

วารสารวิชาการ พลังงาน ทดแทน สู่ชุมชน

ปีที่ 5 ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน-ธันวาคม 2565



J-REC

JOURNAL
OF RENEWABLE
ENERGY FOR
COMMUNITY

ISSN 2773-8639 (Online)

J-REC BY TRECA



วารสารวิชาการ
**พลังงานทดแทน
สู่ชุมชน**

J-REC

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นเอกสารเผยแพร่ผลงานวิชาการและงานวิจัยทางด้านพลังงานทดแทนในเครือข่ายพลังงานของประเทศไทย
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ และงานวิชาการใหม่ๆ ด้านพลังงานทดแทนระหว่างนักวิจัยและผู้ใช้งานในทั้งภาครัฐและเอกชน
3. เพื่อส่งเสริมสนับสนุนให้คณาจารย์ บุคลากรทางการศึกษา นิสิต นักศึกษา และผู้สนใจทำผลงานทางด้านพลังงานทดแทนที่เป็นประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติ
4. เพื่อเป็นเอกสารรวบรวมรายงานวิจัยและบทความทางวิชาการที่มีคุณภาพและมีคุณค่าทางด้านพลังงานทดแทนสู่การใช้งานจริงเพื่อความยั่งยืนทางด้านพลังงานของประเทศไทย



เจ้าของและลิขสิทธิ์ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

ที่ตั้งสมาคมฯ ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 ม.1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110

โทร. 0-2549-3497 www.reca.or.th/jrec

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

พิมพ์ออกเผยแพร่ 3 ฉบับต่อปี ตั้งแต่ เดือนมกราคม-เมษายน พฤษภาคม-สิงหาคม และ กันยายน-ธันวาคม

ติดต่อขอรับเป็นสมาชิกได้โดยตรงที่ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

วัตถุประสงค์สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน แห่งประเทศไทย

- เพื่อส่งเสริมความร่วมมือ ทางด้านวิชาการระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชนและภาคประชาชน ในด้านพลังงาน ทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชนต่างๆ ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ
- เพื่อจัดหาทุนเพื่อสนับสนุนการศึกษาวิจัย ฝึกอบรม การดำเนินโครงการด้านพลังงานทดแทนให้กับ ภาครัฐ ภาคเอกชนและภาคประชาชน จากแหล่งทุนทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ
- ไม่ดำเนินการส่งเสริมและพัฒนากิจกรรมใดๆ ที่มุ่งไปสู่การดำเนินงานทางการเมือง
- ไม่ดำเนินการให้มีการจัดตั้งโต๊ะบิลเลียดหรือกระทำการอันผิดต่อขนบธรรมเนียมและจารีต ประเพณีที่ดีของสังคมไทย
- เพื่อส่งเสริมให้สมาคมมีรายได้จากโควต้าสลากกินแบ่งรัฐบาล หรือสลากการกุศลของรัฐบาลที่พิมพ์ ออกจำหน่าย เพื่อนำรายได้มาใช้ในการดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของสมาคม
- เพื่อส่งเสริมกิจกรรมทางสังคมด้านสาธารณะประโยชน์ด้านต่างๆ รวมถึงกิจกรรมเพื่อการจัดสวัสดิการให้กับสมาชิก

หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันทั่วโลกต้องเผชิญกับปัญหาด้านพลังงานที่รุนแรงกว่าในอดีตมากอันเนื่องมาจากความต้องการใช้พลังงานและราคาพลังงานเชื้อเพลิงที่มีการปรับตัวอยู่ในระดับสูงอย่างต่อเนื่อง ผลกระทบที่สำคัญจากปัญหาดังกล่าวคือความมั่นคง ทางด้านการจัดหาพลังงาน ขณะเดียวกันการใช้พลังงานที่สูงขึ้นก็ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจนเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Green House Effects) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกอย่างรุนแรง ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาด้านพลังงานดังกล่าว จึงได้มีแนวคิดในการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนกันมากขึ้น โดยเฉพาะพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีการนำมาใช้เป็นระยะเวลายาวนาน ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Green & Clean Energy) อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่มีวันหมดสิ้น

จุดมุ่งหมายสำคัญ

การทำงานกันทั้งส่วนภาครัฐและประชาชนในการใช้พลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศไทย ตลอดจนการศึกษาวิจัย ดำเนินการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่าง ๆ มาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อความเหมาะสมและให้เกิดความยั่งยืนของชุมชนและประชาชนในประเทศไทย

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY คณะกรรมการจัดทำวารสาร วิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

หัวหน้ากองบรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองบรรณาธิการ นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (ดร.อำพล อาภาธนากร)
ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (ผศ.ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร)
กองบรรณาธิการ ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ
ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช
ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร แก้วอ่อน
รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์ มณีโชติ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรุณี อริยะวิริยะนันท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร

เลขานุการ

นางสาววรรณिता ทองพัด

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาววรรณิภา พงษ์ไทยสงค์

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณมภ์ ภูมิภักดีพิชญ์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงไกร แซมสีม่วง	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภาวสุปรีดิ์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรุณี อริยะวิริยะนันท์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนนมาลย์ เนียมกลาง	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประชัญ อัครนรากุล	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ ประทุมณพรัตน์
ดร.วิเชียร อุปแก้ว
ดร.วินัย จันทร์เพ็ง
ดร.สถาพร ทองวิก
ดร.อำพล อาภาธนากร
ดร.ธนวรรธน์ วีชรดำรงศักดิ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมมาส แก้วล้วน
รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววศักดิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร แก้วอ่อน
ดร.นเรศ นิเมเรศ
รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐุ์ มณีโชติ

รองศาสตราจารย์ ดร.ประพิธาร์ ธนารักษ์

ดร.บงกช ประสิทธิ์

ดร.ยอดธง เม่นสิน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรพงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยทิพย์ สิ้นสุยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ ณัฐ จันทรศรี

ดร.ณัฐยา ตันตราพันธ์

ดร.ชยานนท์ สวัสดิ์นฤนาท

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยภัทร บุษบาบดินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สักรินทร์ แซ่ภู

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระยศ แข็งขัน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนโชติ เทียนมงคล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนิรัตน์ วงษ์ซิม

ดร.อมฤต สมพงษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง

รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณุช แจ้งสว่าง

ดร.นวงศ์ ชลคุป

ดร.กัมปนาท ซิลวา

ดร.สาคร สร้อยยั้งวาลย์

ดร.ชานนท์ บุญมีพิพิธ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ผังเมือง และนฤมิตศิลป์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ

ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ

วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนโดยความร่วมมือของเครือข่ายสมาชิกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (TRECA) ซึ่งเป็นฉบับที่ 3 ของปีที่ 5 และนับเป็นปีสองที่วารสารตีพิมพ์รูปแบบออนไลน์ ISSN 2773-8639 (Online) วารสารฉบับนี้เป็นเนื้อหาของบทความทางวิชาการที่มุ่งสร้างผลงานที่เด่นทางด้านวิจัย และมุ่งสู่การใช้งานจริง ซึ่งได้รวบรวมความรู้ทางวิชาการที่สามารถถ่ายทอดให้แก่สังคม ทางด้านพลังงานทดแทนในสาขาต่างๆ เพื่อให้วารสารนี้เป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนวิชาการและแนวความคิดในแวดวงวิชาการทั้งผู้วิจัยและผู้ใช้งาน อันเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างผลงานทางวิชาการสู่ชุมชนและสังคมโดยดำรงไว้ซึ่งความเป็นตัวตนทางวิชาการของผู้เขียนและวัตถุประสงค์ของสมาคมฯ ที่ทรงคุณค่า บทความในวารสารฉบับนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 10 บทความ ซึ่งในแต่ละบทความมีความเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันของรูปแบบพลังงานทดแทนต่างๆครอบคลุมกระบวนการในการวิจัยและการศึกษาสู่ภาคการใช้งานผู้อ่านจะได้รับความรู้ที่หลากหลายจากการอ่านวารสารฉบับนี้ในแนวทางที่จะจุดประกายความคิด หรือการต่อยอดความคิดทางด้านพลังงานทดแทนสาขาต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอ่านอย่างวิพากษ์และตั้งคำถาม เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนในทางวิชาการอย่างสร้างสรรค์ อันจะช่วยให้ความรู้และความคิดเดิมถูกแพร่ขยายออกไปได้อย่างกว้างขวาง อีกทั้งให้วารสารฉบับนี้เป็นแหล่งความรู้ในทุกระดับภาคส่วนของทุกคนในสังคมไทย โดยไม่ยึดติดตนเองและอยู่กับความรู้ความคิดเพียงบางมุมบางด้านเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เขียนและผู้อ่านมีความเป็นตัวตนทางวิชาการที่พร้อมจะพัฒนาตนเองอยู่เสมออย่างไม่หยุดนิ่ง และท้ายที่สุดแล้วความรู้ความคิดที่ถูกต่อขยายออกไปนั้น ก็จะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนกระบวนการทัศนคติทางความคิดของสังคมและชุมชนอย่างกว้างขวาง อันจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางวิชาการของสังคมเพื่อความยั่งยืนของประเทศชาติกองบรรณาธิการขอขอบพระคุณคณะทำงานทุกท่านคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิชาการ และทุกภาคส่วนที่ได้สละเวลาอันมีค่าอ่านบทความ เพื่อความถูกต้องทางวิชาการ และเป็นวารสารที่ดีต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งนี้หากผู้อ่านมีความประสงค์จะตีพิมพ์บทความสามารถขอความกรุณาโปรดจัดเตรียมต้นฉบับให้เป็นไปตามรูปแบบของวารสารและส่งบทความทางออนไลน์ที่ www.reca.or.th/jrec เพื่อการพิจารณาและตีพิมพ์ในวารสารฉบับต่อไป

กองบรรณาธิการ

สารบัญ

เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน

การศึกษาการออกแบบการจัดการน้ำมันเหลือทิ้งภายในครัวเรือนที่เหมาะสม 8	
ในพื้นที่บ้านคลองหมากนืด ตำบลบ้านแก้ง อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว	
การทดลองผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพทะเลลายปาล์มด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบช้า 15	
ศึกษาสมบัติของไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน 24	
จากวัตถุดิบตั้งต้น 4 ชนิด	
เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้ง 34	
หลังการสกัดน้ำมัน (CNSL) โดยใช้วิธีการเผาถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า	

นวัตกรรมด้านพลังงาน

การศึกษาการอบแห้งแก้มังกรด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์ 44	
สองรูปทรงเปรียบเทียบกับการตากแดด	
การประยุกต์ใช้ IoT สำหรับกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟด้วยการติดตามผล 60	
ผ่านแพลตฟอร์ม กรณีศึกษา: ห้องอบแห้งเมล็ดกาแฟของ บริษัท ม่อนมาตุภูมิ จำกัด	
การศึกษาหิวเผาอุตสาหกรรมด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล 67	

สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด สู่อุตสาหกรรมกระดาษชีวภาพ 79	
ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	

การบริหารจัดการพลังงานชุมชนด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล

พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพื่อจำลองการบริหารจัดการแบตเตอรี่จากระบบ 94	
การคิดค่าไฟฟ้าแบบ อัตรา TOU เพื่อลดค่าไฟฟ้าในสวนพลังงาน	
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
การจัดการพลังงานในธุรกิจขนาดเล็กตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนเวียน 113	
BCG Model กรณีศึกษา: บริษัท ลพบุรีพาวเวอร์ซีต จำกัด จังหวัดเชียงใหม่	

การศึกษารูปแบบการจัดการน้ำมันเหลือทิ้งภายในครัวเรือนที่เหมาะสมในพื้นที่บ้านคลองหมากนัด
ตำบลบ้านแก่ง อำเภอมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว
The Study Pattern Waste Oil Management Appropriate in Ban Khlong Mak Nat,
Ban Kaeng, Mueang Sa Kaeo District, Sa Kaeo

เทอดเกียรติ แก้วพวง^{1*} และปิยะพงษ์ ยงเพชร²
Teadkai Kaewpuang^{1*} and Piyaphong Yongphet²

¹ สำนักส่งเสริมการเรียนรู้และบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี 13180

² สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี 13180

¹ Office of the Promotion of Learning and Academic Services, Valaya Alongkorn Rajabhat University
under the Royal Patronage, Pathum Thani 13180

² Research and Development Institute, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage,
Pathum Thani 13180

*Corresponding author: Tel.: 094-6094909. E-mail address: tkaewpuang@gmail.com

Received: 10 July 2021, Revised: 16 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 December 2022

Abstract

This research was to study pattern waste oil management appropriate in Ban Khlong Mak Nat, Ban Kaeng, Mueang Sa Kaeo District, Sa Kaeo Province. To study problem obstacles to management and proposed and appropriate waste oil management model in the area. The target group was the people of Ban Khlong Mak Nat, Village Moo. 11, Ban Kaeng Subdistrict, Mueang Sa Kaeo District. Sa Kaeo. The research process using the SWOT process and analyzed for the waste oil management model. The results showed that the people of Ban Khlong Mak Nat had reused the oil for frying 1-2 times, 75% and 21 % in 3-4 re-frying times in 1 pan, and more importantly, 31 % of the remaining oil from frying or cooking for reuse and 34 % had drain thrown and the ground which causes environmental pollution of the community. The collected data on the people of Ban Khlong Mak Nat, it was found that the people were engaged in agriculture and used the tractor engine in agriculture by using fuel diesel. Therefore, the researcher had awareness raising environmental and presented the propose guidelines for the use of biodiesel production to save the environment from using waste oil to produce biodiesel for using agricultural.

Keywords: Environment, Waste Oil, Biodisel

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยเพื่อการศึกษา รูปแบบการจัดการน้ำมันเหลือทิ้งภายในครัวเรือนที่เหมาะสมในพื้นที่บ้านคลองหมากนัต ตำบลบ้านแก้ง อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว ศึกษาปัญหา อุปสรรคการจัดการและเสนอรูปแบบการจัดการน้ำมันเหลือทิ้งที่เหมาะสมในพื้นที่ โดยกลุ่มเป้าหมายเป็นประชาชนบ้านคลองหมากนัต หมู่ที่ 11 ตำบลบ้านแก้ง อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว กระบวนการศึกษาวิจัยเป็นการศึกษาบริบทชุมชนด้วยกระบวนการ SWOT การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์หารูปแบบการจัดการน้ำมันเหลือทิ้งภายในครัวเรือน ผลการวิจัย พบว่า ประชาชนบ้านคลองหมากนัตมีการใช้น้ำมันในการทอดซ้ำ 1-2 ครั้ง ร้อยละ 75 และ ร้อยละ 21 ในการทอดซ้ำ 3-4 ครั้งใน 1 กะทะ และที่สำคัญน้ำมันที่เหลือจากการทอดหรือประกอบอาหารในแต่ละวันร้อยละ 31 มีการเก็บไว้ใช้ และร้อยละ 34 มีการเททิ้งทอระบายน้ำ เททิ้งลงพื้นดิน ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมของชุมชน เกิดการเน่าเหม็น และจากการเก็บข้อมูลประชาชนบ้านคลองหมากนัตยังพบว่าประชาชนมีอาชีพทำเกษตรกรรมและมีการใช้เครื่องยนตร์รถไถนาเดินตามในการทำเกษตร และเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นน้ำมันดีเซล ทางคณะวิจัยจึงได้สร้างความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมและเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์ที่การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อรักษาสิ่งแวดล้อมจากการนำน้ำมันเหลือทิ้งจากครัวเรือนมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อใช้ในการเกษตร

คำสำคัญ: สิ่งแวดล้อม น้ำมันเหลือทิ้ง น้ำมันไบโอดีเซล

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สำคัญและก่อให้เกิดผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันซึ่งอาจเกิดจากความตั้งใจ เช่น อากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมก่อให้เกิดก๊าซต่างๆ ขึ้นเช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่เน่า กรดซัลฟูริกหรือกรดกำมะถัน หรือจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และการเผาขยะมูลฝอยหรือสิ่งปฏิกูล โรงผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน โรงงานผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ นอกจากนี้การทิ้งสารเคมี การใช้สารเคมีในการเกษตร ก่อให้เกิดผลกระทบต่อพื้นดิน หรืออาจจากความไม่ตั้งใจและขาดความรู้ความเข้าใจในการใช้ เช่น การล้างจานชาม ชักผ้า เศษขยะ พลาสติก และเทน้ำทิ้งลงพื้นหรือแม่น้ำ ลำคลองสร้างมลพิษทางน้ำ นอกจากนี้มลพิษที่เกิดขึ้นเกิดจากการประกอบอาหาร จากการทิ้งเศษอาหาร น้ำมันเหลือทิ้งลงในทอระบายน้ำก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมทำให้น้ำเกิดการเน่าเสียเนื่องจากเศษน้ำมันเหลือทิ้งเมื่อลงสู่แหล่งน้ำแล้วน้ำมันจะทำหน้าที่เป็นแผ่นฟิล์มบางปกคลุมผิวน้ำทำให้อลดขั้นตอนการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนระหว่างอากาศและน้ำทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ

จากปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ เช่น ผลกระทบต่อพืช คือ สารมลพิษต่างๆ จะเข้าสู่ต้นพืชทางใบขัดขวางกระบวนการหายใจของพืช และภายหลังการได้รับมลพิษของต้นพืช เช่น สารพวกออกซิแดนซ์จะไปทำให้ส่วนของใบแห้งเหี่ยว และทำให้เซลล์ใบยุบตัว ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำให้พืชเกิดพิษเรื้อรังพืชไม่เจริญเติบโตเกิดจากการสูญเสียคลอโรฟิลล์ หรือการหยุดสร้างคลอโรฟิลล์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ส่งผลต่อการเกิดแผลที่ใบและทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน น้ำที่เกิดจากการเน่าเสียต้นพืชที่ได้รับก็จะเก็บสะสมสารพิษภายในพืช ส่งผลต่อสัตว์หรือสิ่งมีชีวิตที่รับประทานเข้าไป นอกจากผลกระทบที่เกิดจากสัตว์ เมื่อได้รับสารมลพิษเข้าสู่ร่างกายจากหายใจในสภาวะอากาศที่มีมลพิษปะปนเข้าสู่ร่างกาย หรือจากการกินหญ้าหรือพืชอื่น ๆ ที่มีมลพิษทางอากาศตกสะสมอยู่ด้วยปริมาณมากพอที่จะเกิดอันตรายได้ มลพิษทางอากาศที่พบว่าทำให้เกิดอันตรายมากที่สุด ได้แก่ อาร์เซนิกหรือสารหนู ฟลูออรีน ตะกั่ว และแคดเมียม เป็นต้น และยังส่งผลกระทบต่อมนุษย์อย่างกว้างขวาง

ปัญหาเหล่านี้ประชาชนบ้านคลองหมากนัตมีการประสบปัญหาจากน้ำมันเหลือทิ้งภายในชุมชนสร้างมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมให้กับชุมชนบ้านคลองหมากนัต ทางทีมวิจัยนี้จึงมีเข้ามาศึกษาวิจัยเพื่อการศึกษาารูปแบบการจัดการน้ำมันเหลือทิ้งภายในครัวเรือนที่เหมาะสมโดยกระบวนการแปรรูปน้ำมันเหลือทิ้งเป็นน้ำมันไบโอดีเซล [1-2, 6-12] ในพื้นที่บ้านคลองหมากนัต ตำบลบ้านแก้ง อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว ลดการเกิดมลภาวะเป็นพิษแก่สิ่งแวดล้อมภายในชุมชน เป็นการพัฒนาเชิงพื้นที่ที่มุ่งเน้นการพัฒนาแบบมีส่วนร่วม [3-4] สร้างความยั่งยืนให้กับชุมชนภายใต้การประยุกต์ใช้ร่วมกับปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง [4-5] เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป

วิธีการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยการศึกษาารูปแบบการจัดการน้ำมันเหลือทิ้งภายในครัวเรือนที่เหมาะสมในพื้นที่บ้านคลองหมากนัต ตำบลบ้านแก้ง อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว มีแนวทางดังนี้

1. ศึกษาบริบทชุมชนบ้านคลองหมากนัต หมู่ที่ 11 ตำบลบ้านแก้ง อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว
2. ศึกษาศักยภาพของชุมชนบ้านคลองหมากนัตด้วยเครื่องมือ SWOT อย่างมีส่วนร่วม
3. ศึกษาเชิงลึกจากการสัมภาษณ์ภายในชุมชนบ้านคลองหมากนัต
4. วิเคราะห์และค้นหารูปแบบการจัดการน้ำมันเหลือทิ้งภายในครัวเรือนที่เหมาะสมในพื้นที่
5. นำเสนอรูปแบบการจัดการน้ำมันเหลือทิ้งภายในครัวเรือน
6. สร้างความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมและถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาบริบททั่วไปชุมชนบ้านคลองหมากนัต หมู่ที่ 11 ตำบลบ้านแก้ง อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว พบว่า ประชาชนบ้านคลองหมากนัต ประชากรส่วนใหญ่ร้อยละ 80 ประกอบอาชีพทำเกษตรกรรม โดยมีการปลูกพืชเศรษฐกิจเป็นหลัก และมีการปลูกพืชชนิดอื่นๆ อีกด้วย เช่น มะนาว ฝรั่ง กล้าย มะม่วง เป็นต้น และมีการเลี้ยงไก่ เป็ด โค กระบือ หมูป่า ภายในชุมชน นอกจากนั้นยังพบว่ามีอาชีพสวนแข่งปลาทุ กลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ กลุ่มน้ำส้มควันไม้ กลุ่มจักสานหมวกจากไม้ไผ่ กลุ่มหน่อไม้ดอง กลุ่มเครื่องประดับจากไม้ไผ่ และกลุ่มน้ำพริก ที่แปรรูปพืชผลทางการเกษตรเพื่อสร้างรายได้แก่ครอบครัว

ผลจากการศึกษาศักยภาพของชุมชนบ้านคลองหมากนัตด้วยเครื่องมือ SWOT อย่างมีส่วนร่วม พบว่า ประชาชนบ้านคลองหมากนัตมีอาชีพเกษตรกรรม มีรายได้น้อยจึงมีการประกอบอาหารในครัวเรือนเป็นหลัก และมีคนในชุมชนเปิดร้านอาหาร และทำอาหารขาย นอกจากนั้นในพื้นที่ของบ้านคลองหมากนัตมีการทำการเกษตรกรรม มีการใช้เครื่องยนต์ทางการเกษตร และมาภาวะค่าใช้จ่ายจากการซื้อเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในการเกษตรเป็นหลัก



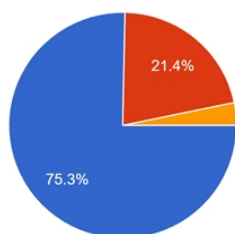
ภาพที่ 1 กิจกรรมการศึกษาศักยภาพของชุมชนด้วยเครื่องมือ SWOT อย่างมีส่วนร่วม

ผลจากการสรุปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ SWOT นำไปสู่การศึกษาเชิงลึกจากการสัมภาษณ์ภายในชุมชนบ้านคลองหมากนัต มีประชาชนในชุมชนที่สนใจและเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ โดยเรียกว่า นักวิจัยชุมชน ได้ร่วมกันออกแบบเครื่องมือแบบสอบถาม มีการวางแผนการเก็บข้อมูลประชาชนในพื้นที่บ้านคลองหมากนัต หมู่ที่ 11 ตำบลบ้านแก่ง อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว พบว่า ประชาชนในความร่วมมือการทำแบบสอบถามเป็นอย่างดี อันอาจเนื่องมาจากเป็นคนในชุมชนเองที่มีความสนิทคุ้นเคยกัน

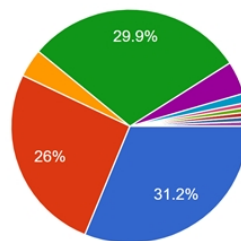


ภาพที่ 2 การศึกษาเชิงลึกจากการสัมภาษณ์ภายในชุมชนบ้านคลองหมากนัต

ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ภายในชุมชนบ้านคลองหมากนัตวิเคราะห์พบว่า ประชาชนบ้านคลองหมากนัตมีการใช้น้ำมันในการทอดซ้ำ 1-2 ครั้ง ร้อยละ 75 และ ร้อยละ 21 ในการทอดซ้ำ 3-4 ครั้งใน 1 กะทะ (ภาพที่ 3) และที่สำคัญน้ำมันที่เหลือจากการทอดหรือประกอบอาหารในแต่ละวันร้อยละ 31 มีการเก็บไว้ใช้ และร้อยละ 34 มีการเททิ้งต่อระบายน้ำ เททิ้งลงพื้นดิน (ภาพที่ 4) ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมของชุมชน เกิดการเน่าเหม็น และจากการเก็บข้อมูลประชาชนบ้านคลองหมากนัตยังพบว่าประชาชนมีอาชีพทำเกษตรกรรมและมีการใช้เครื่องยนตร์ไถไถนาเดินตามในการทำ การเกษตร และเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นน้ำมันดีเซล



- 1 - 2 ครั้ง
- 3 - 4 ครั้ง
- 5 - 6 ครั้ง
- มากกว่า 6 ครั้ง



- เก็บไว้ใช้อีก
 - เทลงท่อระบายน้ำ
 - ไม่เหลือ
 - เททิ้ง
 - เก็บไว้ใช้อีก ถ้าน้ำมันไม่ดำ
 - เทลงพื้นดิน
- ▲ 1/2 ▼

ภาพที่ 3 การใช้น้ำมัน 1 กะทะใช้น้ำมันในการทอดกี่ครั้ง ภาพที่ 4 น้ำมันที่เหลือหลังจากการประกอบอาหารท่านทำอย่างไร

และพบว่าจากการศึกษาความต้องการของคนในชุมชนพบว่ามีความต้องการในการเรียนรู้การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ทางคณะวิจัยจึงได้วิเคราะห์และสรุปรูปแบบการจัดการน้ำมันเหลือทิ้งภายในครัวเรือนด้วยการนำน้ำมันเหลือทิ้งมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อใช้ในเครื่องยนตร์ทางการเกษตรภายในชุมชนบ้านคลองหมากนัต

จากรูปแบบการจัดการน้ำมันเหลือทิ้งภายในครัวเรือนด้วยการนำน้ำมันเหลือทิ้งมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซลทางคณะวิจัยจึงได้จัดกิจกรรมการสร้างตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อมและถ่ายทอดองค์ความด้านเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลให้กับชุมชน



ภาพที่ 5 กิจกรรมการสร้างความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมและถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลให้กับชุมชน

ผลการที่จากการจัดกิจกรรม พบว่าประชาชนให้ความสนใจและเข้าร่วมกิจกรรม มีความตระหนักและเข้าใจในการใช้น้ำมันซ้าที่ก่อให้เกิดโทษแก่สุขภาพและการทิ้งน้ำมันเหลือทิ้งลงพื้นดินและแหล่งน้ำที่จะก่อให้เกิดโทษต่อตนเองและสิ่งแวดล้อม และการนำน้ำมันเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้ยังมียังมีองค์ความรู้และความเข้าใจเทคโนโลยีในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่อยู่ในค่ามาตรฐานด้วยตนเอง [13] ซึ่งเป็นสร้างรูปแบบและกระบวนการจัดการน้ำมันเหลือทิ้งให้กับชุมชนที่เกิดประโยชน์สูงสุด



ภาพที่ 6 การทดสอบน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ร่วมกับชุมชนบ้านคลองหมากนัด

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยครั้งนี้ได้ทราบถึงสภาพปัญหาของชุมชนบ้านคลองหมากนัดและความต้องการในการพัฒนาตนเอง ในการเข้าร่วมรับองค์ความรู้การสร้างเสริมความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อม ร่วมกันวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไขปัญหาและร่วมมือเรียนรู้เทคโนโลยีผลิตน้ำมันไบโอดีเซลของชุมชน จนได้แนวทางรูปแบบการกำจัดน้ำมันเหลือทิ้ง นอกจากนี้ยังได้รับได้รับองค์ความรู้และความเข้าใจการใช้น้ำมันซ้า ความตระหนักถึงผลที่จะเกิดจากการใช้น้ำมันซ้า และการนำไปใช้ประโยชน์และรักษาสิ่งแวดล้อมไปพร้อมกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ขอขอบพระคุณประชาชนบ้านคลองหมากนัด หมู่ที่ 11 ตำบลบ้านแก้ง อำเภอเมืองสระแก้ว จังหวัดสระแก้ว ให้ความร่วมมือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Yongphet, P., Wang, J., Kiatsiroat, T., Wang, D., Deethayat, T., Quaye, E. K., Zhang, W., Yang, S. (2020). **Enhancement of biodiesel production from soybean oil by electric field and its chemical kinetics**. Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, 107997. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.107997>
- [2] Yongphet, P., Wang, J., Wang, D., Mulbah, C., Fan, Z., Zhang, W., & Amaral, P. C. S. (2020). **Optimization of operation conditions for biodiesel preparation from soybean oil using an electric field**. Biomass Conversion and Biorefinery. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00589>
- [3] Yongphet, P., Kwamkhunkoei, J., Pakvilai, N., Nakpibal, P., Yuduang, N., Phunphon, T., (2021) **Foresight for Sustainable Management of a Model Community in Renewable Energy Through Participatory Work Processes Between the University and the Community**. The 7th International (Virtual) Workshop on UI GreenMetric World University Rankings (IWGM 2021), University Putra Malaysia, 24-26 August, 2021.
- [4] Yongphet, P., Wang, D., Maouche, C., Bahizire, G.M., Ondokmai, P., Dutsadeesong, W., 2016. **Guidelines for the Sustainability of Community Energy Management under the Sufficiency Economy Philosophy**. RMUTL Journal Socially of Engaged Scholarship, Volume 2, pp. 33-48.
- [5] เทอดเกียรติ แก้วพวง, จารุพันธ์ ไชยนาม, บุญยี่น กานจนารีย์ และบุษบาบับณ กัณหาชาติ. (2564). “**กรณีศึกษา: การเปลี่ยนรูปแบบการเรียนการสอนให้เหมาะสมในสถานการณ์โควิด 19 เพื่อสร้างองค์ความรู้การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลและการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากห้องเรียนสู่ชุมชนบ้านคลองหมากนัต จังหวัดสระแก้ว**”, ในการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏกลุ่มศรีอยุธยา ครั้งที่ 11, วันที่ 15 กรกฎาคม 2564 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏ ราชนครินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา: มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
- [6] A. Kawashima., K. Matsubara., K. Honda., (2012). **Development of heterogeneous base catalysts for biodiesel production**, Bioresource Technol (99): 3439-3443
- [7] W. Roschat, P. Butthichak., N. Daengdet., S. Phewphong., T. Kaewpuang., P. Moonsin., B. Yoosuk., V. Promarak., (2020) **Kinetics study of biodiesel production at room temperature based on eggshell-derived CaO as basic heterogeneous catalyst**. Engineering and Applied Science Research October – December 2020; 47(4):361-373.
- [8] W. Roschat., T. Siritanon., T. Kaewpuang., B. Yoosuk., V. Promarak., (2016) **Economical and green biodiesel production process using river snail shells-derived heterogeneous catalyst and co-solvent method**. Bioresource Technology, 209, 343-350.
- [9] W. Roschat., S. Phewphong., A. Thangthong., P. Moonsin., B. Yoosuk., T. Kaewpuang., V. Promarak., (2018) **Catalytic performance enhancement of CaO by hydration-dehydration process for biodiesel production at room temperature**. Energy Conversion and Management, 165, 1–7.
- [10] H. Liu., L. Su., Y. Shao., L. Zou., (2012). **Biodiesel production catalyzed by cinder supported CaO/KF particle cataly**, Fuel (97): 651-657

- [11] W. Roschat., K. Najai., T. Kaewpuang., P. Moonsin., (2017) **Biodiesel Production Via Ethanolysis Catalyzed by CaO Derived from Eggshell as Low-Cost Basic Heterogeneous Catalyst**, Journal of Materials Science and Applied Energy, 6(3), 220-225.
- [12] J. Boroa., D. Deka., A.J. Thakurb., (2012). **A review on solid oxide derived from waste shell as catalyst for biodiesel production**, Renew and Sustain Energy Rev (16): 904-910
- [13] BIOTOP. “**มาตรฐานไบโอดีเซล**”, มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน พ.ศ.2549 ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน สำหรับ เครื่องยนต์การเกษตร และมาตรฐานไบโอดีเซล B100 ระดับอุตสาหกรรม พ.ศ.2548 ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน. www.biotop99.com/biodiesel_standards_t.html. 6 สิงหาคม, 2557.

การทดลองผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพทะลายปาล์มด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบช้า
Experiment Production of Oil Palm Empty Fruit Bunches Biofuel
with Using Slow Pyrolysis Reactor

อิศเรศ สายปัญญา Rameshprabu Ramaraj เสริมสุข บัวเจริญ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล เจนจิรา อุตเรื่อน และ
นิกราน หอมดวง*

Itsares Saipanya, Rameshprabu Ramaraj, Sermsuk Buochareon, Yingrak Auttawaitkul, Jenjira Uttareun
and Nigran Homdoung*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

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

*Corresponding author: Tel.: 053-331194. E-mail address: nigranghd@gmail.com

Received: 15 July 2021, Revised: 20 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 December 2022

Abstract

The objective of this research was to study, experiment, and use oil palm empty fruit bunches [OPEFB] to produce bio-charcoal on slow pyrolysis process with using fixed bed pyrolysis reactor. The combustion chamber and heat exchanger was located in the center of reactor and that tested under real environment and compared with data on biochar production from oil palm frond. The results was found that, The pyrolysis of OPEFB by reactor was obtained average pyrolysis temperature of 436.76 °C and pyrolysis residence time approximately of 240 min. The production rate per batch was of 19 kg, 29.32% and 11.95% of bio-charcoal and wood vinegar respectively and the rest was of pyrolysis gas. The maximum energy conversion efficiency of OPEFB was achieved of 46.98% and highest heating value of 25.45 MJ/kg. After that OPEFB was processed into briquette fuel, the heating value of that was reduced by 2.22%. the heating value of briquette bio-charcoal was obtained 24.89 MJ/kg. When the pyrolysis temperature was adjusted to close 500 °C, the heating value of that can be increased which that can be extended to farmers or oil palm processing operators

Keywords: oil palm empty fruit bunches, bio-charcoal, pyrolysis reactor, oil palm frond



เพื่อพลังงานสะอาดชุมชน
(Fuel and Heat for Communities)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษา ทดลอง การนำเอาทะเลสาบปลาสดมาเป็นถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบฟิกส์เบด โดยมีห้องเผาไหม้และชุดถ่ายเทความร้อนอยู่ตรงกลางเครื่องปฏิกรณ์ ได้ทดสอบภายใต้สภาวะแวดล้อมจริงและได้วิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลการผลิตถ่านชีวภาพจากทางใบปาล์ม ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการไพโรไลซิสทะเลสาบปลาสดด้วยเครื่องปฏิกรณ์มีอุณหภูมิไพโรไลซิสเฉลี่ย 436.76 °C และมีระยะเวลาเริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการประมาณ 240 min อัตราการผลิตต่อครั้งได้ครั้งละ 19 kg ได้ผลิตถ่านชีวภาพและน้ำส้มควันไม้เฉลี่ย 29.32% และ 11.95% ตามลำดับ ที่เหลือเป็นไพโรไลซิสแก๊ส ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานทะเลสาบปลาสดสูงสุด 46.98% และถ่านชีวภาพทะเลสาบปลาสดให้ค่าความร้อนสูงสุด 25.45 MJ/kg เมื่อนำเอาถ่านชีวภาพทะเลสาบปลาสดมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งจะทำให้ค่าความร้อนลดต่ำลงเฉลี่ย 2.22% โดยค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากทะเลสาบปลาสดสูงสุดได้ 24.89 MJ/kg อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการ เมื่อปรับเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิสให้ใกล้เคียง 500 °C จะทำให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้นได้และสามารถนำไปขยายผลให้กับเกษตรกรหรือผู้ประกอบการแปรรูปปาล์มน้ำมันได้

คำสำคัญ: ทะเลสาบปลาสด ถ่านชีวภาพ เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส ทางใบปาล์ม

บทนำ

ทะเลสาบปลาสดน้ำมันเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจากกระบวนการหีบสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งในแต่ละปีทะเลสาบปลาสดจะมีปริมาณสูง จากการคาดการณ์ของกระทรวงพลังงานพบว่าปริมาณทะเลสาบปลาสดที่ยังไม่มีการใช้ประโยชน์มีปริมาณสูงถึง 2.39 ล้านตัน/ปี และถือว่าการเสียโอกาสอย่างมากถ้าไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม ในขณะที่ประเทศไทยต้องพึ่งพาในส่วนของแก๊สหุงต้มเฉลี่ย 64.8 ล้านตัน/ปี และมีการนำเข้าน้ำมันสำเร็จรูปมากถึง 1.51 ล้านตัน/ปี จากข้อมูลและสถิติเบื้องต้น การให้ความสนใจเพื่อเพิ่มมูลค่าทะเลสาบปลาสดหรือการนำไปใช้ทดแทนแก๊สหุงต้มได้เป็นสิ่งที่น่าสนใจสำหรับนักวิจัย เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของทะเลสาบปลาสดมีมวลค่อนข้างเบาและเก็บความชื้นได้ดี ที่สำคัญกระบวนการแปรรูปต้องทำได้ง่ายและเอื้อต่อสภาพแวดล้อมพื้นฐานของชุมชนและประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปทางพลังงานต้องสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาและทดลองในการเพิ่มคุณภาพให้กับทะเลสาบปลาสด โดยใช้กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าและใช้เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสต้นแบบชนิดฟิกส์เบดเป็นอุปกรณ์สำหรับการทดลอง จากข้อมูลการใช้เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบฟิกส์เบดสำหรับการผลิตถ่านชีวภาพจากทะเลสาบปลาสดและทะเลสาบปลาสด พบว่าเครื่องปฏิกรณ์ให้สมรรถนะการทำงานที่สูงให้ผลผลิตถ่านสูงถึง 30 % และได้ค่าความร้อนสูงสุด 27.18 MJ/kg ขณะเดียวกันเมื่อมีการนำมาใช้กับเศษไม้ลำไยก็พบว่าให้ประสิทธิภาพสูงเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามด้วยลักษณะทางกายภาพของทะเลสาบปลาสดที่เบาและยังไม่มีการนำมาทดสอบอย่างเป็นรูปธรรมและเป็นระบบ งานวิจัยนี้จึงขอเสนอและรายงานผลการวิจัยเพื่อเป็นประโยชน์แก่ชุมชนสำหรับการนำไปพัฒนาต่อและให้ใช้ประโยชน์ได้อย่างเป็นรูปธรรม อันนำมาซึ่งการลดค่าใช้จ่ายด้านการนำเข้าพลังงานรวมถึงการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนให้กับประเทศไทยต่อไป

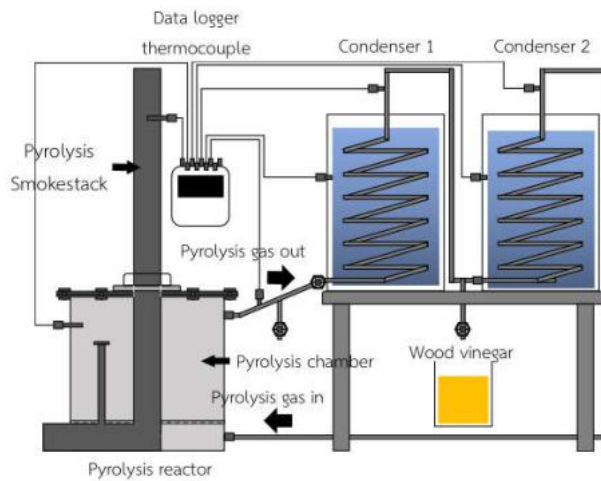
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ชุดต้นแบบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบช้า

เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบช้าเป็นฟิกส์เบดมีขนาด 0.26 m^3 สามารถบรรจุทะลายปาล์มและทางใบปาล์มอยู่ในช่วง 17-30 kg ใช้เศษไม้ทั่วไป เช่น ไม้ลำไย ไม้ลำจี้ หรืออื่นๆ เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสามารถทำอุณหภูมิสูงสุดในห้องไพโรไลซิสได้สูงสุด $600 \text{ }^\circ\text{C}$ โครงสร้างทั่วไปแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงสร้างแหล่งความร้อน ห้องไพโรไลซิสและชุดควบแน่นน้ำส้มควันไม้ ต่อเรียงแบบอนุกรม ท่อลำเลียงไพโรไลซิสแก๊สมีขนาด 1.5 inch ต่อร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งเป็นท่อทองแดงขดภายในถัง 200 L ความยาวรวม 7.5 m บรรจุน้ำสะอาด 180 L จำนวน 2 ชุด ผลผลิตที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบช้าประกอบด้วย ถ่านชีวภาพ น้ำส้มควันไม้ และแก๊สที่เกิดจากกระบวนการไพโรไลซิส รายละเอียดชุดต้นแบบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบช้าแสดงดังภาพที่ 1

ชีวมวลที่ใช้ทดลองและการเตรียม

ทะลายปาล์มน้ำมันที่ใช่ได้เป็นวัสดุที่เหลือจากกระบวนการหีบสกัดน้ำมันปาล์ม มีลักษณะเป็นข้อสั้นน้ำตาลอ่อนถึงเข้ม ส่วนทางใบปาล์มที่นำมาเปรียบเทียบแสดงดังภาพที่ 2 การเตรียมทะลายปาล์มเบื้องต้นนำมาตากแห้งผึ่งลมประมาณ 10 วัน ให้ความชื้นลดลงเฉลี่ยไม่เกิน 20% น้ำหนักโดยเฉลี่ยต่อทะลาย 1.5-2 kg ในส่วนของทางใบปาล์มเบื้องต้นหลังจากการตัดมาจากต้น นำมาเลาะใบออกจากนั้นนำมาตัดเป็นท่อนความยาวไม่เกิน 30 cm ตากแดดทิ้งไว้ประมาณ 10 วัน ความชื้นเฉลี่ยไม่เกิน 20% เมื่อตากแห้งแล้วแยกชีวมวลทั้งส่งเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิสและบางส่วนบดเป็นผงส่งเข้าสู่ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีโดยวิธีการประมาณ แบบแยกธาตุและค่าความร้อนชีวมวล รายละเอียดดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 เครื่องปฏิกรณ์ประสิทธิภาพสูงและภาพไดอะแกรมระบบไพโรไลซิส



ภาพที่ 2 ชีวมวลทางปาล์มน้ำมันและทะลายปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีพื้นฐานของทะลายปาล์มและทางใบปาล์ม

Biomass	Proximate analysis (wt%)				Ultimate analysis (wt%)					Heating value (MJ/kg)
	MC	VC	FC	Ash	C	H	O	N	S	
Empty fruit brunch	7.48	71.43	16.24	4.86	43.01	5.65	44.06	0.43	0.11	15.89
Oil palm frond	6.24	75.03	16.51	2.21	43.87	5.72	47.37	0.14	0.12	16.97

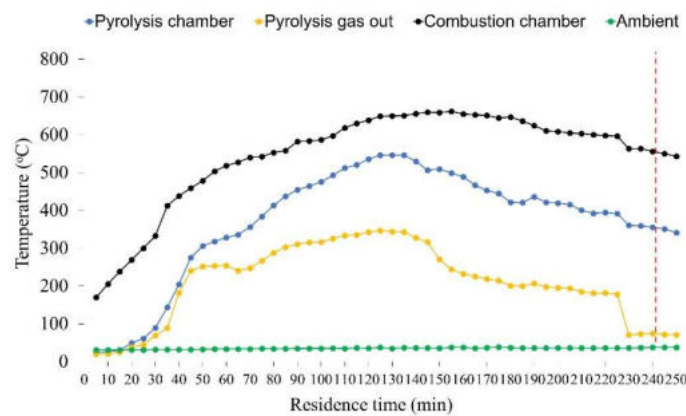
วิธีการทดลอง

การทดลองในกระบวนการไพโรไลซิสชีวมวลขั้นตอนแรกนำทะลายปาล์มมาบรรจุลงในเครื่องปฏิกรณ์โดยมีการชั่งน้ำหนักตอนป้อนเข้า จากนั้นประกอบชุดห้องเผาไหม้ ปล่องไอเสีย ท่อลำเลียงแก๊ส จากนั้นดำเนินการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิพร้อมเครื่องบันทึกข้อมูล และดำเนินการจุดไฟที่ห้องเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง สังเกตอุณหภูมิทุกจุดที่หัววัด ซึ่งอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงประมาณ 400-600 °C และเมื่อไพโรไลซิสแก๊สหมดดำเนินการให้ความร้อนเพิ่มอีก 20 min แล้วดำเนินการปิดเครื่องปฏิกรณ์ ระหว่างดำเนินการบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 5 min ควบคุมอุณหภูมิห้องไพโรไลซิสโดยการเพิ่มลดอัตราการป้อนชีวมวลเศษไม้ลำไย ดำเนินการทั้งหมด 3 ชั่วโมง หลังจากเครื่องปฏิกรณ์เย็นตัวลงนำถ่านที่ผลิตได้และน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้ ชั่งน้ำหนักและวิเคราะห์ผลผลิตที่ผลิตได้รวมถึงการและประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงาน [1]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

อุณหภูมิระบบผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากทะลายปาล์มด้วยกระบวนการไพโรไลซิส

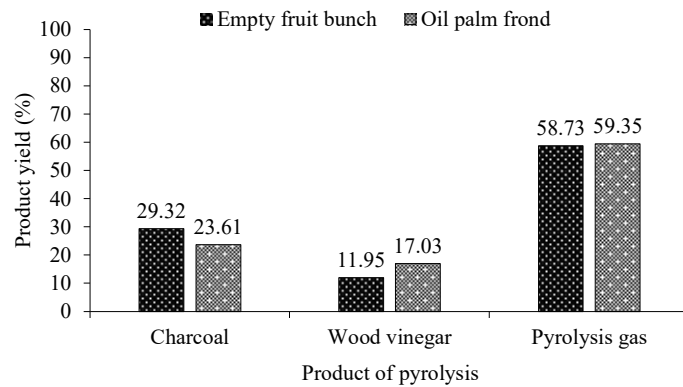
ภาพที่ 3 แสดงผลการตรวจวัดอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสต้นแบบประกอบด้วย อุณหภูมิห้องเผาไหม้ อุณหภูมิห้องไพโรไลซิส อุณหภูมิไพโรไลซิสแก๊สออกและอุณหภูมิอากาศที่ระยะเวลาเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการไพโรไลซิสหรือการปิดเครื่องการทำงาน ผลการศึกษาพบว่าในกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพจากทะลายปาล์มใช้เวลาทั้งหมด 245 min หรือ 4 h 5 min ที่การป้อนชีวมวลสูงสุด 19 kg การวิเคราะห์กระบวนการ การใช้ทะลายปาล์ม กระบวนการกลั่นสลายตัวของวัสดุกลไกโนเซลลูโลสได้เริ่มต้นที่เวลาประมาณ 40 min เป็นต้นไปและไปสิ้นสุดที่เวลา 210 min สังเกตจากไพโรไลซิสแก๊สหมดลง ระหว่างนั้นใช้เศษไม้ให้ความร้อนและไปสิ้นสุดที่เวลา 245 min เมื่อดำเนินการปิดเตา อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องไพโรไลซิสระหว่างกระบวนการเท่ากับ 436.76 °C จัดได้ว่าเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมการผลิตถ่านชีวภาพ [2] อุณหภูมิห้องเผาไหม้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาการผลิตถ่านและเริ่มมีแนวโน้มลดลงที่เวลา 150 min เป็นต้นไป การเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิจะแปรผันตามปริมาณไพโรไลซิสที่ได้จากกระบวนการ [3] อุณหภูมิสูงสุดของห้องเผาไหม้เครื่องปฏิกรณ์ 661.8 °C ในส่วนของไพโรไลซิสแก๊สที่ออกจากกระบวนการจะมีลักษณะเส้นอุณหภูมิสอดคล้องกับห้องไพโรไลซิสและห้องเผาไหม้ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ย 264.8 °C



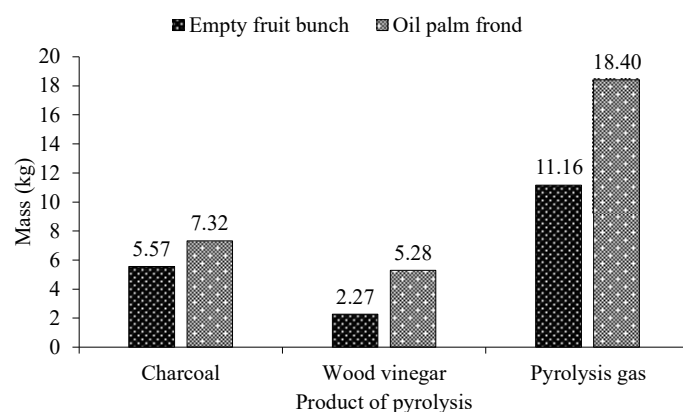
ภาพที่ 3 ลักษณะพฤติกรรมอุณหภูมิการทำงานของกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพจากทะลายปาล์ม

ผลผลิตชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิส

ภาพที่ 4 แสดงผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสทะลายปาล์มเทียบกับทางใบปาล์ม พบว่าผลิตภัณฑ์จากกระบวนการไพโรไลซิสประกอบด้วย ถ่านชีวภาพ น้ำส้มควันไม้ และไพโรไลซิสแก๊ส โดยไพโรไลซิสแก๊สให้ปริมาณมวลสูงสุด 58.73% ถัดมาเป็นถ่านชีวภาพ 29.32% และน้ำส้มควันไม้ 11.95% ปริมาณไพโรไลซิสแก๊สที่สูงเกิดจากแก๊สบางส่วนไม่สามารถระเหยได้ [4] และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการใช้ทางใบปาล์มเป็นวัสดุในการผลิตพบว่า การใช้ทะลายปาล์มให้ถ่านชีวภาพสูงกว่าการใช้ทางใบปาล์ม แต่ในด้านของน้ำส้มควันไม้ทะลายปาล์มกลับให้น้ำส้มควันไม้ต่ำกว่าสาเหตุของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นนี้มีสาเหตุมาจากองค์ประกอบภายในของชีวมวลทะลายปาล์มที่ประกอบด้วย ไฮโดรเจน ออกซิเจน ที่เป็นธาตุองค์ประกอบหลักของการเกิดน้ำส้มควันไม้มีค่าที่ต่ำกว่าทางปาล์มจึงทำให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ของทะลายปาล์มต่ำกว่าทางปาล์ม [5] อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตถ่านด้วยเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตร ของชุมชนพบว่าให้ปริมาณถ่านระหว่าง 22.66 % และน้ำส้มควันไม้ 0.31% ที่เหลือเป็นแก๊สหรือควันที่ปล่อยสู่บรรยากาศ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าต้นแบบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบซ้ำให้ผลผลิตสูงกว่าเตาเผาถ่านของชุมชนทั่วไป ผลการวิเคราะห์เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสให้อัตราการผลิตถ่านชีวภาพต่อครั้งการทำงานได้ 5.57 kg และน้ำส้มควันไม้สูงสุด 2.27 kg หรือ 2.24 ลิตร ที่ความถ่วงจำเพาะ 1.010 รายละเอียดดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 สัดส่วนผลผลิตจากกระบวนการไพโรไลซิสทะลายปาล์มเทียบกับทางใบปาล์ม



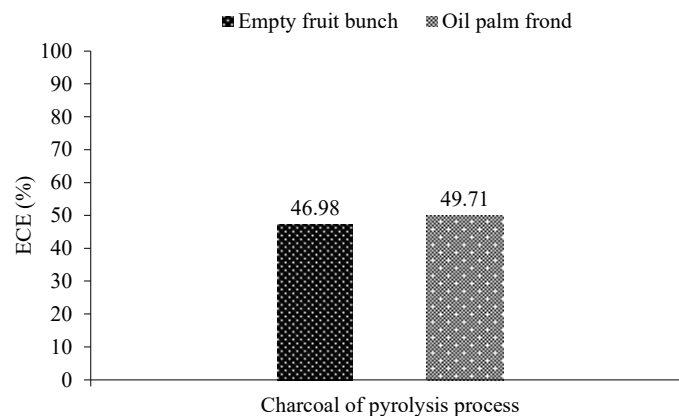
ภาพที่ 5 สัดส่วนมวลของผลิตภัณฑ์จากการไพโรไลซิสทะลายปาล์มเทียบกับทางใบปาล์มต่อรอบการทำงาน

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานทะลายปาล์ม

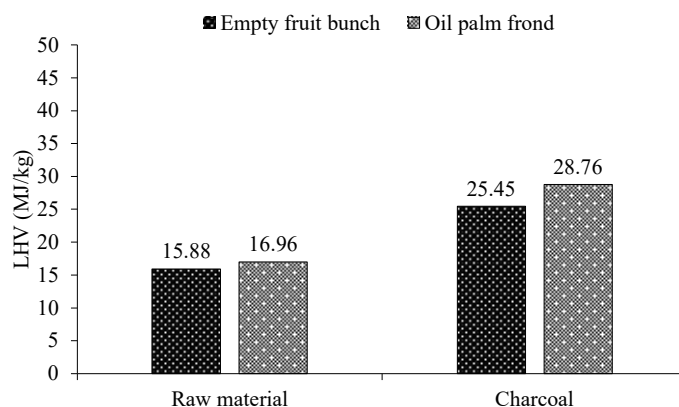
ภาพที่ 6 แสดงประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานทะลายปาล์มเทียบกับทางใบปาล์มภายใต้การทดสอบบนเครื่องปฏิกรณ์แบบพิกเกตเดียวกันผลการเปรียบเทียบพบว่า การใช้ทะลายปาล์มผลิตถ่านชีวภาพให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานต่ำกว่าทางใบปาล์ม โดยการใช้ทะลายปาล์มให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานสูงสุด 46.98% ในขณะที่ทางใบปาล์มให้ค่าสูงสุด 49.71% ทั้งนี้เกิดจากลักษณะเฉพาะทางเคมีของชีวมวลทั้งสอง กล่าวคือทางใบปาล์มมีค่าความร้อนในส่วนชีวมวลและถ่านชีวภาพที่สูงกว่าทะลายปาล์ม [6] ประเด็นที่สองช่วงการเพิ่มค่าความร้อนจากสภาพชีวมวลกลายเป็นถ่านของทางใบปาล์มยังคงมีช่วงการเพิ่มความร้อนที่สูงกว่าของทะลายปาล์ม โดยในส่วนของทะลายปาล์มค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจากค่าความร้อนเริ่มต้น 9.57 MJ/kg ในขณะที่ทางใบปาล์มค่าความร้อนเพิ่มขึ้น 11.80 MJ/kg อย่างไรก็ตามเมื่อลองนำมาคำนวณเปรียบเทียบกับเตาเผาถ่าน 200 ลิตรแนวตั้ง ที่ใช้ชีวมวลป้อนเข้าประมาณ 35 kg และได้ถ่าน 7.1 kg โดยลองป้อนความร้อนชีวมวลเริ่มต้นเฉลี่ย 15 MJ และความร้อนถ่านชีวภาพสุดท้าย 25 MJ เตาเผาถ่านแบบ 200 ลิตรให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานได้สูง 33.80% [7]

การเปรียบเทียบค่าความร้อนถ่านชีวภาพ

ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความร้อนของถ่านชีวภาพเทียบกับชีวมวลป้อนเข้าระหว่างทะลายปาล์มและทางใบปาล์ม ซึ่งพบว่าการใช้เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบช้าทำให้ค่าความร้อนชีวมวลเพิ่มสูงขึ้น โดยการใช้ทะลายปาล์มให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ย 60.27% ในขณะที่ทางปาล์มมีค่าความร้อนเพิ่มขึ้น 69.56% กระบวนการไพโรไลซิสจะให้ความชื้นและสารระเหยในชีวมวลลดลงและทำให้สัดส่วนคาร์บอนคงที่เพิ่มสูงขึ้น โดยปริมาณสัดส่วนคาร์บอนคงที่ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น [8] โดยถ่านชีวภาพจากทะลายปาล์มมีความร้อนสูงสุด 25.45 MJ/kg ในขณะที่ทางใบปาล์มให้ค่าความร้อนสูงสุด 28.76 โดยปกติทั่วไปค่าความร้อนของถ่านชีวภาพที่นำมาใช้งานหรือการซื้อขายกันจะต้องมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 25.12 MJ/kg [9] ซึ่งทั้งทะลายปาล์มและทางใบปาล์มมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตามการนำถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิดมาใช้งานยังไม่เหมาะสมเนื่องจากน้ำหนักค่อนข้างเบา ดังนั้นการนำเอาถ่านชีวภาพทั้งสองชนิดมาใช้งานจำเป็นต้องเพิ่มความหนาแน่นเช่นการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งหรืออัดเม็ด ค่ามาตรฐานความหนาแน่นโดยทั่วไปจะต้องสูงกว่า 600 kg/m³ [10]



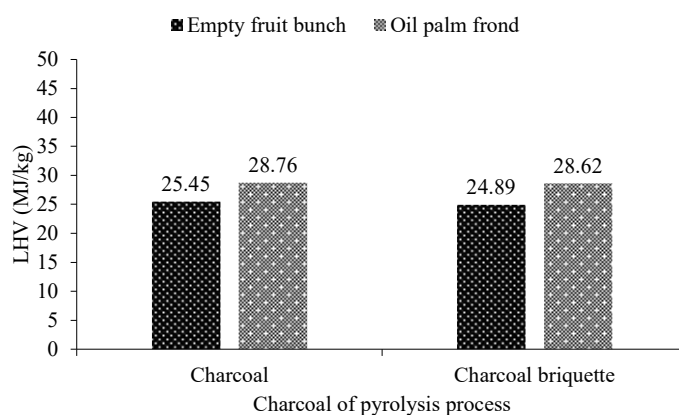
ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานทะลายปาล์มเทียบกับทางใบปาล์ม



ภาพที่ 7 ค่าความร้อนถ่านชีวภาพทะเลสาบปาล์มเทียบกับทางใบปาล์ม

การวิเคราะห์ค่าความร้อนถ่านชีวภาพทะเลสาบปาล์มเมื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เนื่องจากถ่านชีวภาพจากทะเลสาบปาล์มและทางใบปาล์มมีน้ำหนักเบาและไม่เหมาะสมกับการใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อน การเพิ่มความหนาแน่นโดยวิธีการอัดแท่งแบบอัดเย็นจึงเป็นแนวทางเลือกแรกๆที่ชุมชนเลือกใช้ เนื่องจากเทคโนโลยีไม่ซับซ้อนที่สำคัญมีราคาต่ำเมื่อเทียบการอัดเป็นก้อน อย่างไรก็ตามในกระบวนการอัดเย็นจำเป็นต้องพึ่งตัวประสานซึ่งได้แก่ แป้งมันและน้ำ ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง สัดส่วนแป้งมันและน้ำของการผลิตถ่านชีวภาพแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ผลจากการเพิ่มองค์ประกอบแป้งมันและน้ำโดยทั่วไปค่าความร้อนลดต่ำลง [11] ดังนั้นในประเด็นการวิเคราะห์หัวข้อนี้จึงศึกษาเปรียบเทียบผลค่าความร้อนของถ่านชีวภาพอัดแท่งของชีวมวลทั้งสองเทียบกับถ่านชีวภาพที่ยังไม่อัดแท่ง โดยพบว่าการนำเอาถ่านชีวภาพจากทะเลสาบปาล์มและทางใบปาล์มไปอัดแท่งจะทำให้ค่าความร้อนลดต่ำลงเล็กน้อย โดยในกรณีของทะเลสาบปาล์มค่าความร้อนลดลง 2.22% (24.89 MJ/Kg) และกรณีของทางใบปาล์มลดลง 0.49% (28.62 MJ/Kg) (ภาพที่ 8) อย่างไรก็ตามในส่วนของทางใบปาล์มค่าความร้อนยังสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่ในส่วนของทะเลสาบปาล์มจำเป็นต้องเพิ่มค่าความร้อนให้ได้ตามมาตรฐาน เช่น การปรับเพิ่มอุณหภูมิไพโรไลซิส การเพิ่มระยะเวลาไพโรไลซิส หรือการนำไปผสมกับถ่านชีวภาพที่มีความร้อนสูงกว่า เป็นต้น [12]



ภาพที่ 8 ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพทะเลสาบปาล์มเมื่อนำไปอัดแท่งเชื้อเพลิง

สรุปผลการวิจัย

การทดลองผลิตถ่านชีวภาพจากทะลายปาล์ม เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบซ้ำให้อุณหภูมิไพโรไลซิสเฉลี่ย 436.76 C และใช้ระยะเวลาการผลิตถ่านรวมเฉลี่ย 4 h ที่อัตราการป้อนทะลายปาล์มต่อครั้งการผลิต 19 kg/ครั้ง ผลผลิตจากกระบวนการประกอบด้วยถ่านชีวภาพ น้ำส้มควันไม้และไพโรไลซิสแก๊ส มีสัดส่วน 29.32% และ 11.95% ตามลำดับที่เหลือเป็นไพโรไลซิสแก๊ส ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของทะลายปาล์มสูงสุด 46.98% ถ่านชีวภาพทะลายปาล์มมีค่าความร้อนสูงสุด 25.45 MJ/kg เนื่องจากถ่านมีน้ำหนักเบาและถ่านนำไปเพิ่มความหนาแน่นด้วยการอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง ค่าความร้อนจะลดลงเฉลี่ย 2.22% คิดเป็นค่าความร้อนสูงสุดการอัดเป็นแท่ง 24.89 MJ/kg ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง การเพิ่มอุณหภูมิ ระยะเวลาไพโรไลซิสรวมถึงการนำไปผสมกับถ่านที่มีค่าความร้อนสูงกว่าถ่านทะลายปาล์มจะเป็นแนวทางทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นตามเกณฑ์มาตรฐานได้ ซึ่งหลังจากแก้ไขปัญหาแล้วสามารถนำไปขยายผลให้กับชุมชนเพื่อการพึ่งพาตนเองได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อมและปัญหาภัยพิบัติ หมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนพื้นที่และเครื่องมือวิจัย ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาวิจัย (ม.จ.1-64-003) (มจ.1-64-003.2) ขอขอบคุณโครงการเพิ่มคุณภาพชีวมวลเหลือใช้ทางการเกษตรโดยกระบวนการเพิ่มความหนาแน่นและการอบแห้งสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และโครงการพัฒนาเชิงวิศวกรรมเตาผลิตถ่านไปโอชาร์สำหรับอุตสาหกรรมในครัวเรือน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุนแนวคิด บุคลากรและหลักการพัฒนางานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] นิกราน หอมดวง พันธวัฒน์ ไชยวรรณ ภูนิทัต สายแก้ว กิตติกร สาสุจิตต์ นงเยาว์ หอมดวง ชูรัตน์ ธารารักษ์ เสริมสุข บัวเจริญ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล และณัฐฉม ดุษฎี. (2563) ผลกระทบการป้อนอากาศที่มีต่อสมรรถนะและคุณสมบัติถ่านชีวภาพเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูง วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน. 3 (3) 59-65
- [2] Wang, H., Wang, L., Zhang, J., Jing, Y. and Cao, Y. (2020). Effects of pyrolysis temperature and reaction time on the performance of swine-derived bio-binder. *Transportation Research Part D*. 89, 1-12.
- [3] Junior, A.F.D., Esteves, R.P., Silva, A.M., Junior, A.D.S., Oliveira, M.P., Brito, J.O., Napoli, A. and Braga, B.M. (2020). Investigating the pyrolysis temperature to define the use of charcoal. *European Journal of Wood and Wood Products*. 78, 193-204.
- [4] นิกราน หอมดวง พันธวัฒน์ ไชยวรรณ ภูนิทัต สายแก้ว ประภัสสร รัตน์ไพบุลย์ กิตติกร สาสุจิตต์ เสริมสุข บัวเจริญ นงเยาว์ หอมดวง ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล และ ชูรัตน์ ธารารักษ์. (2564). การพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสำหรับการใช้งานผลิตความร้อนและถ่านชีวภาพ. วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน. 4 (1) 47-53.
- [5] Sukiran, M.A., Chin, C.M. and Bakar, N.K.A. (2009). Bio-oils from Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches. *American Journal of Applied Sciences*. 6 (5), 869-875.
- [6] Al-Maari, M.A., Ahmad, M.A., Din, A.T.M., Hassan, H. and Alsobaai, A.M. (2021). Co-pyrolysis of oil palm empty fruit bunch and oil palm frond with low-density polyethylene and polypropylene for bio-oil production. *Arabian Journal of Chemistry*. 14. 1-10.

- [7] พิสิษฐ์ มณีโชติ ประพิธาร์ ธนารักษ์ สหทัย ทองสาร บงกช ประสิทธิ์ วิกานต์ วันสูงเนิน ประวิทย์ นิลวิเชียร อ้นธิกา เพชร และ อนุพล อัครพันธ์. (2558). “การพัฒนาเตาเผาถ่านขนาด 200 ลิตรแบบแนวตั้งด้วยเทคนิค แก๊สซิฟิเคชัน”. ใน การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8 ประจำปี 2558. วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 ณ คณะวิทยาศาสตร์ ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [8] Miranda, T., Montero, I., Sepulveda, F.J., Arranz, J.I., Rojas, C.V. and Nogales, S. (2015). A Review of Pellets from Different Sources. *Materials*. 8, 1413-1427.
- [9] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2547). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม*, กระทรวงอุตสาหกรรม
- [10] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2555). *โครงการศึกษากำหนดมาตรฐานของ Biomass Pellet เพื่อพัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอนาคต*, กระทรวงพลังงาน.
- [11] นฤมล ภาณุณา จิระพงษ์ คุณภาณุจันต์ จิตติภรณ์ บุญแย้ม เฉลิมพล สุขสี เบญจวรรณ จุลจุฬา และ เพ็ญ อูร์รักษ์. (ม.ป.ป.). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุการเกษตรและปาล์มน้ำมัน สืบค้นเมื่อ 29 กันยายน 2564, จาก <https://dric.nrct.go.th/Search/SearchDetail/278256->
- [12] Mamvura, T.A., Pahl, G. and Muzenda, E. (2018). Torrefaction of waste biomass for application in energy production in South Africa. *South African Journal of Chemical Engineering* 25, 1-12.

ศึกษาสมบัติของไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน จากวัตถุดิบตั้งต้น 4 ชนิด
Study of Biodiesel Properties by Transesterification Reaction Method
from Feedstock 4 type

สุริย์ณห์ สมศรี สุรสิทธิ์ พ่อคำ อนุวัช แสนพงษ์ และไฉไล ซาเสน*
Suriyan Somsri, Surasit Phokha, Anuwat Saenpong and Chailai Sasen*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ กาฬสินธุ์ 46000
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Kalasin University, Kalasin 46000

*Corresponding author: E-mail address: chailai.bo@ksu.ac.th

Received: 12 September 2022, Revised: 20 October 2022, Accepted: 30 October 2022, Published online: 30 December 2022

Abstract

Biodiesel is an alternative energy that has attracted a lot of attention today. Many feedstocks have been used as a reactant for biodiesel production. Both vegetable oil and animal fats can significantly reduce the cost of biodiesel production. This research compared biodiesel properties from four feedstocks namely new vegetable oil (palm oil), used vegetable oil, lard, and cow fat. Animal fats have to be heat treated to form liquid oils before into the transesterification reaction process using a base type catalyst containing a mixture of methanol (CH_3OH) and caustic soda (NaOH). The reaction temperature was 50°C at an equal initial feedstocks content. The free fatty acid content (FFA) is less than 3%, meeting the maximum requirement at 1.4% waste palm oil. Subsequently, analyzed the percentage of product yields including the basic properties of various biodiesel obtained through the process. The result found that feedstocks from new vegetable oils yield the highest biodiesel percentage of 68.32 % by volume. Feedstocks from used vegetable oils, lard, and cow fat yield biodiesel percentages of 67.2%, 65.6%, and 65.2% by volume, respectively. In part of properties, biodiesel produced from cow fat provided the maximum heating value of 41.37 MJ/kg. Used vegetable oil provided the highest viscosity value of 6.61 cSt. Furthermore, biodiesel produced from animal fats was a higher heating value than biodiesel produced from vegetable oil and vice versa on fire point value, flash point value, and viscosity value.

Keywords: Biodiesel, Transesterification, Animal Oils, Vegetable Oils.

บทคัดย่อ

ไบโอดีเซลได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน มีวัตถุดิบมากมายถูกเลือกมาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล ทั้งจากพืชหรือสัตว์สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้เป็นอย่างดี ซึ่งงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบตั้งต้น 4 ชนิด คือ น้ำมันพืชใหม่ (น้ำมันปาล์ม) น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว น้ำมันหมู และ น้ำมันไขวัว โดยไขมันสัตว์ต้องผ่านกระบวนการทางความร้อนเพื่อให้ได้น้ำมันเป็นของเหลวก่อนเข้าสู่กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสคือ ส่วนผสมระหว่างเมทานอล (CH_3OH) กับโซดาไฟ (NaOH) อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ $50\text{ }^\circ\text{C}$ ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 3 ตามข้อกำหนด สูงสุดที่น้ำมันพืชที่ใช้แล้วร้อยละ 1.4 ที่ปริมาณวัตถุดิบเริ่มต้นที่เท่ากัน หลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ร้อยละของปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์ รวมถึงวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากกระบวนการ พบว่าวัตถุดิบจากน้ำมันพืชใหม่ให้ปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลสูงที่สุดคือร้อยละ 68.32 โดยปริมาตร น้ำมันพืชใช้แล้ว น้ำมันหมู และไขวัว ให้ปริมาณของน้ำมันไบโอดีเซลคือร้อยละ 67.2 65.6 และ 65.2 โดยปริมาตร ตามลำดับ ผลวิเคราะห์สมบัติจะพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่มาจากไขวัวให้ค่าความร้อนสูงสุดคือ 41.37 MJ/kg ความหนืดสูงสุดคือน้ำมันพืชใช้แล้วมีค่าสูงถึง 6.61 cSt ซึ่งจากการทดลองพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากไขมันสัตว์จะมีค่าความร้อนสูง ส่วนค่าจุดติดไฟ จุดวาบไฟ และความหนืดจะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากไขมันจากพืช

คำสำคัญ: น้ำมันไบโอดีเซล กระบวนการ น้ำมันจากสัตว์ น้ำมันจากพืช

บทนำ

แนวโน้มของพลังงานจากปิโตรเลียมเริ่มลดลงรวมถึงราคาขายปลีกที่แพงมากขึ้น เนื่องจากปริมาณการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้มีความพยายามแสวงหาพลังงานทางเลือกมาทดแทน โดยหนึ่งในพลังงานทางเลือกคือน้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel) มีข้อได้เปรียบหลักคือ เป็นเชื้อเพลิงหมุนเวียนมากที่สุดชนิดหนึ่งที่มีอยู่ในปัจจุบัน อีกทั้งยังไม่เป็นพิษและย่อยสลายได้ทางชีวภาพ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้โดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลส่วนใหญ่โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์มากนัก [1] ซึ่งกระบวนการผลิตไบโอดีเซล มี 4 แนวทาง คือ ผสมส่วนของน้ำมันพืชและสัตว์ใช้โดยตรงตามอัตราส่วน (Make biodiesel direct use and blending), ไมโครอิมัลชัน (microemulsions), กระบวนการแตกตัวหรือแตกสลายของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยความร้อน (Thermal cracking or pyrolysis) และกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือการเปลี่ยนสภาพของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันมีองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่อัตราส่วนกลีเซอไรด์ต่อแอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิของปฏิกิริยา เวลาที่ทำปฏิกิริยา [2-3] ซึ่งพลังงานที่ได้จากการสกัดจากพืชและสัตว์ โดยผ่านกระบวนการทางเคมี และแอลกอฮอล์ หรือปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งเป็นกระบวนการที่นำน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืชใช้แล้วมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยมีเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนใหญ่นิยมใช้เมทานอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) [4] ปฏิกิริยานี้จะเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผสมระหว่างไบโอดีเซลและกลีเซอริน จากนั้นแยกชั้นกลีเซอรินออกจากไบโอดีเซล แล้วนำไบโอดีเซลที่ได้มาล้างน้ำ และผ่านกระบวนการให้ความร้อนเพื่อแยกน้ำออกจนได้ไบโอดีเซลที่บริสุทธิ์ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด วัตถุดิบอีกกลุ่มที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล คือไขมันหรือไขที่ได้จากสัตว์ เมื่อเทียบกับน้ำมันจากพืชแล้วถือว่าวัตถุดิบกลุ่มนี้มีข้อได้เปรียบเชิงต้นทุน [5] รวมถึงน้ำมันเหลือจากกระบวนการปรุงอาหาร [6] การประเมินต้นทุนรวมถึงเทคโนโลยีของตัวเร่งปฏิกิริยาและการเลือกวัตถุดิบถือว่ามีความจำเป็น [7] สภาวะที่เหมาะสมในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ปริมาณ FFA และความหนาแน่น มีความสำคัญเนื่องจากหากมีปริมาณสูงจะเป็นตัวบ่งชี้ว่าจะได้ผลิตภัณฑ์คือสบู่ [8] มีการศึกษาเกี่ยวกับไขมันสัตว์เป็นเชื้อเพลิงพบว่าส่วนประกอบของกรด FFA มีสัดส่วนเกือบ 50% ของกรดไขมันทั้งหมด ทั้งนี้ปริมาณกรดสเตียริกและกรดปาล์มิติกที่สูงนี้ทำให้ไขเนื้อมีความหนืดเฉพาะตัวคือ จุดหลอมเหลวสูงและความหนืดสูง [9] นอกจากนี้ปริมาณ FFA และน้ำยังมีผลอย่างมากต่อการของกลีเซอไรด์ด้วยแอลกอฮอล์ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็น

ต่างหรือกรด ระดับ FFA ในวัตถุดิบควรต่ำกว่าระดับที่ต้องการ (น้อยกว่า 3%) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอัลคาไลน์ปริมาณ FFA หลังทำปฏิกิริยาควรมีค่าน้อยที่สุดหรือน้อยกว่า 2% FFA [10-11] นอกจากประเด็นเหล่านี้แล้ว ยังต้องพิจารณาประเด็นอื่นๆ เช่น การใช้วัสดุเหลือใช้หรือของเหลือทิ้งในกระบวนการต่างๆ ไม่ว่าจะจากพืชหรือสัตว์สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากวัตถุดิบ (Biodiesel feedstocks) ทั้งไขมันจากพืชและไขมันจากสัตว์ โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 50 °C โดยทำการทดลองด้วยเครื่องผลิตไบโอดีเซลที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนในสถานะของเหลว, เปรียบเทียบปริมาณร้อยละของไบโอดีเซล, ปริมาณกรีเซอร์ลิน และสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล รวมทั้งราคาต้นทุนต่อหน่วยจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล 4 ชนิด

วิธีการวิจัย

ในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมีหลายขั้นตอนซึ่งประกอบไปด้วย กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน กระบวนการล้างไบโอดีเซล และกระบวนการกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งรวมทั้งหมดของกระบวนการนี้สามารถดำเนินการโดยเครื่องที่ออกแบบสามารถผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้ทั้งน้ำมันจากพืช น้ำมันพืชใช้แล้ว รวมทั้งน้ำมันไบโอดีเซลจากไขมันสัตว์ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องเจียวไขมันให้ออกจากไขแข็ง ซึ่งมีความสะดวกขึ้น จากภาพที่ 1 แสดงเครื่องผลิตไบโอดีเซลที่สร้างขึ้นโดยประกอบไปด้วย ชุดเจียวไขมันจากสัตว์ ชุดผสมสารตัวเร่งปฏิกิริยา ชุดฮีตเตอร์ ชุดเจียวไขมันจากสัตว์ และถังพัก



ภาพที่ 1 เครื่องผลิตไบโอดีเซล

ขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบ

จากที่ผ่านมาผู้วิจัยได้ทำการศึกษาออกแบบพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ขนาดกำลังการผลิต 10 ลิตรต่อครั้ง โดยสามารถใช้กับวัตถุดิบที่ได้จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ การดำเนินการทดลองจะทำการเลือกวัตถุดิบตั้งต้น 4 ชนิด ดังแสดงในภาพที่ 2 เพื่อทดลองซึ่งได้แก่ น้ำมันพืชใหม่ (น้ำมันปาล์ม), น้ำมันพืชใช้แล้ว, น้ำมันหมู และน้ำมันไขวัว



ภาพที่ 2 วัตถุดิบตั้งต้น 4 ชนิด

โดยขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบที่จะนำมาผลิตไบโอดีเซลในส่วนที่เป็นของแข็งจะต้องผ่านกระบวนการทางความร้อนให้ละลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิเจียว 100 °C โดยนำไขสัตว์ (ไขมันหมูและไขมันวัว) เข้าเจียวในชุดถังเจียวให้เป็นน้ำมันละลายก่อน และตวงวัดปริมาตรให้ครบตามเงื่อนไข เพื่อให้ได้อัตราส่วน รวมทั้งน้ำมันพืชที่ใช้แล้วต้องผ่านการกรองแยกกากและสิ่งเจือปนก่อนเข้าถังฮีตเตอร์เพื่อกำจัดการปนเปื้อนของน้ำ โดยวัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการเตรียมแล้วเสร็จ ในกระบวนการอุ่นวัตถุดิบก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ด้วยสภาวะเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 40 °C นำวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด ไปวิเคราะห์หาค่าของ FFA จากนั้นเตรียมวัตถุดิบปริมาณอย่างละ 5 ลิตร รวมทั้งสารประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสคือ เมทานอล (CH_3OH) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) อัตราส่วนของเมทานอลต่อวัตถุดิบตั้งต้นที่ 6:1 [12] จะถูกบรรจุอยู่ในส่วนของชุดถังแต่ละส่วน เพื่อเตรียมผลิตไบโอดีเซล ลำดับถัดไปจะนำไปสู่กระบวนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันไบโอดีเซล และกรีเซอร์ลิน ซึ่งจะนำไปเข้ากระบวนการล้างและกำจัดน้ำต่อไป

ทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ให้ความร้อนกับวัตถุดิบตั้งต้นจนได้อุณหภูมิประมาณ 50 °C จากนั้นเปิดวาล์วถังที่บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมไว้ (ส่วนประกอบระหว่างสารละลายโซดาไฟกับเมทานอล) ค่อยๆ ปล่อยสารตัวเร่งปฏิกิริยาไปยังชุดฮีตเตอร์ที่บรรจุวัตถุดิบอยู่ในขณะนั้น พร้อมเปิดมอเตอร์เพื่อคววนให้วัตถุดิบผสมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยาไปเรื่อยๆ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน จากนั้นปิดการทำงานชุดผสมแล้วเปิดวาล์วปล่อยวัตถุดิบไปยังถังพัก เพื่อให้กลีเซอร์ลินตกตะกอนแยกชั้นจากน้ำมันไบโอดีเซล รอกะทั่งอุณหภูมิเย็นตัวลง พักทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง จะเห็นการแยกชั้นอย่างชัดเจนตามภาพที่ 3 ชั้นบนจะเป็นน้ำมันไบโอดีเซล ส่วนชั้นล่างเป็นกลีเซอร์ลินที่มีสีเข้ม จากนั้นค่อยๆ เปิดวาล์วปล่อยกลีเซอร์ลินออกอย่างช้าๆ และจะได้ น้ำมันไบโอดีเซลซึ่งยังคงมีส่วนผสมอย่างอื่นปะปนอยู่



ภาพที่ 3 เกิดการแยกชั้นระหว่างกลีเซอร์ลินกับน้ำมันไบโอดีเซล

ขั้นตอนการล้างไบโอดีเซล

เมื่อได้น้ำมันไบโอดีเซลหลังปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแล้ว เนื่องจากน้ำมันที่ได้จากขั้นตอนนี้ยังคงมีการปนเปื้อนของสารละลายต่างๆ ลำดับต่อไปทำการบีมน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้กลับไปยังชุดถังฮีตเตอร์ เพื่อจะทำการล้างน้ำมันไบโอดีเซลให้สะอาด โดยเติมน้ำสะอาด 10 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณผลได้ เปิดมอเตอร์ให้ใบกวนทำการผสมน้ำกับน้ำมันไบโอดีเซลเข้าด้วยกัน แล้วปล่อยให้พักประมาณ 60 นาที จะเกิดการแยกชั้นระหว่างตะกอนสีขาวขุ่นกับน้ำมันไบโอดีเซล โดยน้ำมันไบโอดีเซลจะอยู่ด้านบนส่วนตะกอนสีขาวขุ่นจะอยู่ด้านล่าง จากนั้นเปิดวาล์วเบาๆ ปล่อยน้ำออก เพื่อให้ตะกอนสีขาวขุ่นไหลออกจนหมดให้เหลือแต่น้ำมันไบโอดีเซลที่อยู่ส่วนบน ทำซ้ำด้วยวิธีการแบบเดิม 3 ครั้ง ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จะมีลักษณะใส และสะอาดขึ้น เมื่อล้างแล้วเสร็จนำน้ำมันไบโอดีเซลกลับเข้าถังฮีตเตอร์เปิดสวิทซ์ตัวฮีตเตอร์ตั้งอุณหภูมิที่ 110 °C เพื่อใช้ความร้อนในการกำจัดน้ำออกจากน้ำมันไบโอดีเซลเป็นเวลา 60 นาที จะได้ไบโอดีเซลที่สมบูรณ์และสะอาด [13]

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เพื่อประเมินคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลตามเกณฑ์มาตรฐานตามตารางที่ 1 โดยเทียบเคียงจากประกาศกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล ของกระทรวงพลังงาน

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล

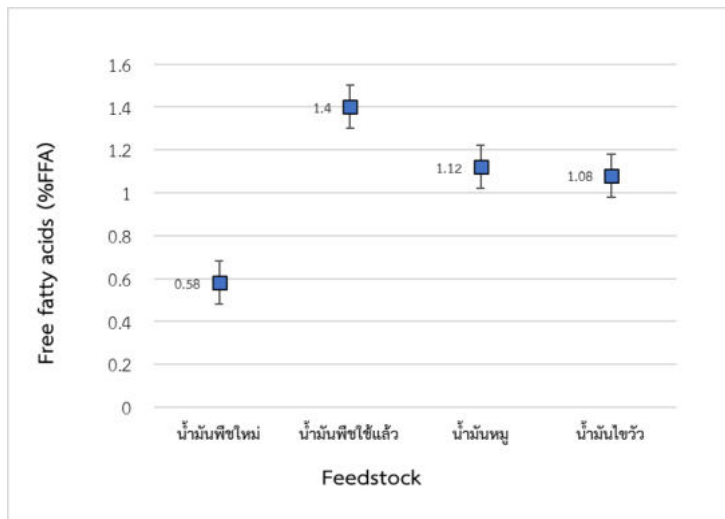
Analysis	Standard	The instrument
Heating Value (MJ/kg)	ASTM D240	Torino Bomb Calorimeter
Viscosity at 40 °C (cSt)	ASTM D445	Kinematics Viscosity
Flash point - Fire point(°C)	ASTM D93	Flash point - Fire point Set
Free fatty acids	-	Free fatty acids method

เสร็จสิ้นกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแล้ว น้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน รวมถึงผลผลิตของไบโอดีเซลที่จะนำมาวิเคราะห์ปริมาณผลได้คำนวณได้ตามสมการ (1) [11]

$$\text{Product yield} = \frac{\text{Wt. of product}}{\text{Wt. of raw oil}} \quad (1)$$

วิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA)

ปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันจะเป็นปัจจัยสำคัญมากอย่างหนึ่งในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ปริมาณกรดไขมันอิสระที่สูงเกิน 3% [10-11] จะลดความสามารถในการทำปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ ซึ่งในวัตถุประสงค์ตั้งต้นทั้ง 4 ชนิด เมื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ มีค่าปริมาณตามภาพที่ 4 ดังนี้

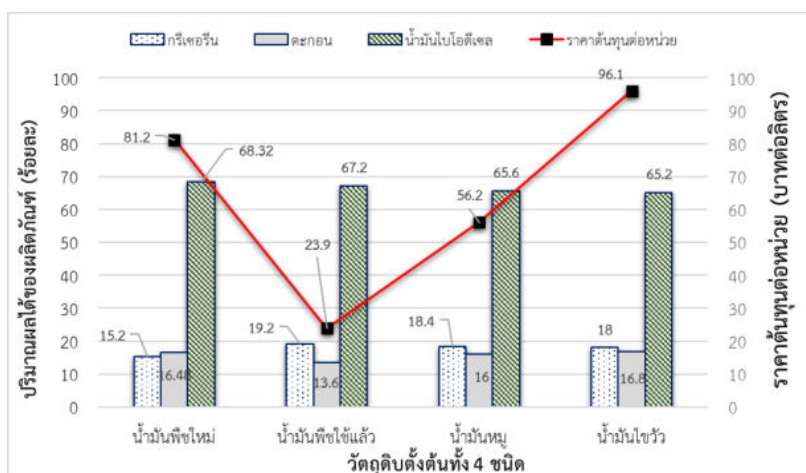


ภาพที่ 4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระพบว่าปริมาณของกรดไขมันอิสระที่สูงที่สุดคือ น้ำมันพืชใช้แล้ว 1.4% เนื่องจากน้ำมันพืชใช้แล้วมีการปนเปื้อนของไขมันจากการใช้มาหลายชนิดรวมถึงผ่านความร้อนมาหลายครั้งจึงส่งผลต่อค่า FFA ลำดับถัดมา คือน้ำมันหมู และน้ำมันไขวัว เท่ากับ 1.12% , 1.08% ตามลำดับ น้อยที่สุดคือ น้ำมันพืชใหม่ 0.58% โดยน้ำมันพืชใหม่ยังคงไม่มีส่วนปนเปื้อนของสารประกอบอื่นๆ เช่น น้ำ หรือความร้อนจากการใช้งาน จึงส่งผลให้ปริมาณของกรดไขมันอิสระค่อนข้างน้อย เงื่อนไขในการตรวจสอบค่า FFA นั้นทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 40 °C จึงมีผลให้วัตถุดิบทั้ง 4 ชนิดอยู่ในของเขตที่เหมาะสมกับการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งความชื้น ความร้อน ออกซิเจนในอากาศ แสงสว่าง และระยะเวลา มีผลกระทบต่อปริมาณกรดไขมันอิสระโดยตรง ดังนั้นควรเก็บวัตถุดิบ หรือน้ำมันในภาชนะที่ปราศจากความชื้น อากาศ และที่บแสงจะช่วยลดการเกิดปริมาณกรดไขมันอิสระให้น้อยลง [14]

วิเคราะห์ปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์

วิเคราะห์ปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์ในที่นี่จะพิจารณาปริมาณผลได้ในรูปแบบของร้อยละ คือร้อยละปริมาณผลได้ของน้ำมันไบโอดีเซล และร้อยละปริมาณผลได้ของกรีเซอร์ลิน โดยร้อยละของผลได้อธิบายจากภาพที่ 5 กราฟแสดงผลของการทดลองที่ได้จากระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแล้วเสร็จ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากระบวนการคือน้ำมันไบโอดีเซลและกรีเซอร์ลิน การวิเคราะห์จะมุ่งเน้นในส่วนของน้ำมันไบโอดีเซล ส่วนกรีเซอร์ลินจะถูกพิจารณาอ้างอิงในเชิงตัวเลขเท่านั้น

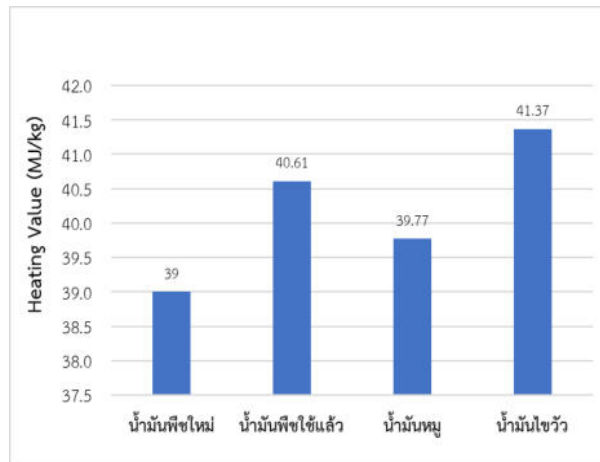


ภาพที่ 5 วิเคราะห์ปริมาณผลได้ของปาล์ม

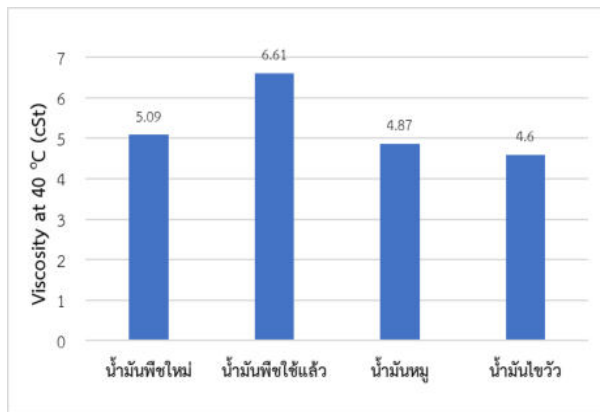
เมื่อวิเคราะห์น้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการล้างและให้ความร้อนเพื่อกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์จนได้น้ำมันปาล์มที่พร้อมนำไปใช้งาน โดยร้อยละปริมาณผลได้ของน้ำมันปาล์มที่เทียบปริมาณผลได้จากวัตุถุขเริ่มต้นที่เข้าสู่กระบวนการจนแล้วเสร็จ จะพบว่าน้ำมันพืชใหม่ ให้ปริมาณน้ำมันปาล์มสูงถึงร้อยละ 68.32 โดยปริมาตร น้ำมันพืชใช้แล้ว ให้ปริมาณน้ำมันปาล์มใกล้เคียงกัน คือร้อยละ 67.2 โดยปริมาตร ขณะที่น้ำมันหมู และน้ำมันไขว้ให้ปริมาณน้ำมันปาล์มใกล้เคียงกันคือร้อยละ 65.6 และ 65.2 โดยปริมาตร ตามลำดับ ในส่วนการเกิดตะกอน ระหว่างขั้นตอนการล้างนั้น ลักษณะของตะกอนจะมีสีขาวขุ่นซึ่งเกิดจากการจับตัวกันเนื่องจากมีน้ำเป็นตัวกลางระหว่างกระบวนการกวนส่วนผสมของน้ำมันปาล์มกับน้ำสะอาดพักทิ้งไว้ น้ำมันปาล์มจะเกิดการตกตะกอนแยกชั้นระหว่างสิ่งปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์น้ำมัน จึงสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกวัตุถุขที่นำมาผลิตน้ำมันปาล์ม เมื่อเปรียบเทียบในด้านต้นทุนการผลิตนั้น ราคาต้นทุนต่อลิตรของน้ำมันพืชใช้แล้วต่ำสุดคือ 23.9 บาทต่อลิตร ต้นทุนสูงสุดคือน้ำมันไขว้ 96.1 บาทต่อลิตร จะเห็นได้ว่าต้นทุนการผลิตน้ำมันปาล์มจากวัตุถุขที่สามารถบริโภคได้เช่น น้ำมันพืชใหม่ น้ำมันหมู และน้ำมันไขว้นั้น มีราคาต้นทุนค่อนข้างสูงเนื่องจากวัตุถุขเหล่านี้มีกลุ่มลูกค้าทั้งผู้บริโภคเป็นอาหาร กลุ่มลูกค้าอาหารสัตว์ และกลุ่มลูกค้าที่นำมาทำพลังงานทดแทน จึงส่งผลให้ราคาต้นทุนของวัตุถุขสูงขึ้นตามความต้องการของตลาด

การวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มที่ได้เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตจะนำไปวิเคราะห์สมบัติเพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมและประเมินประสิทธิภาพเบื้องต้น ดังนี้

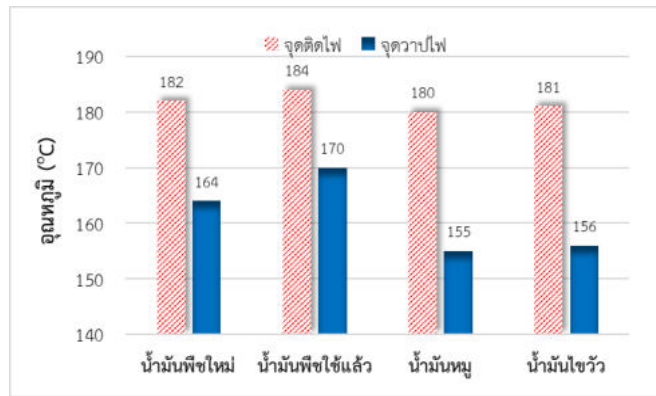


ภาพที่ 6 วิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซล



ภาพที่ 7 วิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซล

พบว่าเมื่อวิเคราะห์ผลค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิดนั้น จะแสดงในภาพที่ 6 และ 7 พบว่าน้ำมันไขวัวจะให้ค่าความร้อนสูงสุดคือ 41.37 MJ/kg และ ค่าความหนืดต่ำสุด 4.6 cSt และถือว่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนของน้ำมันดีเซลโดยประมาณ 43 MJ/kg [15] และจากการวิเคราะห์ค่าความหนืดจะเห็นได้ว่าน้ำมันปาล์มใช้แล้ว ให้ค่าความหนืดสูงถึง 6.61 cSt.



ภาพที่ 8 วิเคราะห์จุดติดไฟ จุดวาบไฟ ของน้ำมันไบโอดีเซล

วิเคราะห์จุดติดไฟ จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซล ตามภาพที่ 8 พบว่าน้ำมันพืชใช้แล้ว มีค่าจุดติดไฟ จุดวาบไฟ สูงกว่าวัตถุดิบอื่นๆ อยู่ที่ 170 °C ลำดับถัดมา น้ำมันพืชใหม่, น้ำมันหมู และ น้ำมันไขวัว คือ 164 , 156 และ 155 °C ตามลำดับ ทั้งนี้มีการอธิบายไว้ว่าไขมันสัตว์มีข้อดีคือ คุณสมบัติไม่ก่กร่อน สะอาด มีแนวโน้มที่จะมีสาร FFAs และน้ำต่ำ [6] ซึ่งจากข้อมูลทั้งหมดพบว่าวัตถุดิบจากไขมันสัตว์จะมีความร้อนสูง รวมถึงค่าจุดติดไฟ จุดวาบไฟ และความหนืดต่ำกว่า วัตถุดิบที่มาจากไขมันจากพืช

สรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากวัตถุดิบตั้งต้น 4 ชนิด คือ น้ำมันพืชใหม่ (น้ำมันปาล์ม) น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว น้ำมันหมู และน้ำมันไขวัว ด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 50 °C ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) มีค่าน้อยกว่า 3% ตามข้อกำหนด ซึ่งปริมาณ FFA ของวัตถุดิบทั้ง 4 ชนิด สูงสุดอยู่ที่น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว 1.4% หลังกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล พบว่าวัตถุดิบจากน้ำมันพืชใหม่ให้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลสูงสุดคือร้อยละ 68.32 โดยปริมาตร วัตถุดิบจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว น้ำมันหมู และน้ำมันไขวัว ให้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลคือร้อยละ 67.2 , 65.6 และ 65.2 โดยปริมาตร ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์สมบัติพบว่า วัตถุดิบจากไขมันวัวให้ค่าความร้อนสูงสุดคือ 41.37 MJ/kg แต่ความหนืดสูงสุดคือน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว 6.61 cSt ซึ่งจากการทดลองจึงสรุปได้ว่าน้ำมันไบโอดีเซลวัตถุดิบจากพืชมีความหนืดสูงแต่มีราคาต้นทุนต่ำสุด คือน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว 23.9 บาทต่อลิตร และวัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซลประเภทไขมันสัตว์ให้ค่าความร้อนที่สูงและติดไฟง่าย เมื่อเทียบต้นทุนต่อลิตรโดยรวมมีราคาต้นทุนค่อนข้างสูง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่เป็นอย่างสูงในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gerpen, J.V., Shanks, B., Pruszek, R. (2004). **Biodiesel Production Technology**. National Renewable Energy Laboratory.
- [2] Singh, D., Sharma, D., Soni, S.L., Sharma, S., Kumar Sharma, P., Jhalani, A., (2020). A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel. **Fuel**. 262.
- [3] อรปวีณ์ แสงเนตร และประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ (2563). อัตราส่วนผสมสูงสุดของน้ำมันไพโรไลซิสเพื่อให้ได้มาตรฐานน้ำมันดีเซลของไทย. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**. 3(3), 39-45.
- [4] Knothe, G. (2006). Analyzing Biodiesel. **Standards and Other Methods:JAOCS**. 83 (10), 823-833.
- [5] Wen, Z. (2009). Microalgae as a Feedstock for Biofuel Production. **Biological Systems Engineering**. 442-886.
- [6] Balat, M. and Balat, H. (2010). Progress in biodiesel processing. **Applied Energy**. 87(6), 1815-1835.
- [7] Gebremariam, S. N. and Marchetti, J.M. (2018). Economics of biodiesel production Review. **Energy Conversion and Management**. 168, 74-84.
- [8] ศศิกานต์ ปานปรานีเจริญ เสาวภา ชูมณี วิไลพร ปองเพียร รุจิรา คุ่มทรัพย์ และนันทรักษ์ รอดเกตต์. (2018). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว. **Journal of Science & Technology Phetchabun Rajabhat University (JSTPCRU)**. 3(1), 1-12.
- [9] Ma, F. and Hannab, A. M. 1999Biodiesel production a review 1. **Bioresource Technology**. 70, 1-15.
- [10] Sharma, Y.C., Singh, B., Upadhyay, S.N. (2008). Advancements in development and characterization of biodiesel:A review. **Fuel**. 87(12), 2355-2373.
- [11] Sharma, Y.C. and Singh, B. (2009). Development of biodiesel: Current scenario. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 13, 1646-1651.
- [12] Bhatti, H., Hanif, M., Qasim, M., Ataurrehman. (2008). Biodiesel production from waste tallow. **Fuel**. 87, 2961-2966.
- [13] Sharma, Y. C. and Singh, B. (2009). Development of biodiesel: Current scenario. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 13(6-7), 1646-1651.
- [14] อธิยา คงเซ็น รัตนชัย ไพรินทร์ เก้ากันยา สุดประเสริฐ และวารุณี ลิ้มมัน. (2557). การศึกษาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ในขณะการเก็บรักษา. **Agricultural Sci**. 45(2), 261-264.
- [15] Demirbas, A. (2007). Importance of biodiesel as transportation fuel. **Energy Policy**. 35(9), 4661-4670.

เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมัน (CNSL) โดยใช้
วิธีการเผาถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า

Briquette Fuel from Waste Cashew Nut Shell after Oil Extraction of Cashew Nut Shell
Liquid by Slow Pyrolysis

ไพโรจน์ นะเที่ยง*

Pairote Nathiang*

ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ อุตดิตถ์ 53000

Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology,

Uttaradit Rajabhat University, Uttaradit 53000

*Corresponding author: E-mail address: Pairote.n@gmail.com

Received: 26 September 2022, Revised: 1 November 2022, Accepted: 11 November 2022, Published online: 30 December 2022

Abstract

This research aims to create briquette fuel from discarded cashew nut shells after oil extraction from Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) using slow pyrolysis. Finely ground cashew nut powder, 10 kilograms per kilogram of tapioca starch, and 3 liters of water are all in the mixture. A cold screw press is utilized to compress the charcoal briquettes. The results show that using 500 g of briquette fuel and boiling 1,500 g of water to the boiling point demonstrates the effectiveness of cladding. The researchers discovered that charcoal briquettes made from discarded cashew nut shells had a work value of 1.52 g and a burning rate of 10.41 g/min. Charcoal has an excellent ignition level. The fire didn't make much smoke, and there was no soot on the container after the experiment.

Keywords: Briquette Fuel, Waste Cashew Nut, Cashew Nut Shell, Slow Pyrolysis

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตเชื้อเพลิงจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งหลังกระบวนการสกัดน้ำมัน (CNSL) ด้วยการใช้วิธีการเตรียมผงถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้าแล้วนำมาผลิตเป็นถ่านอัดแท่งแบบอัดเย็นด้วยการใช้เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) มีส่วนผสมประกอบด้วย ผงถ่านเปลือกมะม่วงหิมพานต์บดละเอียด 10 กิโลกรัมต่อแป้งมันสำปะหลัง 1 กิโลกรัม และน้ำ 3 ลิตร ผลการจากศึกษาประสิทธิภาพในการห่มต้มโดยใช้เชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งปริมาณ 500 กรัม ต้มน้ำในปริมาตร 1,500 กรัม ให้ถึงจุดเดือด พบว่าเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์ให้ค่างานอยู่ที่ 1.52 กรัม โดยมีอัตราการเผาไหม้ 10.41 กรัม/นาที ซึ่งในระหว่างการติดไฟไม่พบการแตกปะทุของถ่านตลอดระยะเวลาการใช้งาน ถ่านมีอัตราการติดไฟอยู่ในระดับที่ดีมาก ปริมาณควันจากการเผาไหม้มีเล็กน้อยและไม่มีการระบายอากาศหลังจากการทดลอง

คำสำคัญ: เชื้อเพลิงอัดแท่ง เศษเหลือทิ้งจากการแปรรูป เปลือกมะม่วงหิมพานต์ กระบวนการไพโรไลซิส

บทนำ

ชีวมวล (Biomass) คือ วัสดุที่ได้จากธรรมชาติซึ่งอาจเป็นสิ่งมีชีวิตหรือส่วนประกอบของธรรมชาติรวมทั้งสิ่งเหลือทิ้งจากสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างทดแทนได้ ชีวมวลที่นำไปแปรรูปเป็นพลังงานส่วนใหญ่เป็นพืชหรือส่วนประกอบของพืช โดยพืชจะนำ CO₂ ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อผลิตก๊าซออกซิเจน (O₂) ดังนั้น เมื่อนำชีวมวลที่ได้จากพืชมาใช้ในการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงโดยการนำไปเผาจึงทำให้ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ เพิ่มสู่ชั้นบรรยากาศ [1] จากการประเมินศักยภาพชีวมวลจากเศษวัสดุทางการเกษตรในประเทศไทยในปี พ.ศ.2561 โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้จำแนกชนิดของชีวมวลออกเป็นชีวมวลที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร เช่น กากอ้อย แกลบ ใบปาล์มและทะลายปาล์ม ฯลฯ และชีวมวลที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่เพาะปลูกจะเกิดจากชีวมวลที่เหลืออยู่หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต เช่น เหน้จ่มสำหรับเลี้ยง ฟางข้าว ใบอ้อย ตอและรากไม้ยางพารา เป็นต้น การนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลนอกจากจะเป็นพลังงานทางเลือกแล้วยังช่วยแก้ปัญหาการกำจัดของเสียและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีกรูปแบบหนึ่ง การใช้พลังงานชีวมวลสามารถแยกได้เป็นการใช้โดยตรงโดยนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนและการนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันภาครัฐเองก็ได้ให้ความสำคัญและส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวลโดยกำหนดไว้ในแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 % ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564) ซึ่งระบุให้ภายในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยจะต้องมีส่วนการผลิตไฟฟ้าด้วยชีวมวลคิดเป็น 1,896 ktoe [2] นอกจากนี้พลังงานจากชีวมวลยังเป็นพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิตลอดวัฏจักรชีวิตมีค่าเท่ากับศูนย์ (Carbon Neutral) ทำให้ไม่ส่งผลต่อภาวะโลกร้อน (Global Warming) พลังงานชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจึงถือเป็นแหล่งพลังงานที่เหมาะสมต่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

จังหวัดอุดรธานีเป็นแหล่งเพาะปลูกมะม่วงหิมพานต์แหล่งใหญ่ที่สุดของประเทศไทย มีพื้นที่เพาะปลูก 27,286 ไร่ ส่วนใหญ่เป็นการเพาะปลูกแบบอาศัยน้ำฝน ปัจจุบันมะม่วงหิมพานต์ให้ผลผลิตรวม 7,192 ตัน โดยภายหลังการเก็บเกี่ยวมีการกะเทาะเม็ดและแปรรูปในพื้นที่ ซึ่งเมื่อกะเทาะเปลือกหุ้มเมล็ดแล้วจะมีวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปประมาณปีละกว่า 4,000 ตัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี เนื่องจากมีผลผลิตที่เริ่มเก็บเกี่ยวได้แล้วและการขยายพื้นที่เพาะปลูกไม่ต่ำกว่าปีละ 2,880-3,120 ตัน [3] โดยปัจจุบันเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งจากการแปรรูปในพื้นที่ที่มีการจัดการโดยการนำมาผ่านกระบวนการบีบอัดเพื่อสกัดเอาน้ำมันที่เรียกว่า Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) ซึ่งมีราคาซื้อขาย 50 บาท/กิโลกรัม จึงเป็นแนวทางการจัดการและเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งจากการแปรรูป แต่เนื่องจากหลังการสกัดน้ำมันยังคงมีเศษเปลือกเหลือทิ้งบางส่วนที่ยังคงสกัดน้ำมันไม่หมดเนื่องจากการสกัดด้วยการบีบอัดทางกลโดยใช้เครื่องแบบเกลียวอัดซึ่งสามารถบีบอัดเอาน้ำมัน (CNSL) จากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ได้เพียง 20-30% [4] ซึ่งเท่ากับว่ากากเศษเปลือกที่เหลือทิ้งหลังการสกัดยังคงมีน้ำมัน (CNSL) เหลืออยู่ในปริมาณ 70% ซึ่งกากเหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมันในส่วนนี้จะถูกนำไปทิ้งตามที่ทิ้งขยะสาธารณะหรือในบริเวณพื้นที่ว่างเปล่าจึงทำให้เกิดการก่อกมลภาวะกับชุมชน เช่น กลิ่นเหม็น ทำลายหน้าดินและแหล่งน้ำ หรือแม้แต่การก่อให้เกิดปัญหาขยะอันตรายต่อคนในชุมชน แต่ก็มีกลุ่มผู้ประกอบการบางรายใช้วิธีการเผาทำลายจึงก่อเกิดมลพิษทางอากาศเนื่องจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์เมื่อได้รับความร้อนสูงประมาณ 80-100 องศาเซลเซียส จะมีสารพิษระเหยและมีกลิ่นฉุนจัดเป็นอันตรายต่อเยื่อหุ้มจมูกและนิยมนำมาทำปุ๋ยหมักเนื่องจากเศษเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ยังมีน้ำมัน (CNSL) หลงเหลืออยู่ซึ่งมีความเป็นกรดรุนแรงและเป็นพิษต่อผิวหนัง [5]

การแก้ปัญหาเศษเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งหลังการแปรรูปที่มีมากกว่าปีละกว่า 4,000 ตัน ให้เป็นสิ่งที่ก่อเกิดมูลค่าและนำไปสู่การใช้ประโยชน์ภายในชุมชนก็คือการนำมาผลิตเป็นพลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งการแปรสภาพของชีวมวลให้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดต้นทุนด้านพลังงานของชุมชน อีกทั้งสามารถลดปัญหามลภาวะที่เกิดกับสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นการนำเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งหลังการแปรรูปมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านพลังงานเชื้อเพลิงจึงเป็นแนวทางที่เป็นไปได้ และสามารถลดผลกระทบจากปัญหาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่เป็นอันตรายทั้งต่อคนและสภาพแวดล้อมของชุมชน อีกทั้งยังจะก่อให้เกิดการสร้าง ความมั่นคงทางด้านพลังงานและเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนได้อีกทางหนึ่ง

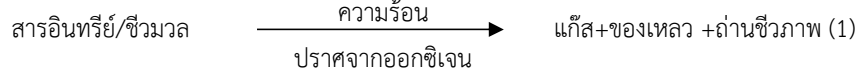
วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตและทดสอบประสิทธิภาพด้านการใช้งานเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งที่ใช้วิธีการเตรียมผงถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า
2. เพื่อประเมินต้นทุนและอัตราผลตอบแทนเมื่อดำเนินการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์เชิงพาณิชย์ในระดับธุรกิจชุมชน

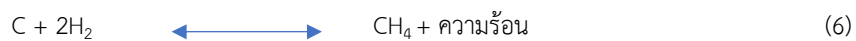
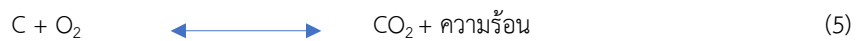
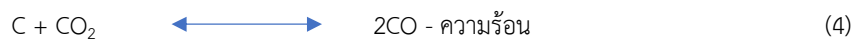
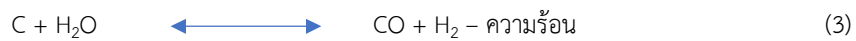
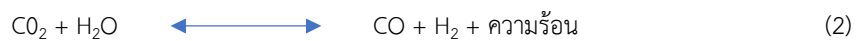
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีแบบย้อนกลับไม่ได้ที่ทำให้ชีวมวลเกิดการแตกตัวทางความร้อนในระบบที่ไร้ออกซิเจน โดยเป็นกระบวนการที่ทำให้สารประกอบอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว (Chain) แตกออกเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กหรือเป็นสายโซ่ที่สั้นลง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นสารประกอบที่มีคุณค่ามากขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ ของแข็ง (ถ่านชีวภาพ) ของเหลว (น้ำมันชีวภาพ) และแก๊ส โดยกระบวนการไพโรไลซิสจะเกิดที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 300-700 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในกระบวนการไพโรไลซิสโดยทั่วไปจะเป็นดังต่อไปนี้ [6]

ปฏิกิริยาพื้นฐาน



ปฏิกิริยารอง



กลไกการเกิดไพโรไลซิส (Pyrolysis mechanisms) สามารถแบ่งประเภทออกตามอัตราการให้ความร้อนแก่ชีวมวลได้ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis) และกระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็ว (Fast Pyrolysis) โดยทั้งสองกระบวนการนี้มีผลต่อการแตกตัวของโครงสร้างที่ซับซ้อนของชีวมวลและปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ [7]

1) กระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis) คือ การถ่ายเทความร้อนให้แก่ชีวมวลอย่างช้าๆ อุณหภูมิการไพโรไลซิสอยู่ในช่วง 400 - 600 องศาเซลเซียส และอัตราการให้ความร้อนไม่เกิน 10 องศาเซลเซียสต่อหน้าที่รักษาอุณหภูมิการไพโรไลซิสมากกว่า 5 นาทีขึ้นไป (ภาพที่ 1) โดยลำดับการเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบช้าที่เกิดขึ้นในระบบสามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้ [8]

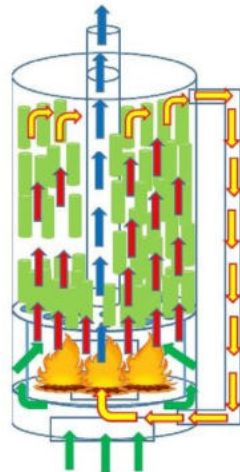
ณ อุณหภูมิ 20 - 100 องศาเซลเซียส ชีวมวลจะดูดซับความร้อน ความชื้นภายในชีวมวลจะถูกขับออกกลายเป็นไอน้ำจนชีวมวลแห้งสนิท

ณ อุณหภูมิ 100 - 250 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของชีวมวลทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและกรดอะซิติก

ณ อุณหภูมิ 250 - 500 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของชีวมวลทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและมีเทน รวมถึงของเหลวทาร์ (Liquid Tar)

ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสขึ้นไป เกิดปฏิกิริยาที่ทำให้ได้ถ่านชีวภาพ (Biochar)

2) กระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็ว (Fast Pyrolysis) เป็นกระบวนการให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิไพโรไลซิส 600 -1,000 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนในช่วง 10 - 100 องศาเซลเซียสต่อวินาที รักษาอุณหภูมิการไพโรไลซิสในช่วงระยะสั้นๆ กระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็วมักได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวสูง



ภาพที่ 1 กระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis)

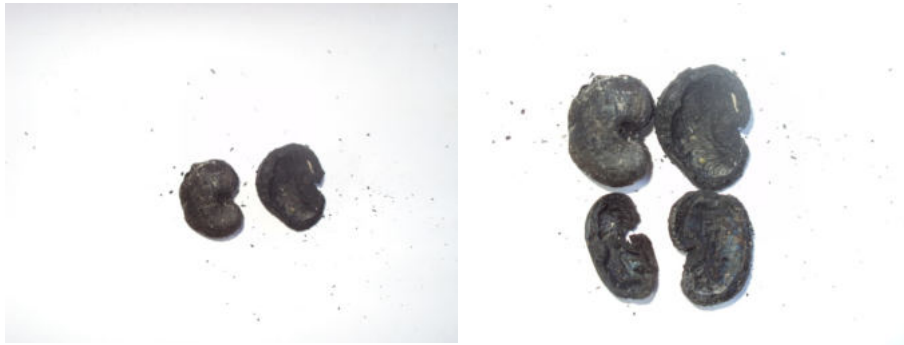
วิธีการวิจัย

สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ในงานวิจัยนี้เป็นการนำเศษกากที่เหลือทิ้งจากกระบวนการสกัดเอาน้ำมัน (CNSL) ที่ใช้การสกัดด้วยการบีบอัดทางกลโดยใช้เครื่องแบบเกลียวอัด (Screw Press) โดยกากเศษเปลือกเหลือทิ้งหลังการสกัดยังคงมีน้ำมัน (CNSL) เหลืออยู่ในปริมาณ 70% การนำเศษกากนี้มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

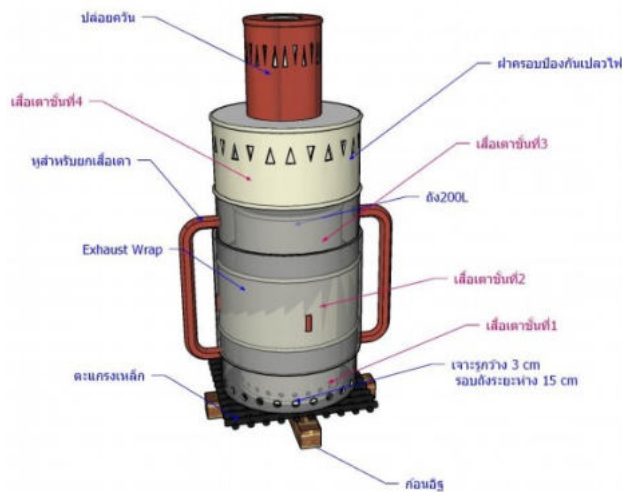
1. การเตรียมถ่านจากเศษกากเปลือกมะม่วงหิมพานต์เพื่อนำไปเป็นวัสดุสำหรับผลิตถ่านอัดแท่ง เริ่มจากการนำเศษกากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งหลังการสกัดเอาน้ำมัน Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) (ภาพที่ 2) นำมาเผาให้เป็นถ่านโดยใช้กระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis) โดยการถ่ายเทความร้อนให้แก่ชีวมวลอย่างช้าๆ อุณหภูมิการไพโรไลซิสอยู่ในช่วง 400 - 600 องศาเซลเซียส และอัตราการให้ความร้อนไม่เกิน 10 องศาเซลเซียสต่อหน้าที่แล้วปล่อยให้เย็นตัวจะได้ถ่านชีวภาพ (Biochar) จากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่มีลักษณะของคาร์บอนคงรูป (Fixed Carbon) (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 กากเศษเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมัน (CNSL)



ภาพที่ 3 ถ่านเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis)



ภาพที่ 4 เตาเผาถ่านด้วยหลักการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis)

2. การผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษกากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งจากระบวนการสกัดเอาน้ำมัน (CNSL) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1) นำถ่านเปลือกมะม่วงหิมพานต์ที่เผาได้จากกระบวนการไพโรไลซิซอย่างช้า (Slow Pyrolysis) มาบดด้วยเครื่องบดจนได้ผงถ่านละเอียด

2.2) ทำการผสมส่วนผสมต่าง ๆ ที่นำมาใช้ตามสูตรที่กำหนด โดยส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ ผงถ่านเปลือกมะม่วงหิมพานต์บดละเอียด 10 กิโลกรัม ต่อแป้งมันสำปะหลัง 1 กิโลกรัม และน้ำ 3 ลิตร [9]

2.3) ทำการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์ ด้วยการใช้เครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) ซึ่งเป็นการผลิตถ่านอัดแท่งแบบอัดเย็นตามส่วนผสมที่ได้กำหนดไว้จนได้ถ่านอัดแท่งที่มีค่าความชื้นเฉลี่ย 40 % มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 654 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (ภาพที่ 5) โดยมีอัตราการกำลังการผลิตเฉลี่ย 60 กิโลกรัม/ชั่วโมง หรือในระยะเวลา 8 ชั่วโมงการทำงานจะสามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้ในอัตราเฉลี่ย 480 กิโลกรัม/วัน (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 5 ถ่านอัดแท่งที่ผลิตด้วยเครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press)

ตารางที่ 1 กำลังการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ด้วยเครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press)

ครั้งที่	อัตราส่วนผสม			ร้อยละของค่า ความชื้น	ค่าความ หนาแน่น	ปริมาณการอัด
	ผงถ่านฯ (ก.ก.)	ผงแป้งมัน (ก.ก.)	น้ำ (ลิตร)			
1	10	1	3	40	654.31	59.96
2	10	1	3	42	653.78	60.03
3	10	1	3	40	655.02	60.06
4	10	1	3	41	654.45	59.97
5	10	1	3	41	655.10	60.07
	เฉลี่ย			40.80	654.53	60.01

3. ต้นทุนค่ากระแสไฟฟ้าเมื่อทำการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ด้วยเครื่องอัดแบบเกลียว (Screw Press) ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าต้นกำลังขนาด 10.4 แอมแปร์ โดยในขณะที่เครื่องทำงานมีอัตราการใช้กระแสไฟฟ้า 3.4 แอมป์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เมื่อคำนวณแล้วพบว่ามีการใช้กำลังไฟฟ้า 0.748 กิโลวัตต์/ชั่วโมง จึงทำให้เกิดต้นทุนค่าไฟฟ้าเมื่อใช้งานในเวลา 1 ชั่วโมง (1.78 บาท/ชั่วโมง) ซึ่งเมื่อใช้งาน 1 วัน หรือ 8 ชั่วโมง (14.45 บาท/วัน) และเมื่อใช้งานเป็นระยะเวลา 1 เดือน หรือ 30 วัน จะมีต้นทุนค่าไฟฟ้า (623.58 บาท/เดือน)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การประเมินคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมัน ผู้วิจัยใช้การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานโดยการนำแท่งเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมันที่ตากแดดจนแห้งสนิทมาศึกษาประสิทธิภาพในการหุ้มต้ม โดยการทดสอบกับการต้มน้ำด้วยหม้ออลูมิเนียมเบอร์ 20 พร้อมกับฝาปิด และเตาหุ้มต้มโดยใช้น้ำในปริมาตร 1,500 กรัม (ปริมาตรของน้ำคิดเป็น $\frac{3}{4}$ ของปริมาณความจุของหม้อ) และนำแท่งเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งปริมาณ 500 กรัม มาทำการทดสอบ เพื่อสังเกตการณ์ประทุของถ่าน ปริมาณควันของถ่านขณะที่ติดไฟ จับเวลาและวัดอุณหภูมิของน้ำจนถึงจุดเดือด (ภาพที่ 6-9) แล้วบันทึกเวลาที่ใช้ไปพร้อมกับเปิดฝาหม้อ จากนั้นปล่อยให้ น้ำเดือดต่อไปอีก 30 นาที [10]



ภาพที่ 6 ลักษณะเริ่มจุดติดไฟ



ภาพที่ 7 หลังจากหลังจากติดไฟแล้ว 15 นาที



ภาพที่ 8 ถ่านที่ติดไฟและให้ความร้อนเต็มที่



ภาพที่ 9 ถ่านที่เริ่มมอดไฟ (หลังการเผาไหม้)

1. ผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกากเปลือกเม็ดมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมัน (CNSL) จากสูตรการคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned}
 1.1) \text{ ค่างานที่ได้} &= \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป}}{\text{น้ำหนักของถ่านที่ใช้สุทธิ}} \\
 \text{เมื่อแทนค่า} &= \frac{760.34 \text{ (กรัม)}}{500 \text{ (กรัม)}} = 1.52 \text{ กรัม}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1.2) \text{ อัตราการเผาไหม้} &= \frac{\text{น้ำหนักของถ่านที่ใช้สุทธิ (กรัม)}}{\text{ระยะเวลาที่ใช้ไปทั้งหมด (นาท)}} \\
 \text{เมื่อแทนค่า} &= \frac{500}{48} = 10.41 \text{ กรัม/นาท}
 \end{aligned}$$

สรุปผลจากประเมินคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์สามารถทำให้น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไปเฉลี่ย 760.34 กรัม น้ำหนักถ่านที่ใช้สุทธิเฉลี่ย 500 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ต้มน้ำจนเดือดเฉลี่ย 14.5 นาที ระยะเวลาที่ใช้ไปทั้งหมดเฉลี่ย 44.5 นาที ค่าอุณหภูมิของน้ำก่อนตั้งไฟเฉลี่ย 32 °C ค่างานที่ทำได้เฉลี่ย 1.52 อัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 10.41 กรัม/นาท ไม่มีการแตกประทุของถ่าน การติดไฟอยู่ในระดับที่ดีมาก คิวที่เกิดขึ้นขณะเผาไหม้มีบางเล็กน้อยและไม่มีเขม่าขณะเผาไหม้ ซึ่งสอดคล้องกับ [11] ที่พบว่าเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์สามารถนำมาใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งแทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟืนและถ่านไม้จากธรรมชาติ อีกทั้งสามารถใช้งานได้ดี ไม่แตกปะทุ ติดไฟได้ดีมาก ให้ค่าความร้อนสูงจึงเหมาะสำหรับการนำมาเป็นพลังงานเชื้อเพลิงในครัวเรือน ชุมชน หรือผลิตเพื่อการค้าเชิงอุตสาหกรรมอย่างดียิ่ง และยังคงสอดคล้องกับ [12] ซึ่งได้นำเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาทำเป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวภาพโดยการผสมขี้วัว ขี้เสี้ยน และแกลบจากข้าวสาลี ในอัตราส่วน 55 : 25 : 10 : 10 ตามลำดับ พบว่า สามารถนำเข้ามาเป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มในภาคครัวเรือนอีกทั้งพัฒนาผลิตในเชิงอุตสาหกรรมได้อย่างดีเยี่ยมเนื่องจากมีอัตราการให้ความร้อนที่สูงและต่อเนื่อง

2. ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตถ่านอัดแท่งจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ในปริมาณ 1 กิโลกรัม สามารถคำนวณได้ดังนี้

- 1) ค่าวัตถุดิบเปลือกมะม่วงหิมพานต์ดิบ 10 กิโลกรัม × 0.5 บาท = 5 บาท (เผาถ่านได้ในปริมาณ 2.5 กิโลกรัม คิดเป็นผลผลิตร้อยละ 25)
- 2) ค่าไฟฟ้าในการเดินระบบของเครื่องอัดแท่ง 1.78 บาท/ชั่วโมง (ประสิทธิภาพการผลิตถ่านได้ 15 กิโลกรัม/ชั่วโมง เมื่อคิดต้นทุนค่าไฟฟ้าต่อการผลิตถ่าน 1 กิโลกรัม = 1.78 / 15 = 0.11 บาทต่อกิโลกรัม
- 3) ค่าแรงในการอัดแท่ง = 3 บาท/กิโลกรัม

รวมต้นทุนในการผลิต (1+2+3) = 8.11 บาท/กิโลกรัม ซึ่งถ่านอัดแท่งที่จำหน่ายโดยทั่วไปจะมีราคาขายที่ กิโลกรัมละ 12 บาท ดังนั้นหากมีการผลิตเพื่อจำหน่ายผู้ผลิตจะมีกำไรเมื่อหักต้นทุนการผลิต (ราคาขาย-ต้นทุนรวมการผลิต) 12 - 8.11 บาท ดังนั้นเท่ากับจะมีกำไร 3.89 บาท/กิโลกรัม เมื่อทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนโดยการอาศัยข้อมูลอัตราค่าการผลิตของเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีอัตราผลิต 60 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยทำงานวันละ 8 ชั่วโมง เฉลี่ย 6 วัน/สัปดาห์ หรือประมาณ 2,500 ชั่วโมง/ปี มีกำลังการผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่ง 37,500 กิโลกรัม/ปี โดยเมื่อคิดรายละเอียดการลงทุนและผลตอบแทนในการผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งจะต้องใช้เงินลงทุนสุทธิเท่ากับ 96,300 บาท และมีค่าใช้จ่ายรวมค่าใช้จ่ายต่อปี 244,982 บาท โดยผู้ผลิตจะมีรายได้ต่อปีจากการขายถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผลิตได้เท่ากับ 450,000 บาท/ปี เมื่อหักค่าใช้จ่ายจากลงทุนแล้วจะมีรายได้สุทธิ เท่ากับ 205,018 บาท/ปี (ตารางที่ 2) โดยเมื่อคิดระยะเวลาในการคืนทุนจาก (เงินลงทุนสุทธิ/รายได้สุทธิต่อปี) จะมีระยะเวลาคืนทุนที่ 0.46 ปี หรือ 5.6 เดือน

ตารางที่ 2 รายละเอียดการลงทุนและผลต่อแทนการผลิตถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะม่วงหิมพานต์

ค่าใช้จ่ายคงที่		ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบการผลิตถ่านอัดแท่งต่อปี	
เงินลงทุน	จำนวนเงิน (บาท)	รายการค่าใช้จ่าย	จำนวนเงิน (บาท)
ค่าก่อสร้างโรงเรือน	40,000	ค่าวัตถุดิบ	100,000
ค่าเครื่องถ่านอัดแท่ง	30,000	ค่าไฟฟ้าต่อเดือน (623.58 x 12)	7,482
ค่าเครื่องผสม	20,000	ค่าแรงงาน	112,500
ค่าภาษีร้อยละ 7	6,300	ค่าซ่อมบำรุง	15,000
		ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด	10,000
		รวมค่าใช้จ่ายต่อปี	244,982
		รายได้ต่อปี	450,000
		จากการขายถ่านอัดแท่งที่ผลิต ได้ 37,500 กิโลกรัม/ปี (ราคา 12 บาท/กิโลกรัม)	
เงินลงทุนสุทธิ	96,300	รายได้สุทธิต่อปี	205,018

สรุปผลการวิจัย

การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์เหลือทิ้งหลังการสกัดน้ำมัน (CNSL) โดยใช้วิธีการเตรียมผงถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis) สามารถผลิตถ่านเปลือกมะม่วงหิมพานต์ในรูปแบบของคาร์บอนเสถียรที่มีความบริสุทธิ์สูง เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับผลิตถ่านอัดแท่งแบบอัดเย็นที่มีคุณสมบัติสามารถทำให้น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไปเฉลี่ย 760.34 กรัม น้ำหนักถ่านที่ใช้สุทธิเฉลี่ย 500 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ต้มน้ำจนเดือดเฉลี่ย 14.5 นาที ระยะเวลาที่ใช้ไปทั้งหมดเฉลี่ย 44.5 นาที ค่าอุณหภูมิของน้ำก่อนตั้งไฟเฉลี่ย 32 °C ค่างานที่ทำได้เฉลี่ย 1.52 อัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 10.41 กรัม/นาที ไม่มีการแตกประทุของถ่าน การติดไฟอยู่ในระดับที่ต่ำมาก ควันที่เกิดขึ้นขณะเผาไหม้มีบางเล็กน้อยและไม่มีเขม่าขณะเผาไหม้ และเมื่อทำการประเมินต้นทุนและอัตราผลตอบแทนการผลิตเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจากเศษเปลือกมะม่วงหิมพานต์เชิงพาณิชย์ในระดับธุรกิจชุมชน จะทำให้ผู้ผลิตมีรายได้เมื่อหักค่าใช้จ่ายจากลงทุนสุทธิเท่ากับ 205,018 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ 0.46 ปี หรือ 5.6 เดือน ซึ่งในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการศึกษาถึงปริมาณน้ำมัน (CNSL) ที่แยกออกมาได้จากกระบวนการไพโรไลซิสอย่างช้า (Slow Pyrolysis) ในขั้นตอนของการสลายตัวของชีวมวลที่อุณหภูมิ 100 - 250 องศาเซลเซียส และหาแนวทางการใช้ประโยชน์ อีกทั้งควรมีการศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนให้กับเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษกากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยการผสมผงถ่านจากชีวมวลชนิดอื่นๆ ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ถ่านกะลามะพร้าว ถ่านกะลาตาล ถ่านไม้ไผ่ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) อธิการบดีและคณาบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ที่สนับสนุนงานวิจัยอย่างจริงจังและต่อเนื่องมาโดยตลอด และกลุ่มเครือข่ายวิสาหกิจชุมชนผู้ผลิตและแปรรูปผลิตภัณฑ์มะม่วงหิมพานต์ อำเภอท่าปลา จังหวัดอุดรดิตถ์ ที่ให้ความร่วมมือ เอื้อเฟื้อสถานที่และสละเวลาในการให้ข้อมูลต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Laohalidanond, K. (2007). **The production of synthetic diesel from biomass**. CMU. J. Nat. Sci., vol. 6, no.1, pp. 127-139.
- [2] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2012). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25 % ใน 10 ปี พ.ศ. 2555-2564**, กระทรวงพลังงาน, กรุงเทพฯ, 15 น.
- [3] พิทักษ์ คล้ายชม กันต์ อินทวงศ์ และไพโรจน์ นะเที่ยง. (2016). **การถ่ายทอดเทคโนโลยีการสกัดน้ำมันเพื่อเพิ่มมูลค่าเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูป ด้วยรูปแบบการจัดการความรู้แบบมีส่วนร่วม** (รายงานวิจัย). อุดรดิตถ์: คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์.
- [4] ไพโรจน์ นะเที่ยง. (2015). **การใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปของกลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ อำเภอท่าปลา จังหวัดอุดรดิตถ์** (รายงานวิจัย). อุดรดิตถ์: คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์.
- [5] Andonaba, J.-B., S.S. Lompo, V. Ouédraogo, F. Ouédraogo, M.S. Ouédraogo, I. Konaté, B. Diallo and A. Traoré. (2017). **Skin damage and aesthetic disadvantage observed in women in the hand craft shelling chain of cashew nuts in a factory to Bobo-Dioulasso, Burkina Faso**. Journal of Cosmetics, Dermatological Sciences and Applications 7: 211-220.
- [6] Thomas,P and Wampler,B. (1995). **Applied Pyrolysis Handbook**, Marcel Dekker,Inc.,New York, pp.2-10
- [7] ชนิดา มฤคทัต. (2007). **การแปรสภาพกากสบู่ดำโดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบขั้นเบดนิ่ง**, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] Beenackers, A.A.C.M. (1993). **Biomass gasification: implementation and research in Europe**, Int. Journal Solar Energy Vol. 3:249-260.
- [9] ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (2013). **ส่วนผสมสำหรับการผลิตถ่านอัดแท่ง**, (เอกสารอัดสำเนา)
- [10] จีระพงษ์ คูหากาญจน์. (2007). **ศักยภาพทางด้านพลังงานถ่านของรากยางพารา**, ใน การสัมมนาทางวิทยาศาสตร์ ครั้งที่ 8 เทคโนโลยีวนวัฒนเพื่อขจัดความยากจน กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ส่งนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ
- [11] ส้งเวย เสวกวิหารี, วันดี มาตสถิตย์ และนิภาพร ปัญญา. (2010). **พลังงานเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์**, งานวิจัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- [12] A.G. Mohod, Y.P. Khandetod and A.G. Power. (2008). **Processed cashew shell waste as fuel supplement for heat generation**. Energy for Sustainable Development. Volume XII,4,73-76.

การศึกษาการอบแห้งแก้วมังกรด้วยโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์สองรูปทรงเปรียบเทียบกับการตากแดด
A Study of Dragon Fruit Drying by Two Different Shape Greenhouses Compared to
Opensun

สังข์กาจัน เหลืองอ่อน และกมลวรรณ จิตจักร*
Sangkaj Hlounng-oon and Kamonwan Jitjack

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 20110
Master of Engineering Program (Energy Technology), School of Engineering and Innovation
Rajamangala University of Technology Tawan-ok 20110

*Corresponding author: Tel.: 0923325566. E-mail address: kamonwan_ji@rmutto.ac.th

Received: 20 November 2021, Revised: 8 February 2022, Accepted: 15 February 2022, Published online: 30 December 2022

Abstract

This research was conducted to compare the sun drying of dragon fruit to the drying in two different greenhouses: a normal curved greenhouse and parabolic greenhouse adding side area expansion panels, where the thickness of dragon fruit slices 5 and 10 millimeters. The results showed that both greenhouses were able to reduce the moisture of the dragon fruit faster than the sun drying with less final humidity at the same period of trial time. The final moisture content of the slices dried in normal curved greenhouse was the least with 0.22 %db for 5-mm slices and 4.94 %db for 10-mm slices. The internal temperature was higher than the external around 15-20 °C. the thicker slices took 27 hours of drying time while the opponent took 18 hours. The internal drying rates of the two greenhouses closely ranged from 1.23 to 1.99 g water/ h. Thermal efficiency of the normal curved greenhouse were 2% higher than the opponents. The color and the lightness values (L) of the slices were not different in all experiments. However, the brightness or the whiteness was less comparing to dried dragon fruit slices on the market. In all experiments, the water activity was on Thai agricultural standard at 0.6. In all systems, the sweetness of 10- mm slices was higher than that of 5-mm slices. The highest sweetness was found in the slices dried in the normal curved greenhouse.

Keywords: Normal curved drying greenhouse, Parabolic drying greenhouse, Dragon fruit

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารอบแห้งแก้วมังกรด้วยโรงเรือนอบแห้งสองรูปทรงคือแบบโค้งปกติและแบบพาราโบลาเพิ่มพื้นที่รับแสงด้านข้าง เปรียบเทียบกับการตากแดดธรรมชาติ ด้วยขนาดความหนาของแผ่นแก้วมังกรที่ต่างกันคือ 5 มิลลิเมตรและ 10 มิลลิเมตร พบว่าในเวลาการอบแห้งที่เท่ากัน การอบแห้งภายในโรงเรือนทั้งสองรูปแบบสามารถลดความชื้นของแก้วมังกรได้ดีกว่าการตากแดด โดยค่าความชื้นสุดท้ายของแก้วมังกรอบแห้งภายในโรงเรือนอบแห้งแบบโค้งปกติมีค่าน้อยที่สุดคือ ที่ขนาด 5 มิลลิเมตร มีค่า 0.22 %db และขนาด 10 มิลลิเมตรมีค่า 4.94 %db อุณหภูมิภายในสูงกว่าภายนอก 15 – 20 °C โดยที่ความหนามากกว่าจะใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่าคือ 27 ชั่วโมง ในขณะที่แบบบางใช้เวลา 18 ชั่วโมง อัตราการอบแห้งภายในโรงเรือนทั้งสองรูปแบบมีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ในช่วง 1.23 – 1.99 g water/ h และประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบอบแห้ง (Thermal efficiency of drying system) ของโรงเรือนรูปทรงโค้งปกติจะมีค่าสูงกว่า 2% ค่าสีของแผ่นแก้วมังกรหลังอบแห้งมีค่าความสว่างหรือความขาว (L) ของแผ่นแก้วมังกรมีใกล้เคียงกันทุกรูปแบบการทดลอง แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบการทดลองกับแก้วมังกรอบแห้งตามท้องตลาด พบว่าค่าสีขาวจากการทดลองมีค่าความสว่างน้อยกว่า ปริมาณน้ำอิสระของทุกการทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อบแห้งคือไม่สูงกว่า 0.6 สำหรับค่าความหวานของแก้วมังกรหลังอบแห้งที่ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร มีค่าความหวานมากกว่าขนาดความหนา 5 มิลลิเมตรทั้งสามระบบ และพบว่าการอบแห้งในโรงเรือนอบแห้งรูปทรงโค้งจะมีค่าความหวานมากที่สุด 12.77 %Brix

คำสำคัญ: โรงเรือนอบแห้งแบบโค้งปกติ, โรงเรือนอบแห้งแบบพาราโบลา, แก้วมังกร

บทนำ

แก้วมังกรเป็นผลไม้ที่นำพันธุ์มาจากประเทศเวียดนาม คนเวียดนามเรียกว่า ฮานห์ลอง กัมพูชา เรียกว่า สกรานิเยะ มีชื่อสามัญว่า Dragon fruit ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hylocereus undatus* (Haw) Britt. & Rose. ถิ่นกำเนิดของแก้วมังกรอยู่ในทวีปอเมริกากลาง แถบหมู่เกาะเวสต์อินดีส โคลอมเบีย กัวเตมาลา และเวเนซุเอล่า สันนิษฐานว่าแก้วมังกรเข้ามาในเอเชียโดยบาทหลวงชาวฝรั่งเศสที่นำพืชพันธุ์นี้มาจากอเมริกากลางมาปลูกในเวียดนามเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่าหนึ่งศตวรรษ [1] ประเทศไทยได้เริ่มนำพันธุ์จากประเทศเวียดนามเข้ามาปลูกตั้งแต่ในช่วงปี 2543 ทั้งเพื่อการบริโภค ส่งขายภายในประเทศและต่างประเทศจนถึงปัจจุบัน โดยส่งออกไปยังทวีปยุโรป และอเมริกา ส่วนในทวีปเอเชีย เช่น จีน ฮองกง สิงคโปร์ ญี่ปุ่น ซึ่งจากการส่งเสริมการปลูกแก้วมังกรในทั่วทุกภาคของประเทศไทย หากความต้องการในตลาดต่างประเทศลดลง และความต้องการของตลาดในประเทศเท่าเดิม ทำให้ผลผลิตล้นตลาด ปัญหาที่ตามมาคือพืชผลการเกษตรราคาตกต่ำ จากปัญหาดังกล่าวจึงมีแนวความคิดในการนำแก้วมังกรมาแปรรูป โดยใช้วิธีการอบแห้ง ซึ่งเป็นการให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ ทำให้น้ำภายในผลิตภัณฑ์ระเหยและถ่ายเทออกมาสู่อากาศภายนอก โดยวัตถุประสงค์ที่สำคัญของการอบแห้งคือ การลดความชื้นเพื่อยืดอายุของผลิตภัณฑ์และเพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ให้มีมูลค่าสูงขึ้น กระบวนการอบแห้งโดยทั่วไปในประเทศไทยยังคงใช้การตากแดดตามธรรมชาติ ซึ่งมักประสบปัญหาการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกต่างๆ ความเสียหายจากการรบกวนของ นก หนู แมลงต่างๆ และความเสียหายอันเนื่องมาจากการเปียกฝน ทำให้ผลิตภัณฑ์ได้มีคุณภาพต่ำ ถึงแม้ว่าจะมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งเชิงกล (mechanical dryer) เพื่อนำมาใช้แก้ปัญหาดังกล่าว แต่เครื่องอบแห้งประเภทนี้มักมีราคาแพง เกษตรกรรายย่อยไม่สามารถจัดหาได้ เฉพาะผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดใหญ่เท่านั้นที่

สามารถจัดหาเครื่องอบแห้งประเภทนี้มาใช้งาน นอกจากนี้เครื่องอบแห้งแบบเชิงกลต้องใช้แหล่งพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งปัจจุบันมีแนวโน้มราคาสูงขึ้นเรื่อย ๆ และการใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวยังก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ดังนั้น งานวิจัยการอบแห้งแก้วมังกรด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง โดยจะทำการศึกษาอัตราการลดลงของความชื้น คุณภาพของแก้วมังกรอบแห้งด้านสี ความหวาน ภายในโรงเรือนอบแห้งที่มีรูปร่างต่างกัน 2 รูปแบบคือแบบโค้งปกติกกับพาราโบลาเพิ่มพื้นที่รับแสงด้านข้างแล้วทำการเปรียบเทียบกับการตากแดดปกติ ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ให้แก่ภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรที่ต้องการนำงานวิจัยดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ ปรับใช้ให้เกิดมูลค่าของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถลดต้นทุนเชื้อเพลิงพลังงานฟอสซิล ทำให้ผลิตภัณฑ์สะอาดปลอดภัย มีคุณภาพที่ดี สามารถนำไปพัฒนาเพื่อศึกษาต่อได้

วิธีการวิจัย

โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองนี้จะมีสองรูปทรง คือ พาราโบลาเพิ่มพื้นที่รับแสงด้านข้าง ดังภาพที่ 1 ซึ่งมีขนาดกว้าง 3 เมตร ยาว 3.50 เมตร สูง 1.55 เมตร ซึ่งวัด จากจุดกึ่งกลางของโรงเรือน [2] และรูปทรงแบบโค้งปกติกว้าง 1.50 เมตร ยาว 3.50 เมตร สูง 1.70 เมตร ทั้งสองโรงเรือนวางบนพื้นคอนกรีตเพื่อความมั่นคงและแข็งแรง บริเวณพื้นคอนกรีตทาสีดำเพื่อเพิ่มการดูดซับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งมายังพื้นคอนกรีตและแผ่ความร้อนภายในโรงเรือนอบแห้ง ด้านหน้ามีประตูสำหรับนำผลิตภัณฑ์เข้าออก และมีช่องระบายอากาศ ส่วนด้านหลังมีพัดลมระบายอากาศเพื่อดูอากาศขึ้นภายในระบบอบแห้งออกสู่อากาศแวดล้อมภายนอก โดยโรงเรือนอบแห้งติดตั้งที่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี



(ก)

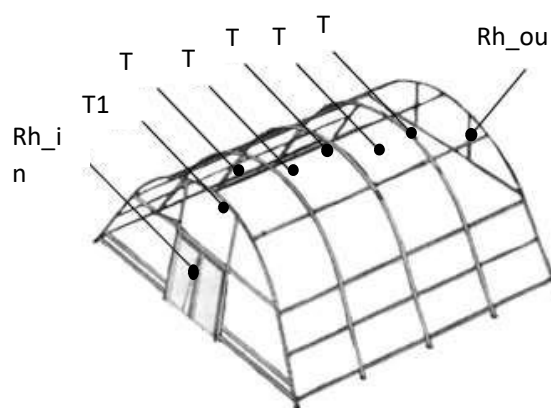


(ข)

ภาพที่ 1 โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 2 รูปทรง

วิธีการทดลอง

เตรียมแก้วมังกร โดยคัดแก้วมังกรพันธุ์สีขาวยิ่งสุกเต็มที่ซึ่งมีเปลือกสีแดงสดและเนื้อแน่น มาล้างทำความสะอาด ตัดหัวตัดท้ายแก้วมังกรที่ทำความสะอาดแล้ว และกรีดเปลือกตามแนวยาว พลอกเปลือกแก้วมังกรให้เกลี้ยง ทำการหั่นแก้วมังกรตามขวางให้เป็นแว่นแต่ละชิ้นหนา 5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร จากนั้นนำแก้วมังกรตัวอย่างไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมงตามมาตรฐาน AOAC [3] เพื่อหามวลแห้ง นำแก้วมังกรที่เหลือทั้งหมดแบ่งจัดเรียงบนตะแกรงแบบชั้นเดียว โดยไม่เรียงซ้อนกันทั้งหมด 3 ตะแกรง จากนั้นนำเข้าอบภายในโรงเรือนอบแห้งทั้งสองรูปแบบอย่างละ 1 ตะแกรง โดยการทดลองนี้เปิดช่องระบายอากาศด้านหลังซึ่งเป็นระบบการพาความร้อนแบบธรรมชาติทั้งสองโรงเรือน และตะแกรงที่สามนำมาตากแดดภายนอก เริ่มบันทึกข้อมูลตั้งแต่วันที่ 08.00 น. ในขณะที่ทำการอบแห้งได้ทำการชั่งน้ำหนักที่ลดลงตามเวลาทุกๆ 30 นาที โดยในการชั่งน้ำหนักจะทำการเปิดและปิดประตูอย่างรวดเร็วซึ่งจะทำให้การถ่ายเทความร้อนจากภายในออกสู่ภายนอกมีค่าน้อย ทั้งนี้สังเกตได้จากค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยระหว่างการชั่งน้ำหนัก เมื่อจบการทดลองใน 1 วัน เก็บชิ้นแก้วมังกรในภาชนะปิดเพื่อให้ความชื้นแพร่ออกมาที่ผิวเข้าวันต่อมานำแก้วมังกรไปใส่ในเครื่องอบแห้ง โดยทำการทดลองซ้ำแบบเดิมจนกว่าแก้วมังกรจะแห้ง ในระหว่างทำการเก็บผลการทดลองทำการวัดค่าอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ที่ระยะต่าง ๆ ภายในห้องอบแห้ง โดยใช้สายเทอร์โมคัปเบิลชนิด K ช่วงอุณหภูมิ -200 ถึง 1250 °C วางตามตำแหน่งต่าง ๆ ภายในโรงเรือนตามภาพที่ 2 วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกห้องอบแห้ง แล้วบันทึกค่าด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger, Graphtec midi logger รุ่น GL220 และนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป



ภาพที่ 2 ตำแหน่งการวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน

การหาค่าปริมาณความชื้น

ของเหลวเราสามารถบอกปริมาณความชื้นของวัตถุในรูปของความชื้นมาตรฐานเปียก หรือมาตรฐานแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ โดยจะนำน้ำหนักแก้วมังกรอบแห้งที่ได้ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 30 นาทีไปคำนวณตามสมการที่ 1 [4]

(1)

$$M_d = \frac{w - d}{d}$$

เมื่อ

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (kg/kg)

w คือ มวลของวัสดุชื้น (kg)

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg)

การหาค่าอัตราการอบแห้ง

ความสามารถในการอบแห้งของโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์แสดงด้วยอัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) เป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของตัวอย่างต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งสามารถวิเคราะห์อัตราการอบแห้งของโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์สองรูปทรงได้ดังสมการที่ 2 [5]

$$DR = \frac{(M_0 - M_t)}{t} \quad (2)$$

เมื่อ

DR คือ อัตราการอบแห้ง (Drying rate) ($\text{g}/\text{g}_{\text{dry solid}} \text{ hr}$)

M_0 คือ ความชื้นเริ่มต้น ($\text{g}_w/\text{g}_{\text{dry solid}}$)

M_f คือ ความชื้นสุดท้าย ($\text{g}_w/\text{g}_{\text{dry solid}}$)

t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

การหาค่าอัตราส่วนความชื้น

อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR) ต้องทราบค่าความชื้นสมดุล ซึ่งในการวิจัยนี้กำหนดให้ไม่คิดค่าความชื้นสมดุล ซึ่งสามารถหาได้จากสมการทั่วไปคือสมการที่ 3 โดยในการทดลองนี้ไม่คิดค่าความชื้นสมดุลของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากค่ามีน้อยกว่าความชื้นเริ่มต้นและความชื้นที่เวลาใดๆ ค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่าอัตราส่วนความชื้นได้จากสมการที่ 4 [6]

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} \quad (3)$$

$$MR = \frac{M_t}{M_i} \quad (4)$$

เมื่อ

MR คือ อัตราส่วนความชื้น (decimal)

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล (d.b.)

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (d.b.)

M_i คือ ความชื้นเริ่มต้น (d.b.)

การหาประสิทธิภาพโรงเรือน

อัตราส่วนของค่าพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำต่อพลังงานที่ให้กับระบบอบแห้ง จะเป็นค่าบ่งชี้ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบการอบแห้ง (Thermal Efficiency of Drying System) โดยในงานวิจัยนี้มีการใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สองรูปทรง คือ พาราโบลาเพิ่มพื้นที่รับแสงด้านข้าง และแบบโค้งปกติ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 [7]

$$\eta_{th} = \frac{(m_i - m_f) h_{fg}}{(A_c \times I \times t)} \times 100$$

(5)

เมื่อ

η_{th} คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (%)

m_i คือ มวลของวัสดุก่อนการอบแห้ง (kg)

m_f คือ มวลของวัสดุหลังการอบแห้ง (kg)

h_{fg} คือ พลังงานความร้อนแฝงของการระเหยกลายเป็นไอของน้ำ (kWh/kg)

A_c คือ พื้นที่โรงเรือนที่รับรังสีอาทิตย์ (m^2)

I คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบโรงเรือน (W/m^2)

t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (hr)

การวัดคุณภาพด้านสี

โดยปริมาณที่วัดได้จะอ้างอิงตามระบบ Commission International de l'Eclairage (CIE) Lab scale (L^* , a^* , b^*) ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ ดังภาพที่ 3 โดยแกน L^* บอกระดับค่าความสว่าง (Lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาว จนถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ a^* คือค่าความเป็นสีแดง-เขียว (Redness-Greenness) โดย $+a^*$ แสดงถึงสีแดง จนถึง $-a^*$ แสดงถึงสีเขียว b^* คือค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (Yellowness-Blueness) โดย $+b^*$ แสดงถึงสีเหลือง จนถึง $-b^*$ ที่แสดงถึงสีน้ำเงิน สำหรับค่า Chroma (C^*) แสดงถึงค่าความอิ่มตัวของสีหรือความสดของสี [8]



ภาพที่ 3 เครื่องวัดคุณภาพของสี L-a-b Chart ของ CIE lab scale

การวัดคุณภาพด้านความหวาน

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (total soluble solid, TSS) ทั้งหมด จะใช้เป็นดัชนีชี้วัดค่าความหวาน (Brix) หรือปริมาณน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ ทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง Refractometer ยี่ห้อ OEM รุ่น RHB-90ATC ความแม่นยำ : 0.5 แสดงค่าในรูปของ %Brix โดยทดสอบค่าความหวานของแก้วมังกรหลังอบแห้งเปรียบเทียบกันในแต่ละรูปแบบการทดลอง วิธีการคือนำแก้วมังกรมาผสมน้ำบริสุทธิ์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 บดให้ละเอียดและเข้ากัน จากนั้นหยดลงบนปริซึมของเครื่อง Refractometer อ่านค่าผ่านช่องกระจกแสดงผลค่าความหวาน [9] แล้วนำค่าความหวานที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ ลักษณะเครื่องวัดความหวาน แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เครื่องวัดความหวาน Refractometer ยี่ห้อ OEM รุ่น RHB-90ATC

การตรวจสอบปริมาณน้ำอิสระ

ค่าปริมาณน้ำอิสระ หรือค่าวอเตอร์แอกติวิตี (water activity, a.) เป็นดัชนีที่ใช้ชี้วัดระดับปริมาณน้ำต่ำสุดในผลิตภัณฑ์ที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโต เพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเติบโตได้ภายใต้ค่าปริมาณน้ำอิสระที่จำกัด ซึ่งมีผลต่ออายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ รุ่น AQUALAB PRE ความแม่นยำ ± 0.001 ความละเอียด 0.001 โดยวิธีการวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ จะนำตัวอย่างแก้วมังกรที่อบแห้งใส่ลงในถ้วยพลาสติกหลังจากนั้นใส่ตัวอย่างแก้วมังกรลงในเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ ค่าที่ได้จะแสดงผลผ่านทางหน้าจอ แล้วนำค่าปริมาณน้ำอิสระที่วัดได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ [7] ลักษณะของเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ แสดงดังภาพที่ 5



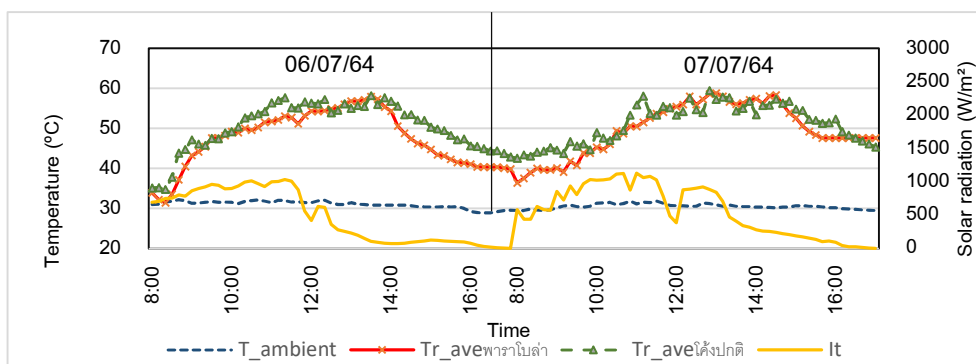
ภาพที่ 5 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ รุ่น AQUALAB PRE

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

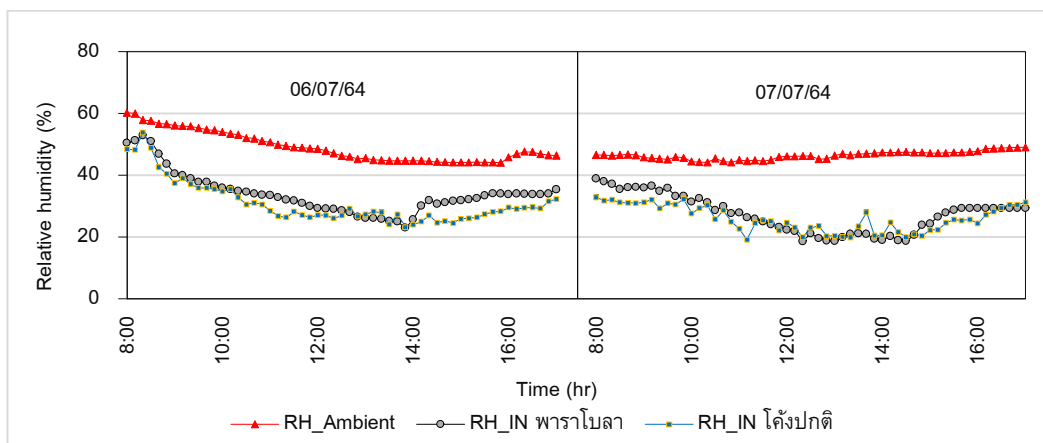
1. ผลการทดลองอบแห้งแก้วมังกรขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร

ทำการทดลองในระหว่างวันที่ 6 – 7 กรกฎาคม 2564 ในการอบแห้งในโรงเรือนแบบโค้งปกติ พาราโบลา และ

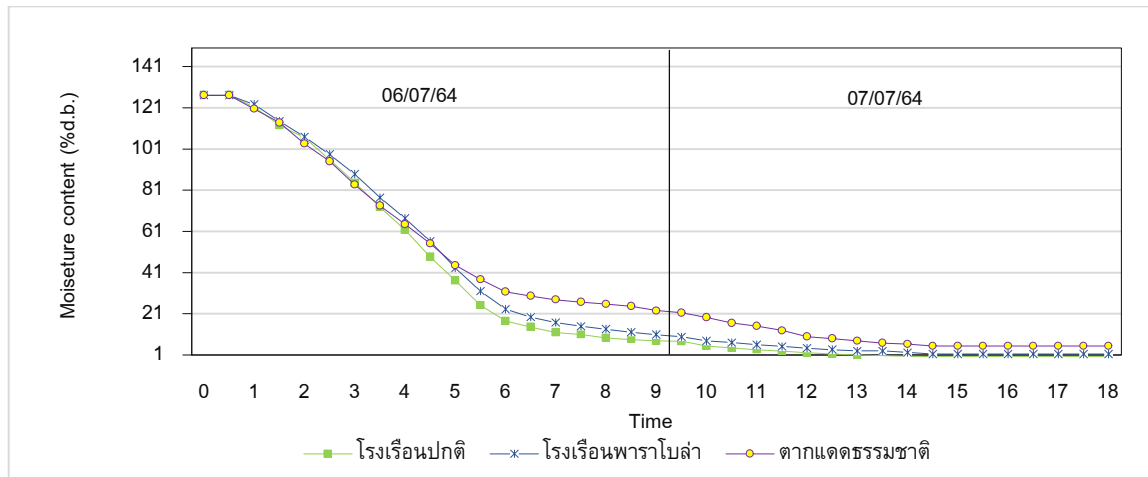
ตากแดดพร้อมกัน ซึ่งในช่วงเวลาที่ทำกรทดลองท้องฟ้าแจ่มใส มีเมฆเล็กน้อย เริ่มเก็บผลการทดลองในเวลา 8:00 น. ถึง 17:00 น. โดยระหว่างการทดลองมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 518.43 W/m^2 อุณหภูมิภายในเฉลี่ยของโรงเรือนพาราโบลาคือ $48.53 \text{ }^\circ\text{C}$ และอุณหภูมิภายในเฉลี่ยของโรงเรือนแบบโค้งปกติอยู่ที่ $50.79 \text{ }^\circ\text{C}$ แสดงดังภาพที่ 6 และจากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนทั้งสองรูปแบบมีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 6 อุณหภูมิภายในโรงเรือนเรือน อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ในช่วงเวลาทำการทดลองอบแห้งแก้วมังกรที่ขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร

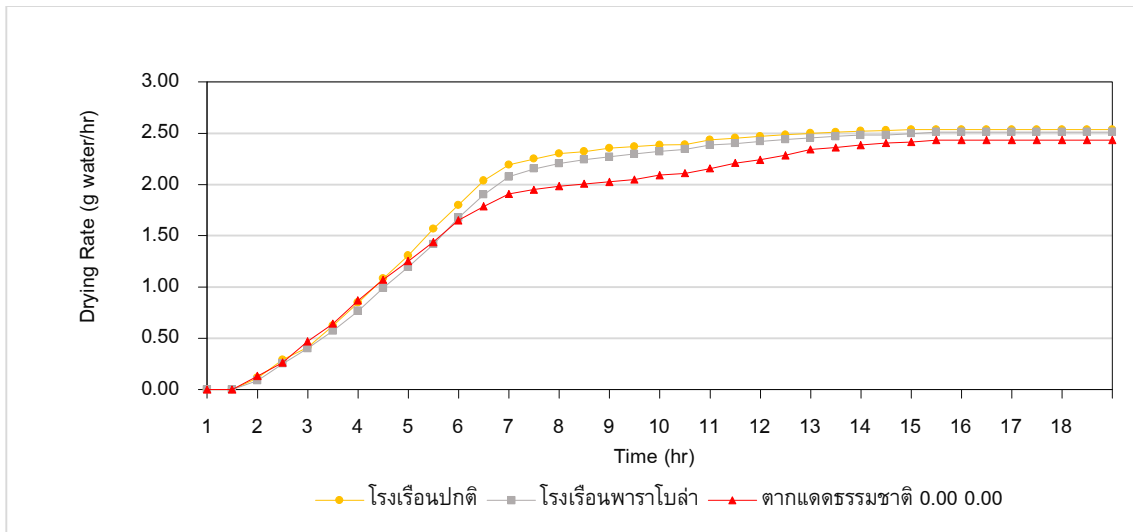


ภาพที่ 7 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนอบแห้งสองรูปแบบ และความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก ช่วงเวลาทำการทดลองอบแห้งแก้วมังกรที่ขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร

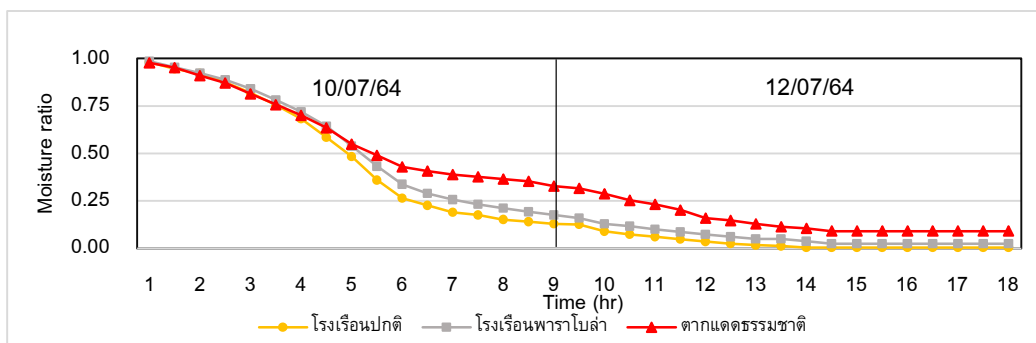


ภาพที่ 8 ความชื้นที่ลดลงตามเวลาของแก้วมังกรขนาด 5 มิลลิเมตร ภายในโรงเรือนอบแห้งแบบโค้งปกติ แบบพาราโบลาและการตากแดดธรรมชาติ

จากกราฟในภาพที่ 7 เป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกโรงเรือนอบแห้งทั้งสองรูปแบบเทียบกับภายนอก ซึ่งพบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนมีค่าต่ำกว่าภายนอกเนื่องจากค่าอุณหภูมิที่สูงกว่า โดยเฉพาะในช่วงเที่ยงของแต่ละวัน และจากกราฟที่ 8 แสดงค่าความชื้นที่ลดลงตามเวลา ซึ่งมีค่าความชื้นเริ่มต้นของแผ่นแก้วมังกร 127 %db เท่ากันทุกระบบ และเมื่อทำการอบแห้งภายในโรงเรือนแบบโค้งปกติ โรงเรือนแบบพาราโบลาและการตากแดดธรรมชาติ มีค่าความชื้นสุดท้าย 0.22 %db 1.41 %db และ 5.38 %db ตามลำดับ โดยพิจารณาที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากันคือ 18 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้ง จากกราฟภาพที่ 9 พบว่าอัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 1 ถึงชั่วโมงที่ 7 ทุกระบบ โดยการอบแห้งแก้วมังกรในโรงเรือนอบแห้งแบบโค้งปกติจะมีอัตราการอบแห้งที่เร็วกว่าอัตราการระเหยน้ำได้มีสูงกว่า ซึ่งจะสอดคล้องกับกราฟภาพที่ 10 โดยอัตราส่วนความชื้น (MR) ของการอบแห้งภายในโรงเรือนแบบโค้งปกติจะมีอัตราส่วนความชื้นที่ลดลงเร็วกว่าการอบแห้งภายในโรงเรือนรูปทรงพาราโบลาและการตากแดด แต่อย่างไรก็ตามการอบแห้งภายในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสองรูปทรงมีอัตราการอบแห้งที่เร็วกว่าการตากแดดปกติ



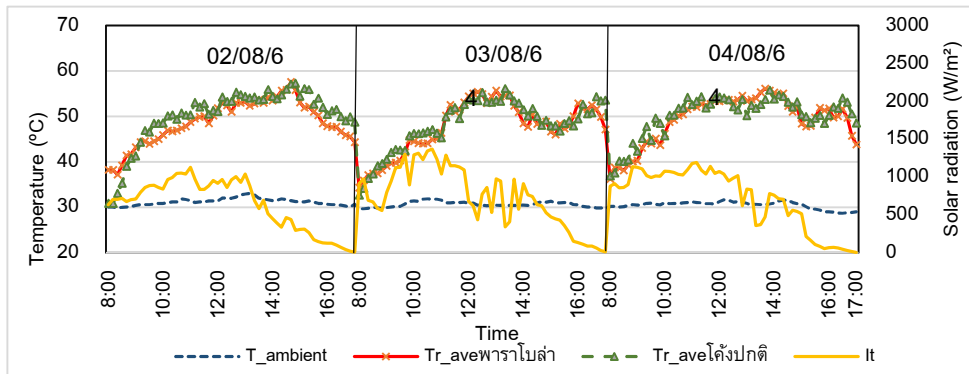
ภาพที่ 9 อัตราการอบแห้งของแก้วมังกรขนาด 5 มิลลิเมตร ภายในโรงเรือนอบแห้งแบบโค้งปกติ แบบพาราโบลาและการตากแดดธรรมชาติ



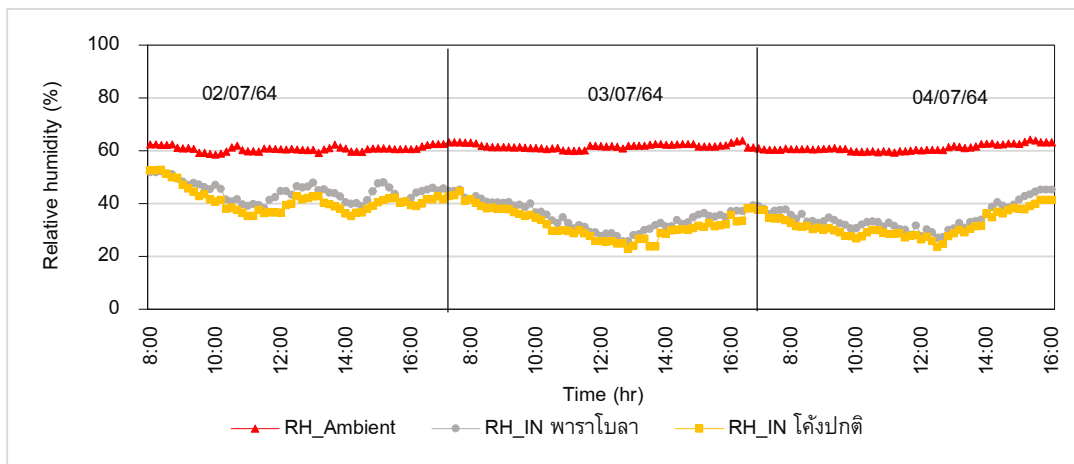
ภาพที่ 10 อัตราส่วนความชื้นของแก้วมังกรขนาด 5 มิลลิเมตร ภายในโรงเรือนอบแห้งแบบโค้งปกติ แบบพาราโบลาเมื่อเทียบกับการตากแดดธรรมชาติ

2. ผลการทดลองอบแห้งแก้วมังกรความหนา 10 มิลลิเมตร

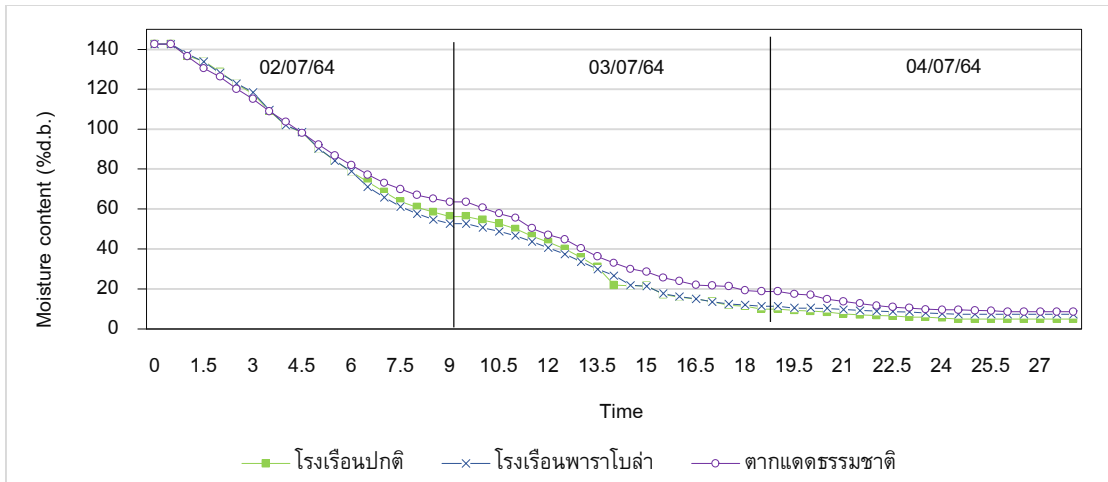
ทำการทดลองในวันที่ 2 – 4 กรกฎาคม 2564 ในโรงเรือนแบบโค้งปกติ พาราโบลา และตากแดดพร้อมกัน ซึ่งในช่วงเวลาที่ทำการทดลองท้องฟ้าแจ่มใส มีเมฆเล็กน้อย เริ่มเก็บผลการทดลองในเวลา 8:00 น. ถึง 17.00 น. ในช่วงการทดลองมีค่าความเข้มรังสีเฉลี่ย 695.45 W/m² อุณหภูมิภายในเฉลี่ยของโรงเรือนแบบพาราโบลาอยู่ที่ 48.56 °C และอุณหภูมิภายในเฉลี่ยของโรงเรือนแบบโค้งปกติอยู่ที่ 49.46 °C ดังภาพที่ 11 และภาพที่ 12 เป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนและภายนอก โดยจะสอดคล้องกับค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือน ซึ่งเมื่อค่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนจะมีค่าต่ำ ทำให้อัตราการอบแห้งรวดเร็วขึ้น



ภาพที่ 11 อุณหภูมิภายใน ภายนอก และค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ช่วงเวลาทำการทดลองอบแห้งแก้วมังกร ที่ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร

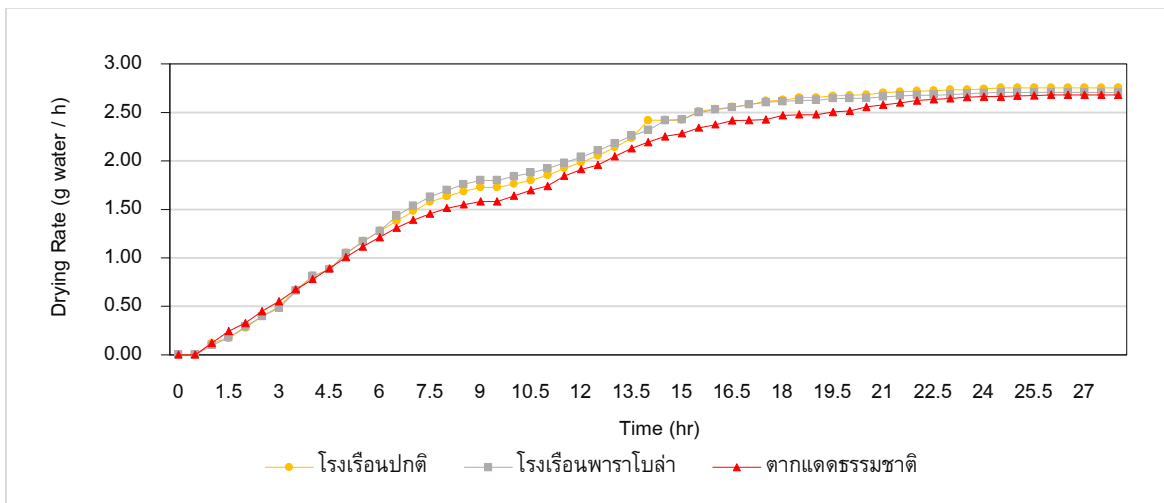


ภาพที่ 12 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนอบแห้งสองรูปแบบ และความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก ช่วงเวลาทำการทดลองอบแห้งแก้วมังกรที่ขนาดความหนา 10 มิลลิเมตร

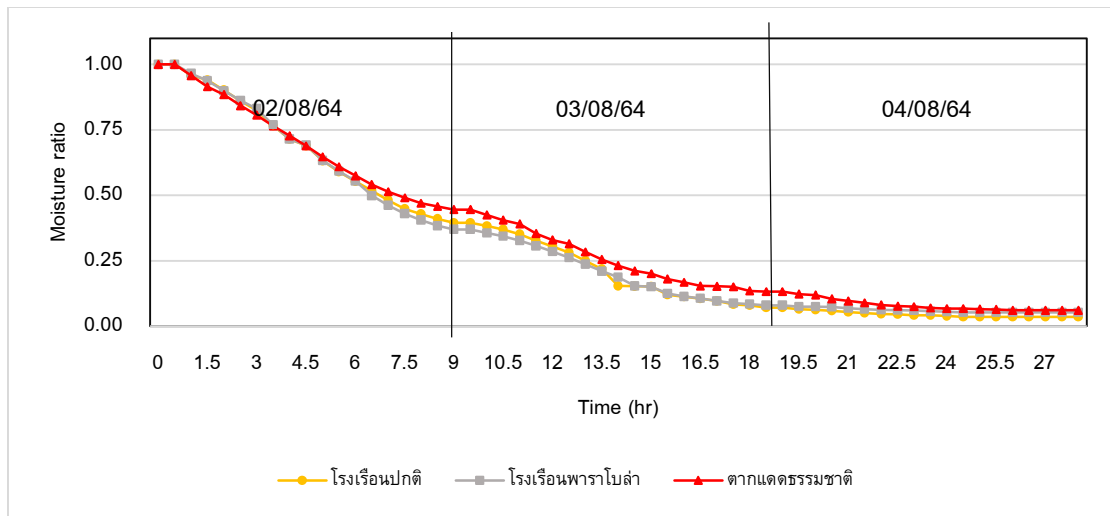


ภาพที่ 13 ความชื้นที่ลดลงตามเวลาของแก้วม้งขนาด 10 มิลลิเมตร ภายในโรงเรือนอบแห้งแบบโค้งปกติ แบบพาราโบลาเมื่อเทียบกับการตากแดดธรรมชาติ

จากกราฟในภาพที่ 13 แสดงค่าการลดลงของความชื้นของเทียบกับเวลา โดยมีค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากัน 143 %db ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากันที่ 27 ชั่วโมงพบว่า ความชื้นสุดท้ายของการอบแห้งภายในโรงเรือนแบบโค้งปกติ โรงเรือนแบบพาราโบลาและการตากแดดธรรมชาติ มีค่า 4.94 %db 7.36 %db และ 8.58 %db ตามลำดับ พบว่าการอบแห้งด้วยการตากแดดธรรมชาติ มีค่าความชื้นเหลือสูงสุด และการลดลงของความชื้นเป็นไปได้ช้ากว่าการอบแห้งภายในโรงเรือนทั้งสองรูปแบบ โดยการอบแห้งด้วยโรงเรือนอบแห้งทั้งสองรูปทรงมีค่าการลดลงของความชื้นใกล้เคียงกัน แต่ค่าความชื้นสุดท้ายของการอบแห้งภายในโรงเรือนรูปทรงโค้งปกติจะมีค่าต่ำกว่ารูปทรงพาราโบลา



ภาพที่ 14 อัตราการอบแห้งของแก้วม้งขนาด 10 มิลลิเมตร ภายในโรงเรือนอบแห้งแบบโค้งปกติ แบบพาราโบลาและการตากแดดธรรมชาติ



ภาพที่ 15 อัตราส่วนความชื้นของแ้วม้งกรขนาด 10 มิลลิเมตร ภายในโรงเรือนอบแห้งแบบโค้งปกติ แบบพาราโบลาและการตากแดดธรรมชาติ

จากกราฟในภาพที่ 14 เป็นค่าอัตราการอบแห้งของแ้วม้งกร ภายในโรงเรือนอบแห้งทั้งสองรูปแบบเทียบกับการตากแดดธรรมชาติ พบว่า อัตราการอบแห้งในโรงเรือนอบแห้งทั้งสองรูปทรงมีค่าสูงกว่าการตากแดด ซึ่งสอดคล้องกับการหาอัตราส่วนความชื้น (ภาพที่ 15) ซึ่งจะมีอัตราการลดลงความชื้นดีกว่าแบบตากแดดธรรมชาติ ซึ่งทั้งสองรูปทรงมีอัตราการส่วนความชื้นและอัตราการอบแห้งใกล้เคียงกัน

จากการอบแห้งแ้วม้งกรภายในโรงเรือนอบแห้งทั้งสองรูปแบบเปรียบเทียบกับการตากแดด พบว่าการอบแห้งภายในโรงเรือนสามารถอบแห้งได้เร็วกว่าการตากแดด เนื่องจากค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงกว่า ทำให้อัตราการระเหยน้ำภายในเนื้อแ้วม้งกรออกสู่ภายนอกได้เร็วกว่า ทั้งนี้ค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนแบบโค้งปกติจะมีค่าสูงกว่าแบบพาราโบลาเล็กน้อยประมาณ 2 - 3 องศาเซลเซียส และกรณีความหนาของแ้วม้งกรขนาดความหนาмаกใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่า และค่าความชื้นสุดท้ายมีค่ามากกว่า

ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบอบแห้ง (Thermal efficiency of drying system) พบว่า การอบแห้งแ้วม้งกรด้วยโรงเรือนแบบโค้งปกติจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าโรงเรือนแบบพาราโบลา โดยขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร มีค่า 7.54% และความหนา 10 มิลลิเมตร มีค่าประสิทธิภาพ 3.68% เมื่อเทียบกับแบบพาราโบลาจะมีประสิทธิภาพ 3.74% และ 1.81% คิดเป็นอัตราส่วนของค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบอบแห้งคือโรงเรือนแบบโค้งปกติมีประสิทธิภาพสูงกว่าประมาณ 2.0%

คุณภาพด้านสี

ตารางที่ 1 แสดงผลการวัดค่าสีและค่าปริมาณน้ำอิสระของแก้วมังกรอบแห้งภายในโรงเรือนทั้ง 2 รูปแบบกับการตากแดดตามธรรมชาติ พบว่าผลการวัดค่าสี มีค่าความสว่างมีค่าใกล้เคียงกัน (L) จากการทดลองทั้งหมด แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับแก้วมังกรอบแห้งตามท้องตลาดพบว่ามีความสว่างน้อยกว่า หรือความขาวของแก้วมังกรแผ่นจากการทดลองมีค่าน้อยกว่า และค่าสีจากการอบแห้งภายในโรงเรือนแบบโค้งปกติมีค่าความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P > 0.05$ เมื่อเทียบกับการอบแห้งรูปแบบอื่นๆ และตามท้องตลาด ส่วนค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ของแก้วมังกรอบแห้งด้วยโรงเรือนทั้งสองรูปแบบมีค่าใกล้เคียงกับท้องตลาดและไม่มีความต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ปริมาณน้ำอิสระอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อบแห้งคือ 0.6 มาตรฐานแห้ง

ตารางที่ 1 คุณภาพด้านสีของแก้วมังกรหลังอบแห้ง

กระบวนการอบแห้ง	ขนาด	ค่าสี			Aw
		L	A	b	
โรงเรือนแบบโค้งปกติ	5 mm	31.60±1.44 ^a	0.98± 0.22 ^a	0.44±0.34 ^a	0.58±0.05 ^a
	10 mm	37.49±4.72 ^a	0.74± 0.35 ^a	1.65±0.96 ^a	0.60±0.03 ^{ab}
โรงเรือนแบบพาราโบลา	5 mm	29.55±1.33 ^b	0.99±0.27 ^a	0.30±0.21 ^a	0.59±0.07 ^b
	10 mm	36.39±5.20 ^b	1.51±1.39 ^b	3.43±2.12 ^b	0.60±0.06 ^{ab}
การตากแดดธรรมชาติ	5 mm	28.68±1.98 ^b	0.65±0.30 ^b	0.80±0.61 ^b	0.59±0.03 ^b
	10 mm	35.28±2.98 ^b	0.58±0.38 ^a	1.12±0.85 ^a	0.60±0.06 ^{ab}
ท้องตลาด		52.98±1.81 ^b	0.99±0.61 ^b	12.93±1.95 ^b	0.65±0.03 ^b

หมายเหตุ : ค่า L a และ b ตัวอักษรต่างกันแสดงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

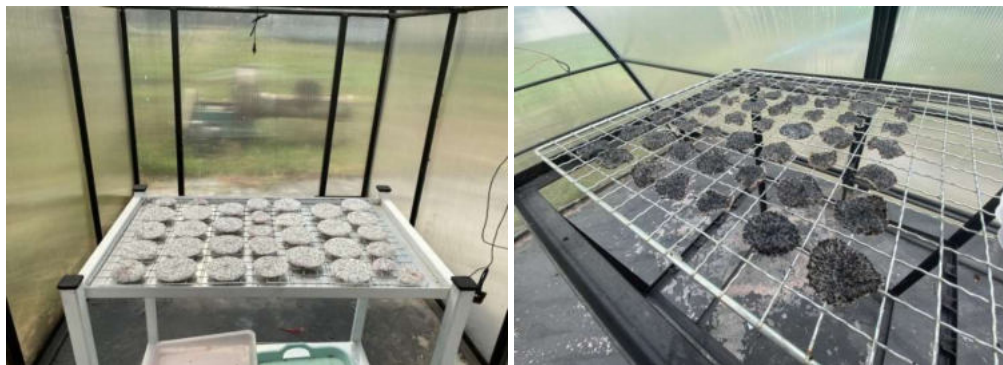
คุณภาพด้านความหวาน

ผลการทดสอบค่าความหวาน (Brix) ของแก้วมังกรทั้งหมด 15 ครั้งของแต่ละความหนาแต่ละการเงื่อนไขการทดลอง จากผลการทดลองพบว่าค่าความหวานก่อนการอบแห้ง ซึ่งใกล้เคียงกันโดยไม่มีค่าความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในขณะที่หลังการอบแห้งพบว่าแผ่นแก้วมังกรขนาด 5 มิลลิเมตรที่มีการอบแห้ง ด้วยโรงเรือนแบบโค้งปกติ มีค่าความหวานเท่ากับ 9.53 ± 2.06^a ซึ่งมากกว่าการอบด้วยโรงเรือนแบบพาราโบลาที่มีค่าความหวานเท่ากับ 8.97 ± 1.75^a และการตากแดดธรรมชาติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และการอบแห้งแก้วมังกรขนาด 10 มิลลิเมตร ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สำหรับค่าความหวานของแก้วมังกรหลังอบแห้ง ที่ขนาด 10 มิลลิเมตรอบด้วยโรงเรือนแบบโค้งปกติที่มีค่าความหวานเท่ากับ 12.77 ± 1.25^b ซึ่งมากกว่าการอบด้วยโรงเรือนแบบพาราโบลามีค่าความหวานเท่ากับ 10.37 ± 2.59^a และการตากแดดธรรมชาติที่มีค่าความหวานเท่ากับ 12.50 ± 1.50^{ab} อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ ทั้งนี้ จากผลการทดลอง ทั้ง 3 ระบบ ขนาดความหนาของแก้วมังกรที่หนากว่าหลังการอบแห้งจะมีค่าความหวานเพิ่มขึ้นมากกว่า โดยสรุปได้จากการทดลองวัดค่าความหวานทั้งหมดในระบบอบแห้ง ทั้งนี้แสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพด้านความหวานของแก้วมังกรก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง

กระบวนการอบแห้ง	ขนาด	ก่อนอบแห้ง	หลังอบแห้ง
โรงเรือนแบบโค้งปกติ	5 mm	7.57±1.52 ^a	9.53±2.06 ^a
	10 mm	8.03±1.38 ^a	12.77±1.25 ^b
โรงเรือนแบบพาราโบลา	5 mm	8.17±1.12 ^a	8.97±1.75 ^a
	10 mm	7.83±1.49 ^a	10.37±2.59 ^a
การตากแดดธรรมชาติ	5 mm	7.80±1.49 ^a	8.80±1.45 ^a
	10 mm	8.33±1.40 ^a	12.50±1.50 ^{ab}

หมายเหตุ : ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



ภาพที่ 12 ตัวอย่างแก้วมังกรก่อนและหลังทำการอบแห้ง

ตารางที่ 3 ผลการทดลองอบแห้งแก้วมังกรด้วยโรงเรือนอบแห้งสองรูปทรงเปรียบเทียบกับ การตากแดด

ตัวแปร	โรงเรือนแบบโค้งปกติ		โรงเรือนแบบพาราโบลา		การตากแดดธรรมชาติ	
	5 mm	10 mm	5 mm	10 mm	5 mm	10 mm
Mc (%db) before drying	127.00	142.63	127.00	142.63	127.00	142.63
Mc (%db) after drying	0.22	4.94	1.41	7.36	5.38	8.58
Drying Time (hr)	18	27	18	27	18	27
$T_{\text{inside average}}$ (°C)	50.79	49.46	48.53	48.56	-	-
$T_{\text{ambient average}}$ (°C)	30.78	30.79	30.78	30.79	30.78	30.79
η_{th} (%)	7.54	3.68	3.74	1.81	-	-
$RH_{\text{inside average}}$ (%)	28.45	34.93	30.63	38.00	-	-
$RH_{\text{ambient average}}$ (%)	47.80	61.18	47.80	61.18	47.80	61.18
DR_{average} (g water/h)	1.99	1.23	1.90	1.23	1.84	1.18
$I(t)_{\text{average}}$ (W/m ²)	518.43	695.45	518.43	695.45	518.43	695.45

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้พบว่า การอบแห้งภายในโรงเรือนทั้งสองแบบสามารถลดอัตราความชื้นได้เร็วกว่าการตากแดดธรรมชาติ โดยพิจารณาที่เวลาการอบแห้งที่เท่ากัน โดยค่าความชื้นสุดท้ายของการอบแห้งภายในโรงเรือนมีค่าน้อยกว่า ค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนอยู่ในช่วงระหว่าง 48 - 50 °C สูงกว่าภายนอก 10-20 °C อัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพการอบแห้งแก้มังกรภายในโรงเรือนอบแห้งรูปทรงโค้งปกติ มีค่าสูงกว่าแบบพาราโบลาเพื่อเพื่อที่รับแสงด้านข้าง เพราะอัตราการระเหยน้ำ หรือปริมาณน้ำที่ลดลงมีค่ามากกว่า คุณภาพด้านสีมีค่าความขาวหรือความสว่างน้อยกว่าเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่วางขายตามท้องตลาด เนื่องจากค่าความร้อนสูงในระหว่างการอบแห้งทำให้สีของผลิตภัณฑ์คล้ำมากกว่า สำหรับค่าความหวานหลังการอบแห้งจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนทำการอบแห้ง ปริมาณน้ำอิสระหลังการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานอาหารแห้งซึ่งไม่เกิน 0.6 ซึ่งสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้นาน ทั้งนี้ ความหนาของชั้นแก้มังกรมีผลต่อการอบแห้งก็ต่อเมื่อใช้ความหนาที่มากกว่าจะใช้เวลาการอบแห้งมากกว่า ความชื้นสุดท้ายลงได้น้อย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนในงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] BLOGGANG. (2553). ประวัติและประโยชน์แก้มังกร สืบค้นเมื่อ 16 กันยายน 2564 จาก <https://www.bloggang.com/m/viewdiary>.
- [2] Jitjack K., Thepa S., Sudaprasert K. and Namprakai P. (2016). Improvement of a Rubber Drying Greenhouse with a parabolic cover and enhanced panel. **Energy and Buildings**. 124, 178-193.
- [3] AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official's Analytical Chemists. Virginia. 2000.
- [4] สรพงษ์ แซ่โล้ว, วิลาวัลย์ พุทธิสุวรรณ. (2545). การพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบภาคหมุน. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- [5] ศรีมา แจ้คำ, กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์. (2562). จลนพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อไก่ด้วยเทคนิคไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**. มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต. 9(3), 201-217.
- [6] ณัฐภัก อิมเอิบ, กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์. (2564). การศึกษาจลนพลศาสตร์และคุณภาพขึ้นกล้วยอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**. 16(3), 24-36.
- [7] ธวัชชัย อ่องประเสริฐ, กมลวรรณ จิตจักร. (2563). การศึกษาประสิทธิภาพโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเสริมจากอินฟราเรดสำหรับการอบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่แข็ง. **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**. มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต. 10(3), 62-83.
- [8] สุพัตรา สุขเจริญ. (2562). การวัดสีของเนื้อโคโดยการเปรียบเทียบระบบวิเคราะห์เชิงภาพถ่ายและเครื่องวัดสี. **วิจัยภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์**. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- [9] Neonics. (2021). การวัดความหวาน สืบค้นเมื่อ 22 กันยายน 2564 จาก <https://www.neonics.co.th>

การประยุกต์ใช้ IoT สำหรับกระบวนการอบแห้งเมล็ดกาแฟด้วยการติดตามผลผ่านแพลตฟอร์ม

กรณีศึกษา: ห้องอบแห้งเมล็ดกาแฟของ บริษัท ม่อนมาตุภูมิ จำกัด

IoT Application Platform for the Monitoring of Coffee Seed Drying Process:

Case Study: Coffee Seed Drying of Monmatubhumi Company Limited

จักรพรรณ คงชนะ¹ ไพฑูรย์ เหล่าดี² และปรีชา ศรีประภาคาร^{3*}

Jakkrapun Kongtana^{1*} Paitoon Laodee² and Preecha Sriprapakhan^{3*}

¹ สถาบันวิจัยและบริการวิชาการด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชน วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา จังหวัดนครปฐม 73170

² วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

³ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Research and Academic Service Institute on Logistics and Supply Chain, College of Logistics and Supply Chain, Suan Sunandha Rajabhat University, Nakhon Pathom Campus, 73170

² Asian Development College for Community Economy and Technology (adiCET),

Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50300

³ Faculty of Science, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150

*Corresponding author: Tel.: +66 82 629 8916. E-mail address: sriprapakhan@hotmail.com

Received: 16 August 2022, Revised: 15 September 2022, Accepted: 20 September 2022, Published online: 30 December 2022

Abstract

The purpose of this paper is to improve the efficiency of the coffee drying process for the local coffee enterprise. The case study is from Monmatubhum Company Limited. In this work, the temperature and humidity sensors were installed in the coffee drying room. The data from the sensors are automatically sent, processed, and displayed via mobile application. The results revealed that the temperature and humidity measurement data can be collected and notified for a period of 240 hours. Continuous monitoring of the coffee drying conditions has helped the enterprise to maintain the quality of the coffee beans thus improving the efficiency of the production. The implementation of the monitoring system reduces the number of wasted coffee beans in the drying process with an average of 20 kilograms/batch. The operator sells the coffee beans at 350 baht per kilogram, indicating that the product value increases to 7,000 baht/batch. The cost-effectiveness of the investment accounted for 2.8 times the investment.

Keywords: Internet of Things (IoT) for application, dries coffee seed process, Monitoring Platform

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสำหรับการอบแห้งเมล็ดกาแฟพร้อมทั้งแสดงผลแจ้งเตือนแบบอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชันแก่สถานประกอบการที่มีศักยภาพด้วยระบบอัตโนมัติ กรณีศึกษา บริษัท ม่อนมาตุภูมิ จำกัด โดยติดตั้งเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้นในห้องอบกาแฟ ข้อมูลจากเซ็นเซอร์จะถูกส่ง ประมวลผล และแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันมือถือโดยอัตโนมัติ พบว่า ระบบตรวจวัดสามารถเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นได้ และแจ้งเตือนเป็นระยะเวลา 240 ชั่วโมง สามารถตรวจสอบการอบแห้งกาแฟอย่างต่อเนื่องช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถรักษาคุณภาพของเมล็ดกาแฟได้ซึ่งจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต การใช้ระบบตรวจสอบช่วยลดปริมาณเมล็ดกาแฟที่เสียในกระบวนการทำให้แห้งโดยเฉลี่ย 20 กิโลกรัม/ครั้ง ผู้ประกอบการขายเมล็ดกาแฟกิโลกรัมละ 350 บาท ซึ่มูลค่าสินค้าเพิ่มเป็น 7,000 บาท/ครั้ง ความคุ้มค่าของการลงทุนคิดเป็น 2.8 เท่าของการลงทุน

คำสำคัญ: การประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง การอบแห้งเมล็ดกาแฟ แพลตฟอร์มการตรวจสอบ

บทนำ

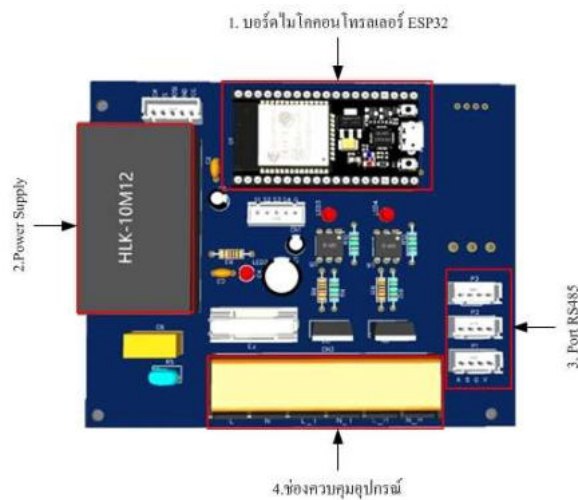
ปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งได้เข้ามามีบทบาทในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมนำไปสู่ยุคระบบอุตสาหกรรมอัจฉริยะ 4.0 ประกอบกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดังเช่น ระบบฟาร์มเกษตรอัจฉริยะ (Smart farm) ระบบบ้านอัจฉริยะ (Smart home) ระบบสำนักงานอัจฉริยะ (Smart office) ระบบเมืองอัจฉริยะ (Smart city) และอุปกรณ์อัจฉริยะ (Smart devices) ทั้งนี้การที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ สามารถเชื่อมโยงหรือส่งข้อมูลถึงกันได้ง่ายสามารถส่งการควบคุมการใช้งานผ่านช่องทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ส่งผลต่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยการเปลี่ยนแปลงไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่หรือต่อยอดผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพและมีความพร้อมรวมถึงการพัฒนาศักยภาพในกระบวนการผลิต เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต และเพิ่มรายได้ให้กับคนในชุมชน เป็นแหล่งการเรียนรู้พัฒนาบุคลากรนับว่าเป็นการเปิดโอกาสให้วิสาหกิจชุมชนสามารถเข้าถึงเทคโนโลยี

กระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟโดยทำให้แห้งมี 2 วิธีคือ วิธีแห้ง (Dry method) โดยนำเมล็ดกาแฟตากแดดประมาณ 15-20 วัน และวิธีเปียก (Wet method) ด้วยการนำเมล็ดกาแฟสุกแช่น้ำเพื่อแยกเมล็ดที่ฝ่อออกจากเมล็ดที่ดี จากนั้นทำการปลอกเปลือก วิธีนี้เป็นที่นิยมเพราะกาแฟมีกลิ่นและรสชาติดีกว่าการตากแห้ง [1] ทำการอบแห้งเมล็ดกาแฟที่มีช่วงความชื้นเริ่มต้นประมาณ 238-248 % มาตรฐานแห้ง และควบคุมอุณหภูมิของห้องอบที่อุณหภูมิ 50 - 70 °C [2] กระบวนการผลิตเมล็ดกาแฟทั้งสองวิธีนี้ปัจจัยสำคัญคือ อุณหภูมิและความชื้นที่มีผลต่อการแห้งเมล็ดกาแฟ ดังนั้นการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิและความชื้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะใช้ตรวจวัดสำหรับการควบคุมคุณภาพของเมล็ดกาแฟแห้ง ระบบตรวจวัดและแสดงผลแจ้งเตือนแบบ Real time นับมีความสำคัญของการประยุกต์ใช้กับสถานประกอบการอุตสาหกรรมผลิตเมล็ดกาแฟ เพื่อช่วยให้ผู้ประกอบการลดอัตราการสูญเสียผลิตภัณฑ์ของกระบวนการลดความชื้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นการอบแห้งเมล็ดกาแฟพร้อมทั้งแสดงผลแจ้งเตือนแบบอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชันแก่สถานประกอบการด้วยระบบอัตโนมัติ

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนที่หนึ่ง การเข้าสำรวจปัญหา (First visit) เพื่อวิเคราะห์ปัญหาและร่วมหาแนวทางแก้ไข ขั้นตอนที่สอง ออกแบบแบบวงจรและระบบควบคุมและจัดเตรียมอุปกรณ์ ขั้นตอนที่สาม ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดระบบ ทดสอบ/แก้ไขระบบ บันทึกข้อมูลและแสดงผลระบบเรียลไทม์ (Real-time) ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ประกอบระบบพร้อมการแจ้งเตือนสถานะการทำงานต่าง ๆ แผงวงจรควบคุมเป็นบอร์ดที่ควบคุมการทำงานของ

ระบบ อ่านค่าจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น ขั้นตอนที่สี่ วิเคราะห์ประมวลผลสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ตามเงื่อนไข ดังแสดงตามภาพที่ 1 และแผงวงจรควบคุมประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ



ภาพที่ 1 แผงวงจรควบคุมการทำงานของระบบ

1. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ESP32 หน่วยประมวลผลหลักของระบบ ทำหน้าที่อ่านค่าจากเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ความชื้น แล้วนำมาประมวลผลตามเงื่อนไขที่ตั้งค่าไว้

2. แหล่งจ่ายไฟเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้กับแผงวงจรและเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ภายในระบบ

3. ช่องเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ และความชื้น เลือกใช้พอร์ต Port RS485

4. ช่องควบคุมอุปกรณ์ เป็นช่องสำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิหรือความชื้น

คุณสมบัติและจุดเด่นของอุปกรณ์ ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า 220 V/AC กระแสไฟฟ้า 2 Amp กำลังไฟฟ้า 30 W พอร์ตสำหรับเชื่อมต่อ RS485 Modbus 3 ช่อง พร้อมทั้งช่องสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ 1 ช่อง ประกอบด้วยช่องสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมความชื้น 1 ช่อง และสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่าน WIFI 2.4G

การบันทึกข้อมูลทุกๆ 5 นาที ไฟล์ถูกบันทึกอยู่ในรูป CSV (Comma-separated values) file และแสดงผลแบบ Real time (ภาพที่ 2) สามารถแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันบนหน้าจอมือถือ



ภาพที่ 2 ระบบตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นแบบ Real time ภายในห้องอบเมล็ดกาแฟ

หลักการลดความชื้นเมล็ดกาแฟ

การลดความชื้นเมล็ดกาแฟด้วยวิธีเปียกโดยใช้เครื่องลดความชื้น (Dehumidifier รุ่น DH250) ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก 1. แผงคอยล์เย็น 2. แผงคอยล์ร้อน 3. เครื่องอัดสารทำความเย็น 4. สารทำความเย็น มีคุณสมบัติสามารถดูดความชื้นได้ 25 ลิตร/วัน (ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิห้อง 20-35 °C) ควบคุมความชื้นได้ที่ 40-80 %RH ระบบควบคุมความชื้นแบบ Automatic Control สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด หลักการทำงานพื้นฐานของเครื่องเป็นวัฏจักรการทำความเย็นระบบจะดูดความชื้นจากอากาศผ่านแผงคอยล์เย็นซึ่งจะทำให้ความชื้นในอากาศควบแน่นกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ แล้วจะปล่อยอากาศร้อนหรืออากาศแห้งเข้ามาแทนที่ โดยความชื้นที่อยู่ในรูปหยดน้ำจะถูกปล่อยทิ้งไปทางท่อน้ำทิ้ง ลักษณะของเครื่องแสดงตามภาพที่ 3 และคุณสมบัติของเครื่องแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 3 เครื่องลดความชื้น

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเครื่องลดความชื้นสำหรับการอบเมล็ดกาแฟ

Model: DH-250	Specification
แรงดันไฟฟ้า/ความถี่ (Voltage and Frequency)	220 V/50 Hz
กระแสไฟฟ้า (Rate power current)	1.4 A
กำลังไฟฟ้า (Rate power input)	500 W
สารทำความเย็น (Refrigerant)	R22
ปริมาณการดูดความชื้น (Capacity)	25L/D (27 °C/60%RH)
ถังเก็บน้ำ (Tank)	5 Liter
น้ำหนัก (Weight)	21 kg

เทคนิคการลดความชื้นผู้วิจัยขอกกล่าวโดยสังเขปเนื่องจากเป็นเทคนิคเฉพาะของทางสถานประกอบการห้องอบจำนวน 2 ห้องเนื่องจากพื้นที่จำกัด สามารถอบเมล็ดกาแฟเปียกมีน้ำหนักรวมเฉลี่ย 812.60 kg สูงสุด 826 kg และต่ำสุด 798 kg จากการทดลอง 10 ครั้ง ทั้งก่อนและหลังติดตั้งฮีตเตอร์ กระบวนการลดความชื้นเมล็ดกาแฟ เริ่มจากนำเมล็ดกาแฟบรรจุใส่ตะกร้าพลาสติกที่มีรูตะแกรงระบายอากาศตะกร้าที่ใช้เมล็ดกาแฟสดเรียงซ้อนกัน ดังแสดงตามภาพที่ 4 กระบวนการลดความชื้นใช้ระยะเวลาประมาณ 240 h ดังนั้น โดยติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น บันทึกผลและแสดงผลแบบ Real time ช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถติดตามกระบวนการได้สะดวกผ่านหน้าจอโทรศัพท์มือถือเพื่ออุณหภูมิและความชื้นได้ตลอดเวลา



ภาพที่ 4 ห้องลดความชื้นเมล็ดกาแฟ

ความชื้นเมล็ดกาแฟ

ก่อนทำการอบแห้งต้องล้างเมล็ดกาแฟน้ำสะอาดแล้วใส่ภาชนะที่มีตระแกรงรูระบายอากาศเพื่อช่วยระเหยน้ำที่ผิวเมล็ดกาแฟ อุณหภูมิที่ใช้อบแห้งประมาณ 35-40 °C ซึ่งจะได้เมล็ดกาแฟ โดยเปอร์เซ็นต์ % มาตรฐานแห้ง (%db) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1) [3-4]

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

อัตราการอบแห้งจำเพาะ

อัตราการอบแห้ง (Drying rate) คือ อัตราส่วนของปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง สามารถเขียนสมการอธิบายความสัมพันธ์ได้ตามสมการที่ (2) อัตราการแห้งจำเพาะ (Specific drying rate) คือ อัตราการอบแห้งต่อมวลแห้ง ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (3) [3-4]

$$DR = \frac{m_f - m_i}{t} \quad (2)$$

$$SDR = \frac{DR}{m_p} \quad (3)$$

เมื่อ m_i คือ มวลวัสดุก่อนอบแห้ง (kg) m_f คือ มวลวัสดุหลังการอบแห้ง (kg) t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (kg) m_p คือ มวลของเมล็ดกาแฟแห้ง (kg)

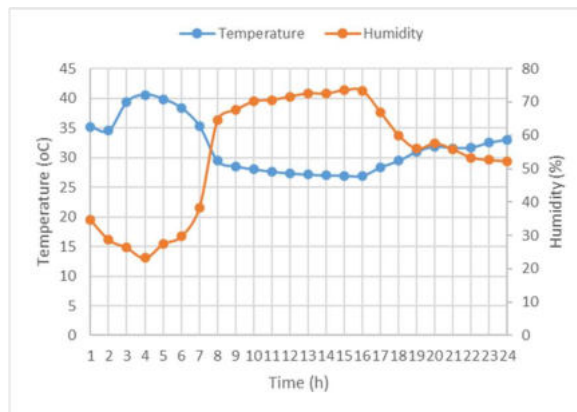
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยแสดงผลแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันแบบ Real time ทำให้การติดตามผลมีความสะดวกต่อผู้ประกอบการเมื่อเทียบกับก่อนดำเนินการ ช่วยลดปัญหากรณีไฟฟ้าดับส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์เสียหาย หน้าจอแสดงผล (Dashboard) ที่สรุปข้อมูลทุกอย่างอยู่ในหน้าจอเดียวประกอบด้วย ผลของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งทั้งสองตัวแปรแสดงค่าสูงสุดและต่ำสุด ส่งผลดีต่อสถานประกอบการทำให้ง่ายต่อการติดตามการลดความชื้นของเมล็ดกาแฟ ดังแสดงตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 หน้าจอแสดงผล Dashboard แบบ Real time

อุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ของการลดความชื้นเมล็ดกาแฟสามารถเขียนกราฟ อธิบายความสัมพันธ์ในช่วยเริ่มต้น 1-8 h พบว่า ความชื้นเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมล็ดกาแฟคายความชื้นออกมา ผกผันกับอุณหภูมิลง เป็นผลจากอุณหภูมิลดลงด้วยเมล็ดกาแฟเพื่อสลายความชื้นเป็นการลดความชื้น 24 แรกเท่านั้น แสดงได้ตามภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลของการลดความชื้นเมล็ดกาแฟ

จากการทดลองสุ่มตัวอย่าง 10 ครั้ง พบว่า **กรณีมีระบบตรวจวัด** พบว่า หลังผ่านกระบวนการลดความชื้นเมล็ดช่วยลดการสูญเสียเมล็ดกาแฟแห้งเฉลี่ย 78.80 kg สูงสุด 86 kg และต่ำสุด 71 kg **ส่วนกรณีไม่มีระบบตรวจวัด** พบว่า หลังผ่านกระบวนการลดความชื้นเมล็ดกาแฟสามารถลดการสูญเสียเมล็ดกาแฟแห้งเฉลี่ย 98.80 kg สูงสุด 109 kg และต่ำสุด 87 kg ผลต่างทั้ง 2 กรณี พบว่า ของเสียที่เกิดจากระบบการลดลงเฉลี่ย 2.47% ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นทั้งนี้ปริมาณผลิตที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการที่ผู้ประกอบการสามารถตรวจการลดความชื้นได้แบบต่อเนื่อง Real time โดยตรง การแก้ไขปัญหาเช่น อุณหภูมิการอบไม่คงที่ สามารถเข้าไปตรวจสอบและแก้ไขได้ทันถ่วงที

การประเมินความคุ้มค่าการลงทุนระบบตรวจวัดอัตโนมัติ พิจารณาปริมาณผลต่างผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการลดของเสีย พบว่า การติดตั้งระบบตรวจวัดช่วยลดของเสียเฉลี่ย 20 kg ราคาเมล็ดกาแฟ 350 บาท/กก. คิดเป็นมูลค่าผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจากการลดของเสียเฉลี่ย 7,000 บาท ระบบตรวจวัดสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 12 kWh/ครั้ง คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า 45 บาท/ครั้ง หากพิจารณาเฉพาะมูลค่าการลงทุนของอุปกรณ์ 2,000 บาท/ชุด ผลต่างกำไรจากการลดของเสียมีมูลค่าเพิ่ม 5,000 บาท พบว่า ความคุ้มค่าของการลงทุน 2.8 เท่า ทั้งนี้การอบแห้ง 1 ครั้งใช้เวลา 10 วัน ซึ่งคิดว่ากำไรจากการลงทุนเพียงการอบแค่หนึ่งรอบ ผู้วิจัยไม่พิจารณาอัตราดอกเบี้ย ต้นทุนค่าแรง ต้นทุนวัตถุดิบ เนื่องจากอุปกรณ์ระบบตรวจวัดมีราคาไม่สูงเมื่อเทียบกับผลตอบแทนที่ได้รับ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นการอบแห้งเมล็ดกาแฟพร้อมทั้งแสดงผลแจ้งเตือนแบบอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชันแก่สถานประกอบการด้วยระบบอัตโนมัติ พบว่า อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งสามารถประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตสำหรับธุรกิจขนาดเล็ก แบ่งออกเป็นประเด็นสำคัญ **ประเด็นแรก** สะดวกต่อการติดตามตรวจสอบกระบวนการอบแห้ง สามารถตรวจสอบการทำงานและแจ้งเตือนความผิดปกติของกระบวนการลดความชื้นได้ทันเหตุการณ์ **ประเด็นที่สอง** ช่วยลดความเสียหายของวัตถุดิบในกระบวนการลดความชื้น **ประเด็นที่สาม** ด้านแรงงานช่วยลดภาระงานของพนักงานโดยไม่ต้องคอยไปเปิดห้องลดความชื้นเพื่อสังเกตความผิดปกติของเครื่องลดความชื้น **ประการสุดท้าย** ช่วยลดต้นทุนการผลิต เป็นแนวทางการพัฒนากระบวนการผลิตอุตสาหกรรมนำไปสู่ระบบอุตสาหกรรมอัจฉริยะ 4.0 โดยต้นทุนระบบราคา 2,000 บาท สามารถลดการเสียหายของผลิตภัณฑ์เฉลี่ย 20 กก./ครั้ง ผู้ประกอบการขายกิโลกรัมละ 350 บาท คิดเป็นมูลค่าผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นจากการลดของเสียในกระบวนการอบ 7,000 บาท/ครั้ง ความคุ้มค่าของการลงทุน 2.8 เท่า สามารถตอบโจทย์ผู้ประกอบการได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้ราคาของระบบขึ้นอยู่กับองค์ประกอบระบบ เช่น จำนวนหัววัดอุณหภูมิ ความชื้น ชนิดของหัววัดต่างๆ ความจุของฮาร์ดดิสก์ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละกระบวนการของสถานประกอบการนั้นๆ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 1 กระทรวงอุตสาหกรรม ที่สนับสนุนงบประมาณทำวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการพัฒนาธุรกิจขนาดเล็ก ขอขอบคุณบริษัท ม่อน มาตุภูมิ จำกัด ที่อนุเคราะห์สถานที่ทำวิจัย ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและบริการวิชาการด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชน วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ และศูนย์วิจัยและพัฒนาตักสิลาเพื่อการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนบุคลากรทางการศึกษาด้านวิชาการสำหรับให้คำแนะนำปรึกษาแก่ทางผู้ประกอบการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปรีชา อานันท์รัตนกุล, พิมล วุฒิสินธุ์, วิบูลย์ เทเพนทร์, นิทัศน์ ตั้งพินิจกุล, เวียง อากรซี, สนอง อมฤกษ์, และ ยงยุทธ คงชาน (2563). ศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งกาแฟพร้อมเตาชีวมวลก้าเนติลมร้อน. **สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม**, 1-9.
- [2] บุญคง คำครุทลาวงษ์, อุษาวดี ตันติว, อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์, และมารีนา มมะหนี (2552). แบบจำลองการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**. 14 (2), 70-77.
- [3] นิชาภัทร มุลรัตน์, อารี อัจฉริยวิริยะ, และศิวะ อัจฉริยวิริยะ (2563). การพัฒนาการทำแห้งเมล็ดกาแฟโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวลสำหรับการทำแห้งช่วงแรก. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. 31 (2), 1-10.
- [4] พงษ์ศักดิ์ อยู่มั่น, ณรงค์ เครือกันทา, และพงษ์สวัสดิ์ อำนาจกิติกร (2555). การสร้างเครื่องอบแห้งเมล็ดกาแฟพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานสำหรับเกษตรกรบ้านใหม่พัฒนา อำเภอเมืองปาน จังหวัดลำปาง. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**. 5 (1), 35-48.

การศึกษาหัวเผาอุตสาหกรรมด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหล

Study of Industrial Burner using Computational Fluid Dynamics

สุทธินันท์ ศรีรัตยาวงค์ ญัฐมล วิมล อภิชาติ ประสพพร ปิยพงษ์ เสมอวงศ์ทิพย์
วิไลวรรณ คำพราว และรัชณีวรรณ อังกรบุตร*

Sutthininan Srirattayawong Nattamon Wimon Apichart Prasopporn Piyapong Samerwongtip
Wilaiwan Kampraw and Rachaneewan Aungkurabut*

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000
Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Phayao, Phayao 56000

*Corresponding author: Tel.: 086 469 3322. E-mail address: Rachaneewan.ch@up.ac.th

Received: 5 July 2021, Revised: 14 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 December 2022

Abstract

The objectives of the research are to investigate the airflow patterns and the influence of airflow pattern for industrial burner using computational fluid dynamics (CFD) analysis. There are two parts in the study. The first one, the CFD model of the designed burner has been validated with experiment. The second, the developed combustion chamber model has been proposed to verify the effect of airflow pattern by the different number of secondary air inlets. The dimension of combustion chamber is 200 mm of diameter and 400 mm of length. The results show that the model enables a reasonable prediction of air velocity in the combustion chamber. Furthermore, when increasing the secondary air inlets, the air velocity in the combustion chamber will be reduced. However, the air distribution is a uniform in the combustion chamber. Since the air can be mixed with the fuel, the heat output is high and therefore suitable for the design of industrial burner.

Keywords: Industrial Burner, Computational Fluid Dynamics (CFD), Combustion Chamber

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการไหลวนของอากาศภายในชุดหัวเผาอุตสาหกรรม โดยใช้แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล (CFD) ในการวิเคราะห์ และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการไหลวนของอากาศภายในห้องเผาไหม้ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แบบจำลอง และการทดสอบ โดยในแบบจำลองของหัวเผาที่ออกแบบจะถูกเปรียบเทียบกับจำนวนช่องทางเข้าของอากาศรองที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องเผาไหม้ ห้องเผาไหม้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร จากการเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดสอบความเร็วของอากาศพบว่า ผลของแบบจำลองและการทดสอบมีความสอดคล้องกัน และเมื่อห้องเผาไหม้มีช่องทางเข้าอากาศรองเพิ่มขึ้น

จะทำให้ความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้ลดลง แต่กระจายตัวของอากาศมีความสม่ำเสมอมากขึ้นภายในห้องเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้อากาศสามารถสัมผัสกับเชื้อเพลิงมากขึ้น ส่งผลทำให้ห้องเผาไหม้มีค่าความร้อนที่สูงขึ้น และมีความเหมาะสมในการออกแบบหัวเผาอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: หัวเผาอุตสาหกรรม การจำลองทางพลศาสตร์ของไหล ห้องเผาไหม้

บทนำ

ในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ได้มีการใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมกันอย่างแพร่หลาย และเพิ่มมากขึ้นตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ และสังคม โดยเฉพาะด้านการคมนาคมขนส่ง และอุตสาหกรรมต่างๆ มีการใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมประเภทเชื้อเพลิงที่ได้มาจากเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ ซึ่งน้ำมันเตา [1] เป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการกลั่นปิโตรเลียมมีราคาถูก และถือเป็นพลังงานเชื้อเพลิงที่สำคัญในภาคอุตสาหกรรม โดยมากใช้ในอุตสาหกรรมที่ใช้ในกระบวนการให้ความร้อน ดังนั้นการลดการใช้พลังงานปิโตรเลียมซึ่งมีแนวโน้มว่าจะมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องในอนาคต และขณะที่ปริมาณความต้องการเพิ่มสูงขึ้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าว การใช้พลังงานทางเลือก เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนใต้พิภพ หรือแม้แต่พลังงานเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด น่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงที่สามารถนำมาทดแทนเชื้อเพลิงน้ำมันเตา [2] โดยค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด มีค่าความร้อนเท่ากับ 10,878.41 kJ/kg ราคาในปัจจุบันต่อหนึ่งกิโลกรัมเท่ากับ 3.1 บาท [3] และน้ำมันเตาเกรดเอ มีค่าความร้อนเท่ากับ 41,274.02 kJ/L ราคา น้ำมันเตาเกรดเอในปัจจุบันลิตรละ 15.5 บาท [4] จากการเปรียบเทียบราคาระหว่างน้ำมันเตากับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด พบว่า น้ำมันเตาให้ค่าความร้อนเป็นสามเท่าของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ทั้งนี้เมื่อต้องการให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดเทียบเท่ากับน้ำมันเตาจึงต้องใช้มากขึ้นสามเท่า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันเตา 1 ลิตรกับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด 3 กิโลกรัม (ในการให้ค่าความร้อนที่เทียบเท่ากัน) พบว่าราคาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดต่ำกว่า และมีส่วนประกอบของขี้เถ้า (ash) หลังการเผาไหม้ประมาณ 3% ของน้ำหนัก [5] ดังนั้นการเลือกใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด ไม่เพียงแต่ช่วยในการลดขยะเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ แต่ยังเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถนำมาแทนน้ำมันเตา และเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดในประเทศไทยสามารถผลิตได้ประมาณ 2 ล้านตันต่อปี [6] ทั้งนี้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดนิยมใช้ในงานให้ความร้อน เช่น งานเครื่องกำเนิดไอ หรือการให้ความร้อนโดยใช้หัวเผาเป็นตัวส่งความร้อนเข้าสู่เตาเผา ซึ่งหัวเผาอุตสาหกรรมมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ โบลเวอร์, ชุดอุปกรณ์ส่งเชื้อเพลิง และห้องเผาไหม้ โดยโบลเวอร์มีหน้าที่ในการป้อนอากาศเข้าไปยังห้องเผาไหม้, ชุดอุปกรณ์ส่งเชื้อเพลิง มีหน้าที่ลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และห้องเผาไหม้ในหัวเผา มีหน้าที่รองรับการเผาไหม้ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง ซึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหัวเผานั้น ทำได้ด้วยวิธีการควบคุมปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงกับอากาศ ในอัตราส่วนที่อากาศพอดีกับเชื้อเพลิง เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยที่อุณหภูมิของการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าอยู่ในช่วง 600-800 °C [7-10] แต่ด้วยการเผาไหม้ด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับหัวเผาอุตสาหกรรม จำเป็นต้องทำให้เกิดขบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และเผาไหม้เชื้อเพลิงให้หมดภายในห้องเผาไหม้ ดังนั้นการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยแก้ไขปัญหามันในขบวนการที่ซับซ้อน หรือแม้แต่การแสดงลักษณะของการเคลื่อนที่ของของไหลภายในห้องเผาไหม้จึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งโปรแกรมการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics: CFD) เป็นอุปกรณ์สำคัญในการช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์ และสามารถจำลองการไหลจริงที่มีความซับซ้อนได้ เช่น ความสามารถในการจำลองการไหลแบบปั่นป่วน หรือการไหลที่มีความเร็ว และความดันสูง ซึ่งในการออกแบบ และพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวล โดยการประยุกต์ใช้ CFD นั้น เป็นการศึกษาถึงการกระจายตัวของความเข้มข้นของความปั่นป่วน [11] การสร้างการหมุนควงของอากาศแบบรัศมี [12] และการศึกษาถึงปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนภายในห้องเผาไหม้ [13] ด้วยแบบจำลองการไหลแบบปั่นป่วน $k-\epsilon$ Standard จะสามารถพัฒนาหัวเผาอุตสาหกรรมสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลให้มีประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงขึ้นได้

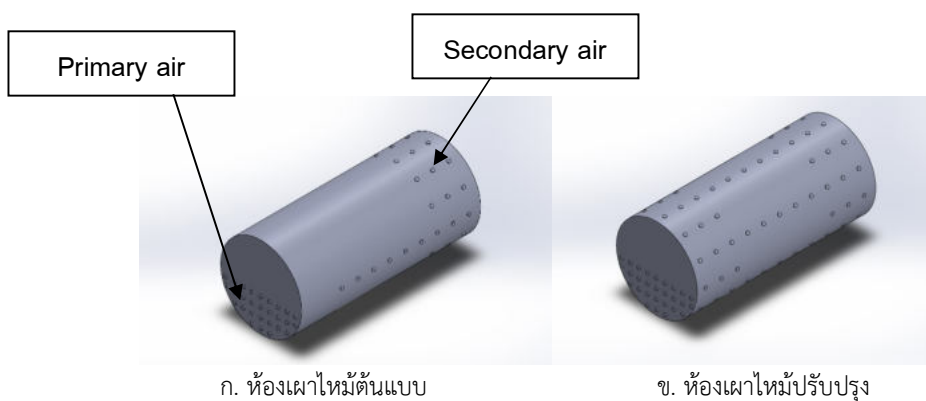
งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอากาศ และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องเผาไหม้ของหัวเผาอุตสาหกรรมด้วยการใช้โปรแกรมการคำนวณพลศาสตร์ของไหล เพื่อใช้เป็นเครื่องมือเข้ามาช่วยในการออกแบบและคำนวณเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาลักษณะการไหลภายในห้องเผาไหม้ของหัวเผาอุตสาหกรรมสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด โดยออกแบบห้องเผาไหม้ 2 ลักษณะ ที่มีจำนวนช่องทางเข้าของอากาศรอง (Secondary Air) ที่แตกต่างกัน และผลการจำลองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับทดสอบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง นอกจากนี้ลักษณะการกระจาย และความเร็วลมภายในห้องเผาไหม้ของแบบจำลองจะถูกศึกษาเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบและสร้างหัวเผาที่ปฏิกิริยาการเผาไหม้สิ้นสุดภายในหัวเผา และสามารถกำหนดค่าความร้อนของการทำงานได้อย่างเหมาะสม

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการไหลของอากาศภายในห้องเผาไหม้ของหัวเผาอุตสาหกรรมโดยใช้แบบจำลองการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบห้องเผาไหม้ 2 ลักษณะ ที่มีจำนวนช่องทางเข้าของอากาศรองที่ต่างกัน

การออกแบบหัวเผาอุตสาหกรรมสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดโดยใช้แบบจำลอง

1. การสร้างหัวเผาอุตสาหกรรมสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดโดยใช้แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล โดยในการออกแบบใช้โปรแกรม SOLIDWORK ในการเขียนแบบห้องเผาไหม้ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร ซึ่งในการวิเคราะห์ครั้งนี้ ได้ทำการออกแบบห้องเผาไหม้ 2 ลักษณะ ได้แก่ ห้องเผาไหม้ต้นแบบ ซึ่งกำหนดให้ห้องเผาไหม้ถูกเจาะช่องทางเข้าอากาศหลัก (Primary Air) และอากาศรอง (Secondary Air) จำนวน 28 ช่อง และ 63 ช่อง ตามลำดับ และมีพื้นที่เท่ากับ 0.50 cm^2 และ 31.67 cm^2 ตามลำดับ และห้องเผาไหม้ปรับปรุง ถูกกำหนดให้ห้องเผาไหม้ถูกเจาะช่องทางเข้าอากาศหลัก (Primary Air) และอากาศรอง (Secondary Air) จำนวน 28 ช่อง และ 111 ช่อง ตามลำดับ และมีพื้นที่เท่ากับ 0.50 cm^2 และ 55.79 cm^2 ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มพื้นที่ทางเข้าของอากาศรองจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ให้ดียิ่งขึ้นและช่วยลดมลพิษจากการเผาไหม้ โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางอากาศมีค่าเท่ากับ 8 มิลลิเมตร เท่ากันทุกช่อง แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ห้องเผาไหม้ของหัวเผาอุตสาหกรรมสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

2. การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยการวิเคราะห์ความเป็นอิสระของอิเลเมนต์ (Mesh Independent Test) โดยในการศึกษาได้เลือกการแบ่งอิเลเมนต์แบบ Hex Dominant และใช้จำนวน 32,254, 50,453 และ 132,578 เซลล์ ตามลำดับ เมื่อได้ทำการวิเคราะห์ความเร็วจากแบบจำลอง จากอิเลเมนต์ทั้ง 3 ค่า พบว่าจำนวนอิเลเมนต์ที่เหมาะสมและมีความแม่นยำ คือ 50,453 เซลล์ โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.56% ดังนั้นแบบจำลองห้องเผาไหม้ที่มีจำนวนอิเลเมนต์ 50,453 เซลล์จะถูกเลือกใช้ในการศึกษา

3. การจำลองพฤติกรรมการไหลของอากาศในแบบจำลองหัวเผา โดยใช้การคำนวณพลศาสตร์ของไหล ซึ่งสมการการออกแบบของแบบจำลองใช้สมการ Navier-Stokes โดยเลือกใช้โมเดลการจำลองแบบปั่นป่วน (k-ε standard) ซึ่งเป็นการไหลแบบคงตัวและอัดตัวไม่ได้ ประกอบด้วย สมการกฏทรงมวล (Continuity Equation) และสมการโมเมนตัม (Momentum Equation) [11] ดังสมการ (1) และ (2) ตามลำดับ

สมการกฏทรงมวล (continuity equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

สมการโมเมนตัม (momentum equation)

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial}{\partial x_j}(u_j) = -\frac{\partial p_i}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \rho g_j \quad (2)$$

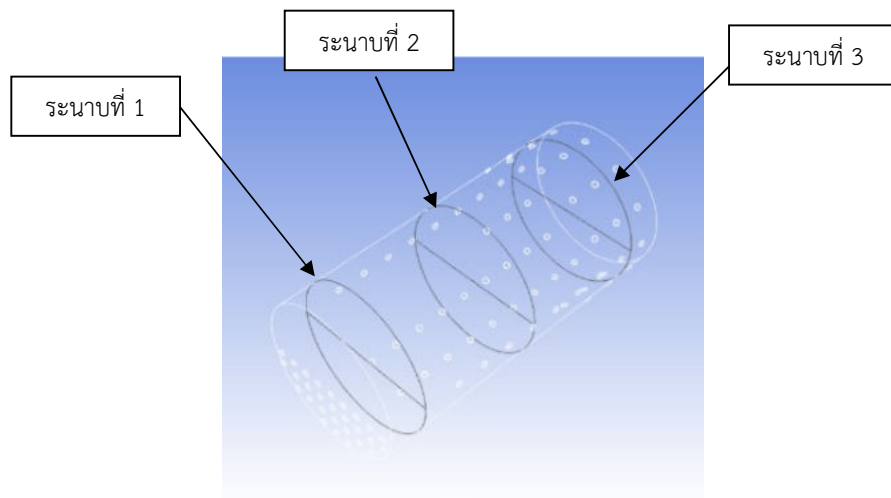
โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3), p คือ ความดันสถิต (Pa) u_i คือ ความเร็วของของไหลตามแนวแกน i (m/s), μ คือ ค่าความหนืดของของไหล ($\text{N}\cdot\text{s/m}^2$), g_j คือ ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ตามแนวแกน j (m/s^2) และ x_i คือ ค่าพิกัดแกน x, y, z (m)

5. การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ของแบบจำลอง ได้ถูกกำหนดดังต่อไปนี้ การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเฉพาะห้องเผาไหม้ที่ไม่มีเชื้อเพลิงภายใน อัตราการป้อนอากาศคงที่มีค่าเท่ากับ 203 CFM เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องเผาไหม้ อากาศถูกเลือกใช้เป็นของไหลในแบบจำลอง โดยกำหนดอัตราการไหล และความดันสถิต ณ ตำแหน่งทางเข้าของอากาศเข้าสู่ภายในห้องเผาไหม้มีค่าคงที่ และความดันทางออกห้องเผาไหม้กำหนดเป็นความดันบรรยากาศ วิธีการแก้ปัญหาและวิธีการควบคุม (Methods, Controls) เป็นแบบ Simple ค่าเริ่มต้น (Initialization) แบบ Hybrid Initialization และจำนวนรอบการวนซ้ำ (Number of Iterations) กำหนด Number of Iterations ที่ 5,000 รอบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

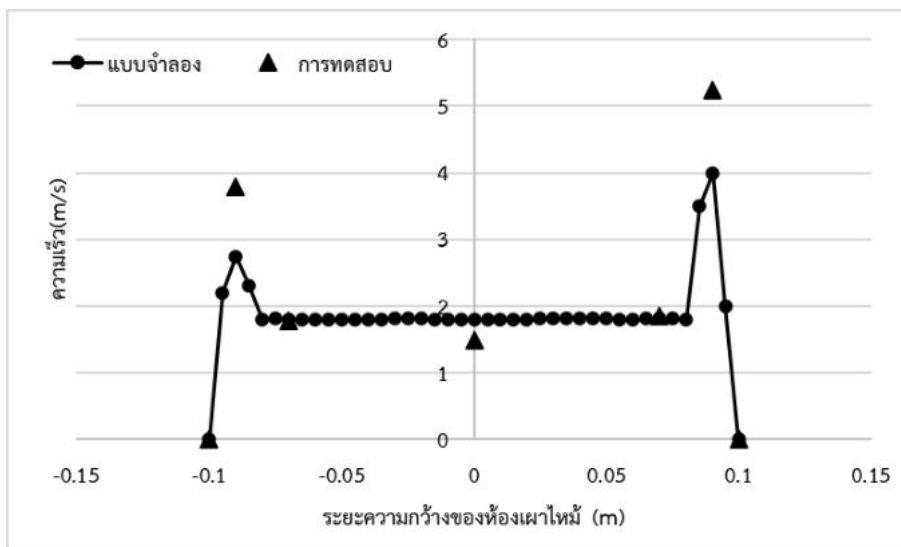
การวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation)

การวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบระหว่างผลของแบบจำลอง และการทดสอบ ซึ่งสามารถแสดงระนาบการวัดความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้ โดยที่ ระนาบที่ 1 คือ ระนาบทางเข้าของห้องเผาไหม้ ระนาบที่ 2 คือ ระนาบกึ่งกลางของห้องเผาไหม้ และ ระนาบที่ 3 คือ ระนาบทางออกของห้องเผาไหม้ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระนาบอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบค่าความเร็วลมในห้องเผาไหม้จากการจำลองและการทดสอบ

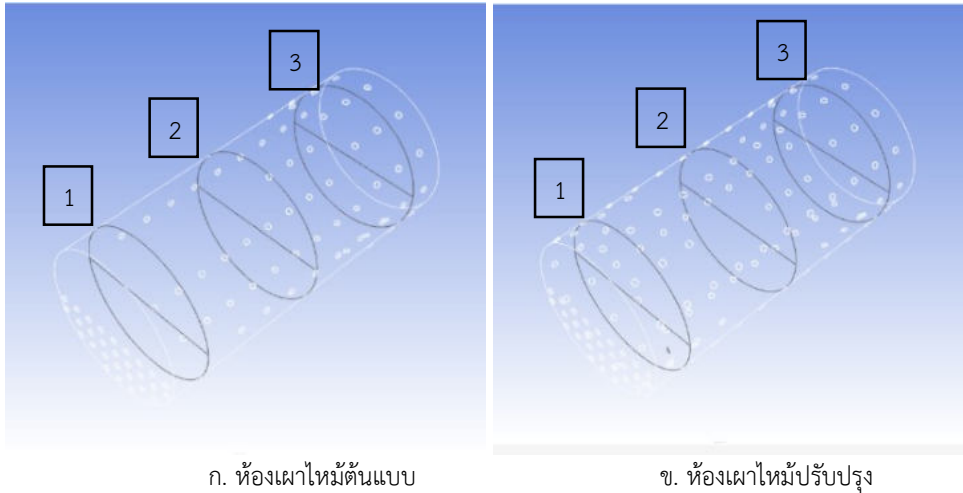
ภาพที่ 3 แสดงผลของความเร็วลมภายในห้องเผาไหม้ของหัวเผาจากแบบจำลองและการทดสอบ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของห้องเผาไหม้ พบว่า ผลของความเร็วลมระหว่างแบบจำลองและการทดสอบมีความสอดคล้องกัน โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10% จึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองมีความถูกต้อง



ภาพที่ 3 แสดงผลของความเร็วลมภายในห้องเผาไหม้ของหัวเผาจากแบบจำลองและการทดสอบ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของห้องเผาไหม้ (ระนาบที่ 2)

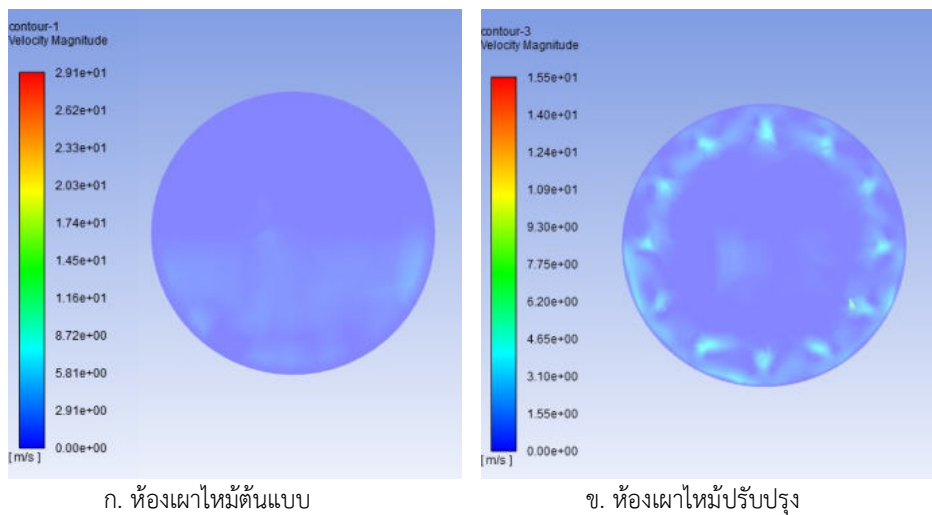
การกระจายตัวของความเร็วอากาศภายในห้องเผาไหม้

สำหรับแบบจำลองได้ทำการเปรียบเทียบผลของความเร็วภายในห้องเผาไหม้ 2 รูปแบบ ได้แก่ ห้องเผาไหม้ต้นแบบ และห้องเผาไหม้ปรับปรุง โดยในการเปรียบเทียบค่าการกระจายตัวของความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้จากการจำลองนั้นได้ทำการตัดระนาบ และเส้นบนระนาบของห้องเผาไหม้ ดังภาพที่ 4



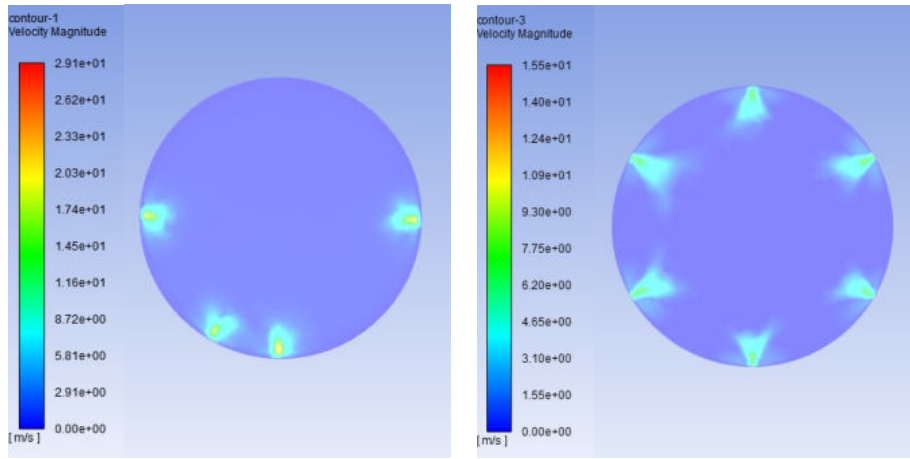
ภาพที่ 4 แสดงระนาบการจำลองเพื่อวิเคราะห์ความเร็วลมในห้องเผาไหม้ของหัวเผา

ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเร็วของอากาศ ณ ตำแหน่งทางเข้าระหว่างห้องเผาไหม้ต้นแบบ และห้องเผาไหม้ปรับปรุง จากผลการจำลองพบว่า ห้องเผาไหม้ที่ปรับปรุงมีการกระจายตัวของอากาศดีกว่าห้องเผาไหม้ต้นแบบ แต่มีความเร็วของอากาศน้อยกว่า เนื่องจากจำนวนช่องทางเข้าของอากาศรอง (Secondary Air) ที่มากกว่า โดย ณ ตำแหน่งนี้จะเป็นพื้นที่รองรับเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ จึงจำเป็นต้องให้อากาศมีการกระจายตัวได้ดีเพื่อที่จะทำให้เชื้อเพลิงสามารถสัมผัสอากาศได้เพียงพอและเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์



ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเร็วอากาศ ณ ตำแหน่งทางเข้าของห้องเผาไหม้ (ระนาบที่ 1)

ภาพที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเร็วอากาศ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างห้องเผาไหม้ต้นแบบ และห้องเผาไหม้ปรับปรุงพบว่า ห้องเผาไหม้ปรับปรุงมีการกระจายอากาศมากกว่าห้องเผาไหม้ต้นแบบเนื่องจากจำนวนช่องทางเข้าของอากาศรอง (Secondary Air) ที่มากกว่า และบริเวณนี้ทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์

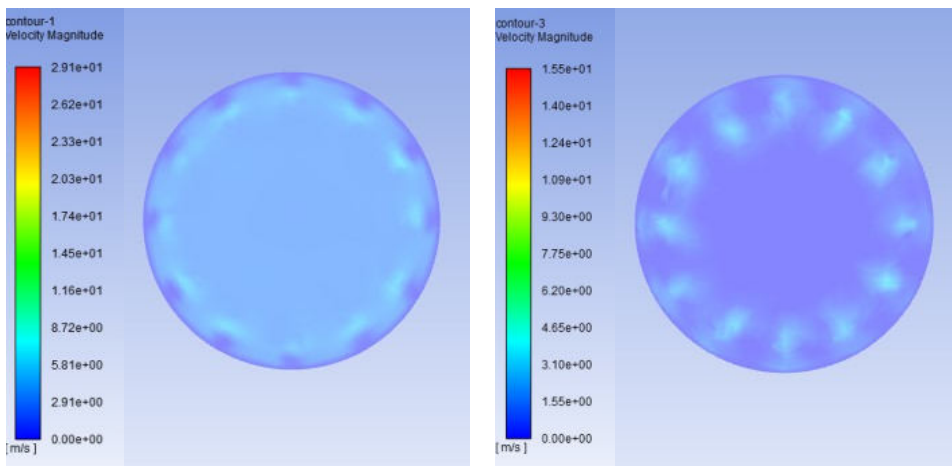


ก. ห้องเผาไหม้ต้นแบบ

ข. ห้องเผาไหม้ปรับปรุง

ภาพที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเร็วอากาศ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของห้องเผาไหม้ (ระนาบที่ 2)

ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเร็วอากาศ ณ ตำแหน่งทางออกระหว่างห้องเผาไหม้ต้นแบบ และห้องเผาไหม้ปรับปรุง พบว่าห้องเผาไหม้ต้นแบบมีการกระจายลมที่มากกว่าซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงถูกส่งออกไปนอกห้องเผาไหม้ในขณะที่ยังเผาไหม้ไม่หมด แต่ห้องเผาไหม้ปรับปรุงมีการกระจายลมที่น้อยกว่า ส่งผลให้เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้จนหมดภายในห้องเผาไหม้ได้ จึงทำให้ได้ประสิทธิภาพของหัวเผาสูงกว่าห้องเผาไหม้ต้นแบบ



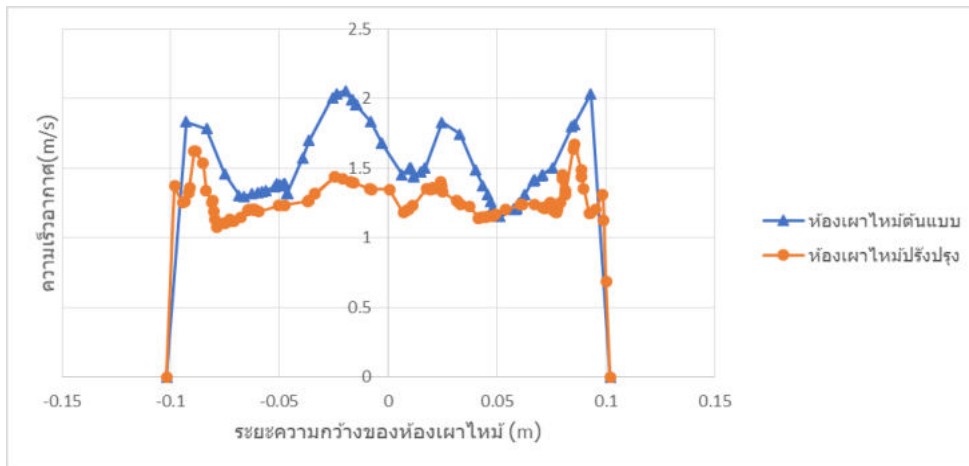
ก. ห้องเผาไหม้ต้นแบบ

ข. ห้องเผาไหม้ปรับปรุง

ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของความเร็วอากาศ ณ ตำแหน่งทางออกของห้องเผาไหม้ (ระนาบที่ 3)

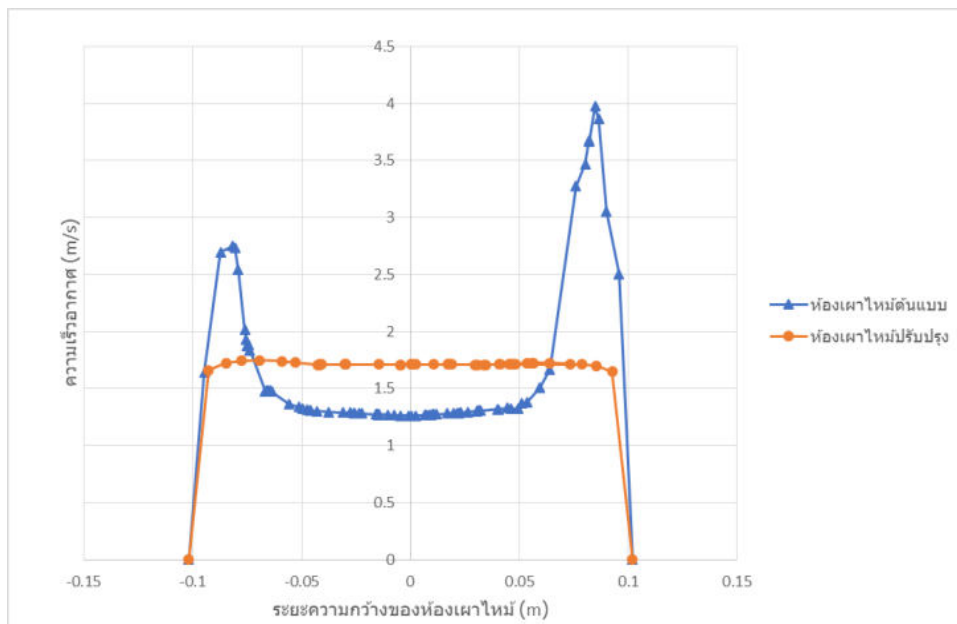
ความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้

ภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้ ณ ตำแหน่งทางเข้าของอากาศจากแบบจำลอง ทั้ง 2 รูปแบบ พบว่าห้องเผาไหม้ต้นแบบมีความเร็วอากาศมากกว่าห้องเผาไหม้ปรับปรุง เนื่องจากจำนวนช่องของอากาศรองมีค่าน้อยกว่า แต่สำหรับห้องเผาไหม้ปรับปรุงนั้นมีความเร็วที่สม่ำเสมอมากกว่า



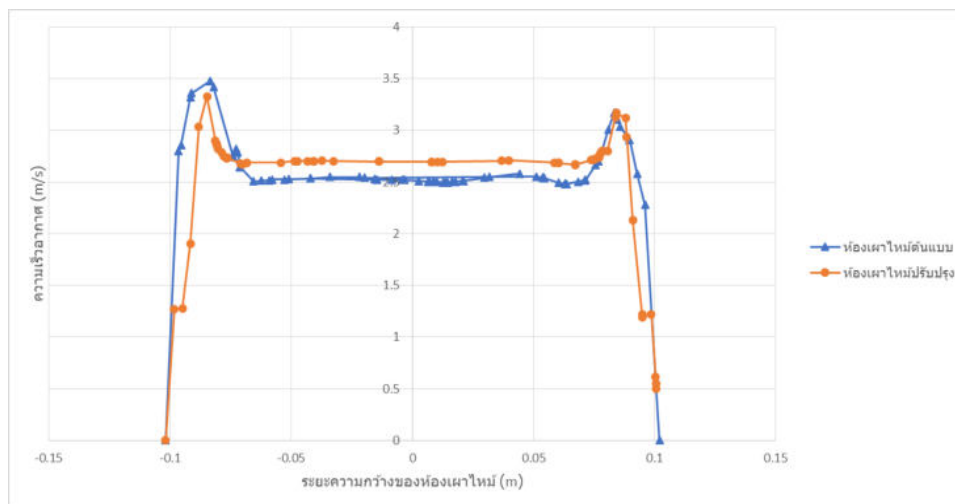
ภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้ ณ ตำแหน่งทางเข้าของห้องเผาไหม้ (ระนาบที่ 1)

ภาพที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของห้องเผาไหม้ของทั้ง 2 รูปแบบ พบว่า ห้องเผาไหม้แบบปรับปรุงมีความเร็วกระจายตัวสม่ำเสมอ โดยที่ห้องเผาไหม้ต้นแบบจะมีความเร็วของอากาศมีค่ามากที่บริเวณใกล้ผนังห้องเผาไหม้ เนื่องจากห้องเผาไหม้ต้นแบบมีจำนวนช่องของอากาศรองน้อยกว่า



ภาพที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของห้องเผาไหม้ (ระนาบที่ 2)

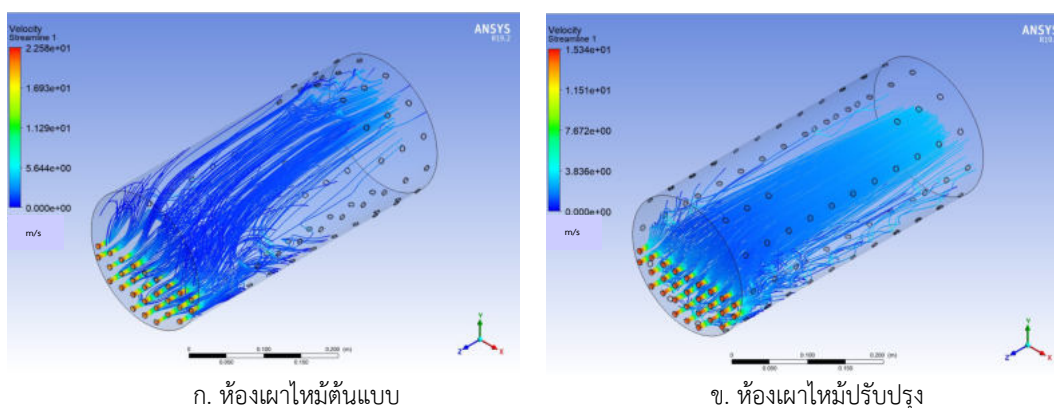
ภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้ ณ ตำแหน่งทางออกของห้องเผาไหม้ของทั้ง 2 รูปแบบ พบว่า ห้องเผาไหม้ต้นแบบและแบบปรับปรุงมีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้ ณ ตำแหน่งทางออกของห้องเผาไหม้ (ระนาบที่ 3)

การแสดงทิศทางของความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้

ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบทิศทางของความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้ จากแบบจำลอง ณ ตำแหน่งทางเข้าอากาศหลัก (Primary Air) ระหว่างห้องเผาไหม้ต้นแบบ และห้องเผาไหม้ปรับปรุงพบว่า การเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องเผาไหม้จะอยู่บริเวณด้านบนของห้องเผาไหม้ แต่ห้องเผาไหม้ปรับปรุงอากาศจะเคลื่อนที่อยู่บริเวณส่วนล่างของห้องเผาไหม้ ซึ่งเมื่อในขณะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ พบว่า ห้องเผาไหม้ปรับปรุงสามารถทำให้อากาศได้สัมผัสกับเชื้อเพลิงมากกว่า

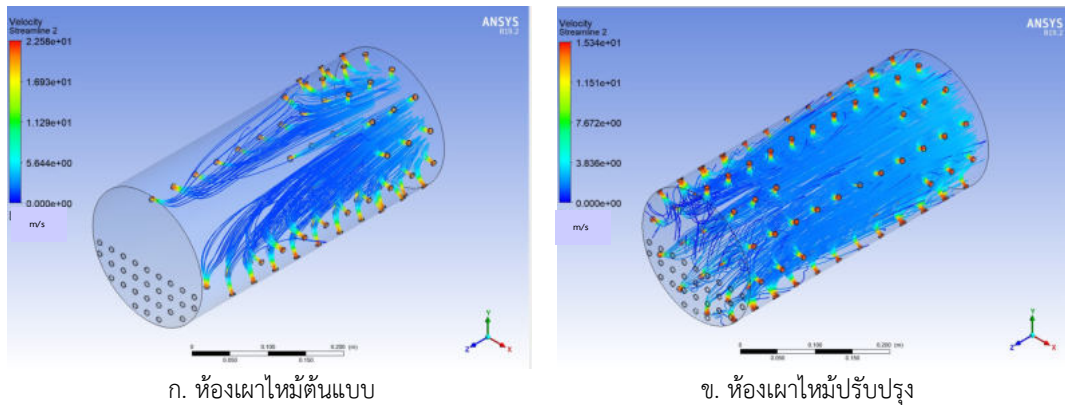


ก. ห้องเผาไหม้ต้นแบบ

ข. ห้องเผาไหม้ปรับปรุง

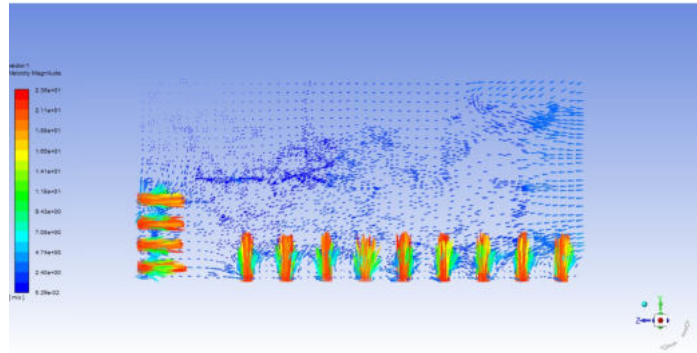
ภาพที่ 11 แสดงทิศทางของความเร็วอากาศภายในห้องเผาไหม้ ณ ตำแหน่งทางเข้าอากาศหลัก (Primary Air)

ภาพที่ 12 การเปรียบเทียบทิศทางของความเร็วอากาศภายในห้องเผาไหม้ จากแบบจำลอง ณ ตำแหน่ง ทางเข้า อากาศรอง (Secondary Air) ระหว่างห้องเผาไหม้ต้นแบบ และห้องเผาไหม้ปรับปรุง พบว่า การกระจายของอากาศภายใน ห้องเผาไหม้ปรับปรุงดีกว่าห้องเผาไหม้ต้นแบบ ซึ่งจะทำให้อากาศสามารถผสมกับเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี และเชื้อเพลิง สามารถอยู่ในห้องเผาไหม้ได้ตลอดการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ จึงทำให้ห้องเผาไหม้แบบปรับปรุงมีค่าพลังงานความร้อนที่ มากกว่า

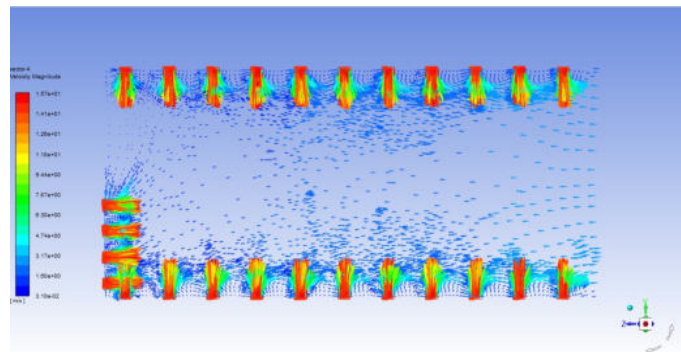


ภาพที่ 12 แสดงทิศทางของความเร็วอากาศภายในห้องเผาไหม้ ณ ตำแหน่งทางเข้าอากาศรอง (Second Air)

ภาพที่ 13 แสดงทิศทางของความเร็วของอากาศภายในห้องเผาไหม้ต้นแบบ และห้องเผาไหม้ปรับปรุง พบว่า กระบวนการภายในห้องเผาไหม้นั้น เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการทำให้เชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้จนเชื้อเพลิงให้กลายเป็นซีเถ้า และขบวนการที่สองคือการเผาไหม้แก๊สร้อน (Flue Gas) ภายในห้องเผาไหม้ ดังนั้น ภายในห้องเผาไหม้จึงมีความจำเป็นต้องทำให้อากาศเกิดการไหลวนแบบปั่นป่วน เพื่อให้ขบวนการการเผาไหม้ได้ค่าความร้อนที่สูงที่สุด ดังนั้น จากทิศทางของความเร็วอากาศภายในห้องเผาไหม้สามารถสรุปได้ว่า ห้องเผาไหม้แบบปรับปรุงจะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนมากกว่าแบบแรก จึงคาดว่าจะส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่า



ก. ห้องเผาไหม้ต้นแบบ



ข. ห้องเผาไหม้ปรับปรุง

ภาพที่ 13 แสดงทิศทางของความเร็วอากาศภายในห้องเผาไหม้

สรุปผลการวิจัย

หัวเผาอุตสาหกรรมที่ออกแบบสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ความยาว 40 เซนติเมตร เมื่อได้ทำการศึกษาลักษณะของการไหลของอากาศภายในห้องเผาไหม้โดยใช้แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหลพบว่า ผลการจำลองที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองมีความถูกต้อง นอกจากนี้ แบบจำลองของห้องเผาไหม้ปรับปรุงที่มีจำนวนช่องของอากาศรองที่มากกว่าจะมีการกระจายตัวของอากาศภายในห้องเผาไหม้ที่มากกว่า ซึ่งคาดว่าจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ได้ดีกว่าแบบที่มีรูอากาศน้อยกว่าเมื่อใช้อัตราการไหลของอากาศที่เท่ากัน เนื่องจากจำนวนช่องทางเข้าของอากาศรองที่มากกว่าจะช่วยเพิ่มการไหลปั่นป่วนของการเคลื่อนที่ของอากาศ ซึ่งจะทำให้อากาศสามารถสัมผัสกับเชื้อเพลิงมากขึ้น จึงส่งผลทำให้ห้องเผาไหม้เกิดการเผาที่สมบูรณ์ และเกิดค่าความร้อนที่สูงขึ้น ผลจากการศึกษานี้จึงเป็นแนวทางในการสร้างห้องเผาไหม้ของหัวเผาอุตสาหกรรมสำหรับเชื้อเพลิงแข็ง หรือ เชื้อเพลิงชีวมวลได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนงบประมาณประจำปีการศึกษา 2563 จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมเชื้อเพลิง กระทรวงพลังงาน. (2564). **ราคาปิโตรเลียม** สืบค้นเมื่อ วันที่ 1 สิงหาคม 2564, จาก <https://dmf.go.th/public/>.
- [2] Sahakij Charoen International Co., Ltd. (2564). **เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด/Wood Pellets**. สืบค้นเมื่อ วันที่ 1 สิงหาคม 2564, <http://www.espthailand.com/product/wood-pellets.html>.
- [3] ทิศทางการเติบโตของภาคพลังงานไทยในอนาคต. (2564). **ราคาชีวมวล**. สืบค้นเมื่อ วันที่ 1 สิงหาคม 2564, <http://blog.thaisumi.com>.
- [4] นภาดา วิเชียรพงษ์ ทวีทรัพย์ เจือพานิช และ พรรณทิพา เมียงแก. (2563). การผลิตเชื้อเพลิงอัดเม็ดจากขุยมะพร้าวผสมชีวมวลเหลือทิ้ง. **PSRU Journal of Science and Technology**. 5(3), 112-126.
- [5] อีรตนัย อภิสิทธิ์สันติกุล, อภิวัฒน์ หวันแดง และอรอนงค์ วงศ์วัฒนา. (2563). การศึกษาระบบแยกขี้เถ้า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.
- [6] นฤมล ภาณุนำงาม วิฑิตภรณ์ บุญแย้ม เบญจมาภรณ์ วงศ์คำจันทร์ เบญจวรรณ จุลจุฬา เฉลิมพล สุขสี เพ็ญ อูร์ริักษ์. (2559). **เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดพลังงานทดแทนที่สะอาด**. สำนักงานวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้. สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2564, จาก <http://forprod.forest.go.th>
- [7] วิชรากร ไจตรง. (2561). **ผลการเผาไหม้ชีวมวลโดยตรงในเตาเผาเชื้อเพลิงระบบหัวเผาจากการอัดอากาศของพัดลมทอยโข่ง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศกกรม.
- [8] ธนวัฒน์ วงศ์แพทย์. (2559). **เตาอบผลปาล์มร่วนแบบถักหมุนแนวนอนด้วยลมร้อนจากเตาแก๊สซีฟายเออร์**. โครงการสิ่งประดิษฐ์คนรุ่นใหม่กลุ่มวิจัยและพัฒนานวัตกรรมมาชีวศึกษา. วิทยานิพนธ์ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง. วิทยาลัยเทคนิคคนทบุรี.
- [9] ชัยชนะ มะปูละ. (2559). **หัวเผาแบบใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง**. จากโครงการความร่วมมือเพิ่มมูลค่าสิ่งประดิษฐ์สู่การใช้ประโยชน์ (co-funding). วิทยานิพนธ์ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง. วิทยาลัยเทคนิคธนบุรี.
- [10] James, A. M., Yuan, W., Boyette, M. D., and Wang, D. (2015). The Effect of Air Flow Rate and Biomass Type on the Performance of an Updraft Biomass Gasifier. **BioResources**. 10(2), 3615-3624.
- [11] ชินภัทร อรุณการ. (2558). **การพัฒนาหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลในหม้อน้ำอุตสาหกรรม**. วิทยานิพนธ์ วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- [12] พงศนันท์ แก่นพรม, นิวัฒน์ สุขสาม, จารุวัตร เจริญสุข และณัฏวิภา เจียรระโนวชิระ. (2559). **การตรวจสอบประสิทธิภาพของการไหลหมุนควงในหัวเผาเชื้อเพลิงชีวมวลผง สำหรับหม้อไอน้ำในอุตสาหกรรมด้วยวิธีการจำลองเชิงตัวเลข**. วิทยานิพนธ์ วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- [13] M.M. Noor, Andrew P.W., and Talal Y. (2013). DESIGN AND DEVELOPMENT OF MILD COMBUSTION BURNER. **Journal of Applied Sciences**. 5, 662-676.

การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด สู่ผลิตภัณฑ์กระถางชีวภาพที่เป็นมิตรกับ
สิ่งแวดล้อม

Adding the Value to Peel, Leaves, Shell and Corncob into Environmentally Friendly
Bio-pot Products

ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี^{1*} ทิพารัตน์ สหตรงจิตร² และ ลักขณา พันธุ์แสนศรี³
Tammajak Punsasensri^{1*} Tiparad Sahatrongjit² and Lukkhana Punsasensri³

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

² กลุ่มศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

³ สาขาวิชาการตลาด มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่ 54140

¹ Forest Industry Technology, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140

² Education, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140

³ Marketing, Maejo University Phrae Campus, Phrae 54140

*Corresponding author: Tel.: 092 541 4498. E-mail address: tammajak@mju.ac.th

Received: 12 July 2021, Revised: 24 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 December 2022

Abstract

The objective of this study is to add the value to peel, leaves, shell, and corncob into environmentally friendly bio-pot products. Studying the mixing ratio, natural adhesives, and suitable conditions to produce bio-pots from peel, leaves, shell, and corncob. Analyze the cost and economic worth of bio-pots from peel, leaves, shell, and corncob.

The results show that the pot compression mold is suitable for compression at 1,000 psi, which is the pressure that makes it possible to extrusion the bio pot into a complete shape. There are 10 experiments in the experiment of extrusion of bio-pots and the perfect shape of bio-pots. The mixture ratio of peel to leaves to shell to corncob at 1:2:1:1 and 2:1:1:1 was found to be the ratio capable of extruding the fully shaped bio-pot in all experiments. The ratio of material 2:1:1:1 and at 30 seconds was the experiment with the highest porosity and strength of bio-pots, 89.45% and 1.32 kN respectively. The ratio of the material to the porosity and the strength difference are statistically significant. But the ratio of biomass ash and time gave similar porosity values and had no effect on porosity and intensity. Bio-pots have the characteristics of physical deterioration at the bottom of the pot and will gradually decay gradually until about 3 months, which requires the seedlings grown in the bio-pots to grow before 3 months. The production of 4, 6 and 8 in. bio-pots will be able to produce 30, 20 and 10 piece/day, respectively. The cost per unit is 13.00, 19.65 and 39.10 baht/piece, respectively and the breakeven point is at 0.20, 0.13 and 0.22 years respectively.

Keywords: Bio-pot Products, Corn, Environmental

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด สู่ผลิตภัณฑ์กระถางชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยศึกษาอัตราส่วนผสม ตัวเชื่อมประสาน และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระถางชีวภาพจากต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด วิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของผลิตภัณฑ์กระถางชีวภาพจากต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด

ผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่า แรงอัดขึ้นรูปกระถางที่เหมาะสมคือแรงอัดที่ 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นแรงดันที่ทำให้สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพเป็นรูปทรงที่สมบูรณ์ การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้และกระถางชีวภาพที่มีรูปทรงสมบูรณ์มีทั้งหมด 10 การทดลอง ซึ่งอัตราส่วนผสมของต้นข้าวโพดต่อใบข้าวโพดต่อเปลือกข้าวโพดต่อซังข้าวโพดที่ 1:2:1:1 และ 2:1:1:1 พบว่าเป็นอัตราส่วนที่สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพที่มีรูปร่างสมบูรณ์ครบทุกการทดลอง อัตราส่วนของวัสดุ 2:1:1:1 และที่เวลา 30 วินาที เป็นการทดลองที่มีค่าความพรุนและค่าความแข็งแรงของกระถางชีวภาพสูงที่สุด คือ 89.45% และ 1.32 kN ตามลำดับ อัตราส่วนของวัสดุให้ผลค่าความพรุนและค่าความแข็งแรงที่แตกต่างกัน แต่อัตราส่วนของถั่วเขียวและเวลาให้ผลค่าความพรุนที่ใกล้เคียงกันและไม่มีผลต่อความพรุนและค่าความแข็งแรง กระถางชีวภาพมีลักษณะของการเสื่อมสภาพทางกายภาพบริเวณก้นกระถาง และจะค่อย ๆ ฝุพังไปที่ละนิดจนถึงระยะเวลาประมาณ 3 เดือน ซึ่งจะต้องนำถั่วเขียวที่เพาะในกระถางชีวภาพลงดินปลูกก่อนครบ 3 เดือน การผลิตกระถางชีวภาพขนาด 4, 6 และ 8 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 30, 20 และ 10 ใบต่อวัน ตามลำดับ มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 13.00, 19.65 และ 39.10 บาทต่อใบ ตามลำดับ และจะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 0.20, 0.13 และ 0.22 ปี ตามลำดับ

คำสำคัญ: กระถางชีวภาพ ข้าวโพด สิ่งแวดล้อม

บทนำ

ปัญหาหมอกควันที่เกิดขึ้นและปกคลุมพื้นที่ภาคเหนือตอนบนในช่วงต้นปีถือว่าเป็นประเด็นที่เกิดขึ้นติดต่อกันมาหลายปีแล้ว แต่ปัญหานี้ก็ยังไม่ได้มีการแก้ไขกันอย่างจริงจัง จนกลายเป็นวัฏจักรของมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นทุกปี โดยมีสาเหตุหลักมาจากการเผาป่าและการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ในภาคการเกษตร เพื่อกำจัดและเตรียมพื้นที่เพาะปลูก นอกจากนี้สภาวะอากาศที่นิ่งทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานโดยไม่ตกลงสู่พื้นดิน อีกทั้งในช่วงต้นปีประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากร่องความกดอากาศสูงที่พัดผ่านพื้นที่ตอนบนของประเทศ ส่งผลให้หลายพื้นที่มีอากาศหนาวเย็นอย่างต่อเนื่อง สภาพความกดอากาศสูงและอุณหภูมิที่ต่ำก่อให้เกิดหมอกในตอนเช้า และเมื่อหยดน้ำในอากาศรวมตัวกับฝุ่นละอองและสารมลพิษในอากาศ จึงเกิดเป็นลักษณะของหมอกควันขึ้น ทำให้เกิดสภาพฟ้าหาว ซึ่งส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัยและสุขภาพ โดยจังหวัด ที่ได้รับผลกระทบจากหมอกควัน ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน แพร่ น่าน และ พะเยา

และการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อกำจัดและเตรียมพื้นที่เพาะปลูกนั้น ส่วนหนึ่งมาจากการปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และขบวนการเพาะปลูกส่วนใหญ่จะเผาทำลายข้าวโพดเพื่อเตรียมการเพาะปลูกรอบใหม่ จากการรวบรวมข้อมูล [1] พบว่า การปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในช่วง 3 ปีที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า และจากข้อมูลจากสมาคมผู้ผลิตอาหารสัตว์ก็เป็นไปในทิศทางเดียวกันว่า มีความต้องการอาหารสัตว์เพิ่มมากขึ้นทุกปี จาก 9.6 ล้านตันในปี 2543 เป็น 14.32 ล้านตันในปี 2554 เช่นเดียวกับข้อมูลความต้องการใช้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อผลิตอาหารสัตว์ พบว่ามีความต้องการข้าวโพดจาก 4.5 ล้านตันในปี 2543 เป็น 5.6 ล้านตันในปี 2555 ซึ่งทั้งในอนาคตยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณการผลิตให้สูงขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ประกอบการและผู้บริโภค สาเหตุดังกล่าวนี้เองที่ทำให้เกษตรกรหลายรายหันมาปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มากขึ้น สิ่งตามมาหลังจากการเก็บเกี่ยวข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แล้วก็คือ ลำต้น ใบ เปลือกและ

ซังข้าวโพด ซึ่งปัจจุบันในแต่ละพื้นที่ถูกกองเป็นภูเขาไว้เป็นจำนวนมาก ดังภาพที่ 1 และบางพื้นที่กำจัดด้วยวิธีการเผา ดังภาพที่ 2 การเผาทำลายต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด ส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพอากาศ โดยกรมควบคุมมลพิษได้ระบุว่าค่าการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็กหรือ PM 10 จากการเผาวัสดุดังกล่าว มีค่า 7 กิโลกรัมทุก 1,000 กิโลกรัมของเศษวัสดุ ดังกล่าวที่ถูกเผาไหม้ ถึงแม้ว่าเศษวัสดุเหล่านี้จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น การผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์ การผลิตถ่านอัดแท่ง การทำเป็นอาหารสัตว์ เป็นต้น แต่ก็ยังไม่ได้รับความนิยมจากเกษตรกรมากนัก ทั้งนี้อาจจะมีปัจจัยหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจ เช่น การลงทุน ขั้นตอนการผลิต มูลค่าที่เพิ่มขึ้น การตลาด ฯลฯ



ภาพที่ 1 ต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพดหลังการเก็บเกี่ยว



ภาพที่ 2 การจัดการต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพดหลังการเก็บเกี่ยวด้วยวิธีการเผา

จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า พบว่า มีการประยุกต์ใช้วิธีการหรือเทคโนโลยี เพื่อหาแนวทางในการนำมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ทรงชัย ชุ่มภิรมย์ [2] ได้ศึกษาการจัดการการกำจัดใบไม้เพื่อลดมลพิษทางอากาศช่วงวิจัยพัฒนาต้นแบบฤดูแล้งในเขตพื้นที่ลุ่ม พบว่าการเก็บใบไม้แบบใส่ในถุงดำมีต้นทุนที่ถูกที่สุดคือ 1097.54 บาท รองลงมาคือการเก็บแบบอัดก้อนคือ 1338.54 บาท และการเก็บในคอกไม้ไผ่คือ 1477.08 บาท ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายใบไม้ในการทำปุ๋ยหมักจากใบไม้ 100 กิโลกรัม ในทุกกรรมวิธี น้ำหนักปุ๋ยหมักลดลงเฉลี่ย 26.50 กิโลกรัม พบว่าวิธีอัดก้อน และวิธีหมักในคอกไม้ไผ่ น้ำหนักปุ๋ยหมักลดลงเฉลี่ย 29.75 กิโลกรัม ส่วนวิธีหมักในถุงดำ น้ำหนักปุ๋ยหมักลดลงเฉลี่ย 20 กิโลกรัม ซึ่งทั้ง 3 กรรมวิธีไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ต่อมา เตือนใจ ปิยง และคณะ [3] ได้ศึกษาการผลิตกระถางต้นไม้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจาก กากตะกอนน้ำมันปาล์ม และวัสดุ เหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด พบว่า ค่าการดูดซับน้ำ ค่าการพองตัว ค่าความพรุน และการเสื่อมสภาพของกระถางต้นไม้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของวัสดุผสมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาคุณสมบัติกระถางต้นไม้ที่อัตราส่วนผสมที่ 1:4 เหมาะต่อการขึ้นรูปได้ดี และคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดโดยมีค่าการดูดซับน้ำ 91.18 ± 1.33 เปอร์เซ็นต์ ค่าการพองตัว 91.67 ± 1.11 เปอร์เซ็นต์ ค่าความพรุน 79.00 ± 3.25 เปอร์เซ็นต์ และมีการเสื่อมสภาพของกระถางต้นไม้ย่อยสลายได้ช้าที่สุด ต่อมา ปิ่นประภา โสมากุล และ สิริณารี เงินเจริญ [4] ได้ศึกษากระถางเพาะชำที่ย่อยสลายได้จากขุยมะพร้าว

และขุยมะพร้าว พบว่า อัตราส่วนระหว่างขุยมะพร้าวและขุยมะพร้าวเท่ากับ 10:90 เหมาะสมต่อการใช้งานเป็นกระถางเพาะชำที่ย่อยสลายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับชิ้นงานที่ขึ้นรูปแบบแผ่น โดยมีระยะเวลาแห้งของตัวอย่างชิ้นงาน เท่ากับ 5 วัน น้ำหนักเฉลี่ย 9.25 ± 0.67 กรัม และให้ผลทดสอบคุณสมบัติทางเคมีสอดคล้องกับผลทดสอบชิ้นงานแบบแผ่น นอกจากนี้ พบว่าต้นทุน การผลิตต่อหน่วย 2.77 บาท ซึ่งต่ำกว่ากระถางเพาะชำขนาดเดียวกันด้วย เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า โดยการทำเป็นกระถางจากวัสดุธรรมชาติหรือวัสดุที่ย่อยสลายได้ทดแทนการใช้พลาสติกในการเพาะชำต้นไม้เป็นแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและลดปริมาณการใช้กระถางพลาสติกหรือถุงเพาะชำพลาสติกได้ จากการสำรวจข้อมูลวัสดุที่สามารถนำมาใช้ผลิตเป็นกระถางเพาะชำที่ย่อยสลายได้ ส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่มีเส้นใยที่ช่วยในการยึดเกาะ เพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับกระถางที่และยืดอายุการใช้งาน ของกระถาง เหมาะกับช่วงเวลาในการเพาะกล้าต้นไม้ก่อน นำไปปลูกลงดิน ตัวอย่างวัสดุที่สามารถนำมาผลิตกระถางชีวภาพได้ เช่น ขุยมะพร้าว ฟางข้าว และผักตบชวา

ด้วยเหตุผลสำคัญข้างต้น จึงกำหนดงานวิจัยนี้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการเพิ่มมูลค่าให้กับต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด สู่ผลิตภัณฑ์กระถางชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีคุณสมบัติที่เหนียวและมีเส้นใยในปริมาณมาก ในขณะเดียวกัน ยังมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี [5] จากคุณสมบัติดังกล่าว จึงเป็นที่มาของแนวทางการวิจัยเพื่อนำต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด มาทดสอบและทดลองผลิตเป็นกระถางปลูกพืช ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด ลดปริมาณการใช้พลาสติก และลดการกำจัดด้วยวิธีการเผา ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาของคนที่ต้องทิ้งและยังเป็นการพัฒนาทรัพยากรที่มีอยู่ให้มั่นคงและยั่งยืนต่อไปซึ่งการศึกษานี้จะสามารถตอบโจทย์ของชุมชนได้ทั้งเรื่อง การจัดการ การนำไปใช้ประโยชน์ การเพิ่มรายได้และสิ่งแวดล้อมในชุมชน

วิธีการวิจัย

กรอบดำเนินการวิจัย (Concept Idea) การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด สู่ผลิตภัณฑ์กระถางชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กรอบดำเนินการวิจัย

ในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด สู่ผลิตภัณฑ์กระถางชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีวิธีการวิจัยดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมการและขึ้นรูปกระถางชีวภาพ โดยศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการอัดขึ้นรูปกระถางเครื่องอัดขึ้นรูป ออกแบบแม่พิมพ์กระถาง และวางแผนการทดลอง

2. ขั้นตอนการออกแบบตารางลาตินสแควร์ เพื่อหาอัตราส่วนระหว่างต้น ใบ เปลือก ซังข้าวโพด ที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปเป็นกระถางชีวภาพ โดยในการขึ้นรูปของกระถางต้นไม้นี้โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองแบบลาตินสแควร์ [6-7] ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่างวัสดุจากต้น ใบ เปลือก ซังข้าวโพด 5 อัตราส่วน ได้แก่ ต้นข้าวโพดต่อใบข้าวโพดต่อเปลือกข้าวโพดต่อซังข้าวโพด เท่ากับ 1:1:1:1, 1:1:1:2, 1:1:2:1, 1:2:1:1 และ 2:1:1:1 และอัตราส่วนวัสดุทำกระถางต่อซีเมนต์ชีวมวล คือ 1:0.25, 1:0.50, 1:0.75 และ 1:1 โดยใช้ตัวประสานเป็นแป้งมันสำปะหลัง ใช้แรงดันในการขึ้นรูปกระถาง ได้แก่ 500, 1,000, 1,500, 2,000 และ 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พร้อมทั้งศึกษาผลของแรงดันและระยะเวลาที่ใช้ต่อการอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ ใช้แม่พิมพ์กระถางชีวภาพ 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด 4, 6 และ 8 นิ้ว

ตารางที่ 1 ภาวะการขึ้นรูปกระถางชีวภาพ โดยออกแบบการทดลองแบบลาตินสแควร์

อัตราส่วนของต้นข้าวโพดต่อใบข้าวโพดต่อเปลือกข้าวโพดต่อซังข้าวโพด	ระยะเวลาในการขึ้นรูปกระถาง (วินาที)				
	อัตราส่วนของวัสดุทำกระถางต่อซีเมนต์ชีวมวล				
	1:0.2	1:0.4	1:0.6	1:0.8	1:1
1:1:1:1	A1	A2	A3	A4	A5
1:1:1:2	A6	A7	A8	A9	A10
1:1:2:1	A11	A12	A13	A14	A15
1:2:1:1	A16	A17	A18	A19	A20
2:1:1:1	A21	A22	A23	A24	A25

โดยที่ A1, A7, A13, A19 และ A25 = เวลา 15 วินาที
 A5, A6, A12, A18 และ A24 = เวลา 20 วินาที
 A4, A10, A1, A17 และ A23 = เวลา 25 วินาที
 A3, A9, A15, A16 และ A22 = เวลา 30 วินาที
 A2, A8, A14, A20 และ A21 = เวลา 10 วินาที

3. ขั้นตอนการเตรียมวัสดุและหาขนาดวัสดุ โดยเตรียมต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด และกาวแป้งเปียก โดยนำวัสดุ ได้แก่ ต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด มาสับย่อยให้ละเอียด (ขนาด 1-3 มม. ดังภาพที่ 4) จากนั้นต้น ใบ เปลือก และซังข้าวโพด มาคัดแยกเศษที่มีขนาดใหญ่ออก

4. ขั้นตอนการเตรียมตัวเชื่อมประสาน โดยนำแป้งมันสำปะหลังและน้ำมาผสม เพื่อทำกาวแป้งเปียกโดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 500 กรัม ต่อ น้ำ 1.5 ลิตร นำไปตั้งไฟและเคี่ยวจนเป็นกาวแป้งเปียกแบบข้นหนืด (ภาพที่ 4)



ก. ลำต้นและใบข้าวโพด ข. เปลือกข้าวโพด ค. ชังข้าวโพด. ง. กาวแป้งเปียก

ภาพที่ 4 ต้น ใบ เปลือกและชังจากข้าวโพดที่ถูกสับละเอียด และลักษณะกาวแป้งเปียก

5. ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ โดยออกแบบและสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพให้มีขนาด 20x70x120 ซม. มีเกจสำหรับวัดแรงดัน เครื่องอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพเป็นระบบไฮดรอลิคแบบมือโยก

6. ขั้นตอนการขึ้นรูปกระถางชีวภาพ โดยการนำวัสดุผสมตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ คลุกเคล้าให้เนื้อเข้ากัน เป็นหนึ่งเดียว จำนวน 2 กก. มาผสมกับกาวแป้งเปียกที่เตรียมไว้คลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน นำพลาสติกวางในแม่พิมพ์ตัวนอก นำวัสดุที่ผสมกาวแป้งเปียกแล้วใส่ลงในแม่พิมพ์ ให้เต็มแม่พิมพ์ นำพลาสติกหุ้มแม่พิมพ์ตัวในแล้วนำไปวางบนวัสดุที่อยู่ในแม่พิมพ์ตัวนอก กดลงเล็กน้อย จากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิคแรงอัด 500, 1000, 1,500, 2,000 และ 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที เมื่ออัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพตามแรงอัดและระยะเวลาที่กำหนดไว้แล้ว นำแม่พิมพ์ตัวในออกจากแม่พิมพ์ตัวนอก แล้วค่อย ๆ ดึงพลาสติกออก จะได้กระถางชีวภาพที่มีผิวเรียบและไม่ติดกับแม่พิมพ์ สุดท้ายนำกระถางชีวภาพที่ขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อยแล้วมาผึ่งแดดให้แห้ง ภาพรูปที่ 5 และ 6



ก. เทกาวแป้งเปียกลงถึงผสม ข. ผสมกาวแป้งเปียกกับวัสดุให้เป็นเนื้อเดียวกัน ค. นำวัสดุที่ผสมใส่ในแม่พิมพ์และอัดขึ้นรูป

ภาพที่ 5 การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ



ก. เกาะกระถางออกจากแม่พิมพ์ ข. นำกระถางไปตากแดด ค. กระถางสามารถนำไปเพาะต้นไม้ได้

ภาพที่ 6 นำกระถางไปตากแดดและใช้ในการเพาะกล้าต้นไม้

7. ขั้นตอนการทดสอบและวิเคราะห์ผล โดยวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการขึ้นรูปของกระถางชีวภาพ เช่น อัตราส่วนระหว่างวัสดุจากต้น ใบ เปลือก และซึ่งข้าวโพดชนิดของตัวประสาน ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปกระถาง เป็นต้น ทดสอบสมบัติของกระถาง

การหาความหนาแน่น เพื่อเป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของชิ้นงาน โดยตัดชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปแล้ว ให้มี ขนาดกว้าง 4 cm ยาว 6 cm หนา 2 mm แล้วหา ปริมาตร หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักของชิ้นงานและ บันทึกลง ทำซ้ำจำนวน 3 ชิ้น นำไปหาค่าเฉลี่ย โดยค่าความหนาแน่นของชิ้นงานสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น (g/cm^3), m =มวล(g) และ V =ปริมาตร (cm^3)

การหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ใช้ตามมาตรฐาน ABNT NM ISO535 โดยตัด ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปแล้ว ให้มีขนาดกว้าง 4 cm ยาว 6 cm ทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงาน ก่อนทดสอบ จากนั้นนำชิ้นงานแช่ในน้ำเปล่าที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วินาที แล้วนำขึ้นมาชั่งน้ำหนัก หลังการทดสอบ บันทึกน้ำหนักทั้งก่อนและหลังแช่น้ำ ทำซ้ำ จำนวน 3 ชิ้น นำไปหาค่าเฉลี่ย โดยค่าร้อยละการซึมน้ำคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\% \text{ water absorption} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ % water absorption = เปอร์เซ็นต์การซึมน้ำ, m_1 = มวลก่อนแช่น้ำ (g) และ m_2 = มวลหลังแช่น้ำ (g)

การพองตัวของกระถางตามความหนา (มอก. 876-2547) ได้กำหนดจำนวนทำซ้ำไว้ที่ 3 ใบ เพื่อสุ่มตัวอย่างนำไป ทดสอบคุณสมบัติด้านการพองตัว ตัดชิ้นทดสอบขนาด 5.0 x5.0 เซนติเมตร จากนั้นทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนา และ วัดความหนาของชิ้นทดสอบเป็นความหนาของก่อนแช่น้ำ และแช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแช่ชิ้น ทดสอบครบ 1 ชั่วโมง รีบนำชิ้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยให้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ ดูดซึมน้ำ ปล่อยให้ชิ้นทดสอบไว้อีก 60 วินาที นำชิ้นทดสอบขึ้นมาวัดความหนาตาม ตำแหน่งเดิมเป็น ความหนาหลังแช่น้ำ สูตรดังต่อไปนี้

$$\% \text{ Thickness swelling} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ % Thickness swelling = เปอร์เซ็นต์การพองตัวของกระถางตามความหนา, t_1 = ความหนาของตัวอย่างก่อนแช่น้ำ (g) และ t_2 = ความหนาของตัวอย่างหลังแช่น้ำ (g)

การวัดความพรุนของกระถางชีวภาพ ซึ่งต้องมาทำการทดลองเพื่อหาความพรุนของกระถางต้นไม้ ดังนี้

การหาความหนาแน่นรวม นำกระถางต้นไม้ที่ตากแห้ง หรืออบเรียบร้อยแล้ว มาตัดเป็นชิ้นขนาด 5.00 x 5.00 เซนติเมตร บันทึกน้ำหนักชิ้นส่วนที่ได้วัดขนาดชิ้นส่วนเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาตรของชิ้นส่วนกระถาง และคำนวณหา ความหนาแน่นรวมของชิ้นส่วนกระถาง ในสมการที่ 4

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \text{ปริมาตรชิ้นส่วนกระถาง} \quad (4)$$

การหาความหนาแน่นของวัสดุ ซึ่งขนาดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่แห้งและสะอาด บันทึกผล นำขึ้นตัวอย่างของกระถางชีวภาพข้างต้นมาบดให้ละเอียดแล้วบรรจุ ลงในขวดปรับปริมาตร ซึ่งน้ำหนักปริมาตรอีกครั้ง บันทึกผล เติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร ลงในขวด ปรับปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน นำขวดปรับปริมาตรไปอุ่นในอ่างควบคุมอุณหภูมิพร้อมกับไซ้ที่จับ หลอดทดลองจับที่คอขวดปรับปริมาตร เพื่อเขย่าในขณะที่ขวดอุ่น เมื่อไอปรากฏให้อุ่นต่อไปอีก 2-3 วินาที หลังจากนั้นนำขวดปรับปริมาตรไปตั้งไว้ที่อ่างน้ำคว่ำบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร ลงที่ปากขวด ปรับปริมาตรแล้วปล่อยน้ำเย็นให้ไหลเบา ๆ ลงที่ก้นบีกเกอร์จนกระทั่งขวดปรับปริมาตรเย็นลง เติมน้ำลงในขวดปรับปริมาตรจนถึงขีดขอกความจุใช้ผ้าเช็ดขวดปรับปริมาตรให้แห้งแล้วนำไปชั่งอีกครั้ง บันทึกผล [8] เทวัสดุในขวดทิ้งทั้งหมด ล้างขวดให้สะอาด นำไปคว่ำให้แห้ง เติมน้ำกลั่นจากบิวเรตลงในขวดปรับปริมาตร ปริมาตรนี้คือความจุของขวดปรับปริมาตร (V_F) หาน้ำหนักของวัสดุ (m_s) จากสมการที่ 5

$$m_s = m_2 - m_3 \quad (5)$$

หาปริมาตรของวัสดุ (V_s) จากสมการที่ 6 และ 7

$$V_w = m_3 - m_2 / \rho_{\text{อุณหภูมิน้ำที่ทำการทดลอง}} \quad (6)$$

$$V_s = V_F - V_w \quad (7)$$

โดยที่ V_s = ปริมาตรของวัสดุ (m^3) และ V_w = ปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยวัสดุ (m^3)

จากนั้นสามารถคำนวณค่าความหนาแน่นของวัสดุได้ จากสมการที่ 8

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (8)$$

เมื่อ ρ_s = ความหนาแน่นของวัสดุ (g/cm^3), m_s =มวลของวัสดุ (g) และ V_s =ปริมาตรของวัสดุ (cm^3)

การคำนวณหาความพรุน จากสมการที่ 9

$$\varepsilon = 1 - ((\rho_b / \rho_s) \times 100) \quad (9)$$

เมื่อ ε =ความพรุน, ρ_s =ความหนาแน่นของวัสดุ (g/cm^3). และ ρ_b =ความหนาแน่นรวมของกระถางชีวภาพ (g/cm^3)

8. ขั้นตอนการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดเชิงเศรษฐศาสตร์ คือ ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และต้นทุนในการผลิตต่อหน่วย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ตัวแปรที่มีผลต่อการขึ้นรูปกระถางชีวภาพ โดยกำหนดเงื่อนไขของการทดลองเป็นแบบตารางลาตินสแควร์

จากการทดลองอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ พบว่า แรงอัดขึ้นรูปกระถางที่เหมาะสมคือแรงอัดที่ 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นแรงดันที่ทำให้สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพเป็นรูปทรงที่สมบูรณ์ ไม่หนาจนเกินไปและไม่บางจนเกินไป ส่วนแรงอัดที่ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กระถางชีวภาพจะมีความหนาเกินไปและวัสดุผสมไม่ค่อยจับตัวกัน ส่วนแรงอัดที่ 1,500, 2,000 และ 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ส่งผลให้กระถางชีวภาพมีความบางจนไม่สามารถทำให้วัสดุผสมจับตัวกันและกระถางไม่เป็นรูปทรงสมบูรณ์

การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ ซึ่งใช้เงื่อนไขการทดลองแบบลาตินสแควร์โดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยระบบไฮดรอลิก พบว่า การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพที่มีรูปทรงสมบูรณ์มีทั้งหมด 10 การทดลอง คือ อัตราส่วนผสมที่ 1:2:1:1 และ 2:1:1:1 ซึ่งสามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้รูปทรงที่สมบูรณ์ครบทุกการทดลอง ส่วนการทดลองที่ไม่สามารถอัดขึ้นรูปทรงกระถางชีวภาพได้มี 15 การทดลอง โดยแบ่งออกเป็นสองกลุ่มคือ 1) สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้แต่รูปทรงกระถางไม่สมบูรณ์ คือ อัตราส่วนผสมที่ 1:1:1:1, และ 1:1:2:1 และ 2) ไม่สามารถอัดขึ้นรูปทรงกระถางชีวภาพได้ คือ อัตราส่วนที่ 1:1:1:2 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการขึ้นรูปกระถางชีวภาพที่สภาวะต่าง ๆ แรงดันในการอัดขึ้นรูป 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

อัตราส่วนของต้นข้าวโพดต่อใบ ข้าวโพดต่อเปลือกข้าวโพดต่อซัง ข้าวโพด	ผลของการอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ				
	อัตราส่วนของวัสดุทำกระถางต่อซีเมนต์				
	1:0.2	1:0.4	1:0.6	1:0.8	1:1
1:1:1:1	M	B	M	M	M
1:1:1:2	B	B	B	B	B
1:1:2:1	M	M	M	B	M
1:2:1:1	G	G	G	G	G
2:1:1:1	G	G	G	G	G

หมายเหตุ G คือ การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้รูปทรงสมบูรณ์, M คือ การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้รูปทรงไม่สมบูรณ์ และ B คือ การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพไม่ได้รูปทรง

ความพรุนของกระถางชีวภาพ พบว่า การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพที่อัตราส่วนผสมของวัสดุ 2:1:1:1 และที่เวลา 30 วินาที เป็นการทดลองที่มีค่าความพรุนของกระถางชีวภาพสูงที่สุด คือ 89.45% ซึ่งจากการสังเกตเห็นว่าอัตราส่วนผสมนี้ยังเป็นอัตราส่วนที่สามารถทำการทดลองขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้ถึง 5 การทดลอง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความพรุนของกระถางชีวภาพที่การทดลองต่าง ๆ แรงดันในการอัดขึ้นรูป 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

อัตราส่วนของต้นข้าวโพดต่อใบ ข้าวโพดต่อเปลือกข้าวโพดต่อซัง ข้าวโพด	ความพรุนของกระถางชีวภาพ				
	อัตราส่วนของวัสดุทำกระถางต่อซีเมนต์				
	1:0.2	1:0.4	1:0.6	1:0.8	1:1
1:1:1:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:1:1:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:1:2:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:2:1:1	87.34	85.96	86.36	85.68	84.11
2:1:1:1	86.86	89.45	87.07	85.81	87.98

หมายเหตุ ค่า 0.00 คือ การทดลองที่ไม่สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้

ความแข็งแรงของกระถางชีวภาพ พบว่า การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพที่อัตราส่วนผสมของวัสดุ 2:1:1:1 โดยใช้กาวแป้งเปียก (แป้งมันสำปะหลังต่อน้ำเท่ากับ 500 g : 1.5 l) เป็นการทดลองที่มีค่าความแข็งแรงของกระถางชีวภาพสูงสุด คือ 1.32 kN ซึ่งจากการสังเกตเห็นว่าอัตราส่วนผสมนี้ยังเป็นอัตราส่วนที่สามารถทำการทดลองอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้ครบทุกการทดลองอีกด้วย ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความแข็งแรงของกระถางชีวภาพที่การทดลองต่าง ๆ

อัตราส่วนของต้นข้าวโพดต่อใบ ข้าวโพดต่อเปลือกข้าวโพดต่อขัง ข้าวโพด	ความแข็งแรงของกระถางต้นไม้ (kN)				
	อัตราส่วนของวัสดุทำกระถางต่อซี่ไม้รวก				
	1:0.2	1:0.4	1:0.6	1:0.8	1:1
1:1:1:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:1:1:2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:1:2:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1:2:1:1	1.01	1.28	1.16	1.08	1.10
2:1:1:1	1.20	1.32	1.14	1.25	1.19

หมายเหตุ ค่า 0.00 คือ การทดลองที่ไม่สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากค่าความพรุนและความแข็งแรงที่ได้ นำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS และทำการเปรียบเทียบหาสถานะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพ พบว่า ค่า sig. ของอัตราส่วนของวัสดุเท่ากับ 0.015 น้อยกว่า 0.05 ($p < 0.05$) แสดงว่าความแตกต่างของค่าความพรุนเนื่องจากอัตราส่วนของวัสดุมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนอัตราส่วนของไม้รวกและเวลาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่าอัตราส่วนของวัสดุให้ผลค่าความพรุนที่แตกต่างมาก แต่อัตราส่วนของไม้รวกและเวลาให้ผลค่าความพรุนที่ใกล้เคียงกันหรือไม่มีผลต่อความพรุน และ ค่า sig. ของอัตราส่วนของวัสดุเท่ากับ 0.001 น้อยกว่า 0.05 ($p < 0.05$) จึงแสดงว่าความแตกต่างของค่าความแข็งแรงเนื่องจากอัตราส่วนของวัสดุมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนอัตราส่วนของไม้รวกและเวลาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่าอัตราส่วนของวัสดุให้ผลค่าความแข็งแรงที่แตกต่างมาก แต่อัตราส่วนของไม้รวกและเวลาให้ผลค่าความแข็งแรงที่ใกล้เคียงกันหรือไม่มีผลต่อความแข็งแรง รายละเอียดในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความพรุนและความแข็งแรง

ตัวแปร	ความพรุน				ความแข็งแรง			
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
อัตราส่วนของวัสดุ	4.006	4	20	0.015	7.145	4	20	0.001
อัตราส่วนของไม้รวก	0.18	4	20	0.999	0.346	4	20	0.844
เวลา	0.005	4	20	1.00	0.063	4	20	0.992

การตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของกระถางชีวภาพ

การตรวจสอบโครงสร้างของกระถางชีวภาพที่ทำการอัดขึ้นรูปได้ทั้งหมด 10 การทดลอง ทำการศึกษาทั้งด้านข้างและด้านล่างโดยใช้เครื่อง Stereomicroscope พบว่า วัสดุยึดเกาะกันได้ดี มีความละเอียดหยาบต่างกัน ทำให้กระถางชีวภาพที่ได้มีความพรุนที่ต่างกัน และไม่มีรอยแตกร้าวของกระถางชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนของวัสดุต่าง ๆ พบว่า ตัวอย่างกระถางที่มีความพรุนมากจะมีลักษณะเส้นใยหยาบ มีรูระหว่างเส้นใยขนาดใหญ่ ส่วนกระถางที่มีความพรุนน้อยจะมีลักษณะเส้นใยละเอียดมีรูระหว่างเส้นใยขนาดเล็ก เช่น กระถางชีวภาพจากอัตราส่วนของต้นข้าวโพดต่อใบข้าวโพดต่อเปลือกข้าวโพดต่อขังข้าวโพด ที่ 2:1:1:1 และ 1:2:1:1 ซึ่งมีรูพรุนมากที่สุดและมีรูพรุนน้อยที่สุดคือ A22 และ A19 ตามลำดับ ดังภาพที่ 6 และ 7

ผลการทดลองปลูกต้นไม้ในกระถางชีวภาพ

จากการทดลองปลูกต้นไม้เพื่อเปรียบเทียบการแทงราก อายุการใช้งาน และการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพของกระถางชีวภาพ เป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงและถ่ายรูปทุก ๆ สัปดาห์ พบว่า กระถางชีวภาพมีลักษณะของการเสื่อมสภาพทางกายภาพบริเวณก้นกระถางเป็นอันดับแรก เนื่องจากเป็นบริเวณที่รับน้ำจากการรดน้ำต้นไม้ ให้นานที่สุด ซึ่งก้นกระถางชีวภาพจะค่อย ๆ ผุพังไปที่ละนิดจนถึงระยะเวลาประมาณ 3 เดือน ก้นกระถางชีวภาพก็ผุพังลง ดังนั้นกระถางชีวภาพนี้สามารถใช้เพาะกล้าไม้ได้และต้องนำกล้าไม้ที่เพาะในกระถางชีวภาพลงดินปลูกก่อนครบ 3 เดือน เพื่อให้สามารถจับกระถางชีวภาพลงดินปลูกได้ ดังภาพที่ 8 9 และ 10

วิเคราะห์ดัชนีชี้วัดเชิงเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า การผลิตกระถางชีวภาพขนาด 4 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 30 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 13.00 บาทต่อวัน จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 0.20 ปี ส่วนการผลิตกระถางชีวภาพขนาด 6 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 20 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 19.65 บาทต่อวัน จะมีจุดคุ้มทุนที่ 0.13 ปี และการผลิตกระถางชีวภาพขนาด 8 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 10 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 39.10 บาทต่อวัน จะมีจุดคุ้มทุนที่ 0.13 ปี



ภาพที่ 6 โครงสร้างกระถางชีวภาพของการทดลองที่ A22 ที่อัตราส่วนของวัสดุ 2:1:1:1



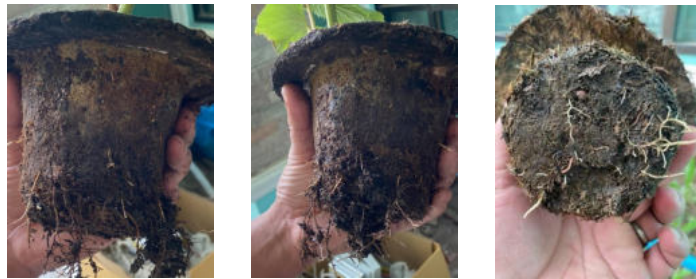
ภาพที่ 7 โครงสร้างกระถางชีวภาพของการทดลองที่ A19 ที่อัตราส่วนของวัสดุ 1:2:1:1



ภาพที่ 8 เพาะทุเรียนด้วยเมล็ด ผักชีฝรั่ง ฟ้าทะเลลายโจร และมะม่วงหาวมะนาวโห่ในกระถางชีวภาพ



ภาพที่ 9 การเปลี่ยนสภาพทางกายภาพบริเวณก้นของกระถางชีวภาพ



ภาพที่ 10 ลักษณะของรากกล้าไม้ที่แทงผ่านกระถางชีวภาพบริเวณก้นกระถาง

วิเคราะห์ดัชนีชี้วัดเชิงเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ จะเห็นได้ว่าการผลิตกระถางชีวภาพขนาด 4 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 30 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 13.00 บาทต่อวัน (รวมค่าวัตถุดิบและค่าแรงงาน) และจะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 0.20 ปี หรือ ประมาณ 2 เดือน 12 วัน ส่วนการผลิตกระถางชีวภาพขนาด 6 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 20 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 19.65 บาทต่อวัน (รวมค่าวัตถุดิบและค่าแรงงาน) จะมีจุดคุ้มทุนที่ 0.13 ปี หรือ ประมาณ 1 เดือน 17 วัน และการผลิตกระถางชีวภาพขนาด 8 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 10 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 39.10 บาทต่อวัน (รวมค่าวัตถุดิบและค่าแรงงาน) จะมีจุดคุ้มทุนที่ 0.13 ปี หรือ ประมาณ 2 เดือน 20 วัน ซึ่งการผลิตกระถางชีวภาพทั้ง 3 ขนาด จะมีจุดคุ้มทุนไม่ถึง 1 ปี

อภิปรายผลการวิจัย

การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพจากต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด ในอัตราส่วน 2:1:1:1 เมื่อได้กระถางชีวภาพจะต้องนำไปตากให้แห้ง เนื่องจากเป็นการอัดขึ้นรูปแบบเย็นและใช้กาวแป้งเปียกเป็นตัวประสาน ทำให้กระถางชีวภาพมีความชื้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำกระถางชีวภาพไปตากให้แห้งเพื่อลดความชื้น [3] วิธีการที่สะดวก คือ การตากแดดโดยตรงซึ่งเป็นวิธีการที่ประหยัด [6] งานวิจัยนี้ พบว่า กระถางชีวภาพจากต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด ในอัตราส่วน 2:1:1:1 ใช้ระยะเวลาในการตากแห้งน้อยที่สุด คือ 3 วัน ระยะเวลาในการตากแห้งของกระถางชีวภาพในทุกอัตราส่วนไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก เมื่อกระถางชีวภาพตัวอย่างแห้ง ไม่มีการแตกร่วน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระถางชีวภาพมีความแข็งแรง มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมกับการเป็นกระถางได้ดี เนื่องจากอัตราส่วนที่เปลี่ยนไป ทำให้เห็นว่าอัตราส่วน 2:1:1:1 นี้ มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมกับการนำมาผลิตกระถางชีวภาพได้ดีที่สุด เนื่องจากกระถางชีวภาพเมื่อนำน้ำหนักเบาทำให้สามารถขนย้ายได้สะดวกเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

ต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด ที่สับย่อยจนมีขนาดเล็ก สามารถผสมเข้ากันได้ดีโดยกาบแปงเปียก ทำให้การขึ้นรูปสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ได้เวลาเฉลี่ยในการขึ้นรูป และจำนวนกระถางที่มีคุณภาพเฉลี่ยที่ดี การลดขนาดของวัตถุดิบและปริมาณความชื้น ซึ่งสอดคล้องกับ Raghavendra and et al. [9] ที่กล่าวว่า ต้องทำการลดขนาดของวัสดุเพื่อให้ง่ายต่อการขึ้นรูป และการลดขนาดของวัสดุสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคุณสมบัติของวัสดุได้อีกด้วย

ต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด มีความพรุนช่วยให้อากาศและของเหลวซึมผ่านได้ง่าย เมื่อน้ำซึมเข้าสู่กระถางชีวภาพสังเกตได้อย่างชัดเจนว่า กระถางชีวภาพที่มีลำต้นข้าวโพดมากสามารถดูดซับน้ำได้มาก จะมีการพองตัวมากด้วย เป็นผลจากน้ำแทรกเข้าไปในเนื้อวัสดุได้มาก ทำให้เกิดการดันตัวของขึ้นส่วนวัสดุออกมา ทำให้เกิดการพองตัวได้มาก [3] เมื่อน้ำแทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ จะทำให้เกิดการเสียสภาพ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ผลิตกระถางชีวภาพทั้ง 4 ส่วนได้แก่ ต้น ใบ เปลือกและซังข้าวโพด คือ เซลลูโลส มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา เส้นใยเหล่านี้มีสมบัติ คือ เมื่อเปียกน้ำ ความเหนียวและความแข็งแรงจะลดลง ถ้าสัมผัสแสงแดดเป็นระยะเวลานาน เส้นใยจะสลายตัว [10] นอกจากนี้กาบแปงเปียกที่ใช้เป็นวัสดุประสานนั้น แม้จะมีสภาพแข็งเมื่อแห้ง แต่ก็จะละลายได้เมื่อสัมผัสน้ำ ดังนั้นกระถางชีวภาพจึงเสื่อมสภาพ โดยมีระยะเวลาความคงตัวและการย่อยสลายที่แตกต่างกันไป

เมื่อทดสอบการพองตัวของกระถางชีวภาพ มีการพองตัวเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการใช้อัตราส่วนผสมของวัสดุ และส่งผลต่อการพองตัวของกระถางชีวภาพ จนทำให้เกิดช่องว่างให้น้ำแทรก เข้าไปอยู่ในชั้นส่วนของกระถางได้มาก จนเกิดการดันตัวของวัตถุดิบออกมา ทำให้เกิดการพองตัวมาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ อำนาจ อมฤก [11], Sanguansuk [12] และKaewchuea&Kiatnukul [13] ที่พบว่าเมื่อนำกระถางต้นไม้จากชีเลื้อยมาทดสอบจะมีปริมาณของช่องว่างวัสดุมากจนทำให้น้ำแทรกเข้าไปในวัสดุและทำให้น้ำเกิดการดันตัวของขึ้นส่วนออกมาจนเกิดการพองตัวได้มากขึ้น

เมื่อทดสอบการย่อยสลายหรือการเสื่อมสภาพของกระถางชีวภาพ จากผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ โดยรดน้ำแต่ละวัน จากการเก็บข้อมูลระยะเวลา 90 วัน (3 เดือน) การเสื่อมสภาพของกระถางชีวภาพทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มการเสื่อมสภาพอย่างช้า ๆ ตามระยะเวลา พิจารณาลักษณะการเสื่อมสภาพของกระถางชีวภาพ มีการแตกเป็นชิ้นและมีความชื้นบริเวณก้นของกระถาง เนื่องจากบริเวณก้นกระถางเป็นบริเวณที่จะรับน้ำมากที่สุด ซึ่งส่งผลให้การเสียรูปร่างของกระถางชีวภาพมากขึ้นด้วย [14]

สรุปผลการวิจัย

1. แรงอัดขึ้นรูปกระถางที่เหมาะสมคือแรงอัดที่ 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นแรงดันที่ทำให้สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพเป็นรูปทรงที่สมบูรณ์ไม่หนาจนเกินไปและไม่บางจนเกินไป
2. การอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้และกระถางชีวภาพที่มีรูปทรงสมบูรณ์มีทั้งหมด 10 การทดลอง ซึ่งอัตราส่วนผสมที่ 1:2:1:1 และ 2:1:1:1 เป็นอัตราส่วนที่สามารถอัดขึ้นรูปกระถางชีวภาพที่มีรูปร่างสมบูรณ์ครบทุกการทดลอง
3. อัตราส่วนของวัสดุ 2:1:1:1 และที่เวลา 30 วินาที เป็นการทดลองที่มีค่าความพรุนของกระถางชีวภาพสูงที่สุดคือ 89.45% ซึ่งอัตราส่วนผสมนี้ยังเป็นอัตราส่วนที่สามารถทำการทดลองขึ้นรูปกระถางชีวภาพได้ถึง 5 การทดลอง
4. อัตราส่วนของวัสดุผสม 2:1:1:1 โดยใช้กาบแปงเปียก (แป้งมันสำปะหลังต่อน้ำเท่ากับ 500 g: 1.5 l) เป็นการทดลองที่มีค่าความแข็งแรงของกระถางชีวภาพสูงสุด คือ 1.32 kN
5. อัตราส่วนของวัสดุให้ผลค่าความพรุนและค่าความแข็งแรงที่แตกต่างกัน แต่อัตราส่วนของเถ้าชีวมวลและเวลาให้ผลค่าความพรุนและค่าความแข็งแรงที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่มีผลต่อความพรุนและค่าความแข็งแรง
6. กระถางที่มีความพรุนมากจะมีลักษณะเส้นใยหยาบ มีรูระหว่างเส้นใยขนาดใหญ่ ส่วนกระถางที่มีความพรุนน้อยจะมีลักษณะเส้นใยละเอียดมีรูระหว่างเส้นใยขนาดเล็ก

7. ระยะเวลาชีวภาพมีลักษณะของการเสื่อมสภาพทางกายภาพบริเวณก้นกระถาง และจะค่อย ๆ ฝุพังไปที่ละนิด จนถึงระยะเวลาประมาณ 3 เดือน ซึ่งจะต้องนำกล้าไม้ที่เพาะในกระถางชีวภาพลงดินปลูกก่อนครบ 3 เดือน

8. การผลิตกระถางชีวภาพขนาด 4 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 30 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 13.00 บาทต่อวัน และจะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 0.20 ปี กระถางชีวภาพขนาด 6 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 20 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 19.65 บาทต่อวัน จะมีจุดคุ้มทุนที่ 0.13 ปี และกระถางชีวภาพขนาด 8 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ 10 ใบต่อวัน มีต้นทุนต่อหน่วยการผลิตเป็น 39.10 บาทต่อวัน จะมีจุดคุ้มทุนที่ 0.13 ปี

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ปีงบประมาณ 2561 ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ที่อำนวยความสะดวกด้านสถานที่ทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เขมรัฐ เถลิงศรี และสิทธิเดช พงศ์กิจวรสิน. (2555). ศึกษาประเด็นข่าวโศกเลื่องสัตว์ กลไกสู่ความเหลื่อมล้ำในระดับท้องถิ่น กรณีศึกษา: ห่วงโซ่การผลิตข่าวโศกเลื่องสัตว์. งานวิจัย คณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] ทรงชัย ชุ่มภิรมย์ และคณะ. (2555). การจัดการใบไม้เพื่อลดมลพิษทางอากาศช่วงวิจัยพัฒนาด้านแบบถูดแล้งในเขตพื้นที่ลุ่ม. งานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.
- [3] เตือนใจ ปิยง และคณะ. (2561). การผลิตกระถางต้นไม้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากกากตะกอนน้ำมันปาล์ม และวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 10(3), 497-511.
- [4] ปิ่นประภา โสมากุล และ สิรินารี เงินเจริญ. (2563). กระถางเพาะชำที่ย่อยสลายได้จากขุยฉลากและขุยมะพร้าว. ใน การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา. วันที่ 28 สิงหาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี.
- [5] กิตติชัย โสพันนา และ คณะ. (2558). การประดิษฐ์และสมบัติของ กระถางชีวภาพ. SNRU Journal of Science and Technology. 7 (2), 1-7.
- [6] สจุน สนิย์และธีรเวท ฐิตกิล. (2552). เครื่องอัดขึ้นรูปกระถางจากขุยและใยมะพร้าว. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, กรุงเทพฯ.
- [7] สจุน สนิย์และธีรเวท ฐิตกิล. (2553). เครื่องอัดขึ้นรูปกระถางจากขุยและใยมะพร้าว. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, กรุงเทพฯ.
- [8] สุชาดา จิตรภิรมย์ศรี. (2539). การใช้ประโยชน์ที่เหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดสำหรับเป็นวัสดุปลูกไม้กระถาง. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยมหิดล; DOI : https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DOI=
- [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.
- [10] โรสลีนา จาราแวน, อามีเนาะ มะสามะ และนุรฟาตุรา ยูโซ๊ะ. (2559). คุณสมบัติฉนวนกันความร้อนของหญ้า. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ ยะลา. 1(1), 25-35.
- [11] อำนาจ อมฤก. (2554). “การศึกษาการพองตัวของกระถางขึ้นรูปจากเส้นใยกกช้าง”. ใน การประชุมวิชาการ หน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. วันที่ 20-21 ตุลาคม 2554 ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ฮิลล์ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี.

- [12] Sanguansuk, P. (2009). **Development of molded-pulp pot packaging from palm oil sludge and activated sludge cake for plant seedlings**. Master's Thesis. Kasetsart University.
- [13] Kaewchuea, P., & Kiatnukul, W. (2011). "Project for the development of plant pots from Sawdust", In **The 8th National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference**, December 8-9, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Prathom: Kasetsart University.
- [14] สมพงษ์ ทิริยานต์ และกิตติศักดิ์ บัวศรี. (2562). "การผลิตและทดสอบสมบัติทางความร้อนและทางกลของวัสดุผสมจากน้ำยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าว", ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 4**, วันที่ 30-31 พฤษภาคม 2562 ณ โรงแรมทินิตี้ อำเภอเมือง จังหวัดระนอง.

พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพื่อจำลองการบริหารจัดการแบตเตอรี่จากระบบการคิดค่าไฟฟ้า
แบบอัตรา TOU เพื่อลดค่าไฟฟ้าในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

The Behavior of the Model of Battery Bank Management from the Time of Use Rate
Tariff System to Reducing Electricity Costs in Energy Park,
Kamphaeng Phet Rajabhat University

นิวัติ คลังสีดา* วัชระ วงศ์ปัญญา และบุญวัฒน์ วิจารณ์พล

Nivadee Klungsida* Watchara Wongpanyo and Bunyawat Vichanpol

สาขาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพะเยา พะเยา 56000
Energy Management and Smart Grid Technology, School of Energy and environment,
University of Phayao, Phayao 56000

*Corresponding author: Tel.: 096 663 9055. E-mail address: nivadee@gmail.com

Received: 21 April 2022, Revised: 10 June 2022, Accepted: 7 July 2022, Published online: 30 December 2022

Abstract

This paper presents the behavior of the model of Battery bank management from the Time of Use Rate (TOU) tariff system for decreased electricity costs in Energy Park, KamphaengPhet Rajabhat University. Electrical equipment for calculating the electricity cost is Fluorescent 9 W, Fluorescent 18 W, Computer 65 W, Fan 46 W, TV LED 32" 43 W and Speaker 50 W. The study of electricity consumption behavior for one day was equal to 1.893 kWh (unit). When calculating the electricity cost on a working time, the electricity cost is 7.44 baht per day. Electricity cost through battery management is 0.79 baht per day, which decreases by 89.40%. The holiday time electricity cost is 0.30 baht per day. Electricity cost with battery management is 0.21 baht per day, decreasing by 30.77% when calculated for the academic year 2019. The electricity cost is 1,845.71 baht per year, and the electricity cost from battery management is 217.65 baht per year. Electricity cost decreased by 88.21%. Even though the calculation of battery bank management from the TOU tariff system has not calculated the ft and 7% tax, it found that Electricity cost through solar battery management can decreased electricity cost, which is beneficial to large enterprises (Type 4) who use TOU electricity with the same rate as Kamphaeng Phet Rajabhat University.

Keywords: Battery bank management, Off Peak, On Peak

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ นำเสนอพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพื่อจำลองการบริหารจัดการแบตเตอรี่จากระบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราค่าไฟฟ้าตามเวลา Time of Use Rate (TOU) เพื่อลดค่าไฟฟ้าในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำมาทดลองในสวนพลังงานนี้ ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ 9 W, หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W, คอมพิวเตอร์ 65 W, พัดลม 46 W, TV LED 32” 43 W และ ลำโพง 50 W จากการศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 วันเท่ากับ 1.893 kWh (หน่วย) เมื่อคำนวณค่าไฟฟ้าวันทำงาน เสียค่าไฟฟ้าปกติ 7.44 บาทต่อวัน เสียค่าไฟฟ้าผ่านการจัดการแบตเตอรี่ 0.79 บาทต่อวัน ค่าไฟฟาลดลง 89.40% วันหยุด เสียค่าไฟฟ้า 0.30 บาทต่อวัน เสียค่าไฟฟ้าด้วยการจัดการแบตเตอรี่ 0.21 บาทต่อวัน ค่าไฟฟาลดลง 30.77% เมื่อนำมาคำนวณในรอบปีตามปฏิทินการศึกษา ปีการศึกษา 2562 ค่าไฟฟ้าจากอัตราปกติตามมาตรฐาน TOU จะเสียค่าไฟฟ้า 1,845.71 บาทต่อปี และ ค่าไฟฟ้าจากการจัดการแบตเตอรี่ จะเสียค่าไฟฟ้าเพียง 217.65 บาทต่อปี ค่าไฟฟาลดลง 88.21% แต่อย่างไรก็ตามการคำนวณการบริหารจัดการแบตเตอรี่จากระบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU เพื่อลดค่าไฟฟ้าในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรนี้ยังไม่นำค่า ft และ ค่าภาษี 7% แต่อย่างน้อยก็ทำให้พบว่า การใช้ไฟฟ้าผ่านการจัดการแบตเตอรี่ติดตั้งพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์สามารถลดค่าไฟฟ้าซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ไฟฟ้า ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ ที่คิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ประเภทเดียวกับมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

คำสำคัญ: การจัดการแบตเตอรี่ ช่วงเสียค่าไฟฟ้าต่ำสุด ช่วงเวลาเสียค่าไฟฟ้าสูงสุด

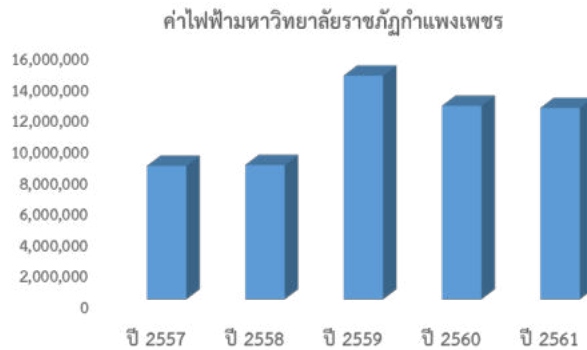
บทนำ

หน่วยงานภาครัฐในประเทศไทยแต่ละปีเสียค่าไฟฟ้าอยู่ในอัตราสูงด้วยการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาทำงานอย่างน้อย 5 ชั่วโมงโดยเฉพาะมหาวิทยาลัยที่มีการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาทำงานจันทร์ถึงศุกร์ดังนั้นการไฟฟ้าจึงมีข้อกำหนดให้มหาวิทยาลัยใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามเวลาที่กำหนดคือ Time of Use Rate (TOU) ซึ่งการคิดค่าไฟฟ้าแบบ Time of Use Rate (TOU) มาใช้ในประเทศไทย ในวันที่ 1 ตุลาคม 2543 รัฐบาลได้ประกาศโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าใหม่และอัตราค่าไฟฟ้า TOU ได้ถูกกำหนดให้มีช่วงเวลาสูงสุดมากขึ้นอัตราค่าไฟฟ้าขึ้นอยู่กับช่วงเวลาการใช้งานซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลาคือ ช่วงเวลาค่าไฟฟ้าสูง (On Peak) ตั้งแต่วันจันทร์ถึง วันศุกร์ เวลา 09.00 น. - 22.00 น. ช่วงเวลาค่าไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) ตั้งแต่วันจันทร์ – ศุกร์ (วันทำงาน) 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ – อาทิตย์ วันหยุดนักขัตฤกษ์ (วันหยุดไม่รวมวันหยุดชดเชย) [1] มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรในสังกัดกระทรวงศึกษาธิการจะจัดอยู่ในอาคารควบคุมตามพระราชกฤษฎีกาอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 รับผิดชอบในการกำหนดนโยบายการอนุรักษ์พลังงาน เป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงาน และเป็นผู้ใช้ไฟฟ้า ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ เป็นหนึ่งหน่วยงานที่เสียค่าไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก ต่อปี ตัวอย่างข้อมูลการเสียค่าไฟฟ้าต่อปีของอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ย้อนหลังตามตารางที่ 1 และภาพที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างจำนวนเงินการเสียค่าไฟฟ้าต่อปี ของอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ กำแพงเพชร

ปี	2557	2558	2559	2560	2561
ค่าไฟฟ้า	8,568,517	8,623,309	14,362,297	12,424,931	12,289,097

ที่มา : กลุ่มงานไฟฟ้าและอนุรักษ์พลังงาน กองกลาง สำนักงานอธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร



ภาพที่ 1 กราฟการเสียค่าไฟฟ้าของ ของอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ปี 2557-2561

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรคิดอัตราค่าไฟฟ้า แบบ TOU จากระบบประมาณการค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งเป็นผู้ใช้ไฟฟ้า ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ สำหรับการไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ หรืออื่นๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจากกราฟ จะเห็นว่าแนวโน้มการ จากปัญหาการเสียค่าไฟฟ้าทางมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรจึงมีโครงการสร้างความร่วมมือการประหยัดไฟฟ้าและนําร่องการทำสำนักงานสีเขียว (Green office) [2] ในตึกสำนักงานอธิการบดีปรากฏว่าสามารถลดค่าไฟฟ้าได้ในระดับหนึ่งอย่างไรก็ตามอัตราค่าไฟฟ้ายังคงสูง การนำพลังงานทดแทนมาใช้จึงเป็นทางออกอีกทางของหน่วยงานอย่างมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรที่ต้องรับภาระค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณค่าไฟฟ้าแต่ละเดือน ซึ่งสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร มีการติดตั้งไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar cell) ทั้งระบบออนกริดและออฟกริดสามารถลดค่าไฟฟ้าให้กับทางมหาวิทยาลัยฯ แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งแบบออฟกริดที่ใช้แบตเตอรี่หากมีการบริหารจัดการแบตเตอรี่ให้ใช้ได้คุ้มค่าตามพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของคนในมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรตามเวลา อัตราการเสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU นำไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้เมื่อเสียค่าไฟฟ้าสูง (On peak) และใช้ไฟฟ้าปกติเมื่อเสียค่าไฟฟ้าต่ำ (Off peak) ช่วงวันเสาร์อาทิตย์และวันหยุดราชการ เป็นช่วงเวลาเสียค่าไฟฟ้าต่ำ (Off peak) ซึ่งเป็นโอกาสที่ดีที่ทำให้การสะสมพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่เต็มซึ่งหารนำมาบริหารจัดการโดยการขายไฟฟ้าหรือจ่ายไฟฟ้าให้กับอาคารอื่นก็ทำให้เกิดความคุ้มค่าซึ่งเป็นข้อสันนิษฐานเบื้องต้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพื่อนำมาจำลองการบริหารจัดการแบตเตอรี่จากระบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราโดยการจำลองพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในสวนพลังงานกับเครื่องใช้ไฟฟ้า ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ 9 W, หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W, คอมพิวเตอร์ 65 W, พัดลม 46 W, TV LED 32” 43 W และ ลำโพง 50 W โดยแยกพฤติกรรมการณ์คำนวณการใช้ไฟฟ้าเวลาปฏิบัติงานต่อวันแยกวันทำงาน และ

วันหยุด เนื่องจากค่าไฟฟ้าแบบอัตรา TOU จะมีช่วงเวลาอัตราค่าไฟฟ้าวันทำงาน และวันหยุดไม่เท่ากัน และนำการคำนวณค่าไฟฟ้าต่อวันมาคำนวณค่าไฟฟ้ารายเดือนและรายปีตามปฏิทินการศึกษาปี 2562 จาก กรกฎาคม 2562 ถึง มิถุนายน 2563 เพื่อคำนวณค่าไฟฟ้าตามอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่จำลองการบริหารจัดการแบตเตอรี่จากระบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตรา TOU เป็นต้นแบบในการออกแบบระบบเพื่อเป็นแนวทางการแก้ปัญหาการเสียดค่าไฟฟ้าสูงในมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรต่อไป

วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย แบ่งออกเป็นสองส่วนได้แก่ส่วนแรกศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า [3] ในสวนพลังงานมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร นำข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ามาคำนวณค่าไฟฟ้าต่อวันโดยแบ่งเป็นค่าไฟฟ้าในวันทำงานและวันหยุด และนำมาคำนวณการเสียดค่าไฟฟ้ารายปี อ้างอิงปฏิทินทางการศึกษา 2562 ของ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ส่วนที่สองคำนวณการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อการบริหารจัดการแบตเตอรี่เปรียบเทียบการลดค่าไฟฟ้าหลังจากผ่านการจัดการแบตเตอรี่ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลในการจำลองกระบวนการทางคณิตศาสตร์ [4] การแสดงผลเชิงกราฟ

1. ศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของคนในมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรทำการศึกษาตามปฏิทินการศึกษาปีการศึกษา 2562 และตารางเรียนซึ่งกฎระบบของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทำการเริ่มปฏิบัติงาน เวลา 8.30 น. สิ้นสุดการทำงาน เวลา 16.30 น. (นับช่วงเวลาที่รับประทานอาหาร) ส่วนวันเสาร์และวันอาทิตย์มีเจ้าหน้าที่มาทำงานส่วนใหญ่จะเป็นเจ้าหน้าที่และบางคณะที่มีการเรียนการสอนเสาร์อาทิตย์ ส่วนในวันหยุดนักขัตฤกษ์ ไม่มีการปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัย การศึกษาพฤติกรรมในการทำงานระยะเวลา 1 ปี โดยอ้างอิงปฏิทินปฏิบัติงาน ปีการศึกษา 2562 ใน กรกฎาคม 2562 ถึง มิถุนายน 2563 วันหยุดนักขัตฤกษ์ในปีการศึกษาปีการศึกษา 2562 แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 วันหยุดนักขัตฤกษ์ ไม่มีการปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัยตามปฏิทินปฏิบัติงานมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ปีการศึกษา 2562

วันหยุดนักขัตฤกษ์ ปีการศึกษา 2562	วันเดือนปี
วันอาสาฬหบูชา	วันอังคารที่ 16 กรกฎาคม 2562
วันเข้าพรรษา	วันพุธที่ 17 กรกฎาคม 2562
ชดเชยวันเฉลิมพระชนมพรรษาสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 10	วันจันทร์ที่ 29 กรกฎาคม 2562
วันเฉลิมพระชนมพรรษา สมเด็จพระนางเจ้าฯ พระบรมราชินีนาถในรัชกาลที่ 9	วันจันทร์ที่ 12 สิงหาคม 2562
ชดเชยวันคล้ายสวรรคต พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชฯ	วันจันทร์ที่ 14 ตุลาคม 2562
วันปิยมหาราช	วันพุธที่ 23 ตุลาคม 2562
วันคล้ายวันเฉลิมพระชนมพรรษา วันชาติ และวันพ่อแห่งชาติ	วันพฤหัสบดีที่ 5 ธันวาคม 2562
วันรัฐธรรมนูญ	วันอังคารที่ 10 ธันวาคม 2562
วันหยุดส่งท้ายปีเก่าต้อนรับปีใหม่	วันจันทร์ที่ 30 ธันวาคม 2562 ถึงวันพุธที่ 1

วันหยุดนักขัตฤกษ์ ปีการศึกษา 2562	วันเดือนปี
	มกราคม 2563
ชดเชยวันมาฆบูชา	วันจันทร์ที่ 10 กุมภาพันธ์ 2563
วันจักรี	วันจันทร์ที่ 6 เมษายน 2563
วันสงกรานต์	วันจันทร์ที่ 13 เมษายน 2563 ถึง วันพุธที่ 15 เมษายน 2563
วันฉัตรมงคล	วันจันทร์ที่ 4 พฤษภาคม 2563
วันวิสาขบูชา	วันพุธที่ 6 พฤษภาคม 2563
วันพืชมงคล	วันจันทร์ที่ 11 พฤษภาคม 2563

จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรตามปฏิทินการศึกษาปี 2562 กรกฎาคม 2562 ถึง มิถุนายน 2563 จำนวนวันทั้งหมด 366 วัน วันทำงานตั้งแต่ จันทร์ถึงวันศุกร์ 243 วัน วันหยุดทั้งหมด 123 วัน แยกเป็นวันเสาร์และวันอาทิตย์รวม 104 วัน วันหยุดนักขัตฤกษ์ จำนวน 19 วัน รวมวันหยุดจากการศึกษาพฤติกรรมแต่ละวันและการทำงานใน 1 ปี สามารถมาคำนวณการเสียดำเนินการไฟฟ้าแบบอัตรา TOU จะแสดงผลออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้แต่ละวันแต่ละเดือน และคำนวณค่าไฟฟ้าต่อหนึ่งปีเทียบกับการจัดการการใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะพบการลดค่าไฟฟ้าและเปรียบเทียบออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์

2. คำนวณการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อการบริหารจัดการแบตเตอรี่

การออกแบบจำลองการบริหารจัดการแบตเตอรี่จากระบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบ อัตรา TOU เพื่อลดค่าไฟฟ้า ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรนี้ ใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลในการจำลองกระบวนการทางคณิตศาสตร์ การแสดงผลเชิงกราฟ และเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า และเปรียบเทียบค่าไฟฟ้า รายวัน รายเดือน และรายปี โดยคำนึงถึงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของคนในสวนพลังงานซึ่งเป็นไปตามปฏิทินมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรปี 2562 ซึ่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่นำมาวิเคราะห์อ้างอิงจากระบบประมาณการค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) ซึ่งเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ หรืออื่นๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที สูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 1,000 KW ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ก่อนหน้าเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) แรงดัน 22-33 KV [5] แสดงดังภาพที่ 2

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า	ค่าพลังงานไฟฟ้า		ค่าบริการ
	(บาท/กิโลวัตต์)	(บาท/หน่วย)		(บาท/เดือน)
	Peak	Peak	Off Peak	
4.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	74.14	4.1025	2.5849	312.24
4.2.2 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลท์	132.93	4.1839	2.6037	312.24
4.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	210.00	4.3297	2.6369	312.24

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าค่าสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ 1. ประเภทที่ 4.1 เป็นอัตราสำหรับผู้ที่ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภทที่ 4.1 อยู่เดิมก่อนค่าไฟฟ้าประจำเดือนพฤศจิกายน 2558 และสามารถเลือกใช้อัตราประเภทที่ 4.2 ได้ โดยต้องชำระค่าใช้จ่ายตามการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด ทั้งนี้ เมื่อเลือกใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 4.1 ไม่ได้

2. เดือนใดมีความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ หรือมีการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หากมีความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปยังไม่ถึง 30 กิโลวัตต์อีก ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2.1 หรือ 2.2 แล้วแต่กรณี ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เคยเลือกใช้อัตรา TOU และได้ชำระค่าใช้จ่ายไว้แล้ว จะไม่เรียกเก็บค่าใช้จ่ายอีก

On Peak	: เวลา 09.00 – 22.00 น.	วันจันทร์ – วันศุกร์
Off Peak	: เวลา 22.00 – 09.00 น.	วันจันทร์ – วันศุกร์
	: เวลา 00.00 – 24.00 น.	วันเสาร์ – วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันพืชมงคลและวันหยุดชดเชย)

ภาพที่ 2 แสดงรายละเอียดของผู้ใช้ไฟฟ้า ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) [5]

จากภาพที่ 2 แสดงประเภทการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ตามอัตราช่วงเวลาการใช้ไฟฟ้า (TOU) ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 132.93 บาท/KW ค่าพลังงานไฟฟ้า ในช่วง On Peak เวลา 09.00 – 22.00 น. วันจันทร์-วันศุกร์ (วันทำงาน) เท่ากับ 4.1839 บาท/KWh(หน่วย) และ ในช่วง Off Peak เวลา 22.00 – 09.00 น. วันจันทร์-วันศุกร์ (วันทำงาน) และ เวลา 0.00 – 24.00 น. วันหยุดเสาร์อาทิตย์และวันหยุดราชการ ไม่รวมวันพืชมงคล และวันหยุดชดเชย เท่ากับ 2.6037 บาท/KWh(หน่วย) ซึ่งการคิดค่าไฟฟ้าประเภตินี้แสดงในหนังสือแจ้งค่าไฟฟ้าในรหัส 4224 แสดงดังภาพที่ 3

หนังสือแจ้งค่าไฟฟ้า

เลขที่ พท5306.10/059006640455 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดกำแพงเพชร

เรื่อง แจ้งค่าไฟฟ้า วันที่ 21 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2562

เรียน ท่านผู้ใจดี/ใจดี สาขาวิชาบริหารธุรกิจกำแพงเพชร

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระงับค่าไฟฟ้าประจำเดือน 11/2562 สาขาละแวกที่ 11

หมายเลข	เลขบัญชี	ชื่อผู้รับ	ประเภท	อัตรา	วันถึง
804101	9007 020010716387	27642631	4224	22-33 KV	12000

ประเภท	จำนวน	ราคา	รวม
ค่าไฟฟ้า	19,152	10,000	1723.09
ค่าปรับ	6,088	6,004	1905.60
ค่าอื่น	7,524	7,452	861.94
รวม			229,156.70
ส่วนลด			-0.1160
รวม			0.0000
รวม			0.0000
รวม			-0.1160
รวม			291,384.99
รวม			-33,006.66
รวม			1,276,339.12
รวม			1,244,538.46
รวม			1,244,538.46
รวม			87,117.69
รวม			1,331,656.15

กร. P1720.00, OP1008.00, HB64.00
 ภาษีเซอร์วิส 695.00 หน่วย

ภาพที่ 3 หนังสือแจ้งค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เป็นผู้ใช้ไฟฟ้า ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

จากข้อมูลประเภทการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรนำมาอ้างอิงการคำนวณค่าไฟฟ้ากับอุปกรณ์จำลองที่ใช้ในสวนพลังงานได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ 9 W, หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W, คอมพิวเตอร์พีดีเอ็ม TV LED 32 นิ้ว และ ลำโพง นำมาคำนวณพลังงานไฟฟ้าต่อวัน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จำลองในสวนพลังงานฯ ต่อวัน

เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า kW k(VxA)	ชั่วโมงการใช้งานต่อวัน	พลังงานไฟฟ้าต่อวัน (kWh)
หลอดฟลูออเรสเซนต์ 9 W	1	0.009	13	0.117
หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 w	1	0.018	8	0.144
คอมพิวเตอร์	1	0.065	8	0.520
พีดีเอ็ม	1	0.046	8	0.368
TV LED 32 นิ้ว	1	0.043	8	0.344
ลำโพง	1	0.050	8	0.400
Total				1.893

พลังงานที่ใช้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เท่ากับ 1.893 kW. ดังนั้นการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ในการจำลองการบริหารจัดการแบตเตอรี่จากระบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบ อัตรา TOU เพื่อลดค่าไฟฟ้า ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรคำนวณอุปกรณ์ดังนี้

ขนาดของแผงโซลาร์เซลล์

ขนาดของแผง = ค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมด / 5 ชั่วโมง (ปริมาณแสงอาทิตย์ที่น่านจะได้ใน 1 วัน)

$$1893 \text{ W} / 5 = 378.6 \text{ W}$$

แผงโซลาร์เซลล์ใช้แผง MONO CRYSTALLINE 450W จำนวน 1 แผง แรงดัน 41.32V กระแสไฟฟ้า 10.8A

แบตเตอรี่

$Ah = \text{ค่าพลังงานรวม} / \text{แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่} \times 0.8$ (% การใช้งานกระแสไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่) $\times 0.85$ (ประสิทธิภาพของ Inverter)]

$$= 1893 / 24V \times 0.8 \times 0.85 = 116Ah$$

ใช้แบตเตอรี่แบบ deep cycle ขนาด 24V 150Ah จำนวนมากกว่า 2 ก้อน ต่อแบบอนุกรม

อินเวอร์เตอร์

ติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยอินเวอร์เตอร์แบบไฮบริดกำลังไฟฟ้า 4500 W, แบตเตอรี่ input 25 A, AC grid input 30 A และ AC output (ติดตั้งกับโหลด) 3000 W.

ด้วยคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์แบบไฮบริดจึงติดตั้งระบบด้วยแผงโซลาร์เซลล์แบบโมโนขนาด 245 W (30.7V, 7.99A) จำนวน 4 แผง

เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า (Charge Controller)

ขนาดของเครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า ต้องมีขนาดเกินกระแสไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 450W 10.8A 41.32V เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า ขนาด 20A 24V

เครื่องแปลงไฟฟ้า (Inverter)

คำนวณจากกำลังวัตต์รวมโดยไม่เอาจำนวนชั่วโมงเข้ามาคูณ

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 9W $9 \times 1 = 9W$

หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18w $18 \times 1 = 18W$

คอมพิวเตอรื $65 \times 1 = 65W$

พัดลม $46 \times 1 = 46W$

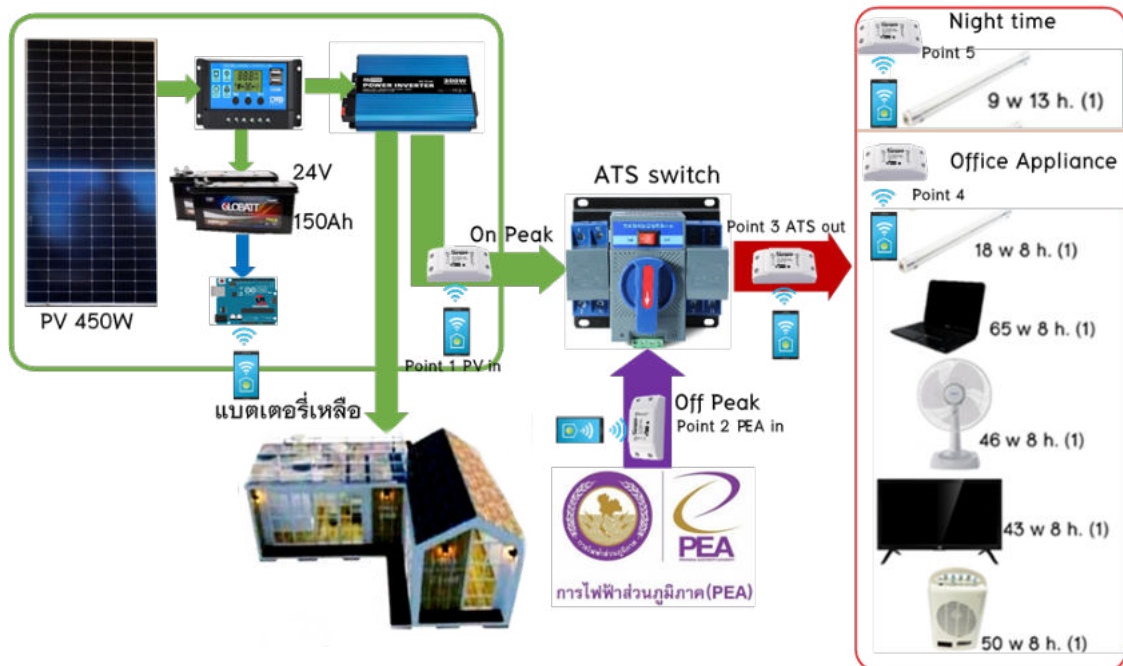
TV LED 32 นิ้ว $43 \times 1 = 43W$

ลำโพง $50 \times 1 = 50W$

รวม $9+18+65+46+43+50 = 231W$

ขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาดมากกว่า 231W สำหรับขนาดที่ใช้ในครั้งนี ขนาด 300W 24V

จากอุปกรณ์ที่คำนวณสามารถออกแบบการบริหารแบตเตอรี่กับอุปกรณ์ไฟฟ้าดังภาพที่ 4



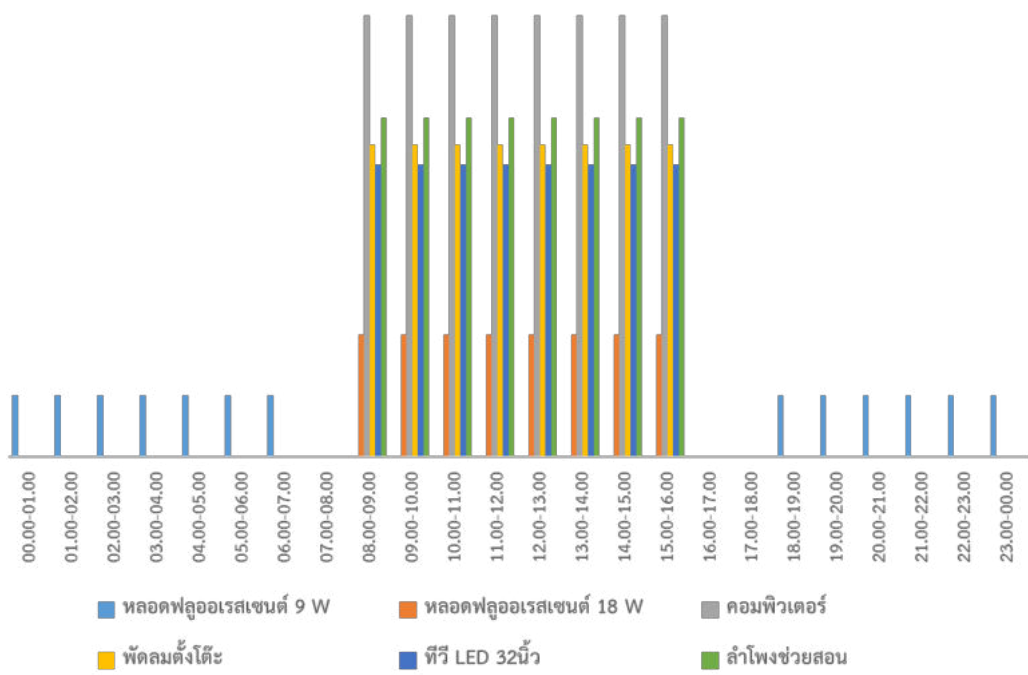
ภาพที่ 4 อุปกรณ์จำลองการใช้ไฟฟ้าและระบบการติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

จากภาพที่ 4 ออกแบบอุปกรณ์เพื่อนำมาจำลองการจัดการแบตเตอรี่ การติดตั้งค่านิ่งถึงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งใช้ระบบบ้านอัจฉริยะเข้ามาควบคุมเพื่อส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าไปยังมือถือเพื่อง่ายต่อการเก็บข้อมูลโดยผ่าน smart phone จุดที่ 1 (Point 1) กำหนดเวลา On peak จะใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ จุดที่ 2 (Point 2) Off peak ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (PEA) สองจุดนี้จะแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าระหว่าง แบตเตอรี่ กับ การไฟฟ้า (PEA) จุดที่ 3 (Point 3) เป็นจุดวัดการใช้ไฟฟ้าทั้งสองระบบ และจุดย่อยอีกสองจุด คือจุดที่ 4 (Point 4) ที่สามารถแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาทำงาน และ จุดที่ 5 (Point 5) แสดงผลการใช้ไฟฟ้าของหลอดไฟฟ้าในอาคารที่เปิดตลอดคืน และจุดสุดท้ายผู้วิจัยวางแผนการวัดค่าแบตเตอรี่แสดงผลแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ตามเวลาจริง (real time) ผ่านมือถือ โดยใช้ Arduino เป็นอุปกรณ์ส่งผ่านข้อมูลและเก็บไว้ในมือถือเพื่อการวิเคราะห์เชิงลึก ของการจัดการแบตเตอรี่ แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ตามข้อสันนิษฐานงานวิจัยเบื้องต้นว่าการจัดการแบตเตอรี่จากระบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบ อัตรา TOU เป็นการลดค่าไฟฟ้าในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรสามารถลดค่าไฟฟ้าได้จริงผู้วิจัยจึงทำการจำลองผ่านการคำนวณค่าไฟฟ้าเบื้องต้นเพื่อให้ได้ข้อมูลสนับสนุนการติดตั้งระบบต่อไป การคำนวณอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 6 ชั้น ค่ารวมค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการทำงานต่อวัน ต่อเดือน และต่อปี โดยเทียบกับปฏิทินการศึกษาปี 2562 การคำนวณการใช้ไฟฟ้า 1 วัน แสดงการคำนวณดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงการใช้ไฟฟ้าใน 1 วัน ของเครื่องใช้ไฟฟ้าในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

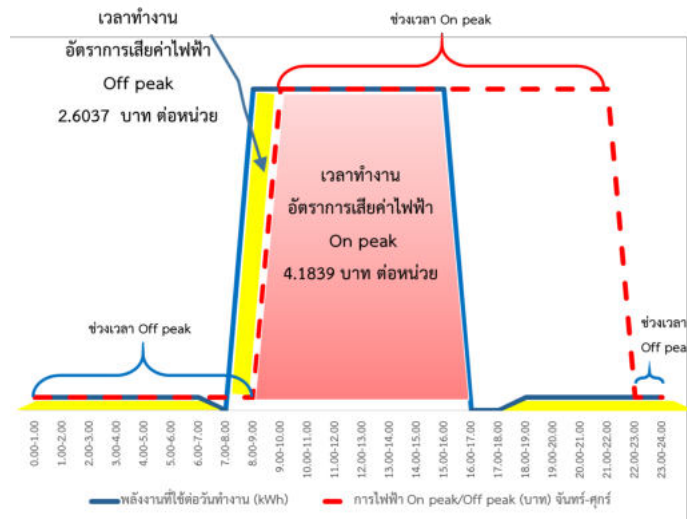
เวลา ชั่วโมง	การคิดค่าไฟฟ้า อัตรา TOU วันทำงาน				การคิดค่าไฟฟ้า อัตรา TOU วันหยุด			
	พลังงาน (kWh)	อัตรา TOU	ค่าไฟฟ้า		พลังงาน (kWh)	อัตรา TOU	ค่าไฟฟ้า	
			คิดปกติ	จัดการแบตเตอรี่			คิดปกติ	จัดการแบตเตอรี่
0-1	0.009	2.604	0.023	0.023	0.009	2.604	0.023	0.023
1-2	0.009	2.604	0.023	0.023	0.009	2.604	0.023	0.023
2-3	0.009	2.604	0.023	0.023	0.009	2.604	0.023	0.023
3-4	0.009	2.604	0.023	0.023	0.009	2.604	0.023	0.023
4-5	0.009	2.604	0.023	0.023	0.009	2.604	0.023	0.023
5-6	0.009	2.604	0.023	0.023	0.009	2.604	0.023	0.023
6-7	0.009	2.604	0.023	0.023	0.009	2.604	0.023	0.023
7-8	0.000	2.604	0.000	0.000	0.000	2.604	0.000	0.000
8-9	0.222	2.604	0.578	0.578	0.000	2.604	0.000	0.000
9-10	0.222	4.184	0.929	0.000	0.000	2.604	0.000	0.000
10-11	0.222	4.184	0.929	0.000	0.000	2.604	0.000	0.000
11-12	0.222	4.184	0.929	0.000	0.000	2.604	0.000	0.000
12-13	0.222	4.184	0.929	0.000	0.000	2.604	0.000	0.000
13-14	0.222	4.184	0.929	0.000	0.000	2.604	0.000	0.000
14-15	0.222	4.184	0.929	0.000	0.000	2.604	0.000	0.000
15-16	0.222	4.184	0.929	0.000	0.000	2.604	0.000	0.000
16-17	0.000	4.184	0.000	0.000	0.000	2.604	0.000	0.000
17-18	0.000	4.184	0.000	0.000	0.000	2.604	0.000	0.000
18-19	0.009	4.184	0.038	0.000	0.009	2.604	0.023	0.000
19-20	0.009	4.184	0.038	0.000	0.009	2.604	0.023	0.000
20-21	0.009	4.184	0.038	0.000	0.009	2.604	0.023	0.000
21-22	0.009	4.184	0.038	0.000	0.009	2.604	0.023	0.000
22-23	0.009	2.604	0.023	0.023	0.009	2.604	0.023	0.023
23-00	0.009	2.604	0.023	0.023	0.009	2.604	0.023	0.023
ผลรวม	1.893	83.031	7.441	0.789	0.117	62.489	0.305	0.211

จากตารางที่ 4 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จำลองพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร 1 วัน ตั้งแต่เวลา 01.00 น. ถึง 24.00 ใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งหมด 0.1893 kWh. อัตราค่าไฟฟ้า TOU ข้อมูลจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) (2559). อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) ซึ่งมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรเป็นผู้ใช้ไฟฟ้า ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ การคำนวณอัตราการใช้ไฟฟ้า จากตารางที่ 4 ทำการคำนวณค่าไฟฟ้าแบบง่ายเพื่อเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าให้เห็นภาพชัด ผลการคำนวณอยู่ในช่องไฟฟ้าคิด ปกติเป็นการนำค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) คูณด้วยอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) ช่วงเวลาอัตราการใช้ไฟฟ้า สูงสุด (On peak) วันจันทร์ถึงวันศุกร์ เวลา 09.00 น. - 22.00 น. คูณด้วย 4.184 หน่วย และ ช่วงเวลาค่าไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) ตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์ (วันทำงาน) 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ - อาทิตย์ วันหยุดนักขัตฤกษ์ ทั้งวัน 2.604 หน่วย และผลการคูณในช่องค่าไฟฟ้าจากการจัดการแบตเตอรี่ในช่วงเวลาอัตราการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (On peak) วันจันทร์ถึง วันศุกร์ เวลา 09.00 น. - 22.00 น. คูณด้วย 0 หน่วย เนื่องจากช่วงเวลานี้เครื่องใช้ไฟฟ้าจะใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ในส่วน ของวันเสาร์อาทิตย์และวันหยุดนั้นคำนวณเหมือนกันเพียงแต่เป็นวันหยุดไม่มีคนทำงานจึงไม่มีการใช้ไฟฟ้านอกจากไฟ กลางคืนที่จะต้องเปิดให้สว่างในเวลากลางคืนคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ 9 W ผลจากการคำนวณค่าไฟฟ้าวันทำงานจันทร์ ถึง ศุกร์ ค่าไฟฟ้าปกติมีค่าเท่ากับ 7.441 บาท และการจัดการแบตเตอรี่ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.789 บาท ค่าไฟฟ้า อัตรา TOU วันหยุด ค่าไฟฟ้าปกติมีค่าเท่ากับ 0.305 kWh.หน่วยและการจัดการแบตเตอรี่ค่าไฟฟ้าเท่ากับ 0.211 บาท ซึ่ง สามารถนำมาสร้างกราฟเพื่อดูพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในของแต่ละช่วงเวลาดังภาพที่ 5



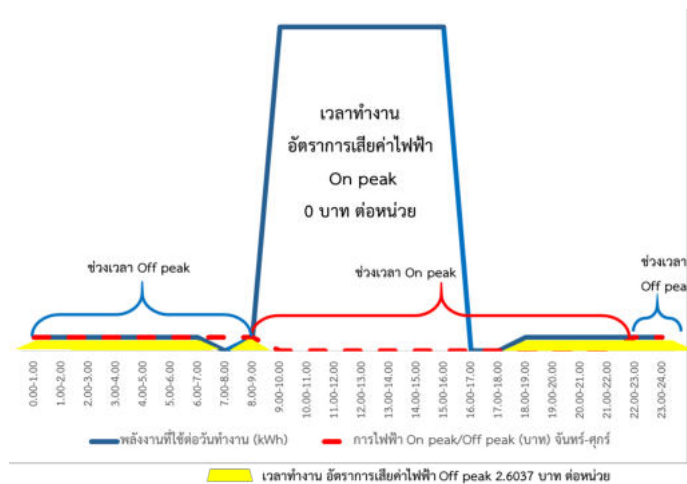
ภาพที่ 5 พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าจำลองในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

จากข้อมูลพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาจำลองการใช้ไฟฟ้าในสวนพลังงานมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จากภาพที่ 5 จะเห็นว่า คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ ใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดอื่นๆ พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.52 KWh หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 9 W จะใช้ในช่วงเวลาที่ต่างจากอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่น คือต้องใช้เวลาช่วงเวลากลางคืนและปิดในเวลากลางวันแต่อย่างไรก็ตามยังใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 0.117 KWh ผลรวมของกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 6 ชิ้น มีค่าเท่ากับ 1.893 KWh สามารถนำมาสร้างกราฟช่วงเวลาการคิดค่าไฟฟ้าปกติตามอัตรา TOU วันทำงาน แสดงดังภาพที่ 6 และ การคิดค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU ผ่านการจัดการแบตเตอรี่ภาพที่ 7



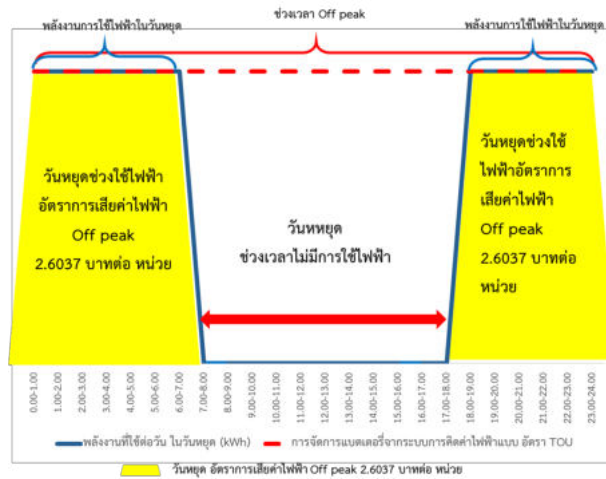
ภาพที่ 6 การคิดค่าไฟฟ้าปกติตามอัตรา TOU วันทำงาน คิตปกติ

จากภาพที่ 6 แสดงช่วงเวลาการคิดค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU วันทำงาน จะเห็นได้ว่าการคิดค่าไฟฟ้าตามพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาทำงาน ตามอัตรา TOU จะเห็นว่าเสียค่าไฟฟ้าในช่วง On Peak ในอัตรา 4.1839 บาทต่อหน่วย ซึ่งเป็นช่วงเวลาทำงานที่เสียค่าไฟฟ้าสูงสุดใช้เวลา 8 ชั่วโมง และเสียค่าไฟฟ้าในช่วง Off Peak ในอัตรา 2.6037 บาทต่อหน่วย และเสียค่าไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์หลอดฟลูออเรสเซนต์ 9 W ซึ่งใช้เป็นไฟส่องทางในเวลากลางคืนเปิดใช้ 13 ชั่วโมง ในช่วงเวลาที่เสียค่าไฟฟ้าคือ 0.00 – 07.00 น. และ 18.00 – 0.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลา Off Peak



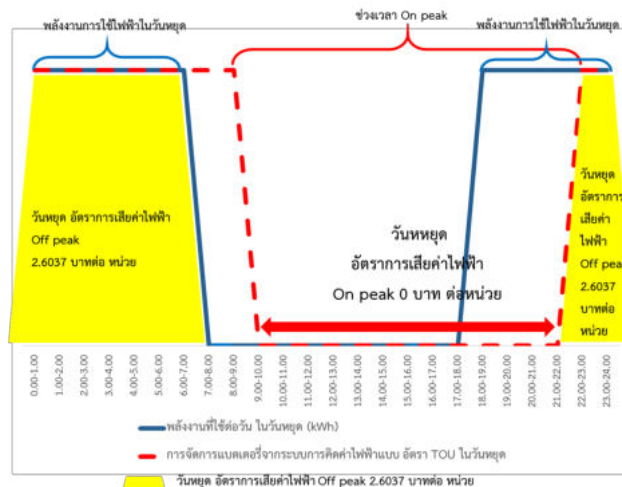
ภาพที่ 7 การคิดค่าไฟฟ้าปกติตามอัตรา TOU วันทำงาน ผ่านการจัดการแบตเตอรี่

จากภาพที่ 7 แสดงช่วงเวลาการคิดค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU วันทำงานด้วยการบริหารจัดการแบตเตอรี่ ค่าไฟฟ้าในช่วง On Peak มีค่าเท่ากับ 0 บาทต่อหน่วย ค่าไฟฟ้าในช่วง Off Peak ในอัตรา 2.6037 บาทต่อหน่วย จะเห็นได้ว่าช่วงวันทำงานถึงจะมีการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ช่วงเวลา On Peak จะถูกสลับไปใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่แทน แต่ยังมีช่วงเวลา 8.00 – 9.00 น. ที่มีการใช้ไฟฟ้า แต่ยังคงอยู่ในช่วงเวลา Off Peak และยังมีอุปกรณ์ไฟฟ้าคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ 9 W ซึ่งใช้เป็นไฟส่องทางในเวลากลางคืนตั้งแต่ 0.00 – 07.00 น. และ 18.00 – 0.00 น. ต้องเสียค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา Off Peak และกราฟแสดงช่วงเวลาการคิดค่าไฟฟ้าปกติตามอัตรา TOU วันหยุด แสดงดังภาพที่ 8 และ การคิดค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU ผ่านการจัดการแบตเตอรี่ภาพที่ 9



ภาพที่ 8 การคิดค่าไฟฟ้าปกติตามอัตรา TOU วันหยุด คิดปกติ

จากภาพที่ 8 แสดงช่วงเวลาการคิดค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU วันหยุด จะเห็นได้ว่าการคิดค่าไฟฟ้าตามพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาทำงาน ตามอัตรา TOU จะเห็นว่าเสียค่าไฟฟ้าในช่วง Off Peak ในอัตรา 2.6037 บาทต่อหน่วย ทั้งวันแต่ไม่มีการเสียค่าไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์หลอดฟลูออเรสเซนต์ 9 W ซึ่งใช้เป็นไฟส่องทางในเวลากลางคืนช่วงเวลาที่เสียค่าไฟฟ้าคือเวลา 0.00 – 07.00 น. และ 18.00 – 0.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลา Off Peak



ภาพที่ 9 การคิดค่าไฟฟ้าปกติตามอัตรา TOU วันหยุด ผ่านการจัดการแบตเตอรี่

ภาพที่ 9 แสดงช่วงเวลาการคิดค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU วันหยุดด้วยการบริหารจัดการแบตเตอรี่ ค่าไฟฟ้าในช่วง On Peak มีค่าเท่ากับ 0 บาทต่อหน่วย ค่าไฟฟ้าในช่วง Off Peak ในอัตรา 2.6037 บาทต่อหน่วย จะเห็นได้ว่าช่วงวันทำงานถึงจะมีการอุปโภคเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ช่วงเวลา On Peak จะถูกสลับไปใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่แทน แต่อย่างไรก็ตามในช่วงเวลา Off Peak ยังมีอุปโภคไฟฟ้าที่ยังมีการใช้งานคือหลอดฟลูออเรสเซนต์ 9 W ซึ่งใช้เป็นไฟส่องทางในเวลาผ่านการจัดการแบตเตอรี่ในช่วง On Peak ค่าไฟฟ้าจะเท่ากับ 0 จึงเหลือ 9 ชั่วโมงในการเสียค่าไฟฟ้าคือเวลา 0.00 – 07.00 น. และ 22.00 – 0.00 น. เสียค่าไฟฟ้าในช่วง Off Peak ในอัตราหน่วยละ 2.6037 บาทต่อหน่วย

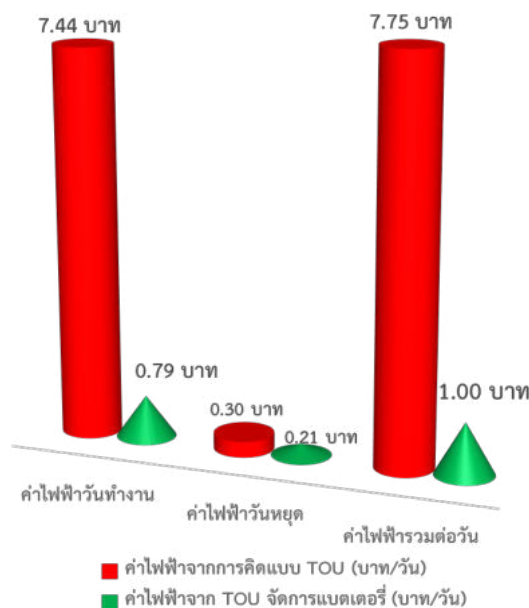
จากตารางที่ 4 และแสดงภาพตามตารางในภาพที่ 7 ถึงภาพที่ 9 นำตารางมาสรุปการเสียค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU และ ผ่านการจัดการแบตเตอรี่โดยแยกเป็นวันทำงาน และวันหยุด แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าไฟฟ้าตาม TOU จำนวนแบบปกติและผ่านการจัดการแบตเตอรี่ ต่อวัน

ค่าไฟฟ้า	ค่าไฟฟ้าคิดปกติตาม TOU (บาท/วัน)	ค่าไฟฟ้าคิดจากการจัดการแบตเตอรี่ ตาม TOU (บาท/วัน)	ค่าไฟฟ้าลดลง (บาท)	%การลดค่าไฟฟ้าหลังจากผ่านการจัดการแบตเตอรี่ ต่อวัน
ค่าไฟฟ้า วันทำงาน	7.44	0.79	6.65	89.40
ค่าไฟฟ้า วันหยุด	0.30	0.21	0.09	30.77
ค่าไฟฟ้ารวมต่อวัน	7.75	1.00	6.75	87.09

ตารางที่ 5 เป็นการแสดงค่าไฟฟ้าต่อวันจากตารางที่ 4 ซึ่งเป็นการคำนวณค่าไฟฟ้าแบบง่าย เพียงนำพลังงานไฟฟ้ามาคูณกับอัตราค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU ยังรวมค่าค่า ft และ ค่าภาษี 7% จากตารางสรุปค่าไฟฟ้ารวมค่าไฟฟ้าวันทำงาน เสียค่าไฟฟ้าปกติ 7.44 บาทต่อวัน เมื่อผ่านการจัดการแบตเตอรี่จะเสียค่าไฟฟ้า 0.79 บาทต่อวัน ค่าไฟฟ้าลดลง 6.65 บาท คิดเป็น% ค่าไฟฟ้าลดลง 89.40% วันหยุด เสียค่าไฟฟ้าปกติ 0.30 บาทต่อวัน เมื่อผ่านการจัดการแบตเตอรี่จะเสียค่าไฟฟ้า 0.21 บาทต่อวัน ค่าไฟฟ้าลดลง 0.09 บาท คิดเป็น% ค่าไฟฟ้าลดลง 30.77%

จากข้อมูลตารางที่ 5 สามารถมาสร้างกราฟเพื่อแสดงให้เห็นถึงค่าไฟฟ้าคิดอัตราจาก TOU ปกติ เปรียบเทียบกับค่าไฟฟ้าคิดอัตราจาก TOU ผ่านการจัดการแบตเตอรี่ ใน 1 วัน แสดงในภาพที่ 10



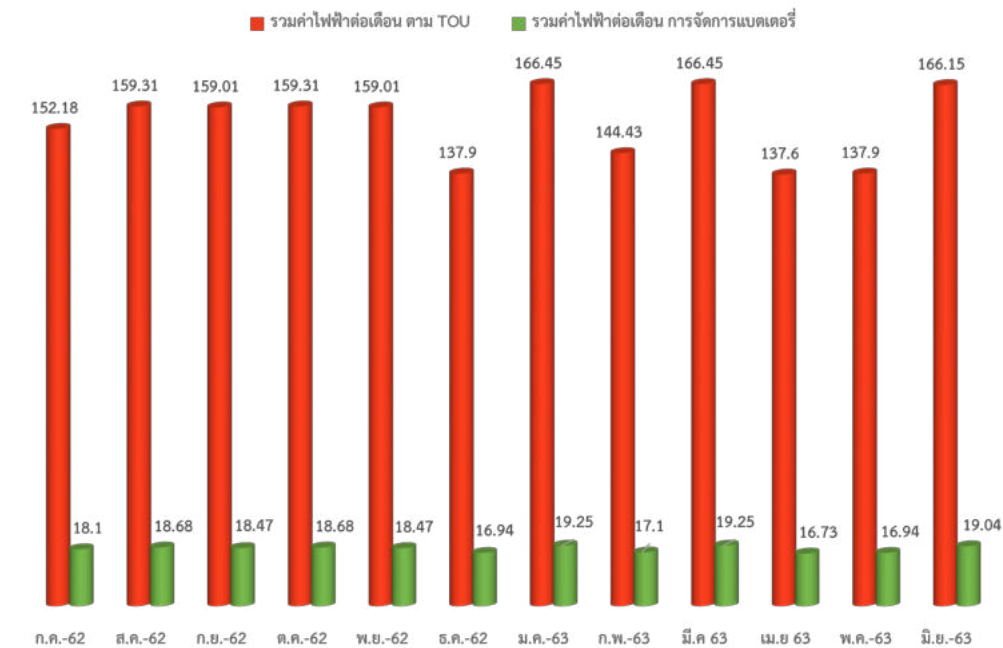
ภาพที่ 10 เปรียบเทียบอัตราค่าไฟฟ้า แบบ TOU แบบปกติ และค่าไฟฟ้าผ่านการจัดการแบตเตอรี่ ใน 1 วัน

จากภาพที่ 10 การลดค่าไฟฟ้าหลังจากผ่านการจัดการแบตเตอรี่ ใน 1 วัน คำนวณตามอัตรา TOU จากข้อมูลการคำนวณค่าไฟฟ้ารายวันที่อ้างอิงกับอัตรา TOU สามารถนำมาคำนวณค่าไฟฟ้ารายปี อ้างอิงการทำงานในมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ตามปฏิทินการศึกษา 2562 แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การคำนวณค่าไฟฟ้ารายปีเปรียบเทียบระหว่างการใช้ไฟฟ้าปกติและการจัดการแบตเตอรี่ ตาม อัตรา TOU

เดือนในปีการศึกษา 2562	ไฟฟ้าปกติ ตาม TOU (บาท/ปี)			การจัดการแบตเตอรี่ ตาม TOU (บาท/ปี)		
	ค่าไฟฟ้าต่อเดือน เดือนวันทำงาน	ค่าไฟฟ้าต่อเดือน วันหยุด	รวมค่า ไฟฟ้า	ค่าไฟฟ้าต่อเดือน วันทำงาน	ค่าไฟฟ้าต่อ เดือนวันหยุด	รวมค่า ไฟฟ้า
ก.ค. 62	148.83	3.35	152.18	15.78	2.32	18.10
ส.ค. 62	156.27	3.05	159.31	16.57	2.11	18.68
ก.ย. 62	156.27	2.74	159.01	16.57	1.90	18.47
ต.ค. 62	156.27	3.05	159.31	16.57	2.11	18.68
พ.ย. 62	156.27	2.74	159.01	16.57	1.90	18.47
ธ.ค. 62	133.94	3.96	137.90	14.20	2.74	16.94
ม.ค. 63	163.71	2.74	166.45	17.36	1.90	19.25
ก.พ. 63	141.39	3.05	144.43	14.99	2.11	17.10
มี.ค. 63	163.71	2.74	166.45	17.36	1.90	19.25
เม.ย. 63	133.94	3.66	137.60	14.20	2.53	16.73
พ.ค. 63	133.94	3.96	137.90	14.20	2.74	16.94
มิ.ย. 63	163.71	2.44	166.15	17.36	1.69	19.04
รวม	1,808.24	37.47	1,845.71	191.71	25.94	217.65

จากตารางที่ 6 การคำนวณค่าไฟฟ้ารายปีเปรียบเทียบระหว่างการใช้ไฟฟ้าปกติและการจัดการแบตเตอรี่ ตามอัตรา TOU อ้างอิงจากปฏิทินการศึกษา ปี 2562 ของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งจะมองถึงการใช้ไฟฟ้าในวันทำงานและวันหยุดโดยนำอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU จากการคำนวณต่อวันมาทำการคำนวณต่อเดือนและแสดงผลตามรายปี กราฟเปรียบเทียบการเสียค่าไฟฟ้าวันทำงาน วันหยุด และรวม ตามอัตรา TOU ปกติ และ ผ่านการจัดการแบตเตอรี่ แสดงดัง ภาพที่ 11



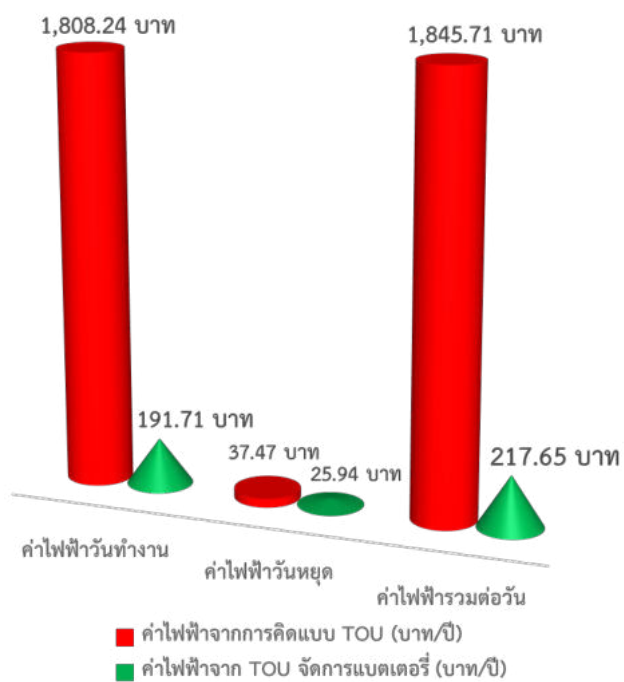
ภาพที่ 11 กราฟเปรียบเทียบการเสียค่าไฟฟ้ารวมตามอัตรา TOU ปกติ และ ผ่านการจัดการเบตเตอร์รายเดือน

ภาพเปรียบเทียบการเสียค่าไฟฟ้าวันทำงาน วันหยุด และ รวม ตามอัตรา TOU ปกติ และ ผ่านการจัดการเบตเตอร์แสดงผลสรุปในรายเดือน จะเห็นได้ว่าเมื่อผ่านการจัดการจากเบตเตอร์แล้ว การเสียค่าไฟฟ้าลดลงสามารถนำมาสรุปการเสียค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU และ ผ่านการจัดการเบตเตอร์โดยแยกเป็นวันทำงาน และวันหยุด แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงค่าไฟฟ้าตาม TOU คำนวณแบบปกติและผ่านการจัดการเบตเตอร์ ต่อปี

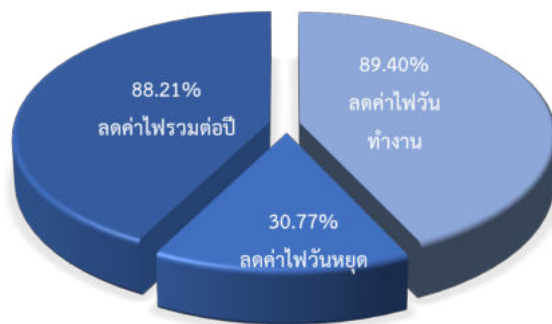
ค่าไฟฟ้า	ค่าไฟฟ้าคิดปกติ ตาม TOU (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าคิดจากการจัดการเบตเตอร์ ตาม TOU (บาท/ปี)	%การลดค่าไฟฟ้าหลังจากผ่านการจัดการเบตเตอร์ ต่อปี
ค่าไฟฟ้า วันทำงาน	1,808.24	191.71	89.40
ค่าไฟฟ้า วันหยุด	37.47	25.94	30.77
ค่าไฟฟ้ารวมต่อวัน	1,845.71	217.65	88.21

จากตารางที่ 7 แสดงค่าไฟฟ้าตาม TOU คำนวณแบบปกติและผ่านการจัดการเบตเตอร์ ต่อปี ไม่คำนวณค่า ft และ ค่าภาษี 7% จะพบว่าค่าไฟฟ้าวันทำงาน เสียค่าไฟฟ้าปกติ 1,808.24 บาทต่อปี เมื่อผ่านการจัดการเบตเตอร์จะเสียค่าไฟฟ้า 191.71 บาทต่อปี ค่าไฟฟ้าลดลง 89.40% วันหยุด เสียค่าไฟฟ้าปกติ 37.47 บาทต่อปี เมื่อผ่านการจัดการเบตเตอร์จะเสียค่าไฟฟ้า 25.94 บาทต่อปี ค่าไฟฟ้าลดลง 30.77% จากตารางแสดงกราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้ายรายปีดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 เปรียบเทียบอัตราค่าไฟฟ้า แบบ TOU แบบปกติ และค่าไฟฟ้าผ่านการจัดการแบตเตอรี่ ต่อปี

สามารถแสดงผลออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์การลดค่าไฟฟ้าทั้งวันทำงาน วันหยุด และรวมค่าไฟฟ้าต่อวัน แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดค่าไฟฟ้าหลังจากผ่านการจัดการแบตเตอรี่ ต่อปี

จากภาพที่ 13 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดค่าไฟฟ้าหลังจากผ่านการจัดการแบตเตอรี่ ต่อปี คำนวณตามอัตรา TOU พบว่าค่าไฟฟ้าลดลงโดยรวม 88.21% วันทำงานลดลง 89.40% และวันหยุดค่าไฟฟ้าลดลง 30.77%

สรุปผลการวิจัย

การคำนวณค่าไฟฟ้าตามพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในสวนพลังงานมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรเพื่อจำลองการบริหารจัดการแบตเตอรี่จากระบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบ อัตรา TOU ด้วยเครื่องใช้ไฟฟ้า 6 ชนิด ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 9W เปิดใช้ 13 ชั่วโมงในเวลากลางคืนทุกวัน ใช้กำลังไฟฟ้า 0.117 KWh.ต่อวัน, หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 18W เปิดใช้ 8 ชั่วโมงในเวลากลางคืนทุกวัน ใช้กำลังไฟฟ้า 0.144 KWh.ต่อวัน, คอมพิวเตอร์ ขนาด 65W เปิดใช้ 8 ชั่วโมงในเวลากลางคืนทุกวัน ใช้กำลังไฟฟ้า 0.520 KWh.ต่อวัน, พัดลมขนาด 46W เปิดใช้ 8 ชั่วโมงในเวลากลางคืนทุกวัน ใช้กำลังไฟฟ้า 0.368 KWh.ต่อวัน, TV LED 32 นิ้ว ขนาด 43W เปิดใช้ 8 ชั่วโมงในเวลากลางคืนทุกวัน ใช้กำลังไฟฟ้า 0.344 KWh.ต่อวัน และลำโพง ขนาด 50W เปิดใช้ 8 ชั่วโมงในเวลากลางคืนทุกวัน ใช้กำลังไฟฟ้า 0.4 KWh.ต่อวัน รวมใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1.893 KWh.ต่อวัน เมื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้ามาด้วยคำนวณค่าไฟฟ้าอย่างง่ายโดยยังไม่ได้คิดค่า ภาษี และ ค่า ft และค่าอื่นๆ ตามอัตราการเสียค่าไฟฟ้าประเภท 4 ซึ่งมีอัตราการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU แยกตามช่วงเสียค่าไฟฟ้าสูงสุด (On Peak) 4.1839 บาทต่อหน่วย และช่วงเสียค่าไฟฟ้าอัตราต่ำ (Off Peak) 2.6037 บาทต่อหน่วย ผลการคำนวณพบว่าการเสียค่าไฟฟ้าไม่ผ่านการจัดการแบตเตอรี่เสียค่าไฟฟ้า 7.44 บาทต่อวัน เมื่อผ่านการจัดการแบตเตอรี่เสียค่าไฟฟ้า 0.79 บาทต่อวัน สามารถลดค่าไฟฟ้าถึง 89.40% เมื่อกำหนดค่าไฟฟ้าในช่วงวันหยุด เสียค่าไฟฟ้าไม่ผ่านการจัดการแบตเตอรี่ 0.30 บาทต่อวัน ผ่านการจัดการแบตเตอรี่เสียค่าไฟฟ้า 0.21 บาทต่อวัน ค่าไฟฟาลดลง 30.77% เมื่อนำมาคำนวณในรอบปีตามปฏิทินการศึกษา ปีการศึกษา 2562 อ้างอิงตามปฏิทินทางการศึกษา เสียค่าไฟฟ้าปกติ 1,845.71 บาทต่อปี และ ผ่านการจัดการแบตเตอรี่เสียค่าไฟฟ้า 217.65 บาทต่อปี ค่าไฟฟาลดลง 88.21% จากเปอร์เซ็นต์การลดค่าไฟฟ้าผ่านการคำนวณค่าไฟฟ้าด้วยการจัดการแบตเตอรี่จากระบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตรา TOU ถือว่าสามารถลดค่าไฟฟ้าเกิน 50% เมื่อเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในสวนพลังงานมีระบบ stand alone มองในมุมมองของการใช้ทรัพยากรในกรณีที่ไม่มีการใช้ไฟฟ้าแบตเตอรี่ก็ถูกชาร์จทิ้งไม่ได้นำไปใช้, ระบบ on grid ถึงแม้จะเป็นการใช้ไฟฟ้าฟรีจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงแต่ยังคงเสียค่าไฟฟ้าในช่วงการเสียค่าไฟฟ้าสูง (On peak), และระบบ off grid hybrid ระบบนี้มีความใกล้เคียงกับระบบการจัดแบตเตอรี่มากที่สุดเพราะมีการเก็บไฟฟ้าในแบตเตอรี่หากไม่มีการใช้ไฟฟ้า แต่เมื่อเทียบการเสียค่าไฟฟ้าในเวลาค่าไฟฟ้าสูงอัตราการเสียค่าไฟฟ้ายังสูง แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยนำผลไปออกแบบติดตั้งจำลองการใช้ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในสวนพลังงาน เพื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 ระบบ กับระบบ จัดการแบตเตอรี่จากระบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบ อัตรา TOU โดยใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 6 ชุด และนำผลมาวิเคราะห์เชิงลึกโดยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อสร้างเป็นโมเดลและขยายระดับมหาวิทยาลัยและหน่วยงานที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าและเสียค่าไฟฟ้าในอัตรา TOU เช่นเดียวกับมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหาร เจ้าหน้าที่ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรที่สนับสนุนและให้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยขอขอบคุณเพื่อนร่วมงาน อาจารย์ เจ้าหน้าที่และนักศึกษาที่ช่วยในการเก็บข้อมูล และสุดท้ายอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาการจัดการพลังงานและสามารถกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพะเยาที่ให้คำแนะนำทั้งองค์ความรู้และแนวทางการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค Provincial Electricity Authority (PEA) (2560). การคำนวณการเสียดำไฟฟ้า สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2561, จาก <https://www.pea.co.th>.
- [2] สยาม อรุณศรีมรกต. (2560). **มาตรฐานสำนักงานสีเขียว Green Office**. กลุ่มส่งเสริมการผลิตและการบริโภคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.
- [3] ศรยุทธ พรหมศรี. (2560). พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของประชาชนในอำเภอศรีรัตนะ จังหวัดศรีสะเกษ, **วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี**. 8(1), 423-446.
- [4] ศักดิ์สิทธิ์ สุขสุเมฆ. (2014). **สร้างแบบจำลองด้วย Excel**. สร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจ. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น, บมจ.
- [5] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) (2559). **อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate - TOU)** สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2561, จาก <http://www.eppo.go.th/epposite/index.php/th/electricity/define-electricity/tou>.
- [6] การไฟฟ้านครหลวง Metropolitan Electricity Authority, Solar energy knowledge (2018). **อัตราค่าไฟฟ้า** สืบค้นเมื่อ 16 ตุลาคม 2561, จาก: <https://www.mea.or.th/profile/109/111>.
- [7] กฤษมาพร พิงโพธิ์. (2564). การตรวจวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าเพื่อประเมินแนวโน้มเชิงพฤติกรรมสำหรับสร้างแรงจูงใจเพื่อการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าต่อการใช้บริการโรงแรม. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**. 4(3), 29 -39.
- [8] พิณิจ วงศ์เดช. (2562). การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของแบตเตอรี่ในไมโครกริดแบบแยกเดี่ยวที่ติดตั้งพลังงานทดแทนเมื่อพิจารณาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่, **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**. 2(3), 81- 86.

การจัดการพลังงานในธุรกิจขนาดเล็กตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียน BCG Model

กรณีศึกษา: บริษัท ลพบุรีพาวเวอร์ซีด จำกัด จังหวัดเชียงใหม่

Energy Management in SMEs According to BCG Economy Model :

Case study of The Lopburi Power Seed Co., Ltd. In Chiang Mai Province

ปรีชา ศรีประภาคาร¹ ไพฑูรย์ เหล่าดี² และจักรพรรณ คงธนะ^{3*}

Preecha Sriprapakhan¹ Paitoon Laodee² and Jakkrapun Kongtana^{3*}

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

² วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

³ สถาบันวิจัยและบริการวิชาการด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชน วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา จังหวัดนครปฐม 73170

¹ Faculty of Science, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150

² Asian Development College for Community Economy and Technology (adiCET),

Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50300

³ Research and Academic Service Institute on Logistics and Supply Chain, College of Logistics and

Supply Chain, Suan Sunandha Rajabhat University, Nakhon Pathom Campus, 73170

*Corresponding author: Tel.: +66 93 393 4555. E-mail address: jakkrapun.ko@ssru.ac.th

Received: 16 August 2022, Revised: 15 September 2022, Accepted: 21 September 2022, Published online: 30 December 2022

Abstract

This article aims to assess the potential of enterprises for holistic economic development, namely the bio-economy, circular economy and green circular economy by conducting a survey of the establishment as well as giving advice and consulting solutions according to the development guidelines of the BCG model by advising the company Lopburi Power Seed Co., Ltd., Chiang Mai Province. The results of the study found that the results of the assessment of the green rotation economy by reducing the heat loss of hot air, the incubator can save energy equivalent to 268.51 liters of crude oil per day. The price of diesel fuel is 29.79 baht per liter, equivalent to a savings of 7,988.19 baht per day. The results of the circular economy assessment by collecting approximately 250 liters of wood vinegar per day or about 30,000 liters per year. A capacity of 450 kg of charcoal can be produced. If briquettes are pressed and sold for 20 baht per kilogram, they can add value to entrepreneurs by about 9,000 baht per year, with entrepreneurs having potential in the circular economy.

Keywords: Energy management, SMEs, BCG economy model



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณมีวัตถุประสงค์ศึกษากระบวนการของผู้ประกอบการเพื่อประเมินศักยภาพของสถานประกอบการสำหรับพัฒนาเศรษฐกิจแบบองค์รวม ได้แก่ เศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว สำหรับสถานประกอบการพร้อมทั้งแนะนำให้คำปรึกษา ตามแนวทางการพัฒนาตามแนวทาง BCG Model โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี พลังงาน และนวัตกรรมมาประยุกต์ใช้กับบริษัท ลพบุรีฟาวเวอร์ซิด จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ศักยภาพด้านเศรษฐกิจหมุนเวียนประกอบด้วย 1) มาตรการลดการสูญเสียความร้อนของห้องอบ ช่วยประหยัดพลังงานได้เทียบเท่ากับน้ำมันดิบ 268.51 ลิตร/วัน ราคาน้ำมันดีเซล 29.79 บาท/ลิตร คิดเป็นผลประหยัด 7,988.19 บาท/วัน 2) มาตรการผลิตการเก็บและยกระดับคุณภาพน้ำส้มควันไม้ 250 ลิตร/วัน คิดเป็น 30,000 ลิตร/ปี คิดเป็นรายได้ 600,000 บาท/ปี และ 3) มาตรการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ผลิตถ่านด้วยกระบวนการไพโรไลซิสสามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้ 450 kg จำหน่ายราคา 20 บาท/กก. ช่วยเพิ่มมูลค่า 9,000 บาท/ปี ด้วยทางผู้ประกอบกรมมีศักยภาพด้านการเศรษฐกิจหมุนเวียน

คำสำคัญ: การจัดการพลังงาน ธุรกิจขนาดเล็ก เศรษฐกิจหมุนเวียน

บทนำ

ประชากรของประเทศไทยประกอบอาชีพเกษตรกรรมด้วยมีทรัพยากรธรรมชาติและความหลากหลายทางชีวภาพเอื้อต่อการสร้างความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศมาโดยตลอด ซึ่งผลของการพัฒนาเศรษฐกิจต้องแลกมาด้วยความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติและยิ่งไปกว่านั้น การพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศที่ผ่านมายุคในลักษณะทำมาค้าได้น้อยไม่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับทรัพยากรได้อย่างเต็มศักยภาพ ถูกปล่อยทิ้งไว้ซึ่งปัญหาจำนวนมากในการแก้ไข ซ้ำยังถูกกดดันจากนานาชาติ เรื่องของการแก้ไขปัญหาสภาวะโลกร้อน การบุกรุกพื้นที่ป่ามาเป็นที่ดินทำกิน ผลผลิตสินค้าไม่เป็นที่ต้องการของตลาด การผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพจนกลายเป็นขยะ ขาดองค์ความรู้เรื่องของการนำเอาใช้ซ้ำ ซึ่งปัญหาต่างๆ เหล่านี้จะต้องได้รับการแก้ไข ประเทศไทยต้องแข่งขันทางการค้ากับทุกๆ ประเทศทั่วโลก ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมุ่งประเด็นของการแข่งขันทางเศรษฐกิจว่าจะเพิ่ม GDP ของประเทศได้อย่างไร ที่จะทำให้ผู้ประกอบการไทย โดยเฉพาะ SMEs ให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพัฒนาเครื่องจักรหรือการนำเทคโนโลยีใหม่ๆ ลดการสูญเสียมาปรับใช้ โดยการส่งเสริมและพัฒนาจากหลายๆ ภาคส่วน โดยมุ่งเน้นพืชเศรษฐกิจใหม่ที่สำคัญของภาคเหนือตอนบน คือ กาแฟ ซึ่งกำลังกลายเป็นพืชเศรษฐกิจตัวใหม่ ที่สร้างรายได้และการมีกระจายตัวทางการตลาดสูง มาพัฒนาภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจ BCG Model สอดรับกับต้นปี 2564 รัฐบาลได้มีการกำหนดยุทธศาสตร์การขับเคลื่อนประเทศ โดยนำแนวคิดเศรษฐกิจ BCG หรือการพัฒนาเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียนและเศรษฐกิจสีเขียว (Bio-Circular Green Economy Model) มาเป็นวาระแห่งชาติ เพื่อที่จะสร้างและพาไทยไปสู่เป้าหมายของการเป็นประเทศที่มีรายได้สูงและเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

ในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมาเศรษฐกิจไทยขยายตัวช้าประชาชนส่วนใหญ่ของประเทศยังมีรายได้น้อยและประเทศไทยยังคงติดกับดักรายได้ปานกลางมาอย่างยาวนาน รัฐบาลจึงจำเป็นต้องเร่งขับเคลื่อนเศรษฐกิจไทยโดยปรับเปลี่ยนรูปแบบการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมไทยไปสู่รูปแบบใหม่ ที่เรียกว่า BCG Economy Model ซึ่งจะช่วยต่อยอดจุดแข็งของประเทศไทยให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้นทั้งในด้านความหลากหลายทางชีวภาพและความหลากหลายทางวัฒนธรรม โดยอาศัยกลไกทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และนวัตกรรม เพื่อผลิตสินค้าและบริการที่มีมูลค่าสูงขึ้น และเปลี่ยนระบบเศรษฐกิจจาก “ทำมากได้น้อย” นำไปสู่ “ทำน้อยได้มาก”

BCG Model เป็นแนวคิดที่นำไปสู่การขับเคลื่อนประเทศไทยสู่ความยั่งยืนทางเศรษฐกิจ ประกอบด้วยการพัฒนาเศรษฐกิจสามด้าน ได้แก่ เศรษฐกิจชีวภาพ (Bio economy) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) และ เศรษฐกิจสีเขียว (Green economy) ประกอบกับประเทศไทยจึงเดินทางสู่แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนที่ครอบคลุมทั้งภาคการผลิตและผู้บริโภค ใน 4 ด้าน ดังนี้ ด้านการผลิตภาคอุตสาหกรรม (Production) ด้านการใช้งานและบริโภค (Consumption) ด้านการจัดการขยะหรือของเสีย (Waste Management) และด้านการใช้วัตถุดิบรอง (Secondary Raw Materials) [1] ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของสถานประกอบการสำหรับพัฒนาเศรษฐกิจแบบองค์รวมสามด้าน ได้แก่ เศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และ เศรษฐกิจหมุนสีเขียว โดยเข้าไปสำรวจสถานประกอบการพร้อมทั้งให้คำแนะนำปรึกษาตามแนวทางการพัฒนา BCG Model

วิธีการวิจัย

การวิจัยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ **ขั้นตอนแรก** การเข้าสำรวจปัญหา (First visit) เพื่อรับฟังปัญหาและวิเคราะห์ปัญหาพร้อมแนวทางแก้ไข **ขั้นตอนที่สอง** การตรวจวัด การเก็บตัวอย่าง เช่น ชั่งข้าวโพด น้ำส้มควันไม้ **ขั้นตอนที่สาม** การทดสอบการวิเคราะห์ผล เช่น ทดลองเผาถ่าน และทดลองกลั่นน้ำส้มควันไม้และ **ขั้นตอนสุดท้าย** การวิเคราะห์สรุปผลให้คำปรึกษา และร่วมวางแผนการดำเนินงาน การเข้าสำรวจปัญหารวมทั้งรับฟังความต้องการของผู้ประกอบการ โดยมีผู้ประกอบการเจ้าหน้าที่อุตสาหกรรมจังหวัดเชียงใหม่ และที่ปรึกษา ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การลงพื้นที่แนะนำให้คำปรึกษา บริษัท ลพบุรีพาวเวอร์ซิด จำกัด

จากการลงพื้นที่สามารถสรุปปัญหาเบื้องต้นพร้อมทั้งเสนอแนวทางแก้ไขดังแสดงในตารางที่ 1 สำหรับช่องระบายความร้อนของห้องอบเมล็ดข้าวโพดแสดงตาม ภาพที่ 2 เครื่องโม่ข้าวโพดและชั่งข้าวโพดเหลือทิ้งแสดงตามภาพที่ 3 และน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไม้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำแสดงตามภาพที่ 4

ตารางที่ 1 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ที่	ปัญหา	แนวทางแก้ไข
1	การป้อนเชื้อเพลิงไม่เหมาะสมกับหม้อไอน้ำทำให้อุณหภูมิความร้อนไม่คงที่ ประกอบกับยังใช้แรงงานคน	1.ควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงที่พอเหมาะกับการสิ้นเปลืองของหม้อไอน้ำหรือใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นร่วมด้วย เช่น ชังข้าวโพด
2	การสิ้นเปลืองไฟฟ้าของพัดลมระบายความร้อน พัดลมขนาด 7.5 แรงม้า จำนวน 2 เครื่อง ติดตั้งภายในห้องอบเมล็ดข้าวโพด ห้องอบจำนวน 9 ห้อง	2 ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการติดตั้งฝาปิดช่องระบายความชื้นออกด้านนอกห้องอบ ในช่วงความชื้นของผลิตภัณฑ์เหมาะสมความร้อนสามารถหมุนวนกลับไปใช้ยังหม้อไอน้ำ เช่น ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการประหยัดพลังงาน
3	ปริมาณชังข้าวโพดเหลือทิ้ง 1-2 ตัน/เดือน	3 ชังข้าวโพดแปรรูปใช้เป็นถ่านอัดแท่ง
4	ปริมาณน้ำส้มควันไม้เหลือทิ้งวันละ 250 ลิตร	4 สกัดด้วยกระบวนการกลั่น (ทั้งนี้ได้นำตัวอย่างมาถนอม)



ภาพที่ 2 ช่องระบายความร้อนของห้องอบเมล็ดข้าวโพด



ภาพที่ 3 เครื่องโม่ข้าวโพดและชังข้าวโพดเหลือทิ้ง



ภาพที่ 4 น้ำส้มคว้นไม้ที่ได้จากการเผาไม้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ

จากตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาแนวทางการพัฒนาตามกรอบ BCG mode พบว่า สถานประกอบการดังกล่าว มีศักยภาพดังต่อไปนี้ การพัฒนาด้าน Circular Economy เศรษฐกิจเหลือจากการผลิต ได้แก่ ชังข้าวโพด สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้โดยตรง และแปรรูปถ่านอันแท่ง เป็นการกำจัดของเสียได้อย่างเหมาะสมช่วยลดการปลดปล่อย CO₂ ต่อสิ่งแวดล้อมนำไปสู่การพัฒนาด้าน Green Economy น้ำส้มคว้นไม้ที่ได้จากกระบวนการกลั่นสามารถนำสกัดเป็นสารตั้งต้นเพื่อนำไปใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ได้เป็นการพัฒนาด้าน Bio Economy ช่วยเพิ่มมูลค่าหรือการปรับปรุงเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต

มาตรการต่อมาคือการทำที่ปิดช่องระบายความร้อนของห้องอบแห้ง หลังจากการที่อบแห้งเมล็ดข้าวโพดได้ความชื้น 14 % ค่าความชื้นนั้นอ้างอิงจากผู้ประกอบการ เมื่อผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งได้ตามที่ต้องการแล้ว ควรปิดช่องระบายลมร้อนซึ่งจากเดิมเป็นการปล่อยทิ้งเกิดเป็นความร้อนสูญเสีย เพื่อให้ความร้อนหมุนวนกลับไปใช้ในการอุ่นอากาศของหม้อไอน้ำจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานเชื้อเพลิง สามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่สูญเสียเทียบเท่ากับน้ำมันดิบได้ พื้นที่ของช่องระบายลมร้อน $A = 0.72 \text{ m}^2$ ความเร็วลมของลมร้อน $V_{air} = 3.0 \text{ m/s}$ จำนวนหาอัตราการไหลมวลของอากาศ \dot{m}_{air} จากความสัมพันธ์ของสมการ (1), [2-4]

$$Q = \dot{m}_{air} = AV_{air} = (0.72\text{m}^2)(3.0\text{m}) = 2.16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (1)$$

คำนวณหาปริมาณความร้อนที่สูญเสียของช่องระบายลมร้อนได้ตามสมการ (2), [3-4]

$$Qu = \dot{m}_{air} C_{p-air} (T_{hot-air} - T_a) \quad (2)$$

กำหนดให้ C_{p-air} คือ ค่าความจุความร้อนของอากาศ 1.013 kJ/kg.K $T_{hot-air}$ คือ อุณหภูมิของลมร้อน 90 °C หรือ 363 K T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม 30 °C หรือ 303 K ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่สูญเสียของช่องระบายลมร้อนตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$Qu = \left(2.16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \left(1.013 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) (363\text{K} - 303\text{K}) \left(\frac{3600\text{s}}{1\text{hr}} \right) \left(\frac{1000\text{kg}}{1\text{m}^3} \right) \quad (3)$$

$$Qu = 472,625,280 \frac{\text{kJ}}{\text{hr}} = 472.63 \frac{\text{GJ}}{\text{hr}}$$

พลังงานความร้อนที่สูญเสียไปในแต่ละวันเทียบเท่ากับน้ำมันดิบ (1 ตันเทียบเท่ากับน้ำมันดิบ toe = 42.244 GJ) ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง 24 h คำนวณหาปริมาณความร้อนที่สูญเสียในการอบแห้ง 1 วัน ได้ตามความสัมพันธ์

$$Qu = \left(472.63 \frac{GJ}{hr} \right) \left(24 \frac{hr}{1 day} \right) = 1,134.12 \frac{GJ}{day} \quad (4)$$

คำนวณหาปริมาณความร้อนที่สูญเสียใน 1 วัน เทียบเท่ากับน้ำมันดิบ (toe) ได้ตามความสัมพันธ์

$$V_{oil} = \frac{11,343.12 \frac{GJ}{day}}{42.244 GJ} = 268.51 day \quad (5)$$

ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่สูญเสียใน 1 วัน เทียบเท่ากับน้ำมันดิบ (toe) ประมาณ 268.51 ลิตรต่อวัน

แนวทางการพัฒนา Bio Economy น้ำส้มควันไม้เมื่อนำมาทดสอบด้วยกระบวนการกลั่น ณ วิทยาลัยพัฒนา เศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ศูนย์แมริม ดังแสดงตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการกลั่นตัวอย่างน้ำส้มควันไม้

แนวทางการลดใช้เชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับหม้อไอน้ำใช้ซังข้าวโพดแห้งเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับไม้/ฟืน พบปัญหา มีฝุ่นมากส่งผลเสียต่อสุขภาพคนงาน แนวทางแก้ไขคือ เปลี่ยนซังข้าวโพดเป็นถ่านอัดแท่งด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้เทคโนโลยีเตาเผาถ่าน 200 ลิตร แสดงตามภาพที่ 6 เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนแรก เเผาซังข้าวโพดในเตาเผาถ่าน 200 ลิตร จำนวน 35-40 kg ใช้เวลาประมาณ 3-6 h ได้ถ่านซีแมว 20% (ประมาณ 8 kg) ขั้นตอนที่สอง การบดถ่านด้วยเครื่องตีป่นไม้ให้ละเอียดเป็นผง ขั้นตอนที่สาม การผสมผงถ่านด้วย เครื่องผสมมีอัตราส่วน ผงถ่าน : แปะมัน : น้ำ (10 kg : 1 kg : 7 kg) ขั้นตอนที่สี่ การขึ้นรูปเข้าเครื่องอัดแท่งและตัดตาม ขนาด ขั้นตอนสุดท้าย การตากแห้งถ่านอัดแท่งในโรงอบ 3-5 วัน ได้ถ่านอัดแท่งซังข้าวโพดบรรจุและจำหน่าย



ภาพที่ 6 เต้าเผาถ่าน 200 ลิตร

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการนำความร้อนวนกลับมาใช้ด้วยการปิดช่องระบายลมร้อนช่วยประหยัดพลังงานเทียบเท่ากับน้ำมันดิบ 268.51 ลิตร/วัน คิดเป็นผลประหยัด 7,988.19 บาท/วัน หากดำเนินการครบ 9 ห้อง ช่วยลดการสูญเสียพลังงานได้ประมาณ 77,893.69 บาท/วัน หรือคิดเป็นเงิน 2,156,810.89 บาท/เดือน ผลผลิตถ่านซีใหม่ที่ได้น้ำส้มควันไม้ ดังภาพที่ 7 ปริมาณน้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้ประมาณ 250 ลิตร/วัน ช่วงระยะเวลาการอบซังข้าวโพดประมาณ 4 เดือน/ปี แสดงว่าน้ำส้มควันไม้มีประมาณ 30,000 ลิตร/ปี ราคา น้ำส้มควันไม้ตามท้องตลาด 1 แกลลอน ราคา 75-95 บาท หากจำหน่ายจะเพิ่มมูลค่า 600,000 บาท/ปี (1 แกลลอน 4 ลิตร จำหน่ายราคา 80 บาท/แกลลอน) การผลิตถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดประมาณ 1-2 ตัน/เดือน น้ำหนักเฉลี่ย 1,500 kg สามารถผลิตถ่านได้ประมาณ 450 kg หากจำหน่ายในราคา 20 กก./บาท ช่วยเพิ่มมูลค่าผลผลิตถ่านซีได้ถึงประมาณ 9,000 บาท/ปี



ภาพที่ 7 ผลผลิตถ่านซีน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากกระบวนการกลั่น

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของสถานประกอบการสำหรับพัฒนาเศรษฐกิจแบบองค์รวม พบว่า การพัฒนาด้าน Circular Economy มาตรการแรก การใช้ซึ่งข้าวโพดเหลือทิ้งร่วมกับไม้ลื่นจีและไม้ลำไยสำหรับหม้อน้ำ มาตรการที่สอง การนำความร้อนวงกลับมาใช้ของห้องอบแห้งโดยการทำให้ปิดช่องระบายลมร้อน มาตรการที่สาม การผลิต ถ่านอัดแท่งด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ช่วยลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเป็นแนวทางการกำจัดซากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้อย่างเหมาะสมนำไปสู่การพัฒนาด้าน Green Economy และการพัฒนาด้าน Bio Economy มาตรการที่สี่ การแปรรูปน้ำส้มควันไม้เพื่อเพิ่มมูลค่าด้วยการกลั่นเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่เป็นแนวทางสนับสนุน พัฒนาอุตสาหกรรม วิสาหกิจ ให้มีขีดความสามารถในการที่เป็นเลิศเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดเชียงใหม่ที่อำนวยความสะดวกประสานงานกับผู้ประกอบการเข้าสำรวจ ทั้งยังให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ ขอขอบคุณ บริษัท ลพบุรีพาวเวอร์ซีดี จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ ที่ให้ข้อมูลพื้นฐานอันเป็น ประโยชน์ต่อการวิจัยที่เอื้อต่อการพัฒนาตามแนวทาง BCG-model ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริด เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่อนุเคราะห์เครื่องกลั่นน้ำส้มควันไม้สำหรับทดสอบ ขอขอบคุณนายมานิช พึ่งจะแย้ม ที่ อนุเคราะห์เตาเผาถ่าน 200 ลิตร สำหรับผลิตถ่านซึ่งข้าวโพด ขอขอบคุณ วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่ง เอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่อนุเคราะห์สถานที่สำหรับการทดลองกลั่นน้ำส้มควันไม้และเผาถ่าน ท้ายสุดขอขอบคุณ ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและบริการวิชาการด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชน วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาและมหาวิทยาลัยมหาสารคามที่สนับสนุนบุคคลากรและวิชาการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) ถอดรหัส “BCG Model” แนวคิดขับเคลื่อนไทยสู่ความยั่งยืน **ทางเศรษฐกิจ** สืบค้นออนไลน์ วันที่ 7 สิงหาคม 2565
<https://researchex.mju.ac.th/agikl/index.php/knowledge/42-mushroom/105-musroom>
- [2] ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2553). **กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics)**. สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล. หน้า 85-87.
- [3] Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). **Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications Fifth Edition in SI Unit**. pp. 12-13.
- [4] มัทนี สงวนเสริมศรี (2549). **หลักการพื้นฐานของอุณหพลศาสตร์วิศวกรรม**. สำนักพิมพ์ PRO-TEXTS โดยบริษัท แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตปอเรชั่น จำกัด. 98-99.

วารสารวิชาการ
**พลังงานทดแทน
สู่ชุมชน**



J-REC

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY

สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 อีเมล : treca.2012@gmail.com โทร : 02 549 3497