

วารสารวิชาการ พลังงาน ทดแทน สู่ชุมชน

ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม-เมษายน 2564

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 อำเภอธัญบุรี 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

- ส่งเสริมความร่วมมือ ทางด้านวิชาการระหว่างภาครัฐและภาคประชาชน ในด้านพลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและ สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชนต่างๆในประเทศไทย
- จัดหาทุน เพื่อสนับสนุนการศึกษา วิจัย ฝึกอบรม การดำเนินโครงการด้านพลังงานทดแทน ให้กับภาครัฐและภาคประชาชน
- ไม่ดำเนินการ ส่งเสริมและพัฒนากิจกรรมใดๆ ที่มุ่งไปสู่การดำเนินงานทางการเมือง
- ไม่ดำเนินการ ให้มีการกระทำการอันผิดต่อขนบธรรมเนียมและจารีตประเพณีที่ดีของสังคมไทย

หลักการและเหตุผล

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

จุดมุ่งหมายสำคัญ

การทำงานกันทั้งส่วนภาครัฐและประชาชนในการใช้พลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศไทย ตลอดจนการศึกษาวิจัย ดำเนินการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่างๆ มาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อความเหมาะสมและให้เกิดความยั่งยืนของชุมชนและประชาชนในประเทศไทย

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY

คณะกรรมการจัดทำวารสาร

วิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

หัวหน้ากองบรรณาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ 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
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยะวิริยะนันท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์ มณีโชติ
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
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยะวิริยะนันท์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงไกร แซมสีม่วง	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภาวสุปรีดิ์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนนมาลย์ เนียมกลาง	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปราษฎ์ อัครนรากุล	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ ประทุมพนรัตน์
ดร.วิเชียร อุปแก้ว
ดร.วินัย จันทร์เพ็ง
ดร.สถาพร ทองวิก
ดร.อำพล อากาศานกร
ดร.ธนวรรธน์ วีชรดำรงศักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมมาส แก้วล้วน
รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แก้วศักดิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร แก้วอ่อน
ดร.นเรศ นิมเรศ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์ มณีโชติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพิธาร์ ธนารักษ์

ดร.บงกช ประสิทธิ์

ดร.ยอดธง เม่นสิน

ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรศรี

ดร.ทศทิพย์ สินธูยา

ดร.ณัฐยา ตันตรานนท์

ดร.สุรัชย์ ณัฐ จันทร์ศรี

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.ธนศ ไชยชนะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง
รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณุช แจงสว่าง
ดร.นวงศ์ ชลคุป
ดร.กัมปนาท ชิลวา
ดร.สาคร สร้อยสว่างลัย

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 1 ของปีที่ 4 และนับเป็นปีแรกที่วารสารตีพิมพ์รูปแบบออนไลน์ ISSN 2773-8639 (Online) วารสารฉบับนี้เป็นเนื้อหาของบทความทางวิชาการที่มุ่งสร้างผลงานที่เด่นทางด้านวิจัย และมุ่งสู่การใช้งานจริง ซึ่งได้รวบรวมความรู้ทางวิชาการที่สามารถถ่ายทอดให้แก่สังคม ทางด้านพลังงานทดแทนในสาขาต่างๆ เพื่อให้วารสารนี้เป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนวิชาการ และแนวความคิดในแวดวงวิชาการทั้งผู้วิจัยและผู้ใช้งาน 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

พลังงานเพื่อการเกษตร

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์การพัฒนาผลิตภัณฑ์ 8
กลยุทธ์โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการดำเนินการโรงงานสีเขียว 16

นวัตกรรมด้านพลังงาน

อุปกรณ์ตรวจวัดมุมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ 25
แบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ IoT
การพัฒนาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบน็อคดาว์นสำหรับตะเกียบไม้ไผ่สด 33
การพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสำหรับการใช้งานผลิตความร้อนและถ่านชีวภาพ 47

เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน

การผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชนจากน้ำมันทอดไก่ 54
การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการกระจายความร้อน 62
โดยใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางสำหรับเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงแก๊ส LPG
การประเมินประสิทธิภาพความร้อนเตาชีวมวลแบบบังคับอากาศโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล 77
การเพิ่มคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบเพื่อผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยกระบวนการไพโรไลซิส 87
กระบวนการแปรสภาพขานอ้อยที่เหมาะสมด้วยวิธีการทางกายภาพร่วมกับเคมี 97
เพื่อเป็นสับเสอร์ทในการผลิตเอทานอล

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์การพัฒนาดอกกล้วยอบโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

Economic Analysis of Development of Banana Drying using Solar Energy

กฤษมาพร พึ่งโพธิ์¹ และชานนท์ บุญมีพิพิธ^{1*}

¹ วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
จังหวัดนครปฐม 73170

Abstract

The aim of this research to study the economic analysis of the development of banana drier products from solar, by solar drying technique. The case study at Anghin Sub-district, Paktho District, Ratchaburi province with community enterprise group producing a banana drier. The objectives of the study were to assess production costs and to determine ideal sales prices, by using the evaluation criteria consisting of analysis of payback period (PP), net present value method (NPV) and the effective rate of return method (Internal Rate of Return: IRR). The results as shown the dehydrated bananas using a parabola dome drying oven had an average investment expenditure of 17,056 baht per person, totaling 341,120 baht, and expenditures for years 1-3 are equal to 108,154 baht, 110,844 baht, and 120,084 baht. The production capacity 14,400 kg/year, the sale of dried bananas from white jasmine varieties 140 baht/kg, a total of 14,300 kg for an amount of 2,002,000 baht/year, unqualified bananas in the amount of 100 kg, 90 baht/kg, 100 baht and 120 baht, an amount equal to 2,011,000 baht, 2,012,000 baht, and 2,014,000 baht, respectively. As a result of net profit (loss) per year in years 1-3 is equal to 1,902,846 bath, 1,901,156 bath and 1,893,916 baht, respectively. Therefor the payback period of 1 year, the net present value is 5,244,845.92 baht and 4,643,753.15 baht, respectively, and has an effective rate of return of 8.50%

Keywords: Economics, Dried bananas, Solar incubator, Sun

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์การพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้กระบวนการอบแห้งโดยใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนตำบลอ่างหินผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี เพื่อประเมินต้นทุนการผลิตและการกำหนดราคาขายที่เหมาะสม โดยใช้เกณฑ์การประเมินประกอบด้วย การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PP) วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) และวิธีอัตราผลตอบแทนที่แท้จริง (Internal Rate of Return : IRR) ผลการศึกษาพบว่าการพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้งโดยใช้ตู้อบแห้งแบบโดมพาราโบลาที่มีรายจ่ายลงทุนเฉลี่ยรายละ 17,056 บาท เป็นจำนวนเงินทั้งหมด 341,120 บาท และมีรายจ่ายปีที่ 1-3 เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 108,154 บาท 110,844 บาท และ 120,084 บาท กำลังการผลิตปีละ 14,400 กิโลกรัม จากการจำหน่ายกล้วยตากพันธุ์มะลิขาว กิโลกรัมละ 140 บาท จำนวน 14,300 กิโลกรัม เป็นเงิน 2,002,000 บาทต่อปี และกล้วยที่ไม่ผ่านการคัดคุณภาพจำนวน 100 กิโลกรัม กิโลกรัมละ 90 บาท 100 บาท และ 120 บาท เป็นจำนวนเงิน เท่ากับ 2,011,000 บาท 2,012,000 บาท และ 2,014,000 บาท ตามลำดับ ทำให้มีกำไร(ขาดทุน)สุทธิต่อปี ในปีที่ 1-3 เป็นจำนวนเงินเท่ากับ 1,902,846 บาท 1,901,156 บาท และ 1,893,916 บาท ตามลำดับ จึงทำให้มีระยะเวลาคืนทุน 1 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 5,244,845.92 บาท และ 4,643,753.15 บาท ตามลำดับ และมีอัตราผลตอบแทนที่แท้จริงเท่ากับ ร้อยละ 8.50

คำสำคัญ : เศรษฐศาสตร์ กล้วยอบแห้ง ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ แสงอาทิตย์

*Corresponding author: Tel.: 0847772994 E-mail address: Chanon.bun@rmutr.ac.th

บทนำ

ในปัจจุบันรัฐบาลได้มีนโยบายสนับสนุนให้ชุมชนผลิตสินค้าจากผลิตภัณฑ์การเกษตรที่โดดเด่นของชุมชนเพื่อสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนโดยกระบวนการต่างๆ ที่เหมาะสมและแตกต่างกันออกไปเพื่อสร้างรายได้ให้แก่ครอบครัว และชุมชนตลอดจนเป็นการสร้างอาชีพภายในชุมชน และนโยบายการสนับสนุนในการสร้างอาชีพให้กับชุมชนร่วมกันระหว่างมหาวิทยาลัยและชุมชนเพื่อบูรณาการร่วมกันพัฒนาแบบบูรณาการ เพื่อเป็นการส่งเสริมเศรษฐกิจระดับชุมชนท้องถิ่นให้มีความเข้มแข็งสามารถพึ่งพาตนเองได้จะช่วยให้เกิดการยกระดับความเป็นอยู่และมาตรฐานคุณภาพชีวิตในครัวเรือนให้สูงขึ้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรนั้นมีหลากหลายรูปแบบ เช่น การดอง การใช้ความเย็น การใช้รังสี การใช้วัสดุเจือปนในอาหาร และกระบวนการโดยความร้อน โดยเฉพาะกระบวนการทางความร้อนโดยเทคนิคการอบแห้งนั้น เป็นเทคนิคการแปรรูปอาหารที่มีตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตู้อบโดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นนวัตกรรมเพื่อการอบแห้งชนิดหนึ่งที่น่าสนใจเพราะหลายเรื่องด้วยใช้แหล่งพลังงานจากรังสีอาทิตย์ส่องผ่านแผ่นผนังลักษณะโปร่งแสงและเกิดการสะท้อนของรังสีอาทิตย์กลับไปภายในโดมอบแห้ง กระทั่งเกิดเป็นความร้อนสำหรับการอบแห้งต่างๆ [1-3]

พื้นที่รับผิดชอบองค์การบริหารส่วนตำบลอ่างหิน อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี แบ่งออกเป็น 7 หมู่บ้าน ที่มีความหลากหลายด้านวัฒนธรรม เกษตรกรรม และความเข้มแข็งของชุมชนที่แตกต่างออกไป โดยเฉพาะเชิงเกษตรกรรมประกอบด้วยเกษตรกรรมพืชไร่ เช่น อ้อย ข้าวโพด เกษตรกรรมพืชสวน เช่น มะเขือ ถั่วฝักยาว ค่ะน้า ฝักขี้ และพืชที่มีจำนวนมากในพื้นที่ เช่น มะม่วง และผลไม้ตามฤดูกาลอื่นๆ จากผลการดำเนินงานที่ผ่านมาพบว่าปัญหาเกษตรกรรมส่วนใหญ่จะจำแนกออกเป็นการใช้สารเคมี ประมาณน้ำไม่ทั่วถึงและขาดแคลนในบางช่วงของปี จึงทำให้เกิดการพัฒนาโดยเฉพาะการเพิ่มปริมาณการกักเก็บของแหล่งน้ำ และการสะสมของปริมาณสารเคมีจากการทำเกษตรสะสมมาเป็นระยะเวลานาน จึงทำให้เกิดสภาวะดินเสื่อมและดินเค็ม เป็นผลต่อการทำเกษตรที่ไม่ได้ผลเท่าที่ควร และด้วยการประสานงานอย่างต่อเนื่องกับการพัฒนาจากเกษตรกรในแต่ละส่วนพื้นที่เพื่อฟื้นฟูและพัฒนา ทำให้พื้นที่หมู่ 4 มีการณรงค์ส่งเสริมทำเกษตรกรรมปลอดภัย และปลูกพืชสวนโดยเป็นไปตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียงที่ได้รวมตัวจัดตั้งกลุ่มเกษตรกรผลิตกล้วยตาก และจัดตั้งเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิต

กล้วยตาก ต.อ่างหิน อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี รวมกลุ่มขึ้นโดยมีนายพูน ขยันกลาง เป็นผู้นำกลุ่ม โดยมีสมาชิกในปัจจุบันจำนวน 20 คน มีการพัฒนาเครื่องมือผลิตกล้วยตากในลักษณะหุ้น โดยสมาชิกแต่ละคนจะมีจำนวนคนละ 2 หุ้น หุ้นละ 50 บาท รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 2,000 บาท เพื่อจัดหาเครื่องปิดปากถุงชนิดความร้อน การทำงานของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตกล้วยตาก จะแยกออกเป็นการผลิตในรูปแบบครอบครัวประกอบด้วยทั้งหมด 7 กลุ่มย่อย โดยมีกำลังการผลิตกลุ่มละ 40 กล้อง/สัปดาห์ 280 กล้อง/สัปดาห์ ซึ่งรายได้จะไม่เข้ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนจึงทำให้การดำเนินงานไม่เข้มแข็ง ผลิตภัณฑ์จากวิสาหกิจชุมชน ต.อ่างหิน ประกอบด้วย กล้วยฉาบ กล้วยตาก กล้วยตากชุบช็อกโกแลต

โดยในการศึกษาครั้งนี้เป็นการพิจารณาเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้เทคนิคการใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ชนิดกรีนเฮาส์ (ระบบปิด) ชนิดแยกส่วนการใช้งาน (2 ส่วน) ขนาด 3.6 × 3.6 × 3.0 เมตร (กว้าง × ยาว × สูง) และมีชั้นอบกล้วยชนิดล้อเลื่อนจำนวน 3 ชั้น 2 ชุด ที่มีอัตราการอบได้สูงสุดครั้งละ 150 กิโลกรัม/ชุด รวม 300 กิโลกรัม/ครั้ง อุณหภูมิการอบระหว่าง 50-70 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาการอบระหว่าง 3-6 วัน/ครั้ง ที่จะทำให้ผลผลิตมีคุณภาพ สี รสชาติ ความสะอาดและได้ปริมาณมากต่อการผลิตต่อครั้งสูงขึ้น สำหรับการลงทุนโดยใช้การเกณฑ์การประเมิน ประกอบด้วย การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PP) วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) และวิธีอัตราผลตอบแทนที่แท้จริง (Internal Rate of Return : IRR)

วิธีการวิจัย

กระบวนการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน จากดัชนีชี้วัดเชิงเศรษฐศาสตร์ทั่วไป ดังนี้

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) หมายถึง ระยะเวลาที่กระแสเงินสดที่ได้รับเท่ากับเงินที่ลงทุนไปเป็นเครื่องมือที่ใช้บอกสภาพความเสี่ยงของโครงการได้ โครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นจะมีสภาพคล่องสูงและความเสี่ยงต่ำ โดยสามารถคำนวณหาค่า PB [4, 5] ได้จากสมการ (1)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{จำนวนปีก่อนคืนทุน} + \frac{\text{กระแสเงินสดส่วนที่เหลือ}}{\text{กระแสเงินสดทั้งปี}} \quad (1)$$

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินลงทุนของโครงการ โดยสามารถคำนวณหา NPV [4, 5] ได้จากสมการที่ (2) ดังนี้

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{(R_t - C_t)}{(1+i)^t} - I_0 \quad (2)$$

โดยที่ R_t คือ กระแสรายได้ในปีที่ t C_t คือ ต้นทุนที่เกิดขึ้นในปีที่ t
 i คือ อัตราคิดลด ในที่นี้คือ MLR เฉลี่ย I_0 คือ เงินลงทุนโครงการ

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) คือ อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการมีค่าเท่ากับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก [4, 5] สมการที่ (3) หรือหาอัตราที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 0

$$\sum_{t=1}^N \frac{(R_t - C_t)}{(1+i)^t} = I_0 \quad (3)$$

โดยที่ R_t คือ กระแสรายได้ในปีที่ t C_t คือ ต้นทุนที่เกิดขึ้นในปีที่ t
 i คือ อัตราคิดลด ในที่นี้คือ MLR เฉลี่ย I_0 คือ เงินลงทุนโครงการ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ต้นทุนการผลิตการกำหนดราคาขายการวางแผนกำไรและการบริหารต้นทุนผลิตภัณฑ์ชุมชนใช้การวิเคราะห์
สังเคราะห์ที่ได้จากการสัมภาษณ์และการจัดกลุ่มเสวนานำเสนอข้อมูลในรูปแบบการบรรยายและสรุปผลการวิจัย

ตารางที่ 1 แสดงเงินลงทุนที่ใช้ในด้านเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อผลิตกล้วยตาก ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กล้วยตาก
แบบวิธีใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

รายการ	จำนวน (บาท)
กำลังการผลิต (ตันต่อปี)	14.40
โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (บาท)	120,000
ตู้เย็นสำหรับเก็บ (บาท)	10,990
เครื่องชั่งน้ำหนัก (บาท)	3,590
กะบะใส่กล้วย (บาท)	525
ตะกร้าใส่กล้วย (บาท)	175
รถเข็น (บาท)	1,090
โต๊ะคัดแยกกล้วย (บาท)	4,600
อื่นๆ	150
รวมมูลค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง (บาท)	141,120

จากตารางที่ 1 พบว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนมีกำลังการผลิต 14.40 ตันต่อปี ใช้เงินในการลงทุนด้านเครื่องจักรและ
อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อใช้ในการผลิตกล้วยตาก จำนวน 141,120 บาท

ตารางที่ 2 แสดงค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ อายุการใช้งาน 3 และ 5 ปี

รายการ	จำนวน
ค่าเสื่อมโดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (บาท)	40,000
ค่าเสื่อมตู้เย็นสำหรับเก็บ (บาท)	2,198
ค่าเสื่อมเครื่องชั่งน้ำหนัก (บาท)	718
ค่าเสื่อมกะบะใส่กล้วย (บาท)	175
ค่าเสื่อมตะกร้าใส่กล้วย (บาท)	35
ค่าเสื่อมรถเข็น (บาท)	218
ค่าเสื่อมโต๊ะคัดแยกกล้วย (บาท)	1,150
รวมค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง (บาท)	44,494

จากตารางที่ 2 พบว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชน มีค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆเป็นจำนวน 44,494 บาทต่อปี

“ต้นทุนทางด้านวัตถุดิบ”

จากการสัมภาษณ์สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนจำนวน 20 คน ในด้านต้นทุนวัตถุดิบทางตรงซึ่งได้แก่ กล้วยสด ในการ
คำนวณต้นทุนครั้งนี้ได้ใช้ราคากล้วยสดเฉลี่ยต่อหวีที่ทางวิสาหกิจซื้อในปี 2562

ตารางที่ 3 แสดงจำนวน และราคาต่อหน่วยของกล้วยสดที่ใช้ในการทำกล้วยตาก ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กล้วยตากแบบวิธีใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

กล้วยน้ำ หว่า (พันธุ์)	ปริมาณและราคาต่อหน่วยของกล้วยสด								
	ปีที่ 1			ปีที่ 2			ปีที่ 3		
	ปริมาณ (กก.)	หน่วย ละ	เป็นเงิน	ปริมาณ (กก.)	หน่วย ละ	เป็นเงิน	ปริมาณ (กก.)	หน่วย ละ	เป็นเงิน
ขวมะลิ	1,200	15	18,000	1,200	15	18,000	1,200	20	24,000
รวม	1,200	15	18,000	1,200	15	18,000	1,200	20	24,000

จากตารางที่ 3 พบว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชน มีต้นทุนวัตถุดิบทางตรง ได้แก่ กล้วยน้ำว้าสด โดย ปีที่ 1 มีจำนวนเงินเท่ากับ 18,000 บาท ปีที่ 2 มีจำนวนเงินเท่ากับ 18,000 บาท ปีที่ 3 มีจำนวนเท่ากับ 24,000 บาท

“ค่าแรงงาน”

จากการสัมภาษณ์สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ในด้านของค่าแรงงานซึ่งเป็นค่าตอบแทนที่ให้แก่คนงาน โดยจ้างสัปดาห์ละ 2 วัน เฉลี่ยวันละ 1 ชั่วโมงในการจ้างคนงาน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงค่าแรงงานที่ใช้ในการทำกล้วยตาก ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกล้วยตากแบบวิธีใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

รายการ	ค่าแรงงาน (บาท)		
	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3
พนักงานตัดกล้วย	2,880	3,360	3,840
พนักงานคัดกล้วย	2,880	3,360	3,840
พนักงานบรรจุกล้วย	2,880	3,360	3,840
รวมค่าแรงงานต่อปี (บาท)	8,640	10,080	11,520

“การวิเคราะห์ผลตอบแทนจากการทำกล้วยตากแบบวิธีใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์”

ในการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนการทำกล้วยตากแบบวิธีใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ของกลุ่มวิสาหกิจ ได้ใช้วิธีวิเคราะห์ผลตอบแทนจากการทำกล้วยตาก ดังนี้

1. วิธีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period Method : PB)
2. วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value Method : NPV)
3. วิธีอัตราผลตอบแทนที่แท้จริง (Internal Rate of Return Method: IRR)

ตารางที่ 5 แสดงกระแสเงินสดเข้า(ออก)สุทธิในแต่ละปีของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน โดยใช้วิธีการทำถ้อยตักแบบวิธีใช้โดมอบแห่งพลังงานแสงอาทิตย์

ปีที่	กลุ่มวิสาหกิจชุมชน		
	กระแสเงินสดเข้า	กระแสเงินสดออก	กระแสเงินสดเข้าสุทธิ
0	-	(341,120)	(341,120)
1	1,936,506	(33,660)	1,902,846
2	1,937,506	(36,350)	1,901,156
3	1,939,506	(45,590)	1,893,916

จากตารางที่ 5 พบว่ากระแสเงินสดเข้า(ออก)สุทธิ ในแต่ละปีของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนทำถ้อยตักแบบวิธีใช้โดมอบแห่งพลังงานแสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ปีที่ 1-3 เท่ากับ (341,120) บาท 1,902,846 บาท 1,901,156 บาท และ 1,893,916 บาท

1. วิธีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period Method : PB) สามารถนำมาหาระยะเวลาคืนทุนของถ้อยตักแบบวิธีใช้โดมอบแห่งพลังงานแสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 6 แสดงระยะเวลาคืนทุนของการทำถ้อยตักแบบวิธีใช้โดมอบแห่งพลังงานแสงอาทิตย์ ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

รายการ	กลุ่มวิสาหกิจชุมชน	
	กระแสเงินสดออกสุทธิ	กระแสเงินสดเข้าสุทธิ
เงินลงทุน :		
เงินสดออกปีที่ 0	341,120	
เงินสดเข้าสุทธิตายปี :		
เงินสดเข้าปีที่ 1		1,902,846
เงินสดเข้าปีที่ 2		1,561,726
รวม	341,120	341,120
		36,350
ระยะเวลาคืนทุน		1,561,726
		= 1+0.02 = 1.02 ปี

จากตารางที่ 6 พบว่าระยะเวลาคืนทุนของถ้อยตักแบบวิธีใช้โดมอบแห่งพลังงานแสงอาทิตย์ ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนคือ 1.02 ปี หรือ 1 ปี

2. วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value Method: NPV) การประเมินมูลค่าปัจจุบันของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ทำถ้อยตักแบบวิธีใช้โดมอบแห่งพลังงานแสงอาทิตย์ จะทำการประเมินกระแสเงินสดรับสุทธิตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง 3 โดยคิดอัตราคิดลดที่นำมาใช้ในการประเมินโครงการลงทุน คือ ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 7 โดยนำข้อมูลกระแสเงินสดเข้าสุทธินำมาวิเคราะห์ ดังนี้

ตารางที่ 7 แสดงการคำนวณมูลค่าปัจจุบัน (NPV) ของกล้วยตากแบบวิธีใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

อายุโครงการ (ปี)	กระแสเงินสดเข้า (ออก)สุทธิ(บาท)	อัตราส่วนลดร้อยละ 1		อัตราส่วนลดร้อยละ 7	
		ปัจจัยดอกเบี้ย มูลค่าปัจจุบัน	มูลค่าปัจจุบัน	ปัจจัยดอกเบี้ย มูลค่าปัจจุบัน	มูลค่าปัจจุบัน
0	(341,120)	1.0000	(341,120)	1.0000	(341,120)
1	1,902,846	0.9901	1,884,007.82	0.9346	1,778,399.87
2	1,901,156	0.9803	1,863,703.23	0.8734	1,660,469.65
3	1,893,916	0.9706	1,838,234.87	0.8163	1,546,003.63
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ			5,244,845.92	4,643,753.15	

จากตารางที่ 7 พบว่ามูลค่าปัจจุบัน (NPV) ของการทำกล้วยตากแบบวิธีใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน มีรายละเอียดดังนี้

อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำร้อยละ 1 มูลค่าปัจจุบันเท่ากับ 5,244,845.92 บาท

อัตราผลตอบแทนขั้นต่ำร้อยละ 7 มูลค่าปัจจุบันเท่ากับ 4,643,753.15 บาท

3. วิธีอัตราผลตอบแทนที่แท้จริง (Internal Rate of Return Method : IRR)

การประเมินอัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ทำกล้วยตากจะประเมินกระแสเงินสดรับสุทธิตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง ปีที่ 3 โดยนำข้อมูลกระแสเงินสดเข้าสุทธิจากตารางที่ มาทำการวิเคราะห์ในตารางที่ 8 มีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 8 แสดงการคำนวณอัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของการทำกล้วยตากแบบวิธีใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

อายุโครงการ (ปี)	กระแสเงินสดเข้า (ออก)สุทธิ (บาท)	ปัจจัยดอกเบี้ย		มูลค่าปัจจุบัน	
		มูลค่าปัจจุบัน ร้อยละ 8	(บาท)	มูลค่าปัจจุบัน ร้อยละ 9	(บาท)
0	(281,120)	1.0000	(281,120)	1.0000	(281,120)
1	1,902,846	0.9259	1,761,845.11	0.9174	1,745,670.92
2	1,901,156	0.8573	1,629,861.04	0.8417	1,600,203.00
3	1,893,916	0.7938	1,503,390.52	0.7722	1,462,481.94
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ			4,613,976.67	4,527,235.86	

จากตารางที่ 8 พบว่าอัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของการทำกล้วยตากแบบวิธีใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ได้นำอัตราส่วนร้อยละ 8 และร้อยละ 9 มาคำนวณกับกระแสเงินสดเข้า(ออก)สุทธิในแต่ละปี และนำผลต่างที่ได้มาเปรียบเทียบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

อัตราส่วนลด	มูลค่าปัจจุบัน
ร้อยละ 9	4,527,235.86
ร้อยละ 8	4,613,976.67
ร้อยละ 1	9,141,212.53

มูลค่าปัจจุบันต่างกัน 509,840.76 อัตราส่วนลดต่างกันร้อยละ 1

$$\text{มูลค่าปัจจุบันต่างกัน (255,153.01) อัตราส่วนต่างกันร้อยละ} \quad \frac{4,527,235.86 \times 1}{9,141,212.53} = 0.50$$

$$\text{อัตราส่วนลดต่างกัน} = \text{ร้อยละ } 0.50 \quad \text{อัตราผลตอบแทนต่างกันเท่ากับ } 9-0.50 = 8.50$$

ดังนั้น การทำกล้วยตากแบบวิธีธรรมชาติ (ดั้งเดิม) ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนให้อัตราผลตอบแทนที่แท้จริงเท่ากับ 8.50

สรุปผลตอบแทนของการทำกล้วยตาก

จากตารางที่ 2 ถึง ตารางที่ 6 สามารถนำผลประเมินมาสรุปผลตอบแทนของการทำกล้วยตาก ดังนี้

ตารางที่ 9 แสดงสรุปผลตอบแทนของการทำกล้วยตากแบบวิธีใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

รายการ	กลุ่มวิสาหกิจชุมชน
ระยะเวลาคืนทุน	1
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คิดร้อยละ 1	5,244,845.92
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คิดร้อยละ 7	4,643,753.15
อัตราผลตอบแทนที่แท้จริง (ร้อยละ)	8.50

จากตารางที่ 9 พบว่า ผลตอบแทนของการทำกล้วยตากแบบวิธีใช้โดมอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีระยะเวลาคืนทุน เท่า 1 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คิดร้อยละ 1 เท่ากับ 5,244,845.92 บาท มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คิดร้อยละ 7 เท่ากับ 4,643,753.15 บาท และอัตราผลตอบแทนที่แท้จริง ร้อยละ 8.50

สรุปผลการวิจัย

การทำกล้วยตากมีความเป็นไปได้ที่จะลงทุน เนื่องจากระยะเวลาคืนทุนนั้นมีระยะเวลาค่อนข้างสั้น โดยวิธีอบแบบธรรมชาติมีกำลังในการผลิตได้น้อย และอัตราผลกำไรที่ได้ค่อนข้างน้อยกว่า โดยวิธีแบบโดมอบพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังในการผลิตที่มาก และอัตราผลกำไรที่ได้คืนทุนภายในระยะเวลา 1 ปี ทำให้โครงการแบบใช้โดมอบพลังงานแสงอาทิตย์มีความเป็นไปได้ที่จะลงทุน

เอกสารอ้างอิง

1. Kuanpradit, H., *The development of solar parabolic conentrators in drying process for agricultural products*, in *Industrial Education*. 2013, Srinakharinwirot university: Thailand.
2. Singh, P., V. Shrivastava, and A. Kumar, *Recent developments in greenhouse solar drying: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018. **82**: p. 3250-3262.
3. Wilkins, R., J. Brusey, and E. Gaura, *Modelling uncontrolled solar drying of mango waste*. *Journal of Food Engineering*, 2018. **237**: p. 44-51.
4. Smitabhindu, R., S. Janjai, and V. Chankong, *Optimization of a solar-assisted drying system for drying bananas*. *Renewable Energy*, 2008. **33**(7): p. 1523-1531.
5. El Hage, H., et al., *An investigation on solar drying: A review with economic and environmental assessment*. *Energy*, 2018. **157**: p. 815-829.

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการดำเนินการโรงงานสีเขียว

Key Success Factors of the Green Factory Implementation

นุศรา คังฆะมะโน^{1,*} และ ธราธร พชรฐิติกุล²

¹ สาขาการจัดการเทคโนโลยีวิศวกรรม ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

² Ph.D., อาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

Abstract

This research aimed to prioritize key success factors of operating green factories at each level of the green industrial project. This research studied the viewpoints of the governmental sector who took responsibility in the green industrial project and the industrial sector who want to be certified as The Green Industry. This research started with collecting 88 factors relating to Green Factory from theories and literature by using Index of Item Objective Congruence : IOC, the factors had decreased to 57 factors. After that Analytic Hierarchy Process via the Expert Choice was applied. The study showed that in the viewpoint of the governmental sector, the key success factors were prioritized as Expenditure and Resource Management, Law and Government policies, Organization Management, Network and Community, and Operation respectively. From the viewpoint of the industrial sector, the key success factors were prioritized as Law and Government policies, Expenditure and Resource Management, Organization Management, Operation, and Network and Community respectively

Keywords: Key Success Factors, Green Industry, Analytic Hierarchy Process, AHP

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาหาลำดับความสำคัญของปัจจัยแห่งความสำเร็จในการดำเนินการของโรงงานสีเขียวในโครงการอุตสาหกรรมสีเขียวแต่ละระดับ การวิจัยนี้เป็นการศึกษาในมุมมองของภาครัฐผู้รับผิดชอบดูแลโครงการอุตสาหกรรมสีเขียวและมุมมองจากภาคอุตสาหกรรมหรือผู้ที่ต้องดำเนินการตามนโยบายเพื่อให้ได้รับการรับรองอุตสาหกรรมสีเขียว โดยทำการเก็บรวบรวมปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดความสำเร็จในการดำเนินการโครงการอุตสาหกรรมสีเขียวจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้รวบรวมมาทั้งสิ้น 88 ปัจจัย จากนั้นทำการประเมินความสอดคล้องระหว่างคำถามและวัตถุประสงค์ (Index of Item Objective Congruence : IOC) พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมในการนำไปศึกษาหาน้ำหนักความสำคัญมีจำนวน 57 ปัจจัยและทำการศึกษาน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยโดยใช้การวิเคราะห์ตามหลักการของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process) โดยใช้โปรแกรม Expert Choice ผลของการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญจากภาครัฐ พบว่า ในภาพรวมปัจจัยที่มีน้ำหนักความสำคัญที่ส่งผลในการดำเนินงานโครงการอุตสาหกรรมสีเขียวคือ ปัจจัยด้านงบประมาณและการจัดการทรัพยากร ปัจจัยด้านกฎหมายและนโยบายรัฐ

*Corresponding author: Tel.: 08-88290985. Email address: Nussara_kangkamano@hotmail.com

ปัจจัยด้านการจัดการองค์กร ปัจจัยด้านเครือข่ายการเรียนรู้และชุมชนและปัจจัยด้านการดำเนินการ ตามลำดับ ในส่วนของ ผู้เชี่ยวชาญจากโรงงานอุตสาหกรรมกลุ่มตัวอย่างคือ ปัจจัยด้านกฎหมายและนโยบายรัฐ ปัจจัยด้านงบประมาณและการจัดการทรัพยากร ปัจจัยด้านการจัดการองค์กร ปัจจัยด้านการดำเนินการและปัจจัยด้านเครือข่ายการเรียนรู้และชุมชน ตามลำดับ

คำสำคัญ: ปัจจัยแห่งความสำเร็จ อุตสาหกรรมสีเขียว กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์

บทนำ

ในปัจจุบันแนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากการพัฒนาเศรษฐกิจตั้งแต่ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม โดยมีการคาดการณ์ว่าภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นพื้นที่ที่มีความเปราะบางสูงต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การมีอุณหภูมิเฉลี่ยในภูมิภาคที่เพิ่มขึ้น 4.8 องศาเซลเซียส ในอีก 100 ปีข้างหน้า ทำให้เกิดความถี่และความรุนแรงของสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงแบบสุดโต่ง [1]

ในการที่จะร่วมแก้ไขวิกฤตการณ์นี้ ประเทศไทยได้มีการดำเนินงานในการลดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งนำไปสู่การกำหนดนโยบายและแผนพัฒนาประเทศต่าง ๆ เพื่อใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อม ในส่วนของกระทรวงอุตสาหกรรมซึ่งเป็นหน่วยงานหลักในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยมีการกำหนดยุทธศาสตร์ในการพัฒนาอุตสาหกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อมและสังคม โดยมีการริเริ่มระบบอุตสาหกรรมสีเขียว (Green Industry) เพื่อผลักดันและส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมมีการประกอบกิจการ ผลิตสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลดการใช้ทรัพยากร การประหยัดพลังงาน ลดการปลดปล่อยมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม รับผิดชอบต่อสังคมทั้งภายในและภายนอกองค์กรตลอดห่วงโซ่อุปทาน เพื่อเตรียมความพร้อมระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยให้สามารถปรับตัวรองรับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการพัฒนาอุตสาหกรรมและช่วยลดปัญหาที่เกิดจากผลกระทบของสภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เกิดการสร้างเศรษฐกิจสีเขียวสนับสนุนทำให้ผลิตภัณฑ์มวลรวมสีเขียวของประเทศ (Green GDP) มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น [2]

โครงการอุตสาหกรรมสีเขียว (Green Industry) หรือ โครงการส่งเสริมและพัฒนาสถานประกอบการสู่อุตสาหกรรมสีเขียว สืบเนื่องมาจากที่ประเทศไทยได้ร่วมทำปฏิญญาโจฮันเนสเบิร์ก เมื่อปีพ.ศ. 2545 และปฏิญญามะนิลา ปีพ.ศ. 2552 ต่อเนื่องกันมา นับตั้งแต่ปีพ.ศ. 2554 ซึ่งเป็นปีที่ประเทศไทยเริ่มต้นโครงการอุตสาหกรรมสีเขียว โดยแนวคิดในการพัฒนาอุตสาหกรรมสีเขียวของกรมโรงงานมีเป้าหมายในการทำให้โรงงานจำนวนไม่น้อยกว่าร้อยละ 70.0 ในแต่ละจังหวัดเข้าร่วมโครงการอุตสาหกรรมสีเขียว [3] การดำเนินโครงการจนถึงปัจจุบัน พบว่าจำนวนของสถานประกอบการที่ได้รับการรับรองอุตสาหกรรมสีเขียวทั้งสิ้น 26,893 สถานประกอบการ โดยแบ่งเป็นระดับที่ 1 จำนวน 15,625 สถานประกอบการ ระดับที่ 2 จำนวน 6,440 สถานประกอบการ ระดับที่ 3 จำนวน 4,321 สถานประกอบการ ระดับที่ 4 จำนวน 461 สถานประกอบการและระดับที่ 5 จำนวน 46 สถานประกอบการ [4] ทั้งนี้กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ตั้งเป้าหมายในการยกระดับอุตสาหกรรม โดยเตรียมผลักดันให้ผู้ประกอบการได้รับใบรับรองอุตสาหกรรมสีเขียวเพิ่มขึ้นปีละ 2,000 ราย [5]

เพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีการพัฒนาการดำเนินการในส่วนอุตสาหกรรมสีเขียว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาลำดับความสำคัญของปัจจัยแห่งความสำเร็จในการดำเนินการของโรงงานสีเขียว (Green Factory) ของอุตสาหกรรมสีเขียวในแต่ละระดับ โดยมีการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการดำเนินการโครงการอุตสาหกรรมสีเขียว ได้แก่ ปัจจัยด้านสังคมและชุมชน [6,10,11,14,16-18] ด้านการตลาดและลูกค้า [6,8,13,14,16,17,19] ด้านการแข่งขันและคู่แข่งทางธุรกิจ [6,8,14,17] ด้านผู้ส่งมอบวัตถุดิบ [6,8,17] ด้านนโยบายและกลยุทธ์ภายในองค์กร [6-19]

ด้านการจัดการทรัพยากร [6,12,14,16,17] ด้านการเงิน [6-17] ด้านภาพลักษณ์ขององค์กร [7,14,16,17] ด้านบุคลากร [6,7,10-12,14-17] ด้านการบริหารจัดการภายในองค์กร [6,8-19] ด้านความง่ายและสะดวกของขั้นตอนในการเข้าร่วมโครงการ [7,9] ด้านการเข้าถึงแหล่งข้อมูล [7,9] ด้านกฎระเบียบของรัฐบาลและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง [6-10,12-15,17-18] ด้านการสนับสนุนของภาครัฐ [6-10,12,14,15]

ในการพัฒนาอุตสาหกรรมสีเขียวที่คำนึงถึงองค์ประกอบของโลก 3 ส่วนซึ่งได้แก่ ภาครัฐ ภาคอุตสาหกรรมและภาคประชาชน [3] ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการดำเนินโครงการอุตสาหกรรมสีเขียวภายใต้มุมมองของภาครัฐซึ่งเป็นผู้ที่รับผิดชอบดูแลโครงการฯ และภายใต้มุมมองของกลุ่มตัวอย่างจากภาคอุตสาหกรรมซึ่งเป็นผู้ที่ต้องดำเนินการตามนโยบายเพื่อให้ได้รับการรับรองโครงการอุตสาหกรรมสีเขียว

ทั้งนี้เพื่อสร้างเป็นแนวทางการส่งเสริม พัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพในปัจจุบันที่มีผลต่อความสำเร็จในการดำเนินการ เป็นประโยชน์ต่อฝ่ายของภาครัฐและอุตสาหกรรมที่มีการดำเนินการเพื่อเข้าสู่อุตสาหกรรมสีเขียว (Green-Industry) และการพัฒนาไปสู่อุตสาหกรรมสีเขียวระดับที่สูงขึ้นไป เพื่อมุ่งไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนของอุตสาหกรรมไทย

คำจำกัดความ

อุตสาหกรรมสีเขียวระดับที่ 1 ความมุ่งมั่นสีเขียว (Green Commitment) เป็นการแสดงความมุ่งมั่นในรูปแบบนโยบาย เป้าหมายและแผนงานที่จะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีการสื่อสารภายในองค์กรให้ทราบโดยทั่วกัน

อุตสาหกรรมสีเขียวระดับที่ 2 ปฏิบัติการสีเขียว (Green Activity) เป็นการดำเนินกิจกรรมตามนโยบาย เป้าหมายและแผนงานที่กำหนดเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นรูปธรรมสำเร็จตามความมุ่งมั่นที่ตั้งไว้

อุตสาหกรรมสีเขียวระดับที่ 3 ระบบสีเขียว (Green System) เป็นการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบมีการติดตาม ประเมินผลและทบทวนเพื่อการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการได้รับรางวัลด้านสิ่งแวดล้อมที่เป็นที่ยอมรับและการรับรองมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ

อุตสาหกรรมสีเขียวระดับที่ 4 วัฒนธรรมสีเขียว (Green Culture) เป็นการร่วมมือร่วมใจของทุกคนภายในองค์กรดำเนินงานอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จนกลายเป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรมองค์กร

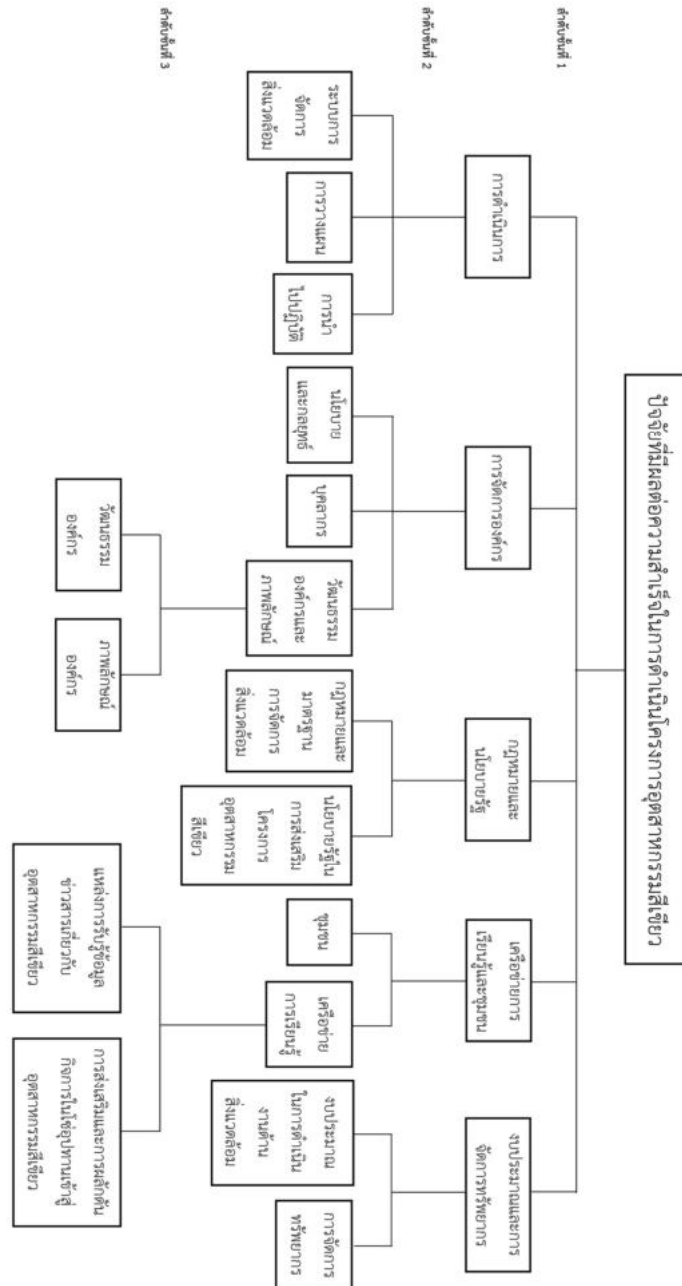
อุตสาหกรรมสีเขียวระดับที่ 5 เครือข่ายสีเขียว (Green Network) เป็นการแสดงถึงการขยายเครือข่ายตลอดโซ่อุปทานสีเขียว โดยสนับสนุนให้คู่ค้าและพันธมิตรเข้าสู่กระบวนการรับรองอุตสาหกรรมสีเขียวด้วย

วิธีการวิจัย

ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับอุตสาหกรรมสีเขียวและปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการดำเนินการ เก็บรวบรวมปัจจัยโดยใช้วิธีการทบทวนวรรณกรรม ทำการจำแนกปัจจัยออกเป็นกลุ่มเพื่อนำไปคัดเลือกหาปัจจัยที่มีความเหมาะสมสำหรับการสร้างเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของการดำเนินการโรงงานสีเขียว ทำการคัดเลือกปัจจัยโดยการหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างคำถามกับวัตถุประสงค์หรือวิธีการ IOC (Index of Item Objective Congruence) รวบรวมปัจจัยที่มีค่าคะแนนผ่านเกณฑ์ และทำการศึกษาน้ำหนักและลำดับความสำคัญของปัจจัยตามหลักการของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ซึ่งเป็นวิธีการจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์ ทำการพิจารณาเปรียบเทียบความสำคัญที่ละคู่ (Paired Comparison) โดยใช้โปรแกรม Expert Choice โดยมีผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณาเปรียบเทียบและให้น้ำหนักความสำคัญของปัจจัย คือ ฝ่ายของภาครัฐ ได้แก่ ผู้อำนวยการและเจ้าหน้าที่ของกลุ่มส่งเสริมอุตสาหกรรมสีเขียว กองส่งเสริมเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงานอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม จำนวน 3 ท่านและฝ่ายของอุตสาหกรรม ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญจากโรงงานกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการรับรองในโครงการอุตสาหกรรมสีเขียวระดับที่ 5 จำนวน 3 โรงงาน โดยทำการศึกษาในมุมมองของประเภทอุตสาหกรรมทั่วไป

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลให้ประสบความสำเร็จในการดำเนินการโครงการฯ มีทั้งสิ้น 88 ปัจจัย โดยเมื่อนำไปหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of Item-Objective Congruence) จะได้ว่า ปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญได้ให้คะแนนที่มากกว่า 0.5-1.0 จะเป็นปัจจัยที่มีความเหมาะสม ในการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีค่าคะแนน IOC น้อยกว่า 0.5 มีอยู่ 36 ปัจจัยและปัจจัยที่มีค่าคะแนน IOC มากกว่า 0.5-1.0 มีอยู่ 52 ปัจจัย เมื่อทำการพิจารณาพบว่า มีปัจจัยที่สามารถนำไปศึกษาในส่วนของน้ำหนักและลำดับความสำคัญทั้งสิ้น 57 ปัจจัย สามารถจัดกลุ่มได้ 5 ปัจจัยหลัก โดยมีรายละเอียดปัจจัยหลักและปัจจัยย่อยดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงรายละเอียดโครงสร้างกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP)

ในการหาลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยโดยวิธีการวิเคราะห์ตามหลักการของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process) โดยใช้โปรแกรม Expert Choice จะได้ว่าผลของการประเมินจากกลุ่มของผู้เชี่ยวชาญจากภาครัฐส่งเสริมเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม (ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 1) และจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญโรงงานอุตสาหกรรมกลุ่มตัวอย่าง (ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 2) พบว่า น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการดำเนินการโครงการอุตสาหกรรมสีเขียวระดับต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยจากการประเมินโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ

	ผู้เชี่ยวชาญ	ปัจจัยด้านการดำเนินการ	ปัจจัยด้านการจัดการองค์กร	ปัจจัยด้านกฎหมายและนโยบายรัฐ	ปัจจัยด้านเครือข่ายการเรียนรู้และชุมชน	ปัจจัยด้านงบประมาณและการจัดการทรัพยากร
ระดับที่ 1	กลุ่มที่ 1	10.1%	49.7%	12.0%	10.2%	18.0%
	กลุ่มที่ 2	6.2%	27.7%	43.3%	6.1%	16.8%
	รวม	8.5%	39.8%	24.4%	8.5%	18.8%
ระดับที่ 2	กลุ่มที่ 1	14.2%	12.9%	15.6%	10.9%	46.4%
	กลุ่มที่ 2	24.2%	17.7%	33.5%	4.3%	20.3%
	รวม	19.7%	16.2%	24.3%	7.4%	32.5%
ระดับที่ 3	กลุ่มที่ 1	10.7%	13.3%	38.6%	6.8%	30.6%
	กลุ่มที่ 2	29.3%	19.2%	20.6%	9.3%	21.6%
	รวม	18.5%	16.5%	29.1%	8.4%	27.5%
ระดับที่ 4	กลุ่มที่ 1	4.8%	12.6%	21.2%	28.9%	32.4%
	กลุ่มที่ 2	22.9%	25.3%	13.3%	10.6%	28.0%
	รวม	11.3%	19.3%	18.1%	18.9%	32.4%
ระดับที่ 5	กลุ่มที่ 1	4.3%	7.6%	14.3%	38.7%	35.1%
	กลุ่มที่ 2	17.3%	14.2%	14.4%	17.8%	36.3%
	รวม	8.9%	11.0%	15.0%	27.3%	37.9%

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการดำเนินการอุตสาหกรรมสีเขียวระดับต่าง ๆ โดยพิจารณาน้ำหนักที่กลุ่มผู้เชี่ยวชาญจากกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมสีเขียว และอุตสาหกรรมกลุ่มตัวอย่างนั้นได้ให้น้ำหนักความสำคัญมากอันดับสามปัจจัยแรกนั้น พบว่าในการดำเนินโครงการระดับที่ 1 กลุ่มผู้เชี่ยวชาญทั้งสองกลุ่มได้ให้น้ำหนักปัจจัยด้าน นโยบายและกลยุทธ์ ปัจจัยด้านการจัดการทรัพยากรมากเช่นเดียวกันและในส่วนของปัจจัยที่แตกต่างกันคือ ในส่วนของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญจากภาครัฐได้น้ำหนักปัจจัยด้านนโยบายรัฐในการส่งเสริมอุตสาหกรรมสีเขียว โดยโครงการฯ ระดับที่ 1 เป็นการดำเนินการในระดับต้น ภาครัฐจึงต้องให้การสนับสนุนเพื่อสร้างความพร้อม และแรงจูงใจให้แก่ภาคอุตสาหกรรมในการดำเนินโครงการ ในส่วนของภาคอุตสาหกรรมกลุ่มตัวอย่างนั้น ได้ให้น้ำหนักความสำคัญปัจจัยด้านกฎหมายและ มาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อมเป็นอันดับแรกมองว่าภาคอุตสาหกรรมต้องประกอบกิจการภายใต้ข้อกำหนดของกฎหมายและมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อมทำให้องค์กรให้ความสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อมและนำไปสู่ความสำเร็จในการดำเนินการในการดำเนินการโครงการฯ ระดับที่ 2 จะได้ว่าปัจจัยด้านงบประมาณในการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมเป็น

ปัจจัยที่กลุ่มผู้เชี่ยวชาญทั้งฝ่ายภาครัฐและฝ่ายโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างได้ให้น้ำหนักว่ามีความสำคัญเช่นเดียวกันและมีการให้น้ำหนักปัจจัยในแนวทางที่มีความสอดคล้องกันคือ ในส่วนของปัจจัยด้านการจัดการทรัพยากรและปัจจัยด้านการวางแผน โดยในการดำเนินการโครงการฯ ระดับที่ 2 นั้นต้องมีการกำหนดนโยบายและจัดทำแผนงานด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นองค์กรจึงต้องมีการมุ่งเน้นในส่วนของปัจจัยการวางแผน เพื่อจัดทำแผนงาน โดยในส่วนของแผนงานนั้นต้องมีการจัดการทรัพยากรควบคู่ไปด้วย โดยมีการให้น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่แตกต่างกันเช่นเดียวกันกับการดำเนินการในระดับที่ 1 คือ ปัจจัยด้านนโยบายรัฐในการส่งเสริมอุตสาหกรรมสีเขียวและปัจจัยด้านกฎหมายและมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการดำเนินงานระดับนี้ยังเป็นการดำเนินโครงการฯ ระดับต้นเช่นเดียวกัน ในการดำเนินการโครงการฯ ระดับที่ 3 จะได้ว่าส่วนใหญ่มีการให้น้ำหนักปัจจัยในแนวทางเดียวกัน โดยได้ให้น้ำหนักความสำคัญปัจจัยด้านกฎหมายและมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อมและปัจจัยการจัดการทรัพยากร ในส่วนของปัจจัยที่แตกต่างกันคือ กลุ่มผู้เชี่ยวชาญจากภาครัฐได้ให้น้ำหนักความสำคัญปัจจัยงบประมาณในการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม ส่วนของภาคอุตสาหกรรมกลุ่มตัวอย่างได้ให้น้ำหนักความสำคัญปัจจัยด้านการนำไปปฏิบัติ เนื่องจากเป็นการพัฒนาที่ต่อเนื่องมาจากระดับที่ 2 ในระดับนี้ต้องดำเนินการนำแผนงานที่ได้กำหนดไว้ไปปฏิบัติเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์และเป้าหมายของโครงการ ในการดำเนินการโครงการฯ ระดับที่ 4 ระดับนี้กลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้มีการให้ความสำคัญของปัจจัยที่แตกต่างกัน โดยในกลุ่มของผู้เชี่ยวชาญจากภาครัฐได้มีการให้น้ำหนักปัจจัยที่มีใช้เพียงแต่ปัจจัยภายในองค์กร คือ ปัจจัยด้านงบประมาณในการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านชุมชนและปัจจัยด้านกฎหมายและมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อมและในส่วนของภาคอุตสาหกรรมกลุ่มตัวอย่างได้ให้น้ำหนักแก่ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยภายในองค์กรเป็นส่วนใหญ่ คือ ปัจจัยด้านการจัดการทรัพยากร ปัจจัยด้านวัฒนธรรมองค์กรและปัจจัยด้านการนำไปปฏิบัติ และการดำเนินการโครงการฯ ระดับที่ 5 จะได้ว่าปัจจัยด้านงบประมาณในการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยที่กลุ่มผู้เชี่ยวชาญทั้งฝ่ายภาครัฐและอุตสาหกรรมตัวอย่างได้ให้น้ำหนักว่ามีความสำคัญเป็นอันดับแรกเช่นเดียวกันและปัจจัยที่มีการให้น้ำหนักแตกต่างกัน โดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญฝ่ายภาครัฐได้ให้น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยชุมชนและปัจจัยการส่งเสริมและการผลักดันกิจการในห่วงโซ่อุปทาน ในส่วนของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างได้ให้น้ำหนักความสำคัญปัจจัยนโยบายรัฐในการส่งเสริมอุตสาหกรรมสีเขียวและปัจจัยการนำไปปฏิบัติ โดยปัจจัยที่ได้ให้ความสำคัญในระดับนี้เป็นปัจจัยที่ต้องใช้ในการดำเนินการสร้างพันธมิตรสีเขียวในห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งในการที่จะประสบความสำเร็จในโครงการฯ ระดับนี้ อุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีความพร้อมทั้งในการจัดภายในองค์กรและภายนอกองค์กรควบคู่ไปด้วย

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยของผู้เชี่ยวชาญทั้งสองกลุ่มเข้าด้วยกัน นำมาสร้างเป็นปัจจัยที่ใช้ในการเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริม สนับสนุนเพื่อการพัฒนาของโครงการ โดยพิจารณาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีน้ำหนักคิดเป็นมากกว่าร้อยละ 80 ของปัจจัยทั้งหมด โดยได้แสดงแนวทางเสนอแนะดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่ใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมเพื่อการพัฒนาของโครงการอุตสาหกรรมสีเขียว

อุตสาหกรรมสีเขียว	ปัจจัยที่ใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมเพื่อการพัฒนาของโครงการ
ระดับที่ 1	ปัจจัยนโยบายและกลยุทธ์
	ปัจจัยกฎหมายและมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม
	ปัจจัยนโยบายรัฐในการส่งเสริมอุตสาหกรรมสีเขียว
	ปัจจัยการจัดการทรัพยากร
	ปัจจัยงบประมาณในการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม
	ปัจจัยบุคลากร
	ปัจจัยการวางแผน

ตารางที่ 2 (ต่อ)

อุตสาหกรรมสีเขียว	ปัจจัยที่ใช้เป็นแนวทางในการส่งเสริมเพื่อการพัฒนาของโครงการ
ระดับที่ 2	ปัจจัยงบประมาณในการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม
	ปัจจัยนโยบายรัฐในการส่งเสริมอุตสาหกรรมสีเขียว
	ปัจจัยด้านการจัดการทรัพยากร
	ปัจจัยด้านกฎหมายและมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม
	ปัจจัยด้านนโยบายและกลยุทธ์
	ปัจจัยด้านการวางแผน
	ปัจจัยด้านการนำไปปฏิบัติ
ระดับที่ 3	ปัจจัยด้านกฎหมายและมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม
	ปัจจัยด้านการจัดการทรัพยากร
	ปัจจัยด้านงบประมาณในการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม
	ปัจจัยด้านระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม
	ปัจจัยด้านนโยบายรัฐในการส่งเสริมอุตสาหกรรมสีเขียว
	ปัจจัยด้านนโยบายและกลยุทธ์
	ปัจจัยด้านการนำไปปฏิบัติ
	ปัจจัยด้านบุคลากร
ระดับที่ 4	ปัจจัยด้านงบประมาณในการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม
	ปัจจัยด้านการจัดการทรัพยากร
	ปัจจัยด้านชุมชน
	ปัจจัยด้านกฎหมายและมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม
	ปัจจัยด้านวัฒนธรรมองค์กร
	ปัจจัยด้านนโยบายรัฐในการส่งเสริมอุตสาหกรรมสีเขียว
	ปัจจัยด้านบุคลากร
	ปัจจัยด้านระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม
ระดับที่ 5	ปัจจัยด้านงบประมาณในการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อม
	ปัจจัยด้านชุมชน
	ปัจจัยด้านการส่งเสริมและการผลักดันกิจการในห่วงโซ่อุปทาน
	ปัจจัยด้านการจัดการทรัพยากร
	ปัจจัยด้านกฎหมายและมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม
	ปัจจัยด้านนโยบายรัฐในการส่งเสริมอุตสาหกรรมสีเขียว
	ปัจจัยด้านระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม

ในส่วนของผลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญโรงงานกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการรับรองโครงการอุตสาหกรรมสีเขียวในระดับที่ 5 หรือระดับสูงสุดของโครงการพบว่า ปัญหาและอุปสรรคนั้นส่วนใหญ่ได้แก่ ในส่วนของงบประมาณในการดำเนินการโครงการ การจัดสรรทรัพยากร การสร้างความพร้อมด้านบุคลากรในการดำเนินงานส่วนของการสร้างระบบหรือวัฒนธรรมองค์กรรวมถึงการสร้างเครือข่ายของโรงงานในห่วงโซ่อุปทานเดียวกันเพื่อให้บรรลุไปสู่เป้าหมายของโครงการ ทั้งนี้ในส่วนของ การสร้างความเข้าใจและความสัมพันธ์กับชุมชน การดำเนินการทำให้เกิดความร่วมมือกัน

อย่างแท้จริงเพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน ซึ่งต้องทำการประสานในส่วนของภาครัฐท้องถิ่น ต้องดำเนินการด้วยความโปร่งใสและสอดคล้องกับท้องถิ่นนั้น ๆ ในส่วนของระดับของโครงการที่ดำเนินการได้ยากที่สุด พบว่าระดับที่ 4 และ 5 เป็นระดับที่ดำเนินการได้ยากที่สุดเนื่องจากต้องดำเนินการสร้างวัฒนธรรมองค์กรและการสร้างเครือข่ายในห่วงโซ่อุปทาน และชุมชนเพื่อให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของโรงงานทั้งหมดเข้าสู่มาตรฐานเดียวกันและความสำเร็จของโครงการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน). (ม.ป.ป.). **ความรู้ด้านก๊าซเรือนกระจก** สืบค้นเมื่อ 3 ธันวาคม 2562, จาก <http://www.tgo.or.th/2020/index.php/th/>.
- [2] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2562). **คู่มืออุตสาหกรรมสีเขียว**. กรุงเทพฯ : กองส่งเสริมเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน.
- [3] ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ และคณะ. (2559). **อาชีวชนกับการประยุกต์ใช้นโยบาย“อุตสาหกรรมสีเขียว”**. กรุงเทพฯ : บริษัทเท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชั่น จำกัด.
- [4] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (ม.ป.ป.). **ค้นหาข้อมูลโรงงาน**. สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2563, จาก <http://greenindustry.diw.go.th/greenindustry/searchfactory/>.
- [5] กรีน เน็ตเวิร์ค. (2562). **กรม.มอบรางวัลอุตสาหกรรมสีเขียวประจำปี62ตั้งเป้าหมายระดับโรงงานเพิ่มใบรับรองอุตสาหกรรมสีเขียวปีละ2,000ราย**. สืบค้นเมื่อ 9 กันยายน 2562, จาก <https://www.greennetworkthailand.com>.
- [6] ปิยธิดา ตั้งตระกูลสมบัติ. (2554). **การปรับตัวของอุตสาหกรรมไทยสู่โครงการอุตสาหกรรมสีเขียว**. ปรินญาณิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] บุษกร คำโสม (2557). **ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเข้าร่วมโครงการอุตสาหกรรมสีเขียวของผู้ประกอบการในจังหวัดอุบลราชธานี**. **วารสารปัญญาวิวัฒน์**. 5 (ฉบับพิเศษ), 92-104.
- [8] กัญญ์กนิษฐ์ กมลกิตติวงศ์, บุษบา พงกษาพันธุ์รัตน์. (2558). **ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการจัดการกรีนซัพพลายเชนในกลุ่มอุตสาหกรรมผลิต เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ไทย**. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**. 10 (1), 1-11.
- [9] ณัฐกวีวัชร พึ่งไทย, ธีระวุฒิ ซื่อสัตย์ และยศกร ปุณฺณนรินทร์. (2559). **การศึกษาปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานของโรงงานอุตสาหกรรมที่เข้าร่วมโครงการอุตสาหกรรมสีเขียว กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดปราจีนบุรี**. ปรินญาณิพนธ์ อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [10] อติศักดิ์ ชายทวีป. (2560). **การประยุกต์กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการเลื่อนระดับอุตสาหกรรมสีเขียวจากระดับที่ 3 เป็นระดับที่ 4**. สารนิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [11] คิตชัย จีระธัญญาสกุล. (2561). **แนวทางการสำเร็จในการดำเนินธุรกิจอุตสาหกรรมสีเขียวของโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดปทุมธานี**. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยปทุมธานี**. 10 (2), 12-22.
- [12] ชิววัน ทรายอินทร, อนุชาติ บุณนาค และตรีวิทย์ อัศวศิริศิลป์. (2562). **ปัจจัยแห่งความสำเร็จในการบริหารจัดการองค์การสู่ความเป็นอุตสาหกรรมสีเขียวระดับที่ 3 ของโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดชลบุรี**. **SOUTHEAST BANGKOK JOURNAL**. 5 (2), 63-76.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] พรทิพย์ รอดพัน และบัณฑิต ผังนิรันดร์. (2560). แรงผลักดันในการดำเนินการเทคโนโลยีสะอาดกิจกรรมห่วงโซ่อุปทานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการดำเนินงานของอุตสาหกรรมสีเขียวในประเทศไทย. **วารสารมหาวิทยาลัยนครพนม**. 7 (1), 54-62.
- [14] ศรีนรินทร์ เทียมสุวรรณ. (2555). ปัจจัยการดำเนินธุรกิจอุตสาหกรรมสีเขียวของโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดสมุทรสาคร. วิทยานิพนธ์ บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. เพชรบุรี : มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [15] มณีรัตน์ ดวงสงค์. (2558). ความพร้อมในการเป็นอุตสาหกรรมสีเขียว: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปในเขตจังหวัดสมุทรสาคร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- [16] ประภัศสร จรัสอรุณฉาย. (2555). ผลกระทบของกลยุทธ์ความรับผิดชอบต่อสังคมที่มีต่อความสำเร็จในการดำเนินงานของธุรกิจที่เข้าร่วมโครงการอุตสาหกรรมสีเขียวในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- [17] สิริทิพย์ ประภากรวิมล. (2552). การปรับตัวของอุตสาหกรรมไทยสู่กรีนโลจิสติกส์. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [18] ชนิดาภา เรือนคำปิ่น และดาริณี ตันทวิเชษฐ. (2560). การรับรู้การบริหารจัดการธุรกิจอุตสาหกรรมสีเขียวแบบยั่งยืน กรณีศึกษาโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจากมูลฝอย ท่าเชียงทอง ตำบลบ้านตาล อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่. **วารสารวิชาการการตลาดและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี**. 4 (2), 88-104.
- [19] วิชรินทร์ แสงมา และวนิดา สุวรรณนิพนธ์. บทปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานอย่างยั่งยืนของอุตสาหกรรมสีเขียวในจังหวัดสมุทรสาคร. **วารสารพัฒนาเทคนิคศึกษา**. 30 (104), 54-61.

อุปกรณ์ตรวจวัดมุมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ IoT

IoT Angle Monitoring Device for Solar Tracking Photovoltaic System

ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล* ภัฏญญาภัทร์ มงคลพรสุข และ อารยา เลิศสกุลภัทร์
สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Abstract

This research developed and installed the angle monitoring device using Internet of Things (IoT) technology for inspection and display the operation of the double axis photovoltaic tracking system, online via the Blynk application and alert malfunctions of the photovoltaic tracking system through Line application. In this study, the 600-watts PV stand-alone is used in order to test the developed online monitoring system. The prototype device consists of a microcontroller (NodeMCU V.2) and an angle sensor (3-axis Accelerometer/ Gyro module), which installed under the solar panel structure.

The performance testing of the online angle monitoring system comparing with the standard angle measuring device (Clinometer application) found that the prototype device had a north-south and east-west angle error of ± 3 and ± 7 degrees, respectively. In addition, the system sends a warning message through the Line application when the solar tracking system malfunctions. This can help to maintain better usability or prevention of damage to the system.

Keywords: IoT, Blynk, Solar tracking

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ ทำการพัฒนาและติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดมุมโดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) เพื่อตรวจสอบและแสดงผลการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน ที่ติดตั้งแบบอิสระ (PV Stand-Alone System) ขนาด 600 วัตต์ แบบออนไลน์ผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และแจ้งเตือนเมื่อระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานผิดปกติผ่านแอปพลิเคชัน Line ซึ่งอุปกรณ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นนี้ ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ (NodeMCU V.2) และ เซนเซอร์ตรวจวัดมุม (3-axis Accelerometer/Gyro module) ที่ติดตั้งได้โครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบการทำงานของระบบตรวจวัดมุมเพื่อติดตามการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน เปรียบเทียบกับอุปกรณ์วัดมุมมาตรฐาน (แอปพลิเคชัน Clinometer) พบว่า อุปกรณ์ต้นแบบมีค่าความคลาดเคลื่อนของมุมทิศเหนือ-ทิศใต้ และ ทิศตะวันออก-ตะวันตก เท่ากับ ± 3 และ ± 7 องศา ตามลำดับ และระบบมีการส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line เมื่อระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานผิดปกติ สามารถช่วยให้การดูแลการใช้งานหรือการป้องกันความเสียหายของระบบดีขึ้นได้

คำสำคัญ: IoT Blynk ระบบติดตามดวงอาทิตย์

*Corresponding author: Tel.: 084 752 8947. E-mail address: tutanit@hotmail.com

บทนำ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพและได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นทั้งในและต่างประเทศ มีทั้งระบบขนาดเล็กอย่างเช่นการใช้งานในครัวเรือน (Solar home) จนถึงระบบขนาดใหญ่อย่างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar farm) ซึ่งการใช้งานทุกระบบต้องมีความรู้ ความเข้าใจ เพื่อดูแลรักษาระบบได้ โดยในปัจจุบันมีเพียงโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิคดูแลระบบอย่างมีประสิทธิภาพ แต่การใช้งานในระดับครัวเรือน ผู้ใช้งานบางส่วนยังขาดความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้องในการดูแลรักษาระบบ เมื่อระบบเกิดความชำรุดโดยไม่มีการแจ้งเตือน อาจทำให้ระบบเกิดความเสียหายได้ อีกทั้งในปัจจุบันมีการนำระบบติดตามดวงอาทิตย์มาใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ทำให้มีกลไกการทำงานเพิ่มขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องมีการติดตามการทำงานเพื่อให้ระบบมีการทำงานได้เต็มประสิทธิภาพและหากมีปัญหาที่สามารถแก้ไขข้อบกพร่องได้ทันเวลา

ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ “ระบบตรวจวัดมุมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ IoT” ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ประโยชน์จากระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน สามารถแสดงผลข้อมูล ณ ปัจจุบันได้ตลอดเวลา โดยเก็บบันทึกข้อมูลลงใน Cloud ซึ่งการดำเนินการเพื่อใช้งานในระบบนี้เสียค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก (Open source) และสามารถแจ้งเตือนผ่านอุปกรณ์สื่อสาร (สมาร์ทโฟนและคอมพิวเตอร์) เพื่อให้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถดูแลรักษา แก้ไขข้อบกพร่องได้ทันทั่วทั้งที่

วิธีการวิจัย

ระบบตรวจวัดมุมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ IoT แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ช่วง ดังต่อไปนี้

1) การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน

ระบบตรวจวัดมุมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ IoT ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ที่สามารถเขียนคำสั่ง (Code) ในโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย (Open source) ใช้ภาษาซีประยุกต์ที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย ในส่วนของการแสดงผลและการแจ้งเตือน จะสามารถแสดงผลผ่าน 2 ช่องทาง คือ แอปพลิเคชัน Blynk (แสดงผลข้อมูลแบบ Real time) และ แอปพลิเคชัน Line ผ่าน Line notify (แสดงผลการทำงาน และ แจ้งเตือนเมื่อระบบผิดปกติ)

เมื่อออกแบบและจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดมุมจนเสร็จสมบูรณ์แล้ว จึงนำอุปกรณ์มาติดตั้งกับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน โครงสร้างแบบเสาเดี่ยว กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่แปลงเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (ภาพที่ 1) เพื่อทดสอบและบันทึกข้อมูลต่อไป



ภาพที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน ขนาด 600 วัตต์

2) การทดสอบและบันทึกข้อมูลของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน

หลังจากติดตั้งระบบ จะนำค่ามุมที่วัดได้จากเซนเซอร์ของอุปกรณ์ตรวจวัดมุมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน มาเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานสำหรับการวัดมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 600 วัตต์ ณ เวลาเดียวกัน โดยใช้แอปพลิเคชัน Clinometer (ภาพที่ 2) และทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนในการส่งสัญญาณแบบไร้สายมายังเครื่องมือสื่อสาร



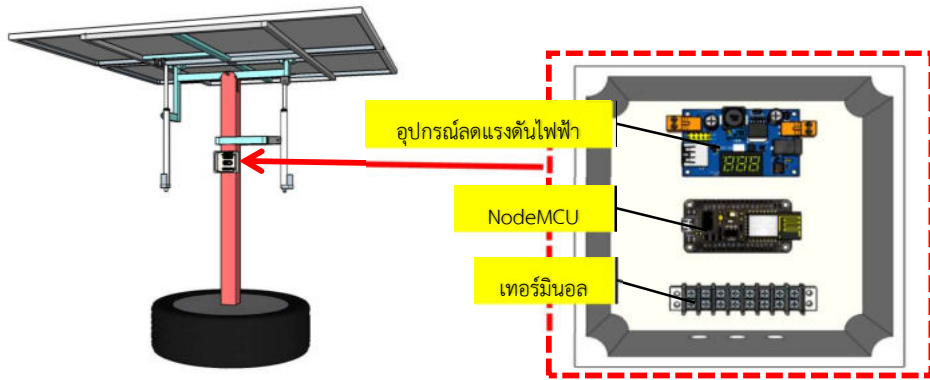
ภาพที่ 2 แอปพลิเคชัน Clinometer

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

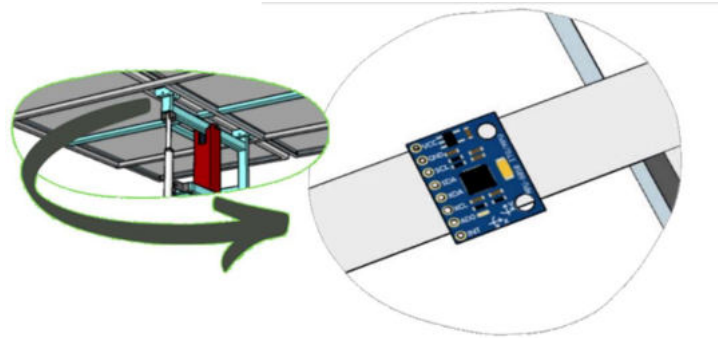
ผลการศึกษาครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) การติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน 2) การทดสอบและบันทึกข้อมูลของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน และ 3) ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน

หลังจากการออกแบบ ผู้วิจัยได้ติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบในกล่องพลาสติกกันน้ำขนาด 6 x 6 นิ้ว ประกอบด้วยอุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้า (Step down converter) ที่มีแรงดันไฟฟ้าขาออก 5 โวลต์ เชื่อมต่อเข้ากับ NodeMCU V.2 หรือ ESP8266 (ไมโครคอนโทรลเลอร์) ใช้สำหรับรับ-ส่งคำสั่ง และเชื่อมต่อข้อมูลแบบไร้สายได้ โดยนำไปติดตั้งบริเวณเสาของโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 3 จากนั้นเชื่อมต่อสายไฟมายัง 3-axis Accelerometer/Gyro Module (เซนเซอร์วัดมุม) ที่ติดตั้งอยู่ที่โครงสร้างรองรับเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 การติดตั้งกล่องอุปกรณ์



ภาพที่ 4 การติดตั้งเซนเซอร์วัดมุม

จากนั้นเขียนคำสั่ง (code) ด้วยโปรแกรม Arduino IDE เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณ Analog ของอุปกรณ์ตรวจวัดมุม เพื่อให้ค่ามุมสามารถแสดงผลในแอปพลิเคชัน Blynk บนอุปกรณ์สื่อสาร ดังภาพที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นมุม x และ y โดยที่ มุม x คือ มุมในแนวทิศเหนือ - ทิศใต้ (เริ่มมุม 0 องศา เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับทิศเหนือ มุม 90 องศา เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนานกับท้องฟ้า มุม 180 องศา เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับทิศใต้) ในส่วนของ มุม y คือ มุมในแนวทิศตะวันออก - ทิศตะวันตก (เริ่มมุม 0 องศา เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับทิศตะวันออก มุม 90 องศา เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนานกับท้องฟ้า มุม 180 องศา เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับทิศตะวันตก)



ภาพที่ 5 การแสดงผลบนแอปพลิเคชัน Blynk

การแสดงผลการทำงานและการแจ้งเตือนจัดทำขึ้นโดยเขียนคำสั่งเพื่อให้แสดงผลและแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line ผ่าน Line notify ซึ่งเมื่อระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานเป็นปกติ ระบบแจ้งเตือนจะแจ้งค่ามุมของแผงขณะนั้น (ทั้งมุมแกน x และ y) ดังภาพที่ 6-ก ซึ่งเป็นเวลาในช่วงเช้า (08:02) มุมแกน y (ay) มีค่า 46 องศา แสดงให้เห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันมาทางทิศตะวันออก (มุมแกน y ที่ได้รับจากเซนเซอร์ มีค่าน้อยกว่า 90 องศา) แสดงว่าระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ติดตามดวงอาทิตย์ตามปกติ หากระบบทำงานผิดปกติ จะมีข้อความแจ้งเตือนมายังแอปพลิเคชัน Line ว่า “แจ้งเตือนการทำงานผิดปกติ PV หันไปทางทิศ...” ดังตัวอย่างในภาพที่ 6-ข ซึ่งเป็นช่วงเวลาในตอนบ่าย (14:10) แต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงหันไปทางทิศตะวันออก แสดงว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานผิดปกติ จะมีข้อความแจ้งเตือนมายังแอปพลิเคชัน Line ว่า “แจ้งเตือนการทำงานผิดปกติ PV หันไปทางทิศ ตะวันออก” ทำให้ผู้ดูแลระบบรับรู้และแก้ไขข้อบกพร่องของระบบได้อย่างรวดเร็ว



(ก) ระบบทำงานปกติ



(ข) ระบบทำงานผิดปกติ

ภาพที่ 6 การแสดงผลและแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชัน Line

2) การทดสอบและบันทึกข้อมูลของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน

2.1) การเปรียบเทียบค่ามุมที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบกับอุปกรณ์มาตรฐาน

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกนเป็นระบบที่เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์มากขึ้นกว่าระบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ร้อยละ 20 – 30 [1-2] เนื่องจากกลไกของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกนจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา โดยแกนแรก (แกน x) จะหมุนปรับตามแนวทิศเหนือ - ทิศใต้ แกนที่สอง จะปรับในแนวทิศตะวันออก - ทิศตะวันตก ซึ่งแต่ละช่วงเวลามุมของดวงอาทิตย์จะมีองศาที่ต่างกัน จึงมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อติดตามการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ทำงาน ค่ามุมก็จะไม่ถูกต้อง ณ เวลานั้น ๆ ทำให้สามารถแก้ไขระบบได้อย่างรวดเร็ว

การเปรียบเทียบค่ามุมที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบเมื่อเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน พบว่า ค่ามุมจากอุปกรณ์ต้นแบบในทิศเหนือ - ทิศใต้ มีความคลาดเคลื่อน ± 3 องศา และค่ามุมในทิศตะวันออก - ทิศตะวันตก มีความคลาดเคลื่อน ± 7 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่ามุมระหว่างอุปกรณ์ต้นแบบกับอุปกรณ์มาตรฐาน (Clinometer)

วันที่	เวลา (น.)	อุปกรณ์	มุม (องศา)		ความคลาดเคลื่อน (องศา)	
			แกน x (N - S)	แกน y (E - W)	แกน x	แกน y
15 มกราคม 2563	9.27	เซนเซอร์	144	117	+2	+11
		Clinometer	142	106		
	15.19	เซนเซอร์	143	121	-4	-2
		Clinometer	147	123		
16 มกราคม 2563	16.13	เซนเซอร์	144	121	-2	-3
		Clinometer	146	124		
17 มกราคม 2563	10.43	เซนเซอร์	146	77	+5	+10
		Clinometer	141	67		
เฉลี่ย					± 3	± 7

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่า ค่ามุมที่วัดได้จากอุปกรณ์ต้นแบบคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่วัดได้จาก Clinometer เพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถใช้ตรวจสอบสถานะการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ในเบื้องต้นได้ว่าระบบฯ ยังสามารถทำงานได้ถูกต้องหรือมีความผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่ ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานทราบข้อมูลการทำงานของระบบฯ ได้เมื่อเปิดดูข้อมูลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk บนอุปกรณ์สื่อสาร ที่พัฒนาขึ้นจากการศึกษานี้

2.2) การทดสอบการส่งสัญญาณไร้สายมายังเครื่องมือสื่อสาร

การแสดงผลและแจ้งเตือนการทำงานผ่านแอปพลิเคชัน Line ต้องอาศัยการเชื่อมต่อแบบไร้สาย ซึ่งอาจเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องด้วยเวลา จากการทดสอบการส่งสัญญาณไร้สายมายังเครื่องมือสื่อสาร พบว่า การส่งสัญญาณไร้สายมีความล่าช้า ประมาณ 10 นาที ดังตารางที่ 2 ซึ่งสาเหตุของความล่าช้าเกิดจากผู้วิจัยไม่ได้ใช้เซนเซอร์นาฬิกา หากจะพัฒนาชุดอุปกรณ์ต้นแบบดังกล่าวให้ค่าเวลาเป็นไปตามจริงหรือมีความแม่นยำเพิ่มขึ้น ควรติดตั้งเซนเซอร์นาฬิกา เช่น Real time clock DS3231 เพิ่มเติม

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าการส่งสัญญาณไร้สายฯ จะล่าช้าไปกว่าความเป็นจริงที่เกิดขึ้น แต่ก็สามารถเตือนผู้ใช้งานถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งระยะเวลาการแจ้งเตือนที่ล่าช้านี้ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับระบบฯ ในทันทีทันใด เมื่อผู้ใช้งานได้รับข้อความการแจ้งเตือน จะมีเวลาเพียงพอเพื่อเข้าตรวจสอบและแก้ไขระบบฯ ให้สามารถทำงานได้ตามปกติก่อนที่จะทำให้ระบบเกิดความเสียหายต่อไปได้

ตารางที่ 2 ความคลาดเคลื่อนของเวลาในการส่งสัญญาณมายังแอปพลิเคชัน Line

ครั้งที่	เวลาเกิดเหตุ	เวลาแจ้งเตือน	ความล่าช้า (นาที)
1	11:45	11:55	10
2	13:59	14:10	11
3	15:10	15:20	10

3) ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน

อุปกรณ์ต้นแบบระบบตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน มีค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 1,740 บาท (ไม่รวมค่าซิมการ์ดอินเทอร์เน็ตรายปี) โดยมีค่าใช้จ่ายในการจัดทำชุดอุปกรณ์ ประมาณ 790 บาท ซึ่งได้แก่ ค่ากล่องพลาสติกกันน้ำ NodeMCU เซนเซอร์วัดมุม สายไฟ เทอร์มินอล และ ค่า Wifi Router ประมาณ 950 บาท ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ต้นแบบระบบตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน

ลำดับที่	รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
1	กล่องพลาสติกกันน้ำ 6 x 6 นิ้ว	150	1	150
2	Node MCU V.2 ESP8266 + บอร์ดขับมอเตอร์	210+100	1	310
3	อุปกรณ์ลดแรงดันไฟฟ้า	90	1	90
4	เซนเซอร์วัดมุม	60	1	60
5	สายไฟจัมเปอร์	1.5	20	30
6	เทอร์มินอล	30	1	30
7	สายไฟ	15	8	120
8	Wifi Router	950	1	950
รวม				1,740

*หมายเหตุ: ราคานี้ไม่รวมค่าซิมการ์ดอินเทอร์เน็ตรายปี ปีละ 1,300 บาท

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้จัดทำระบบตรวจวัดมุมของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ IoT เพื่อตรวจวัดมุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน แล้วนำมาแสดงผล และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และ Line เป็นการออกแบบโดยใช้เซ็นเซอร์ 3-axis Accelerometer/Gyro module เพื่อวัดมุม และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU V.2 ที่สามารถรับ – ส่งข้อมูลแบบไร้สาย ซึ่งสามารถเขียนคำสั่งผ่านโปรแกรม Open source ได้ โดยนำอุปกรณ์ต้นแบบนี้ไปติดตั้งกับโครงสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกนแบบเสาเดี่ยว ขนาด 600 วัตต์ เพื่อทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบ

จากผลการทดสอบพบว่า ระบบตรวจวัดมุมเพื่อติดตามการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกนสามารถทำงานได้ คือ สามารถแสดงผลค่ามุมมายังแอปพลิเคชัน Blynk และ Line ได้ รวมทั้งแจ้งเตือนการทำงานเมื่อระบบทำงานผิดปกติ ทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถซ่อมแซมระบบได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งค่ามุมของอุปกรณ์ต้นแบบนี้มีความคลาดเคลื่อนในทิศเหนือ-ทิศใต้ และ ทิศตะวันออก-ตะวันตก เท่ากับ ± 3 และ ± 7 องศา ตามลำดับ เมื่อทดสอบการส่งสัญญาณไร้สาย พบว่าอุปกรณ์ต้นแบบมีการส่งสัญญาณล่าช้าจากเวลาจริง ประมาณ 10 นาที เนื่องจาก ไม่ได้ติดตั้งเซ็นเซอร์นาฬิกา โดยอุปกรณ์ต้นแบบฯ นี้มีต้นทุนรวม ประมาณ 1,740 บาท

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล และวัชรวิชัย เจียรวรรณ. (2558). “ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนราคาถูกสำหรับบ้านพลังงานแสงอาทิตย์”, ใน การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8. วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [2] กฤษณนที สวนจันทร์, สุเพชร จิระจรรกุล และธนิต เรืองรุ่งชัยกุล. (2560). “การออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับโซลาร์ฟาร์ม”, ใน การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10. วันที่ 29 พฤศจิกายน – 1 ธันวาคม 2560 ณ หอประชุมเฉลิมพระเกียรติ. พัทยา : มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

การพัฒนาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบน็อคดาวน์สำหรับตะเกียบไม้ไผ่สด

The Development of a Knockdown Solar Greenhouse Dryer for Drying Bamboo Chopsticks

วีระ พันอินทร์^{1*}

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 52100

Abstract

The purpose of this study was to develop a knockdown solar greenhouse dryer for drying bamboo chopsticks at Ban Pang Tum Bamboo Chopsticks Factory, Tambon Mae Suk, Amphoe Jae Hom, Lampang Province. The solar dryer has a width of 4 meters, a length of 6 meters and a height of 2 meters. The roof is a triangular shape with a width of 4 meters, a length of 6 meters and a height of 0.8 meters. The walls of the chamber and the roof of the solar drying room are covered with transparent polycarbonate sheets that are 6 mm thick. The experiment was conducted by drying 800 kg of fresh bamboo chopsticks, with a solar drying plant. Between 22 December and 24 December 2019, the weather conditions during the experiment, clear skies without clouds, long-wave of solar had an average solar radiation intensity of 910 watts per square meter and became thermal radiation, causing the air inside the solar drying plant to heat up. The average temperature inside the solar drying plant was 45 degrees Celsius and the heat is transferred to the fresh bamboo chopsticks with 61% humidity causing the evaporation of the water in the fresh bamboo chopsticks into the air with an exhaust fan to help vent the humid air out of the drying plant, until the final moisture of fresh bamboo chopsticks has an average of 12 percent on demand. When the drying time of fresh bamboo chopsticks has elapsed 7 hours, this reduces the drying time of fresh bamboo chopsticks by up to 11 hours, compared to traditional natural sun drying methods. Bamboo chopsticks that are manufactured are of high quality and free from dust contamination. Therefore, the thermal efficiency of the solar drying plant was an average of 13% and finally, the investment in installing a solar drying plant for drying fresh bamboo chopsticks can be a payback period of 4.5 months.

Keywords: A knockdown greenhouse solar dryer, Solar Energy, Bamboo sang, Bamboo Chopsticks, Payback Period

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้โครงสร้างสามารถถอดประกอบได้ ลักษณะของตัวห้องโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมมีความกว้าง 4 เมตร ความยาว 6 เมตร และมีความสูง 2 เมตร หลังคาเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมมีความกว้าง 4 เมตร ความยาว 6 เมตร และมีความสูง 0.8 เมตร ส่วนผนังของตัวห้องและหลังคาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ถูกปิดด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตใสที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร สำหรับใช้อบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดของชุมชนบ้านปางต้อม ตำบลแม่สุก อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง การทดลองอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดจำนวน 800 กิโลกรัมด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ระหว่างวันที่ 22-24 ธันวาคม พ.ศ.2562 สภาพอากาศในขณะ

*Corresponding author: E-mail address: verapunin@hotmail.com

ทดลองทอผ้าแจ่มใส ปราศจากเมฆ รังสีอาทิตย์คลื่นยาวมีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 9 10 วัตต์ต่อตารางเมตรและกลายเป็นรังสีความร้อนทำให้อากาศภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร้อนขึ้นมีอุณหภูมิเฉลี่ย 45 องศาเซลเซียสและถ่ายเทความร้อนไปยังตะเกียบไม้ไผ่สดที่มีความชื้นร้อยละ 61 ทำให้เกิดการระเหยของน้ำในตัวตะเกียบไม้ไผ่สดออกสู่อากาศโดยมีพัดลมดูดอากาศช่วยในการระบายอากาศขึ้นออกจากโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จนความชื้นสุดท้ายของตะเกียบไม้ไผ่สดมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 12 ตามความต้องการเมื่อเวลาที่ใช้ออบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดผ่านไป 7 ชั่วโมง ซึ่งช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดดตามธรรมชาติแบบเดิมได้ถึง 11 ชั่วโมง ตะเกียบไม้ไผ่แห้งที่ได้มีคุณภาพไม่ปนเปื้อนฝุ่นละออง ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 13 และสุดท้ายนี้การลงทุนติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดสามารถคืนภายในระยะเวลา 4.5 เดือน

คำสำคัญ: โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบน็อคดาวน์ พลังงานแสงอาทิตย์ ไม้ซาง ตะเกียบไม้ไผ่สด ระยะเวลาคืนทุน

บทนำ

จากปัญหาเชื้อราขึ้นตะเกียบไม้ไผ่ส่งผลกระทบต่อรายได้ที่ผู้ประกอบการผลิตตะเกียบไม้ไผ่และเกษตรกรที่จะได้รับและอาจขยายวงกว้างจนส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจท้องถิ่นของประเทศได้ เนื่องจากทั่วประเทศมีผู้ประกอบการผลิตตะเกียบไม้ไผ่ที่ได้รับอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ประกอบการผลิตตะเกียบไม้ไผ่ทั้งสิ้น 71 โรงงาน ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งสร้างอาชีพให้กับประชาชนในท้องถิ่นได้มีรายได้ โดยเฉพาะพื้นที่จังหวัดลำปางมีโรงงานผลิตตะเกียบไม้ไผ่จำนวน 10 โรงงาน [1] ทั้งนี้เนื่องจากจังหวัดลำปางตั้งอยู่ในพื้นที่ราบลุ่มรอบล้อมด้วยหุบเขามีสภาพน้ำวังเป็นแหล่งน้ำสำคัญจึงเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืชประจําถิ่นอย่างกับต้นไผ่ซางที่ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตะเกียบไม้ไผ่ [2] จากการลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามแบบการสัมภาษณ์กับเจ้าของโรงงานผลิตตะเกียบไม้ไผ่ชุมชนบ้านปางต้อมพบว่าโรงงานแห่งนี้ได้มีการรับซื้อไม้ไผ่ซางสดจากเกษตรกรในพื้นที่รอบอำเภอแจ้ห่มเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นตะเกียบไม้ไผ่เส้นเฉลี่ยเดือนละ 20000 กิโลกรัม โดยรับซื้อมาในราคา กิโลกรัมละ 1.50 บาท จากนั้นนำต้นไผ่ซางสดที่รับซื้อมาตัดเป็นท่อนด้วยเครื่องตัดท่อนขนาด 1000 วัตต์ ให้แต่ละท่อนมีความยาว 20 เซนติเมตร ก่อนนำเข้าเครื่องยิงไม้ไผ่เส้นขนาด 2500 วัตต์ เพื่อผลิตเป็นไม้ไผ่เส้นสดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ซึ่งจากขั้นตอนเบื้องต้นไม้ไผ่ซางสด 20000 กิโลกรัมนำมาผลิตไม้ไผ่เส้นสดได้ 16000 กิโลกรัม ในขั้นตอนถัดไปไม้ไผ่เส้นสดจะถูกนำไปลดความชื้นด้วยการตากแดดตามธรรมชาติในพื้นที่โล่งแจ้งประมาณ 2 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศในแต่ละช่วงของฤดูกาล ซึ่งปริมาณไม้ไผ่เส้นสดที่ผ่านการตากแดดมวลลดลงเหลือ 8500 กิโลกรัม จากนั้นถูกแพ็คใส่ถุงกระสอบก่อนส่งออกไปขายในราคา กิโลกรัมละ 13 บาท เพื่อนำไปแปรรูปเป็นตะเกียบไม้ไผ่ต่อไป ดังนั้นจะเห็นว่าในแต่ละเดือนโรงงานผลิตตะเกียบแห่งนี้มีค่าใช้จ่ายจากการรับซื้อไม้ไผ่สดเฉลี่ยเดือนละ 30000 บาท และมีรายได้ประมาณการจากการขายไม้ไผ่เส้นเฉลี่ยเดือนละ 110500 บาท แต่ในความเป็นจริงในช่วงที่ผ่านมาระบบการผลิตไม้ไผ่เส้นแห่งนี้ประสบปัญหาการอบแห้งไม้ไผ่เส้นโดยใช้วิธีการตากแดดตามธรรมชาติหลายประการ เช่น ทำให้ไม้ไผ่เส้นที่ได้มีการปนเปื้อนจากการรบกวนของแมลงต่าง ๆ และฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายในอากาศ มีผลทำให้ไม้ไผ่เส้นหลังตากแดดโดยธรรมชาติไม่ได้มาตรฐานในเรื่องของความสะอาด นอกจากนี้ในช่วงฤดูฝนทำให้ไม้ไผ่เส้นเกิดการเน่าเสียหรือเกิดเชื้อรา เป็นเหตุให้ไม้ไผ่เส้นไม่สามารถเก็บไม้ไผ่เส้นไว้ได้ไม่นานหรือเกิดความเสียหายได้ทำให้ผลตอบแทนที่ควรจะได้รับไม่เป็นไปตามเป้าหมายข้างต้น การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ซึ่งอาศัยการพาความร้อนสามารถแบ่งการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การพาความร้อนตามธรรมชาติอาศัยแรงลอยตัวเนื่องจากการพาความร้อนของของไหลและการพาความร้อนแบบบังคับอาศัยแรงดันจากพัดลมในการพาความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ [3] ซึ่งการพาความร้อนแบบบังคับได้รับพัฒนา

และนำไปประยุกต์ใช้จากนักวิจัยหลายท่านในการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในบริบทของแต่พื้นที่นั้น ได้แก่ โรง
อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบรูปทรงพาราโบลขนาดใหญ่ที่ปิดคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตสำหรับอบแห้งผักและ
ผลไม้ [4-6] โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ตัวห้องเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมส่วนหลังคาเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมสำหรับอบแห้ง
ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร [7] และโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ตัวห้องเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมส่วนหลังคาเป็นรูปทรงโค้ง
สำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์ชุมชน [8] เป็นต้น รวมทั้งลักษณะรูปทรงของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อการ
อบแห้งยางพาราแผ่น [9]

ด้วยเหตุนี้กลุ่มผู้ประกอบการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่เส้นสดจากต้นไผ่ข้างของชุมชนบ้านปางต้อม ตำบลแม่สุก
อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง ได้เล็งเห็นความสำคัญและโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่เส้นสดให้มีกระบวนการผลิตที่ได้
มาตรฐานและมีต้นทุนที่ต่ำลง จึงได้ร่วมมือกับทางสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ช่วยกัน
พัฒนาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบน็อคดาวน์สำหรับอบแห้งไม้ไผ่เส้นสดเพื่อลดความชื้นลงอย่างสม่ำเสมอ ช่วยลด
ระยะเวลาที่ใช้ในการตากแดดด้วยวิธีตามธรรมชาติ โดยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีส่วนประกอบสำคัญคือ ตัวห้อง
ของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม หลังคาเป็นรูปทรงสามเหลี่ยม ปกคลุมด้วยโพลี
คาร์บอเนตใสและมีการติดตั้งพัดลมเพื่อระบายความชื้นออกจากไม้ไผ่เส้นสด มีลักษณะเด่นเป็นโรงอบแห้งพลังงาน
แสงอาทิตย์แบบน็อคดาวน์ที่ออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้ง่าย สามารถเคลื่อนย้ายไปติดตั้งในพื้นที่ที่ต้องการได้อย่าง
สะดวกและรวดเร็ว มีต้นทุนการผลิตต่ำ และได้ไม้ไผ่เส้นที่มีคุณภาพสำหรับนำไปผลิตเป็นตะเกียบไม้ไผ่ต่อไป นอกจากนี้ยัง
สามารถนำแนวคิดของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบน็อคดาวน์ไปพัฒนาต่อยอดสำหรับอบแห้งผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ
เพื่อให้การอบแห้งเกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบน็อคดาวน์นี้ให้มีความเหมาะสมกับทักษะช่างฝีมือแรงงานในชุมชน
สำหรับนำมาใช้อบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดในโรงงานผลิตตะเกียบไม้ไผ่สดชุมชนบ้านปางต้อม ตำบลแม่สุก อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบน็อคดาวน์หรือสามารถถอดประกอบได้ให้ม
ความเหมาะสมกับทักษะช่างฝีมือแรงงานในชุมชนและดำเนินการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งพลังงาน
แสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดเพื่อให้ความชื้นของตะเกียบไม้ไผ่เส้นสดลดลงอย่างสม่ำเสมอ ช่วยลดระยะเวลา
ที่ใช้ในการอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดและช่วยยกระดับคุณภาพของตะเกียบไม้ไผ่ให้ได้มาตรฐานและถูกสุขลักษณะอนามัย
โดยมีรายละเอียดของวิธีการดังนี้



(ก) การเทพื้นคอนกรีตสำหรับใช้เป็นฐาน



(ข) การกำหนดตำแหน่งการติดตั้ง



(ค) โครงสร้างตัวห้องและหลังคา



(ง) การติดตั้งพัดลมบังคับการไหลของอากาศ



(จ) ตะแกรงสำหรับชั้นวางตะเกียบไม้ไผ่สด



(ฉ) ตะเกียบไม้ไผ่เส้นแห้ง

ภาพที่ 1 ขั้นตอนการออกแบบและติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

1. การออกแบบและติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการอบแห้งวัตถุดิบโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อระเหยน้ำออกจากวัตถุดิบซึ่งอาศัยการพาความร้อน สำหรับโครงการวิจัยนี้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดอาศัยหลักการพาความร้อนแบบบังคับอากาศด้วยพัดลม นอกจากนี้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้ยังออกแบบให้สามารถถอดประกอบได้เพื่อสะดวกสำหรับการติดตั้งและมีความเหมาะสมกับทักษะช่างฝีมือแรงงานในชุมชนตามความต้องการของผู้ประกอบการผลิตตะเกียบไม้ไผ่ โดยมีรายละเอียดที่สำคัญ ๆ ดังนี้

1) การออกแบบและการเทพื้นคอนกรีตสำหรับเป็นฐานติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การเทพื้นคอนกรีตที่วางบนพื้นดินสำหรับใช้เป็นฐานติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญยิ่งและจำเป็นต้องทำให้มีความแข็งแรงทนทานเนื่องจากเป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 1 (ก) การตีแบบและการเทพื้นทำฐานด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กเส้นกลม (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร) ให้มีความหนา 15 เซนติเมตร ความกว้าง 4.5 เมตร และความยาว 6.5 เมตร รวมทั้งการเทพื้นคอนกรีตสำหรับใช้เป็นทางเดินรอบโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความกว้างยาวด้านละ 1.0 เมตร และให้มีความลาดเอียงเพื่อป้องกันน้ำไหลเข้าโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2) การกำหนดตำแหน่งการติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การกำหนดตำแหน่งการติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นนับว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากจังหวัดลำปางตั้งอยู่บริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 17 องศา ถึง 19 องศา 30 ลิปดาเหนือ และเส้นลองจิจูด 98 องศา 45 ลิปดา ถึง 100 องศา 15 ลิปดาตะวันออก ดวงอาทิตย์จึงขึ้นเอียงทำมุมกับขอบฟ้า 72 องศา ในแต่ละวันดวงอาทิตย์จะไม่ขึ้นและตกตำแหน่งเดิมเสมอไปเนื่องจากแกนหมุนของโลกเอียงทำมุม 23.5 องศา กับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ ภาพที่ 1 (ข) ตำแหน่งของการติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้รับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันจะต้องติดตั้งโดยหันด้านหน้าของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ทางทิศตะวันออกและด้านหลังของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ทางทิศตะวันตก โดยด้านข้างหรือด้านตามยาวของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะอยู่ทางทิศเหนือและทิศใต้ ซึ่งจะทำให้โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับแสงอาทิตย์อย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งวัน

3) การออกแบบและสร้างตัวห้องและหลังคาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การก่อสร้างตัวห้องโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมและหลังคาเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมมีความจำเป็นต้องออกแบบให้สามารถรับแผ่นโพลีคาร์บอเนตและมีพื้นที่ใช้สอยเพียงพอสำหรับใช้เป็นพื้นที่บรรจุตะเกียบไม้ไผ่สดจำนวน 800 กิโลกรัม รวมทั้งโครงสร้างสามารถประกอบได้ง่ายในการติดตั้งตัวห้องและหลังคาของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ภาพที่ 1 (ค) การติดตั้งโครงสร้างตัวห้องและหลังคาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเหล็กทอกกลมกัวลาโนซ์ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร) เชื่อมส่วนประกอบต่าง ๆ ของโครงสร้างด้วยข้อต่อแล้วยึดแน่นด้วยน็อตทำให้สามารถถอดประกอบได้ง่าย ตัวห้องโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความกว้าง 4 เมตร ความยาว 6 เมตร และมีความสูง 2 เมตร ส่วนหลังคาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีความกว้าง 4 เมตร ความยาว 6 เมตร และมีความสูง 0.8 เมตร ผนังของตัวห้องและหลังคาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ถูกปิดด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตใสที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร ดังนั้นโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีพื้นที่ใช้สอยสำหรับอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดเท่ากับ 24 ตารางเมตร

4) การออกแบบและติดตั้งพัดลมระบบบังคับอากาศโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อาศัยหลักการพาความร้อนแบบบังคับอากาศด้วยพัดลม ซึ่งนับได้ว่าการบังคับการไหลของอากาศด้วยพัดลมเป็นหัวใจสำคัญของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้ ซึ่งการคำนวณขนาดของพัดลมดูดอากาศที่เหมาะสม (อัตราการไหลของอากาศ) กับอัตราการระเหยของน้ำในตะเกียบไม้ไผ่สดจึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้กับโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ภาพที่ 1 (ง) การติดตั้งพัดลมดูดอากาศขนาด 5 วัตต์ จำนวน 8 ตัว สำหรับใช้ในการบังคับอากาศให้เคลื่อนที่ด้วยความกดดันต่ำ ๆ เข้าสู่โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่อัตราการไหลต่อเนื่อง 1400 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ซึ่งแบ่งเป็นพัดลมดูดอากาศกระแสตรงใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาเซลล์ขนาด 25 วัตต์ ตำแหน่งการติดตั้งด้านหน้าระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวน 4 ตัว ทำหน้าที่ดูดอากาศจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และพัดลมระบายอากาศกระแสตรงใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาเซลล์ขนาด 25 วัตต์ ตำแหน่งการติดตั้งด้านหลังโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวน 4 ตัว ทำหน้าที่บังคับอากาศร้อนที่มีความชื้นสะสมอยู่ออกจากโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

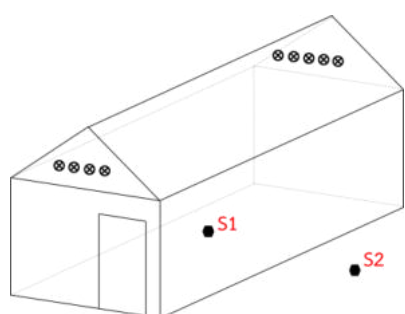
5) การออกแบบและติดตั้งตะแกรงสำหรับชั้นวางตะเกียบไม้ไผ่สด

ตะแกรงสำหรับวางตะเกียบไม้ไผ่สดเป็นอุปกรณ์ที่สัมผัสกับตะเกียบไม้ไผ่สดจำเป็นต้องมีพื้นที่เพียงพอสำหรับรองรับปริมาณตะเกียบไม้ไผ่สดที่นำมาอบแห้งไม่ให้เกิดการซ้อนทับกันจนเป็นอุปสรรคต่อการระเหยของความชื้นออกจากตะเกียบไม้ไผ่สด ภาพที่ 1 (จ) การติดตั้งตะแกรงสำหรับชั้นวางตะเกียบไม้ไผ่สดที่นำมาอบแห้ง โครงสร้างตะแกรงทำจากเหล็กฉากวงตัวรูปตัวยูขนาดความกว้าง 1.5 เมตร และความสูง 0.8 เมตร เว้นช่องทางเดินอยู่ตรงกลางระหว่างตะแกรง ส่วนตะแกรงทำจากเหล็กฉีก XS31 ขนาดของรูตะแกรง 12 x 30.5 มิลลิเมตร ความหนา 1.2 มิลลิเมตร และสันตะแกรง 1.5 มิลลิเมตร โดยมีพื้นที่ใช้งานเพียงพอสำหรับรองรับตะเกียบไม้ไผ่สดที่นำมาอบแห้งและขนาดของรูตะแกรงเหมาะสมที่จะให้

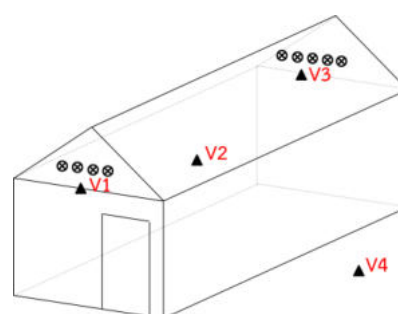
ความร้อนไหลผ่านด้านล่างตะแกรงพาความร้อนที่มียูนิเตอร์ในตะเกียบไม้ไผ่สลายตัวสู่ด้านบนก่อนจะถูกพัดลมดูดอากาศ บังคับทิศทางการไหลของอากาศร้อนที่มีความชื้นสะสมอยู่ไหลออกด้านนอกของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

2. ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือเก็บผลทดลองอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สด

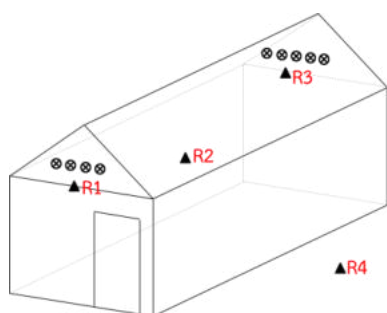
การทดลองอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดจำนวน 800 กิโลกรัม ด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดำเนินการติดตั้งระบบตรวจวัดพารามิเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ อัตราการไหลของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิอากาศภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม และความชื้นของตะเกียบไม้ไผ่หลังการอบแห้ง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



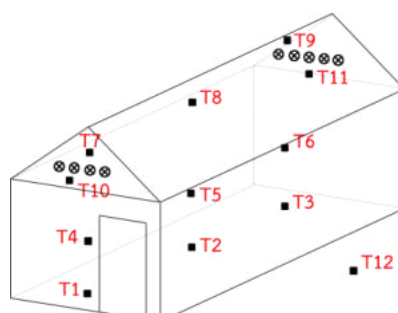
(ก) ตำแหน่งการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์



(ข) ตำแหน่งการวัดอัตราการไหลของอากาศ



(ค) ตำแหน่งการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ



(ง) ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของอากาศ

ภาพที่ 2 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์และเก็บผลทดลองอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สด

1) การวัดค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้เครื่องมือตรวจวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (Pyranometer) ยี่ห้อ LI-19 ทำการวัดและบันทึกผลของค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั้งภายในและภายนอกโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 18.00 น. ภาพที่ 2 (ก) ตำแหน่งการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ขณะทำการทดสอบอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยกำหนดสัญลักษณ์ของการตรวจวัดตำแหน่ง ดังนี้ S1 คือ ตำแหน่งกึ่งกลางภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และตำแหน่ง S2 คือบริเวณภายนอกโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (สิ่งแวดล้อม) ตามลำดับ

2) การวัดค่าอัตราการไหลของอากาศ โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมยี่ห้อ Air Velocity Meter TM-412 ทำการวัดและบันทึกผลค่าอัตราการไหลของอากาศทั้งภายในและภายนอกโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 18.00 น. ภาพที่ 2 (ข) ตำแหน่งการวัดค่าอัตราการไหลของอากาศขณะทำการทดสอบอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยกำหนดสัญลักษณ์ตำแหน่งการวัดต่าง ๆ ดังนี้ V1 คือ ตำแหน่งหลังทางด้านหน้าของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (บริเวณพัดลมดูดอากาศเข้าระบบ) V2 คือ ตำแหน่งตรงกลางโรงอบแห้ง

พลังงานแสงอาทิตย์ V3 คือ ตำแหน่งหลังคาด้านหลังของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (บริเวณพัฒลมุดอากาศ) และ V4 คือ บริเวณภายนอกโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (สิ่งแวดล้อม) ตามลำดับ

3) การวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยใช้เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (Hygrometer) ยี่ห้อ testo 635 รุ่น D-79853 ทำการวัดและบันทึกผลค่าความชื้นสัมพัทธ์ทั้งภายในและภายนอกโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 18.00 น. ภาพที่ 2 (ค) ตำแหน่งการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขณะทำการทดสอบอบแห้ง ตะเกียบไม้ไผ่สดด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยกำหนดสัญลักษณ์ตำแหน่งการวัดต่าง ๆ ดังนี้ R1 คือ ตำแหน่งหลังคาด้านหน้าภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (บริเวณพัฒลมุดอากาศ) R2 คือ ตำแหน่งตรงกลางภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ R3 คือ ตำแหน่งหลังคาด้านหลังภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (บริเวณพัฒลมุดอากาศ) และ R4 คือ บริเวณภายนอกโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (สิ่งแวดล้อม) ตามลำดับ

4) การวัดอุณหภูมิของอากาศ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค และบันทึกข้อมูลลงเครื่องบันทึกข้อมูล Multi-Channel Data Logger-20 Channels รุ่น GL820 ยี่ห้อ Graphtec ทำการวัดและบันทึกผลค่าอุณหภูมิอากาศทั้งภายในและภายนอกโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 18.00 น. ภาพที่ 2 (ง) ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิของอากาศขณะทำการทดลองอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยกำหนดสัญลักษณ์ตำแหน่งการวัดต่าง ๆ ดังนี้ ตำแหน่ง T1 T2 และ T3 คือ การวัดอุณหภูมิส่วนล่างของตัวห้องเหนือชั้นวางตะเกียบไม้ไผ่ บริเวณด้านหน้า ตรงกลาง และด้านหลังของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ตามลำดับ ตำแหน่ง T4 T5 และ T6 คือ การวัดอุณหภูมิส่วนกลางของตัวห้องบริเวณด้านหน้า ตรงกลาง และด้านหลังของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ตามลำดับ ตำแหน่ง T7 T8 และ T9 คือ การวัดอุณหภูมิตำแหน่งส่วนบนของตัวห้องบริเวณด้านหน้า ตรงกลาง และด้านหลังของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ตามลำดับ ตำแหน่ง T10 และ T11 คือ การวัดอุณหภูมิตำแหน่งส่วนบนของหลังคาบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ตามลำดับและตำแหน่ง T12 คือ การวัดอุณหภูมิบริเวณภายนอกโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (สิ่งแวดล้อม) ตามลำดับ

5) การวิเคราะห์ค่าความชื้นของตะเกียบไม้ไผ่สดก่อนและหลังทดลองอบแห้งด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการทดลองหาค่าความชื้นของตะเกียบไม้ไผ่สดตามมาตรฐาน ASTM E 3173 โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างตะเกียบไม้ไผ่สด จำนวน 1 กิโลกรัม นำมาหามวลเริ่มต้นแล้วนำไปอบในตู้อบไฟฟ้า FN 500 ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียสโดยให้ความร้อนกระจายทั่วถึงตัวอย่างตะเกียบไม้ไผ่ทั้งหมด ทุก ๆ 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างตะเกียบไม้ไผ่สดมาตรวจสอบมวลแล้วบันทึกผลจนกว่ามวลคงที่ จากนั้นนำค่ามวลก่อนและหลังอบที่ได้มาคำนวณหาค่าความชื้นมาตรฐานแห่ง โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

ความชื้นมาตรฐานแห่ง หาได้จากสูตร

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

เมื่อ	M_d	คือ	ความชื้นมาตรฐานแห่ง (%)
	w	คือ	มวลของตะเกียบไม้ไผ่สด (kg)
	d	คือ	มวลของตะเกียบไม้ไผ่แห้ง (kg)

ค่าความชื้นแบบมาตรฐานแห่งนี้มาใช้ในการวิเคราะห์ค่าความชื้นหลังกระบวนการอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากประมาณได้ว่ามวลของตะเกียบไม้ไผ่แห้งมีค่าคงที่

3.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งตะกั่วไม่ไผ่สด ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิอากาศไหลเข้าและออกจากระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาใช้คำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ ดังนี้

$$\eta = \frac{m_a C_{p,a} \Delta T_a}{A_p I} \quad (2)$$

เมื่อ	η	คือ	ประสิทธิภาพทางความร้อนของโรงอบแห้ง (%)
	m_a	คือ	อัตราการไหลของอากาศผ่านห้องอบแห้ง (kg/s)
	$C_{p,a}$	คือ	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (J/kg K)
	ΔT_a	คือ	ผลต่างของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและออกจากโรงอบแห้ง (K)
	A_p	คือ	พื้นที่รับแสงอาทิตย์ (m^2)
	I	คือ	ความเข้มรังสีอาทิตย์ (W/m^2)

3.6 การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์นำมาใช้ในการพิจารณาเพื่อการตัดสินใจเลือกโครงการหรือวิธีดำเนินการใด ๆ โดยมีเป้าหมายของการวิเคราะห์โครงการ คือการวิเคราะห์โครงการนั้นจะต้องนำไปสู่ข้อสรุปขั้นสุดท้ายในการเลือกลงทุนในโครงการว่าควรลงทุนในโครงการนั้นหรือไม่ การอาศัยเทคนิคในการวิเคราะห์การลงทุนจะช่วยให้มั่นใจได้ว่าการลงทุนในโครงการลงทุนนั้นจะช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผู้ประกอบการได้

เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ คือ ระยะเวลาคืนทุน ซึ่งการติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบน็อคดาวนสำหรับอบแห้งตะกั่วไม่ไผ่สดนั้นมีต้นทุนการผลิตเป็นการลงทุนจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์และจัดจ้างแรงงานช่างเพื่อใช้ในการติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อเริ่มใช้งานโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบน็อคดาวนสำหรับอบแห้งตะกั่วไม่ไผ่ในช่วงระยะเวลาแรกจะอยู่ในสถานะขาดทุนแต่เมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่งจะเริ่มคืนทุนและมีผลกำไรตามมา สามารถคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + (\text{เงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน} / \text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีคืนทุน}) \quad (3)$$

ดังนั้นการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของการลงทุนติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้อบแห้งตะกั่วไม่ไผ่สดจะช่วยเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจให้กับผู้ประกอบการที่สนใจจะลงทุนเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตในขั้นตอนการลดค่าความชื้นของตะกั่วไม่ไผ่สดแทนวิธีการลดความชื้นของตะกั่วไม่ไผ่สดด้วยวิธีตากแดดตามธรรมชาติแบบเดิม

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

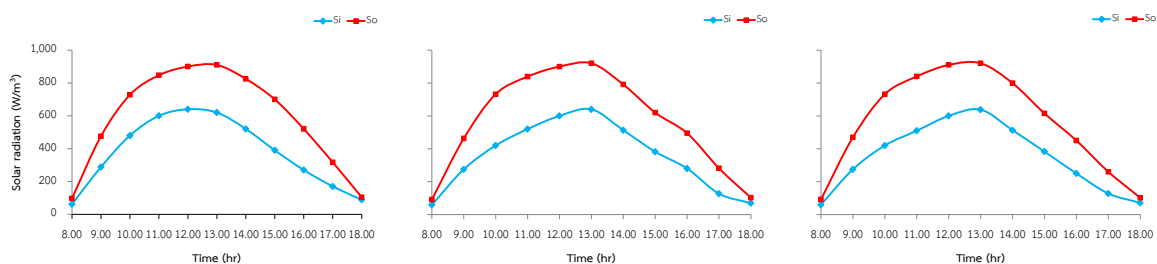
งานวิจัยในส่วนนี้เป็นผลทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบน็อคดาวนโดยใช้หลักการพาความร้อนแบบบังคับอากาศด้วยพัดลมสำหรับอบแห้งตะกั่วไม่ไผ่สดเพื่อทำให้ความชื้นของตะกั่วไม่ไผ่สดลดลงทั่วกันอย่างสม่ำเสมอ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ไม่ปนเปื้อนฝุ่นละออง ช่วยยกระดับคุณภาพของตะกั่วไม่ไผ่ให้ได้มาตรฐานและถูกสุขลักษณะอนามัย โดยมีผลการดำเนินงานวิจัยดังนี้

4.1 ผลการอบแห้งตะกียบไม้ไผ่สดด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การทดลองอบแห้งตะกียบไม้ไผ่สดจำนวน 800 กิโลกรัมด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบนี้ลดความชื้นระหว่างวันที่ 22-24 ธันวาคม พ.ศ.2562 สภาพอากาศในขณะนั้นท้องฟ้าแจ่มใสปราศจากเมฆ เริ่มตรวจวัดและบันทึกข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ ค่าความชื้นตะกียบไม้ไผ่ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ อัตราการไหลของอากาศภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ อุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ตั้งแต่เวลา 08.00 น. จนถึงเวลา 18.00 น. ผลการวิจัยดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

การวัดค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้เครื่องมือตรวจวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (Pyranometer) ยี่ห้อ LI-19 ทำการวัดและบันทึกผลของค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั้งภายใน (Si) และภายนอก (So) โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 18.00 น. โดยมีผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3

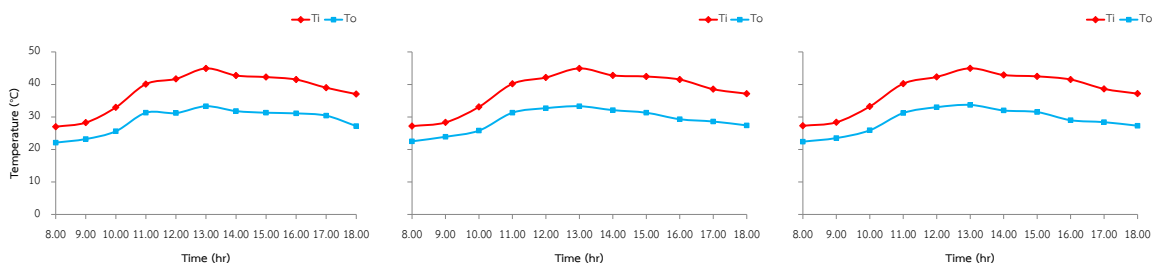


ภาพที่ 3 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยระหว่างวันที่ 22-24 ธันวาคม พ.ศ. 2562

จากภาพที่ 4.1 พบว่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในพื้นที่ติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามช่วงเวลา สภาพอากาศและมลภาวะทางอากาศของแต่ละวัน โดยค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เวลา 06.00 น. จนถึงเวลา 13.00 น. ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ย 910 วัตต์ต่อตารางเมตร หลังจากนั้นความเข้มแสงอาทิตย์จะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งเวลา 18.00 น. มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เท่ากับศูนย์

2) อุณหภูมิภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

การวัดอุณหภูมิของอากาศ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค และบันทึกข้อมูลลงเครื่องบันทึกข้อมูล Multi-Channel Data Logger-20 Channels รุ่น GL820 ยี่ห้อ Graphtec ทำการวัดและบันทึกผลค่าอุณหภูมิอากาศทั้งภายใน (Ti) และภายนอก (To) โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 18.00 น. โดยมีผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4

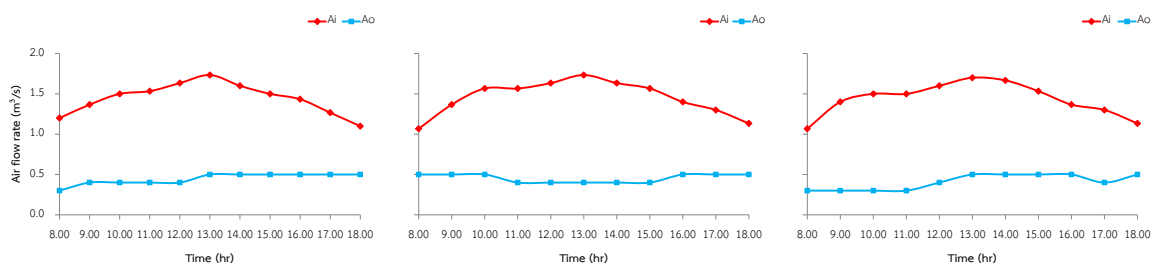


ภาพที่ 4 อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยระหว่างวันที่ 22-24 ธันวาคม พ.ศ. 2562

จากภาพที่ 4 พบว่าอุณหภูมิของอากาศภายใน (Ti) โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับตะเกียบไม้ไผ่ และ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (To) จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งอุณหภูมิอากาศภายในโรงอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุด 45 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีค่าเฉลี่ย 32 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิ ของอากาศภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม เนื่องจากเมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ส่อง ผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตเข้ามาภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ รังสีจากดวงอาทิตย์บางส่วนจะสะท้อนกลับด้วย พื้นผิวของวัสดุหลากหลายชนิดภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ บางส่วนจะสะท้อนกลับออกไปสู่ภายนอกโรงอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ ในขณะที่รังสีจากดวงอาทิตย์ส่วนที่เหลือจะถูกดูดซับด้วยสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ในโรงอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์ จากนั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน พลังงานความร้อนส่วนใหญ่จะไม่สามารถสะท้อนทะลุผ่านแผ่น โพลีคาร์บอเนตที่มุงหลังคาและฝาผนังของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ออกไปได้และจะถูกเก็บกักไว้ภายในโรงอบแห้ง พลังงานแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สูงขึ้นและสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

3) อัตราการไหลของอากาศภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การวัดค่าอัตราการไหลของอากาศ โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมยี่ห้อ Air Velocity Meter TM-412 ทำ การวัดและบันทึกผลค่าอัตราการไหลของอากาศทั้งภายใน (Ai) และภายนอก(Ao) โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 18.00 น. โดยมีผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 5

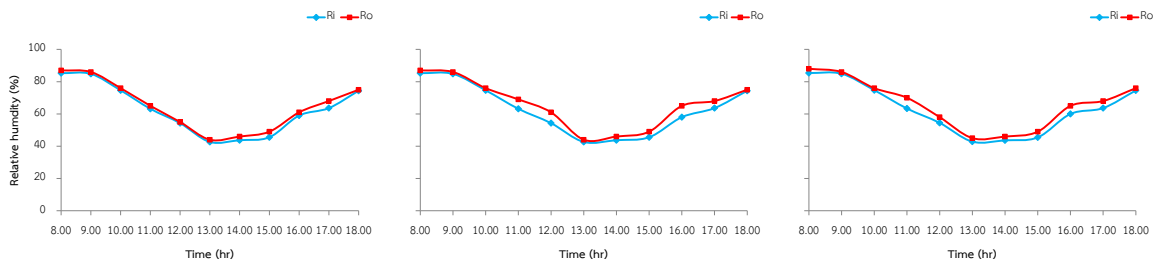


ภาพที่ 5 อัตราการไหลของอากาศระหว่างวันที่ 22-24 ธันวาคม พ.ศ. 2562

จากภาพที่ 5 พบว่าอัตราการไหลของอากาศภายใน (Ai) โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้ง ตะเกียบไม้ไผ่สดและอัตราการไหลของอากาศสิ่งแวดล้อม (Ao) จะมีการเปลี่ยนแปลงตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งนี้ เนื่องจากการบังคับอัตราการไหลของอากาศด้วยพัดลมทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาเซลล์ ซึ่งมีค่าแปรผัน ตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ โดยอัตราการไหลของอากาศภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวันจะมี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นอัตราการไหลของอากาศที่เพียงพอต่อการระบายความร้อนขึ้นที่ระเหย ออกจากตะเกียบไม้ไผ่สดขณะทำการอบแห้งออกจากโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

4) ความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ โดยใช้เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (Hygrometer) ยี่ห้อ testo 635 รุ่น D- 79853 ทำการวัดและบันทึกผลค่าความชื้นสัมพัทธ์ทั้งภายใน (Ri) และภายนอก (Ro) โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 18.00 น. โดยมีผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 6



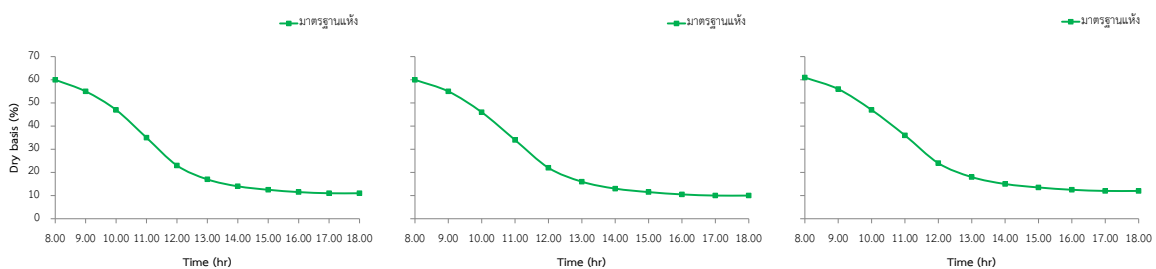
ภาพที่ 6 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศระหว่างวันที่ 22-24 ธันวาคม พ.ศ. 2562

จากภาพที่ 6 พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายใน (Ri) โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งตะกียบไม้ไผ่สดจะมีค่าต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก (Ro) โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับตะกียบไม้ไผ่สดหรือสิ่งแฉล้ม ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 42 ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 45 เนื่องจากน้ำที่ระเหยออกจากตะกียบไม้ไผ่สดภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ถูกระบายออกไปด้วยพัดลมดูดอากาศจึงทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในต่ำกว่าภายนอกโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

5) ความชื้นของตะกียบไม้ไผ่สดหลังอบด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การหาค่าความชื้นของตะกียบไม้ไผ่สดดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM E 3173 โดยการสุ่มตัวอย่างตะกียบไม้ไผ่สดจำนวน 1 กิโลกรัม นำมาหามวลเริ่มต้นแล้วนำไปอบในตู้อบไฟฟ้า FN 500 ตั้งค่าอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนกระจายอย่างทั่วถึงตัวอย่างตะกียบไม้ไผ่สดจากนั้นทุก ๆ 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างตะกียบไม้ไผ่สดมาหามวลที่เปลี่ยนไปแล้วบันทึกผลจนกว่ามวลคงที่ (ทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ) จากนั้นนำค่ามวลก่อนและหลังอบที่ได้มาคำนวณหาความชื้นมาตรฐานแห่งของตะกียบไม้ไผ่สดซึ่งจากการทดลองพบว่าค่าความชื้นของตัวอย่างตะกียบไม้ไผ่สดมีค่าร้อยละ 61

ในส่วนของการวิเคราะห์ค่าความชื้นของตะกียบไม้ไผ่สดหลังการอบแห้งด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยนำตะกียบไม้ไผ่สดจำนวน 800 กิโลกรัมมาหามวลเริ่มต้นแล้วนำไปอบแห้งในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และทุก ๆ 1 ชั่วโมงจะนำตัวอย่างตะกียบไม้ไผ่สดมาหามวลที่เปลี่ยนไปแล้วบันทึกผลจนกว่ามวลคงที่ จากนั้นนำค่ามวลก่อนและหลังอบแห้งที่ได้มาคำนวณหาความชื้นมาตรฐานแห่งของตะกียบไม้ไผ่สด โดยมีผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความชื้นเฉลี่ยของตะกียบไม้ไผ่ระหว่างวันที่ 22-24 ธันวาคม พ.ศ. 2562

จากภาพที่ 7 พบว่าค่าความชื้นของตะกียบไม้ไผ่สดจะค่อย ๆ ลดต่ำลงแปรผันตามอัตราการระเหยน้ำของตะกียบไม้ไผ่สดและอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความชื้นสุดท้ายของตะกียบไม้ไผ่สดมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 12 (dry basis) และมวลของตะกียบไม้ไผ่แห้งเฉลี่ยเท่ากับ 714 กิโลกรัม เมื่อเวลาที่ใช้ออบแห้งตะกียบไม้ไผ่สดผ่านไป 7 ชั่วโมง เนื่องจากการอบแห้งตะกียบไม้ไผ่สดด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้อัตราการระเหยน้ำ

นอกจากตะเกียบไม้ไผ่สดที่สูงและสม่ำเสมอจึงช่วยร่นระยะเวลาในการอบแห้งได้ถึง 11 ชั่วโมงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดดด้วยวิธีธรรมชาติที่ใช้ระยะเวลาในการตากแดดนานถึง 18 ชั่วโมง

4.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

จากการทดลองอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดจำนวน 800 กิโลกรัมด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะอากาศแจ่มใส ท้องฟ้าปลอดโปร่ง สามารถนำพารามิเตอร์ของผลการทดลองไปใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ค่าความชื้นเริ่มต้นของตะเกียบไม้ไผ่เฉลี่ยร้อยละ 61 พื้นที่รับแสงจาดดวงอาทิตย์ของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 24 ตารางเมตร ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับ 910 วัตต์ต่อตารางเมตร อัตราการไหลอากาศผ่านห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 0.9592 กิโลกรัมต่อวินาที และผลต่างของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าและออกจากโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 288 องศาเซลเซียส สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \eta &= \frac{m_a C_{p,a} \Delta T_a}{A_p I} \\ &= \frac{(0.9592 \text{ kg/s}) \times (1.02 \times 10^3 \text{ kJ/kg K}) \times (288 \text{ K})}{(24 \text{ m}^2) \times (910 \text{ W/m}^2)} \\ &= 13 \% \end{aligned}$$

ดังนั้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่ระหว่างวันที่ 22-24 ธันวาคม พ.ศ.2562 มีค่าเท่ากับร้อยละ 13 อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกันไม่ว่าจะเป็นปริมาณความชื้นสะสมในผลิตภัณฑ์ สภาพภูมิอากาศ อัตราการไหลของอากาศภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับอัตราการระเหยน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ ความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของแนวโคจรดวงอาทิตย์ เป็นต้น

4.3 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สด ณ ชุมชนบ้านปางต้อม อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง โดยการติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้มีต้นทุนต่าง ๆ เช่น ต้นทุนค่าวัสดุ ต้นทุนค่าอุปกรณ์ และต้นทุนค่าแรงงาน เป็นต้น เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าต้นทุนการก่อสร้างรวมเท่ากับ 150000 บาท และมีค่าใช้จ่ายจากการรับซื้อไม้ไผ่สดเท่ากับ 30000 บาท ค่าแรงงานยิงไม้ไผ่เท่ากับ 12000 บาท ค่าแรงงานตัดไม้ไผ่เท่ากับ 10500 บาท ค่าผ้าไม้ไผ่เท่ากับ 9000 บาท ค่ามัดตะเกียบไม้ไผ่เท่ากับ 8500 บาท และค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 6000 บาท ขายตะเกียบไม้ไผ่เส้นแห้งได้เงินเท่ากับ 110500 บาท ดังนั้นผลกำไรสุทธิหลังจากขายตะเกียบไม้ไผ่ต่อเดือนเท่ากับ 34500 บาท สำหรับกระแสเงินสดรับสุทธิในแต่ละเดือนสามารถแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ระยะเวลาคืนทุนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เดือนที่	กระแสเงินสดรับสุทธิ (บาท)	กระแสเงินสดรับสุทธิสะสม (บาท)
1	34,500	34,500
2	34,500	69,000
3	34,500	103,500
4	34,500	138,000
5	34,500	172,500

จากสมการระยะเวลาคืนทุน

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{เงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}} \\
 &= 4 + \frac{172,500}{34,500} \\
 &= 4.5 \text{ เดือน}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นการลงทุนติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งตะกั่วไม่ไผ่สดช่วยลดระยะเวลาอบแห้งตะกั่วไม่ไผ่สด ตะกั่วไม่ไผ่แห้งที่ได้มีคุณภาพไม่ปนเปื้อนฝุ่นละอองและสามารถคืนทุนในระยะเวลาเท่ากับ 4.5 เดือน

สรุปผลการวิจัย

จากผลการออกแบบลักษณะโครงสร้างของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ให้สามารถถอดประกอบได้สะดวกในการติดตั้ง ตัวห้องโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมมีความกว้าง 4 เมตร ความยาว 6 เมตร และมีความสูง 2 เมตร หลังคาเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมมีความกว้าง 4 เมตร ความยาว 6 เมตร และมีความสูง 0.8 เมตร ส่วนผนังของตัวห้องและหลังคาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ถูกปิดด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตใสที่มีความหนา 6 มิลลิเมตร สำหรับใช้อบแห้งตะกั่วไม่ไผ่สดจำนวน 800 กิโลกรัม พบว่าการก่อสร้างและติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบนี้มีความเหมาะสมกับทักษะช่างฝีมือแรงงานในชุมชนและมีต้นทุนต่ำกว่าโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วไปที่ยึดติดถาวร รวมทั้งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ตามความต้องการของผู้ประกอบการผลิตตะกั่วไม่ไผ่สดนั้นคือเมื่อนักวิจัยในพื้นที่วิจัยผู้ประกอบการสามารถดูแลบำรุงรักษาโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยช่างฝีมือแรงงานในชุมชนได้เอง

ในส่วนของผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับตะกั่วไม่ไผ่สด โดยทดลองอบแห้งตะกั่วไม่ไผ่สดจำนวน 800 กิโลกรัม ระหว่างวันที่ 22-24 ธันวาคม พ.ศ. 2562 สภาพอากาศในขณะทดลองห้องฟ้าแจ่มใส ปราศจากเมฆ รังสีดวงอาทิตย์ทะลุผ่านชั้นโอโซนเข้ามายังบรรยากาศโลก เมื่อเคลื่อนที่ผ่านมายังบริเวณแผ่นโพลีคาร์บอเนตที่ใช้สร้างหลังคาครอบโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เกิดการสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตออกไป แต่รังสีอาทิตย์คลื่นสั้นจะสามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เกิดการกระทบและดูดกลืนกับวัสดุต่าง ๆ ที่อยู่ภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิของรังสีอาทิตย์คลื่นสั้นมีพลังงานลดลง กลายเป็นรังสีอาทิตย์คลื่นยาวที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 910 วัตต์ต่อตารางเมตรและกลายเป็นรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรดนั่นเอง ซึ่งรังสีความร้อนดังกล่าวไม่สามารถเดินทางผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตออกมาสู่ภายนอกได้ ทำให้อากาศภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร้อนขึ้นจนมีอุณหภูมิเฉลี่ย 45 องศาเซลเซียสและถ่ายเทความร้อนไปยังตะกั่วไม่ไผ่สดทำให้เกิดการ

ระเหยของน้ำในตัวตะเกียบไม้ไผ่สอดออกสู่อากาศ อากาศขึ้นดังกล่าวจะไหลออกจากโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยมีพัดลมดูดอากาศช่วยในการระบายอากาศขึ้นด้วยอัตราการใช้ 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ขณะเดียวกันอากาศสิ่งแฉดล้อมอุณหภูมิเฉลี่ย 32 องศาเซลเซียสและความชื้นต่ำจากภายนอกจะถูกดูดเข้าไปยังโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาเซลล์ ดังนั้นการอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่ด้วยโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ช่วยทำให้ความชื้นตะเกียบไม้ไผ่ลดลงอย่างสม่ำเสมอ ช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดดแบบธรรมชาติแบบเดิมได้ถึง 11 ชั่วโมง ตะเกียบไม้ไผ่ที่ได้ไม่ปนเปื้อนฝุ่นละอองและช่วยยกระดับคุณภาพของตะเกียบไม้ไผ่ให้ได้มาตรฐาน สุดท้ายนี้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยร้อยละ 13 และจากการลงทุนติดตั้งโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งตะเกียบไม้ไผ่สดสามารถคืนภายในระยะเวลา 4.5 เดือน

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ขอขอบคุณกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สกว. (เดิม) โรงงานผลิตตะเกียบไม้ไผ่ชุมชนบ้านปางดู่ ตำบลแม่สุก อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง และขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2560). **ข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรม**. สืบค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม 2562, จาก <http://www.diw.go.th>
- [2] สำนักงานสภาเกษตรกรจังหวัดลำปาง (2560). **ส่งเสริมเกษตรกรเหนือ-ใต้ "ปลูกไผ่" ใช้ประโยชน์ได้ตลอดชีวิต**. สืบค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม 2562, จาก <http://www.lampang.doae.go.th>
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). **รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2562, จาก <http://moc.energy.go.th>
- [4] ชนก ศรีทัศน์. (2551). **การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบกรีนเฮาส์ขนาดใหญ่ที่ปิดคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [5] Miguel Condori, Gonzalo Duran, Ricardo Echazu, Fabiana Altobell. (2017). Semi-industrial drying of vegetables using an array of large solar air collectors. **Energy for Sustainable Development**. 37,1-9.
- [6] Ehsan Baniyadi, Saeed Ranjbar, Omid Boostanipour. (2017). Experimental investigation of the performance of a mixed-mode solar dryer with thermal energy storage. **Renewable Energy**. 112,143-150.
- [7] พินิจนันท์ ปัญญา. (2556). **ลักษณะการกระจายอุณหภูมิและการไหลเวียนของอากาศภายในโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดหลังคาสามเหลี่ยมหน้าจั่ว**. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9.
- [8] จักรพรรณ์ ผิวสอาด. (2557). **สมรรถนะของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกสำหรับอบแห้งยางพาราแผ่น**. สืบค้นเมื่อ 8 พฤษภาคม 2562, จาก <http://www.thapra.lib.su.ac.th>
- [9] วสันต์ จินธาดา พรชัย เพชรสงคราม. (2560). **ลักษณะรูปทรงของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อการอบแห้งยางพาราแผ่น**. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. 27 (1), 89-99.

การพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสำหรับการใช้งานผลิตความร้อนและถ่านชีวภาพ

Development of Pyrolysis Reactors for Heat Production and Bio-char Applications

นิกราน หอมดวง^{1*} พันธวัฒน์ ไชยวรรณ² ภูนิชิต สายแก้ว¹ ประภัสสร รัตนไพบูลย์¹ กิตติกร สาสุจิตต์¹ เสริมสุข บัวเจริญ¹
นงเยาว์ หอมดวง³ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล¹ และชูรัตน์ ธารารักษ์¹

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 63 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

²ฝ่ายพัฒนาพื้นที่เพื่อเกษตรและชุมชน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

155 หมู่ 2 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ. เชียงใหม่ 50100

³คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 63 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

Abstract

Development of a biomass furnace for maximum efficiency energy conversion is important for motivation of the implementation of community. The result of high performance leads to lower costs and higher incomes. This research focuses on developing a pyrolysis reactor with the highest energy conversion efficiency and that was targeted apply the agricultural waste in Northern Thailand. The research was designed a pyrolysis reactor for the use of biomass as fuel, the gas pyrolysis is used as a co-combustion fuel. The water boiling test in a range of 3-5 kg/h for the performance test. Experiments were carried out the corncob and longan wood chips, were tested in 4 conditions and 120-150 minutes of duration time. The result was found that, the pyrolysis reactor or biomass stove was obtained low fuel consumption in the range of 1-1.8 kg/h and bio-char production period between of 120-180 minutes. The maximum energy conversion efficiency was achieved in a range of 67-97%, the lower heating value bio-char of corn cobs and wood chips was obtained 28.55 MJ/kg and 25.41 MJ/kg respectively. In overview, the use of corncob to produce bio-char was more efficient than wood chips. The results of the development and experiment of pyrolysis reactor are suitable for publicizing and promoting to farmers for use at the household. Finally, that can be reduce liquid petroleum gas (LPG), open burning and receiving bio-char for use in the household and agricultural sector.

Keywords: biomass, pyrolysis reactor, bio-char, biomass stove

บทคัดย่อ

การพัฒนาเตาชีวมวลให้มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานได้สูงสุดเป็นสิ่งสำคัญต่อการเกิดแรงจูงใจต่อการนำไปใช้งานของชุมชน ผลของสมรรถนะเครื่องที่สูงสามารถลดต้นทุนและทำให้เกิดรายได้เพิ่มสูงขึ้นได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสให้มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานให้สูงสุด โดยมีเป้าหมายในการนำไปใช้วัสดุ

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

เหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ภาคเหนือประเทศไทย งานวิจัยได้ออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสำหรับใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงและมีการนำเอาไพโรไลซิสแก๊สมาเป็นเชื้อเพลิงร่วมในการเผาไหม้ การทดสอบสมรรถนะระบบทดสอบด้วยการต้มน้ำในช่วง 3-5 kg/h เครื่องปฏิกรณ์มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือห้องเผาไหม้ ห้องผลิตถ่านชีวภาพและชุดหัวเตาพร้อมปล่องควัน การทดสอบใช้ชีวมวลซึ่งข้าวโพดและเศษไม้ลำไยและทดสอบ 4 เงื่อนไข ระยะเวลาทดสอบอยู่ในช่วง 120-150 min ผลการทดสอบพบว่าเครื่องไพโรไลซิสมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่ำอยู่ในช่วง 1-1.8 kg/h มีระยะเวลาการผลิตถ่านชีวภาพอยู่ในช่วง 120-180 min ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานทั้งระบบทำได้สูงสุด 67-97% การใช้ซึ่งข้าวโพดและเศษไม้ให้ค่าความร้อนเฉลี่ย 28.55 MJ/kg และ 25.41 MJ/kg ตามลำดับ และในภาพรวมการใช้ซึ่งข้าวโพดผลิตถ่านชีวภาพมีประสิทธิภาพสูงกว่าเศษไม้ ผลการพัฒนาและทดลองเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสนี้เหมาะแก่การนำไปเผยแพร่และส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปใช้งานในระดับครัวเรือนซึ่งจะช่วยในด้านการลดการใช้แก๊สหุงต้ม การเผาในที่โล่งและได้ถ่านสำหรับการใช้งานในครัวเรือนและภาคเกษตรกรรมได้

คำสำคัญ: ชีวมวล เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส ถ่านชีวภาพ เตาชีวมวล

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตร-อุตสาหกรรม แต่ละปีจะมีวัสดุเหลือทิ้งในปริมาณสูงโดยกระจายตามแหล่งพื้นที่การเพาะปลูกทั่วประเทศ จากการคาดการณ์ชีวมวลที่เหลือใช้ประโยชน์ในแต่ละปีเฉลี่ยประมาณ 46.85% หรือประมาณ 62.84 ล้านตัน คิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 13,348.12 ktoe หรือกำลังการผลิตไฟฟ้าถึง 3,943 MW [1] ภาครัฐมีแผนการพัฒนาพลังงานทางเลือกเป็นกลไกสำคัญในการนำเอาชีวมวลเหล่านี้นำมาใช้ประโยชน์ ขณะเดียวกันประเทศไทยก็มีการใช้พลังงานจากแก๊สหุงต้มในปริมาณที่สูง จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีการใช้แก๊สหุงต้มทั้งหมด 6,619 พันล้านตัน คิดเป็นการใช้ในครัวเรือน อุตสาหกรรม รถยนต์ ปีโตรเคมีและใช้เอง 33% 10% 18% 38% และ 1% ตามลำดับ [2] จากศักยภาพชีวมวลที่มีอยู่และกระจายอยู่ทั่วประเทศรวมถึงการใช้แก๊สหุงต้มในครัวเรือนปริมาณสูง ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเตาชีวมวลหรืออุปกรณ์ในการเปลี่ยนรูปชีวมวลในรูปเชื้อเพลิงให้กลายเป็นพลังงานความร้อนทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มซึ่งจะช่วยสนองนโยบายภาครัฐได้ สามารถลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน ลดการเผาทำลายในที่โล่งได้ ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นสาเหตุของโลกร้อนได้ อย่างไรก็ตามการพัฒนาเตาชีวมวลที่ผ่านมาจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเฉลี่ย 10-16% [3] ความร้อนส่วนใหญ่สูญเสียไปกับแก๊สร้อนจากการเผาไหม้ การสูญเสียความร้อนและประสิทธิภาพการเผาไหม้ เป็นต้น ผลการสูญเสียความร้อนที่สูงและประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ต่ำจึงเป็นที่มาของการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสที่สามารถเปลี่ยนรูปชีวมวลหรือใช้ประโยชน์จากชีวมวลให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยการเอาความร้อนที่สูญเสียผ่านผนังไปช่วยในการให้ความร้อนกับชีวมวลในสภาวะไร้อากาศ เมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสมากกว่า 150 °C จะมีแก๊สเชื้อเพลิงหรือไพโรไลซิสแก๊สออกมาและถ่านนำเอาแก๊สที่ได้มาเป็นเชื้อเพลิงให้กับส่วนเตาชีวมวลก็จะทำให้ลดการใช้ชีวมวลป้อนเข้าเตาและเป็นการเอาแก๊สเชื้อเพลิงจากกระบวนการมาใช้ประโยชน์สูงสุด ที่สำคัญการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงกว่าการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง ซึ่งในภาพรวมจะทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนหรือประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานสูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษา พัฒนาและทดสอบเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสที่สามารถผลิตความร้อนและถ่านชีวภาพพร้อมกันให้มีการเปลี่ยนรูปพลังงานได้อย่างคุ้มค่าสูงสุดโดยมีเป้าหมายเพื่อนำไปใช้กับชีวมวลหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่ภาคเหนือและภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย

วิธีการวิจัย

การพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไฟโรไลซิส

เครื่องปฏิกรณ์ไฟโรไลซิสเป็นเทคโนโลยีการผลิตความร้อนเพื่อการประกอบอาหารร่วมกับการผลิตถ่านชีวภาพ ผลจากพัฒนาเทคโนโลยีจะช่วยลดข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปทางพลังงาน แนวคิดการพัฒนาได้จากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ภาคเหนือและศูนย์การเรียนรู้การพัฒนาที่ดิน ตามแนวเศรษฐกิจพอเพียง อ.แม่แตง จ.เชียงใหม่ เครื่องปฏิกรณ์ไฟโรไลซิสมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ห้องเผาไหม้ ห้องผลิตถ่านถ่านชีวภาพ และส่วนหัวเตาชีวมวลและปล่องไฟตั้งภาพที่ 1 ห้องเผาไหม้ประกอบด้วย ช่องใส่เชื้อเพลิง ด้านใต้ตะแกรงเป็นช่องทิ้งขี้เถ้า เหนือช่องป้อนเชื้อเพลิงจะมีความร้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.4 cm ยาว 68 cm ตั้งอยู่ตรงกลางเตา ฉนวนเตาใช้เหล็กเหนียวความหนา 3 mm พับเป็นกล่องและเชื่อมติดกับส่วนของห้องผลิตถ่านถ่านชีวภาพ ด้านบนห้องเผาไหม้จะมีท่อขนาด 1 นิ้ว ยาว 45 cm ต่อเชื่อมกับห้องผลิตถ่าน ปริมาตรห้องผลิตถ่านชีวภาพมีขนาด 260 L ฉนวนมีสามชั้น หุ้มฉนวนด้วยไมโครไฟเบอร์รอบวงและใช้เหล็กเหนียวแผ่นขนาด 2 mm พับอีกชั้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรวม 65 cm ชุดหัวเตาเป็นเหล็กสแตนเลสตรงกลางแนวเดียวกับท่อความร้อนจะเป็นช่องรับหม้อหรือกระทะ อีกด้านมีปล่องไฟเพื่อชักนำควันที่เกิดจากการเผาไหม้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.4 cm ยาว 90 cm



ภาพที่ 1 ลักษณะเครื่องปฏิกรณ์ไฟโรไลซิสรวมเตาชีวมวลและชีวมวลที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ

วิธีการทดลอง

ชีวมวลที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงและผลิตถ่านชีวภาพประกอบด้วย ช้างข้าวโพด เศษไม้ลำไย ดังภาพที่ 1 โดยช้างข้าวโพดมีค่าความร้อนเฉลี่ย 14.6 MJ/kg ความหนาแน่นปรากฏเฉลี่ย 132.6 kg/m³ และความชื้นเฉลี่ย 9.42 % เศษไม้ได้มาจากกิ่ง ก้าน จากต้นลำไยมีค่าความร้อน เฉลี่ย 15.94 MJ/kg ความหนาแน่นเฉลี่ย 384.57 kg/m³ และความชื้นไม่เกิน 8.27 % การวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K วัดทั้งหมด 7 จุด โดยทำงานร่วมกับเครื่องบันทึกอุณหภูมิที่ต่อร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ การวัดความสิ้นเปลืองชีวมวลใช้วิธีการชั่งน้ำหนักชีวมวลก่อนทดสอบแล้วป้อนเข้าเตาเทียบกับเวลาในการใช้งาน เครื่องชั่งน้ำหนักชีวมวลใช้เครื่องชั่งแบบดิจิทัลชนิด 3 ตำแหน่ง วัดน้ำหนักได้สูงสุด 30 kg มีความละเอียดการวัด 0.5 g การประเมินการทำงานของเตาชีวมวลใช้วิธีการวัดด้วยการต้มน้ำ (Water Boiling Test: WBT) ตามมาตรฐานการทดสอบเตาชีวมวล [3] ค่าความร้อนของชีวมวลและถ่านชีวภาพวัดได้จากเครื่องบอมป์แคลอรีมิเตอร์ รุ่น ART.2060/2070 ความจุ 300 ml ทดลองตามมาตรฐาน ASTM D2105 การทดสอบแบ่งเป็น 4 เงื่อนไข เงื่อนไข 3 ช้ำ โดยในแต่ละเงื่อนไขดำเนินการทดสอบโดยการต้ม น้ำ วัดอุณหภูมิและอัตราการสิ้นเปลืองชีวมวลที่ป้อนโดยใช้การวัดมวลชีวมวลที่ป้อนเทียบกับเวลาในการผลิตถ่าน ชีวมวลในการผลิตถ่านและคุณภาพถ่านที่ได้ ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางเคมีและค่าความร้อน สมการคำนวณสมรรถนะของเครื่องปฏิกรณ์ไฟโรไลซิสอ้างอิงจาก [3] เงื่อนไขการทดลองทั้ง 4 กรณี มีความหมายดังต่อไปนี้

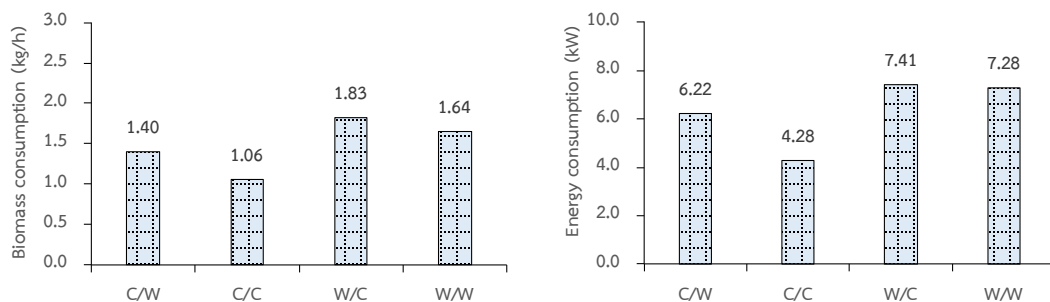
C/W หรือ CC+WF หมายถึง การใช้ช้างข้าวโพดผลิตถ่านถ่านชีวภาพและใช้เศษไม้ลำไยเป็นเชื้อเพลิงป้อนเข้าเตาชีวมวล

C/C หรือ CC+CF หมายถึง การใช้ซังข้าวโพดผลิตถ่านถ่านชีวภาพและใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงป้อนเข้าเตาชีวมวล
 W/W หรือ WC+WF หมายถึง การใช้เศษไม้ลำไยผลิตถ่านถ่านชีวภาพและใช้เศษไม้ลำไยเป็นเชื้อเพลิงป้อนเข้าเตาชีวมวล
 W/C หรือ WC+CF หมายถึง การใช้เศษไม้ลำไยผลิตถ่านถ่านชีวภาพและใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงป้อนเข้าเตาชีวมวล

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและพลังงาน

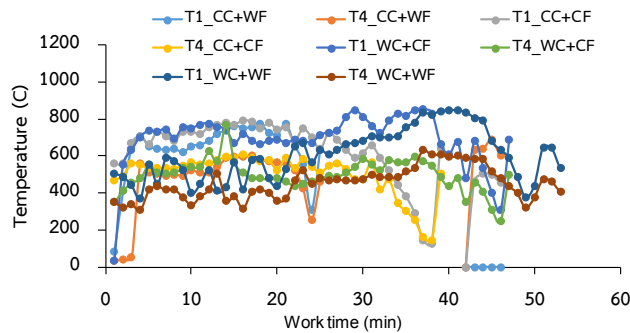
ภาพที่ 2 แสดงอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลและพลังงาน พบว่าในแต่ละเงื่อนไขการทดลองมีอัตราความสิ้นเปลืองชีวมวลค่อนข้างต่ำเฉลี่ย 1-1.8 kg/h มีสาเหตุเกิดการใช้แก๊สเชื้อเพลิงหรือไฟโกลไลซิสแก๊สเข้าเป็นเชื้อเพลิงร่วมทำให้การใช้เชื้อเพลิงชีวมวลป้อนเข้าต่ำ การผลิตถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดและใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงให้อัตราความสิ้นเปลืองต่ำสุด 1.05 kg/h เนื่องจากซังข้าวโพดมีความหนาแน่นต่ำกว่าเศษไม้ประมาณ 3 เท่า ชีวมวลที่มีความหนาแน่นสูงทำให้ความร้อนที่เข้าไปในปฏิกิริยาดูดซับความร้อน (Endothermic) ทำได้ยากและใช้ระยะเวลาที่นานในการไล่ความชื้นและขับสารระเหยจากชีวมวล [4] จึงเป็นสาเหตุให้เกิดความสิ้นเปลืองชีวมวลในการป้อนเข้าสู่เตาชีวมวลในช่วงแรก ถ้าเปรียบเทียบเฉพาะส่วนการผลิตถ่านจากเศษไม้จะพบว่า การนำเอาซังข้าวโพดมาเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนมีความสิ้นเปลืองซังข้าวโพดสูงกว่าการเศษไม้ ทั้งนี้อัตราการเผาไหม้ (burning rate) ของซังข้าวโพดที่มีค่าสูงกว่าเศษไม้ซึ่งรวมถึงลักษณะรูปร่างน่าจะเป็นสาเหตุหลักให้มีการใช้ชีวมวลสูง [5] การใช้พลังงานในการให้ความร้อนมีลักษณะมีพฤติกรรมสอดคล้องกับความสิ้นเปลืองชีวมวล โดยการใช้เครื่องปฏิกรณ์ไฟโกลไลซิสมีอัตราการป้อนชีวมวลอยู่ในช่วง 4.28-7.41 kW



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและพลังงาน

อุณหภูมิการทำงานเครื่องปฏิกรณ์ไฟโกลไลซิส

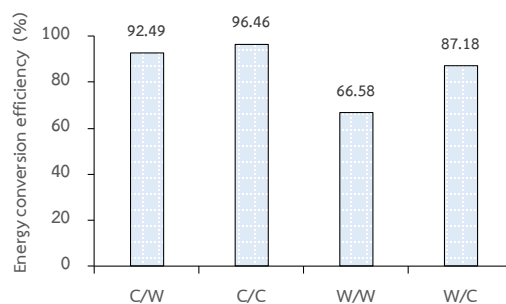
ภาพที่ 3 แสดงอุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์ไฟโกลไลซิสในส่วนของอุณหภูมิเปลวไฟเตาชีวมวล (ได้หม้อต้มน้ำ: T_1) และอุณหภูมิแก๊สร้อนหรือไอเสียของปล่องเปลวไฟก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ (T_2) พบว่าอุณหภูมิเปลวไฟของการทดลองทุกเงื่อนไขมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 605-687°C ในขณะที่ในส่วนของอุณหภูมิแก๊สร้อนของปล่องเปลวไฟจะมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 453-509°C การใช้เศษไม้ในการผลิตถ่านชีวภาพจะให้อุณหภูมิของเตาสูงสุดที่ 687°C โดยค่าความร้อนของไฟโกลไลซิสแก๊สที่ป้อนร่วมกับชีวมวลจะมีส่วนทำให้อุณหภูมิเปลวไฟเพิ่มขึ้นสูงสุด การใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงอุณหภูมิเฉลี่ยไม่เกิน 640°C และในส่วนของเส้นอุณหภูมิที่ลดลงในแต่ละช่วงเวลาเป็นผลมาจากการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตา ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนเพื่อไปขับไอน้ำและสารบางส่วนก่อนการลุกไหม้ [6] ช่วงนั้นอุณหภูมิเตาจะลดลงและกลับมามีอุณหภูมิสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อเชื้อเพลิงชีวมวลเริ่มติดไฟ



ภาพที่ 3 อุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสในการผลิตความร้อนและถ่านชีวภาพ

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานทางเทอร์โมไดนามิกส์

ภาพที่ 4 แสดงประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานทางเทอร์โมไดนามิกส์ของเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสเมื่อทดสอบด้วยการต้มน้ำและผลิตถ่านชีวภาพไปพร้อมกัน การใช้ซังข้าวโพดในการผลิตถ่านชีวภาพและการใช้ซังข้าวโพดและเศษไม้ในการป้อนเป็นเชื้อเพลิง ให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานได้สูงสุด 92.49-96.46% ในด้านการผลิตถ่านชีวภาพ ความหนาแน่นและรูปร่างของซังข้าวโพดส่งผลให้การถ่ายเทมวลมอลทำได้ดีกว่าเศษไม้ [7] ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในกระบวนการผลิตถ่านสั้น การผลิตถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดใช้เวลาเฉลี่ย 120 นาที ในขณะที่เศษไม้ใช้เวลา 180 นาที สารระเหยที่ออกมาปริมาณต่อหน่วยมวลสูง ทำให้ค่าความร้อนเชื้อเพลิงรวมถึงประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวลและการเปลี่ยนรูปพลังงานทางเทอร์โมไดนามิกส์สูงกว่า การผลิตถ่านชีวภาพจากไม้มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานได้อยู่ในช่วง 66.58% - 87.18% โดยการใช้ซังข้าวโพดให้สมรรถนะรวมสูงกว่าการใช้เศษไม้เป็นเชื้อเพลิง

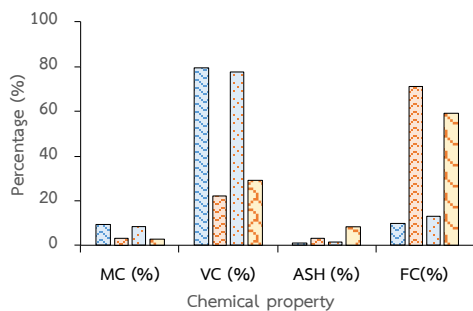


ภาพที่ 4 การประเมินประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปทางพลังงานชีวมวล

คุณสมบัติทางเคมีและความร้อนถ่านชีวภาพ

ภาพที่ 5 แสดงสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของถ่านชีวภาพที่ได้จากการวิเคราะห์โดยประมาณก่อนและหลังกระบวนการไพโรไลซิส พบว่าสัดส่วนของความชื้น (MC: moisture content) และสารระเหย (VC: Volatile matter) ก่อนเข้ากระบวนการมีปริมาณสูงในขณะที่สัดส่วนของคาร์บอนคงที่ (FC: fixed carbon) และมีปริมาณปริมาณต่ำ ความชื้นซังข้าวโพดและเศษไม้ก่อนกระบวนการมีค่าอยู่ในช่วง 8.27-9.42% ในขณะที่สารระเหยมีค่าอยู่ในช่วง 77.39-79.51% ตามลำดับ และเมื่อนำชีวมวลทั้งสองชนิดนี้เข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิสทำให้ความชื้นมีปริมาณลดลงเหลือ 3.05-3.41% ส่วนสารระเหยมีค่าอยู่ในช่วง 22.39-29.31% ในทางตรงกันข้ามสัดส่วนปริมาณคาร์บอนคงที่และเถ้า (ASH: ash) กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 4-6 เท่า และ 1.5-5 เท่า ตามลำดับ มวลของชีวมวลหลังผ่านกระบวนการลดลงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 65.31-71.70% ค่าความร้อนของซังข้าวโพดเพิ่มขึ้นถึง 95.56% คิดเป็นค่าความร้อนเฉลี่ย 28.55 MJ/kg ในส่วนเศษไม้มี

ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 59.44% และมีค่าความร้อนเฉลี่ย 25.41 MJ/kg โดยผลของการลดลงของความชื้นและปริมาณสัดส่วนคาร์บอนคงที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความร้อนถ่านชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น [8]



ภาพที่ 5 การประเมินคุณสมบัติทางเคมีถ่านชีวภาพและค่าความร้อน

การประเมินคุณสมบัติทางกายภาพชีวมวลและถ่านชีวภาพ

ตารางที่ 1 แสดงการประเมินความหนาแน่น ลักษณะสีและรูปร่างของถ่านชีวภาพก่อนและหลังกระบวนการชีวมวลซึ่งข้าวโพดก่อนเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิสจะมีความหนาแน่นที่ 132.6 kg/m³ โดยไม้ลำไยมีค่าเฉลี่ย 384.57 kg/m³ หลังจากผ่านกระบวนการผลิตถ่านชีวภาพไปแล้วถ่านชีวภาพจากซึ่งข้าวโพด ความหนาแน่นลดลง 86.50 kg/m³ ในขณะที่ถ่านชีวภาพจากเศษไม้จะเหลือ 249.59 kg/m³ การสูญเสียความชื้นและสารระเหยบางส่วนทำให้มวลและรูปร่างของชีวมวลเปลี่ยนรูปร่างไป โดยมีแนวโน้มที่หดตัวลดลง ในส่วนของสีชีวมวลก่อนป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิตจะมีสีเป็นสีน้ำตาลอ่อนถึงสีน้ำตาลเข้ม แต่หลังจากผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะได้ถ่านชีวภาพที่มีลักษณะเป็นสีดำสนิท และเมื่อหักดูจะมีลักษณะเป็นมันวาว บีบแตกหักได้ง่ายกว่าเดิม จากผลผลิตและคุณสมบัติที่ได้ของถ่านชีวภาพทั้ง 2 ชนิด สามารถไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตความร้อนในการทำอาหารในชุมชนหรือนำไปใช้ในรูปของสารบำรุงดินสำหรับแปลงเพาะปลูกทั่วไป [9] ซึ่งสุดท้ายน่าจะเป็นการจัดการชีวมวลในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบลักษณะรูปร่าง สีและความหนาแน่น ชีวมวลและถ่านชีวภาพ

คุณสมบัติ	ซึ่งข้าวโพด	ถ่านชีวภาพซึ่งข้าวโพด	เศษไม้	ถ่านชีวภาพเศษไม้
รูปร่างและสี				
ความหนาแน่น (kg/m ³)	132.6	86.50	384.57	249.95

สรุปผลการวิจัย

เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสที่ได้พัฒนาสามารถผลิตพลังงานความร้อนในการต้มน้ำและการผลิตถ่านชีวภาพได้เป็นอย่างดี โดยมีระยะเวลาในการผลิตถ่านต่อครั้งอยู่ในช่วง 120-180 นาที มีศักยภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานได้สูงสุดอยู่ในช่วง 67-97% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชีวมวลที่ใช้ผลิตถ่านชีวภาพและชีวมวลป้อนเชื้อเพลิง ในส่วนของคุณสมบัติและค่าความร้อนของถ่านชีวภาพมีค่าสอดคล้องกับถ่านชีวภาพที่ขายตามท้องตลาดโดยมีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 25-28 MJ/kg ในการผลิตความร้อนและการผลิตถ่านชีวภาพมีอัตราความสิ้นเปลืองเฉลี่ย 1-1.8 kg/h โดยการใช้ซึ่งข้าวโพดในการผลิตถ่านและเป็นเชื้อเพลิงนั้นให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้เศษไม้ อุณหภูมิของเปลวไฟติดกับหม้อต้มน้ำที่อุณหภูมิเฉลี่ย 605-687°C ในขณะที่

ที่แก๊สร้อนออกจากปล่องมีอุณหภูมิเฉลี่ย 450-500°C เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบผลิตพลังงานความร้อนและถ่านชีวภาพ มีศักยภาพในการส่งเสริมให้กับกลุ่มเกษตรกรหรือชุมชนที่มีศักยภาพทางด้านชีวมวลเพื่อการลดรายจ่ายของการใช้แก๊สสูง ต้ม ลดการเผาชีวมวลในที่โล่งและรักษาสิ่งแวดล้อมในชุมชนได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อมและปัญหาภัยพิบัติ หมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการศึกษา และขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติที่สนับสนุนงบประมาณงานวิจัยและขอแนะนำการทำงานวิจัย สุดท้ายขอขอบคุณ ศูนย์การเรียนรู้การ พัฒนาที่ดิน ตามแนวเศรษฐกิจพอเพียง ต.สันป่ายาง อ.แม่แตง จ.เชียงใหม่ ที่สนับสนุนแนวคิดในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สืบค้นเมื่อ 6 กันยายน 2563, จาก <http://www.biomass.dede.go.th>
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2562). รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2562. สืบค้นเมื่อ 6 กันยายน 2563, จาก <http://www.eppo.go.th>
- [3] นิกราน หอมดวง พันธวัฒน์ ไชยวรรณ กิตติกร สาสุจิตต์ และณัฐวุฒิ ดุษฎี การประเมินสมรรถนะเตาชีวมวลไฮบริด สำหรับการผลิตพลังงานความร้อนและถ่านชีวภาพ การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15 วันที่ 21-24 พฤษภาคม 2562 จังหวัดนครราชสีมา
- [4] Liu, X., Yang, D., Lu, J., Guan, J., Qi, G. (2017). Combustion characteristics and design of hot water boiler, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 59.
- [5] ชัชฎษา แซ่ม้า และขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ. การศึกษาประสิทธิภาพถ่านอัดแท่งจากซังข้าวโพดและเห้งามันสำปะหลัง. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 3 (ฉบับที่ 1) หน้า 608-613
- [6] Boriouchkine, A., and Jounela, S.L.J. (2016). Simplification of a mechanistic model of biomass combustion for on-line computations, *energies*. 9 (375), 1-25.
- [7] eptien, S., Valin, S., Dupont, C., Peyrot, M., Salvador, S. (2012). Effect of particle size and temperature on woody biomass fast pyrolysis at high temperature (1000-1400 degrees C). *Fuel*.97(1), 202-210.
- [8] Dong, J., Chi, Y., Tang, Y., Ni, M., Nzihou, A., Hortala, E.W. and Huang, Q. (2016). Effect of operating parameters and moisture content on municipal solid waste pyrolysis and gasification, *Energy and Fuels, American Chemical Society*. 30 (5), 3994-4001.
- [9] ภาราภรณ์ เหล็กสูงเนิน วรชาติ วิศวกพัฒนา และดาวจรัส เกตุโรจน์ (2560) ผลของการใช้ถ่านชีวภาพจากกลบต่อสภาพ การละลายของจุลธาตุอาหารพืชและการเจริญเติบโตของข้าวที่ปลูกในดินเหนียว. *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์* 3(3), 65-74

การผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชนจากน้ำมันทอดไก่

“The community scale system for producing biodiesel from deep fried chicken oil”

พรนภา เพ็ชรอำไพ¹ บัณฑิต เวียงมูล¹ ชนากานต์ เพิ่มฉลาด² และ ศิรินุช จินดารักษ์^{1*}

¹ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อำเภอ เมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

² สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) อำเภอ คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Abstract

Biodiesel is alternative energy that has properties similar as diesel and used to replace diesel oil. They production was derived from animal fat or vegetable oil by chemical process for change to Biodiesel and glycerol. This research studies the feasibility of biodiesel production from deep fried chicken oil, which has free fatty acid (FFA) is 0.66 %wt. and use methanol with potassium hydroxide as homogenous catalyst. The optimum condition for transesterification is molar ratio of methanol and oil at 6: 1, and potassium hydroxide is 1.25 %wt. and reaction time use 120 minutes. This result show that the maximum yield is 85.96%wt for capacity 100 l/day. The properties of biodiesel are meet with community biodiesel standard. The specific energy consumption in preheating step, Transesterification step and purification step were about 0.02, 0.05 and 0.17 MJ/l respectively. The electricity cost in each step were 11.09, 2.71 and 9.71 baht/100l respectively.

Keywords: deep fried chicken oil, Transesterification, Potassium hydroxide, specific energy consumption

บทคัดย่อ

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล มีสมบัติเหมือนน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลเกิดจากการนำน้ำมันมาผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อเป็นไบโอดีเซลและมีผลพลอยได้เป็นกลีเซอรอล ในงานวิจัยนี้มีการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดไก่ที่มีค่ากรดไขมันอิสระเป็น 0.66 %wt โดยมีการใช้แอลกอฮอล์เป็นเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สภาวะที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลคือ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1, ปริมาณ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 1.25 %wt และระยะเวลา 120 นาที ที่มีกำลังการผลิตเป็น 100 ลิตร/วัน ซึ่งจากสภาวะดังกล่าวให้ผลผลิตไบโอดีเซลเป็น 85.96% เมื่อทดสอบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพด้วยเครื่องมือที่ได้มาตรฐานพบว่า มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน เมื่อพิจารณาดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในกระบวนการผลิตพบว่าในขั้นตอนการอุ่นน้ำมัน การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันและการทำให้บริสุทธิ์ มีค่าเป็น 0.20 0.05 และ 0.17 MJ/l ตามลำดับ และพิจารณาค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้าในแต่ละขั้นตอนมีค่าเป็น 11.09 2.71 และ 9.71 บาท ตามลำดับ

คำสำคัญ: น้ำมันทอดไก่ ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความสิ้นเปลืองพลังงาน

¹Corresponding author: Tel.: 081-6806328. E-mail address: sirinuch_goi@yahoo.com

บทนำ

น้ำมันเชื้อเพลิงมีความสำคัญในการดำรงชีวิตประจำวันอย่างมากโดยการเดินทางและการขนส่งในประเทศไทย ส่วนใหญ่ยังคงพึ่งพายานพาหนะที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง โดยในช่วงต้นปี 2563 ประเทศไทยมีการใช้น้ำมันดีเซลอยู่ที่ 66.19 ล้านลิตรต่อวัน ในขณะที่ปริมาณการใช้น้ำมันเบนซิน 29.70 ล้านลิตรต่อวัน [1] รัฐบาลจึงได้เล็งเห็นความสำคัญในการพัฒนาพลังงานทดแทนภายในประเทศเพิ่มมากขึ้นเพื่อลดการนำเข้า โดยแหล่งพลังงานทดแทนที่ได้รับความสนใจคือไบโอดีเซล ไบโอดีเซล คือ การนำน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืชใช้แล้ว มาผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารเอสเทอร์ ซึ่งจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ ปฏิกริยาที่ได้รับความนิยมในการผลิตไบโอดีเซลนี้ คือกระบวนการปฏิกริยา ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification process) เป็นกระบวนการเติมแอลกอฮอล์ และตัวเร่งปฏิกริยาลงในน้ำมัน กระบวนการนี้เป็นการทำปฏิกริยาที่ทำค่อนข้างง่ายและไม่ซับซ้อน และมีผลพลอยได้ในการทำปฏิกริยาคือกลีเซอรอล สำหรับตัวเร่งปฏิกริยาที่นิยมใช้คือตัวเร่งปฏิกริยาชนิดเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่ข้อจำกัดของการใช้ตัวเร่งปฏิกริยาแบบเบสคือค่ากรดไขมันอิสระจะต้องมีค่าน้อยกว่า 2 %wt [2]

วัตถุดิบที่นิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซล คือ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยประเทศไทยมีปริมาณน้ำมันที่เหลือจากกระบวนการปรุงอาหารแล้วมากถึง 74 ล้านลิตรต่อปี [3] การนำน้ำมันพืชกลับมาใช้ซ้ำในการบริโภคจะส่งผลกระทบต่อและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภค หากนำไปกำจัดโดยไม่ถูกสุขลักษณะก็จะก่อปัญหาในการกำจัด

จากงานวิจัยที่ผ่านมา Jose´ M. Encinar [4] ได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจากการศึกษาพบว่า Molar ratio ที่ 6:1 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกริยาที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ปริมาณความเข้มข้น 1 %wt อุณหภูมิในการทำปฏิกริยาที่ 65 °C ควบคุมระยะเวลาในการทำปฏิกริยาที่ 120 นาที ให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่สูงที่สุด จากการศึกษาพบว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกริยาที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด จึงได้มีการศึกษางานวิจัยของ ศศิกานต์ ปานปรานีเจริญ [5] ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่มีค่ากรดไขมันอิสระ 0.83 %wt จากการศึกษาพบว่าที่ปริมาณเมทานอล 6 มิลลิลิตรต่อปริมาณน้ำมัน 10 กรัม ตัวเร่งปฏิกริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.75 %wt ระยะเวลาในการทำปฏิกริยาที่ 60 นาทีที่อัตราการกวน 600 รอบต่อนาที ให้ผลผลิตไบโอดีเซลมากที่สุด 91.03% และเมื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน ผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ A. A. Refaat และคณะ [6] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและวิเคราะห์คุณภาพของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่อยู่ในประเทศอียิปต์ ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1 โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกริยาที่ปริมาณความเข้มข้นที่ 1 %wt ที่อุณหภูมิ 65 °C และระยะเวลาในการทำปฏิกริยาที่ 60 นาที ซึ่งจะให้ผลผลิตไบโอดีเซลเป็น 96.15% และเมื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้มีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดไก่ที่กำลังการผลิตเป็น 100 ลิตร/วัน เพื่อให้ได้ผลผลิตไบโอดีเซลที่มีปริมาณที่สูงและมีค่าสมบัติทางเคมีและทางกายภาพเป็นไปตามข้อกำหนดคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) และมีการศึกษาดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

วิธีการวิจัย

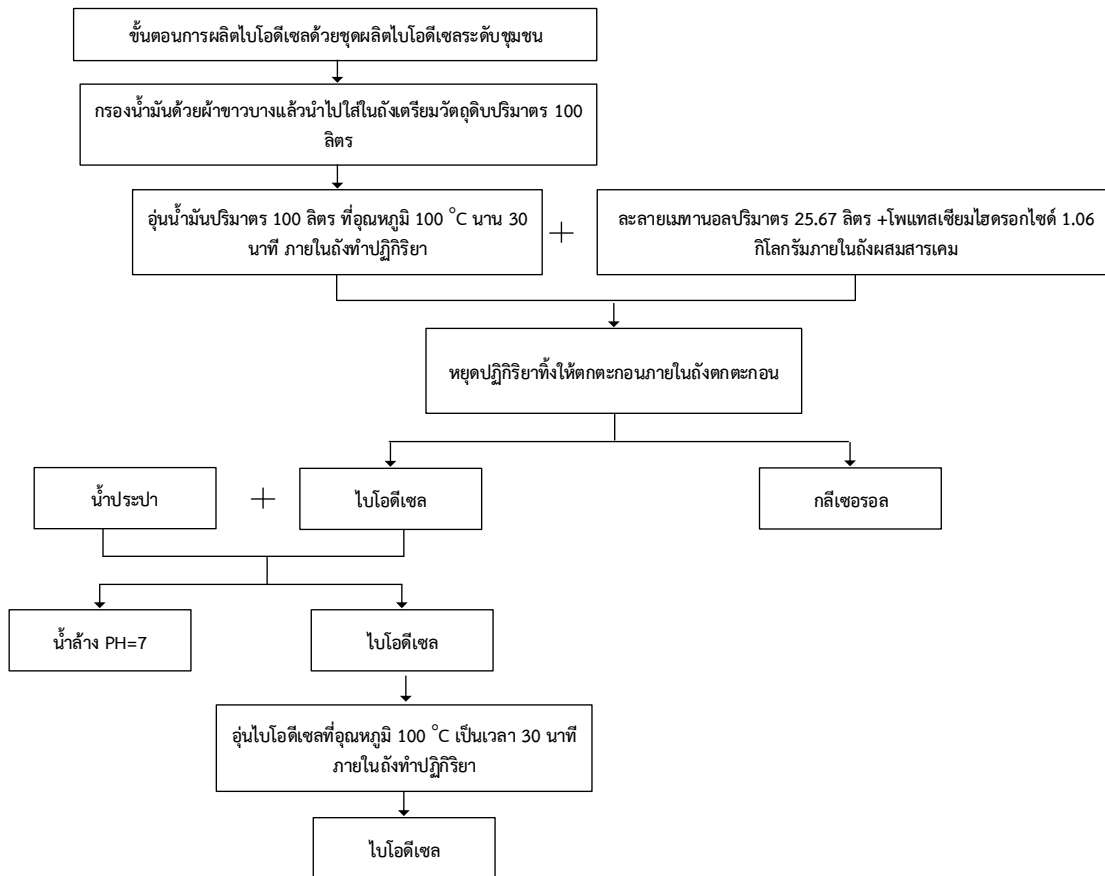
ในการผลิตไบโอดีเซลที่มีกำลังการผลิต 100 ลิตร/วัน จะเป็นการผลิตไบโอดีเซลด้วยชุดผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชน ซึ่งประกอบด้วย 5 ถัง คือ ถังเตรียมวัตถุดิบที่มีปริมาตร 100 ลิตร เพื่อใช้ในการเตรียมวัตถุดิบ ถังผสมสารเคมีที่มีปริมาตร 25 ลิตร เพื่อใช้ในการละลายเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยา ถังปฏิกิริยาที่มีปริมาตร 206 ลิตร ซึ่งภายในถังจะมีใบกวนและขดลวดความร้อนที่มีกำลังไฟฟ้าเป็น 4,500 วัตต์ เพื่อใช้ในการอุ่นน้ำมัน ทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันและทำให้บริสุทธิ์ ถังตกตะกอนที่มีปริมาตร 250 ลิตร เพื่อใช้ในการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลและกลีเซอรอลและถังล้างที่มีปริมาตร 100 ลิตร เพื่อใช้ในการล้างไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้จะมีปั๊มจำนวน 4 ตัว เพื่อใช้ในการถ่ายเทในแต่ละถัง และจะมีผู้ควบคุมจำนวน 1 หลัง เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของปั๊มและขดลวดความร้อนของชุดผลิตไบโอดีเซล การจัดวางและติดตั้งในแต่ละถัง แสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ชุดผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชน

ในการผลิตไบโอดีเซลที่มีวัตถุดิบคือน้ำมันทอดไก่ที่มีคาร์บอนไฮดรอกไซด์มีค่าเป็น 0.66 wt% ค่าความเป็นกรดมีค่าเป็น 1.32 mgKOH/g ปริมาณน้ำมีค่าเป็น 0.07% ค่าความหนาแน่นที่ 15 °C มีค่าเป็น 0.91 g/cm³ และน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมันมีค่าเป็น 803.64 g/mole สภาวะที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลในระดับชุมชนนี้จะได้จากการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการและทำการเพิ่มกำลังการผลิต วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลคือน้ำมันทอดไก่ โดยที่แอลกอฮอล์คือเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาคือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการคืออัตราส่วนโดยมวลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 3:1, 6:1, 9:1, 12:1 และ 15:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 0.75, 1.00, 1.25, 1.50 และ 1.75 โดยน้ำหนัก และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที มีการควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 65 °C และความเร็วใบกวน 600 รอบต่อนาที ตลอดการ

ทำปฏิกิริยา ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลในระดับห้องปฏิบัติการคือ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zahoor และคณะ [7] ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ภูมรินทร์ สุกาวาสน์และคณะ [8] และระยะเวลาที่ 120 นาที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุดาพร สุขจินดา [9] จากสภาวะดังกล่าวจะให้ผลผลิตไบโอดีเซลที่สูงที่สุด เมื่อทราบสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดไก่ในระดับห้องปฏิบัติการแล้ว จึงทำการขยายกำลังการผลิตเป็น 100 ลิตร/วัน ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชนนี้แสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลในระดับชุมชน

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชน การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลและการวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยผลการทดลองในแต่ละส่วนสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. การผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชน

ในการศึกษานี้เป็นการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชนโดยสภาวะที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลในระดับชุมชนนี้จะได้จาก การศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการและทำการเพิ่มกำลังการผลิต โดยสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล คือ อัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันที่ 6:1 ซึ่งเป็นสภาวะที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ K.kara และคณะ [11] ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาที่ 120 นาที มีการควบคุมอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

ที่ 65 °C ตามงานวิจัยของ A.A. Refaat และคณะ [6] และ Berchamans และคณะ [12] และความเร็วใบกวน 600 รอบต่อนาที ตลอดการทำปฏิกิริยา ซึ่งจากการผลิตไบโอดีเซลที่สภาวะดังกล่าว จะให้ผลผลิตไบโอดีเซลเป็น 85.96 ลิตร หรือคิดเป็น 85.96 % ซึ่งจะมีผลผลิตที่น้อยกว่างานวิจัยอื่นๆ เนื่องจากการสูญเสียในระหว่างการถ่ายเทเพื่อ ย้ายถังในกระบวนการผลิต

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซล

หลังจากทำการผลิตไบโอดีเซลด้วยสภาวะดังกล่าวแล้ว จึงนำไบโอดีเซลที่ได้มาทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และทางกายภาพ ได้แก่ ค่าเมทิลเอสเทอร์ ความหนาแน่น 15 °C จุดวาบไฟ ค่าความหนืด 40 °C ปริมาณน้ำ ค่าความเป็นกรด โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรอลอิสระและกลีเซอรินทั้งหมด โดยทำการวิเคราะห์ จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยา เขตหาดใหญ่ เทียบกับข้อกำหนดคุณภาพของ ไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับมาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน

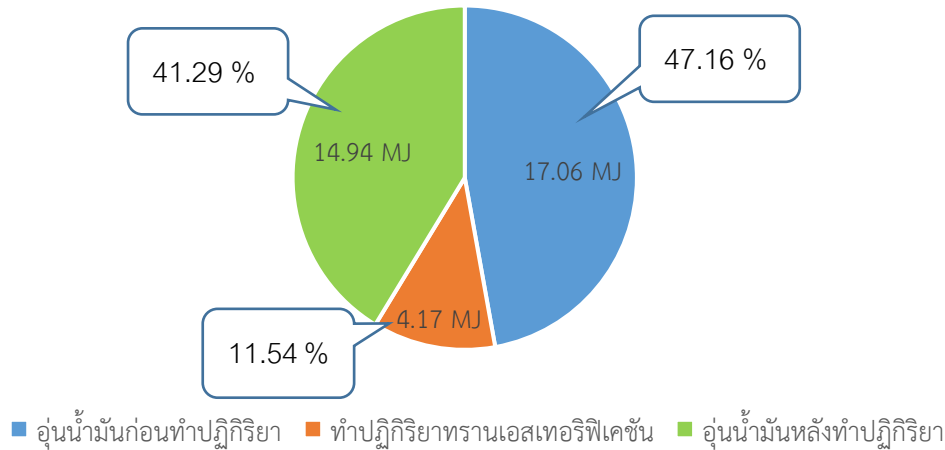
ลำดับที่	ข้อกำหนด	หน่วย	มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน * [13]	ผลการศึกษา	มาตรฐานการวิเคราะห์
1	เมทิลเอสเทอร์	%wt	ไม่ต่ำกว่า 96.5	97.15	EN 14103
2	ความหนาแน่น 15 °C	kg/cm ³	ไม่ต่ำกว่า 860 ไม่เกิน 900	875.80	ASTM D 1298
3	จุดวาบไฟ	°C	ไม่ต่ำกว่า 120	สูงกว่า 120	ASTM D 93C
4	ความหนืด 40 °C	cSt	ไม่ต่ำกว่า 1.9 ไม่สูงกว่า 8.0	5.55	ASTM D 445
5	ปริมาณน้ำ	%wt	ไม่สูงกว่า 0.2	0.03	ISO 12973
6	ค่าความเป็นกรด	mgKOH/g	ไม่สูงกว่า 0.8	0.14	EN14104
7	โมโนกลีเซอไรด์	%wt	ไม่สูงกว่า 0.7	0.31	EN 14105
8	ไดกลีเซอไรด์	%wt	ไม่สูงกว่า 0.2	0.10	EN 14105
9	ไตรกลีเซอไรด์	%wt	ไม่สูงกว่า 0.2	0.10	EN 14105
10	กลีเซอรอลอิสระ	%wt	ไม่สูงกว่า 0.02	น้อยกว่า 0.001	EN 14105
11	กลีเซอรินทั้งหมด	%wt	ไม่สูงกว่า 1.5	น้อยกว่า 0.08	EN 14105

* ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ปี 2549

เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของไบโอดีเซลด้วยเครื่องมือที่ได้มาตรฐาน พบว่ามีค่าเป็นไปตามข้อกำหนดคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) โดยเฉพาะค่าเมทิลเอสเทอร์ของไบโอดีเซลมีค่าเป็น 97.35 %wt ซึ่งมีค่าที่สูงกว่ามาตรฐานไบโอดีเซล และเมื่อพิจารณาค่าความหนืดพบว่าที่สภาวะดังกล่าว พบว่าสามารถลดค่าความหนืดของไบโอดีเซลเหลือเป็น 5.55 cSt แม้จะมีการวิเคราะห์หลังจากการผลิตไบโอดีเซลประมาณ 60 วัน ดังนั้นสามารถนำไบโอดีเซลที่ได้จากการผลิตนี้ไปใช้งานเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตรได้

3. การวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจะมีขั้นตอนที่มีการใช้พลังงาน 3 ขั้นตอนคือขั้นตอนการอุ่นน้ำมัน ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันและขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ การใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแสดงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ในการวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะเป็นการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในขั้นตอนต่างๆ ต่อผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$SEC = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในระยะเวลาหนึ่ง}}{\text{ปริมาณผลผลิตที่ได้ในระยะเวลาเดียวกัน}} \quad (1)$$

จากการคำนวณดัชนีการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนตามสมการที่ (1) พบว่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในขั้นตอนการอุ่นน้ำมัน ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาและขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์มีค่าเป็น 0.20 0.05 และ 0.17 MJ/ลิตร ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอน แสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการอุ่นน้ำมัน จะมีการใช้ไฟฟ้าวันละ 4.74 kWh อัตราค่าไฟฟ้า 2.34 บาท/kWh [10] รวมเป็นเงิน 11.09 บาท
2. ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน จะมีการใช้ไฟฟ้าวันละ 1.16 kWh อัตราค่าไฟฟ้า 2.34 บาท/kWh [10] รวมเป็นเงิน 2.71 บาท
3. ขั้นตอนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์ จะมีการใช้ไฟฟ้าวันละ 4.15 kWh อัตราค่าไฟฟ้า 2.34 บาท/kWh [10] รวมเป็นเงิน 9.71 บาท

รวมค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เป็น 23.51 บาทต่อผลผลิต 85.96 ลิตร หรือคิดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเป็น 0.27 บาท/ลิตร

สรุปผลการทดลอง

ในการผลิตไบโอดีเซลในระดับชุมชนที่มีกำลังการผลิตเป็น 100 ลิตร/วัน โดยใช้น้ำมันทอดไก่เป็นวัตถุดิบหลัก เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของน้ำมันพบว่ามีการตกไขมันอิสระ (FFA) 0.66 %wt น้ำหนักมวลโมเลกุลเป็น 803.64 g/mol จึงเลือกใช้ตัวเร่งเป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และแอลกอฮอล์เป็นเมทานอล สภาวะที่ใช้ในการผลิต

ไบโอดีเซลคืออัตราส่วนโดยโมลเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 120 นาที อุณหภูมิ 65 °C และความเร็วกวน 600 รอบต่อนาที จะผลผลิตไบโอดีเซล ที่สภาวะดังกล่าวเป็น 85.96 ลิตรหรือคิดเป็น 85.96% เมื่อนำน้ำมันไบโอดีเซลไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพตามคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องจักรกลการเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) ในปี พ.ศ. 2549 พบว่ามี ค่าเป็นไปตามมาตรฐานไบโอดีเซลทุกค่า การวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในขั้นตอนการอุ่นน้ำมัน ขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันและขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์พบว่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในแต่ละขั้นตอนมีค่าเป็น 0.20 0.05 และ 0.17 MJ/ลิตร ตามลำดับ สำหรับการผลิตไบโอดีเซลที่มีผลผลิตเป็น 85.96 ลิตร จะคิดค่าใช้จ่ายทางด้าน พลังงานเป็นลิตรละ 0.27 บาท

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยและ สถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2563). **สถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้า** [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-oil-electric, เข้าดูเมื่อวันที่ 5 มีนาคม 2563
- [2] พจนา บางแสง. (2557). **การศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันจะเข้โดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO จากเปลือกไข่จระเข้**.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมีคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [3] เบลูจวรรณ มุ่งแฝงกลาง. (2559). **การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันปลากะพงขาวโดยใช้ ก้างปลากะพงขาวและแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์**.ปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [4] J.M. Encinar, J.F. González, A. Rodríguez-Reinares. (2015). **Ethanolysis of used frying oil; Biodiesel preparation and characterization**. Fuel Processing Technology 88 (2015).p. 513–522.
- [5] ศศิกันต์ ปานปรานีเจริญ, เสาวภา ชูมณี, วิไลพร ปองเพียร, รุจิรา คุ่มทรัพย์ และนันทรักษ์ รอดเกตุ.(2552). **การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์**. Journal of Science & Technology Phetchabun Rajabhat University (JSTPCR), January-June, Volume-3, pp-1-12
- [6] A. A. Refaat; N. K. Attia; H. A. Sibak; S. T. El Sheltawy, G. I. ElDiwani.(2008) .**Production optimization and quality assessment of biodiesel from waste vegetable oil**. Environ. Sci. Tech., 5 (1), p.75-82, Winter 2008 ISSN: 1735-1472
- [7] Zahoor Ullah, Mohamad Azmi Bustam, Zakaria Man.(2015). **Biodiesel production from waste cooking oil by acidic ionic liquid as a catalyst**. Renewable Energy 77 (2015) 521-526

- [8] ภูมิรินทร์ สุภาวาสน์ มงคล ดำรงค์ศรี และ สัญญา สิริวิทยาปกรณ์ (2011). การศึกษาเพื่อนำไขมันปลาจากระบบบำบัดน้ำเสียไปผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 20 (ฉบับที่ 1) มกราคม – มิถุนายน. หน้า 95-105
- [9] สุดาพร สุขจินดา. (2555). การพัฒนาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ใช้แล้วด้วยปฏิกิริยาที่สภาวะเหนือจุดวิกฤติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สิ่งแวดล้อม). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [10] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2562). อัตราค่าไฟฟ้า. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.pea.co.th/Portals/0/demand_response/Rate2015Update.pdf?ver=2018-10-02-111212-590 เข้าดูเมื่อวันที่ 5 มีนาคม 2563
- [11] K. kara, F. Ouanji, El M. Lotfi, Mohi. (2018). **Biodiesel production from waste fish oil with high free fatty acid content from Moroccan fish-processing industries.** Egyptian Journal of Petroleum 27 (2016) pp. 249-955.
- [12] Berch mans H.J., Hirota S. (2007). **Biodiesel production from crude Jatropha curcas seed oil with a high content of free fatty acids.** Biosour Technol, 99: 1716-21.
- [13] ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน. (2549). **กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน).** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http://www.dede.go.th/ewt_d\)_link.pho?nid=371](http://www.dede.go.th/ewt_d)_link.pho?nid=371) เข้าดูเมื่อ 11 ตุลาคม 2563

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนและการกระจายความร้อนโดยใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางสำหรับเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงแก๊ส LPG

The Study of Thermal Efficiency and Heat Distribution Using Volcanic Rocks as Intermediary for Liquefied Petroleum Gas Grill.

วลัยลักษณ์ มีทรัพย์¹ และ วีระ พันอินทร์^{1*}

¹ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพวงศ์ จังหวัดลำปาง 50200

Abstract

The objective of this research study was to determine the most efficient and environmentally friendly volcanic rock for grilling with LPG. Three types of volcanic rock – basalt and pumice – were tested for their physical properties. The conductivity and dispersion of heat were measured from the time used to boil water and to grill a pork chop until it is well done. The correlation between temperature and the time used was analyzed. Air pollution during the experiment was measured by the concentrations of carbon monoxide, PM_{2.5} and PM₁₀ at the area. Return of Investment and Payback Period were calculated. The standard deviations of the time used for grilling by basalt rock and pumice rock were 47.32 and 48.02 respectively. The result confirms basalt rock is the most suitable medium for grilling, in terms of heat dispersion and conductivity, because its grilling time was lowest and least fluctuated. Moreover, the temperature inside the pork chop grilled by basalt rock was 48.1 °C and the heat efficiency was increased to 26.78 %, as opposed to 20.57 % of non-volcanic rocks. It was found the concentrations of carbon monoxide, PM_{2.5} and PM₁₀ of grilling basalt rock were 20 ppm, 0.22 mg/m³, and 0.58 mg/m³ respectively which were much lower than those of non-volcanic rocks and charcoal stoves.

Key words: The gas grill Volcanic rocks Heat distribution Thermal efficiency Air pollution

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนและผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงแก๊ส LPG โดยใช้หินบะซอลต์ และหินพัมมิช เป็นตัวกลางในการรักษาอุณหภูมิและกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่าง เพื่อพัฒนาเตาปิ้งย่างให้มีประสิทธิภาพในด้านการกระจายความร้อน โดยดำเนินการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของหินภูเขาไฟ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ การกระจายความร้อน ประสิทธิภาพทางความร้อน ความสุขของอาหาร และมลพิษทางอากาศ ผลการวิจัยพบว่า เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์ และหินพัมมิช เป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งแสดงความแปรปรวนของข้อมูลในแต่ละตำแหน่งบนเตาปิ้งย่างเท่ากับ 47.32 และ 48.02 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า หินบะซอลต์ เป็นหินภูเขาไฟที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้เป็นตัวกลางในการรักษาอุณหภูมิและกระจายความร้อนแก่เตาปิ้งย่าง เนื่องจากมีความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำสุดและทำให้อาหารที่นำไปปิ้งย่างมีความสุขที่รวดเร็วและสุกอย่างทั่วถึง โดยอุณหภูมิภายในเนื้อหมูที่ทำกร่างเท่ากับ 48.1°C อีกทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้แก่เตาปิ้งย่าง โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 26.78 % สูงขึ้นเมื่อเทียบกับเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อนซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 20.57 % และมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้น พบว่า เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์เป็นตัวกลาง ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่น PM_{2.5} และฝุ่น PM₁₀ มีค่าเท่ากับ 20 ppm 0.22 mg/m³ และ 0.58 mg/m³ มีค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศต่ำกว่าเตาปิ้งย่างก่อนการใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางและเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงถ่าน

คำสำคัญ: เตาปิ้งย่าง หินภูเขาไฟ การกระจายความร้อน ประสิทธิภาพเชิงความร้อน มลพิษทางอากาศ

* Corresponding author : Tel: 054-241052. E-mail address: weerapunin@lpru.ac.th,

บทนำ

อาหารปิ้งย่างเป็นอาหารที่นิยมรับประทานกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ทั้งนี้ผู้บริโภคสำคัญที่ต้องใช้ในการประกอบอาหารประเภทนี้ คือ เตาปิ้งย่าง ซึ่งในปัจจุบันแม้ค่าตามท้องตลาดตลอดจนผู้ประกอบการ ได้ใช้เตาปิ้งย่างกันหลากหลายประเภท ได้แก่ เตาเส้นสำหรับปิ้งย่างเนื้อเปลือง่าน เตาปิ้งย่างเนื้อเปลือง่านแก๊สหุงต้ม และเตาปิ้งย่างไฟฟ้า

การปิ้งย่างก่อให้เกิดควันและมลพิษทางอากาศและก่อให้เกิดการสะสมในร่างกายของสารอันตราย เช่น สาร PAHs ส่วนใหญ่พบการปนเปื้อนในอาหารปิ้งย่างที่มีส่วนของไขมันติดอยู่ส่วนของอาหารที่ไหม้เกรียมและควันที่เกิดจากไขมันสัตว์ที่โดนความร้อนสูง ซึ่งเนื้อสัตว์ทุกชนิดเมื่อผ่านการย่างโดยเตาปิ้งย่างเนื้อเปลือง่านมีระดับของสาร PAHs ค่อนข้างสูงโดยเฉลี่ย $10.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [1] ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคและบริโภค โดยผู้ที่ประกอบอาหารเป็นประจำทั้งการทอด การผัด และการปิ้งย่าง มีโอกาสได้รับควันจากการประกอบอาหารและเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบต่อสุขภาพทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง ได้แก่ อาการน้ำมูกไหล หายใจลำบาก และอาการไอเรื้อรัง อีกทั้งพบว่าอาการระบบทางเดินหายใจที่พบบ่อยที่สุดคือ มีอาการหวัด ไอ และมีเสมหะ [2] และเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งโดยเฉพาะมะเร็งตับ ซึ่งจากสถิติมะเร็งทั่วโลกในปี พ.ศ. 2561 มะเร็งตับพบมากเป็นอันดับ 6 โดยมีผู้ป่วยรายใหม่จำนวน 841,080 ราย [3] ซึ่งในประเทศไทย โรคมะเร็งตับเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับ 1 ของคนไทย จากสถิติจำนวนผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่ปี 2560 พบว่า มีผู้ป่วยรายใหม่ที่ป่วยเป็นมะเร็งตับสูงถึง 463 คน ซึ่งอยู่ในอันดับ 2 ของผู้ป่วยมะเร็ง โดยพบผู้ป่วยมะเร็งตับรายใหม่ในเพศชายสูงถึง 342 คน และในเพศหญิง 121 คน [4]

เนื่องด้วยประเทศไทยในอดีตมีภูเขาไฟอยู่ทั่วทุกภูมิภาค จึงทำให้เกิดหินภูเขาไฟจำนวนมากเกิดขึ้น จากการสำรวจของนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณีของประเทศไทย พบหินภูเขาไฟอยู่ในบริเวณต่าง ๆ ทั่วทุกภูมิภาค [5] ซึ่งหินภูเขาไฟเหล่านี้มีแร่ธาตุที่แตกต่างกัน ตั้งแต่แร่ธาตุที่มีสีอ่อน จนถึงแร่ธาตุที่มีสีเข้ม

คณะวิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาปิ้งย่างเนื้อเปลือง่านแก๊ส LPG เพื่อพัฒนาเตาปิ้งย่างให้มีประสิทธิภาพในด้านการกระจายความร้อนสูงขึ้น โดยดำเนินการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของหินภูเขาไฟ 2 ชนิด ได้แก่ หินบะซอลต์ และหินพัมมิช จากนั้นวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ การกระจายความร้อน ประสิทธิภาพทางความร้อน มลพิษทางอากาศ และความสุกของอาหารที่ทำกรปิ้งย่าง ของเตาปิ้งย่างเนื้อเปลือง่านแก๊สหุงต้ม LPG โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาเลือกชนิดของหินภูเขาไฟเพื่อใช้เป็นตัวกลางในการรักษาอุณหภูมิและกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่างเนื้อเปลือง่านแก๊สหุงต้ม LPG อีกทั้งช่วยลดมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการปิ้งย่าง

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่างเนื้อเปลือง่านแก๊ส LPG เพื่อพัฒนาเตาปิ้งย่างให้มีประสิทธิภาพในด้านการกระจายความร้อนสูงขึ้น อีกทั้งนำมาเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาเลือกชนิดของหินภูเขาไฟมาใช้เป็นตัวกลางในการรักษาอุณหภูมิและกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่างเนื้อเปลือง่านแก๊สหุงต้ม LPG โดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ศึกษาสีและลักษณะเนื้อหินของหินภูเขาไฟ

ดำเนินการศึกษสีและลักษณะเนื้อหินโดยการสังเกตด้วยตาเปล่า เพื่อทำการเปรียบเทียบสีและความเป็นรูพรุนของหินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิด

2. ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของหินภูเขาไฟ

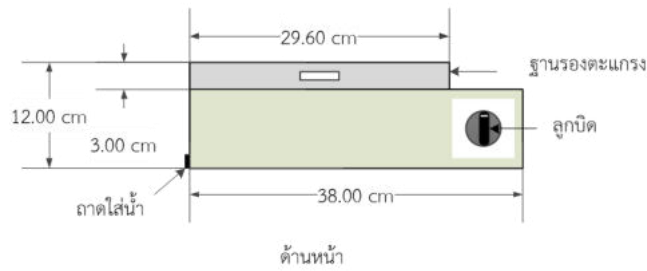
ดำเนินการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน AASHTO T85 [6] เพื่อตรวจสอบความหนาแน่นและความสามารถในการดูดซึมน้ำผ่านเข้าไปบริเวณเนื้อหินแต่ละชนิด โดยหินที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาด 21-31 mm

3. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการทำปฏิกิริยากับกรดของหินภูเขาไฟ

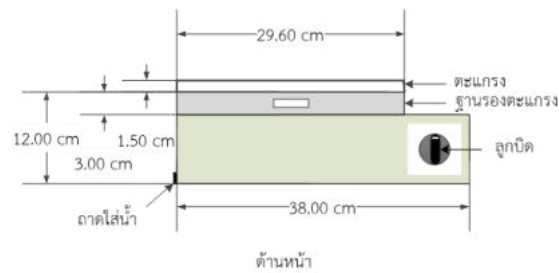
ดำเนินการศึกษาจากงานวิจัยและข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติประกอบทางเคมีของหินภูเขาไฟแต่ละชนิด และ ศึกษาการทำปฏิกิริยากับกรด โดยหยดกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 1-2 หยดลงบนหินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิด

4. ทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาปิ้งย่าง

ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟ จากนั้นดำเนินการออกแบบและพัฒนาเตาปิ้งย่างเพื่อรองรับการใส่หินภูเขาไฟ ดังภาพที่ 1 และดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิดเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน โดยศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้



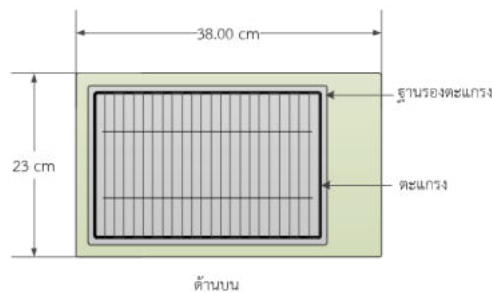
(ก) เตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนา



(ข) เตาปิ้งย่างหลังการพัฒนา

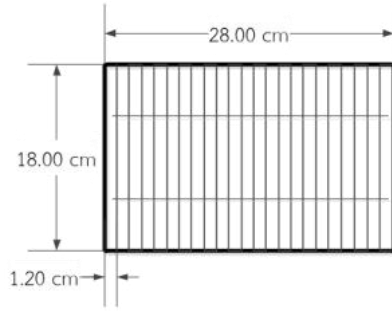
ภาพที่ 1 ส่วนประกอบบริเวณด้านหน้าของเตาปิ้งย่าง

จากภาพที่ 1 แสดงส่วนประกอบบริเวณด้านหน้าของเตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนาและหลังการพัฒนา โดยเตาปิ้งย่างมีขนาด $23\text{ cm} \times 38\text{ cm} \times 12.5\text{ cm}$ ประกอบด้วย ตะแกรง ขนาด $18\text{ cm} \times 28\text{ cm}$ ฐานรองตะแกรง ขนาด $18\text{ cm} \times 30\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ ถาดใส่น้ำ และลูกบิด ซึ่งผู้วิจัยทำการพัฒนาบริเวณตะแกรงให้สูงขึ้น 1.50 cm และฐานรองตะแกรง ให้สามารถรองรับการใส่หินภูเขาไฟที่มีขนาด $21\text{--}31\text{ mm}$ ดังภาพ (ข)

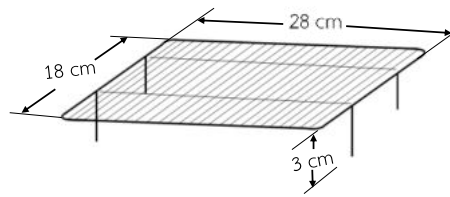


ภาพที่ 2 ส่วนประกอบบริเวณด้านบนของเตาปิ้งย่าง

จากภาพที่ 2 แสดงส่วนประกอบบริเวณด้านบนของเตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนาและหลังการพัฒนาซึ่งมีขนาด $23\text{ cm} \times 38\text{ cm}$ โดยเตาปิ้งย่างทั้งก่อนและหลังการดัดแปลงฐานรองตะแกรงและตะแกรงจะมีขนาดเท่ากัน



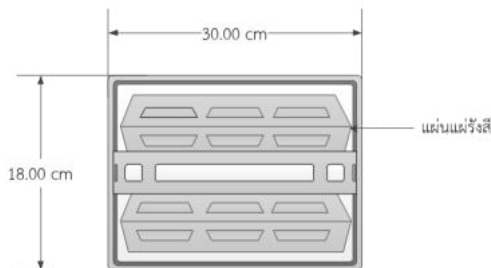
(ก) เตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนา



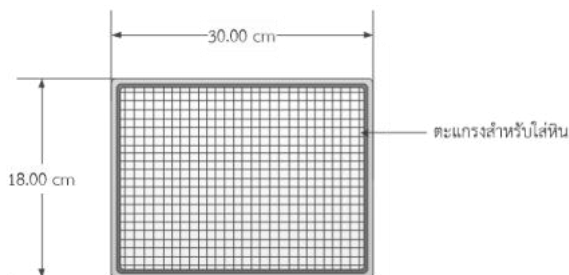
(ข) เตาปิ้งย่างหลังการพัฒนา

ภาพที่ 3 ตะแกรงปิ้งย่างหลังการพัฒนา

จากภาพที่ 3 แสดงส่วนประกอบบริเวณตะแกรงของเตาปิ้งย่างหลังการพัฒนา โดยก่อนการพัฒนาตะแกรงมีขนาด 23 cm x 39 cm และเตาปิ้งย่างหลังการพัฒนามีขนาด 23 cm x 39 cm x 3 cm เนื่องจากผู้วิจัยดำเนินการพัฒนาโดยเชื่อมเหล็กติดกับตะแกรงให้สูง 3 cm ซึ่งเมื่อนำไปใส่บริเวณฐานรองตะแกรงตะแกรงปิ้งย่างจะสูงขึ้นกว่าเตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนา 1.5 cm ดังภาพที่ 1



(ก) เตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนา



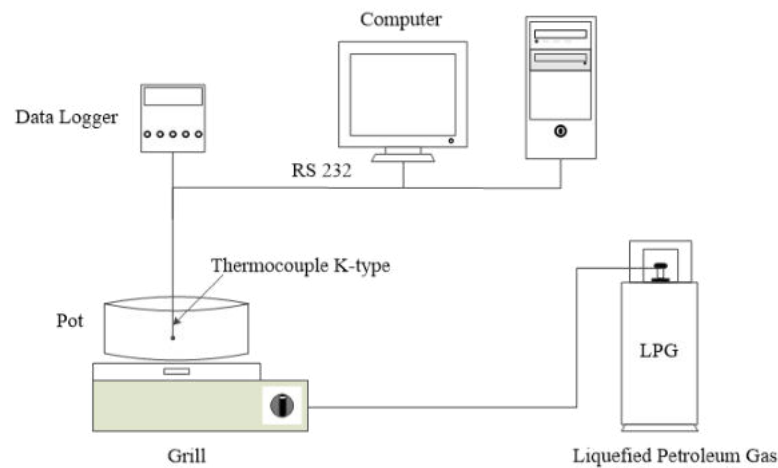
(ข) เตาปิ้งย่างหลังการพัฒนา

ภาพที่ 4 ฐานรองตะแกรง

จากภาพที่ 4 แสดงส่วนประกอบบริเวณฐานรองตะแกรงของเตาปิ้งย่างหลังการพัฒนา ฐานรองตะแกรงมีขนาด 18 cm x 30 cm โดยเตาปิ้งย่างก่อนการพัฒนาฐานรองตะแกรงประกอบไปด้วยแผ่นแผ่นรังสี ซึ่งทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการกระจายความร้อนให้แก่เตาปิ้งย่าง ทั้งนี้ผู้วิจัยทำการพัฒนาโดยนำตะแกรงมาใส่แทนแผ่นแผ่นรังสีเพื่อรองรับหินภูเขาไฟที่มีขนาด 21-31 mm ซึ่งหินภูเขาไฟจะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการกระจายความร้อนให้แก่เตาปิ้งย่างแทนแผ่นแผ่นรังสี

4.1. การทดสอบหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ

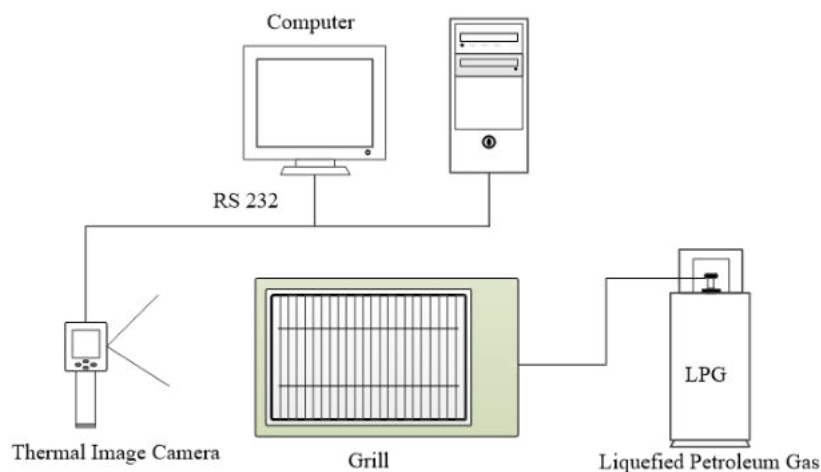
การทดสอบหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ โดยทำการเลือกขนาดของหม้อภาชนะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm และเติมน้ำปริมาณ 2.5 kg ลงในหม้อภาชนะ พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิน้ำก่อนต้ม จากนั้นทำการต้มน้ำจนกระทั่งถึงอุณหภูมิจุดเดือดประมาณ 90 °C พร้อมทั้งบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 5 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ

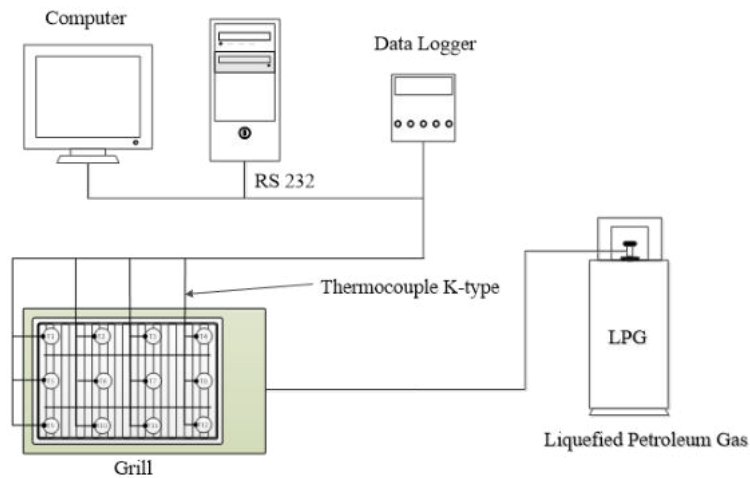
4.2. การทดสอบการกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่าง

4.2.1. การกระจายความร้อนทางกายภาพ ดำเนินการโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน Thermal Image Camera รุ่น FLIR TG167 ถ่ายภาพการกระจายความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบการกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่างแก๊ส LPG โดยทำการวัดบริเวณด้านบนของเตาปิ้งย่างที่ความสูง 90 cm



ภาพที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพความร้อนโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน

4.2.2 การวัดอุณหภูมิบริเวณพื้นผิวของเตาปิ้งย่าง ดำเนินการทดสอบโดยติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ Thermocouple Probes Type-K บริเวณพื้นผิวของตะแกรงปิ้งย่าง 12 ตำแหน่ง เพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิระหว่างการทดสอบ ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งตามเวลาที่กำหนด โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 5 min เป็นเวลา 1 hr 45 min



ภาพที่ 7 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิพื้นผิวเตาปิ้งย่าง

4.3. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปิ้งย่าง

วิเคราะห์หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปิ้งย่าง โดยใช้ข้อมูลจากความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ น้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำมาคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปิ้งย่าง [7]

$$\eta = \frac{m_w C_{pw} (T_{w,j} - T_{w,i}) + m_{wv} h}{m_g \text{LHV}} \quad (1)$$

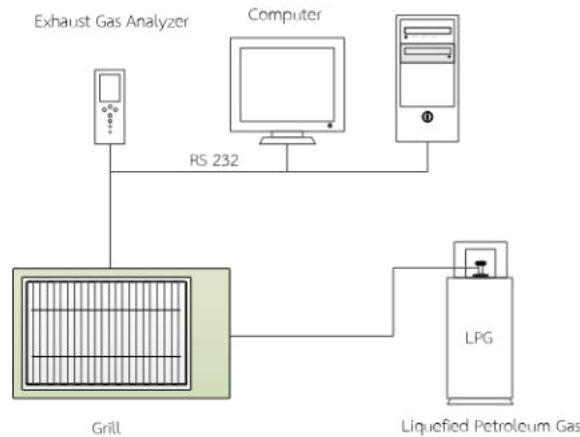
เมื่อ	η	=	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
	m_w	=	มวลของน้ำเริ่มต้น (kg)
	C_{pw}	=	ค่าความจุความร้อนของน้ำ (kJ/kg.K)
	$T_{w,j}$	=	อุณหภูมิสุดท้ายของน้ำ (°C)
	$T_{w,i}$	=	อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (°C)
	m_{wv}	=	มวลของน้ำที่ระเหย (kg)
	m_g	=	มวลของแก๊สที่ใช้ (kg)
	h	=	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)
	LHV	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

5. ทดสอบความสุกของอาหารที่ทำกรปิ้งย่าง

ทดสอบโดยการปิ้งย่างเนื้อหมูขนาด 1.5 inch มวล 140 g ใช้เวลาในการปิ้งย่าง 4 min โดย 2 min แรกวางเนื้อหมูไปบริเวณตะแกรงปิ้งย่างและ 2 min หลังทำการพลิกเนื้อหมู โดยในระหว่างการปิ้งย่างได้ทำการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิ Thermocouple Probes Type-K บริเวณเนื้อหมู โดยวัดอุณหภูมิบริเวณศูนย์กลางของเนื้อหมู เพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิของเนื้อหมูทุก ๆ 1 min ระหว่างการทดสอบ

6. ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้เตาปิ้งย่าง

ทดสอบผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้และก๊าซมลพิษจากการเผาไหม้ Testo รุ่น Testo 340 และเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ รุ่น HT-9600 วัดมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างการปิ้งย่าง ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฝุ่น PM_{2.5} และ ฝุ่น PM₁₀ ในระหว่างการทดสอบความสุกของอาหาร โดยเก็บและบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 min แล้วนำผลข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงถ่าน



ภาพที่ 8 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

8. เปรียบเทียบความเหมาะสมของหินภูเขาไฟแต่ละชนิด

เปรียบเทียบความเหมาะสมของเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ของหินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิด โดยเปรียบเทียบความเหมาะสมในด้านประสิทธิภาพทางความร้อนและมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการเลือกใช้หินภูเขาไฟมาใช้ในเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิง LPG

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

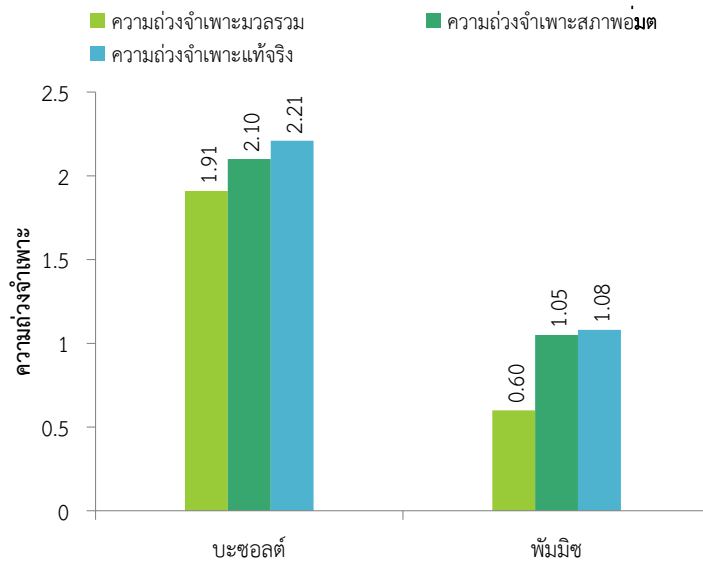
การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้ม LPG เพื่อพัฒนาเตาปิ้งย่างให้มีประสิทธิภาพในด้านการกระจายความร้อนสูงขึ้น โดยได้ทำการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของหินภูเขาไฟ ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ การกระจายความร้อน ความสุกของอาหาร ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและมลพิษทางอากาศ ของเตาปิ้งย่างก่อนและหลังใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการรักษาอุณหภูมิและกระจายความร้อน ผลการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

1. ผลของการสีและลักษณะเนื้อหินภูเขาไฟ

จากการศึกษาสีและลักษณะเนื้อหินของหินภูเขาไฟแต่ละชนิดพบว่า หินบะซอลต์มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ เนื้อหินมีลักษณะขรุขระและมีรูพรุนขนาดเล็กอยู่บริเวณเนื้อหิน ซึ่งหินบางก้อนอาจมีรูพรุนขนาดใหญ่แทรกอยู่เล็กน้อย และหินพัมมิชมีสีขาวจนถึงเทา เนื้อหินมีลักษณะคล้ายฟองอากาศ ขรุขระและมีรูพรุนปะปนอยู่บริเวณเนื้อหิน

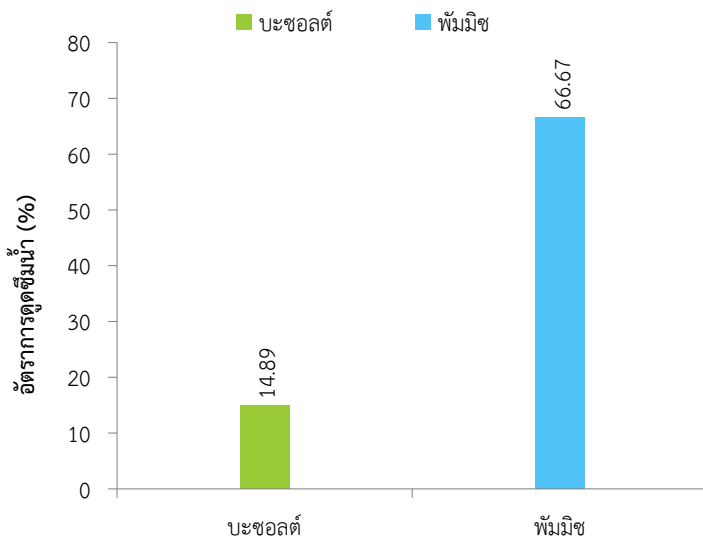
2. ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของหินภูเขาไฟ

จากการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของหินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิด พบว่าความถ่วงจำเพาะขึ้นอยู่กับความเป็นรูพรุนและมวลรวมของหินแต่ละชนิด ซึ่งหินที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 คือหินที่จมน้ำ และหินที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 คือหินที่ลอยน้ำ ความถ่วงจำเพาะของหินแต่ละชนิดแสดงดังภาพที่ 9 และการดูดซึมน้ำของหินภูเขาไฟขึ้นอยู่กับความถ่วงจำเพาะและลักษณะเนื้อหิน แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 9 ความถ่วงจำเพาะของหินภูเขาไฟ

จากภาพที่ 9 พบว่าดินบะชอลต์ มีค่าความถ่วงจำเพาะมวลรวม ความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง และความถ่วงจำเพาะแท้จริงสูงสุด เท่ากับ 1.91 2.10 และ 2.21 ตามลำดับ และดินพุ่มมิช มีค่าความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง และความถ่วงจำเพาะแท้จริงสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.6 1.05 และ 1.08 ตามลำดับ



ภาพที่ 10 การดูดซึมน้ำของหินภูเขาไฟ

จากภาพที่ 10 พบว่า ดินพุ่มมิชเป็นดินมีค่าการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 66.67 % และดินบะชอลต์ มีค่าการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 14.89 % โดยจากผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ พบว่าดินที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำจะมีการดูดซึมน้ำสูง และดินที่มีความถ่วงจำเพาะสูงจะมีการดูดซึมน้ำต่ำ

3. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและการทำปฏิกิริยากับกรดของหินภูเขาไฟ

จากการศึกษานิววิจัยที่เกี่ยวข้องและดำเนินการทดสอบความเป็นกรดของหินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิด ผลการวิจัย แสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของหินภูเขาไฟ

องค์ประกอบทางเคมี	ชนิดของหินภูเขาไฟ	
	หินบะซอลต์ [8]	หินพัมมิช [9]
SiO ₂	47.85	69.83
Al ₂ O ₃	16.96	15.37
Fe ₂ O ₃	4.06	1.11
FeO	5.53	-
CaO	8.16	0.44
MgO	5.46	0.38
Na ₂ O	2.16	1.10
K ₂ O	2.31	3.90
TiO ₂	1.95	0.34
MnO	0.15	0.03
P ₂ O ₅	0.59	0.02

จากตารางที่ 1 พบว่า หินภูเขาไฟ แต่ละชนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีคือธาตุที่อยู่ในแร่ประกอบหินนั้น ๆ และบ่งบอกถึงลักษณะทางกายภาพของหิน เช่น สี และลักษณะเนื้อหิน จึงทำให้หินภูเขาไฟแต่ละชนิดมีสีและลักษณะเนื้อหินแตกต่างกัน และส่งผลต่อการดูดซับน้ำของหินแต่ละชนิด [10]

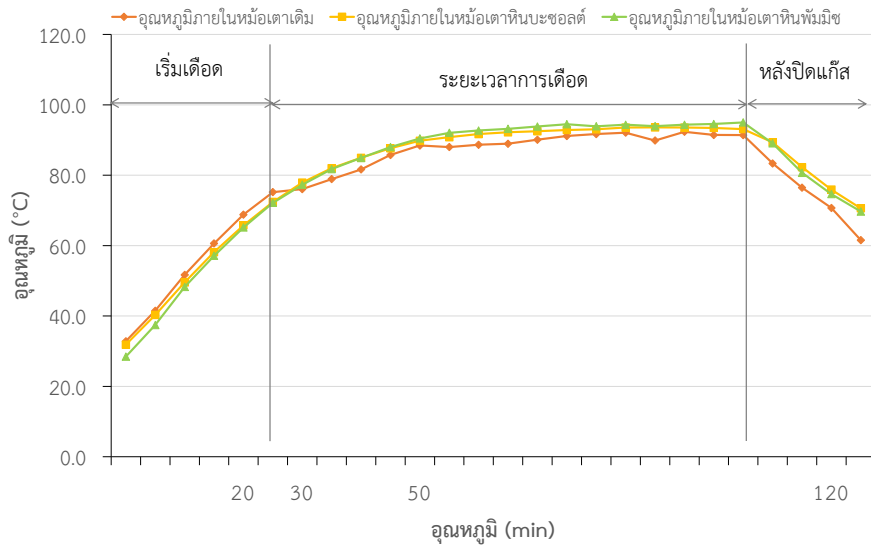
ตารางที่ 2 การทำปฏิกิริยากับกรดของหินภูเขาไฟ

ชนิดของหินภูเขาไฟ	ผลของปฏิกิริยา
หินบะซอลต์	ไม่เกิดฟอง
หินพัมมิช	ไม่เกิดฟอง

จากตารางที่ 2 พบว่าหินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิด ไม่ทำปฏิกิริยากับกรด เนื่องจากไม่มีส่วนประกอบของแร่คาร์บอเนต (CaCO₃) จึงทำให้ไม่เกิดฟอง แต่เมื่อหยดกรดลงไปหินบะซอลต์และหินพัมมิชก่อให้เกิดกลิ่นฉุนคล้ายคลอรีนเกิดขึ้น เนื่องจากมีส่วนประกอบของแร่แมงกานีสออกไซด์อยู่ในเนื้อหิน

4. ผลความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ

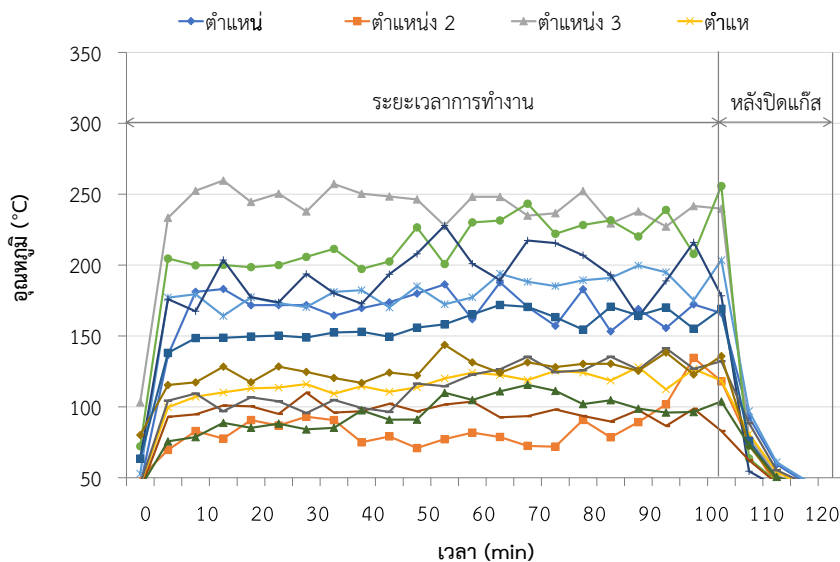
จากการศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำของเตาปิ้งย่างก่อนและหลังใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน ผลการศึกษาแสดงดังนี้



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของน้ำเดือดกับเวลาที่ใช้ในการต้มน้ำ

จากภาพที่ 11 พบว่า เตาปิ้งย่างที่ใช้ตัวกลางในการกระจายความร้อนต่างกัน จะส่งผลต่ออุณหภูมิการเดือดของน้ำและเวลาที่ใช้ โดยเตาปิ้งย่างหินบะซอลต์ มีอุณหภูมิจุดเดือดสูงสุด เท่ากับ 93.6 °C ที่ 90 min และเตาปิ้งย่างหินฟิมมิชมีอุณหภูมิจุดเดือดสูงสุด เท่ากับ 95 °C ที่ 105 min เมื่อทำการการปิดแก๊สผ่านไป 20 min พบว่า เตาปิ้งย่างหินบะซอลต์อุณหภูมิในหม้อลดลง เท่ากับ 70.6°C และเตาปิ้งย่างหินฟิมมิช เท่ากับ 69.7 °C ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง พบว่า มีอุณหภูมิจุดเดือดสูงสุดที่ 92.4 °C ที่ 95 min และอุณหภูมิหลังปิดแก๊ส เท่ากับ 69.7 °C

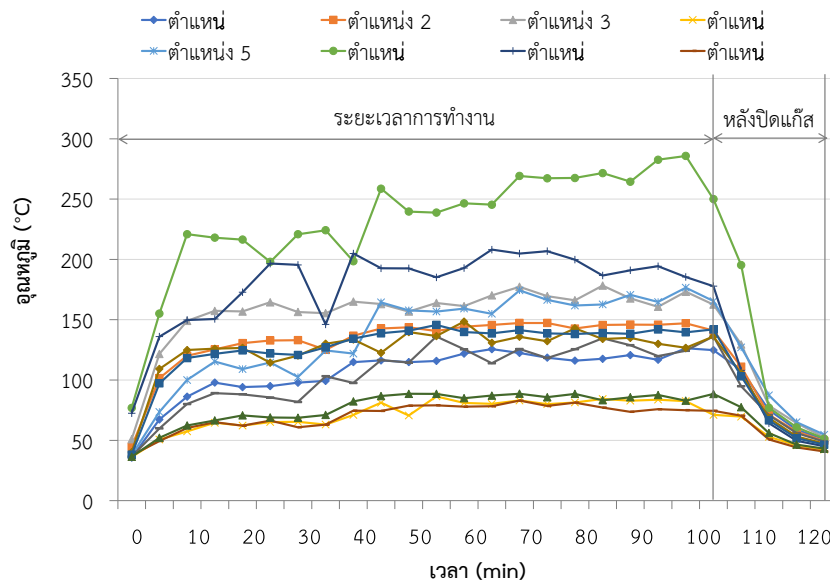
5. ผลการทดสอบการกระจายความร้อนของเตาปิ้งย่าง



ภาพที่ 12 เตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน

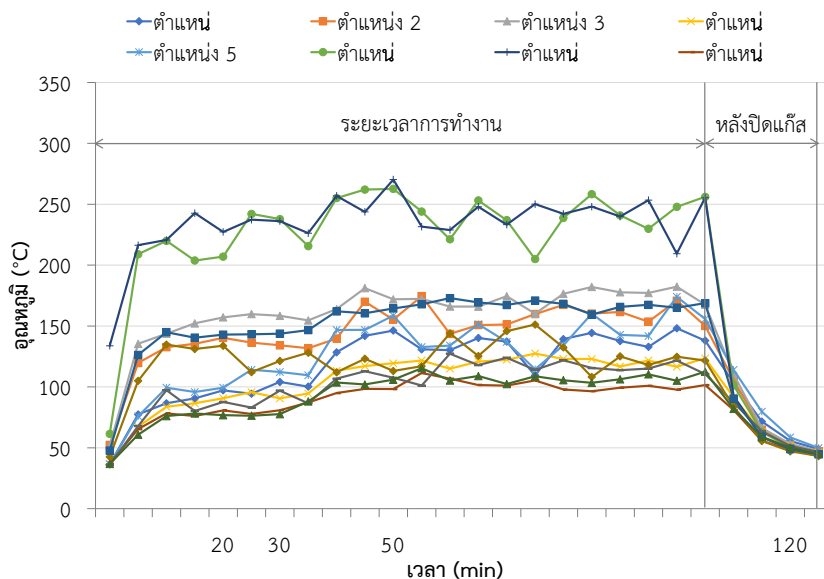
จากภาพที่ 12 พบว่า อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกัน เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและมีความแปรปรวนสูงตลอด 105 min โดยตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือ ตำแหน่งที่ 3 เท่ากับ 259.65 °C และตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำสุด คือตำแหน่งที่ 2 เท่ากับ 69.6 °C ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้ง 12 ตำแหน่ง มีอุณหภูมิต่างกัน

สูงสุดเท่ากับ 152.1 °C และจากการหาความแปรปรวนของอุณหภูมิ 12 ตำแหน่งจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่ามีค่าเท่ากับ 49.71



ภาพที่ 13 เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์เป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน

จากภาพที่ 13 พบว่า อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกัน โดยในช่วง 5-45 min อุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและมีความแปรปรวนสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปช่วงเวลา 50-105 min อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งเริ่มมีความแปรปรวนต่ำลง ทำให้อุณหภูมิบริเวณตะแกรงปิ้งย่างมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างนิ่ง โดยตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือ ตำแหน่งที่ 6 เท่ากับ 285.5 °C และตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำสุด คือตำแหน่งที่ 8 เท่ากับ 60.85 °C ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้ง 12 ตำแหน่ง อุณหภูมิต่างกันสูงสุด เท่ากับ 108.93 °C และจากการจากการคำนวณหาความแปรปรวนของอุณหภูมิจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่ามีค่า เท่ากับ 47.32



ภาพที่ 14 เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินพมิขเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน

จากภาพที่ 14 พบว่า อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งใกล้เคียงกันมากกว่าเตาที่ใช้ตัวกลางอื่นและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่มีความแปรปรวนค่อนข้างสูงตลอด 105 min โดยตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือ ตำแหน่งที่ 7 เท่ากับ 270.3 °C และ ตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำสุด คือตำแหน่งที่ 12 เท่ากับ 60.75 °C ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้ง 12 ตำแหน่ง มีอุณหภูมิต่างกันสูงสุดเท่ากับ 143.46 °C และจากการคำนวณหาความแปรปรวนของอุณหภูมิจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่ามีค่าเท่ากับ 48.02

6. ผลประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปิ้งย่าง

จากการทดสอบการต้มน้ำเพื่อหาจุดเดือดของน้ำ เพื่อคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปิ้งย่าง แสดงผลการวิจัยดังนี้

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาปิ้งย่าง

รายการ	เตาปิ้งย่าง	
	บะซอลต์	พัมมิช
มวลของน้ำเริ่มต้น (kg)	2.80	2.80
ค่าความจุความร้อนของน้ำ (kJ/kg.K)	4.19	4.19
อุณหภูมิของน้ำเริ่มต้น (K)	304.25	301.62
อุณหภูมิของน้ำเดือด (K)	367.12	368.15
ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)	2257	2257
มวลของน้ำที่ระเหย (kg)	0.85	0.80
มวลของแก๊สที่ใช้ (kg)	0.20	0.27
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)	50200	50200
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)	26.78	21.45

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาปิ้งย่างโดยทำการต้มน้ำและศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิจุดเดือดกับเวลาที่ใช้ โดยจากการทดสอบ 3 ครั้ง พบว่า เตापิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์เป็นตัวกลางมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 26.78 % และเตापิ้งย่างเมื่อใช้หินพัมมิชเป็นตัวกลาง มีค่าเท่ากับ 21.45 % ซึ่งเมื่อนำไปเทียบกับเตापิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง พบว่า มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน พบว่า มีเท่ากับ 20.57 %

7. ผลการทดสอบความสุกของอาหารเมื่อทำการปิ้งย่าง

การกระจายความร้อนของตัวกลางส่งผลต่อระดับความสุกและเวลาที่ใช้ในการปิ้งย่าง โดยเตापิ้งย่างที่มีการกระจายความร้อนสูงและมีความแปรปรวนต่ำ จะส่งผลให้เนื้อหมูมีระดับความสุกที่ใกล้เคียงกัน ผลการวิจัยแสดงดังนี้



(ก) เตापิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง

(ข) เตापิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์เป็นตัวกลาง

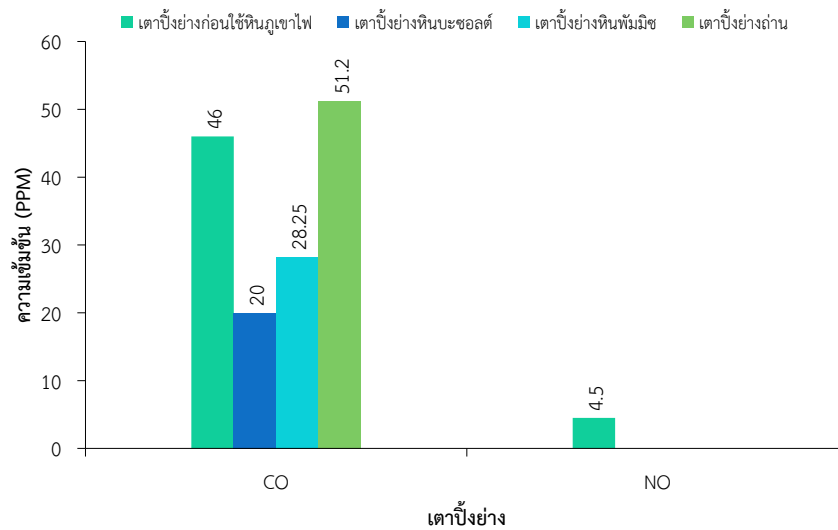
(ง) เตापิ้งย่างเมื่อใช้หินพัมมิชเป็นตัวกลาง

ภาพที่ 15 ความสุกของอาหารที่ทำการปิ้งย่างบนเตापิ้งย่าง

จากภาพที่ 15 พบว่า เนื้อหมูมีระดับความสุกที่แตกต่างกัน โดยเตาปิ้งย่างหินบะซอลต์ที่มีการกระจายความร้อนสูงสุด พิจารณาจากความแปรปรวนของอุณหภูมิ 12 ตำแหน่ง มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 47.32 เมื่อทำการปิ้งย่างจึงทำให้ เนื้อหมูมีความสุกที่ใกล้เคียงกันและสุกเร็วกว่าเตาปิ้งย่างที่ใช้ตัวกลางชนิดอื่น โดยอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเนื้อหมูเมื่อเวลาผ่านไป 4 min เท่ากับ 48.1 °C และเตาปิ้งย่างหินพัมมิช มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 48.02 อุณหภูมิภายในเนื้อหมู เท่ากับ 46.3 °C และเตาปิ้งย่างหินสคอเรีย มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 49.68 โดยอุณหภูมิภายในเนื้อหมู เท่ากับ 45.4 °C ซึ่ง ในส่วนนี้มีผลจากความหนาแน่นและความจุความร้อนจำเพาะของหินแต่ละชนิด [13]

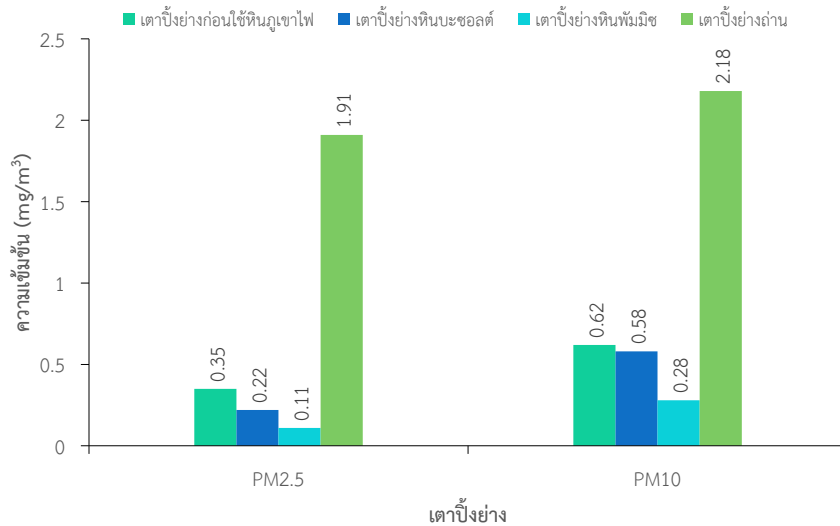
8. ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการใช้เตาปิ้งย่าง

มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการใช้เตาปิ้งย่าง ขึ้นอยู่กับตัวกลางที่ใช้ในการกระจายความร้อน โดยเตาปิ้งย่างที่ใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง มีการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศต่ำกว่า เตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟและเตาปิ้งย่างถ่าน แสดงผลดังภาพที่ 13



ภาพที่ 16 ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไนตริกออกไซด์

จากภาพที่ 16 พบว่า เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินพัมมิชเป็นตัวกลางก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงสุด เท่ากับ 28.25 ppm และเตาปิ้งย่างหินบะซอลต์ มีค่าเท่ากับ 20 ppm ซึ่งเมื่อนำมาเทียบเป็นค่าความเข้มข้นสะสมตลอดระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 2.7×10^6 และ 1.9×10^6 ppm ตามลำดับ อีกทั้งเปรียบเทียบกับเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง และเตาปิ้งย่าง เชื้อเพลิงถ่าน พบว่า ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 46 และ 51.2 ppm ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นสะสมตลอดระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 4.3×10^6 และ 2.7×10^6 ppm ตามลำดับ นอกจากนั้นเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง เป็นเตาปิ้งย่างชนิดเดียวที่ก่อให้เกิดก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) โดยมีค่าเท่ากับ 4.5 ppm ค่าความเข้มข้นสะสมตลอดระยะเวลา 1 ปี เท่ากับ 0.4×10^6 ppm อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศโดยทั่วไป [11] และค่า มาตรฐานมลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิง [12] ยังคงมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด



ภาพที่ 17 ความเข้มข้นของของฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM₁₀

จากภาพที่ 17 พบว่า เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์ เป็นตัวกลางก่อให้เกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM₁₀ สูงสุดเท่ากับ 0.22 mg/m³ และ 0.58 mg/m³ ตามลำดับ และเตาปิ้งย่างหินพัมมิช มีค่าเท่ากับ 0.11 mg/m³ และ 2.18 mg/m³ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} สหสมตลอดระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 21×10³ และ 10×10³ mg/m³ ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM₁₀ สหสมตลอดระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 54×10³ และ 27×10³ mg/m³ โดยเตาปิ้งย่างที่ใช้หินภูเขาไฟทั้ง 2 ชนิดเป็นตัวกลาง มีค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} และ PM₁₀ ต่ำกว่าเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางและเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงถ่าน ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เท่ากับ 0.35 mg/m³ และ 1.91 mg/m³ ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นสะสมตลอดระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 32×10³ mg/m³ และ 180×10³ mg/m³ ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นของฝุ่น PM₁₀ เท่ากับ 0.62 และ 2.18 mg/m³ ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นสะสมตลอดระยะเวลา 1 ปี มีค่าเท่ากับ 58×10³ และ 205×10³ mg/m³ ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศโดยทั่วไป [11] และค่ามาตรฐานมลพิษที่เกิดจากเชื้อเพลิง [12] ยังคงมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงแก๊ส LPG เพื่อพัฒนาเตาปิ้งย่างให้มีประสิทธิภาพในด้านการกระจายความร้อนสูงขึ้น และผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้เตาปิ้งย่างที่ใช้หินภูเขาไฟ 2 ชนิด ได้แก่ หินบะซอลต์ และหินพัมมิชเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน สามารถสรุปได้ว่า หินบะซอลต์ เป็นหินภูเขาไฟที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้เป็นตัวกลางในการรักษาอุณหภูมิและกระจายความร้อนแก่เตาปิ้งย่าง เนื่องจากหินบะซอลต์มีความหนาแน่นและความจุความร้อนจำเพาะสูง เมื่อหินบะซอลต์ได้รับความร้อนอย่างเต็มที่ที่จะเกิดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างทั่วถึง ทำให้อุณหภูมิทุก ๆ ตำแหน่งบริเวณตะแกรงปิ้งย่าง มีความแปรปรวนของอุณหภูมิต่ำสุดที่ 47.32 จึงทำให้อาหารที่นำไปปิ้งย่างมีความสุขที่รวดเร็วและสุกอย่างทั่วถึง ทั้งนี้หลังจากการทดสอบการกระจายความร้อน พบว่า เตาปิ้งย่างสามารถกักเก็บความร้อนให้แก่เตาปิ้งย่างได้ยาวนานกว่าเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลาง เนื่องจากหินบะซอลต์เป็นหินที่มีรูพรุนน้อยที่สุดและมีความหนาแน่นมาก จึงทำให้น้ำร้อนหินภูเขาไฟนั้น มีพื้นที่ในการถ่ายโอนความร้อนมากกว่าหินภูเขาไฟชนิดอื่น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนให้แก่เตาปิ้งย่างโดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเท่ากับ 26.78% สูงขึ้นเมื่อเทียบกับเตาปิ้งย่างก่อนใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางในการกระจายความร้อน ซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพียง 20.57 % และมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้น พบว่า เตาปิ้งย่างเมื่อใช้หินบะซอลต์ ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ฝุ่น PM_{2.5} และฝุ่น PM₁₀ มีค่าเท่ากับ 20 ppm 0.22 mg/m³ และ 0.58 mg/m³ มีค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศต่ำกว่าเตาปิ้งย่างก่อนการใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวกลางและเตาปิ้งย่างเชื้อเพลิงถ่าน โดยก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 46 ppm และ 51.2 ppm ตามลำดับ ฝุ่น PM_{2.5} เท่ากับ 0.35 mg/m³ และ 1.91 mg/m³ ตามลำดับ และ ฝุ่น PM₁₀ เท่ากับ 0.62 mg/m³ และ 2.18 mg/m³ ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ที่อำนวยความสะดวกในส่วนของวัสดุและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] S.Y.Chunga, Ramesh R.Yettellab, J.S.Kima,K.Kwona, M.C.Kima David B.Minc (2012).**Effects of grilling and roasting on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in beef and pork.** Food Chemistry 129 (2011) 1420–1426
- [2] Yuwayong Juntarawijita,Chudchawal Juntarawijitb (2019).**Cooking smoke exposure and respiratory symptoms among those responsible for household cooking: A study in Phitsanulok, Thailand.** Heliyon 5 e01706
- [3] World cancer research fund international (2019).**Worldwide cancer data Accessed.** 8 September 2019 Available from: <https://www.wcrf.org/dietandcancer/cancer-trends/worldwide-cancer-data>
- [4] National cancer institute department of public health Thailand (2017). **Hospital based cancer registry 2017.** Accessed 8 September 2019 Available from:http://www.nci.go.th/th/File_th/File_download/Nci%
- [5] Department of mineral resources (2019). **Lampang volcanic crater.** Accessed 8 September 2019 Available from:http://www.dmr.go.th/ewtadmin/ewt/dmr_web/main.php?filename=n06
- [6] Standard Method of Test (2019). **Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate.** Accessed 15 December 2019 <http://ftp.ecnpurdue.edu/olekPtanikela/To20aggregate.pdf>
- [7] AnthonyA.Bantu, GilbertNuwagaba,SarahKizza, and YonahK.Turinayo (2016). **Design of an Improved Cooking Stove Using High Density Heated Rocks and Heat Retaining Techniques.** Accessed 15 December 2019 Available from: https://www.researchgate.net/publication/328578252_
- [8] Department of mineral resources (2019).**SilaWanna and Basalt Structure in Thailand.** Accessed 8 September 2019 Availablefrom: http://librarydmr.go.th/Document/DMR_Technical_Reports/2548/7751.pdf
- [9] Sirote Salayaphong (2016).**Functional characteristics of volcanic mineral rocks with highly porous firewood in agricultural use and as an alternative medicine.** Accessed 15 December 2019 Available from: <https://www.researchgate.net/publication/236147186>
- [10] Y. Ozcelika, A. Ozguvenb (2014). **Waterabsorption and drying features of different natural building stones.** Construction and Building Materials 63,pp.257–270
- [11] Pollution Control Department (2019). **The general air quality standards.** Accessed 10 February 2019 Available from: : <https://www.researchgate.net/pub-lication/236147186>
- [12] Pollution Control Department (2019). **Air pollution standards from stationary sources.** Accessed 10 February 2019 Available from: <https://www.researchgate.net/pub-lication/236147186>
- [13] P. Hartlieba,M. Toiflb, F. Kuchar, R. Meisels, T. Antretterb(2016).**Thermo-physical properties of selected hard rocks and their relation to micro-wave-assisted comminution.**Minerals Engineering 91,34–41

การประเมินประสิทธิภาพความร้อนเตาชีวมวลแบบบังคับอากาศโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

Thermal Efficiencies Evaluation of Forced-draft Household Cooking Stove using Biomass Fuel

กิตติกร สาสุจิตต์* ภาสวรรณ บุญศรี ชูรัตน์ ธารารักษ์ เสริมสุข บัวเจริญ ธเนศ ไชยชนะ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล
และนิกราน หอมดวง
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

Abstract

Household biomass cooking stove is the one technology that can utilize biomass fuel in the form of thermal energy for households. This work aims to study enhancement the heat efficiency by using the forced draft air method for biomass combustion. Thermal efficiency was determined by means of water boiling tests by varying the air feed rate for combustion and compared with conventional household stoves by biomass fuel using tamarind charcoal, rubber wood charcoal, and corncob. From results, it was found the thermal efficiency of forced draft household biomass cooking stove shown the higher efficiency more than conventional biomass cooking stove. The average efficiency of force draft household biomass cooking stove has been found to be about 21.78%, 26.02% and 18.03% for tamarind charcoal, corncob, and rubber wood charcoal, respectively. Fuel consumption rate increase with air inlet increasing and that can be the short water boiling time within 10 minutes. However, In the case of a long time for using cooking the conventional stove are suitable because it releases heat energy continuously, low fuel consumption rate but it takes a long time to ignite. An economic evaluation was calculated of forced draft biomass cooking stove and compared to LPG stove which showed a payback period in the range of 3-4 years for tamarind and rubber wood charcoal and within 0.38 years for corncob as fuel. An economic evaluation was calculated of forced draft biomass cooking stove and compared to LPG stove which showed a payback period in the range of 3-4 years for tamarind and rubberwood charcoal and within 0.38 years for corncob as fuel.

Keywords: Biomass stove, thermal efficiency, forced draft, combustion

บทคัดย่อ

เตาชีวมวลในระดับครัวเรือนเป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถนำเอาเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในรูปแบบของพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในครัวเรือน โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนโดยใช้วิธีการบังคับอากาศเพื่อช่วยในการเผาไหม้ โดยแปรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าในการป้อนอากาศเพื่อใช้ในการเผาไหม้ เปรียบเทียบกับการใช้เตาชีวมวลแบบปกติ โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ถ่านไม้มะขาม ถ่านไม้ยางพารา และซังข้าวโพด ทั้งนี้งานวิจัยนี้ใช้วิธีการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยวิธีการต้มน้ำเดือด ผลการศึกษาพบว่าเตาชีวมวลแบบบังคับอากาศเข้าสู่เตาจะให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าเตาชีวมวลปกติ ทั้งนี้การใช้งานเตาชีวมวลด้วยถ่านไม้ยางพารา จะให้ค่าประสิทธิภาพเชิง

* Corresponding author: Tel.: 089-9988203. E-mail address: tong.cm@gmail.com, kittikorn@mju.ac.th

ความร้อนสูงกว่าถ่านไม้มะขาม และซังข้าวโพด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 21.78, 26.02 และ 18.03 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การป้อนอากาศเพื่อช่วยในการเผาไหม้จะส่งผลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ระยะเวลาการต้มน้ำเดือดจะมีระยะเวลาสั้นภายใน 10 นาที ซึ่งท้ายที่สุดแล้วกรณีการใช้งานเตาชีวมวลในระยะยาวต่อเนื่องทั้งวันเห็นควรเลือกใช้เตาชีวมวลที่ไม่มีการใช้ป้อนอากาศช่วยเผาไหม้จะมีความเหมาะสมกว่าเนื่องจากให้ค่าความร้อนได้อย่างต่อเนื่อง และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำ แต่จะใช้เวลาในการจุดติดไฟเตาชีวมวลนาน ในส่วนของการพิจารณาระยะเวลาคืนทุน กรณีทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มครัวเรือนพบว่าระยะเวลาคืนทุนภายใน 3-4 ปี กรณีใช้ถ่านไม้ และภายใน 0.38 ปี โดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง

คำสำคัญ: เตาชีวมวล ประสิทธิภาพความร้อน บังคับอากาศ การเผาไหม้

บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานในชีวิตประจำวันมีมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานประกอบอาหารในครัวเรือน และปัจจุบันความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นต่อเนื่องทุก ๆ ปี ส่งผลให้ปริมาณสำรองทรัพยากรธรรมชาติลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นสาเหตุให้ราคาต้นทุนเชื้อเพลิงปรับตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้พลังงาน ทั้งในระดับชุมชนและระดับประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สหุงต้มประกอบอาหารในครัวเรือน ดังนั้นทำให้ภาครัฐโดยกระทรวงพลังงาน ได้ส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีเชื้อเพลิงชีวมวลหรือเทคโนโลยีเตาชีวมวล เพื่อลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงในครัวเรือน จากแผนพลังงานชุมชนพบว่าครัวเรือนมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานประมาณร้อยละ 20 ของรายได้ครัวเรือน ขณะเดียวกันมีการใช้เตาฟืนหรือเตาถ่านเพื่อเป็นหลัก อาทิเช่น เตาอั้งโล่ เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง เตาถ่านตามท้องตลาด เป็นต้น จากการทดสอบพบว่าให้ประสิทธิภาพความร้อนเฉลี่ยร้อยละ 20 จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ธเนศ และคณะ (2555) [1] ได้ทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวลระดับครัวเรือน ประกอบไปด้วยเตาชีวมวล 6 ชนิด ได้แก่เตาอั้งโล่ธรรมดา เตาอั้งโล่ธรรมดาขนาดเล็ก เตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูง เตาปากยื่น เตาคำขนาดกลาง และเตาคำขนาดเล็ก โดยทำการทดสอบด้วยวิธีการต้มน้ำเดือด พบว่าเตาอั้งโล่ประสิทธิภาพสูงให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดร้อยละ 31 นอกจากนี้ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในช่วงร้อยละ 17-25 ขณะเดียวกัน Raman *et al* (2013) [2] ทำการทดสอบประสิทธิภาพเตาชีวมวลทำอาหารโดยใช้การป้อนกับเตา 3 แบบโดยใช้เชื้อเพลิงจากไม้และเปลือกกะลามะพร้าว พบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลจากไม้ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงในช่วงร้อยละ 32.3-39.2 และการใช้เปลือกกะลาให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในช่วงร้อยละ 32.7-36 นอกจากนี้ Chendake *et al* (2014) [3] ทำการออกแบบเตาชีวมวลสำหรับให้ความร้อนแก่น้ำ โดยศึกษาตัวแปรด้านความต้องการพลังงาน เส้นผ่าศูนย์กลางเตา อัตราการใช้เชื้อเพลิง จากผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนด้วยการต้มน้ำเดือดโดยใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาร้อยละ 19.26 ทั้งนี้ระบบจะมีระยะเวลาคืนทุน 4.22 เดือน เมื่อนำมาใช้งานในการทำอาหารในครัวเรือน อย่างไรก็ตามได้มีการพัฒนาเตาชีวมวลที่ใช้เชื้อเพลิงฟืน หรือถ่าน โดยทำการออกแบบให้มีการเผาไหม้ที่ดีขึ้น รวมไปถึงมีฉนวนความร้อนธรรมชาติ อาทิเช่นการใช้แกลบดำ หรือทราย เป็นต้นเพื่อป้องกันความร้อนที่สูญเสีย พบว่าให้ประสิทธิภาพความร้อนอยู่ในช่วง 20-27 อย่างไรก็ตามการใช้เตาชีวมวลแบบฟืน หรือถ่าน ในเตาชีวมวลแบบทรงกระบอกนั้น พบว่าปัญหาหนึ่งก็คือการจุดติดไฟช้า และระยะเวลาการต้มน้ำให้เดือดจะนาน ทำให้ต้องมีช่วงระยะเวลาการจุดติดไฟเริ่มต้นช้า

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาชีวมวลแบบบังคับอากาศเพื่อช่วยในการเผาไหม้ โดยศึกษาผลของการป้อนอากาศที่มีต่อประสิทธิภาพความร้อน และระยะเวลาต้มน้ำให้เดือด รวมไปถึงการประเมินระยะเวลาคืนทุนของเตาชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับการทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มในครัวเรือน ซึ่งท้ายที่สุดจะพิจารณาความเหมาะสมและข้อดีข้อเสียของเตาชีวมวลในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับเตาชีวมวลที่มีการศึกษามาก่อนแล้ว

วิธีการวิจัย

เตาชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังภาพที่ 1 โดยทำการทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพแบบ บังคับอากาศในการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยทำการทดสอบการใช้เชื้อเพลิงถ่านไม้มะขาม ถ่านไม้ยางพารา และซังข้าวโพด ทั้งนี้จะทำการศึกษาแปรเปลี่ยนตัวแปรอากาศช่วยในการเผาไหม้ โดยใช้พัดลมไฟฟ้ากระแสตรง ที่สามารถปรับเปลี่ยน อัตราการไหลโดยใช้หม้อแปลงการปรับแรงดันทางไฟฟ้าที่ระดับ 3, 4.5 และ 6 โวลต์ หรืออัตราเร็วลม 1.1, 1.35 และ 1.72 เมตรต่อวินาที คิดเป็นอัตราการไหลของอากาศเชิงมวล 48.51, 59.54 และ 75.85 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ



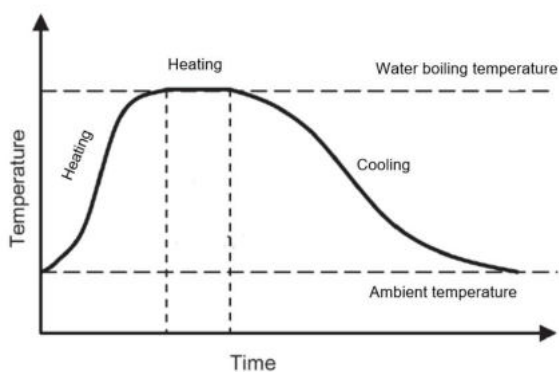
ก.แบบไม่ใช้อากาศ



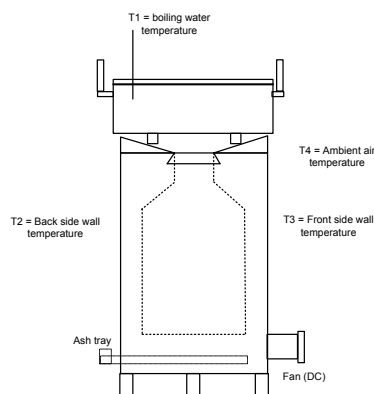
ข.แบบบังคับอากาศช่วยเผาไหม้

ภาพที่ 1 เตาชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้

การทดสอบจะทำการทดสอบโดยใช้วิธีการต้มน้ำให้เดือด (Water Boiling Test: WBT) [1,4-5] โดยภาพที่ 2 แสดงลักษณะของการทดสอบตลอดช่วงการทดลองซึ่งประกอบไปด้วยช่วงการทำงานของเตาชีวมวลจำนวน 3 ระดับได้แก่ ช่วงให้ความร้อน ช่วงระดับกำลังหรือการทำงานสูงสุด และช่วงสุดท้ายคือช่วงความร้อนลดลง (Heating, High Power, Cooling) เตาชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบจะทำให้มีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยทำอบไล่ความชื้นโดยใช้ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ทั้งนี้ภาชนะสำหรับใส่น้ำในการทดสอบนั้นจะใส่น้ำประมาณสามส่วนสี่ของภาชนะที่บรรจุน้ำหรือประมาณ 15 ลิตร และทำการทดสอบจำนวน 3 ชั่วโมงการทดลอง ทำการตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ ร่วมกับเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K จำนวน 2 ตำแหน่ง และทำการตรวจวัดอุณหภูมิผนังเตา 2 ตำแหน่งได้แก่ด้านหน้า และด้านหลังของเตาชีวมวล ดังแสดงภาพที่ 3 โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด (Infrared Thermometer) และเครื่องมือตรวจวัดมวลของเชื้อเพลิงโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ขนาด 20 กิโลกรัม ทั้งนี้การทดลองในงานวิจัยนี้จะไม่คิดการสูญเสียความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจากผนังเตาชีวมวล



ภาพที่ 2 กราฟแสดงอุณหภูมิของน้ำตลอดช่วงเวลากการทดสอบ โดยวิธี Water Boiling Test [1,6]



ภาพที่ 3 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิของเตาชีวมวล

การวิเคราะห์ค่าความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวลโดยวิธีการทดสอบโดยการต้มน้ำเดือด (WBT) พิจารณาได้จากสมการที่ 1 – 4 [3-7]

$$FCR = \frac{m_f}{T} \quad (1)$$

$$Q_u = \{m_w c_{p,w} (T_{wb} - T_{wi})\} + \{m_e h_{fg}\} \quad (2)$$

$$Q_{fuel} = m_f LHV \quad (3)$$

$$\eta = \left\{ \frac{Q_u}{Q_{fuel}} \right\} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ FCR คืออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อชั่วโมง), m_f คือมวลเชื้อเพลิง (กิโลกรัม), T คือระยะเวลา (ชั่วโมง) Q_u คือค่าความร้อนที่นำไปใช้ในการต้มน้ำเดือด (กิโลจูล) Q_{fuel} คือค่าความร้อนจากเชื้อเพลิง (กิโลจูล), LHV คือค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (กิโลจูลต่อกิโลกรัม), m_w คือมวลน้ำเริ่มต้น (กิโลกรัม), m_e คือมวลน้ำที่ระเหย (กิโลกรัม), $C_{p,w}$ คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 4.186 (กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส), T_{wb} คืออุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ (องศาเซลเซียส), T_{wi} คืออุณหภูมิน้ำเริ่มต้น (องศาเซลเซียส), h_{fg} คือค่าความร้อนแฝงการระเหยของน้ำเท่ากับ 2,257 กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวลที่การทดลองได้แก่ ถ่านไม้มะขาม ชั่งข้าวโพด และถ่านไม้ยางพารา ดังภาพที่ 4 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่ามีค่าความร้อนเท่ากับ 32.65, 16.65 และ 28.97 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยถ่านไม้มะขามให้ค่าความร้อนสูงกว่าชนิดอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 จากข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงทั้งสามชนิดจะมีความต้องการอากาศในทางทฤษฎีเพื่อใช้เผาไหม้ที่สมบูรณ์ เท่ากับ 5.30, 4.17 และ 9.83 และสมการการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงทั้งสามชนิดแสดงได้ตามสมการที่ 5-7

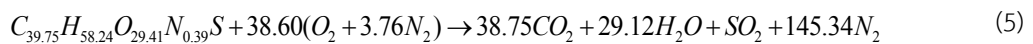


ภาพที่ 4 การจัดเตรียมเชื้อเพลิงสำหรับห้องปฏิบัติการ

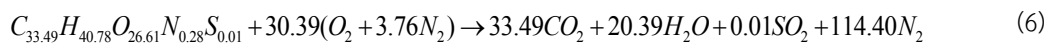
ตารางที่ 1 คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดลอง [8-10]

ค่าวิเคราะห์แบบประมาณ (%wt.)	ถ่านไม้มะขาม	ซังข้าวโพด	ถ่านไม้ยางพารา
Moisture (%)	1 – 5	9.71	4.22
Fixed Carbon (%)	85.00	42.56	81.64
Volatile matter (%)	14.00	71.21	11.21
Ash (%)	1.00	2.97	2.93
ค่าวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (%wt.)			
Carbon (%)	46.54	40.22	81.74
Hydrogen (%)	5.87	4.11	3.23
Oxygen (%)	47.04	42.56	14.27
Nitrogen (%)	0.55	0.39	0.46
Sulphur (%)	-	0.04	0.17
LHV (MJ/kg)	32.65	16.65	28.97

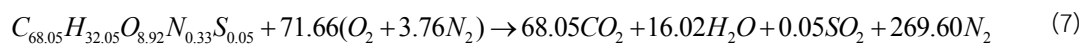
สมการเผาไหม้สมบูรณ์ของถ่านไม้มะขาม



สมการเผาไหม้สมบูรณ์ของซังข้าวโพด

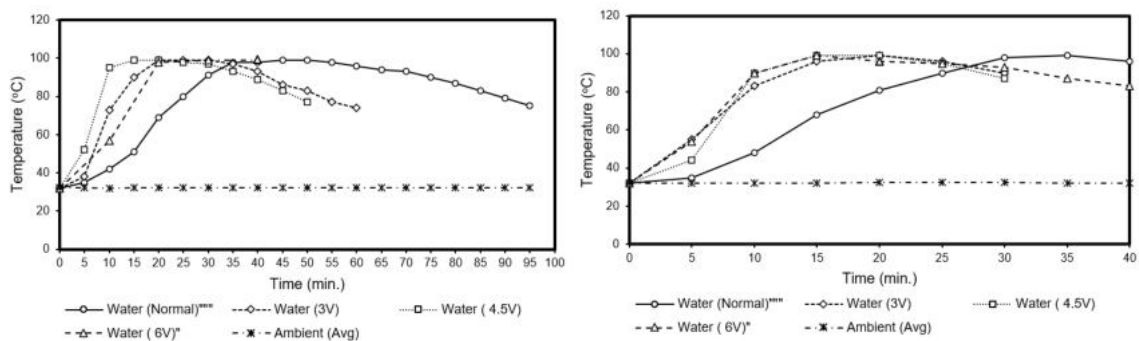


สมการเผาไหม้สมบูรณ์ของถ่านไม้ยางพารา



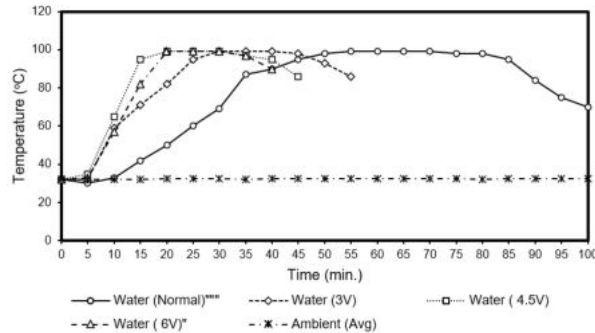
ผลของการกระจายอุณหภูมิของเตาชีวมวล

ผลการกระจายอุณหภูมิของน้ำในภาชนะตามช่วงเวลาโดยใช้เชื้อเพลิงทดสอบสำหรับถ่านไม้มะขาม ถ่านไม้ยางพาราครั้งที่ 15 กิโลกรัมต่อครั้ง และเชื้อเพลิงซังข้าวโพดครั้งที่ 2.5 กิโลกรัมต่อครั้ง จากผลการทดลองพบว่าการเพิ่มอากาศเข้าช่วยในการเผาไหม้ส่งผลทำให้ระยะเวลาต้มน้ำให้เดือดมีระยะเวลาในช่วง 10 นาที สำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลทั้งสามชนิด ขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบการใช้เตาชีวมวลปกติ ที่ไม่มีการใช้อากาศช่วยในการเผาไหม้จะมีระยะเวลาที่ทำให้ น้ำเดือดประมาณ 30 นาที ซึ่งนานกว่าการใช้อากาศช่วยในการเผาไหม้ แต่เมื่อพิจารณาในช่วงของการรักษาอุณหภูมิ น้ำเดือดพบว่าการใช้อากาศช่วยเผาไหม้จะคงอุณหภูมิไว้ระยะเวลานานอย่างน้อย 30 นาที สำหรับเชื้อเพลิงถ่านไม้มะขาม และถ่านไม้ยางพารา ในส่วนของการใช้ซังข้าวโพด พบว่าจะคงอุณหภูมิสั้นกว่าเพียง 15-20 นาที ดังแสดงในภาพที่ 5



ก. ถ่านไม้มะขาม

ข. ซังข้าวโพด



ค. ถ่านไม้ยางพารา

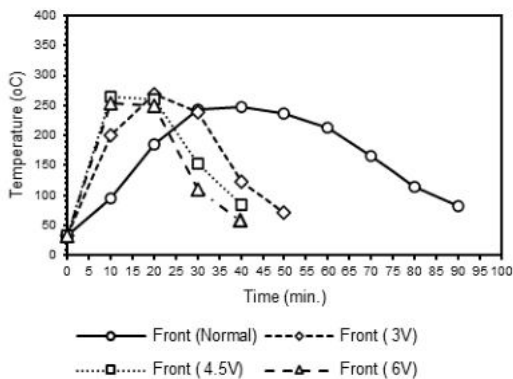
ภาพที่ 5 อุณหภูมิของน้ำตามช่วงเวลาทดสอบที่เงื่อนไขการป้อนอากาศช่วยเผาไหม้ต่าง ๆ

ผลการศึกษาระบายอุณหภูมิจากแผ่นเตาชีวมวล

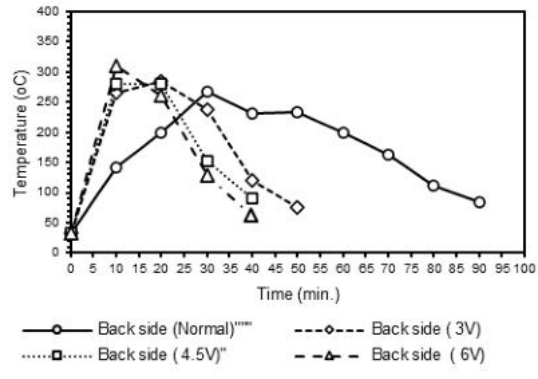
ผลการระบายอุณหภูมิจากแผ่นเตาชีวมวลโดยการตรวจวัดผนังด้านหน้า และด้านหลังของเตาชีวมวล พบว่า อุณหภูมิผนังเตาชีวมวลด้านหน้า จะมีค่าอุณหภูมิสูงสุด 250-300 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิด้านหลังของแผ่นเตาชีวมวล พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 250-350 องศาเซลเซียส ซึ่งจากการตรวจวัดยังพบว่า มีอุณหภูมิสูง ซึ่งถือว่าเป็นการสูญเสียความร้อนผ่านผนังเตาชีวมวล ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งต้องนำฉนวนความร้อนที่ดีกว่าวัสดุธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวลสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 6

ผลการศึกษาประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวล

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวล พบว่าเตาชีวมวลที่ไม่ป้อนอากาศเพื่อช่วยในการเผาไหม้มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่าการใช้อากาศเพื่อช่วยในการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทั้งนี้เมื่อเพิ่มอากาศในการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามปริมาณอากาศที่ช่วยในการไหม้ โดยเชื้อเพลิงชีวมวลจากซังข้าวโพดถือว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงกว่าถ่านไม้มะขาม และถ่านไม้ยางพารา ดังภาพที่ 7 ในส่วนประสิทธิภาพความร้อน พบว่าการใช้ถ่านไม้มะขาม จะมีประสิทธิภาพความร้อนในช่วงร้อยละ 21.03 – 22.42 เช่นเดียวกับเชื้อเพลิงถ่านไม้ยางพาราก็จะมีประสิทธิภาพความร้อนอยู่ในช่วงร้อยละ 25.26 – 32.19 ในส่วนของเชื้อเพลิงซังข้าวโพด พบว่ามีประสิทธิภาพความร้อนในช่วงร้อยละ 17 – 18 ดังภาพที่ 8

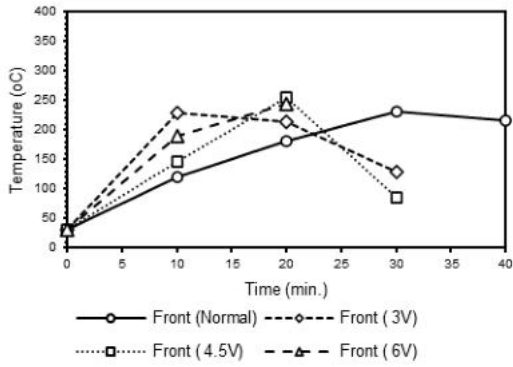


ผนังเตาด้านหน้า

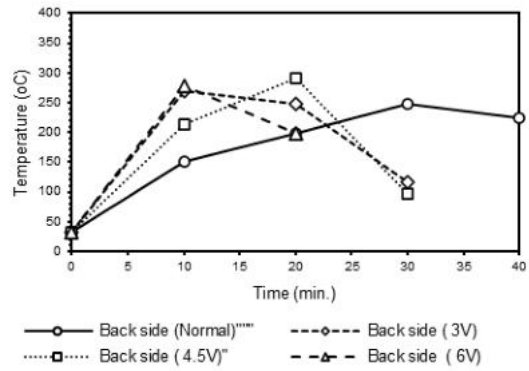


ผนังเตาด้านหลัง

ก.) อุณหภูมิผนังของเตาชีวภาพกรณีการเพิ่มอากาศในการเผาไหม้สำหรับเชื้อเพลิงถ่านไม้มะขาม

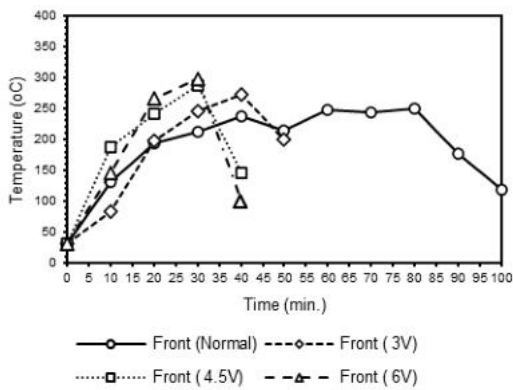


ผนังเตาด้านหน้า

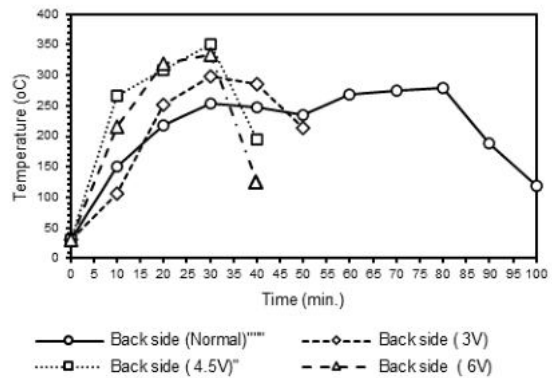


ผนังเตาด้านหลัง

ข. อุณหภูมิผนังของเตาชีวภาพกรณีการเพิ่มอากาศในการเผาไหม้สำหรับเชื้อเพลิงซังข้าวโพด



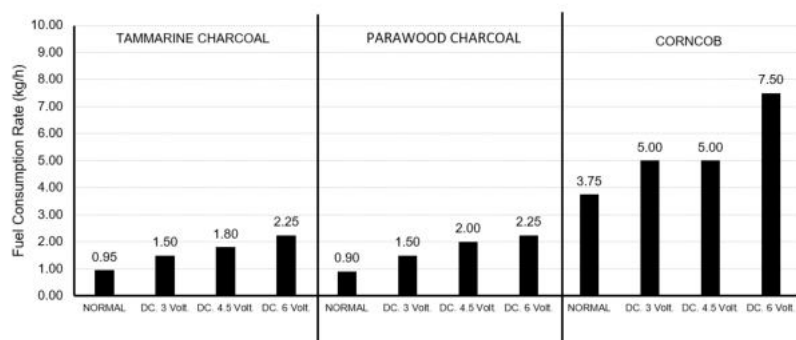
ผนังเตาด้านหน้า



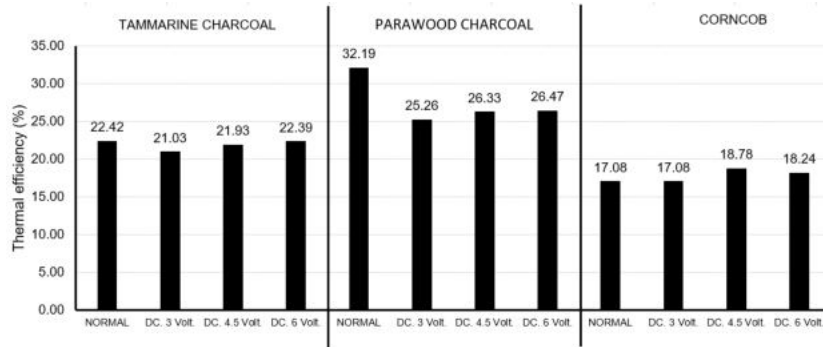
ผนังเตาด้านหลัง

ค. อุณหภูมิผนังของเตาชีวภาพกรณีการเพิ่มอากาศในการเผาไหม้สำหรับเชื้อเพลิงถ่านไม้ยางพารา

ภาพที่ 6 อุณหภูมิผนังเตาชีวมวลที่เงื่อนไขการป้อนอากาศเพื่อช่วยในการเผาไหม้ที่ระดับต่าง ๆ



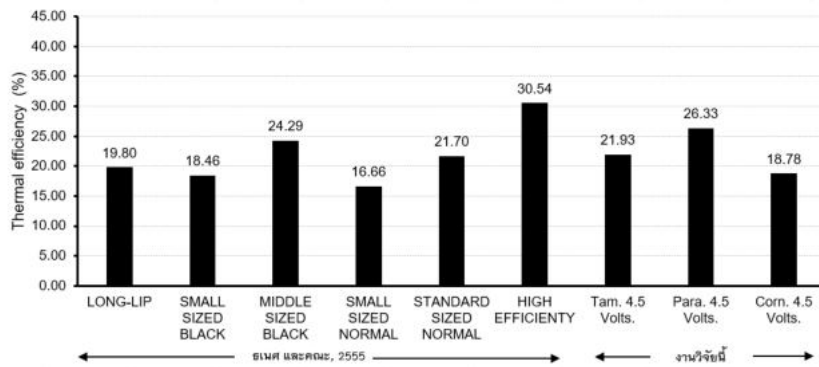
ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบการเพิ่มอากาศที่ระดับแรงดันไฟฟ้าขั้วปัดลมป้อนอากาศต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบการเพิ่มอากาศที่ระดับแรงดันไฟฟ้าซัพพลายป้อนอากาศต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพความร้อน

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาชีวมวลกับงานวิจัยอื่น

จากผลการศึกษาเตาชีวมวลในงานวิจัยนี้ พบว่าให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าเตาชีวมวลแบบอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ถ่านไม้มะขาม และถ่านไม้ยางพารา เป็นเชื้อเพลิง ในส่วนของเชื้อเพลิงซังข้าวโพดนั้นพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับเตาชีวมวลอื่น ทั้งนี้การเพิ่มอากาศช่วยในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นของงานวิจัยนี้จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ก็ส่งผลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ขณะเดียวกันการใช้อากาศช่วยเผาไหม้นั้นจะส่งผลมีระยะเวลาการใช้งานสั้นกว่าแบบไม่ใช้อากาศช่วยเผาไหม้ ในส่วนอัตราเร็วลมที่ป้อนเข้าช่วยเผาไหม้ที่เงื่อนไขของการทดลองนี้ในเชิงของประสิทธิภาพความร้อนพบว่ามีค่าแตกต่างกันน้อยมาก ดังแสดงภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพความร้อนกับเตาชีวมวลชนิดต่าง ๆ กับงานวิจัยนี้ [1]

ผลการประเมินระยะเวลาคืนทุนเตาชีวมวล

ระยะเวลาคืนทุนของเตาชีวมวลงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบกับการใช้แก๊สหุงต้มในครัวเรือน โดยมีความถี่ของการใช้งานทางด้านพลังงาน 5 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีค่าเชื้อเพลิงถ่านไม้มะขาม 7.50 บาทต่อกิโลกรัม ถ่านไม้ยางพารา 7.78 บาทต่อกิโลกรัม และซังข้าวโพด 0.20 บาทต่อกิโลกรัม โดยคิดค่าไฟฟ้า 4 บาทต่อหน่วย ราคาแก๊สหุงต้ม 385 บาทต่อถัง (15 กิโลกรัม) ทำการประเมินกรณีที่ใช้แก๊สหุงต้มประมาณ 3 ถังต่อเดือนในครัวเรือนซึ่งมีค่าใช้จ่ายประมาณ 14,400 บาทต่อปี ทั้งนี้ผลการประเมินพบว่า การใช้เตาชีวมวลที่ใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงจะมีระยะเวลาคืนทุน 0.38 ปี เนื่องจากราคาเชื้อเพลิงต่ำ ขณะเดียวกันการใช้ถ่านไม้มะขาม และถ่านไม้ยางพารา จะมีระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 3 ปี ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การประเมินระยะเวลาคืนทุนของเตาชีวมวลเมื่อเปรียบเทียบการทดแทนการใช้แก๊สหุงต้ม

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ	ถ่านไม้มะขาม	ถ่านไม้ยางพารา	ซังข้าวโพด
ต้นทุนคงที่ เตาชีวมวลพร้อมชุดป้อนอากาศ	5,000	5,000	5,000
ค่าใช้จ่ายแปรผัน			
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/h)	0.95	0.90	3.75
ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิง (บาท/ปี)	13,003	12,775	1,369
ค่าใช้จ่ายไฟฟ้า (บาท/ปี)	38.33	38.33	38.33
ผลตอบแทนประหยัดเทียบแก๊สหุงต้ม (บาท/ปี)	1,359	1,587	12,993
ระยะเวลาคืนทุน (เทียบแก๊สหุงต้ม) (ปี)	3.68	3.15	0.38

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเตาชีวมวลโดยบังคับอากาศเพื่อช่วยในการเผาไหม้ ที่อัตราการไหลของอากาศเชิงมวล 48.51, 59.54 และ 75.85 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลถ่านไม้ยางพารา ถ่านไม้มะขาม และซังข้าวโพด พบว่าการป้อนอากาศจะส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 18-27 เชื้อเพลิงถ่านไม้จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าเชื้อเพลิงซังข้าวโพด ซึ่งการป้อนอากาศช่วยเผาไหม้จะส่งผลทำให้การต้มน้ำเดือดได้เร็วกว่า แต่จะมีระยะเวลาการใช้งานสั้นกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเตาชีวมวลที่ไม่บังคับอากาศช่วยเผาไหม้ ในส่วนของอัตราการไหลของอากาศพบว่ามีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยสำหรับการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน ในส่วนของระยะเวลาคืนทุนของเตาชีวมวลนั้น จะประเมินโดยการศึกษาการทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มครัวเรือนพบว่าระยะเวลาคืนทุนภายในระยะเวลา 3.68 สำหรับถ่านไม้มะขาม ระยะเวลาคืนทุนภายใน 3.15 ปี กรณีใช้ถ่านไม้ยางพารา และระยะเวลาคืนทุนภายใน 0.38 ปี สำหรับการใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง

กิตติกรรมประกาศ

ทุนโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อมและปัญหาภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธเนศ ไชยชนะ, หมะกรือซม อาลี, และมัศยา หลงสมัน. (2555). การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหุงต้มระดับครัวเรือน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*. 32 (5), 626-630.
- [2] Raman, P., Murali, J., Sakthivadivel, D., Vigneswaran, V.S., (2013). Performance evaluation of three types of forced draft cook stoves using fuel wood and coconut shell. *Biomass and Bioenergy*. 49, 333-340.
- [3] Chendake A.D., Shelake P.S., Nalawade R. D. and Vairal S. D. (2014). Design and Development of Household Gasifier cum Water Heater. *International Journal of Current Engineering and Technology*. Special Issue-3, 208-212.
- [4] กิตติกร สาสุจิตต์, ณัฐภูมิ ดุษฎี, นิกราน หอมดวง, อภิชาติ สวนคำกอง, เสรี กังวานกิจ. (2552). การประเมินสมรรถนะเตาแก๊สชีวมวลสำหรับครัวเรือนโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง. *การประชุมวิชาการ ประจำปี 2551, วันที่ 4 – 5 ธันวาคม 2551, ณ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ มหาวิทยาลัยแม่โจ้*.

- [5] Pitaksa Suvarnakuta, P., Suwannakuta, P. (2006). Biomass Cooking Stove for Sustainable Energy and Environment. **The 2nd Joint International Conference on Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)**, 21-23 November 2006, Bangkok, Thailand.
- [6] Chen, Y., Shen, G., Su, S., Du, W., Huangfu, Y., Liu, G., Wang, X., Xing, B., S., K.R., Tao, S. (2016). Efficiencies and pollutant emissions from forced-draft biomass-pellet semi-gasifier stoves: Comparison of International and Chinese water boiling test protocols. **Energy for Sustainable Development**. 32, 22-30.
- [7] กัญยาพร ไชยวงศ์, ณัฐพล วิชาญ, อาริยะ แสนทวีสุข, จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล และชญติภรณ์ จันทร์หอม. (2559). ผลของอากาศป้อนต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา**. 1 (1), 37-42.
- [8] Ratnadhariya, J.K., Channiwala S.A. (2010). Experimental studies on molar distribution of CO/CO₂ and CO/H₂ along the length of downdraft wood gasifier. **Energy conversion and management**. 51, 452-458.
- [9] Jeeban, P., Sea C. (2014). Effect of torrefaction on the properties of corn stalk to enhance solid fuel qualities. **Energies**. 7, 5586-5600.
- [10] Wan, A., Ayaz, M. (2013). Biochar production from waste rubber-wood-sawdust and its potential use in sequestration. **Chemical and physical characterization Industrial crop and products**. 44, 18-24.

การเพิ่มคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบเพื่อผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยกระบวนการไพโรไลซิส

UPGRADING OF PALM OIL TO BE FUEL OIL BY PYROLYSIS PROCESS

จิระเมธ มาระกะ¹ ธรณิศวรรค์ ดีทยาหา^{2*} วาสนา คำโอภาส³ และทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์²

¹ สาขาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

² ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

³ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

Abstract

Quality upgrading of liquid fuel from crude palm oil and refined palm oil by pyrolysis process was carried out. The reaction temperature was performed during 350-450°C with Nitrogen flowrate of 700 mL/min and HZSM-5 catalyst in a range of 0-10%wt, the products from this process were bio oil, residue oil and gas. By increasing the amount of HZSM-5 catalyst, the bio oil and gas products were decreased and increased, respectively. The bio oil product showed a calorific value of around 40.63-41.62 MJ/kg and viscosity of around 7.88-10.49 cSt.

Fractional distillation of the bio oil product for quality upgrading was done at a reaction temperature of 450°C with 10%wt HZSM-5 could yield highest amount of bio gasoline and bio kerosene at around 60% of the bio oil.

Keyword: Crude Palm Oil, Pyrolysis Process, Biooil, Bio Gasoline, Bio Kerosene

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษากระบวนการเพิ่มคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบเพื่อผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มรีไฟน์ ซึ่งกำหนดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 350-450°C มีอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 700 mL/min และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0-10%wt เกิดผลิตภัณฑ์ออกมาทั้งหมด 3 กลุ่ม ได้แก่ น้ำมันชีวภาพ น้ำมันคงเหลือ และแก๊ส เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ทำให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพลดลง และมีปริมาณแก๊สเพิ่มขึ้น โดยน้ำมันชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 40.63-41.62 MJ/kg และมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 7.88-10.49 cSt

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการเพิ่มคุณภาพที่อุณหภูมิ 450°C และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 10%wt มากลั่นลำดับส่วน จะได้น้ำมันแก๊สโซลีนและเคโรซีนชีวภาพมากที่สุดที่ 60% ของปริมาณน้ำมันชีวภาพที่มากลั่นลำดับส่วน

คำสำคัญ: น้ำมันปาล์มดิบ, กระบวนการไพโรไลซิส, น้ำมันชีวภาพ, แก๊สโซลีนชีวภาพ, เคโรซีนชีวภาพ

*Corresponding author: Tel.: 089-4339130. E-mail address: thoranisdee@gmail.com

บทนำ

เนื่องจากราคาปาล์มน้ำมันตกต่ำทั่วโลก ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้นและมีความต้องการใช้ปาล์มน้ำมันที่ลดลง ทางกระทรวงพลังงานประเทศไทยได้แก้ไขปัญหาโดยการรับซื้อปาล์มดิบจำนวนมากเพื่อมาทำเป็นไบโอดีเซลใช้ในประเทศและนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า อีกทั้งองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (International Civil Aviation Organization, ICAO) กำหนดให้ตั้งแต่ปี 2555 เป็นต้นไป เครื่องบินทุกลำที่บินผ่านน่านฟ้ายุโรปต้องใช้หรือผสมน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับเครื่องบิน หรือน้ำมันไบโอดี (Biojet fuel) เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [1]

การนำน้ำมันปาล์มดิบ ที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ อีกทั้งยังมีราคาต้นทุนทางวัตถุดิบถูกกว่าน้ำมันชนิดอื่นๆ มาผ่านกระบวนการไพโรไลซิสหรือกระบวนการแครกกิง เพื่อให้ได้น้ำมันคุณภาพสูง ได้แก่ น้ำมันแก๊สโซลีนและเคโรซีน น้ำมันดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมขนส่ง รวมถึงการพัฒนาเป็นน้ำมันไบโอดี หรือผสมกับน้ำมันเจ็ทที่มาจากน้ำมันฟอสซิล เพื่อใช้ในอากาศยาน ช่วยลดปัญหา Emissions ที่ก่อให้เกิดปัญหาแก๊สเรือนกระจกได้

วิธีการและเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมและได้ผลลัพธ์ค่อนข้างดี ในการเพิ่มคุณภาพน้ำมัน คือวิธีไพโรไลซิสหรือการแตกตัว (Cracking) โดยมีการให้ความร้อนภายในเตาปฏิกรณ์ ด้วยเทคนิคต่างๆ ไฮโดรดีออกซิเจนชัน (Hydrodeoxygenation, HDO) ซึ่งมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เพื่อดึงอะตอมของออกซิเจนออกจากสารทำงาน โดยมีการเติมแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปด้วย น้ำมันที่ได้จะมีคุณภาพสูง ความหนืดต่ำ เมาใหม่ได้ดี มีค่าซีเทนสูง โดยกระบวนการไฮโดรแครกกิงนี้ ต้องอาศัยปัจจัยสำคัญในการควบคุมระบบ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ปริมาณแก๊สไฮโดรเจน และอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำมันที่ใช้ เป็นต้น สารเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานที่นิยมใช้จะอยู่ในกลุ่มของซีโอไลต์ (Zeolite) ซึ่งอาจมีการเติมโลหะ Transition ผสมบางชนิดที่เหมาะสมลงไป ให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆบนพื้นผิวของซีโอไลต์ เพื่อให้ได้ตัวเร่งปฏิกิริยาจำเพาะตรงตามความต้องการในกระบวนการ ไฮโดรแครกกิงสำหรับน้ำมัน HDO จะนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะตระกูลสูงเช่น อย่างไรก็ตาม ความดันที่ใช้ค่อนข้างสูง นอกจากนี้ ไฮโดรเจน จัดว่าเป็นพลังงานที่มีคุณภาพสูง เมื่อถูกผลิตมาเพื่อนำมาใช้เพื่อออกซิเจนอาจเป็นการทำลายคุณภาพพลังงาน [2]

มีการศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ในการผลิตสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในสภาพไอ โดยความดันในกระบวนการไม่สูงมาก จึงอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ในการปรับปรุงน้ำมันเครื่องใช้แล้ว โดยไม่ต้องใช้กระบวนการ HDO ซึ่งโครงการนี้จะใช้เทคนิคดังกล่าว

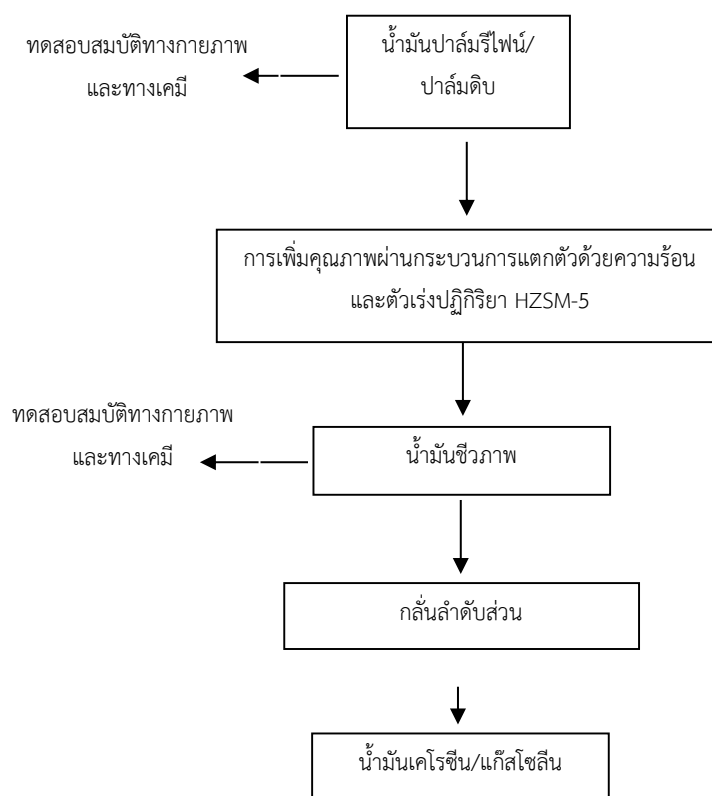
มีงานวิจัยที่พัฒนาการผลิตน้ำมันชีวภาพรวมถึงการเพิ่มคุณภาพของน้ำมันพืชโดยการแตกตัวด้วยตัวเร่งสามารถผลิตน้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงน้ำมันในเชิงพาณิชย์ จากงานวิจัย Parvizesdghy และคณะ[3] ทำการศึกษาการแตกตัวด้วยความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันละหุ่ง ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง พบว่าน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผ่านกระบวนการมีคุณภาพและค่าความร้อนที่สูงขึ้น และงานวิจัยของ จันทนิภา เหล่าวานิชวัฒนา และคณะ[4] ทำการศึกษาการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของน้ำมันพืช โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ผ่านเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง โดยมีลูกบอลเซรามิกบรรจุในปฏิกรณ์ พบว่าการบรรจุลูกบอลเซรามิกในปฏิกรณ์สามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้และให้สัดส่วนผลิตภัณฑ์เป็นเชื้อเพลิงเหลวมากที่สุดและมีค่าการเกิดเป็นองค์ประกอบของน้ำมันดิบที่ให้เคโรซีน 57.7 %wt ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่มากขึ้น และจากงานวิจัย กษวรรต ทิพพหา และคณะ[5] ทำการศึกษาโดยกำหนดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาไว้ที่ 500 °C มีอัตราการไหลของแก๊สไฮโดรเจนที่ 200- 600 ml/min และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 สัดส่วน 0-10%wt เมื่อเพิ่มแก๊สไฮโดรเจนทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันชีวภาพเพิ่มขึ้นและเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ทำให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพลดลงและมีปริมาณแก๊สที่เพิ่มขึ้น เมื่อนำมากลั่นลำดับส่วนพบว่าปริมาณน้ำมันดีเซลชีวภาพ 76.9 %wt ค่าความร้อนอยู่ในช่วง 43.38-43.51 MJ/kg และมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 4.52-4.96 cSt ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ อีกทั้งงานวิจัยของจิระเมธ มาระกะ และคณะ[6] ได้ทำการศึกษาการ

ปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเครื่องใช้แล้วจากโรงไฟฟ้า ด้วยกระบวนการเช่นเดียวกับงานวิจัย [5] พบว่าเทคนิคดังกล่าวช่วยเพิ่มค่าความร้อนและช่วยลดความหนืดของน้ำมันเครื่องใช้แล้วลงได้ และเมื่อทำการกลั่นลำดับส่วน น้ำมันที่ได้ส่วนใหญ่อยู่ในรูปน้ำมันเคโรซีนและดีเซล ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในอุตสาหกรรมได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมีแนวคิดที่จะผลิตน้ำมันชีวภาพ โดยผ่านการให้ความร้อนภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน (Thermal Cracking) และการปรับโครงสร้างให้เข้าใกล้น้ำมันแก๊สโซลีนและเคโรซีน โดยนำไอน้ำมันที่ได้ผ่านเบดตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) ที่เป็นสาร HZSM-5 ไอที่ได้จะถูกควบแน่น และนำมาแยกหาสัดส่วนน้ำมันชนิดต่างๆ

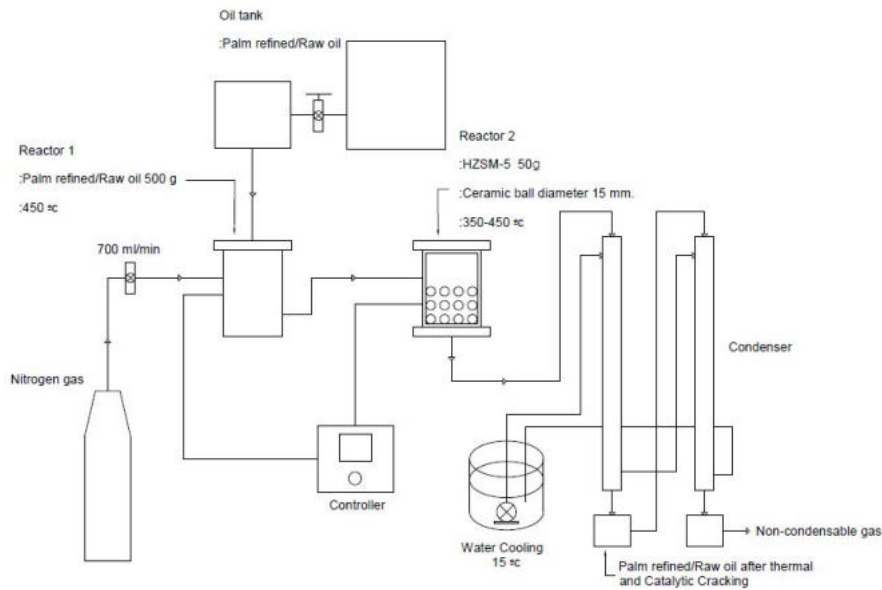
วิธีการวิจัย

แบบแผนขั้นตอนการทดสอบจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการผลิตน้ำมันคุณภาพสูงผ่านการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทดสอบการผลิตน้ำมันชีวภาพผ่านการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา

ในงานวิจัยนี้เป็นศึกษาการผลิตน้ำมันชีวภาพแบบต่อเนื่องจากน้ำมันพืชโดยการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 โดยการทดสอบจะทำปฏิกิริยาผ่านเครื่องปฏิกรณ์ที่มีเซรามิกบอล ช่วยรักษาอุณหภูมิดังภาพที่ 2



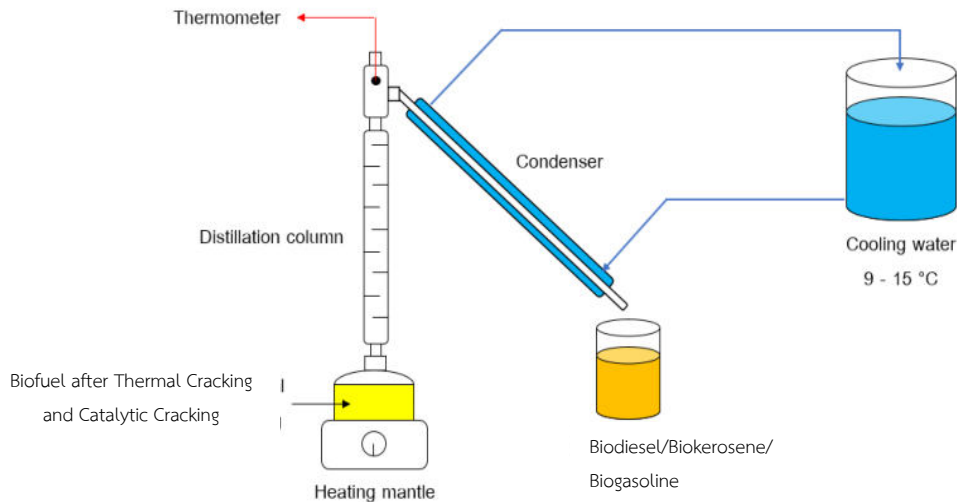
ภาพที่ 2 แผนภาพเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่ใช้ในการทดสอบ

สำหรับขั้นตอนการทดสอบ จะทำการทดสอบผ่านเครื่องปฏิกรณ์ที่ออกแบบแสดงดังภาพที่ 2 โดยบรรจุน้ำมันปาล์มดิบ 2000 กรัม ใส่ในถังน้ำมัน (oil tank) น้ำมันจากถังน้ำมันจะไหลสู่เตาปฏิกรณ์ที่ 1 ที่มีความจุ 500 กรัม ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 350-450 °C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน อัตราการไหลไนโตรเจน 700 มล./นาที ที่ความดันบรรยากาศ จากนั้นน้ำมันพีจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอไหลผ่านเตาปฏิกรณ์ 2 โดยเมื่อปริมาตรน้ำมันในเตาปฏิกรณ์ 1 ลดลง น้ำมันจากถังจะไหลมาเติมให้ได้ความจุ 500 กรัม สามารถดำเนินการผลิตน้ำมันชีวภาพได้อย่างต่อเนื่อง

ในเตาปฏิกรณ์หลักที่ 2 จะบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ปริมาณ 0-10%wt ที่มีเซรามิกบอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. บรรจุอยู่ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิทำปฏิกิริยา 350-450 °C จากนั้นไอน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาแล้วจะกลั่นตัวที่คอนเดนเซอร์ อุณหภูมิคอนเดนเซอร์ที่ 15 °C เรียกของเหลวที่กลั่นตัวนี้ว่า “น้ำมันชีวภาพ” ซึ่งจะถูกนำมาหาค่าความร้อน ค่าความหนืด ของน้ำมัน หลังจากได้น้ำมันชีวภาพ จะนำมากลั่นลำดับส่วน เพื่อแยกของเหลวที่จุดเดือดต่างๆ ต่อไป

กระบวนการกลั่นลำดับส่วน

น้ำมันชีวภาพที่ได้จากกระบวนการแรกก็ง นำมาผ่านการกลั่นลำดับส่วนดังภาพที่ 3 โดยควบคุมช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึง 160°C ซึ่งจุดเดือดเป็นของแก๊สโซลีน ช่วง 161 – 300°C คือจุดเดือดของเคโรซีน และช่วง 300 – 350°C คือจุดเดือดของดีเซล และเรียกชื่อเพลิงเหลวหลังการกลั่นลำดับส่วนว่า น้ำมันแก๊สโซลีนชีวภาพ (Green Gasoline) น้ำมันเคโรซีนชีวภาพ (Green Kerosene) และน้ำมันดีเซลชีวภาพ (Green Diesel) ตามลำดับ



ภาพที่ 3 แบบจำลองกระบวนการกลั่นลำดับส่วน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันตั้งต้น

1.1 ค่าความร้อนสูงและค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบและปาล์มรีไฟน์

น้ำมันปาล์มดิบ ทดสอบค่าความร้อนสูงด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) และค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C ด้วยเครื่อง Saybolt Viscometer ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM แสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 สมบัติของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มรีไฟน์

พารามิเตอร์	หน่วย	มาตรฐานทดสอบ	น้ำมันปาล์มดิบ	น้ำมันปาล์มรีไฟน์
High Heating Value	MJ/kg	ASTM 240-64	40.58	38.64
Viscosity at 40°C	cSt	ASTM D88	31.41	31.76

จากตารางที่ 1 ค่าความร้อนและค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบ แสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มดิบมีสมบัติด้านค่าความร้อนที่สูง แต่ความหนืดค่อนข้างมาก จึงต้องมีการพัฒนาคุณภาพของน้ำมันให้ดีขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานในเครื่องยนต์กังหันก๊าซหรือเครื่องยนต์อื่นๆ ได้โดยมีผลกระทบต่อเครื่องยนต์น้อยที่สุด

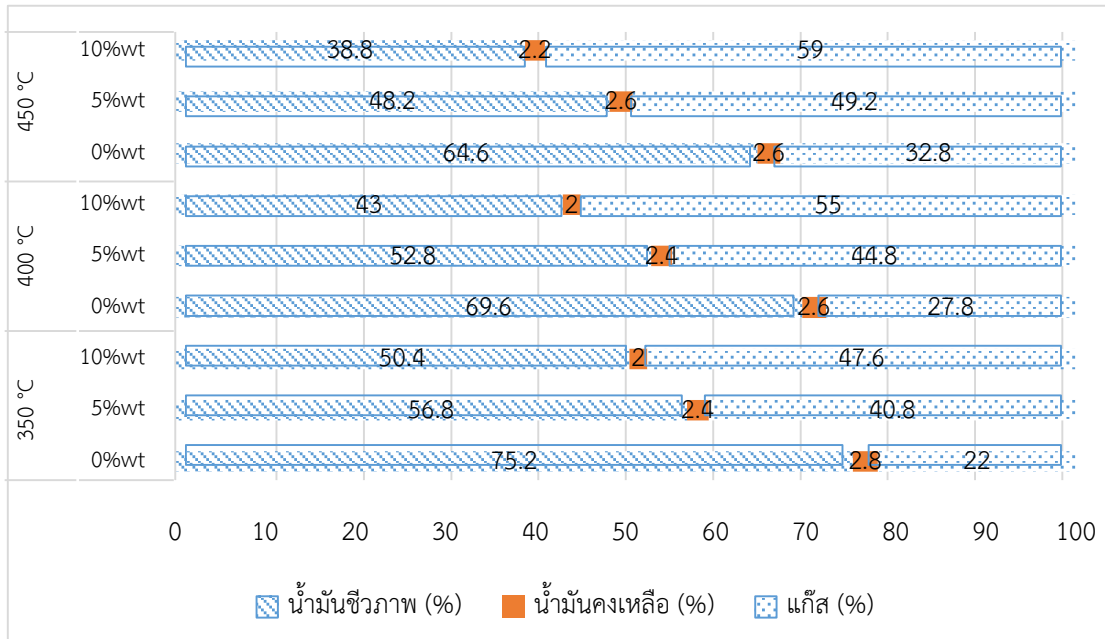
2. น้ำมันชีวภาพหลังจากกระบวนการเพิ่มคุณภาพ

ในงานวิจัยนี้กระบวนการเพิ่มคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มรีไฟน์ผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ทำการศึกษาโดยกำหนดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 350-450°C มีอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 700 ml/min และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0%wt, 5%wt และ 10%wt

ในกระบวนการเพิ่มคุณภาพน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มรีไฟน์ผ่านการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดผลิตภัณฑ์ออกมาทั้งหมด 3 กลุ่ม ได้แก่ น้ำมันชีวภาพ (Liquid Product) น้ำมันคงเหลือ (Heavy Oil) และแก๊ส (Gas)

2.1 น้ำมันชีวภาพหลังจากกระบวนการเพิ่มคุณภาพจากน้ำมันปาล์มรีไฟน์

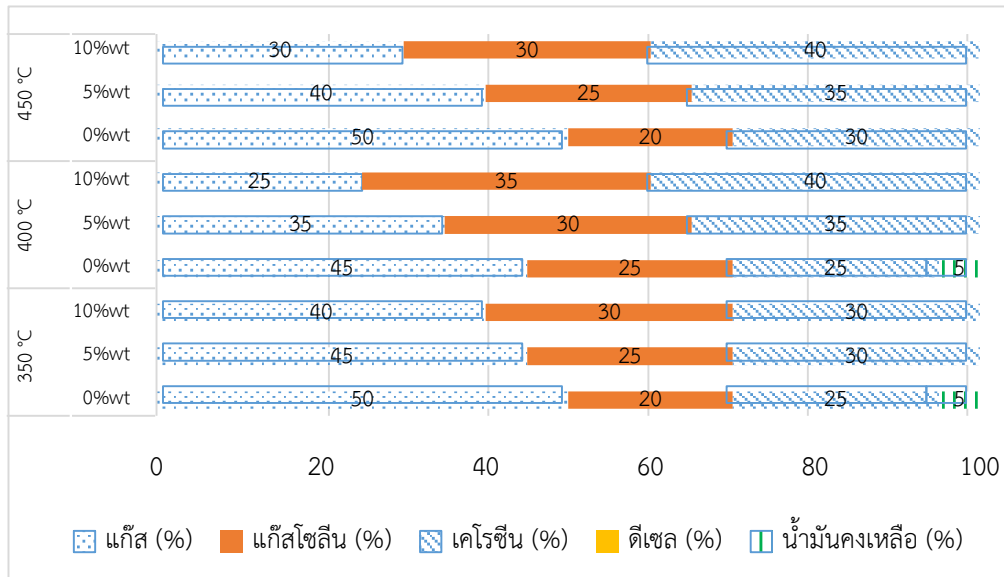
ร้อยละของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการเพิ่มคุณภาพของน้ำมันปาล์มรีไฟน์แสดงได้ในภาพที่ 4 ดังนี้



ภาพที่ 4 ร้อยละของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการเพิ่มคุณภาพของน้ำมันปาล์มรีไฟน์ ที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 700 ml/min ที่อุณหภูมิกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งการทำปฏิกิริยาที่ 350-450°C

จากภาพที่ 4 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ทำให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพมีลดลง และมีปริมาณแก๊สเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณ HZSM-5 สารตั้งต้นจะเกิดการแตกตัวมากขึ้น สายโซ่ในโครงสร้างโมเลกุลสั้นลงเกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 350-450°C ที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาเท่ากัน พบว่ามีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเพิ่มขึ้น และปริมาณของเหลวลดลง

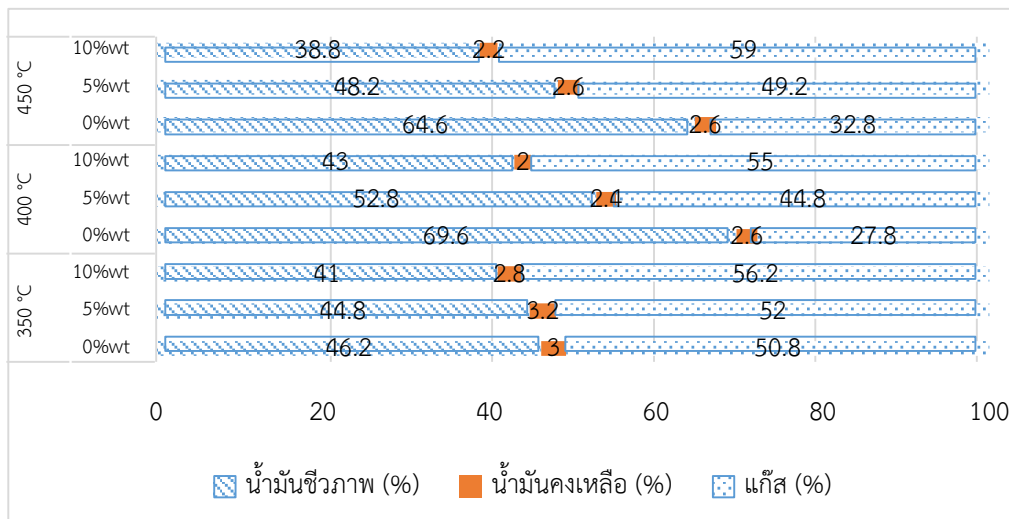
ร้อยละของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันชีวภาพแสดงได้ในภาพที่ 5 ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันชีวภาพ ส่วนใหญ่คือน้ำมันเคโรซีนและแก๊สโซลีนที่ 25-30% โดยพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 จะได้ปริมาณน้ำมันเคโรซีนและแก๊สโซลีนเพิ่มมากขึ้น และที่อุณหภูมิ 400°C จะได้น้ำมันเคโรซีนและแก๊สโซลีนมากที่สุด



ภาพที่ 5 ร้อยละผลิตภัณฑ์จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันชีวภาพ (น้ำมันปาล์มรีไฟน์) ที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 700 ml/min อุณหภูมิกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งการทำปฏิกิริยาที่ 350-450°C

2.2 น้ำมันชีวภาพหลังจากกระบวนการเพิ่มคุณภาพจากน้ำมันปาล์มดิบ

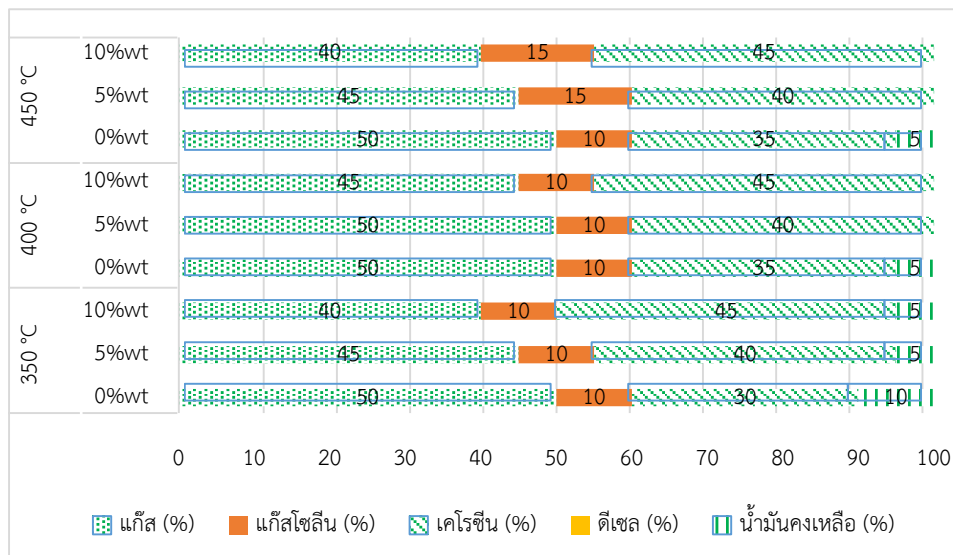
ร้อยละของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการเพิ่มคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบแสดงได้ในภาพที่ 6 ดังนี้



ภาพที่ 6 ร้อยละของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการเพิ่มคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบ ที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 700 ml/min อุณหภูมิกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งการทำปฏิกิริยาที่ 350-450°C

จากภาพที่ 6 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ทำให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพมีลดลง และมีปริมาณแก๊สเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณ HZSM-5 สารตั้งต้นจะเกิดการแตกตัวมากขึ้น สายโซ่ในโครงสร้างโมเลกุลสั้นลง เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำมันชีวภาพลดลง โดยเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาเท่ากัน พบว่ามีปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเพิ่มขึ้น และปริมาณของเหลวลดลง

จากนั้นจึงนำน้ำมันชีวภาพจากปาล์มดิบไปกลั่นลำดับส่วน โดยร้อยละของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันชีวภาพแสดงได้ในภาพที่ 3 โดยพบว่าผลิตภัณฑ์เหลวที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันชีวภาพส่วนใหญ่คือน้ำมันเคโรซีนและแก๊สโซลีนที่ 40-60% โดยพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 จะได้ปริมาณน้ำมันเคโรซีนและแก๊สโซลีนเพิ่มมากขึ้น และมากกว่าการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันชีวภาพจากน้ำมันปาล์มรีไฟน์ โดยที่อุณหภูมิ 450°C ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 10%wt จะให้ปริมาณน้ำมันเคโรซีนและแก๊สโซลีนมากที่สุดที่ 60% ของเหลวทั้งหมด



ภาพที่ 7 ร้อยละผลิตภัณฑ์จากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันชีวภาพ (น้ำมันปาล์มดิบ) ที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 700 ml/min อุณหภูมิกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อนและตัวเร่งการทำปฏิกิริยาที่ 350-450°C

2.3 คุณสมบัติกายภาพของเชื้อเพลิงเหลว

เมื่อทำการทดสอบค่าความร้อนสูง และค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C ของน้ำมันชีวภาพจากน้ำมันปาล์มรีไฟน์แสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

จากตารางที่ 2 น้ำมันชีวภาพจากปาล์มรีไฟน์และปาล์มดิบมีค่าความร้อน 40.63 และ 41.62 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับดีเซลและเคโรซีน แต่ค่าความหนืดของน้ำมันชีวภาพที่ได้ ยังมีค่าสูง ซึ่งในการใช้งาน อาจนำน้ำมันชีวภาพที่ได้มาผสมกับน้ำมันจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในสัดส่วนที่เหมาะสม สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลลงได้

ตารางที่ 2 สมบัติของน้ำมันชีวภาพจากน้ำมันปาล์มรีไฟน์และน้ำมันปาล์มดิบหลังผ่านกระบวนการเพิ่มคุณภาพ

พารามิเตอร์	หน่วย	มาตรฐานทดสอบ	น้ำมันชีวภาพจากการทดสอบ ^a		น้ำมันจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์	
			ปาล์มรีไฟน์	ปาล์มดิบ	น้ำมันดีเซล	น้ำมันเคโรซีน
Calorific Value	MJ/kg	ASTM 240-64	40.63	41.62	42.9 [7]	43.0 [7]
Viscosity at 40°C	cSt	ASTM D88	7.88	10.49	3.1 [8]	1-1.9 [8]

^a น้ำมันชีวภาพที่ได้จากการทดสอบที่อุณหภูมิ 350°C HZSM-5 10%wt

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษากระบวนการเพิ่มคุณภาพน้ำมันปาล์มรีไฟน์และน้ำมันปาล์มดิบ ผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยความร้อน และตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ทำการศึกษาโดยกำหนดอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 350-450°C มีอัตราการไหลของแก๊ส ไนโตรเจน 700 ml/min และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 0%wt, 5%wt และ 10%wt เกิดผลิตภัณฑ์ออกมาทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมันชีวภาพ น้ำมันคงเหลือ และแก๊ส โดยในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 ทำให้ปริมาณน้ำมันชีวภาพมีลดลง และมีปริมาณแก๊สเพิ่มขึ้น โดยน้ำมันชีวภาพที่ได้มีค่าความร้อนอยู่ในช่วง 40.63-41.62 MJ/kg และมีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 7.88-10.49 cSt

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำมันชีวภาพมากลั่นลำดับส่วนตามช่วงจุดเดือด เกิดเป็นน้ำมันแก๊สโซลีนและเคโรซีนชีวภาพเป็นส่วนใหญ่ สำหรับน้ำมันปาล์มดิบ ที่ช่วงอุณหภูมิ 450°C และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5 10%wt จะให้สัดส่วนน้ำมันแก๊สโซลีนและเคโรซีนชีวภาพมากที่สุด ที่ 60% ของน้ำมันชีวภาพที่มากลั่นลำดับส่วน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยระบบทางอุณหภาพ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย และโครงการการเตรียมและการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพคุณภาพสูง ผ่านการพัฒนากระบวนการผลิต ภายใต้ทุนโครงการวิจัยไทย-จีน 2560 กลุ่มเรื่อง พลังงาน(พลังงานทดแทน) สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cames M, Graichen J, Siemons A and Cook V, Emission reduction targets for international aviation and shipping. (2015).
- [2] Kasim, F.H., and Amin, N.A.S. "The effect of Different SiO₂/Al₂O₃ Ratios of H-ZSM-5 on the Conversion of Palm Oil to Liquid Fuels," 15th Symposium of Malaysian Chemical Engineers (SOMChe 2001), Vol. A4-2, 2001, pp.78-83.
- [3] Paravizedggy R., Sadrameli S.M. and Darian J.T. (2015). Upgraded Biofuel Diesel Production by Thermal Cracking of Castor Biodiesel. Energy & Fuel. 30,326-333.
- [4] จันทนิภา เหล่าวณิชวัฒนา อรรถกร อาสนคำ ธรณิศวรรค์ ดีทายาท ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2559), การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชใช้แล้วผ่าน HZSM-5 คัดตะไลติกแครกกิง, การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายทอดผลงาน ความร้อน และมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 15, สุราษฎร์ธานี
- [5] กษวรรณ ทิพพหา ธรณิศวรรค์ ดีทายาท ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2560), การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลผ่านกระบวนการแตกตัวด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา HZSM-5, การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายทอดผลงาน ความร้อน และมวล ในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 16, เชียงใหม่
- [6] จิระเมธ มาระกะ อรรถกร อาสนคำ ธรณิศวรรค์ ดีทายาท ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ มานพ วีเกษ ธวัช สมณา และอดิ พงศ์ นันทพันธ์ (2563), การนำน้ำมันเครื่องใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง, การประชุมวิชาการ เรื่อง การถ่ายทอด พลังงาน ความร้อน และมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน และกระบวนการ ครั้งที่ 19, จันทบุรี
- [7] I. MacLeay, K. Harris, and A. Annut, Annex A: Energy and commodity balances, conversion factors and calorific values, in Digest of UK Energy Statistics. 2010, National Statistics.

- [8] Shehatta M., ElKotb M. and Saleh H. (2014). Combustion Characteristics for Turbulent Prevaporized Premixed Flame Using Commercial Light Diesel and Kerosene Fuels. Journal of Combustion. 1-17. 10.1155/2014/363465.

กระบวนการแปรสภาพขานอ้อยที่เหมาะสมด้วยวิธีการทางกายภาพร่วมกับเคมีเพื่อเป็นสับเสท
ในการผลิตเอทานอล

Optimization of Bagasse Pretreatment Processes with Physicochemical Method As
A Substrate in The Ethanol Production

อดุลย์สมาน สุขแก้ว^{1*} และมุอำมัตคอยรี ทะยียากา¹

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
ตำบลสะเตง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000

Abstract

This research aims to study the suitable process of processing bagasse by physical and chemical methods. It was found that the optimum conditions for bagasse processing were 3 % W/V of sodium hydroxide concentrations at microwave heat of 700 watts at 20 minutes, the reducing sugar content was $1,453.25 \pm 2.22$ mg/ml. The study gave 46.36% of waste residue equal. It is highly feasible to reduce sugar solution from bagasse as a renewable energy source. The initial substrate is a convert of low-cost ethanol production in the future. We can add income to the community and reduce the amount of bagasse another way as well.

Keywords: Pretreatment, Physical and Chemical Process, Ethanol, Bagasse

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษากระบวนการแปรสภาพขานอ้อยที่เหมาะสมด้วยวิธีการทางกายภาพร่วมกับทางเคมี พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการแปรสภาพขานอ้อยคือสภาวะที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตร ที่ความร้อนคลื่นไมโครเวฟ เท่ากับ 700 วัตต์ ที่เวลา 20 นาที ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เท่ากับ $1,453.25 \pm 2.22$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และกากเหลือทิ้งเท่ากับ 46.36 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นไปได้สูงมากในการนำสารละลายน้ำตาลรีดิวซ์จากขานอ้อยนำมาเป็นแหล่งพลังงานทดแทนและสับเสทตั้งต้นในการผลิตเอทานอลต้นทุนต่ำในอนาคตต่อไป สามารถเพิ่มรายได้ให้กับชุมชน และลดปริมาณขานอ้อยอีกทางหนึ่งด้วย

คำสำคัญ: การแปรสภาพ วิธีการทางกายภาพร่วมกับเคมี เอทานอล ขานอ้อย

บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจทางการเกษตรที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งสามารถเพาะปลูกได้เกือบทุกภาคของประเทศไทย โดยใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลและผลิตภัณฑ์ต่างๆ สำหรับอุปโภค บริโภค ทั้งในประเทศและต่างประเทศ และยังสร้างรายได้จากการส่งออกน้ำตาลให้ประเทศ ทำให้เกษตรกรนิยมปลูกอ้อยมากขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบันการปลูกอ้อยในประเทศไทย มีมากกว่า 11 ล้านไร่ และจัดเป็นประเทศอันดับต้นๆที่มีการปลูกอ้อยมากที่สุด ทำให้มีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยทั่วประเทศ ในเขตพื้นที่รวม 47 จังหวัด การผลิตอ้อยเพื่ออุตสาหกรรมมีมากในประเทศส่งผลให้เกิดขานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อม การนำขานอ้อยมาแปรสภาพในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่

*Corresponding author: Tel.: 08-42661740 E-mail address: adulsman.s@yru.ac.th

สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การผลิตเอทานอล และอาหารสัตว์ ซึ่งในองค์ประกอบหลักของขานอ้อยประกอบด้วย เซลลูโลส ประมาณ 45-55 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส ประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ และ ลิกนิน 18-24 เปอร์เซ็นต์ [1] ซึ่ง การผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสประกอบด้วย 3 ขั้นตอนได้แก่ การปรับสภาพ การย่อยสลายและการหมัก ซึ่งการปรับสภาพเป็นขั้นตอนการทำลายโครงสร้างที่แข็งแรงของเซลลูโลส การปรับสภาพทำได้ ทั้งวิธีทางเคมี เช่นการย่อยด้วยกรดหรือเบส รวมถึงวิธีทางกายภาพ เช่น การม่ การบด การใช้รังสี (Electron Beam Irradiation) และการใช้คลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น [2] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจการนำขานอ้อยโดยศึกษากระบวนการที่เหมาะสมด้วยวิธีการแปรสภาพทางกายภาพร่วมกับทางเคมีเพื่อสามารถนำสารละลายโมเลกุลเดี่ยวนำมาเป็นสับเสทเริ่มต้นในการผลิตเอทานอล และเป็นการกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้อีกทางหนึ่ง

วิธีการวิจัย

การเตรียมขานอ้อย

นำขานอ้อยมาตัดให้มีขนาด 1-2 เซนติเมตร ลดความชื้นโดยการตากแดดเป็นเวลา 3-5 วัน จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำมาบดด้วยเครื่อง ultra centrifugal mill แล้วทำการคัดแยกขนาด particle size ด้วยเครื่อง sieve test จนได้ขนาดของขานอ้อย 500 ไมโครเมตร โดยบรรจุในภาชนะแบบปิดที่อุณหภูมิห้อง [3]

การแปรสภาพขานอ้อยด้วยวิธีการทางกายภาพร่วมกับเคมี

นำขานอ้อยที่ผ่านการอบแห้ง เติมน้ำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ (V/V) แล้วให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300, 400, 500, 600 และ 700 วัตต์ เป็นเวลา 5, 10 และ 20 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ โดยวิธี 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) และกากของขานอ้อยที่ผ่านการแปรสภาพนำมาวิเคราะห์ความชื้น [2, 4]

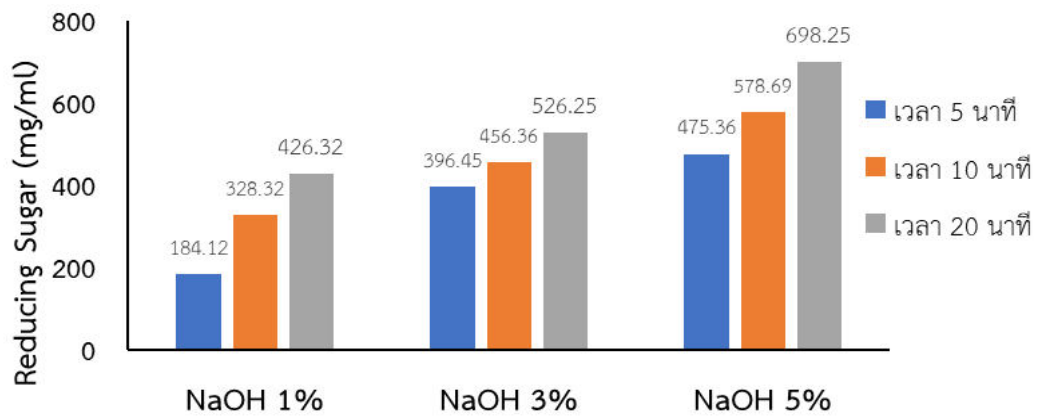
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ขานอ้อยจัดเป็นผลผลิตจากกระบวนการแปรรูปอ้อยและจัดเป็นกลุ่มลิกโนเซลลูโลสประเภทหนึ่งโดยส่วนขานอ้อยจะมีส่วนที่เป็นเปลือกนอกที่แข็งและมีเนื้อในที่นุ่มดังแสดงในภาพที่ 1 การใช้ประโยชน์จากขานอ้อยมีหลากหลายเช่นการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยหมักชีวภาพ แต่โดยทั่วไปมักนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ แต่ในทางปฏิบัติของผู้ประกอบการในเขตพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนใต้มักนำขานอ้อยมาทิ้งทำให้เกิดการเน่าเสีย และส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศ ซึ่งในการทดลองได้ศึกษาถึงความชื้น และการแปรสภาพด้วยวิธีการทางกายภาพและเคมี พบว่าความชื้นของขานอ้อยมีค่าเท่ากับ 52.36 ± 0.54 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการทดลองมีความใกล้เคียงกับ

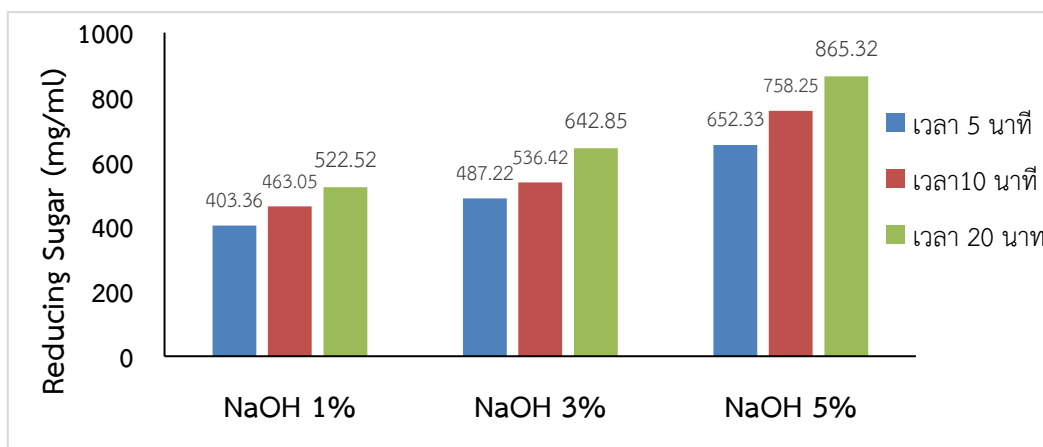


ภาพที่ 1 ขานอ้อย บริเวณ ตำบลสะเตง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา

การแปรสภาพขานอ้อยด้วยวิธีการทางกายภาพร่วมกับเคมีขานอ้อยที่ผ่านการอบแห้ง เดิมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ (W/V) แล้วให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300, 400, 500, 600 และ 700 วัตต์ เป็นเวลา 5, 10 และ 20 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) พบว่า การใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ ที่ 300 วัตต์ เวลา 5, 10 และ 20 นาที พบว่าในความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1,3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ NaOH 1% (184.12±0.33, 328.32±0.52 และ 426.32±0.12 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) , NaOH 3 % (396.45±0.75, 456.36±0.44 และ 526.25±0.45 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และ NaOH 5% (475.36±0.12, 578.69±0.32 และ 698.25±0.11 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2 การใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ ที่ 400 วัตต์ เวลา 5, 10 และ 20 นาที พบว่าในความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1,3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ NaOH 1% (403.36±0.52, 463.05±1.47 และ 522.52 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) , NaOH 3 % (487.22±0.25, 536.42±0.66 และ 642.85±1.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และ NaOH 5% (802.36±1.65, 945.63±2.33 และ 1,245.66±0.98 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3



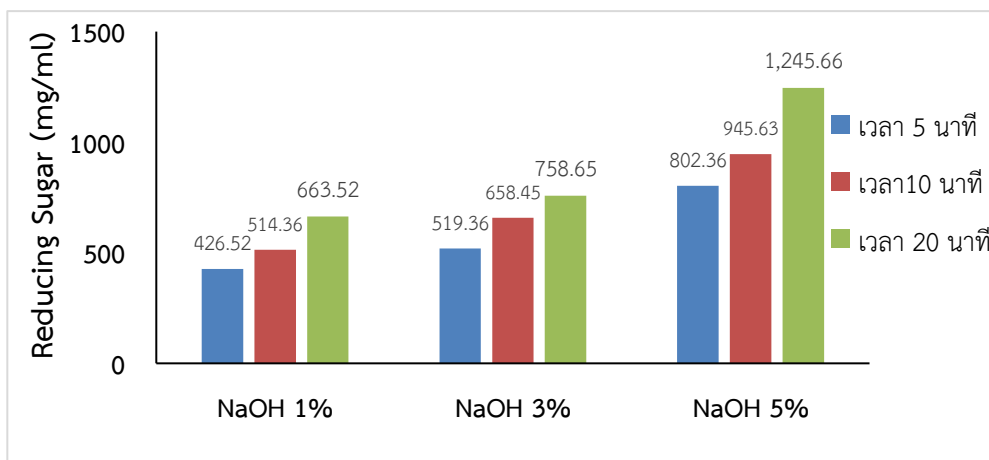
ภาพที่ 2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากขานอ้อยที่ผ่านการแปรสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1,3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ (W/V) แล้วให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ เป็นเวลา 5, 10 และ 20 นาที



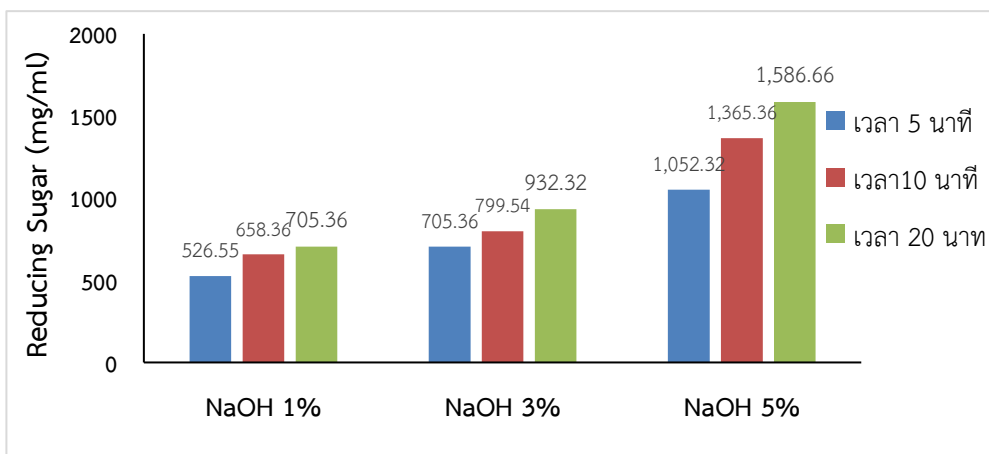
ภาพที่ 3 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากขานอ้อยที่ผ่านการแปรสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1,3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ (W/V) แล้วให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ เป็นเวลา 5, 10 และ 20 นาที

การใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ ที่ 500 วัตต์ เวลา 5, 10 และ 20 นาที พบว่าในความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1,3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ NaOH 1% (426.52 ± 1.63 , 514.36 ± 2.22 และ 663.52 ± 0.55 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร), NaOH 3% (519.36 ± 3.65 , 658.45 ± 6.36 และ 758.65 ± 2.33 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และ NaOH 5% (802.36 ± 1.22 , 945.63 ± 3.66 และ $1,245.66 \pm 3.21$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4

การใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ ที่ 600 วัตต์ เวลา 5, 10 และ 20 นาที พบว่าในความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1,3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ NaOH 1% (526.55 ± 1.96 , 658.36 ± 4.25 และ 705.36 ± 3.23 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร), NaOH 3% (705.36 ± 6.22 , 799.54 ± 8.32 และ 932.32 ± 3.22 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และ NaOH 5% ($1,052.32 \pm 1.36$, $1,365.36 \pm 7.36$ และ $1,586.66 \pm 4.25$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5



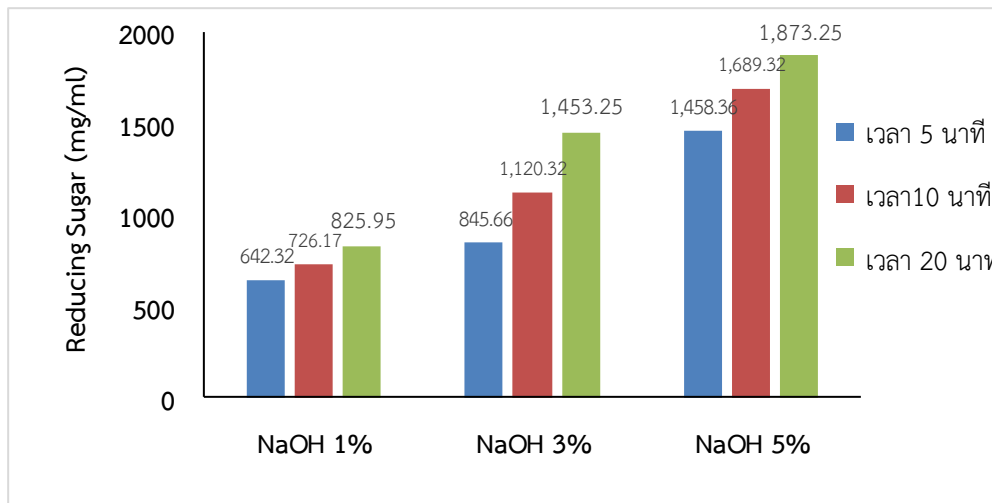
ภาพที่ 4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากขาน้อยที่ผ่านการแปรสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1,3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ (W/V) แล้วให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ เป็นเวลา 5, 10 และ 20 นาที



ภาพที่ 5 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากขาน้อยที่ผ่านการแปรสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1,3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ (W/V) แล้วให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 5, 10 และ 20 นาที

การใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ ที่ 700 วัตต์ เวลา 5, 10 และ 20 นาที พบว่าในความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1,3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ NaOH 1% (642.32 ± 3.26 , 726.17 ± 5.96

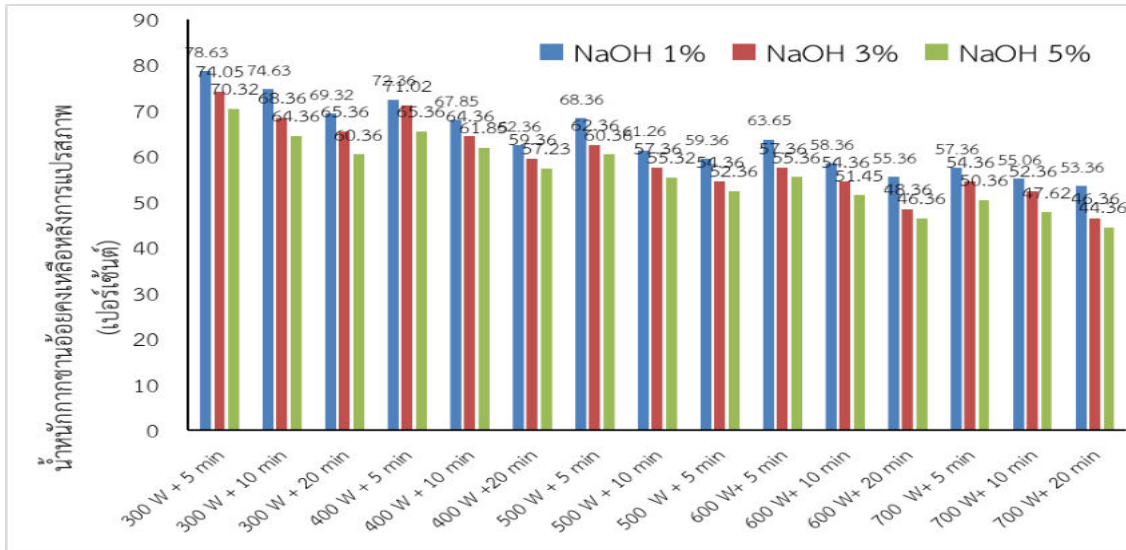
และ 825.95 ± 4.02 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) , NaOH 3 % (845.66 ± 5.32 , $1,120.32 \pm 14.32$ และ $1,453.25 \pm 2.22$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และ NaOH 5% ($1,458.36 \pm 4.87$, $1,689.32 \pm 2.36$ และ $1,873.25 \pm 2.95$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากชานอ้อยที่ผ่านการแปรสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1,3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ (W/V) แล้วให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เป็นเวลา 5, 10 และ 20 นาที

ในการแปรสภาพชานอ้อยโดยใช้คลื่นรังสีคลื่นไมโครเวฟ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเวลา ที่สภาวะแตกต่างกัน โดยผลการทดลองที่ได้การใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากขึ้น เวลาที่ใช้ยาวนานมากขึ้น และกำลังวัตต์ของคลื่นไมโครเวฟ ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่มากขึ้น แต่ทั้งนี้การใช้สารเคมีที่มีความเข้มข้นสูงมีผลต่อการที่ชานอ้อยสามารถสร้างพิษต่อเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ถึงแม้ว่าจะมีการปรับค่าพีเอชให้เป็นกลางแล้วก็ตามซึ่งมีผลต่อการที่ได้ปริมาณเอทานอลที่น้อยลง ซึ่งในผลการวิจัยดังกล่าวก็มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mehmood และ คณะ (2008) [5] ที่ได้ศึกษาการแปรสภาพโดยใช้กรดและความร้อนเพื่อให้ได้น้ำตาลโมลกุลเดี่ยวเพื่อสามารถเป็นสับสเตรทในการผลิตเอทานอลซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงการใช้กรดที่มีความเข้มข้นที่สูงจะส่งผลต่อการทำลายโครงสร้างของโมลกุลในพางข้าวให้เป็นสารพอฟอรัลซึ่งไม่สามารถเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นในการหมักเพื่อผลิตเอทานอลได้ ในการแปรสภาพในชีวมวลโดยทั่วไปจะได้ผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ สารละลายน้ำตาลและกากซึ่งกากที่ได้จากการแปรสภาพชานอ้อยพบว่าน้ำหนักคงเหลือที่ได้จากชานอ้อยที่ผ่านการแปรสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1,3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ (W/V) แล้วให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300, 400, 500, 600 และ 700 วัตต์ เป็นเวลา 5, 10 และ 20 นาที พบว่า การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 78.63, 74.63, 69.32, 72.36, 67.85, 62.36, 68.36, 61.26, 59.36, 63.65, 58.36, 55.36, 57.36, 55.06 และ 53.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 74.05, 68.36, 65.36, 71.02, 64.36, 59.36, 62.36, 57.36, 54.36, 57.36, 54.36, 48.36, 54.36, 52.36 และ 46.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 70.32, 64.36, 60.36, 65.36, 61.85, 57.23, 60.36, 55.32, 52.36, 55.36, 51.45, 46.36, 50.36, 47.62 และ 44.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่าการใช้ความร้อน เวลา และความเข้มข้นของสารเคมีล้วนมีอิทธิพลในการที่โครงสร้างชานอ้อยถูกทำลายที่สูงขึ้นส่งผลให้น้ำหนักของกากลดน้อยลง โดยกากคงเหลือที่น้อยที่สุดคือสภาวะที่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตร ที่ความร้อนไมโครเวฟเท่ากับ 700 วัตต์ ที่เวลา 20 นาที เมื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการผลิตเอทานอลเพื่อเป็น

สับเสพรหลักสิ่งจำเป็นต่อการทำลายโครงสร้างของขานอ้อย ความร้อน และเวลา โดยมีการเลือกปัจจัยเกี่ยวกับสารเคมีเป็นฐาน ซึ่งจุดที่เหมาะสมต่อสถานะที่นำไปใช้ต่อคือ การใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ ที่ความร้อนของไมโครเวฟ ที่ 700 วัตต์ เวลา 20 นาที เนื่องจากในสถานะดังกล่าวสามารถให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูงเทียบเท่ากับการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ที่สถานะการแปรสภาพเดียวกัน ดังนั้นการลดปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถช่วยลดต้นทุน ลดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของสารหลังจากการแปรสภาพด้วย และที่สถานะการแปรสภาพดังกล่าวก็มีความเข้มข้นที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการเป็นสับเสพรเริ่มต้นในกระบวนการผลิตเอทานอลต่อไป



ภาพที่ 7 น้ำหนักของเหลือที่ได้จากขานอ้อยที่ผ่านการแปรสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ (W/V) แล้วให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300, 400, 500, 600 และ 700 วัตต์ เป็นเวลา 5, 10 และ 20 นาที

สรุปผลการวิจัย

กระบวนการแปรสภาพขานอ้อยที่เหมาะสมด้วยวิธีการทางกายภาพร่วมกับเคมีเพื่อเป็นสับเสพรในการผลิตเอทานอลคือขานอ้อยที่ผ่านการแปรสภาพที่ใช้ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตร ที่ความร้อนคลื่นไมโครเวฟเท่ากับ 700 วัตต์ ที่เวลา 20 นาที มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ $1,453.25 \pm 2.22$ มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และพบปริมาณน้ำหนักรีดิวซ์ที่เหลือหลังการแปรสภาพเท่ากับ 46.36 เปอร์เซ็นต์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยบำรุงการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 เลขที่สัญญา บกศ 023/2563 นอกจากนี้ขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตทุ่งใหญ่ และ สาขาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ในการสนับสนุนการใช้สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Romani, A., Garrote, G., and Parajó, J. C. (2012). **Bioethanol production from autohydrolyzed Eucalyptus globulus by Simultaneous Saccharification and Fermentation operating at high solids loading.** Fuel, 94(1), 305-312.
- [2] Mikulski, D., and Kłosowski, G. (2020). **Microwave-assisted dilute acid pretreatment in bioethanol production from wheat and rye stillages.** Journal of Biomass and Bioenergy, 136(2), 155-171.
- [3] Adulsman Sukkaew, Panthip Boonsong, Sriubol Thongpradistha, and Maimoon Intan. (2017). **Physical and chemical pretreatment of lignocellulosics in pineapple (Ananus comosus) peels dried for investment.** AIP Conference Proceedings, 1868(1), 090001-1–090001-7.
- [4] Barrera Vázquez, M. F., Andreatta, A. E., Martini, R. E., Núñez Montoya, S. C., Cabrera, J. L., and Comini, L. R. (2020). **Optimization of pretreatment with microwaves prior the pressurized hot water extraction of anthraquinones from Heterophyllaea pustulata, using Doehlert experimental design.** Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, 155(5), 108-119.
- [5] Mehmood, S., Gulfranz, M., Ahmad, A., and Ahring, B. K., (2008). **Fermentation of dilute acid pretreated and enzymatically saccharified Sorghum bicolor straw to ethanol.** Journal of Biotechnology, 136(1), 409-409.

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