing, C. C. (2019). Design calculation of pelton turbine for 220 กิโลวัตต์. Int. J. Sci. Res. Publ, 9(7), 218-224.

[6] สมหมาย สารมาท และพิเชษฐ์ ทานิล. (2015). การออกแบบและสร้างเตาผึ่งใบชาแบบเป่าลมเย็นโดยใช้พลังงานน้ำสำหรับชุมชนหมู่บ้านดอยปู่หมื่นอำเภอ แม่อาย จังหวัดเชียงใหม่. วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต , 3(1), 105-114.

ศึกษาค่าพลังงานเครื่องปรับอากาศแบบศูนย์รวม กับการแลกเปลี่ยนความร้อนในอัตราหน่วยพลังงาน
Study of Central Air Conditioning Energy Cost with Heat Exchange in Energy Unit Rate

ภากรณ์ ปู[1] ภาณุศักดิ์ มูลศรี[1] เด่น คอกพิมาย[1] รุ่งเพชร ก่องนอก[1] วิชาญ พกประทาน[2] และสัญชัย รำเพยพัด[1,*]
Pakorn Poo[1] Panusak Moonsri[1] Den Kogphimai[1] Rungphet Kongnok[1] Wichan Pokpratan[2]
and Sanchai Ramphueiphad[1*]

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000
[2] บริษัท เฮฟวี่ 34 วิศวกรรม จำกัด นครราชสีมา 30000
[1]Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Nakron Ratchasima
[2]Heavy 34 Engineering Co.Ltd, 30000
Corresponding author: Tel.: 09-94592129, E-mail address: sanchai.ra@rmuti.ac.th

Abstract

This study examines the energy consumption per unit of centralized air conditioning systems compared to FTCP systems, using a unit-by-unit comparison. The findings indicate that the energy consumption per unit of centralized air conditioning systems is higher than that of ETCP systems. The difference in energy consumption was calculated based on the conditioned area, standardized per unit as well. These results suggest that implementing the ETCP system could significantly reduce annual energy consumption, leading to substantial cost savings at a rate of 325,400.40 baht per year. Moreover, the reduction in energy usage could also contribute to decreasing environmental pollution.

Keywords: centralized air conditioning systems and FTCP air systems

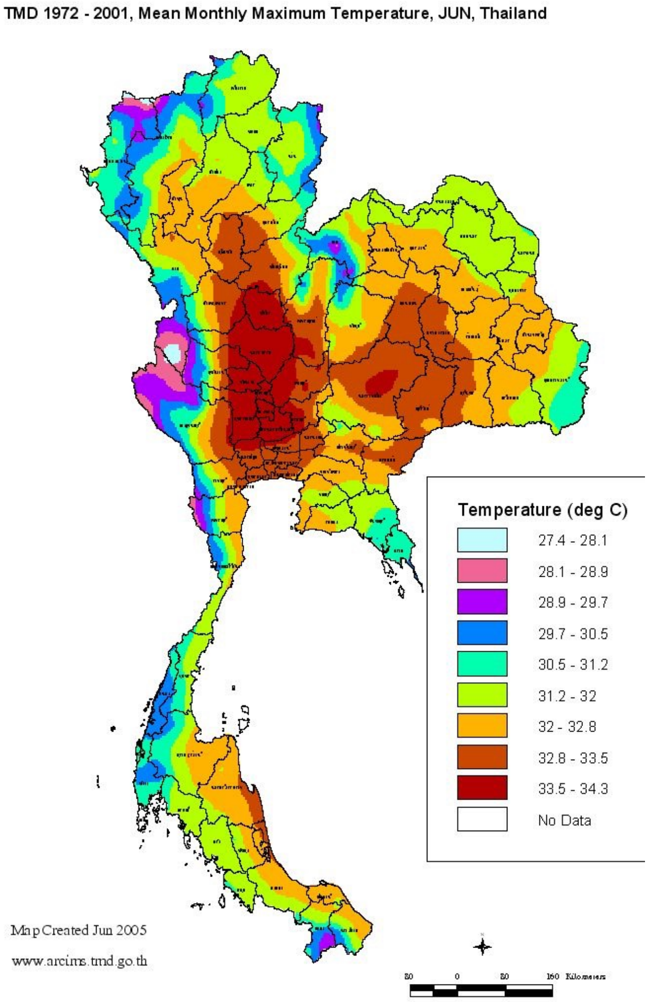
บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศของการปรับอากาศแบบศูนย์รวม เปรียบเทียบกับการปรับอากาศด้วยระบบ ETCP โดยวิธีการเปรียบเทียบต่อหน่วย จากการศึกษาพบว่าค่าพลังงานที่ใช้ของระบบการปรับอากาศแบบศูนย์รวมมีค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยสูงกว่าการปรับอากาศระบบ ETCP ซึ่งค่าพลังงานที่แตกต่างกันนี้คิดจากพื้นที่ปรับอากาศให้เปรียบเทียบเป็นต่อหน่วยด้วยเช่นกัน จากผลที่ได้นี้ ทำให้มั่นใจได้ว่าการปรับอากาศโดยใช้ระบบ ETCP เข้ามาใช้งานสามารถลดพลังงานจากเดิมต่อปีได้สูงถึง 65,080.08 หน่วยไฟฟ้า/ปี และคิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยคิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ 5 บาท/หน่วย ระบบปรับอากาศแบบ ETCP นี้จะสามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าลงได้ถึง 325,400.40 บาท/ปี จากค่าพลังงานที่ลดลงนี้สามารถลดการปล่อยมลพิษเข้าสู่ชั้นบรรยากาศได้อีกทางหนึ่งด้วย

คำสำคัญ: การปรับอากาศแบบศูนย์รวม การปรับอากาศด้วยระบบ ETCP

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในพื้นที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร ล้อมรอบด้วยทะเลซึ่งประกอบด้วย ทะเลอ่าวไทย และทะเลอันดามัน ส่งผลให้สภาวะภูมิอากาศของประเทศไทย หรือทั้งภูมิภาคแถบนี้ มีสภาวะกากาศที่ร้อนชื้น มีฝนตกตามฤดูกาล แต่โดยส่วนใหญ่แล้ว อากาศของประเทศโดยทั่วไปจะเป็นอากาศร้อนโดยส่วนใหญ่ ซึ่งจากสภาวะของอากาศที่ร้อนดังกล่าว ซึ่งพิกัดของประเทศไทยตั้งอยู่บนพิกัด 14.132733347821265, 100.60256084498685 ทั้งนี้ ประเทศไทยมีฤดูหลัก ออกเป็น 3 ฤดู ประกอบด้วย ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว



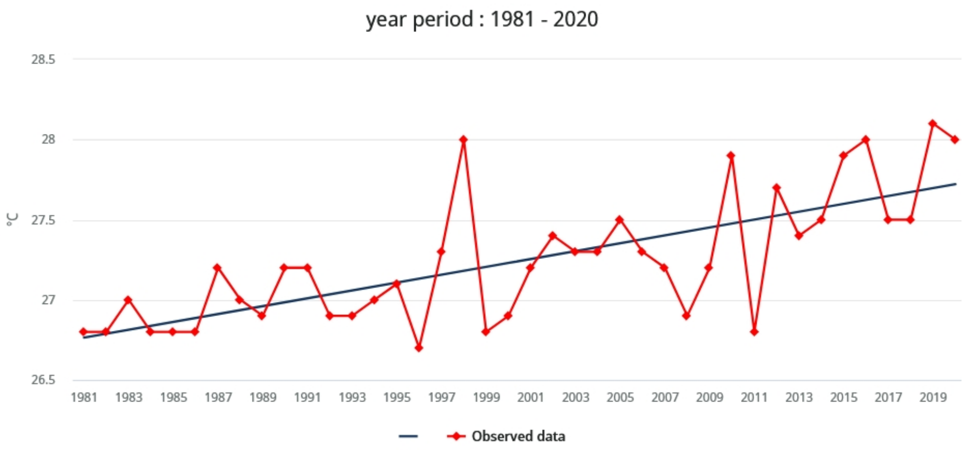
ภาพที่ 1 ลักษณะของประเทศไทย [1]

http://www.arcims.tmd.go.th/Maximumtemp_files/tma x06.jpg

จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา ได้เก็บข้อมูลซึ่งในปี พ.ศ. 2566 มีอุณหภูมิของประเทศไทย มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปทั้งปี 28.1 องศา ซึ่งค่าที่พบนี้มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (ค่าเริ่มต้นจาก พ.ศ.2534-2563) หรือค่าปกติ 0.7 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงสุดลำดับ 1 ในรอบ 73 ปี ของประเทศไทย (พ.ศ.2494-2566) และยังมีค่าของอุณหภูมิสูงเท่าค่าเฉลี่ยสูงสุดของสถิติอุณหภูมิประเทศ ที่ตรวจวัด ปี 2562 และผลเปรียบเทียบของอุณหภูมิในปีที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของปีนี้มีค่าอุณหภูมิสูงกว่าปีที่ผ่านมาอย่างชัดเจน (ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยปี 2565 มีค่าเท่ากับ 27.4 องศา) ทั้งนี้ ผลกระทบของอุณหภูมิที่สูงขึ้น หรือลดลงจะสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน หรือปริมาณฝนตกในรอบ

ปีนั้นๆ ด้วย ซึ่งในปีนี้บริเวณพื้นที่ของประเทศไทยมีปริมาณฝนน้อย โดยที่ปริมาณฝนของพื้นที่ส่วนใหญ่ประเทศไทย ตลอดปีมีปริมาณฝนรวมต่ำกว่าค่าปกติ ซึ่งค่าเฉลี่ยของประเทศเฉลี่ยปริมาณฝนทั้งประเทศ มีปริมาณฝนรวมตลอดปี 1,520.6 มิลลิเมตร ซึ่งค่าปริมาณฝนตกต่ำกว่าปกติ 102.3 มิลลิเมตร คิดเป็น 6% ซึ่งต่ำกว่าปี 2565 ที่ผ่านมา (ปริมาณฝน 2012.0 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่าเป็นสถิติสูงสุดลำดับที่ 2 ของประเทศ ซึ่งมีค่าเกินกว่าค่าปกติ 24.0%) [2]

จากที่กล่าวมา แสดงให้เห็นว่า หากมีปริมาณฝนตกในรอบปีของประเทศมีปริมาณสูง จะส่งผลต่อสภาวะอากาศทำให้อุณหภูมิโดยรอบให้มีความเย็นที่ต่ำลง และในทางกลับกัน หากปริมาณฝนในประเทศมีปริมาณน้อย จะส่งผลให้ค่าของอุหณภูมิโดยรอบสูงขึ้น ด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 2 การเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยของุณหภูมิประเทศไทย [3]

จากอุณหภูมิที่อยู่ในเกณฑ์ที่สูงนี้ การปรับอากาศ หรือการควบคุมให้อากาศในพื้นที่ทำงานให้มีอุณหภูมิที่เหมาะสม จะช่วยให้การทำงานของมนุษย์ ดีขึ้น หรือการพักผ่อนมีความสบาย และก่อให้เกิดสุนทรียภาพแห่งการพักผ่อนนั่นเอง เพื่อให้การปรับอากาศเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งาน ตามพื้นที่การใช้งานในพื้นที่นั้นๆ ซึ่งส่วนใหญ่การทำงานของมนุษย์ จะใช้วิธีการปรับอากาศให้ต่ำลงกว่าสภาวะปกติของอากาศโดยรอบเฉลี่ย ซึ่งอุณหภูมิต่ำลงนั้น จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าให้คอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศทำงาน เพื่อควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ นั่นเอง

ระบบปรับอากาศที่ใช้งานในปัจจุบันนั้น ประกอบด้วย การปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ซึ่งการปรับอากาศแต่ละชนิด มีคุณลักษณะที่แตกต่างกันออกไป [4] ดังนี้

- การปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เป็นระบบปรับอากาศที่มีส่วนประกอบจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ คอยล์ร้อน และคอยล์เย็น พิกัดของการทำความเย็นไม่เกิน 40,000 บีทียู/ชั่วโมง
- การปรับอากาศแบบชุด หรือเรียกอีกอย่างว่าการแปรับอากาศแบบแพคเกจ (Package) เป็นระบบปรับอากาศที่นำไปใช้กับกิจการ หรือธุรกิจขนาดเล็ก พิกัดกำลังของเครื่องปรับอากาศระบบนี้ ไม่เกิน 30 ตัน
- การปรับอากาศแบบศูนย์รวม หรือแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller System) เป็นระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ ถูกนำไปใช้งานในอาคารขนาดใหญ่ ห้องประชุมขนาดใหญ่

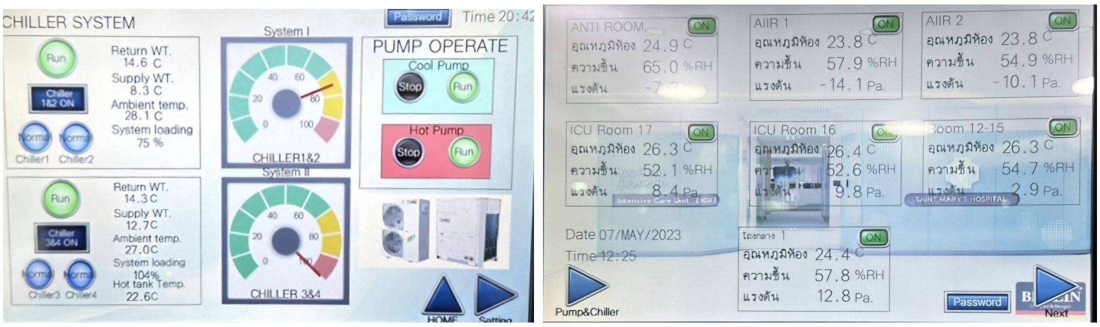
ระบบปรับอากาศทั้งสามระบบนี้ จะมีขนาดพิกัดของการใช้กำลังไฟฟ้า พลังงานในขนาดที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้ ค่าพลังงานที่ใช้ก็จะมีปริมาณที่มีค่าสูงต่ำ แตกต่างกันออกไป การปรับอากาศที่ศึกษานี้เป็นการปรับอากาศขนาดใหญ่แบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นแล้วส่งไประบายอากาศ หรือปรับอากาศยังส่วนที่ต้องการตามท่อส่งอากาศเย็นเข้าไป การปรับอากาศแบบนี้เรียกว่าการปรับอากาศแบบรวมศูนย์นั่นเอง [5] การทำงานของระบบปรับอากาศแบบนี้ มีค่าใช้จ่ายด้าน

พลังงานที่สูง ดังนั้น หากมีการใช้การแลกเปลี่ยนความร้อน หรือการแลกเปลี่ยนพลังงาน (Energy Transfer and Conservation Process, ETCP) มาช่วย จะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้อีกทาง การทำงานของ ETCP จะทำการสร้างความเย็นที่ Central plant และส่งถ่ายโอนความเย็นไปตามที่ต้องการ เช่น cooling units และถ่ายโอนความเย็นในแต่ละโซน Heat Exchanger Zone จะถ่ายโอนความเย็นไปภายในอาคารและน้ำร้อนจะถูกส่งกลับไปยังระบบทำความเย็นใหม่ วนลูป เพื่อการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด กฎอนุรักษ์พลังงาน

วิธีการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้ มีขั้นตอนของการดำเนินการวิจัย ซึ่งคณะวิจัยได้ศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการปรับอากาศแบบการใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยเทียบอัตราการใช้พลังงานต่อพื้นที่ เพื่อให้ได้ค่าที่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ จากการศึกษาใช้การเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศโดยเปรียบเทียบปริมาณต่อพื้นที่ โดยทำการแยกออกเป็นหน่วยพลังงานต่อพื้นที่ปรับอากาศ ค่าที่นำมาเปรียบเทียบแสดงอ้างอิงในตารางที่ 1

ภาพที่ 3 การติดตั้งระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์แบบ ETCP



ภาพที่ 4 จอแสดงผลการตรวจวัดพลังงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้ จะทำการเปรียบเทียบด้วยวิธีการคำนวณจากกำลังไฟฟ้าที่ติดตั้ง เข้าไปแทนของเดิม โดยที่ นำค่าพลังงานที่ได้มาหาค่าส่วนลดการใช้พลังงาน เพื่อเป็นแนวทางในการปรับอากาศในอนาต ต่อไป

ตารางที่ 1 ค่าเปรียบเทียบพลังงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ กับระบบ ETCP

ลำดับ	ตัวแปร/สมการที่ใช้	สัญลักษณ์	ข้อมูล	หน่วย
1	พิกัดการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศหลังปรับปรุง	Btu/hr	339,000.00	Btu/hr
	หรือ@ 12,000 Btu/hr เท่ากับ 1 ตันความเย็น	Ton	28.25	TR
2	พิกัดการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศก่อนปรับปรุง	Btu/hr	408,000.00	Btu/hr
	หรือ@ 12,000 Btu/hr เท่ากับ 1 ตันความเย็น	Ton	34.00	TR
3	ค่าสมรรถนะการทำความเย็นเฉลี่ยก่อนปรับปรุง	Chp_{PRE}	2.00	kW/TR
4	ค่าสมรรถนะการทำความเย็นเฉลี่ยหลังปรับปรุง	Chp_{POST}	0.94	kW/TR
5	เปอร์เซ็นต์การใช้งาน	%Use	100.00	%
6	เปอร์เซ็นต์การทำงาน	%Load	85.00	%
7	จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวัน	H	10.00	h/d
8	จำนวนวันทำงานต่อปี	D	312.00	d/y
9	ค่าพลังงานไฟฟ้าปีฐาน	CE	5.00	บาท/kWh
10	เงินลงทุนรวม	Inv	1,200,000.00	บาท

ตารางที่ 2 ค่าเปรียบเทียบพลังงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ กับระบบ ETCP

ระดับการใช้พลังงานอ้างอิงก่อนปรับปรุง

ลำดับ	ตัวแปร/สมการที่ใช้	สัญลักษณ์	ข้อมูล	หน่วย
1	กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง (TR x Chp_{PRE})	P_{PRE}	56.50	kW
2	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง P_{PRE} x %Use x %Load x H x D	E_{PRE}	149,838.00	kWh/y
3	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง E_{PRE} x CE	CE_{PRE}	749,190.00	บาท/ปี

ตารางที่ 3 ค่าเปรียบเทียบพลังงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ กับระบบ ETCP

ระดับการใช้พลังงานอ้างอิงหลังปรับปรุง

ลำดับ	ตัวแปร/สมการที่ใช้	สัญลักษณ์	ข้อมูล	หน่วย
1	กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง (TR x Chp_{Post})	P_{post}	31.96	kW
2	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง (P_{Post} x %Use x %Load x H x D)	E_{post}	84,757.92	kWh/y
3	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง (E_{Post} x CE)	CE_{Post}	423,789.60	บาท/ปี

ตารางที่ 4 ค่าเปรียบเทียบพลังงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ กับระบบ ETCP

ผลประหยัดที่เกิดขึ้น

ลำดับ	ตัวแปร/สมการที่ใช้	สัญลักษณ์	ข้อมูล	หน่วย
1	กำลังไฟฟ้าที่ลดลงหลังปรับปรุง (P_{PRE} - P_{POST})	P_{SAVE}	24.54	kW
2	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (E_{PRE} - E_{POST})	E_{SAVE}	65,080.08	kWh/y
3	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงหลังปรับปรุง (CE_{PRE} - CE_{POST})	CE_{SAVE}	325,400.40	บาท/y
4	ระยะเวลาคืนทุน (Inv / CE_{SAVE})	PB	3.69	y

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษานี้ พบว่าค่าพลังงานทางไฟฟ้าที่ใช้ต่อหน่วยของระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวม เมื่อทำการเปรียบเทียบกับการปรับอากาศด้วยระบบ ETCP ซึ่งใช้วิธีการเปรียบเทียบต่อหน่วย บ่งชี้ให้ทราบว่าค่าพลังงานที่ใช้ของระบบการปรับอากาศแบบศูนย์รวมมีค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยสูงกว่าการปรับอากาศระบบ ETCP ซึ่งค่าพลังงานที่แตกต่างกันนี้คิดจากพื้นที่ปรับอากาศให้เปรียบเทียบเป็นต่อหน่วยด้วยเช่นกัน จากผลที่ได้นี้ ทำให้มั่นใจได้ว่าการปรับอากาศโดยใช้ระบบ ETCP เข้ามใช้งาน จะสามารถลดพลังงานจากเดิมต่อปีได้สูงถึง 65,080.08 หน่วยไฟฟ้า/ปี และคิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยคิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ 5 บาท/หน่วย ระบบปรับอากาศแบบ ETCP นี้ สามารถช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าลงได้ถึง 325,400.40 บาท/ปี ทั้งนี้ การลดลงของค่าพลังงานที่ใช้งานที่ลดลงนี้สามารถลดการปล่อยมลพิษเข้าสู่ชั้นบรรยากาศได้อีกทางหนึ่งด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ตลอดจนผู้ให้คำแนะนำ สนับสนุนข้อมูลเพื่อให้ได้มาซึ่งแนวทางการศึกษาที่ชัดเจน ที่ใช้ในการศึกษา เรื่อง “ศึกษาค่าพลังงานเครื่องปรับอากาศแบบศูนย์รวม กับการแลกเปลี่ยนความร้อนในอัตราหน่วยพลังงาน” ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณโรงพยาบาลเซ้นต์แมรี่ นครราชสีมา ตลอดจนแหล่งที่มาอ้างอิงที่กล่าวถึง ซึ่งข้อมูลที่ได้ ตลอดจนการเก็บข้อมูลเพื่อทำการศึกษาวิจัยให้งานนี้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจศึกษาด้านการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศไม่มากก็น้อย และทางคณะวิจัยขออภัยหากผิดพลาดหากงานวิจัยนี้เกิดข้อบกพร่องใดๆ คณะผู้วิจัยต้องขออภัยเป็นอยางสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] **กรมอุตุนิยมวิทยา แผนที่อากาศ** สืบค้น 10 กรกรฎาคม 67
ที่มา http://www.arcims.tmd.go.th/Maximumtemp_files/tma x06.jpg

[2] **กรมอุตุนิยมวิทยา ลักษณะอากาศรายปี** สืบค้น 10 กรฎาคม 67
ที่มา https://tmd.go.th/climate/summaryyearly

[3] **กรมอุตุนิยมวิทยา อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของประเทศไทย** สืบค้น 10 กรกรฎาคม 67
ที่มา https://tmd.go.th/ClimateChart/annual-mean-temperature-in-thailand#

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน **ระบบปรับอากาศ (Air Conditioning)** สืบค้น 15 กรกรฎาคม 67
ที่มา http://www2.dede.go.th/bhrd/old/web_display/websemple/Commercial(PDF)/

Bay39%20Air%20Conditioning_Rev1.pdf

[5] บริษัท อีโคเอ็น จำกัด การปรับอากาศแบบรวมศูนย์ สืบค้น 10 กรกรฎาคม 67 ที่มา https://www.ecoen.co.th/news-events/knowledge/143/ระบบควบแน่นแบบรวมศูนย์-(Chiller-System)

ผลของการปรับสัดส่วนการทำความเย็นของชิลเลอร์ในระบบเก็บน้ำเย็นต่อการลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ: กรณีศึกษาอาคารพาณิชย์ขนาดใหญ่

The Impact of Adjusting Chiller Cooling Ratios in a Chilled Water Storage System on Air Conditioning Energy Consumption Reduction: A Large Commercial Building Case Study

นาง สานคุน[2], ธรณิศวร์ ดีทายาท[1], อรรถกร อาสนคำ[1] และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์[1]

[1]ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[2]วิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

Abstract

This study investigates the potential to reduce energy usage of chillers for air conditioning in a large commercial building with maximum cooling load 1550 RT with relatively constant electricity demand during daytime and lower demand at night. It employs 2 units of existing 800 RT chiller systems integrated with a chilled water storage system and adopts a Partial Load Demand Limiting strategy, setting the chiller operation to 25%, 50%, and 75% of daytime requirements. The size of the chilled water storage tank depends on the chiller performance that varies with the designated cooling ratios and the amount of chill to be stored overnight for use during the day. Electrical energy savings calculations reveal that the 75% cooling ratio achieves the highest savings. Economic analysis indicates that the 75% cooling ratio offers the shortest payback period of 4.59 years with an internal rate of return of 27.12%. Furthermore, sensitivity analysis shows that electricity tariff rates significantly impact the payback period, with higher rates shortening the payback time.

Keywords: Chilled water storage; Chiller; Partial load demand limiting; Economic analysis

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพในการลดการใช้พลังงานของชิลเลอร์ในการทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศภายในอาคาร พาณิชย์ขนาดใหญ่ที่มีความต้องการสูงสุด 1550 RT ซึ่งมีความต้องการกำลังไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ในตอนกลางวันและมีความต้องการ กำลังไฟฟ้าค่อนข้างต่ำในตอนกลางคืน โดยใช้ระบบเก็บสะสมความเย็นในรูปน้ำเย็นทำงานกับชิลเลอร์ที่มีอยู่เดิมที่ขนาด 800RT จำนวน 2 ชุด และใช้แนวคิดของการจัดการพลังงานในรูปการกำหนดความต้องการภาระบางส่วน (Partial Load Demand Limiting) โดยกำหนดสัดส่วนการทำความเย็นของชิลเลอร์เดิมที่ 25, 50 และ 75% ของความต้องการในช่วงกลางวัน ขนาดของถัง เก็บสะสมความเย็นจะขึ้นกับสมรรถนะของชิลเลอร์ที่แปรตามสัดส่วนการทำความเย็น

ของชิลเลอร์และความเย็นที่ต้องสะสมในช่วง กลางคืน เพื่อนำมาใช้ในช่วงกลางวัน จากการคำนวณพบว่าที่สัดส่วน 75% จะทำให้ระบบทำความเย็นประหยัดพลังงานสูงสุด และ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าที่สัดส่วนการทำความเย็นของชิลเลอร์ที่ 75% ให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุดที่ 4.59 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุนภายใน 27.12% นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ความไวพบว่าพารามิเตอร์อัตราค่าไฟฟ้าส่งผลต่อ ระยะเวลาคืนทุนมากที่สุด ถ้าอัตราค่าไฟฟ้าสูงขึ้นจะทำให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลง

คำสำคัญ: ระบบเก็บสะสมความเย็นในรูปน้ำเย็น ชิลเลอร์ การกำหนดความต้องการภาระบางส่วน การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

วงจรทอน–ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมชนิด 4 เฟส ที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิด ด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ

พัทธดนย์ ณรงฤทธิ์[1] นันทิพัฒน์ นาคสนธิ์[1] อิทธิพล เหลาพรม[1] วรวุฒิ บุตรดี[1] อานนท์ วงษ์มณี[1] และ อัษฎางค์ บุญศรี[1]

Patthadon Narongrit[1*], Nantipat Nakson[1], Ittipon Laoprom[1], Worawut Buddee[1],
Arnon Wongmanee[1], and Ussadang Boonsri[1]

[1]โปรแกรมวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี เอกวิศวกรรมพลังงานและระบบควบคุม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร 62000

[1]Program of Technology Engineering, major of Energy and Control System Engineering, Faculty of Industrial Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000

Corresponding author: Tel.: 08-28866087. E-mail address: oodood.kp@gmail.com

Abstract

This research on the voltage control of four phase Interleaved buck -boost converter using PI controller is to study the operation of the circuit and the use of Arduino Nano control board for voltage control with PI controller. The experimental results show that the circuit with PI controller can adjust the output voltage level to increase or decrease according to the behavior of the step-down voltage booster circuit and can control the output voltage according to the setting correctly. The output voltage is set at 15 and 24 volts with an input voltage of 18 volts. The experimental results show that the voltage level can be maintained back to the original state when changing the load at both output voltages. While the switching signal is still working at a distance of 90 electrical degrees all the time, the electric current flowing in the circuit is averaged to the total current to the inductor of the buck -boost converter circuit according to the switching signal. It can also reduce the ripple current.

Keywords: buck -boost converter voltage control PI controller

บทคัดย่อ

งานวิจัยวงจรทอน–ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟสที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอในครั้งนี้ เพื่อศึกษาการทำงานของวงจร และการใช้บอร์ดควบคุมอาดูโน่นาโนสำหรับการควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ โดยผลการทดลองพบว่าวงจรทอน–ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟสที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ สามารถรักษาแรงดันไฟฟ้าขาออกให้สามารถเพิ่มหรือลดได้ตามพฤติกรรมของวงจรทอน-ทบระดับแรงดัน และสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกตามการปรับตั้งได้อย่างถูกต้อง ซึ่งมีการปรับตั้งแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ 15 และ 24 โวลต์ โดยมีแรงดันไฟฟ้าอินพุตที่ 18 โวลต์ ทั้งนี้ผลการทดลองขณะทำ

การเปลี่ยนแปลงโหลดที่แรงดันไฟฟ้าขาออกทั้งสองค่าสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้กลับมาสู่สภาวะเดิมได้อย่างดี โดยขณะที่สัญญาณการสวิตช์ยังคงมีการทำงานที่ห่างกัน 90 องศาทางไฟฟ้า อีกทั้งผลของค่ากระสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรมีการเฉลี่ยค่ากระแสไฟฟ้ารวมไปที่ตัวเหนี่ยวนำแต่ละตัวของวงจรทอน-ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสตามสัญญาณการสวิตช์ได้อย่างเท่า ๆ กัน ทำให้ผลของการกระเพิ่มของกระแสไฟฟ้าลดลงได้อีกด้วย

คำสำคัญ: วงจรทอน-ทบระดับแรงดัน กาควบคุมแรงดัน ตัวควบคุมชนิดพีไอ

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยยังคงมีความจำเป็นในเรื่องของการพัฒนาทางด้านพลังงานให้เจริญและก้าวหน้าทันต่อโลกสมัยใหม่ สืบเนื่องจากความต้องการใช้พลังงานของประเทศที่มีความต้องการที่มากขึ้น ทั้งพลังงานจากแหล่งพลังงานจากธรรมชาติมีปริมาณที่ลดลง ทำให้จำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานทางเลือกอื่นเข้ามาทดแทนหรือเป็นทางเลือกสำหรับพลังงานสมัยใหม่ ทั้งนี้พลังงานด้านแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีความสะอาดและมีอย่างมากมาย ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัวเลือกแรก ๆ สำหรับการเลือกใช้เป็นพลังงานทดแทนในการพัฒนาทางด้านพลังงานทดแทนสำหรับประเทศต่อไป

โดยในการนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้งานนั้น จำเป็นต้องมีวงจรแปลงผันพลังงานจากอาทิตย์เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน แต่เนื่องจากความไม่แน่นอนของพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่มีการแปรเปลี่ยนพลังงานตามธรรมชาติและสิ่งรบกวนต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องมีการใช้วิธีการเพื่อรักษาและดึงพลังงานในช่วงที่ถูกรบกวนนั้นมาให้มากที่สุด โดยวงจรแปลงผันพลังงานจากแสงอาทิตย์อีกหนึ่งวงจรที่มีความสามารถในการเพิ่มและลดแรงดันไฟฟ้าได้นั้นหนึ่งวงจรคือ วงจรทอน-ทบระดับแรงดัน เพื่อเข้ามาช่วยในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตให้คงที่ ซึ่งมีข้อดีคือสามารถลดและเพิ่มแรงดันไฟฟ้าได้ ทำให้เหมาะสมกับวงจรแปลงผันพลังงานทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งในการใช้งานสำหรับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ ต่าง ๆ ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นเพื่อการรองรับพลังงานที่สูงขึ้นจึงมีการนำวงจรแปรผันพลังงานมาขนานกันเพื่อสามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรแปรผันพลังงานแรงดันได้ แต่เนื่องจากการทำงานของวงจรแบบขนานนั้นเมื่อทำงานพร้อม ๆ กัน จะสร้างการกระเพื่อมของกระแสมากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการกระเพื่อมที่แรงดันไฟฟ้าด้านออกได้ การกำหนดให้วงจรมีการทำงานแบบเหลื่อมเฟสนั้นสามารถที่จะลดการกระเพื่อมของกระแสด้านเข้าและด้านออกได้เป็นอย่างดี [1] โดยเมื่อกระแสมีการกระเพื่อมน้อยจึงทำให้แรงดันไฟฟ้ามีการกระเพื่อมน้อยเช่นกัน จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น จึงทำให้วงจรทอน-ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟส มีความน่าสนใจอย่างยิ่งที่จะช่วยทำให้แรงดันและกระแสมีความคงที่มากขึ้น แต่หากขาดวงจรควบคุมที่ดีแล้วการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตก็อาจขาดเสถียรภาพได้ ซึ่งตัวควบคุมชนิดพีไอนั้นเป็นตัวควบคุมที่มีข้อดีเพียงพอต่อระบบที่จะควบคุมระบบแรงดันไฟฟ้าของวงจรให้คงที่ได้ โดยตัวควบคุมชนิดพีไอมีการตอบสนองที่เร็วตามคุณลักษณะของตัวควบคุมแบบพี และสามารถรักษาเสถียรภาพด้วยตัวควบคุมชนิดไอ ทำให้เพียงพอต่อการควบคุมแรงดันไฟฟ้าได้ [2-5]

ดังนั้นวงจรทอน–ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟสที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ จึงเป็นงานวิจัยน่าสนใจในปัจจุบันเพื่อศึกษาการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

วัตถุประสงค์

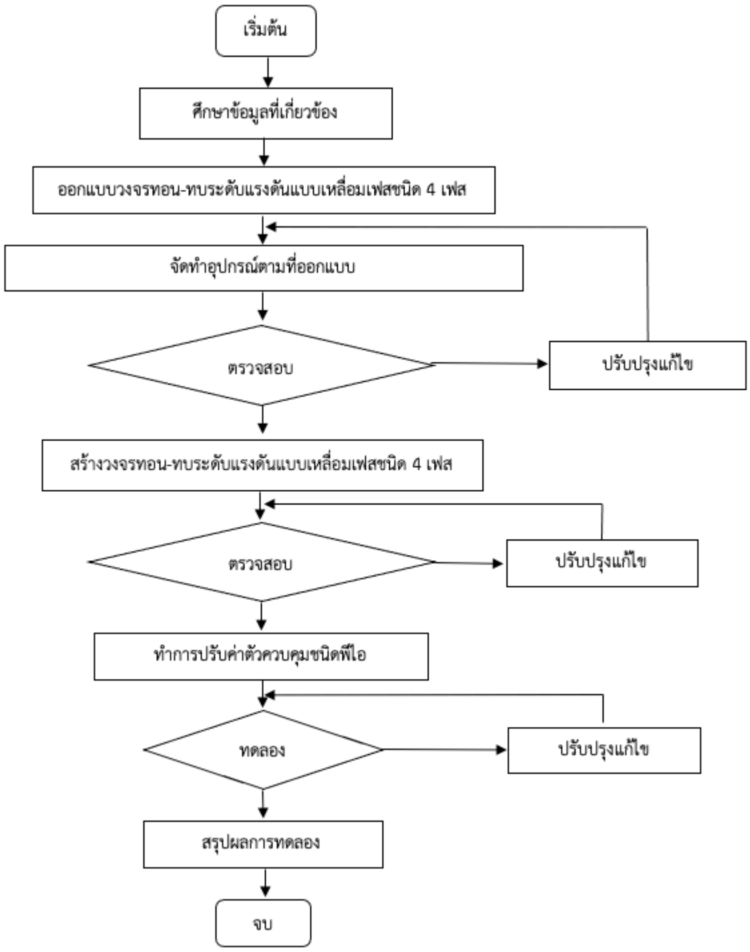
1. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรทอน–ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟสที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ

2. เพื่อศึกษาการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้วยบอร์ดควบคุมอาดูโน่นาโน

3. เพื่อสร้างวงจรทอน–ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟสที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ

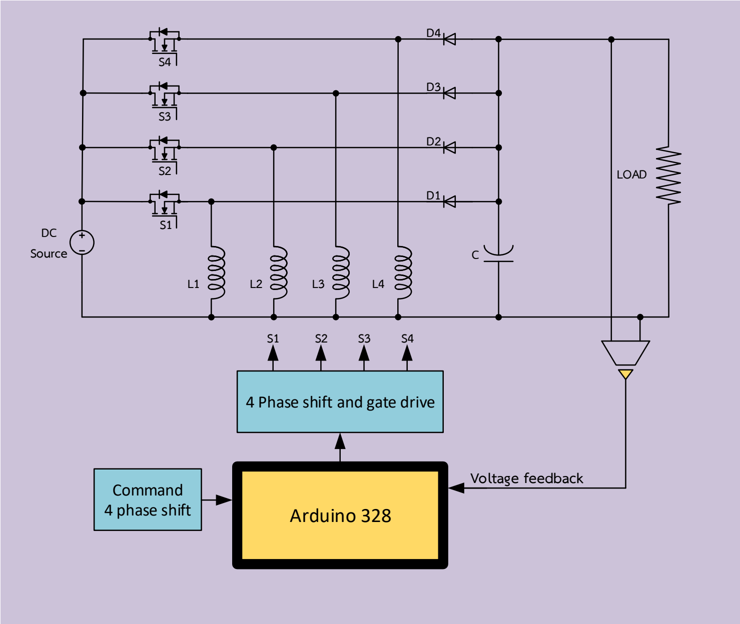
วิธีการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1 แผนผังการดำเนินงานและขั้นตอนการออกแบบวงจรทอน-ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟส ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ ขั้นตอนแรกศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัยเพื่อหาข้อมูลที่จำเป็นในการทำวิจัย เมื่อได้ข้อมูลแล้วจากนั้นจึงทำการออกแบบและจัดทำอุปกรณ์ของวงจรตามข้อมูลที่ได้ศึกษามา แล้วจึงทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ได้ทำขึ้น เมื่อตรวจสอบว่าผ่านแล้วจึงสร้างวงจรทอน – ทบระดับแรงดันและทดสอบการทำงานของวงจรในลักษณะไม่มีการควบคุมแบบวงรอบปิด ตรวจสอบแล้วว่าวงจรทำงานได้ปกติ จากนั้นทำการทดลองการทำงานโดยให้วงจรทำงานในลักษณะที่มีการควบคุมแบบวงจรรอบปิด แล้วจึงทำการเก็บผลการทดลอง เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรทำงานของวงจรทอน–ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟส ที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ ด้วยบอร์ดการควบคุมอาดูโน่นาโน เมื่อเสร็จแล้วจึงสรุปผลการวิจัย โดยสามารถแสดงได้ดังข้อมูลดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 แผนผังการดำเนินงานและขั้นตอนการออกแบบวงจรทอน-ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟส

โดยวงจรทอน-ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟส ที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอมีลักษณะของวงจรดังภาพที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยวงจรทอน-ทบระดับแรงดันแบบดั้งเดิมจำนวน 4 ชุดต่อขนานกันและมีบอร์ดอาดูโน่นาโนเป็นตัวประมวลสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าขาออกเพื่อทำการควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกให้คงที่ โดยเมื่อได้รับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าแล้วจะประมวลสัญญาณ และส่งสัญญาณออกไปที่ชุดสัญญาณขับสวิตช์ที่มีการเหลื่อมเฟสกันที่ 90 องศาทางไฟฟ้า เพื่อทำหน้าที่ในการขับสัญญาณสวิตช์ของสวิตช์แต่ละตัว โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกสามารถปรับค่าสัญญาณควบคุมได้จากบอร์ดอาดูโน่นาโนตามที่แสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงแผนผังการทำงานของ วงจรทอน-ทบระดับแรงดันแบบขนานเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟส ที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ

โดยการออกแบบค่าพารามิเตอร์วงจรวงจรทอน-ทบระดับแรงดันแบบขนานเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟส สามารถออกแบบได้จากสมการที่ 1-3 ได้ดังนี้ [6] และ [7]

สมการสำหรับการออกแบบตัวเหนี่ยว

$$L = \frac{(V_{in})(D)}{\Delta i_{on}(f)} \qquad (1)$$

สมการสำหรับการออกแบบตัวเก็บประจุ

$$C = \frac{D}{\left[\frac{\Delta V_o}{V_o}\right] Rf} \qquad (2)$$

สมการสำหรับการออกแบบองศาในการสวิตซ์

$$\theta = \frac{360}{4} = 90^{\circ} \quad (3)$$

จากการออกแบบวงจรได้ค่าพารามิเตอร์ของวงจรทอน-ทบระดับแรงดันแบบขนานเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟส สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 ดังนี้

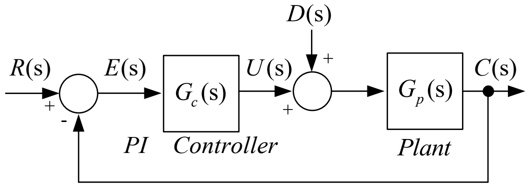
ตารางที่ 1 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ของวงจร

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
แรงดันไฟฟ้าอินพุต	18 โวลต์
ตัวเหนี่ยวนำ	576 ไมโครเฮนรี่
ตัวเก็บประจุ	100 ไมโครฟารัด
องศาในการสวิตซ์	90 องศา
ความถี่ในการสวิตซ์	25 กิโลเฮิร์ต

ซึ่งในการควบคุมใช้ตัวควบคุมชนิดพีไอ โดยตัวควบคุมชนิดพีไอเป็นการรวมข้อดีของตัวควบคุมชนิดพีและตัวควบคุมชนิดไอไว้ด้วยกัน โดยการควบคุมชนิดพีนั้นจุดเด่นของตัวควบคุมชนิดนี้ คือ เมื่อทำการปรับค่าเกนให้สูงขึ้นจะมีผลทำให้ระบบมีผลการตอบสนองที่เร็วขึ้น และตัวควบคุมชนิดไอ จุดเด่นของตัวควบคุมชนิดนี้ คือ ตัวควบคุมชนิดนี้สามารถขจัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้ ซึ่งเมื่อนำตัวควบคุมทั้งชนิดนี้มารวมกันก็จะสามารถทำให้ผลตอบสนองมีผลการตอบสนองที่รวดเร็วและความผิดพลาดในสภาวะคงตัวที่น้อยลงได้อีกด้วย โดยที่ฟังก์ชั่นของตัวควบคุมชนิดพีไอ ระบุไว้ในสมการที่ 4 ดังนี้

$$G_c(s)\Big|_{PI} = K_p + \frac{K_i}{s} = \frac{K_p s + K_i}{s} \quad (4)$$

ทั้งนี้จากระบบการควบคุมด้วยตัวคุมชนิดพีไอสามารถแผนผังการทำงานของตัวควบคุมได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนผังการทำงานของตัวควบคุมชนิดพีไอ

จากวงจรทอน-ทบระดับแรงดันแบบดั้งเดิมสามารถหาฟังก์ชั่นถ่ายโอนวงปิด เพื่อนำไปออกแบบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมชนิดพีไอได้ดังสมการที่ 5-8 [8]

$$\frac{V_0}{V_{ref}} = \frac{\dfrac{K_{PV}s + K_{IV}}{C}}{s^2 + \left(\dfrac{K_{PV}R+1}{RC}\right)s + \dfrac{K_{IV}}{C}} \tag{5}$$

การออกแบบค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมชนิดพีไอ ทำได้โดยเทียบสัมประสิทธิ์ระหว่างพจน์ฟังก์ชั่นถ่ายโอนวงปิดกับพจน์พหุนามลักษณะเฉพาะของฟังก์ชั่นถ่ายโอนระบบอันดับสองมาตราฐานในสมการที่ 6

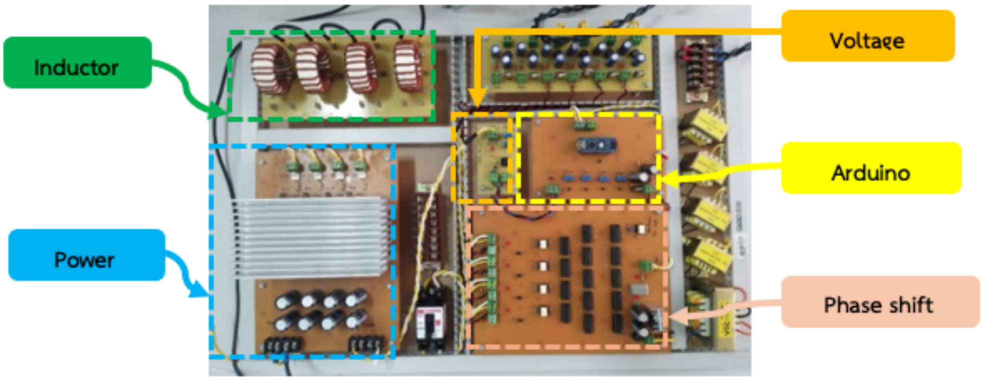
$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\varsigma\omega_n s + \omega_n^2} \tag{6}$$

เมื่อทำการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ของพหุนามตัวหารของ G(s) จึงได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมชนิดพีไอสำหรับการควบคุมแรงดันแบบป้อนกลับดังสมการที่ 7 และ 8 ดังนี้

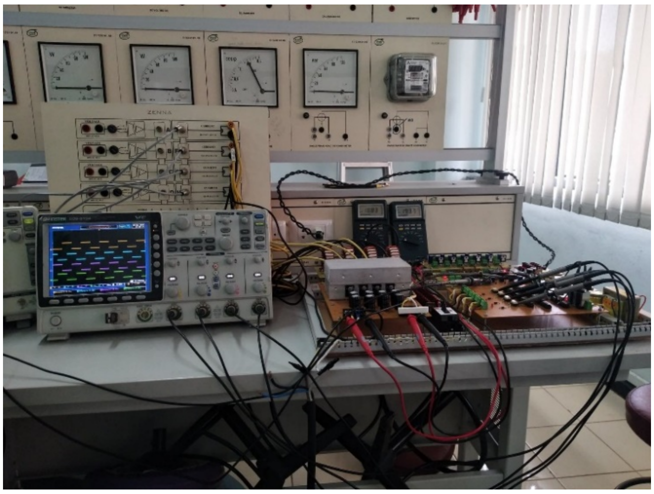
$$K_{PV} = \frac{2\varsigma_v\omega_n RC - 1}{R} \tag{7}$$

$$K_{IV} = \omega_n^2 C \tag{8}$$

โดยเมื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ของวงจรและหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแล้ว จึงได้ทำการสร้างวงจรเพื่อทดสอบการทำงานของวงจร ซึ่งสามารถแสดงภาพของวงจรได้ภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 ชุดวงจรทอน–ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟสที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอที่ติดตั้งเสร็จเรียบร้อย

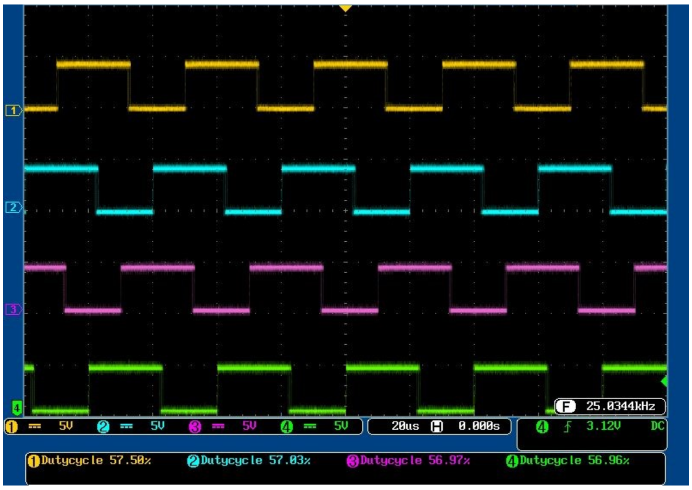


ภาพที่ 5 การติดตั้งชุดวงจรทอน–ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟสที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอขณะทำการทดลอง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

สำหรับผลการวิจัยและการอภิปรายผลในครั้งนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6-10 ดังต่อไปนี้

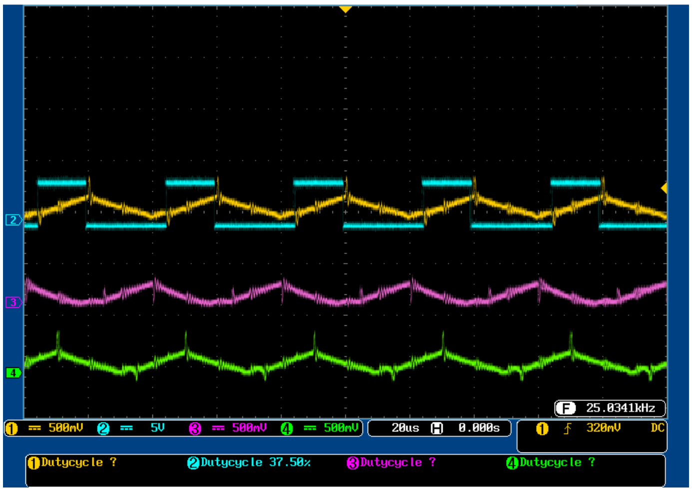
ผลการทำงานของสัญญาณการขับเกทที่มีการเหลื่อมเฟสกันที่ 90 องศาทางไฟฟ้าของวงจรทอน-ทบแบบขนานแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟสที่มีการป้อนกลับแรงดันแบบวงวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ ซึ่งการทำงานของสัญญาณสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องโดยทำงานห่างกันที่ 90 องศาทางไฟฟ้าได้อย่างพอดี สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6



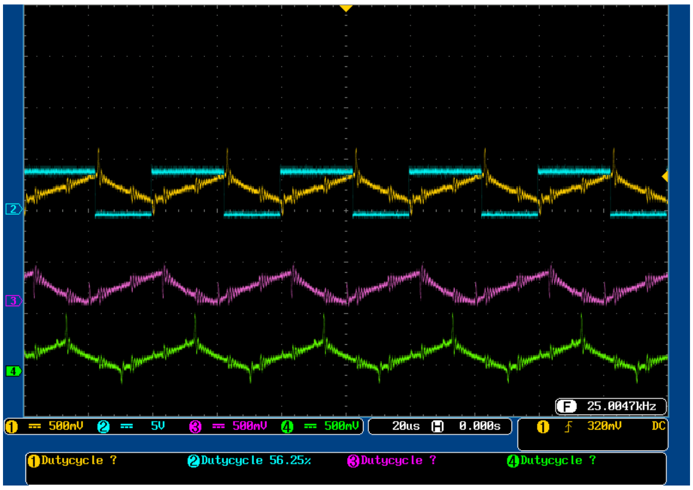
ภาพที่ 6 สัญญาณการขับเกทที่มีการเหลื่อมเฟสกัน 90 องศาของวงจรทอน-ทบแบบขนานแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟสที่มีการป้อนกลับแรงดันแบบวงวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ

ผลของสัญญาณกระแสของตัวเหนี่ยวนำขณะทำงาน ของวงจรทอน-ทบแบบขนานแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟสที่มีการป้อนกลับแรงดันแบบวงวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอขณะควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ 15 โวลต์ ซึ่งกระแสของตัวเหนี่ยวนำมีคาบเวลาขณะสวิตซ์ทำงานและหยุดทำงานตามสัญญาณการสวิตช์ของมอสเฟต โดยสามารถแสดงได้ในภาพ

ที่ 7 และผลของสัญญาณกระแสของตัวเหนี่ยวนำขณะทำงาน ของวงจรทอน-ทบแบบขนานแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟสที่มีการป้อนกลับแรงดันแบบวงวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอขณะควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ 24 โวลต์ ซึ่งกระแสของตัวเหนี่ยวนำมีคาบเวลาขณะสวิตช์ทำงานและหยุดทำงานตามสัญญาณการสวิตช์กำลัง โดยสามารถแสดงได้ในภาพที่ 8

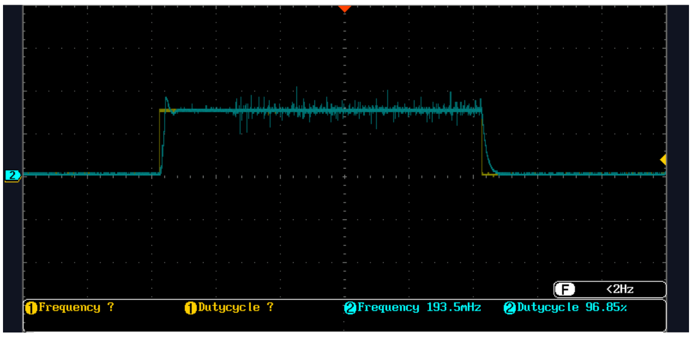


ภาพที่ 7 สัญญาณของกระแสของตัวเหนี่ยวนำขณะทำงาน ของวงจรทอน-ทบแบบขนานแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟส ที่มีการป้อนกลับแรงดันแบบวงวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอขณะควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ 15 โวลต์



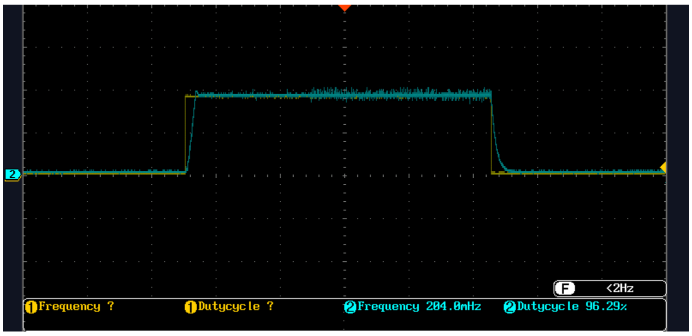
ภาพที่ 8 สัญญาณของกระแสของตัวเหนี่ยวนำขณะทำงาน ของวงจรทอน-ทบแบบขนานแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟส ที่มีการป้อนกลับแรงดันแบบวงวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอขณะควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ 24 โวลต์

ผลของสัญญาณการตอบสนองที่การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ 15 โวลต์ ขณะทำการเปลี่ยนแปลงโหลด โดยวงจรสามารถรักษาระดับแรงดันไว้ได้ ซึ่งสามรถแสดงได้ในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 สัญญาณการตอบสนองที่แรงดันไฟฟ้าขาออก 15 โวลต์ ที่มีการป้อนกลับแรงดันแบบวงวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอขณะทำการเปลี่ยนแปลงโหลด

สัญญาณการตอบสนองที่การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ 24 โวลต์ ขณะทำการเปลี่ยนแปลงโหลด โดยวงจรสามารถรักษาระดับแรงดันไว้ได้ ซึ่งสามรถแสดงได้ในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 สัญญาณการตอบสนองที่แรงดันไฟฟ้าขาออกที่ 24 โวลต์ ที่มีการป้อนกลับแรงดันแบบวงวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอขณะทำการเปลี่ยนแปลงโหลด

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองการทำงานของวงจรทอน - ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟสที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ โดยการรับแรงดันอินพุตจากแผงโซล่าเซลล์และใช้บอร์ดอาดูโน่นาโนในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงจรรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอเข้ามาช่วยขจัดสัญญาณความผิดพลาดนั้น จากผลการทดลองที่มีการควบคุมแรงไฟฟ้าขาออกที่ 15 โวลต์ และ 24 โวลต์ สามารถให้ผลได้ดังนี้

การควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ 15 และ 24 โวลต์ โดยใช้บอร์ดอดูโน่นาโนที่มีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าแบบวงจรรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกทั้งในขณะสภาวะที่ไม่มีโหลดและสภาวะการเปลี่ยนแปลงโหลดได้เป็นอย่างดี ซึ่งสังเกตจากผลการทดลองที่ระบบสามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ตามสัญญาณการปรับตั้งที่กำหนดไว้ได้จากภาพที่ 9 และ 10 ทั้งนี้การไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแต่ละตัวมีการไหลที่เท่า ๆ กันและมีการเหลื่อมเฟสกันที่ 90 องศา ตามสัญญาณการสวิตช์ โดยสังเกตจากผลการทดลองตามภาพที่ 7 และ 8 ซึ่งเป็นผลให้วงจรมีการแบ่งเบาภาระของโหลดได้ โดยจะมีการเฉลี่ยโหลดไปแต่ละวงจรทำให้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้ารวมได้มากขึ้น

จากผลการทดลองข้างต้นวงจรทอน - ทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสชนิด 4 เฟสที่มีการควบคุมแรงดันแบบวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอ ที่ควบคุมด้วยบอร์ดควบคุมอาดูโน่นาโนสามารถทำการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกของระบบทั้งในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลดได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Phatiphat, T. and Serge, P. (2010). **A New Control Law Based on the Differential Flatness Principlefor Multiphase Interleaved DC–DC Converter**. IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS—II: EXPRESS BRIEFS. 903-907.

[2] คมกฤษณ์ อินต๊ะวงค์ อรรณพ เข็ดขาม และอนนท์ นาอิน. (2017). **วงจรบั๊คบูสต์คอนเวอร์เตอร์ต่อกับมอเตอร์ปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์.** Innovation for Social Engagement Environment and Enterprise: 3E. 4th CRCI & 2nd ISHPMNB 2017. 445-449.

[3] ดนุพล ทับทิมอ่อน. (2554). **การวิเคราะห์และออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงชนิดทอน-ทบระดับแรงดันที่มีการไหลของกำลังไฟฟ้าสองทางเพื่อรักษาเสถียรภาพบัสแรงดันไฟตรง.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมพระนครเหนือ.

[4] ยุทธนา กันทะพะเยา. (2545). **การประยุกต์ใช้บั๊กบูสต์และซีต้าสำหรับวงจรแปลงผันไฟตรงแบบคู่.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[5] Deniel, A. and Javier, E.M. (2016). **Laboratory Implementation of a Boost Interleaved Converter for PV Applications.** IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS. 14 (6), 2738 - 2743.

[6] Ittipon, L. and Satean, T. (2020). **Design of PI Controller for Voltage Controller of Four-Phase Interleaved Boost Converter Using ParticleSwarm Optimization.** Hindawi. Journal of Control Science and Engineering.

[7] วีระชาติ ขัดมัน. (2556). **วงจรทบระดับอัตราขยายแรงดันสูงแบบขนานเหลื่อมเฟส.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาศวกรรมไฟฟ้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[8] รังสรรค์ ชาญพิทยกิจ. (2557). **การออกแบบตัวควบคุมและการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังเอซีเป็นดีซีที่มีโหลดเป็นวงจรแปลงผันแบบบัคก์-บูสต์.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาศวกรรมไฟฟ้า : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างด้วยการตรวจวัดความเข้มของแสงภายในอาคาร สำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

A study of electrical energy use from lighting systems by measuring light intensity in the building of Institute for Technical Education Development, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

พงศกร สิงหปรีชา[1*] ฉัตรชาญ ทองจับ[2] และ ปรีดา จันทวงษ์[3]

Pongsakorn Singhapreecha[1*], Chatchan Thongjub[2], Preeda Chantawong[3]

[1] สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

[2, 3] อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

[1] Energy Engineering Technology, Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology, Graduate College, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800

[2, 3] Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800

Corresponding author: Tel.: 09-14271262. E-mail address: pongsakornkub02@gmail.com

Abstract

The study on the use of electrical energy from lighting systems by measuring light intensity within a sample building objective to investigate the light intensity, efficiency, and electrical energy consumption of the lighting system through surveys and measurements of light intensity inside the building of the Institute for Technical Education Development, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, which has three floors. It was found that each floor of the building predominantly uses fluorescent lamps. Consequently, the study selected LED technology for experimentation to improve the lighting system and highlight the differences from the existing system. The objective was to reduce electrical energy consumption, lower electricity costs, and enhance the efficiency of electrical energy use to maximize the benefits of the lighting system.

The results showed that after improving the lighting system with LED technology, the light intensity and efficiency met the standard requirements. Annual electrical energy consumption decreased by 25,635.26 kWhr/yr (a reduction of 52.31%), resulting in savings of 146,913.65 baht/year (a reduction of 47.69%). The total investment was 130,794 baht, with an average payback period of 0.89 years. This

confirms that the use of electrical energy from the building's lighting system has significantly decreased due to the efficiency of LED lamps.

Keywords: Electrical energy from indoor lighting systems, Light intensity, Electrical energy consumption

บทคัดย่อ

การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างด้วยการตรวจวัดความเข้มของแสงภายในอาคารตัวอย่าง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความเข้มของแสงสว่าง ประสิทธิภาพ และการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างด้วยการสำรวจและตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างภายในอาคารสำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือจำนวน 3 ชั้น พบว่าภายในอาคารแต่ละชั้นส่วนใหญ่จะใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ดังนั้นจึงได้ดำเนินการเลือกใช้เทคโนโลยีแอลอีดีมาใช้ในการทดลอง เพื่อปรับปรุงระบบแสงสว่างและสามารถชี้ให้เห็นความแตกต่างจากที่เป็นอยู่ โดยมีความคาดหวังที่จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ลดค่าไฟฟ้า และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดประโยชน์สูงสุดของระบบแสงสว่าง จากการศึกษาผลลัพธ์ พบว่าหลังจากปรับปรุงระบบแสงสว่างด้วยเทคโนโลยีแอลอีดีแล้ว ความเข้มของแสงสว่างและประสิทธิภาพเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน และการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีลดลง 25,635.26 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี (คิดเป็นร้อยละ 52.31) ทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้า 146,913.65 บาท/ปี (คิดเป็นร้อยละ 47.69) ใช้เงินลงทุนทั้งหมด 130,794 บาท ระยะคืนทุนเฉลี่ย 0.89 ปี ทำให้ยืนยันได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างภายในอาคารนั้นลดลงอย่างมากเนื่องจากประสิทธิภาพของหลอดไฟแอลอีดี

คำสำคัญ: พลังงานไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างภายในอาคาร ความเข้มของแสงสว่าง การใช้พลังงานไฟฟ้า

บทนำ

เนื่องจากพลังงานไฟฟ้านั้นเป็นปัจจัยหลักในการดำเนินธุรกิจทุกประเภท และราคาพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันก็เพิ่มสูงขึ้นมาก โดยจะมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นต่อไป ซึ่งอาคารสำนักงานในประเทศไทย แต่ละแห่งใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 8-12 ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่าง 25% สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศ 65% และระบบอื่นๆ 10% ดังนั้นการประหยัดพลังงานจึงมุ่งเน้นไปที่การลดใช้พลังงานในการดำเนินกิจกรรมในอาคาร การออกแบบระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างให้มีประสิทธิภาพ [1]

ในการศึกษานี้จะพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง เนื่องจากการบริหารจัดการที่ไม่ยุ่งยากสลับซับซ้อน อีกทั้งยังมีการลงทุนที่ค่อนข้างต่ำ ระยะเวลาในการคืนทุนที่สั้น

อาคารสำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือเป็นอาคาร 3 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยส่วนใหญ่เป็นงานประจำในสำนักงาน ระบบแสงสว่างเดิมเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 (28W), T8 (36W) และ Downlight (9W) จำนวน 483, 352 และ 100 หลอด ตามลำดับ พลังงานไฟฟ้าต่อปีรวม 53,758.46 kWhr/yr ค่าไฟฟ้าต่อปีรวม 308,085.46 Baht/yr ระบบแสงสว่างหลังเปลี่ยนเป็นหลอดแอลอีดี T5 (15W), T8 (24.5W) และ Downlight (9W) จำนวน 474, 198 และ 88 หลอด ตามลำดับ พลังงานไฟฟ้าต่อปีรวมลดลง 25,635.26 kWhr/yr ค่าไฟฟ้าต่อปีรวมลดลง 146,913.65 Baht/yr

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความเข้มของแสงสว่าง ประสิทธิภาพ การใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบแสงสว่าง และปรับปรุงระบบแสงสว่างโดยใช้หลอดแอลอีดีทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยการวิเคราะห์ผลประโยชน์ทางตรงจากการประหยัดพลังงาน ด้วยการสำรวจ และตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างภายในอาคารสำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เป็นกรณีศึกษา

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบไฟฟ้าแสงสว่างมี 3 ส่วนหลัก คือ 1. หลอดไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์หรือแหล่งกำเนิดแสง 2. บัลลาสต์ เป็นอุปกรณ์ช่วยในการจุดติดหลอดไฟ 3. โคมไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่กระจายแสงจากหลอดไฟ [2]

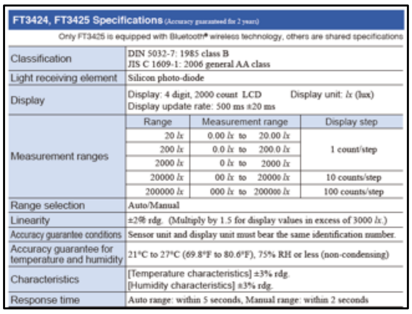
ลูเมนหรือฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux) หมายถึง ปริมาณแสงทั้งหมดที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด มีหน่วยเป็น ลูเมน

ความเข้มแสงสว่าง หมายถึง ปริมาณแสง (Luminous Flux) ต่อหน่วยพื้นที่ที่รับแสง มีหน่วยเป็น ลักซ์ หรือ ลูเมนต่อตารางเมตร

ประสิทธิภาพของระบบแสงสว่าง (Lighting Performance) เป็นการวิเคราะห์ภาพรวมของพื้นที่ที่ใช้ระบบแสงสว่างระหว่างกำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่างกับพื้นที่ในบริเวณที่ใช้ระบบแสงสว่าง มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร

$$\text{ประสิทธิภาพของระบบแสงสว่าง} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)}}{\text{พื้นที่ตรวจวัด (ตารางเมตร)}} \qquad (1)$$

เครื่องมือที่ใช้วัดความเข้มแสงสว่าง ยี่ห้อ HIOKI รุ่น FT3424 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องวัด แสดงดังภาพที่ 1



FT3424, FT3425 Specifications (Accuracy guaranteed for 2 years)

Only FT3425 is equipped with Bluetooth® wireless technology, others are shared specifications

Classification	DIN 5032-7: 1985 class B JIS C 1609-1: 2006 general AA class		
Light receiving element	Silicon photo-diode		
Display	Display: 4 digit, 2000 count LCD Display unit: lx (lux) Display update rate: 500 ms ±20 ms		
Measurement ranges	Range	Measurement range	Display step
	20 lx	0.00 lx to 20.00 lx	1 count/step
	200 lx	0.0 lx to 200.0 lx	
	2000 lx	0 lx to 2000 lx	
	20000 lx	00 lx to 20000 lx	10 counts/step
	200000 lx	000 lx to 200000 lx	100 counts/step
Range selection	Auto/Manual		
Linearity	±2% rdg. (Multiply by 1.5 for display values in excess of 3000 lx.)		
Accuracy guarantee conditions	Sensor unit and display unit must bear the same identification number.		
Accuracy guarantee for temperature and humidity	21°C to 27°C (69.8°F to 80.6°F), 75% RH or less (non-condensing)		
Characteristics	[Temperature characteristics] ±3% rdg. [Humidity characteristics] ±3% rdg.		
Response time	Auto range: within 5 seconds, Manual range: within 2 seconds		

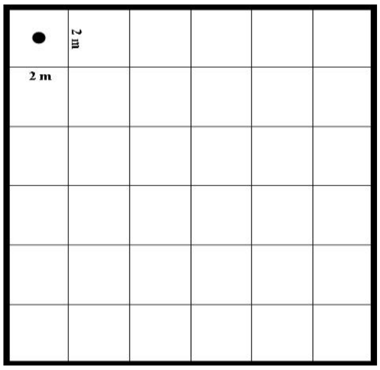
ภาพที่ 1 เครื่องวัดความเข้มของแสงสว่าง (Digital Lux meter)

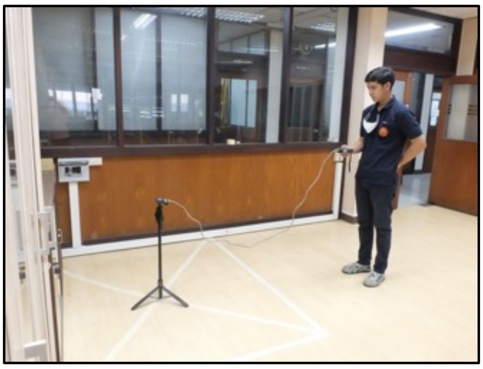
วิธีการตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างภายในอาคาร แนวทางปฏิบัติตามกฎกระทรวง [3] โดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ

1. วัดที่จุดทำงาน (Spot Measurement) เป็นการตรวจวัดแสงบริเวณที่ผู้ใช้งานต้องทำงานใช้สายตาเฉพาะจุด โดยวางเครื่องวัดแสงในแนวระนาบเดียวกับชิ้นงาน แล้วอ่านค่าความเข้มแสงสว่าง แสดงดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 การวัดแบบจุด (Spot Measurement)

2. วัดแบบค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งหมด (Area Measurement) เป็นการตรวจวัดแสงในบริเวณพื้นที่ทั้งหมดภายในอาคาร ทำการแบ่งพื้นที่ทั้งหมดออกเป็นพื้นที่ 2x2 ตารางเมตร และถือเครื่องวัดแสงในแนวระนาบสูงจากพื้น 30 นิ้ว แล้วอ่านค่า ดำเนินการซ้ำที่ส่วนอื่น ๆ แล้วนำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย แสดงดังภาพที่ 3 หากรูปแบบการติดโคมไฟฟ้ามีลักษณะที่แน่นอนซ้ำ ๆ กัน สามารถวัดความเข้มแสงสว่างในจุดที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ได้ [4]





ภาพที่ 3 การแบ่งพื้นที่และการตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง

วิธีการวิจัย

1. ดำเนินการสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างและใช้เทคโนโลยีแอลอีดีมาปรับปรุงระบบแสงสว่างภายในอาคารตัวอย่าง “สำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ”

2. หาค่าความเข้มของแสงสว่าง โดยใช้เครื่องมือวัดความเข้มของแสงสว่างและค่าไฟฟ้าสุทธิ โดยนำข้อมูลจากผู้ผลิตวัสดุส่องสว่างมาคำนวณหาค่าไฟฟ้าสุทธิ

3. วิเคราะห์ค่าความเข้มของแสงสว่างและประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างภายในอาคารตัวอย่างให้เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง [5-6]

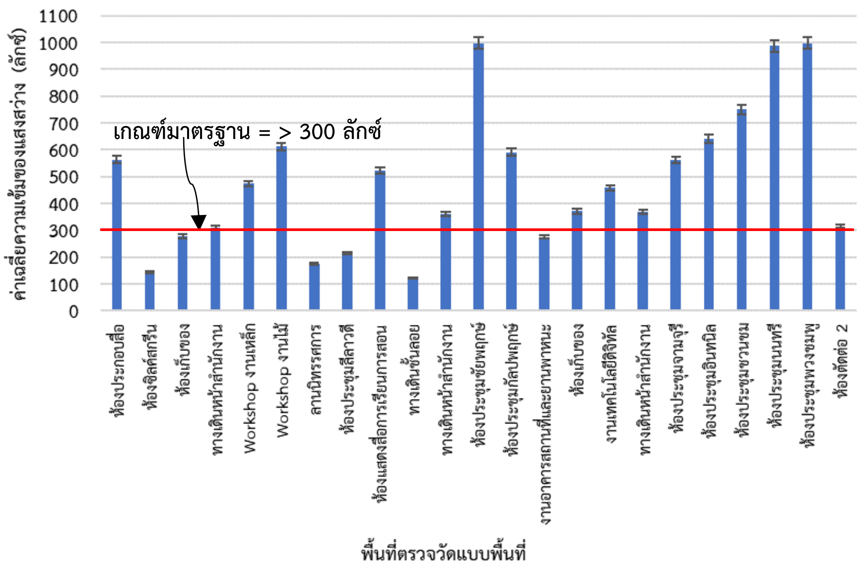
4. วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังปรับปรุงระบบแสงสว่างในส่วนที่ไม่ผ่านเกณฑ์ภายในอาคารตัวอย่าง

5. ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พร้อมเปรียบเทียบระยะคืนทุน

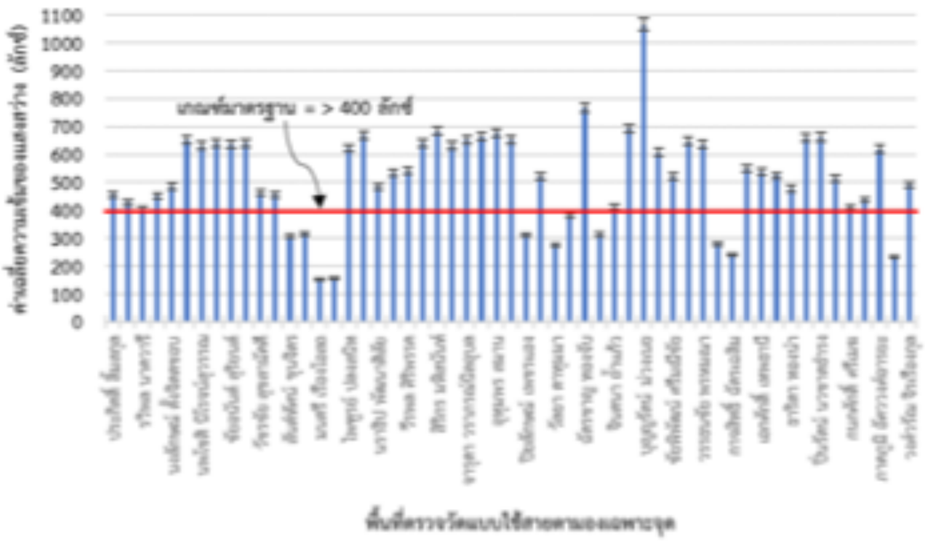
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลภายในอาคารตัวอย่าง พบว่าชนิดและปริมาณหลอดไฟภายในอาคารเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 (28W), T8 (36W) และ Downlight (9W) จำนวน 483, 352 และ 100 หลอด ตามลำดับ

แสดงข้อมูลผลการตรวจวัดความเข้มของแสงสว่าง และประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างภายในอาคารตัวอย่างก่อนปรับปรุงระบบแสงสว่าง (มาตรฐานค่าความเข้มของแสงสว่างเฉลี่ย 300 - 400 ลักซ์) แสดงดังภาพที่ 4 ถึง 6

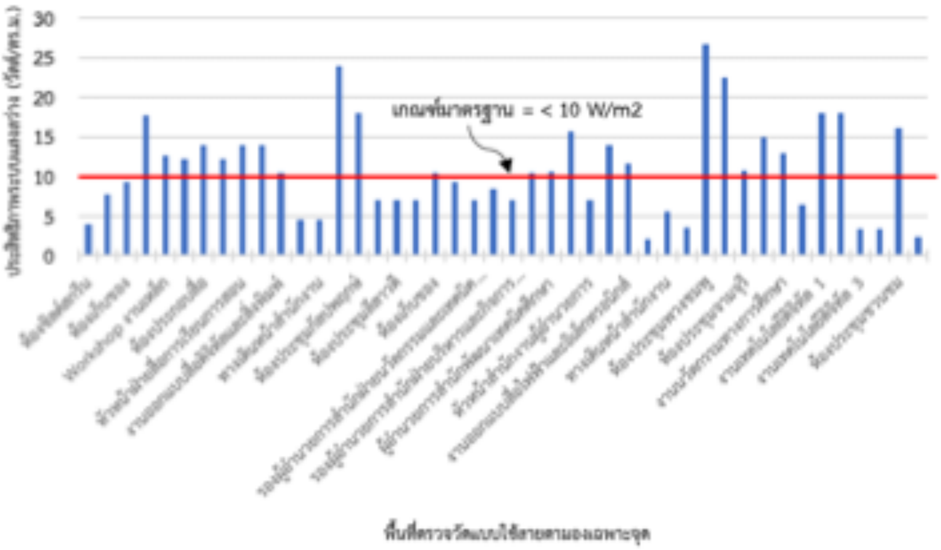


ภาพที่ 4 ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่างของพื้นที่ตรวจวัดแบบพื้นที่ (ก่อนปรับปรุง)



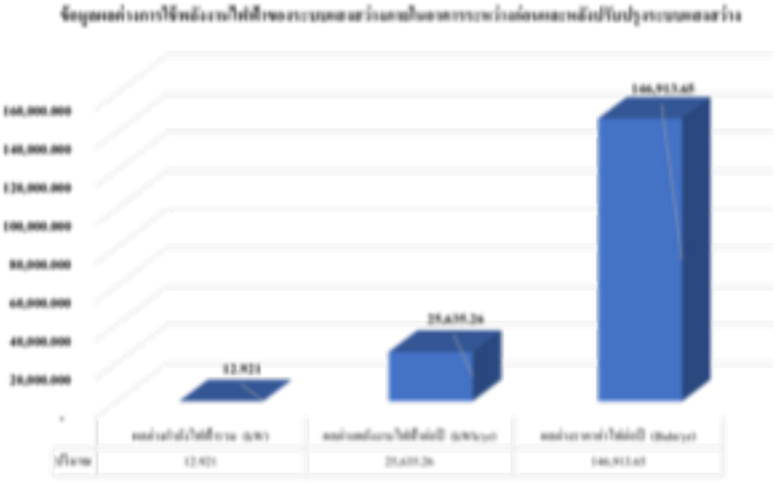
ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่างของพื้นที่ตรวจวัดแบบใช้สายตามองเฉพาะจุด (ก่อนปรับปรุง)

หลังจากปรับปรุงระบบแสงสว่างโดยใช้เทคโนโลยีหลอดไฟแอลอีดี T5 (15W), T8 (24.5W) และ Downlight (9W) จำนวน 474, 198 และ 88 หลอด ตามลำดับ แล้วทำการตรวจวัดและคำนวณค่าใหม่ทุกพื้นที่ตรวจวัดซึ่งได้ค่าผ่านเกณฑ์ที่เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง



ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างภายในอาคารตัวอย่าง (ก่อนปรับปรุง)

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลภายในอาคารตัวอย่าง แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกับหลังเปลี่ยนเป็นหลอดแอลอีดี แสดงดังภาพที่ 7 ซึ่งการเลือกใช้เทคโนโลยีแอลอีดีมาใช้ในการทดลอง ช่วยในการประหยัดพลังงาน และก่อให้เกิดประสิทธิภาพที่สูงขึ้น [7]



ภาพที่ 7 ข้อมูลผลต่างการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างภายในอาคารระหว่างก่อนและหลังปรับปรุง

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างด้วยการตรวจวัดความเข้มของแสงภายในอาคาร สำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สามารถสรุปตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. ค่าความเข้มของแสงสว่างและประสิทธิภาพของระบบแสงสว่าง จากผลการตรวจวัดสว่างแสงแบบพื้นที่และแบบใช้สายตามองเฉพาะจุด รวม 23 พื้นที่ 55 จุด โดยการตรวจวัดแบบพื้นที่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 17 พื้นที่ (คิดเป็นร้อยละ 73.91) / ไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 6 จุด (คิดเป็นร้อยละ 26.09) การตรวจวัดแบบเฉพาะจุดผ่านเกณฑ์จำนวน 44 จุด (คิดเป็นร้อยละ 80) / ไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 11 จุด (คิดเป็นร้อยละ 20) มาตรฐานค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง 300-400 ลักซ์ ซึ่งทำการแก้ไขจุดที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ ให้เพิ่มโคมไฟประจำโต๊ะ เปิดม่านเพื่อรับแสงธรรมชาติ เพิ่มหลอดไฟที่ให้ปริมาณแสงมากขึ้น และทำการวัดค่าใหม่ซึ่งได้ค่าผ่านเกณฑ์ที่เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง

ส่วนด้านประสิทธิภาพของระบบแสงสว่าง คำนวณจากค่าเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ รวม 44 พื้นที่ โดยผ่านเกณฑ์ 20 พื้นที่ (คิดเป็น 45.45%) / ไม่ผ่านเกณฑ์ 24 จุด (คิดเป็น 54.55%) มาตรฐานสำนักงานหรือที่ทำการ 10 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งทำการแก้ไขโดยเปลี่ยนเป็นหลอดไฟแอลอีดีเพื่อลดกำลังไฟฟ้าลง และลดจำนวนหลอดไฟลงในบางพื้นที่ตรวจวัด และทำการคำนวณใหม่ซึ่งได้ค่าผ่านเกณฑ์ที่เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของอาคาร

2. การใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบแสงสว่าง หลังจากเปลี่ยนหลอดไฟมาใช้เทคโนโลยีแอลอีดี พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้รวมลดลง 12.921 kW (คิดเป็น 47.69%) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีรวมลดลง 25,635.26 kWhr/yr (คิดเป็น 52.31%)

3. วิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ หลังจากปรับปรุงระบบแสงสว่างภายในอาคารให้เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน รวมใช้เงินลงทุนทั้งหมด 130,794 บาท รวมค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ทั้งหมด 146,913.65 บาท ระยะคืนทุนเฉลี่ย 0.89 ปี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชาญ ทองจับและรองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยที่ได้ให้คำแนะนำและแนวทางการดำเนินการของงานวิจัยมาโดยตลอด และสำนักพัฒนาเทคนิคศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่สนับสนุนให้ งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2560). **คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน**.

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. **คู่มือฝึกอบรม การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน.**

[3] กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2565). **เรื่อง หลักเกณฑ์ วิธีการตรวจวัด และการวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียง รวมทั้งระยะเวลาและประเภทกิจการที่ต้องดำเนินการ (ฉบับที่ ๒).**

[4] John E. Kaufman, Howard Haynes. (1981). **IES lighting handbook 1981: Reference volume.**

[5] กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2561). **เรื่อง มาตรฐานความเข้มของแสงสว่าง.**

[6] กระทรวงพลังงาน. ประกาศกระทรวงพลังงาน. (2564). **เรื่อง กำหนดค่ามาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน.**

[7] Khan, N. and Abas, N, (2010). **Comparative study of energy saving light source.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011(15), 296-309

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเก่า: กรณีศึกษาอาคารอนุรักษ์พลังงานและปฏิบัติการนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Improving energy efficiency in old buildings: A Case Study of Energy Conservation Buildings and Innovation Operations Rajamangala University of Technology Rattanakosin

ศุภวัฒน์ พรหมสาขา ณ สกลนคร[1] ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร [1,*]และ สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์ [2,*]

Supawat Promsaka Na Sakolnakron [1], Parnuwat Usapein[1,*] , and Sirichai jirawongnuson [2,*]

[1] วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

[2] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

[1] Rattanakosin College of Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon 73170

[2] Faculty of Engineeing, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170

*Email corresponding author: sirichai.Jir@rmutr.ac.th, supawat.pro@rmutr.ac.th

Abstract

Improving energy efficiency in old buildings: A Case Study of Energy Conservation Buildings and Innovation Operations Rajamangala University of Technology Rattanakosin Guidelines for analyzing energy and environmental impacts that occur with the aim of maintaining the environment and energy in a sustainable manner. Reducing energy use is one of the important ways to effectively reduce carbon emissions. Reducing energy use will help reduce the use of fuels that produce carbon dioxide in the energy production process that can reduce energy use to reduce carbon. Improving the efficiency of equipment Change energy-consuming equipment to a more efficient model. For example, use LED bulbs, choose electrical appliances that are energy-efficient, Label No. 5, and check and repair equipment that leaks that may cause energy loss. Using renewable energy: Choosing environmentally friendly energy sources, such as installing solar panels to generate electricity from sunlight. Reducing energy use and turning to renewable energy is a way to effectively reduce carbon emissions. It can help reduce the use of fuels that produce carbon dioxide in the production process and during energy use.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA), Building Energy Code (BEC), Energy and Environmental Conservation in Buildings, Energy and Environmental Analysis in Buildings

บทคัดย่อ

งานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเก่า: กรณีศึกษาอาคารอนุรักษ์พลังงานและปฏิบัติการนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์แนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยมีเป้าหมายเพื่อรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมและพลังงานให้คงอยู่ต่อไปอย่างยั่งยืน การลดการใช้พลังงานเป็นหนึ่งในวิธีที่สำคัญในการลดการปล่อยคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการลดการใช้พลังงานจะช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงที่เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตพลังงานที่สามารถลดการใช้พลังงานเพื่อลดคาร์บอนได้การปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์เปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานให้เป็นรุ่นที่มีความมีประสิทธิภาพสูง ตัวอย่างเช่น ใช้หลอดไฟ LED , เลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้พลังงานอย่างประหยัด ฉลากเบอร์5, และตรวจสอบและซ่อมแซมอุปกรณ์ที่รั่วไหลที่อาจก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานการใช้พลังงานทดแทน: การเลือกใช้แหล่งพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เพื่อผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์การลดการใช้พลังงานและหันมาพึ่งพาพลังงานทดแทนเป็นวิธีที่สามารถลดการปล่อยคาร์บอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงที่เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตและระหว่างใช้พลังงาน

คำสำคัญ: มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร การวิเคราะห์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร

บทนำ

กฎหมายอนุรักษ์พลังงานมีชื่อเต็มว่า "พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535"ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเมื่อวันที่ 2 เมษายน 2535 และมีผลให้ใช้บังคับในวันถัดจากวันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป คือวันที่ 3 เมษายน 2535 หลักการของกฎหมายมีวัตถุประสงค์เพื่อ กำกับดูแลส่งเสริมและสนับสนุนให้ผู้ที่อยู่ภายใต้บังคับของกฎหมาย(อาคารควบคุมและโรงงานควบคุม) มีการอนุรักษ์พลังงานด้วยการผลิตและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดส่งเสริมและสนับสนุนให้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพและวัสดุที่ใช้ในการอนุรักษ์พลังงานขึ้นภายในประเทศและมีการใช้อย่างแพร่หลายส่งเสริมและสนับสนุนให้การอนุรักษ์พลังงานเป็นรูปธรรมด้วยการจัดตั้ง “กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน” เพื่อใช้เป็นกลไกในการให้การอุดหนุนช่วยเหลือทางการเงินในการอนุรักษ์พลังงาน

ตามกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2563 (กฎกระทรวง, 2563) และประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนใน ระบบของอาคาร พ.ศ. 2552 (ประกาศกระทรวงพลังงาน, 2552) ได้กำหนดให้อาคาร 9 ประเภท ได้แก่ สถานพยาบาล สถานศึกษา สำนักงาน อาคารชุด อาคารชุมนุมคน โรงมหรสพ โรงแรม สถานบริการ และห้างสรรพสินค้า ที่มีพื้นที่ ตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอาคารโดยใช้Building Energy Code program (BEC) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารให้เป็นไปตามกฎกระทรวง

การลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้ามาในอาคารการปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการรักษาอุณหภูมิภายในอาคารที่อยู่ระดับที่เหมาะสมการใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่จะช่วยอนุรักษ์พลังงาน ตลอดจนการแสดงคุณภาพของวัสดุก่อสร้างนั้นๆ การใช้แสงสว่างในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพการใช้และการติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์และวัสดุที่ก่อให้เกิดการ

อนุรักษ์พลังงานในอาคาร การใช้ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ การอนุรักษ์พลังงานโดยวิธีอื่นตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการใช้พลังงานในภาคของอาคารต่าง ๆมีสัดส่วนการใช้พลังงานค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มที่จะมี การใช้พลังงานมากขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารที่จะสร้างใหม่ หรือดัดแปลง จึงเป็นวิธีการที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งที่ทำให้มั่นใจได้ว่าประเทศไทยจะลดการใช้พลังงานลง และจะสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในอนาคต ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพ พลังงานในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างหรือดัดแปลงหรือ Building Energy Code (BEC) เป็นเครื่องมือสำคัญที่จะทำให้ศักยภาพการประหยัดด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นได้จริงในภาคอาคารธุรกิจ

วิธีการวิจัย

การประเมินวัฏจักรชีวิตด้านพลังงานกรณีศึกษาอาคารอนุรักษ์พลังงานและปฏิบัติการนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ แนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น มีเป้าหมายเพื่อรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมและพลังงานให้คงอยู่ต่อไปอย่างยั่งยืน ในงานวิจัยนี้ ดำเนินการคัดเลือกอาคารกรณีศึกษา โดยมุ่งไปที่อาคารเก่าที่มีอายุการใช้งาน และยังไม่เคยผ่านการประเมินมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (BEC) มาก่อน ทั้งนี้ข้อจำกัดของการคัดเลือกอาคารประกอบด้วยความพร้อมของข้อมูลอาคาร และการอนุญาตให้เข้าทำการศึกษาของผู้บริหารมหาวิทยาลัย ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกอาคารอนุรักษ์พลังงานปฏิบัติการนวัตกรรมและอุตสาหกรรมเทคโนโลยีเป็นอาคารกรณีศึกษา

ภาพที่ 1 อาคารอนุรักษ์พลังงานและปฏิบัติติการนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ศาลายา

ในงานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการทบทวนวรรณกรรมแนวทางการปรับปรุงการใช้พลังงานของอาคารด้านต่าง ๆ ตามมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร ประกอบด้วย

สมการที่ใช้ในการคำนวณประกอบด้วย ระบบเปลือกอาคาร (OTTV, RTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังของอาคาร (OTTV)

โดยที่ $OTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (W/m^2)

U_W = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (W/m^2 °C)

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (°C)

U_f = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสงต่อกระจก (W/m^2 °C)

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร (°C)

SHGC = ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ส่งผ่านผนังโปร่งแสงหรือกระจก

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR = ปริมาณรังสีตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง (W/m^2)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาของอาคาร (RTTV)

$$RTTV_i = (U_r)(1 - SRR)(TD_{eq}) + (U_f)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR)$$

$$RTTV = \frac{(A_{r1})(RTTV_1) + (A_{r2})(RTTV_2) + \cdots + (A_{ri})(RTTV_i)}{A_{r1} + A_{r2} + \cdots + A_{ri}}$$

โดยที่ $RTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาด้านที่พิจารณา หน่วยเป็น (W/m^2)

U_r = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาทึบ หน่วยเป็น (W/m^2 °C)

SRR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และ/หรือ ผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาด้านที่พิจารณา

A_{ri} = พื้นที่ของหลังคาที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ของหลังคาทึบและโปร่งแสง หน่วยเป็น m^2

เกณฑ์ BEC ค่า OTTV ของอาคารกลุ่มสำนักงาน น้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 W/m^2

เกณฑ์ BEC ค่า RTTV ของอาคารกลุ่มสำนักงาน น้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 W/m^2

ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Electric lighting system) ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD)

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (วัตต์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้งาน)
1.สถานศึกษา สำนักงาน	≤ 10

ระบบปรับอากาศ (Air-conditioning system) ค่าประสิทธิภาพระบบ

พลังงานหมุนเวียน (Renewable energy system) Solar PV / อุปกรณ์อื่น ๆ

อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน (Water heating appliance) ค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในงานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเก่า: กรณีศึกษาอาคารอนุรักษ์พลังงานและปฏิบัติการนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์นี้ได้ดำเนินการทบทวนวรรณกรรมแนวทางการปรับปรุงการใช้พลังงานของอาคารด้านต่าง ๆ ตามมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร ประกอบด้วย ระบบเปลือก

อาคาร (Envelope system) ค่าการถ่ายเทความร้อน ผนังอาคาร (OTTV) หลังคาอาคาร (RTTV)ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Electric lighting system) ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่าง (LPD)ระบบปรับอากาศ (Air-conditioning system) ค่าประสิทธิภาพระบบพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy system) Solar PV / อุปกรณ์อื่น ๆอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน (Water heating appliance) ค่าประสิทธิภาพอุปกรณ์

การใช้พลังงานรวม (Whole building energy) เปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ อาคารที่ออกแบบ VS อาคารอ้างอิงแนวทางที่มีศักยภาพจะถูกคัดเลือกเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ เพื่อนำไปสู่การลดการใช้พลังงานให้เป็นไปตามมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยดำเนินการกำหนดหน่วยในการวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อพื้นที่ ซึ่งการกำหนดหน่วยในขั้นตอนนี้จะใช้อ้างอิงในการประเมิน BEC ด้วย

การวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงอาคาร (Scenario Analysis)

ในการวิเคราะห์ทางเลือกในการปรับปรุงอาคาร จะประกอบด้วย

กรณียังไม่มีการปรับปรุงอาคาร (Baseline Scenario) ในกรณีนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารในสภาพเดิมที่ยังไม่มีการปรับปรุง โดยใช้ข้อมูลการแบบอาคารที่ก่อสร้าง ผังระบบไฟของอาคาร

กรณีที่มีการปรับปรุงระบบไฟฟ้าส่องสว่าง (Scenario I) ในกรณีนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการทดลองปรับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าส่องสว่างของอาคาร ได้แก่ ห้องเรียน ห้องประชุม ให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงขึ้น

กรณีที่มีการปรับปรุงระบบปรับอากาศของอาคาร (Scenario II) ในกรณีนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการทดลองปรับเปลี่ยนระบบปรับอากาศของอาคาร ให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงขึ้น ตามเทคโนโลยีในปัจจุบัน

กรณีที่มีการปรับปรุงติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา (Scenario III)

ในกรณีนี้ผู้วิจัยจะดำเนินการทดลองปรับเปลี่ยนระบบปรับอากาศของอาคาร ให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงขึ้น ตามเทคโนโลยีในปัจจุบัน

กรณีที่มีการปรับปรุงระบบไฟฟ้าส่องสว่างและระบบปรับอากาศ (Scenario IV) ในกรณีนี้จะควบรวม กรณีที่ 1, 2 และ 3 มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานที่มากที่สุด

การประเมินอาคารอนุรักษ์พลังงาน สามารถประเมินได้ 2 ทางเลือก

การประเมินสำหรับทางเลือกที่ 1 พบว่าระบบกรอบอาคารมีค่า OTTV รวม เท่ากับ 52.45 วัตต์ต่อตารางเมตร และค่า RTTV รวม เท่ากับ 3.68 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งตาม เกณฑ์จะต้องมีค่า OTTV รวมน้อยกว่า 50 วัตต์ต่อตารางเมตร ทำให้ระบบกรอบอาคารไม่ผ่านเกณฑ์ ใน ส่วนของระบบที่ผ่านเกณฑ์ ได้แก่ ระบบแสงสว่างมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 13.754 วัตต์ ต่อตารางเมตรระบบปรับอากาศมีค่า COP เท่ากับ 3.236 และ 3.227 ผลการประเมินสำหรับทางเลือกที่ 1 จึงไม่ผ่านการประเมิน ส่วนการประเมิน

สำหรับทางเลือกที่ 2 พบว่าอาคารมีค่าการใช้พลังงานโดยรวม ของอาคารเท่ากับ 353,978.46 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ซึ่งน้อยกว่าอาคารอ้างอิง ผลการประเมินสำหรับ ทางเลือกที่ 2 จึงผ่านการประเมิน การปรับปรุงเพื่อลดการใชพลังงานโดยรวมของอาคารโดยใช้เซลล์แสง อาทิตย์ จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 69,921.07 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ประมาณ 262,554 บาทต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 16.79 ปี

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารเก่า: กรณีศึกษาอาคารอนุรักษ์พลังงานและปฏิบัติการนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์แล้ว ดำเนินการสรุปเพื่อนำเสนอแนวทางที่เหมาะสมและมีความยั่งยืนมากที่สุดในการปรับปรุงอาคารเก่าให้มีประสิทธิภาพการใช้งานมากขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การเป็นกรณีศึกษาให้กับอาคาร

ต่อไปในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยมีเป้าหมายเพื่อพลังงาน ให้คงอยู่ต่อไปอย่างยั่งยืนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเลือกใช้ เกณฑ์การมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร (Building energy Code : BEC)

เพื่อวิเคราะห์การประเมินสำหรับทางเลือกที่ 1 พบว่าระบบกรอบอาคารมีค่า OTTV รวม เท่ากับ 52.45 วัตต์ต่อตารางเมตร และค่า RTTV รวม เท่ากับ 3.68 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งตาม เกณฑ์จะต้องมีค่า OTTV รวมน้อยกว่า 50 วัตต์ต่อตารางเมตร ทำให้ระบบกรอบอาคารไม่ผ่านเกณฑ์ ใน ส่วนของระบบที่ผ่านเกณฑ์ ได้แก่ ระบบแสงสว่างมีค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 13.754 วัตต์ ต่อตารางเมตรระบบปรับอากาศมีค่า COP เท่ากับ 3.236 และ 3.227 ผลการประเมินสำหรับทางเลือกที่ 1 จึงไม่ผ่านการประเมิน

ส่วนการประเมินสำหรับทางเลือกที่ 2 พบว่าอาคารมีค่าการใช้พลังงานโดยรวม ของอาคารเท่ากับ 353,978.46 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ซึ่งน้อยกว่าอาคารอ้างอิง ผลการประเมินสำหรับ ทางเลือกที่ 2 จึงผ่านการประเมิน การปรับปรุงเพื่อลดการใชพลังงานโดยรวมของอาคารโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 69,921.07 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ประมาณ 262,554 บาทต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 16.79 ปี

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เกิดขึ้น ประสิทธิภาพของอาคาร เพื่อเป็นแนวทางประยุกต์ใช้ในการออกแบบการจัดการพลังงานและปรับปรุงประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในอาคารอย่างยั่งยืนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ สิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์ อาจารย์ปรึกษาหลักและท่าน อาจารย์ ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร อาจารย์ที่ร่วมปรึกษาให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] คู่มือการพัฒนาโครงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกCDM.pdf [ระบบ ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html (สืบค้นวันที่ 3 กรกฎาคม 2566).[12องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน), 2562.

[2] แนวทางการพัฒนาโครงการลดการปล่อยก๊าซ เรือนกระในภาคป่าไม้.“AMS-III.D. Methane recovery in animal manure management system Version 14” [ระบบ ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://cdm.unfcc.int/methodolo gies/ DB/ (สืบค้นวันที่ 3 กรกฎาคม 2566).

[3] แนวทางเบื้องต้นในการออกแบบ อาคารอนุรักษ์พลังงานประสิทธิภาพสูง เชิงสถาปัตยกรรม วันศุกร์, 10 มิถุนายน 2559 สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน ” [ระบบ ออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.enconfund.go.th/pdf/Architectural-Guidebook.pdf (สืบค้นวันที่ 3 กรกฎาคม 2566).

[4] ศูนย์ให้คำปรึกษาการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) [ระบบ ออนไลน์]. แหล่งที่มาhttps://www.dede.go.th/main.php?filename=index (สืบค้นวันที่ 3 กรกฎาคม 2566).

[5] Economic and Development Resource Center. Key indicators 2001: growthand change in Asia and the Pacific. Asian development bank. Oxford UniversityPress; 2001.

[6] Energy Policy and Planning Office. Energy statistics. Available at:<http:// www.eppo.go.th/info/1.summary_stat.htm> 2008.Rumsay P, Flanigan T. Compendium: Asian energy efficiency success

stories.Washington DC, USA: International Institute for Energy Conservation. GEEIPublications; 1995.

[7] Chirarattananon S. Energy conservation in Thailand. In: Thomson Elspeth,editor. Energy conservation in East Asia: towards greater energy security.World Scientific Publishing Co., ISBN 978-981-277-177-3; 2008.

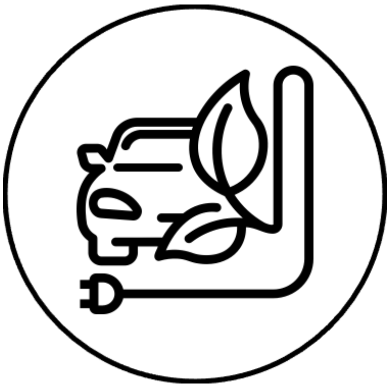
[8] Chirarattananon S, Rakkwamsuk P, Hien VD, Taveekun J, Mettanant V.Development of a building energy code for new buildings in Thailand. In:Proceedings of sustainable energy and environment (SEE), the Joint GraduateSchool of Energy and Environment and Kyoto University, Hua Hin, Thailand,2004: p. 859–867.

[9] M.N. Nwodo, C.J. Anumba, A review of life cycle assessment of buildings using a systematic approach, Build. Environ. 162 (2019) 106290, https://doi.org/ 10.1016/j.buildenv.2019.106290.

[10] M. Bahramian, K. Yetilmezsoy, Life cycle assessment of the building industry: an overview of two decades of research (1995–2018), Energy Build. 219 (2020) 109917, https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109917.

[11] J. Quelle-Dreuning, MPG-grenswaarde een feit! (in Dutch), Duurz. Gebouw. Februari 2 (2017) 66–67.

[12] Klimatdeklaration Finansdepartementet, For ¨ byggnader, Ds 4 (2020) 2020. Regeringskansliet, www.nj.se/offentligapublikationer.



นวัตกรรมด้านพลังงานและยานยนต์สมัยใหม่

Energy Innovation and Modern Vehicles (ENV)

การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลลาล์เซลล์ร่วมกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าของรถไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PVsyst

Feasibility Study of Solar Cell Power Generation System combined with Electric Vehicle Charging Station Using PVsyst Program

ศุภิสรา อรุณรัตน์[1*] ดุสิต งามรุ่งโรจน์[2] และ ปรีดา จันทวงษ์[3]

Supitsara Arunrat[1*] Dusit Ngamrungroj[2], and Preeda Chantawong[3]

[1]สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

[1]Energy Engineering Technology, Department of Mechanical Engineering, Collage of Industrial technology
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800
Tel: 095-391-8877. Email address: supitsaraarunrat@gmail.com

Abstract

This research presents a feasibility study of electricity generation from solar cells combined with charging stations for electric vehicles, focusing on the design and comparison of Mono-crystalline Silicon and Poly-crystalline Silicon solar cells working with two types of lithium-ion batteries: Lithium Iron Phosphate (LFP) and Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC). The design of this power generation system uses PVsyst version 7.4 to model, analyze, and evaluate the system performance using Off-Grid connection. The study area is a multi-purpose building. King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB) is located on Pracharat Road 1, Wong Sawang Subdistrict, Bang Sue District, Bangkok, at latitude 13.8194 and longitude 100.5144. The charging station system used in this study has a total power of 7.4 kilowatts, consisting of 2 stations. The calculation of usage is based on the time period that personnel and students use the university, from 6:00 a.m. to 9:00 p.m., for a total of 15 hours per day. The combination of solar panels and batteries in this research is divided into 4 types:

1. Mono-crystalline silicon solar panels with lithium phosphate (LFP) batteries
2. Mono-crystalline silicon solar panels with lithium nickel manganese cobalt oxide (NMC) batteries
3. Poly-crystalline silicon solar panels with lithium phosphate (LFP) batteries
4. Poly-crystalline Silicon and Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC) Battery

The results of the PVsyst simulation show that all four models have similar average efficiencies, with an average efficiency of approximately 68%. However, when considering the usable and deficit energy, the first model (Mono-crystalline Silicon Solar Panel and Lithium Phosphate (LFP) Battery) shows

the highest annual usable energy production (76,822 kWh) and the lowest deficit energy (4,208 kWh). In addition, the lithium phosphate battery shows high durability and energy storage efficiency, making it the most technically suitable model.

Keywords: solar power generation system, electric vehicle charging station, lithium-ion batteries, PVsyst

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า โดยเน้นการออกแบบและเปรียบเทียบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono-crystalline Silicon และ Poly-crystalline Silicon ที่ทำงานร่วมกับแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนสองประเภท ได้แก่ แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต (Lithium Iron Phosphate: LFP) และแบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide: NMC) การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้านี้ใช้โปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 7.4 เพื่อจำลอง วิเคราะห์ และประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยใช้การเชื่อมต่อแบบ Off-Grid พื้นที่การศึกษาคืออาคารอเนกประสงค์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (มจพ.) ตั้งอยู่บนถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร ณ ตำแหน่งละติจูด 13.8194 และลองจิจูด 100.5144 ระบบสถานีอัดประจุไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษานี้มีกำลังไฟฟ้ารวม 7.4 กิโลวัตต์ จำนวน 2 สถานี โดยคำนวณการใช้งานตามช่วงเวลาที่บุคลากรและนักศึกษาใช้งานในมหาวิทยาลัย ตั้งแต่เวลา 6:00 น. ถึง 21:00 น. รวมเวลาทั้งสิ้น 15 ชั่วโมงต่อวัน

การจับคู่ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono-crystalline Silicon กับแบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต (LFP)
2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono-crystalline Silicon กับแบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC)
3. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline Silicon กับแบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต (LFP)
4. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-crystalline Silicon กับแบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (NMC)

ผลการทดลองจากการจำลองด้วย PVsyst แสดงให้เห็นว่าทั้งสี่รูปแบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยประมาณ 68% อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในแง่ของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้และพลังงานที่ขาดหายไป พบว่า รูปแบบที่หนึ่ง(แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono-crystalline Silicon กับแบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต (LFP)) แสดงผลการผลิตพลังงานที่ใช้ได้ต่อปีสูงสุด (76,822 kWh) และมีพลังงานที่ขาดหายไปน้อยที่สุด (4,208 kWh) นอกจากนี้ แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟตยังแสดงถึงความทนทานและประสิทธิภาพในการจัดเก็บพลังงานที่สูง จึงทำให้รูปแบบนี้มีความเหมาะสมมากที่สุดในเชิงเทคนิค

บทนำ

ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ากำลังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการเติบโตของจำนวนประชากรและการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ หนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจมากขึ้นคือรถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการลดการปล่อยมลพิษจากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล การสนับสนุนการเพิ่มจำนวนของสถานีอัดประจุไฟฟ้า (Charging Station) สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า ได้นำไปสู่ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในปริมาณมาก ซึ่งก่อให้เกิดความท้าทายในการจัดหาพลังงานที่สะอาด ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells) ถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถตอบสนองความต้องการนี้ได้ เนื่องจากสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จากแหล่งพลังงานธรรมชาติอย่างดวงอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับสถานีอัดประจุไฟฟ้าของรถไฟฟ้ายังมีความท้าทายทางเทคนิคและเศรษฐกิจที่ต้องพิจารณา

ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ สิ่งสำคัญในเบื้องต้นคือการทำความเข้าใจและศึกษาหลักการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ทั้งในด้านการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การเลือกใช้แบตเตอรี่ รวมถึงการทำงานของอินเวอร์เตอร์และตัวควบคุมประจุ นอกจากนี้ การใช้โปรแกรม PVsyst ยังมีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยเฉพาะในด้านการคำนวณปริมาณพลังงานที่สามารถผลิตได้ในแต่ละปี การสูญเสียพลังงาน และการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่

กระบวนการในการศึกษานี้เริ่มต้นจากการกำหนดพารามิเตอร์พื้นฐาน เช่น สถานที่นำมาศึกษา ความต้องการพลังงานรายวัน ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และความจุของแบตเตอรี่ จากนั้นจำลองการทำงานในโปรแกรม PVsyst เพื่อคำนวณพลังงานที่สามารถผลิตได้ตลอดทั้งปี ประสิทธิภาพของระบบ (Performance Ratio: PR) และพลังงานที่สูญเสีย (Losses) โดยการวิเคราะห์จะพิจารณา Loss Diagram ซึ่งแสดงถึงการสูญเสียพลังงานในแต่ละขั้นตอน เช่น การสูญเสียจากอุณหภูมิ การสูญเสียจากการแปลงพลังงานในตัวแปลงไฟฟ้า (Inverter) และการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแบตเตอรี่เต็ม กระบวนการวิเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ครอบคลุมการออกแบบระบบที่พิจารณาทั้งพลังงานที่ผลิตได้ การสูญเสียพลังงาน และการจัดการพลังงานในแบตเตอรี่ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการติดตั้งและการใช้งานในอนาคต

วิธีวิจัย

ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทโมโนคริสตัลไลน์ โพลีคริสตัลไลน์, อินเวอร์เตอร์, ตัวควบคุมประจุประเภทการติดตามกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPPT) เนื่องจากเหมาะสมกับเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่, แบตเตอรี่ลิเธียม 2 ชนิดที่นิยมในตลาดคือ แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต (Lithium Iron Phosphate: LFP) และแบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide: NMC) แล้วสรุปอุปกรณ์ที่จะใช้เปรียบเทียบกันที่ตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ของแผงโซลล์ลาล์เซลล์

คุณสมบัติ	โมโนคริสตัลไลน์	โพลีคริสตัลไลน์
ประสิทธิภาพ	มีประสิทธิภาพสูงกว่า 17-22% เนื่องจากความบริสุทธิ์ของซิลิกอนที่มากกว่า	มีประสิทธิภาพประมาณ 15-18% โครงสร้างของผลึกสมบูรณ์น้อยกว่า
ราคา	มีราคาสูงกว่า จากกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน และคุณภาพของซิลิกอน	มีราคาที่ถูกกว่า จากกระบวนการผลิตที่นำซิลิกอนมาหลอมรวมกัน
การทำงานในสภาวะแสงน้อย	มีประภาพสูงในสภาวะแสงน้อย สูญเสียพลังงานน้อยกว่า	มีประสิทธิภาพต่ำกว่าในสภาวะแสงน้อย สูญเสียพลังงานมากในการแปลงพลังงาน

คุณสมบัติ	โมโนคริสตัลไลน์	โพลีคริสตัลไลน์
พื้นที่ติดตั้ง	เนื่องจากประสิทธิภาพสูงกว่า จึงสามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าในพื้นที่เท่ากัน	ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมากกว่าเพื่อให้ผลิตพลังงานในปริมาณเท่ากัน
อายุการใช้งาน	อายุการใช้งาน 25ปี ขึ้นไป เมื่อเวลาผ่านไปประสิทธิภาพลงลงไม่เยอะ	อายุการใช้งานประมาณ 20-25 ปี แต่ประสิทธิภาพลดลงเร็วกว่าเมื่อใช้งานในระยะยาว
ความทนทานในสภาพอากาศร้อน	ทำงานได้ดี	ประสิทธิภาพลดลงเมื่ออยู่ในสภาพอากาสร้อน

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสีย ของแบตเตอรี่ลิเธียม

คุณสมบัติ	แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต	แบตเตอรี่ลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์
ความหนาแน่นพลังงาน	ความหนาแน่นพลังงานต่ำกว่า ทำให้ต้องมีขนาดใหญ่กว่าหากต้องการจัดเก็บพลังงานเท่ากัน	ความหนาแน่นของพลังงานสูง ขนาดกะทะรัดกว่า น้ำหนักเบา
ความปลอดภัย	ทนต่อความร้อน และไม่ไวต่อการลุกไหม้	ทนต่ออุณหภูมิได้ดี ใช้งานได้ในงานแรงดันสูง
อายุการใช้งาน	อายุการใช้งานนาน มีอายุการใช้งานประมาณ 2000 cycles หรือมากกว่า	มีอายุการใช้งานที่นานเช่นกัน
ความเสถียรในการคายประจุ	มีความเสถียรในการคายประจุที่ดี และสามารถคายประจุได้เกือบถึง 100% โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับแบตเตอรี่ ทำให้เหมาะกับระบบที่ต้องการคายประจุในระยะยาว	มีความเสถียรที่ดีเช่นกัน
ราคา	ราคาถูกกว่า เนื่องจากวัสดุมีต้นทุนต่ำกว่า	ราคาแพงกว่า ใช้โคบอลต์และนิกเกิลที่ราคาสูงและหายาก
การใช้งาน	เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความปลอดภัยสูง, การใช้งานระยะยาว, และระบบจัดเก็บพลังงาน เช่น ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์, ระบบสำรองพลังงานในบ้าน	เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความหนาแน่นพลังงานสูงและน้ำหนักเบา เช่น รถยนต์ไฟฟ้า

การคำนวณระบบพลังงานแสงอาทิตย์

เริ่มจากคำนวณโหลดที่ใช้ โหลดในระบบเป็นเครื่องชาร์จรถไฟฟ้าแบบกระแสสลับ 7.4kW จำนวน 2 ตัว ใช้งาน 15 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 06.00-21.00 น. ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในแต่ละวัน (E_{daily})

$$E_{daily} = 7.4kW \times 2 \times 15 = 222kWh$$

หาขนาดแบตเตอรี่

จากที่ได้คำนวนพลังงานรายวันของโหลดในระบบมาหารค่าประสิทธิภาพของอินเวอเตอร์ (η_{inv}) เพื่อหาพลังงานที่แบตเตอรี่จะต้องนำมาใช้ (η_{inv} = 95%)

= E_{daily} / η_{inv} = 222kWh / 0.95 =233.684kWh แบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้งานต้องจ่ายพลังงานมากกว่า 233.684kWh

หาความจุของแบตเตอรี่ ค่าการคายประจุแบบลึก (DoD) ไม่ควรเกิน 30% เพื่อให้อายุการใช้งานที่นานขึ้น DoD = 20%

ความจุแบตเตอรี่ = 233.684kWh / 0.8 = 292.105kWh

แรงดันไฟฟ้าของระบบเลือกเป็น 48V ; ความจุแบตเตอรี่ = 292.105kWh / 48V = 6,085.53Ah

จำนวนแบตเตอรี่ที่ใช้ แบตเตอรี่ประเภท FEP (48V,200Ah) = 6,085.53Ah /200Ah ≈ 31ก้อน
แบตเตอรี่ประเภท NMC (48V,120Ah) = 6,085.53Ah /120Ah ≈ 51ก้อน

กำหนดขนาดของอาร์เรย์แสงอาทิตย์ คำนวณจากความจุแบตเตอรี่นำมาหารกับ PSH (PSH = 4.5 h)

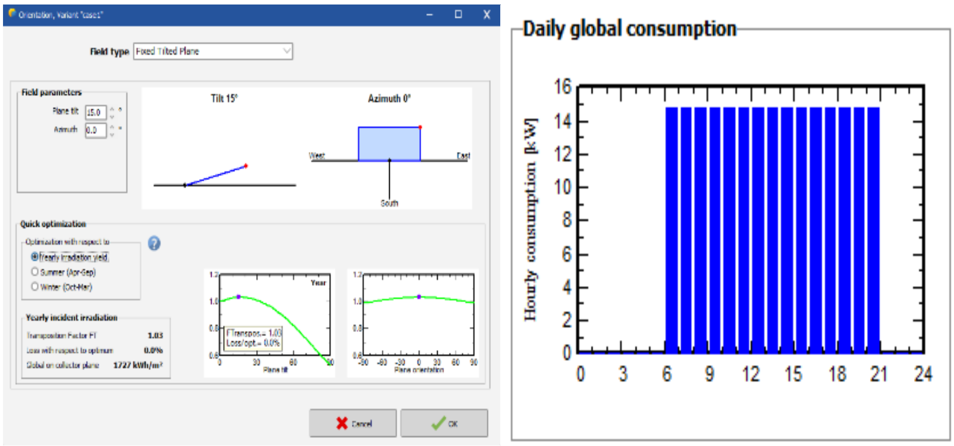
ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ = 292.105kWh / 4.5h = 64.91kW

Mono crystalline (555W,35V) = 64.91kW/555W = 116.95 ≈ 117 แผง การเชื่อมต่อแบบขนาน 2 อนุกรม 59

Poly crystalline (335W,32V) = 64.91kW/335W = 193.76 ≈ 194 แผง การเชื่อมต่อแบบขนาน 2 อนุกรม 97

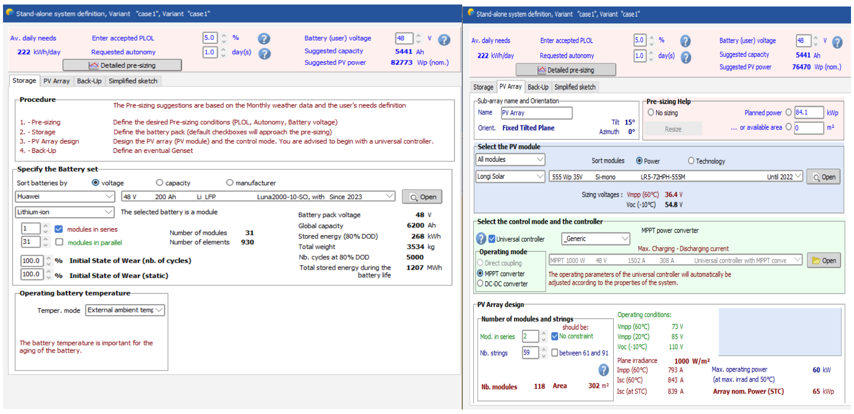
โปรแกรม PVsyst

ในการวิจัยนี้เลือกพื้นที่การศึกษา ณ ตึกอาคารอเนคประสงค์ มจพ. ถนนประชาราษฎร์1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ ตำแหน่งที่ตั้ง ละติจูด 13.8194 ลองติจูด 100.5144 ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์มุมเอียง 15 องศา หันทางทิศใต้ ตั้งค่าโหลดของระบบที่ใช้ในหนึ่งวันจากการคำนวณเป็น 222kWh โดยที่ใช้งานเป็นเวลา 15 ชั่วโมง ตั้งแต่ 06.00-21.00 น.



ภาพที่ 1แสงมุมติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และ ชั่วโมงการใช้งาน

ส่วนของการตั้งค่าอุปกรณ์ และกำหนดขนาดตามที่คำนวณของระบบผลิตไฟฟ้า อ้างอิงจากยี่ห้อ รุ่นที่มีขายในประเทศไทย หลังจากที่ใส่พารามิเตอร์ทั้งหมดลงไปแล้ว สามารถจำลองการทำงานได้



ภาพที่ 2 แสดงการตั้งค่าระบบผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ของแต่ละรูปแบบ

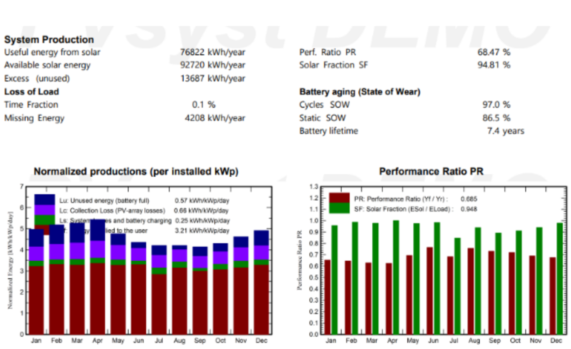
ลักษณะ	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4
กำลังการผลิต (kWp)	65.5	65.5	65.0	65.0
จำนวนโมดูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	118	118	194	194
ความจุแบตเตอรี่ (Ah)	6200	6120	6200	6120
พลังงานที่ต้องการ (kWh/วัน)	222	222	222	222

ผลการวิจัยและอภิปรายผลวิจัย

ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงจากโปรแกรม PVsyst แสดงรายงานประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ การผลิตพลังงานต่อปี และการสูญเสียต่างๆของระบบ

ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ทั้ง 4 รูปแบบมีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่เท่ากันที่ 7.4 ปี และสภาพการเสื่อมสภาพเท่ากันที่ 86.5% ทำให้ประสิทธิภาพแต่ละรูปแบบไม่ต่างกัน

การผลิตพลังงานและประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2 แสดงการผลิตพลังงานและประสิทธิภาพของรูปแบบที่ 1

ตารางที่ 2 แสดงพลังงานของแต่ละรูปแบบ

ลักษณะ	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4
พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ (kWh/ปี)	92,720	92,738	89,502	89,530
พลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (kWh/ปี)	76,822	76,534	76,420	76,115
พลังงานส่วนเกิน (kWh/ปี)	13,687	14,355	10,899	11,585
พลังงานที่ขาดหายไปหายไป (kWh/ปี)	4,208	4,496	4,610	4,915
อัตราประสิทธิภาพ (PR)	68.47%	68.22%	68.64%	68.37%
สัดส่วนพลังงานแสงอาทิตย์ (SF)	94.81%	94.46%	94.31%	93.94%

รูปแบบที่ 1 และ 2 มีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงสุด (76,822 kWh และ 76,534 kWh ตามลำดับ) ซึ่งรูปแบบที่ 1 ผลิตพลังงานที่ใช้ได้มากกว่าเล็กน้อย

รูปแบบที่ 3 มีอัตราประสิทธิภาพ (PR) สูงสุดที่ 68.64% ซึ่งหมายถึงการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ผลิตพลังงานน้อยกว่าเล็กน้อย

รูปแบบที่ 4 มีพลังงานที่ขาดหายไปมากที่สุด (4,915 kWh/ปี)

หากเปรียบเทียบพลังงานส่วนเกิน (พลังงานที่ไม่ได้ใช้เมื่อแบตเตอรี่เต็ม) และพลังงานที่ขาดหายไป (เมื่อการผลิตและการเก็บพลังงานไม่เพียงพอ) รูปแบบที่ 1 มีพลังงานส่วนเกินที่เหมาะสม (13,687 kWh/ปี) และมีพลังงานที่ขาดหายไปน้อยที่สุด (4,208 kWh/ปี) ทำให้สามารถนำพลังงานส่วนเกินไปใช้ในกรณีฉุกเฉินได้

Loss Diagram เป็นเครื่องมือที่แสดงการสูญเสียพลังงานในระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในแต่ละขั้นตอน ตั้งแต่การรับแสงจนถึงการจ่ายพลังงานให้กับผู้ใช้งาน การเปรียบเทียบ Loss Diagram ของทั้ง 4 รูปแบบในงานวิจัยนี้จะช่วยให้เห็นภาพรวมของการสูญเสียพลังงานในแต่ละส่วนได้ชัดเจนขึ้น

ตารางที่ 3 แสดงประเภทการสูญเสียทั้ง 4 รูปแบบ

ประเภทการสูญเสีย	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4
Global Horizontal Irradiation	1675 kWh/m²	1675 kWh/m²	1675 kWh/m²	1675 kWh/m²
Incident Energy on Collector Plane	2.3% เพิ่มขึ้น	2.3% เพิ่มขึ้น	2.3% เพิ่มขึ้น	2.3% เพิ่มขึ้น
IAM (Incidence Angle Modifier)	-2.04%	-2.04%	-2.80%	-2.80%
Effective Irradiation on Collector	1678 kWh/m²	1678 kWh/m²	1665 kWh/m²	1665 kWh/m²
PV Conversion Efficiency	21.76%	21.76%	17.34%	17.34%
PV Loss due to Irradiance Level	-0.56%	-0.56%	-0.70%	-0.70%
PV Loss due to Temperature	-9.81%	-9.81%	-11.93%	-11.93%
Module Quality Loss	+0.25%	+0.25%	+0.75%	+0.75%
Mismatch Loss (Modules & Strings)	-0.65%	-0.65%	-0.65%	-0.65%
Ohmic Wiring Loss	-1.94%	-1.94%	-2.05%	-2.05%
Unused Energy (Battery Full)	-14.19%	-14.88%	-11.70%	-12.43%
Converter Loss during Operation	-4.47%	-4.48%	-4.43%	-4.44%
Battery Charge/Discharge Efficiency	-1.92%	-1.91%	-1.89%	-1.89%

รูปแบบที่ 1 และ 2 (Mono-crystalline): ทั้งสองรูปแบบที่มีการสูญเสียที่ใกล้เคียงกัน โดย รูปแบบที่ 1 (Mono + LFP) สูญเสียพลังงานจากการที่แบตเตอรี่เต็มน้อยกว่ารูปแบบที่ 2 เล็กน้อย (14.19% เทียบกับ 14.88%) แต่ในแง่ของการสูญเสียจากอุณหภูมิ ทั้งสองรูปแบบที่มีค่าการสูญเสียใกล้เคียงกันที่ -9.81%

รูปแบบที่ 3 และ 4 (Poly-crystalline): ทั้งสองรูปแบบที่มีการสูญเสียจากอุณหภูมิสูงที่สุด (11.93%) แต่รูปแบบที่ 3 สูญเสียพลังงานจากการที่แบตเตอรี่เต็มน้อยกว่า (11.70%) เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ 4 (12.43%)

สรุปผลวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลพบว่าพื้นที่ทำกาศึกษามีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าได้ดีในช่วงเวลา 07.00-18.00 น. มี PSH 5 ชั่วโมง สามารถผลิตพลังงานได้ 1727 kWh/m^2 ในระบบมีความต้องการพลังงาน 222kWh/day งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ลิเธียมชนิดไหนเหมาะสมในการใช้งานมากที่สุด ซึ่งหลักเกณฑ์ที่นำมาพิจารณาคือ พลังงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ประสิทธิภาพ พลังงานที่สูญเสีย

จากผลการศึกษาข้อดี ข้อเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าแผงชนิดโมโนคริสตัลไลน์มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า ซึ่งรูปแบบที่ใช้งานแผงชนิดนี้ คือ 1 และ 2 ที่มีพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้สูงสุด (76,822 kWh และ 76,534 kWh ตามลำดับ) ซึ่งรูปแบบที่ 1 ผลิตพลังงานที่ใช้ได้มากกว่าเล็กน้อย และมีการสูญเสียพลังงานจากอุณภูมิที่สูงน้อยกว่า(-9.81%) ซึ่งหมายถึงสมารถทำงานในสภาวะอากาศร้อนได้ดีกว่า ในส่วนของการศึกษาแบตเตอรี่พบว่าทั้ง LFP และ NMC นี้มีความเสถียรใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของทั้ง 4 รูปแบบ มีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันประมาณ 68% รูปแบบที่ 3 (LFP) มีประสิทธิภาพสูงที่สุดคือ 68.64% รองลงมาคือรูปแบบที่ 1 (LFP) คือ 68.47% แต่พลังงานที่สูญเสียก็เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาเช่นกัน ในรูปแบบที่ 1 และ 3 ที่ใช้แบตเตอรี่ LFP มีการสูญเสียพลังงานเมื่อแบตเตอรี่เต็มต่ำกว่า จึงเหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องการความคงทนและการเก็บพลังงานที่ดี

สรุปว่าจากทั้ง 4 รูปแบบ ระบบที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono-crystalline Silicon คู่กับแบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต (LFP) คือรูปแบบที่ 1 ให้ผลการผลิตพลังงานสูงสุดที่ 76,822 kWh/ปี และมีพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากแบตเตอรี่เต็มน้อยที่สุด (14.19%) เป็นรูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมที่นำมาใช้งานมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

[1] อลงกต กันคำ, ณัฏฐณิชา ฉายรัศมี (2022). **การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการติดตั้งสถานีอัด ประจุไฟฟ้าร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์**. (วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์)

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **คู่มือการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์. https://bit.ly/4ckWA3b**

[3] กรมประชาสัมพันธ์. **เซลล์แสงอาทิตย์.** https://www.prd.go.th/th/file/get/file/202103082fff21210bb97eb2ea51c14d30624891133438.pdf

[4] Solar Hub. **ข้อมูลเบื้องต้นการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.** https://www.solarhub.co.th/document/solarcell-basic-knowledge-SolarHub.pdf

[5] สุรเชษฐ์ มิตสานนท์, กันคภณ โล่นพันธ์ และ วาริษา วาแม (2023). **การศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างระบบผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์แบบทุ่นลอยน้ำ กรณีศึกษาบ้านวังดินสอ จังหวัดพิษณุโลก**. (วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี)

การพยากรณ์กำลังการผลิตของระบบผลิตกำลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกเสริมแรง

Power Generation forecasting for a PV Power Generation Plant using Deep Reinforcement Learning Techniques

อนุรักษ์ แดนสีแก้ว[1] Khin Phyu Ye Myint[1] นนธวัช โคตรศรีวงษ์[1] ธีระพงษ์ บุญรักษา[2] พรหมพักตร์ บุญรักษา[3] และ บุญเรือง มะรังศรี[1*]

Anurak Deanseekeaw[1] Khin Phyu Ye Myint[1] Nonthawat Khortsriwong[1] Terapong Boonraksa[2] Promphak Boonraksa [3] and Boonruang Marungsri[1*]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา
96 ถนนพุทธมณฑลสาย5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170
[3]สาขาวิชาเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
71 ถนนนนทบุรีบางกระสอ อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000
[1]School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000
[2]School of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170
[3]School of Electrical Engineering, The Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi 11000
Corresponding author: Tel.: 0897177065. E-mail address: bmshvee@sut.ac.th

Abstract

Deep Reinforcement Learning (DRL) provides notable benefits for forecasting electricity generation by enabling adaptive decisions in dynamic conditions. Its ability to continuously learn from changing data, like weather patterns, improves solar power prediction accuracy. Furthermore, DRL's reward-based optimization enhances energy management efficiency and system stability. This paper compares power generation forecasting using DRL techniques, including Advantage Actor-Critic (A2C), Proximal Policy Optimization (PPO), and Twin Delayed DDPG (TD3), with traditional deep learning models like Recurrent Neural Networks (RNN) and Convolutional Neural Networks (CNN). The models were trained and tested using historical power data and weather conditions. The forecasting results show that DRL, particularly TD3, outperforms traditional methods in accuracy. This study highlights DRL's potential to improve forecasting performance in PV power generation plants.

Keywords: Deep Reinforcement Learning, Deep Learning, Power Generation Forecasting, PV power generation plants

บทคัดย่อ

การเรียนรู้เชิงลึกเสริมแรง (DRL) มีประโยชน์อย่างมากในการพยากรณ์การผลิตไฟฟ้า โดยทำให้สามารถตัดสินใจแบบปรับตัวได้ในสภาวะไดนามิก ความสามารถในการเรียนรู้จากข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง เช่น รูปแบบสภาพอากาศ ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ การเพิ่มประสิทธิภาพตามรางวัลของ DRL ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพลังงานและความเสถียรของระบบอีกด้วย บทความนี้นำเสนอการพยากรณ์การผลิตไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค DRL ประกอบด้วย Advantage Actor-Critic (A2C), Proximal Policy Optimization (PPO) และ Twin Delayed DDPG (TD3) เปรียบเทียบกับเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก Recurrent Neural Networks (RNN) และ Convolutional Neural Networks (CNN) โดยทุกเทคนิคได้รับการฝึกอบรมและทดสอบโดยใช้ข้อมูลพลังงานในอดีตและสภาพอากาศ ผลการพยากรณ์แสดงให้เห็นว่า DRL โดยเฉพาะอย่างยิ่ง TD3 มีประสิทธิภาพเหนือกว่าวิธีการแบบดั้งเดิมในด้านความแม่นยำ ผลการศึกษาครั้งนี้เน้นย้ำถึงศักยภาพของ DRL ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการพยากรณ์กำลังการผลิตในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

คำสำคัญ: การเรียนรู้เชิงลึกเสริมแรง การเรียนรู้เชิงลึก การพยากรณ์กำลังการผลิต ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

บทนำ

ในปัจจุบัน การใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเนื่องจากสามารถผลิตพลังงานสะอาดและช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic, PV) ที่มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม กำลังการผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงมีความผันผวนสูงเนื่องจากได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพอากาศ ความเข้มของแสงแดด และอุณหภูมิ ทำให้การพยากรณ์กำลังการผลิตไฟฟ้ามีความสำคัญเพื่อช่วยให้การจัดการพลังงานในระบบไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

เทคนิคการพยากรณ์กำลังการผลิตไฟฟ้าได้พัฒนามาอย่างต่อเนื่อง โดยในอดีตใช้วิธีเชิงสถิติและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เช่น การวิเคราะห์เวลา (Time Series Analysis) และ ARIMA ซึ่งมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ข้อมูลที่มีรูปแบบคงที่ แต่เมื่อเจอกับข้อมูลที่ซับซ้อนและผันผวนสูง ความแม่นยำของเทคนิคเหล่านี้ลดลง การพัฒนาของเทคโนโลยีการคำนวณและการประมวลผลข้อมูลในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา ทำให้เกิดการนำเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning, ML) และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning, DL) มาใช้ในการพยากรณ์กำลังการผลิตไฟฟ้า โดยเฉพาะในระบบพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม เทคนิคเหล่านี้ช่วยให้การจัดการข้อมูลที่มีความผันผวนและซับซ้อนได้ดีขึ้น เช่น การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN) และเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกเสริมแรง (Deep Reinforcement Learning, DRL)

DRL เป็นเทคนิคที่ผสาน DL กับการเรียนรู้เชิงเสริมแรง (Reinforcement Learning, RL) เพื่อสร้างโมเดลที่สามารถตัดสินใจและปรับปรุงพฤติกรรมผ่านการโต้ตอบกับสิ่งแวดล้อม โดย DRL ใช้ฟังก์ชันรางวัล (Reward Function)

และนโยบายการกระทำ (Policy) ที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของผลลัพธ์ [1] ทำให้เทคนิคนี้เหมาะกับการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา [2]-[13] ในการพยากรณ์กำลังการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ DRL ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการคาดการณ์ในสถานการณ์ที่มีความไม่แน่นอนสูง โดยสามารถเรียนรู้จากข้อมูลสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้ ทำให้สามารถสร้างโมเดลที่ปรับตัวได้ดีขึ้น การนำ DRL มาใช้ในการพยากรณ์กำลังการผลิตช่วยให้สามารถวางแผนและจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยงของการขาดแคลนพลังงาน และเพิ่มเสถียรภาพในการทำงานของระบบไฟฟ้าในระยะยาว

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิค DRL เช่น A2C, PPO และ TD3 ในการพยากรณ์กำลังการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบกับเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกอื่น ๆ เช่น RNN และ CNN เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในการพยากรณ์ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อการจัดการพลังงานหมุนเวียนอย่างมีประสิทธิภาพ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การเรียนรู้เชิงลึกเสริมแรง: RL เป็นวิธีการเรียนรู้ที่อาศัยการตอบกลับ (feedback) จากการมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม โดยการมีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมจะช่วยให้เกิดการเรียนรู้โมเดลพื้นฐานที่ออกแบบมาเพื่อเพิ่มผลลัพธ์ของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจต่อเนื่อง วิธีการนี้ใช้กระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ (Markov Decision Process: MDP) ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างที่มีห้าองค์ประกอบ ได้แก่ $\prec S, A, P, R, \gamma \succ$ โดยที่ 'S' แทนพื้นที่สถานะ (state space), 'A' หมายถึงชุดของการกระทำที่เป็นไปได้ (finite set of actions), 'R' แสดงถึงชุดของรางวัลที่คาดหวังได้ (expected rewards) r_t, $\gamma \in [0,\ 1]$ ทำหน้าที่เป็นตัวคูณส่วนลด (discount factor), และ 'P' แสดงถึงความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนผ่านระหว่างสถานะ $P_a(s_t, s_{t+1})$ รวมถึงรูปแบบพื้นฐานของความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (conditional probability) ซึ่งหมายความว่าการกระทำ a_t ในสถานะ s_t จะย้ายไปยังสถานะ s_{t+1} ในเวลา $t+1$ เป้าหมายของการเรียนรู้แบบเสริมกำลังคือการหาลำดับของการกระทำที่มีประสิทธิภาพที่สุด $\pi^* = \{a_1^*, a_2^*, ..., a_t^*, ...\}$ ในสภาพแวดล้อมที่กำหนดเพื่อเพิ่มรางวัลรวมที่สะสมโดยตัวแทน (agent)

1.1 Twin Delayed Deep Deterministic Policy Gradient หรือ **TD3** เป็นอัลกอริทึมขั้นสูงในกลุ่ม actor-critic ที่ออกแบบมาเพื่อแก้ไขปัญหาการประมาณค่าที่สูงเกินไปและปัญหาความแปรปรวนสูงที่เป็นธรรมชาติของการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง TD3 ได้รับการพัฒนาต่อยอดจากอัลกอริทึม Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) โดยมีการปรับปรุงหลักสามประการดังนี้: 1. Clipped Double Q-Learning: เพื่อบรรเทาปัญหาการประมาณค่าที่สูงเกินไป TD3 ใช้เครือข่าย critic สองเครือข่ายที่เป็นอิสระกัน ในระหว่างการฝึก TD3 จะใช้ค่าต่ำสุดจากเครือข่าย critic สองตัวนี้ในการสร้างค่าที่กำหนดเป้าหมาย เพื่อให้แน่ใจว่าค่าที่สูงเกินไปจะไม่ถูกส่งต่อ เทคนิคนี้ใช้แนวคิดว่าค่าที่ประมาณสูงเกินไปสามารถทำหน้าที่เป็นค่าขอบบน ซึ่งการประมาณค่าต่ำกว่าจะส่งผลกระทบที่น้อยกว่า 2. Delayed Policy Updates: TD3 ปรับปรุงเครือข่ายนโยบาย (actor) น้อยกว่าเครือข่าย value (critic) กลยุทธ์นี้ช่วยให้การประมาณค่า value มีความแม่นยำมากขึ้นก่อนที่จะมีผลกระทบต่อการอัปเดตนโยบาย ลดโอกาสที่จะเกิดข้อผิดพลาดในการส่งผ่านผ่านเครือข่ายนโยบาย 3. Target Policy Smoothing: วิธีนี้แนะนำให้มีการเพิ่มสัญญาณรบกวน (noise) เข้าไปในนโยบายเป้าหมายเพื่อปรับความเรียบของค่าที่ประมาณการ โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวนที่ถูกคลิปเข้าไปในการกระทำที่เป็นเป้าหมาย TD3 ป้องกันไม่ให้นโยบายทำงานเกินไปในยอดที่แคบในฟังก์ชันค่า นำไปสู่การเรียนรู้ที่แข็งแกร่งมากขึ้นและปรับปรุงประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา[8]

1.2 Advantage Actor-Critic: Advantage Actor-Critic หรือ **A2C** เป็นวิธีการเรียนรู้แบบเสริมกำลังที่ให้ตัวแทน (agents) หลายตัวเรียนรู้พร้อมกันในรูปแบบที่ประสานกันผ่านเครือข่ายนโยบายร่วมกัน โครงสร้างแบบประสานนี้ช่วยให้สามารถจัดสรรทรัพยากรการคำนวณ เช่น GPUs ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดความจำเป็นในการปรับนโยบาย

แบบ off-policy ซึ่งมักต้องใช้ในกลยุทธ์แบบ asynchronous เมื่อ agents เรียนรู้ร่วมกัน A2C ช่วยให้พวกเขาปรับปรุงกลยุทธ์ของตนอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล ส่งผลให้เกิดการพัฒนารูปแบบที่แข็งแกร่งและยืดหยุ่น[12]

1.3 Proximal Policy Optimization หรือ PPO เป็นเทคนิคการเรียนรู้แบบเสริมกำลังขั้นสูงที่ออกแบบมาเพื่อปรับปรุงกระบวนการปรับเปลี่ยนนโยบาย โดยการนำกลไกการ clipping มาปรับใช้อัตราส่วนของนโยบาย PPO กำหนดเกณฑ์สำหรับการปรับนโยบาย เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างการสำรวจกลยุทธ์ใหม่และการใช้ประโยชน์จากรางวัลที่รู้จัก การปรับพารามิเตอร์นโยบาย (θ) ทำได้โดยการเลือกค่าที่น้อยกว่าระหว่างวัตถุประสงค์ของนโยบายที่ไม่ได้ถูก clipping และที่ถูก clipping วิธีนี้ได้รับการปรับปรุงหลายยุค (epochs) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ปัญหาสำคัญในวิธีการใช้ gradient ของนโยบาย รวมถึง PPO คือความเสี่ยงที่พารามิเตอร์ที่อัปเดตหลังจากการฝึกอบรมยุคแรกอาจไม่สามารถแทนข้อมูลที่สร้างได้อย่างแม่นยำ ความไม่สอดคล้องนี้อาจส่งผลให้เกิดการอัปเดตแบบ off-policy ซึ่งซับซ้อนในกระบวนการฝึกอบรมและขัดขวางความสามารถของอัลกอริธึมในการสรุปจากข้อมูลจากการฝึกอบรม[13]

2. การเรียนรู้เชิงลึก: ส่วนนี้เป็นการอธิบายพื้นฐานทางทฤษฎีของเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกที่ใช้ในการศึกษานี้ โดยในเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกนั้น ฟังก์ชันการกระตุ้นแบบ sigmoid มักถูกใช้งาน ซึ่งฟังก์ชันนี้สามารถแสดงในรูปทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ 1 [14]-[16]:

$$\text{sigmoid}(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \tag{1}$$

2.1 Recurrent Neural Network หรือ RNN คือโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) เป็นโมเดลคำนวณที่ประมวลผลข้อมูลนำเข้าเพื่อสร้างผลลัพธ์ โมเดล ANN สามารถประมวลผลข้อมูลในลำดับใดก็ได้ ในทางกลับกัน โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำ RNN ประมวลผลข้อมูลตามลำดับ โดยที่ผลลัพธ์ของชั้นซ่อน (hidden layer) ในแต่ละขั้นตอนจะถูกนำกลับมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับขั้นตอนถัดไป โมเดล RNN กำหนดโดยสมการต่อไปนี้:

$$y_j = f\left(\sum_{t=1}^{n}(w_{ij}-\alpha_j)\cdot h_{t-1}\right) \tag{2}$$

โดยที่ y_j เป็นเวกเตอร์ผลลัพธ์; w_{ij} แทนค่าน้ำหนักระหว่างโหนด i และโหนด j; α_j เป็นอคติที่โหนด j; $f(\cdot)$แทนฟังก์ชันการกระตุ้น; และ h_{t-1} แทนเวกเตอร์ของชั้นซ่อนก่อนหน้า

2.2 Convolutional Neural Network หรือ CNN เป็นการจำลองการมองเห็นของมนุษย์โดยการประมวลผลข้อมูลในบริบทเชิงพื้นที่ย่อย โมเดล CNN ใช้เลเยอร์คอนโวลูชันเพื่อสกัดคุณลักษณะที่หลากหลายจากข้อมูล ทำให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพและแม่นยำ ประสิทธิภาพของโมเดล CNN อาจลดลงหากมีการใช้เลเยอร์คอนโวลูชันจำนวนมาก ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการ padding ซึ่งช่วยให้ขนาดของข้อมูลผลลัพธ์ตรงกับขนาดของข้อมูลนำเข้า ในเลเยอร์ pooling ขนาดของเลเยอร์ซ่อนจะลดลงโดยการรวมผลลัพธ์ของกลุ่มของนิวรอนจากเลเยอร์ก่อนหน้าเป็นนิวรอนเดียวในเลเยอร์ถัดไป ผลลัพธ์ของเลเยอร์คอนโวลูชันและ pooling สามารถนิยามได้ดังนี้:

$$s_{bi} = f(w_b x_{i:i+b-1} + c_a) \tag{2}$$

$$h_{pool} = \text{MAX}(s_1, s_2, \ldots, s_{n-h+1}) \tag{3}$$

โดยที่ s_{bi} แทนผลลัพธ์ของเลเยอร์คอนโวลูชัน; w_b แทนค่าน้ำหนัก; c_a เป็นเวกเตอร์อคติ; $x_{i:i+b-1}$ เป็นเวกเตอร์นำเข้าจาก i ถึง $i+b-1$; $f(\cdot)$แทนฟังก์ชันการกระตุ้น; b คือขนาดของหน้าต่างคอนโวลูชัน; และ h_{pool}เป็นผลลัพธ์ของเลเยอร์ pooling

3. สมการวิเคราะห์ความแม่นยำ: เพื่อยืนยันวิธีการที่เสนอ ประสิทธิภาพการพยากรณ์ถูกประเมินโดยใช้ตัวชี้วัดข้อผิดพลาดของการพยากรณ์ ตัวชี้วัดข้อผิดพลาดสามประเภทที่ใช้คือ Mean Absolute Error (MAE) , Root Mean Squared Error (RMSE) และ Mean Absolute Percentage Error (MAPE) เทคนิคใดที่มีค่าตัวชี้วัดเหล่านี้ต่ำกว่าหมายถึงความแม่นยำในการพยากรณ์ที่ดีกว่า สมการทางคณิตศาสตร์สำหรับตัวชี้วัดเหล่านี้แสดงดังนี้:

$$\text{MAE} = \frac{1}{N}\sum_{L=1}^{N} |(F_L - Y_L)| \tag{4}$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{L=1}^{N} (F_L - Y_L)^2} \tag{5}$$

$$MAPE = \frac{100}{N}\sum_{1}^{N} \left|\frac{F_L - Y_L}{Y_L}\right| \tag{6}$$

โดยที่ N แทนจำนวนของข้อมูล F_L แทนขนาดของการพยากรณ์โหลด และ Y_L แทนขนาดของโหลดจริงในแต่ละช่วงเวลา

วิธีการที่เสนอ

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจริงจากระบบผลิตกำลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตติดตั้ง 6 MW ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ในตำแหน่งละติจูด: 14.881° N และ ลองติจูด: 102.009°E ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่ถูกบันทึกในช่วงเวลาทุก ๆ 15 นาที ข้อมูลชุดนี้ประกอบด้วย ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์, อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์, ความเร็วลม, และ กำลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ไดอะแกรมของเทคนิค DRL แสดงในภาพที่ 1 และ ขั้นตอนการพยากรณ์ด้วยเทคนิค DRL และ DL แสดงในภาพที่ 2

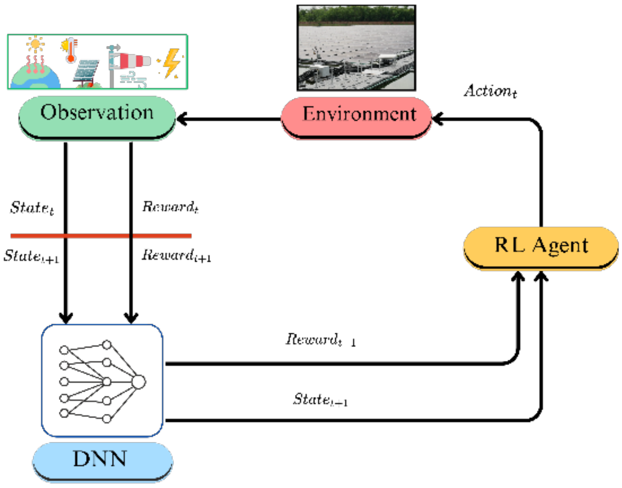
ชุดข้อมูลที่ใช้ถูกแบ่งออกเป็นชุดข้อมูลฝึกอบรมและชุดข้อมูลทดสอบ ชุดข้อมูลฝึกอบรมครอบคลุมเวลา 62 วัน ตั้งแต่วันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2566 ถึง 24 ธันวาคม พ.ศ. 2566 ส่วนของชุดข้อมูลทดสอบประกอบด้วย ข้อมูลวันที่ 25 ธันวาคม พ.ศ. 2566 ถึง 29 ธันวาคม พ.ศ. 2566 ซึ่งทั้งชุดข้อมูลที่ใช้ทั้งชุดฝึกอบรมและชุดฝึกทดสอบนั้น ได้ทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เพื่อให้เหมาะสมกับฟังก์ชันกระตุ้นแบบ Sigmoid ในลำดับถัดไป เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ จะทำการแปลงค่ากลับไปเป็นค่าจริง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพยากรณ์ล่วงหน้า 1, 3 และ 5 วัน โดยตัวแทน (agent) กำหนดเป็นการผลิตกำลังงานจากระบบผลิตด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และการกระทำ (action) ของ DRL คือการพยากรณ์การผลิตกำลังงานจากระบบผลิตด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ตามที่แสดงในสมการที่ 8 สมการการสังเกต (observation equation) แสดงในสมการที่ 9 ค่าต่าง ๆ เหล่านี้สอดคล้องกับชุดข้อมูลที่กล่าวก่อนหน้านี้ และ สมการรางวัลถูกออกแบบมาเพื่อชี้นำตัวแทนให้กระทำการที่มีข้อผิดพลาดให้ต่ำที่สุด ดังที่แสดงในสมการที่ 9

$$action = (PV_{output}) \tag{7}$$

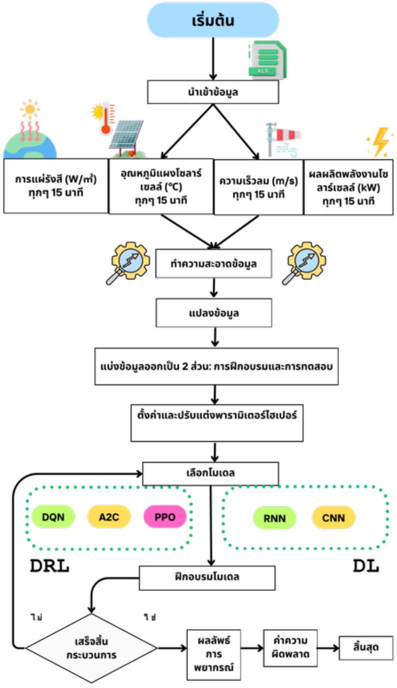
$$\text{observation} = \begin{bmatrix} Irradiance, PV\ Temperature, \\ Wind\ Speed, PVPower\ output \end{bmatrix} \tag{8}$$

$$\text{Reward} = -\left|PVPower\ output_t - action_t\right| \tag{9}$$

การตั้งค่าตัวแปรพารามิเตอร์เริ่มต้นแสดงในตารางที่ 1 จำนวนเซลล์ประสาทสำหรับ DL [4] ในขณะที่พารามิเตอร์ของ DRL ได้รับการปรับแต่งเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยใช้ 180,000 timesteps



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมของเทคนิค DRL



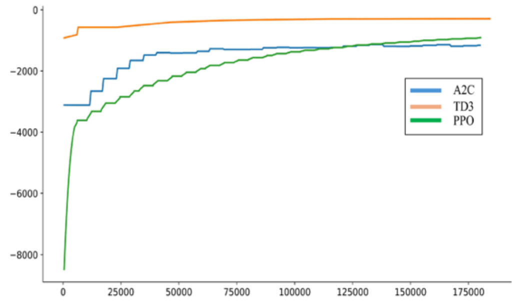
ภาพที่ 2 กระบวนการพยากรณ์ของ DRL และ DL

ตารางที่ 2 ไฮเปอร์พารามิเตอร์สำหรับโมเดล RNN, CNN, TD3, A2C, และ PPO

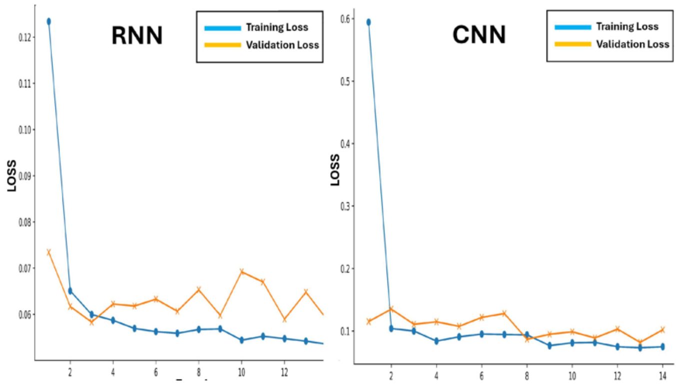
RNN	จำนวนเลเยอร์ของ RNN	3 = (100, 32, 64)
	จำนวนเลเยอร์ของนิวรอน	2 = (1, 128)
	ฟังก์ชันการกระตุ้น	Sigmoid
CNN	เลเยอร์คอนโวลูชัน 1-D	64
	ฟังก์ชันการกระตุ้น	Sigmoid
TD3		
A2C	จำนวนเลเยอร์ของนิวรอน (Actor, Critic)	2 = (1,128)
PPO		

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในระหว่างกระบวนการฝึกอบรม ค่ารางวัลที่ได้รับจากแต่ละเทคนิค DRL สามารถเปรียบเทียบกันได้ดังที่แสดงในภาพที่ 3 พบว่าเทคนิค TD3 สามารถบรรลุถึงนโยบายดีที่สุดได้เร็วกว่าเทคนิค PPO และ A2C ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการเรียนรู้ที่เหนือกว่า การบรรลุถึงนโยบายที่เหมาะสมอย่างรวดเร็วของ TD3 ส่วนของภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียระหว่างช่วงการฝึกอบรม (Training Loss) และช่วงการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation Loss) สำหรับเทคนิค RNN และ CNN ค่าการสูญเสียนี้วัดจากความแตกต่างระหว่างค่าที่พยากรณ์ได้กับค่าจริงในชุดข้อมูลทดสอบ ทั้งสองเทคนิค CNN และ RNN แสดงการลดลงของค่าการสูญเสียหลังการฝึกอบรมและแสดงค่าที่คล้ายกันระหว่างค่าการสูญเสียในการฝึกอบรมและค่าการสูญเสียในการตรวจสอบความถูกต้อง

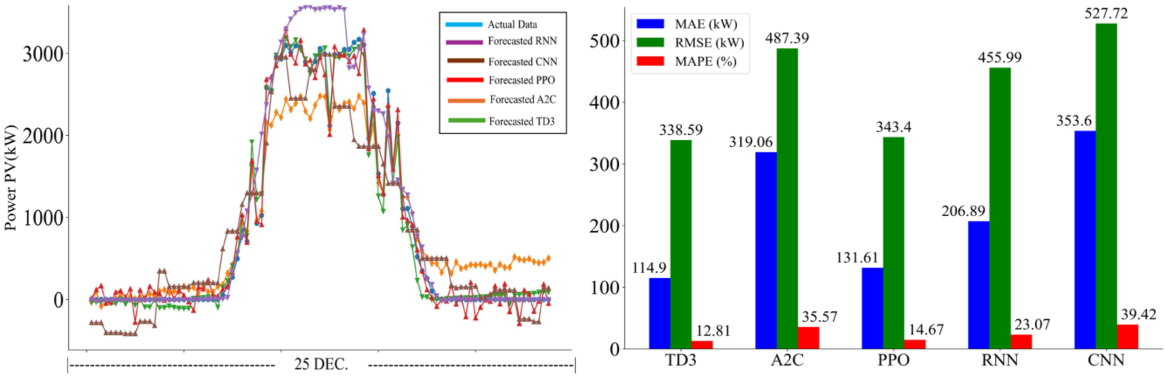


ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบค่ารางวัลสำหรับโมเดล A2C, TD3, และ PPO ในระหว่างการฝึกอบรม

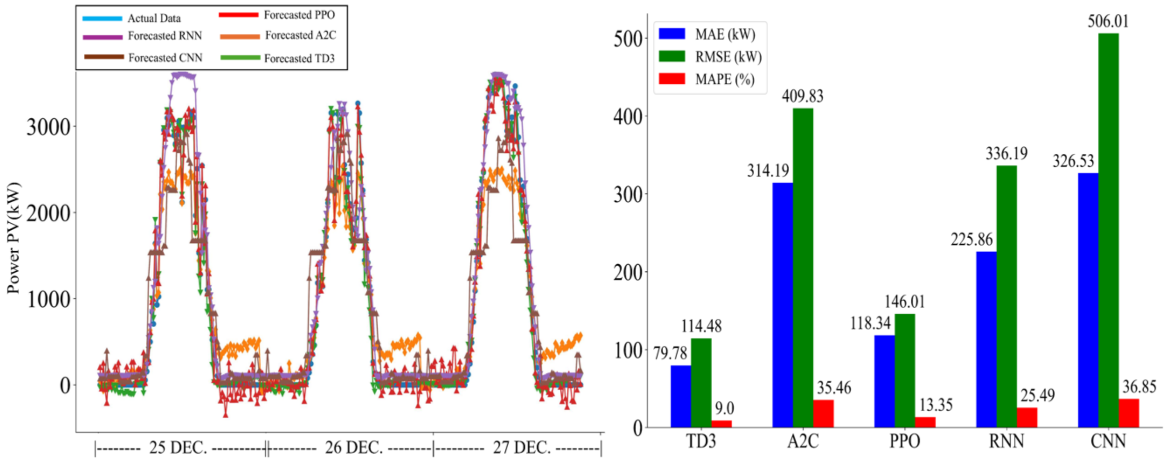


ภาพที่ 4 การสูญเสีย Training และ Validation ของ RNN และ CNN

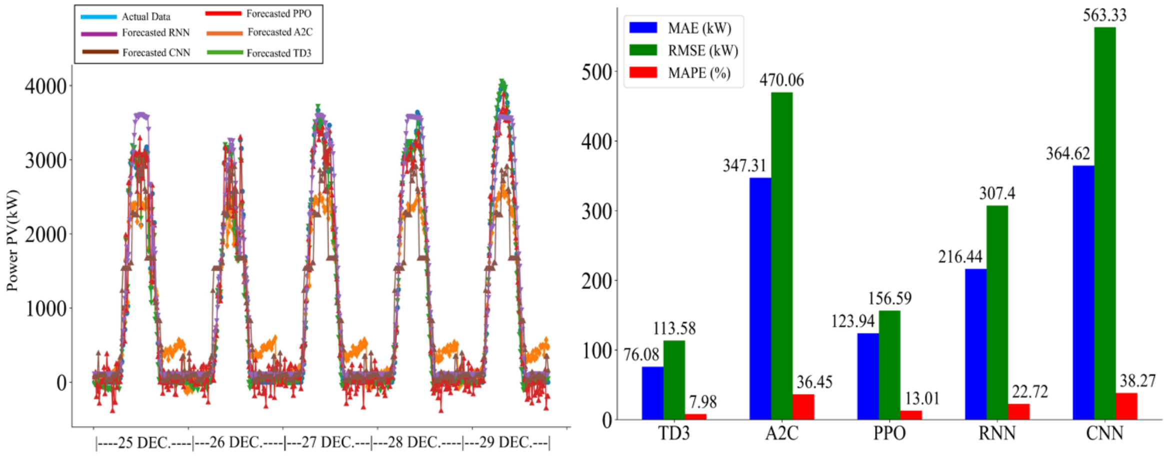
ผลการตรวจสอบบ่งชี้ว่าเทคนิคเหล่านี้ได้ปรับปรุงดีขึ้นและไม่แสดงอาการ overfitting หรือ underfitting อย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์การพยากรณ์และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิค MAE ,RMSE และ MAPE แสดงในภาพที่ 5, 6 และ 7 ผลการพยากรณ์แสดงให้เห็นว่าการนำข้อมูลของ ความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม ความเร็วลม และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจาก PV ที่วัดทุก 15 นาที มาทำการเรียนรู้และพยากรณ์ออกมาโดยใช้ข้อมูลในการฝึกอบรม 62 วัน คือวันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2566 ถึง 24 ธันวาคม พ.ศ. 2566 และ ชุดข้อมูลทดสอบเพื่อพยากรณ์ 1, 3 และ 5 วันล่วงหน้าคือวันที่ 25 ถึง 29 ธันวาคม 2023 นั้น ทำให้ได้ผลลัพธ์การพยากรณ์ที่แตกต่างกันไป ในแต่ละเทคนิค



ภาพที่ 5 ผลการพยากรณ์กำลังงานการผลิตล่วงหน้าแบบหนึ่งวัน และ ความแม่นยำของการพยากรณ์



ภาพที่ 6 ผลการพยากรณ์กำลังงานการผลิตล่วงหน้าแบบสามวัน และ ความแม่นยำของการพยากรณ์



ภาพที่ 7 ผลการพยากรณ์กำลังงานการผลิตล่วงหน้าแบบห้าวัน และ ความแม่นยำของการพยากรณ์

ผลการพยากรณ์แสดงให้เห็นว่าเทคนิค TD3 มีความแม่นยำสูงสุดด้วยอัตราข้อผิดพลาดน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาจากตัวประสิทธิภาพทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ MAE, RMSE และ MAPE และพบว่าเทคนิค PPO ที่มีความแม่นยำรองลงมา ซึ่งมีอัตราความผิดพลาดที่สูงกว่าเพียงเล็กน้อย ในทางกลับกัน เทคนิค RNN, A2C และ CNN แสดงอัตราความผิดพลาดที่สูงกว่าตามลำดับ ผลการวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า TD3 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการพยากรณ์ด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกเสริมแรง

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ได้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาการพยากรณ์กำลังงานไฟฟ้าด้วยเทคนิค DRL ผลการพยากรณ์แสดงให้เห็นว่าเทคนิค DRL สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์กำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี ผลการพยากรณ์จากชุดข้อมูลการเรียนรู้ที่จำกัด พบว่า TD3 มีผลการพยากรณ์คลาดเคลื่อนน้อยกว่าเทคนิค PPO และ A2C รวมไปถึงเทคนิค DL อย่าง RNN และ CNN อย่างไรก็ตามแต่ละเทคนิคก็มีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกัน ดั้งนั้นจึงต้องเลือกใช้งานแต่ละเทคนิคให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Y. Li, (2017). Deep reinforcement learning: An overview. arXiv preprint arXiv:1701.07274.

[2] W. Zhao, J. P. Queralta, and T. Westerlund, (2020). Sim-to-real transfer in deep reinforcement learning for robotics: a survey. IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI).

[3] R. R. Torrado, P. Bontrager, J. Togelius, J. Liu, and D. Perez-Liebana, (2018). Deep Reinforcement Learning for General Video Game Ai. IEEE Conference on Computational Intelligence and Games.

[4] X.-Y Liu, (2020). FINRL: A deep reinforcement learning library for automated stock trading in quantitative finance. SSRN Electronic Journal.

[5] T. A. Nakabi, and P. Toivanen, (2021). Deep Reinforcement Learning for Energy Management in a microgrid with flexible demand. Sustainable Energy, Grids and Networks, 25, 100413.

[6] W. Zhang, Q. Chen, J. Yan, S. Zhang, and J. Xu, (2021). A novel asynchronous deep reinforcement learning model with adaptive early forecasting method and reward incentive mechanism for short- term load forecasting. Energy, 236, 121492.

[7] Dabbaghjamanesh, M., Moeini, A., & Kavousi-Fard, A. (2020). Reinforcement learning-based load forecasting of electric vehicle charging station using Q-learning technique. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 17(6), 4229-4237.

[8] Wazirali, R., Yaghoubi, E., Abujazar, M. S. S., Ahmad, R., & Vakili, A. H. (2023). State-of-the-art review on energy and load forecasting in microgrids using artificial neural networks, machine learning, and deep learning techniques. Electric power systems research, 225, 109792.

[9] Zhang, H., Zhang, G., Zhao, M., & Liu, Y. (2024). Load Forecasting-Based Learning System for Energy Management With Battery Degradation Estimation: A Deep Reinforcement Learning Approach. IEEE Transactions on Consumer Electronics.

[10] Liu, T., Tan, Z., Xu, C., Chen, H., & Li, Z. (2020). Study on deep reinforcement learning techniques for building energy consumption forecasting. Energy and Buildings, 208, 109675.

[11] F. Scott, H. Herke, and M. David, (2018). Addressing function approximation error in actor-critic methods. 2018 International conference on machine learning. PMLR.

[12] V. Mnih, P. B. Adria, M. Mehdi, G. Alex, L. Timothy, H. Tim, S. David, and K. Koray, (2016). Asynchronous methods for deep reinforcement learning. 2016 International conference on machine learning.

[13] J. Schulman, F. Wolski, P. Dhariwal, A. Radford, and O. Klimov, (2017). Proximal policy optimization algorithms. arXiv preprint arXiv:1707.06347.

[14] N. Khortsriwong, P. Boonraksa, T. Boonraksa, T. Fangsuwannarak, A. Boonsrirat, W. Pinthurat, B. Marungsri, (2023). Performance of Deep Learning Techniques for Forecasting PV Power Generation: A Case Study on a 1.5 MWp Floating PV Power Plant. Energies.; 16(5):2119.

[15] W. Sarapan, N. Khotsriwong, N. Boonrakchat, P. Boonraksa, T. Boonraksa and B. Marungsri, (2023). Weekly Load Demand Forecasting using Supervised Deep Learning Techniques: A Case Study of Suranaree University of Technology, 2023 International Electrical Engineering Congress (iEECON), Krabi, Thailand, pp. 421-424.

[16] N. Khotsriwong, P. Boonraksa, W. Sarapan, T. Boonraksa, N. Boonrakchat and B. Marungsri, (2023). Short-term Load Demand Forecasting using Supervised Deep Learning Techniques: A Case Study of Suranaree University of Technology, 2023 International Electrical Engineering Congress (iEECON), Krabi, Thailand, 2023, pp. 417-420.

ผลของอุณหภูมิและระยะความสูงจากพื้นดินในการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนพื้นดินในการศึกษาทดสอบจากขนาดกำลังการผลิต 4.86 กิโลวัตต์ในการผลิตไฟฟ้า

Effects of Temperature and PV Structure Height of 4.86 kw solar land to the Performance of electricity generation

สุเทพ สีมาลา[1] และ วิรชัย โรยนรินทร์[1*] สิริศักดิ์ ปางวุฒิวณิชย์[1] ไววิทย์ อุทัยเฉลิม[1] วรเชษฐ์ แสงสีดา[1]
ภาณุ ปทุมนพรัตน์[1] และ สุทธิศักดิ์ ขวัญเพชร[1]

[1]หลักสูตรปริญญาเอกสาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110
[1*] วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110
*Corresponding author: Tel.: 02-5493433. E-mail address: wirachai.r@.en.rmutt.ac.th

Abstract

This paper presents the impact on temperature and PV Structure Height when generating 4.86 kW of electricity by separating the heights with different level. The study Installed the test bed in the same area by considering solar radiation, Airflow, wind speed, wind direction and ambient temperature to analyze different effects to temperatures and energy values. This study investigated the effects of PV panel structure heights—specifically 1 meter, 1.5 meters, and 2 meters—on the temperature differences between the top and bottom of the panels, as well as their corresponding power generation, while accounting for the heat transfer that occurred. The PV system comprised nine 540-watt monocrystalline PV panels arranged at these three heights in Khlong Si, Khlong Luang, and Pathum Thani. Data on temperature, power output, and other meteorological variables were collected at 5-minute intervals from 6:00 AM to 6:00 PM over a two-month period from March to April 2024. To evaluate the impact of panel height on performance, all collected data were analyzed. The actual power outputs were compared with simulations conducted using PVsyst. Additionally, the costs associated with each panel height were assessed to identify the optimal height that would achieve both high power output and low costs. The findings revealed that increasing the panel height contributed to a reduction in temperature buildup within the panels and enhanced power output, with increases of 8.87% and 9.45% observed at heights of 1.5 meters and 2 meters, respectively. However, this increase in height also resulted in cost escalations of 24.51% and 48.04%, respectively. Consequently, it was determined that the optimal height was 1.5 meters, as it provided an effective balance between maximizing power output and minimizing costs. Furthermore, the results from the PVsyst simulations indicated significant discrepancies, with measured values approximately 20% lower than expected.

Keywords: Performance of PV, Temperature, Solar Power, Heat Transfer

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลกระทบด้านประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เกิดจากอุณหภูมิและความสูงที่แตกต่างโดยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 4.86 กิโลวัตต์ที่ใช้ในการศึกษา โดยการแยกระดับ ความสูงโดยระดับของโครงจับยึดที่สูงต่างกัน ติดตั้งในพื้นที่เดียวกัน โดยพิจารณาเบื้องต้นจากความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เท่ากัน ณ.จุดติดตั้งเดียวกัน วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอากาศ ความเร็วและทิศทางลม โดยมีอุณหภูมิโดยรอบจุดติดตั้งเป็นตัวแปรหลักในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อทำการวิเคราะห์อุณหภูมิที่แตกต่างรวมถึงค่าพลังงานต่างๆ ที่ได้ของแต่ละความสูงในการจับยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยระดับการติดตั้งเพื่อการศึกษาในครั้งนี้มี 3 ระดับ คือ 1 , 1.5 และ2 เมตร ในการวัดจากความสูงจากพื้นดินถึงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือเพื่อศึกษาผลกระทบผลรวมของอุณหภูมิทั้งการถ่ายเทความร้อนทั้ง3ชนิดที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า คือการนำ การพาและการแผ่รังสีความร้อน ที่เป็นปัจจัยหลักในการทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดต่ำลง และความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านบนและด้านล่างของแผง ตลอดจนการผลิตไฟฟ้าที่สอดคล้องกัน ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ขนาด 540 วัตต์ จำนวน 9 แผง จัดเรียงที่ความสูง 3 ระดับนี้ในพื้นที่คลองสี่ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิ กำลังไฟฟ้าและตัวแปรอื่นๆ ซึ่งได้ทำการบันทึกค่าในช่วงเวลาทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่ 6.00 น.ถึง 18.00 น. ในช่วงเวลาสองเดือนตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเมษายน 2024 เพื่อประเมินผลกระทบของความสูงของแผงที่มีต่อประสิทธิภาพ วิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมทั้งหมด กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตจริงถูกนำมาเปรียบเทียบกับการจำลองที่ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม PVsyst นอกจากนี้ ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับความสูงของแผงแต่ละแผงได้รับการประเมินเพื่อระบุความสูงที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะทำให้ได้ทั้งกำลังขับสูงและต้นทุนต่ำ ผลการวิจัยพบว่าการเพิ่มความสูงของแผงช่วยลดการสะสมของอุณหภูมิภายในแผงและเพิ่มกำลัง โดยเพิ่มขึ้น 8.87% และ 9.45% ที่ระดับความสูง 1.5 เมตรและ 2 เมตร ตามลำดับอย่างไรก็ตาม ความสูงที่เพิ่มขึ้นนี้ยังส่งผลให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น 24.51% และ 48.04% ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้ จึงพิจารณาว่าความสูงที่เหมาะสมที่สุดคือ 1.5 เมตร เนื่องจากให้ความสมดุลที่มีประสิทธิภาพระหว่างการเพิ่มกำลังขับสูงสุดและการลดต้นทุนให้เหลือน้อยที่สุด นอกจากนี้ ผลลัพธ์จากการจำลอง PVsyst ยังระบุถึงความคลาดเคลื่อนที่มีนัยสำคัญ โดยค่าที่วัดได้ต่ำกว่าที่คาดไว้ประมาณ 20%

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิ พลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายเทความร้อน

กลยุทธ์การจัดการพลังงานที่เหมาะสมสุดโดยใช้เทคนิคการปรับปรุงนโยบายแบบหลายตัวแทนสำหรับระบบไมโครกริดที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล

Optimal Energy Management Strategies Using Multi-Agent Proximal Policy Optimization for Data-Driven Microgrid Systems

อนุรักษ์ แดนสีแก้ว[1] วัชรากร ปิ่นธุรัตน์[2] ธีระพงษ์ บุญรักษา[3] พรหมพักตร์ บุญรักษา[4] กมล เรียงไธสง[5]
และ บุญเรือง มะรังศรี[1*]

Anurak Deanseekeaw[1], Watcharakorn Pinthurat[2], Terapong Boonraksa[3] ,Promphak Boonraksa[4],
Kamon Riangthaisong[5] , and Boonruang Marungsri[1*]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จันทบุรี 22210
[3]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ศาลายา นครปฐม 73170
[4]สาขาวิชาเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
นนทบุรี 11000
[5]วิทยาลัยเทคนิคจันทบุรี สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษาเขตภาคตะวันออก จันทบุรี 22000
[1]School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology,
Nakhon Ratchasima 30000
[2]Department of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi, 22210
[3]School of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170
[4]School of Electrical Engineering, The Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,
Nonthaburi 11000
[5]Chanthaburi Technical College Eastern Vocational Education, Chanthaburi, 22000
Corresponding author: Tel.: 0897177065. E-mail address: bmshvee@sut.ac.th

Abstract

Microgrid (MG) systems have become increasingly crucial for efficiently integrating renewable energy into the power grid. However, the variability of renewable energy poses challenges in minimizing operational costs. This research proposes an optimal energy management strategy using Multi-Agent Proximal Policy Optimization (MAPPO). The MAPPO approach is designed to manage distributed energy resources (DERs), focusing on the Battery Energy Storage System (BESS) and Diesel Generators (DG). The model, trained on real-world microgrid data, demonstrated a 3.41% reduction in total operational costs, saving approximately 1,182,694.9 THB annually. Daily grid power purchase costs were reduced by 3,240.26 THB, and battery life was extended through effective State of Charge (SOC) management. These

results highlight MAPPO's effectiveness in enhancing microgrid energy management, especially in scenarios with high renewable energy variability. The MAPPO-based strategy offers a promising approach to advancing sustainable and flexible energy systems.

Keywords: Multi-Agent Deep Reinforcement Learning, Microgrid, Energy management system, Battery Energy Storage System, Data-driven

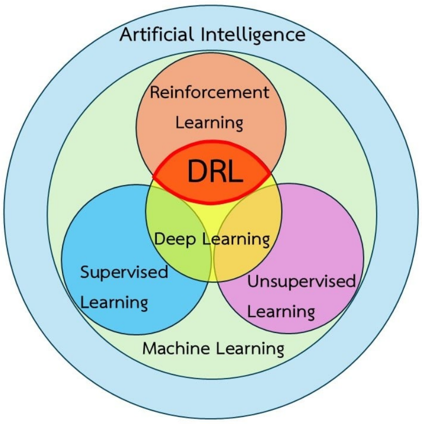
บทคัดย่อ

ระบบไมโครกริด (MG) มีบทบาทสำคัญในการผสานพลังงานหมุนเวียนเข้ากับโครงข่ายพลังงานไฟฟ้า แต่ความแปรปรวนของพลังงานหมุนเวียนทำให้การลดต้นทุนการดำเนินงานเป็นเรื่องท้าทาย งานวิจัยนี้นำเสนอการจัดการพลังงานที่เหมาะสมโดยใช้ เทคนิคการปรับปรุงนโยบายแบบหลายตัวแทน(Multi-Agent Proximal Policy Optimization , MAPPO) ในการควบคุมระบบกักเก็บพลังงาน (BESS) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (DG) โมเดลที่ฝึกฝนด้วยข้อมูลจริงของไมโครกริดสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานได้ 3.41% คิดเป็นมูลค่าประมาณ 1,182,694.9 บาทต่อปี และลดต้นทุนการซื้อไฟฟ้าจากกริดได้ 3,240.26 บาทต่อวัน นอกจากนี้ยังช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ด้วยการควบคุมสถานการณ์ชาร์จ (SOC) อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยยืนยันว่า MAPPO เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานในระบบไมโครกริด โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่พลังงานหมุนเวียนมีความแปรปรวนสูง

คำสำคัญ: การเรียนรู้เสริมแรงแบบหลายเอเจนต์ ไมโครกริด ระบบการจัดการพลังงาน ระบบกักเก็บพลังงานแบบแบตเตอรี่ การขับเคลื่อนด้วยข้อมูล

บทนำ

ในยุคปัจจุบัน การใช้พลังงานหมุนเวียนได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีการรวมแหล่งพลังงานต่าง ๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานน้ำเข้าไว้ในระบบโครงข่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาระบบไมโครกริด (Microgrid: MG) ที่สามารถผสมผสานแหล่งพลังงานหมุนเวียนเข้ากับแหล่งพลังงานแบบดั้งเดิม เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (DG) และระบบกักเก็บพลังงาน (Battery Energy Storage System: BESS) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบไมโครกริดได้รับความนิยมเนื่องจากสามารถลดการพึ่งพาพลังงานจากกริดไฟฟ้าหลักได้ และยังช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและเสถียรภาพในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในการเข้าถึงพลังงาน [1] อย่างไรก็ตาม การจัดการพลังงานในระบบไมโครกริดมีความท้าทายเนื่องจากความไม่แน่นอนของทรัพยากรพลังงานหมุนเวียน ซึ่งมีความแปรปรวนสูงและไม่สามารถคาดการณ์ได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้การจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและลดต้นทุนการดำเนินงานในระบบไมโครกริดเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากยิ่งขึ้น Zhan et.al [2] ได้เสนอวิธีการจัดการกับปัญหาความไม่แน่นอนของพลังงานหมุนเวียนนี้ โดย



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง AI, ML, DL และ DRL

สร้างระบบการจัดการพลังงานโดยการควบคุมการทำงานของ BESS ในการจ่ายพลังงานให้โหลดไฟฟ้าโดยพิจารณาให้เกิดการได้กำไรสูงสุดภายในไมโครกริดบนระบบไฟฟ้า 33 บัส [3] ซึ่งการจัดการพลังงานภายในระบบไมโครกริดนั้นแบ่งเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ 1. การจัดการพลังงานแบบตามแบบจำลอง (Model-based EMS) และ 2. การจัดการพลังงานแบบไม่ต้องมีแบบจำลอง (Model-free EMS) สำหรับแบบจำลองที่ใช้ในวิธีการแรก จะถูกกำหนดและปรับแต่งล่วงหน้าด้วยข้อมูลที่มีอยู่อย่างละเอียด ทำให้สามารถคาดการณ์และคำนวณการทำงานของระบบได้อย่างแม่นยำ แต่มีต้นทุนสูงในการขยายหรือปรับเปลี่ยนตามการใช้พลังงานและการผลิตที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ อย่างไรก็ตาม การจัดการพลังงานแบบไม่มีแบบจำลอง หรือที่เรียกว่า model-free หรือ ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (data-driven) จะใช้ข้อมูลที่มีอยู่เพื่อการตัดสินใจที่ใกล้เคียงกับค่าเหมาะสม โดยไม่ต้องตั้งค่าหรือคาดการณ์ล่วงหน้า [4] แสดงให้เห็นว่าการใช้วิธี model-free ในการจัดการพลังงานสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมระบบโดยไม่ต้องอ้างอิงแบบจำลองที่ซับซ้อน และสามารถปรับเปลี่ยนตามข้อมูลหรือสภาวะจริงได้อย่างยืดหยุ่น ทำให้ลดต้นทุนในการใช้งาน

การพัฒนาแนวทางการจัดการพลังงานที่สามารถรับมือกับความไม่แน่นอนเหล่านี้ได้จึงเป็นที่สนใจของนักวิจัยในหลายสาขา โดยมีการนำอัลกอริทึมของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) มาใช้อย่างแพร่หลายในหลากหลายภาคส่วนของงานและอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การใช้ในการสร้างภาพจากข้อความ [2] หรือการควบคุมความเร็วรถยนต์แบบอัตโนมัติในสถานการณ์ที่ไม่แน่นอน เช่น เมื่อมีรถจากเลนข้างเคียงตัดเข้ามา [3] นอกจากนี้ ยังมีการใช้อัลกอริทึมที่เรียกว่า Machine Learning (ML) ซึ่งเป็นสาขาย่อยของ AI โดยแบ่งออกเป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning), การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning), และการเรียนรู้แบบเสริมแรง (Reinforcement Learning: RL) ในระดับที่ลึกลงไปคือการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning: DL) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN) หลายชั้นเพื่อคำนวณผลลัพธ์ ซึ่งเรียกว่าโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Neural Networks: DNN) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาโดยการผสาน RL เข้ากับ DL ก่อให้เกิดการเรียนรู้เสริมแรงเชิงลึก (Deep Reinforcement Learning: DRL) ซึ่งลำดับความสัมพันธ์นั้นแสดงในภาพที่ 1 โดย DRL นั้นถูกนำมาใช้ในการพัฒนาระบบที่สามารถตอบสนองต่อสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างทันท่วงที ในงานวิจัยนี้ เราได้นำเสนอแนวทางการจัดการพลังงานในระบบไมโครกริดโดยใช้วิธีการขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (Data-Driven) และ Multi-Agent Proximal Policy Optimization หรือ MAPPO ซึ่งวิธีการนี้สามารถช่วยให้ระบบไมโครกริดสามารถตอบสนองต่อความแปรปรวนของพลังงานหมุนเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยตัวแทน (Agents) ที่ถูกพัฒนาในงานวิจัยนี้จะมีหน้าที่ควบคุมการทำงานของ ESS และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล โดยมีเป้าหมายหลักในการลดต้นทุนการดำเนินงานของระบบไมโครกริด ซึ่งประกอบไปด้วยการลดต้นทุนการซื้อพลังงานจากกริดไฟฟ้าหลัก และการลดการสึกหรอของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ ด้วยการใช้เทคนิค

MAPPO ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ เราคาดหวังว่าจะสามารถพัฒนาระบบการจัดการพลังงานที่สามารถลดต้นทุนการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความยืดหยุ่นเพียงพอในการตอบสนองต่อสถานการณ์ที่มีความไม่แน่นอน ซึ่งจะช่วยให้การใช้งานพลังงานหมุนเวียนในระบบไมโครกริดสามารถทำได้อย่างยั่งยืนและคุ้มค่าในระยะยาว

โดยสิ่งที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอประกอบไปด้วย

1.งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ MAPPO ในการจัดการพลังงานของระบบไมโครกริด โดยสามารถตอบสนองต่อความแปรปรวนของแหล่งพลังงานหมุนเวียนและโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยลดต้นทุนการดำเนินงานของระบบไมโครกริด ผ่านการตัดสินใจในการทำงานของตัวแทน BESS และ DG

2.โมเดลที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ได้รับการฝึกฝนและทดสอบด้วย ข้อมูลจริง จากการดำเนินงานของระบบไมโครกริด ทำให้โมเดลมีความแม่นยำและสามารถนำไปใช้ในสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ข้อมูลจริงยังช่วยให้การจัดการพลังงานมีความน่าเชื่อถือและมีความยืดหยุ่นในการปรับใช้ในระบบจริง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาแนวทางการจัดการพลังงานในระบบไมโครกริด การใช้เทคนิคการเรียนรู้เสริมแรงเชิงลึกแบบหลายตัวแทน (Multi-Agent Deep Reinforcement Learning หรือ MADRL) ถือเป็นหัวใจสำคัญของการวิจัยนี้ เนื่องจากสามารถนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากรพลังงานในระบบไมโครกริดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่มีความไม่แน่นอนและความแปรปรวนสูง ในส่วนนี้เราจะกล่าวถึงทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ได้แก่ MG RL MAPPO และการขับเคลื่อนด้วยข้อมูล

1.ระบบไมโครกริด: ระบบไมโครกริดหรือ MG เป็นระบบการจัดการพลังงานที่มีขนาดเล็กซึ่งสามารถทำงานได้อย่างอิสระจากกริดไฟฟ้าหลัก โดยระบบไมโครกริดสามารถรวมเอาแหล่งพลังงานหลากหลายประเภทเข้าด้วยกัน เช่น พลังงานหมุนเวียน (โดยในงานวิจัยนี้จะใช้เพียง แสงอาทิตย์) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงาน (แบตเตอรี่) ทำให้สามารถจัดการพลังงานได้อย่างยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพ

2. Reinforcement Learning: การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่เกิดจากการตอบสนอง (feedback) จากการปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแทน (agent) และสภาพแวดล้อม (environment) การตอบสนองนี้ช่วยให้ตัวแทนสามารถปรับปรุงการตัดสินใจในอนาคตให้ดีขึ้นได้ โดยการเรียนรู้นี้สามารถจำลองเป็นกระบวนการตัดสินใจของมาร์คอฟ (Markov Decision Process: MDP) ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบดังต่อไปนี้

$$\langle S, A, P, R, \gamma \rangle \quad (1)$$

โดยที่ S หมายถึง ชุดของสถานะ (state space) หรือสถานะต่างๆ ของระบบ

A หมายถึง ชุดของการกระทำที่เป็นไปได้ (finite set of actions)

P หมายถึง ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (conditional probability) ของการเปลี่ยนสถานะ

R หมายถึง ค่ารางวัลที่คาดหวัง (expected reward) ที่ได้รับจากการกระทำ

$\gamma \in [0, 1]$ หมายถึง ตัวลดทอนรางวัล (discount factor) ที่ใช้ถ่วงน้ำหนักความสำคัญของรางวัลในอนาคต

ในแต่ละช่วงเวลา t ตัวแทนจะอยู่ในสถานะ s_t และทำการกระทำ a_t ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปยังสถานะถัดไป s_{t+1} พร้อมกับได้รับรางวัล r_t เป้าหมายของตัวแทนคือการค้นหานโยบายที่เหมาะสมที่สุด $\pi^* = \{a_1^*, a_2^*, ..., a_t^*\}$ ซึ่งจะช่วยเพิ่มผลรวมของรางวัลในระยะยาวให้มากที่สุด โดยสมการที่ 2 แสดงถึงผลรวมของรางวัลในช่วง t ทั้งหมด

$$R_t = \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} \qquad (2)$$

โดยที่ R_t หมายถึงผลรวมของรางวัลตั้งแต่ช่วงเวลา t เป็นต้นไป, r_{t+k+1} หมายถึงรางวัลที่ได้รับในช่วงเวลา $t+k+1$, และ γ คือตัวลดทอนรางวัลที่กำหนดว่ารางวัลในอนาคตจะมีค่าความสำคัญมากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับรางวัลที่ได้รับทันที

ในกระบวนการตัดสินใจ ตัวแทนต้องการเพิ่ม ผลตอบแทนที่คาดหวัง (expected return) โดยการเลือกการกระทำตามนโยบาย π ซึ่งแสดงดังสมการที่ 3 ดังนี้

$$Q(s,a) = \mathbb{E}[R_t \mid s_t = s, a_t = a] \qquad (3)$$

โดยที่ $Q(s,a)$ หมายถึงผลตอบแทนที่คาดหวังเมื่อเลือกการกระทำ a ในสถานะ s

นโยบายที่เหมาะสมที่สุด π^* จะต้องเป็นไปตาม สมการ Bellman Optimality ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 4

$$Q^*(s,a) = \mathbb{E}\left[r_t + \gamma \max_{a'} Q^*(s_{t+1}, a') \mid s_t = s, a_t = a \right] \qquad (4)$$

โดยที่ $Q^*(s,a)$ หมายถึงฟังก์ชันค่าการกระทำที่ดีที่สุด และ a' หมายถึงการกระทำที่เป็นไปได้ในสถานะถัดไป

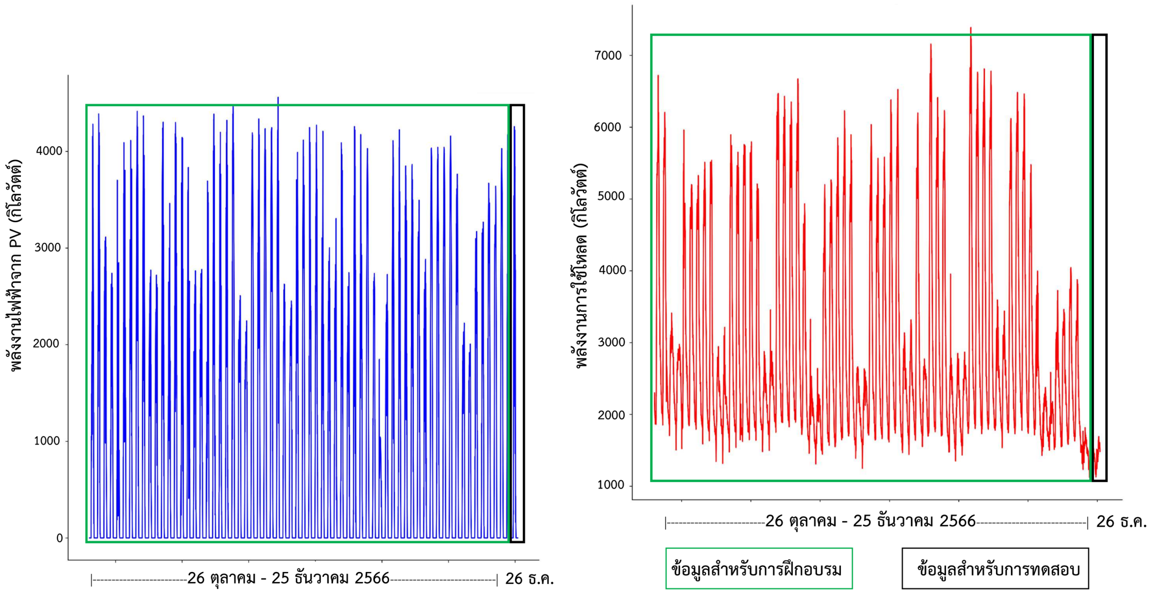
3. Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL): เป็นสาขาหนึ่งของการเรียนรู้แบบเสริมกำลังที่ใช้หลายตัวแทน ซึ่งสามารถมีปฏิสัมพันธ์และแข่งขันหรือร่วมมือกันภายในสภาพแวดล้อมเดียวกัน แต่ละตัวแทนจะพยายามปรับปรุงกลยุทธ์การตัดสินใจของตนเองโดยทำงานร่วมกับหรือต่อต้านตัวแทนอื่น ๆ โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประโยชน์ส่วนบุคคลให้สูงสุด การพัฒนาให้ MDP สามารถนำไปใช้กับหลายตัวแทนได้มักถูกนำไปใช้ในเกมที่จำลองสถานการณ์ในสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เช่น เกมแบบสุ่ม (Stochastic Game) และเกมแบบมาร์คอฟ (Markov Game) ซึ่งเป็นการรวมความซับซ้อนของการตัดสินใจในบริบทที่มีตัวแทนหลายตัว ที่ส่งผลกระทบต่อกันและกัน

3.1 Proximal Policy Optimization หรือ PPO เป็นเทคนิคการเรียนรู้แบบเสริมกำลังขั้นสูงที่ออกแบบมาเพื่อปรับปรุงกระบวนการปรับเปลี่ยนนโยบาย โดยการนำกลไกการ clipping มาปรับใช้อัตราส่วนของนโยบาย PPO กำหนดเกณฑ์สำหรับการปรับนโยบาย เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างการสำรวจกลยุทธ์ใหม่และการใช้ประโยชน์จากรางวัลที่รู้จัก การปรับพารามิเตอร์นโยบาย (θ) ทำได้โดยการเลือกค่าที่น้อยกว่าระหว่างวัตถุประสงค์ของนโยบายที่ไม่ได้ถูก clipping และที่ถูก clipping ในวิธีนี้จะทำการปรับปรุงนโยบายหลายรอบ (epochs) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ปัญหาสำคัญในวิธีการใช้ gradient ของนโยบาย รวมถึง PPO คือความเสี่ยงที่พารามิเตอร์ที่อัปเดตหลังจากการฝึกอบรมยุคแรกอาจไม่สามารถแทนข้อมูลที่สร้างพวกมันได้อย่างแม่นยำ ความไม่สอดคล้องนี้อาจส่งผลให้เกิดการอัปเดตแบบ off-policy ซึ่งซับซ้อนในกระบวนการฝึกอบรมและขัดขวางความสามารถของอัลกอริธึมในการสรุปจากข้อมูลการฝึกอบรมของมัน

4. การขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (Data-Driven): การขับเคลื่อนด้วยข้อมูลหมายถึงการใช้ข้อมูลจริงที่ได้รับจากการทำงานของระบบไมโครกริดในการฝึกฝนและปรับปรุงโมเดลการจัดการพลังงาน วิธีการนี้ช่วยให้โมเดลสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาการคาดการณ์หรือสมมติฐานใด ๆ ที่อาจมีความคลาดเคลื่อน

วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้พัฒนาแนวทางการจัดการพลังงานในระบบไมโครกริดโดยใช้ MAPPO ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ MADRL เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานในระบบไมโครกริด โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการลดต้นทุนการดำเนินงานของระบบไมโครกริดและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรพลังงานหมุนเวียน โดยใช้ข้อมูลจริงจากระบบผลิตกำลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตติดตั้ง 6 MW ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ในตำแหน่งละติจูด: 14.881˚ N และ ลองติจูด: 102.009˚E ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่ถูกบันทึกในช่วงเวลาทุก ๆ 15 นาที ชุดข้อมูลที่ใช้ถูกแบ่งออกเป็นชุดข้อมูลฝึกอบรมและชุดข้อมูลทดสอบ ชุดข้อมูลฝึกอบรมครอบคลุมเวลา 63 วัน ตั้งแต่วันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2566 ถึง 25 ธันวาคม พ.ศ. 2566 ส่วนของชุดข้อมูลทดสอบประกอบด้วย ข้อมูลวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2566 ดังแสดงในภาพที่ 1 งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการควบคุมการทำงานของระบบในโครกริดโดยแบ่งเป็น 2 ตัวแทน ได้แก่ ตัวแทนที่ควบคุมการทำงานของ BESS และตัวแทนที่ควบคุมการทำงานของ DG ซึ่งเป็นการจำลองการติดตั้งในระบบไมโครกริดนี้เท่านั้น



ภาพที่ 2 การแบ่งชุดข้อมูลสำหรับฝึกอบรมและทดสอบโมเดล

1. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

1.1. การลดต้นทุนการดำเนินงานของระบบไมโครกริด

$$\text{minimize} \sum_{t=1}^{T} \left(C_{Re}(t) + C_{DG}(t) + C_{Grid}(t) + C_{ESS}(t) \right) \tag{5}$$

โดยที่ T คือ ช่วงเวลาทั้งหมดของการปรับค่าให้เหมาะสม

$C_{Re}(t)$ คือ ค่าดำเนินการและค่าบำรุงรักษาของการผลิตพลังงานหมุนเวียนในช่วงเวลา t

$C_{DG}(t)C_{ESS}(t)$ คือ ค่าดำเนินการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (DGs) ในช่วงเวลา t

$C_{ESS}(t)$ คือ ค่าเสื่อมสภาพของระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ในช่วงเวลา t

$C_{Grid}(t)$ คือ ค่าการแลกเปลี่ยนพลังงานกับโครงข่ายไฟฟ้าหลักในช่วงเวลา t

1.2 ค่าดำเนินการและค่าบำรุงรักษาของการผลิตพลังงานหมุนเวียน

การใช้พลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตไฟฟ้าเป็นทางเลือกที่ดีในการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อย่างไรก็ตาม การดำเนินการและการบำรุงรักษาระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนยังคงมีค่าใช้จ่ายที่ต้องพิจารณา สมการ $C_{Re}(t)$ แสดงในสมการที่ 6

$$C_{Re}(t) = \omega_{pv} P_{pv}(t) \tag{6}$$

โดยที่ ω_{pv} คือ ค่าดำเนินการของพลังงานแสงอาทิตย์

$P_{pv}(t)$ คือ ลังงานที่ผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์ในช่วงเวลา t

1.3 ค่าดำเนินการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

การใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบพลังงานสมัยใหม่ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการใช้งานพลังงานที่ไม่แน่นอนหรือมีการผลิตพลังงานหมุนเวียนสูง เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายสามารถตอบสนองต่อความต้องการพลังงานได้อย่างยืดหยุ่นและสามารถลดความเสี่ยงจากการพึ่งพาโครงข่ายไฟฟ้าหลักได้ โดย $C_{DG}(t)$ แสดงในสมการที่ 7

$$C_{DG}(t) = \sum_{i=1}^{n} \left(a_i P_{i,DG}(t)^2 + b_i P_{i,DG}(t) + c_i \right) \tag{7}$$

โดยที่ $P_{i,DG}(t)$ คือ กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ i ในช่วงเวลา t

a_i , b_i และ c_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการต้นทุนการผลิตพลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่

1.4 ค่าเสื่อมสภาพของระบบกักเก็บพลังงาน

การเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของระบบกักเก็บพลังงาน การคำนวณค่าเสื่อมสภาพนี้เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้สามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษาได้อย่างแม่นยำมากขึ้นซึ่ง $C_{ESS}(t)$ แสดงในสมการที่ 8

$$C_{ESS}(t) = \beta(t) C_{inv} \tag{8}$$

โดยที่ $\beta(t)$ คือ อัตราการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ในช่วงเวลา t

C_{inv} คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนทั้งหมดของระบบกักเก็บพลังงาน

1.5 ค่าการแลกเปลี่ยนพลังงานกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

การแลกเปลี่ยนพลังงานกับโครงข่ายไฟฟ้าหลักเป็นกระบวนการที่ระบบไมโครกริดทำการซื้อหรือขายพลังงานไฟฟ้ากับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการผลิตพลังงานไม่เพียงพอหรือผลิตจนเกินความต้องการในระบบ ค่าการแลกเปลี่ยนพลังงานนี้มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบ โดยที่ $C_{Grid}(t)$ แสดงในสมการที่ 9

$$P_{price}(t)\left|\Delta P(t)\right| \tag{9}$$

โดยที่ $P_{price}(t)$ คือ ราคาพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา t

$\left|\Delta P(t)\right|$ คือ พลังงานที่แลกเปลี่ยนในช่วงเวลา t

2. เงื่อนไขของระบบไมโครกริด

2.1 ความสมดุลพลังพลังงานในไมโครกริด

การบริหารจัดการพลังงานในไมโครกริดจำเป็นต้องคำนึงถึงการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน การใช้งานพลังงานของโหลด และการจัดการพลังงานในระบบกักเก็บพลังงาน สมการความสมดุลของพลังงาน ซึ่งแสดงในสมการที่ 10

$$P_{pv}(t)+P_{i,DG}(t)=P_{load}(t)+P_{ESS}(t)+\Delta P(t) \tag{10}$$

2.2 ข้อจำกัดสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายและระบบกักเก็บพลังงาน

โดยที่ $P_{i,DG,\min}$ และ $P_{i,DG,\max}$ คือค่าต่ำสุดและสูงสุดของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามลำดับ และ เช่นเดียวกันกับ $P_{ESS,\min}$ และ $P_{ESS,\max}$ คือค่าต่ำสุดและสูงสุดของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบกักเก็บพลังงาน ดังสมการที่ 11 และ 12 [5]

$$P_{i,DG,\min} \le P_{i,DG}(t) \le P_{i,DG,\max} \tag{11}$$

$$P_{ESS,\min} \le P_{ESS}(t) \le P_{ESS,\max} \tag{12}$$

2.3 ข้อจำกัดของสถานะการชาร์จของระบบกักเก็บพลังงาน

เพื่อยืดอายุการใช้งานและชะลอการเสื่อมสภาพระบบกักเก็บพลังงาน ควรหลีกเลี่ยงการชาร์จและคายประจุไฟฟ้าให้อยู่ในขอบเขตของสถานะการชาร์จหรือ SOC โดยไม่น้อยและไม่มากเกินไป ดังสมการที่ 13

$$SOC_{\min} \le SOC(t) \le SOC_{\max} \tag{13}$$

โดยที่ $SOC_{\min}$ และ $SOC_{\max}$สถานการณ์ชาร์จที่ต่ำที่สุด และ มากที่สุดของ BESS ตามลำดับ

3. การออกแบบ MAPPO

3.1 การออกแบบตัวแทน

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบตัวแทน หรือ Agents หลายตัวเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในระบบไมโครกริดซึ่งหมายถึงสิ่งแวดล้อม หรือ Environment โดยตัวแทนที่สำคัญได้แก่ ตัวแทนควบคุมระบบกักเก็บพลังงาน (BESS Agent) ตัวแทนนี้มีหน้าที่ในการควบคุมการชาร์จและการปล่อยพลังงานจาก BESS โดยพิจารณาสถานการณ์ชาร์จของแบตเตอรี่ (SOC) และความต้องการพลังงานของโหลด ตัวแทนนี้จะต้องพิจารณาการรักษาสมดุลระหว่างการใช้พลังงานหมุนเวียนและการซื้อพลังงานจากกริดไฟฟ้าหลัก

3.2 การกระทำ (Action)

โดยการกระทำของ BESS Agent ซึ่งแสดงดังสมการที่ 14 โดยพิกัดการชาร์จ/ดิสชาร์จพลังงานอยู่ที่ -500/500 กิโลวัตต์ โดยมีขนาดอยู่ที่ 1 MWh และ ตัวแทนควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Diesel Generator Agent) มีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล โดยมีพิกัดการทำงานอยู่ที่ 0 – 150 กิโลวัตต์ โดยต้องประสานงานกับตัวแทนควบคุมระบบกักเก็บพลังงานเพื่อให้การผลิตไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงสุดและลดการใช้เชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งแสดงในสมการที่ 15

$$\mathrm{Action}_{battery_agent} = a_b \in [-500, 500] \tag{14}$$

$$\mathrm{Action}_{diesel_agent} = a_d \in [0, 150] \tag{15}$$

3.3 การสังเกตการณ์ (Observation)

การสังเกตการณ์ (observation) อาจจะเรียกว่า สถานะของระบบ (state) ในแบบจำลองนี้ ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับ สถานะการชาร์จของระบบกักเก็บพลังงาน (State of Charge หรือ SOC), การผลิตพลังงานหมุนเวียนของพลังงานแสงอาทิตย์ (PV Power), ความต้องการพลังงานของโหลด (Load Power) และ ราคาไฟฟ้า (Tariff) โดยค่าไฟฟ้าคิดตามอัตรา TOU ประเภทที่ 6 องค์กรไม่แสวงหากำไร ตามประกาศไว้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [6] โดยข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูล ณ เวลา t ใด ๆ ดังแสดงในสมการที่ 16-19 ตามลำดับ

$$\mathrm{SOC(t)} = \left(\frac{S_t^{ESS}}{S_{max}^{ESS}} \times 100 \right) \% \tag{16}$$

$$\mathrm{PV\ Power(t)} = P_{PV}(t) \tag{17}$$

$$\mathrm{Load\ Power(t)} = P_{Load}(t) \tag{18}$$

$$\mathrm{Tariff} = \begin{cases} 4.1025\text{฿} & \text{if On-peak 09.00-22.00} \\ 2.5849\text{฿} & \text{if Off-peak 22.00-09.00} \end{cases} \tag{19}$$

3.4 การให้รางวัล (Reward)

ฟังก์ชันการให้รางวัล นี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้ระบบเรียนรู้ที่จะลดต้นทุนการดำเนินงานโดยรวมของระบบไมโครกริด รวมถึงการหลีกเลี่ยงการลงโทษที่เกิดจากการทำงานของระบบที่ไม่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด ดังสมการที่ 20

$$\text{Reward} = -\left(C_{sys}(t) + C_{ill}(t) + C_{ill_DG}(t)\right) \tag{20}$$

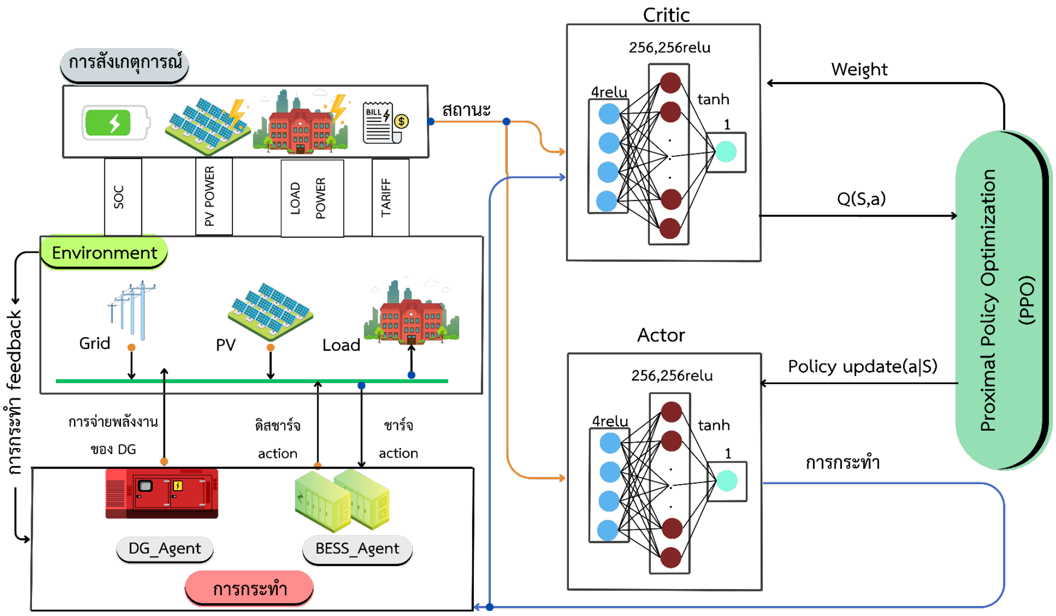
โดย Reward คือต้นทุนการดำเนินการและการลง ณ เวลา t โดยค่าที่ติดลบจะหมายถึงให้ให้ตัวแทนนั้นเรียนรู้ที่จะให้ได้รางวัลมากที่สุดเพื่อให้การติดลบน้อยที่สุด ซึ่งตัวแปรเหล่านั้นประกอบไปด้วย $C_{sys}(t)$ คือ การรวมค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานหมุนเวียน เครื่องกำเนิดไฟฟ้า การซื้อพลังงานจากกริด และการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ , $C_{ill}(t)$ คือค่าปรับที่เกิดขึ้นเมื่อระบบทำงานไม่อยู่ในขอบเขต เช่น การขายไฟเกินหรือ SOC ของแบตเตอรี่อยู่นอกช่วงที่กำหนด และ $C_{ill_DG}(t)$ เป็นค่าปรับเพิ่มเติมเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานไม่ถูกต้อง

3.4 การกำหนดพารามิเตอร์การทดลอง

การตั้งค่าพารามิเตอร์สำคัญต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของตัวแทน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของ MAPPO ในการจัดการพลังงานในระบบไมโครกริด ได้กำหนดไว้ดังตารางที่ 1 เพื่อให้แน่ใจว่าการเรียนรู้ของตัวแทนมีประสิทธิภาพและสามารถสรุปผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้อง

ตารางที่ 1 ไฮเปอร์พารามิเตอร์สำหรับโมเดล MAPPO

	จำนวนชั้นของนิวรอน (Actor, Critic)		2 = (256)
PPO	ฟังก์ชันการกระตุ้น		relu
	Optimizer		Adam
	อัตราการเรียนรู้		0.0005
	อัตราคิดลด		0.95
	Action noises	ชนิดของ noises	Gaussian
		ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.2



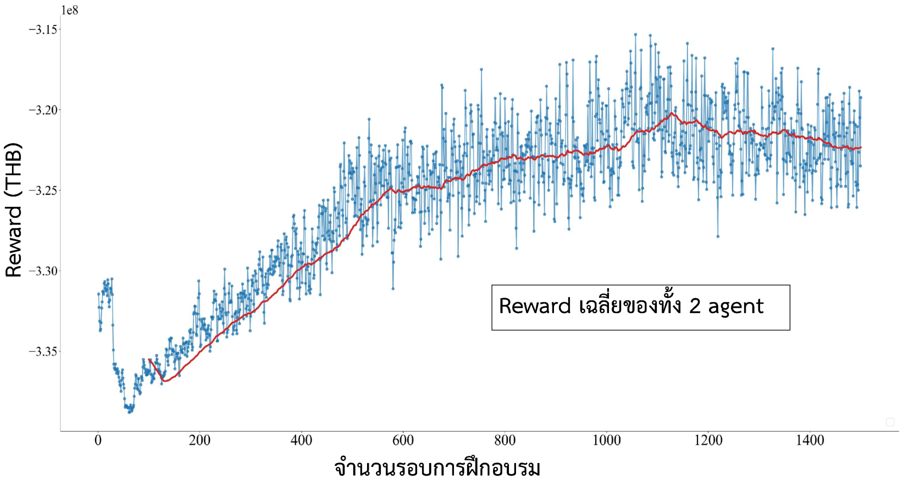
ภาพที่ 3 กระบวนการจัดการพลังงานในไมโครกริดโดยใช้ MAPPO

4. กระบวนการฝึกฝนและการประเมินผล

กระบวนการฝึกฝนตัวแทน จะทำการดำเนินการโดยใช้ MAPPO โดยตัวแทนจะมีการปรับปรุงนโยบายการทำงานตามผลลัพธ์ที่ได้รับจากการดำเนินการในแต่ละสถานการณ์ ตัวแทนจะได้รับรางวัล เมื่อทำการตัดสินใจที่ลดต้นทุนการดำเนินงานของระบบให้น้อยที่สุด และจะได้รับการลงโทษ เมื่อการตัดสินใจนั้นทำให้เกิดการเพิ่มค่าใช้จ่ายหรือกรณีที่ใช้ BESS หรือ DG ที่ไม่ถูกต้อง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การฝึกฝนโมเดล MAPPO ใช้การดำเนินการใน 1500 รอบ โดยใช้ข้อมูลการทำงานจริงของระบบไมโครกริดในการฝึกอบรมจำนวน 61 วัน จากนั้นทำการสุ่มเลือกมา 1 วัน เพื่อให้ตัวแทนได้ทำการเรียนรู้ในช่วงเวลาที่กำหนด เป็นการจบหนึ่งรอบการฝึกอบรม ค่ารางวัลที่ได้รับในแต่ละรอบแสดงในภาพที่ 4 โดยค่ารางวัลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มต้นการฝึกจนถึงรอบที่ 1,500 แสดงให้เห็นถึงการเรียนรู้ที่เสถียรและมีประสิทธิภาพที่ดี โมเดลสามารถปรับปรุงนโยบายการตัดสินใจของตัวแทน เพื่อให้เกิดการลดต้นทุนการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเพิ่มขึ้นของค่ารางวัลสะท้อนถึงการลดลงของต้นทุนพลังงานในระบบไมโครกริดอย่างมีนัยสำคัญ

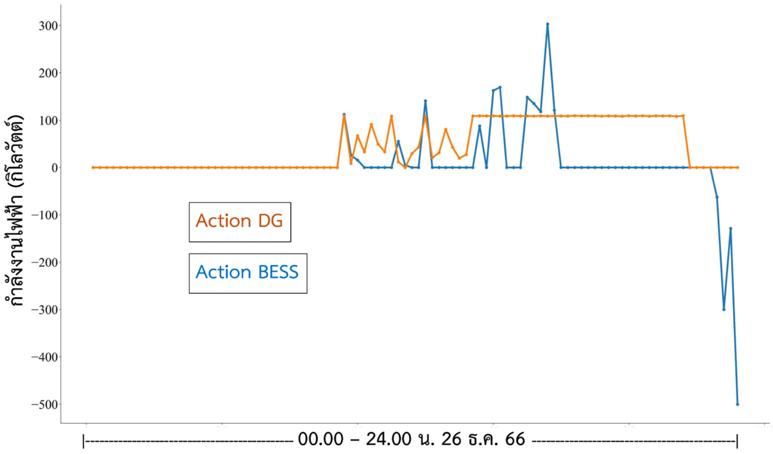


ภาพที่ 4 ค่ารางวัลสำหรับโมเดล MAPPO ในระหว่างการฝึกอบรม

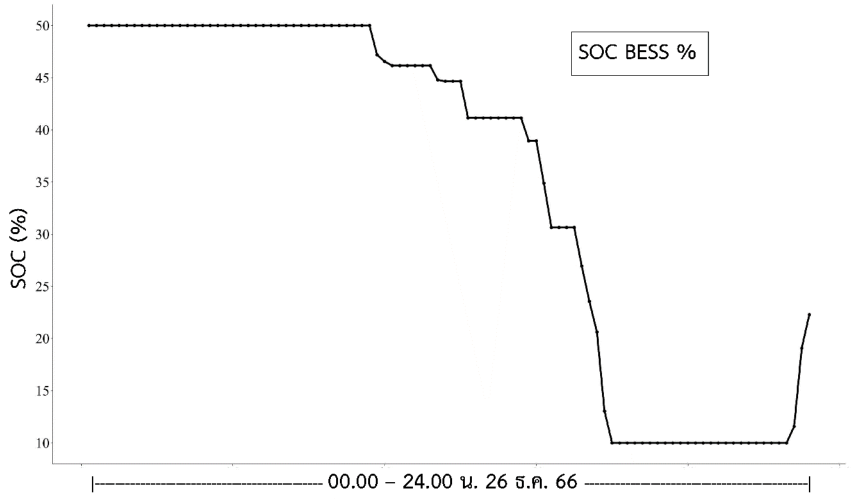
ในช่วงการทดสอบ โมเดล MAPPO หลังจากการฝึกอบรมเสร็จสิ้น ได้แสดงความสามารถในการตัดสินใจของตัวแทน BESS และ DG อย่างเหมาะสมตาม โดยชุดข้อมูลที่นำมาทดสอบคือข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก PV ดังภาพที่ 5 แสดงถึงการกระทำของตัวแทนทั้งสองในชุดข้อมูลการทดสอบ ตัวแทน BESS สามารถตัดสินใจชาร์จ และปล่อยพลังงานตามความต้องการของระบบอย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ตัวแทน DG สามารถเริ่มและหยุดการทำงาน ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลได้อย่างเหมาะสม โดยทั้งสองตัวแทนเริ่มจ่ายพลังงานเมื่อเข้าสู่ช่วงเวลา on-peak ที่มีค่าไฟฟ้าแพง เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงและลดต้นทุนการผลิตพลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งส่งผลให้การดำเนินงานของระบบไมโครกริดมีประสิทธิภาพสูงสุด

ดังภาพที่ 6 แสดง SOC ของ BESS ในช่วงเวลาต่างๆ พบว่าโมเดล MAPPO สามารถควบคุม SOC ให้อยู่ในขอบเขตที่เหมาะสมตลอดช่วงเวลาการทดสอบ ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เกิดการเสื่อมสภาพเร็วเกินไป การควบคุม

SOC ที่ดีทำให้การใช้พลังงานที่เก็บสะสมไว้ใน BESS มีประสิทธิภาพสูงสุด การรักษา SOC ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมยังช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ทำให้ต้นทุนการบำรุงรักษาระบบลดลงในระยะยาว



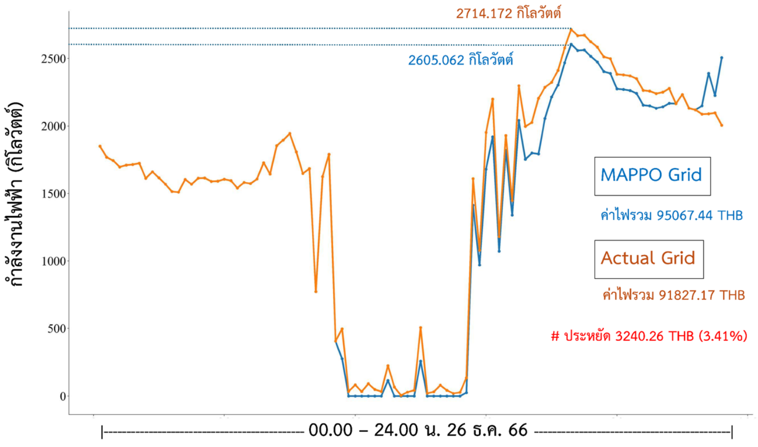
ภาพที่ 5 การกระทำของตัวแทน BESS และ DG ในชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ



ภาพที่ 6 SOC ของ BESS

ในภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบการซื้อไฟฟ้าจากกริดระหว่างข้อมูลจริงและข้อมูลที่ได้จากการจำลองการติดตั้ง BESS และ DG ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าโมเดล MAPPO สามารถลดการพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าจากกริดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ราคาพลังงานจากกริดสูง (On-Peak) การตัดสินใจใช้พลังงานจาก BESS แทนการซื้อจากกริดในช่วงเวลานี้ส่งผลให้ต้นทุนการซื้อไฟฟ้าจากกริดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ หลังการติดตั้ง BESS และ DG พร้อมการควบคุมด้วย MAPPO ทำให้สามารถลดค่าไฟฟ้าสูงสุดของกรณีนี้ได้อยู่ที่ 109.11 กิโลวัตต์ อีกทั้งประหยัดค่าใช้จ่ายจากการซื้อไฟฟ้าจากกริดได้ประมาณ 3240.26 บาทต่อวัน หรือ 3.41% เมื่อเทียบกับการซื้อไฟฟ้าจากกริดโดยไม่มีระบบการจัดการพลังงานที่นำเสนอมา นอกจากนี้ ยังสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานของระบบไมโครกริดได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยการลดต้นทุนรวมนี้

สามารถแปลงเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจได้ที่ประมาณ 1,182,694.9 บาทต่อปี ซึ่งถือว่าเป็นการลดต้นทุนที่มีความสำคัญสำหรับการดำเนินงานในระยะยาวของระบบไมโครกริด



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบการซื้อไฟจากกริดที่ได้จากข้อมูลจริงและกริดที่ได้จำการจำลองการติดตั้ง BESS และ DG

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาและนำเสนอแนวทางการจัดการพลังงานที่เหมาะสมในระบบไมโครกริด ผ่านการควบคุมการทำงานของ BESS และ DG โดยใช้เทคนิค RL ขั้นสูงได้แก่ MAPPO โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า MAPPO สามารถลดต้นทุนการดำเนินงานของระบบไมโครกริดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านการลดการพึ่งพาพลังงานจากกริดไฟฟ้าหลักและการจัดการพลังงานใน BESS และ DG โมเดล MAPPO ถูกฝึกฝนและทดสอบด้วยข้อมูลจริงของการดำเนินงานในระบบไมโครกริด โดยโมเดลได้แสดงความสามารถในการการตัดสินใจในกาทำงานของตัวแทน BESS และ DG ในระบบไมโครกริดเพื่อให้เกิดการลดต้นทุนและการผสานงานร่วมกับพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนให้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า MAPPO สามารถลดต้นทุนการดำเนินงานโดยรวมของระบบไมโครกริดได้ถึง 3.41% เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีการจัดการพลังงานที่เหมาะสม ซึ่งสามารถแปลงเป็นมูลค่าเศรษฐกิจได้ประมาณ 1,182,694.9 บาทต่อปี นอกจากนี้ ยังช่วยลดต้นทุนการซื้อพลังงานจากกริดไฟฟ้าหลักได้ประมาณ 3,240.26 บาทต่อวัน โดยการใช้พลังงานจาก BESS และ DG แทนการซื้อพลังงานจากกริดในช่วง On-Peak ที่มีต้นทุนค่าไฟฟ้าสูง นอกจากนี้ การควบคุมการชาร์จและปล่อยพลังงานของ BESS ยังช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และลดการสึกหรอของอุปกรณ์ได้ในระยะยาว ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการบำรุงรักษาระบบในอนาคต ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า MAPPO สามารถเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดในการจัดการพลังงานและลดต้นทุนการดำเนินงานในระบบไมโครกริดได้อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] The Business Research Company, (2024). **Microgrid Global Market Report.** The Business Research Company.

[2] Wei Li, Shiping Wen, Kaibo Shi, Yin Yang, and Tingwen Huang, (2022). **Neural architecture search with a lightweight transformer for text-to-image synthesis**. IEEE Transactions on Network Science and Engineering 9.3 (2022): 1567-1576.

[3] Qingyun Chen, Wanzhong Zhao, Lin Li, Chunyan Wang, and Feng Chen, (2022). **ES-DQN: A learning method for vehicle intelligent speed control strategy under uncertain cut-in scenario.** IEEE Transactions on Vehicular Technology 71.3 (2022): 2472-2484.

[4] Yuxi Li, (2018). **DEEP REINFORCEMENT LEARNING.** arXiv:1810.06339.

[5] Gang Bao, and Rui Xu. (2023). **A Data-Driven Energy Management Strategy Based on DeepReinforcement Learning for Microgrid Systems.** Cognitive Computation 15.2 (2023): 739-750.

[6] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2023). **เรื่อง โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าใหม่ (การปรับลดอัตราค่าบริการรายเดือน สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า ประเภทบ้านอยู่อาศัยอัตราปกติ ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน บ้านอยู่อาศัยอัตรา TOU ในระดับแรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์ กิจการขนาดเล็กในระดับแรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์ และสูบน้ำเพื่อการเกษตรอัตรา TOU ทุกระดับแรงดัน).** การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2023).

การออกแบบและพัฒนารถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กต้นทุนต่ำสำหรับการเกษตร
Design and Development of an Economical Electric Micro Truck for Agricultural Use

รัฐพล ดุลยะลา[1] นราภรณ์ ส่งกิตติโรจน์[2] ชัชพล เกษวิริยะกิจ[1] ธนัตถา กรพิทักษ์[1] และ วีระพล คงนุ่น[1*]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ 53000
[2] สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 50180
E-mail address: weerapon.kon@uru.ac.th

Abstract

This research focuses on the design and development of a low-cost small electric truck for use in the agricultural sector, with the primary objectives of enhancing transportation efficiency, reducing operational costs, and promoting the use of clean energy in agriculture. The developed truck utilizes a 15 kW low-speed, high-torque electric motor, which is suitable for transporting heavy goods. The main propulsion system comprises a 22.5 kWh battery supplying power to the motor, controlled by a Sine Wave Controller with a Soft Start system to reduce current surges during startup and extend the lifespan of the motor and battery. Performance tests of the electric truck at a maximum speed of 70 kilometers per hour showed that the voltage after startup slightly increased from 96.03 volts to 97.85 volts, while the current decreased from 160.35 amps to 96.7 amps. This indicates the system's ability to manage energy efficiently. The increase in voltage and decrease in current after startup suggest that the Sine Wave Controller effectively enhances system stability and energy savings. The production cost of the prototype is 400,000 baht, which is 87.5% lower than typical small electric trucks. In conclusion, this small electric truck is suitable for use in the agricultural sector, effectively meeting transportation needs. The control system and energy usage are designed for sustainability, helping reduce energy costs and increase operational safety. This makes the small electric truck a good alternative for transportation in agricultural areas and aligns with sustainable development concepts.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนารถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กต้นทุนต่ำสำหรับการใช้งานในภาคเกษตรกรรม โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง ลดต้นทุนการดำเนินงาน และส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดในภาคการเกษตร รถบรรทุกที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าความเร็วต่ำแรงบิดสูงขนาด 15 kW ซึ่งเหมาะสมสำหรับการขนส่งสินค้าที่มีน้ำหนักมาก ระบบขับเคลื่อนหลักประกอบด้วยแบตเตอรี่ขนาด 22.5 kWh สำหรับจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ ควบคุมการทำงานด้วย Sine Wave Controller พร้อมระบบ Soft Start เพื่อลดการกระชากกระแสในช่วงเริ่มต้นและยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์และแบตเตอรี่ ผลการทดสอบสมรรถนะของรถบรรทุกไฟฟ้าเมื่อใช้ความเร็วสูงสุด

ที่ 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าแรงดันไฟฟ้าหลังจากการออกตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 96.03 โวลต์เป็น 97.85 โวลต์ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าลดลงจาก 160.35 แอมป์เป็น 96.7 แอมป์ ซึ่งแสดงถึงความสามารถของระบบในการจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าและการลดลงของกระแสไฟฟ้าหลังจากการออกตัวบ่งชี้ว่าระบบควบคุม Sine Wave Controller ทำงานได้ดีในการปรับปรุงเสถียรภาพและประหยัดพลังงานของระบบ ทางด้านต้นทุนการผลิตของต้นแบบอยู่ที่ 400,000 บาท ซึ่งต่ำกว่ารถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กทั่วไปถึง 87.5% สรุปได้ว่ารถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กนี้มีความเหมาะสมในการใช้งานในภาคเกษตรกรรม สามารถตอบสนองต่อความต้องการในการขนส่งสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบควบคุมและการใช้พลังงานถูกออกแบบให้มีความยั่งยืน ช่วยลดต้นทุนการใช้พลังงานและเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน ทำให้รถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กนี้เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับการขนส่งในพื้นที่เกษตรกรรม และสอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: รถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็ก รถบรรทุกการเกษตร ต้นแบบรถบรรทุกไฟฟ้า

บทนำ

ภาคเกษตรกรรมถือเป็นรากฐานสำคัญของเศรษฐกิจไทย จากข้อมูล พ.ศ. 2565 มีแรงงานในภาคเกษตรประมาณ 11.63 ล้านคน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 29.31 ของจำนวนแรงงานทั้งหมด และสร้างรายได้คิดเป็นร้อยละ 8.81 ของ GDP ประเทศ [1] ดังนั้นภาคเกษตรกรรมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะในด้านการสร้างงาน สร้างรายได้ และลดความเหลื่อมล้ำ [2] อย่างไรก็ตาม เกษตรกรไทยยังคงเผชิญกับขความท้าทายมากมาย เช่น ความผันผวนของราคาสินค้าเกษตร ภัยธรรมชาติ ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น และปัญหาการเข้าถึงเทคโนโลยี [3] ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อรายได้ ความเป็นอยู่ และขีดความสามารถในการแข่งขันของเกษตรกรไทย หนึ่งในปัญหาสำคัญที่เกษตรกรไทยต้องเผชิญคือต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นทุนด้านพลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นผลมาจากราคาเชื้อเพลิงในตลาดโลกที่ผันผวน [4] การใช้เครื่องจักรกลทางการเกษตรที่เพิ่มขึ้น และระยะทางในการขนส่งผลผลิต ส่งผลกระทบต่อรายได้และความเป็นอยู่ของเกษตรกร ขณะเดียวกัน การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลยังก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ เป็นปัจจัยเร่งภาวะโลกร้อน ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและการเกษตรในระยะยาว [5] ดังนั้น การแสวงหาพลังงานทางเลือกที่สะอาด มีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับภาคเกษตรกรรม

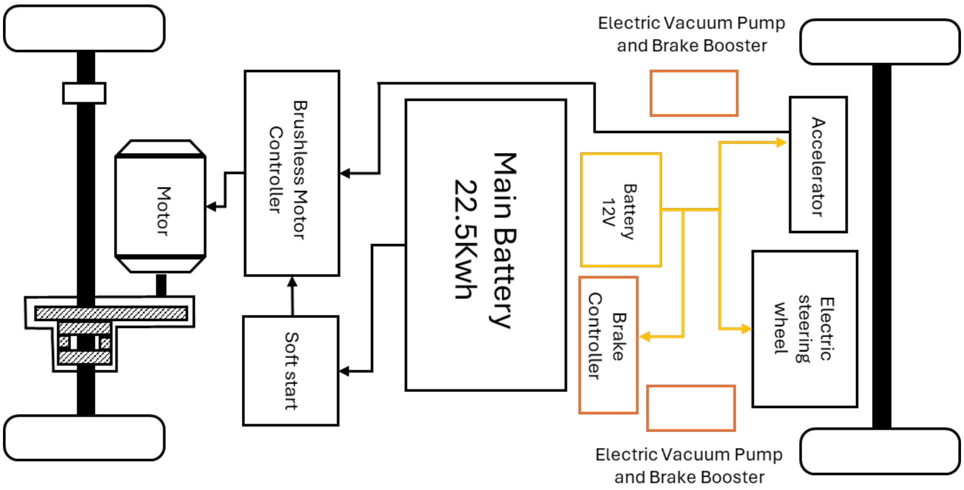
ด้วยสถานการณ์พลังงานที่น่าเป็นห่วงและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี การนำรถยนต์พลังงานไฟฟ้า (EV) มาประยุกต์ใช้ในภาคเกษตรกรรมจึงเป็นทางออกที่น่าสนใจ เนื่องจากรถยนต์พลังงานไฟฟ้าใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า จะช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล ลดต้นทุนการผลิต และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน [6] นอกจากนี้ รถยนต์พลังงานไฟฟ้ายังมีข้อได้เปรียบด้านอื่นๆ เช่น ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง การบำรุงรักษาง่าย และเสียงรบกวนต่ำ [7] จากข้อดีดังกล่าว รถยนต์พลังงานไฟฟ้าจึงเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านการเกษตร แต่ทั้งนี้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าก็ยังมีข้อเสียหลักในปัจจุบันคือ มีราคาแพงเมื่อเทียบกับรถเครื่องยนต์สันดาป แต่ทั้งนี้การเลือกใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้ายังมีข้อจำกัดคือเรื่องของมอเตอร์และแรงขับที่ต้องคำนึงต่อการใช้งาน เพราะสำหรับการขนส่งภาคการเกษตรต้องรองรับน้ำหนักบรรทุกที่มาก และยังคงต้นทุนต่ำ เพื่อลดต้นทุนการผลิต

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนารถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับใช้ในงานเกษตร โดยเลือกใช้มอเตอร์ขับเพลาหลังขนาด 15 kW ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่มีขนาดเพียงพอต่อการบรรทุกพืชผลทางการเกษตร มีราคาค่อนข้าง

ถูก และสามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด งานวิจัยนี้ยังได้เสนอแนวคิดนำมอเตอร์ดังกล่าวมาดัดแปลงใช้กับรถบรรทุกขนาดเล็ก (Micro Truck) เพื่อให้เป็นต้นแบบที่ดีสำหรับการนำไปใช้งานจริงในภาคเกษตร โดยมุ่งหวังให้ประชาชนทั่วไปสามารถนำแบบไปประยุกต์ใช้ได้ง่าย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพ และส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดในภาคเกษตร ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Victor Blanco [8] ได้เสนอการนำรถบรรทุกขนาดเล็กมาใช้เก็บเกี่ยวข้าวโพดและหญ้า ซึ่งมีการบริหารจัดการเส้นทางในการขนส่งที่ดี ทำให้สามารถลดต้นทุนด้านในการขนส่งได้มากกว่ารถบรรทุกขนาดใหญ่ ที่ต้องรอให้เก็บเกี่ยวผลผลิตให้หมดถึงจะสามารถขนส่งผลผลิตได้ ต่างจากงานวิจัยของ Gorjian Shiva (2020) [9] และ Pascuzzi, Simone (2019) [10] ที่เสนอแนวคิดการใช้แทรกเตอร์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากำลังสูงและแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ซึ่งสามารถรองรับการทำเกษตรขนาดใหญ่ และยังสามารถรักษาต้นทุนการผลิตให้ต่ำลงได้ แต่ทั้งนี้บริบทของชุมชนประเทศไทยนั้นไม่เหมาะกับการทำพืชแปลงใหญ่ เพราะเรื่องต้นทุนสำหรับการเกษตร ดังนั้นการเกษตรสำหรับบริบทชุมชนประเทศไทย จึงต้องการให้มีการพัฒนารถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กสำ ซึ่งสามารถขนส่งผลผลิตได้ทันทีและระหว่างที่เก็บเกี่ยวก็สามารถประจุไฟฟ้าลงแบตเตอร์รี่สำหรับการขนส่งครั้งต่อไป และสามารถส่งเสริมให้เกิดการจัดการที่มีประสิทธิภาพเช่น นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานร่วมเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้า เกิดเป็นเกษตรสมัยใหม่ที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานสำหรับการออกแบบและพัฒนารถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กต้นทุนต่ำสำหรับการเกษตร จะเริ่มจากการหาความต้องการที่เหมาะสมสำหรับการเกษตรในบริบทประเทศไทย ซึ่งมีความต้องการในการขนส่งผลผลิตไม่เกิน 500 กิโลกรรมต่อรอบ ดังนั้นการออกแบบจะเริ่มจากการหาอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับความต้องการดังกล่าว และยังต้องคำนึงถึงราคา และสามารถเข้าถึงได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าความเร็วต่ำ แรงบิดสูง ซึ่งเหมาะสมกับการขนส่งสินค้าเกษตรที่มีน้ำหนักมาก และต้องการแรงฉุดลากสูง การออกแบบองค์ประกอบรถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังรูปต่อไปนี้



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบรถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็ก

จากภาพที่ 1 ระบบขับเคลื่อนรถบรรทุกไฟฟ้า ประกอบด้วยแบตเตอรี่หลักขนาด 22.5 kWh ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ขนาด 15 kW ซึ่งเป็นมอเตอร์ประเภท Brushless DC Motor ที่มีประสิทธิภาพสูง และควบคุมการทำงานด้วย Brushless Motor Controller โดยมี Soft start ทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าเริ่มต้น เพื่อป้องกันการ

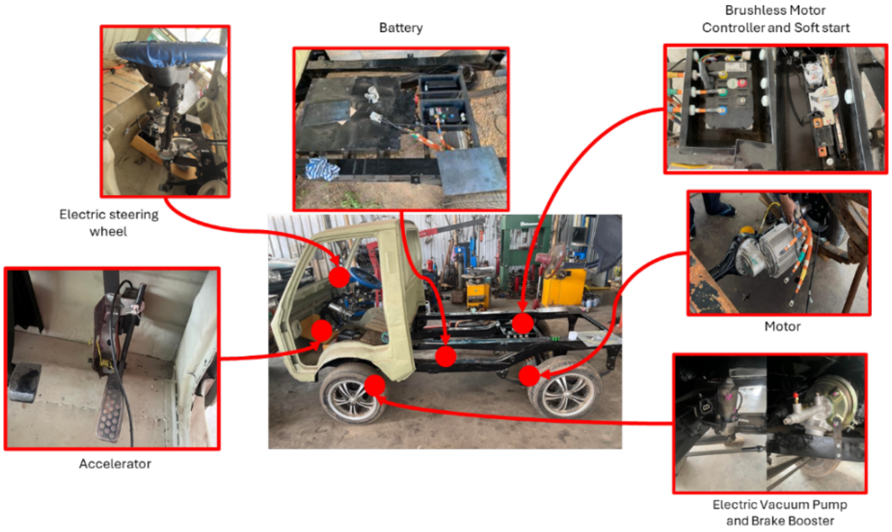
กระชากของมอเตอร์ และยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ส่วนระบบควบคุม และระบบเบรกนั้นงานวิจัยนี้ได้แยก ส่วนดังกล่าวออกจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักเพื่อเพิ่มความปลอดภัยของระบบโดยรวม ระบบควบคุมและเบรกจะใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า ทำให้ Brake Controller สามารถควบคุม Electric Vacuum Pump and Brake Booster ช่วยในการเบรก และ ระบบบังคับเลี้ยว หรือพวงมาลัยไฟฟ้า (Electric steering wheel) และควบคุมความเร็วด้วยคันเร่งไฟฟ้า (Accelerator) สามารถทำงานควบคุมรถบรรทุกไฟฟ้าแม้ระบบแบตเตอร์รี่หลักนั้นเสียหายระหว่างขับเคลื่อนได้

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานในการออกแบบและพัฒนารถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กต้นทุนต่ำสำหรับการเกษตร ซึ่งได้ถูกพัฒนาให้รองรับความต้องการในการขนส่งผลผลิตทางการเกษตร และยังต้องมีราคาถูก ใช้อุปกรณ์ที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย ผลการดำเนินงานทั้งหมดสามารถแบ่งผลลัพธ์ออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้

1. ผลการสร้างต้นแบบรถบรรทุกไฟฟ้าสำหรับการเกษตร

ผลการดำเนินงานต้นแบบรถบรรทุกไฟฟ้าสำหรับการเกษตรพบว่าสามารถทำงานได้ตามหลักการออกแบบของงานวิจัยนี้ได้ดี ซึ่งการออกแบบดังกล่าวได้เสนอให้ใช้แบตเตอรี่หลักขนาด 22.5 kWh พร้อมมอเตอร์ขนาด 15 kW ที่ติดตั้งอยู่ด้านหลังซึ่งเชื่อมต่อกับล้อหลังโดยตรง ทำให้สามารถให้แรงฉุดลากที่สูงพอในการขับเคลื่อนแม้ในสภาพพื้นที่การเกษตรที่ไม่ราบเรียบและต้องการการบรรทุกหนัก ซึ่งผลการดำเนินการติดตั้งดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังรูปต่อไปนี้



ภาพที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับรถบรรทุกไฟฟ้า

ภาพที่ 3 การทดสอบการบรรทุกสินค้า

จากภาพที่ 2 แสดงถึงการติดตั้งและการจัดวางส่วนประกอบต่าง ๆ ของรถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อการใช้งานในภาคเกษตรกรรม โดยมีองค์ประกอบสำคัญ เช่น ระบบขับเคลื่อน มอเตอร์ไฟฟ้า ระบบเบรก ระบบบังคับเลี้ยว และระบบควบคุมต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อและทำงานร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์ ระบบทั้งหมดสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยได้รับการทดสอบและพิสูจน์แล้วว่าสามารถรองรับการบรรทุกสินค้าทางการเกษตรที่มีน้ำหนักสูงสุดไม่เกิน 500 กิโลกรัมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ผลการทดสอบสมรรถนะการใช้งาน

การทดสอบสมรรถนะการใช้งานของรถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กต้นทุนต่ำสำหรับการเกษตรกรรม จะใช้การทดสอบบรรทุกสินค้าทดลองน้ำหนัก 500 กิโลกรัม (รวมผู้โดยสาร) โดยในการทดสอบจะความเร็วที่ 50-70 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเป็นระยะทาง 10 กิโลเมตร ผลการทดลองพบว่ารถบรรทุกสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเมื่อทดสอบที่ความเร็วเฉลี่ย 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีค่าแรงดันไฟฟ้าขณะการออกตัวเฉลี่ย 96.03 ± 0.43 โวลต์ และหลังออกตัวเพิ่มขึ้นเป็น 97.85 ± 0.75 โวลต์ กระแสไฟฟ้าก่อนการออกตัวมีค่าเฉลี่ย 160.35 ± 4.99 แอมป์ และลดลงเป็น 96.7 ± 1.25 แอมป์หลังจากการออกตัว ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพในการรักษาระดับแรงดันและการลดการใช้พลังงานเมื่อระบบเข้าสู่โหมดการทำงานที่เสถียร ในการทดสอบความเร็วเฉลี่ย 60 และ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผลการทดลองยังคงสอดคล้องกันโดยมีการลดการใช้กระแสไฟฟ้าหลังการออกตัวอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งบ่งชี้ถึงการควบคุมพลังงานที่มีประสิทธิภาพ ระบบสามารถรักษาสมดุลของแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับน้ำหนักบรรทุกและสภาวะการใช้งานที่ต่างกันได้อย่างดี ดังนั้นจึงสรุปได้ว่ารถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กที่ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นนี้มีความสามารถในการรองรับการใช้งานได้ดี ผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรักษาความเร็วเฉลี่ยในระยะทางที่กำหนด รวมทั้งมีการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพและลดลงอย่างชัดเจนเมื่อการใช้งานเข้าสู่สภาวะเสถียร ซึ่งช่วยเพิ่มความยั่งยืนในการใช้งานและลดต้นทุนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน ระบบควบคุม Sine Wave Controller และการออกแบบให้มีการใช้ระบบ Soft Start มีส่วนสำคัญในการลดการกระชากกระแสและยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์และแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยให้รถบรรทุกนี้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยและเชื่อถือได้ในสภาพการทำงานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ยังสามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการขนส่งในภาคเกษตรกรรม ทำให้การใช้งานรถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กนี้มีความเหมาะสมและมีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้งานจริงในภาคการเกษตรของประเทศไทย

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบสมรรถนะของรถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็ก

เงื่อนไขการทดสอบ	**แรงดันไฟฟ้าก่อนออกตัว (โวลต์)**	**แรงดันไฟฟ้าหลังออกตัว (โวลต์)**	**กระแสไฟฟ้าก่อนออกตัว (แอมป์)**	**กระแสไฟฟ้าหลังออกตัว (แอมป์)**	**ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)**
โหลด 500 กก., ความเร็ว 70 กม./ชม., ระยะทาง 10 กม.	96.03 ± 0.43	97.85 ± 0.75	160.35 ± 4.99	96.7 ± 1.25	72.75 ± 1.26
โหลด 500 กก., ความเร็ว 60 กม./ชม., ระยะทาง 10 กม.	95.83 ± 1.03	98.5 ± 0.29	133.15 ± 22.07	102.98 ± 5.29	63.5 ± 2.38
โหลด 500 กก., ความเร็ว 50 กม./ชม., ระยะทาง 10 กม.	95.95 ± 0.87	97.85 ± 0.13	115.7 ± 3.21	93.93 ± 4.63	53.75 ± 1.71

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยและทดสอบสมรรถนะการใช้งานของรถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กที่ออกแบบมาเพื่อการใช้งานในภาคเกษตรกรรม พบว่ารถบรรทุกไฟฟ้านี้สามารถตอบสนองต่อความต้องการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในหลายสภาวะ ทั้งในการใช้งานที่ไม่มีน้ำหนักบรรทุกและในสภาวะที่มีการบรรทุกน้ำหนักสูงสุด 500 กิโลกรัม การทดสอบดำเนินการในเงื่อนไขความเร็วและระยะทางที่กำหนดได้อย่างดี จากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าสามารถบรรทุกสินค้าน้ำหนัก 500 กิโลกรัม ที่ความเร็วสูงสุด 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในระยะทาง 10 กิโลเมตร แรงดันไฟฟ้าก่อนออกตัวอยู่ที่ 96.03 ± 0.43 โวลต์ และเพิ่มขึ้นเป็น 97.85 ± 0.75 โวลต์หลังออกตัว ในขณะที่กระแสไฟฟ้าก่อนออกตัวเฉลี่ยอยู่ที่ 160.35 ± 4.99 แอมป์ และลดลงเป็น 96.7 ± 1.25 แอมป์หลังการออกตัว โดยอัตราความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 72.75 ± 1.26 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถของระบบในการรักษาความเสถียรเมื่อรถบรรทุกมีน้ำหนักบรรทุกสูง จากผลการทดสอบจึงสรุปได้ว่ารถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กที่ออกแบบมานี้สามารถตอบสนองต่อการใช้งานในภาคเกษตรกรรมได้อย่างดี และสามารถรักษาระดับแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่เสถียรทั้งในช่วงก่อนและหลังการออกตัว นอกจากนี้ ผลการทดสอบยังชี้ให้เห็นถึงความสามารถของระบบในการลดการใช้พลังงานขณะที่ความเร็วลดลง ซึ่งทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน การใช้ Sine Wave Controller และระบบ Soft Start ช่วยให้การควบคุมพลังงานเป็นไปอย่างราบรื่น ลดการกระชากของกระแสไฟฟ้า และป้องกันการสึกหรอของมอเตอร์ ส่งผลให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างยั่งยืนและคุ้มค่าในระยะยาว และหากเปรียบเทียบเรื่องของต้นทุนการผลิตในงานวิจัยนี้ได้ใช้งบประมาณในการสร้างต้นแบบ 400,000 บาท ซึ่งรวมค่าอุปกรณ์ และค่าจ้างประกอบแล้ว เมื่อเปรียบเทียบราคา รถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กทั่วไปที่มีน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 500 - 1,000 กิโลกรัม มีราคาอยู่ที่ 750,000 – 800,000 บาท ซึ่งราคาแพงกว่าต้นแบบงานวิจัยถึง 87.50% นอกจากนี้ต้นแบบรถบรรทุกยังมีคุณสมบัติและราคาใกล้เคียงกับ รถบรรทุกเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 660 CC ที่สามารถบรรทุกได้ 500 - 1,000 กิโลกรัม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าต้นแบบรถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถนำมาใช้งานกับการเกษตรที่เหมาะสมกับบริบทประเทศไทยได้อย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายภาคส่วน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่ได้ให้โอกาสและการสนับสนุนทางวิชาการ รวมถึงทรัพยากรและสถานที่ในการทำการวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ บุคลากรและนักศึกษาภายในคณะฯ ที่มีส่วนร่วมในการทดสอบและประเมินผล รวมถึงการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบและพัฒนารถบรรทุกไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับการใช้งานในภาคเกษตรกรรม

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2565). **ตัวชี้วัดแรงงาน พ.ศ. 2565**. สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2567, จาก https://www.nso.go.th/nsoweb/storage/survey_detail/2023/20230627111610_46660.pdf

[2] ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2560). ***รายงานเศรษฐกิจและการเงิน.* ธนาคารแห่งประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2567, จาก https://www.bot.or.th/content/dam/bot/documents/th/thai-economy/state-of-thai-economy/annual-report/annual-econ-report-th-2565.pdf

[3] ปรารถนา มินเสน, & ภาคภูมิ ดาราพงษ์. (2019). **ประสิทธิผลการจัดการความรู้เพื่อเพิ่มศักยภาพของชุมชเกษตรกรจังหวัดเชียงใหม่ในกรอบประชาคมอาเซียน.** *วารสารการพัฒนาชุมชน และคุณภาพชีวิต*, 7(1), 35-46.

[4] เจตน์สฤษฎิ์ สังขพันธ์, ภณัชช์ ฉัตรคำนวณศิลป์ และ ปกรณ์ ลิ้ม โยธิน. (2024). **ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงราคาน้ำมันปาล์มดิบในประเทศไทย.** *Journal of Roi Kaensarn Academi*, 9(7), 995-1013.

[5] Mandel, I., & Lipovetsky, S. (2021). **Climate Change Report IPCC 2021–A Chimera of Science and Politics**. Available at SSRN 3913788.

[6] Eberle, U., & Helmolt, R. von. (2010). **Sustainable transportation based on electric vehicle concepts: a brief overview.** *Energy & Environmental Science*, *3*(6), 689-699.

[7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2562). ***แผนแม่บทการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก*. กระทรวงพลังงาน**.

[8] Blanco, V., Carpente, L., Hinojosa, Y., & Puerto, J. (2010). **Planning for agricultural forage harvesters and trucks: model, heuristics, and case study**. *Networks and Spatial Economics*, 10, 321-343.

[9] Gorjian, Shiva, et al. **The advent of modern solar-powered electric agricultural machinery: A solution for sustainable farm operations**. *Journal of cleaner production* 292 (2021): 126030

[10] Pascuzzi, S., Łyp-Wrońska, K., Gdowska, K., & Paciolla, F. (2024). **Sustainability Evaluation of Hybrid Agriculture-Tractor Powertrains**. *Sustainability*, *16*(3), 1184.

การประยุกต์ใช้เส้นใยไผ่ร่วมกับวัสดุเคมีสังเคราะห์เพื่อพัฒนาเป็นฉนวนกันความร้อนในอาคาร
Application of bamboo fibers combined with synthetic chemical materials to develop thermal insulation in buildings

นิกราน หอมดวง[1,*] คุณรังสฤษฏ คุณชัยมัง[3] อาทิตยา โปธิ[1] ประภัสสร รัตนไพบูลย์[1] นงเยาว์ เต๋จะใหม่[1] และ พัชรี อินธนู[2]
Nigran Homdoung[1,*], Rangsrith Koonchaimung[3], Athitaya pothi[1], Praphatsorn Rattanaphaiboon[1]
Nongyao Tejamai[1], and Patcharee Intanoo[2]

[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[2] ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290
[3] วิสาหกิจชุมชนกลุ่มจัดการเศษวัตถุดิบการเกษตรผาปัง อำเภอแม่พริก จังหวัดลำปาง 52180
[1] School of Renewable Energy, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290
[2] Industrial Chemistry Innovation, Faculty of Science, Maejo University, Sansai, Chiang Mai 50290
Pha Pang Agricultural Waste Management Community Enterprise, Mae Phrik, Lampang 52180
*Corresponding author: Tel: 084-1773632 E-mail address: nigranghd@gmail.com

Abstract

This research aimed to study the development of building insulation panels using natural materials combined with synthetic chemical materials to add value to bamboo fibers for future energy conservation applications in buildings. The research was studying the effects of flame-retardant modification on fire spread physical properties, bulk density and water absorption rate. The bamboo was used Sangmun bamboo (dendrocalamus sericeus) from the processing of chopsticks by the Pha Pang Agricultural Waste Management Community Enterprise in Lampang Province. The production of insulation was used bamboo scraps ground into powder and sorted by sieve size of 10 mesh or 0.5 mm. The other part of the bamboo was heated by a slow pyrolysis process at a temperature higher than 800 °C and activated with steam, then ground into powder similar to the preparation of bamboo powder. The production of insulation was used polyol, isocyanate, bamboo powder, activated carbon and flame retardant, mixed and poured into a 4.5 L square volume mold. The results was found that, the color of the insulation was white-gray, the bulk density was average of 66.4 kg/m^3, flame spread rating in vertical between of 364-422 mm/s and the horizontal fire spread rate was extinguished before 60s. The water absorption rate of PU foam insulation mixed with bamboo powder and activated carbon was calculated to be 3.61%. Overall, the development of insulation was very feasible. Some physical properties need to be adjusted to be suitable, when the properties meet the standards that will promote community innovation and be in line with the economic model approach to sustainable development of the country.

Keyword: bamboo fibers, synthetic chemicals, insulation, fire spread, activated carbon

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพัฒนาแผ่นฉนวนกันความร้อนในอาคารที่ใช้วัสดุธรรมชาติร่วมกับวัสดุเคมีสังเคราะห์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเส้นใยไผ่สำหรับการใช้ประโยชน์ในด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารในอนาคต งานวิจัยมีการศึกษาถึงผลการปรับสารต้านทานไฟที่มีต่อการลามไฟ รวมถึงการศึกษาลักษณะทางกายภาพ ความหนาแน่น และอัตราการดูดซึมน้ำ ไผ่ที่นำมาใช้เป็นไผ่ซางหม่นที่เหลือจากการแปรรูปไม้ไผ่เป็นตะเกียบของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มจัดการเศษวัตถุดิบการเกษตรผาปัง จังหวัดลำปาง การผลิตฉนวนได้นำเอาเศษไผ่มาบดเป็นผงและคัดขนาดด้วยตะแกรงขนาด10 mesh หรือ 0.5 mm ไผ่อีกส่วนถูกนำมาให้ความร้อนด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าที่อุณหภูมิสูงกว่า 800 $^{\circ}$C และกระตุ้นด้วยไอน้ำ นำมาบดเป็นผงคล้ายกับการเตรียมผงไผ่ การผลิตฉนวนกันความร้อนใช้ โพลิออล ไอโซไซยาเนต ผงไผ่ ถ่านกัมมันต์ และสารทนไฟ ผสมให้เข้ากันและเทลงในแม่แบบปริมาตรรูปทรง 4 เหลี่ยม ขนาด 4.5 L ผลการศึกษาพบว่าลักษณะสีของฉนวนเป็นสีขาวเทา มีความหนาแน่นปรากฏเฉลี่ย 66.4 kg/m^3 มีอัตราการลามไฟในแนวตั้งต่ำอยู่ในช่วง 364-422 mm/s และอัตราการลามไฟในแนวนอนดับก่อนเวลา 60s อัตราการดูดซึมน้ำของฉนวนกันความร้อนพียูโฟมผสมกับผงไผ่และถ่านกัมมันต์คำนวณได้ 3.61% ในภาพรวมของการพัฒนาฉนวนกันความร้อนมีความเป็นไปได้สูงมาก คุณสมบัติบางตัวจำเป็นต้องมีการปรับส่วนผสมเพื่อให้เหมาะสมเพิ่มเติม ซึ่งถ้าปรับได้ตามมาตรฐานได้แล้ว จะเป็นการส่งเสริมชุมชนให้มีนวัตกรรมในชุมชนของตนเองสอดคล้องกับนโยบายโมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: เส้นใยไผ่ เคมีสังเคราะห์ ฉนวนกันความร้อน การลามไฟ ถ่านกัมมันต์

บทนำ

โมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน หรือบีซีจีโมเดล (BCG model) เป็นยุทธศาสตร์ที่ประเทศไทยพยายามขับเคลื่อน เป้าหมายของโมเดลเศรษฐกิจคือ การแปรรูป การเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรหรือความหลากหลายทางชีวภาพด้วยองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม [1] ไผ่หรือไม้ไผ่ (Bamboo) เป็นพืชอีกชนิดที่ภาครัฐให้ความสนใจและส่งเสริมเป็นพืชยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศ เนื่องจากไผ่เป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตได้เร็วที่สุดในโลก สามารถเป็นได้ทั้งอาหารและเป็นวัสดุสำหรับการผลิตเครื่องใช้ไม้สอยได้อย่างหลากหลาย ไผ่สามารถปลูกได้ง่าย สามารถปลูกได้ทุกพื้นที่ของประเทศไทย นอกจากนี้ไผ่ยังเป็นพืชที่ช่วยแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อนได้เป็นอย่างดี [2] ด้วยกระแสของการพัฒนาไผ่ให้เป็นวัสดุที่มีมูลค่าสูงตามแนวทางบีซีจีโมเดล เทคโนโลยีวัสดุคอมโพสิตจึงเป็นอีกเทคโนโลยีที่น่าสนใจ เทคโนโลยีคอมโพสิตเป็นการนำเอาวัสดุทางเคมี 2 ชนิด หรือมากกว่ามาผสมกันจนเกิดวัสดุชนิดใหม่และทำให้วัสดุนั้นดีขึ้น [3] เพื่อตอบโจทย์ให้ตรงกับอุตสาหกรรมเป้าหมายด้านอุตสาหกรรมพลังงานและวัสดุ งานวิจัยนี้จึงได้ให้ความสนใจในการพัฒนาฉนวนกันความร้อนเพื่อใช้กับอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและการลดโลกร้อนในอนาคต โดยมุ่งเน้นการนำไผ่มาใช้ประโยชน์โดยตรงโดยการผลิตเป็นถ่านกัมมันต์ และนำถ่านนั้นมาเป็นส่วนผสมที่มีประโยชน์และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับฉนวนกันความร้อน โดยมีการศึกษาพัฒนาสัดส่วนผสมของวัสดุ การพัฒนาเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อนและการนำเอาฉนวนกันความร้อนไปทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาและทดลองจะเป็นข้อมูลพื้นฐานด้านการพัฒนาวัสดุฉนวนกันความร้อน การเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเพื่อการนำไปต่อยอดให้ผู้ประกอบการในวงการก่อสร้าง วิสาหกิจชุมชน และการวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาไผ่ไทยให้เป็นวัสดุคอมโพสิตในอนาคต

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมไผ่และถ่านกัมมันต์

ไผ่ที่นำมาใช้เป็นองค์ประกอบในการผลิตฉนวนกันความร้อนเป็นไผ่ซางหม่น ได้มาจากชุมชนบ้านผาปัง อำเภอแม่พริก จังหวัดลำปาง ไผ่นี้เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตตะเกียบของวิสาหกิจชุมชนบ้านผาปัง การนำมาใช้งานเป็นองค์ประกอบของฉนวนกันความร้อนต้องนำไผ่มาบดให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด ขนาด 1,492 W สามารถบดไผ่ได้ในช่วง 20-50 kg/h จากนั้นนำไผ่มาร่อน คัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 0.5 mm ในส่วนของถ่านกัมมันต์ได้นำเอาเศษไผ่ที่เหลือจากกระบวนการผลิตตะเกียบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3-5 mm และมีความยาวอยู่ในช่วง 20-25 cm มาให้ความร้อนด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า ควบคุมอุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงกว่า 900 $^{\circ}$C จากนั้นนำถ่านมากระตุ้นด้วยไอน้ำเพื่อสร้างและเพิ่มขนาดรูพรุนให้สูงขึ้น โดยเฉลี่ยขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์ทั่วไปจะอยู่ในช่วง 500-2000 m^2/g [4] ลักษณะของถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีลักษณะแท่งสีดำ จากนั้นนำถ่านกัมมันต์มาบดเป็นผงและร่อนคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อนสารเคมีขนาด 3.5 μm ผงไผ่และถ่านกัมมันต์ที่เตรียม แสดงดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ผงไผ่ซางหม่นและผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในการทดลอง

2. วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ ผลิตฉนวนกันความร้อน

กระบวนการผลิตฉนวนกันความร้อนนอกเหนือจากไผ่และถ่านกัมมันต์แล้วยังมีสารประกอบที่เป็นวัสดุเคมีอีก 3 ชนิด ประกอบด้วย โพลีออล ไอโซไซยาเนต และสารทนไฟ โพลีออลที่นำมาใช้เป็นชนิดที่ใช้ในการผลิตโฟม มีคุณสมบัติความยืดหยุ่นและความหนาแน่นสูง มีความสามารถในการกระจายความแข็งแรงได้ดี ในส่วนของไอโซไซยาเนต เป็นเรซินใช้ทำกาวหรือผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวกับสารเคลือบแข็ง สารนี้เมื่อแข็งตัวจะทำปฏิกิริยาทางเคมีที่มีโครงสร้างเป็น 3 มิติ โฟมโพลียูรีเทนขยายตัวสูงนั้นเกิดจากปฏิกิริยาการคลายความร้อนระหว่างโพลีออลและไอโซไซยาเนตที่ผสมกันในสัดส่วนปริมาตรเฉพาะ [4] โฟมโพลียูรีเทนมีอัตราการขยายตัวเชิงปริมาตรเท่ากับหรือมากกว่า 20 เท่าของปริมาตรเริ่มต้น เมื่อขยายตัวอย่างอิสระระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาในการสร้างโฟมจะใช้เวลาทั่วไปอยู่ในช่วง 30 s - 2 minซึ่งเป็นกระบวนการที่รวดเร็วมาก [5] สารสุดท้ายจะเป็นในส่วนของสารทนไฟ สารนี้มีคุณสมบัติในการชะลอหรือยับยั้งการกระจายตัวของเปลวไฟ และสามารถป้องกันความร้อนได้ในขณะอุณหภูมิสูง ในส่วนของเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตฉนวนกันความร้อนจะประกอบด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล 2 ตำแหน่ง และแม่พิมพ์การผลิตฉนวนกันความร้อน เครื่องชั่งที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ของ OHAUS รุ่น PR4202/E ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 4200 g ค่าความละเอียด 0.01 g แม่พิมพ์การผลิตฉนวนกันความร้อนดัดแปลงใช้ภาชนะอลูมิเนียมขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา 30x30x2.54 cm ฝาด้านบนใช้แผ่นเหล็กบางขนาด 1-2 mm ที่มีพื้นที่มากกว่าภาชนะอลูมิเนียม ฝานี้ใช้ปิดและกดทับสารเคมีขณะทำปฏิกิริยา

3. การผลิตฉนวนกันความร้อน

การสร้างฉนวนกันความร้อนใช้สารประกอบ 2 ชนิด ได้แก่ โฟมขาวโพลิออล (Polyol) และโฟมดำไดไอโซไซยาเนต (Diisocyanate) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยโฟมขาวโพลิออล มีลักษณะเป็นของเหลวสีออกเหลืองครีม ส่วนและโฟมดำไดไอโซไซยาเนตมีลักษณะเป็นของเหลวสีเข้มๆ โทนดำ การขึ้นรูปเริ่มจากการชั่ง โฟมขาว โฟมดำ ผงไผ่ ถ่าน และสารทนไฟ ในอัตราส่วน 43% 43% 4% 4% และ 4% ตามลำดับ จากนั้นนำผงถ่านกัมมันต์ ผงไผ่ และสารทนไฟ เทลงในโฟมขาวผสมให้เข้ากัน สุดท้ายนำโฟมดำมาเทใส่ในสารที่ผสมไว้ ผสมให้เข้ากันเป็นระยะเวลา 10–20 s ทำการเทลงในแม่แบบขนาดความกว้าง ความยาว และความสูง 30x30x5 cm จากนั้นใช้แผ่นโลหะหนา 5 mm วางบนแม่แบบ ใช้ก้อนอิฐบล็อควางทับไม่ได้แผ่นโลหะดันออกประมาณ 5 min แกะแผ่นโลหะออกและนำเอาฉนวนกันความร้อนออกจากแม่พิมพ์

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ความหนาแน่นฉนวนกันความร้อนได้ดำเนินการตัดชิ้นงานขนาด 3x3x2 cm มาทดสอบกับเครื่องวัดความหนาแน่น Alfa Mirage รุ่น MDS-300 มีความละเอียดในการวัด 0.001 g/m^3 การทดสอบการลามไฟได้อ้างอิงวิธีการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D635-98 การทดสอบดำเนินการตัดชิ้นงานของฉนวนกันความร้อนขนาด 12.5x12.5x1.3 cm ดำเนินการจุดไฟที่ปลายชิ้นงานจับเวลาเมื่อเปลวไฟลามไปที่ตำแหน่ง 2.5 cm จากปลายชิ้นงานจากนั้นหยุดเวลาเมื่อไฟลามไปที่ตำแหน่ง 7.5 cm ดำเนินการคำนวณค่าการลามไฟจากจุดเริ่มต้นของการจับเวลาถึงหยุดเวลา การดูดซึมน้ำได้ดำเนินการตัดชิ้นงานขนาด 3x3x2 cm จากนั้นนำไปหาน้ำหนักเริ่มต้นและการนำไปแช่ในน้ำให้ขอบบนอยู่ใต้น้ำลึกประมาณ 2 cm แช่ชิ้นงานไว้ทั้งหมด 2 h จากนั้นนำไปหาน้ำหนักเริ่มต้นสุดท้าย สมการวิเคราะห์การลามไฟและการดูดซึมน้ำ แสดงดังสมการที่ 1-2 [6]

$$V = \frac{60L}{t}$$

เมื่อ V คือ อัตราการลามไฟ มีหน่วยเป็น mm/s L คือ ระยะของการลามไฟ มีหน่วยเป็น mm และ t คือ เวลาของการเผาไหม้มีหน่วยเป็น s

$$W_A = \frac{W_a - W_i}{W_i} \times 100$$

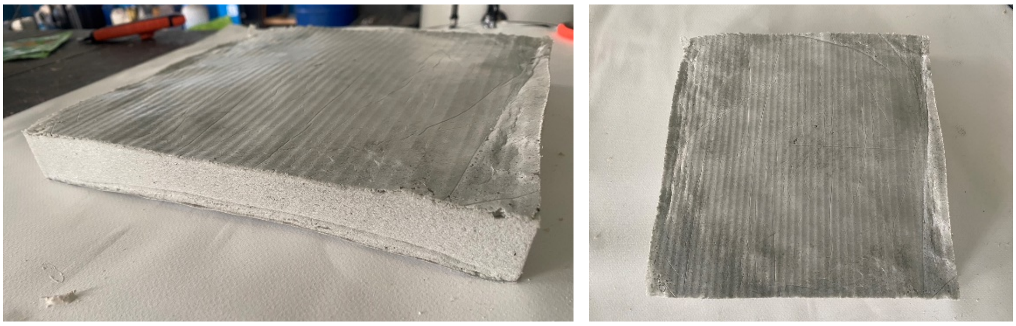
เมื่อ W_A คือ ค่าการดูดซึมน้ำ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) W_i คือ น้ำหนักของฉนวนกันความร้อนก่อนแช่น้ำมีหน่วยเป็นกรัม (g) W_a คือน้ำหนักหลังแช่น้ำมีหน่วยเป็นกรัม (g)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

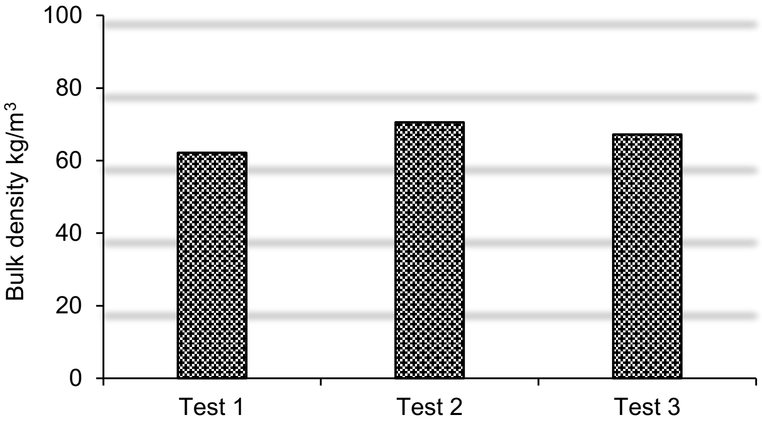
1. การวิเคราะห์สี รูปร่าง พื้นผิว และความหนาแน่น

ภาพที่ 2 แสดงฉนวนกันความร้อนพียูโฟมที่มีส่วนผสมของเส้นไผ่ในรูปแบบถ่านกัมมันต์และผงไผ่ ในด้านของสีพบว่าสีของฉนวนแปรเปลี่ยนไปตามลักษณะของสีโฟมขาวและโฟมดำ โดยปกติถ้าผสมโฟมขาวมากเนื้อของฉนวนกันความร้อนจะออกสีเหลืองและถ้าผสมโฟมดำปริมาณมากฉนวนจะออกสีดำอ่อน และเมื่อผสมในสัดส่วนที่เท่ากันสีฉนวนกันความร้อนจะออกเป็นสีเทา โดยทั่วไปโครงสร้างฉนวนกันความร้อนพียูโฟมจะมีโครงสร้างเป็นเซลล์ปิดแบบสภาวะสุญญากาศด้วยเหตุนี้ฉนวนจึงมีน้ำหนักเบา [7] สามารถในการป้องกันความร้อนได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ ที่มีความหนาแน่นต่อขนาดพื้นที่เท่ากัน แผ่นฉนวนกันความร้อนที่ใช้พียูโฟมยังมีสามารถป้องกันน้ำ ป้องกันความชื้น ป้องกันเสียงได้ดี การผสมถ่านกัมมันต์จะช่วยในเรื่องการดูดซับกลิ่นได้ ในส่วนของผิวด้านบนจะมีพื้นผิวตามแม่แบบและแผ่นประกบด้านบนด้านความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อนมีความหนาแน่นเฉลี่ย 66.4 kg/m^3 ซึ่งสูงกว่าแผ่นฉนวนพียูโฟมธรรมดา ดัง

ภาพที่ 3 โดยทั่วไปฉนวนกันความร้อนพียูโฟมมีความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 16-113 kg/m^3 [8] การเพิ่มขึ้นความหนาแน่นเกิดจากการเติมวัสดุเส้นใยไผ่และการใช้มวลโฟมขาวและโฟมดำต่อปริมาตรที่สูง



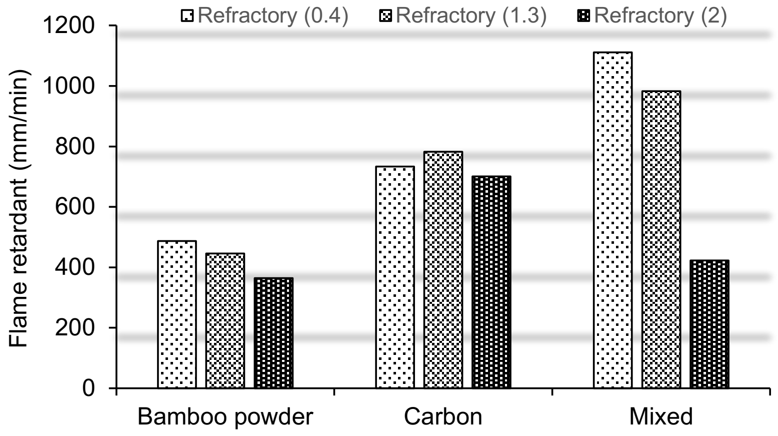
ภาพที่ 2 ลักษณะสี รูปร่าง และพื้นผิว แผ่นฉนวนกันความร้อนผสมเส้นใยไผ่



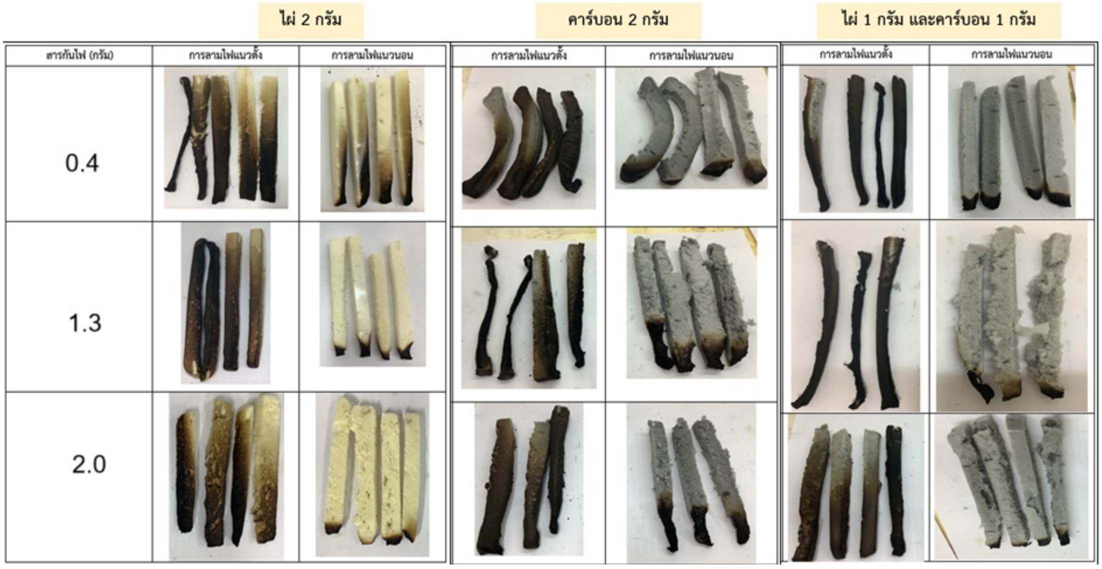
ภาพที่ 3 ความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกันความร้อน

2. การวิเคราะห์อัตราการลามไฟ

ภาพที่ 4 แสดงผลการทดสอบอัตราการลามไฟของฉนวนกันความร้อนในแนวตั้งที่ใช้ส่วนผสมถ่านกัมมันต์ร่วมกับเส้นใยไผ่ ผลการทดสอบพบว่าการเพิ่มสัดส่วนของสารต้านทานการลามไฟจะทำให้อัตราการลามไฟลดต่ำลง การลดลงของอัตราการลามไฟจะช่วยในด้านการลดความเสียหายของอาคารเมื่อมีอุบัติเหตุเกิดไฟไหม้ในอาคาร [10] โดยปกติแล้วมาตรฐานการลามไฟในแนวตั้งของวัสดุฉนวนกันความร้อนประเภทพียูโฟมการเผาไหม้จะต้องหยุดลงภายใน 60s หรือมีอัตราการเผาไหม้ไม่เกิน 75 mm/s จากภาพการใช้ผงไผ่และการใช้ผงไผ่ผสมกับถ่านกัมมันต์จะให้ค่าอัตราการลามไฟต่ำที่สุด เฉลี่ยอยู่ในช่วง 364-422 mm/s ซึ่งสูงกว่ามาตรฐาน ดังนั้นในการพัฒนาฉนวนนี้ให้ได้ตามมาตรฐานกำหนดจำเป็นต้องเพิ่มสารต้านทานการลามไฟให้สูงขึ้น โดยบางงานวิจัยหรือผลิตภัณฑ์อาจเพิ่มสูงถึง 15% และในส่วนของการวิเคราะห์อัตราการลามไฟในแนวนอนจะพบว่าการเผาไหม้พียูโฟมผงไผ่ผสมกับถ่านกัมมันต์จะดับก่อนเวลา 60s ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้



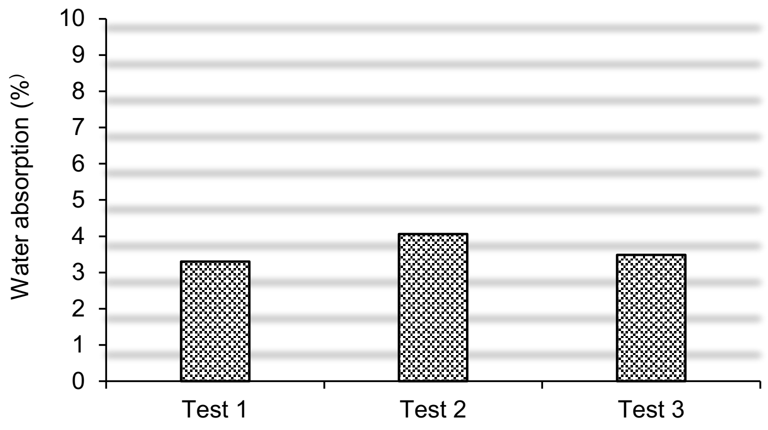
ภาพที่ 4 อัตราการลามไฟของแผ่นฉนวนกันความร้อน



ภาพที่ 5 ลักษณะการลามไฟของแผ่นฉนวนกันความร้อน

4. การวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ

ภาพที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซึมน้ำของพียูโฟมกับการใช้ผงไผ่ผสมกับถ่านกัมมันต์ โดยพบว่าค่าเฉลี่ยของการดูดซึมน้ำคำนวณได้ 3.61% อัตราการดูดซึมน้ำของฉนวนกันความร้อนสูงจะส่งผลต่อการเกิดเชื้อรา แบคทีเรีย และกลิ่นเหม็นอับเมื่อมีการนำไปใช้งาน [11] อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของการดูดซึมน้ำของฉนวนพียูโฟมทั่วไปจะมีค่าไม่เกิน 2% การเพิ่มขึ้นของอัตราการดูดซึมน้ำนั้นเกิดจากสัดส่วนของโพลีออล ไอโซไซยาเนต วัสดุผงไผ่และถ่านกัมมันต์ที่ผสมยังไม่เหมาะสม องค์ประกอบของวัสดุเหล่านี้จะส่งผลต่อพฤติกรรมการเกิดโฟมในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพและสัณฐานทางวิทยา [12]และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในการผลิตฉนวนกันความร้อน การใช้พียูโฟมผสมกับผงไผ่ร่วมกับถ่านกัมมันต์จะให้อัตราการดูดซึมต่ำกว่า [13]



ภาพที่ 6 ลักษณะการดูดซึมน้ำของแผ่นฉนวนกันความร้อน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและสร้างนวัตกรรมที่มุ่งเน้นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปไม้ไผ่ โดยมีการนำเอาผงไผ่และถ่านกัมมันต์ไปเป็นส่วนประกอบในการสร้างฉนวนกันความร้อนประเภทโพลียูรีเทนโฟม สำหรับการอนุรักษ์พลังงานในอาคารในอนาคต ผลการศึกษาและทดสอบเบื้องต้นมีความเป็นไปได้สูงมากที่จะนำเอาเศษวัสดุเหลือทิ้งการแปรรูปไม้ไผ่มาใช้งานร่วมกับโพลียูรีเทนโฟม ขณะเดียวกันอาจมีผลบางค่าที่ยังไม่เป็นไปตามเป้าหมาย แต่ก็เชื่อว่าจะสามารถพัฒนาต่อไปได้ โดยสีของสร้างฉนวนกันความร้อนที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะเป็นสีขาวออกเทา มีความหนาแน่นเฉลี่ย 66.4 kg/m^3 การทดสอบการลามไฟ เบื้องต้นจำเป็นต้องเพิ่มสารต้านทานการไฟให้สูงขึ้น เพื่อให้ค่าอัตราการลามไฟบางค่าเป็นไปตามมาตรฐาน ในส่วนของอัตราการดูดซึมน้ำ จำเป็นต้องปรับส่วนผสมของโพลีออล ไอโซไซยาเนต สารทนไฟและวัสดุจากไผ่ให้เหมาะสม ในภาพรวมของการพัฒนาฉนวนกันความร้อนพียูโฟมร่วมกับไผ่และถ่านกัมมันต์ สามารถทำได้ และในอนาคตถ้าส่วนผสมมีความชัดเจนและเหมาะสมจะสามารถส่งเสริมให้ชุมชน วิสาหกิจ และผู้ประกอบการ พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างรายได้ให้กลุ่มตนเองได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 1 ที่ให้ทุนสนับสนุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ในกิจกรรมการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเส้นใยชีวภาพ ภายใต้โครงการยกระดับธุรกิจ SME ด้วยการประยุกต์ใช้โมเดลเศรษฐกิจ BCG ประจำปีงบประมาณ 2567 ขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชนกลุ่มจัดการเศษวัตถุดิบการเกษตรผาปังที่สนับสนุนแนวคิด วัสดุไผ่ และเคมีภัณฑ์ ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนการใช้พื้นที่เครื่องมือสำหรับการศึกษาวิจัย และขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศในด้านวิศวกรรมพลังงาน สิ่งแวดล้อมและการแก้ไขปัญหาภัยพิบัติหมอกควันที่สนับสนุนนักวิจัยในการร่วมพัฒนาโพลียูรีเทนโฟมผสมเส้นใยไผ่

เอกสารอ้างอิง

[1] สมพร ปานดำ. (2564). BCG Model กับ อาชีวศึกษาไทย. **วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.** 6 (2), 13-22.

[2] ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก, ประสบโชค รื่นสุข และเยาวพา จิระเกียรติกุล. การศึกษาการเจริญเติบโตของไผ่4 สายพันธุ์. **วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.** 4 (3), 302-309.

[3] ณัฐพล เกษางาม และวรุต ธรรมวิชัย. (2565). การเตรียมและสมบัติต้านแรงดัดของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็ก โดยมีอีพ็อกซีเรซินเป็นเนื้อสาร. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ**. 18 (2), 40-56.

[4] Nuno V. Gama, Artur Ferreira and Ana Barros-Timmons. (2018). **Polyurethane Foams: Past, Present, and Future.** Materials. 11.

[5] ธมนวรรรณ สืบพงศ์, วรัช ก้องกจิกลุ และ พรเทพ ม่วงสุขำ. (2563). อิทธิพลของความหนาแน่นที่มีต่อสมบัติทางวิศวกรรมเทคนิคธรณีของโฟมโพลียูเทนขยายตัวสูง. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.** 27 (2), 39-51.

[6] โรสลีนา อนันตนุกูลวงศ์, นูรีซัน มะรีเกะ, อาแอเสาะ สะดียามู และนาเดียร์ ปี. (2567). การศึกษาสมบัติของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร กรณีศึกษา : ขี้เลื่อย เส้นใยกากมะพร้าว และเส้นใยผักตบชวา. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มธย.** 9 (2), 50-61.

[7] Ákos Lakatos, Máté Csontos and Attila Csík. (2023). Investigation of both thermal parameters and applications of closed-cell plastic thermal insulation foams with building energetic aspects. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry.**

[8] Wit Witkiewicz, Andrzej Zielińsk. (2006). Properties of the polyurethane (pu) light foams. **ADVANCES IN MATERIALS SCIENCE**. 6.2 (10), 35-51.

[9] Angelica Cifarelli, Laura Boggioni, Adriano Vignali, Incoronata Tritto, Fabio Bertini and Simona Losio. (2021). **Flexible Polyurethane Foams from Epoxidized Vegetable Oils and a Bio-Based Diisocyanate**. Polymers. 13. 612, 1-21.

[10] Inês Soares, Joana Lia Ferreira, Helena Silva and Maria Paula Rodrigues. (2024). Fire-retardant and fire-resistant coatings: From industry to the potential use on cultural heritage. **Journal of Cultural Heritage.** 316-327.

[11] Kaito Watanabe, Masahiro Kaneko, Xianzhu Zhong, Kenji Takada, Tatsuo Kaneko, Mika Kawai and Tetsu Mitsumata. (2024). **Effect of Water Absorption on Electric Properties of Temperature-Resistant Polymers**. Polymers. 16.521.

[12] C. Oppona, Hackneya, I. Shyhaa, M. Birketta. Effect of Varying Mixing Ratios and Pre-Heat Temperature on the Mechanical Properties of Polyurethane (PU) Foam. **Procedia Engineering**. 132, 701-708.

[13] จิราภรณ์แก้วพรม และ จารุณี เข็มพิลา. (2565). การพัฒนาฉนวนความร้อนจากต้นกกช้างผสมเปลือกไข่ไก่. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งรัตนโกสินทร์**. 4 (3), 1-11.

ระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัส
The Automatic Classification Waste Contactless System

พัสตราภรณ์ อินสุข[1*] ชาริณีย์ คุ้มขุน[1] ปนัดดา มะลิพรม[1] อัษฎางค์ บุญศรี[1] และ วรวุฒิ บุตรดี[1]
Pattaporn insuk[1*], Charinee KhumKhun[1], Panadda Malirom[1], Ussadang Boonsri[1], and Worawut buddee[1]

[1]สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000
[1]Energy Technology Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University
Kamphaeng Phet 62000.
[*]Corresponding author: Tel: 0827973700. E-mail pattaproninsuk743@gmail.com

Abstract

This article presents the design and construction of an automatic classification waste contactless system. The structure of width, length and height equal to 30x130x50 centimeters to place 3 general bins, plastic bottles and metals, with 3 28-BYJ-48 stepping motors, 2 general object and 1 metal detection sensors for opening and closing the lid of the bin, controlled via a NodeMCU microcontroller board. The result divided into 2 topics: 1) testing the efficiency of the bin mechanism and 2) testing the efficiency and accuracy of the system. It was found that in topic 1, the system was correctly according to the 3 types of waste can work with a maximum efficiency of 100 percent, showing that the researcher's system has developed is accurate and can effectively respond to user needs. It is suitable for use in public areas. It can also help reduce the time classify waste for recycling and promote the reduction of global warming in the Zero Waste policy.

Keywords: Automatic System, Classification, Waste, Contactless

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัส ที่มีโครงสร้างชิ้นงาน ความกว้าง ความยาว ความสูง เท่ากับ 30x130x50 เซนติเมตร เพื่อวางถังขยะประเภท ทั่วไป ขวดพลาสติก และ โลหะ จำนวน 3 ถัง พร้อมติดตั้งสเต็ปปิ้งมอเตอร์ รุ่น 28-BYJ-48 จำนวน 3 ตัว เซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุแบบทั่วไปจำนวน 2 ตัว และ ตัวตรวจจับแบบโลหะ จำนวน 1 ตัว สำหรับเปิด-ปิดฝาถังขยะ สั่งการผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 หัวข้อ คือ 1) การทดสอบประสิทธิภาพกลไกการทำงานของถังขยะ และ 2) การทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของระบบ พบว่า ในหัวข้อที่ 1 ระบบสามารถทำการเปิด-ปิดกลไกได้ถูกต้องตามประเภทของขยะทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้ ผลการทดสอบในหัวข้อที่ 2 คือ ความถูกต้องของระบบสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 100 แสดงให้เห็นว่าระบบผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับที่จะนำไปใช้ในที่สารธารณะ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดเวลาในการคัดแยกขยะมาแปรสภาพ (Recycle) และส่งเสริมการลดภาวะโลกร้อน ตามแนวทางนโยบายของ Zero Waste

คำสำคัญ: ระบบอัตโนมัติ การคัดแยก ขยะ ไร้สัมผัส

บทนำ

ขยะมูลฝอยหรือขยะทั่วไปเป็นปัญหาของคนส่วนใหญ่ ซึ่งในสังคมปัจจุบันยังไม่มีการจัดการที่ดี รวมถึงภาคครัวเรือน ที่มีการทิ้งขยะ หรือสิ่งปฏิกูลทุกวัน โดยที่ไม่ได้มีการแยกขยะที่สามารถนำไป Recycle ได้ เช่น ขวดพลาสติก ขวดแก้ว และกระป๋อง อีกทั้งประเทศไทยเป็นเมืองการเกษตร ขยะอินทรีย์ หรือสารเคมีจากปุ๋ย ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงคนส่วนใหญ่ในยุคปัจจุบันไม่คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นทำให้ปัจจุบันมีขยะมูลฝอยหรือขยะอินทรีย์เพิ่มมากขึ้นตามจำนวนของประชากรที่เพิ่มขึ้น ถ้าหากปัญหาเหล่านี้ยังไม่ได้รับการจัดการที่ดีให้เหมาะสมกับปัญหาขยะที่เกิดขึ้น อาจทำให้เกิดปัญหาทางด้านสุขอนามัย เช่น ปัญหาเรื่องส่งกลิ่นเหม็นและปัญหาเรื่องเชื้อโรคแบคทีเรีย

ปัจจุบันถังขยะมีจำนวนมาก แต่ถังขยะส่วนใหญ่เกิดการชำรุดอยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีการใช้มาเป็นเวลานาน เช่นฝาถังชำรุด ถังขยะมีรอยแตกร้าว ทำให้ผู้คนที่มาทิ้งขยะหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับถังขยะ จะมีขยะที่กองอยู่ข้างถัง และไม่มีการคัดแยกขยะก่อนนำไปทิ้งส่งผลให้ขยะทุกประเภทเกิดการสะสมกลายเป็นแหล่งของเชื้อโรค และแบคทีเรีย อาจจะทำให้ผู้คนที่มาทิ้งขยะติดเชื้อโรคจากการสัมผัสกับถังขยะ ซึ่งที่ผ่านมามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถังขยะอัจฉริยะ อาทิเช่น อานนท์ และ ธิติมา [1] ได้ทำถังขยะอัจฉริยะ ที่สามารถเปิด-ปิดได้อัติโนมัติ เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บขยะโดยจะมีเซ็นเซอร์อินฟราเรดเป็นตัวจับความเคลื่อนไหวของคนที่เดินมาทิ้งขยะ เซ็นเซอร์อินฟาเรดจะสั่งการไปที่ limit switch จากนั้น limit switch จะเป็นตัวควบคุมมอเตอร์ให้ทำการเปิด-ปิดฝาถังขยะ และเซ็นเซอร์อินฟราเรดจะเป็นตัววัดปริมาณวัตถุหรือขยะที่เข้ามาในถังขยะ ถ้ามีปริมาณขยะมากหรือเต็มจะแจ้งเตือนผ่านเว็บไซต์พร้อมแจ้งเตือนผ่านเสียงบลัซเซอร์ ระบบจะแสดงตำแหน่งของถังขยะ โดยจะมีโมดูล GPS เป็นตัวบอกตำแหน่งผ่าน google map และจะแจ้งเตือนไปยังเว็บไซต์ ถัดมาคือ และคณะฯ [2] ออกแบบถังขยะโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM STM32F4 Series ควบคุมการทำงาน มีเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ เซนเซอร์วัดค่าระดับด้วยอัลตร้าโซนิก เซนเซอร์วัดค่าระยะทางด้วยอินฟาเรด และเซนเซอร์วัดค่าน้ำหนักด้วยโหลดเซลล์ ส่วนแสดงผลข้อมูล ควบคุมการเปิดและปิดถังด้วยเซอร์โวมอเตอร์ ต้นแบบถังขยะอัจฉริยะสามารถแจ้งเตือนปริมาณขยะ สามารถแสดงระดับของขยะ และแสดงน้ำหนักของขยะที่อยู่ภายในถัง รวมทั้งแสดงค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในถัง สำหรับระยะการตอบสนองของเซนเซอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเปิดปิดฝาถังขยะมีค่าอยู่ในช่วง 20-50 ซม. และในการเปิดฝาถังขยะแต่ละครั้งใช้ระยะเวลาการคงสถานะการเปิดฝาถังขยะประมาณ 7-9 วินาที คิดเป็นระยะเวลาเฉลี่ย 7.4+0.9 วินาที โดยงานวิจัยนี้จะมีส่วนช่วยในการส่งเสริมการจัดการขยะที่ต้นทางอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดปัญหาขยะตกค้างสะสม ถังขยะสามารถบอกระดับของขยะที่อยู่ภายในถังขยะได้ บอกน้ำหนักของขยะที่อยู่ภายในถังได้ บอกอุณหภูมิภายในภายในถังได้ บอกความชื้นภายในภายในถังขยะได้ เปิดฝาถังขยะได้เมื่อมีคนอยู่ในระยะเซ็นเซอร์

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัส โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU มาควบคุมตัวตรวจจับวัตถุแบบทั่วไปและแบบโลหะในการคัดแยกประเภทของขยะ ผ่านกลไกสเต็ปปิ้งมอเตอร์ในการเปิดฝาถัง เพื่ออำนวยความสะดวก ถูกสุขลักษณะ และช่วยลดการสัมผัสกับถังขยะ นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อสารธารณะในการนำขยะมาแปรสภาพ (Recycle) และ ช่วยลดโลกร้อน ตามแนวทางนโยบายของ Zero Waste

วิธีการดำเนินการวิจัย

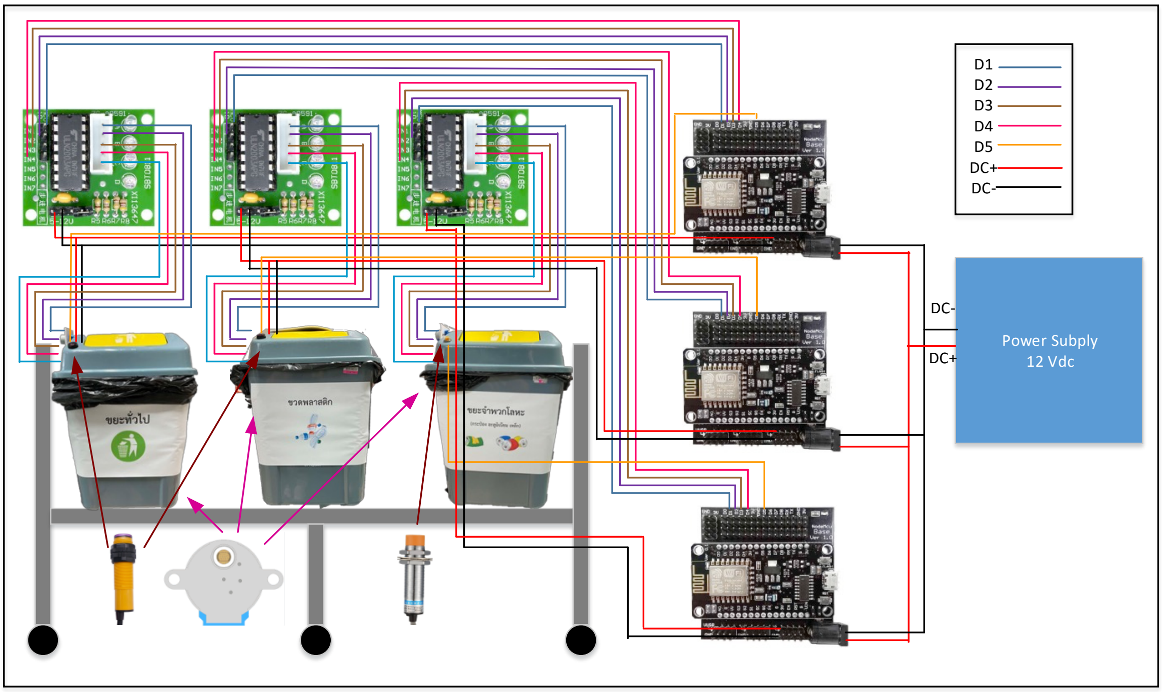
การศึกษาวิจัยเรื่องระบบระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัสเพื่อให้วิจัยครั้งนี้ดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพ คณะผู้วิจัยจึงได้กำหนดรูปแบบวิจัย ตามลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษาเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและสร้างระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัส
3. ทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานของระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัส

4. เก็บข้อมูลระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัส
5. วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย

การออกแบบระบบระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัส

หลังจากที่ได้ศึกษาเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ทำให้ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัสชิ้นงานวิจัยที่มีความสูง 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 130 เซนติเมตร เพื่อวางถังขยะระบบคัดแยกขยะ ที่มีความขนาด 27 × 37 × 35 เซนติเมตรจำนวน 3 ถัง พร้อมติดตั้ง Stepping Motor รุ่น 28-BYJ-48 จำนวน 3 ตัว พร้อมเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ จำนวน 3 ตัว ประกอบด้วย เซ็นเซอร์ทั่วไป 2 ตัว และ เซ็นเซอร์โลหะ จำนวน 1 ตัว สำหรับเปิด-ปิดฝาถังขยะ โดยระบบจะทำงานผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU โดยมีกระบวนการทำงานทั้งหมด เริ่มจากการแตะเซ็นเซอร์ตัวตรวจจับวัตถุแบบทั่วไปและโลหะที่ อินพุต D5 ทำให้ฝาถังเปิด จากนั้นจะทำการสั่งเอาพุต D1 D2 D3 D4 ไปที่ชุดไดรฟ์ ULN2003 ทำให้ Stepping Motor รุ่น 28-BYJ-48 ทำงาน โดยจะหมุนตาม ตามเข็มนาฬิกา 90 องศา เพื่อเปิดฝาถังขยะ และจะค้างไว้ 3 วินาที และ หมุนกลับ 90 องศา เพื่อปิดฝาถังขยะ โดยแสดงตัวอย่างการออกแบบระบบได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่1 การออกแบบระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัส

ต่อมาผู้วิจัยได้นำการออกแบบระบบการควบคุมการเปิด-ปิดของถังขยะในภาพที่ 1 มาสร้างเป็นระบบทดสอบกับถังขยะจริง เพื่อลดการสัมผัสกับถังขยะ โดยแสดงตัวอย่างได้ดังภาพที่ 2

(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

ภาพที่ 2 การสร้างระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัสที่ได้พัฒนาขึ้น

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการคัดแยกขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัส โดยจะทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบจะแบ่งการทดสอบเป็น 2 หัวข้อ คือ 1) การทดสอบประสิทธิภาพกลไกการทำงานของถังขยะ และ 2) การทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของระบบ สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

1. การทดสอบประสิทธิภาพกลไกการทำงานของถังขยะ

ในการทดสอบประสิทธิภาพกลไกการทำงานของถังขยะ จะใช้จำนวนถังขยะทั้งหมด 3 แบบ คือ 1. ถังขยะประเภททั่วไป 2. ถังขยะประเภทขวดพลาสติก และ 3. ถังขยะประเภทโลหะ โดยมีผลทดสอบดังนี้

1.1 การทดสอบประสิทธิภาพกลไกการทำงานของถังขยะประเภททั่วไป

(ก) เริ่มต้นกลไก (ข) ฝาถังเปิด (ค) ฝาถังปิด

ภาพที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพกลไกการทำงานของถังขยะประเภททั่วไป

ในภาพที่ 3 เป็นผลทดสอบของกลไกการทำงานของถังขยะประเภททั่วไป เริ่มจากนำขยะประเภททั่วไปมาแตะตัวตรวจจับวัตถุแบบทั่วไป ดังภาพที่ 3(ก) จากนั้น จะทำการสั่งเอาพุต D1 D2 D3 D4 ไปที่ชุดไดรฟ์ ULN2003 ทำให้ Stepping Motor รุ่น 28-BYJ-48 ทำงาน โดยจะหมุนตามเข็มนาฬิกา 90 องศา ในแนวตั้ง เพื่อเปิดฝาถังขยะ ดังภาพที่ 3 (ข) และ จะค้างไว้ 3 วินาที และ หมุนกลับ 90 องศา เพื่อปิดฝาถังขยะ ดังภาพที่ 3(ค) ตามลำดับ

1.2 การทดสอบประสิทธิภาพกลไกการทำงานของถังขยะประเภทขวดพลาสติก

(ก) เริ่มต้นกลไก

(ข) ฝาถังเปิด

(ค) ฝาถังปิด

ภาพที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพกลไกการทำงานของถังขยะประเภทขวดพลาสติก

จากภาพที่ 4 เป็นผลทดสอบของกลไกการทำงานของถังขยะประเภทขวดพลาสติก เริ่มจากนำขยะประเภทขวดพลาสติกมาแตะตัวตรวจจับวัตถุแบบทั่วไป ดังภาพที่ 4(ก) จากนั้น จะทำการสั่งเอาพุต D1 D2 D3 D4 ไปที่ชุดไดรฟ์ ULN2003 ทำให้ Stepping Motor รุ่น 28-BYJ-48 ทำงาน โดยจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา 90 องศา ในแนวนอน เพื่อเปิดฝาถังขยะ ดังภาพที่ 4(ข) และ จะค้างไว้ 3 วินาที และ หมุนกลับ 90 องศา เพื่อปิดฝาถังขยะ ดังภาพที่ 4(ค) ตามลำดับ

1.3 การทดสอบประสิทธิภาพกลไกการทำงานของถังขยะประเภทโลหะ

(ก) เริ่มต้นกลไก

(ข) ฝาถังเปิด

(ค) ฝาถังปิด

ภาพที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพกลไกการทำงานของถังขยะประเภทโลหะ

ในภาพที่ 5 เป็นผลทดสอบของกลไกการทำงานของถังขยะประเภทโลหะ เริ่มจากนำขยะประเภทโลหะมาแตะตัวตรวจจับวัตถุแบบโลหะ ดังภาพที่ 5(ก) จากนั้น จะทำการสั่งเอาพุต D1 D2 D3 D4 ไปที่ชุดไดรฟ์ ULN2003 ทำให้ Stepping Motor รุ่น 28-BYJ-48 ทำงาน โดยจะหมุนตามเข็มนาฬิกา 90 องศา ในแนวตั้ง เพื่อเปิดฝาถังขยะ ดังภาพที่ 5 (ข) และ จะค้างไว้ 3 วินาที และ หมุนกลับ 90 องศา เพื่อปิดฝาถังขยะ ดังภาพที่ 5(ค) ตามลำดับ

2. การทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของระบบ

ในการทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของระบบ ผู้วิจัยได้นำระบบที่พัฒนาขึ้นไปวาง ณ จุดทดสอบ เพื่อทดสอบความถูกในการทำงานของระบบจำนวน 3 วัน ตั้งแต่เวลา 09.00 - 16.30 น. โดยการทดสอบความถูกต้องสามารถ

คำนวณได้จาก ร้อยละของอัตราส่วนการทิ้งขยะที่ถูกต้องต่อจำนวนขยะทั้งหมดของแต่ละประเภท ซึ่งผลการทดสอบสามารถแสดงตัวอย่างได้ตามภาพที่ 6 และ แสดงข้อมูลความถูกต้องได้ตามตารางที่ 1

(ก) ขยะทั่วไป (ข) ขยะขวดพลาสติก (ค) ขยะโลหะ

ภาพที่ 6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของระบบ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของระบบ

วันที่ทดสอบ	ประเภทถังขยะ	จำนวนขยะที่ทิ้ง [ชิ้น]	จำนวนขยะที่ถูกต้อง [ชิ้น]	ความถูกต้อง [ร้อยละ]
วันที่ 1	**ทั่วไป**	8	8	100
	ขวดพลาสติก	6	6	100
	โลหะ	2	2	100
วันที่ 2	**ทั่วไป**	7	7	100
	ขวดพลาสติก	6	6	100
	โลหะ	0	0	0
วันที่ 3	**ทั่วไป**	8	8	100
	ขวดพลาสติก	7	7	100
	โลหะ	1	1	100

จากภาพที่ 6 เป็นภาพตัวอย่างของผลที่ได้จากการคัดแยกประเภทขยะแบบไร้การสัมผัสของขยะทั้ง 3 ประเภท ซึ่งทำให้ได้ผลของความถูกต้องดังตารางที่ 1 พบว่า ทั้ง 3 วัน ขยะส่วนใหญ่ที่นำมาทิ้งจะเป็นประเภททั่วไปมากที่สุด รองลงมาเป็นขวดพลาสติก และน้อยที่สุดจะเป็นขยะประเภทโลหะ ระบบที่ทำการทดสอบสามารถให้ความถูกต้องได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 100 แสดงถึงระบบที่พัฒนามีประสิทธิที่ดีมาก

สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างระบบคัดแยกการทิ้งขยะอัตโนมัติแบบไร้สัมผัสชิ้นงานวิจัยที่มีความสูง 50 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 130 เซนติเมตร เพื่อวางถังขยะระบบคัดแยกขยะ ที่มีความขนาด 27 × 37 × 35 เซนติเมตร จำนวน 3 ถัง พร้อมติดตั้ง Stepping Motor รุ่น 28-BYJ-48 จำนวน 3 ตัว พร้อมเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ จำนวน 3 ตัว ประกอบด้วย ตัวตรวจจับวัตถุแบบทั่วไปจำนวน 2 ตัว และ ตัวตรวจจับแบบโลหะ จำนวน 1 ตัว สำหรับเปิด-ปิดฝาถังขยะมาทดสอบระบบที่สั่งการผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU โดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 หัวข้อ คือ 1) การทดสอบประสิทธิภาพกลไกการทำงานของถังขยะ และ 2) การทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของระบบ ในหัวข้อที่ 1 ระบบสามารถทำการเปิด-ปิดกลไกได้ถูกต้องตามประเภทของขยะทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้ ผลการทดสอบในหัวข้อที่ 2 คือ ความถูกต้องของระบบสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 100 แสดงให้เห็นว่าระบบผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมี

ความแม่นยำและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับที่จะนำไปใช้ในที่สาธารณะ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดเวลาในการคัดแยกขยะมาแปรสภาพ (Recycle) และส่งเสริมการลดภาวะโลกร้อนตามแนวทางนโยบายของ Zero Waste

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือสถานที่สวนพลังงานในการเก็บข้อมูลงานวิจัย ขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา และ คณาจารย์ของโปรแกรมวิชาฯ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] นายอานนท์ เนตรยอง และนางสาวธิติ มา นริศเนตร. (2562). **ถังขยะอัจฉริยะ.** สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิ ทยาลัยราชภัฏสวนสุนั นทา

[2] นรจ.พงศธร ต่ายธานี นรจ.จิรกิตติ์ คงเมืองกุลศรี นรจ.สุรนาท สองนาม นรจ.อาชา ศรีโสภา และนรจ.ขันติ เผ่าภูร. (2560).**ถังขยะเปิด-ปิดอัตโนมัติด้วยระบบเซ็นเซอร์.** นักเรียนจ่าทหารชั้นปีที่ 2 พรรคพิเศษ เหล่าทหารช่างยุทธโยธา อิเล็กทรอนิกส์โรงเรียนอิเล็กทรอนิกส์ กองวิทยาการกรมอิเล็กทรอนิกส์ทหารเรือ

[3] ศิริชัย สาระมนัส และวรินธร บุญยะโรจน์. (2564). **การพัฒนาต้นแบบถังขยะอัจฉริยะเพื่อส่งเสริมการจัดการขยะที่ต้นทาง.** คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[4] พิพัฒน์ ดุรงค์ดำรงชัย. (2565). **ถังขยะอัตโนมัติระบบไอโอที.** วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดขอนแก่น

[5] นางสาวชุติกาญจน์ จันทสภา และนายสอนรัก คำป้อม. (2560). **การบริการจัดการขยะแบบฉลาด : ถังขยะอัจฉริยะ.** วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาลัยวิทยาลัยนเรศวร

การสร้างต้นแบบและหาศักยภาพของเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำในแม่น้ำแม่จาง ต.บ้านกิ่ว อ.แม่ทะ จ.ลำปาง

Prototype development and potential evaluation of Aquatic Weed Remover and Transporter at Mae Chang River, Ban Kiew Sub-district, Mae Tha District, Lampang Province

นิวัติ กิจไพศาลสกุล[1] อดิศร ฉมยา[2*] สมพร ติ๊บขัด[1] และ อนุกิจ เสาร์แก้ว[3]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100
[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100
[3] สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง 52100
[1] Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Lampang University, Lampang 52100
[2] Energy Technology, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Lampang University, Lampang 52100
[3] Information Technology, Faculty of Science, Rajabhat Lampang University, Lampang 52100
[*]Corresponding author: Tel.: 081-8832511. E-mail address: Niwat_lp@g.lpru.ac.th

Abstract

This research is construct a prototype of a machine to remove and transport aquatic weeds in the Mae Chang River, Ban Kiew Subdistrict, Mae Tha District, Lampang Province. The objective is to create a prototype of an aquatic weed removal and transport machine. To find out the potential of the built aquatic weed exterminator and transporter.

Constructing a prototype of a machine to remove and transport aquatic weeds in the Mae Chang River, Ban Kiew Subdistrict, Mae Tha District, Lampang Province. Start by studying factors related to aquatic weed exterminators and transporters. that affect design and construction, including ship hull design Propulsion system and transport of weed stored in the boat. Use the information obtained to design a machine to eliminate and transport aquatic weeds. It consists of 2 floating buoys. Comprised of a metal structure, width 130 cm., length 140 cm., and height 50 cm., with a total volume of 910,000 c.c. with a total weight of 80 kg. with a displacement of 30 kilograms. Ready to install 2 sets of drives, each set uses a direct current motor of 24 V., 14 Ah., output 336 W., maximum speed 2,750 RPM., model MY 1025. With a power transmission system using a chain belt to paddle blades, diameter 60 cm., width 18 cm. to drive a machine to remove and transport aquatic weeds. The power source is a 24 V. 14 Ah. lithium ion battery that can be charged.

The operation of the aquatic weed exterminator and transporter It is controlled from a remote control unit. It can force the ship to move forward. Turn left and turn right to move into the weeds. By using the force of the water to push the weeds into the conveyor compartment The weed scraps will then be transported and stored at the rear of the machine. Before removing the weed scraps collected Transported up to the next shore.

The research results appeared that prototype of aquatic weed removal and transport machine Can achieve an average speed of 0.5 m/s. with the radius of turning the average is 2.7 m. And there is a rate of energy consumption. When charging the battery to full capacity The usage time is 26 min. per usage cycle. It has an average collection speed of one kilogram per minute and can collect an average of 20.25 k. of aquatic weeds per time.

Putting a prototype of an aquatic weed exterminator and transporter into use. It is necessary to consider the environment in use, such as using conditions with strong water flow. The amount of aquatic weeds is too large and dense, etc.

Keyword: Prototype, Transport equipment, Aquatic weed

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็น การสร้างต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำในแม่น้ำแม่จาง ต.บ้านกิ่ว อ.แม่ทะ จ.ลำปาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำและเพื่อหาศักยภาพของเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำที่สร้างขึ้น

การสร้างต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำในแม่น้ำแม่จาง ต.บ้านกิ่ว อ.แม่ทะ จ.ลำปาง เริ่มจากการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ ที่ส่งผลกระทบต่อการออกแบบและสร้าง ได้แก่ การออกแบบตัวเรือ ระบบขับเคลื่อนและการลำเลียงวัชพืชเก็บไว้ในเรือ นำเอาข้อมูลที่ได้มาออกแบบเป็นเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ โดยประกอบจากทุ่นลอย จำนวน 2 ทุ่น ประกอบโครงสร้างโลหะ ความกว้าง 130 เซ็นติเมตร ความยาว 140 เซ็นติเมตรและความสูง 50 เซนติเมตร มีปริมาตรรวม 910,000 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร โดยมีน้ำหนักรวม 80 กิโลกรัม โดยมีระวางขับน้ำเท่ากับ 30 กิโลกรัม พร้อมติดตั้งขับเคลื่อน 2 ชุด แต่ละชุดใช้มอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ 14 แอมป์ชั่วโมง เอ้าพุท 336 วัตต์ ความเร็วรอบสูงสุด 2,750 รอบต่อนาที โมเดล MY 1025 พร้อมระบบส่งกำลังด้วยโซ่สายพานไปใบพายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 เซ็นติเมตร กว้าง 18 เซ็นติเมตร เพื่อใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ โดยมีแหล่งพลังงานเป็นแบตเตอรี่ ลิเทียมไอออน ขนาด 24 โวลต์ 14 แอมป์ชั่วโมง สามารถชาร์จไฟซ้ำได้

การทำงานของเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ จะถูกควบคุมจากชุดควบคุมระยะไกล (Remote Control) โดยสามารถบังคับให้เรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา เพื่อเคลื่อนที่เข้าวัชพืช โดยอาศัยแรงของน้ำผลักให้เศษวัชพืช เข้าไปในช่องเก็บลำเลียง แล้วเศษวัชพืชจะถูกลำเลียงมาเก็บไว้ในด้านท้ายของเครื่อง ก่อนที่จะนำเอาเศษวัชพืชที่เก็บ ลำเลียงขึ้นไปบนฝั่งต่อไป

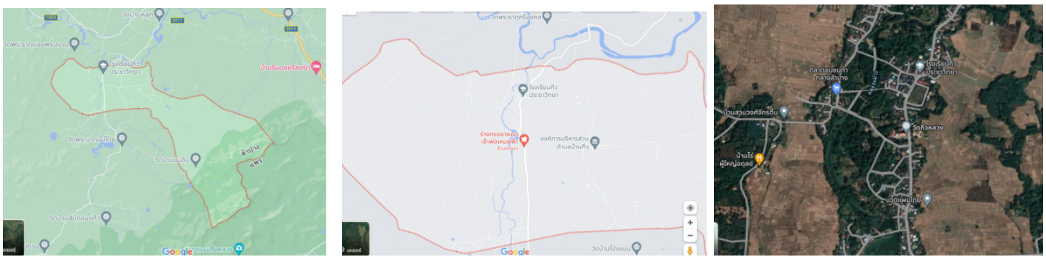
ผลการวิจัย ปรากฏว่า ต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ สามารถทำความเร็วเฉลี่ย ได้เท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที โดยมีระยะรัศมีของการเลี้ยว เฉลี่ยเท่ากับ 2.7 เมตรและมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน เมื่อชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มความจุ มีระยะเวลาในการใช้งานเท่ากับ 26 นาทีต่อหนึ่งรอบการใช้งาน โดยมีความเร็วในการจัดเก็บเฉลี่ยหนึ่งกิโลกรัมต่อนาทีและสามารถจัดเก็บวัชพืชน้ำได้ค่าเฉลี่ย 20.25 กิโลกรัมต่อครั้ง

การนำเอาต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำไปใช้งาน จำเป็นจะต้องคำนึงสภาพแวดล้อมในใช้งาน เช่น การใช้งานสภาพที่มีน้ำไหลแรง ปริมาณของวัชพืชน้ำมีขนาดใหญ่และหนาแน่นเกินไป เป็นต้น

คำสำคัญ : ต้นแบบ ลำเลียง วัชพืชน้ำ

บทนำ

แม่น้ำแม่จาง ที่ชาวบ้านมักสั้นว่า “ลำน้ำจาง” มีต้นกำเนิดมาจากภูเขาสูงในเทือกเขาผีปันน้ำในเขตอำเภองาว แล้วไหลมาหล่อเลี้ยงผู้คนตั้งแต่ อำเภอแม่เมาะ แม่ทะ โดยไหลมาบรรจบกับแม่น้ำวังในเขตอำเภอเกาะคา ช่วงหนึ่งของแม่น้ำแม่จางไหลผ่านตำบลบ้านกิ่ว อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขอบเขตของตำบลบ้านกิ่ว อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง

แม่น้ำแม่จางไหลช่วงที่ไหลผ่านตำบลบ้านกิ่ว อำเภอแม่ทะ มีขนาดความกว้างไม่มากนัก ในช่วงฤดูหนาวถึงฤดูร้อน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมิถุนายนของทุกปี ระดับน้ำจะลดลงเนื่องจากเป็นฤดูแล้ง ทั้งนี้ส่งผลกระทบถึงอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่จางที่ไหลช้าลง มักจะมีวัชพืชต่างๆ ที่ไหลมากับน้ำ ปกคลุมอยู่เหนือผิวน้ำ ทำให้การนำน้ำไปใช้ประโยชน์ลดลง ซึ่งวัชพืชเหล่านี้เป็นพืชที่ขึ้นมาเอง ตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่ไม่ค่อยจะมีมูลค่าทางเศรษฐกิจ แต่มักจะสร้างความเสียหายในการนำน้ำจากแม่น้ำไปใช้ประโยชน์ วัชพืชส่วนใหญ่จะเป็นวัชพืชน้ำจำพวกผักตบชวา ซึ่งจะสามารถกำจัดโดยวิธีทางธรรมชาติ ที่เรียกว่า “กำจัดผักตบชวาด้วยการใช้เชื้อรา” แต่เป็นเพียงการควบคุมปริมาณไม่ให้แพร่พันธ์เพิ่มขึ้นเท่านั้น ต้องขนส่งขึ้นบนฝั่งเช่นเดิม อย่างไรก็ตามวัชพืชที่ไม่ต้องการนั้น ก็อาจจะอุดมไปด้วยธาตุอาหารพืชทั้งธาตุหลักและธาตุรองครบถ้วน สามารถนำมาหมักทำปุ๋ยได้ ดังแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 2 วัชพืชที่ปกคลุมผิวน้ำ บริเวณลำน้ำแม่จาง ตำบลบ้านกิ่ว

ทางทีมผู้วิจัยได้ประชุมหารือร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้องในองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านกิ่ว อำเภอ แม่ทะ จังหวัดลำปาง ทำให้ทราบถึงปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น เนื่องจากทางเทศบาลบ้านกิ่วและพื้นที่ใกล้เคียงไม่มีเครื่องจักรในการดำเนินการ เครื่องจักรของราชการที่มี ก็จะอยู่ต่างพื้นที่อยู่ห่างไกลและมีขนาดใหญ่เคลื่อนย้ายลำบาก ดังนั้นทางเทศบาลบ้านกิ่วจะใช้วิธีการจัดทำจัดซื้อจัดจ้างในการขุดลอกและกำจัดวัชพืชน้ำในเขตพื้นที่รับผิดชอบ ในพื้นตำบลบ้านกิ่ว อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง โดยการจ้างบริษัทเอกชนมาดำเนินการ ใช้งบประมาณปีละ 200,000 บาท

ทางทีมผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะสร้างต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ เพื่อนำมาใช้ในการจัดการกับวัชพืชน้ำ โดยใช้หลักการของการย่อยสลายวัชพืชน้ำให้มีขนาดเล็กลง แล้วทำการลำเลียงวัชพืชน้ำผ่านเครื่องดูด แล้วนำไปใส่

ลงในยานพาหนะที่ติดตั้งภาชนะ ที่ใช้บรรจุวัชพืชน้ำจนถึงระดับที่กำหนด นำขึ้นไปพักไว้บนฝั่ง ก่อนจะนำไปผลิตปุ๋ย เพื่อที่นำไปใช้ในทางการเกษตรในพื้นที่ต่อไป โดยเครื่องต้นแบบจะมีขนาดที่เล็กลงกว่าเครื่องจักรที่มีในท้องตลาด แต่มีข้อดีกว่าตรงที่สามารถดำเนินการกำจัดวัชพืชน้ำได้ตลอดทั้งปี แตกต่างจากปัจจุบันที่ทำได้เพียงปีละครั้ง เนื่องจากใช้งบประมาณสูงมาก โครงการนี้จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินขุดลอกวัชพืชลง ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 30

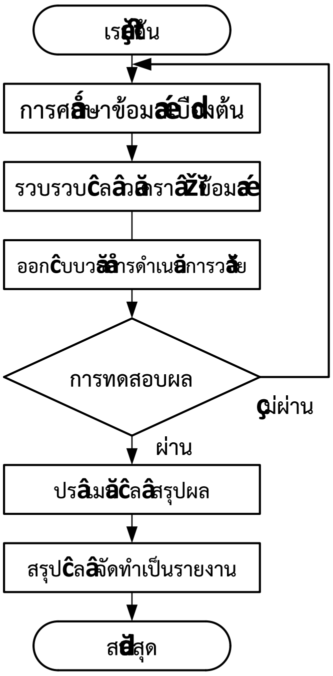
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.1 เพื่อสร้างต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ
1.2 เพื่อหาศักยภาพของเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำที่สร้างขึ้น

วิธีการวิจัย

1) ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น
2) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับ แล้วทำการสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อไปใช้ในการออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ
3) ทำการออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ
4) ทดสอบการทำงานของต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ ในพื้นที่จริง
5) รวบรวมวิเคราะห์ผลประเมินผลข้อมูล เพื่อประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ
6) สรุปผลการวิจัยแล้วจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

การออกแบบการดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 3 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในดำเนินงานวิจัย เริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบวิธีการดำเนินการวิจัย เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการปรับปรุงกระบวน จากนั้นทำการทดสอบผลลัพธ์ที่ได้ ทำการประเมินผลลัพธ์ที่ได้และสรุปผล แล้วนำข้อมูลที่ได้มาสรุปและจัดทำเป็นรายงานสรุปต่อไป

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

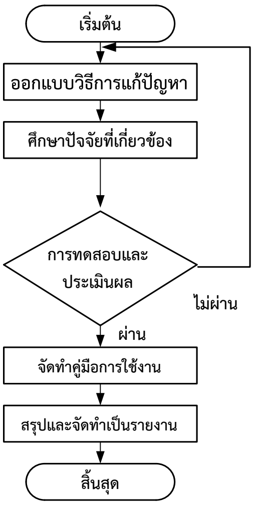
แม่น้ำแม่จางไหลช่วงที่ไหลผ่านตำบลบ้านกิ่ว อำเภอแม่ทะ จังหวัดลำปาง มีขนาดความกว้างไม่มากนัก โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวถึงฤดูร้อน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมิถุนายนของทุกปี ระดับน้ำจะลดลงเนื่องจากเป็นฤดูแล้ง ทั้งนี้ส่งผลกระทบถึงอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่จางที่ไหลช้าลง มักจะมีวัชพืชต่างๆ ที่ไหลมากับน้ำ ปกคลุมอยู่เหนือผิวน้ำ ทำให้การนำน้ำไปใช้ประโยชน์ลดลง ซึ่งวัชพืชเหล่านี้เป็นพืชที่ขึ้นมาเองตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่ไม่ค่อยจะมีมูลค่าทางเศรษฐกิจ แต่มักจะสร้างความเสียหายในการนำน้ำจากแม่น้ำไปใช้ประโยชน์ ดังแสดงในภาพที่ 4

ภาพที่ 4 สภาพแม่น้ำแม่จางในช่วงฤดูแล้ง

การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหรือความต้องการ เพื่อหาวิธีการที่หลากหลายสำหรับใช้ในการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการที่กำหนดไว้ในขั้นที่ 1 โดยการค้นหาและรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น การลงพื้นที่จริงเพื่อสำรวจข้อมูล การประชุมเพื่อหารือแลกเปลี่ยนข้อมูล เป็นต้น

การออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหา

การออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหา มีแนวทางในการดำเนินการและวางแผนและดำเนินการแก้ไขปัญหา ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แนวทางในการออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหา

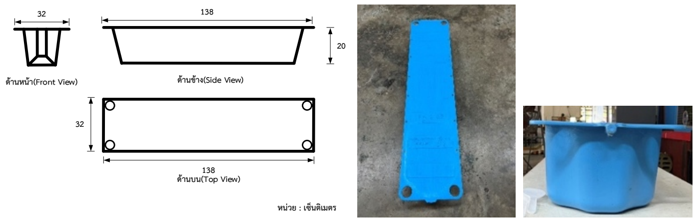
ก. แนวคิดในการดำเนินการแก้ไขปัญหา จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น นำข้อมูลมาวิเคราะห์แล้ว พบว่า ปัญหาวัชพืชต่างๆ ที่ไหลมากับน้ำในบริเวณแม่น้ำแม่จาง ในปัจจุบันจะมีการแก้ไขโดยจะปฏิบัติการในช่วงฤดูแล้ง ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นจะจัดอยู่ในระดับรุนแรงมากแล้ว เนื่องจากจะมีปริมาณวัชพืชน้ำที่หนาแน่น ทำให้ต้องใช้เครื่องจักรหนักในการกำจัด ส่งผลทำให้ต้องใช้งบประมาณที่สูงมาก

ทางผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะนำเอาเครื่องมือที่สร้างขึ้น มาจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้น ในช่วงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่หมดฤดูฝนเข้าสู่ฤดูหนาว กระแสน้ำในแม่น้ำแม่จางจะเริ่มไหลช้าลงเนื่องจากเริ่มเข้าสู่ฤดูแล้ง ส่งทำให้ปริมาณวัชพืชน้ำมีไม่มากนัก รวมทั้งสามารถจะกำจัดได้ง่ายกว่า

ข. การศึกษาเพื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้อง การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ ที่ส่งผลกระทบต่อการออกแบบและสร้าง ได้แก่

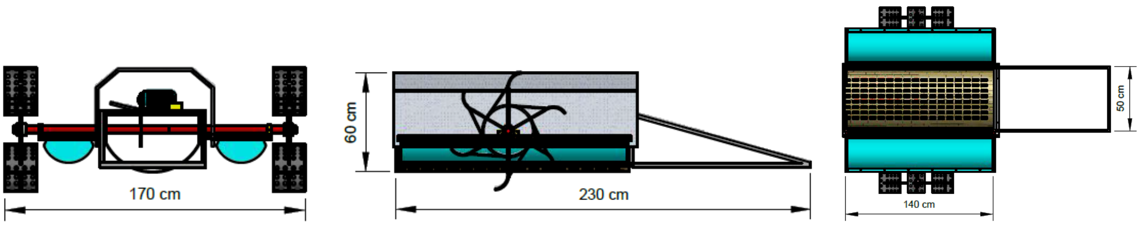
- การออกแบบตัวเรือ เป็นส่วนที่สำคัญที่สุด เนื่องจากจะต้องแบกรับน้ำหนักจากอุปกรณ์ที่ติดตั้ง
- ระบบควบคุมและขับเคลื่อน ส่วนที่ทำให้เรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา
- การลำเลียงวัชพืชเก็บไว้ในเรือ หลังจากที่มีลดขนาดของวัชพืชน้ำแล้ว จะทำการลำเลียงวัชพืชน้ำดังกล่าว เก็บไว้ในเรือเพื่อนำไปพักไว้บนฝั่งต่อไป

ค. การสร้างต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำในแม่น้ำแม่จาง เริ่มจากการศึกษารูปแบบของเรือ ได้มีพิจารณาจากข้อมูลของทุ่นลอยที่มีขนาดความกว้าง 32 เซ็นติเมตร ความยาว 138 เซ็นติเมตรและความสูง 20 เซนติเมตร มีปริมาตรรวม 88,320 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร หนึ่งทุ่นลอยสามารถรับน้ำหนักได้ 50 กิโลกรัม ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แบบร่างและภาพจริงของทุ่นลอย

การออกแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ ด้วยการนำเอาข้อมูลที่ได้มา มาออกแบบ ภาพร่าง(Drawing) ด้วยหลักการของยานยนต์ลอยน้ำ ที่สามารถเคลื่อนที่ด้วยใบพายตีน้ำ เพื่อผลักให้เรือฯ เคลื่อนที่ไปข้างหน้า เลี้ยวซ้าย-ขวา โดยสามารถควบคุมจากระยะไกล ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ภาพร่างของเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ

การสร้างเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ โดยประกอบจากทุ่นลอย จำนวน 2 ทุ่น ประกอบโครงสร้างโลหะความกว้าง 130 เซ็นติเมตร ความยาว 140 เซ็นติเมตรและความสูง 50 เซ็นติเมตร มีปริมาตรรวม 910,000 ลูกบาศก์

เซ็นติเมตร โดยมีน้ำหนักรวม 80 กก. พร้อมติดตั้งขับเคลื่อน 2 ชุด แต่ละชุดใช้มอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ 14 แอมป์ชั่วโมง เอ้าพุท 336 วัตต์ ความเร็วรอบสูงสุด 2,750 รอบต่อนาที โมเดล MY 1025 พร้อมระบบส่งกำลังด้วยโซ่สายพานไปใบพายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 เซ็นติเมตร กว้าง 18 เซ็นติเมตร เพื่อใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ โดยมีแหล่งพลังงานเป็นแบตเตอรี่ ลิเทียมไอออน ขนาด 24 โวลต์ 14 แอมป์ชั่วโมง สามารถชาร์จได้ พร้อมติดตั้งชุดควบคุมจากระยะไกล ดังแสดงในภาพที่ 8 – 9

ภาพที่ 8 ชุดขับเคลื่อนของเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ

เครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ เมื่อสร้างเสร็จ ดังแสดงในภาพที่ 8

ด้านหน้า(Front View) ด้านข้าง(Side View) อุปกรณ์ควบคุมระยะไกล

ภาพที่ 9 เครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ เมื่อสร้างเสร็จ

การทำงานของเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ จะถูกควบคุมจากชุดควบคุมระยะไกล (Remote Control) โดยสามารถบังคับให้เรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา เพื่อเคลื่อนที่เข้าวัชพืช โดยอาศัยแรงของน้ำผลักให้เศษวัชพืช เข้าไปในช่องเก็บลำเลียง แล้วเศษวัชพืชจะถูกลำเลียงมาเก็บไว้ในด้านท้ายของเครื่อง ก่อนที่จะนำเอาเศษวัชพืชที่เก็บ ลำเลียงขึ้นไปบนฝั่งต่อไป การนำเอาเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำไปทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 10

ภาพที่ 10 การนำต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำไปทดสอบ

ง. การหาศักยภาพของอุปกรณ์ โดยการหาศักยภาพจากการนำเอาเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำไปทดสอบ โดยจะคำนวณจากเวลาที่ใช้ในการดำเนินการและน้ำหนักของวัชพืชที่เก็บรวบรวมได้ ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุด ก่อนปรับปรุง แล้วมาเปรียบเทียบหลังจากการปรังปรุง จากการใช้เครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ

จ. การนำไปทำปุ๋ย การนำเอาวัชพืชน้ำที่เก็บได้ ไปทำเป็นปุ๋ยหมัก เพื่อใช้ประโยชน์ในทางการเกษตร

ฉ. การจัดทำคู่มือการใช้งาน (Manual) โดยนำเอาข้อมูลที่ได้มาจัดทำคู่มือการใช้งานเพื่อความสะดวกในการใช้เครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ ต่อไป

ผลการดำเนินวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นด้านความเร็วของต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเก็บข้อมูลเบื้องต้นด้านความเร็วของต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ โดยใช้หน่วยของเวลาที่ใช้เป็นวินาทีและหน่วยของระยะทางที่ใช้เป็นเมตร

ครั้งที่	**เวลาที่ใช้ (นาที)**	**ระยะทาง (เมตร)**
1	10	5
2	15	7
3	12	5.5
4	14	6
5	13	5.5
6	15	7.5
7	10	5.2
8	15	7.2
9	12	6.5
10	11	6
ค่าเฉลี่ย	**12.7**	**6.14**
SD	2.00	0.87

จากตารางที่ 1 การเก็บข้อมูลเบื้องต้นด้านความเร็วของต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ จำนวน 10 ครั้ง ทั้งเวลาที่ใช้เป็นวินาทีและระยะทางที่ใช้เป็นเมตร นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณในโปรแกรม Microsoft Excel ผลปรากฏว่าเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 6.14 วินาที โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2 และระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 12.7 เมตร โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.87 นำเอาค่าทั้งสองมาความเร็วเฉลี่ย ได้เท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที

จากนั้นนำเอาต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ มาทำการทดสอบเพื่อระยะเวลาในการเลี้ยว ทั้งเลี้ยวขวาและเลี้ยวซ้าย ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเก็บข้อมูลด้านการเลี้ยวของต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ เพื่อระยะรัศมีของการเลี้ยว โดยมีรัศมีเป็นเมตร

ครั้งที่	การเลี้ยว	รัศมี (เมตร)
1	ขวา	2
2	ขวา	2.5
3	ขวา	3
4	ขวา	2.5
5	ขวา	3
6	ซ้าย	2.5
7	ซ้าย	3
8	ซ้าย	3
9	ซ้าย	2.5
10	ซ้าย	3
	ค่าเฉลี่ย	**2.7**
	SD	**0.35**

จากตารางที่ 2 การเก็บข้อมูลด้านการเลี้ยวของต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ เพื่อระยะรัศมีของการเลี้ยว โดยมีรัศมีเป็นเมตร โดยทำการทดสอบการเลี้ยว ทั้งเลี้ยวขวาและเลี้ยวซ้าย จำนวน 10 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณในโปรแกรม Microsoft Excel ผลปรากฏว่า การเลี้ยวของต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ มีระยะเลี้ยวเฉลี่ยเท่ากับ 2.7 เมตร โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.35

การทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ จากการที่ติดตั้งมอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ 14 แอมป์ชั่วโมง เอ้าพุท 250 วัตต์ โดยมีแหล่งพลังงานเป็นแบตเตอรี่ ลิเทียมไอออน ขนาด 24 โวลต์ 14 แอมป์ชั่วโมง สามารถชาร์จได้ เมื่อนำไปใช้งาน

ตารางที่ 3 การเก็บข้อมูลด้านอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ เพื่อหาระยะเวลาในการใช้งาน เมื่อชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มความจุ โดยมีหน่วยเป็นนาที

ครั้งที่	เวลา(นาที)
1	20
2	25
3	30
4	24
5	28
6	30
7	24
8	28
9	26

ครั้งที่	เวลา(นาที)
10	25
ค่าเฉลี่ย	**26**
SD	3.09

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ เพื่อหาระยะเวลาในการใช้งาน เมื่อชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มความจุ โดยมีหน่วยเป็นนาที จำนวน 10 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณในโปรแกรม Microsoft Excel ผลปรากฏว่า อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน เมื่อชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มความจุ มีระยะเวลาในการใช้งานเท่ากับ 26 นาทีต่อหนึ่งรอบการใช้งาน ทั้งนี้อาจจะขึ้นการใช้ความเร็วด้วย เนื่องจากยิ่งใช้ความเร็วสูง ก็จะทำให้แบตเตอรี่หมดเร็ว

การทดสอบการจัดเก็บวัชพืชน้ำ เพื่อทดสอบน้ำหนักในการบรรจุแต่ละครั้งและความเร็วในการจัดเก็บวัชพืชน้ำ

ตารางที่ 4 การเก็บข้อมูลด้านอัตราการบรรจุและเวลาในการจัดเก็บวัชพืชน้ำแต่ละครั้ง

ครั้งที่	เวลา (นาที)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)
1	10	11
2	15	14.5
3	12	13
4	18	20
5	30	30
6	22	21.5
7	20	19.5
8	16	17
9	28	30
10	25	26
ค่าเฉลี่ย	**19.6**	**20.25**
SD	**6.67**	**6.73**

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบการจัดเก็บวัชพืชน้ำ เพื่อทดสอบน้ำหนักในการบรรจุแต่ละครั้งและความเร็วในการจัดเก็บวัชพืชน้ำ มีความเร็วในการจัดเก็บเฉลี่ยหนึ่งกิโลกรัมต่อนาที โดยสามารถจัดเก็บวัชพืชน้ำได้ค่าเฉลี่ย 20.25 กิโลกรัมต่อครั้ง

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยสรุปว่า ต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำ สามารถทำความเร็วเฉลี่ย ได้เท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน เมื่อชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มความจุ มีระยะเวลาในการใช้งานเท่ากับ 26 นาทีต่อหนึ่งรอบการใช้งานและสามารถจัดเก็บวัชพืชน้ำได้ค่าเฉลี่ย 20.25 กิโลกรัมต่อครั้ง สมรรถนะของเครื่องจะแปรผันไปตามการใช้งานเมื่อไม่มีโหลดและมีโหลด ในที่นี้หมายถึงวัชพืชน้ำ

การนำเอาต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำไปใช้งาน จำเป็นจะต้องคำนึงสภาพแวดล้อมในใช้งาน เช่น การใช้งานสภาพที่มีน้ำไหลแรง ปริมาณของวัชพืชน้ำมีขนาดใหญ่และหนาแน่นเกินไป เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยใน เรื่อง การสร้างต้นแบบเครื่องกำจัดและลำเลียงวัชพืชน้ำในแม่น้ำแม่จาง ต.บ้านกิ่ว อ.แม่ทะ จ.ลำปาง ได้รับความช่วยเหลือแนะนำคำปรึกษาและอำนวยความสะดวกจาก อาจารย์อนุกิจ เสาร์แก้วและคณาจารย์ในทีมงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือและขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

ท้ายที่สุดนี้ หากเกิดความผิดพลาดในเอกสารงานวิจัยนี้ ขออภัยในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น หวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่น้อย ที่จะนำข้อมูลต่าง ๆ ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งในเชิงวิชาการและเชิงปฏิบัติการต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] สุชาดา ศรีเพ็ญ (2525). **การจำแนกวัชพืช.** วิทยาการวัชพืช เอกสารวิชาการของสมาคมวิทยาการวัชพืชแห่งประเทศไทย เล่ม 1 หน้า 11-13

[2] พรชัย เหลืองอาภาพงศ์ (2523). **การป้องกันกำจัดวัชพืช**. ภาควิชาพืชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 164 หน้า

[3] ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์(2567). **การจำแนกและการจัดการวัชพืช.** สืบค้าจาก https://icassava.eng.ku.ac.th/wiki/index.php?title=การจำแนกและการจัดการวัชพืช

[4] ณัฐสุต จันทร์บุญเรืองและคณะ(2563). **เรือเก็บขยะควบคุมผ่านระบบแอนดรอยด์**. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

[5] วรภัทธ์ ภู่เจริญ. (2550). **คิดอย่างเป็นระบบและเทคนิคการแก้ปัญหา.** กรุงเทพมหานคร: หจก.สามลดา.

[6] ชาญณรงค์ พรุ่งโรจน์ (2546). **ความคิดสร้างสรรค์**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นวัตกรรมทางสังคมเพื่อส่งเสริมพลังงานทดแทนภายในชุมชน

Social Innovation to Promote Renewable Energy in Communities

(SNC)

การประเมินความเหมาะสมและความเป็นไปได้ของกลุ่มผลิตน้ำดื่มชุมชนชาวไทยภูเขาเผ่าม้ง กรณีศึกษาตำบลบ้านปง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่

Assessment of suitability and feasibility for the Community-based Drinking Water Production by the Mhong Ethnic Group: A Case Study of Ban Pong Subdistrict, Hang Dong District, Chiang Mai Province

รุ่งนภา จุลศักดิ์* วรพจน์ โพธาเจริญ สกลวัฒน์ เศวตรัตนกุล ธนัญชัย สาทะกลาง และวรจิตต์ เศรษฐพรรค์

Rungnapa Chulasak, Worrapod Pothacharoen, Sakollawat Sawetrattanakul,
Thananchai Sataklang, and Worajit Setthapun

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50300

Asian Development College for Community Economy and Technology,
Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50300

*Corresponding author: Tel.: 06-54599-623. E-mail address: chu.rungnapa@gmail.com

Abstract

The Community-based Drinking Water Production by the Mhong Ethnic Group in Hang Dong District of Chiang Mai Province aims to provide community members with quality drinking water that meets the standards of drinking water quality. The research begins with surveying the needs and assessing the capability to manage the drinking water production system within the community, using a sample of 66 households from a total population of 80 households. According to the survey results of drinking water production system community opinions, it was found that the communities of Ban Huai Kwang and Ban Huai Siao express a desire for and confidence in the improvement and provision of clean and safe drinking water through reverse osmosis filtration water production systems. The systems were installed in Ban Huai Kwang, producing 1,200 liters of drinking water per day, with a reserve capacity of 400 liters per day, along with a 1,000-liter water tank, and a coin-operated dispensing system. Water quality tests conducted at both locations confirmed compliance with the drinking water quality standards set by the Department of Health in 2020.Assessment of Economic for the water production revealed a production cost of 0.78 baht per liter, compared to a market price of 1.50 baht per liter, resulting in an average return on investment of 99.50% and a payback period of 1.07 years. This indicates that the project is cost-effective and it is worth the investment.

Considering an operation aspect is also a main target of this study. it was found that 96.97% of the community members are willing to pay for drinking water for consumption, and 100% are welcome

to purchase the drinking water from coin-operated drinking water dispensers, tailored to their desired quantity of liters. This is to utilize the income from selling drinking water to maintain the community's water production system and to ensure the management will be systematic, transparent, and sustainable. Subsequently, a satisfaction survey was conducted, revealing that 100% of the community was satisfied with the use of the reverse osmosis water filtration systems, and their knowledge and understanding of the systems increased to 80%.

Keywords: Feasibility Assessment, Drinking Water Production, reverse osmosis filtration systems, Hmong hill tribe community

บทคัดย่อ

การจัดตั้งกลุ่มผลิตน้ำดื่มชุมชนชาวไทยภูเขาเผ่าม้ง มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ชุมชนชาวไทยภูเขาเผ่าม้งได้รับน้ำดื่มที่มีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคผ่านการบริหารจัดการภายในชุมชน กระบวนการวิจัยเริ่มต้นจากการสำรวจความต้องการและศักยภาพความพร้อมในการบริหารจัดการระบบผลิตน้ำดื่มของชุมชน จากกลุ่มตัวอย่าง 66 ครัวเรือนจาก 80 ครัวเรือน ซึ่งผลการสำรวจความคิดเห็นด้านกระบวนการผลิตน้ำดื่ม พบว่า ชุมชนบ้านห้วยกว้างมีความต้องการและเชื่อมั่นในระบบผลิตน้ำดื่มจากการกรองรีเวอร์สออสโมซิสในการปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้ได้น้ำดื่มที่สะอาดและปลอดภัย โครงการจึงได้ดำเนินการติดตั้งระบบผลิตน้ำดื่มด้วยการกรองรีเวอร์สออสโมซิสที่มีขนาดกำลังการผลิต 1,200 ลิตรต่อวัน พร้อมด้วยระบบผลิตน้ำสำรอง 400 ลิตรต่อวัน และถังเก็บน้ำดื่ม จำนวน 1,000 ลิตร โดยผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำหลังระบบกรองรีเวอร์สออสโมซิสผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาดื่มทั้งสองจุด กรมอนามัย พศ.2563 และเมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตน้ำดื่มด้วยการกรองรีเวอร์สออสโมซิส พบว่า ต้นทุนการผลิตน้ำดื่ม อยู่ที่ 0.78 บาท/ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับราคาขายน้ำดื่มที่ 1.50 บาท/ลิตร พบว่า ค่าอัตราผลตอบแทนถัวเฉลี่ย เท่ากับร้อยละ 99.50 ซึ่งเป็นค่าผลการตอบแทนที่สูง และมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.07 ปี นับเป็นโครงการที่มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

สำหรับการสำรวจความคิดเห็นด้านการจัดการระบบผลิตน้ำดื่มชุมชน พบว่า ชุมชนร้อยละ 96.97 ยินยอมที่จะเสียค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อน้ำดื่ม และร้อยละ 100 ยินดีที่จะซื้อน้ำดื่มแบบตู้หยอดเหรียญตามจำนวนลิตรที่ต้องการ เพื่อนำรายได้จากการขายน้ำดื่มมาใช้ในการบำรุงรักษาระบบผลิตน้ำดื่มชุมชน และจัดตั้งกลุ่มผลิตน้ำดื่มเพื่อดูแลและจัดการระบบผลิตน้ำดื่มของชุมชนให้เป็นไปอย่างเป็นระบบ โปร่งใส และยั่งยืน สำหรับผลการสำรวจความพึงพอใจหลังการติดตั้งระบบผลิตน้ำดื่มของชุมชน พบว่า ชุมชนร้อยละ 100 มีความพึงพอใจในการใช้งาน และมีความรู้ความเข้าใจในระบบกรองน้ำรีเวอร์สออสโมซิสเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 80

คำสำคัญ: การประเมินความเหมาะสม การผลิตน้ำดื่ม รีเวอร์สออสโมซิส ชุมชนชาวไทยภูเขาเผ่าม้ง

การออกแบบและพัฒนาตู้อบแห้งอเนกประสงค์แบบไฮบริดเพื่อเพิ่มศักยภาพและขีดความสามารถในแข่งขันของเกษตรแปรรูปและสมุนไพรในจังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดตาก

Design and development of a multi-purpose hybrid drying cabinet to enhance the potential and competitiveness of agricultural processing and herbal products in Kamphaeng Phet and Tak Provinces

เทพ เกื้อทวีกุล[1*] ภาคิณ มณีโชติ[2] จารุกิตติ์ พิบูลนฤดม[3] อัษฎางค์ บุญศรี[4] นิวดี คลังสีดา[5] เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์[6] จตุรงค์ ธงชัย[7] และ เศวต สมนักพงษ์[8]

Thep Kueathaweekun[1*], Pakin Maneechot[2], Jarukit Piboolnaruedom[3], Ussadang Boonsri[4], Nivadee Klungsida[5], Saowaluk Yotwinyuwong[6], Jaturong Thongchai[7], and Sawet Somnugpong[8]

[1,2,3,4,5,6]หลักสูตรวิศกรรมเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000
[7,8] โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000
[1,2,3,4,5,6]Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000
[7,8] Computer Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000
[*]Corresponding author: Tel.: 055-7065555 E-mail address: thep_k@kpru.ac.th

Abstract

This research presents the design and development of a multi-purpose hybrid drying cabinet to enhance the potential and competitiveness of agricultural processing and herbal products in Kamphaeng Phet and Tak Provinces. The study involves designing and constructing a solar drying cabinet that uses a combination of solar energy and LPG gas. The cabinet features 3 drying chambers and utilizes polycarbonate sheets to distribute heat in cabinet and there are silicon carbide plates to help conduct heat from the LPG gas ignition to heat solar drying cabinet. Temperature control devices are installed on 4 sides, with the control system set to maintain a temperature not exceeding 60 °C. The drying of herbs was conducted from 11:00 AM to 6:00 PM, and results showed that the left chamber reached an average temperature of 51.03 °C, the right chamber 51.55 °C, and the central chamber 59.28 °C, while the exterior temperature averaged 37.91 °C. Throughout the drying process, the hybrid drying cabinet reduced drying time compared to natural drying methods. This improved drying cabinet enables farmers to dry herbs more efficiently, even on days with minimal sunlight. It addresses interruptions in herb drying due to unfavorable weather conditions and effectively protects against rain and insects.

Keywords: Food preservation, Drying cabinet, Heater, Smartphone

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาตู้อบแห้งอเนกประสงค์แบบไฮบริดที่มีระบบควบคุมแบบแม่นยำ เพื่อเพิ่มศักยภาพและขีดความสามารถในแข่งขันของเกษตรแปรรูปและสมุนไพรในจังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดตาก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำ การออกแบบและสร้างตู้อบแห้งแสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานร่วมกับแก๊ส LPG ที่มีช่องอบ 3 ช่อง และจะใช้แผ่นโพลีคาร์บอเนตในการกระจายความร้อนในตู้ และมีแผ่นซิลิคอนคาร์ไบด์ช่วยในการนำความร้อนจากการจุดแก๊ส LPG เพื่อให้ความร้อนไปยังตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิที่ติดไว้ 4 ด้าน และตั้งระบบการควบคุมอุณหภูมิและการทำงานของระบบแก๊ส โดยตั้งไว้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 °C และทำการทดลองอบสมุนไพรช่วงเวลา 11.00 – 18.00 น. จากผลการทดลองพบว่า ช่องอบด้านซ้ายมีอุณหภูมิเฉลี่ย 51.03 °C ช่องอบด้านขวามีอุณหภูมิเฉลี่ย 51.55 °C ช่องอบตรงกลางมีอุณหภูมิเฉลี่ย 59.28 °C และด้านนอกตู้อบมีอุณหภูมิเฉลี่ย 37.91 °C โดยตลอดระยะเวลาในการทดลองอบสมุนไพรให้แห้งสามารถลดระยะเวลาการตากเมื่อเทียบกับการตากแบบธรรมชาติ ดังนั้นตู้อบที่พัฒนาขึ้นทำให้เกษตรกรสามารถอบสมุนไพรได้เร็วขึ้นแม้วันที่มีแดดอ่อนก็สามารถอบได้ สามารถแก้ไขปัญหาการตากสมุนไพรที่ขาดตอนเนื่องจากสภาพอากาศไม่เป็นใจ และตู้อบแห้งยังสามารถป้องกันฝนและแมลงได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : การถนอมอาหาร ตู้อบแห้ง ฮีตเตอร์ สมาร์ทโฟน

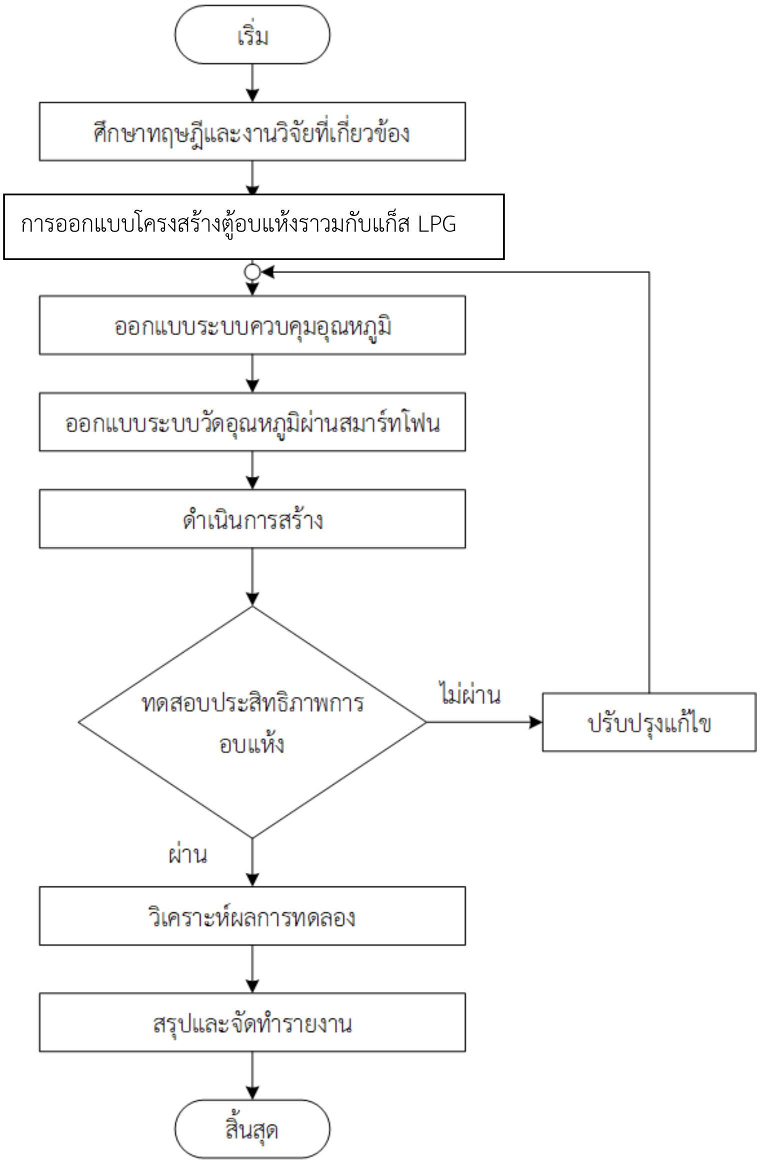
บทนำ

ประเทศไทยมีรากฐานมาจากสังคมเกษตรกรรม การปลูกข้าวเป็นการผลิต ของคนส่วนใหญ่ในประเทศ วิถีชีวิตของคนเพาะปลูกข้าวจึงเป็นพื้นฐานสำคัญ ในการรังสรรค์วัฒนธรรมในด้านต่างๆ ทั้งวัฒนธรรมการเมือง การปกครอง วัฒนธรรมการกินอยู่ วัฒนธรรมทางความคิด ความเชื่อ วัฒนธรรมทางภาษา และตลอดจนการแสดงออกต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันนี้การทำเกษตรกรรมแบบยั่งยืนมีหลายรูปแบบแตกต่างไปตามพื้นฐานความเชื่อความเป็นมา และความเหมาะสมกับแต่ละภูมินิเวศ และวัฒนธรรมของแต่ละพื้นที่ และชุมชน และมีการให้ชื่อและความหมายที่แตกต่างกันแต่ส่วนใหญ่แล้วจะวางอยู่บนหลักการของการดำเนินกิจกรรมที่สอดคล้องกับระบบนิเวศวิทยา สามารถดำเนินต่อไปไดอย่างยั่งยืน โดยไม่ก่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของผู้บริโภค เช่น เกษตรผสมผสาน การปลูกพืชแบบผสมผสาน การเลี้ยงสัตว์แบบผสมผสาน และการปลูกพืชผสมผสานกับการเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น ส่งผลให้วิถีเกษตรกรรมเปลี่ยนไป การเพิ่มมูลค่าและการแปรรูปอาหารจากพืชผลทางการเกษตร จึงเป็นนโยบายหนึ่งของรัฐบาล โดยรัฐบาลมีบายในการส่งเสริมเศรษฐกิจระดับชุมชนท้องถิ่นให้มีความเข้มแข็ง โดยการส่งเสริมเศรษฐกิจระดับชุมชนท้องถิ่นให้มีความเข้มแข็ง มีศักยภาพในการแข่งขัน สามารถพึ่งพาตนเองได้ ซึ่งจะช่วยก่อให้เกิดการยกระดับมาตรฐานการครองชีพและความเป็นอยู่ของประชาชนในชุมชนให้ดีขึ้นและนำไปสู่การแก้ไขปัญหาความยากจน ความเหลื่อมล้ำ และความไม่เสมอภาคตามเป้าหมายการพัฒนาของยุทธศาสตร์ชาติ ดังนั้นการสร้างเศรษฐกิจฐานรากให้มีความเข้มแข็ง สามารถพึ่งตนเอง ช่วยเหลือเอื้อเฟื้อซึ่งกันและกัน มีคุณธรรม และเป็นระบบเศรษฐกิจที่เอื้อให้เกิดการพัฒนาด้านอื่น ๆ ในพื้นที่ เกิดการสร้างอาชีพและกระจายรายได้และลดปัญหาความเหลื่อมล้ำและไม่เสมอภาคจากระดับชุมชน โดยเน้นส่งเสริมการรวมกลุ่มในรูปแบบที่มีโครงสร้างกระจายรายได้ทั้งวิสาหกิจชุมชน สหกรณ์ และวิสาหกิจเพื่อสังคม การพัฒนาช่องทางการตลาดและเครือข่าย เพื่อให้เกิดการจัดการกลไกการตลาดครบวงจรในรูปแบบการค้าที่เป็นธรรมรวมถึงการมีกติกาให้เกิดโครงสร้างกระจายรายได้ให้กับเศรษฐกิจชุมชนได้อย่างเป็นรูปธรรม

จากการลงพื้นที่ในจังหวัดตาก และจังหวัดกำแพงเพชรพบว่า จะแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรเป็นส่วนใหญ่ เช่น น้ำพริก แมคคาเดเมีย กล้วย มันเทศ มะม่วง กล้วยทอด มันทอด เป็นต้น และสมุนไพร เช่น สมุนไพร ฟ้าทะลายโจร กระชายขาว เป็นต้น จากการได้ร่วมปรึกษาหารือกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดกำแพงเพชรแลพจังหวัดตากพบว่า เกษตรกรยังคงใช้องค์ความรู้เดิมในการแปรูป การตากแห้งผลิตภัณฑ์ใช้เวลานานส่งผลให้ปริมาณสินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการส่งสินค้าและในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวจะมีปัญหาเรื่องเชื้อราเนื่องจากอากาศชื้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาตู้อบแห้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและพัฒนาตู้อบแห้งอเนกประสงค์แบบไฮบริดเพื่อเพิ่มศักยภาพและขีดความสามารถในแข่งขันของเกษตรแปรรูปและสมุนไพรให้กับชุมชน

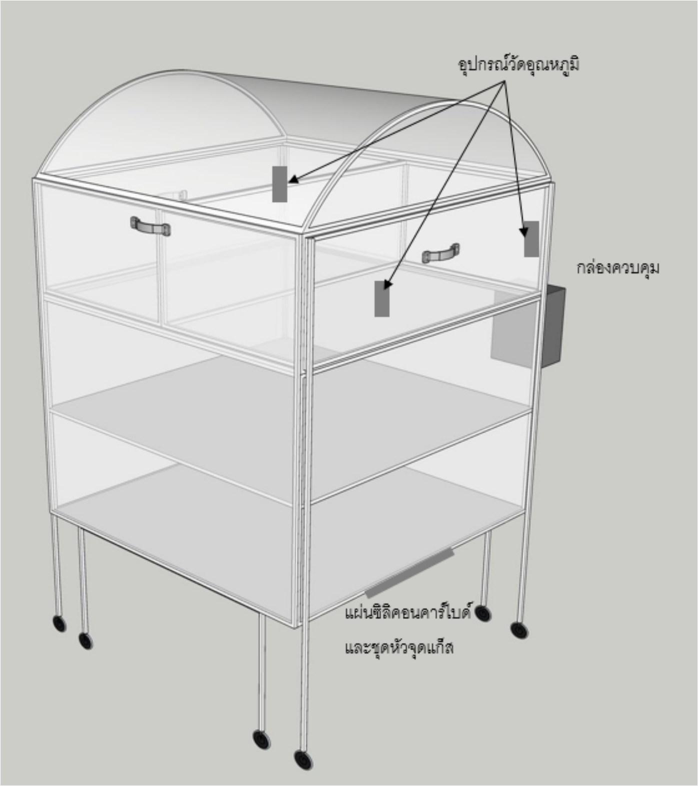
วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยการพัฒนาตู้อบแห้งอเนกประสงค์แบบไฮบริดมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 แผนภูมิการดำเนินงานวิจัย

การออกแบบและสร้างตู้อบแห้งอเนกประสงค์แบบไฮบริด



ภาพที่ 2 โครงสร้างตู้อบแห้งอเนกประสงค์แบบไฮบริด

การสร้างตู้อบแห้งอเนกประสงค์แบบไฮบริด

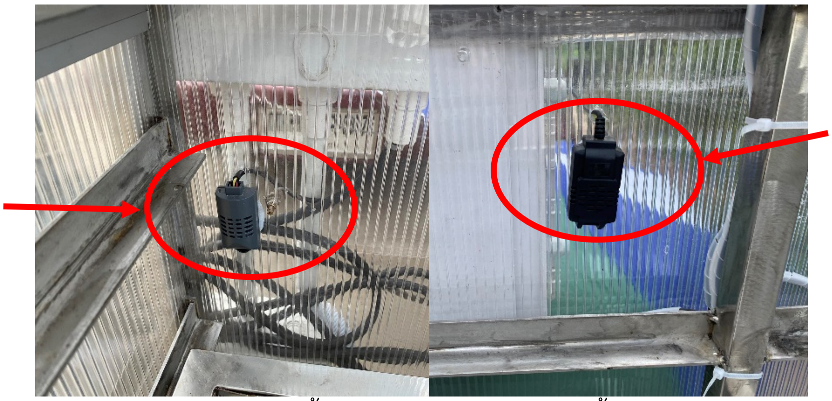
ในการดำเนินการสร้างตู้อบแห้งแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊ส LPG ก็จะทำตามแบบโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ เมื่อได้โครงสร้างตู้อบแห้งก็จะติดตั้งแผ่นซิลิกอนคาร์ไบด์และแผ่นโพลี่คาร์บอเนต จากนั้นติดตั้งพัดลมดูดอากาศและตู้ควบคุมตามลำดับ

ภาพที่ 3 การเชื่อมประกอบโครงสร้างอลูมิเนียม

ภาพที่ 4 การยึดแผ่นโพลี่คาร์บอเนตกับโครงอลูมิเนียม

(ก) จุดติดตั้งซิลิกอนคาร์ไบด์

(ข) ระบบควบคุมอุณหภูมิและระบบแสดงอุณหภูมิ

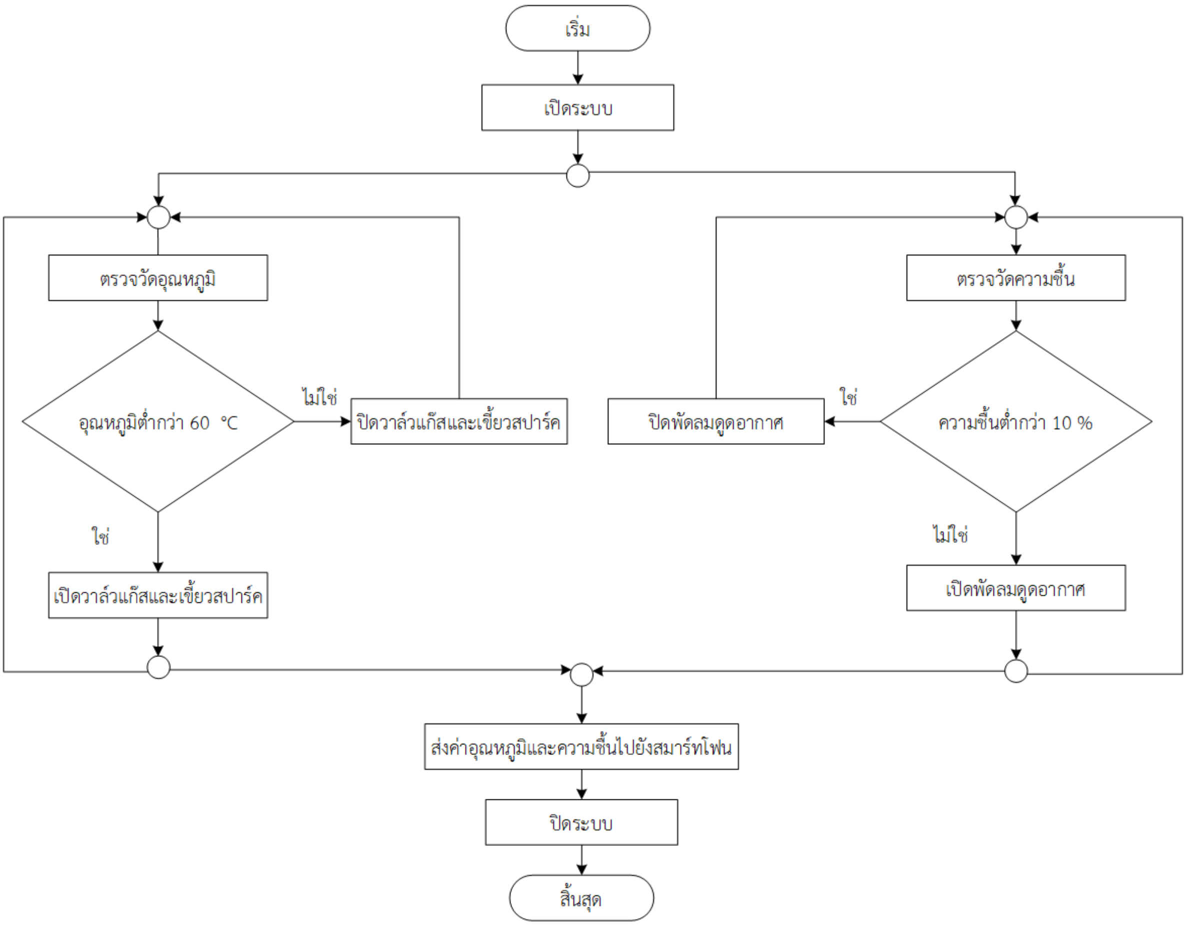


(ค) จุดติดตั้งเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น

ภาพที่ 5 ติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและระบบแสดงอุณหภูมิและเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น

ภาพที่ 6 ตู้อบแห้งอเนกประสงค์แบบไฮบริด

ออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิตู้อบแห้งแบบแบบไฮบริด



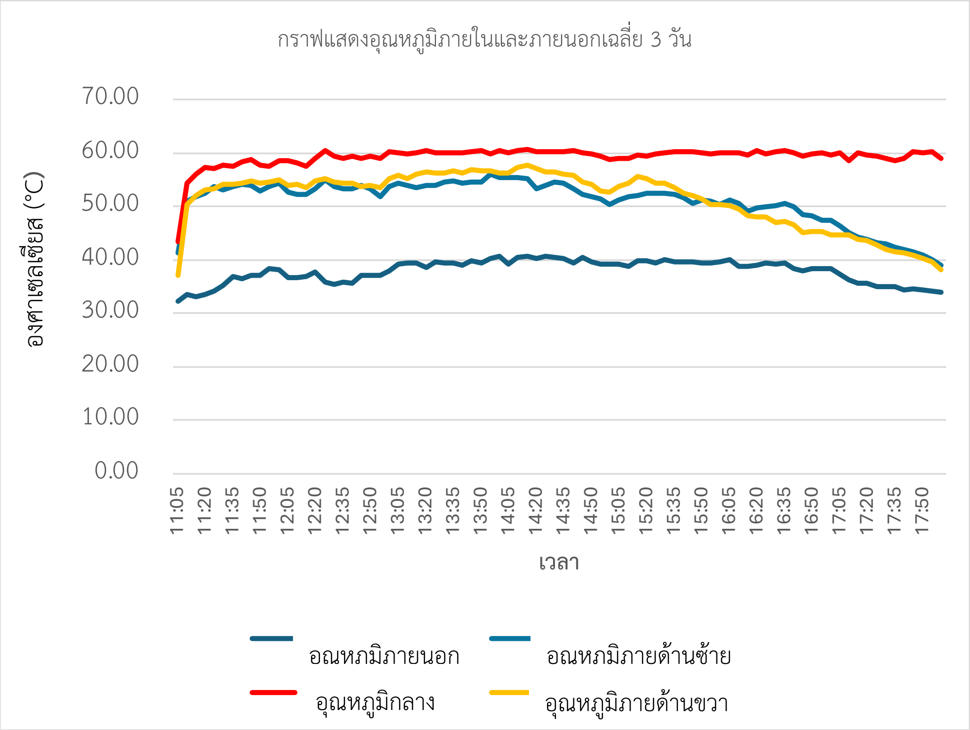
ภาพที่ 7 การออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิตู้อบแห้งแบบแบบไฮบริด

ในการออบแบบระบบควบคุมอุณหภูมิตู้อบแห้งแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊ส LPG นั้นผู้วิจัยได้คำนึงถึงประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการอบแห้งผู้วิจัยได้ออกแบบระบบโดยใช้บอร์ด REX-C100 ในการจุดเขี้ยวสปาร์คและควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วแก๊สและวัดอุณหภูมิ ใช้บอร์ด XH-W3005 ในการวัดความชื้นเพื่อควบคุมการเปิด-ปิดพัดลมระบายอากาศ โดยระบบควบคุมปิด-เปิดแก๊สที่อุณหภูมิ 60 °C เพื่อรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในระดับไม่เกิน 60 60 °C และควบคุมการทำงานปิด-เปิดของพัดลมดูดอากาศที่ความชื้นให้ 10%

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในงานวิจัยฉบับนี้จะดำเนินการศึกษาระบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้งสมุนไพรและ ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพตู้อบแห้งอเนกประสงค์แบบไฮบริด และผลการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพตู้อบแห้งอเนกประสงค์แบบไฮบริด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ในหัวข้อนี้จะเป็นการเก็บข้อมูลอุณหภูมิขณะทดสอบประสิทธิภาพ 3 วัน โดยตั้งอุณหภูมิให้อยู่ในระดับ 60 °C ความชื้น 10 % เริ่มทำการทดลอง เวลา 11.00 – 18.00 น. ซึ่งผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กราฟอุณหภูมิเฉลี่ยในการทดลองวันที่ 3

จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าช่องอบตรงกลางมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 59.28 °C สูงกว่าช่องอบด้านซ้ายและด้านขวาเฉลี่ย 7.73 – 8.25 °C สูงกว่าภายนอก 21.37 °C และเมื่อพิจารณากราฟอุณหภูมิภายในตู้ทั้ง 3 เส้นจะพบว่าช่องกลางมีอุณหภูมิใกล้เคียง 60 °C ตลอด เนื่องจากอยู่ใกล้แผ่นซิลิกอนคาร์ไบด์มากที่สุดในช่องนี้จึงเป็นช่องที่ออกแบบไว้สำหรับอบสมุนไพรมวลมาก ส่วนช่องอบซ้าย และขวามีอุณหภูมิใกล้เคียงกันเนื่องจากได้รับความร้อนจากแผ่นซิลิกอนด์คาร์ไบด์ที่น้อยกว่าช่องตรงกลางแต่ก็ยังคงมีอุณหภูมิสูงเฉลี่ย 51.03 - 51.33 °C จึงเป็นไปตามที่ออกแบบไว้สำหรับสมุนไพร

มวลน้อย ในส่วนอุณหภูมินอกตู้อบเฉลี่ย 37.91 ℃ สังเกตได้ว่ากราฟขึ้นอยู่กับสภาพอากาศเป็นปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาตู้อบแห้งอเนกประสงค์แบบไฮบริดที่มีระบบควบคุมแบบแม่นยำเพื่อเพิ่มศักยภาพและขีดความสามารถในแข่งขันของเกษตรแปรรูปและสมุนไพรในจังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดตาก จากผลการศึกษาการอบสมุนไพรช่วงเวลา 11.00 – 18.00 น.พบว่า ช่องอบด้านซ้ายมีอุณหภูมิเฉลี่ย 51.03 ℃ ช่องอบด้านขวามีอุณหภูมิเฉลี่ย 51.55 ℃ ช่องอบตรงกลางมีอุณหภูมิเฉลี่ย 59.28 ℃ และด้านนอกตู้อบมีอุณหภูมิเฉลี่ย 37.91 ℃ และสามารถลดเวลาการตากลงเมื่อเทียบกับการตากแบบธรรมชาติ ดังนั้นตู้อบที่พัฒนาขึ้นทำให้เกษตรกรสามารถแก้ไขปัญหาการตากสมุนไพรที่ขาดตอนเนื่องจากสภาพอากาศไม่เป็นใจ และตู้อบแห้งยังสามารถป้องกันฝนและแมลงได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] นัฑพงศ์ สิงห์ศร และคณะ. (2557). ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำจากแผ่นโพลีคาร์บอเนต. **วารสารเกษตรราชภัฏมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.** 13(1), 47-52.

[2] ณัฐวุฒิ หงส์จันทร์และคณะ. (2564). ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม.** 6(1), 47-59.

[3] ฮาติมมี บากา รอกีเยาะ อาแว ซุลกิพลี กาซอ และสุนิตย์ โรจน-สุพรรณ. (2559). การศึกษาประสิทธิภาพของการอบแห้งปลาช่อนด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมไฟฟ้า. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา** 1(1), 13–24.

[4] เอกพบ ขจรไพศาล. (2556). **การศึกษาสมรรถณะของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกหลังคารูปทรงพาราโบลาที่ใช้งานในวิสาหกิจชุมชน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศิลปากร

[5] ภาคิณ มณีโชติ เทพ เกื้อทวีกุล กิตติชัย เทียนสา และชัยวัฒน์ นครชัยศรี. (2564). "การพัฒนาตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊ส LPG ที่มีการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ" ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14 (TREC-14) ประจำปี 2564.** วันที่ 10-12 พฤศจิกายน 2564 ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ถอดบทเรียนแสงสว่างทั่วดอยเพื่อการสร้างโอกาสทางการศึกษาและการรับรู้ข้อมูลข่าวสาร

Lessons Learned from Lighting in Remote Areas for Education Opportunities and Access to Information

ภมร ทรงยศ[1*] เอกณัฏฐ์ กระจ่างธิมาพร[1] สุรเดช พหลโยธิน[1] และ บวรศักดิ์ เพชรานนท์[1]
Pamorn Songyot[1*], Eakanut Kajangtimaporn[1], Suradet Phahonyothin [1],
and Bavornsak Pejaranonda[1]

[1] ศูนย์ส่งเสริมมูลนิธิโครงการหลวง และโครงการตามพระราชดำริ สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ (สรบ.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 49 ซอยเทียนทะเล 25 ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150 [1]
Royal Project Foundation and King’s Recommended Supporting Center, Pilot Plant Development and Training Institute, King Mongkut's University of Technology Thonburi. 49 Soi Thian Thale 25, Bang Khun Thian Chai Thale Road, Tha Kham, Bang Khun Thian, Bangkok 10150
Corresponding author: Tel.: 090-3164593 E-mail address: Pamorn.ch@gmail.com

Abstract

Light All Over the Mountain Project is an operation that responds to #SDG1 on energy issues, including the Constitution of the Kingdom of Thailand, Section 71, which addresses issues of assisting the poor, and Section 72, which addresses issues of sustainable energy security. The study area is 27 villages in Sao Hin and Mae Khong sub-district, Mae Sariang district, Mae Hong Son province which rural remote area, difficult to access transportation. Reducing energy inequality, promoting educational opportunities and access to information are urgent development agendas. Over three decades of PV system experience learning, solar home systems (SHS) which are widely used, have led to the acceptance of innovation. The research team presented power generation by a) SHS and b) an Alternator from a motorcycle to charge a 12-volt lead–acid battery and Sealed Lead-Calcium respectively to meet basic lighting needs. A usage lighting assumption that 4 sets of LED Strip Lights, 4 hours per night, 56 watt 4 hours per night. The installation process is on-the-job training for youth/villagers by learning by doing, including providing knowledge on maintenance. The result after the installation was found that 90% of users were satisfied with the usage, changed lighting equipment, added routine nighttime, especially reading book hours, doing homework, and access to information of students. The limitation of LED in this project is that it is a niche product, if it is damaged, it must be ordered specifically, and not available on the market. This research focuses on innovation adoption.

Keywords: Remote Areas, Educational opportunities, Access to information

บทคัดย่อ

โครงการแสงสว่างทั่วดอยเพื่อการสร้างโอกาสทางการศึกษาและการรับรู้ข้อมูลข่าวสาร เป็นการดำเนินงานที่สนองตอบ #SDG1 ด้านพลังงาน รวมถึงรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย มาตรา 71 ประเด็นการให้ความช่วยเหลือแก่ผู้ยากไร้ และผู้ด้อยโอกาส มาตรา 72 ประเด็นการความมั่นคงด้านพลังงานอย่างยั่งยืน พื้นที่ศึกษาคือ 27 หย่อมบ้าน ในตำบลเสาหิน และตำบลแม่คง อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งเป็นพื้นที่ชนบทห่างไกล การคมนาคมเข้าถึงยาก คนในชุมชนมีปัญหาการเรียนรู้ภาษาไทย การลดปัญหาความเหลื่อมล้ำด้านพลังงาน การส่งเสริมให้เกิดโอกาสทางการศึกษา และการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารเป็นวาระจำเป็นต้องเร่งพัฒนา กว่าสามทศวรรษของประสบการณ์การเรียนรู้การใช้งานระบบโซลาร์เซลล์ในพื้นที่โดยเฉพาะระบบโซล่าร์โฮมที่มีการใช้อย่างกว้างขวางได้รับการยอมรับ การดำเนินงานในครั้งนี้คณะวิจัยได้นำเสนอ การประยุกต์ใช้ระบบโซล่าร์โฮมที่มีอยู่เดิม และนำเสนอระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไดชาร์จในรถจักรยานยนต์มาประยุกต์ใช้เป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาชาร์จเข้าแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ แบบตะกั่วกรดชนิดน้ำและแบบแห้งตามลำดับ เพื่อตอบสนองความต้องการด้านแสงสว่างขั้นพื้นฐาน โดยสมมุติฐานการใช้แสงสว่างจากหลอด LED แบบ Strip Light ในเวลากลางคืนจำนวน 4 ชุด เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง มีอัตราสิ้นเปลืองพลังงาน 56 วัตต์ชั่วโมงต่อคืน การดำเนินการติดตั้งเป็นการฝึกอบรม (On The Job Training) ให้แก่เยาวชน/ชาวบ้าน รวมถึงการให้ความรู้ในการบำรุงรักษาโดยการเรียนรู้การลงมือทำ (Learning by doing) ภายหลังการติดตั้ง พบว่า ชาวบ้านร้อยละ 90 มีความพึงพอใจในการใช้งาน มีการเปลี่ยนแปลงการเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับแสงสว่างในเวลากลางคืน กิจวัตรประจำวันในเวลากลางคืนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะชั่วโมงการอ่านหนังสือทำการบ้านของเด็กนักเรียนและการรับรู้ข่าวสารข้อมูลส่วนข้อจำกัดคือหากหลอดชำรุดเสียหายต้องจัดทำหรือสั่งซื้อเป็นการเฉพาะ เนื่องจากยังไม่มีหลอด LED ที่ใช้ในโครงการขายในท้องตลาด การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นด้านการยอมรับนวัตกรรม

คำสำคัญ: แสงสว่างทั่วดอย, โอกาศทางการศึกษา, การเข้าถึงข้อมูลข่าวสาร

การออกแบบและพัฒนาเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

Design and development of Field Beds from Hemp Plants Combined with Agricultural Waste Materials

สุรเชษฐ์ ตุ้มมี[1] ภาคิณ มณีโชติ[2] ศิรประภา พลธนะ[3] และ เทพ เกื้อทวีกุล[4*]
Surachet Toommee[1], Pakin Maneechot[2], Siraprapa Polthana[3] and Thep Kueathaweekun[4*]
[1,2,4]หลักสูตรวิศกรรมเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000
[3] โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000
[1,2,4]Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000
[3] Chemistry Program, Faculty of Industrial Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000
[*]Corresponding author: Tel.: 055-7065555 E-mail address: thep_k@kpru.ac.th

Abstract

This research presents the design and development of a field bed from hemp plants combined with agricultural waste materials. The objective is to design and develop a field bed from hemp plants combined with corn husks to be used as a field bed. The hemp field bed structure of 90 centimeters, a length of 190 centimeters and a height of 45 centimeters, respectively and studying the mixing ratios of 3 ratios: 20% hemp fibers by weight, 75% corn husks by weight and 5% natural plant starch by weight, 25% hemp fibers by weight, 70% corn husks by weight and 5% natural plant starch by weight, 30% hemp fibers by weight, 65% corn husks by weight and 5% natural plant starch by weight. From the study of the mixing appropriateness ratio is 25% hemp fibers by weight, 70% corn husks by weight and 5% natural plant starch by weight, because the mixing ratio is stronger and can use the appropriate amount of hemp scraps. After that, it is shaped and assembled into a field bed and can support a weight of 90 kilograms. Therefore, in this research that has been presented, hemp fields can be combined with agricultural waste. It will help the community to make use of the field beds and can increase income for farmers and the community and can use agricultural waste materials and can also alleviate environmental problems.

Key words: Hemp, Field bed, Corn husk, Agricultural waste

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบพัฒนาเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบพัฒนาเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับเปลือกข้าวโพดเพื่อนำไปเป็นเตียงสนามกัญชง โดยโครงสร้างเตียงสนามกัญชงที่มีขนาดกว้าง 90 เซนติเมตร ยาว 190 เซนติเมตร และมีความสูง 45 เซนติเมตร ตามลำดับ และทำการศึกษาอัตราส่วมผสม ทั้งหมด 3 อัตราส่วนผสม คือ เส้นใยกัญชง 20 %โดยน้ำหนัก เปลือกข้าวโพด 75% โดยน้ำหนัก และ แป้งธรรมชาติจากพืช 5 %โดยน้ำหนัก และ เส้นใยกัญชง 25 %โดยน้ำหนัก เปลือกข้าวโพด 70% โดยน้ำหนัก และ แป้งธรรมชาติจากพืช 5 %โดยน้ำหนัก และ เส้นใยกัญชง 30 %โดยน้ำหนัก เปลือกข้าวโพด 65% โดยน้ำหนัก และ แป้งธรรมชาติจากพืช 5 %โดยน้ำหนัก จากการศึกษาอัตราส่วนผสมและเหมาะสม คือ เส้นใยกัญชง 25 % โดยน้ำหนัก เปลือกข้าวโพด 70% โดยน้ำหนัก และ แป้งธรรมชาติจากพืช 5 %โดยน้ำหนัก เนื่องจากที่อัตราส่วนผสมดังกล่าวจะมีความแข็งแรงมากว่าและสามารถใช้ปริมาณเศษกัญชงที่เหมะสม หลังจากนั้นนำมาขึ้นรูป และนำมาประกอบเป็นเตียงสนาม และสามารถรองรับนำหนักได้ 90 กิโลกรัม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ที่ได้นำเสนอสามารถนำเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จะช่วยให้ชุมชนนำเตียงสนามไปใช้ประโยชน์และสามารารถเพื่อเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรและชุมชนและสามารถใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์และยังสามารถลอปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

คำสำคัญ : พืชกัญชง เตียงสนาม เปลือกข้าวโพด วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจกระจายทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ เกษตรกรส่วนหนึ่งมุ่งเน้นการเพิ่มปริมาณผลผลิต จึงเร่งการผลิตพืชเศรษฐกิจเพื่อให้ได้หลายรอบต่อปี โดยขาดการจัดการที่ดี และเลือกใช้วิธีการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรแทนวิธีการอื่น ๆ เพราะเป็นหนทางที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว ต้นทุนต่ำ โดยเฉพาะการเผาใบอ้อย ตอซังและฟางข้าว และตอซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ การเผาส่วนใหญ่จะเกิดในพื้นที่ข้าวนาปรัง ร้อยละ 57 รองลงมาเป็นการเผาในไร่อ้อยโรงงาน ร้อยละ 47 เผาในพื้นที่ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ร้อยละ 35 และเผาในพื้นที่ข้าวนาปี ร้อยละ 29 การเผาในพื้นที่เกษตรเป็นส่วนหนึ่งของปัญหา PM2.5 ซึ่งการเผาในพื้นที่เกษตรเหล่านั้นเป็นแหล่งที่มาของฝุ่นควันที่เห็นได้ชัด โดยเฉพาะในช่วงหลังเก็บเกี่ยวและช่วงการเตรียมพื้นที่เพาะปลูก มักเห็นเปลวไฟลามในทุ่งกว้าง เกิดฝุ่นควันเขม่ากระจายทั่วบริเวณ ซึ่งกรมควบคุมมลพิษ ระบุว่าเป็นการเผาในพื้นที่เกษตรก่อให้เกิดฝุ่นละออง PM2.5 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 5 ของปริมาณ PM2.5 ทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยยังมีแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ได้แก่ รถยนต์และการจราจร ร้อยละ 72.5 โรงงานอุตสาหกรรม ร้อยละ 17 และแหล่งที่มาอื่น ๆ

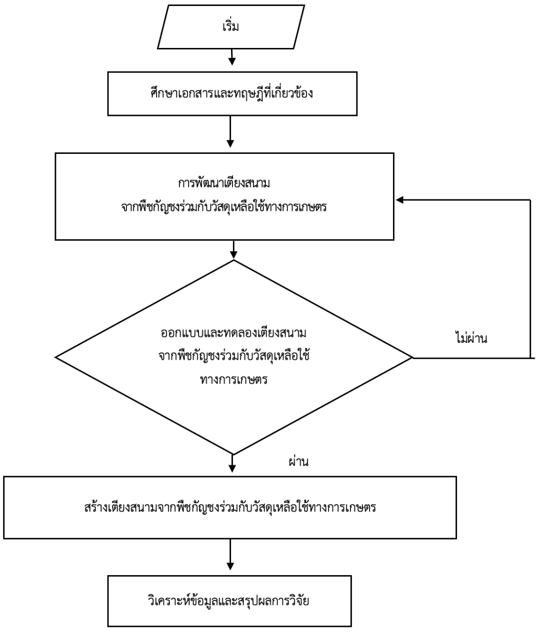
จากสถานการณ์หมอกควันในภาคเหนือ ค่า PM 2.5 ปี 2563 สูงกว่าปีก่อน โดยในปีนี้หมอกควันเกิดขึ้นเร็วตั้งแต่ต้นปี และช่วง มกราคม- เมษายน 2563 ค่า PM 2.5 ใน จังหวัดเชียงใหม่ เกินค่ามาตรฐาน 78 วัน และจังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดตาก ประมาณ 65 วัน ตามลำดับ โดยสาเหตุจากการเกิดหมอกควันปีนี้แย่ลงจากหลายสาเหตุ คือ หมอกควันจากภาคเกษตรจากการเผาเพื่อเตรียมพื้นที่ปลูกพืชเชิงเดี่ยว ซึ่งเป็นวิถีชีวิตดั้งเดิม ได้แก่ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ข้าว และอ้อยในภาคเหนือตอนล่าง แต่ในปัจจุบันมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้น รวมทั้งการเผาเพื่อล่าสัตว์และหาของป่า โดยเชื่อว่าจะทาให้ผลผลิตพืชป่าบางชนิดเพิ่มขึ้น หมอกควันข้ามแดนจากประเทศเพื่อนบ้านมีมากขึ้น และการลักลอบเผาซึ่งเกิดจากปัญหาที่ค่อนข้างซับซ้อน โดยมีประเด็นที่แตกต่างไปในแต่ละพื้นที่ เช่น การเข้าไปใช้ประโยชน์จากพื้นที่ป่า ดังนั้น การนำ

เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดปัญหาหมอกควันและลดค่า PM 2.5 ได้ โดยวัสดุเหลือใช้จากการปลูกข้าว ข้าวโพด และอ้อย มีอยู่ประมาณ 90,000 ตัน/ปี เช่น พืชกัญชง ซังข้าวโพด ต้นข้าวโพด เปลือกข้าวโพด ยอดอ้อย และใบอ้อย เป็นต้น การเพิ่มมูลค่าและการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร นอกจากนี้ได้มีนักวิจัยได้ทำการศึกษาบรรจุภัณฑ์กันกระแทกจากเศษกระดาษ [1] พัฒนาแผ่นกันกระแทกจากเยื่อหญ้าแฝกผสมเยื่อเวียนทาใหม่ชุบโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเพื่อยืดอายุกล้วยหอมทอง [2] กรรมวิธีการผลิตวัสดุกันกระแทกย่อยสลายได้ในธรรมชาติจากแป้งมันสาปะหลัง [3] และการศึกษาและพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากเส้นใยพืชมะละกอในงานบรรจุภัณฑ์สาหรับผลิตภัณฑ์แก้วและเซรามิค [4] ซึ่งเป็นการศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงไปลงพื้นที่ชุมชนบ้านใหม่ยอดคีรี ตำบลคีรีราษฎร์ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก และได้เข้าร่วมหารือกับนางหม่อ แซ่ว่าง ชาวบ้านใหม่ยอดคีรี ต.คีรีราษฎร์ ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนและตัวแทนเกษตรกรในพื้นที่ พบว่า เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเส้นใยกังชง เช่น เสื้อ กางเกง กระเป๋า เป็นต้น พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพปลูกข้าวโพด ปลูกข้าว ซึ่งหลังการเก็บเกี่ยวจะมีเศษวัสดุเหลือใช้จำนวนมาก เกษตรกรโดยส่วนจะใช้วิธีการเผาเพื่อเตรียมพื้นเพาะปลูกในปีถัดไป ในทำนองเดียวกันในจังหวัดกำแพงเพชรมีพื้นที่ทำนาหลายหมื่นไร่ จะมีเศษวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากเช่นเดียวกัน จึงทำให้เกิดปัญหาหมอกควันและ PM 2.5 ดังนั้นการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดปัญหาหมอกควันและลดค่า PM 2.5 ได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและพัฒนาเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยกาศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาเตียงสนามและสร้างเตียงสนามและนำไปใช้งานกับสถานที่เคลือนที่หรือสถานที่ที่มีเตียงไม่เพียงพอ ซึ่งการพัฒนาเตียงสนามจะช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร และสามารถใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ และยังลดการใช้ปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเรื่อง การออกแบบพัฒนาเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

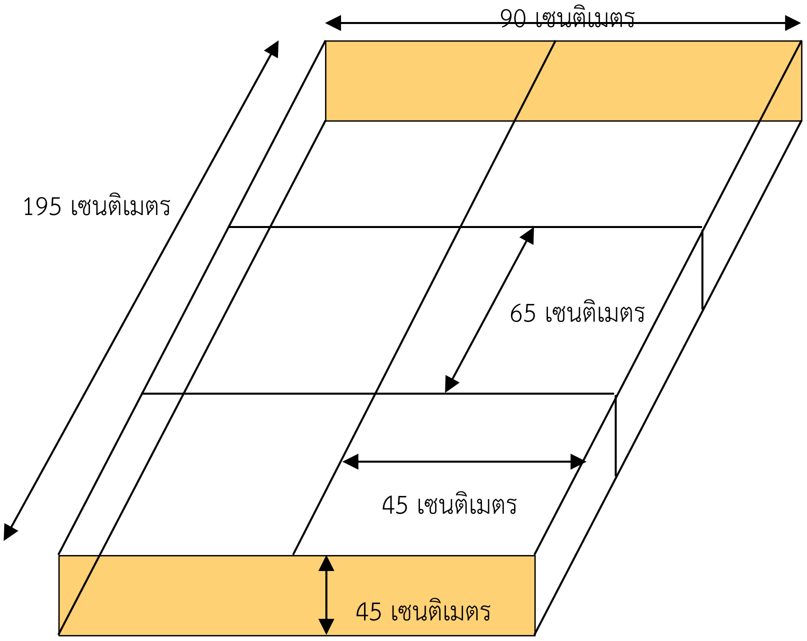


ภาพที่ 1 แสดงแผนภูมิการดำเนินงานวิจัย

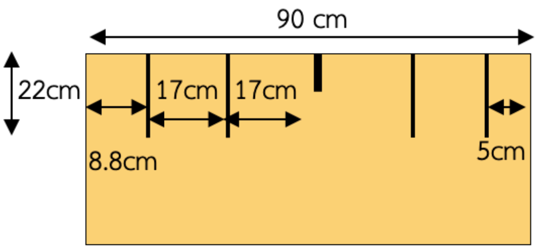
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการออกแบบพัฒนาเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีดังนี้

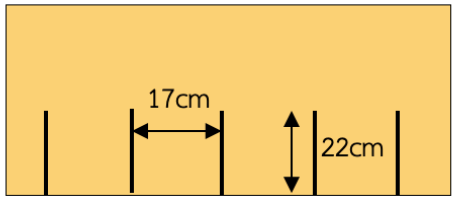
1. การออกแบบและพัฒนาเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร



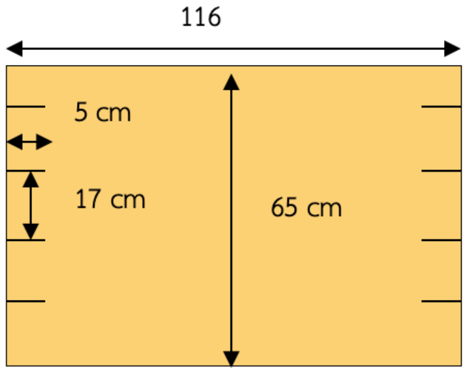
ภาพที่ 2 โครงสร้างเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร



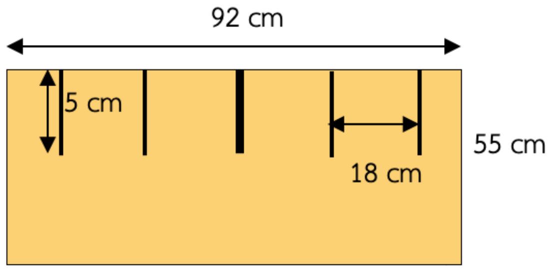
(ก) ชิ้นสำหรับทำฐานแนวตั้ง



(ข) ชิ้นสำหรับทำฐานประกบกลับด้าน



(ก) ชิ้นสำหรับทำฐานแนวตั้ง



(ข) ชิ้นสำหรับทำฐานประกบกลับด้าน

ภาพที่ 3 ส่วนประกอบเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

กรรมวิธีการผลิตเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีเป้าหมายในการสร้างวัสดุที่มีคุณสมบัติเด่นทั้งด้านความแข็งแรง ทนทาน และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้การผสมเส้นใยจากพืชกัญชงและเปลือกข้าวโพดซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติและสามารถย่อยสลายได้เอง เส้นใยกัญชงช่วยเพิ่มความแข็งแรงและทนทานต่อแรงดึงและแรงอัด ขณะที่เปลือกข้าวโพดเพิ่มความยืดหยุ่นและลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย และใช้อุปกรณ์ในการพัฒนาดังนี้คือ เครื่องปั่น เครื่องวัด เครื่องชั่ง กรรไกร แม่แบบ กะละมัง ทัพพี ถุงพลาสติก ยางวง เป็นต้น และใช้มีกรรมวิธีการผลิตเตียงสนามจากพืชกัญชงดังนี้

1. ตัดพืชกัญชงขนาดความยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร น้ำหนักตามสัดส่วนผสมตามเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำความสะอาดพืชกัญชงด้วยน้ำสะอาด

2. เตรียมเปลือกข้าวโพดขนาดความยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร น้ำหนักตามสัดส่วนผสมตามเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำความสะอาดเปลือกข้าวโพดด้วยน้ำสะอาด ผสมพืชกัญชงและเปลือกข้าวโพดเข้าด้วยกัน

3. นำพืชกัญชงและเปลือกข้าวโพดไปต้มที่เติมด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใส่ปริมาณน้ำที่เหมาะสม ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 – 2 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำที่ต้ม

4. ระยะเวลาในการต้ม ใช้เวลา 1 ชั่วโมง โดยให้อุณหภูมิ 90 - 100 องศาเซลเซียส

5. หลังจากการต้มเสร็จ ให้ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง เพื่อให้พืชกัญชงและเปลือกข้าวโพดดูดซึมน้ำที่ทำปฏิกิริยากับตัวโซเดียมไฮดรอกไซด์ และปรับสภาพเส้นใยให้อ่อนตัว

6. นำพืชกัญชงและเปลือกข้าวโพดที่ผ่านการต้มมาล้างน้ำสะอาดด้วยตะแกรง จนสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายออกหมด โดยกำหนดค่า PH=7

7. เตรียมแป้งธรรมชาติจากพืช 5 – 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของส่วนผสมแห้ง ผสมกับน้ำ ในอัตราส่วน 1:10 กวนน้ำและแป้งธรรมชาติจากพืชให้เข้ากันแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 - 70 องศาเซลเซียส

8. ค่อยๆกวนเป็นเวลา 10 นาทีและควบคุมปริมาณน้ำโดยกำหนดให้ เติมน้ำทุกๆ 2 นาที จนได้กาวแป้งสำหรับใช้เป็นสารเชื่อมประสานที่มีความใสและหนืด

9. เตรียมภาชนะสำหรับผสม เติมน้ำปริมาณ 10 ลิตร เพื่อใช้เป็นตัวละลายเยื่อพืชกัญชงและเปลือกข้าวโพดลงบนแม่แบบ

10. น้ำพืชกัญชงและเปลือกข้าวโพดมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น โดยเส้นใยก่อนปั่นคิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำ

11. หลังจากการปั่นให้บีบรีดน้ำออก พร้อมจะขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยมีสัดส่วนเส้นใย 10 – 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

12. นำเส้นใยที่ได้จากการปั่น มาผสมสารเชื่อมประสานในอัตราส่วน 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เกลี่ยลงบนภาชะผสมให้เข้ากัน

13. ใส่ลงบนแผ่นตะแกรงเฟรมที่ขึงด้วยขนาด 100 x 50 เซนติเมตร

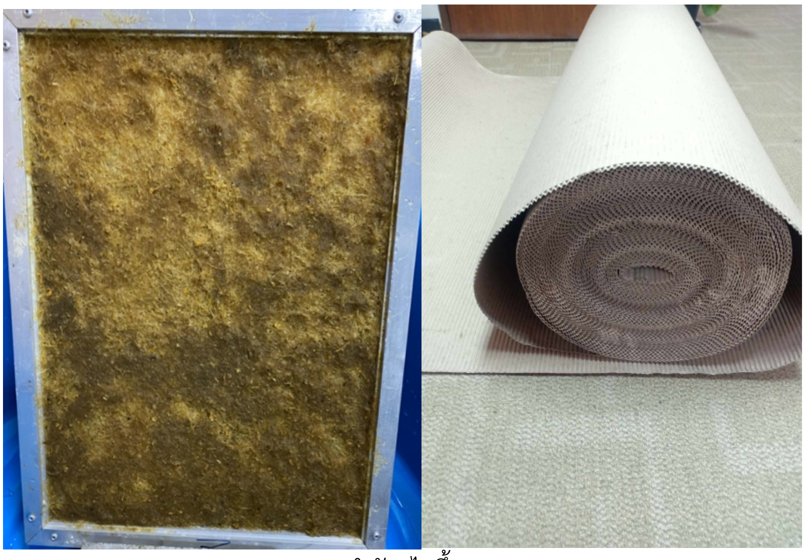
14. เกลี่ยเส้นใยให้ทั่วตะแกงจนได้เป็นแผ่นเนื้อเยื่อที่มีผิวเรียบสม่ำเสมอ โดยมีน้ำช่วยในการละลายให้เป็นแผ่น

15. จากนั้นนำไปตากแห้งในอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง จะได้แผ่นพืชกัญชงและเปลือกข้าวโพดสำหรับการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์

16. นำกระดาษลูกฟูกมาตัดให้ได้ขนาดตามแบบและนำมาประกบทั้งสองด้านโดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นวัสดุประสานและทิ้งไว้ประมาณ 6 ชั่วโมง

17. นำวัสดุต้นแบบมาตัดให้ได้ตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้เบื้องต้นและนำมาประกอบให้ได้เตียงสนามตามต้องการดังแสดงดังภาพที่ 4

(ก) การเตรียมวัตถุดิบ



(ข) นำวัสดุไปขึ้นรูป

(ค) นำวัสดุต้นแบบมาประกอบเพื่อทำเตียงสนาม

(ง) ต้นแบบเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ภาพที่ 4 การเตรียมวัตถุดิบ การขึ้นรูป และต้นแบบเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

จากการศึกษาอัตราส่วนผสมวัสดุจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ที่ทำการศึกษาที่ 3 ส่วนผสม ดังนี้ การศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยกัญชง 20 %โดยน้ำหนัก เปลือกข้าวโพด 75% โดยน้ำหนัก และ แป้งธรรมชาติจากพืช 5 %โดยน้ำหนัก พบว่า มีความยืดความแข็งแรงดีและการยึดเกาะของวัสดุไม่ค่อยดี เนื่องจากปริมาณ เปลือกข้าวโพดมากเกินไป ส่วนการศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยกัญชง 25 %โดยน้ำหนัก เปลือกข้าวโพด 70% โดยน้ำหนัก และ แป้งธรรมชาติจากพืช 5 %โดยน้ำหนัก พบว่า มีความยืดความแข็งแรงดีและการยึดเกาะของวัสดุได้ดี และ การศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยกัญชง 30 %โดยน้ำหนัก เปลือกข้าวโพด 65% โดยน้ำหนัก และ แป้งธรรมชาติจากพืช 5 %โดยน้ำหนัก พบว่า มีความยืดความแข็งแรงดีและการยึดเกาะของวัสดุไม่ค่อยดี เนื่องจากปริมาณ เส้นใยกัญชง ดังนั้นจากการศึกษา ทั้งหมด 3 อัตราส่วนพบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมซึ่งสามารถยึดเกาะได้ดีคือ อัตราส่วนผสมเส้นใยกัญชง 25 %โดยน้ำหนัก เปลือกข้าวโพด 70% โดยน้ำหนัก และ แป้งธรรมชาติจากพืช 5 %โดยน้ำหนัก เนื่องจากที่อัตราส่วนผสมดังกล่าวจะมีความแข็งแรงมากว่าและสามารถใช้ปริมาณเศษกัญชงที่เหมะสม หลังจากนั้นนำมาสร้างเตียงสนามกัญชง ด้วยการขึ้นรูปและนำมาประกอบเป็นเตียงสนาม และนำมาทดลองความแข็งแรงพบว่า สามารถรองรับนำหนักได้ 90 กิโลกรัม

สรุปผลการวิจัย

การออกแบบพัฒนาเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบพัฒนาเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับเปลือกข้าวโพดเพื่อนำไปเป็นเตียงสนามกัญชง โดยทำการออกแบบและสร้างเตียงสนามกัญชงที่มีขนาด 90 เซนติเมตร x 190 เซนติเมตร x 45 เซนติเมตร ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ทั้งหมด 3 อัตราส่วนผสมสามารถนำไปใช้งานได้แต่อัตราส่วนผสมและเหมาะสม คือ เส้นใยกัญชง 25 %โดยน้ำหนัก เปลือกข้าวโพด 70% โดยน้ำหนัก และ แป้งธรรมชาติจากพืช 5 %โดยน้ำหนัก เนื่องจากที่อัตราส่วนผสมดังกล่าวจะมีความแข็งแรงมากว่าและสามารถใช้ปริมาณเศษกัญชงที่เหมะสม หลังจากนั้นนำมาขึ้นรูป และนำมาประกอบเป็นเตียงสนาม และนำมาทดลองความ

แข็งแรงพบว่า สามารถรองรับนำหนักได้ 90 กิโลกรัม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ที่ได้นำเสนอสามารถนำเตียงสนามจากพืชกัญชงร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จะช่วยให้ชุมชนนำเตียงสนามไปใช้ประโยชน์และสามารารถเพื่อเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรและชุมชนและสามารถใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

[1] ประสิทธิ์ พวงบุตร และ ศักดิ์ชาย สิกขา. (2559). การออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์กันกระแทกจากเศษกระดาษ. ***วารสารศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.*** 8(1). มกราคม-มิถุนายน 2559, 279-300.

[2] ณัฐพงศ์ ขุนอาสา. (2553). **การพัฒนาแผ่นกันกระแทกจากเยื่อหญ้าแฝกผสมเยื่อเวียนทาใหม่ชุบโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเพื่อยืดอายุกล้วยหอมทอง.** วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[3] วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน. (2554). **การพัฒนากรรมวิธีการผลิตวัสดุกันกระแทกย่อยสลายได้ในธรรมชาติจากแป้งมันสำปะหลัง.** ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[4] ชูเกียรติ อนันต์เวทยานนท์ และคณะ. (2558). **การศึกษาและพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากเส้นใยพืชมะละกอในงานบรรจุภัณฑ์สาหรับผลิตภัณฑ์แก้วและเซรามิค.** รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Asia Renewable Energy for Community Conference

(AREC)

Assessment and Mitigation Strategies for Reducing Greenhouse Gas Emissions in Egg-Laying Hen Farming to Achieve Carbon Neutrality in Poultry Farming Communities

Putthadee Ubolsook[1] Krissana Khamfong[1*] Aphirak boonmak[1] Chattanong Podong[1] Pongthep Jansanthea[2] Weerapon Kongnun[3] and Yasintinee Aimyuak[4]

[1]Environment, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000
[2]Chemistry, Faculty of Science and Technology, Uttaradit RajabhatUniversity, Uttaradit 53000
[3]Eelectronic Engineering, Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000
[4]Industrial Energy Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000
Corresponding author: Tel.: 093-181-6226. E-mail address: krissana.kha@uru.ac.th

Abstract

This investigation greenhouse gas (GHG) emissions associated with egg-laying hen farming and proposes strategies for attaining carbon neutrality in poultry farming communities. By employing a life cycle assessment methodology, we quantified emissions across various farm processes for a case study involving 9,800 hens over a 450-day production cycle. Our findings reveal that feed consumption is the primary contributor to daily GHG emissions (807.4620 kgCO_2eq), followed by water use (33.3196 kgCO_2eq) and electricity consumption (4.3279 kgCO_2eq), resulting in total daily emissions of 1,779.7232 kgCO_2eq. To mitigate emissions, we suggest two key strategies: the implementation of solar energy systems for lighting and water pumps, and the transition from diesel to biodiesel fuel. Our analysis indicates that adopting solar energy could decrease electricity-related emissions by 48% (2.0652 kgCO_2eq/day), while the use of biodiesel could reduce fuel-related emissions by 22% (1.3884 kgCO_2eq/day). Moreover, we have identified adjustments in feed formulations and stricter fertilizer control in feed crop cultivation as effective means of reducing emissions. The study proposes that a combination of adopting renewable energy, enhancing feed efficiency, and practicing sustainable resource management could significantly lower emissions. However, achieving carbon neutrality requires a more comprehensive approach that encompasses advanced manure management and carbon sequestration practices. We recommend further research into the economic feasibility and scalability of these strategies across diverse farm types and regions to ensure their successful implementation and contribution to climate change mitigation in agriculture.

Keywords: egg-laying hen farming, greenhouse gas, environmental impact, life cycle assessment

Energy Development Assessment of Biomass Power Plant with Rice Husk Fuel Source in Thailand: Analysis of the Performance, LCOE and Carbon Emissions Reduction

Prachuab Peerapong[1], Sonthaya Khamdech[1], Patchara Wongtong[2] , and Promphak Boonraksa[3*]

[1]Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, Bangkokthonburi University, Bangkok, Thailand 10170
[2]Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bangkokthonburi University, Bangkok, Thailand 10170
[3]Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi, Thailand 11000
*Corresponding author: Tel.: 02 969 1370. E-mail address: promphak.dawan@gmail.com

Abstract

This study was conducted from technical and financial from two rice husk power plants in Thailand. A proposed rice husk power plants use Rankine cycle power plant as a combustion configuration for electricity generation. The simulation in this research uses the System Advisor Model (SAM) to study the plant performance and financial analysis. This research investigates by using input technical plant data, and the financial variable assumptions. The results in this research can be concluded that the LCOE (the Levelized cost of electricity) of the electricity generation from the rice husk power plants at 6.62-6.63 ₵/kWh. The potentials of CO2 reduction of rice husk plants in this study are 38,319 tons/year for plant A, and 53,923 tons/year for plant B. These results can be used as a useful tool for developing strategic plan in biomass power plants in Thailand.

Keywords: Biomass power plant, Rice husk, Levelized cost of electricity, Electricity power generation

Biochemical Methane Potential (BMP) of Shredded Pork Processing Wastewater Using by Cow Manure as Inoculum

Puwadon Chumpoochai[1], Kittikorn Sasujit[2], Jutaporn, Chanathaworn[3], Chayanon Sawatdeenarunat[4], and Rotjapun Nirunsin[5*]

[1]Department of Renewable Energy Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, 50290, Thailand

[2]Asian Development College for Community Economy and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, Thailand

*Corresponding author's email: rotjapun@gmail.com

Abstract

The food processing industry plays a crucial role in adding value to agricultural raw materials through modern and efficient processes, transforming them into high-value food products. This industry can potentially drive economic growth, particularly at the local level through small and medium enterprises (SMEs). One high-potential sector is meat processing. However, wastewater from pork floss production poses a significant challenge as it often contains blood and fat, which requires proper management. This research aims to investigate the from wastewater generated during shredded pork processing and determine the optimal co-digestion ratio with cow manure inoculum. Theexperiment included a 1,000 ml reactor with a working volume of 400 ml, the S/I ratios of 1:1, 1:2, and 2:1 under mesophilic conditions at a controlled temperature of 35 $\pm$ 2 °C. The study results showed that the most appropriate ratio for biogas production was 2:1. Over 33 days, the maximum cumulative biogas production reached 1,640.19 NmL/gVS$_{add}$ with a methane content of 68.60% and an organic matter removal efficiency measured as the potential of COD removal was 57.57%. This study demonstrates the high potential of wastewater from shredded pork processing for biogas production, which can be further developed and applied on an industrial scale.

Keywords: Biogas production potential, Anaerobic digestion, Cow manure, Wastewater

Analysis Solar Dryer Cylinder on Heat Transfer Convection

Sriwichai susuk[1*], Natsacha Inchoorun, Weerayuth Promjan[1]
Khanittha Chawananorasest[2], and Kusol Iamsub[2]

[1]Expert Center of Innovative Health Food, [InnoFood], Research and Development Group for Bio-Industries,Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR) 12120
[2]Expert Center of Innovative Herbal Products, [InnoHerb], Research and Development Group for Bio-Industries, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR) 12120
[3]Expert Center of Innovative Agriculture, [InnoAg], Research and Development Group for Bio-Industries, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR) 12120
* Corresponding author email: sriwichai@tistr.or.th

Abstract

The utilization of the solar energy has been widely used very popular because of high solar radiation and environmentally-friendly. The main objective of this research work has focused on using renewable energy technologies for design in a solar drying system for foods fruit vegetables and herbs. An attempt is established to utilize the benefits of the sun, using heat transfer natural convection of air-heated solar dryer and analysis the using heat transfer equation in order to make effective use of temperature from the sun. Experimental data obtained were used to evaluate the properties of dry air on boundary region laminar flow condition. Initial, Testing were carried out under no-load condition, the result shows that temperature recorded ambient 30.5 - 42.5˚C and inside dryer 39.7 - 53.7˚C respectively. The solar radiations 312 - 513 W/m2. Heat transfer coefficient natural convections are found to be 3.9 and 4.7 average approximately 4.4 W/m2 ˚C respectively, and the thermal efficiencies between 23.4 and 39.3 %, while a drying rate (evaporation rate) between 0.024 and 0.268 g/s. and average approximately 0.125 g/s. under increasing and decreasing trends of solar radiations from drying schedule 08:00 a.m. to 04:00 p.m. Similar items, test with mango fruit 25 kg, in order to examine its effectiveness and performance evaluation parameters for the system. During period test, the result also revealed the dependence of performance on the temperature through the system, weight loss between 0.015 and 0.092 g/s. and average drying efficiencies approximately 37.2 %, energy and emissions CO2 saving approximately 1200 W/day and 7 kg/day respectively.

Keywords: renewable energy technologies, heat transfer natural convection, boundary condition, laminar flow, energy solar radiation, heat transfer coefficients

จัดประชุมโดย

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ (adiCET)

ร่วมกับ

สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

Organized by:

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ (adiCET)
Tel: 062-3104908 Email: adicet@cmru.ac.th
Website: www.adicet.cmru.ac.th