

วารสารวิชาการ พลังงาน ทดแทน สู่ชุมชน

ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม-เมษายน 2565



J-REC

JOURNAL
OF RENEWABLE
ENERGY FOR
COMMUNITY

ISSN 2773-8639 (Online)

J-REC BY TRECA



วารสารวิชาการ

พลังงานทดแทน สู่ชุมชน

J-REC

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY

วัตถุประสงค์

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



เจ้าของและลิขสิทธิ์ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
ที่ตั้งสมาคมฯ ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 ม.1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก 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

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

หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันทั่วโลกต้องเผชิญกับปัญหาด้านพลังงานที่รุนแรงกว่าในอดีตมากอันเนื่องมาจากความต้องการใช้พลังงานและราคาพลังงานเชื้อเพลิงที่มีการปรับตัวอยู่ในระดับสูงอย่างต่อเนื่อง ผลกระทบที่สำคัญจากปัญหาดังกล่าวคือความมั่นคง ทางด้านการจัดหาพลังงาน ขณะเดียวกันการใช้พลังงานที่สูงขึ้นก็ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจนเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Green House Effects) ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกอย่างรุนแรง ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาด้านพลังงานดังกล่าว จึงได้มีแนวคิด ในการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนกันมากขึ้น โดยเฉพาะพลังงานลม พลังงาน แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีการนำมาใช้เป็นระยะเวลายาวนาน ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ ต่อสิ่งแวดล้อม (Green & Clean Energy) อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่มีวันหมดสิ้น

จุดมุ่งหมายสำคัญ

การทำงานกันทั้งส่วนภาครัฐและประชาชนในการใช้พลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและใส่ใจต่อ สิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศไทย ตลอดจนการศึกษาวิจัย ดำเนินการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่างๆ มาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อความเหมาะสมและให้เกิดความยั่งยืนของชุมชนและประชาชนในประเทศไทย

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY คณะกรรมการจัดทำวารสาร วิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

หัวหน้ากองบรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โธมอินทร์
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 ทองพัค

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 โธมอินทร์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณม 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 ปราชญ์ อัครนรากุล	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ ประทุมพนรัตน์
ดร.วิเชียร อุปแก้ว
ดร.วินัย จันทร์เพ็ง
ดร.สถาพร ทองวิก
ดร.อำพล อาภาธนากร
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 สร้อยยี่งวาลัย

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

กองบรรณาธิการ

สารบัญ

นวัตกรรมด้านพลังงาน

การศึกษาอิทธิพลของพ้อพักอากาศที่มีต่อระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์	8
การใช้ความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับ	16
ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	
การพัฒนาแบตเตอรี่แสงไฟหลอดไฟหลอดฟลูออโรเรสเซนต์พลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ	25
ร่วมกับระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมด้วยเทคโนโลยี IoT พื้นที่อำเภอเจาะไอร้อง จังหวัดนราธิวาส	
การออกแบบและพัฒนาตู้ปลูกผักสลัดด้วยแสงไฟ LED ที่มีระบบควบคุม	32
ผ่านโทรศัพท์มือถือ	

เชื้อเพลิงและความร้อนชุมชน

การศึกษาผลกระทบของการพรมน้ำในกระบวนการที่บดน้ำตาลอ้อย	39
ต่อกระบวนการผลิตน้ำตาลและระบบพลังงานร่วม	
การใช้ประโยชน์โปรตีนเซอร์แก๊สจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันถ่านไม้	51
เพื่อใช้ในเครื่องยนต์ขนาดเล็กสำหรับการสูบน้ำ	
การประเมินประสิทธิภาพเตาเผาอิมมูมูเชื้อเพลิงชีวมวลที่ออกแบบ	61
สำหรับผู้ประกอบการในพื้นที่อำเภอห้วยฉัตร จังหวัดลำปาง	
การผลิตและวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านชีวภาพซึ่งชาวโพดเมื่อใช้เครื่องปฏิกรณ์	71
แบบเบดเคลื่อนที่	

พลังงานเพื่อการเกษตร

การศึกษาเชิงทดลองสมรรถนะเชิงความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์	80
ด้วยการติดตั้งครีบบนแผ่นดูดซับความร้อน	
ปฏิบัติการการควบคุมของน้ำจากอากาศด้วยการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	90
ร่วมกับตู้แช่เย็น	



การศึกษาอิทธิพลของท่อพักอากาศที่มีต่อระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

A Study of Effect of Air Chamber on Solar Pumping System

นิเวช เจียมอ่อน^{1*} และธนิต เรืองรุ่งชัยกุล¹
Niwetch Jeam-on^{1*} and Tanit Ruangrunchaikul¹

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
เลขที่ 99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

¹ Sustainable Development Technology, Science and Technology, Thammasat University
99 Moo 18, Phahonyothin Road, Khlong Nueng, Khlong Luang,
Pathum Thani Province 12120

¹Corresponding author: Tel.: 091 756 2417. E-mail address: jenoon27@gmail.com

Received: 15 November 2021, Revised: 18 December 2021, Accepted: 28 December 2021, Published online: 30 April 2022

Abstract

This research was conducted to study the influence of air chambers on solar pumping systems, which tested on a reciprocating pump. The system is powered by solar panels, which generate electricity and supply it through the battery to the pump. The experiment was performed by adjusting the size of the air chamber, which can divide into four experimental sets, including set 1) diameter 2.5 inches, height 50 centimeters; set 2) diameter 2.5 inches, height 70 centimeters; set 3) diameter 3 inches, height 50 centimeters; and set 4) diameter 3 inches, height 70 centimeters. Each set was tested by measuring water flow rate and pressure in the piping system for both single and twin pipe air chambers, compared to a set without an air chamber. The study found that the system with a single-pipe air chamber of 2.5-inches diameter and 70-centimeters height had the maximum water flow rate and pressure, which increased by 5.28% and 40%, respectively, compared to the system without an air chamber.

Keywords: Solar pumping system, air chamber

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาอิทธิพลของท่อพักอากาศที่มีต่อระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งทำการทดสอบกับเครื่องสูบน้ำแบบสูบชัก ใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานซึ่งจ่ายผ่านแบตเตอรี่ไปยังเครื่องสูบน้ำ ทำการทดลองโดยปรับเปลี่ยนขนาดของท่อพักอากาศ โดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดทดลอง คือ ชุดที่ 1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 50 เซนติเมตร ชุดที่ 2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 70 เซนติเมตร ชุดที่ 3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ความสูง 50 เซนติเมตร และ ชุดที่ 4) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ความสูง 70 เซนติเมตร โดยแต่ละชุดทำการทดสอบวัดอัตราการไหลของน้ำและแรงดันน้ำในระบบ ทั้งแบบติดตั้งท่อพักอากาศแบบท่อเดี่ยวและท่อคู่ เปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ได้ติดตั้งท่อพักอากาศ จากการศึกษาพบว่าการติดตั้งท่อพักอากาศขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 70 เซนติเมตร แบบท่อเดี่ยวมีปริมาตรอากาศไหลของน้ำและแรงดันเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยเพิ่มขึ้น ร้อยละ 5.28 และ ร้อยละ 40 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่ได้ติดตั้งท่อพักอากาศ

คำสำคัญ: ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์, ท่อพักอากาศ

บทนำ

เครื่องสูบน้ำเป็นเครื่องใช้ที่มีกันมากสำหรับบ้านพักอาศัยโดยทั่วไป เพื่อใช้สูบน้ำจากแหล่งน้ำเพื่อใช้ในครัวเรือนเพื่อการอุปโภค บริโภค และใช้ในการปลูกพืชเพื่อให้ทันต่อความต้องการน้ำ และได้ปริมาณน้ำตามความต้องการของพืช ระบบสูบน้ำเพื่อการเกษตร ส่วนใหญ่อยู่ในพื้นที่ที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง จะนิยมใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลังซึ่งใช้พลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีอยู่อย่างจำกัด และมักสร้างปัญหามลพิษด้านต่าง ๆ และแนวโน้มของราคาเชื้อเพลิงฟอสซิลจะเพิ่มขึ้น บางท้องที่ที่ต้องการใช้เครื่องสูบน้ำด้วยไฟฟ้าก็มีข้อจำกัดใช้งานได้เฉพาะพื้นที่บริเวณที่มีสายส่งถึง ส่วนบริเวณที่ไม่มีสายส่ง ทางไกลระบบสายส่งไฟฟ้าหลายกิโลเมตรแต่มีความต้องการน้ำเพื่อใช้ในครัวเรือนหรือเพื่อใช้ในกิจกรรมทางการเกษตร จะไม่สามารถสูบน้ำด้วยระบบสูบน้ำไฟฟ้าได้ หรือจะขอต่อระบบไฟฟ้าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบสายส่งไฟฟ้าสูงขึ้น พลังงานแสงอาทิตย์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการสูบน้ำโดยเฉพาะพื้นที่เกษตรที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง [1] ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นที่สนใจและถูกนำมาใช้งานเพิ่มขึ้นทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีอุปกรณ์มากขึ้น และมีการใช้งานหลากหลายขึ้นตามความเหมาะสมของแต่ละประเภทงาน

ท่อพักอากาศ (แอร์แวน) เป็นส่วนของอุปกรณ์ต่อเพิ่มของระบบสูบน้ำต่อจากเครื่องสูบน้ำทางด้านส่งน้ำออก การใช้เครื่องสูบน้ำส่งน้ำไปใช้งานหรือไปยังถังเก็บน้ำซึ่งติดตั้งอยู่ในระดับที่สูงและระยะทางการส่งที่ยาวไกลจะทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเสียหาย บ่อยครั้งต้องมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา และได้แรงดันน้ำน้อยระยะเวลาในการสูบน้ำก็ยาวนานอาจไม่ทันต่อความต้องการใช้น้ำส่งผลให้ขาดแคลนน้ำใช้ได้ [2] ท่อพักอากาศคืออุปกรณ์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพระบบสูบน้ำที่เกษตรกรใช้ท่อ พีวีซี ขนาด 2.5 นิ้ว 3 นิ้ว หรือใหญ่กว่านั้นมาต่อในแนวตั้งโดยปิดปลายท่อไว้แล้วต่อเข้ากับท่อส่งน้ำที่มีขนาดเล็กกว่า การติดตั้งท่อพักอากาศ อาจใช้หนึ่งหรือสองท่อก็ได้ ระยะห่างหรือขนาดของท่อพักอากาศยังไม่ได้มีแบบเฉพาะ มีการใช้งานที่หลากหลายแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ รวมถึงมีการศึกษาทดลองท่อพักอากาศกับปั๊มหยोजงโดยใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์มีผลให้อัตราการไหลของน้ำสูงขึ้น [3] กลุ่มวิสาหกิจปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ปลอดสารพิษ ช่วงหน้าแล้งใช้น้ำในแปลงผักจำนวนมากส่งผลให้ระบบสูบน้ำทำงานหนัก สูบน้ำได้น้อย มีการชำรุดเสียหายเสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม แก้ไขโดยเพิ่มประสิทธิภาพปั๊มน้ำโดยอาศัยหลักการแอร์แวนเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพระบบสูบน้ำทำให้ได้ปริมาณน้ำเพิ่มสูงขึ้น [4] การนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาปรับใช้ในด้านต่างๆ รวมถึงการสูบน้ำประสิทธิภาพสูงจนอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยมีความคุ้มทุนทางเศรษฐกิจบางสถานที่และบางโอกาส [5] แต่ยังคงขาดข้อมูลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประกอบในการตัดสินใจเลือกใช้ปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งท่อพักอากาศที่มีขนาดเหมาะสมกับการใช้ โดยงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กซึ่งมีแบตเตอรี่ช่วยเก็บสำรองไฟโดยศึกษาอิทธิพลของท่อพักอากาศที่มีต่อการใช้งานของระบบสูบน้ำดังกล่าว

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาขนาดของท่อพักอากาศที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ขอบเขตงานวิจัย

- 1) ศึกษาท่อพักอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว และ 3 นิ้ว ความสูง 50 เซนติเมตร และ 70 เซนติเมตร
- 2) ทดสอบการใช้งานโดยวัดอัตราการไหลของน้ำและแรงดันน้ำจากเครื่องสูบน้ำสูบชัก

วิธีการวิจัย

การศึกษاثิพลของท่อพักอากาศที่มีต่อระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ โดยศึกษาผลกระทบของเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูงของท่อพักอากาศที่ส่งผลต่ออัตราการไหลและแรงดันของน้ำได้แบ่งการศึกษาเป็นช่วงดังนี้

ช่วงที่ 1 เก็บรวบรวมข้อมูลและศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

ช่วงที่ 2 จัดเตรียม และ ติดตั้งท่อพักอากาศเข้ากับระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ช่วงที่ 3 ทดสอบระบบในพื้นที่ศึกษา

ช่วงที่ 4 วิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเทคนิค และ สรุปผลการทดลอง

1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

ทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ข้อมูลการทำงานของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ผลกระทบของเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง ของท่อพักอากาศที่ส่งผลต่ออัตราการไหลของน้ำ การให้น้ำพืช เครื่องมือสำหรับวัดค่าต่างๆ และทฤษฎีอื่น ๆ จากเอกสารวิชาการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. จัดเตรียมและติดตั้งท่อพักอากาศ เข้ากับระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

นำข้อมูลจากการศึกษาเบื้องต้นมาใช้ในการศึกษาระบบ ท่อพักอากาศ เข้ากับระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีขั้นตอนในการออกแบบดังนี้

การศึกษานี้ ใช้พื้นที่บริเวณแปลงเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ในการติดตั้งระบบ (ภาพที่ 1) เพื่อทดสอบระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ผู้วิจัยเลือกใช้เครื่องสูบน้ำสูบชัก (Piston Pump) ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแบตเตอรี่สำรองไฟ โดยใช้มอเตอร์กำลังไฟฟ้าขนาด 500 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ (ภาพที่ 2) ระบบท่อน้ำใช้ท่อส่งน้ำ พีวีซี ขนาด 1 นิ้ว เพื่อส่งน้ำเข้า และออกจากเครื่องสูบน้ำ แล้วลดขนาดท่อจ่ายลงเหลือ $\frac{3}{4}$ นิ้วเป็นท่อสำหรับจ่ายน้ำไปใช้งาน



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 2 เครื่องสูบน้ำสูบชัก (Piston Pump)

การศึกษานี้ทำการศึกษาท่อพักอากาศ (ภาพที่ 3) โดยติดตั้งกับเครื่องสูบน้ำสูบชัก (Piston Pump) ด้านส่งน้ำ ออกก่อนส่งน้ำไปใช้งาน แบ่งออกเป็น 4 ชุดทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 50 เซนติเมตร
- 2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 70 เซนติเมตร
- 3) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ความสูง 50 เซนติเมตร
- 4) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ความสูง 70 เซนติเมตร



ภาพที่ 3 ท่อพักอากาศ (ที่ใช้ในการศึกษา)

3. ติดตั้งระบบในพื้นที่ศึกษา

การติดตั้งระบบในพื้นที่ศึกษา เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งท่อพักอากาศ คือ เครื่องสูบน้ำสูบชัก (ภาพที่ 4) ทดสอบแบบที่หนึ่ง ไม่ได้ใส่ท่อพักอากาศ แบบที่สอง ใส่ท่อพักอากาศ 1 ท่อ แบบที่สาม ใส่ท่อพักอากาศ 2 ท่อ โดยติดตั้งท่อพักอากาศด้านส่งน้ำออกระยะห่างจากเครื่องสูบน้ำ 2.5 เมตร และระยะห่างระหว่างท่อพักอากาศทั้ง 2 ท่ออยู่ที่ 20 เซนติเมตร



ภาพที่ 4 เครื่องสูบน้ำสูบชักแบบไม่ใส่ท่อพักอากาศ ใส่ท่อพักอากาศ 1 ท่อ และ ใส่ท่อพักอากาศ 2 ท่อ

4. ทดสอบระบบ

หลังจากติดตั้งท่อพักอากาศ เข้ากับระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูล อัตราการไหลของน้ำ และแรงดันน้ำในเส้นทางท่อส่งน้ำออกจากท่อพักอากาศ พร้อมวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในระบบโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การทดสอบระบบของท่อพักอากาศที่มีต่อระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ทำการทดสอบเครื่องสูบน้ำสูบชัก แบบมีแบตเตอรี่สำรองไฟ โดยทดสอบวัดอัตราการไหลของน้ำและแรงดันน้ำในระบบของเครื่องสูบน้ำ ทุก 2 นาที จำนวน 3 ครั้ง โดยติดตั้งมิเตอร์น้ำและเกจวัดแรงดัน (ภาพที่ 5) หาค่าเฉลี่ย แล้วนำไปเขียนกราฟระหว่างแรงดันน้ำ กับอัตราการไหลของน้ำ พร้อมกับวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า (ภาพที่ 6) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบการทำงานของท่อพักอากาศที่มีต่อระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับการไม่ใส่ท่อพักอากาศ ซึ่งเก็บข้อมูลแบบเดียวกันโดยถอดท่อพักอากาศ ออกจากระบบสูบน้ำแล้วทำการทดลองเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 5 มิเตอร์วัดปริมาณน้ำและเกจวัดแรงดันน้ำ



ภาพที่ 6 โวลต์มิเตอร์และแอมมิเตอร์

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

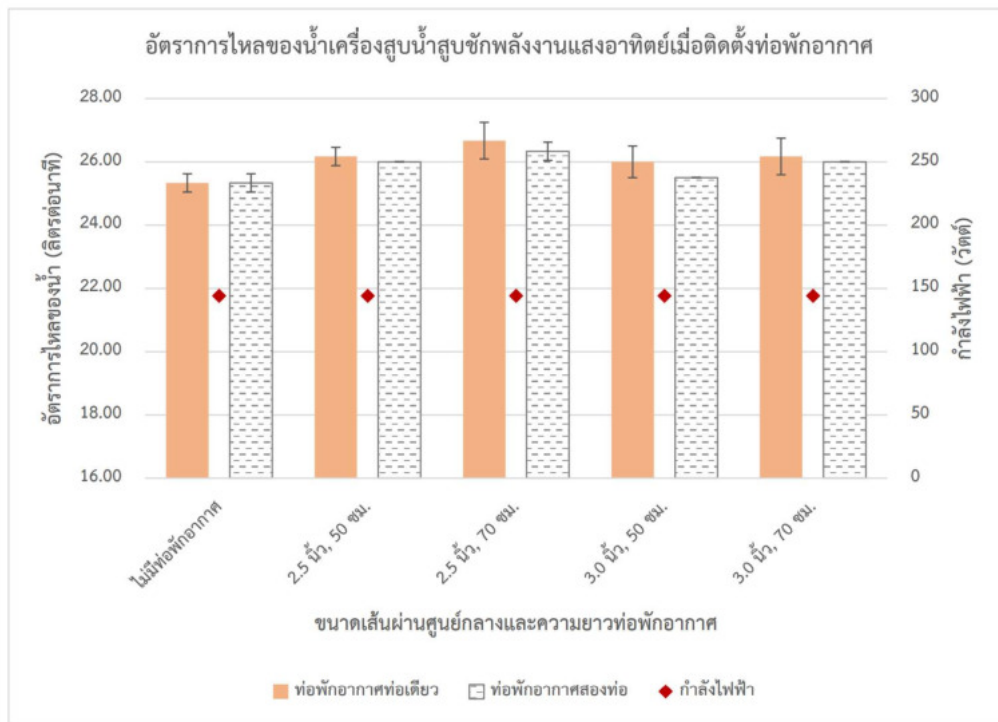
การศึกษากาธิพลของท่อพักอากาศที่มีต่อระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเทคนิค น้ำค่าอัตราการไหลของน้ำ แรงดันน้ำ กำลังไฟฟ้า (วิเคราะห์หากำลังไฟฟ้าจากสูตร $P = IV$) ที่ได้จากการทดลอง ระหว่าง ชุดทดลองที่ใส่ท่อพักอากาศ 1 ท่อ กับ 2 ท่อ และชุดทดลองที่ไม่ได้ใส่ท่อพักอากาศหาค่าเฉลี่ย เปรียบเทียบผลการทำงาน แสดงในรูปแบบกราฟ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องสูบน้ำสูบชัก ทำการศึกษากาธิพลของท่อพักอากาศที่มีต่อระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้ในการศึกษานี้ออกแบบท่อพักอากาศ ให้สามารถติดตั้งได้กับเครื่องสูบน้ำสูบชัก (Piston Pump) ด้านส่ง น้ำออกก่อนส่งน้ำไปใช้ในงานแบ่งออกเป็น 4 ชุดทดลอง จากข้อมูลอัตราการไหลของน้ำ แรงดันในระบบ และค่ากำลังไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 1 นำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบกาธิพลของท่อพักที่มีต่ออัตราการไหลของน้ำในระบบจะเห็นได้ดังนี้ (ภาพที่ 7-8)

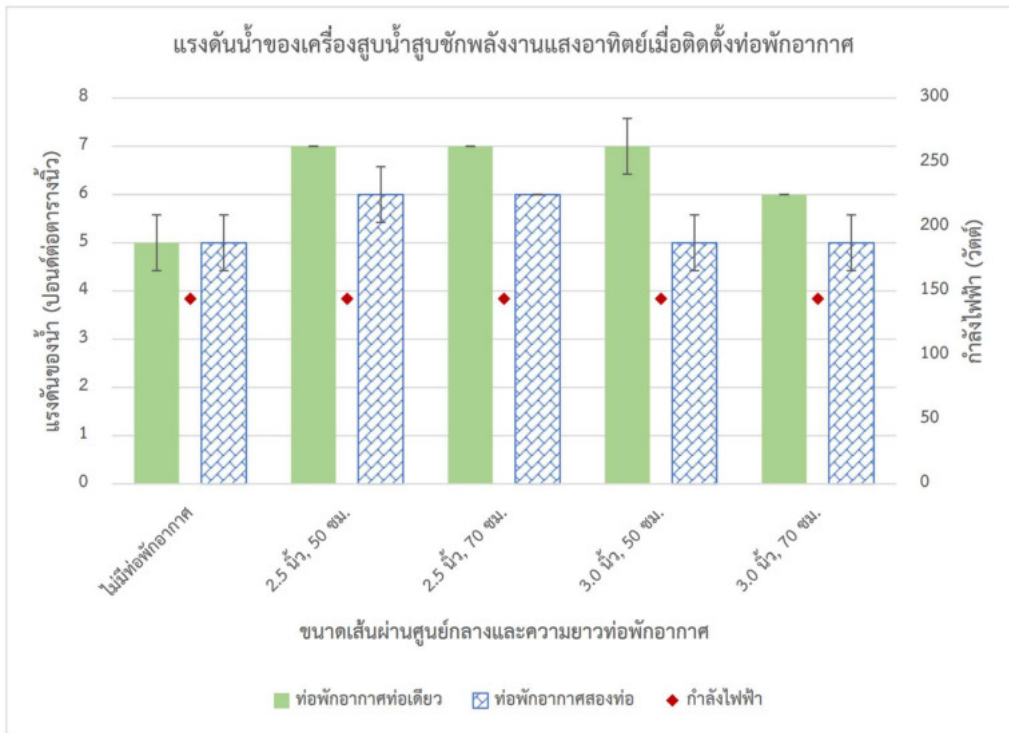
ตารางที่ 1 ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำ แรงดันน้ำ และกำลังไฟฟ้า ของเครื่องสูบน้ำสูบชักพลังงานแสงอาทิตย์ ติดตั้งท่อพักอากาศ

เครื่องสูบน้ำสูบชักพลังงานแสงอาทิตย์					
เส้นผ่านศูนย์กลาง, ความยาว	ท่อเดี่ยว		สองท่อ		กำลังไฟฟ้า (W)
	อัตราการไหลน้ำ (Litres/min)	แรงดันน้ำในท่อ (psi)	อัตราการไหลน้ำ (Litres/min)	แรงดันน้ำในท่อ (psi)	
ท่อพักอากาศ (inch)					
ไม่มีท่อพักอากาศ	25.33	5	25.33	5	144
2.5 นิ้ว, 50 ซม.	26.17	7	26.00	6	144
เพิ่มจากไม่มีท่อพัก(%)	3.30	40.00	2.63	20.00	0.00
2.5 นิ้ว, 70 ซม.	26.67	7	26.33	6	144
เพิ่มจากไม่มีท่อพัก(%)	5.28	40.00	3.95	20.00	0.00
3.0 นิ้ว, 50 ซม.	26.00	7	25.50	5	144
เพิ่มจากไม่มีท่อพัก(%)	2.63	40.00	0.66	0.00	0.00
3.0 นิ้ว, 70 ซม.	26.17	6	26.00	5	144
เพิ่มจากไม่มีท่อพัก(%)	3.30	20.00	2.63	0.00	0.00



ภาพที่ 7 อัตราการไหลของน้ำของเครื่องสูบน้ำสูบชักพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อติดตั้งท่อพักอากาศ

ผลการทดลองวัดอัตราการไหลของน้ำเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของท่อพักอากาศ โดยใช้มิเตอร์วัดปริมาณน้ำพบว่า อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นทุกชุดทดลองทั้งแบบใส่ 1 ท่อ และใส่ 2 ท่อ ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแตกต่างกัน โดยท่อพักอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 70 เซนติเมตร ใส่ 1 ท่อพักอากาศ ได้ปริมาณน้ำมากกว่าท่อขนาดอื่นที่ 26.67 ลิตรต่อนาที เพิ่มจากที่ไม่ใส่ท่อพักอากาศที่มีอัตราการไหล 25.33 ลิตรต่อนาที เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 5.28 โดยที่เครื่องสูบน้ำใช้กำลังไฟฟ้าเท่าเดิมที่ 144 วัตต์ จะเห็นได้ว่า การใส่ท่อพักอากาศไม่มีส่วนช่วยเรื่องลดพลังงานที่ใช้แต่อย่างใด แต่ช่วยให้ได้ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น จึงเห็นว่าควรติดตั้งท่อพักอากาศเข้ากับระบบสูบน้ำที่ใช้อยู่เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการไหลของน้ำให้มากขึ้น



ภาพที่ 8 แรงดันน้ำของเครื่องสูบน้ำสูบชักพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อติดตั้งท่อพักอากาศ

ผลการทดลองเปรียบเทียบแรงดันของน้ำของท่อพักอากาศขนาดต่างๆ โดยใช้เกจวัดแรงดันน้ำพบว่า ท่อพักอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความสูง 50 เซนติเมตร และ 70 เซนติเมตร และท่อพักอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ความสูง 50 เซนติเมตร แบบใส่ 1 ท่อ มีแรงดันเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 7 psi เพิ่มจากที่ไม่ใส่ท่อพักอากาศที่มีแรงดันที่ 5 psi เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 40 ดังภาพที่ 8 ซึ่งเห็นได้ว่าการใส่ท่อพักอากาศเพิ่มเข้าไปในระบบสูบน้ำมีผลดี ทำให้แรงดันน้ำเพิ่มสูงขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นจะเล็กน้อยแตกต่างกันออกไปในแต่ละชุดทดลอง เมื่อเปรียบเทียบท่อพักอากาศแบบใส่ 1 ท่อ กับ 2 ท่อ จากผลทดลองควรเลือกใช้แบบ 1 ท่อ เพราะช่วยลดต้นทุนลงได้ และได้แรงดันน้ำมากกว่าแบบใส่ท่อพักอากาศ 2 ท่อ โดยที่เครื่องสูบน้ำใช้กำลังไฟฟ้าเท่าเดิมที่ 144 วัตต์ ดังกล่าวไปแล้วข้างต้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ศึกษาประสิทธิภาพของท่อพักอากาศที่มีต่อระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เครื่องสูบน้ำสูบชัก (Piston Pump) ติดตั้งท่อพักอากาศด้านส่งน้ำออกก่อนส่งน้ำไปใช้งาน โดยทดสอบวัดอัตราการไหลของน้ำและแรงดันน้ำในระบบของเครื่องสูบน้ำ ทุก 2 นาที เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบการทำงานของท่อพักอากาศ และเก็บข้อมูลแบบเดียวกันกับระบบที่ไม่มีท่อพักอากาศ ผลการทดลองพบว่า การใส่ท่อพักสามารถช่วยเพิ่มอัตราการไหลของน้ำในระบบสูบน้ำได้ แต่การเพิ่มขึ้นจะแตกต่างกันออกไป โดยใช้กำลังไฟฟ้าเท่าเดิม ที่ 144 วัตต์ ซึ่งการใส่ท่อพักอากาศ 1 ท่อเข้าไปในระบบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อพักอากาศ 2.5 นิ้ว ความสูง 70 เซนติเมตร มีปริมาณอัตราการไหลของน้ำและแรงดันเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยมีอัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น ร้อยละ 5.28 และแรงดันน้ำในระบบเพิ่มขึ้นร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ไม่ได้ใส่ท่อพักอากาศ

ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรมีการศึกษาโดยใช้ท่อขนาดอื่นๆ เพิ่มเติมเพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดว่าท่อขนาดใดจะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำและแรงดันได้ดีที่สุด
- 2) ควรมีการศึกษาโดยใช้เครื่องสูบน้ำที่หลากหลายขึ้น เพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุดว่าเครื่องสูบน้ำชนิดใดขนาดใดจะสามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำและแรงดันได้ดีที่สุด
- 3) การศึกษาอิทธิพลของท่อพักอากาศที่มีต่อระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์นี้ ได้ศึกษาชุดทดลองการจ่ายน้ำจากเครื่องสูบน้ำผ่านไปยังท่อพักอากาศแล้วปล่อยน้ำออกเท่านั้น ไม่ได้จ่ายน้ำไปใช้งานจริง ควรมีการศึกษาโดยการต่อน้ำไปใช้จริง เช่นในระบบน้ำหยด หรือ ทดสอบสูบน้ำขึ้นถึงสูง เพื่อให้ได้ข้อมูลการใช้งานจริงที่มากขึ้น ซึ่งจะสามารถเลือกใช้ให้ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล, ธีฎกร คำปัญญา และวาลิตา พวงจำปา. (2561). การประยุกต์ใช้ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แรงดันต่ำสำหรับน้ำประปาในบ้านพักอาศัย. วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน. 1(1), 28-33.
- [2] หม่อมไม้. (2555). แอร์แวน ระบบสูบน้ำพลังสูง เทคโนโลยีชาวบ้าน สืบค้นเมื่อ 12 ตุลาคม 2564, จาก <http://www.monmai.com/แอร์แวน/>
- [3] มาโนช รัตนโย. (2561). โครงการการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตร อย่างมีส่วนร่วมของชุมชน บ้านบึงประเสริฐ ตำบลพลกรัง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา. โครงการงานพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.
- [4] บุญญฤทธิ์ ว่างอน. (2561). “พัฒนาระบบสูบน้ำประสิทธิภาพสูงสำหรับวิสาหกิจชุมชนผักปลอดภัย” , ใน การประชุมวิชาการวิจัย และนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5 ประจำปี 2561, วันที่ 6-8 ธันวาคม 2561 ณ อำเภอเมืองจังหวัดตาก. ตาก : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
- [5] พินิจนันท์ สามาอาพัฒน์. (2557). การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

การใช้ความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ To Use the Solar Hot Water System Combine with Solar Drying System

pongphol รักการงาน^{1*} กังสดาล สกุลงพงษ์มาลี² และชลีดล อินยาศรี²
Pongphol Rakkarnane^{1*} Kangsadan Sagulpongmalee² and Chaleedol Inyasri²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 38 หมู่ 8 ตำบลนาวิ่ง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

² สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 38 หมู่ 8 ตำบลนาวิ่ง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

¹Division of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology
Phetchaburi Rajabhat University 38 Mu.8 Nawung Phetchaburi 76000

²Division of Energy Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology
Phetchaburi Rajabhat University 38 Mu.8 Nawung Phetchaburi 76000

*Corresponding author: Tel.: 032 405502. E-mail address: pongphol.rak@mail.pbru.ac.th

Received: 1 June 2021, Revised: 20 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 April 2022

Abstract

This research aimed has designed and built a solar drying system by using heat from a solar hot water production system together with a solar energy drying system. The heat exchanger was designed for the drying system with a width of 1 m and a length of 1 m. The heat exchanger was designed with a heat exchanger area of size 1.267 in diameter and fitted with circular fins, 39 mm in diameter, using hot water from the solar water heating system as a power source. Have capacity 150 L packaging drying system, the dried product is 1.2 kg of fresh sugar. The experiment was conducted during 6.00-18.00 hr.

The heat from the dried with a non-thermal solar drying system from the solar water heating system with the amount of heat and the efficiency of the system. The maximum moisture content was 0.459 kW and 49.21% respectively. The wet standard moisture content started at 92.45% until the final moisture content was 38.3896% from 1.2 kg weight decreased to 0.53 kg and the solar hot water generating system had the highest heat and system efficiency of 4.012kW and 57.13% respectively. The wet standard humidification starts at 92.45% until the final humidity is 20.83% from weight 1.2 kg to 0.21 kg with the same initial weight and humidity. The value of the sugar cured by the auxiliary heat solar radiation drying system from the solar hot water production system was 7.92% lower than that of the auxiliary non-heat solar drying system by 17.55% and 0.32 kg, respectively.

Keywords: solar radiation, drying system, solar hot water, heat exchanger

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยการใช้ความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์พื้นที่ขนาด กว้าง 1 m ยาว 1 m ได้ออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้กับระบบอบแห้งโดยมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนขนาด 1.267 in และติดตั้งรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 39 mm ใช้น้ำร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนให้กับระบบอบแห้งมีความจุ 150 L ผลลัพธ์ที่อบแห้งเป็นผลตาลสดปริมาณ 1.2 kg ได้ทำการทดลองในช่วงเวลา 6:00 – 18:00 น.

จากการทดสอบพบว่าการอบด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่ใช้ความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยมีปริมาณความร้อนและประสิทธิภาพของระบบสูงสุดเท่ากับ 0.459 kW และ 49.21% ตามลำดับ ค่าความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้นที่ 92.45% จนเหลือความชื้นสุดท้าย 38.38% จากน้ำหนัก 1.2 kg ลดเหลือ 0.53 kg และการอบแห้งผลตาลด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มีปริมาณความร้อนและประสิทธิภาพของระบบสูงสุดเท่ากับ 4.012 kW และ 57.13% ตามลำดับ ซึ่งในการทดลองมีค่าความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้นที่ 92.45% จนความชื้นสุดท้าย 20.83% จากน้ำหนัก 1.2 kg เหลือ 0.21 kg โดยมีน้ำหนักและค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากัน จะเห็นได้ว่าค่าความชื้นและน้ำหนักของผลตาลที่อบด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ความร้อนเสริมจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีค่าลดลงมากกว่าระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่ใช้ความร้อนเสริมถึง 17.55% และ 0.32 kg ตามลำดับ

คำสำคัญ: ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

บทนำ

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนรูปแบบหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ ไม่เสียค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงในการใช้งาน ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อเทียบกับการตากแดด สามารถช่วยลดปัญหา การปนเปื้อนจากฝุ่นละอองและการรบกวนจากแมลง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น และยังช่วยลดระยะเวลาในการตากแห้งอีกด้วย [1] ความร้อนที่ได้จากพลังงานรังสีอาทิตย์จะสูญเสียสู่สิ่งแวดล้อมค่อนข้างมาก ทำให้ประสิทธิภาพของการตากแห้งต่ำ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ระหว่างการตากแดดมักถูกรบกวนจากแมลงและสัตว์ต่าง ๆ หรือได้รับความเสียหายจากการเปียกฝน แต่เป็นที่ทราบกันดีว่ากระบวนการอบแห้งใช้พลังงานค่อนข้างสูง และการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดที่สำคัญคือเรื่องเวลา คือความเข้มแสงอาทิตย์จะน้อยลงตามเวลาไปจนถึงไม่มีแสงอาทิตย์ [2] พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ขึ้นอยู่กับเวลา การเพิ่มประสิทธิภาพให้การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จึงต้องมีการกักเก็บพลังงานหรือการผลิตพลังงานในรูปแบบอื่นนอกเหนือจากอากาศ ในการตั้งสมมติฐานจะเห็นว่าน้ำมีคุณสมบัติในการสะสมความร้อนได้ดีกว่าอากาศเป็นอย่างมาก

จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ โดยการศึกษาสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ความร้อนร่วมกับน้ำร้อนจากเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะเพื่อใช้ในการอบแห้ง โดยที่น้ำร้อนสามารถอุณหภูมิที่เหมาะสมและใช้เป็นตัวกลางในการเก็บรักษาความร้อนได้ จะได้พลังงานในรูปแบบของความร้อนแฝงไปใช้ประโยชน์ในช่วงเวลาที่ไม่สามารถนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ได้ เป็นการลดข้อจำกัดเรื่องเวลาในการแห้งรังสีของดวงอาทิตย์และยังเป็นการประหยัดพลังงานในการอบแห้ง

ทฤษฎีการอบแห้ง [2] การอบแห้ง คือกระบวนการลดความชื้น โดยส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ขึ้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้อาศัยความร้อน ที่ได้รับเป็นความชื้นแฝงของการระเหย โดยปกติจะใช้ความชื้นเป็นตัวบ่งบอกปริมาณของน้ำที่อยู่ในวัสดุซึ่งสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) M_W ความชื้นมาตรฐานเปียกจะแสดงของน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ต่อน้ำหนักรวมของวัสดุโดยปกติจะแสดงอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์

$$M_W = \frac{W - D}{W} \times 100 \quad (1)$$

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) M_D ความชื้นมาตรฐานแห้ง เป็นการเทียบปริมาณความชื้นกับของแข็งเท่านั้น ค่าความชื้นมาตรฐานแห้งจะใช้ในงานวิจัยทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ เนื่องจากขนาดของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลง ในระหว่างการอบแห้งดังนั้นจึงง่ายในการวิเคราะห์การถ่ายเทความชื้นความชื้นมาตรฐาน

$$M_D = \frac{W - D}{D} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ W คือ มวลของวัสดุ (kg)

D คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg)

M_W คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (%)

M_D คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)

โดยทั่วไปการอบแห้งวัสดุสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤติที่ผิวของวัสดุมีน้ำอยู่มาก เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุช่วงนี้อุณหภูมิผิวของวัสดุอบแห้ง และอัตราการอบแห้งจะมีค่าคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติเมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุน้ำจะเคลื่อนที่จากภายในเนื้อวัสดุมาที่ผิว ของวัสดุในลักษณะของเหลวหรือไอน้ำและน้ำที่ผิวจึง จะระเหยไปกับอากาศ

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ [3-4] การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการอบแห้งผลผลิตโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อ ระเหยน้ำออกจากผลผลิตซึ่งอาศัยการพาความร้อน สามารถแบ่งการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนได้เป็น 2 แบบ คือ แบบการพาความร้อนตามธรรมชาติซึ่งอาศัยแรงลอยตัวเนื่องจากการพาความร้อนและแบบการพาความร้อนแบบบังคับ อากาศ ซึ่งอาศัยแรงดันจากพัดลมในการพาความร้อนไปยังผลผลิต การอบแห้งระบบความร้อนผสมผสาน [5] คือระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งและยังต้องอาศัยพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ช่วยในการอบแห้งในเวลาที่มีแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอหรือในเวลาที่ไม่ได้มีแสงอาทิตย์ เพื่อต้องการให้ผลผลิตทางการเกษตรแห้งเร็วขึ้น เช่น ใช้ร่วมกับพลังงานเชื้อเพลิงจากพลังงานชีวมวล พลังงานไฟฟ้า วัสดุอบแห้งจะได้รับความร้อนจากอากาศร้อนที่ผ่านเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ และการหมุนเวียนของอากาศจะอาศัยพัดลมหรือเครื่องดูดอากาศช่วย ในการนำความร้อนมาใช้ในการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

โดยการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถหาได้จากสัดส่วนของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหย กับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่ระบบ ดังสมการ

$$\eta = \frac{Q}{I_T A} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (%)

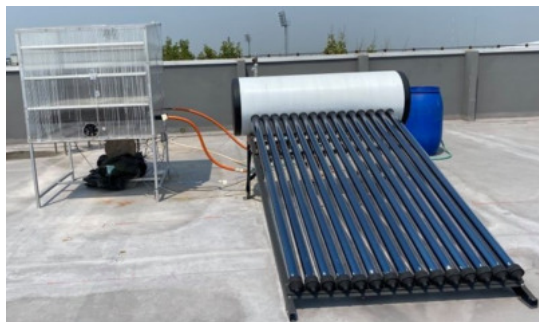
Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

I_T คือ ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย (W/m²)

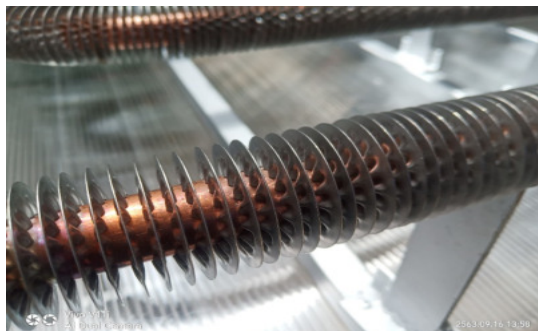
A คือ พื้นที่ที่รับรังสีอาทิตย์ (m²)

วิธีการวิจัย

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง การออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนขนาด กว้าง 1 m ยาว 1 m และสูง 1.6 m ซึ่งประกอบด้วยชั้นวางผลิตภัณฑ์ 3 ชั้น โดยระบบอบแห้งใช้พลังงานร่วมจากแหล่งความร้อน 2 แหล่ง คือใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อนหลักและความร้อนจากเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ ขนาด 150 L ผ่านท่อน้ำร้อนที่ติดตั้งครีบอลูมิเนียมเพื่อเพิ่มผิวสัมผัสในการถ่ายเทความร้อน ตามรายละเอียดดังนี้

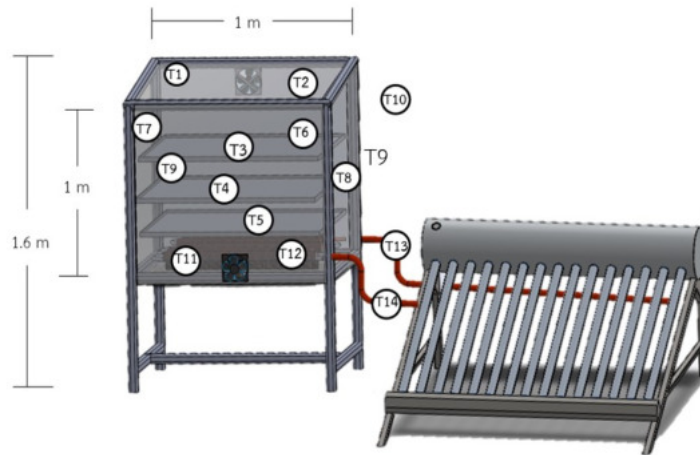


ภาพที่ 1 ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบความร้อนร่วมกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 2 ครีบน้ำร้อนอลูมิเนียม

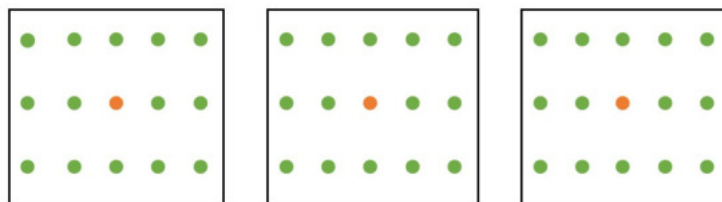
โดยในการทดลองจะติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถติดตั้งได้ตามจุดดังต่อไปนี้ โดยมาจากด้านบนของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 3 จุดวัดอุณหภูมิการใช้ความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

- | | |
|---|--|
| T1 อุณหภูมิผิวโพลีคาร์บอเนตด้านนอก (บน) | T2 อุณหภูมิผิวโพลีคาร์บอเนตด้านใน (บน) |
| T3 อุณหภูมิชั้นบน | T4 อุณหภูมิชั้นกลาง |
| T5 อุณหภูมิชั้นล่าง | T6 อุณหภูมิผิวโพลีคาร์บอเนตนอก (ประตู) |
| T7 อุณหภูมิผิวโพลีคาร์บอเนตด้านนอก (ซ้าย) | T8 อุณหภูมิผิวโพลีคาร์บอเนตด้านนอก (ขวา) |
| T9 อุณหภูมิผิวโพลีคาร์บอเนตด้านหน้า | T10 อุณหภูมิสภาพแวดล้อม |
| T11 อุณหภูมิผิวท่อทองแดง | T12 อุณหภูมิผิวครีป |
| T13 อุณหภูมิน้ำเข้าระบบ | T14 อุณหภูมิน้ำออกระบบ |

โดยทำการวัดอุณหภูมิโดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิล type (Thermocouple type K) ใช้ในการวัดอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอก และทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ (Data logger) ยี่ห้อ Omron รุ่น ZR-ZX25 โดยในการทดลองเลือกใช้ผลตาลวางบนถาด 3 ถาด วาง 3 ชั้น ในพื้นที่ 1 m² เป็นวัตถุประสงค์ในการอบแห้ง ค่าความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้นของลูกตาลอยู่ที่ 92.45% และทำการอบแห้งตั้งแต่เวลา 6.00 – 18.00 น. ในช่วงเวลาของการอบแห้งจะนำตัวอย่าง ออกมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าความชื้นทุก ๆ 1 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาค่าความชื้นมาตรฐานแห้งโดยวางตำแหน่งที่กระจายทั่วทั้งระบบเพื่อนำมาหาค่าความชื้นมาตรฐานทั่วทั้งพื้นที่ในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ดังรูป



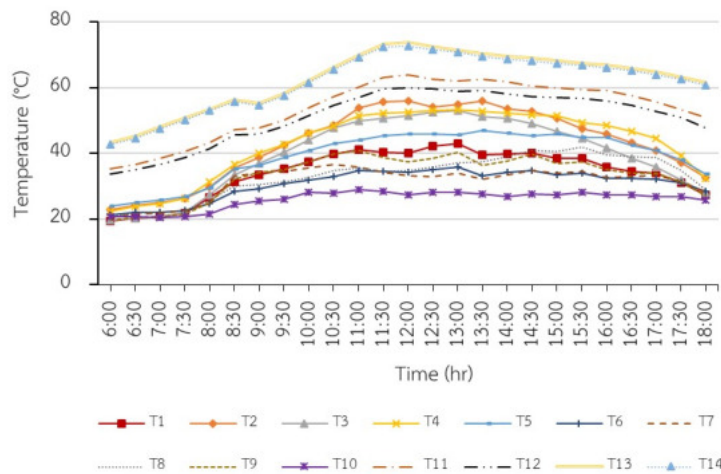
ภาพที่ 4 ตำแหน่งการวางลูกตาลในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาและออกแบบระบบการใช้ความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ทำการทดลองเก็บค่าต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความร้อนและประสิทธิภาพของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ของระบบการใช้ความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

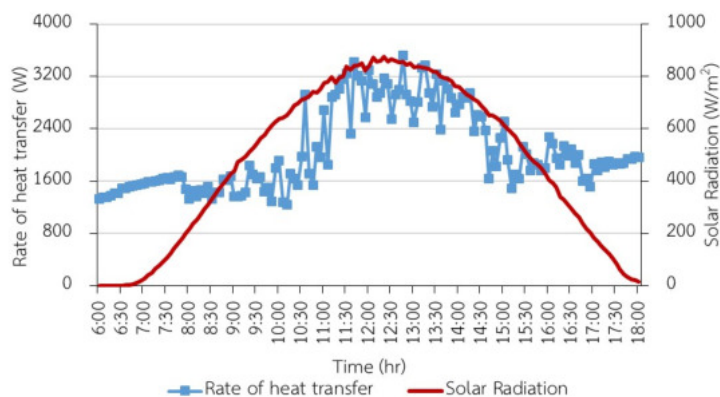
1. ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของการใช้ความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การศึกษาและพัฒนาการใช้ความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้น ได้ทำการเก็บค่าอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาในช่วงต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมการกระจายอุณหภูมิในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



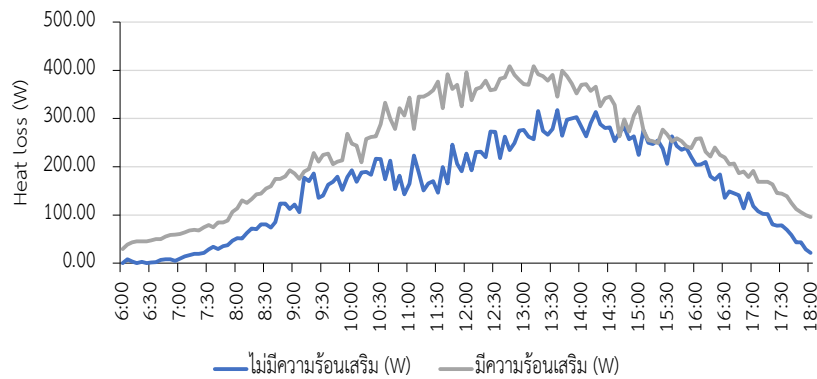
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในระบบของการพาความร้อนแบบบังคับร่วมกับระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์

จากภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในแต่ละจุดต่อช่วงเวลา จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมิวนที่ทองแดงซึ่งถ่ายเทความร้อนให้กับครีบอลูมิเนียม โดยการพาความร้อนแบบบังคับ 63.4°C และ 60°C ตามลำดับซึ่งแปรผันตามค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ ซึ่งช่วงเวลาที่ให้ปริมาณความร้อนสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 11:40 – 13:00 น. โดยมีค่าปริมาณความร้อนสูงสุดเท่ากับ 3.5 kW รายละเอียดดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของปริมาณความร้อนที่แปรผันตามเวลาและค่ารังสีอาทิตย์

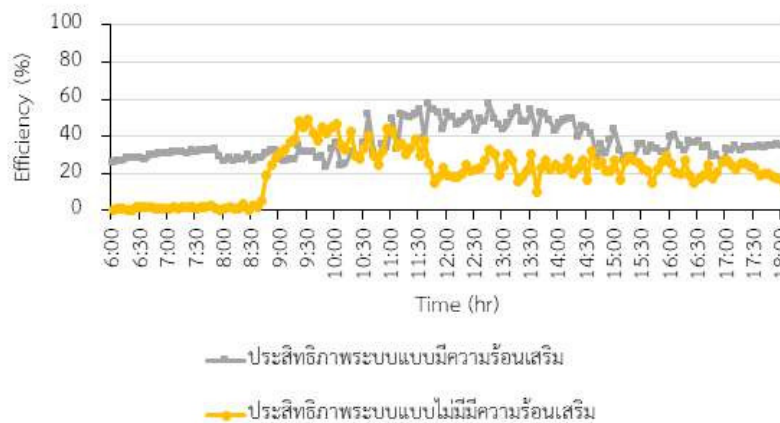
2. ความสัมพันธ์ของการสูญเสียความร้อนเมื่อเทียบกับเวลา



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปยังบรรยากาศภายนอก

จากรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ปริมาณความร้อนที่สูญเสียเทียบกับเวลา โดยการสูญเสียความร้อนเกิดจากการที่อุณหภูมิในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความร้อนเสริมสูงขึ้น จึงทำให้ความร้อนถูกถ่ายเทไปยังด้านนอกโดยมีทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสูญเสียจากระบบอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลม จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับอุณหภูมิด้านนอกซึ่งปริมาณความร้อนสูญเสียสูงสุดเท่ากับ 408 W

3. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



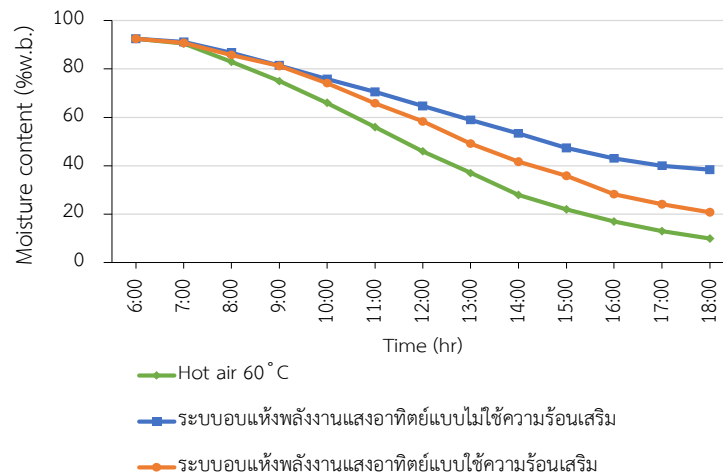
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ประสิทธิภาพของระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ความร้อนเสริม และไม่ใช้ความร้อนเสริมเทียบกับเวลา โดยเมื่อเทียบประสิทธิภาพเฉลี่ยของทั้ง 2 ระบบแล้วแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพสูงสุดของระบบอบแห้งแบบไม่ใช้ความร้อนเสริม และแบบใช้ความร้อนเสริมมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 36.32% และ 21.03% ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 15.29% ซึ่งถ้าสังเกตที่ประสิทธิภาพจะเห็นได้ว่าระบบที่ไม่ใช้ความร้อนเสริมจะ

มีช่วงที่มีค่าสูงสุดเพียงช่วงเวลาเดียวเท่านั้น แต่หากวิเคราะห์ที่ระบบรวมจะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพที่ดีทุกช่วงเวลาตลอดทั้งวัน

4. ปริมาณความชื้นที่ลดลงจากระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

จากการทดลองเปรียบเทียบความชื้นของผลตาล โดยที่กำหนดอุณหภูมิในการอบแห้งจากตู้อบไฟฟ้าอยู่ที่ 60 °C เพื่อให้เท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยภายในระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ของความชื้นโดยการพาความร้อนแบบบังคับของการอบแห้งผลตาล

จากรูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ของความชื้นจากการพาความร้อนแบบบังคับ โดยมีระบบความร้อนเสริมจากความร้อนที่ได้จากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าค่าความชื้นมาตรฐานเปียกของผลตาลมีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 92.5% และทำการชั่งน้ำหนักทุก ๆ ชั่วโมง โดยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และแบบที่มีความร้อนเสริม มีความชื้นสุดท้ายที่ 38.38% และ 20.83% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าความชื้นและน้ำหนักของผลตาลที่อบด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าลดลงมากกว่าระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่ใช้ความร้อนเสริมถึง 17.55% และ 0.32 kg ตามลำดับ โดยจากน้ำหนัก 1.2 kg เหลือ 0.21 kg

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและทดลองพบว่า อุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์กับค่ารังสีอาทิตย์เป็นอย่างมาก ยิ่งค่ารังสีอาทิตย์สูง อุณหภูมิก็สูงขึ้นตามเช่นเดียวกัน โดยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ความร้อนเสริมจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ปริมาณความร้อนในระบบสูงสุดเท่ากับ 0.459 kW ซึ่งระบบผลิตความร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนเสริมให้กับระบบอบแห้ง โดยสามารถผลิตความร้อนได้ 483.59 kJ โดยระบบดังกล่าวขึ้นเพื่อต้องการให้อุณหภูมิภายในระบบมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ต้องการคือ 62 °C และปริมาณความร้อนและประสิทธิภาพของระบบสูงสุดเท่ากับ 4.012 kW และ 57.13% ตามลำดับ ซึ่งในการทดลองอบผลตาลด้วยระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบใช้ความร้อนมีค่าความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้นที่ 92.45% จนความชื้นสุดท้าย 20.83% จากน้ำหนัก 1.2 kg เหลือ 0.21 kg โดยมีน้ำหนักและค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ หน่วยวิจัยและประยุกต์พลังงานทดแทน สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และ ฝ่ายพัฒนาท้องถิ่นและบริการวิชาการ สถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้การส่งเสริมและสนับสนุนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] อนิรุทธิ์ ต่ายขาว และ สมบัติ ทีฆทรัพย์. (2556). เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติ และชนิดพาความร้อนแบบบังคับ. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 7 (1), 23-31.
- [2] เสริม จันทร์ฉาย. (2560). เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์, นครปฐม:หน่วยวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร
- [3] ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2549). การพัฒนาสาคิระบบอบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปไม้ และเครื่องจักรสาน (สำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปไม้), รายงานวิจัย, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ร่วมกับ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] เสริม จันทร์ฉาย. (2547). เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, รายงานวิจัยการพัฒนา สาคิและเผยแพร่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผลิตผลทางการเกษตร กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, หน้า 11 – 14.
- [5] สุรัช อนุรักษ์ จันทร์ศรี. (2560). การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 12 (1) เดือนมกราคม – มิถุนายน พ.ศ.2560.
- [6] วสันต์ จินธาดา บัญญัติ นิยมवास และอนก ไทยกุล. (2561). การทดลองศึกษาสภาวะการอบแห้งปลาของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบควบคุมอุณหภูมิด้วยการเปิด-ปิดช่องระบายอากาศ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 28 (3), 525-536.
- [7] A. Zomirodian and M. Zamanian (2012). Designing and evaluating an innovative solar air collector with transpired absorber and cover. ISRN renewable energy, pp. 1-5
- [8] D. E. Ogheneruona and M. O. L. Yusuf (2011). Design and fabrication of a direct natural convection solar dryer for tapioca. Leonardo electronic journal of practices and technologies, vol. 18, pp. 95-104.
- [9] A. A. Hassanain (2009). Simple solar drying system for banana fruit. World journal of agricultural sciences, vol. 5 (4), pp. 446-455
- [10] สมลักษณ์ บุตโต. (2559). เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2562, จาก <https://silo.tips/download/7exchangers>.

การพัฒนาติดตั้งแสงไฟพ่นอนเจาะเมล็ดทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำร่วมกับระบบตรวจสอบ
สภาพแวดล้อมด้วยเทคโนโลยี IoT พื้นที่อำเภอเจาะไอร้อง จังหวัดนราธิวาส
Development of Light Trap Mudaria Luteileprosa Holloway Low Cost Solar Energy
Cooperated the Environment Monitoring System with IoT Technology at Cho-airong
Narathiwat

พลากร พรหมเมศรี^{1*} หาญรงค์ บัวทอง² และวารางคณา เทพนิมิตร³
Palakorn Prommet^{1*} Hanrong Buathong² and Warangkana Thepnimitr³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ นราธิวาส 96000

² สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคนราธิวาส มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ นราธิวาส 96000

³ สาขาวิชาการจัดการ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยหาดใหญ่ สงขลา 90110

¹Electrical Engineering, Faculty of Engineering Princess of Naradhiwas University Naradhiwas 96000

²Electronic, Narathiwat Technical Collage, Princess of Naradhiwas University Naradhiwas 96000

³Management Program, Hatyai Business School, Hatyai University Songkhla 90110

*Corresponding author: Tel.: 081 542 6986. E-mail address: palakorn.ep@gmail.com

Received: 15 June 2021, Revised: 15 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 April 2022

Abstract

This paper presents development of light trap mudaria luteileprosa holloway low cost solar energy cooperated the environment monitoring system with IoT technology at Cho-airong Narathiwat. With the objective of eliminating and preventing pests that damage the orchard farmers, and to break the life cycle of insect pests by using ultraviolet light wavelengths (Ultra-Violet; UV), against insect pests that like to play with light, such as heliothis armigera, spodoptera litura, mudaria luteileprosa Holloway etc.,. By using a 5 blade exhaust fan and a set of black light lamps 20 watt insect trap, with a 12 volt battery with a capacity of 100 ampere-hours, without having to connect to the main electrical system of the building. By using a 120 watt 12 volt polycrystalline solar panel as a source of electrical energy, it has a total timer control system for 7 working modes. As well as the development of an online environment monitoring system (IoT Monitoring System) and collecting weather image data, and can be accessed in the form of a cloud computer (ThingSpeak), from general web browsers in areas with internet access. To collect statistical weather images at the time of pest infestation, for planning during the pest epidemic in the harvesting cycle of durian garden.

Keywords: Ultra-Violet, Mudaria Luteileprosa Holloway, Cloud Computer

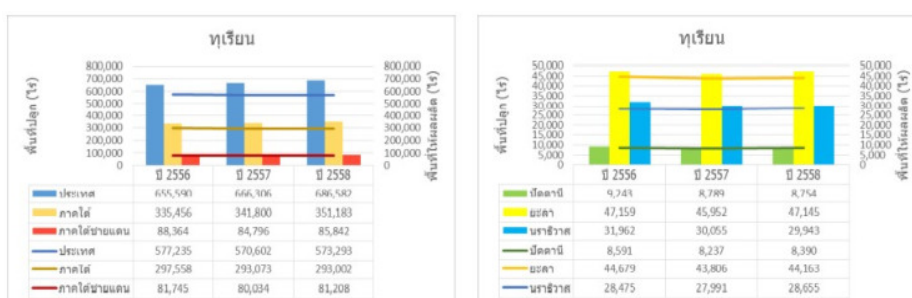
บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาต่อยอดจากต้นแบบระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมด้วยเทคโนโลยี IoT พื้นที่อำเภอเจาะไอร้อง จังหวัดนราธิวาส โดยมีวัตถุประสงค์ในการกำจัดและป้องกันแมลงศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายให้แก่เกษตรกรสวนผลไม้ โดยการติดตั้งวงจรชีวิตของแมลงศัตรูพืช ที่อาศัยแสงไฟในช่วงความยาวคลื่นแสงเหนือม่วง (Ultra-Violet; UV) กับแมลงศัตรูพืชที่ชอบเล่นแสงไฟ ได้แก่ หนอนเจาะสมอฝ้าย หนอนกระทู้ หนอนเจาะเมล็ดทุเรียน เป็นต้น โดยใช้พัดลมดูดอากาศแบบ 5 ใบพัดและชุดหลอดไฟแอลซีแอล สำหรับชุดดักจับแมลง ขนาด 20 วัตต์ ร่วมกับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ที่ขนาดความจุ 100 แอมแปร์-ชั่วโมง โดยไม่ต้องต่อร่วมกับระบบไฟฟ้าหลักของอาคารบ้านเรือน ซึ่งใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 120 วัตต์ 12 โวลต์ ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า มีระบบควบคุมตั้งเวลาทำงานได้ทั้งสิ้น 7 โหมด อีกทั้ง มีการพัฒนาระบบตรวจวัดสภาพอากาศในรูปแบบออนไลน์ (IoT Monitoring System) และเก็บผลข้อมูลสภาพอากาศรวมถึงสามารถเข้าถึงได้ในรูปแบบคราวน์คอมพิวเตอร์ (ThingSpeak) จากเวปเบราว์เซอร์ทั่วไปในพื้นที่ที่มีระบบอินเทอร์เน็ต เพื่อเป็นการเก็บข้อมูลสภาพอากาศเชิงสถิติในช่วงเวลาที่เกิดการระบาดของแมลงศัตรูพืชสำหรับวางแผนในช่วงเวลาที่เกิดการระบาดในวงรอบการเก็บเกี่ยวผลผลิตทุเรียน

คำสำคัญ: แสงเหนือม่วง, หนอนเจาะเมล็ดทุเรียน, คราวน์คอมพิวเตอร์

บทนำ

กลุ่มจังหวัดภาคใต้ชายแดนเป็นพื้นที่ที่มีทุเรียนที่มีคุณภาพ มีพันธุ์ทุเรียนเฉพาะถิ่นที่มีชื่อเสียง โดยมีพื้นที่ปลูกโดยประมาณร้อยละ 12.5 ของประเทศ และคิดเป็น 1 ใน 4 ของพื้นที่ภาคใต้ ในช่วงปี พ.ศ. 2556-2558 ดังภาพที่ 1 ทุกพื้นที่ที่มีพื้นที่ปลูกและพื้นที่ให้ผลผลิตค่อนข้างคงที่ เมื่อพิจารณาเป็นรายจังหวัดพบว่าจังหวัดยะลาเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ปลูกและพื้นที่ให้ผลผลิตทุเรียนสูงสุด รองลงมาเป็นจังหวัดนราธิวาส โดยทิศทางการพัฒนาควรให้ความสำคัญกับพันธุ์ทุเรียนที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ตลอดจนการสร้างมูลค่าเพิ่มทางการตลาดต่อไป [1]



ภาพที่ 1 พื้นที่เพาะปลูกและพื้นที่ให้ผลผลิตทุเรียนของกลุ่มจังหวัดชายแดนใต้ [1]

ปัจจุบันในจังหวัดยะลา และจังหวัดนราธิวาสที่มีการปลูกทุเรียนเป็นพืชเศรษฐกิจนั้น ได้มีการรวมกลุ่มเกษตรกรและเข้าร่วมโครงการ “เกษตรแปลงใหญ่ประชารัฐ” ที่ให้เกษตรกรรายย่อยที่มีอาชีพเดียวกันรวมกลุ่ม เพื่อให้เกิดการร่วมคิดร่วมทำ ร่วมกันจัดหาปัจจัยการผลิต เกิดการวางแผนการตลาดเพื่อนำไปสู่การลดต้นทุน โดยกรมส่งเสริมการเกษตรได้ให้องค์ความรู้ในการดูแล การจัดการโรค การขยายพันธุ์ การส่งเสริมเทคโนโลยีการเพาะปลูก ตลอดจนการให้น้ำและปุ๋ยในแต่ละระยะของต้นทุเรียน ในการเพาะปลูกทุเรียนนั้น จะให้ความสำคัญในประเด็นศัตรูพืช โดยเฉพาะหนอนเจาะเมล็ดทุเรียน (*Mudaria Luteileprosa* Holloway) ที่ระบาดอย่างต่อเนื่องระหว่างปี พ.ศ. 2559-2561 เป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากหนอนชนิดนี้เมื่อเข้าทำลายผลทุเรียนแล้ว จะไม่สามารถสังเกตจากภายนอกได้ หนอนที่เจาะเข้าไปในผลทุเรียนถ่ายมูลออกมาปะปนกับเนื้อของทุเรียนทำให้เนื้อทุเรียนเสียคุณภาพและจำหน่ายไม่ได้ราคา [2-3]

แนวทางการป้องกันและกำจัดหอนเจาะเมล็ดทุเรียนมีหลายวิธี เช่น วิธีเขตรกรรม วิธีกล (การห่อผลด้วยมุ้งไนลอน และการใช้กับดักแสงไฟ) และวิธีใช้สารเคมี เป็นต้น การใช้กับดักแสงไฟ (Light Trap) เพื่อเฝ้าระวังและกำจัดวงจรชีวิตหอนเจาะผลทุเรียนตัวเต็มวัยผีเสื้อกลางคืน [4] ที่จะไปวางไข่บนผลทุเรียนเพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับผลทุเรียนในขณะออกขายในท้องตลาด เป็นวิธีการที่ดีเนื่องจากประหยัดต้นทุนสามารถสร้างอุปกรณ์จากวัสดุที่หาได้ง่ายในพื้นที่ ลงทุนแล้วสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก ไม่มีการใช้สารเคมี และไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเพาะปลูก

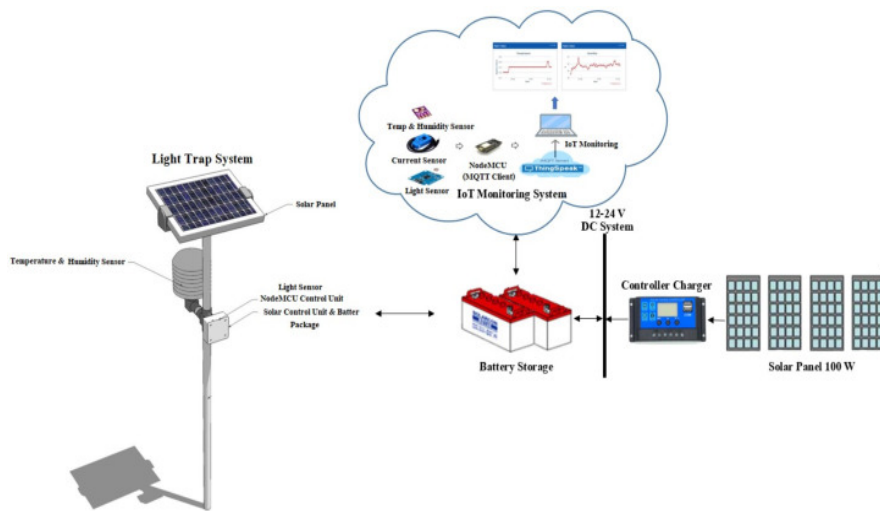
จากความเป็นมาและปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนากับดักแสงไฟหอนเจาะผลทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำร่วมกับระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมด้วยเทคโนโลยี IoT พื้นที่อำเภอเจาะไอร้อง จังหวัดนราธิวาส เพื่อกำจัดวงจรชีวิตของหอนเจาะเมล็ดและหอนเจาะผลให้แก่เกษตรกรสวนทุเรียนขนาดย่อม โดยการพัฒนาลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความเหมาะสมสำหรับกับดักแสงไฟหอนเจาะผลทุเรียน เพื่อลดปริมาณการวางไข่ของผีเสื้อตัวเต็มวัย อีกทั้ง ออกแบบให้มีระบบตรวจวัดสภาพอากาศ ที่สามารถวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ รวมถึงเก็บข้อมูลเชิงสถิติจากพื้นที่สวนทุเรียนในรูปแบบออนไลน์ เพื่อช่วยยกระดับและเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะปลูกทุเรียนและเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของสวนทุเรียนที่ใช้ในวงรอบการเพาะปลูกในปีถัดไป

วิธีการวิจัย

กับดักแสงไฟเป็นเครื่องมือที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดที่ใช้ในการดักจับ หรือสู่มดเก็บกลุ่มตัวอย่างประชากรแมลง ในกลุ่มแมลงที่หากินในเวลากลางคืน (Nocturnal Visitors) เพื่อสำรวจความหลากหลายทางชีวภาพของแมลง การเปลี่ยนแปลงจำนวน การเคลื่อนย้ายถิ่นของแมลง ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในหลายพื้นที่ทั่วโลก [5-6] โดยกับดักแสงไฟที่ใช้แสงสว่างจากหลอดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์หลักในการดึงดูดแมลง สามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) กับดักแสงไฟชนิดตะแกรงไฟฟ้า 2) กับดักแสงไฟชนิดที่ใช้ร่วมกับพัดลมดูด และ 3) กับดักแสงไฟชนิดทางกลหรือใช้แรงโน้มถ่วง [7] โดยกับดักแสงไฟที่ใช้แสงสว่างจากหลอดไฟฟ้าเป็นที่นิยมในการสู่มดเก็บกลุ่มตัวอย่างประชากรแมลง และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมโดยรอบ

1. กรอบแนวคิดในการออกแบบกับดักแสงไฟหอนเจาะเมล็ดทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ

ในการพัฒนากับดักแสงไฟหอนเจาะเมล็ดทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำร่วมกับระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมด้วยเทคโนโลยี IoT พื้นที่อำเภอเจาะไอร้อง จังหวัดนราธิวาส มีวัตถุประสงค์ในการจัดวงจรการเจริญเติบโต การกำจัด และป้องกันแมลงศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายให้แก่เกษตรกรสวนผลไม้ โดยที่ไม่สร้างความเสียหายให้แก่สภาพแวดล้อมของสวนผลไม้ ไม่มีสารเคมีตกค้างในพืชผลทางการเกษตร โดยอาศัยแสงไฟในช่วงความยาวคลื่นแสงเหนือม่วง (Ultra-Violet; UV) กับแมลงศัตรูพืชที่ชอบแสงไฟ ได้แก่ หอนเจาะสมอฝ้าย หอนกระทุ้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล หอนกระทุ้งดำ เพลี้ยจักจั่นสีเขียว เพลี้ยห่า บั่ว หอนเจาะทุเรียน และด้วงบ่าหนานจุดนูนดำ เป็นต้น จากภาพที่ 2 แสดงกรอบแนวคิด ส่วนประกอบ และระบบการทำงานของกับดักแสงไฟหอนเจาะผลทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ โดยออกแบบให้สามารถเปลี่ยนรูปแบบตามสภาพความเหมาะสมของพื้นที่สวน ใช้พัดลมดูดอากาศแบบ 5 ใบพัดและชุดหลอดแบล็คไลท์ (Black Light) สำหรับดักแมลง ขนาด 20 วัตต์ ร่วมกับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ที่ขนาดความจุ 100 แอมแปร์-ชั่วโมง ซึ่งไม่ต่อร่วมกับระบบไฟฟ้าหลักของอาคารบ้านเรือน เนื่องจาก ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 120 วัตต์ 12 โวลต์ ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar) เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า และมีระบบควบคุมตั้งเวลาทำงานได้ทั้งสิ้น 7 โหมด และมีการพัฒนาระบบตรวจวัดสภาพอากาศในรูปแบบออนไลน์ (IoT Monitoring System) และเก็บข้อมูลรวมถึงเข้าถึงได้ในรูปแบบคราวน์คอมพิวเตอร์ (ThingSpeak) จากเว็บเบราว์เซอร์ในพื้นที่ที่มีระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลสภาพอากาศเชิงสถิติในช่วงเวลาที่เกิดการระบาดของศัตรูพืช



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดในการออกแบบกับดักแสงไฟหนอนเจาะเมล็ดทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำร่วมกับระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมด้วยเทคโนโลยี IoT พื้นที่อำเภอเจาะไอร้อง จังหวัดนราธิวาส

2. งบประมาณค่าใช้จ่ายกับดักแสงไฟหนอนเจาะเมล็ดทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ

กับดักแสงไฟหนอนเจาะผลทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ โดยภาพรวม ประกอบด้วย 4 ส่วนประกอบหลัก คือ (1) โครงสร้างและฐานรากเสา (2) ระบบจัดการพลังงาน (3) เครื่องดักจับแมลง และ (4) ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและสื่อสาร ซึ่งมีรายละเอียดต้นทุนต่อหน่วยในการจัดการและดำเนินงานตามรายละเอียด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดต้นทุนต่อหน่วยกับดักแสงไฟหนอนเจาะผลทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ

รายการ	งบประมาณ จำนวนเงิน (บาท)
1. โครงสร้างและฐานรากเสา	5,500
2. ระบบจัดการพลังงาน	6,400
3. เครื่องดักจับแมลง	740
4. ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและสื่อสาร	3,300
รวม (บาท)	15,940

ในงานวิจัยการพัฒนากับดักแสงไฟหนอนเจาะเมล็ดทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ ระบบจัดการพลังงานและโครงสร้างและฐานรากเสา คิดเป็นเงิน 12,640 บาท โดยไม่นับรวม ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและสื่อสาร ซึ่งพิจารณาและเปรียบเทียบราคา จากฐานข้อมูลราคาจากท้องตลาดในส่วนของระบบดักจับแมลงที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน งานวิจัยกับดักแสงไฟหนอนเจาะผลทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ มีราคาค่าต้นทุนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับรายอุปกรณ์เป็นจำนวนเงิน 100 - 500 บาท หากแต่งงานวิจัยกับดักแสงไฟหนอนเจาะผลทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ มีความสามารถในการช่วยจัดทำฐานข้อมูล (Data Base) สภาพอากาศภายในสวนทุเรียนเพื่อเก็บเป็นข้อมูลในการพยากรณ์สภาพอากาศและการระบาดของศัตรูพืชในสวนทุเรียนในอนาคต ซึ่งเป็นความสามารถเพิ่มเติมจากงานวิจัยที่เพิ่มเติมขึ้น

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

กับติดตั้งไฟถนนเจาะผลทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำๆ เริ่มทำการทดสอบ ระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2564 ในสวนทุเรียนกลุ่มแปลงใหญ่ทุเรียน ตำบลลูกกิต อำเภोजะเอย์รียง จังหวัดนราธิวาส ขนาดพื้นที่ 5 ไร่ ดังภาพที่ 3 สามารถดักจับแมลงได้โดยเฉลี่ยวันละ 10-50 ตัว ได้แก่ ยุง 6 ตัว แมลงเม่าปลวก 25 ตัว แมลงกิ้งกูน 5 ตัว มอดเจาะลำต้น 4 ตัว ผีเสื้อกลางคืน 4 ตัว และผีเสื้อหนอนเจาะเมล็ดทุเรียน 3 ตัว หรือคิดเป็นร้อยละ 6.38 ของแมลงที่ดักจับได้ทั้งหมด ดังภาพที่ 4 สำหรับสวนทุเรียนในพื้นที่ราบขนาดพื้นที่ 5 ไร่ ในการทดสอบการดักจับแมลงนี้ ช่วงเวลาที่พบปริมาณของผีเสื้อกลางคืนมากที่สุด คือ เวลา 21.00-23.00 น.



ภาพที่ 3 การติดตั้งกับติดตั้งไฟถนนเจาะผลทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำๆร่วมกับระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมด้วยเทคโนโลยี IoT พื้นที่อำเภोजะเอย์รียง จังหวัดนราธิวาส



ภาพที่ 4 ค่าเฉลี่ยปริมาณแมลงที่สามารถดักจับได้ในพื้นที่สวนทุเรียนกลุ่มแปลงใหญ่ทุเรียน ขนาดพื้นที่ 5 ไร่ ตำบลลูกกิต อำเภोजะเอย์รียง จังหวัดนราธิวาส

จากตารางที่ 2 เป็นผลการทดสอบการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในสวนทุเรียนกลุ่มแปลงใหญ่ทุเรียน ตำบลลูกกิต อำเภोजะเอย์รียง จังหวัดนราธิวาส โดยข้อมูลที่ทำการเก็บและบันทึกผลมี 3 ปัจจัย คือ 1) อุณหภูมิ 2) ความชื้นสัมพัทธ์ และ 3) พิกัดพื้นที่ เนื่องจาก มีข้อมูลในปริมาณมากจึงขอเสนอเฉพาะข้อมูลในวันแรกของการติดตั้งกับติดตั้งไฟถนนเจาะผลทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำๆสำหรับสวนทุเรียนขนาดย่อม คือ ในวัน พุธที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2564 ตั้งแต่เวลา 18.00 น. ไปจนถึงเวลา 03.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่กับติดตั้งไฟถนนเจาะผลทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำๆ ที่มีระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในสวนทุเรียนเริ่มทำงานไปจนถึงสิ้นสุดที่ เวลา 03.00 น. โดยตั้งเวลาการทำงานของกับติดตั้งไฟถนนเจาะผลทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำๆ ไว้ที่ 8 ชั่วโมง/วัน หากแต่ใน

ความเป็นจริงนั้น ระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในสวนทุเรียนที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นนั้นจะสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง โดยผลการทดลองที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการวัดค่าสภาพอากาศของแอปพลิเคชันที่มีชื่อว่า Weather Forecast ที่ถูกติดตั้งในสมาร์ทโฟน บนระบบปฏิบัติการ iOS เพื่อยืนยันความถูกต้องของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และพิกัดพื้นที่ ซึ่งผลที่ได้เมื่อเปรียบค่าความผิดพลาด (Error) ของอุณหภูมิ คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 2.5 โดยความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าความผิดพลาด (Error) คิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 5.8 ของชุดข้อมูลทั้งหมด ในส่วนพิกัดพื้นที่ของสวนทุเรียนมีตำแหน่งที่ตรงกันเนื่องจากพิจารณาจากแผนที่ที่ปักหมุดไว้ในพื้นที่เดียวกัน

ตารางที่ 2 ผลการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมของกับดักแสงไฟบนจอแสดงผลทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ

ลำดับที่	วัน/เดือน/ปี	ช่วงเวลา (Hr./Min./Sec.)	กับดักแสงไฟบนจอแสดงผล ทุเรียนพลังงาน แสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำ		แอปพลิเคชัน Weather Forecast		พิกัดพื้นที่ (Latitude & Longitude)
			อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)	
1	2021-05-27	18:00:44	29.1	73.9	31	78	6.205,101.82
2	2021-05-27	18:01:07	28.82	76.08	29	81	6.205,101.82
3	2021-05-27	19:00:00	27.78	81.73	28	86	6.205,101.82
4	2021-05-27	19:00:23	27.71	82.49	28	87	6.205,101.82
5	2021-05-27	19:00:45	27.33	84.22	28	89	6.205,101.82
6	2021-05-27	20:00:04	26.53	83.43	27	88	6.205,101.82
7	2021-05-27	20:00:27	27.64	82.92	28	87	6.205,101.82
8	2021-05-27	20:00:50	27.71	82.60	28	87	6.205,101.82
9	2021-05-27	21:00:06	27.65	84.41	28	89	6.205,101.82
10	2021-05-27	21:00:29	26.95	85.41	27	90	6.205,101.82
11	2021-05-27	21:00:52	26.56	85.69	27	90	6.205,101.82
12	2021-05-27	22:00:01	27.03	85.68	28	90	6.205,101.82
13	2021-05-27	22:00:25	26.88	85.80	27	90	6.205,101.82
14	2021-05-27	22:00:48	26.79	86.03	27	91	6.205,101.82
15	2021-05-27	23:00:04	27.95	86.02	28	91	6.205,101.82
16	2021-05-27	23:00:27	26.84	86.44	27	91	6.205,101.82
17	2021-05-27	23:00:49	26.52	85.92	27	90	6.205,101.82
18	2021-05-27	00:00:06	25.89	86.78	26	91	6.205,101.82
19	2021-05-27	00:00:32	25.74	86.56	26	91	6.205,101.82
20	2021-05-27	00:00:56	26.11	87.01	27	92	6.205,101.82
21	2021-05-27	01:00:12	25.64	86.65	26	91	6.205,101.82
22	2021-05-27	01:00:34	25.73	86.71	26	91	6.205,101.82
23	2021-05-27	01:00:57	25.66	86.82	26	91	6.205,101.82
24	2021-05-27	02:00:15	25.45	87.91	26	92	6.205,101.82
25	2021-05-27	02:00:37	25.33	88.45	26	93	6.205,101.82
26	2021-05-27	02:01:03	25.36	88.67	26	93	6.205,101.82
27	2021-05-27	03:00:20	25.45	89.26	26	94	6.205,101.82
28	2021-05-27	03:00:43	25.11	88.95	26	93	6.205,101.82

สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการดำเนินงาน การออกแบบและสร้างกับดักแสงไฟหอนเจาะผลทุเรียนพลังงานแสงอาทิตย์ต้นทุนต่ำๆ โดยประกอบไปด้วยพัดลมดูดอากาศแบบ 5 ใบพัด และชุดหลอดแบล็คไลท์ สำหรับดักแมลง ขนาด 20 วัตต์ ร่วมกับ แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ ที่ขนาดความจุ 100 แอมแปร์-ชั่วโมง โดยไม่ต้องต่อร่วมกับระบบไฟฟ้าหลักของอาคารบ้านเรือน เนื่องจาก ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 120 วัตต์ 12 โวลต์ ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า โดยมีระบบ ควบคุมตั้งเวลาทำงานได้ และมีการพัฒนาระบบตรวจวัดสภาพอากาศในรูปแบบออนไลน์ เก็บผลข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้ ในรูปแบบคราวน์คอมพิวเตอร์ จากเว็บเบราว์เซอร์ในทุกพื้นที่ที่มีระบบอินเทอร์เน็ต เริ่มทำการทดสอบ ติดตั้ง และเก็บ ข้อมูลในช่วงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2564 ในพื้นที่สวนทุเรียนกลุ่มแปลงใหญ่ทุเรียน ตำบลลูกุด อำเภोजะเอย์ริง จังหวัด นราธิวาส ขนาดพื้นที่ 5 ไร่ สามารถดักจับแมลงได้โดยเฉลี่ยวันละ 10-50 ตัว ได้แก่ ยุง 6 ตัว แมลงเม่าปลวก 25 ตัว แมลง กิณูน 5 ตัว มอดเจาะลำต้น 4 ตัว ผีเสื้อกลางคืน 4 ตัว และผีเสื้อหอนเจาะเมล็ดทุเรียน 3 ตัว คิดเป็นร้อยละ 6.3

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ที่ให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการและพื้นที่สำหรับทำงานวิจัย และขอขอบพระคุณงบประมาณสนับสนุนงานวิจัยจาก โครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก เครือข่ายวิจัยภาคใต้ตอนล่าง สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สอ.อ.)

เอกสารอ้างอิง

- [1] ฝ่ายแผนงาน สำนักงานมหาวิทยาลัยทักษิณ. (2561). แผนพัฒนากลุ่มจังหวัดภาคใต้ชายแดน พ.ศ. 2562-2564. มหาวิทยาลัยทักษิณ. 119-120.
- [2] ศรุต สุทธิอารมณ. (2557). แมลงศัตรูไม้ผล. เอกสารวิชาการ กลุ่มบริหารศัตรูพืช สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร. 4-23.
- [3] สาทร สิริสิงห์. (2538). “แมลง-ไรศัตรูทุเรียน”, ใน แมลงศัตรูไม้ผล. *เคหการเกษตร*, 41-45. กรุงเทพฯ : เจริญรัตน์ การพิมพ์.
- [4] วีระพล คงนุ่น. (2560). การพัฒนาพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับชุดกับดักผีเสื้อกลางคืนในสวนทุเรียน อำเภอลับแล. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์*. 12(1), 55-68.
- [5] Scalercio, S., Infusino, M. and Woiod, I.P. (2009). Optimising the sampling window for moth indicator communities. *Journal of Insect Conservation*. 13, 583-581.
- [6] Hunter, M.D., Kozlov, M.V., Itämies, J., Pulliainen, E., Bäck, J., Kyrö, E.M. and Niemelä, P. (2014). Current temporal trends in moth abundance are counter to predicted effects of climate change in an assemblage of subarctic forest moths. *Global Change Biology*. 20, 1723-1737.
- [7] Altaf, H.S., Moni, T., Rita, B. and Khushboo, B. (2016). Light trap and insect sampling: An Overview. *International Journal of Current Research*. 8(11), 40868-4087.

การออกแบบและพัฒนาตู้ปลูกผักสลัดด้วยแสงไฟ LED ที่มีระบบควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือ
Design and Development of Vegetable Lettuce Growing Cabinet using LED Lighting
with Control System via Smart Phone

เทพ เกื้อทวีกุล¹ กิตติภูมิ ยังเจริญ^{2*} สรศรีณย์ แพ่งพนม³ พันธุ์ศักดิ์ เลาสุงเนิน⁴ และ นิวดี คลั่งสีดา⁵
Thep Kueathaweekun¹, Kittiphum Yangcharoen^{2*}, Sornsaran Phaengphanom³, Pansak Laosoongnern⁴
and Nivadee Klungsida⁵

^{1,2,3,4}โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

⁵โปรแกรมวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

^{1,2,3,4}Energy Technology Program, Faculty of Industrial Technology,
Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000

⁵Industrial Arts Program, Faculty of Industrial Technology,
Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000

*Corresponding author: Tel: 098 748 0422 E-mail address: Kittipoom1999.2542@gmail.com

Received: 28 June 2021, Revised: 10 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 April 2022

Abstract

In this research, design and development of vegetable lettuce growing cabinet using LED lighting with control system via smart phone is presented. The purpose of the vegetable lettuce growing cabinet are design for grow vegetables that can provide artificial light throughout the day and can be planted in a place without sunlight. The structure of a vegetable growing cabinet with LED lighting of width 100 cm x height 150 cm, and each shelf can vegetable lettuce growing 15-20 pots per shelf. In this work, lettuce-awakening experiments were conducted for 45 days, which will collect the intensity of light and compared the sizes of vegetables using the LED light vegetable cabinet system and the conventional method of growing lettuce. From the experimental results, it was found that the lettuce grown in the LED grow cabinet receives constant and continuous light while lettuce grown in a conventional way that only receives light in the daytime. The lettuce grown in a vegetable growing cabinet with LED lights will grow better than that of a conventional method for about 10 days. In addition, vegetable lettuce growing cabinet using LED lighting with control system the can be controlled via smart phone. Therefore, vegetable lettuce growing cabinet using LED lighting can used for to grow lettuce in a rental room, condominium, where there is no sunlight.

Keywords: Vegetable Growing Cabinet, LED backlight, lettuce, Smart phone.

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED ที่มีระบบควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการปลูกผักที่สามารถให้แสงเทียบเท่ากับผักสลัดได้ตลอดทั้งวันและสามารถปลูกได้ในที่ที่ไม่มีแสงแดด ในการออกแบบในงานวิจัยฉบับนี้มีโครงสร้างของตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED มีขนาดกว้าง 100 เซนติเมตร และสูง 150 เซนติเมตร และมีชั้นวางกระถางผัก 2 ชั้นสามารถปลูกได้ชั้นละ 15-20 ต้น ซึ่งในงานนี้จะทำการทดลองปลูกผักสลัดเป็นเวลา 45 วัน โดยจะทำการเก็บค่าเปอร์เซ็นต์ของแสง และทำการเปรียบเทียบขนาดของผักที่ใช้ระบบตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED และการปลูกผักสลัดด้วยวิธีทั่วไป จากผลการทดลองพบว่า ผักสลัดที่ปลูกด้วยตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED ได้รับแสงตลอดเวลาและต่อเนื่องในขณะที่ ผักสลัดที่ปลูกด้วยวิธีทั่วไป นั้นได้รับแสงแค่ช่วงเวลากลางวันเท่านั้น ผักสลัดที่ปลูกในตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าการปลูกผักสลัดด้วยวิธีทั่วไป ประมาณ 10 วัน นอกจากนี้ตู้ปลูกผักสลัดด้วยแสงไฟ LED ที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมระบบผ่านโทรศัพท์มือถือได้ ดังนั้นออกแบบและพัฒนาตู้ปลูกผักสลัดด้วยแสงไฟ LED สามารถนำไปใช้ในการปลูกผักสลัดในท้อง舍หรือคอนโด หรือในที่ที่ไม่มีแสงแดดไม่ได้

คำสำคัญ: ตู้ปลูกผัก, แสงไฟ LED, ผักสลัด, โทรศัพท์มือถือ

บทนำ

ปัจจุบันผักสลัดเป็นผักที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในหมู่ของคนที่รักสุขภาพ และผักสลัดยังมีหลายสายพันธุ์ และยังปลูกง่าย มีราคา สามารถสร้างอาชีพได้ แต่เนื่องจากผักสลัดใช้เวลาในการเจริญเติบโตที่นาน จนสามารถนำไปจำหน่ายหรือบริโภคได้ใช้เวลานาน การปลูกผักโดยใช้แสงไฟ LED เป็นการ ใช้แสงเทียมในการให้แสง ทำให้ผักสลัด ได้รับแสงตลอดเวลา และสามารถอ่านค่า อุณหภูมิ ความชื้น ค่าแสง ผ่านโทรศัพท์ ได้อีกด้วย ผ่าน แอปพลิเคชัน Blynk และยัง สามารถสั่ง เปิด-ปิด บิมน้ำ และหลอดไฟ ผ่านมือถือได้ ทำให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกสบาย โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยเกี่ยวกับ เทคโนโลยีในการปลูกผักสลัด อาทิเช่น การสร้างระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในลักษณะโรงเรือนแบบปิด ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ผักสลัดจะเจริญเติบโตได้เร็วกว่าการปลูกพืชไร่ดินแบบปกติ ประมาณ 7 – 14 วัน [1] การศึกษาผลของความเข้มแสงจากชุดหลอดแอลอีดีสำหรับการเพาะปลูกที่มีต่อผักสลัดเรดโอ๊คในระบบโรงเรือนไฮโดรโปนิคส์ โดยใช้หลอดไฟแอลอีดี จำนวน 50 หลอด กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร พบว่า การเพิ่มค่าลักซ์ส่งผลทำให้ผักสลัดเจริญเติบโตขึ้นตามไปด้วย แต่หลอดแอลอีดีสีขาวจะมีการเจริญเติบโตช้าที่สุดหากเทียบกับหลอดแอลอีดีสีแดงและสีน้ำเงิน [2] การศึกษาวิจัยการใช้โปรแกรมทดสอบอุณหภูมิและความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนอัจฉริยะเพื่อใช้ปลูกผักออร์แกนิก พบว่า ระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถสั่งให้ระบบรดน้ำและหยุดรดน้ำตามที่กำหนดได้และระบบสามารถควบคุมการระบายความร้อนได้ตามต้องการ [3] การศึกษาใช้ไดโอดเปล่งแสงที่เหมาะสมกับการปลูกพืช โดยผลการศึกษาพบว่า แสงสีแดงเหมาะสมที่สุดเนื่องจากทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ช่วยเร่งดอกและเร่งลำต้น [4] และการออกแบบระบบปลูกผักสลัดไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติด้วยการนำผักสลัดมาปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์โดยเปรียบเทียบแบบปลูกในระบบกับนอร์ระบบ พบว่า ผักสลัดที่ปลูกในระบบ เจริญเติบโตไวกว่าแบบปกติ 10 วัน [5] นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาผลของหลอดไฟแอลอีดีสีขาว แดง และน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตของผักบั้งเงินในระบบอะควาโพนิก [6] ซึ่งผลการศึกษาพบว่า หลอดแอลอีดีสีแดงให้ความสูงต้นทั้งสองสัปดาห์ และน้ำหนักสดของต้นผักบั้งเงินที่สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแสงสีอื่นๆ ในขณะที่หลอดแอลอีดีสีขาวให้ความกว้างลำต้น จำนวนใบต่อต้น น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของราก จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นการวิจัยที่ศึกษาการใช้สีของหลอด LED และระบบควบคุมมาช่วยเพิ่มผลผลิตและลดระยะเวลาในการปลูกพืชผักและสะดวกในการดูแล นอกจากนี้ ควรจะมีระบบการจัดการในการปลูกผักและสามารถลดเวลาในการดูแลพืชผัก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในออกแบบและพัฒนาตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED ที่สามารถปลูกผักสลัดที่สามารถให้แสงเทียมแทนแสงจากดวงอาทิตย์ สามารถแสดงค่าต่างๆ ได้ สามารถแสดงค่าในโทรศัพท์มือถือผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และสามารถสั่งเปิด-ปิด ป้อนน้ำ และหลอดไฟ LED ผ่านโทรศัพท์มือถือเพื่อช่วยให้สามารถควบคุมดูแลและจัดการการปลูกผักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

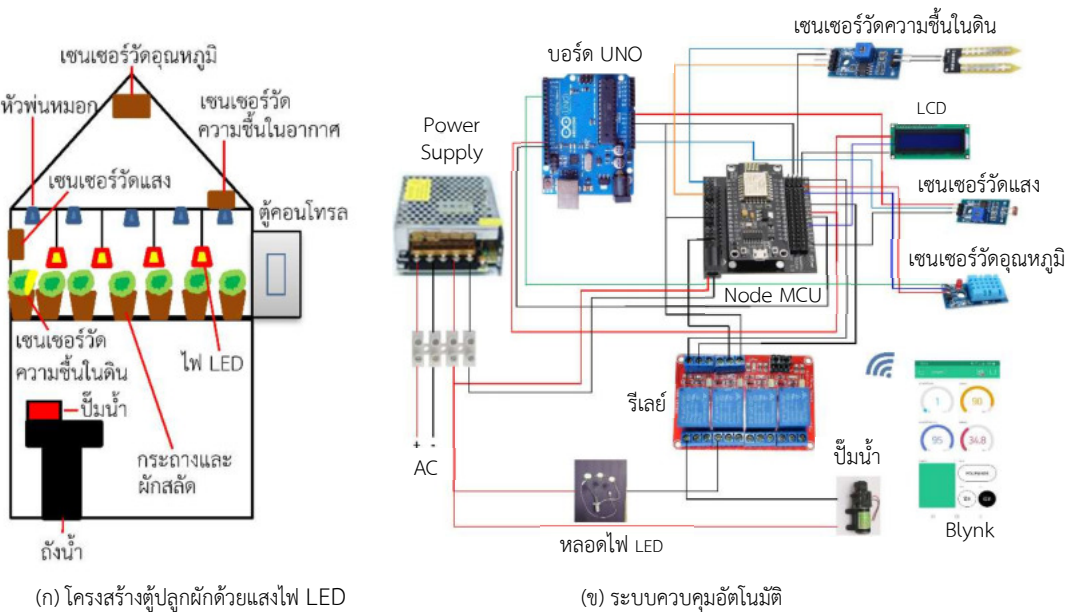
วิธีการวิจัย

ในการออกแบบและพัฒนาตู้ปลูกผักสลัดด้วยแสงไฟ LED ที่มีระบบควบคุมอัตโนมัติมีขั้นตอนในการทำวิจัยตามลำดับขั้นดังต่อไปนี้

1. ศึกษาเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและดำเนินการสร้างตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED
3. สร้างและทดสอบหาประสิทธิภาพตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED เพื่อหาข้อปรับปรุงแก้ไข
4. ทดสอบระบบและเก็บข้อมูลตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED
5. วิเคราะห์ข้อมูลระบบของตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED
6. สรุปผลการทดลอง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการออกแบบและพัฒนาตู้ปลูกผักสลัดด้วยแสงไฟ LED ที่มีระบบควบคุมอัตโนมัติที่จะนำไปทำการทดลองปลูกผักสลัด โดยโครงสร้างตู้ปลูกผักต้นแบบและระบบควบคุมอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ตามลำดับ

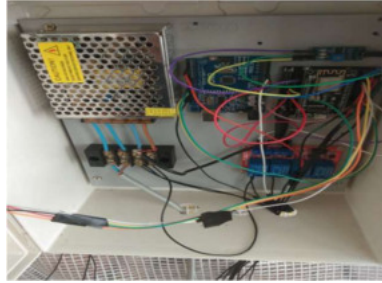


ภาพที่ 1 โครงสร้างระบบตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED และระบบควบคุมอัตโนมัติ

จากภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างระบบตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED และระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโครงสร้างของตู้ปลูกผักที่มีขนาดความสูง 150 เซนติเมตร กว้าง 100 เซนติเมตร ดังภาพที่ 1 (ก) และออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติดังภาพที่ 1 (ข)

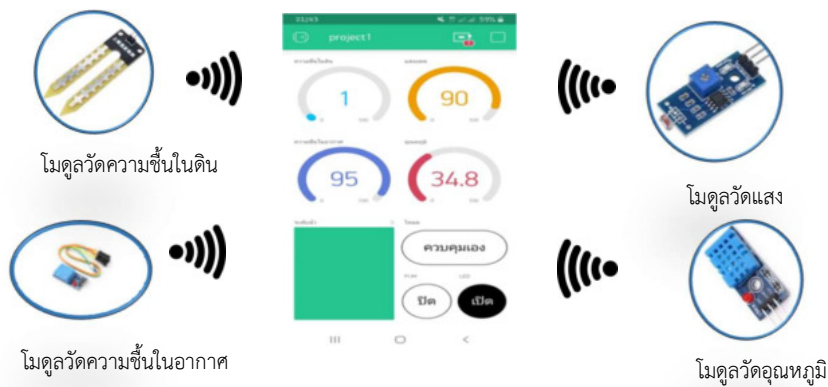


(ก) ตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED ต้นแบบ



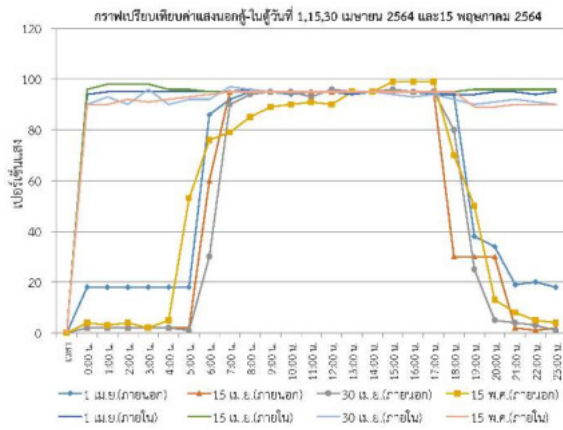
(ข) ระบบควบคุมอัตโนมัติ

ภาพที่ 2 โครงสร้างตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED ต้นแบบและระบบควบคุมอัตโนมัติ

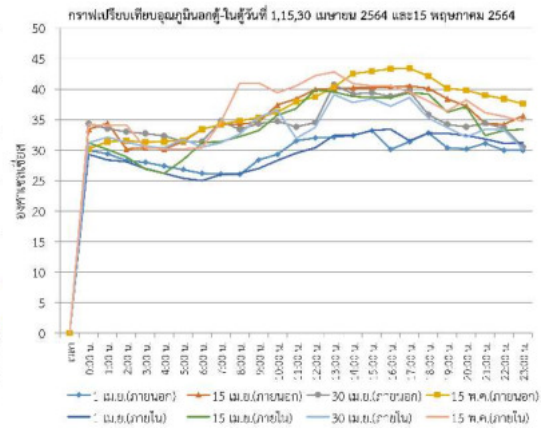


ภาพที่ 3 ภาพแอปพลิเคชัน Blynk ในโทรศัพท์มือถือ

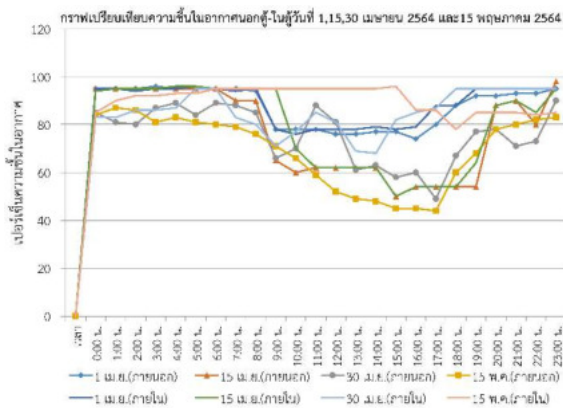
ผู้วิจัยได้ทำการสร้างตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED ต้นแบบดังภาพที่ 2 (ก) และสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติ ดังภาพที่ 2 (ข) และ จากภาพที่ 3 คือ แอปพลิเคชัน Blynk ในโทรศัพท์มือถือ ที่แสดงค่าความชื้นในดิน ค่าแสง ค่าความชื้นในอากาศ และ ค่าอุณหภูมิ ที่ถูกส่งมาจากระบบในตัว คอนโทรล ทำให้สามารถดูค่าต่างๆ ได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น และยังสามารถ สั่งเปิด ปิด-ปั้มน้ำ และ หลอดไฟ LED ผ่าน โทรศัพท์มือถือ



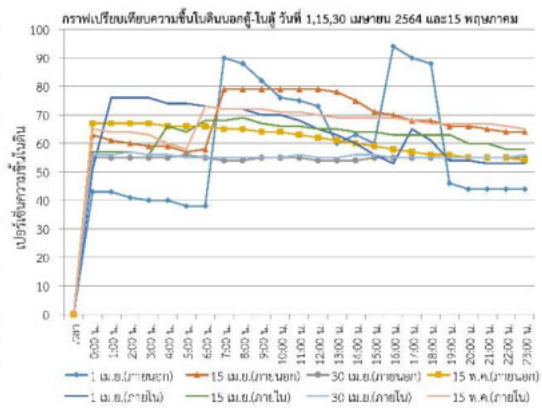
(ก) กราฟเปรียบเทียบค่าแสง



(ข) กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิ



(ค) กราฟเปรียบเทียบความชื้นในอากาศ











(ง) กราฟเปรียบเทียบความชื้นในดิน

ภาพที่ 4 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าแสง อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ และความชื้นในดิน

จากภาพที่ 4 (ก) แสดงเปอร์เซ็นต์ของแสงLED ที่ใช้ในการปลูกผักสลัดในตู้และนอกตู้ จะเห็นได้ว่าผักที่ปลูกในตู้ จะได้รับแสงเฉลี่ยอยู่ที่ 90% ตลอด 24 ชั่วโมง ส่วนผักที่ปลูกนอกตู้ จะได้รับแสงช่วง 08.00 น.-17.00น. เท่านั้น จากภาพที่ 4 (ข) แสดงค่าอุณหภูมิในตู้กับนอกตู้จะเห็นได้ว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 35 องศา ซึ่งไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากในตู้มีระบบระบายอากาศ ภาพที่ 4 (ค) แสดงค่าความชื้นในอากาศ จะเห็นได้ว่าในตู้จะมีความชื้นในอากาศที่อยู่ในช่วง 80%-90% และนอกตู้จะมีความชื้นในอากาศในบางเวลาที่ต่ำ เนื่องจาก สภาพอากาศ สามารถเปลี่ยนได้ตลอดเวลา และ ภาพที่ 4 (ง) แสดงค่าความชื้นในดิน พบว่าความชื้นในดินในตู้จะไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ คือ 50% ทำให้ ค่าความชื้นจะไม่ต่ำ และ จะหยุดรดน้ำตอนความชื้นในดิน มากกว่า 70% ทำให้สามารถควบคุมความชื้นในดินได้

ตารางที่ 1 แสดงภาพการเปรียบเทียบของผักสลัด

วันที่	ผักสลัดที่ปลูกในตู้	ผักสลัดที่ปลูกโดยวิธีทั่วไป
วันที่ 1/04/64		
วันที่ 15/04/64		
วันที่ 30/04/64		
วันที่ 15/05/64		

จากตารางที่ 1 เปรียบเทียบผักสลัด ที่ปลูกในตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED กับผักสลัดที่ปลูกโดยวิธีทั่วไป ในวันที่ 1/04/64 ผักสลัดในตู้และนอกตู้ยังเป็นเมล็ดอยู่

วันที่ 15/04/64 ผักสลัดที่ปลูกในตู้จะมีขนาดใบและลำต้นที่ใหญ่กว่า ไม่มีรอยจากหนอนและแมลง ลำต้นสมบูรณ์ ในส่วนของผักสลัดที่ปลูกโดยวิธีทั่วไป ลำต้นและใบจะมีขนาดเล็กกว่า และมีรอย จากหนอนและแมลงที่มากินใบ

วันที่ 30/04/64 ผักสลัดที่ปลูกในตู้ จะมีลักษณะที่ยืดตรงเนื่องจากไม่ต้องหันไปรับแสงจากทางอื่น ใบมีลักษณะที่ใหญ่และยาว ลำต้นสมบูรณ์ ในส่วนของผักสลัดที่ปลูกโดยวิธีทั่วไป ลำต้นและใบจะมีลักษณะที่เล็ก ลำต้น เอียง บางใบ มีรอยจากหนอนและแมลง และจำนวนใบที่น้อย

วันที่ 15/05/64 ผักสลัดที่ปลูกในตู้ จะมีลักษณะใบที่ใหญ่ และยาว มีใบเยอะ ทุกใบรวมทั้งลำต้นสมบูรณ์แข็งแรง ไม่มีรอย จากหนอนและแมลง สีของใบจะเป็นสีเขียว และพร้อมขาย ในส่วนของผักสลัดที่ปลูกโดยวิธีทั่วไป ใบ จะมีลักษณะ เล็ก ลำต้นไม่ตรง เนื่องจากเอียงหาแสงแดด บางต้นมีรอยจากหนอนและแมลง ในบางต้น และยังมีขนาดเล็ก และยังไม่พร้อมขาย

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างตู้ปลูกผักสลัดด้วยแสงไฟ LED ที่มีระบบควบคุมผ่านโทรศัพท์มือถือ โดยได้ทำการทดลองปลูกผักสลัดเป็นเวลา 45 วัน และทำการเก็บข้อมูลค่าความเข้มของแสง อุณหภูมิ ความชื้นในดิน และทำการเปรียบเทียบขนาดของผักที่ใช้ระบบตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED กับการปลูกผักสลัดด้วยวิธีทั่วไป ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ผักสลัดที่ปลูกด้วยตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED ได้รับแสงตลอดเวลาและต่อเนื่อง ในขณะที่ผักสลัดที่ปลูกด้วยวิธีทั่วไปจะได้รับแสงแค่ช่วงเวลากลางวันเท่านั้น จึงส่งผลให้ผักสลัดที่ปลูกในตู้ปลูกผักด้วยแสงไฟ LED จะเจริญเติบโตได้ดีกว่าการปลูกผักสลัดด้วยวิธีทั่วไป ประมาณ 10 วัน นอกจากนี้ ตู้ปลูกผักสลัดด้วยแสงไฟ LED ที่พัฒนาขึ้นยังสามารถแสดงค่าต่างๆ ผ่านโทรศัพท์มือถือผ่านแอปพลิเคชัน Blynk และสามารถสั่งเปิด-ปิดปั๊มน้ำ และหลอดไฟ LED ผ่านโทรศัพท์มือถือ ช่วยให้สามารถควบคุมดูแลและจัดการการปลูกผักได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การออกแบบและพัฒนาตู้ปลูกผักสลัดด้วยแสงไฟ LED นี้สามารถนำไปใช้ในการปลูกผักสลัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ผลผลิต และสามารถปลูกผักสลัดได้ทุกฤดูกาล นอกจากนี้ยังสามารถนำไปขยายผลส่งเสริมให้กับกลุ่มเกษตรกรที่สนใจเพื่อเพิ่มรายได้ชุมชนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] พันธุ์ธิดา ลิ้มศรีประพันธ์. (2554). การสร้างระบบอัตโนมัติสำหรับการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดินในลักษณะโรงเรือนแบบปิดเพื่อส่งเสริมศักยภาพของชุมชนสู่การเกษตรแบบยั่งยืน. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. พิษณุโลก.
- [2] สุทธิดา มณีเมือง และคณะ. (2558). ผลของความเข้มแสงจากชุดหลอดแอลอีดีสำหรับการเพาะปลูกที่มีต่อผักสลัดเรดโอ๊คในระบบโรงเรือนไฮโดรโปนิคส์. วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 8(1), 63-72.
- [3] จีระศักดิ์ วงษ์บงกชไพศาล และคณะ. (2562). “โปรแกรมทดสอบอุณหภูมิและความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนอัจฉริยะเพื่อใช้ปลูกผักอ็อกไก๊” ใน การประชุมวิชาการและพัฒนาเชิงประยุกต์ครั้งที่ 11. ณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี. อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [4] นภัทร วัฒนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี. (2560). ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืช. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 25(1), 158-176.
- [5] ศุภฤกษ์ เขาวลิตตระกูล. (2561). ระบบปลูกผักสลัดไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
- [6] ชานนท์ ลากจิตร. (2560). ผลของหลอดไฟแอลอีดีสีขาว แดง และน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตของผักบุงจิ้นที่ปลูกในระบบอะควาโพนิค. วารสารพิชศาสตร์สงขลานครินทร์, 4(2), 26-32.

การศึกษาผลกระทบของการพรมน้ำในกระบวนการทึบสกัดน้ำอ้อยต่อกระบวนการผลิตน้ำตาล
และระบบพลังงานร่วม

The Study of Imbibition Effects in Sugar Milling Process on Sugar Processing
and Cogeneration System.

ปารเมศ ศรีบุญวงศ์^{1*} และชนกันันท์ สุขกำเนิด²

Paramade Sriboonwong^{1*} and Chanoknun Sookkumnerd²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมนิวตริกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

¹Innovation Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University 40002

²Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University 40002

¹Corresponding author: Tel.: 092-7364996. E-mail address: paramade_s@kkumail.com

Received: 24 November 2021, Revised: 17 January 2022, Accepted: 25 January 2022, Published online: 30 April 2022

Abstract

The objective of this study was to study the effects of imbibition of water in the milling process on energy consumption, loss in bagasse and total losses. Data from actual production was collected and analyzed; accordingly, the empirical models were developed for data analysis. Consequently imbibition of water effects on manufacturing process of sugar in several aspects including loss in bagasse, mixed juice brix and bagasse moisture (relating to of bagasse consumption as fuel) were illustrated. The quantity of imbibition water variation was varied between 24 – 36 % to see its effects. Subsequently, the fuel consumption, loss in bagasse and total loss were finally investigated and analyzed. Increasing the amount of Imbibition reduces the loss in bagasse, but it caused the increases in the energy consumption of steam for evaporator due to the low of mixed juice brix. In addition, the fuel consumption was also increased due to higher moisture in bagasse as the imbibition increases. The results showed that at 27% of imbibition water, the energy consumption was equal to the sugar loss, however total loss became similar in data point of quantity of imbibition water. At the total loss, it's not much different. This is because increasing fuel consumption is offset by lower sugar losses. Therefore, the results from this study are able to be used as economic guidelines for decision making of optimized quantity of imbibition water in the milling process of sugar factory. However, the results of analysis probably vary according to price of sugar and bagasse.

Keywords: Steam, Bagasse, Mass and Energy Balance, Simulation

FC

เพื่อพลังงานความร้อนชุมชน
(Fuel and Heat for Communities)

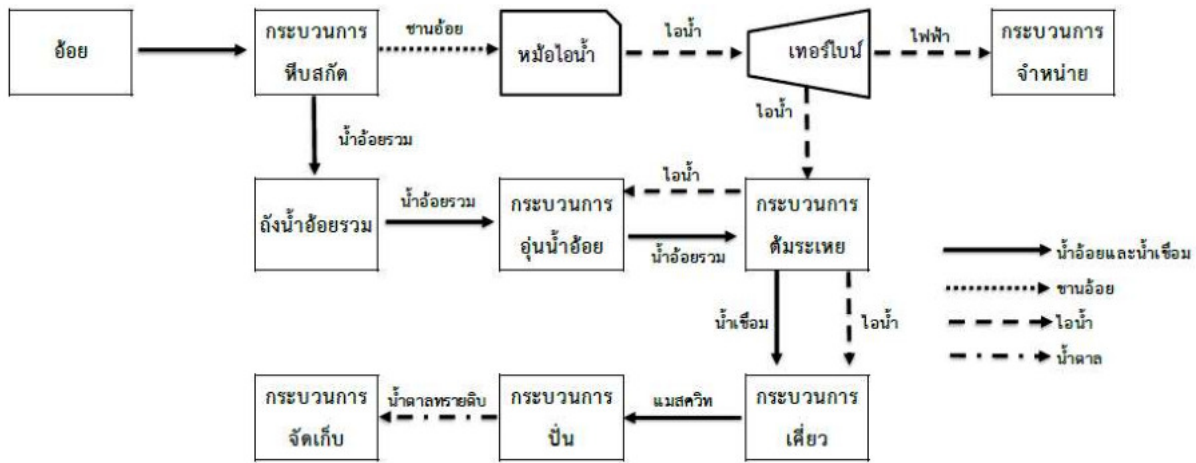
บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการพรมน้ำในกระบวนการหีบสกัดน้ำอ้อย เพื่อใช้เปรียบเทียบถึงผลกระทบในด้านต่างๆทั้งด้านการใช้พลังงาน ด้านการสูญเสียน้ำตาลไปกับขานอ้อย และด้านการสูญเสียรวม ซึ่งผู้วิจัยได้นำข้อมูลการผลิตจริงมาร่วมวิเคราะห์กับแบบจำลองในโปรแกรม Microsoft Excel พบว่าการพรมน้ำนั้นมีผลกระทบในกระบวนการผลิตน้ำตาลหลายด้าน เช่น ส่งผลต่อการสูญเสียน้ำตาลไปกับขานอ้อย ค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อย (Mixed Juice Brix), ค่าความชื้นขานอ้อยซึ่งส่งผลต่อปริมาณการใช้ขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิง โดยได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านต่างๆจากปริมาณน้ำพรมที่แตกต่างกันตั้งแต่ 24 – 36 % ต่อปริมาณอ้อยที่เข้ากระบวนการหีบ ซึ่งผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลกระทบทั้งด้านประสิทธิภาพ ด้านคุณภาพของวัตถุดิบและผลผลิตที่ได้ของแต่ละกระบวนการ จากนั้นจึงนำมาคำนวณการสูญเสียในเชิงมูลค่าทั้งด้านการใช้เชื้อเพลิง ด้านการสูญเสียน้ำตาลไปกับขานอ้อยและด้านการสูญเสียรวม ซึ่งการเพิ่มปริมาณน้ำพรมจะช่วยลดการสูญเสียน้ำตาลที่ติดไปกับขานอ้อยแต่จะมีการใช้พลังงานไอน้ำในการต้มระเหยเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำอ้อยจะมีความเข้มข้นต่ำ รวมถึงจะมีการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นเนื่องจากความชื้นขานอ้อยที่สูงขึ้นตามการเพิ่มปริมาณน้ำพรม โดยผู้วิจัยพบว่าปริมาณน้ำพรมที่ 27% ต่อปริมาณอ้อยเข้าหีบนั้นเป็นจุดที่ข้อมูลในการใช้เชื้อเพลิงและการสูญเสียน้ำตาลทั้ง 2 จุดมีค่าเท่ากัน แต่หากมองทางด้าน การสูญเสียรวมทั้งหมดนั้นมีความไม่แตกต่างกันมาก เพราะการเพิ่มปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจะถูกชดเชยด้วยการสูญเสีย น้ำตาลที่ลดลง ดังนั้นข้อมูลจากงานวิจัยนี้ จึงเป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจเรื่องปริมาณการใช้น้ำพรมในกระบวนการหีบ อ้อยของโรงงานน้ำตาล ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์จะเปลี่ยนแปลงไปตามราคาน้ำตาลและราคาขานอ้อย

คำสำคัญ: ไอน้ำ ขานอ้อย สมดุลมวลและพลังงาน การจำลอง

บทนำ

การผลิตน้ำตาลนั้นเริ่มแรกอ้อยจะถูกลำเลียงเข้าสู่ชุดมีดเพื่อสับอ้อยให้เป็นชิ้นเล็กๆและจะถูกลำเลียงต่อไปยังกระบวนการหีบอ้อยให้ชิ้นอ้อยแตกเพื่อให้เหมาะสมกับการสกัดเอาน้ำอ้อย จากนั้นอ้อยจะถูกลำเลียงเข้าสู่กระบวนการหีบสกัด โดยทั่วไปนั้นกระบวนการหีบสกัดของโรงงานน้ำตาลจะมีชุดลูกหีบที่ใช้หีบสกัดน้ำอ้อยประมาณ 5 - 6 ชุด โดยกระบวนการหีบสกัดนี้มีจุดประสงค์เพื่อสกัดน้ำอ้อยออกจากขานอ้อยด้วยการดึงน้ำตาลซูโครสในอ้อยออกมาให้มากที่สุด ปัจจุบันหนึ่งซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการหีบสกัดนี้คือจะมีการใช้น้ำร้อนพรมขานอ้อยในชุดลูกหีบชุดสุดท้าย จากนั้นก็จะนำน้ำอ้อยจากชุดสุดท้ายมาพรมยังชุดก่อนหน้ายกเว้นชุดหนึ่ง ซึ่งการพรมน้ำร้อนนั้นนอกจากจะเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดแล้วจะช่วยลดการสูญเสียน้ำตาลที่ติดไปกับขานอ้อยได้ [1] แต่ปริมาณการพรมน้ำนั้นก็เป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานไอน้ำในการต้มระเหยน้ำอ้อย กล่าวคือ หากพรมน้ำในปริมาณมากจะช่วยเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพในการหีบสกัดและลดการสูญเสีย น้ำตาลไปกับขานอ้อยแต่จะใช้ปริมาณพลังงานไอน้ำในการต้มระเหยน้ำอ้อยมากขึ้น เนื่องจากเมื่อพรมน้ำมากน้ำอ้อยก็จะเจือจางจึงต้องใช้พลังงานไอน้ำในปริมาณที่เพิ่มขึ้นในการต้มระเหยน้ำอ้อย [2] รวมถึงเมื่อใช้ปริมาณน้ำพรมที่มากขึ้นนั้นจะส่งผลกระทบต่อความชื้นขานอ้อยเช่นเดียวกัน [3] มีผลให้การใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำมากขึ้น



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตน้ำตาลและระบบพลังงานร่วม

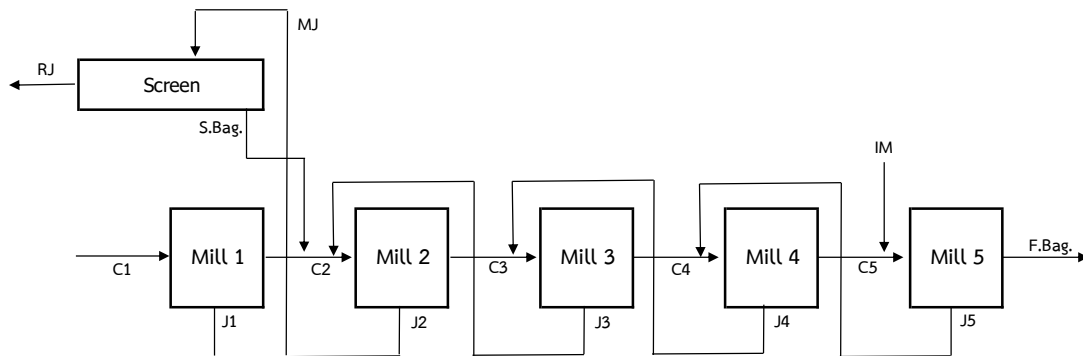
ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการไอน้ำและไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลจำนวนมาก โรงงานได้นำเอาชานอ้อยที่ได้จากกระบวนการทึบสกัดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าใช้ในโรงงาน [4] ทดแทนการนำเข้าเชื้อเพลิงจากภายนอก เริ่มแรกการผลิตไฟฟ้าเน้นแค่เพียงพอสำหรับใช้ในโรงงานเป็นหลักเท่านั้นแต่ในปัจจุบันได้มีการเพิ่มศักยภาพของโรงงานส่งผลให้มีไฟฟ้าเหลือจากการใช้ภายในโรงงานสามารถเพิ่มรายได้จากการขายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบได้อีกด้วย [5]

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าปริมาณการใช้น้ำพรมในกระบวนการทึบสกัดนั้น ส่งผลต่อการสูญเสียน้ำตาล การใช้น้ำและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงซึ่งจะเกี่ยวข้องกับศักยภาพการผลิตไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายนอกฤดูผลิตน้ำตาล ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ซึ่งผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาจุดเหมาะสมในการใช้ปริมาณน้ำพรมสำหรับกระบวนการทึบสกัดเพื่อไม่ให้เกิดการใช้น้ำพรมมากเกินไปจนทำให้เกิดการใช้พลังงานไอน้ำรวมถึงการใช้เชื้อเพลิงที่ไม่เหมาะสม และเพื่อไม่ให้เกิดการใช้น้ำพรมที่น้อยจนเกินไปจนทำให้เกิดการสูญเสียน้ำตาลไปกับชานอ้อยในปริมาณที่สูง โดยผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลกระทบในด้านต่างๆ ด้วยวิธีสมดุลมวลและพลังงานร่วมกับการใช้แบบจำลองในกระบวนการผลิตน้ำตาลในการวิเคราะห์ต่อไป

วิธีการวิจัย

ปริมาณการพรมน้ำอ้อยนั้นจะคิดปริมาณการใช้งานเป็นสัดส่วนร้อยละเมื่อเทียบกับอัตราการทึบอ้อย ตัวอย่างเช่น เมื่อทึบอ้อย 500 ตัน/ชั่วโมง หากทางโรงงานกำหนดว่าจะใช้ปริมาณน้ำ 30% ก็จะมีปริมาณน้ำที่ใช้งานคือ 150 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง โดยการพรมน้ำอ้อย (Imbibition, IM) ที่นิยมใช้กันในโรงงานน้ำตาลคือวิธีการพรมน้ำแบบผสม (Compound Imbibition) [6] (ภาพที่ 2) ด้วยการนำน้ำพรมลงไปยังชานอ้อย (C5) ก่อนที่จะทำการทึบในชุดลูกทึบชุดสุดท้ายและนำน้ำอ้อยที่ได้จากลูกทึบชุดสุดท้าย (J5) มาพรมยังชานอ้อยหน้าลูกทึบชุดก่อนหน้า (C4) น้ำอ้อยที่ได้จากลูกทึบชุดที่ 4 (J4) ก็จะถูกส่งมาพรมชานอ้อยหน้าลูกทึบชุด 3 (C3) น้ำอ้อยที่ได้จากลูกทึบชุด 3 (J3) จะถูกส่งมาพรมชานอ้อยหน้าลูกทึบชุด 2 (C2) ส่วนน้ำอ้อยที่ได้จากลูกทึบชุด 2 (J2) จะถูกนำมารวมกับน้ำอ้อยที่ได้จากลูกทึบชุดแรก (J1) ซึ่งในจุดนี้น้ำอ้อยทั้งหมดในกระบวนการทึบสกัดจะรวมกัน (Mixed Juice, MJ) เพื่อจะนำน้ำอ้อยไปผ่านกระบวนการกรอง (Screen) เพื่อแยกเอาชานอ้อยที่ติดมากับน้ำอ้อยออกจากกัน เมื่อน้ำอ้อยผ่านการคัดแยกแล้วจะได้เป็นน้ำอ้อยดิบ (Raw Juice, RJ) น้ำอ้อยดิบนี้ (RJ) ก็จะถูกส่งไปกระบวนการต้มระเหยต่อ ส่วนชานอ้อยที่ได้จากกระบวนการกรอง (Screen Bagasse, S.Bag) ก็จะถูกส่งมาทึบสกัดในชุดลูกทึบ

ชุดที่ 2 ต่อ สำหรับขานอ้อยที่ได้จากกระบวนการหีบขุดสุดท้าย (Final Bagasse , F.Bag) ก็จะถูกลำเลียงไปเป็นเชื้อเพลิงให้กับ หม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 2 การลำเลียงวัตถุดิบต่างๆในกระบวนการหีบสกัด

จากที่กล่าวมาในกระบวนการเหล่านี้จะมีการวัดประสิทธิภาพการหีบสกัด (Pol Extraction) รวมถึงคุณภาพของ วัตถุดิบที่ได้จากกระบวนการนี้ได้แก่ ขานอ้อยและน้ำอ้อย คุณภาพของขานอ้อยที่ผู้วิจัยพิจารณาคือ 1.ค่าความชื้น 2.ร้อยละของ น้ำตาลที่ติดไปกับขานอ้อย (Pol in Bagasse) ส่วนคุณภาพของน้ำอ้อยที่พิจารณาคือค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อย (Brix)

(1) การคำนวณหาประสิทธิภาพการหีบสกัด (Pol Extraction)

$$\text{Pol Extraction} = \frac{(100 - \text{Pol}\% \text{Cane}) - (\text{Bagasse}\% \text{Cane} \times \text{Pol in Bagasse})}{\text{Pol}\% \text{Cane}} \quad (\%) \quad (1)$$

- เมื่อ Pol % Cane = ค่าความหวานในอ้อย , (Pol)
 Bagasse % Cane = สัดส่วนของขานอ้อยกับอ้อยเข้าหีบ, (%)
 Pol % Bagasse = ค่าความหวานของขานอ้อยหลังผ่านกระบวนการหีบสกัด, (Pol)

(2) การคำนวณหาค่าความเข้มข้นน้ำอ้อยผสม (Mixed Juice Brix)

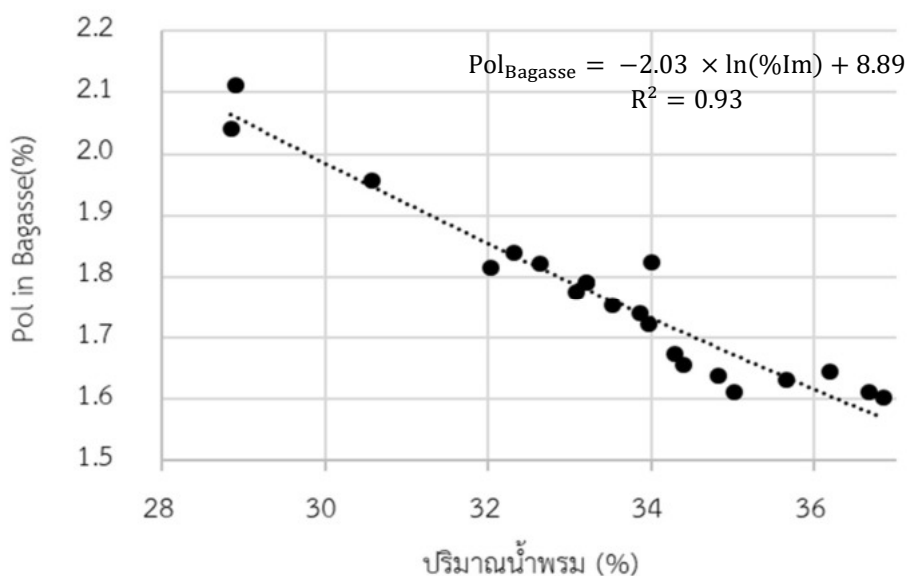
$$\text{Mixed Juice Brix} = \frac{(\text{Juice}\% \text{Cane}/100) \times \dot{m}_c \times \text{Brix}_{\text{Firstjuice}}}{(\text{Juice}\% \text{Cane}/100) \times \dot{m}_c + (\% \text{Im}/100) \times \dot{m}_c} \quad (\text{Brix}) \quad (2)$$

- เมื่อ \dot{m}_c = ปริมาณอ้อยที่ป้อนเข้าหีบ, (t/h)
 Juice % Cane = สัดส่วนระหว่างน้ำอ้อย/ปริมาณอ้อย, (%)
 %Im = เปอร์เซ็นต์น้ำพรหมที่ถูกหีบโดยเทียบจากปริมาณอ้อยที่เข้าหีบ, (%)
 $\text{Brix}_{\text{Firstjuice}}$ = ค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อยชุดแรก

(3) การคำนวณหาร้อยละของน้ำตาลที่ติดไปกับขานอ้อย Pol in Bagasse

ในการคำนวณค่า Pol in Bagasse นั้นอ้อยนั้นผู้วิจัยได้นำข้อมูลการผลิตจริงมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการ ปริมาณน้ำพรหมกับค่า Pol in Bagasse ซึ่งในการเก็บข้อมูลค่า Pol in Bagasse นี้ หากเครื่องจักรทำงานไม่สมบูรณ์ค่า Pol in Bagasse จะค่อนข้างไม่คงที่ ผู้วิจัยจึงได้เลือกช่วงเวลาเครื่องจักรในกระบวนการหีบสกัดสมบูรณ์ไม่มีการหยุดผลิตเนื่องจาก

เครื่องจักรเสีย โดยได้คัดเลือกข้อมูลเฉลี่ยมาจำนวน 21 วัน ซึ่งในแต่ละวันนั้นจะมีการเก็บตัวอย่างชานอ้อยไปวิเคราะห์ทุก 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงได้นำข้อมูลเฉลี่ยในแต่ละวันมาเขียนกราฟและวิเคราะห์สมการจากเส้นแนวโน้มได้ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pol in Bagasse กับปริมาณน้ำพรหม

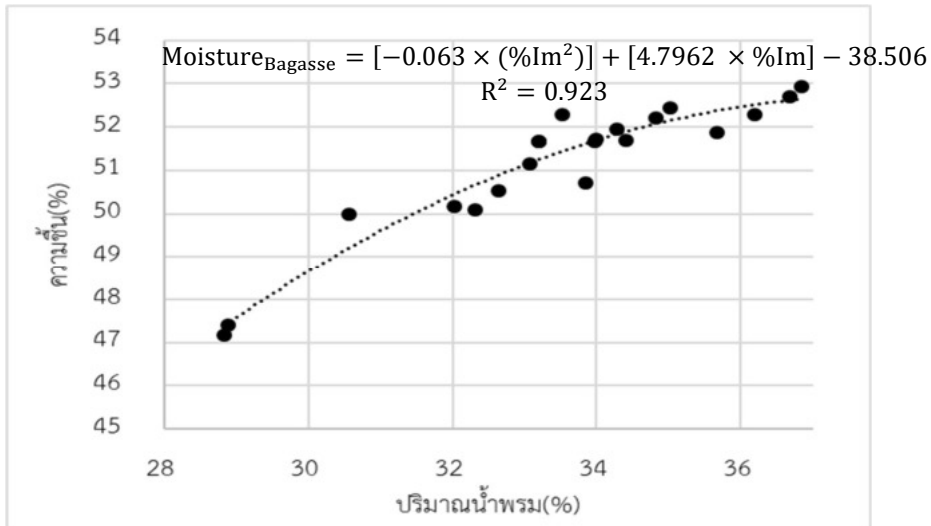
จากภาพที่ 3 จะได้สมการเส้นแนวโน้มมาผู้วิจัยจึงนำสมการนี้มาวิเคราะห์ค่า Pol in Bagasse ที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำพรหมดังนี้

$$\text{Pol in Bagasse} = -2.30 \times \ln(\%Im) + 8.89 \quad (\%) \quad (3)$$

เมื่อ $\%Im$ = เปอร์เซ็นต์น้ำพรหมที่ถูกลูกหีบโดยเทียบจากปริมาณอ้อยที่เข้าหีบ, (%)

(4) การคำนวณหาความชื้นชานอ้อย (Moisture in Bagasse)

ในการคำนวณหาความชื้นชานอ้อยนั้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลการผลิตจริงมาวิเคราะห์โดยได้เลือกช่วงเวลาเครื่องจักรในกระบวนการหีบสกัดทำงานสมบูรณ์และมีการทดลองปรับปริมาณน้ำพรหมขณะเดินเครื่อง ซึ่งผู้วิจัยได้คัดเลือกข้อมูลเฉลี่ยในแต่ละวันมาเช่นเดียวกับการหาค่าร้อยละของน้ำตาลที่ติดไปกับชานอ้อย Pol in Bagasse จากนั้นจึงได้นำข้อมูลมาเขียนกราฟและวิเคราะห์สมการจากเส้นแนวโน้มได้ดังนี้



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นชานอ้อยกับปริมาณน้ำพรหม

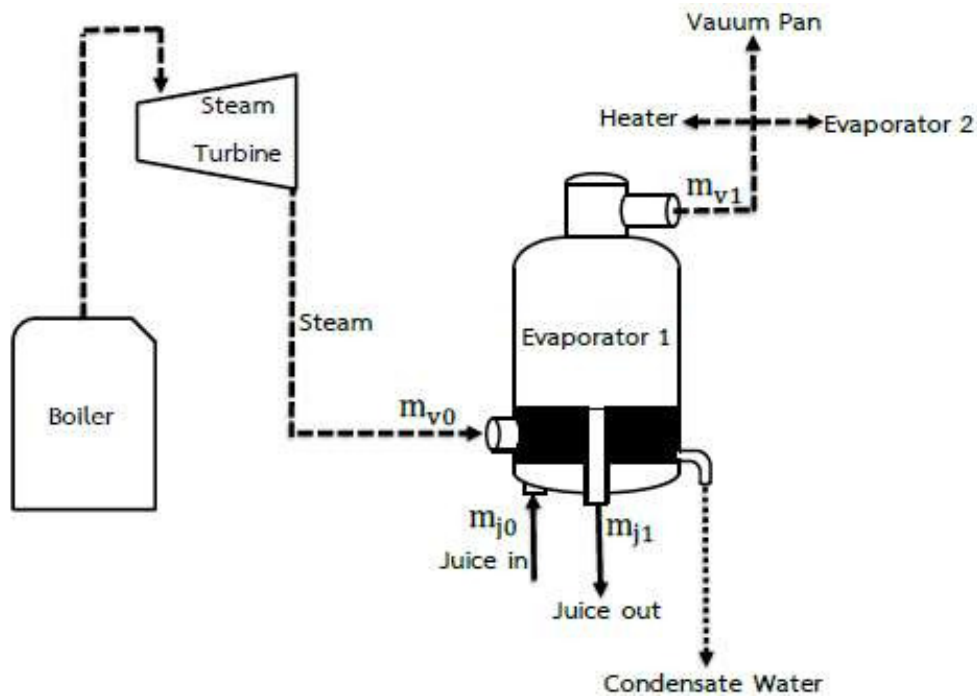
จากภาพที่ 4 จะได้สมการเส้นแนวโน้มมาผู้วิจัยจึงนำสมการนี้มาวิเคราะห์ความชื้นชานอ้อยที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำพรหมดังนี้

$$\text{Moisture in Bagasse} = (-0.063 \times (\%Im^2)) + (4.7962 \times \%Im) - 38.506 \quad (\%) \quad (4)$$

เมื่อ $\%Im$ = เปอร์เซ็นต์น้ำพรหมที่ลูกหีบโดยเทียบจากปริมาณอ้อยที่เข้าหีบ, (%)

(5) การคำนวณหาความต้องการการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตน้ำตาล m_s

ในการคำนวณหาความต้องการการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตน้ำตาลจะคิดที่อัตราการไหลของไอน้ำไอเสียที่เข้าหม้อต้มชุดแรก [7] ซึ่งจำเป็นต้องทราบอัตราการไหลของน้ำอ้อยขาออกหม้อต้มชุดแรกและอัตราการไหลของไอหัวหม้อที่หม้อต้มชุดแรกเสียก่อน เพื่อสามารถคำนวณหาอัตราการไหลของไอน้ำไอเสียที่เข้าหม้อต้มชุดแรกได้



ภาพที่ 5 การไหลของไอน้ำในกระบวนการผลิตน้ำตาล

การคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำอ้อยขาออกหม้อต้มชุดแรก (Juice flow outlet) , \dot{m}_{j1} จากสมการสมดุลมวลของแข็ง

$$\dot{m}_{j1} = \dot{m}_{j0} Bx_0 / Bx_1 \quad (\text{t/h}) \quad (5)$$

การคำนวณหาอัตราการไหลของไอหัวหม้อ, \dot{m}_{v1} . เมื่อพิจารณาการไหลของมวลเข้าเท่ากับมวลออก

$$\dot{m}_{v1} = \dot{m}_{j1} - \dot{m}_{j0} \quad (\text{t/h}) \quad (6)$$

การคำนวณหาอัตราการไหลของไอน้ำไอเสียที่เข้าหม้อต้มชุดแรก , \dot{m}_s .

เนื่องจากความต้องการใช้ไอน้ำไอเสียในระบบหม้อต้มจะขึ้นอยู่กับความต้มการใช้ของหม้อต้มใบแรกเท่านั้นดังนั้นเมื่อพิจารณาสมดุลพลังงานของหม้อต้มชุดแรก อัตราการใช้ไอน้ำจะได้ว่า

$$\dot{m}_s = \left[\frac{\dot{m}_{v1} h_{v1} + \dot{m}_{j1} C_{p,j1} T_{j1} - \dot{m}_{j0} C_{p,j0} T_{j0}}{h_v - h_L} \right] \quad (\text{t/h}) \quad (7)$$

โดย	$C_{pj} = 4.1868 - (Bx)(0.0297 - 4.6 \times 10^{-5} P) + (7.5 \times 10^{-5})(Bx)(T)$	(kJ/kg.k)(8)
เมื่อ	\dot{m}_{j0}	= อัตราการไหลของน้ำอ้อยขาเข้าหม้อต้ม (t/h)
	\dot{m}_{j1}	= อัตราการไหลของน้ำอ้อยขาออกหม้อต้ม (t/h)
	Bx_0	= ค่าความเข้มข้น(Brix)ของน้ำอ้อยที่ขาเข้าหม้อต้ม (Bx)
	Bx_1	= ค่าความเข้มข้น(Brix)ของน้ำอ้อยที่ขาออกหม้อต้ม (Bx)
	h_{V1}	= เอนทาลปีจำเพาะของไอหัวหม้อ (kJ/kg)
	h_V	= เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำอิ่มตัวที่ขาเข้าหม้อ (kJ/kg)
	$C_{p,j0}$	= ค่าจุความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยที่ขาเข้าหม้อต้ม (kJ/kg K)
	$C_{p,j1}$	= ค่าจุความร้อนจำเพาะของน้ำอ้อยที่ขาออกหม้อต้ม (kJ/kg K)
	T_{j0}	= อุณหภูมิน้ำอ้อยขาเข้าหม้อต้ม (C)
	T_{j1}	= อุณหภูมิน้ำอ้อยขาออกหม้อต้ม (C)
	P	= ค่า Purity ของน้ำอ้อย

การคำนวณหาอัตราการไหลของ Syrup ที่ได้จากหม้อต้มชุดสุดท้าย , \dot{m}_{Syrup}

	$\dot{m}_{Syrup} = \dot{m}_{j0} Bx_0 / Bx_{Syrup}$	(t/h) (9)
เมื่อ	\dot{m}_{j0}	= อัตราการไหลของน้ำอ้อยขาเข้าหม้อต้มชุดแรก (t/h)
	\dot{m}_{Syrup}	= อัตราการไหลของ Syrup ขาออกหม้อต้มชุดสุดท้าย (t/h)
	Bx_0	= ค่าความเข้มข้น(Brix)ของน้ำอ้อยที่ขาเข้าหม้อต้มชุดแรก (Bx)
	Bx_{Syrup}	= ค่าความเข้มข้น(Brix)ของ Syrup ที่ขาออกหม้อต้มชุดสุดท้าย (Bx)

(6) การคำนวณหาอัตราการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ (Fuel Consumption) , \dot{m}_f

หม้อไอน้ำ(Boiler) มีหน้าที่ผลิตไอน้ำความดันสูง (Superheated steam) โดยความร้อนที่ใช้ผลิตไอน้ำได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในกระบวนการของโรงงานน้ำตาลซึ่งที่เหลือจากกระบวนการคือ ขานอ้อยจากการที่บสกดจึงได้มีการนำเอาขานอ้อยมาใช้ให้เกิดประโยชน์เป็นเชื้อเพลิง สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าเชื้อเพลิงจากภายนอก ค่าความร้อนของการเผาไหม้เชื้อเพลิงค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (ขานอ้อย) คือปริมาณความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิบรรยากาศ ค่าความร้อนแบ่งได้ 2 ประเภทคือค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำ ในที่นี้ผู้วิจัยได้ใช้ค่าความร้อนต่ำ [8] ในการคำนวณ ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อความชื้นเชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้นตามสมการที่ 11

การคำนวณหาอัตราการใช้เชื้อเพลิง (Fuel Consumption) , \dot{m}_f

$$\dot{m}_f = \left[\frac{(\dot{m}_s h_s - \dot{m}_w h_w) \times 100}{LHV \times \eta_b} \right] \quad (t/h) \quad (10)$$

$$\text{โดย } LHV = (4250 - 12s - 48.5w) \times 4.186 \quad (kJ/kg) \quad (11)$$

การคำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือใช้, (Surplus bagasse), \dot{m}_B

$$\dot{m}_B = \dot{m}_{Bag} - \dot{m}_f \quad (t/h) \quad (12)$$

เมื่อ	\dot{m}_s	=	อัตราการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำ	(t/h)
	\dot{m}_{bl}	=	อัตราการโบว์ดาวน้ำจากหม้อไอน้ำ	(t/h)
	\dot{m}_w	=	ปริมาณน้ำป้อน	(t/h)
	h_s	=	เอนทาลปีจำเพาะของไอน้ำที่ผลิตออกจากหม้อไอน้ำ	(kJ/kg)
	h_w	=	เอนทาลปีจำเพาะของน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ	(kJ/kg)
	LHV	=	ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง	(kJ/kg)
	η_b	=	ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	(%)
	s	=	เปอร์เซ็นต์ซูโครสในชานอ้อย	(%)
	w	=	เปอร์เซ็นต์ความชื้นในชานอ้อย	(%)
	\dot{m}_{Bag}	=	ชานอ้อยที่ได้จากการหีบ	(t/h)

(7) การคำนวณหาการสูญเสียน้ำตาลไปกับชานอ้อย

จากสมการที่ 3 ผู้วิจัยสามารถคำนวณค่า Pol in Bagasse ที่ปริมาณน้ำพรมแตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจะทราบถึงปริมาณน้ำตาลที่ติดไปกับชานอ้อยได้ดังนี้

$$\text{Sugar Loss} = \frac{\text{Pol in Bagasse} \times \dot{m}_{Bag}}{\text{Pol in Sugar}} \quad (t/h) \quad (13)$$

เมื่อ	\dot{m}_{Bag}	=	ชานอ้อยที่ได้จากการหีบ	(t/h)
-------	-----------------	---	------------------------	-------

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

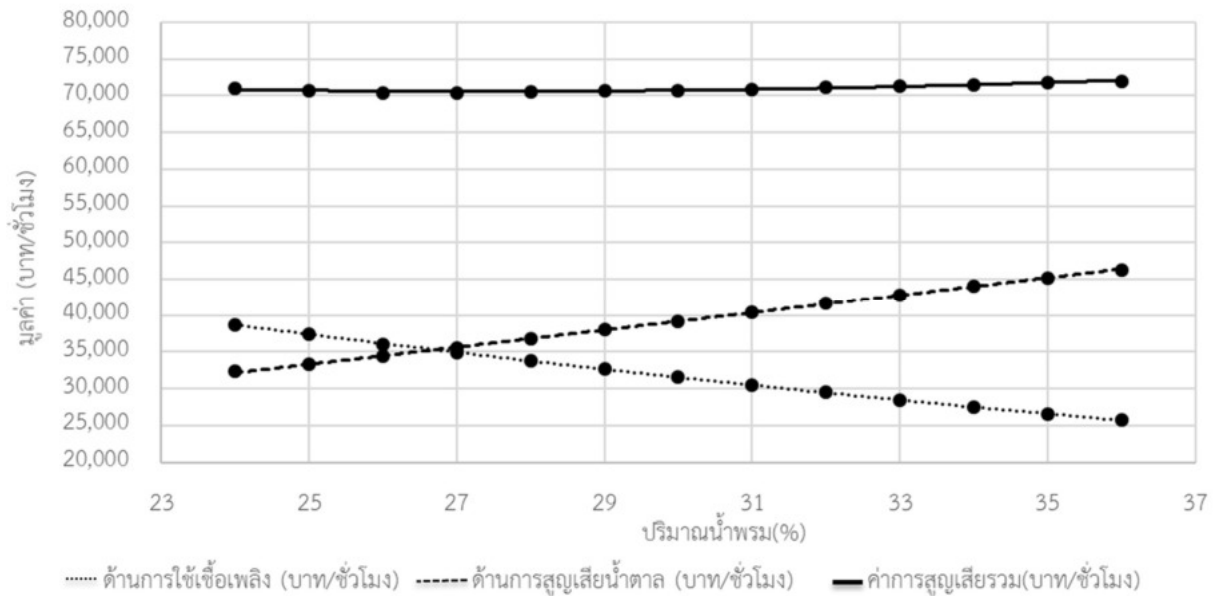
เมื่อพิจารณาข้อมูลแล้วจะเห็นว่าปริมาณการใช้น้ำพรมในกระบวนการหีบสกัดนั้น ส่งผลต่อการสูญเสียน้ำตาล, การใช้พลังไอน้ำและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ผู้วิจัยจึงได้คำนวณผลกระทบด้านต่างๆ จากสมการข้างต้น ทั้งด้านประสิทธิภาพการหีบสกัด ด้านคุณภาพของวัตถุดิบและผลผลิตที่ได้ของแต่ละกระบวนการ จากนั้นจะนำมาสู่การคำนวณการสูญเสียในเชิงมูลค่า ทั้งด้านการใช้เชื้อเพลิง ด้านการสูญเสียน้ำตาลไปกับชานอ้อย และด้านการสูญเสียรวมโดยการคำนวณได้ดังนี้

ตารางที่ 1 การคำนวณประสิทธิภาพและคุณภาพของผลผลิตจากกระบวนการหีบสกัด

ปริมาณการใช้น้ำพรม (%)	ประสิทธิภาพการหีบสกัด (%)	ค่าความหวานชานอ้อย (%)	การสูญเสียน้ำตาลไปกับชานอ้อย(%)	ค่าความชื้นชานอ้อย (%)	ค่าความเข้มข้นน้ำอ้อยรวม (Brix)	อัตราการใช้น้ำ (ตัน/ชั่วโมง)	ปริมาณการใช้อ้อยเพลิง (ตัน/ชั่วโมง)	เป็นเงิน (บาท/ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาลที่สูญเสีย (ตัน/ชั่วโมง)	เป็นเงิน (บาท/ชั่วโมง)	ค่าการสูญเสียรวม (บาท/ชั่วโมง)
24	95.12	2.44	4.88	40.31	14.67	158.53	64.59	32,299	3.44	38,760	71,060
26	95.45	2.28	4.55	43.61	14.39	167.41	68.78	34,390	3.19	35,978	70,369
28	95.75	2.13	4.25	46.40	14.13	177.02	73.46	36,731	3.00	33,786	70,518
30	96.03	1.99	3.97	48.68	13.88	187.59	78.39	39,196	2.80	31,560	70,756
32	96.29	1.85	3.71	50.46	13.63	198.13	83.25	41,624	2.61	29,478	71,102
34	96.54	1.73	3.46	51.74	13.40	208.63	88.01	44,002	2.44	27,521	71,524
36	96.77	1.62	3.23	52.51	13.17	219.10	92.64	46,321	2.28	25,677	71,998

หมายเหตุ ราคาน้ำตาลคิดราคาเฉลี่ย 5 ปี ราคา 11,278.60 บาท/ตัน
 ราคาชานอ้อยคิดที่ราคา 500 บาท/ตัน

จากตารางที่ 1 จะสามารถคำนวณผลกระทบของประสิทธิภาพการหีบสกัดรวมถึงคุณภาพของวัตถุดิบได้เมื่อปริมาณน้ำพรมเปลี่ยนแปลงโดยได้คำนวณปริมาณการใช้น้ำพรมตั้งแต่ 24 – 36 % ต่อปริมาณอ้อยที่เข้ากระบวนการหีบสกัด จะเห็นว่ายิ่งใช้ปริมาณน้ำพรมสูงประสิทธิภาพการหีบสกัด (Pol Extraction) ก็จะสูงตามร้อยละของน้ำตาลที่ติดไปกับชานอ้อย (Pol in Bagasse) ก็จะน้อยซึ่งค่าความหวานนี้สามารถคำนวณกลับมาเป็นปริมาณน้ำตาลได้ แต่ในด้านของการใช้อ้อยเพลิงนั้นค่าความชื้นชานอ้อย (Moisture in Bagasse) จะสูงขึ้นตามปริมาณการใช้น้ำพรม รวมถึงค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อย (Brix Mixed Juice) ก็จะต่ำลงตามปริมาณน้ำพรมที่สูงขึ้นตามลำดับ ดังนั้นจะสามารถคิดผลกระทบในด้านต่าง ๆ เป็นมูลค่าได้ ซึ่งจะเห็นว่าการใช้ปริมาณน้ำพรมเยอะจะช่วยลดการสูญเสียน้ำตาลที่ติดไปกับชานอ้อยได้แต่จะมีการใช้พลังงานไอน้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อย (Brix Mixed Juice) จะต่ำลง รวมถึงจะมีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากใช้ปริมาณน้ำพรมเยอะจะทำให้ชานอ้อยมีความชื้นสูงซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่เหลือหลังฤดูผลิตน้ำตาลที่จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายนอกฤดูผลิตน้ำตาล นับเป็นการสูญเสียโอกาสในการผลิตไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายดังนั้นจากข้อมูลทางผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์หาจุดเหมาะสมในการใช้ปริมาณน้ำพรมได้



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ผลกระทบของการพรอมน้ำด้านต่าง ๆ

สรุปผลการวิจัย

ด้านการใช้เชื้อเพลิง เมื่อมีการพรอมน้ำในปริมาณมากความชื้นของชานอ้อยก็จะสูงขึ้นตามลำดับเมื่อชานอ้อยมีความชื้นสูงค่าความร้อนของชานอ้อยจะต่ำลงทำให้มีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับศักยภาพการผลิตไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายนอกฤดูผลิตน้ำตาล

ด้านการใช้พลังงานไอน้ำ ปริมาณน้ำพรอมที่สูงจะส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของน้ำอ้อย (Brix) ต่ำเมื่อน้ำอ้อยมีค่าความเข้มข้นต่ำจึงต้องใช้พลังงานไอน้ำที่มากขึ้นในการต้มระเหยน้ำอ้อย เมื่อต้องผลิตไอน้ำที่มากขึ้นจึงต้องใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นจึงส่งผลต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ

ด้านการสูญเสียน้ำตาล การใช้ปริมาณน้ำพรอมที่สูงนั้นจะช่วยลดร้อยละของน้ำตาลที่ติดไปกับชานอ้อยได้ (Pol in Bagasse) ซึ่งร้อยละของน้ำตาลที่ติดไปกับชานอ้อยนี้สามารถคำนวณกลับเป็นปริมาณน้ำตาลที่สูญเสียได้ตามสมการที่ 13 เช่นเดียวกันหากใช้ปริมาณน้ำพรมน้อยก็จะมี การสูญเสียน้ำตาลที่ติดไปกับชานอ้อยเช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาผลกระทบทั้งหมดแล้ว พบว่า ปริมาณน้ำพรอมที่ 27% ต่อปริมาณอ้อยเข้าหีบนั้นเป็นจุดที่ข้อมูลในการใช้เชื้อเพลิงและการสูญเสียน้ำตาลนั้นทั้ง 2 จุดมีค่าเท่ากัน แต่หากมองทางด้าน การสูญเสียรวมทั้งหมดนั้นค่าไม่แตกต่างกันมาก เพราะการเพิ่มปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจะถูกชดเชยด้วยการสูญเสีย น้ำตาลที่ลดลง ดังนั้นข้อมูลจากงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจเรื่องปริมาณการใช้น้ำพรอมในกระบวนการหีบอ้อยของโรงงานน้ำตาล ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์จะเปลี่ยนแปลงไปตามราคาน้ำตาลและราคาชานอ้อย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโครงการเครือข่ายอุดมศึกษาเพื่ออุตสาหกรรม (Hi-Fi) โครงการแพลตฟอร์มการศึกษาครบวงจรเพื่อการพัฒนา นักศึกษาปริญญาโทและการวิจัยพัฒนานวัตกรรมของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากหน่วยบริหารและจัดการลงทุนด้านการพัฒนากำลังคน และทุนการศึกษาพัฒนาสถาบันอุดมศึกษาการวิจัยและสร้างนวัตกรรม (บพค.) สำนักสภานโยบายการอุดมศึกษาวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทช.)

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมบัติ ขอทวีวัฒนา. (2003), **เทคโนโลยีน้ำตาล**, หน้า 156 – 163, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.
- [2] Peter Rein. (2017), **Cane Sugar Engineering**. Second Edition, Berlin, Germany., pp. 150–156.
- [3] สมชาติ ฉันทศิริวรรณ. (2014), การจำลองผลกระทบของการผสมแบบไม่เอกพันธ์ที่มีต่อสมรรถนะของกระบวนการหีบอ้อย, **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.** 37 (3), 399-410.
- [4] เอกภรพงศ์ โชติคุณวัฒน์. (2020), การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากฟ่อนขานอ้อยและฟ่อนใบอ้อย กรณีศึกษา : โรงไฟฟ้าชีวมวล, **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**. 3(2), 43-57.
- [5] อัจฉริยา บัวทอง. (2014), **การพัฒนาแบบจำลองสมดุลมวลและพลังงานสำหรับโรงงานน้ำตาล**, วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [6] E. Hugot. (1986), **Handbook of Sugar Engineering**, 3rd ed. Elsevier, Amsterdam : Elsevier Science.
- [7] บันเทิง สีกุดทอง สมหมาย ปรีเปรม ชนกันันท์ สุขกำเนิด. (2009), “การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการออกแบบระบบหม้ออุ่นและหม้อต้มโรงงานน้ำตาล”, ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23**, 4 – 7 พฤศจิกายน 2552 ณ จังหวัดเชียงใหม่
- [8] ยุทธนา คงจีน ธีรภัทร ดำรงธรรม รุ่งเพชร ก่องนอก กฤติเดช บัวใหญ่ กานท์ เกิดชื่น. (2021), การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากขยะชุมชน ในพื้นที่ จังหวัดนครราชสีมา, **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**. 4(2), 50-56.

การใช้ประโยชน์โปรดิวเซอร์แก๊สจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันถ่านไม้เพื่อใช้ในเครื่องยนต์
ขนาดเล็กสำหรับการสูบน้ำ

Utilization of Producer Gas from Wood Charcoal Gasification in the Small Diesel
Engine for Water Pumping System

กิตติกร สาสุจิตต์* วิโรจน์ เลาลี วีรากร ยศยิ่ง เสริมสุข บัวเจริญ และนิกราน หอมดวง
Kittikorn Sasujit* Wirote Laolee Weerakorn Yodying Sermsuk Buochareon and Nigran Homdoug

สาขาวิชาวิศวกรรมการอนุรักษ์พลังงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้-เชียงใหม่ 50290
Energy Conservation Engineering, School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

*Corresponding author: Tel.: 089 998 8203 E-mail address: k.sasujit@yahoo.com

Received: 19 June 2021, Revised: 22 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 April 2022

Abstract

This research will examine the use of producer gas produced by thermochemical conversion of wood charcoal for water pumping with a small diesel engine. The parametric method was used to investigate water pumping rates, specific fuel consumption rates at the head of 1 and 2 m water supply, and a comparative study using diesel fuel and dual fuel. The results indicated that the specific fuel consumption rate was between 0.035 and 0.046 L/min, the water flow rate was 350–395 L/min, the maximum thermal efficiency was 43%, the wood charcoal fuel consumption rate was between 1.60 and 2.80 kg/h, and the maximum displacement fuel rate was 62%. Economic analysis determined that the initial cost of the gasifier system was approximately 25,000 Baht, the profit cost from displacement diesel fuel was approximately 4,260 Baht/year, and the payback period is within 5.87 years. It can, however, shorten the payback period by producing charcoal, using biodiesel oil, and increasing the system's frequency of use.

Keywords: producer gas, gasifier, water pumping, wood charcoal

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแปลงสภาพชีวมวลทางเคมีความร้อนเพื่อผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สผ่านกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กต้นกำลังเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง โดยศึกษาอัตราการสูบน้ำ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ระยะส่งน้ำ 1 และ 2 เมตร เปรียบเทียบระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลกับการใช้เชื้อเพลิงร่วมน้ำมันดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส ผลการศึกษาพบว่าเครื่องยนต์น้ำมันดีเซลให้อัตราการสูบน้ำดีกว่าการใช้เชื้อเพลิงร่วมเนื่องจากให้รอบการทำงานเครื่องยนต์สูงกว่า ทั้งนี้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเชื้อเพลิงร่วมมีค่าต่ำกว่าซึ่งจะทำให้เกิดผลประหยัดกว่าการใช้้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.035-0.046 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร อัตราการสูบน้ำอยู่



ในช่วง 350-395 ลิตรต่ออนาที ประสิทธิภาพความร้อนแก๊สซีไฟเออร์สูงสุดร้อยละ 43 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านไม้ อยู่ในช่วง 1.60-2.80 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราการทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลสูงสุดร้อยละ 62 จากผลการประเมินเชิง เศรษฐศาสตร์พบว่า มีเงินลงทุนระบบ 25,000 บาท ให้ผลตอบแทนประหยัดน้ำมันดีเซล 4,260 บาทต่อปี โดยจะมี ระยะเวลาคืนทุนภายใน 5.87 ปี อย่างไรก็ตามการผลิตถ่านไม้ใช้เชื้อเพลิงร่วมกับการใช้น้ำมันดีเซล และความถี่ของ การใช้งานเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาคืนทุนลดลงได้

คำสำคัญ: โพรติวเซอร์แก๊ส เต่าแก๊สซีไฟเออร์ ระบบสูบน้ำ เชื้อเพลิงชีวมวล

บทนำ

ประเทศไทยถือว่ามีความที่เกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่โดยจะประกอบไปด้วยพื้นที่นา พื้นที่สวนและไร่ มีการส่งออก สินค้าภาคเกษตรกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชไร่ ได้แก่ ข้าว และพืชสวนไม้ผล เช่น ทูเรียน ผลไม้ตามฤดูกาลต่าง ๆ ซึ่งจาก ข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรประจำปี 2562 พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าว 66,511,000 ไร่ มีผลผลิตข้าว รวม 28,357,000 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่าประมาณ 292,729 ล้านบาท [1] ซึ่งในการปลูกพืชจะมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง สำหรับกระบวนการเพาะปลูกทั้งในส่วนของไถนา และกระบวนการสูบน้ำเข้าแปลงนาข้าวคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 20 ของการใช้พลังงานทั้งหมดซึ่งมีค่าประมาณ 2,800-3,000 เมกะจูลต่อไร่ ซึ่งหากประเมินพื้นที่เพาะปลูกในประเทศไทยปี 2562 จะมีการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 172,969 ล้านบาทต่อปี โดยประเมินที่ราคาน้ำมันดีเซลเฉลี่ย 30 บาทต่อ ลิตร ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญสำหรับการเพาะปลูกได้แก่การสูบน้ำจากแหล่งน้ำเข้าแปลงเพาะปลูก ซึ่งพบว่ากรณีการเพาะปลูก ข้าวนาปรังจะมีการสูบน้ำเข้านาจำนวน 5-6 ครั้งต่อฤดูกาล และมีอัตราการใช้น้ำมันถึง 4.76 ลิตรต่อไร่ [2] จะเห็นได้ว่าใน การเพาะปลูกพืชโดยเฉพาะข้าวจะมีการใช้พลังงานน้ำมันเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ที่สูงและค่าใช้จ่ายน้ำมันจะแปรผันโดยตรง กับราคาน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้ต้นทุนการเพาะปลูกสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อเกษตรกรโดยตรง ด้วยเหตุนี้แนวทางการพัฒนา เทคโนโลยีเพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สูบน้ำในภาคเกษตรกรรม ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่จะส่งผลทำให้ ต้นทุนทางด้านพลังงานลดลง แนวทางหนึ่งที่สามารถพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลผ่านกระบวนการ แปลงสภาพชีวมวลด้วยกระบวนการทางเคมีความร้อนโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน เพื่อผลิตโพรติวเซอร์แก๊สใช้ร่วมกับ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลในเครื่องยนต์เกษตรกรรมซึ่งมีอยู่จำนวนมากในประเทศไทย และเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอยู่ในภาค เกษตรกรรมก็สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยผลิตเป็นถ่านไม้ หรือใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในพื้นที่ ก็จะช่วยลดต้นทุนด้าน พลังงานการเพาะปลูก จากงานวิจัยที่ผ่านมา ณัฐวุฒิ และคณะ ได้ทำการออกแบบเต่าแก๊สซีไฟเออร์แบบไหลลงสำหรับผลิต โพรติวเซอร์แก๊สใช้ในเครื่องยนต์ขนาด 7 แรงม้า พบว่าสามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้สูงสุดร้อยละ 53.3 ที่อัตราการสูบน้ำ 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยมีอัตราการใช้น้ำมันดีเซล 0.127 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการใช้ถ่าน 2.5 กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง [3] ต่อมาได้ทำการทดสอบการเครื่องยนต์ดีเซลร่วมกับท่อสูบน้ำแบบพญานาค ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ที่ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 600 800 1000 1200 1400 และ 1600 รอบต่ออนาที พบว่าอัตราการสูบน้ำเพิ่มขึ้นตาม ความเร็วรอบเครื่องยนต์ โดยอัตราการสูบน้ำสูงสุด 150 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง มีอัตราการสิ้นเปลืองถ่านไม้ 3.99 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 55 [4] ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้โพรติวเซอร์แก๊สมาใช้ร่วมกับ เครื่องยนต์สามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาแล้วยังคงให้เครื่องยนต์ที่มีขนาดต้นกำลังสูง และ ระบบผลิตโพรติวเซอร์แก๊สที่ใช้เป็นแบบไหลลง ทำให้มีระบบขนาดใหญ่และการซ่อมบำรุงรักษาระบบต้องใช้ความชำนาญ เข้าใจระบบการทำงานของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งหากพัฒนาระบบให้มีขนาดเล็ก และสามารถซ่อมบำรุงรักษา การ ใช้งานที่ง่ายสะดวก ก็จะตอบสนองต่อความต้องการของชุมชนได้มากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษากการใช้ ประโยชน์โพรติวเซอร์แก๊สร่วมกับน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ต้นกำลังที่ใช้น้ำมันดีเซลขนาดเล็กสำหรับระบบสูบน้ำโดย ระบบแก๊สซีไฟเออร์เป็นแบบชนิดไหลขึ้น โดยทำการศึกษเปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่องยนต์น้ำมันดีเซลกับการใช้

เชื้อเพลิงร่วมดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส เพื่อหาอัตราการสูบน้ำ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาแก๊สซีไฟเออร์ และท้ายที่สุดทำการประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อหาระยะเวลาคืนทุนของระบบในกรณีใช้ทดแทนการใช้้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

วิธีการวิจัย

คุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงที่ใช้ทดลองได้แก่ถ่านไม้ซึ่งได้จากการผลิตถ่านไม้ด้วยกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 2-2.5 เซนติเมตร ความยาวเฉลี่ย 3-3.5 เซนติเมตร ค่าความร้อนเชื้อเพลิง 28 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [5] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของถ่านไม้ [5]

องค์ประกอบแบบธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			องค์ประกอบแบบประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				ค่าความร้อน (MJ/kg)
คาร์บอน	ไฮโดรเจน	ออกซิเจน	ความชื้น	สารระเหย	คาร์บอนคงตัว	เถ้า	
71.50	22.17	3.39	4.95	20.67	72.65	1.73	28.00

การประเมินประสิทธิภาพเตาปฏิกรณ์ผลิตโปรดิวเซอร์แก๊ส

การประเมินประสิทธิภาพเครื่องผลิตโปรดิวเซอร์แก๊สคืออัตราส่วนของปริมาณโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้เทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงที่ใส่ในเครื่องเตาแก๊สซีไฟเออร์ดังสมการที่ (1) [6-9] โดยที่ $\eta_{gasifier}$ ค่าประสิทธิภาพความร้อนของเตาแก๊สซีไฟเออร์ (ร้อยละ) m_g คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรของโปรดิวเซอร์แก๊สที่ผลิตได้ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) LHV_f คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล (กิโลจูลต่อวินาที) และ m_f คืออัตราการป้อนเชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อวินาที)

$$\eta_{gasifier} = \left[\frac{CV_g \times m_g}{LHV_f \times m_f} \right] \times 100 \quad (1)$$

นอกจากนั้นแล้วค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊สยังสามารถประเมินได้จากค่าความร้อนขององค์ประกอบของโปรดิวเซอร์แก๊ส ซึ่งค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงมีค่า CO เท่ากับ 13.1 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร H₂ เท่ากับ 13.2 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร และ CH₄ เท่ากับ 41.2 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร โดยที่ CV_g คือค่าความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊ส (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร) H_i คือค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงประกอบไปด้วยแก๊ส CO, H₂, CH₄ (เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร) และ X_i คือสัดส่วนโดยปริมาตรของแก๊สเชื้อเพลิง (ร้อยละโดยปริมาตร) คำนวณได้ตามสมการที่ (2) [6-9]

$$CV_g = \sum(H_i X_i) \quad (2)$$

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงหาได้โดยการตรวจวัดปริมาตรน้ำมันเชื้อเพลิงที่ให้กับเครื่องยนต์เทียบกับเวลาในขณะที่เครื่องยนต์ทำงานภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ โดยที่ m_f คืออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (กิโลกรัมต่อวินาที) m คือมวลของเชื้อเพลิงที่ใช้ (กิโลกรัม) และ t คือระยะเวลา (วินาที) คำนวณตามสมการที่ (3) และการหาค่าอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลคือความสามารถโปรดิวเซอร์แก๊สในการทดแทนน้ำมันดีเซลในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลที่ DR คืออัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล (ร้อยละ) SFC_{diesel} คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงดีเซลจำเพาะ (ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร) และ SFC_{fuel} คืออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะน้ำมันดีเซลร่วมกับโปรดิวเซอร์แก๊ส คำนวณได้ตามสมการที่ (4) [8]

$$m_f = \frac{m}{t} \quad (3)$$

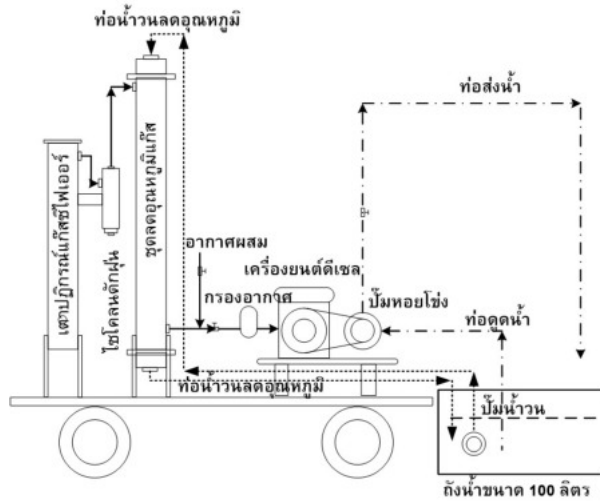
$$DR = \left[\frac{SFC_{diesel} - SFC_{dual}}{SFC_{diesel}} \right] \times 100 \quad (4)$$

อุปกรณ์และเครื่องมือการทดสอบ

ระบบผลิตโปรตีนไฮดรอกซีแก๊สทำจากท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว มีความยาวของเตาปฏิกรณ์ 1.20 เมตร ชุดไซโคลนดักฝุ่นขนาดเล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว ความยาว 40 เซนติเมตร และชุดระบบลดอุณหภูมิโปรตีนไฮดรอกซีแก๊สขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ความยาวของท่อ 1.80 เมตร โดยใช้การลดอุณหภูมิแก๊สด้วยชุดแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำพร้อมเชื่อมต่อด้วยปั๊มน้ำ โดยระบบผลิตโปรตีนไฮดรอกซีแก๊สจะส่งแก๊สเข้าสู่เครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ผ่านชุดวาล์วควบคุมปริมาณอากาศกับเชื้อเพลิงและผ่านชุดกรองอากาศก่อนเข้าสู่เครื่องยนต์ดีเซลขนาดตันกำลัง 7 แรงม้า โดยตันกำลังจะส่งกำลังผ่านสายพานร่อง A จำนวน 2 เส้นเชื่อมต่อพูลย์ของเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อดูดและท่อส่งขนาด 2 นิ้ว ซึ่งการทดลองจะทำการศึกษ้อัตราการสูบน้ำที่ระยะส่งน้ำสูง 1 เมตร และ 2 เมตรจากเครื่องสูบน้ำ หากค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ โดยทำการปรับเปลี่ยนรอบการทำงานเครื่องยนต์ 3 ระดับ และทำการวัดรอบเครื่องยนต์ดีเซลด้วยเครื่อง Fluke 931, USA นอกจากนั้นศึกษาประสิทธิภาพความร้อนแก๊สซีไฟเออร์ โดยหาค่าความร้อนโปรตีนไฮดรอกซีแก๊สจากการเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟีด้วยเครื่อง GC-8A Shimadzu, Japan หาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง รวมไปถึงอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล ซึ่งระบบระบบสูบน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงร่วมดีเซลโปรตีนไฮดรอกซีแก๊สแสงได้ดังภาพที่ 1-2



ภาพที่ 1 ระบบแก๊สซีไฟเออร์สำหรับการสูบน้ำในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 2 ระบบสูบน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรตีนไฮโดรเจนแก๊ส

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาระบบสูบน้ำเชื้อเพลิงโปรตีนไฮโดรเจนแก๊สร่วมกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจากถ่านไม้ โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้ระบบสูบน้ำแบบใช้น้ำเชื้อเพลิงดีเซล ทำการทดสอบที่เงื่อนไขของการสูบน้ำที่ระยะส่งน้ำสูง 1 เมตร และ 2 เมตรเหนือจากตัวเครื่องสูบน้ำ เพื่อศึกษาผลของอัตราการสูบน้ำ ประสิทธิภาพของเตาแก๊สไฮโดรเจน และอัตราการทดแทนน้ำเชื้อเพลิงดีเซลของระบบสูบน้ำแบบเชื้อเพลิงร่วม ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ผลการเปลี่ยนรอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่มีต่ออัตราการสูบน้ำ

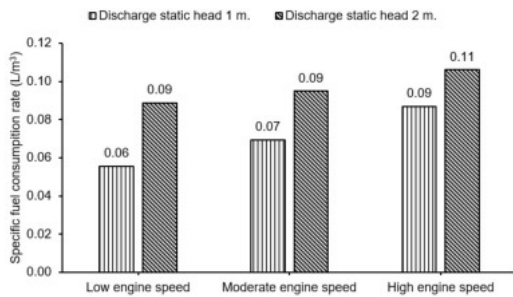
ผลการทดสอบรอบการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่มีผลต่ออัตราการสูบน้ำเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลกับเชื้อเพลิงร่วมที่รอบการหมุนของเครื่องยนต์ ทั้งนี้ได้กำหนดไว้เป็น 3 ระดับ ได้แก่รอบเครื่องยนต์ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง ผลการศึกษาพบว่ารอบการทำงานของเครื่องยนต์จะมีค่าลดลงเล็กน้อยตามระยะส่งน้ำสูงขึ้น กรณีที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรตีนไฮโดรเจนแก๊ส พบว่ารอบเครื่องยนต์มีค่าใกล้เคียงกันและแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยซึ่งเป็นผลจากการปรับรอบการทำงานของเครื่องยนต์ที่ปรับระบบการจ่ายเชื้อเพลิงดีเซลกับโปรตีนไฮโดรเจนแก๊ส แต่อย่างไรก็ตามการใช้เชื้อเพลิงร่วมจะส่งผลทำให้รอบการทำงานของเครื่องยนต์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซลเพียงอย่างเดียว เนื่องจากผลของค่าความแตกต่างของค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งผลการทดลองรอบของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการทดลองงานวิจัยนี้แสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบรอบเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลกับเชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรตีนไฮโดรเจนแก๊ส

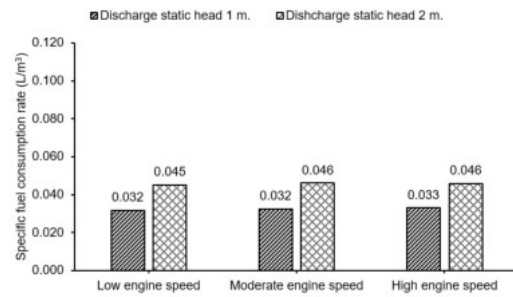
รอบเครื่องยนต์ดีเซล	ระยะส่งน้ำสูง 1 เมตร (รอบต่อนาที)		ระยะส่งน้ำสูง 2 เมตร (รอบต่อนาที)	
	น้ำมันดีเซล	เชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรตีนไฮโดรเจนแก๊ส	น้ำมันดีเซล	เชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรตีนไฮโดรเจนแก๊ส
รอบเครื่องยนต์ระดับต่ำ	1,339 ± 33.77	1,203 ± 45.73	1,336 ± 35.97	1,296 ± 32.89
รอบเครื่องยนต์ระดับกลาง	1,933 ± 28.08	1,451 ± 51.01	1,568 ± 58.96	1,449 ± 10.55
รอบเครื่องยนต์ระดับสูง	2,643 ± 49.88	1,553 ± 43.77	2,153 ± 48.15	1,570 ± 28.67

ผลการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

ผลของการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะส่งน้ำที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับทุกเงื่อนไขของการปรับรอบของเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้นจากระดับต่ำไประดับสูง ทั้งนี้ระบบสูบน้ำที่มีระยะการส่งน้ำสูงขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มขึ้นในขณะเดียวกันนั้นปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ก็จะได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระยะส่งน้ำที่ต่ำกว่าทำให้ส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งในกรณีของการใช้เชื้อเพลิงดีเซลอย่างเดียวและเชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรพิวเซอร์แก๊ส เมื่อพิจารณาผลของรอบเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันดังภาพที่ 3 ขณะเดียวกันการใช้เชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรพิวเซอร์แก๊สนั้น พบว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซล เนื่องจากมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลต่ำกว่าทั้งนี้เป็นผลมาจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมโปรพิวเซอร์แก๊สร่วมด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4 สอดคล้องกับการศึกษาของ ณัฐวุฒิ และคณะ (2554) [4] ที่ทำการพัฒนาระบบสูบน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับชุมชน ซึ่งมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ในช่วง 0.0024-0.0085 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร



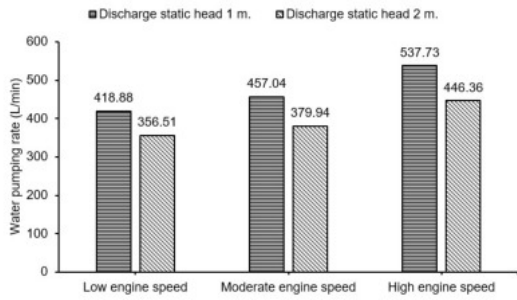
ภาพที่ 3 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ



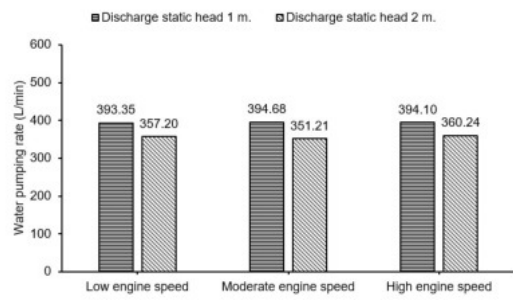
ภาพที่ 4 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะร่วมโปรพิวเซอร์แก๊ส

ผลการศึกษาอัตราสูบน้ำโดยใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันดีเซลร่วมโปรพิวเซอร์แก๊ส

ผลการศึกษาอัตราการสูบน้ำของระบบสูบน้ำด้วยเครื่องยนต์ดีเซล กับเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงร่วมโปรพิวเซอร์แก๊ส พบว่าที่รอบการทำงานเครื่องยนต์เดียวกันเมื่อมีการส่งน้ำสูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการสูบน้ำลดลง ขณะเดียวกันนั้นเมื่อเพิ่มรอบการหมุนของเครื่องยนต์เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการสูบน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน กรณีของการใช้เครื่องยนต์ดีเซลร่วมโปรพิวเซอร์แก๊สไม่พบว่าอัตราการสูบน้ำมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับการใช้เชื้อเพลิงดีเซล อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงดีเซลให้อัตราการสูบน้ำที่ดีกว่าการใช้เชื้อเพลิงร่วม ดังแสดงในภาพที่ 5-6



ภาพที่ 5 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีผลต่ออัตราการสูบน้ำด้วยเครื่องยนต์ดีเซลร่วมโปรตีนเซอร์แก๊ส



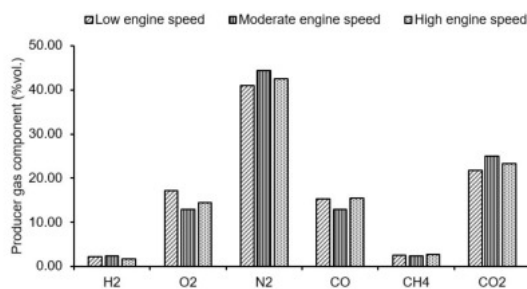
ภาพที่ 6 ความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่มีผลต่ออัตราการสูบน้ำด้วยเครื่องยนต์ดีเซลร่วมโปรตีนเซอร์แก๊ส

ผลการศึกษาค่าองค์ประกอบโปรตีนเซอร์แก๊สและประสิทธิภาพความร้อนระบบแก๊สซิฟิเคชั่น

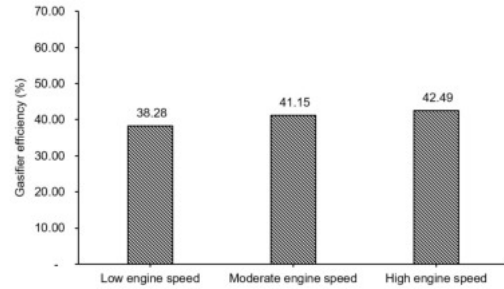
ผลการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบของโปรตีนเซอร์แก๊สจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชั่นของเชื้อเพลิงถ่านไม้ พบว่ามีองค์ประกอบหลักของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซมีเทน ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 7 เมื่อวิเคราะห์ค่าความร้อนของโปรตีนเซอร์แก๊สแล้วพบว่ามีค่าในช่วง 3.00-3.35 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร โดยทุกเงื่อนไขการทดลองมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงถ่านไม้ในช่วง 1.60-2.30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ทั้งนี้เมื่อทำการประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาผลิตแก๊สโปรตีนเซอร์พบว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 38-42 ซึ่งต่ำกว่าระบบผลิตแก๊สโปรตีนเซอร์โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งจากปาล์มน้ำมันที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในช่วงร้อยละ 72-76 จากผลการศึกษาวินิจฉัยของ กิตติกร และคณะ (2559) [6] เนื่องจากระบบผลิตโปรตีนเซอร์แก๊สในงานวิจัยนี้อาศัยการดูดแก๊สด้วยระบบเครื่องยนต์ดีเซล และผ่านชุดทำความสะอาด ทำให้อัตราการไหลโปรตีนเซอร์แก๊สต่ำและไม่ต่อเนื่องซึ่งส่งผลทำให้ค่าความร้อนใช้งานมีค่าต่ำทำให้ประสิทธิภาพระบบมีค่าต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 8

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโปรตีนเซอร์แก๊สจากถ่านไม้

เงื่อนไขการทดลองที่รอบเครื่องยนต์ดีเซล	องค์ประกอบโปรตีนเซอร์แก๊ส (ร้อยละโดยปริมาตร)						LHVg (MJ/m ³)
	H ₂	O ₂	N ₂	CO	CH ₄	CO ₂	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำ	2.22	17.12	41.03	15.31	2.55	21.77	3.35
ความเร็วรอบเครื่องยนต์กลาง	2.31	12.93	44.32	12.98	2.41	25.06	3.00
ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูง	1.67	14.52	42.50	15.42	2.66	23.23	3.34



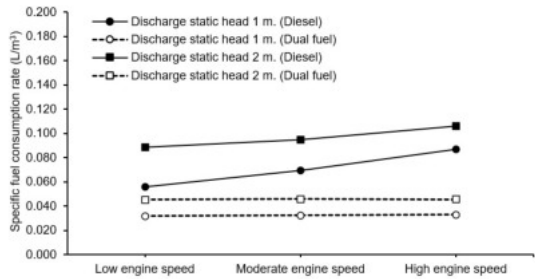
ภาพที่ 7 องค์ประกอบของโปรตีนเซอร์แก๊สจากระบบการแก๊สซิฟิเคชั่นเชื้อเพลิงถ่านไม้



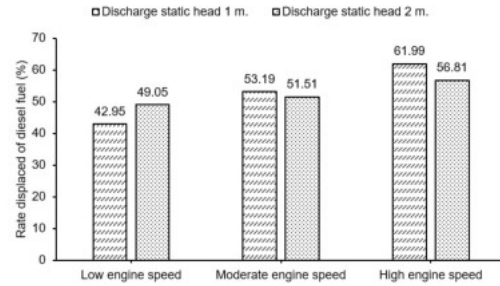
ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพความร้อนของระบบแก๊สซิฟิเคชั่นเชื้อเพลิงชีวมวลจากถ่านไม้

ผลการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะและอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซล

ผลการศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะโดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลกับเชื้อเพลิงร่วมดีเซลโปรติวเซอร์แก๊ส พบว่าการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลจะส่งผลทำให้มีค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงร่วมในระบบสูบน้ำในงานวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 9 ในส่วนของการใช้ระบบสูบน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมดีเซลโปรติวเซอร์แก๊สนั้นจะมีอัตราการทดแทนการใช้ น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์ต้นกำลังสูบน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 43-62 สอดคล้องกับการศึกษาของ ญัฐวุฒิ และคณะ (2554) [4] ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของระบบสูบน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล และเชื้อเพลิงร่วม



ภาพที่ 10 อัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลสำหรับระบบสูบน้ำจากการใช้เชื้อเพลิงร่วมดีเซลกับโปรติวเซอร์แก๊ส

การประเมินระยะเวลาคืนทุนของระบบสูบน้ำเชื้อเพลิงร่วมโปรติวเซอร์แก๊ส

การประเมินหาระยะเวลาคืนทุนระบบสูบน้ำเชื้อเพลิงร่วมน้ำมันดีเซลโปรติวเซอร์แก๊ส โดยประเมินเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลในเครื่องยนต์สูบน้ำ พบว่าระบบสูบน้ำเชื้อเพลิงร่วมจะมีต้นทุนค่าระบบพร้อมเครื่องยนต์สูบน้ำขนาดเล็ก 7 แรงม้า รวมเงินลงทุนระบบ 25,000 บาท ในส่วนต้นทุนแปรผันจะประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายน้ำมันดีเซลราคา 30 บาทต่อลิตร ถ่านไม้ราคา 5 บาทต่อกิโลกรัม การทำงานของระบบสูบน้ำเชื้อเพลิงร่วมคิดที่ 600 ชั่วโมงต่อปี ซึ่งรวมค่าใช้จ่ายแปรผันรายปี กรณีใช้น้ำมันดีเซลอย่างเดียวสำหรับการสูบน้ำเท่ากับ 27,700 บาทต่อปี และกรณีที่ใช้เชื้อเพลิงร่วมประมาณ 23,440 บาทต่อปี โดยระบบจะใช้ผลตอบแทนจากการประหยัดน้ำมันดีเซลลดลง 4,260 บาทต่อปี ซึ่งจะมีระยะเวลาคืนทุนของระบบภายใน 5.87 ปี ดังแสดงผลการประเมินในตารางที่ 4 อย่างไรก็ตามระยะเวลาจะคืนทุนน้อยลงได้ในกรณีที่สามารผลิตถ่านไม้ การใช้น้ำมันไบโอดีเซลแทนการใช้น้ำมันดีเซล รวมไปถึงการเพิ่มความถี่ของการใช้งานก็จะ เป็นแนวทางที่จะส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนเร็วขึ้น

ตารางที่ 4 การประเมินระยะเวลาคืนทุนระบบกรณิตดแทนการใช้น้ำมันดีเซลเครื่องยนต์สูบน้ำ

รายละเอียด	ค่าใช้จ่าย	หน่วย
ต้นทุนคงที่ (บาท)		
- เตาแก๊สซีฟิเออร์พร้อมชุดทำความสะอาดเบื้องต้น	20,000	บาท
- เครื่องยนต์สูบน้ำดีเซลขนาดเล็ก	4,950	บาท
รวมต้นทุนคงที่	24,950	บาท
ต้นทุนแปรผัน (บาทต่อปี)		
- ค่าใช้จ่ายน้ำมันดีเซล (กรณีใช้น้ำมันดีเซล)	25,200	บาทต่อปี
- ค่าดูแลรักษาระบบ 10% ของต้นทุนคงที่	2,500	บาทต่อปี
รวมค่าใช้จ่ายแปรผัน (กรณีใช้น้ำมันดีเซล)	27,700	บาทต่อปี
- ค่าใช้จ่ายน้ำมันดีเซล และถ่านไม้ (กรณีใช้เชื้อเพลิงร่วม)	20,940	บาทต่อปี
- ค่าดูแลรักษาระบบ 10% ของต้นทุนคงที่	2,500	บาทต่อปี
รวมค่าใช้จ่ายแปรผัน (กรณีใช้เชื้อเพลิงร่วม)	23,440	บาทต่อปี
ผลประโยชน์การลดการใช้้ำมันดีเซล (บาทต่อปี)		
- ผลตอบแทนการลดค่าใช้จ่ายน้ำมันดีเซล	4,260	บาท
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)		
- ระยะเวลาคืนทุนของระบบ	5.87	ปี

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานวทางการใช้ประโยชน์จากโปรตีนเซอร์แก๊สจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากถ่านไม้สำหรับการสูบน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงร่วมดีเซลโปรตีนเซอร์แก๊ส พบว่าระบบสามารถทำงานได้โดยให้อัตราการสิ้นเปลืองชีวมวลสูงสุด 2.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แก๊สโปรตีนเซอร์มีค่าความร้อนสูงสุด 3.35 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร และให้ประสิทธิภาพแก๊สซิฟิเออร์สูงสุดร้อยละ 43 โดยมีอัตราการสูบน้ำสูงสุดประมาณ 295 ลิตรต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงสุด 0.046 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตร มีอัตราการทดแทนน้ำมันดีเซลสูงสุดร้อยละ 62 โดยระบบมีต้นทุนคงที่ 25,000 บาท และผลประโยชน์จากการทดแทนน้ำมันดีเซลคิดเป็นผลตอบแทน 4,260 บาทต่อปี โดยจะมีระยะเวลาคืนทุนภายใน 5.87 ปี อย่างไรก็ตามหากมีการผลิตถ่านไม้และใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีราคาต่ำรวมไปถึงการเพิ่มความถี่การใช้งานจาก 10 ครั้งต่อเดือนเป็น 20 ครั้งต่อเดือน ซึ่งจะส่งผลต่อระยะเวลาคืนทุนเหลือภายใน 1.12 ปี ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการนำแก๊สโปรตีนเซอร์จากการแปลงสภาพชีวมวลมาใช้ในการสูบน้ำเพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายค่าน้ำมันดีเซลที่ผันผวน ขณะเดียวกันเป็นการใช้วัสดุชีวมวลที่เหลือใช้ในภาคเกษตรกรรมให้เกิดประโยชน์สูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษา วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและปัญหาภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2563). สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2562. หน้าที่ 28-29.
- [2] ณัฐวุฒิ ดุษฎี อภิชัย อธิธรรม ชูรัตน์ ธารารักษ์ และอุเทน กันทา. (2548). การพัฒนาฐานข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตข้าวของประเทศไทย, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- [3] ณัฐวุฒิ ดุษฎี นิกราน หอมดวง กันยาพร ไชยวงศ์ และอภิชาติ สวนคำทอง. (2551). การประเมินสมรรถนะระบบสูบน้ำที่ใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโปรตีนเซอร์แก๊สเป็นเชื้อเพลิง, ใน การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 7, วันที่ 13-14 มีนาคม 2551 โรงแรม ยูเรเชีย เชียงใหม่, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] ณัฐวุฒิ ดุษฎี นิกราน หอมดวง ประวิตร ลีเหมือดภักย์ และกิตติกร สาสุจิตต์. (2554). โครงการพัฒนาและออกแบบเทคโนโลยีพลังงานชุมชน ระบบสูบน้ำพลังงานชีวมวล ภายใต้ โครงการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลังงานที่เหมาะสม. สำนักวิชาการพลังงานภาค 9 จังหวัดพิษณุโลก.
- [5] Bhattacharya S.C., Albina, D.O., and Salam, P.A. (2002). Emission factors of wood and charcoal-fired cookstoves. *Biomass and Bioenergy*. 23, 453-469.
- [6] Sasujit, K., Dussadee, N., Homdoug, N., Ramaraj, R., and Kiatsiriroat, T. (2017). Waste-to-Energy: Producer Gas Production from Fuel Briquette of Energy Crop in Thailand. *International Energy Journal*. 17, 37-46.
- [7] Homdoug, N., Dussadee, N., Sasujit, K., Kiatsiriroat, T., and Tippayawong, N., (2019). Performance investigation of a gasifier and gas engine system operated on municipal solid waste briquettes. *International Journal of Renewable Energy Development*, 8 (2). 179-184.
- [8] Homdoug, N., Sasujit, K., Dussadee, N., and Ramaraj, R., (2020). Experimental investigation of a small agricultural diesel engine performance using community biodiesel from wild trees. *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication*, 2(1). 9-16.
- [9] กิตติกร สาสุจิตต์ นิกราน หอมดวง ณัฐวุฒิ ดุษฎี และทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2559). การจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากพืชปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับกระบวนการผลิตก๊าซโปรตีนเซอร์. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12, วันที่ 8 - 10 มิถุนายน พ.ศ. 2559 ณ โรงแรมวังจันทร์ ริเวอร์วิว จังหวัดพิษณุโลก.

การประเมินประสิทธิภาพเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลที่ออกแบบสำหรับผู้ประกอบการในพื้นที่
อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง

Potential Evaluation of Biomass Brick Kilns Designed for an Entrepreneur in
Hangchut District, Lampang Province

อุกฤต สมัครสมาน^{1*} นันทน์นิชา วงศ์ตะวัน² สมศรี พรหมท้าว³ สุพัตรา สุนทร¹ คณิต มานะธูระ⁴ และ กิตติกร สาสุจิตต์⁵
Ukrit Samaksaman^{1*} Nunnicha Wongtawan² Somsri Promtow³ Supatra Sunton¹ Kanit Manatura⁴ and
Kittikorn Sasujit⁵

¹ ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

² ห้างหุ้นส่วนจำกัด ตะวัน แมททีเรียล คอนสตรัคชั่น ลำปาง 52190

³ โรงอิฐบ้านขุมเงิน ร้อยเอ็ด 45140

⁴ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
นครปฐม 73140

⁵ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture Natural Resources and
Environment, Naresuan University, Phitsanulok 65000

²Tawan material construction limited partnership, Lampang 52190

³Bankhumngern Machinery, Roi Et 45140

⁴Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart
University, Kamphaeng Saen campus, Nakhonpatom 73140

⁵School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai 50290

*Corresponding author: Tel.: 055 962754. E-mail address: ukrits@nu.ac.th

Received: 21 June 2021, Revised: 17 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 April 2022

Abstract

Potential evaluation of biomass brick kilns was studied by comparing the new design of biomass brick kiln and a traditional kiln. Brick burning temperature and flue gas emission were observed. Preliminary data and technical background were collected and used for calculation. The results pointed out that the new design of biomass brick kiln showed similar temperature profiles to a traditional kiln. It can be applied for brick processing and suitable for an entrepreneur in Hangchut district, Lampang province. The controlled temperature of drying process could reach 500 – 600°C in time of operation and the maximum temperature of brick burning occurred in the range of 1,000 –

1,100°C. The increase of capacity and combustion efficiency were 42.85% and 3-4%, respectively. The reduction of biomass consumption was around 4 tons each batch. The specific energy consumption of brick was 2.26 MJ/kg. The basic cost for brick burning was reduced by 44.25% and payback period was 1.14 years. However, electricity consumption and burning time increased as the use of air blowers and long-time calcination which were increased approximately 160 units and 24 hours, respectively. These data can be used as operation guidelines for a brick entrepreneur to adapt for biomass brick kilns in the future.

Keywords: Biomass, Brick kiln, Combustion, Evaluation, Potential

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพของเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบใหม่เปรียบเทียบกับแบบดั้งเดิมด้วยการตรวจวัดอุณหภูมิและการวิเคราะห์แก๊สเสีย รวมทั้งประเมินเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นโดยใช้รูปแบบการเก็บข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลด้านเทคนิค จากการทดสอบพบว่า เตาเผาอิฐมอญที่ได้รับการพัฒนามีโปรไฟล์อุณหภูมิเหมาะสมกับรูปแบบการผลิตอิฐมอญของผู้ประกอบการในเขตพื้นที่อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง ซึ่งไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก โดยมีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงการอุ่นอิฐอยู่ในช่วง 500 – 600 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงการเผาอิฐอยู่ในช่วง 1,000 – 1,100 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่คำนวณจากสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อผลรวมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น 3 – 4% อีกทั้งเตาเผาอิฐมอญแบบใหม่ยังสามารถเพิ่มปริมาณก้อนอิฐต่อครั้งของการเผา มีความจุเพิ่มขึ้น 42.85% และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลลดลงประมาณ 4 ตัน/ครั้ง โดยอิฐมอญที่เผาในเตาเผาอิฐมอญแบบใหม่มีดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ 2.26 เมกะจูล/กิโลกรัม และส่งผลต่อต้นทุนการผลิตอิฐแต่ละก้อนมีต้นทุนลดลง ประมาณ 44.25% โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ 1.14 ปี อย่างไรก็ตามในการเผาอิฐแต่ละครั้งใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นประมาณ 24 ชั่วโมง และปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 160 หน่วย ซึ่งข้อมูลนี้สามารถสร้างความมั่นใจให้ผู้ประกอบการในการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีเตาเผาอิฐมอญชีวมวลในอนาคต

คำสำคัญ: ชีวมวล เตาเผาอิฐมอญ เผาไหม้ ประเมิน ประสิทธิภาพ

บทนำ

ปัจจุบันปริมาณการผลิตอิฐมอญมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความต้องการอิฐมอญของตลาดอสังหาริมทรัพย์ ซึ่งเป็นไปตามทิศทางของการขยายตัวของเศรษฐกิจและการขยายขอบเขตของชุมชนเมือง จากข้อมูลผู้ประกอบการในเขตจังหวัดภาคเหนือมีการผลิตอิฐมอญเพื่อจำหน่ายให้ลูกค้าทั้งภายในและภายนอกพื้นที่ โดยผู้ประกอบการบางรายสามารถผลิตอิฐมอญที่มีคุณภาพและได้รับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างสามัญ มอก.77-2545 จัดจำหน่ายให้ลูกค้าทั่วประเทศ ทำให้จำเป็นต้องมีการเพิ่มกำลังการผลิตอิฐมอญทั้งระบบและขั้นตอนการเผาอิฐเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามเตาเผาอิฐมอญที่ผู้ประกอบการใช้อยู่ยังไม่ได้รับการพัฒนามากนักเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมืออื่นๆ ซึ่งเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมนั้นมีประสิทธิภาพต่ำและก่อให้เกิดปัญหามลพิษอากาศ รวมถึงสถานการณ์ของการขาดแคลนเชื้อเพลิงชีวมวลและปัญหาด้านราคาชีวมวลที่ผันผวนเนื่องจากความต้องการชีวมวลของโรงไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งปัญหามลพิษอากาศและฝุ่นละอองขนาดเล็กในพื้นที่ภาคเหนือที่มีแนวโน้มรุนแรงขึ้นในทุกปี ทำให้ผู้ประกอบการผลิตอิฐมอญให้ความสนใจและต้องการเข้ามามีส่วนร่วมในการหาแนวทางเพื่อแก้ไขปัญหาด้านประสิทธิภาพ

เตาเผาและลดผลกระทบต่อด้านมลพิษอากาศ ที่ผ่านมามีการพัฒนาเทคโนโลยีควบคุมมลพิษอากาศสำหรับเตาเผาอิฐมอญ และการติดตั้งระบบบำบัดมลพิษอากาศแบบสกรับเบอร์ในเตาเผาอิฐมอญ สามารถช่วยลดผลกระทบจากมลพิษอากาศจากการเผาอิฐมอญ [1] ซึ่งเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมที่ผู้ประกอบการนิยมใช้ ได้แก่ เตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมและแบบกลมกลบ โดยพบว่าเตาเผาอิฐมอญสองชนิดนี้มีดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) อยู่ในช่วง 1.6-7.8 เมกะจูล/กิโลกรัม [2] และกิจกรรมการเผาอิฐมอญนั้นส่วนใหญ่เป็นกิจกรรมการเผาในโรงที่โล่งที่ใช้ระยะเวลาประมาณ 72-78 ชั่วโมง และใช้เชื้อเพลิงปริมาณมาก ประมาณ 10-20 ตัน/ครั้ง [1-3] มีรายงานการพัฒนาประสิทธิภาพเตาเผาอิฐมอญ โดยทำการปรับปรุงเตาเผาให้มีความคงทนมากขึ้นและเพิ่มฉนวนกันความร้อน พบว่าเตาเผาอิฐมอญที่พัฒนา สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ 8% และลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงกลบได้ถึง 32 ตัน/ปี [4] นอกจากนี้มีรายงานการใช้เชื้อเพลิงทางเลือกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในการเผาอิฐมอญเปรียบเทียบกับชีวมวล พบว่าการใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ เพิ่มอุณหภูมิภายในเตาเผาได้อย่างรวดเร็ว ลดระยะเวลาในการเผาอิฐและคุณภาพอิฐมอญที่ผลิตได้มีคุณสมบัติบางประการดีกว่าอิฐมอญที่เผาด้วยชีวมวล [5] แต่อย่างไรก็ตามรายงานการวิจัยดังกล่าวข้างต้นเป็นการทดสอบในเชิงพลังงานเท่านั้น หากจะมีการใช้เชื้อเพลิงจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจริงต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อมลพิษอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นสำคัญ เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจัดเป็นขยะอันตรายที่ต้องมีการจัดการด้วยวิธีการที่เหมาะสม

การพัฒนาเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลในโครงการวิจัยนี้ เป็นการดำเนินงานในโครงการสร้างผู้ประกอบการชุมชนที่มีศักยภาพ (Local Startups) ภายใต้โครงการยกระดับคุณภาพชีวิตและเศรษฐกิจในภูมิภาค ด้วยองค์ความรู้ ภูมิปัญญาและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ได้ดำเนินการประเมินศักยภาพและวิเคราะห์ประสิทธิภาพเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลที่ถูกพัฒนาขึ้นทดแทนเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิม (เตาเผาอิฐมอญแบบสี่เหลี่ยม) ณ พื้นที่ศึกษาโรงงานอิฐมอญตะวันออก (ทางหุ่นส่วนจำกัด ตะวัน แม่ที่เรียล คอนสตรัคชั่น) ตำบลหนองหล่ม อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง ซึ่งโรงงานนี้ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่เกษตรกรรมและเป็นพื้นที่จัดสรรที่ดินในสวนป่าอยู่ห่างจากชุมชนประมาณ 2 กิโลเมตร มีพื้นที่โดยรอบโรงงานประมาณ 15 ไร่ ด้านทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตกมีแนวเขตติดกับพื้นที่สวนป่าและสวนยางพารา ด้านทิศใต้มีฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อ มีระยะห่างประมาณ 200 เมตร เป็นโรงงานผลิตอิฐมอญขนาดกลาง มีกำลังการผลิตประมาณ 250,000 ก้อน/สัปดาห์ ใช้แรงงานคนและเครื่องจักรขนาดกลางในกระบวนการผลิต กิจกรรมการผลิตอิฐมอญและลักษณะเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมที่ใช้ในการเผาอิฐมอญ แสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งหากได้รับการพัฒนาตามหลักวิศวกรรมสำหรับระบบเผาไหม้ชีวมวลและระบบควบคุมมลพิษอากาศที่เหมาะสมแล้วนั้น จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และลดปัญหาและผลกระทบจากมลพิษอากาศ และจากข้อมูลการสำรวจเทศบาลตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง พบว่ามีผู้ประกอบการผลิตอิฐมอญไม่น้อยกว่า 15 ราย กำลังการผลิตโดยเฉลี่ยของแต่ละโรงงาน อย่างน้อยประมาณ 50,000-100,000 ก้อน/เดือน/ราย [5] โดยที่ราคาขายส่งอิฐมอญหน้าโรงงานประมาณ 2 บาท/ก้อน คิดเป็นมูลค่าโดยรวมประมาณ 18-36 ล้านบาท/ปี

การศึกษานี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพจากการตรวจวัดอุณหภูมิและแก๊สเสีย และประเมินเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นโดยใช้รูปแบบการสัมภาษณ์และสำรวจโดยนักวิจัย ซึ่งเป็นกรณีศึกษาเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลที่ออกแบบสำหรับผู้ประกอบการในพื้นที่อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง เปรียบเทียบกับเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมที่มีในโรงงาน ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถตอบโจทย์ที่ทำทางด้านการศึกษาและลดมลพิษจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลและการจัดการปัญหาที่เกิดจากการเผาอิฐมอญทั้งในเขตจังหวัดภาคเหนือและภูมิภาคอื่นๆ ของประเทศไทยได้



ภาพที่ 1 ภาพกิจกรรมภายในโรงงานอิฐมอญตะวัน ตำบลหนองหล่ม อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง
(ก) การปั้นอิฐ, (ข) เตาเผาแบบดั้งเดิม, (ค) การเผาอิฐแบบสูมไฟ และ (ง) การเติมเชื้อเพลิงชีวมวล

วิธีการวิจัย

ภายใต้โครงการสร้างผู้ประกอบการชุมชนที่มีศักยภาพ (Local Startups) ผู้ประกอบการมีส่วนร่วมในการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีร่วมกับนักวิจัยที่ปรึกษาประจำโครงการ โดยเลือกใช้ต้นแบบการพัฒนาเทคโนโลยีเตาเผาอิฐมอญจากโรงอิฐบ้านชุมเงิน อำเภอพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งออกแบบเตาเผาอิฐมอญให้มีลักษณะเด่นด้านการประหยัดพลังงาน ควบคุมอากาศด้วยพัดลมอัดอากาศและบังคับความร้อนไหลลง (Downdraft) ขนาดเตาเผากว้าง 5 เมตร x ยาว 10 เมตร x สูง 2.5 เมตร ผนังเตาหนา 75 เซนติเมตร มีช่องเปิดข้างเตา 2 ช่อง ภายในเตามีการวางแนวท่อระบายความร้อนและไอเสีย ด้านหน้าเตามีห้องเผาไหม้จำนวน 2 ห้อง มีช่องเติมเชื้อเพลิงชีวมวล 2 ช่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 48 เซนติเมตร ด้านท้ายเตามีปล่องระบายไอเสียขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 4 เมตร จำนวน 6 ปล่อง และใช้พัดลมโบลเวอร์อัดอากาศเข้าห้องเผาไหม้ทั้งสอง ขนาด 3 แรงม้า (2.2 กิโลวัตต์) จำนวน 2 ตัว โดยเตาเผาอิฐมอญชุดนี้ใช้ระยะเวลาในการก่อสร้าง 1 เดือน (มีนาคม 2564) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกว่า เตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถาวรยหลังเตา

หลังจากปั้นอิฐและตากอิฐแห้งแล้ว ทำการจัดเรียงอิฐประมาณ 60,000 ก้อน โดยเรียงอิฐกั้นห้องเผาไหม้ทั้งสอง โดยให้อยู่ในแนวท่อระบายความร้อนและไอเสียภายในเตา ตรวจสอบความมั่นคงของกองอิฐและการสอดประสานของอิฐมอญแต่ละแถวตามความเหมาะสม จากนั้นทำการถมทรายกลบหลังเตาหนาประมาณ 5 เซนติเมตร และเริ่มทำการจุดเตาด้วยไม้ฟืนขนาดเล็กเพื่ออุ่นอิฐใช้ระยะเวลา 36 ชั่วโมง และเริ่มเร่งไฟให้อุณหภูมิสูงขึ้นโดยใช้ไม้ฟืนขนาดใหญ่และเปิดพัดลมโบลเวอร์ ขึ้นตอนนี้ใช้ระยะเวลา 36-48 ชั่วโมง ซึ่งการเผาอิฐมอญแต่ละครั้งจะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 72-84 ชั่วโมง สังเกตก่อนอิฐมอญด้านบนของเตาเผาหากก่อนอิฐมอญมีลักษณะใหม่อย่างสมบูรณ์ให้ปิดเตาและรอจนกว่าอุณหภูมิภายในเตาเผาเย็น จากนั้นนำอิฐมอญออกเพื่อบรรจุลงพาเลทและจำหน่ายต่อไป

การดำเนินการประเมินประสิทธิภาพเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถาวรยหลังเตา จะกำหนดการวัดอุณหภูมิช่วงของการอุ่นอิฐ 4 ครั้ง (ชั่วโมงที่ 1-36) และการเร่งไฟเผาอิฐ 4 ครั้ง (ชั่วโมงที่ 37-72) โดยกำหนดจุดตรวจวัดอุณหภูมิ จำนวน 6 ตำแหน่ง 1.ห้องเผาไหม้ 1 (Combustion 1), 2. ห้องเผาไหม้ 2 (Combustion 2), 3. หลังเตาขวา (TopRight), 4. หลังเตากลางขวา (TopMidRight), 5. หลังเตากลางซ้าย (TopMidLeft), และ 6. หลังเตาซ้าย (TopLeft)

แสดงดังภาพที่ 2 การดำเนินการตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ Kepler ช่วงอุณหภูมิ -35 ถึง 1,300 องศาเซลเซียส จะทำการตรวจวัดและบันทึกอุณหภูมิอย่างน้อย 5 ครั้ง และคำนวณค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ



ภาพที่ 2 ตำแหน่งตรวจวัดอุณหภูมิและแก๊สเสียและลักษณะเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถาวรหลังเตา

จากนั้นตรวจวัดแก๊สเสียจากเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมและเตาเผาอิฐมอญที่ได้รับการพัฒนา โดยเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมตรวจวัดบริเวณบนหลังเตา และเตาเผาอิฐมอญแบบถาวรหลังเตาจะตรวจวัดที่ปลายปล่อง ในตำแหน่งที่ 7 และ 8 (ภาพที่ 2) ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สเสีย ยี่ห้อ E4500-C Hand-Held Industrial Combustion Gas & Emission Analyzer, USEPA standard ที่สภาวะการเก็บตัวอย่างแก๊สเสียแบบ Iso-kinetic condition with 3 replicates, 60 sec ดำเนินการตรวจวัดแก๊สเสียจำนวน 4 ครั้ง ตลอดช่วงระยะเวลาการเผาอิฐและคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาด้วยสมการ (1)

$$Eff_{com} (\%) = \frac{[CO_2]}{[CO_2] + [CO]} \times 100 \quad (1)$$

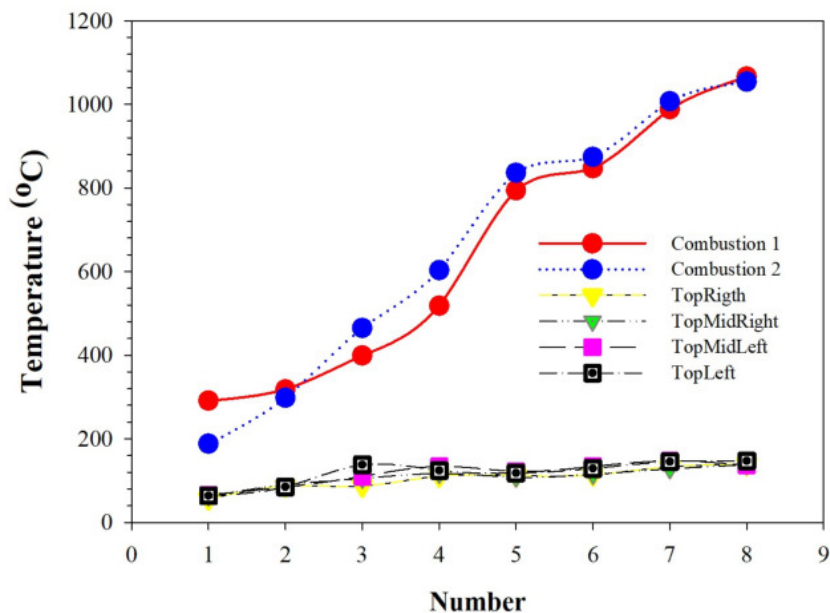
- เมื่อ Eff_{com} คือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%)
 $[CO_2]$ คือ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวัดได้ (%)
 $[CO]$ คือ ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ตรวจวัดได้ (%)

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิจากผู้ประกอบการ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการประเมินเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นสำหรับเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถาวรหลังเตาเปรียบเทียบกับเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิม โดยหัวข้อที่สัมภาษณ์มีดังนี้ จำนวนอิฐมอญที่เผาต่อครั้ง ระยะเวลาในการเผา ปริมาณฟืน ราคาเชื้อเพลิงชีวมวล (ราคาไม้ฟืน) จำนวน

คนงานขนลำเลียงอิฐมอญ จำนวนคนงานควบคุมเตาเผา ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานต่อครั้งการเผา ปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าไฟฟ้า จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณเพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมของการเผาอิฐมอญแต่ละครั้ง ต้นทุนของอิฐมอญรายก้อน ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะและระยะเวลาคืบหน้า

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิในช่วงการอุ่นอิฐไต่ความชื้นและการเร่งไฟเผาอิฐ ครั้งที่ 1-4 (ช่วงอุ่นอิฐเพื่อไต่ความชื้น) และครั้งที่ 5-8 (ช่วงเร่งไฟเพื่อเผาอิฐ) ตามลำดับ โดยทำการตรวจวัดตำแหน่งที่ 1-6 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของการตรวจวัดครั้งแรก เท่ากับ 291, 188, 56, 63, 66 และ 64 องศาเซลเซียส ส่วนการตรวจวัดครั้งที่ 2 อุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 318, 298, 87, 90, 85 และ 85 องศาเซลเซียส ตรวจวัดครั้งที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 399, 465, 87, 105, 110, และ 138 องศาเซลเซียส ตรวจวัดครั้งที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 518, 603, 111, 117, 134 และ 124 องศาเซลเซียส ตรวจวัดที่ 5 อุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 794, 835, 112, 108, 122 และ 118 องศาเซลเซียส ตรวจวัดครั้งที่ 6 อุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 847, 874, 114, 115, 134 และ 129 องศาเซลเซียส ตรวจวัดครั้งที่ 7 อุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 988, 1,007, 133, 128, 147 และ 145 องศาเซลเซียส และการตรวจวัดครั้งที่ 8 อุณหภูมิเฉลี่ย 1,066, 1,054, 139, 138, 137 และ 147 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โปรไฟล์อุณหภูมิของเตาเผาอิฐแบบถาวรยหลังเตาที่ได้รับการพัฒนาแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งโปรไฟล์อุณหภูมิของงานวิจัยนี้มีความคล้ายคลึงกับผลการตรวจวัดของงานวิจัยก่อนหน้านี้ [1] พบว่า ความร้อนจะสะสมบริเวณห้องเผาไหม้ที่ 1 และ 2 มากที่สุด ในช่วงของการอุ่นอิฐจะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 500-600 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อเริ่มมีการเร่งไฟเพื่อเผาอิฐ อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและจะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1,000-1,100 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่รายงานในต่างประเทศ [6] ในขณะที่อุณหภูมิบริเวณหลังเตาที่ถูกคลุมด้วยทราย ผลการตรวจวัดทั้ง 4 จุด ในตำแหน่งที่ 3-6 จะมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 130-150 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3 โปรไฟล์อุณหภูมิขณะเผาอิฐแบ่งตามช่วงของการอุ่นอิฐและเร่งไฟเผาอิฐ

ผลการดำเนินการตรวจวัดแก๊สเสีย โดยเฉพาะแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เปรียบเทียบเตาเผาอิฐมอญทั้งสองชนิด แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมมีค่าเฉลี่ยของแก๊ส CO และ CO₂ สูงกว่าค่าที่ได้จากเตาเผาอิฐมอญที่ได้รับการพัฒนา แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของปริมาณแก๊ส CO ของเตาเผาอิฐมอญทั้งสองชนิดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549 (แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล) [7] และเมื่อนำค่าปริมาณแก๊สที่ตรวจวัดได้ทั้งสองชนิดมาคำนวณประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Eff_{com}) ตามสมการ (1) จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพเตาเผาอิฐมอญที่ได้รับการพัฒนามีประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ในช่วง 91.20-98.10% โดยมีค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้นประมาณ 3-4% ซึ่งประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงขึ้นนี้จะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่จะถูกใช้ในการเผาอิฐมอญด้วย ทำให้แนวโน้มของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (ไม้พืน) ในเตาเผาอิฐมอญลดลง

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดแก๊สเสียและประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผาอิฐมอญแต่ละชนิด

ชนิดเตาเผา	แก๊สเสีย	หน่วย	ผลการตรวจวัด ¹				มาตรฐาน ²
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	
เตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิม	CO	ppm	499	516	441	729	690
		(%)	(0.0499)	(0.0516)	(0.0441)	(0.0729)	
	CO ₂	%	0.3	1.2	0.8	1.1	
ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Eff_{com})		%	83.37	95.70	94.48	93.37	
เตาเผาอิฐมอญแบบถมหายหลังเตา	CO	ppm	88	215	29	38	690
		(%)	(0.0088)	(0.0215)	(0.0029)	(0.0038)	
	CO ₂	%	0.1	0.4	0.1	0.2	
ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Eff_{com})		%	91.20	94.63	97.10	98.10	

¹ผลการตรวจวัดอ้างอิงที่สถานะอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ เท่ากับ 1 บรรยากาศ) และสภาวะแห้ง (dry basis) โดยมีปริมาตรอากาศส่วนเกินขณะเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลภายในเตาเผาอิฐมอญ (% excess air)

²ค่ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549 (แหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล) ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 123 ตอนพิเศษ 125ง เมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2549 [7]

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการและการสำรวจภายในโรงงาน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาประเมินเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นเปรียบเทียบระหว่างเตาเผาอิฐมอญแต่ละชนิด ในภาพรวมพบว่าเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถมหายหลังเตาที่ได้รับการพัฒนาสามารถรองรับจำนวนก้อนอิฐต่อการเผาแต่ละครั้งได้มากขึ้น เพิ่มจาก 42,000 ก้อน เป็น 60,000 ก้อน เนื่องจากเตาเผามีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความจุเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 42.85% หลังจากการเผาอิฐเสร็จสิ้นพบว่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ไม้พืน) ลดลงจาก 18 ตัน/ครั้ง เหลือ 14 ตัน/ครั้ง นอกจากนั้นยังสามารถรองรับการใช้ไม้พืนสดที่มีความชื้นสูงได้ แต่ระยะเวลาในการเผาอิฐมอญแต่ละครั้งจะเพิ่มขึ้นจากเดิม 48 ชั่วโมงไปเป็น 72 ชั่วโมง ในส่วนของระยะเวลาเผาอิฐที่เพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลต่อค่าแรงงานในการขนถ่ายและควบคุมการเผาอิฐ เนื่องจากผู้ประกอบการมีการว่าจ้างเป็นแบบเหมาจ่าย แต่จะมีค่าใช้จ่ายในด้านปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการใช้พัดลมอัดอากาศในขั้นตอนการเร่งไฟเพื่อเผาอิฐทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 160 เท่า อย่างไรก็ตามเนื่องจากปริมาณอิฐมอญที่สามารถเผาได้มากขึ้นและปริมาณการใช้ไม้พืนลดลง ทำให้มีดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะลดลง มีค่าเท่ากับ 2.26 เมกะจูล/กิโลกรัม จากเดิม 4.73 เมกะจูล/กิโลกรัม สามารถลดต้นทุนในขั้นตอนการเผาอิฐได้ประมาณ 44.23% และเมื่อคำนวณระยะเวลาการคืนทุน มีค่าเท่ากับ 1.14 ปี

ตารางที่ 2 ข้อมูลปฐมภูมิและผลการประเมินเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นเปรียบเทียบระหว่างเตาเผาอิฐมอญแต่ละชนิด

ข้อ	รายละเอียด	การเปรียบเทียบเตาเผาอิฐมอญ	
		เตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิม	เตาเผาอิฐมอญแบบกรมทรายหลังเตา
1	จำนวนอิฐที่เผาต่อครั้ง (ก้อน)	42,000	60,000
2	ระยะเวลา (ชั่วโมง)		
	ระยะเวลาในการอุ่นอิฐ	24	36
	ระยะเวลาในการเผาอิฐ	24	36
3	อุณหภูมิเฉลี่ยของเตาเผา (องศาเซลเซียส)		
	อุณหภูมิการอุ่นอิฐ	300-600	250-600
	อุณหภูมิการเผาอิฐ	750-1,100	750-1,100
4	ปริมาณไม้ฟืน/ปริมาณชีวมวลที่ใช้ (ตัน)	18	14
	ราคาไม้ฟืนรวม (บาท) –(ปริมาณ*ราคาไม้ฟืน)	16,200	11,200
5	ความชื้นของชีวมวลที่เหมาะสม (% , ความชื้นมาตรฐานเปียก)	15-20	35-48
	ค่าความร้อน (เมกะจูล/กิโลกรัม)	16	14
	ราคาไม้ฟืน (บาท/ตัน)	900	800
6	จำนวนคนงานลำเลียงอิฐเข้า/ออกเตาเผา (คน)	4	4
	ค่าจ้าง (500 บาท/คน)	2,000	2,000
7	จำนวนคนงานควบคุมเตาเผา (คน)	3	3
	ค่าจ้าง (1,200 บาท/คน)	3,600	3,600
8	ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานต่อครั้งของการเผาอิฐ (บาท) (ข้อ 6+7)	5,600	5,600
9	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh)	0.8	159.5
	ไฟฟ้าแสงสว่าง (หลอดไฟ 32 วัตต์, 1 หลอด)	0.768 (24 h)	1.152 (36 h)
	พัดลมโบลเวอร์ (มอเตอร์ 2.2 กิโลวัตต์, 2 ตัว)	-	158.4 (36 h)
10	จำนวนหน่วยตามปริมาณการใช้ไฟฟ้า (หน่วย)	1	160
	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ (บาท)-คิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.99 บาท	3.99	638.4
11	ค่าใช้จ่ายรวมต่อครั้งของการเผาอิฐ (บาท) (ข้อ 4+8+10)	21,804	17,439
12	ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อก้อนอิฐ (เมกะจูล/ก้อน)	6.86	3.27
13	ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (เมกะจูล/กิโลกรัม)	4.73	2.26
14	ราคาต้นทุนต่อก้อนอิฐ (บาท/ก้อน) – ไม่รวมต้นทุนอื่น (ข้อ 11/1)	0.52	0.29
15	ระยะเวลาการคืนทุน (ปี) = ต้นทุนค่าก่อสร้าง/(เงินส่วนต่างจากการเผาแต่ละครั้ง*จำนวนการเผาอิฐมอญทั้งปี จำนวน 20 ครั้ง)		1.14
	PB (year) = 100,000/[(21,804-17,439)*20]		

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถาวรหลังเตาในโครงการนี้ มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีเตาเผาอิฐมอญแบบใหม่เพื่อทดแทนเตาเผาแบบดั้งเดิมที่มีประสิทธิภาพต่ำและก่อให้เกิดปัญหามลพิษอากาศ ซึ่งเป็นกรณีศึกษาของโรงงานอิฐมอญตะวัน ตำบลหนองหล่ม อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง และเพื่อสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้ประกอบการในการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยี จึงดำเนินการเก็บข้อมูลด้านประสิทธิภาพของเตาเผาแบบใหม่เปรียบเทียบกับแบบดั้งเดิม พบว่า การเผาอิฐมอญในเตาเผาแบบใหม่แต่ละครั้งจะใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นประมาณ 24-48 ชั่วโมง แต่การเพิ่มขึ้นของระยะเวลาการเผาอิฐไม่ได้นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของค่าจ้างแรงงานเนื่องจากการขั้นตอนการเผาอิฐมอญจะมีการว่าจ้างแบบเหมาจ่าย ผลการตรวจวัดพบว่าประสิทธิภาพเตาเผาอิฐมอญที่ได้รับการพัฒนามีประสิทธิภาพการเผาไหม้เพิ่มขึ้น 3-4% ซึ่งประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่สูงขึ้นนี้จะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่จะถูกใช้ในการเผาอิฐมอญด้วย ทำให้แนวโน้มของการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (ไม้ฟืน) ในเตาเผาอิฐมอญลดลง โดยปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลดลง ประมาณ 4 ตัน และสามารถผลิตอิฐมอญได้เพิ่มขึ้นประมาณ 20,000 ก้อน/ครั้ง แต่อย่างไรก็ตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเตาเผาอิฐมอญที่ได้รับการพัฒนาขึ้นนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 160 หน่วย เนื่องจากมีการใช้งานพัดลมอัดอากาศในช่วงของการเร่งไฟเพื่อเผาอิฐและทำให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผาอิฐมอญสูงประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเผาอิฐมอญ และดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ เท่ากับ 2.26 เมกะจูล/กิโลกรัม ซึ่งลดลงจากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 4.73 เมกะจูล/กิโลกรัม จากข้อมูลสามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาเตาเผาอิฐมอญแบบใหม่ จะนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิตอิฐมอญโดยเฉพาะในขั้นตอนการเผาอิฐ จะลดลงจากการใช้เตาเผาอิฐแบบดั้งเดิมประมาณ 44.23% โดยมีระยะเวลาในการคืนทุน เท่ากับ 1.14 ปี

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ อุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือตอนล่าง กองการวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนการศึกษาวิจัยในโครงการสร้างผู้ประกอบการชุมชนที่มีศักยภาพ (Local Startups) ภายใต้โครงการยกระดับคุณภาพชีวิตและเศรษฐกิจในภูมิภาค ด้วยองค์ความรู้ ภูมิปัญญาและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

เอกสารอ้างอิง

- [1] อุกฤต สมัครสมาน สุภฤกษ์พงษ์ ไชยมงคล และคณิต มานะธนะ. (2563). เทคโนโลยีควบคุมมลพิษอากาศที่เกิดจากเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบถาวรหลังเตา. *วารสารสิ่งแวดล้อม*. 24(4), 1-8.
- [2] Prasertsan, S., Theppaya, T., Prateepchaikul, G., and Kirirat, P. (1997). Development of an energy-efficient brick kiln. *International Journal of Energy Research*. 21(15), 1363-1383.
- [3] นิตยา ชาคำรูน และลักษณีย์ บุญขาว. (2562). การประเมินปริมาณฝุ่นละอองของคณงานทำอิฐมอญแดงในตำบลหนองกินเพล อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*. 21(1), 68-75.
- [4] อนุสรณ์ รัตนธนะโสภาส จิระพันธุ์ เนื่องจากนิล วิทยา ภูมิสามพราน และศันสนีย์ แสนศิริพันธ์. (2556). “การปรับปรุงประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐมอญ”, ใน *การประชุมวิชาการการพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน 2556 ครั้งที่ 3*, 97-101. วันที่ 9-12 พฤษภาคม 2556 ณ โรงแรมเซ็นทาราไฮเต็ล แอนด์ คอนเวนชันเซ็นเตอร์ จังหวัดขอนแก่น. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- [5] สรวิต มูลอินต๊ะ. (2557). “การใช้ประโยชน์จากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาเผาอิฐก่อสร้าง”. ใน การประชุมวิชาการพะเยาวิจัย ครั้งที่ 3, 490-499. วันที่ 23-24 มกราคม 2557 ณ อาคารเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา. พะเยา : มหาวิทยาลัยพะเยา
- [6] Bloodworth, A.J. Cowley J.F. Highley D.E. and Bowler G.K. (2001). Brick Clay: Issues for Planning, Commissioned Report CR/01/117N, DTLR Transport Local Government Regions, British Geological Survey, Natural Environment Research Council. สืบค้นเมื่อ 21 มิถุนายน 2564, จาก <https://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=1331>.
- [7] กระทรวงอุตสาหกรรม. (2549). ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549. ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 123 ตอนพิเศษ 125ง. วันที่ 4 ธันวาคม 2549.

การผลิตและวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านชีวภาพซังข้าวโพดเมื่อใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่
Production and Characterization of Corncob Bio-char with Using Moving Bed
Pyrolyser

พงษ์ภิญโญ ปัญโญใหญ่¹ ชูรัตน์ ธารารักษ์¹ กิตติกร สาสุจิตต์¹ นำพร ปัญโญใหญ่² และนิกราน หอมดวง^{1*}
Pongpinyo¹ Panyoyai Churat Thararux¹ Kittikorn Sasujit¹ Numpon Panyoyai² and Nigran Homdoug¹

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

²คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

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

²Agricultural Engineering, Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, Chiang Mai 50290

*Corresponding author: Tel.: 084 177 3632. E-mail: nigranghd@gmail.com

Received: 30 June 2021, Revised: 20 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 April 2022

Abstract

The objective of this research was to produce and analyze the properties of corncob bio-char with using moving bed pyrolyser. with a capacity of 280 L. The LPG gas is the fuel for heating. Used motor and Reduction gear to stir the corn cobs. The outside of the reactor is insulated. It could heat to 700-800 °C, used corncob with a moisture content of less than 20%. Biochar production 3 times, and take them for chemical analysis. The results showed that using a moving bed pyrolyser heat temperature up to 590 °C, and average temperature 477 °C. The yields of the process consist of Bio-Char, Wood Vinegar and pyrolysis gas accounted for 28.5%, 12.2% and 59.3%, respectively. The highest fixed carbon content 70.95%, the lowest volatile matter 22.39% and calorific value 28.55 MJ/kg. The physical characteristics were in accordance with the theory of charcoal production. In addition, biochar can be promoted to the community to produce briquettes. And in agriculture, biochar can also be produced as a soil conditioner for cultivation and reduce the acidity of the soil.

Keywords: pyrolysis process, pyrolysis reactor, bio-char, corn cob



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการผลิตและวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่มีความจุขนาด 280 L โดยใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการให้ความร้อน ใช้มอเตอร์และชุดเกียร์ทดในการหมุนทวนซังข้าวโพด ภายนอกเครื่องปฏิกรณ์ด้วยอุณหภูมิความร้อน สามารถสร้างอุณหภูมิได้ 700-800 °C ใช้ซังข้าวโพดที่มีความชื้นน้อยกว่า 20% ทำการผลิตถ่านชีวภาพ 3 ครั้ง นำถ่านชีวภาพที่ได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ผลการทดสอบพบว่าการใช้เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเบดเคลื่อนที่สร้างอุณหภูมิสูงสุด 590 °C โดยให้อุณหภูมิไพโรไลซิสเฉลี่ย 477 °C ผลผลิตจากกระบวนการประกอบด้วย ถ่านชีวภาพ น้ำส้มควันไม้ และไพโรไลซิสแก๊ส คิดเป็น 28.5%, 12.2% และ 59.3%ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์บอนคงที่สูงสุด 70.95% และสารระเหยต่ำ 22.39% โดยมีค่าความร้อน 28.55 MJ/kg ส่วนลักษณะทางกายภาพเป็นไปตามทฤษฎีของการผลิตถ่าน นอกจากนี้ถ่านชีวภาพที่ผลิตได้ยังสามารถนำส่งเสริมใช้ชุมชนนำไปผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง และในภาคการเกษตรถ่านชีวภาพยังสามารถผลิตเป็นปุ๋ยปรับปรุงดินในการเพาะปลูกและลดความเป็นกรดของดินได้

คำสำคัญ กระบวนการไพโรไลซิส เครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส ถ่านชีวภาพ ซังข้าวโพด

บทนำ

ข้าวโพดนับเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทย ส่วนใหญ่ใช้ในการผลิตอาหารสัตว์ พื้นที่ผลิตข้าวโพดของโลก ได้แก่ จีน บราซิล สหรัฐอเมริกา และยุโรป เป็นต้น ในขณะที่ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ในจังหวัดน่าน ตาก เพชรบูรณ์ เลย และนครราชสีมา มีผลผลิตรวม 2.74 ล้านตันต่อปี โดยทั่วไปหลังจากการสีข้าวโพด ประมาณ 30% ของผลผลิตจะเป็นซังข้าวโพด ในอดีตเกษตรกรเคยเผาเพื่อทำลายซังข้าวโพดที่ไร้ประโยชน์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ปัญหาเรื่องฝุ่น ปัญหาหมอกควัน และมลพิษทางอากาศ เป็นต้น อย่างไรก็ตามซังข้าวโพดเมื่อนำเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิส จะส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงที่ และค่าความร้อนเพิ่มขึ้น สามารถนำมาใช้ผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งหรือเชื้อเพลิงอัดเม็ด นอกจากนี้ในภาคการเกษตรซังข้าวโพดยังสามารถผลิตเป็นถ่านชีวภาพเพื่อใช้เป็นสารปรับปรุงดินในการเพาะปลูก และสามารถลดความเป็นกรดของดินได้ โดยทั่วไปการผลิตถ่านชีวภาพจากเตาเผาถ่านแบบเบดคงที่ เช่น เตาอิฐ เตาเผาโลหะที่เคลื่อนย้ายได้ เตาเผาแบบหลุม เตาเผาแบบกอง เตาเผาถ่านแบบมิสซูรี และเตาเผาถ่าน 200 ลิตร เป็นต้น จะมีข้อบกพร่องในเรื่องของการใช้ระยะเวลาในการเผาถ่านชีวภาพ เช่น เตาเผาถ่าน 200 ลิตร ใช้ระยะเวลาในการเผามากกว่า 8 ชั่วโมง เป็นต้น และที่สำคัญปริมาณถ่านที่ได้นั้นมีจำนวนน้อย เนื่องจากระหว่างกระบวนการมีอากาศเข้าสู่เตา ทำให้ชีวมวลหรือถ่านชีวภาพบางส่วนกลายเป็นขี้เถ้า ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตต่อรอบลดลง ซึ่งการไพโรไลซิสที่ถูกต้องตามทฤษฎี คือการให้ความร้อนแก่ห้องไพโรไลซิสโดยปราศจากออกซิเจนหรืออากาศ เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียมวลของถ่านชีวภาพในระหว่างกระบวนการ ดังนั้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ในการพัฒนาและศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพจากเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ เพื่อแก้ไขปัญหาในส่วนของระยะเวลาการผลิตถ่านชีวภาพ และลดการสูญเสียมวลของถ่านชีวภาพ นั่นเอง

วิธีการวิจัย

การเตรียมชีวมวล

ชีวมวลที่ใช้สำหรับงานทดสอบนี้ คือ ชังข้าวโพด ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ได้จากการสีข้าวโพดเลี้ยงสัตว์จากแปลงทดลองปลูกข้าวโพด สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ดังแสดงในภาพที่ 1 สำหรับงานวิจัยนี้ได้มีการเตรียมชังข้าวโพดให้มีขนาดอยู่ในช่วง 2-3.5 inch ความชื้นน้อยกว่า 20% ความหนาแน่น 111.35 kg/m³ และค่าความร้อนเริ่มต้น 14.6 MJ/kg โดยรายละเอียดคุณสมบัติทางเคมีของชังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ชังข้าวโพด

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีของชังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์

Proximate Analysis (%wt.)		Ultimate Analysis (%wt.)	
MS	9.42	C	44.12
VM	79.51	H	8.52
FC	9.78	N	0.45
AC	1.29	O	46.85
		S	0.06

อุปกรณ์และเครื่องมือการทดสอบ

ชุดทดสอบกระบวนการไพโรไลซิสสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ชุดให้ความร้อนโดยใช้หัวเตาแก๊สขนาด KB 10 เป็นตัวให้พลังงานความร้อนแก่ห้องปฏิกรณ์ไพโรไลซิส ชุดควบคุมแรงดันทำจากท่อสแตนเลสเกรด 304 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 inch ขดเป็นเกลียว ใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน และห้องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเบดเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นห้องที่บรรจุชีวมวลเพื่อผลิตถ่านชีวภาพ มีปริมาตร 280 L จะมีการต่อท่อสแตนเลสเพื่อส่งไพโรไลซิสแก๊สไปยังชุดควบคุม จะมีท่อสามทางสำหรับระบายน้ำส้มควันไม้ไปยังถังรองรับน้ำส้มควันไม้ที่อยู่ด้านล่างก่อนปล่อยแก๊สไปสู่อากาศ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ชุดทดสอบกระบวนการไพโรไลซิสแบบเบดเคลื่อนที่

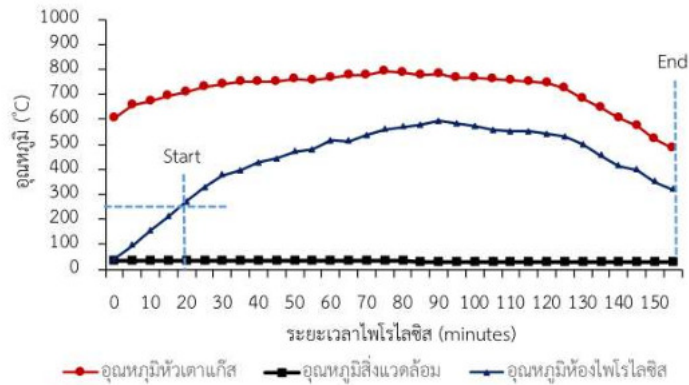
วิธีการทดสอบ

การทดสอบการผลิตถ่านชีวภาพด้วยเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเบดเคลื่อนที่ เริ่มจากการนำซังข้าวโพดใส่ลงในห้องไพโรไลซิส 30 kg จากนั้นทำการปล่อยแก๊สไนโตรเจนเข้าสู่ห้องไพโรไลซิส เพื่อไล่อากาศ ขั้นตอนต่อไปทำการตั้งค่าอุณหภูมิโดยเฉลี่ย 500 °C พร้อมจุดเตาแก๊สเพื่อให้ความร้อนแก่ห้องไพโรไลซิส เปิดสวิตช์มอเตอร์เกียร์สำหรับการหมุนวนซังข้าวโพดในห้องปฏิกรณ์ ระหว่างการทดสอบจะเกิดไพโรไลซิสแก๊สขึ้น และจะเคลื่อนตัวไหลผ่านท่อสแตนเลสไปยังชุดควบแน่นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้แก๊สเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำหรือเรียกว่า น้ำส้มควันไม้ ซึ่งน้ำส้มควันไม้จะไหลลงไปยังรูระบายที่มีถังรองรับน้ำส้มควันไม้อยู่ด้านล่าง จากนั้นหากสังเกตเห็นว่าไม่มีไพโรไลซิสแก๊สออกมาจากปล่องไฟของเครื่องปฏิกรณ์ ให้ปิดระบบให้ความร้อน ปิดระบบหมุนวน และทำการถอดท่อไม่ให้อากาศเข้าไปในห้องปฏิกรณ์ รอให้อุณหภูมิในห้องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสเย็นตัวลง แล้วเก็บผลผลิตถ่านชีวภาพและน้ำส้มควันไม้ เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการทดสอบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์อุณหภูมิและระยะเวลาการผลิตถ่านชีวภาพซังข้าวโพด

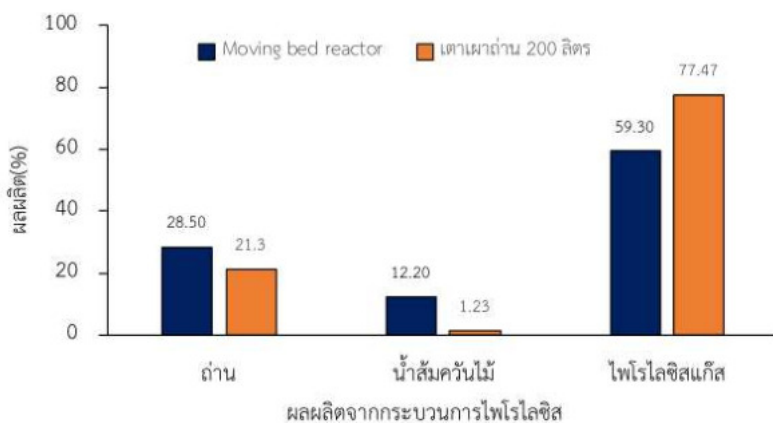
ภาพที่ 3 แสดงเส้นแนวโน้มของอุณหภูมิภายในห้องไพโรไลซิสของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ เมื่อผลิตถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดและเส้นอุณหภูมิเปลวไฟจากหัวเตาแก๊สหุงต้ม รุ่น KB 10 การทดสอบอุณหภูมิห้องไพโรไลซิสเริ่มต้นจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดสิ้นสุดของกระบวนการซึ่งใช้เวลารวมทั้งหมด 155 min (สังเกตจากปริมาณไพโรไลซิสแก๊สทั้งหมดลง) การใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ใช้เวลาเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิสได้เร็ว คือ ใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ในช่วง 20-25 min อุณหภูมิภายในห้องไพโรไลซิสมีอุณหภูมิเฉลี่ย 250 °C และหลังจากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยให้อุณหภูมิสูงสุด 590 °C ในภาพรวมของอุณหภูมิไพโรไลซิสตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนถึงสิ้นสุดกระบวนการจะมีค่าเฉลี่ย 477 °C ซึ่งสอดคล้องกับผลอุณหภูมิการทดลองในห้องปฏิบัติการที่ให้ค่าเหมาะสมสูงสุด [1] ในส่วนของอุณหภูมิหัวเตาแก๊สจากเชื้อเพลิงแก๊สหุงต้มที่ให้ความร้อนแก่ห้องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่อุณหภูมิสูงสุด 790 °C และมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดช่วงเวลางาน 712 °C



ภาพที่ 3 อุณหภูมิไพโรไลซิสเทียบระยะเวลาไพโรไลซิสในการผลิตถ่านซึ่งข้าวโพดของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่

ผลผลิตที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่

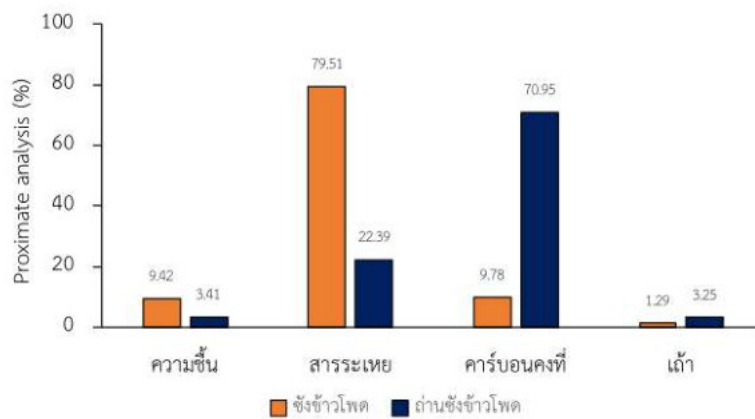
ภาพที่ 4 แสดงผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้าของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ ผลผลิตที่ได้ ประกอบด้วย ถ่านชีวภาพ น้ำส้มควันไม้ และไพโรไลซิสแก๊ส โดยถ่านชีวภาพที่ได้ให้ปริมาณสูงสุดเฉลี่ย 28.50% ในขณะที่น้ำส้มควันไม้ให้ปริมาณสูงสุด 12.20% และที่เหลือมีสภาพเป็นแก๊สเชื้อเพลิง เรียกว่า ไพโรไลซิสแก๊ส สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเสริมการให้ความร้อนเครื่องปฏิกรณ์ได้ หรือนำไปใช้เป็นหัวเผาทดแทนแก๊สหุงต้มและเครื่องยต์กำเนิดไฟฟ้าได้ [2] การเปรียบเทียบกับเตาเผาถ่านแบบพิกส์เบด ขนาด 200 ลิตร พบว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ ให้ปริมาณถ่านชีวภาพและน้ำส้มควันไม้ในปริมาณที่สูงกว่า โดยทั่วไปเตาเผาถ่านแบบ 200 ลิตร จะให้ผลผลิตถ่านอยู่ในช่วง 20-22% และให้น้ำส้มควันไม้ในช่วง 0.5-1 L คิดเป็น 1.25% เมื่อเทียบกับน้ำหนักชีวมวลที่ป้อนเข้า [3] ในด้านของไพโรไลซิสแก๊สที่วิเคราะห์ได้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ ให้ปริมาณไพโรไลซิสแก๊สต่ำคิดเป็น 59.30% ในขณะที่เตาเผาถ่านแบบ 200 ลิตร ให้ค่าสูงถึง 77.47% องค์ประกอบของแก๊สที่ปล่อยออกระหว่างกระบวนการนี้ จะมีทั้งไพโรไลซิสแก๊สและความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อของซึ่งข้าวโพดที่ป้อนเข้า ปริมาณแก๊สที่ปล่อยออกมากเกินไปเป็นสาเหตุก่อให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม การรำคาญ และปัญหาสุขภาพของคนในชุมชน [4]



ภาพที่ 4 ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสซึ่งข้าวโพด

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีถ่านชีวภาพ

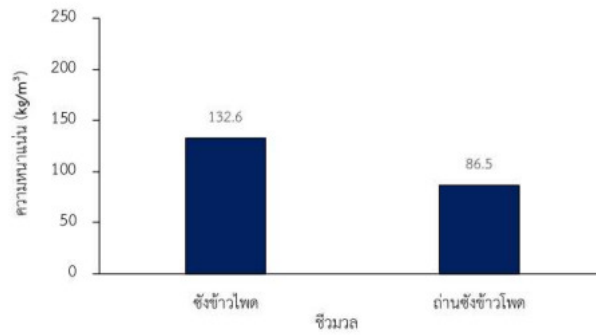
ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพเทียบกับคุณสมบัติทางเคมีของชีวมวลซังข้าวโพด พบว่ากระบวนการไพโรไลซิสซังข้าวโพดที่อุณหภูมิ 400-600 °C จะทำให้ความชื้นและสารระเหยลดลง ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนคงที่และเถ้ามีสัดส่วนเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณคาร์บอนคงที่ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความร้อนของถ่านชีวภาพซังข้าวโพดเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบเพิ่มสูงขึ้นได้ [5] ในทางเดียวกันสัดส่วนคาร์บอนคงที่ที่เพิ่มขึ้นจะแปรผันตรง ทำให้น้ำหนักชีวมวลลดลง ซึ่งปกติทั่วไปปริมาณคาร์บอนคงที่สำหรับการผลิตถ่านอัดแท่งที่ยอมรับได้ต้องมีสัดส่วนสูงกว่า 60% ขึ้นไป และมีปริมาณสารระเหยไม่เกิน 25% [6] ปริมาณคาร์บอนคงที่ ความชื้น สารระเหย และเถ้า ที่ได้จากการทดสอบมีค่าเฉลี่ย 70.95% 3.41% 22.39% และ 3.25% ตามลำดับ ในด้านของค่าความร้อนถ่านชีวภาพซังข้าวโพดให้ค่าสูงสุด 28.55 MJ/kg ในขณะที่ซังข้าวโพดเริ่มต้น 14.60 MJ/kg



ภาพที่ 5 คุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพซังข้าวโพดจากเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของถ่านชีวภาพซังข้าวโพด

ภาพที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ความหนาแน่น สี และรูปร่างของถ่านชีวภาพซังข้าวโพดก่อนและหลังกระบวนการไพโรไลซิส พบว่าชีวมวลซังข้าวโพดก่อนเข้าสู่กระบวนการไพโรไลซิสจะมีความหนาแน่นเฉลี่ย 132.6 kg/m³ ในขณะที่ถ่านชีวภาพซังข้าวโพดความหนาแน่นลดลง 86.50 kg/m³ ซึ่งการสูญเสียความชื้นและสารระเหยบางส่วน ทำให้มวลและรูปร่างของชีวมวลเปลี่ยนรูปร่างไป โดยมีแนวโน้มที่หดตัวลดลง [7] อย่างไรก็ตามการใช้ชีวมวลที่มีความหนาแน่นต่ำจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้นได้ ในด้านของลักษณะสีของชีวมวลก่อนป้อนเข้า ซังข้าวโพดจะมีลักษณะเป็นสีขาวออกเหลือง และหลังผ่านกระบวนการไพโรไลซิสลักษณะจะเป็นสีดำสนิทและมีน้ำหนักเบาลง ดังภาพที่ 7 ด้านขนาดรูปร่างของซังข้าวโพดเริ่มต้นมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-1.5 inch ยาว 2.5-4 inch และเมื่อผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะมีขนาดลดลงเฉลี่ยไม่เกิน 20% ขึ้นส่วนของถ่านชีวภาพบางชิ้นอาจเกิดการแตกหักระหว่างกระบวนการ โดยเมื่อหักดูเนื้อของถ่านชีวภาพซังข้าวโพดจะมีลักษณะมัน วาว บีบแตกหักได้ง่ายกว่าเดิม



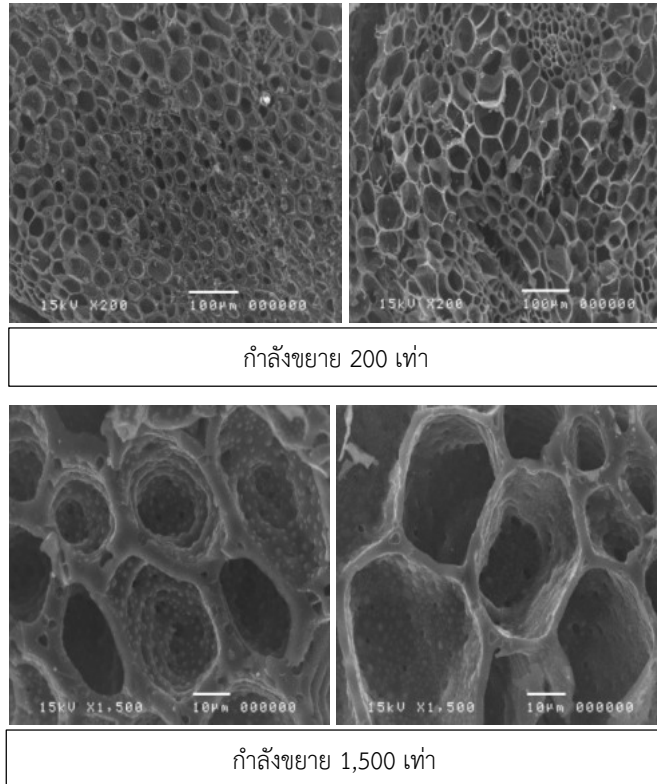
ภาพที่ 6 ความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพด



ภาพที่ 7 ลักษณะรูปร่างและสีของถ่านชีวภาพซังข้าวโพด

การวิเคราะห์ความพรุนถ่านชีวภาพซังข้าวโพด

ความพรุนเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการนำเอาถ่านชีวภาพซังข้าวโพดไปใช้ประโยชน์ โดยถ่านชีวภาพที่มีความพรุนสูงจะกักเก็บจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้เพิ่มขึ้น [8] โดยภาพที่ 8 แสดงภาพถ่ายทางกายภาพของถ่านชีวภาพซังข้าวโพดเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) กำลังขยายภาพ 200 เท่า และ 1,500 เท่า พบว่าถ่านซังข้าวโพดมีการกระจายตัวของรูพรุนสม่ำเสมอทั่วทั้งก้อนถ่าน แสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพซังข้าวโพดมีความเป็นรูพรุนสูง รูพรุนของถ่านจากซังข้าวโพดมีลักษณะเป็นกึ่งกลมกึ่งรี โดยรูพรุนที่พบเป็นรูพรุนระดับ Mesoporous มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนอยู่ในช่วง 20-40 μm (Mesoporous : 2-50 nm) ผนังของรูพรุนมีความหนาประมาณ 2.73 μm และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 1,500 เท่า จะสังเกตเห็นว่าภายในรูพรุนระดับ Mesoporous ของถ่านซังข้าวโพดมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ นอกจากนี้ยังปรากฏรูพรุนระดับ Microporous เช่นเดียวกับรูพรุนที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวผนังของรูพรุนด้านนอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนอยู่ในช่วง 0.9-1.82 μm (Microporous : < 2 nm) ซึ่งรูพรุนที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการหลุดออกของสารระเหยและคาร์บอนที่ไม่เสถียร ทำให้พื้นที่ผิวลดลง เกิดเป็นช่องว่างและมีความเป็นรูพรุนเพิ่มสูงขึ้น [9]



ภาพที่ 8 ภาพถ่ายความพรุนถ่านชีวภาพซังข้าวโพดเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

สรุปผลการวิจัย

การผลิตถ่านชีวภาพจากเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดเคลื่อนที่ให้อุณหภูมิไพโรไลซิสเฉลี่ย 477 °C ที่อัตราการป้อนชีวมวล 30 kg/ครั้ง โดยมีระยะเวลาการผลิตถ่านชีวภาพสูงสุด 155 min ผลผลิตที่ได้ ประกอบด้วย ถ่านชีวภาพ น้ำส้มควันไม้ และไพโรไลซิสแก๊ส มีค่าเฉลี่ย 28.50% 12.20% และ 59.30% ตามลำดับ ถ่านชีวภาพที่ได้ให้ค่าคาร์บอนสูงสุด 70.95% และสารระเหยต่ำสุด 22.39% โดยมีค่าความร้อนสูงสุด 28.55 MJ/kg ลักษณะถ่านชีวภาพมีสีดำสนิท มีความหนาแน่นเฉลี่ย 86.50 kg/m³ และมีความพรุนสูง สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร รวมถึงการผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งสำหรับใช้ทดแทนแก๊สหุงต้มในครัวเรือนได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และปัญหาภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) (ม.จ.1-64-003) (ม.จ.1-64-003.2) ที่สนับสนุนพื้นที่และเครื่องมือวิจัย ขอขอบคุณโครงการเพิ่มคุณภาพชีวมวลเหลือใช้ทางการเกษตร โดยกระบวนการเพิ่มความหนาแน่นและการอบอย่างสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และโครงการพัฒนาเชิงวิศวกรรมเตาผลิตถ่านไบโอชาร์สำหรับอุตสาหกรรมในครัวเรือน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุนแนวคิด บุคลากร และหลักการพัฒนางานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Homdoun, N., Sasujit, S., Uttharuan, J., Wongsiriamnuay, T., and Tippayawong, N. (2019). Influence of torrefaction temperature and time on the yields and properties of torrefied biomass. *Engineering and Applied Science Research*. 46(2), 170-175.
- [2] Wathakit, K., Sukjit, E., Kaewbuddee, C., Maithomklang, S., Klinkaew, N., Liplap, P., Arjharn, W., and Srisertpol, J. (2021). Characterization and Impact of Waste Plastic Oil in a Variable Compression Ratio Diesel Engine. *Energies*. 14(2230), 1-18.
- [3] ธเนศ ชัยชนะ. (2559). **เตาเผาถ่าน 200 ลิตร**. สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564, จาก <https://engineer.mju.ac.th>.
- [4] สมมาส แก้วล้วน, ภรณ์ ศรีธรรมรัตน์, สุรัชย์ ณรัฐ จันทร์ศรี, พิชัย อึ้งมุงคผล, และสินศุภา จุ้ยจุลเจิม. (2564). การผลิตถ่านและน้ำส้มควันไม้จากไม้ไผ่เลี้ยงด้วยเตาเผาถ่านชุมชนขนาด 200 ลิตร ที่ทำงานร่วมกับหัวเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์. *วารสารวิจัยราชภัฏเชียงใหม่*. 22(2), 229-245.
- [5] Homdoun, N., Uttaruan, J., Wongsiriamnuay, T., Sasujit, K., and Tippayawong, N. (2020). Characterization of torrefied biomass pellets from corncobs and rice husks for solid fuel production. *The CIGR e-journal*. 22(3), 118-128.
- [6] กนกวรรณ ศุภนันท์, และนิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล. (2562). การใช้กากมันสำปะหลังเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรเป็นตัวประสานในการอัดแท่งถ่านจากเปลือกตาลโตนด. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*. 6(5), 48-65.
- [7] นิกราน หอมดวง, พันธวัฒน์ ไชยวรรณ, ภูนิชต์ สายแก้ว, ประภัสสร รัตนไพบูลย์, กิตติกร สาสุจิตต์, เสริมสุข บัวเจริญ, นงเยาว์ เต๊ะใหม่, ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล และชูรัตน์ ธารารักษ์. (2564). การพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์ไพโรไลซิสสำหรับการใช้งานผลิตความร้อนและถ่านชีวภาพ. *วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน*. 4(1), 47-53.
- [8] ประภัสสร รัตนไพบูลย์, นิกราน หอมดวง, ณัฐวุฒิ ดุษฎี, ภคมน ปินตานา, และชูรัตน์ ธารารักษ์. (2563). การวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านชีวภาพจากแกรบและซังข้าวโพดเผือกปรับปรุงดิน. *วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน*. 3(3), 74-79.
- [9] Yan, C., Yu J., Zhao, Y., and Zheng, M. (Eds.). (2017). Biomass burning sources in China. In *Air Pollution in Eastern Asia: An Integrated Perspective* (pp. 135–166). Retrieved September 10, 2021 from https://www.researchgate.net/publication/319190114_Biomass_Burning_Sources_in_China

การศึกษาเชิงทดลองสมรรถนะเชิงความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์
ด้วยการติดตั้งครีบบนแผ่นดูดซับความร้อน

Experimental Investigation on Thermal Performance in a Solar Air Heater with
Ribbed Absorber Plate

พิทักษ์ พร้อมไธสง¹, ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์², เพชรพิสิฐ เอี่ยมสอาด³, นรินทร์ กุลนภาดล³, พงษ์เจต พรหมวงศ์⁴
และ สมพล สกกุลหลง^{5*}

Pitak Promthaisong¹, Panuwat Hoonpong², Petpices Eiamsa-ard³, Narin Koolnapadol³,
Pongjet Promvong⁴ and Sompol Skullong^{5*}

¹หน่วยวิจัยท่อความร้อนและออกแบบอุปกรณ์ทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

²สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ลพบุรี 15000

³สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ ฉะเชิงเทรา 24000

⁴สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

⁵กลุ่มวิจัยระบบพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี 20230

¹Heat Pipe and Thermal Tool Design Research Unit (HTDR), Faculty of Engineering,

Maharakham University, Maha Sarakham 44150

²Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University,

Lopburi 15000

³Faculty of Industrial Technology, Rajanagarindra Rajabhat University, Chachoengsao 24000

⁴Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology

Ladkrabang, Bangkok 10520

⁵Energy Systems Research Group, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at

Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi 20230

*Corresponding author: Tel: 084 195 5912. E-mail address: sfengsps@src.ku.ac.th, sompol@eng.src.ku.ac.th

Received: 22 June 2021, Revised: 25 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 April 2022

Abstract

This paper presents the experimental investigation of thermal enhancement factor in a solar air heater channel fitted with a rib turbulators on the absorber plate. Effect of the rib height was examined to evaluate the thermal enhancement factor in the Reynolds number from 4200 to 25,800. The ribs were mounted on the absorber plate with constant angle of attack, $\alpha = 45^\circ$ and constant pitch ratio $RP = 1.0$. Effect of $e/H = 0.1, 0.2, 0.3$ and 0.4 were investigated. The experimental results showed that the rib on

the absorber plate provided the heat transfer and friction factor over than the absorber plate with no rib. In the range studied, the thermal enhancement factor was found in range from 1.33 to 1.71. The $e/H = 0.1$ gave the maximum thermal enhancement factor at about 1.71 at $Re = 4200$.

Keywords: Solar air heater, Rib, Absorber plate, Thermal performance.

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองสมรรถนะเชิงความร้อนในท่ออุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบบนเพื่อสร้างการไหลแบบปั่นป่วน อิทธิพลของความสูงครีบบนได้รับการตรวจสอบเพื่อหาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนในช่วงเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 4200 ถึง 25,800 ครีบบนทำมุมเอียง 45° ตามทิศทางการไหลโดยมีสัดส่วนความสูงครีบบนต่อความสูงท่อ (e/H) จำนวน 4 ค่า คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 และมีสัดส่วนระยะพิชิตตามแนวการไหลต่อความสูงท่อ ($P/H=PR$) คงที่เท่ากับ 1.0 ผลการทดลองพบว่าการติดตั้งครีบบนมีค่าการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ เมื่อค่า e/H เพิ่มขึ้นพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานมีค่า ในช่วงที่ทำการศึกษาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง 1.33 - 1.71 โดยกรณี $e/H = 0.1$ ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดที่ 1.71 ที่ $Re = 4200$

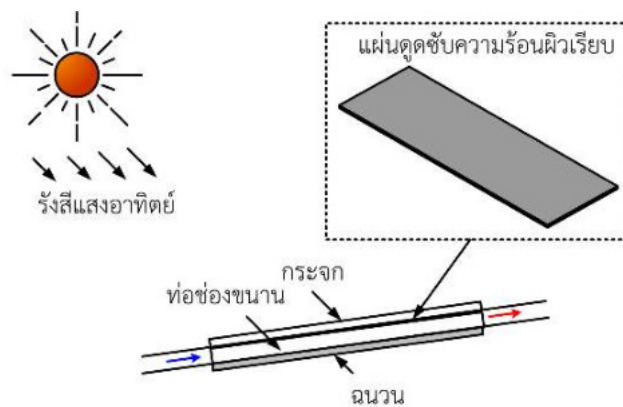
คำสำคัญ: เครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์, ครีบบน, แผ่นดูดซับ, สมรรถนะเชิงความร้อน

บทนำ

ปัจจุบันหลายประเทศมีการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานหมุนเวียนมากขึ้นเนื่องจากพลังงานฟอสซิลหรือน้ำมันกำลังจะหมดไป เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น เครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์ (solar air heater) เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่น่าสนใจในปัจจุบันเนื่องจากสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและมีอยู่อย่างไม่จำกัดบนโลกมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้ เช่น การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การบ่มผลไม้ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การถ่ายเทความร้อนรวมถึงสมรรถนะของเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีค่าค่อนข้างต่ำเนื่องจากแผ่นดูดซับความร้อน (absorber plate) ที่ใช้เป็นแบบผิวเรียบ ด้วยเหตุนี้การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนรวมถึงสมรรถนะเชิงความร้อนให้กับเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งที่นักวิจัยพยายามศึกษาโดยทั่วไปวิธีการการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนในช่องการไหลแบบต่างๆ ถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ active technique (ใช้พลังงานจากภายนอก) และ passive technique (ไม่ใช้พลังงานจากภายนอก) [1] ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนโดยใช้วิธีแบบ passive technique ทั้งนี้ได้มีนักวิจัยได้ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อน เช่น Kumar และคณะ [2] ทำการทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรมความร้อนและการไหลด้วยการติดตั้งครีบบนตัววินบนแผ่นดูดซับความร้อนภายในเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์ ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งครีบบนตัววินมีค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 6.74 เท่า เมื่อเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ Tamna และคณะ [3] ทำการทดลองร่วมกับการจำลองเชิงตัวเลขเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววินบนแผ่นดูดซับความร้อน จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งแผ่นกั้นบนแผ่นดูดซับความร้อนให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบถึง 622–753% และมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนอยู่ที่ 1.83 โดยผลการทดลองมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลการจำลองเชิงตัวเลข Skullong และคณะ [4] ทำการทดลองเพื่อเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนให้แก่เครื่องอุณหอากาศพลังแสงอาทิตย์โดยติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อนแบบร่องผสมปีกเจาะรู จากการทดลอง พบว่า ติดตั้งแผ่นดูดซับความร้อนแบบร่องผสมปีกเจาะรูมีค่าการถ่ายเทความร้อนและ

สัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าการใช้แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบและให้ค่าสมรรถนะสูงกว่าเช่นกัน Hoonpong และ Skullong [5] ทำการติดตั้งแผ่นกันรูปตัววีเพื่อเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนให้แก่เครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการทดลอง โดยพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น 2.32–4.3 เท่า เมื่อเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ Xiao และคณะ [6] ทำการจำลองเชิงตัวเลขถึงกลไกการไหลและการถ่ายเทความร้อนของเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งครีบลีเยียมคางหมูนบนแผ่นดูดซับความร้อน พบว่า แผ่นดูดซับความร้อนที่ติดตั้งครีบลีเยียมคางหมูนสามารถสร้างการไหลแบบปั่นป่วนส่งผลให้เกิดการผสมผสานที่ศีรษะว่าอุณหภูมิแผ่นดูดซับความร้อนและอากาศที่ไหลผ่าน Dong และคณะ [7] ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยการจำลองเชิงตัวเลขโดยใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบลีเยียมคางหมูน พบว่าการใช้ครีบลีเยียมคางหมูน 60° ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด Promvong และ Skullong [8] ศึกษาเชิงทดลองเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบลีเยียมคางหมูน จากการทดลองพบว่า การใช้ครีบลีเยียมคางหมูนให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการใช้ร่องเพียงอย่างเดียว ต่อมา Promvong และ Skullong [9] ได้พัฒนาแผ่นดูดซับความร้อนแบบแผ่นกันตัววีผสมร่อง พบว่า แผ่นดูดซับความร้อนดังกล่าวให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบประมาณ 6 เท่า ขณะที่ตัวประกอบสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานมีค่าประมาณ 52 เท่า

จากการวิจัยที่ผ่านมาทั้งการจำลองเชิงตัวเลขและการทดลองพบว่า การใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบลีเยียมคางหมูนสามารถเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบหรือแบบดั้งเดิมที่ใช้ในปัจจุบันดังแสดงในภาพที่ 1 เนื่องจากครีบลีเยียมคางหมูนจะทำหน้าที่รับกวนการไหลของอากาศทำให้เกิดการไหลปั่นป่วนภายในท่อส่งผลให้เกิดการขัดขวางการพัฒนาชั้นขอบเขตความร้อน (thermal boundary layer) บนแผ่นดูดซับความร้อนและเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ศีรษะว่าอุณหภูมิของไหลและแผ่นดูดซับความร้อน อย่างไรก็ตามงานวิจัยเชิงทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลของความสูงครีบลีเยียมคางหมูนต่อการถ่ายเทความร้อนรวมถึงสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มีจำนวนน้อย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบลีเยียมคางหมูนที่มีการตัดปลายวีเพื่อลดค่าสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทาน และทำการปรับอัตราส่วนความสูงครีบลีเยียมคางหมูนต่อความสูงท่อ (e/H) ต่างๆ ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน [10] ที่มีค่าเลขเรย์โนลด์ส์อยู่ระหว่าง 4,200 ถึง 25,800



ภาพที่ 1 เครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ

ทฤษฎีที่ใช้และการคำนวณ

การหาค่าอัตราการไหล การถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานเนื่องจากการไหล และสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์คำนวณได้ดังนี้
การไหลของอากาศแสดงในเทอมของเลขเรย์โนลด์ซึ่งขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) หาได้จาก

$$Re = \rho V D_h / \mu \quad (1)$$

โดย $D_h = 4A/P$

สมดุลความร้อนระหว่างการพาความร้อน (Q_{conv}) และความร้อนที่อากาศได้รับ (Q_{air}) แสดงดังนี้

$$Q_{air} = Q_{conv} \quad (2)$$

และสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h) หาได้จาก

$$h = m \dot{C}_p (T_o - T_i) / A (\tilde{T}_s - T_b) \quad (3)$$

เมื่อ $T_b = (T_o + T_i) / 2$ และ $\tilde{T}_s = \sum T_s / 12$

เลขนัสเซลท์เฉลี่ย (Nu) หาได้จาก

$$Nu = h D_h / k \quad (4)$$

สัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทาน (f) หาได้จาก

$$f = \frac{2}{(L/D_h)} \frac{\Delta P}{\rho U^2} \quad (5)$$

เมื่อ

A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนของแผ่นดูดซับความร้อน

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ

L คือ ความยาวแผ่นดูดซับความร้อน

$m \dot{C}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

P คือ ความยาวเส้นรอบรูปท่ออุ่นอากาศพลังแสงอาทิตย์

T_i คือ อุณหภูมิทางเข้า

T_o คือ อุณหภูมิทางออก

\tilde{T}_s คือ อุณหภูมิเฉลี่ยแผ่นดูดซับความร้อน

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ

μ คือ ความหนืดของอากาศ

สมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal enhancement factor, TEF) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีป (h) กับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ (h_0) ซึ่งคิดที่กำลังขับเดียวกัน จากเอกสารอ้างอิง [8, 9] โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$TEF = \frac{h}{h_0} \bigg|_{pp} = \frac{Nu}{Nu_0} \bigg|_{pp} = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (6)$$

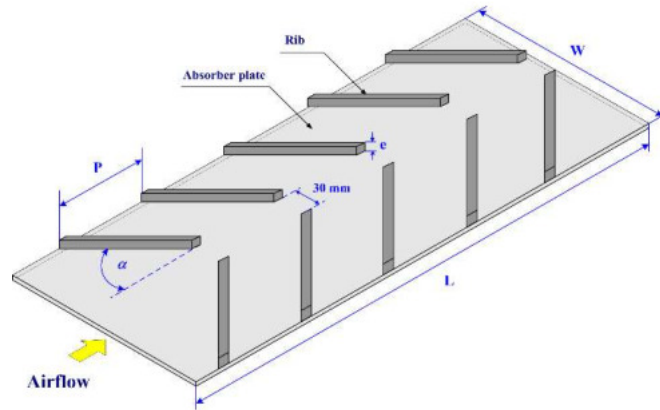
วิธีการวิจัย

อุปกรณ์การปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อน

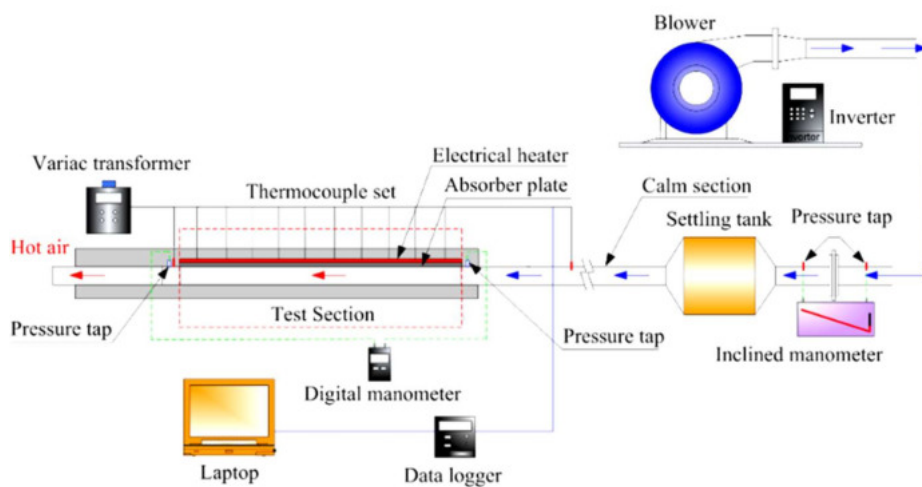
ท่ออุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์มีความยาวรวม 2000 มิลลิเมตร ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1. ส่วนทางเข้า ก่อนถึงส่วนทดสอบ 1500 มิลลิเมตร เพื่อให้ของไหลมีลักษณะพัฒนาเต็มที่ (Fully developed flow) ก่อนเข้าส่วนทดสอบ [10] 2. ส่วนทดสอบ (L) 420 มิลลิเมตร และ 3. ส่วนทางออก 80 มิลลิเมตร แผ่นดูดซับความร้อนทำจากแผ่นอะลูมิเนียมรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความกว้าง (W) 300 มิลลิเมตร สูง (H) 30 ยาว (L) 420 มิลลิเมตร แผ่นดูดซับความร้อนแบบครีปรูปตัววีปลายตัดทำมุมปะทะ $\alpha = 45^\circ$ กับทิศทางการไหลของอากาศเพื่อสร้างการไหลปั่นป่วนตามแนวกระแสการไหล โดยมีระยะพิตซ์ตามแนวการไหล $P=30$ มิลลิเมตร หรือเท่ากับความสูงท่อ โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนความสูงครีปต่อความสูงท่อ (e/H) 4 ค่า คือ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 ดังแสดงในภาพที่ 2 ในการทดลอง แผ่นฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2000 วัตต์ ทำหน้าที่ส่งความร้อนให้แผ่นดูดซับความร้อนในลักษณะฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Constant heat flux) ซึ่งจำลองเป็นพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยมีการหุ้มฉนวนท่อบนอย่างดีเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียออกสู่บรรยากาศ การทดลอง จะทำการเปรียบเทียบกับแผ่นดูดซับความร้อนแบบดั้งเดิมผิวเรียบ

อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

ชุดทดสอบเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แสดงในภาพที่ 3 โดยมีอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นตัวควบคุมความเร็วของพัดลมซึ่งเป็นแหล่งจ่ายอากาศ และไหลผ่านแผ่นออริฟิส (Orifice plate) ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลก่อนเข้าท่อทดสอบ มานอมิเตอร์ชนิดเอียง (Inclined manometer) เป็นอุปกรณ์วัดค่าผลต่างของความดันโดยการอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับน้ำ Settling tank ทำหน้าที่จัดระเบียบการไหลให้แก่อากาศ ส่วนทางเข้าหรือช่องปรับสภาพการไหล (Calm section) ทำหน้าที่ปรับสภาพการไหลของของไหลให้มีลักษณะพัฒนาเต็มที่ (Fully developed flow) ก่อนเข้าสู่ส่วนทดสอบ แผ่นดูดซับความร้อนมีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด T (T-type thermocouple) ไว้ที่ผิวจำนวน 12 จุด เพื่อวัดอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อน และอีก 2 จุดถูกติดตั้งไว้ที่ทางเข้าและทางออกของท่อทดสอบ (Test section) เพื่อวัดอุณหภูมิที่ทางเข้าและทางออกท่อทดสอบ อุณหภูมิทั้งหมดจะส่งสัญญาณไปยัง Data acquisition system รุ่น FLUKE 2680A และประมวลผลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ความดันตกคร่อมส่วนทดสอบจะใช้มานอมิเตอร์แบบดิจิตอลและมานอมิเตอร์ชนิดเอียงวันค่าและเปรียบเทียบกันเพื่อความแม่นยำ โดยค่าความคลาดเคลื่อนรวมทั้งความแม่นยำของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองแสดงรายละเอียดตามเอกสารอ้างอิง [8,9]



ภาพที่ 2 แผ่นดูดซับความร้อน (Absorber plate)



ภาพที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การเปรียบเทียบแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ

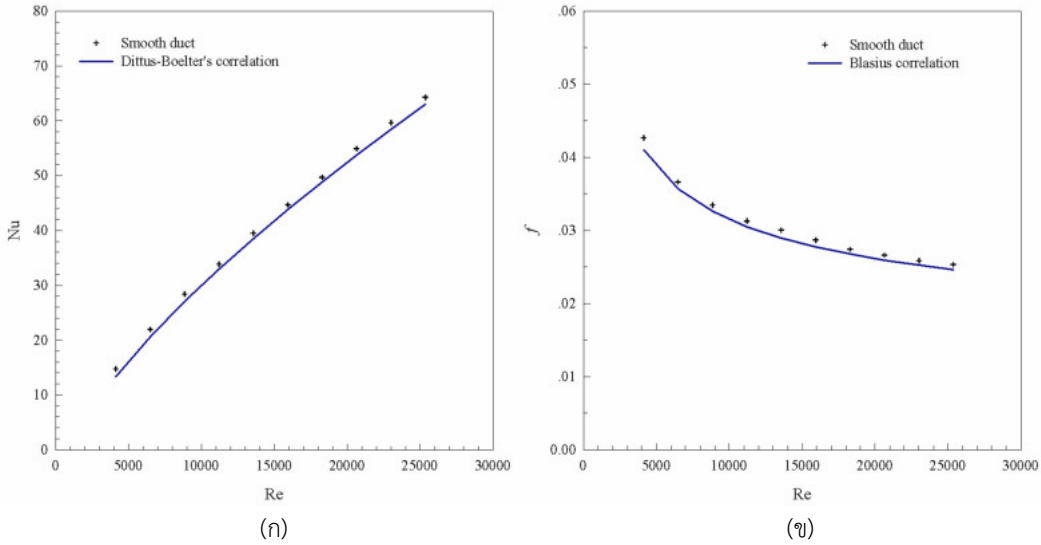
ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนและสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานการไหลของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบได้มีการเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ในอดีตของ Dittus-Boelter ซึ่งแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nusselt number, Nu) และ Blasius ซึ่งแสดงในเทอมของสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทาน (friction factor, f) จากเอกสารอ้างอิง [11] เพื่อความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลการทดลอง โดยสหสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (7)$$

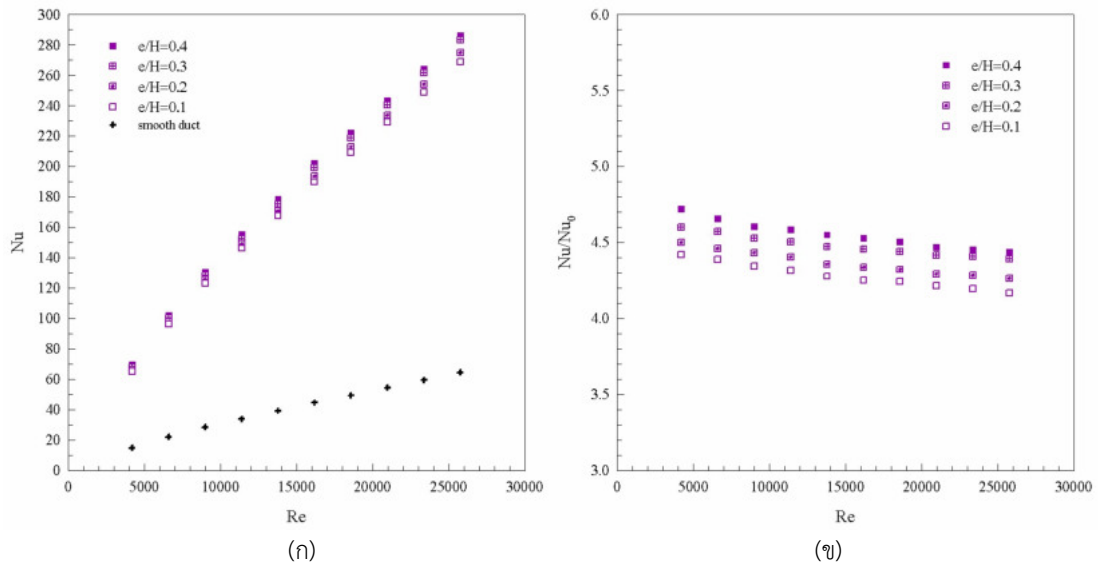
สหสัมพันธ์ของ Blasius

$$f = 0.316 Re^{-0.25} \quad (8)$$

การเปรียบเทียบค่า Nu และ f ระหว่างผลการทดลองกับสหสัมพันธ์จากสมการที่ (7) และ (8) แสดงดังภาพที่ 4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยพบว่า ค่า Nu จากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 5.2% เมื่อเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter ขณะที่ f จากการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 6.5% เมื่อเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Blasius



ภาพที่ 4 กราฟเปรียบเทียบระหว่างแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบกับสหสัมพันธ์ (ก) Nu และ (ข) f



ภาพที่ 5 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง (ก) Nu กับ Re และ (ข) Nu/Nu_0 กับ Re

ค่าเลขนัสเซลท์

ภาพที่ 5 (ก) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า Nu กับ Re กรณีแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัด ผลการทดลองพบว่า Nu มีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่า Re แผ่นดูดซับความร้อนกรณี $e/H=0.4$ มีค่า Nu สูงสุดตามด้วย $e/H=0.3, 0.2, 0.1$ และแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบตามลำดับ เนื่องจากแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดที่มีความสูงมาก ($e/H=0.4$) จะมีระดับการไหลปั่นป่วนมากกว่าครึ่งรูปตัววีปลายตัดที่มีความสูงน้อย ส่งผลช่วยในการขัดขวางการพัฒนาระดับชั้นขอบเขตความร้อน (thermal boundary layer) บนแผ่นดูดซับความร้อนได้ดีและเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอุณหภูมิผิวแผ่นดูดซับความร้อนและของไหลที่ดีกว่ากรณีครึ่งที่มีความสูงต่ำ สำหรับการปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดมีค่า Nu สูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบถึง 320–370%

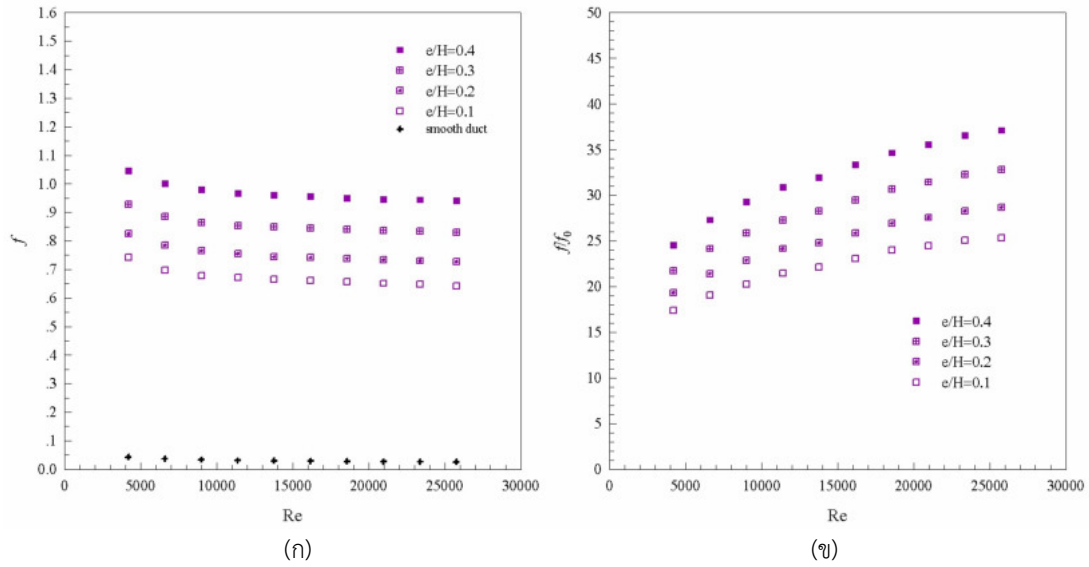
ภาพที่ 5 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กรณีแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดต่อเลขนัสเซลท์ของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ (Nu/Nu_0) กับ Re ผลการทดลองพบว่าแนวโน้มของค่า Nu/Nu_0 ลดลงเล็กน้อยเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น โดยค่า Nu/Nu_0 กรณี $e/H=0.4, 0.3, 0.2$ และ 0.1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55, 4.48, 4.37 และ 4.28 เท่า ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ค่าความสูงครึ่งต่างๆ พบว่ากรณี $e/H=0.4$ มีค่า Nu/Nu_0 เฉลี่ยสูงกว่ากรณี $e/H=0.3, 0.2$ และ 0.1 ถึง 2.6%, 4.2% และ 6.3% ตามลำดับ

สัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทาน

ผลการทดลองค่าสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานเนื่องจากการไหลของอากาศผ่านแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดแสดงในเทอมของสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทาน (f) และอัตราส่วนสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ตามภาพที่ 6 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

ภาพที่ 6 (ก) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า f กับ Re ผลการทดลองพบว่า แผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดมีค่า f เพิ่มสูงขึ้นกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบในทุกกรณี เนื่องจากการใช้ครึ่งจะเพิ่มระดับความปั่นป่วนให้กับของไหลภายในท่ออุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ส่งผลให้เกิด ความเสียดทานสูงขึ้นตาม โดย f กรณีปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดมีค่าสูงกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ 17.4–37.1 เท่า

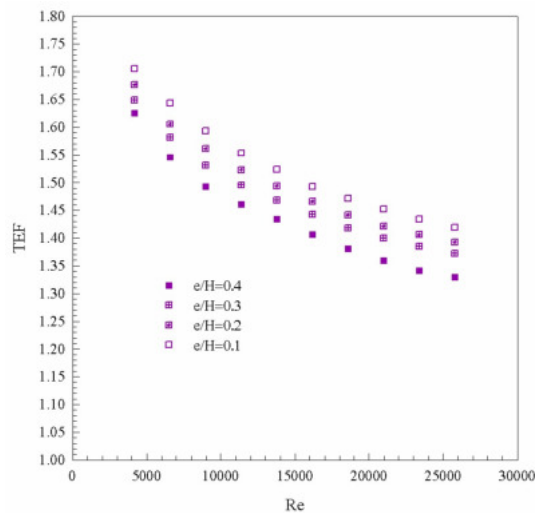
ภาพที่ 6 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานกรณีแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดต่อสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานของแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบ (f/f_0) กับ Re ผลการทดลองพบว่ากรณี $e/H=0.4$ มีค่า f สูงสุดตามด้วย $e/H=0.3, 0.2$ และ 0.1 ตามลำดับ เมื่อค่า Re เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า f/f_0 เพิ่มขึ้นตาม โดย f/f_0 มีค่าเฉลี่ย 32.11, 28.4, 25.0 และ 22.2 เท่า สำหรับแผ่นดูดซับความร้อนแบบครึ่งรูปตัววีปลายตัดที่ $e/H=0.4, 0.3, 0.2$ และ 0.1 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ค่าความสูงครึ่งต่างๆ พบว่ากรณี $e/H=0.4$ มีค่า f/f_0 เฉลี่ยสูงกว่ากรณี $e/H=0.3, 0.2$ และ 0.1 ถึง 13.1%, 28.4% และ 44.3% ตามลำดับ



ภาพที่ 6 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง f กับ Re

สมรรถนะเชิงความร้อน

ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal Enhancement Factor, TEF) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะของเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์จากสมการที่ (6) กับ Re จากการทดลองพบว่าค่า TEF มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น โดยแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบริบรูปตัววีปลายตัดที่ $e/H=0.1$ มีค่า TEF สูงสุดตามด้วย $e/H=0.2, 0.3$ และ 0.4 ตามลำดับ โดย TEF สูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.71, 1.68, 1.65 และ 1.63 สำหรับ $e/H=0.1, 0.2, 0.3$ และ 0.4 ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบริบรูปตัววีปลายตัดที่ $e/H=0.1$ มีค่า f น้อยกว่า $e/H=0.2, 0.3$ และ 0.4 เป็นอย่างมาก ส่งผลให้กรณี $e/H=0.1$ มีค่า TEF สูงสุดในกรณีทดสอบ โดยมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากรณี $e/H=0.2, 0.3$ และ 0.4 ถึง 2.1%, 3.7% และ 6.4% ตามลำดับ



ภาพที่ 7 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง TEF กับ Re

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาดูอิทธิพลความสูงครีบบนของแผ่นดูดซับความร้อนต่อการถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานเนื่องจากการไหล และสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงการไหลปั่นป่วนที่ค่า $Re = 4200-25,800$ พบว่า การปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบบนรูปตัววีปลายตัดช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแผ่นดูดซับความร้อนผิวเรียบได้ 320-370% โดยกรณีครีบบนที่ $e/H=0.4$ ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดและให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานสูงสุดเช่นกัน อย่างไรก็ตามค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) สูงสุดในกรณีทดสอบพบว่าการปรับปรุงแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบบนรูปตัววีปลายตัดกรณี $e/H=0.1$ โดยมีค่าเท่ากับ 1.71 และมีค่าสูงกว่ากรณี $e/H=0.2, 0.3$ และ 0.4 ถึง 2.1%, 3.7% และ 6.4% ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นดูดซับความร้อนแบบครีบบนรูปตัววีปลายตัดที่ $e/H=0.1$ มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความสูงครีบบนค่าอื่นๆ ในกรณีทดสอบ และที่ค่าความสูงนี้ ($e/H=0.1$) สามารถช่วยในด้านการประหยัดต้นทุนสำหรับการจัดสร้างอุปกรณ์เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากมีสมรรถนะเชิงความร้อนสูงและสัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานต่ำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด. (2564). การเพิ่มการถ่ายเทความร้อน: พื้นฐานและการประยุกต์ทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด มิน เซอร์วิส ซัพพลาย.
- [2] Kumar, A., Saini, R.P. and Saini, J.S. (2013). Development of correlations for Nusselt number and friction factor for solar air heater with roughened duct having multi v-shaped with gap rib as artificial roughness. **Renewable Energy**. 58, 151-163.
- [3] Tamna, S., Skullong, S., Thianpong, C. and Promvongse, P. (2014). Heat transfer behaviors in a solar air heater channel with multiple V-baffle vortex generators. **Solar Energy**. 110, 720-735.
- [4] Skullong, S., Promvongse, P., Thianpong, C. and Pimsarn, M. (2016). Thermal performance in solar air heater channel with combined wavy-groove and perforated-delta wing vortex generators. **Applied Thermal Engineering**. 100, 611-620.
- [5] Hoonpong, P. and Skullong, S. (2018). Performance improvement of solar air heater with v-baffles on absorber plate. **Journal of Research and Applications in Mechanical Engineering**. 6, 29-39.
- [6] Xiao, H., Dong, Z., Liu, Z. and Liu, W. (2020). Heat transfer performance and flow characteristics of solar air heaters with inclined trapezoidal vortex generators. **Applied Thermal Engineering**. 179, 1-17, Article number: 115484.
- [7] Dong, Z., Liu, P., Xiao, H., Liu, Z. and Liu, W. (2021). A study on heat transfer enhancement for solar air heaters with ripple surface. **Renewable Energy**. 172, 477-487.
- [8] Promvongse, P. and Skullong, S. (2019). Heat transfer in solar receiver heat exchanger with combined punched-V-ribs and chamfer-V-grooves. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 143, 1-15, Article number: 118486.
- [9] Promvongse, P. and Skullong, S. (2021). Thermal characteristics in solar air duct with V-shaped flapped-baffles and chamfered-grooves. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 172, 1-15, Article number: 121220.
- [10] สมพล สุกุลหลง. (2561). อุณหพลศาสตร์และกลศาสตร์ของไหลเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [11] Incropera, F. and Dewitt P.D. (2006). **Introduction to Heat Transfer**. 5th edition. John Wiley & Sons Inc.

ปฏิกิริยาการควบแน่นของน้ำจากอากาศด้วยการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนร่วมกับตู้แช่เย็น
Water Condensation Reaction from Atmospheric Air Using Heat Exchanger
with a Refrigerator

นิกราน หอมดวง^{1*} เจนจิรา อุตเรือน¹ กิตติกร สาสุจิตต์¹ ชูรัตน์ ธารารักษ์¹ นงเยาว์ เต๊ะจ๊ะใหม่¹ แสนวสันต์ ยอดคำ² และ
ประนอม ยิ่งคำมัน³

Nigran Homdoun^{1*} Jenjira Uttaruean¹ Kittikorn Sasujit¹ Churat Thararux¹ Nongyao Tejamai¹
Sanwasan Yodkhum² and ³Pranom Yangkhamman³

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

²สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

³สาขาวิชาพืชสวน คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

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

²Agricultural Engineering, Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, Chiang Mai 50290

³Plant Science, Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Chiang Mai 50290

*Corresponding author: Tel: 084 177 3632. E-mail: nigranghd@gmail.com

Received: 30 June 2021, Revised: 16 September 2021, Accepted: 30 September 2021, Published online: 30 April 2022

Abstract

Water is an important resource for human life in terms of consumption, cultivation and industry. Conserving water and search new water sources to respond usability, that was challenge for the researchers. Therefore, this research aims to study and test the production of water from atmospheric air by using two heat exchangers connected in series with compared to the air condensation test on the freezer door and use a clear acrylic sheet to replace the thick glass freezer door. Temperature control system was used refrigerator during testing and uses a 150W blower fan to feed air into the system in a range of 12-17 m³/h. The testing time of 24 h continuously, analysis results was of the morning, afternoon, evening and Late night. The result was found that, the air water generator can produce water well and highest efficiency of water production from air was of 54% that was happened in evening time. High air humidity was resulted in higher condensation of water from air. In evening and late night was obtained highest air humidity and lowest temperature and that was achieved of 75-84% and 24-28°C respectively. The maximum rate of water production from air in heat exchanger was obtained 31.17 g_w/h while the water production rate from condensation on clear acrylic sheet was calculated of 78.67 g_w/h at evening time. The results of this research will serve as the basis for design air water generators in support agricultural sector.

Keywords: water extraction from atmospheric air, condensation reaction, heat exchanger, refrigerator

บทคัดย่อ

น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในด้านการบริโภค การเพาะปลูกและอุตสาหกรรม การอนุรักษ์น้ำและการแสวงหาแหล่งน้ำใหม่เพื่อตอบสนองการใช้งานเป็นโจทย์ที่ท้าทายต่อนักวิจัย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดสอบการผลิตน้ำจากอากาศโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่ออนุกรมร่วมกัน 2 ชุด เทียบกับการทดสอบการควบแน่นของอากาศบริเวณฝาดู้อุ่นที่ใช้น้ำมันอะคริลิกใส่ทดแทนฝาดู้อุ่นแบบกระจกหนา และใช้ตู้แช่เป็นอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิระหว่างการทดสอบ การป้อนอากาศเข้าระบบใช้พัดลมโบเวอร์ขนาด 150W สามารถป้อนอากาศเฉลี่ยในช่วง 12-17 m³/h ระยะเวลาทดสอบ 24 h ต่อเนื่อง แบ่งช่วงเวลาการวิเคราะห์เป็นช่วงหัวค่ำ ช่วงดึก ช่วงเช้าและช่วงบ่าย ผลการทดลองพบว่า เครื่องผลิตน้ำจากอากาศสามารถผลิตน้ำได้ดี มีประสิทธิภาพการผลิตน้ำจากอากาศสูงสุด 54% ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาหัวค่ำ ปริมาณความชื้นในอากาศสูงมีผลให้การควบแน่นน้ำจากอากาศได้สูงขึ้น ที่ช่วงเวลาหัวค่ำและช่วงดึกเป็นช่วงที่อากาศมีความชื้นสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด มีค่าอยู่ในช่วง 75-84% และ 24-28 °C ตามลำดับ อัตราการผลิตน้ำจากอากาศที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสูงสุด 31.17 g_w/h ในขณะที่อัตราการผลิตน้ำจากการควบแน่นบนแผ่นพลาสติกใสหน้าตู้แช่คิดเป็น 78.67 g_w/h ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันคือช่วงหัวค่ำ ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบเครื่องผลิตน้ำจากอากาศสำหรับสนับสนุนภาคเกษตรกรรม

คำสำคัญ: สก๊ตน้ำจากอากาศ ปฏิกริยาการควบแน่น หม้อน้ำรถยนต์ ตู้แช่เย็น

บทนำ

น้ำเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับมนุษย์สำหรับการใช้เพื่อการบริโภค อุปโภคและการเพาะปลูก เป็นต้น การอนุรักษ์น้ำและการใช้น้ำอย่างประหยัดจึงมีความสำคัญและเป็นสิ่งจำเป็นที่ทุกคนต้องตระหนักร่วมกัน ปัจจุบันแหล่งน้ำบนโลกแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือแหล่งน้ำบนดินและแหล่งน้ำใต้ดิน แหล่งน้ำบนดินบางครั้งเรียกว่าแหล่งน้ำผิวดิน โดยแยกเป็น 2 ประเภท คือแหล่งน้ำจืดและน้ำเค็ม โดยปริมาณน้ำจืดมีสัดส่วนเพียง 2.5% ของทรัพยากรน้ำทั้งหมดของโลก ในขณะที่น้ำทะเลมีสัดส่วนทั้งหมด 97.5% [1] อย่างไรก็ตามสำหรับภาคเกษตร ด้านการเพาะปลูกในปัจจุบันกำลังได้รับผลกระทบอย่างหนักจากการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูการเพาะปลูก ผลกระทบจากภัยแล้งที่เกิดขึ้นส่งผลให้ผลผลิตการเกษตรลดลงเกษตรกรขาดรายได้และส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศในภาพรวม การอนุรักษ์น้ำ การพัฒนาแหล่งน้ำ ตลอดจนการค้นหาแหล่งน้ำใหม่ๆ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับภาคเกษตรกรรม ที่ผ่านมามีการพัฒนาแหล่งน้ำส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปหาแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นหลัก ซึ่งปริมาณน้ำที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่กักเก็บได้เป็นหลัก ในขณะที่การนำเอาน้ำใต้ดินมาใช้ก็ส่งผลกระทบต่อการทรุดตัวของพื้นดินและนำไปสู่ความเสียหายที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานตามมา [2] ซึ่งในระยะยาวถ้ามีการใช้น้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคตอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จากข้อจำกัดที่กล่าวอ้าง งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นแสวงหาแหล่งน้ำใหม่จากอากาศเพื่อนำมาใช้สำหรับการนำมาใช้บริโภค อุปโภครวมถึงการเพาะปลูก โดยใช้หลักการนำอากาศที่มีความชื้นและอุณหภูมิสูงมาควบแน่นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้เกิดหยดน้ำ โดยมีการทดลองประยุกต์ใช้ตู้แช่เย็นเป็นเครื่องมือในการลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ และใช้ประยุกต์ใช้หม้อน้ำรถยนต์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อการควบแน่นอากาศกลายเป็นน้ำ ผลการทดสอบที่ได้จะเป็นต้นแบบและเป็นข้อมูลการนำไปสู่การออกแบบเครื่องผลิตน้ำจากอากาศสำหรับการใช้งานในภาคเกษตรต่อไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการประเมินสมรรถนะของเครื่องผลิตน้ำจากอากาศด้วยชุดทดสอบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนร่วมกับตู้แช่เย็น ภายใต้สภาวะการทำงานจริงในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้กลุ่มเกษตรกรปลูกข้าวชุมชนตำบลขุนคอง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่

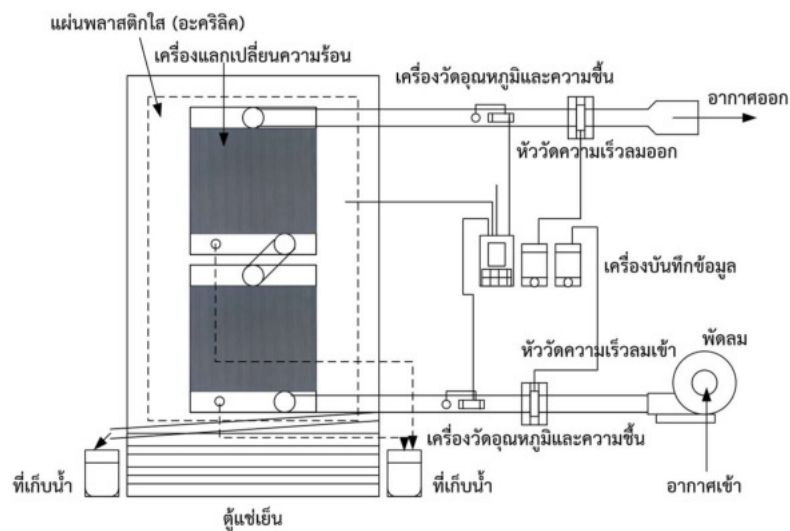
วิธีการวิจัย

เครื่องผลิตน้ำจากอากาศ

ชุดทดสอบการผลิตน้ำจากอากาศเป็นการประยุกต์ใช้ตู้แช่เย็นเป็นแหล่งลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ป้อนเข้าระบบ ภายในตู้แช่ติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจำนวน 2 ชุด และต่อท่อการไหลอากาศเป็นแบบอนุกรม แต่ละชุดมีการต่อท่อเพื่อดึงน้ำออกมาจากภายนอกตู้ ดังรูปที่ 1. ประตูดตู้แช่เย็นถูกนำออกและติดตั้งแผ่นพลาสติกใส ชนิดอะคริลิก ความหนา 5 mm กว้าง 0.6m และยาว 1.2m การป้อนอากาศเข้าระบบจะป้อนให้กับชุดแลกเปลี่ยนความร้อนด้านล่างและออกทางด้านบนชุดแลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นวัสดุอลูมิเนียมผสมพร้อมติดตั้งครีบริบายความร้อน ท่อป้อนอากาศทางเข้าและทางออกมีขนาด 25.4 mm ตู้แช่เย็นมีขนาด 248L ขนาด 220V 2.16A 50Hz (475W) พัดลมที่ใช้ป้อนอากาศมีขนาด 150W ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 25.4 mm สร้างอัตราการไหลอากาศได้ในช่วง 12-17 m³/h

เครื่องมือวัดและวิธีการทดลอง

เครื่องมือวัดได้ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิทั้งหมด 4 จุด ประกอบด้วยจุดวัดอุณหภูมิอากาศเข้าและออก อุณหภูมิภายในตู้แช่เย็นและอุณหภูมิแวดล้อม การวัดความชื้นได้ติดตั้งเครื่องความชื้นอากาศขาเข้า ขาออกและอากาศแวดล้อม การวัดอัตราการไหลอากาศใช้เครื่องวัดอากาศแบบใบพัดวัดความเร็วลมป้อนเข้าและบริเวณทางออก เครื่องวัดอุณหภูมิความชื้นมีช่วงการวัด -50 -70°C และ 10-99% ความแม่นยำในการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และ $\pm 5\%$ ความละเอียดในการแสดงผลหน้าจอ 0.1°C และ 1% ตามลำดับ เครื่องวัดความเร็วลมเป็นแบบใบพัดแยกมีช่วงการวัดความเร็วลม 0-45m/s และความแม่นยำในการวัด $\pm 3\%$ เครื่องวัดปริมาณน้ำจากการควบแน่นใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัล ขนาด 30 kg ความละเอียดในการ 10 kg



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมการทดสอบผลิตน้ำจากอากาศ

สถานที่ทดสอบได้ทำการทดสอบที่ศูนย์เรียนรู้กลุ่มเกษตรกรตำบลขุนคองซึ่งตั้งอยู่ที่ หมู่ที่ 3 ตำบลขุนคอง อำเภอดงจังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 3-5 กันยายน พ.ศ. 2564 อุณหภูมิและความชื้นอากาศที่ทดสอบวัดได้อยู่ในช่วง 24-34 °C และ 47-86% ตามลำดับ ความดันบรรยากาศสถานที่ทดสอบ 100.91 kPa การเก็บบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น และอัตราการไหลอากาศ ดำเนินการเก็บทุก ๆ 30 min มีการเก็บปริมาณน้ำทุก ๆ 3 h เก็บข้อมูลรวมทั้งหมด 2 วัน และมีการนำเสนอข้อมูลทั้งหมด 4 ช่วง คือ ช่วงหัวค่ำ (18.01-24.00 น.) ช่วงดึก (00.01-06.00 น.) ช่วงเช้า (06.01-12.00 น.)

และช่วงบ่าย (12.01-18.00 น.) การเก็บข้อมูลอัตราการผลิตน้ำทำการเก็บจำนวน 2 แหล่ง คือ น้ำจากการควบแน่นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและน้ำจากการควบแน่นบริเวณด้านหน้าตู้แช่เย็น การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตน้ำหาได้จากปริมาณน้ำที่ผลิตได้จริงเทียบกับปริมาณน้ำที่ได้จากผลการคำนวณกับแผนภูมิไซโครเมตริก ซึ่งสมการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตน้ำจากอากาศมีดังต่อไปนี้

$$\eta_W = \frac{W_{Con}}{W_{Psy}} \times 100 \quad (1)$$

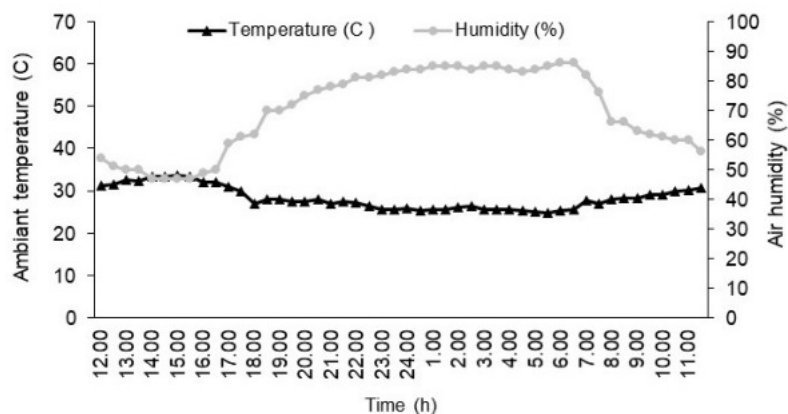
$$W_{Psy} = 1000(w_{in} - w_{out})m_{air} \quad (2)$$

เมื่อ W_{Con} คือ อัตราการผลิตน้ำจากการควบแน่นที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (g_w/h) และ W_{Psy} อัตราการผลิตน้ำที่ได้จากผลการคำนวณจากแผนภูมิไซโครเมตริก (g_w/h) w_{in} และ w_{out} คือ อัตราส่วนความชื้นสัมพัทธ์อากาศทางเข้าและทางออกจากระบบผลิตน้ำ (kg_w/kg_{Air}) และ m_{air} คืออัตราการไหลของอากาศในระบบ (kg_{Air}/h)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์สภาพอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ

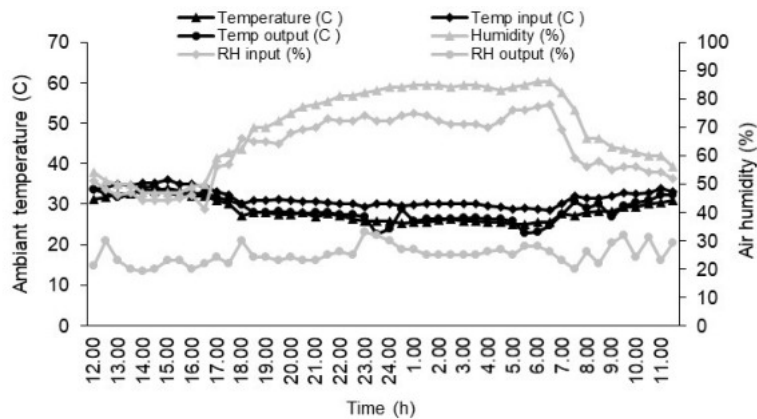
ภาพที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นในอากาศสิ่งแวดล้อมการทดลองในช่วงเวลา 24 h ในช่วงวันของเดือนกันยายน 2564 โดยแบ่งเวลาการวิเคราะห์ 4 ช่วง คือ ช่วงบ่าย ช่วงค่ำ ช่วงกลางคืน และช่วงเช้า ในด้านอุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อมพบว่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดเท่ากับ $33.8^\circ C$ และต่ำสุดเท่ากับ $24.9^\circ C$ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงบ่ายและช่วงเช้าของวัน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดทั้งวันประมาณไม่เกิน $9^\circ C$ ในด้านของความชื้นอากาศ ความชื้นจะเริ่มสูงขึ้นในช่วงค่ำของวันจนถึงช่วงเช้าของอีกวันซึ่งไม่เกินเวลา 07.30 น. ความชื้นช่วงนี้มีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.83-84.42% ในขณะที่ช่วงกลางวัน ช่วงบ่ายและหัวค่ำมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 51-68.67% ในสภาวะช่วงอุณหภูมิต่ำปริมาณความชื้นในอากาศจะสูง จากรูปภาพการเปลี่ยนแปลงจะเริ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงหัวค่ำจนถึงช่วงเช้าของอีกวัน ปริมาณความชื้นในอากาศสูงหมายความว่าในอากาศมีไอน้ำอยู่เป็นปริมาณมาก ดังนั้นถ้าต้องการดึงน้ำมาจากอากาศ ช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงที่ได้รับปริมาณน้ำสูงสุด [3] ปริมาณน้ำในอากาศที่สภาวะความชื้นสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ $0.0188 kg_w/kg_{dry air}$ และ $0.016 kg_w/kg_{dry air}$ ตามลำดับ



ภาพที่ 2 อุณหภูมิและความชื้นอากาศในช่วงวันการทดลอง

การเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นระหว่างกระบวนการควบแน่นอากาศ

ภาพที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นของอากาศที่ป้อนเข้าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งไว้ในตู้แช่ที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 7.45°C หรืออยู่ในช่วง $4.20\text{-}11.70^{\circ}\text{C}$ ในด้านอุณหภูมิจะพบว่าอุณหภูมิป้อนเข้าระบบจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิปกติเฉลี่ย 3.22°C เนื่องจากการป้อนอากาศจะใช้พัดลมและความร้อนจากชุดมอเตอร์บางส่วนถ่ายเทให้กับอากาศที่ป้อนเข้าทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิด้านออกจากระบบ อุณหภูมิจะลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิป้อนเข้าเฉลี่ย 2.77°C ความชื้นของอากาศที่ป้อนเข้าสูงกว่าความชื้นที่ออกจากระบบเนื่องจากปริมาณน้ำที่อยู่ในอากาศบางส่วนเกิดการควบแน่นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน การเย็นตัวของอากาศเป็นการสูญเสียพลังงานความร้อน ส่งผลให้อุณหภูมิในองค์ประกอบของไอน้ำหรือสสารในสถานะของก๊าซเคลื่อนที่ได้ช้าลง ทำให้เกิดแรงดึงดูดหรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูงขึ้นและเกิดเป็นหยดน้ำ [4] จากภาพที่ 3 ความชื้นในอากาศจะเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่เวลา 17.00 น. จนถึงเวลาช่วงเช้าประมาณ 07.00 น. ความชื้นอยู่ระหว่าง 56-78% หลังจากนั้นช่วงกลางวันจะมีความชื้นอยู่ในช่วง 41-56%



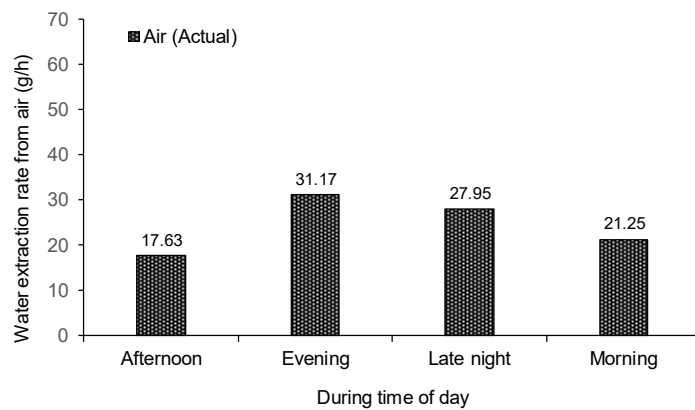
ภาพที่ 3 อุณหภูมิและความชื้นอากาศในสภาวะเข้า-ออกจากเครื่องควบแน่นเทียบกับสภาพแวดล้อม

การวิเคราะห์อัตราการผลิตน้ำจากอากาศ

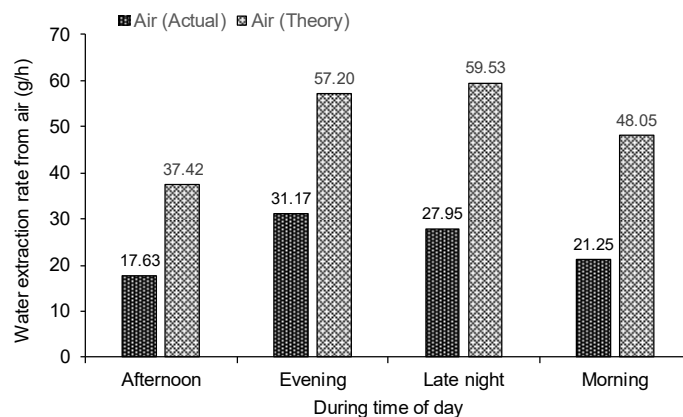
ภาพที่ 4 แสดงปริมาณน้ำที่ได้จากการสกัดน้ำจากอากาศช่วงระยะเวลา 24 ชั่วโมง และพบว่าอัตราการผลิตน้ำในช่วงหัวค่ำและช่วงดึกให้อัตราการผลิตน้ำจากอากาศสูงสุด $31.17\text{ g}_w/\text{h}$ และ $27.95\text{ g}_w/\text{h}$ ตามลำดับ ปริมาณความชื้นในอากาศเป็นตัวแปรหลักสำคัญของการเกิดน้ำ กล่าวคือ ถ้าปริมาณความชื้นป้อนเข้าสูงจะทำให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนผลิตน้ำได้สูง [5] สาเหตุที่ช่วงหัวค่ำ กลางคืนและช่วงเช้ามืดมีความชื้นสูงเนื่องจากช่วงเวลา หัวค่ำและกลางคืน อุณหภูมิอากาศจะต่ำทำให้รับไอน้ำในอากาศได้น้อย ในขณะที่กลางวันอุณหภูมิสูงทำให้รับไอน้ำได้มากขึ้น โดยทั่วไปอากาศสามารถรับปริมาณไอน้ำได้จำกัดที่อุณหภูมิและปริมาตรหนึ่งและเมื่ออุณหภูมิระบบลดต่ำลง ปริมาณไอน้ำที่รับได้สูงสุดก็จะมีค่าลดลง ดังนั้นในช่วงเช้าอุณหภูมิของอากาศต่ำปริมาณไอน้ำในอากาศมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศรับได้ อากาศจึงรับไอน้ำได้อีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งหมายความว่าอากาศจะมีความชื้นสูง ส่วนช่วงกลางวันมีปริมาณไอน้ำในอากาศต่ำเมื่อเทียบกับปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้หมายความว่าอากาศมีความชื้นต่ำ

การเปรียบเทียบอัตราการผลิตน้ำจากอากาศกับปริมาณน้ำจากแผนภูมิไซโครเมทริก

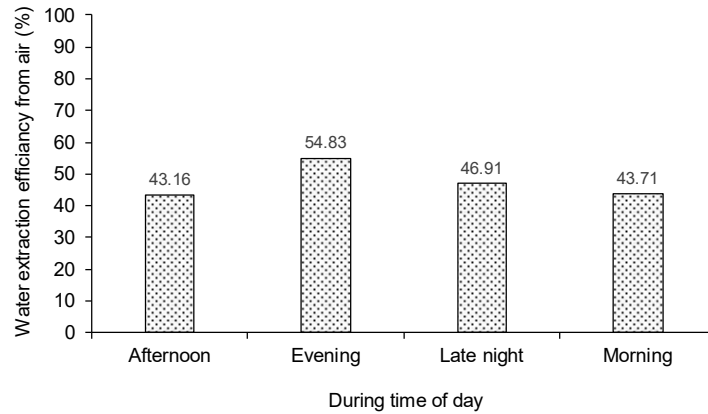
ภาพที่ 5 แสดงผลการเปรียบเทียบอัตราการผลิตน้ำจากอากาศที่ได้จากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเทียบกับปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากแผนภูมิไซโครเมทริก การเปรียบเทียบพบว่าอัตราการผลิตน้ำที่ได้จากการควบแน่นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้ปริมาณน้ำต่ำกว่าปริมาณน้ำที่ได้จากทฤษฎีแผนภูมิไซโครเมทริก ช่วงเวลาหัวค่ำและดึกสามารถคำนวณอัตราการผลิตน้ำได้อยู่ในช่วง 57.20-59.53 g_w/h ในขณะที่อัตราการผลิตน้ำจริงทดสอบและวัดได้สูงสุดอยู่ในช่วง 27.95-31.17 g_w/h การผลิตน้ำจากอากาศในช่วงเวลาหัวค่ำ ช่วงดึก ช่วงเช้าเป็นช่วงเวลาที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำได้สูงสุดตามลำดับ ในขณะที่ช่วงบ่ายให้อัตราการผลิตน้ำต่ำสุด โดยความปริมาณความชื้น อุณหภูมิและความดันเป็นตัวแปรหลักสำคัญในการเพิ่มขึ้นของการผลิตน้ำจากอากาศ [6] ภาพที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตน้ำในแต่ละช่วงเวลา ช่วงเวลาหัวค่ำให้ประสิทธิภาพสูงสุด 54.83% ถัดมาเป็นช่วงดึก 46.91% ช่วงเช้า 43.71% และช่วงบ่าย 43.16% ตามลำดับ



ภาพที่ 4 อัตราการผลิตน้ำจากอากาศด้วยการอนุกรมหม้อน้ำรถยนต์ภายในตู้แช่เย็น



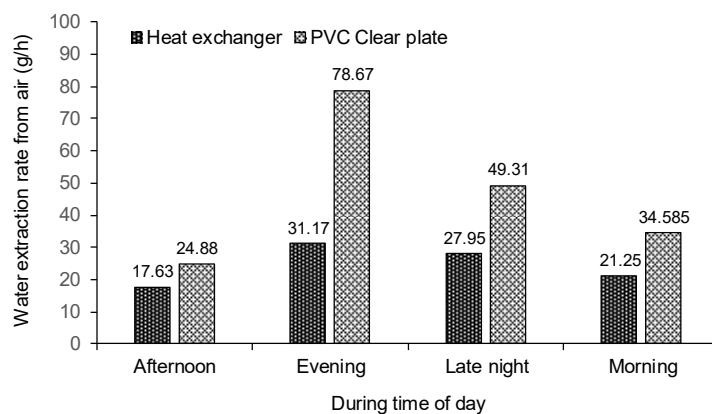
ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบการผลิตน้ำจากอากาศกับปริมาณน้ำจากแผนภูมิไซโครเมทริก



ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพการผลิตน้ำจากการอนุกรมหม้อน้ำรถยนต์ในตู้แช่เย็น

การผลิตน้ำจากจากหม้อน้ำรถยนต์เทียบกับการผลิตน้ำจากการควบแน่นแผ่นพลาสติกใส

ภาพที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบการสกัดน้ำที่ได้จากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเทียบกับการควบแน่นของน้ำที่ฝาของตู้แช่เย็นด้วยแผ่นพลาสติกใส การควบแน่นที่ฝาตู้แช่ อากาศจะสัมผัสกับผนังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างและเกิดเป็นฝ้าและขยายกลายเป็นหยดน้ำและไหลลงตามแรงโน้มถ่วงของโลกในที่สุด ผนังของตู้แช่มีพื้นที่รวม 0.572 m² ผลจากการเก็บมวลน้ำที่ระยะเวลาเดียวกันในแต่ละช่วงเวลาพบว่า การควบแน่นของน้ำบริเวณฝาตู้แช่เย็นให้อัตราการผลิตน้ำสูงกว่าการควบแน่นด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประมาณ 41-152% โดยช่วงหัวค่ำ ช่วงดึก ช่วงเช้าและช่วงบ่าย ให้อัตราการผลิตน้ำสูงตามลำดับ สาเหตุที่การควบแน่นของน้ำบริเวณฝาตู้แช่เย็นสูงกว่าส่วนหนึ่งน่าจะเกิดจากพื้นผิวสัมผัสของฝาตู้แช่เย็นมากกว่าประมาณ 2.27 เท่า ส่งผลให้เกิดการคายไอน้ำได้มากและทำให้เกิดการควบแน่นได้มากกว่า [7] ส่วนประเด็นที่สองส่วนหนึ่งน่าจะเกิดมาจากปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าไม่สามารถเข้าสัมผัสพื้นที่ได้อย่างทั่วถึง ด้วยลักษณะของท่อกระจายอากาศที่มีขนาดเล็ก ประกอบกับช่องทางเข้าอากาศจะติดตั้งอยู่ตรงกลาง เมื่อลมป้อนเข้าบางส่วนอาจไม่ทั่วถึงพื้นที่ตรงบริเวณด้านข้างของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งสองข้างหรือช่องอากาศแถวที่สองได้ [8] จึงเป็นสาเหตุให้ได้ปริมาณการควบแน่นที่ต่ำกว่า การผลิตน้ำจากอากาศสูงสุดเกิดขึ้นช่วงค่ำเท่ากับ 78.67 g/h ในขณะที่ช่วงบ่ายให้อัตราการผลิตต่ำสุด 24.88 g/h



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบการผลิตน้ำจากอากาศของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและการควบแน่นฝาเปิดตู้แช่

สรุปผลการวิจัย

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลสรุปได้ ดังนี้ อุณหภูมิและความชื้นอากาศระหว่างการทดสอบอยู่ในช่วง 24.9-33.8 °C และความชื้นอยู่ในช่วง 51-84.42% ช่วงเวลาหัวค่ำและช่วงดึกของวันให้ปริมาณความชื้นสูงสุดและอุณหภูมิอากาศต่ำสุด ในขณะที่กลางวันจะมีปริมาณความชื้นในอากาศอยู่ในช่วง 41-50% เท่านั้น ด้านอัตราการผลิตน้ำจากอากาศสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงเวลาหัวค่ำ โดยมีอัตราการผลิต 31.17 g/h ประสิทธิภาพการผลิตน้ำสูงสุดเท่ากับ 54.83% เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตน้ำกับแผนภูมิไซโครเมตริกและเกิดขึ้นในสภาวะความชื้นสูงสุดช่วงหัวค่ำ การเปรียบเทียบกับลักษณะการควบแน่น การควบแน่นของน้ำที่บริเวณฝาของตู้แช่เย็นให้อัตราการผลิตน้ำสูงกว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยให้อัตราการผลิตสูงสุด 78.67 g/h ซึ่งสูงกว่าประมาณ 1.52 เท่า เมื่อเทียบกับการใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.) ที่สนับสนุนทุนการวิจัย และวิทยาลัยพลังงานทดแทน ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อมและปัญหาภัยพิบัติหมอกควัน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่สนับสนุนเครื่องมือวิจัยและขอขอบคุณ องค์การบริหารส่วนตำบลขุนคองและศูนย์การเรียนรู้กลุ่มเกษตรกรปลูกข้าวชุมชนบ้านขุนคองที่สนับสนุนพื้นที่การทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gong, S., Wang, H., Zhu, Z., Bai, Q., Wang, C. (2019). Comprehensive utilization of seawater in China: A description of the present situation, restrictive factors and potential countermeasures. **Water**. 11(2): 397. <https://doi.org/10.3390/w11020397>.
- [2] Meldebekova, G., Yu, C., Li, Z., Song, C. (2020). Quantifying ground subsidence associated with aquifer overexploitation using space-borne radar interferometry in Kabul, Afghanistan. **Remote Sensing**. 12(15): 2461. <https://doi.org/10.3390/rs12152461>.
- [3] Srivastava, S., Yadav, A., (2019). Economic analysis of water production from atmospheric air using scheffler reflector. **Appl Water Sci**. 9:3. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0883-7>.
- [4] Wei, Z., Zhao, Y., P., (2007). **J. Phys. D: Appl. Phys.** 40(14), 4368-4375.
- [5] Valsson, S., Bharat, A., (2011) impact of air temperature on relative humidity-A study. **Environment. Architecture–Time Space and People**, Council of Architecture, New Delhi, India. 38-41.
- [6] Cattani, L., Magrini, A., Cattani, P. (2021). Water extraction from air: A proposal for a New Indicator to compare air water generators efficiency. **Energies**. 14(1): 224 <https://doi.org/10.3390/en14010224>.
- [7] Jarimi, H., Powell, R., Riffat, S. (2020). Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting, **International Journal of Low-Carbon Technologies**.15(2), 253–276.<https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz072>.
- [8] Akbari, M., M., Murata, A., Saito, H., Iwamoto H. (2018). Effect of number of tube rows on heat transfer enhancement and flow field with different vortex generator geometries in fin-and tube heat exchangers, **Thermal Science and Engineering**. 18(2), 71-82.

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