

วารสารวิชาการ พลังงาน ทดแทน สู่ชุมชน

ปีที่ 4 ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน-ธันวาคม 2564

J-REC

JOURNAL
OF RENEWABLE
ENERGY FOR
COMMUNITY

ISSN 2773-8639 (Online)



J-REC BY TRECA



วารสารวิชาการ
**พลังงานทดแทน
สู่ชุมชน**

J-REC

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY

วัตถุประสงค์

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



เจ้าของและลิขสิทธิ์ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
ที่ตั้งสมาคมฯ ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 ม.1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110
โทร. 0-2549-3497 www.reca.or.th/jrec

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

วัตถุประสงค์สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน แห่งประเทศไทย

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

หลักการและเหตุผล

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

จุดมุ่งหมายสำคัญ

การทำงานกันทั้งส่วนภาครัฐและประชาชนในการใช้พลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศไทย ตลอดจนการศึกษาวิจัย ดำเนินการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่างๆ มาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อความเหมาะสมและให้เกิดความยั่งยืนของชุมชนและประชาชนในประเทศไทย

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY

คณะกรรมการจัดทำวารสาร

วิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

หัวหน้ากองบรรณาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์
คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองบรรณาธิการ นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (ดร.อำพล อภาธนากร)
ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (ผศ.ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร)
กองบรรณาธิการ ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ
คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์
คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช
คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง
คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร แก้วอ่อน
คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยะวิริยะนันท์
คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี
คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์ มณีโชติ
วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร
คณบดีวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางสาววรรณิตา ทองพัด

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาววรรณิภา พงษ์ไทยสงค์

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ	คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง	คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์	คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ มณีโชติ	คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยั้ง ปลั่งกลาง	คณบดีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยะวิริยะนันท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงไกร แคมสิม่วง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภาวสุปรีย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนนมาลย์ เนียมกลาง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปราชญ์ อัครนรากุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ ประทุมพรรัตน์
ดร.วิเชียร อุปแก้ว
ดร.วินัย จันทร์เพ็ง
ดร.สถาพร ทองวิก
ดร.อำพล อาภาธนากร
ดร.ธนวรรณ วัชรดำรงศักดิ์

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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพิฑาริ ธนารักษ์

ดร.บงกช ประสิทธิ์

ดร.ยอดธง เม่นสิน

ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรพงศ์

ดร.หทัยทิพย์ สินธญา

ดร.ณัฐิยา ตันตรานนท์

ดร.สุรัชย์ ณัฐ จันทร์ศรี

ดร.ชยานนท์ สวัสดิ์ดินถนาท

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยภัทร บุชบาบดินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประกาศาร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สักรินทร์ แซ่กู่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระยศ แข็งขัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนโชติ เทียนมงคล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนิรัตน์ วงษ์ซิม
ดร.อมฤต สมพงษ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภูมิ ดุษฎี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง
รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณุช แจงสว่าง
ดร.นวงศ์ ชลคูป
ดร.กัมปนาท ซิลวา
ดร.สาคร สร้อยสังวาลย์

ดร.ชานนท์ บุญมีพิพิธ

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

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ผังเมือง และนฤมิตศิลป์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ

ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ

วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนโดยความร่วมมือของเครือข่ายสมาชิกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (TRECA) ซึ่งเป็นฉบับที่ 3 ของปีที่ 4 และนับเป็นปีแรกที่วารสารตีพิมพ์รูปแบบออนไลน์ ISSN 2773-8639 (Online) วารสารฉบับนี้เป็นเนื้อหาของบทความทางวิชาการที่มุ่งสร้างผลงานที่เด่นทางด้านวิจัย และมุ่งสู่การใช้งานจริง ซึ่งได้รวบรวมความรู้ทางวิชาการที่สามารถถ่ายทอดให้แก่สังคม ทางด้านพลังงานทดแทนในสาขาต่างๆ เพื่อให้วารสารนี้เป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนวิชาการ และแนวความคิดในแวดวงวิชาการทั้งผู้วิจัยและผู้ใช้งาน อันเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างผลงานทางวิชาการสู่ชุมชนและสังคมโดยดำรงไว้ซึ่งความเป็นตัวตนทางวิชาการของผู้เขียนและวัตถุประสงค์ของสมาคมฯ ที่ทรงคุณค่า บทความในวารสารฉบับนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 10 บทความ ซึ่งในแต่ละบทความมีความเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันของรูปแบบพลังงานทดแทนต่างๆครอบคลุมกระบวนการในการวิจัยและการศึกษาสู่ภาคการใช้งานผู้อ่านจะได้รับความรู้ที่หลากหลายจากการอ่านวารสารฉบับนี้ในแนวทางที่จะจุดประกายความคิด หรือการต่อยอดความคิดทางด้านพลังงานทดแทนสาขาต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอ่านอย่างวิพากษ์และตั้งคำถาม เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนในทางวิชาการอย่างสร้างสรรค์ อันจะช่วยให้ความรู้

และความคิดเดิมถูกแพร่ขยายออกไปได้อย่างกว้างขวาง อีกทั้งให้วารสารฉบับนี้เป็นแหล่งความรู้ในทุกระดับภาคส่วนของทุกคนในสังคมไทยโดยไม่ยึดติดตนเองและอยู่กับความรู้ความคิดเพียงบางมุมบางด้านเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เขียนและผู้อ่านมีความเป็นตัวตนทางวิชาการที่พร้อมจะพัฒนาตนเองอยู่เสมออย่างไม่หยุดนิ่ง และท้ายที่สุดแล้วความรู้ความคิดที่ถูกต่อขยายออกไปนั้น ก็จะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนกระบวนการทัศนทางความคิดของสังคมและชุมชนอย่างกว้างขวาง อันจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางวิชาการของสังคมเพื่อความยั่งยืนของประเทศชาติกองบรรณาธิการขอขอบพระคุณคณะทำงานทุกท่านคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิชาการ และทุกภาคส่วนที่ได้สละเวลาอันมีค่าอ่านบทความ เพื่อความถูกต้องทางวิชาการ และเป็นวารสารที่ดีต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งนี้หากผู้อ่านมีความประสงค์จะตีพิมพ์บทความสามารถขอความกรุณาโปรดจัดเตรียมต้นฉบับให้เป็นไปตามรูปแบบของวารสารและส่งบทความทางออนไลน์ที่ www.reca.or.th/jrec เพื่อการพิจารณาและตีพิมพ์ในวารสารฉบับต่อไป

กองบรรณาธิการ

สารบัญ

การบริหารจัดการพลังงานชุมชนด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล

Factors influencing the adoption of big data analytics in accounting: 8	8
A Study of Energy Companies	
การพัฒนาระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยการประยุกต์ใช้สมองกลฝังตัว 18	18
Raspberry Pi เพื่อการบันทึกข้อมูลและเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย	
การตรวจวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าเพื่อประเมินแนวโน้มเชิงพฤติกรรมสำหรับ 29	29
สร้างแรงจูงใจเพื่อการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าต่อการใช้บริการโรงแรม	

สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

การเพิ่มมูลค่าด้วยเทคโนโลยีไบโอทรายเป็นองค์ประกอบสำหรับการจัดการขยะชุมชน 40	40
กรณีศึกษา: องค์การบริหารส่วนตำบลท่ามะนาว อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี เพื่อนำไปสู่การพัฒนาเมืองที่ยั่งยืน	

ไฟฟ้าชุมชน

การประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ 50	50
สำหรับโรงเรียนในพื้นที่จังหวัดชายแดนใต้กรณีศึกษา: โรงเรียนบ้านช่องแหม อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี	
การพัฒนาโรงไฟฟ้าต้นแบบด้วยระบบก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว 58	58

นวัตกรรมด้านพลังงาน

การอบแห้งแกงไตปลาด้วยเครื่องอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลจากเซรามิก 72	72
การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งขึ้นชิงด้วยเครื่องอบแห้ง 81	81
สุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด	
การปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบติดตามดวงอาทิตย์ 94	94
และพัฒนาระบายความร้อน	
การศึกษาอุณหภูมิและปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ส่งผลต่อความดันสุญญากาศ 107	107
ของปั๊มสุบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ	

Factors influencing the adoption of big data analytics in accounting: A Study of Energy Companies

Manirath Wongsim^{1,*}, Natnapha Nilniyom², Amarit Sompong³, Sirilak Kaiwinit⁴ and
Natarpha Satchawatee⁵

^{1,4,5}Technology and Business Information System Unit, Mahasarakham Business School, Mahasarakham
University Maha Sarakham, 44150

^{2,3}Accounting research unit, Mahasarakham Business School, Mahasarakham
University Maha Sarakham, 44150

* Corresponding author, e-mail: manirath.w@acc.msu.ac.th, Tel.: +66868722722

Received: 15 May 2021, Revised: 21 June 2021, Accepted: 2 July 2021, Published online: 25 December 2021

Abstract

Big data is an ascendant technological concept and includes smart energy services, such as intelligent energy management, energy consumption prediction and exploitation of Internet of Things (IoT) solutions. Most companies must therefore be seen as adopting big data analytics (BDA) in accounting system, which is critical for a company to organize, manage and operate its processes. Big data analytics and energy management systems aim to analyses and provide report energy costs, and associated consumption at the organizational level. Therefore, this research intends to study this perspective of factors that influence and affect successful BDA in accounting and related accounting performance in energy companies. For this research, case study and questionnaire methods have been adopted. Case studies have been conducted in two Thai organizations. The findings of the two key case studies indicated 19 variables that could have an impact in accounting in BDA, which contributed to the preliminary framework being developed. Moreover, based on the findings of case studies, a survey instrument was created. Survey questionnaires from 156 respondents were obtained from two large-scale surveys that were sent to the selected members of Thailand accountant, and Thailand computer to test the research framework. The results indicate that the top five critical factors for ensuring BDA in accounting were: 1) information technology strategists; 2) top management commitment, 3) skills development in BDA, 4) technology capability; and 5) competitive environments. All factors were statistically significant at the 0.05 level. Therefore, it is now clear which factors are influencing BDA in accounting system and which of those factors are critical success factors for ensuring DBA in accounting system successes.

Keywords: Energy management systems, Big data Analytics, Accounting Information Systems, Factors influencing big data analytics in accounting

INTRODUCTION

Nowadays, businesses continuously seek to improve the efficiency and effectiveness of their operations for higher profitability and to increase productivity by using Accounting Information System (AIS) [1]. IT has changed the way data is collected, processed, stored, and aggregated for preparation of accounting and finance related information required by the management to control and manage business activities, and as a result accountants were strongly affected by this change [1]. Modern management accountants support and participate in decision-making with management in four areas: strategic cost management to achieve long-term objectives, organizational quality assessment systems and operational control, internal cost activity scheduling, and financial statement preparation [2]. When market rivalry with technological development has risen sharply, accounting has shifted from historical value reporting to more real-time reporting and predictive reporting [3]. While some literature discusses the effect of business analysis on accounting management [4], There is little literature on the use of business analytics to assess the quality of an organization in a business process environment [5]. This paper contributes in a number of ways to the literature. Second, this paper talks about factors influencing big data analytic (BDA) on managerial accounting from an enterprise system perspective. Second, this study proposes the BDA in accounting business accountant system to use data analytics to assess organizational quality. Ultimately, features relevant to a BDA system being introduced. The research is structured according to the following: The next segment examines the rising role of accountants in management and the effects on management accounting of BDA in accounting framework.

Research Questions

The goal of this research is to develop a framework for factors influencing the BDA in accounting related to energy companies. In terms of achieving this objective, the following questions will be investigated:

What factors influencing big data analytics in accounting, and why?

This research will be conducted in energy firms in Thailand, which have, or intend to, adopt and implement BDA in accounting systems.

Research Objective

This research addresses various case studies of different organizations related to big data analytics in accounting in Thailand. Outcomes of this research will contribute to substantial knowledge within big data analytics in accounting fields and it also supports other research areas. The following emerge as significant objectives:

1. To study the relationship between influencing big data analytics and managerial accounting in energy companies.
2. To study the critical success factors that could influence big data analytics effectiveness.

3. To enhance the existing big data research by providing an in-depth study that represents a new aspect of factors influencing big data analytics in accounting research.

Literature Review

This section discusses the theoretical foundations upon which this research is built.

A. *The Changing Roles of Accountants*

Information Technology (IT) is already having a significant impact on business, and the accountant's conventional position is changing [1]. According to Wongsim (2017) In general, accounting information technologies produce financial reports on a daily or weekly basis and give useful data for decision-making and organizational performance. Interestingly, organizations have become more attentive to improving their accounting information systems in order to achieve a competitive advantage to compete in the global economy, and manage a rapidly growing business environment. Thus, there is a growing need for research to provide insight into issues and solutions related to management in AIS adoption [1].

B. *Big data Analytics in Accounting*

Perhaps the key resource in creating the data analytics is the information itself. It is frequently mentioned that IT strategists and data analysts are particularly concerned about the quality of the data they analyse [7]. Although organisations have traditionally evaluated business-specific structured information, the variety and scope of information sources that modern organizations leverage make the quality element very important. Data quality is a valuable resource that may be measured by its completeness, precision, format, timeliness, reliability, and perceived value [8]. It has been argued that data resources with the above-mentioned attributes are vital for an organization to sustain its benefit in a very data-oriented economy [9]. The importance of data accessibility and integration from many sources that are typically segregated due to present IT systems [10].

Big data and business analytics are now influencing practically every area of decision-making, strategic analysis, and forecasting at major corporations [11]. To maintain a competitive advantage, a company may develop, purchase, extract, gather, process, and analyze millions of data elements from external and/or internal sources on any given day. Big data and business analytics are no longer the exclusive realm of a few early adopters and innovators; they are now required reading for any company that wants to stay competitive [12, 21]. Because management accountants have typically used accounting data to assist business managers, the availability and usage of big data and analytics by businesses is likely to have an impact on the management accounting specialist. However, in order to grasp big data and business analytics in the internal business environment and context, it is required to first understand big data and business analytics. Big data can be defined as data sets that are so large or unstructured that they are inaccessible to most database management systems and software programs [12]. Big data can come from a variety of sources, including emails, audio files, site click streams, social media, news media, sensor photos, videos, and RFID tags, as well as traditional payment systems. Four

characteristics or the four V's have defined big data: enormous volume, high speed, wide variety, and uncertain veracity [10]. Historically, transactions and other structured data such as orders, sales, purchase orders, shipments, receivables, personal information, time sheets and inventory have been recorded by company and accounting data. These are predictable, orderly, and business-friendly data. Unlike big data, this sort of information stands. Where the former information has been divided into rows and columns, the latter information is not organized and may seem overwhelming due to the quantity, variety and type of information. Big data advent has altered the job of the accountant leadership. A company that uses big data would have spent substantial resources in collecting, processing, preparing, and eventually analyzing it, thus expecting greater ideas and understanding as outcomes. In addition to being large or not, it is essential for any sort of information that it is of high quality [19]. High quality data is complete, valid, accurate, relevant, consistent, and timely [1]. Research demonstrates that high-quality information is a significant resource and asset for company [19] and has tremendous impact on an entity's performance [10, 11].

C. Factors influencing of big data analytics in accounting

Big data can support entities in appraising their data assets by expanding vigorous assessment techniques. Accountants and finance experts must first assess which data is useful, then select a proven valuation method and identify critical assumptions. Data value will also be enhanced through stewardship and control. The notion is that accountants and other experts can help turn internal data sets into something more valuable, secure, robust, and in demand. Using big data to make decisions will result in more precise real-time support. The nature of services that accounting professionals provide, as well as their liaison with the decision makers of the corporate world will totally vary due to the advancement of self-service data recovery. Furthermore, accountants' responsibilities will not be restricted to reporting financial data. They will be able to determine the choices that decision makers can use by examining diverse data sets [13]. However, there are certain challenges. As more and more new information becomes available, big data can swiftly devalue. Furthermore, the value of data varies depending on how it is used [14].

Recent data analytics development has also seen auditors, accountants, and finance professionals collaborate closely with the information technology and information management departments in cross-functional and multidisciplinary teams. The auditors may even need to improve their skills and do things differently, such as inventing new measurements, learning new analytical skills, and developing a data visual language [15]. Data analytics is vital for everything from social media comments and online product evaluations to information on quality standards, labor conditions, and political dangers in the abroad environment. Unstructured data and data that isn't typically available from the information system will become more important to collect and synthesize [16].

As the fresh methods take place, significant and basic changes are taking place in the tax audit profession and practice. These modifications include organizational cooperation to correct previous shortcomings and create ability for future action while integrating fresh technology apps to boost risk

effectiveness, best practices, quality service and tax performance. Together, fresh methods create an infrastructure for information technology that promotes innovation by enabling cooperation, fast analysis and experimentation [16]. The impetus for change, however, is internal and external to the sector, such as science understanding, especially about causal relationships, and technical skills are extending our understanding of hazards and how to cope with them [17], [20]. The literature on tax incentives for organizational cooperation usually focuses on how actors work around the institutional framework to resolve conflicts of interest and, where possible, impact it [18, 19].

D. Big data analytics and energy management systems

Big data is an ascendant technological concepts and includes smart energy services, such as intelligent energy management, energy consumption prediction and exploitation of Internet of Things (IoT) solutions. As a result, big data technologies will have a significant impact in the energy sector. At the organizational level, Energy Accounting Systems (EAS) platforms measure, analyze, and report energy expenses and associated consumption. The flow of information can be improved by improving enterprises' knowledge transfer procedures and innovation networks [22]. Firms can find and exploit eco-innovation opportunities with better knowledge and information [22]. This is due to the fact that information and knowledge are critical resources and capabilities that can support game-changing breakthroughs [23, 24]. Firms can generate information and knowledge that can be used to churn out eco-innovations using big data analytics, thanks to the increasing parameters and amount of data at their disposal [23]. Eco-innovation should be interwoven in the actions of organizations, as sustainable development has become the benchmark for addressing pressing global environmental concerns [24].

Big data analytics also allows for real-time market information. As a result, this information can stimulate organizations' ability to adopt servitization through creative product and service combinations [27]. As companies engage in eco-innovation, their business models are becoming more servitized [25, 26], embracing big data analytics necessitates the use of data by the firm's numerous departments and divisions in order to sustainably boost production [28]. Reduced manufacturing costs and risks are also potential benefits of eco-innovative enterprises adopting servitization in conjunction with big data analytics [29, 30]. Furthermore, real-time optimization of manufacturing processes is possible, leading in improved firm and production fit as well as higher operating efficiency.

Theoretical Framework

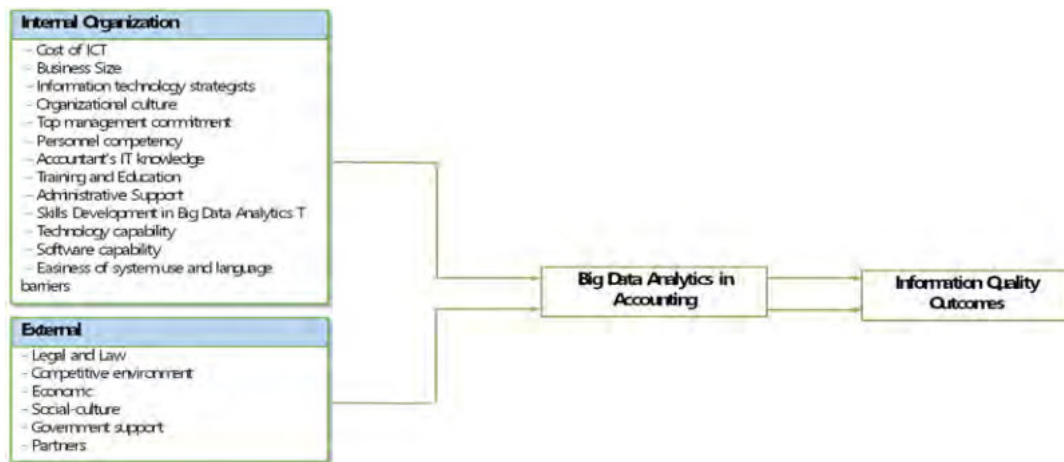


Figure 1. Theoretical framework

Here, organization factor considers an organization's performance in terms of information quality outcomes, and external organization factors exist outside the organization in its external environment, for example competitive environment, economic, social-culture and government support. Fig1 presents our theoretical model, which summarizes the structure relationship between influences factors and BDA adoption quality of energy companies.

RESEARCH METHODOLOGIES

This research was conducted in Thai listed energy firms, which have adopted and implemented BDA in accounting systems. In this study used quantitative and qualitative research approach. In order to achieve the research objectives this research comprised three phases. Phase1) Detailed and focused literature review; Phase2) Data collection through multiple case studies – confirmatory stage; and Phase3) Data Analysis.

RESEARCH FINDINGS

In Section B of the questionnaire, survey respondents were asked to pick from the list of 19 factors in Section A the top three most critical factors in BDA accounting adoption systems. A number of respondents in this section indicated that all 19 factors listed in the questionnaire are significant; it was difficult for them to choose which considerations were the most important in AIS adoption, which further sanctioned the validity of the questionnaire design.

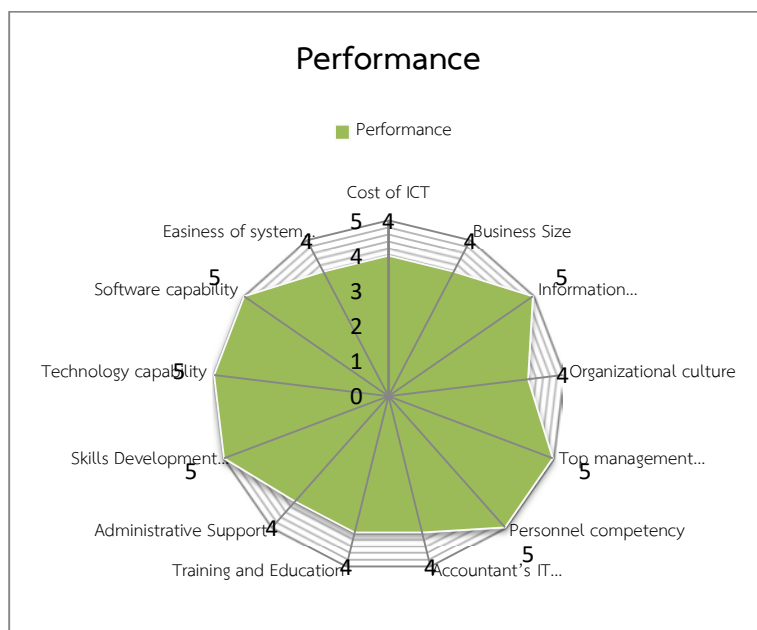


Figure 2. Internal Organization factors. Source: Developed for this research

A. Internal Organization factors

Respondents were asked to indicate on a scale of five options that consisted of unimportant agreement, unimportant agreement, significant agreement on average, very important agreement, and great agreement. Thai listed companies have an average of 5 (extremely agreed) scores for any factor was information technology strategists, top management commitment, skills development in big data analytics, technology capability, software capability; an average score of 4 (very important agree) was achieved for accountants including cost of ICT, accountant's IT knowledge, training and education, administrative support, easiness of system use and language barriers. In additionally, firms with an average score of 3 (average important agree) addressed factors including business size, organizational culture. A score of less than 2.00 for any factor was not revealed by the results.

B. External Factors

Thai listed organizational firms have the most critical factor in average scores of 5 (extremely agreed) external factors required by competitive environment; an average score of 4 (very important agree) was achieved for external factors including legal and law, economic, social-culture, government support. Moreover, firms with an average score of 3 (average important agree) addressed factors were partners. A score of less than 2.00 for any factor was not revealed by the results.

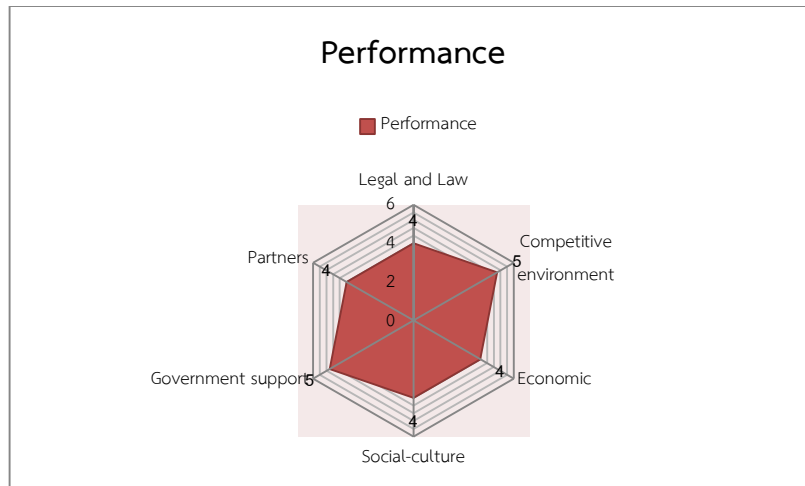


Figure 3. External factors Source: Developed for this research

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

With respect to building an increasing BDA in accounting system adoption, this study attempts to investigate whether significant factors that could affect the quality of accounting for BDA are relevant. This research was carried out on 156 respondents' data within energy firms in Thailand; data was collected by in-depth interviews that involved semi-structured interviews and unstructured interviews. The 19 factors identified from the case studies were categorized into two groups: organization factors, and external organization factors. This work offers detailed insights into critical success factors, which could have the most positive effect on knowledge of high-quality outputs. Management of an organization should be aware of the most important factors in DBA in accounting adoption. Moreover, most critical factors for DBA in accounting adoption this work has detailed those managers can use as a guide to concentrate their attention and allocation of resources. As DBA in accounting is essential to doing business now and in the further, research analyzing the methodology will make a significant contribution to understanding how companies achieve BDA in accounting performance and use this guide to increase the quality of accounting information systems. This evidence suggests the adequate understand influences factors management must be discussed in relation to the existing accounting processes in organizations.

ACKNOWLEDGMENT

The Technology and Business Information System Research Unit, MahaSarakhm Business School, MahaSarakhm University supported this research financially. We also would like to take the opportunity to thank all the interviewees and participants in the case studies who contributed their ideas to this research in their precious time.

REFERENCES

- [1] M. Wongsim, “The Importance of influences factors for chooses and use of software and hardware to support operations in accounting information systems adoption”, **Journal of Southeast Asian Research**, 2013, 1.
- [2] K. Brands and M. Holtzblatt, “Business analytics: Transforming the role of management accountants”, **Management Accounting Quarterly**, 2015, 16(3).
- [3] G. Cokins, **Top 7 trends in management accounting**, *Strategic Finance*, 2013, 95(6), 21-30.
- [4] S. Nielsen, **The impact of business analytics on management accounting**, 2015, Available at SSRN 2616363.
- [5] V. Erokhin, D. Endovitsky, A. Bobryshev, N. Kulagina and A. Ivolvega, “Management accounting change as a sustainable economic development strategy during pre-recession and recession periods: evidence from Russia”, **Sustainability**, 2019, 11(11), 3139.
- [6] M. Ghasemi, V. Shafeiepour, M. Aslani and E. Barvayeh, “The impact of Information Technology (IT) on modern accounting systems”, **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, 2011, 28, 112-116.
- [7] R. Brinkhues, A. C. Maçada and G. Casalinho, “Information management capabilities: Antecedents and consequences”, **20th Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2014**. 2014 August 7-9, 1-11.
- [8] T. C. Redman, “The impact of poor data quality on the typical enterprise”, **Communications of the ACM**, 1998, 41(2), 79-82.
- [9] G. Palem, “Formulating an executive strategy for big data analytics”, **Technology Innovation Management Review**, 2014, 4(3), 25-34.
- [10] S. F. Wamba, S. Akter, A. Edwards, G. Chopin and D. Gnanzou, “How ‘big data’ can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study”, **International Journal of Production Economics**, 2015, 165, 234-246.
- [11] P. A. Griffin and A. M. Wright, “Commentaries on Big Data's importance for accounting and auditing”, **Accounting Horizons**, 2015, 29(2), 377-379.
- [12] T. H. Davenport, “Competing on analytics”, **Harvard Business Review**, 2006, 84(1), 98.
- [13] M. Wongsim, P. Tantrabundit, S. Khantong and C. Savithi, “Effect of Big Data in Accounting: Case Studies in Thailand”, **In Proceedings of the 4th Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-iCON)**, 2019, 1-5.
- [14] M. Wongsim and J. Gao, “Data Quality issues in Accounting Information Systems Adoption-Theory building”, **In Proceedings of the 6th International Conference on Networked Computing and Advanced Information Management**, 2010, 224-230.
- [15] S. Carter and A. C. M. Yeo, **Undergraduate perceptions of the knowledge, skills and competencies required of today’s practicing marketer**, *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*, 2017.

- [16] D. B. Wax and J. B. Feit, “Accuracy of vasopressor documentation in anesthesia records”, **Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia**, 2016, 30(3), 656-658.
- [17] D. Barton and D. Court, “Making advanced analytics work for you”, **Harvard Business Review**, 2012, 90(10), 78-83.
- [18] C. Daude, N. Lustig, A. Melguizo and J. R. Perea, “On the middle 70%”, **The impact of fiscal policy on the emerging middle class in Latin America using Commitment to Equity**, CAF - Working paper N^o 2017/12, 2017 August, 1-35.
- [19] B. Chae and D. L. Olson, “Business analytics for supply chain: A dynamic-capabilities framework”, **International Journal of Information Technology & Decision Making**, 2013, 12(01), 9-26.
- [20] M. Gupta and J. F. George, “Toward the development of a big data analytics capability”, **Information & Management**, 2016, 53(8), 1049-1064.
- [21] K. C. Moffitt and M. A. Vasarhelyi, “AIS in an Age of Big Data”, **Journal of Information Systems**, 2013, 27(2), 1-19.
- [22] R. Zeng, B. Grøgaard and P. Steel, “Complements or substitutes? A meta-analysis of the role of integration mechanisms for knowledge transfer in the MNE network”, **Journal of World Business**, 2018, 53(4), 415-432.
- [23] K.-H. Huang, A. Mas-Tur and F. Calabuig Moreno, “Innovation, knowledge, judgment, and decision-making as virtuous cycles”, **Journal of Business Research**, 2018, 88, 278-281.
- [24] A. Mardani, S. Nikoosokhan, M. Moradi and M. Doustar, “The Relationship between Knowledge Management and Innovation Performance”, **The Journal of High Technology Management Research**, 2018, 29, 12-26.
- [25] S. H. Bonilla, H. R. O. Silva, M. T. da Silva, R. F. Gonçalves and J. B. Sacomano, “Industry 4.0 and sustainability implications: Ascenario-based analysis of the impacts and challenges”, **Sustainability**, 2018, 10, 3740.
- [26] T. Stock, M. Obenaus, S. Kunz and H. Kohl, “Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential”, **Process Safety and Environmental Protection**, 2018, 118, 254-267.
- [27] D. A. De Jesus Pacheco, C. S. ten Caten, C. F. Jung, H. V. G. Navas, V. A. Cruz-Machado and L. M. Tonetto, “State of the art on the role of the theory of inventive problem solving in sustainable product-service systems: Past, present, and future”, **Journal of Cleaner Production**, 2019, 212, 489-504.
- [28] M. Opazo-Basáez, F. Vendrell-Herrero, O. F. Bustinza, “Uncovering productivity gains of digital and green servitization: Implications from the automotive industry”, **Sustainability**, 2018, 10, 1524.
- [29] M. Janssen, H. van der Voort and A. Wahyudi, “Factors influencing big data decision-making quality”, **Journal of Business Research**, 2017, 70, 338-345.
- [30] K. Kim and S. Lee, “How can big data complement expert analysis? A value chain case study”, **Sustainability**, 2018, 10, 709.

การพัฒนาาระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยการประยุกต์ใช้สมองกลฝังตัว Raspberry Pi
เพื่อการบันทึกข้อมูลและเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย
Development of Energy Monitoring System with the Application of Embedded
Raspberry Pi to Record Data and Link to Server

วันวิเศษ อภิชาติ¹ นรากรณ์ สงกิตติโรจน์¹ พันธุ์พล สินธูยา² วรจิตต์ เศรษฐพรศักดิ์¹
หทัยทิพย์ สินธูยา¹ และ อำนาจ โกวรรณ^{3,*}
Wanwiset Aphichat¹, Narakorn Songkittirote¹, Panlop Sintuya², Worajit Setthapun¹,
Hathaithip Sintuya¹ and Umnaj Kowan^{3,*}

¹สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180

²สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรอินทรีย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180

³สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180

¹Community Energy and Environment Program, Asian Development College for Community Economy
and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50180

²Organic Agriculture Innovation Program, Asian Development College for Community Economy and
Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50180

³Computer Science Program, Asian Development College for Community Economy and Technology,
Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50180

* Corresponding author, e-mail: umnaj@cmru.ac.th, Tel.: 095-1451598

Received: 8 October 2021, Revised: 1 November 2021, Accepted: 4 November 2021, Published online: 25 December 2021

Abstract

Nowadays, the energy consumption monitoring system is very important because the monitoring system can track and collect energy consumption data for energy management analysis and increase energy efficiency. This research developed a power tracking system for homes and buildings. The PZEM-016 energy monitoring module is used in conjunction with the embedded Raspberry Pi to measure the electrical consumption data for homes and buildings. There is a backup memory storage system that can store data if the data cannot be sent to the host computer system. The web application was also developed over the local network by collecting data using Influx DB and MySQL databases to optimize the performance of the system. The web application can display real-time and historical energy consumption data. The test result from measuring device accuracy revealed that the reading error of the voltage is 1.28% and the current is 0.16%. The performance of the backup database is 100% and the average historical data transmission is at 9%7. Therefore, this research had developed the energy

monitoring system with embedded Raspberry pi with IoT technology. The system will increase the efficiency of energy data storage capability with the ease of user through the web application.

Keywords: Energy monitoring system, Energy consumption database, IoT

บทคัดย่อ

ระบบติดตามการใช้พลังงานมีความสำคัญอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากระบบติดตามสามารถจัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์การบริหารจัดการพลังงานเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบติดตามพลังงานไฟฟ้าสำหรับบ้านและอาคาร โดยใช้งานโมดูลตรวจวัดพลังงาน PZEM-016 ร่วมกับสมองกลฝังตัว Raspberry Pi ในการตรวจวัดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของบ้านและอาคาร โดยมีระบบเก็บข้อมูลหน่วยความจำสำรองที่สามารถเก็บข้อมูลในกรณีที่ไม่สามารถส่งข้อมูลทางไฟฟ้าไปยังระบบคอมพิวเตอร์แม่ข่าย อีกทั้งระบบนี้มีเว็บแอปพลิเคชันผ่านเครือข่าย Local network โดยใช้ระบบฐานข้อมูล Influx DB และ MySQL ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ และเว็บแอปพลิเคชันสามารถแสดงผลข้อมูลการบริโภคพลังงานไฟฟ้าแบบ Real-Time และข้อมูลย้อนหลัง โดยผลการทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 28.1% และกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 16.0% โดยมีประสิทธิภาพของระบบฐานข้อมูลสำรองที่สามารถเก็บข้อมูลได้ 100% และการส่งข้อมูลย้อนหลังเฉลี่ยอยู่ที่ 97% งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบติดตามพลังงานไฟฟ้าด้วยสมองกลฝังตัว Raspberry pi ด้วยเทคโนโลยีไอโอที จะเพิ่มความสามารถด้านการเก็บข้อมูลการบริโภคพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายต่อผู้ใช้งานผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน

คำสำคัญ: ระบบติดตามพลังงานไฟฟ้า ระบบจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้า IoT

บทนำ

ในปัจจุบันมีความต้องการด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การใช้ทรัพยากรด้านการผลิตพลังงานมีต้นทุนเพิ่มขึ้นในขณะที่ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตพลังงานมีปริมาณลดลง ทำให้มีแนวคิดด้านการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ การตรวจสอบและตรวจวัดการใช้พลังงานมีความสำคัญในการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและการประหยัดพลังงาน การติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีสร้างเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถติดตามการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า โดยการนำเทคโนโลยีไอโอทีประยุกต์ใช้กับเซ็นเซอร์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า [1-3] ซึ่งการใช้ระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้ามีความนิยมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ มีราคาต้นทุนที่ต่ำ และสามารถพัฒนาโปรแกรมชุดคำสั่งในการตรวจวัดการใช้พลังงานได้ แต่การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ยังไม่สามารถตอบโจทย์ในการพัฒนาระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าในการจัดการข้อมูลที่ซับซ้อนได้ เนื่องจากทำให้เกิดปัญหาในการส่งข้อมูลกับการอ่านข้อมูลทางไฟฟ้า [4-5] ในกรณีที่ระบบไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ต จะทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่อ่านค่าได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดถึงแม้จะมีการเก็บข้อมูลสำรองในหน่วยความจำ (SD Card) แต่เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถส่งข้อมูลจากหน่วยความจำสำรองมายังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายได้ ทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ครบถ้วนและสมบูรณ์ไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย อีกทั้งปัจจัยด้านความร้อนของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะส่งผลให้มีการทำงานที่ผิดปกติและเกิดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า [6]

งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยการประยุกต์ใช้สมองกลฝังตัว Raspberry Pi เพื่อการบันทึกข้อมูลและเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดข้อมูลบริโภคการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านและอาคาร ระบบเก็บข้อมูลหน่วยความจำสำรองที่สามารถรวบรวมข้อมูลกรณีไม่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดย

สามารถส่งข้อมูลกลับไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเมื่อเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต รวมไปถึงการใช้เว็บแอปพลิเคชันผ่านเครือข่าย Local network ที่มีลักษณะการทำงานแบบ Stand Alone เพื่อรองรับกรณีความไม่เสถียรของสัญญาณอินเทอร์เน็ต หรือการที่ผู้ใช้สามารถเข้าถึงเว็บแอปพลิเคชันในขณะที่สัญญาณอินเทอร์เน็ตขาดหายไป ในการพัฒนาระบบติดตามของงานวิจัยนี้ได้นำสมองกลฝังตัว Raspberry pi ทำงานร่วมกับระบบปฏิบัติการ Raspbian โดยใช้ภาษา JavaScript ทำงานใน Node-red ที่เป็น Visual tools สำหรับระบบ IoT รวมไปถึงการใช้งานฐานข้อมูล Influx DB และ MySQL ที่ทำงานร่วมกันเพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการแสดงผลข้อมูลและการเก็บข้อมูล ทำให้ระบบติดตามไฟฟ้าสามารถแสดงผลข้อมูลการบริโภคพลังงานไฟฟ้า สถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านเว็บแอปพลิเคชันได้อย่างรวดเร็ว และมีความเสถียรภาพสูง การออกแบบพัฒนาเทคโนโลยีข้างต้นจะสามารถทำให้การนำข้อมูลมาบริหารจัดการภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการวิจัย

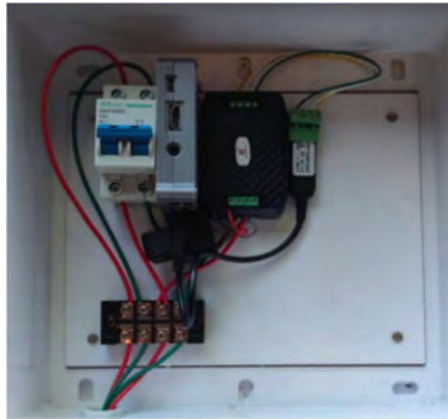
หลักการการทำงานของระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยสมองกลฝังตัว Raspberry pi จะทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดภาระทางไฟฟ้าและทำงานร่วมกับเว็บแอปพลิเคชัน ที่ทำงานอยู่ Local Network ที่มีลักษณะการทำงานแบบ Stand Alone และคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ทั้งนี้การออกแบบระบบจะถูกพัฒนาให้รองรับความไม่เสถียรของระบบสัญญาณอินเทอร์เน็ต สามารถส่งข้อมูลย้อนหลังกลับมายังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเมื่อเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต และระบบติดตามไฟฟ้าสามารถแสดงผลข้อมูลการบริโภคการใช้พลังงานไฟฟ้า สถิติการใช้พลังงานไฟฟ้า และการแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลมาบริหารจัดการภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านและอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ

การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์

ในการออกแบบการทำงานของระบบ Hardware ใช้สมองกลฝังตัว Raspberries PI ทำงานร่วมกับชุดอุปกรณ์ตรวจวัดภาระทางไฟฟ้า ในการจัดเก็บข้อมูลบริโภคพลังงานไฟฟ้า โดยส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตและจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำสำรอง Local network การออกแบบพัฒนาการเชื่อมต่อการทำงานของอุปกรณ์ติดตามไฟฟ้า โดยการออกแบบพัฒนาการ Raspberries PI ทำงานร่วมกับโมดูลอ่านข้อมูล (RS485 USB) เชื่อมต่อกับชุดตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM-016) และอ่านข้อมูลผ่าน Modbus protocol ดังภาพที่ 1 และ 2



ภาพที่ 1 การออกแบบการเชื่อมต่อ Hardware ระบบติดตามการใช้พลังงาน

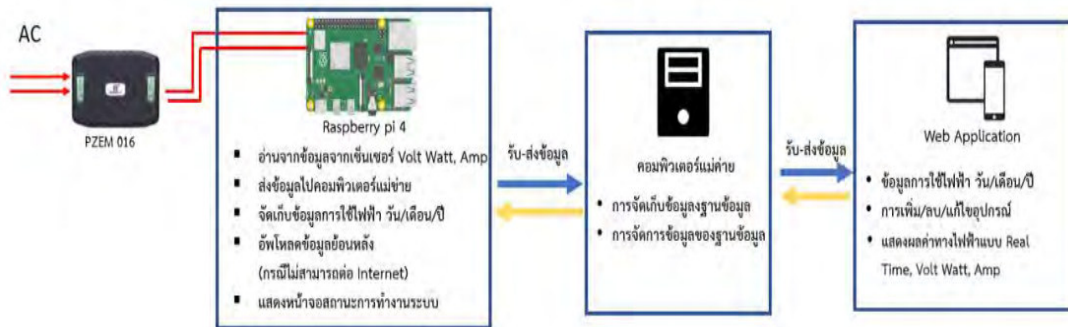


ภาพที่ 2 ภาพอุปกรณ์ระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยสมองกลฝังตัว Raspberry pi

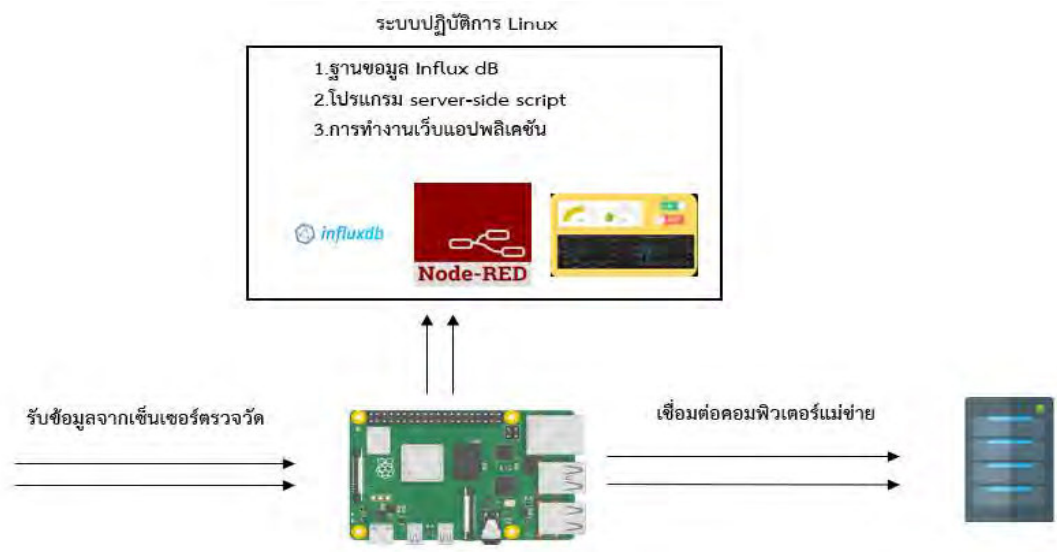
การออกแบบระบบซอฟต์แวร์

ในส่วนการพัฒนาซอฟต์แวร์ได้แบ่งการพัฒนา ระบบดังนี้ 2

1. การพัฒนาซอฟต์แวร์บน Raspberries PI โดยพัฒนาการใช้ชุดคำสั่งโปรแกรม Node-red ที่ทำงานอยู่ในระบบปฏิบัติการ Raspbian ในการอ่านข้อมูลเซ็นเซอร์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านโปรโตคอล Modbus ในการอ่านข้อมูลและพัฒนาชุดคำสั่งการส่งข้อมูลไปยังระบบอินเทอร์เน็ตแบบ Real-Time ไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย รวมถึงการจัดเก็บข้อมูลในระบบฐานข้อมูล Influx DB ทุกๆ 1 นาที ดังภาพที่ 3 และ 4



ภาพที่ 3 การออกแบบหลักการทำงานระบบซอฟต์แวร์

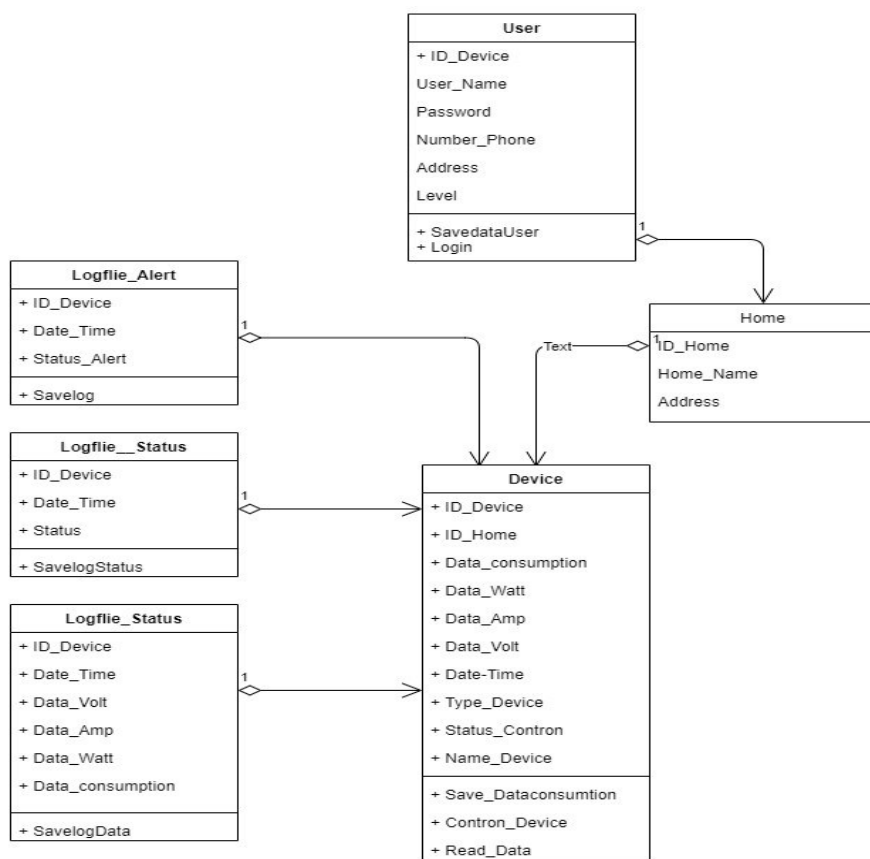


ภาพที่ 4 ฟังก์ชันการทำงานของฐานข้อมูลบน Raspberry Pi

2. การพัฒนาซอฟต์แวร์บนระบบคอมพิวเตอร์แม่ข่าย โดยการพัฒนาการใช้ชุดคำสั่งโปรแกรม node red ในการรับข้อมูล Real time มาจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Influx DB และรับข้อมูลจากไฟล์ json ผ่านโปรแกรมชุดคำสั่ง API ในกรณีรับข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลังจาก Raspberries Pi

การออกแบบระบบฐานข้อมูล

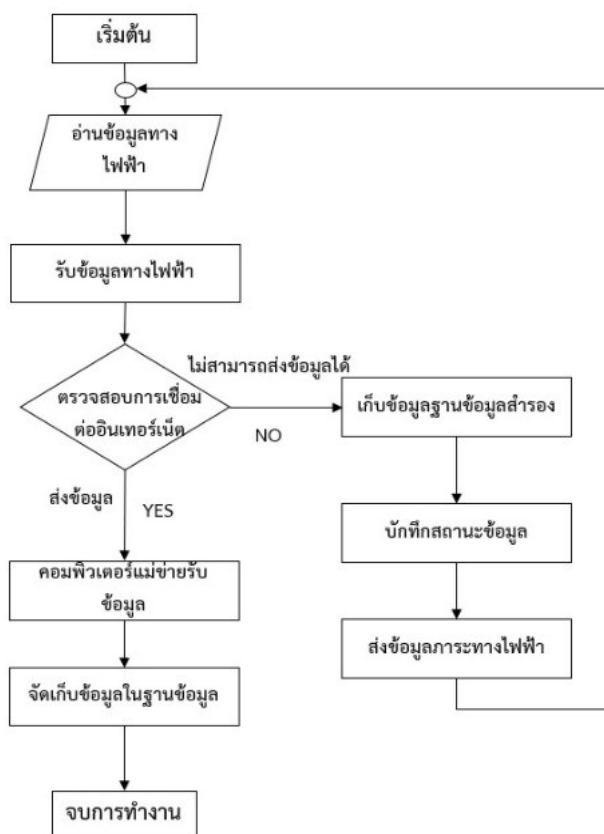
ในการออกแบบระบบฐานข้อมูลใช้แผนภาพโครงสร้าง ในการจำลองการออกแบบฐานข้อมูลในการรองรับการทำงานการเก็บข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แม่ข่ายและฐานข้อมูลสำรองบน Raspberry pi [7] โดยออกแบบตารางเก็บข้อมูล 6 ตาราง ดังนี้ 1. ตารางข้อมูลผู้ใช้ระบบจะเก็บข้อมูลผู้ใช้ในการเข้าสู่ระบบระบบเว็บแอปพลิเคชัน 2. ตารางข้อมูลบ้านจะเก็บข้อมูลรหัสของบ้านในการเลือกติดต่อกับฐานข้อมูล 3. ตารางข้อมูลอุปกรณ์ตรวจวัดจะเก็บข้อมูลค่าภาระทางไฟฟ้า 4. ตารางข้อมูลการแจ้งเตือนสถานะการขาดการเชื่อมต่อกับระบบ 5. ตารางข้อมูลสถานะการทำงานระบบอุปกรณ์และ 6. ตารางเก็บข้อมูลในกรณีไม่ สามารถเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตจะทำการเก็บข้อมูลวันที่ เวลา และข้อมูลภาระทางไฟฟ้าเมื่อเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต API ชุดคำสั่งจะเรียกดึงข้อมูลในการส่งข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์แม่ข่าย



ภาพที่ 5 การออกแบบระบบฐานข้อมูลระบบติดตามการใช้พลังงาน

การออกแบบเงื่อนไขการทำงานชุดคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลัง

การทำงานการเก็บข้อมูลของระบบได้ทำการเริ่มจากการอ่านข้อมูลภาระทางระบบไฟฟ้า เมื่ออ่านข้อมูลได้นำไปตรวจสอบสถานะระบบอินเทอร์เน็ต เมื่อมีระบบอินเทอร์เน็ตจะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายแต่เมื่อตรวจสอบไม่พบอินเทอร์เน็ตระบบจะทำการเก็บข้อมูลสำรองในระบบปฏิบัติการและจำสถานะ วัน/เวลา/ปี ช่วงเวลานั้น ๆ เมื่อระบบสามารถเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตได้อีกครั้ง ระบบจะทำการส่งข้อมูลเป็นไฟล์ในรูปแบบของ JSON ผ่านโปรโตคอล HTTP ให้กับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เมื่อส่งไฟล์ข้อมูลเสร็จแล้ว API ในระบบฐานข้อมูลจะทำการเช็คข้อมูลโดยใช้ระบบฐานข้อมูล MySQL ในการบันทึกข้อมูลชื่ออุปกรณ์ รหัสอุปกรณ์ และส่งข้อมูลผ่าน API ชุดคำสั่งแปลงข้อมูลในการใช้พลังงานไฟฟ้าจัดเก็บข้อมูลในระบบฐานข้อมูล (Influx DB)



ภาพที่ 6 Flowchart แสดงการทำงานของระบบเงื่อนไขการทำงานชุดคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลัง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดลองจากการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็นทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ 1. ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า 2. ผลการทดสอบเงื่อนไขการทำงานชุดคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลัง และ 3. เว็บแอปพลิเคชันระบบติดตามการใช้พลังงาน

1. ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า

การทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดทดสอบเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพการใช้งาน ว่าสามารถใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าได้หรือไม่ [8, 9] โดยการทดสอบความเที่ยงตรงได้ทดสอบการเปรียบเทียบการตรวจวัดค่าแรงดันและค่ากระแสไฟฟ้ากับมิเตอร์มาตรฐาน KEW SNAP 200 ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 จากผลของตารางการทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 1.28 % และ กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 0.16 % จากผลดังกล่าวสามารถใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสามารถตรวจวัดไฟฟ้า PZEM-016 ได้ตามตาราง ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า

NO.	Meter KEW SNAP200 (V)	PZEM-016 (V)	Difference (V)
1	238.5	239.7	1.2
2	239.6	241	1.4
3	239.2	240.4	1.2
4	238.7	239.9	1.2
5	237.3	238.6	1.3
6	238.0	239.4	1.4
7	239.0	240.2	1.2
8	237.6	238.9	1.3
9	238.4	239.6	1.2
10	239.2	240.6	1.4

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้า

NO.	Meter KEW SNAP200 (A)	PZEM-016 (A)	Difference (A)
1	5.1	5.28	0.18
2	5.2	5.37	0.17
3	4.9	5.07	0.17
4	5.2	5.36	0.16
5	5.3	5.48	0.18
6	5.2	5.39	0.19
7	5.0	5.15	0.15
8	4.8	4.96	0.16
9	5.1	5.26	0.16
10	5.0	5.17	0.17

2. ผลการทดสอบเงื่อนไขการทำงานการจับข้อมูลระบบฐานข้อมูลชุดคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลัง

การทดสอบเงื่อนไขการทำงานชุดคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลังทดสอบให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของชุดคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลังว่าสามารถทำงานตามเงื่อนไขการทำงานหรือไม่ โดยการทดสอบจะดำเนินการตัดระบบอินเทอร์เน็ตของ Raspberry pi ป้อนตัวอย่างชุดข้อมูลภาระทางไฟฟ้า ในการบันทึกข้อมูลลงระบบฐานข้อมูลสำรองบน Raspberry pi และเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตให้กับ Raspberry pi ดังตารางที่ 3 จากผลการทดลองดังกล่าว การทดสอบชุดคำสั่งข้อมูลการบริโภคไฟฟ้าในการบันทึกข้อมูลลงระบบฐานข้อมูลสำรองบน Raspberry pi ระบบสามารถเก็บข้อมูลบนระบบฐานข้อมูลได้ 100% และการส่งข้อมูลย้อนหลังมายังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายสามารถเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลเฉลี่ยคิดเป็น 97% ของตัวอย่างชุดข้อมูล จึงทำให้เงื่อนไขคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลังในการเก็บข้อมูลระบบหน่วยความจำสำรองและระบบฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แม่ข่ายสามารถทำงานได้อย่างดีเยี่ยม

ตารางที่ 3 ตารางการทดสอบการเก็บข้อมูลบนระบบฐานข้อมูลสำรองและฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

NO.	ชุดตัวอย่างทดสอบ ข้อมูล	ฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แม่	
		เก็บข้อมูลฐานข้อมูลสำรอง	ข่าย
1	60 นาที	100 %	98 %
2	360 นาที	100 %	98 %
3	720 นาที	100 %	98 %
4	1140 นาที	100 %	97.5 %
5	2880 นาที	100 %	97.5 %
6	3600 นาที	100 %	97 %
8	10,080 นาที	100 %	97 %
9	20,160 นาที	100 %	96 %
9	30,240 นาที	100 %	96 %
10	43,200 นาที	100 %	95 %

3. เว็บแอปพลิเคชันระบบติดตามการใช้พลังงาน

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ใช้ภาษา HTML, Javascript ร่วมกับการทำงานโปรแกรมระบบเบื้องหลัง Node-RED ในการบันทึกข้อมูลร่วมไปถึงการดึงข้อมูลจากระบบระบบฐานข้อมูลมาสรุปผลการบริโภคพลังงานไฟฟ้าแสดงข้อมูลการบริโภคพลังงานไฟฟ้าแบบ Real-Time รวมไปถึงการแสดงผลกราฟข้อมูลย้อนหลังจากระบบฐานข้อมูล โดยจะแสดงผลข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า การสรุปผลการใช้ไฟฟ้ารายวัน การใช้ไฟฟ้าทั้งหมด และเว็บแอปพลิเคชันสามารถ download ข้อมูลเป็นไฟล์ CSV ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

สรุปผลการวิจัย

การออกแบบระบบติดตามและจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าด้วยสมองกลฝังตัว Raspberry pi ด้วยเทคโนโลยี IoT ระบบนี้เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดพลังงานและติดตามการใช้พลังงานผ่านเว็บแอปพลิเคชันโดยระบบสามารถตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าโดยความผิดพลาดการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า 28.1% และกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 16.0% โดยระบบตรวจวัดพลังงานมีการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในระบบฐานข้อมูลสำรองบนสมองกลฝังตัว Raspberry Pi และส่งข้อมูลย้อนหลังไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายและแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน จากผลงานวิจัยครั้งนี้จึงสรุปได้ว่าระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถเก็บข้อมูลภาระทางไฟฟ้าได้แม่นยำและมีประสิทธิภาพในการเก็บข้อมูล รวมไปถึงการสรุปผลข้อมูลเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถทำงานรองรับกับระบบฐานข้อมูลในการทำงานรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก NICOP Grant, Office of Naval Research, USA และการสนับสนุนจากวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ช่วยสนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์สำหรับทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] G. Bedi, G. K. Venayagamoorthy, R. Singh, R. R. Brooks and K. Wang, “Review of Internet of Things (IoT) in Electric Power and Energy Systems”, **IEEE Internet of Things Journal**, 2018, 5(2), 847-870.
- [2] W. T. Hartman, A. Hansen, E. Vasquez, S. El-Tawab and K. Altaii, “Energy monitoring and control using Internet of Things (IoT) system”, In **Proceedings of 2018 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)**, 2018, 13-18.
- [3] T. Karthick, S. Charles Raja, J. J. D. Nesamalar and K. Chandrasekaran, “Design of IoT based smart compact energy meter for monitoring and controlling the usage of energy and power quality issues with demand side management for a commercial building”, **Sustainable Energy, Grids and Networks**, 2021, 26.
- [4] S. M. Patil, M. Vijayalashmi and R. Tapaskar, “IoT based solar energy monitoring system”, In **Proceedings of 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)**, 2017, Chennai, India. 1574-1579.
- [5] N. M. Morshed, et al., “Microcontroller based home automation system using Bluetooth, GSM, Wi-Fi and DTMF”, In **Proceedings of 2015 International Conference on Advances in Electrical Engineering**, 2015, Dhaka, Bangladesh. 101-104.
- [6] J. B. Samson, K. A. Fredrick, M. N. Sathiya, R. C. Joy, W. J. Wesley and S. S. Samuel, “Smart energy monitoring using raspberrypi”, In **Proceedings of the 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)**, 2019, Erode, India, 845-849.
- [7] M. D. Mudaliar and N. Sivakumar, “IoT based real time energy monitoring system using Raspberry Pi”, **Internet of Things**, 2020, 12.

- [8] D. Santos and J. C. Ferreira, “IoT power monitoring system for smart environments”, *Sustainability*, 2019, 11(19), 5355.
- [9] A. V. Prabu, Y. S. Chandra, G. S. Kumar and S. Zeenath, “Residential energy management system using IoT”, *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [10] K. Chooruang and K. Meekul, “Design of an IoT energy monitoring system”, **In Proceedings of 2018 International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE)**, 2018, Bangkok, Thailand, 1-4.

การตรวจวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าเพื่อประเมินแนวโน้มเชิงพฤติกรรมสำหรับสร้างแรงจูงใจ
เพื่อการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าต่อการใช้บริการโรงแรม
Electrical energy measurement to assess behavioral trends for incentives to conserve
electricity for hotel use

กฤษมาพร พึ่งโพธิ์ พงศกร คชาพงศ์กุล และชานนท์ บุญมีพิพิธ*
Krissamaporn Pungpho, Pongsakorn Kachapongkun and Chanon Bunmephiphit*

สาขาพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170
Energy and Environment, Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170

* Corresponding author, e-mail: Chanon.bun@rmutr.ac.th, Tel.: 084-7772994

Received: 14 October 2021, Revised: 28 October 2021, Accepted: 1 November 2021, Published online: 25 December 2021

Abstract

This study focused on the measurement of energy consumption from the lighting system, air condition system and power outlet for 4-stars hotels. The energy consumption data was assessed to reveal the energy behavior and voluntary energy conservation for the hotel guests. The result revealed that the power consumption behavior depends on length of stay, nationality, and gender. The guests who stay at a shorter timeframe, the more energy was used than the long stay guests. The guests from Europe have the tendency to conserve more energy. Energy conservation is an important factor affecting energy use. The guidelines for reducing energy consumption of guests were proposed as the redeemable discount or other benefits for the next stay. The overall energy reduction approach can be proposed at 2 levels. The first level, the entrepreneurs are responsible for energy saving from various initiatives. The guest can be aware of their own energy consumption through the display for the application and website which may resulted in the change in behavior.

Keywords: Hotel, Energy Conservation, Energy behavior



บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการตรวจวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่างและระบบปลั๊กผนัง ในโรงแรมระดับ 4 ดาว เพื่อประกอบการตัดสินใจสำหรับการกำหนดแนวทางการสร้างการมีส่วนร่วมของการอนุรักษ์พลังงานของผู้เข้าพัก ผลการศึกษาพบว่า พฤติกรรมการใช้พลังงานของผู้เข้าพักในโรงแรมจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าขึ้นเชื้อชาติ อยู่กับระยะเวลาการอยู่อาศัยและสัญชาติและเพศ ผู้เข้าพักระยะสั้นจะมีการใช้พลังงานมากกว่าการผู้เข้าพักระยะยาว และชาวยุโรปมีแนวโน้มในการใช้พลังงานน้อยกว่า การอนุรักษ์พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานและแนวทางในการลดการใช้พลังงานของผู้เข้าพักหรือผู้รับบริการจากการเสนอแนวทางการคืนส่วนต่างผลประโยชน์ในรูปแบบของเงินหรือสิทธิพิเศษต่าง ๆ สำหรับการให้บริการในครั้งต่อไป แนวทางการลดใช้พลังงานในภาพรวมสามารถเสนอแนวได้ 2 ระดับประกอบด้วย ผู้ประกอบการต้องแสดงความรับผิดชอบที่แท้จริงจากการประหยัดในรูปแบบต่าง ๆ และผู้รับบริการได้เห็นถึงปริมาณการใช้พลังงานของตนเองผ่านระบบการแสดงผลอันประกอบด้วยระบบ application และเว็บไซต์ทำให้เข้าใจและเกิดการตระหนักถึงคุณค่าของพลังงานนำไปสู่การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมได้ด้วยตนเอง

คำสำคัญ: โรงแรม, การประหยัดพลังงาน, พฤติกรรมการใช้พลังงาน

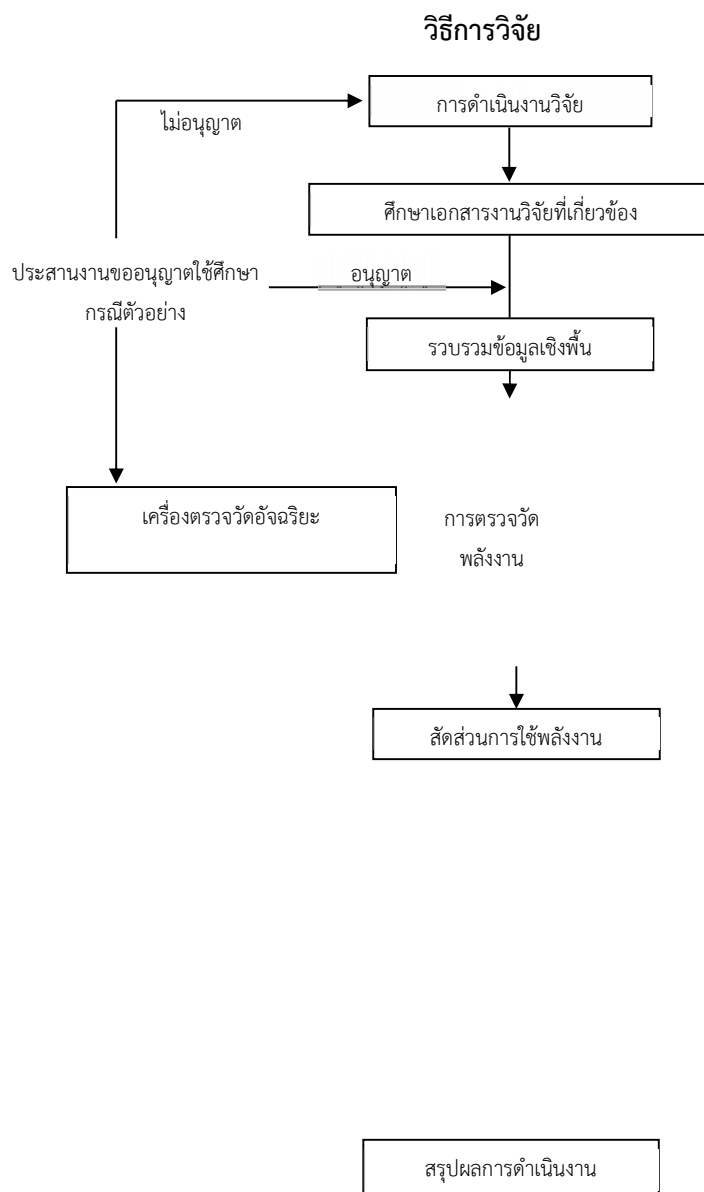
บทนำ

ในปัจจุบันการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญในการใช้พลังงานอย่างรู้คุณค่า รวมทั้งการตระหนักถึงแนวคิดการรักษสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้ทุกประเทศทั่วโลกมีการรณรงค์การทำธุรกิจที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในการดำเนินงานในทุกกิจกรรมมากยิ่งขึ้น รวมทั้งข้อตกลงระหว่างประเทศที่มีนโยบายรวมในเรื่องรักษาสิ่งแวดล้อม ทำให้รัฐบาลได้สร้างมาตรฐานไปไม่เสีย เพื่อรณรงค์ให้ผู้ประกอบการหันมาใส่ใจในการบริการที่มีส่วนในการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น รวมทั้งการนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดการเกิดของเสีย เป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น [1-4]

จากรายงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ พ.ศ. 2561 ธุรกิจการท่องเที่ยวและบริการสามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยจำนวน 2,754 พันล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. ถึงร้อยละ 25608.5 และรายได้สำหรับธุรกิจโรงแรม 729 พันล้านบาท สามารถจำแนกรายได้ที่เกิดขึ้นจากนักท่องเที่ยวต่างประเทศ 494 พันล้านบาท และนักท่องเที่ยวชาวเอเชีย 235 พันล้านบาท โดยธุรกิจพลังงานถือว่าเป็นธุรกิจที่มีการใช้พลังงานตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อให้บริการทั้งในส่วนกลางเพื่อดำเนินการ ทั้งในส่วนเจ้าหน้าที่และผู้มาใช้บริการ รวมทั้งในส่วนของโรงแรมพัก และจากการศึกษารายงานการใช้พลังงาน พบว่า โรงแรมระดับ 4 ดาว มีปริมาณการใช้พลังงานสูงสุด เมื่อเทียบกับโรงแรมระดับดาวอื่น ๆ ทั้งในส่วนของการใช้พลังงาน และการใช้พลังงานในห้องพัก รวมทั้งการขยายตัวของนักท่องเที่ยวในปี พ.ศ. 2562 จากการขยายตัวดังกล่าวสะท้อนถึงการใช้พลังงานที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะการเข้าพักในโรงแรมขนาด 4 ดาวที่มีจำนวนการเข้าพักมากที่สุด และมีการใช้พลังงานเพื่อให้บริการในการดำเนินงานในกิจกรรมต่างๆ แก่ผู้เข้าพักในระดับสูงสุด จึงส่งผลต่อการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก [5-7] เช่น การสร้างภาพลักษณ์ที่โดดเด่น การต้อนรับที่เตรียมความพร้อมตลอดเวลา เครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นการใช้พลังงานโดยสิ้นเปลือง แต่สำหรับการดำเนินกิจกรรมการให้บริการนี้จะสร้างความประทับใจต่อลูกค้าเพื่อให้กลับมาใช้บริการในครั้งต่อไป [8] ตามโครงสร้างพื้นฐานของโรงแรม เช่น ระบบระบายอากาศ ระบบปรับอากาศ ห้องครัว ห้องจัดเลี้ยง ส่วนต้อนรับ สปา ห้องออกกำลังกาย สระว่ายน้ำ และห้องพัก [9] เป็นปัจจัยที่สำคัญในการใช้พลังงานปริมาณสูงสำหรับโรงแรม และการให้บริการในลักษณะดังกล่าวสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การสร้างมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม การสร้างน้ำเสียในปริมาณมาก [10-12] แต่ต้นทุนทางพลังงานดังกล่าวที่เกิดขึ้นได้นำไปรวมกับค่าบริการการเข้าพัก จึงทำให้อัตราการรับบริการโรงแรมนั้นสูง แต่ด้วยระดับ

การให้บริการที่สูงสุดจึงไม่อาจจะทำให้โรงแรมระดับ 4 ดาว มีอัตราค่าให้บริการที่ต่ำได้สำหรับการสร้างความประทับใจ และตอบสนองความต้องการของผู้เข้าพัก ซึ่งไม่สอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ของประเทศไทย ฉบับที่ 2 (2556-2560) ที่กำหนดให้ธุรกิจควรมุ่งถึงสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากในปัจจุบันสิ่งแวดล้อมได้ถูกทำลายจากการดำเนินการของธุรกิจ ส่งผลให้โรงแรมในประเทศไทยมีการรณรงค์ให้ผู้ประกอบการหันมาใส่ใจปัญหาสิ่งแวดล้อม รวมทั้งมีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น

ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ เป็นการประเมินการใช้พลังงานสำหรับส่วนห้องพักในโรงแรมระดับ 4 ดาว ประกอบด้วย ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ในส่วนของห้องพักเพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน เพื่อออกแบบแนวทางการลดการใช้พลังงานให้กับโรงแรมระดับ 4 ดาว



ภาพที่ 1 ผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลเชิงพื้นที่ในการศึกษาประกอบด้วยระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้า ที่เกี่ยวข้องกับห้องพัก เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ในการนำเสนอและการวางระบบการตรวจวัดและเป็นไปตามมาตรฐานโรงแรม ดังแสดงตารางที่ 1

2. ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพลังงานแบบตลอดเวลา (Real time) ที่ออกแบบให้สามารถรายงานผลได้ในลักษณะที่หลากหลาย ประกอบด้วย จอมอนิเตอร์ภายในห้องพัก โทรศัพท์มือถือผ่าน Application และผู้ดูแลระบบ (เจ้าของกิจการ)

3. ตรวจสอบปริมาณการใช้พลังงานของผู้เข้าใช้บริการ แบ่งตามเชื้อชาติจำนวน 2 กลุ่ม ประกอบด้วย เชื้อชาติเอเชียและเชื้อชาติยุโรป โดยกำหนดลักษณะการตรวจวัดออกเป็น 2 รูปแบบประกอบด้วย ตรวจวัดแบบไม่แจ้งล่วงหน้ากับผู้ใช้บริการและแจ้งล่วงหน้าถึงการทำการประเมินดังกล่าว จำนวนไม่น้อยกว่า 400 คน ในช่วงระยะเวลาเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2564 ถึง 31 มิถุนายน พ.ศ. 2564 รวมระยะเวลา 12 เดือน

4. นำผลการตรวจวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้ง 3 รูปแบบ วิเคราะห์ร่วมกับลักษณะการเข้าพักประกอบด้วย เชื้อชาติ ช่วงเวลา วัตถุประสงค์การใช้บริการ ข้อมูลเฉพาะของผู้รับบริการ เช่น เพศ อายุ และการแจ้งถึงการดำเนินงานตรวจวัด

5. สร้างแนวทางการมีส่วนร่วมแบบบูรณาการ และสรุปผลการดำเนินงาน

ตารางที่ 1 แสดงข้อกำหนดสิ่งอำนวยความสะดวกและคุณภาพการบริการตามมาตรฐานโรงแรมระดับ 4 ดาว

ข้อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานโรงแรมระดับ 4 ดาว					
ข้อกำหนด	ประเทศ ฝรั่งเศส	สมาคมโรงแรมไทย (THA) และสมาคม ไทยธุรกิจการ ท่องเที่ยว (ATTA)	โรงแรมกรณีศึกษา	ผ่าน ไม่ผ่าน เกณฑ์	รายละเอียดอุปกรณ์ โรงแรมกรณีศึกษา
ส่วนห้องพัก					
ระบบปรับอากาศ	✓	✓	✓	ผ่าน	18000 BTU
ขนาดพื้นที่ 24 ตร.ม. ขึ้นไป	✓	✓	✓	ผ่าน	55 ตร.ม.
เตียงขนาดไม่น้อยกว่า 3.5 ฟุต	✓	✓	✓	ผ่าน	6 ฟุต
โทรทัศน์ขนาด 20 นิ้ว ขึ้นไป	✓	✓	✓	ผ่าน	42 นิ้ว 50 W
รายการให้ขมไม่น้อย กว่า 8 ช่องรายการ	✓	✓	✓	ผ่าน	รายการช่องทีวีไทยและ ต่างประเทศ
มีตู้เย็น	✓	✓	✓	ผ่าน	อีตาซี 2 ประตู
นิมิตบาร์	✓	✓	✓	ผ่าน	มีขนม และเครื่องดื่ม (จำหน่าย)
กาต้มน้ำร้อนพร้อมขา กาแฟ	✓	✓	✓	ผ่าน	1000 W ขา 2 รส กาแฟ น้ำเปล่า 2 ขวด
รองเท้าแตะ ชุดขัด รองเท้า	✓	✓	✓	ผ่าน	2 คู่ / 1 ชุด

ข้อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานโรงแรมระดับ 4 ดาว					
ข้อกำหนด	ประเทศ ฝรั่งเศส	สมาคมโรงแรมไทย (THA) และสมาคม ไทยธุรกิจการ ท่องเที่ยว (ATTA)	โรงแรมกรณีศึกษา	ผ่าน ไม่ผ่าน เกณฑ์	รายละเอียดอุปกรณ์ โรงแรมกรณีศึกษา
ถุงซักผ้า	✓	✓	✓	ผ่าน	2 ใบ
เสื่อคลุมอาบน้ำ	✓	✓	✓	ผ่าน	2 ชุด
โทรศัพท์ทางไกล/ ต่างประเทศ	✓	✓	✓	ผ่าน	WIFI โทรศัพท์ ภายในประเทศ
เครื่องใช้ในห้องน้ำ เช่น ครีมอาบน้ำแชมพู ผ้า เช็ดมือ ไดรเป่าผม ปลั๊กไฟสำหรับโถน หวด	✓	✓	✓	ผ่าน	ไดร์ 1500 W ปลั๊กไฟ 220W แปรงสี่ พื้นที่โถนหวด ครีม อาบน้ำ
มีห้องชุดบริการ 2 แบบ	✓	✓	✓	ผ่าน	Superior Studio Deluxe Studio Executive studio Superior 1-bedroom suite Deluxe 1- bedroom suite Superior 2-bedroom suite Deluxe 2- bedroom suite Superior 3-bedroom Suite Deluxe 3- bedroom suite
เครื่องอำนวยความสะดวกส่วนรวม					
ห้องอาหาร	✓	✓	✓	ผ่าน	3 ห้องอาหาร
ห้องออกกำลังกายที่มี อุปกรณ์มากกว่า 5 ชนิด	✓	✓	✓	ผ่าน	มากกว่า 5 ชนิด
ห้องอบไอน้ำ	✓	✓	✓	ผ่าน	มี
ห้องนวด	✓	✓	✓	ผ่าน	มี
สระว่ายน้ำ	✓	✓	✓	ผ่าน	มีขนาด
ห้องประชุม	✓	✓	✓	ผ่าน	1 ส่วน

ข้อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานโรงแรมระดับ 4 ดาว					
ข้อกำหนด	ประเทศ ฝรั่งเศส	สมาคมโรงแรมไทย (THA) และสมาคม ไทยธุรกิจการ ท่องเที่ยว (ATTA)	โรงแรมกรณีศึกษา	ผ่าน ไม่ผ่าน เกณฑ์	รายละเอียดอุปกรณ์ โรงแรมกรณีศึกษา
ห้องประชุมใหญ่	✓	✓	✓	ผ่าน	1 ห้อง
ห้องประชุมย่อยไม่น้อย กว่า 2ห้อง	✓	✓	✓	ผ่าน	2 ห้อง
ระบบตรวจเช็ค	✓	✓	✓	ผ่าน	ป้อมยาม
อุปกรณ์ด้านความ ปลอดภัย	✓	✓	✓	ผ่าน	กล้องวงจรปิด

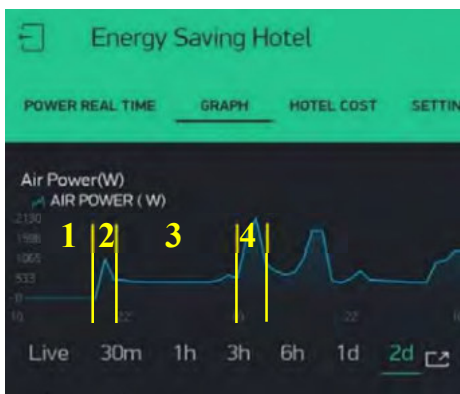
โรงแรมกรณีศึกษาเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าแบบ 3.2.2 ประเภทที่ 3 กิจกรรมขนาดกลาง ใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจอุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว การคิดอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff) และมีอุปกรณ์มาตรฐานดังตาราง 2

ตารางที่ 2 แสดงรายการอุปกรณ์มาตรฐานและคุณสมบัติอุปกรณ์ประจำห้อง

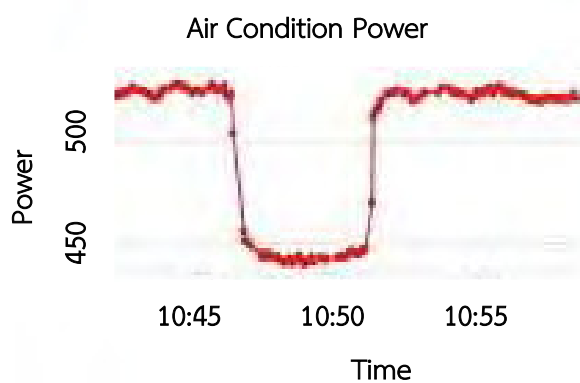
ลำดับ	รายการ	พลังงานไฟฟ้า	จำนวน
1	โทรทัศน์	107 วัตต์	1 เครื่อง
2	กาดม้มน้ำ	1,800 วัตต์	1 เครื่อง
3	เครื่องปรับอากาศ 18,000 BTU	1,442 วัตต์	1 เครื่อง
4	แสงสว่าง นีออน ในห้องนอน	18 วัตต์	1 หลอด
5	แสงสว่าง นีออน ในห้องน้ำ	18 วัตต์	2 หลอด
6	แสงสว่างหลอดแอลอีดีภายในห้อง	12 วัตต์	5 หลอด
7	แสงสว่างหลอดแอลอีดีหัวเตียง ดิมเมอร์	5 วัตต์	2 หลอด
8	แสงสว่างหัวเตียง (โคมไฟ)	32 วัตต์	1 หลอด
9	ตู้เย็น 2 ประตู	157 วัตต์	1 เครื่อง
10	เครื่องสัญญาณเน็ต	5 วัตต์	1 เครื่อง
11	เตารีด 1325	1,325 วัตต์	1 เครื่อง
12	แสงสว่างหลอดแอลอีดีในห้องน้ำ	12 วัตต์	2 หลอด
13	แสงสว่างหลอดแอลอีดีหลอดกลมในห้องน้ำ	4 วัตต์	2 หลอด
14	ไดร์เป่าผม	1,200 วัตต์	1 เครื่อง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ระบบปรับอากาศ ติดตั้งเป็นระบบมาตรฐานเหมือนกันทุกห้อง ประกอบด้วย ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 24,000 BTU ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น Inverter ฉลากเบอร์ 5 กระแสไฟฟ้าสูงสุดแอมแปร์ (จากข้อมูลผู้จำหน่าย) จากการศึกษาพบว่าเครื่องปรับอากาศมีภาระทำความเย็นสูงสุดที่ 1.5 ตันความเย็น ใช้ปริมาณกระแสสูงสุดที่ 7.5 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 1,600 วัตต์ กำลังไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ประมาณ 250 ถึง 450 วัตต์ การใช้งานเครื่องปรับอากาศในระยะเวลา 24 ชม. มีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอยู่ประมาณ 500-1,200 วัตต์ ตามการปรับอุณหภูมิการใช้งานของพฤติกรรมลูกค้าที่เข้ามาใช้บริการ



A

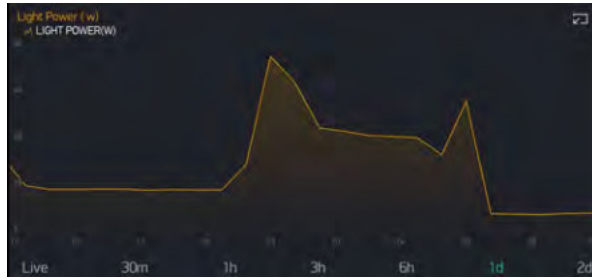


B

ภาพที่ 2 A ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศเป็นช่วงเวลา และ B ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าขณะระบบทำงานตามจังหวะการทำความเย็น

จากภาพที่ 2 A เมื่อพิจารณาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้งานเปรียบเทียบกับระยะเวลาแล้วพบว่า พฤติกรรมของผู้เข้าใช้บริการโรงแรมมีการปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิที่ปรับจะแปรผันตรงกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้งานไป เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้ากับช่วงเวลาในช่วงที่ 1 นั้น เครื่องวัดแสดงผลการประมวลพลังงานไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ 0 วัตต์ ในช่วงเวลา 10.00-18.00 น. ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ห้องพักดังกล่าวยังไม่มีผู้เข้ามาใช้งานจึงทำให้ไม่สามารถตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้งานได้ ช่วงที่ 2 ระยะเวลา 18.00-22.00 น. เมื่อผู้เข้าพักเข้าพักในห้องนั้นแล้วค่าพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศที่สามารถตรวจวัดได้จะแสดงสูงขึ้น โดยเมื่อผู้เข้าพักเข้าพัก ระบบกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Key card) จะสั่งระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในห้องพักให้พร้อมทำงาน ซึ่งปกติทั่วไประบบปรับอากาศจะทำงานทันทีเมื่อมีการเปิดระบบความชื้นของกราฟพลังงานไฟฟ้านั้นจะแสดงออกถึงลักษณะพฤติกรรมในการปรับอุณหภูมิด้วย ช่วงที่ 3 และ 4 ก็จะสามารถอธิบายได้แบบเดียวกับในช่วงที่ 2 อีกด้วย

ระบบแสงสว่าง ใช้หลอดไฟหลายประเภทภายในห้องพัก เพื่อใช้ในการให้พลังงานแสงสว่างและสอดคล้องตามวัตถุประสงค์การใช้งานภายในห้องพัก ได้แก่ หลอดไฟหลอดแอลอีดีแบบกลมและแบบยาว หลอดไส้ ซึ่งมีอัตราการใช้กระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามประเภทของหลอดไฟ โดยภายในห้องพักจะเน้นการใช้พลังงานหลอดไฟแสงสว่างหลอดแอลอีดี หลอดกลม และมีการใช้พลังงานตามช่วงเวลาที่ใช้ใช้งาน



ภาพที่ 3 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในห้องพักในระยะเวลา 24 ชั่วโมง

จากภาพที่ 3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีกำลังการใช้ไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในห้องพักมากในช่วงเวลา 22.00 น. ถึง 7.00 น. จากค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานสูงสุดอยู่ที่ 60 วัตต์ ในช่วงเวลา 22.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีการใช้พลังงานสูงสุด จากการเปิดไฟฟ้าเพื่ออาบน้ำทำธุระส่วนตัวภายในห้องพักและห้องน้ำจากการเปิดหลอดไฟ และจะลดลงในช่วงเวลา 0.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาพักผ่อน ซึ่งมีความแตกต่างไปตามพฤติกรรมการใช้พลังงานแสงสว่าง เช่น ผู้เข้าพักจะมีการเปิดหลอดไฟไว้บริเวณหัวเตียงหรือบริเวณในห้องน้ำหรือระเบียง เพื่อให้มีแสงสว่างเล็กน้อยเวลาเดินไปเข้าห้องน้ำ เนื่องจากเป็นห้องพักของโรงแรมที่ไม่คุ้นเคย เพื่อให้สะดวกเวลาเดินไปห้องน้ำและจะมีพฤติกรรมการใช้พลังงานอีกครั้งในช่วงเวลา และเมื่อพิจารณาจากพฤติกรรมการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้งานเปรียบเทียบกับระยะเวลาแล้วพบว่าพฤติกรรมของผู้ใช้บริการไฟฟ้าจะมีพฤติกรรมการใช้ที่ไม่แตกต่างกันคือ เมื่อเข้าห้องในช่วงแรกเปิดไฟเพื่อสำรวจว่าไฟดวงไหนอยู่ตำแหน่งไหนแล้วจะทำการปิดไฟ และจะเปิดไฟฟ้าแสงสว่างใช้ในเวลากลางคืน ซึ่งช่วงกราฟในช่วงแรกแสดงผลการประมวลพลังงานไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้คือ 0 วัตต์ในช่วงเวลา 12.00 - 16.00 น. ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่าห้องพักดังกล่าวยังไม่มีผู้เข้าพักมาใช้งาน จึงทำให้ไม่สามารถวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้งาน และเมื่อเริ่มมีผู้เข้าพักเข้าพักในห้องนั้นแล้ว ดังแสดงโดยค่าพลังงานไฟฟ้าระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีการถูกเปิดใช้ และที่สามารถตรวจวัดได้ และความชันของกราฟแสดงถึงความสามารถในการใช้ไฟฟ้าจากไฟฟ้าระบบไฟฟ้าแสงสว่างและมีการปิดเมื่อเลิกใช้ โดยการทำงานของไฟฟ้าแสงสว่าง จะมีการทำงานของหลอดและสวิตช์และเมื่อพบว่าไฟดวงไหนไม่ได้ใช้งาน จะมีการปิดไฟฟ้าแสงสว่างดังกล่าวในครั้งที่ 2 โดยเมื่อผู้เข้าพักเข้าพัก ระบบกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Key card) จะสั่งระบบเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในห้องพักให้พร้อมทำงาน ซึ่งปกติทั่วไประบบไฟฟ้าแสงสว่างจะทำงานทันทีเมื่อมีการเปิดสวิตช์ไฟฟ้า ความชันของกราฟในช่วงแรกแสดงว่า หลอดไฟและปลั๊กเสียบทำงานพร้อมกันจึงทำให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้งานไปตอนต้นนั้นกว่า 60 วัตต์ และผู้เข้าพักพบว่าหลอดไฟไหนจำเป็นจะทำการเปิดเพื่อใช้งานต่อและปิดเมื่อเลิกใช้



ภาพที่ 4 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในห้องพัก

ระบบปลั๊กไฟผนัง ติดตั้งระบบมาตรฐานเหมือนกันทุกห้องในระดับเดียวกันและแบ่งการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในห้องพักจะมีลักษณะ 2 ปัจจัย คือ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่โรงแรมมีให้เช่น โทรทัศน์ ตู้เย็น เตารีด กาต้มน้ำร้อน ไมโครเวฟ และ เครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนตัวของผู้เข้าพัก เช่น ที่ชาร์จมือถือ โน้ตบุ๊ก และอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนตัว โดยปริมาณพลังงานไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปริมาณของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในห้องและผู้ใช้บริการนำเข้ามา

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยทำการศึกษาคู่มือการใช้งานพลังงานโดยเฉลี่ยของระบบต่าง ๆ ในห้องพักที่ทำการศึกษาคู่มือการใช้งานพลังงานภายในห้องพัก พบว่า การใช้พลังงานโดยส่วนใหญ่เป็นการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ รองลงมาคือระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับห้องพัก

การวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานของผู้เข้าพัก

1. ความเข้าใจ (Cognitive Component) หลังจากการติดตั้งการตรวจวัดภายในห้องพัก ทำให้ผู้เข้าพัก มีความเข้าใจในเรื่องการใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ หลอดไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ที่ใช้วิธีการปลั๊ก ถึงปริมาณกระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ และเรียนรู้ถึงความสูญเสียทางด้านพลังงานจากการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าทิ้งไว้เมื่อไม่อยู่ห้อง และเข้าใจถึงวิธีการประหยัดไฟฟ้าที่มีความสูญเสียมาก ได้แก่เครื่องปรับอากาศที่มีอัตราการใช้ไฟฟ้ามากถึงร้อยละ 65 และน้อยสุดอยู่ที่ร้อยละ 57

2. ความรู้สึก (Affective Component) หลังจากที่มีผู้เข้าพักเข้าใจถึงอัตราการใช้นิยหน่วยไฟฟ้าและความสูญเสียทางพลังงานมากขึ้น ส่งผลต่อการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้เข้าพักมากยิ่งขึ้น จากการได้เรียนรู้ที่เห็นเป็นนามธรรมของเครื่องปรับอากาศที่เป็นค่าใช้จ่ายโดยส่วนใหญ่ของเครื่องปรับอากาศซึ่งส่งผลต่อทัศนคติและความรู้สึกในเรื่องการมีส่วนร่วมในการลดการใช้พลังงานโดยที่ไม่กระทบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยปกติ และส่งผลต่อการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการปิดเมื่อเลิกใช้และความรู้สึกในเรื่องของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

3. พฤติกรรม (Behavior Component) จากการเรียนรู้ เข้าใจและเห็นภาพทางด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆ ของห้องพัก ส่งผลต่อการเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานในทุกเชื้อชาติ และวัตถุประสงค์การเข้าพัก ที่ต้องมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งผู้เข้าพักของโรงแรมเป็นลูกค้าในยุโรปที่มีระยะเวลาในการเข้าพักมากกว่า 2 วัน โดยส่วนใหญ่จะเข้าพัก ที่ประมาณ 10 วัน การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานส่งผลต่อการลดการใช้พลังงานโดยสูญเสียไปได้อีก และจากพฤติกรรมดังกล่าวทำให้ลูกค้าได้รับส่วนลดจากค่าเฉลี่ยทางไฟฟ้า เป็นการร่วมกันสร้างจิตสำนึกในการใช้พลังงาน ที่ได้ผลตอบแทนที่สามารถจับต้องได้ และในขณะเดียวกันได้เกิดกระบวนการสร้างจิตสำนึกในการลดการใช้พลังงานในระยะยาว ให้แก่ผู้เข้าพักในการนำกลับไปใช้ยังที่บ้านพัก และการบอกต่อแก่ครอบครัว ครอบครัวยุ และเพื่อน เพื่อให้เข้าใจถึงคุณค่าของการตระหนักถึงคุณค่าของพลังงานและสิ่งแวดล้อมจากการสร้างเครื่องมาตรวัดพลังงานอัจฉริยะ และการสร้างโมบายแอปพลิเคชันให้เกิดการเรียนรู้ ซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมในระยะยาว จะเห็นได้ว่าเมื่อลูกค้ามีพฤติกรรมมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์พลังงานส่งผลต่อการประหยัดพลังงานโดยสมัครใจ ส่งผลให้การใช้พลังงานในโรงแรมลดลงจากสัดส่วนของผู้เข้าพักอันเกิดจากการอนุรักษ์พลังงาน จากการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมปิดเมื่อไม่ใช้และการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมใช้พลังงานอย่างสูญเสียเปลือง จากการมีความรู้และความเข้าใจในเรื่องการใช้พลังงานมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการบอกเล่าถึงประสบการณ์ หรือความรู้ในเรื่องพลังงานอันเกิดจากความเข้าใจที่เห็นภาพการใช้พลังงานมากยิ่งขึ้น อันจะเห็นได้จากกลุ่มลูกค้าเชื้อชาติเยอรมันมีการบอกเล่าถึงประสบการณ์การเข้าพักในโรงแรมที่มีส่วนในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งเป็นกลุ่มลูกค้าที่เข้าพักในช่วงเดือนกันยายนถึงธันวาคม และในช่วงสถานการณ์โควิดได้เกิดการบอกต่อถึงมาตรฐานความปลอดภัย การมีส่วนร่วมลดจากการมีส่วนร่วมในการลดการใช้พลังงาน ส่งผลต่อจำนวนผู้เข้าพักได้มีการพักในระยะยาวขึ้น และส่งผลต่อการแนะนำให้เข้ามาพักในโรงแรมมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

ลักษณะการใช้พลังงานของผู้เข้าพักส่วนใหญ่จะใช้พลังงานทั้ง 3 ประเภท ก่อนมีการดำเนินงานวิจัยนี้จะไม่เกิดผลประหยัดในทุกด้าน ซึ่งปัจจัยด้านเชื้อชาติ เพศหรืออายุจึงยังไม่เป็นปัจจัยหลักนั้น แต่พบว่าปัจจัยด้านทัศนคติต่อการใช้บริการที่ต้องตอบแทนค่าบริการนั้นในจำนวนมาก ส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้พลังงานอย่างไม่คุ้มค่าและไม่เหมาะสม เพื่อให้ตนเองมีความคุ้มค่าต่อการรับบริการนั้นๆ สูงสุด เป็นผลต่อค่าพลังงานรวมของทั้งกิจกรรมโรงแรมมีปริมาณสูงตลอดจนปัจจุบันโรงแรมยังไม่มีระบบ แนวทางต่อการดำเนินการด้านการอนุรักษ์พลังงาน

ดังนั้น การนำระบบการตรวจวัดพลังงานอัจฉริยะในระดับย่อย ที่พัฒนาระบบให้สามารถใช้งานได้อย่างสะดวก และมีช่องทางแสดงผลที่หลากหลาย ส่งผลให้ลดปริมาณพลังงานลงได้ โดยเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อผลประหยัดนั้นเชื้อชาติ เพศ และวัตถุประสงค์การเข้าพักส่งผลต่อผลประหยัดที่เกิดขึ้น พบว่าพฤติกรรมการปรับอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเครื่องปรับอากาศเชื้อชาติยุโรปสามารถแสดงผลการประหยัดได้สูงกว่าเชื้อชาติเอเชียจากการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศน้อย เพศหญิงมีแนวโน้มการใช้พลังงานน้อยกว่าเพศชาย เป็นปัจจัยจากมวลร่างกายที่มีน้อยกว่าเพศชาย ที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนได้รวดเร็วกว่า จึงทำให้ปริมาณพลังงานสำหรับระบบปรับอากาศน้อยกว่า และวัตถุประสงค์การเข้าพักของทั้ง 2 ประเภท ไม่มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัดเป็นผลจากกำหนดเวลาการเข้าออกห้องพักที่ชัดเจนจากวัตถุประสงค์ของการใช้บริการครั้งนั้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาทุกท่านหลักที่ให้โอกาสในการทำการศึกษาค้นคว้าที่ก่อให้เกิดความรู้ทางด้านพลังงานเป็นอย่างดี และบุคลากรของวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ทุกคนที่ดูแลเอาใจใส่สนับสนุนกิจกรรมต่าง ๆ ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Chen, S. Bernard and I. Rahman, "Greenwashing in hotels: A structural model of trust and behavioral intentions", *Journal of Cleaner Production*, 2019, 206, 326-335.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.168>
- [2] A. Gupta, S. Dash and A. Mishra, "All that glitters is not green: Creating trustworthy ecofriendly services at green hotels", *Tourism Management*, 2019, 70, 155-169.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.08.015>
- [3] J. Navratil, K. Picha, M. Buchecker, S. Martinat, R. Svec, M. Brezinova and J. Knotek, "Visitors' preferences of renewable energy options in "green" hotels", *Renewable Energy*, 2019, 138, 1065-1077. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.043>
- [4] D. N. Nguyen, F. Imamura and K. Iuchi, "Public-private collaboration for disaster risk management: A case study of hotels in Matsushima, Japan", *Tourism Management*, 2017, 61, 129-140.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2017.02.003>
- [5] I. Farrou, M. Kolokotroni and M. Santamouris, "A method for energy classification of hotels: A case-study of Greece", *Energy and Buildings*, 2012, 55, 553-562.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.010>

- [6] A. Kresteniti, “Development of a concept for energy optimization of existing Greek Hotel buildings”, **Procedia Environmental Sciences**, 2017, 38, 290-297.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.080>
- [7] F. Wang, H. Lin and J. Luo, “Energy Consumption Analysis with a weighted Energy Index for a Hotel Building”, **Procedia Engineering**, 2017, 205, 1952-1958.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.057>
- [8] M. Geetha, P. Singha and S. Sinha, “Relationship between customer sentiment and online customer ratings for hotels - An empirical analysis”, **Tourism Management**, 2017, 61, 43-54.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.12.022>
- [9] Z. Yao, Z. Zhuang and W. Gu, “Study on Energy Use Characteristics of Hotel Buildings in Shanghai”, **Procedia Engineering**, 2015, 121, 1977-1982. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.195>
- [10] C. Becchio, S. P. Corgnati, M. Vio, G. Crespi, L. Prendin and M. Magagnini, “HVAC solutions for energy retrofitted hotel in Mediterranean area”, **Energy Procedia**, 2017, 133, 145-157.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.380>
- [11] A. Michopoulos, I. Ziogou, M. Kerimis and T. Zachariadis, “A study on hot-water production of hotels in Cyprus: Energy and environmental considerations”, **Energy and Buildings**, 2017, 150, 1-12.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.071>
- [12] K. Parpairi, “Sustainability and energy use in small scale Greek Hotels: Energy saving strategies and environmental policies”, **Procedia Environmental Sciences**, 2017, 38, 169-177.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.099>

การเพิ่มมูลค่าด้วยเทคโนโลยีไบโอดราย สำหรับการจัดการขยะชุมชนกรณีศึกษา:

องค์การบริหารส่วนตำบลท่ามะนาว อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี เพื่อนำไปสู่การพัฒนาเมืองที่ยั่งยืน
Value-Added of Biodrying Technology for Community Waste Management: Thamanao
Sub district Administration Organization, Chaibadan District, Lopburi Province: Towards
Development Sustainable Cities

ประพิธาร์ ธารารักษ์¹ พิธิษฐ์ มณีโชติ¹ พัชรินทร์ เยาวรัตน์¹ พรทิพย์ เม่นสิน¹ บงกช ประสิทธิ์^{1,*} ชุศักดิ์ รักเสนาะ²

อันธิกา เพชร¹ และ สุรนาท แซ่ย่าง¹

Prapita Thanarak¹, Pisit Maneechot¹, Phatcharin Yaowarat¹, Pornthip Mensin¹, Bongkot Prasit^{1,*},
Chusak Raksanau², Antika Phetcharee¹ and Suranat Saeyang¹

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

²กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เทศบาลเมืองอรัญญิก พิษณุโลก 65000

¹School of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Naresuan University, Phitsanulok 65000

²Department of Public Health and Environment, Aranyik Town Municipality, Phitsanulok 65000

* Corresponding author, e-mail: bongkotprasit19@gmail.com, Tel.: 083-6259396

Received: 12 October 2020, Revised: 3 July 2021, Accepted: 1 September 2021, Published online: 25 December 2021

Abstract

This article presents the concept of waste management and clean energy production by promoting innovative waste management using Biodry system to improve the quality of Refuse Derived Fuel (RDF) through the mechanical and biological waste treatment (MBT). Biodry technology is applied to waste after the MBT process will increase the waste heat value, lower the waste moisture content and reduce the time for waste degradation. RDF prototype system is developed using unique biodry technology combined with the solar energy powered supply to the air pump to feed air to manage municipal waste for medium-sized local government organizations. Community waste will be converted into RDFs. Moreover, it can be used as a fuel for renewable energy in the form of electricity or heat, which will be an alternative to help reduce environmental problems in waste. The prototype system was installed at Tha Manao Subdistrict Administrative Organization, Chaibadan District, Lopburi Province. As a result of the research, it was found that the developed Biodry system was like an aerator. It has the potential to effectively be used to condition fresh waste achieving higher heat value and lower humidity. The oxidative degradation process generates

heat, which, when tested with new waste, heats up to 49 degrees Celsius, which helps to drain excess moisture from the waste and increase the heat value until the internal waste dries. When the waste dries, the surface contaminated with soil or the putty coating will be removed. The process could increase the heating value in 30 days which is a short amount of time compared to the conventional drying method. The energy from solar cells is the power source for the aeration system. The waste can be reconditioned to a heat value of more than 5,000 kcal/kg and less than 30% humidity. These wastes are suitable quality fuels for use in the heat or general industry. The biodry process provided added value from the waste management and sustainability in the natural environment and landscape as well as increase the community economy.

Keywords: Sustainable Cities, Smart City, Waste Management, Community Waste, Biodry, Value Added

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวคิดการบริหารจัดการขยะและการผลิตพลังงานสะอาด โดยการส่งเสริมการพัฒนานวัตกรรมของการบริหารจัดการขยะที่ใช้ระบบ Biodry ในการปรับปรุงคุณภาพขยะเชื้อเพลิง (Refuse Derived Fuel: RDF) ที่ผ่านระบบบำบัดเชิงกลชีวภาพ (Mechanical and Biological Waste Treatment: MBT) ซึ่งจะทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นและความชื้นของขยะลดลง และลดระยะเวลาในการย่อยสลายขยะ การพัฒนาระบบต้นแบบตู้ผลิต RDF โดยใช้เทคโนโลยีไบโอดรายร่วมกับแหล่งจ่ายพลังงานให้กับปั๊มลมเพื่อป้อนอากาศโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อจัดการขยะชุมชนสำหรับองค์การบริหารส่วนท้องถิ่น ขนาดกลางจะเป็นการนำขยะชุมชนมาแปรรูปเป็น RDF และสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงด้านพลังงานทดแทนทั้งในรูปของไฟฟ้าหรือความร้อนซึ่งจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการจัดการสิ่งแวดล้อมในเรื่องของขยะ โดยระบบต้นแบบได้ดำเนินการติดตั้งที่ องค์การบริหารส่วนตำบลท่ามะนาว อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี จากผลของการศึกษาวิจัยพบว่า ระบบ Biodry ที่ถูกพัฒนามีลักษณะเป็นตัวเติมอากาศมีศักยภาพที่จะนำมาใช้ในการปรับสภาพขยะสด ให้มีค่าความร้อนสูงขึ้นและความชื้นลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลจากกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนเกิดความร้อนซึ่งเมื่อนำมาทดลองกับขยะสด มีความร้อนสูงถึง 49 องศาเซลเซียส โดยความร้อนนี้จะช่วยในการระบายความชื้นส่วนเกินออกจากขยะ และเพิ่มค่าความร้อนจนขยะภายในแห้งเมื่อขยะมีความแห้งจะทำให้พื้นผิวที่มีการปนเปื้อนจากดินหรือสารเคลือบฉนวนหลุดออกไป สามารถทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้นในระยะเวลา 30 วัน เป็นระยะเวลาอันสั้น และใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานให้กับระบบเติมอากาศ สามารถปรับสภาพขยะให้มีค่าความร้อนมากกว่า 5,000 kcal/kg และความชื้นน้อยกว่า 30% ขยะเหล่านี้จะเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมความร้อนหรืออุตสาหกรรมทั่วไปได้ ส่งผลให้เกิดมูลค่าเพิ่มของชุมชนจากการจัดการขยะ และเกิดความยั่งยืนในส่วนของสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติและภูมิทัศน์ การจัดการขยะอย่างถูกสุขลักษณะ และเศรษฐกิจของชุมชน

คำสำคัญ: เมืองยั่งยืน เมืองอัจฉริยะ การจัดการขยะ ขยะชุมชน Biodry มูลค่าเพิ่ม

บทนำ

ปัจจุบันเมืองทั่วโลกประสบปัญหาและความท้าทายในเรื่องต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ปัญหาเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งส่งผลให้ภาครัฐ ภาคเอกชน และประชาชน จำเป็นต้องแก้ปัญหาและพัฒนาเมืองเพื่อความยั่งยืน นำไปสู่ผลลัพธ์ที่สำคัญ เช่น ความสามารถในการยืดหยุ่นรับการเปลี่ยนแปลง (Resilience) การพึ่งพาตนเอง (Self-reliance) และประโยชน์ต่อเมืองอื่น (Positive Externality) บทความนี้นำเสนอแนวคิดการบริหารจัดการขยะและการผลิตพลังงานสะอาด ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการพัฒนาไปสู่เมืองที่ยั่งยืน โดยการส่งเสริมการพัฒนาวัฏกรรมของการบริหารจัดการขยะที่ใช้ระบบ Biodry ในการปรับปรุงคุณภาพขยะเชื้อเพลิง (Refuse Derived Fuel : RDF) ที่ผ่านระบบบำบัดเชิงกลชีวภาพ (Mechanical and Biological Waste Treatment : MBT)

ปัญหาการจัดการขยะในเมืองและเขตเทศบาลต่าง ๆ ของประเทศไทย เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อม ที่รุนแรงและสะสมมาช้านาน ในปัจจุบันประเทศไทยมีขยะเกิดขึ้นวันละ 44,000 ตัน หรือปีละ 16 ล้านตัน ใช้วิธีเทกองกลางแจ้งทำให้มีหลายพื้นที่มีปัญหาทั้งในด้านทัศนียภาพ กลิ่น น้ำเสียและแหล่ง เพาะพันธุ์แมลงวัน จนทำให้ประชาชนต่อต้านการดำเนินงานฝังกลบของเทศบาล ทำให้ต้องปิดตัวลง ไปในหลายพื้นที่ ปัจจุบันปัญหาขยะมูลฝอยของประเทศไทยกำลังทวีความรุนแรงมากขึ้น และมีปริมาณขยะเก่าสะสมถึง 28 ล้านตัน [1] โดยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขยะเหล่านี้มี ศักยภาพที่จะผลิต เชื้อเพลิงจากขยะ (RDF) แต่ด้วยลักษณะของขยะในประเทศไทย ไม่มีการคัดแยก และปนเปื้อน ส่งผลให้ขยะมีความชื้นเฉลี่ย 55.89% [2] กระบวนการเชิงกลชีวภาพเป็นอีก กระบวนการเชิงกลที่ถูกนำมาใช้ในการย่อยอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในขยะมูลฝอย ประกอบด้วยกรรมวิธี พื้นฐานคือ กระบวนการเชิงกล คือการคลุกเคี้ยวขยะ เข้าด้วยกัน เพื่อเตรียมขยะให้พร้อมก่อนการนำไปสู่กระบวนการทางชีวภาพ หลังจากเมื่อขยะผ่านกระบวนการเชิงกลในการคลุกเคล้ากันดีแล้ว ขั้นตอนที่สองคือกระบวนการทางชีวภาพ โดยนำขยะมาตั้งกองหมักอยู่กับที่โดยจัดให้มีการถ่ายเท อากาศตามธรรมชาติด้วยกรรมวิธีเฉพาะ เป็นระยะเวลาประมาณ 9 เดือน [3] ขยะที่ผ่านกระบวนการเชิงกลชีวภาพ (MBT) เป็นขยะมูลฝอยที่มีศักยภาพที่สามารถนำมาผลิตเชื้อเพลิงจากขยะ ระบบ MBT เป็นระบบขนาดใหญ่ตั้งระบบอยู่กลางแจ้ง ใช้ระยะเวลาสั้น เมื่อกระบวนการสิ้นสุด ความชื้นสูงและค่าความร้อนจึงต่ำ เนื่องจากประเทศไทยมีปัญหาฝนตก ยกต่อการควบคุม ดังนั้น ถ้าสามารถลดการปนเปื้อนและความชื้นออกไปได้ขยะเหล่านี้จะเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมความร้อนหรืออุตสาหกรรมอื่น ๆ อีกทั้งยังสามารถแก้ไข ปัญหาขยะสะสมที่มีปริมาณมากและมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงจากขยะ (Refuse Derived Fuel, RDF) เป็นการปรับปรุง และแปลงสภาพของขยะมูลฝอย ให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติใน ด้านค่าความร้อน (Heating Value) ความชื้น ขนาดและความหนาแน่น เหมาะสมในการใช้เป็น เชื้อเพลิงป้อน และมืองค์ประกอบทั้งทางเคมีและกายภาพ สม่่าเสมอ คุณลักษณะทั่วไปของเชื้อเพลิง ขยะ ประกอบด้วยปลดเชื้อโรคจากการอบด้วยความร้อน ลดความเสี่ยงต่อการสัมผัสเชื้อโรค ไม่มีกลิ่น มีขนาดเหมาะสมต่อการป้อนเตาเผา-หม้อไอน้ำ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 15-30 มิลลิเมตร ความ ยาว 30-150 มิลลิเมตร) มีความหนาแน่นมากกว่า ขยะมูลฝอยและชีวมวลทั่วไป (450-600 kg/m³) เหมาะสมต่อการจัดเก็บ และขนส่ง มีค่าความร้อนสูงเทียบเท่ากับชีวมวล (~ 13-18 MJ/kg) และมี ความชื้นต่ำ (~ 5-10%) ลดปัญหามลภาวะจากการเผาไหม้ เช่น NO_x และไดออกซินและฟูราน ซึ่ง เป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการแก้ปัญหาการบริหารจัดการขยะของประเทศไทย โดยลดการฝังกลบให้ น้อยลง แต่เพิ่มอัตราการน ากกลับมาใช้ใหม่ให้มากขึ้น เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนถ่านหิน โดยในปัจจุบันการผลิต RDF เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ยังมีน้อยมาก เนื่องจากยังขาดข้อมูลการใช้ งานและความต้องการของ ผู้ใช้ในแต่ละอุตสาหกรรมทั้งในด้านคุณภาพคุณลักษณะ และราคา ตลอดจน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมยังไม่มีกรรวบรวมข้อมูล แหล่งวัตถุดิบที่มีศักยภาพ ที่สามารถนำขยะมาผลิตเป็น ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงจากขยะได้ กอปรกับปัจจุบันปัญหาขยะชุมชนก็เป็น ปัญหาที่หน่วยงานและภาคส่วน ที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องเข้ามามีส่วนร่วมในการแก้ไข เพื่อลดปัญหาท้องถิ่นการต่อต้าน บางครั้ง

อาจมี สุนัขคีย์เซียส่งกลิ่นเหม็นเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมภายในชุมชน ส่งผลปัญหาต่อสุขภาพของคนภายใน ชุมชนตามอีกด้วย หากไม่มีการจัดการที่ดีและเป็นระบบจะส่งผลกระทบต่อทั้งในภาคเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อมและสุขอนามัยของประชาชน Biodry เป็นเทคนิคการอบแห้งโดยใช้กระบวนการย่อยสลาย ของจุลินทรีย์ แบคทีเรีย และเชื้อรา เพื่อลดความชื้นของขยะอินทรีย์หรือขยะมูลฝอยชุมชน (MSW) [4] วัตถุประสงค์ในการที่จะนำระบบ Biodry มาใช้คือ เพิ่มค่าความร้อนของขยะ ซึ่งอาศัยกิจกรรมของการย่อยสลายของจุลินทรีย์โดยธรรมชาติในขยะที่ใช้กระบวนการใช้ออกซิเจนและคายความร้อนออกมา อินทรีย์วัตถุที่ผสมอยู่ในขยะมูลฝอยชุมชน จะถูกย่อยสลาย จะเหลือขยะพลาสติก และอื่นๆ ที่ไม่ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในขยะโดยธรรมชาติ เริ่มมีการศึกษากระบวนการ Biodry เพื่อเพิ่มค่า ความร้อนและลดความชื้น ให้กับกากตะกอนน้ำเสียและเยื่อกระดาษ [5] และได้มีการนำมาใช้ร่วมกับ ขยะอินทรีย์ที่มีการคัดแยกจากขยะมูลฝอยชุมชน เพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ย [6, 7] พบว่าขยะที่ผ่านกระบวนการ Biodry จากความชื้น 73.0% เป็น 48.3% [8] โดยอาศัยการควบคุมการปล่อยความชื้น อุณหภูมิ อัตราการให้อากาศที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายแบบใช้อากาศของจุลินทรีย์ [9] [10] ในอุตสาหกรรมที่ใช้ความร้อน เช่น ในปูนซีเมนต์ต้องการเชื้อเพลิงจากขยะ ถึง 40 % เชื้อเพลิง จากขยะจะต้อง มีค่าความร้อนขั้นต่ำ (LHV) 4,685 kcal/kg ความชื้น 12%, คลอรีน 0.6% และ 0.2% สารประกอบกำมะถัน ตามลำดับ นอกจากนี้ระดับของโลหะหนักเช่นแคดเมียมโครเมียมปรอท และตะกั่วไม่เกินมาตรฐานของสหภาพยุโรป [11] จากการทดสอบ Biodry กับขยะมูลฝอย ใน reactor ขนาด 50 กิโลกรัม พบว่า สามารถลดความชื้นจาก 66.5% เป็น 24.1% และค่าความร้อน เพิ่มขึ้นจาก 1,210 kcal/kg เป็น 3,420 kcal/kg [12] แนวคิดการนำระบบ Biodry มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพขยะเชื้อเพลิงที่ผ่านระบบ MBT เนื่องจากในประเทศไทยขยะมูลฝอยไม่มีการคัดแยกทำให้มีการปะปนกันของขยะแห้งขยะสดและขยะ พลาสติกในขณะที่มีปริมาณฝนตกมาก ส่งผลให้ขยะที่ผ่านกระบวนการ MBT ที่สะสมก่อนนำไปใช้ใน การผลิต RDF มีค่าความร้อนต่ำและความชื้นสูง ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลา 9 เดือน ในขณะที่ภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยรับซื้อขยะเพื่อไปเป็นพลังงาน โดยพิจารณาจากความร้อนและ ความชื้นที่ส่งผลต่อราคาขยะที่ได้ การนำเทคโนโลยีไบโอดราย มาใช้กับขยะหลังผ่านกระบวนการ MBT จะทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นและความชื้นของขยะลดลง และลดระยะเวลาในการย่อยสลายขยะ ซึ่งหัวใจทั้งหมดอยู่ที่การควบคุมปริมาณและเวลาในการให้อากาศซึ่งถือเป็นหัวใจของระบบดังกล่าว จากการพัฒนาระบบดังกล่าวสามารถเพิ่มค่าความร้อนและความชื้นได้ตามความต้องการของ ภาคอุตสาหกรรม อันส่งผลให้เกิดการนำขยะที่มีการสะสมตามแหล่งฝังกลบต่าง ๆ นำมาปรับสภาพให้ เป็นพลังงานทดแทนต่อไป จึงมีการมุ่งเน้นในการใช้ Biodry เพื่อปรับปรุงคุณภาพขยะที่ผ่านจาก กระบวนการ MBT เพื่อแก้ปัญหา ค่าความร้อน ความชื้น และลดเวลาในการย่อยสลายขยะ เพื่อให้ได้ RDF เพื่อให้มีค่าความร้อน $\geq 5,000$ kcal/kg และความชื้น $\leq 30\%$ เป็นไปตามความต้องการของ ภาคอุตสาหกรรมซึ่งจะส่งผลต่อการลดปัญหาขยะของประเทศไทยได้ การพัฒนาระบบต้นแบบตู้ผลิต RDF โดยใช้เทคโนโลยีไบโอดราย ร่วมกับแหล่งจ่ายพลังงานให้กับบิ๊มลมเพื่อป้อนอากาศโดยใช้เซลล์ แสงอาทิตย์ เพื่อจัดการขยะชุมชน สำหรับองค์การบริหารส่วนท้องถิ่นขนาดกลางจะเป็นการนำ ขยะ ชุมชนมาแปรรูปเป็น RDF และสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงด้านพลังงานทดแทนทั้งในรูปแบบของไฟฟ้าหรือความร้อนซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการจัดการสิ่งแวดล้อมในเรื่องของขยะต่อไป

วิธีการวิจัย

แนวคิดการนำระบบ Biodry มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพขยะเชื้อเพลิงที่ผ่านระบบ MBT เนื่องจากในประเทศไทยขยะมูลฝอยไม่มีการคัดแยกทำให้มีการปะปนกันของขยะแห้งขยะสดและขยะพลาสติกในขณะที่มีปริมาณฝนตกมาก ส่งผลให้ขยะที่ผ่านกระบวนการ MBT ที่สะสมก่อนนำไปใช้ในการผลิต RDF มีค่าความร้อนต่ำและความชื้นสูง ส่งผลให้ต้องใช้ระยะเวลา 9 เดือน ในขณะที่ ภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยรับซื้อขยะเพื่อไปเป็นพลังงาน โดยพิจารณาจากความร้อนและความชื้นที่ส่งผลต่อราคาขยะที่ได้ การนำเทคโนโลยี Biodry มาใช้กับขยะหลังผ่านกระบวนการ MBT จะทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นและความชื้นของขยะลดลง และลดระยะเวลาในการย่อยสลายขยะ ซึ่ง หัวใจทั้งหมดอยู่ที่การควบคุมปริมาณและเวลาในการให้อากาศซึ่งถือเป็นหัวใจของระบบดังกล่าว จากการพัฒนาระบบดังกล่าวสามารถเพิ่มค่าความร้อนและความชื้นได้ตามความต้องการของ ภาคอุตสาหกรรม อันส่งผลให้เกิดการนำขยะที่มีการสะสมตามแหล่งฝังกลบต่างๆ นำมาปรับสภาพให้ เป็นพลังงานทดแทนต่อไป จึงมีการมุ่งเน้นในการใช้ Biodry เพื่อปรับปรุงคุณภาพขยะที่ผ่านจา กระบวนการ MBT เพื่อแก้ปัญหา ค่าความร้อน ความชื้น และลดเวลาในการย่อยสลายขยะ เพื่อให้ได้ RDF เพื่อให้มีค่าความร้อน $\geq 5,000$ kcal/kg และความชื้น $\leq 30\%$ เป็นไปตามความต้องการของ ภาคอุตสาหกรรมซึ่งจะส่งผลต่อการลดปัญหาขยะของประเทศไทยได้ การพัฒนาระบบต้นแบบผู้ผลิต RDF โดยใช้เทคโนโลยีไบโอไตราย ร่วมกับแหล่งจ่ายพลังงานให้กับปฏิกิริยาเพื่อป้อนอากาศโดยใช้เซลล์ แสงอาทิตย์ เพื่อจัดการขยะชุมชนสำหรับองค์การบริหารส่วนท้องถิ่นขนาดกลางจะเป็นการนำขยะ ชุมชนมาแปรรูปเป็น RDF และสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงด้านพลังงานทดแทนทั้งในรูปแบบของไฟฟ้าหรือความร้อนซึ่งจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาการจัดการสิ่งแวดล้อมในเรื่องของขยะต่อไป

ในการดำเนินงานกิจกรรมได้วางแผนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. พัฒนาและออกแบบระบบต้นแบบผู้ผลิต RDF โดยใช้เทคโนโลยีไบโอไตรายเพื่อจัดการขยะชุมชน
2. สร้างระบบฯ และทดสอบสมรรถนะระบบต้นแบบฯ และ ทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเชื้อเพลิงก่อนและหลังกระบวนการเข้าสู่ผู้ผลิต RDF
3. วิเคราะห์ผลการดำเนินการวิจัย และปรับปรุงและปรับแก้ระบบต้นแบบฯ ให้มีความสมบูรณ์
4. เขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูลวิทยาลัยพลังงานทดแทน และในพื้นที่เป้าหมายองค์การบริหารส่วน ตำบลท่ามะนาว อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ภาพกิจกรรมการดำเนินการเก็บข้อมูลในการจัดการขยะเป็น RDF โดยใช้ระบบไบโอดีรีย (Bioidry) ร่วมกับแหล่งจ่ายพลังงานให้กับปื้มลมเพื่อป้อนอากาศโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน



ภาพที่ 1 กิจกรรมในการเก็บข้อมูลสำหรับการวิจัยภาคสนาม



ภาพที่ 2 กิจกรรมในการเก็บข้อมูลสำหรับการวิจัยภาคสนาม (ต่อ)

ผลการทดสอบระบบตู้ Bio-drying ในการปรับสภาพขยะเพื่อเป็น RDF ขยะมูลฝอยชุมชนของเทศบาลนคร พิษณุโลก เป็นขยะสดที่ผ่านกระบวนการเชิงกลด้วยเครื่อง Homogenization เป็นเวลา 45 นาที เพื่อฉีกถุงขยะและคลุกเคล้า ขยะ จากผลการวิเคราะห์ ทางห้องปฏิบัติการจะพบว่า ขยะเหล่านี้มีความชื้นสูง มีค่าความชื้นก่อนเข้าระบบ 53.5% (มาตรฐาน แห่ง) และมีค่าความร้อนก่อนเข้าระบบ 2,541 kcal/kg นำเอาขยะใส่เข้าระบบ Biodry ในปริมาณ 1,469 กิโลกรัม โดย องค์ประกอบขยะของที่เข้าระบบนั้นแสดงดัง ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงสัดส่วนองค์ประกอบขยะสดก่อนและหลังจาก ระบบ Biodry

ประเภทขยะ	อัตราส่วนองค์ประกอบขยะ(%)	
	ก่อน	หลัง
พลาสติก	15.87%	49.73%
กระดาษ	4.31%	8.3%
โฟม	0.33%	1.09%
โลหะ	0.9%	0%
แก้ว, เซรามิค	1.07%	0.82%
ผ้า หนึ่ง, ยาง	0.17%	0.55%
หิน กรวด	0.4%	0%
เปลือก, กระดุก	1.07%	0.27%
อินทรีย์วัตถุ* (เศษอาหาร,พืช)	45.95% (เบียดขึ้น)	40.16 (แห้ง)
ของเสียจากสิ่งมีชีวิต*	0.33%	0%
อื่นๆ	30.83%	0%

ซึ่งจากผลการทดลองนี้จะ เห็นว่าน้ำหนักของขยะเริ่มทดลอง 1,469 กิโลกรัม หลังจาก 30 วัน ค่าความร้อนเพิ่มขึ้น และความชื้นลดลง จากน้ำหนักสุดท้าย พบว่าน้ำหนักเหลือเพียง 842 กิโลกรัมสูญเสียน้ำหนักไป 627 กิโลกรัม คิดเป็น 43% แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำหนัที่หายไปจะเป็นน้ำ หรือความชื้น ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดง ค่า LHV % ความชื้น และ น้ำหนักมวล ของระบบ Biodry ตามระยะเวลา

รายละเอียด	ขยะเริ่มต้น	Biodry (30 วัน)	ส่วนต่างคิดเป็น %
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	1,469	842.60	43%
% ความชื้น (Dry basis)	53%	10.43%	42%
ค่า LHV (kcal/kg)	2,541	7,890	67%

ในกระบวนการ Biodry อุณหภูมิเป็นสิ่งบ่งชี้ถึงการทำงานของระบบ ซึ่งอุณหภูมิของขยะ ที่นำมาทำการทดลองมีอุณหภูมิ 28.25 °C และค่อยเพิ่มขึ้น ในช่วง 2-3 วันแรก เนื่องจากจุลินทรีย์ ปรับสภาพเข้าสู่กระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน โดยอุณหภูมิภายในระบบในกองจะค่อยสูงขึ้นจะ สูงถึง 45-49 °C โดยที่อุณหภูมิภายนอกอยู่ที่ 32-34 °C และจะคงที่จนเกือบเท่ากับอุณหภูมิภายนอก ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงอุณหภูมิภายในระบบ Biodry เปรียบเทียบกับภายนอกระบบ

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองสรุปได้ดังนี้ ระบบ Biodry ที่ถูกพัฒนามีลักษณะเป็นตัวเติมอากาศมี ศักยภาพที่จะนำมาใช้ในการปรับสภาพขยะสด ให้มีค่าความร้อนสูงขึ้นและความชื้นลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลจากกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน เกิดความร้อนซึ่งเมื่อนำมาทดลอง กับขยะสด มีความร้อนสูงถึง 49 องศาเซลเซียส โดยความร้อนนี้จะช่วยในการระบายความชื้น ส่วนเกินออกจากขยะ และเพิ่มค่าความร้อนให้กับกอง Biodry จนขยะภายในแห้ง เมื่อขยะมีความ แห้งจะทำให้พื้นผิวที่มีการปนเปื้อนจากดินหรือสารเคลือบฉาบหลุดออกไป สามารถทำให้ค่าความร้อนสูงขึ้น ในระยะเวลา 30 วันเป็นระยะเวลาอันสั้น และใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานให้กับระบบเติมอากาศสามารถปรับสภาพขยะมีค่าความร้อนมากกว่า 5,000 kcal/kg และ ความชื้นน้อยกว่า 30% และจากการทดสอบในระบบต้นแบบขยะมีค่าความร้อน 7,890 kcal/kg ที่ความชื้น 10.43% ขยะเหล่านี้ จะเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมความร้อนหรืออุตสาหกรรมทั่วไปได้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้ทุนอุดหนุนการวิจัย สำหรับโครงการแผนงานวิจัย การจัดการตนเองด้วยพลังงานทดแทน และมีโครงการวิจัยย่อยทั้งหมด 4 โครงการประกอบด้วย (1) โครงการพัฒนาระบบต้นแบบผู้ผลิต RDF โดยใช้เทคโนโลยี ไบโอดีรายเพื่อจัดการขยะชุมชน (2) การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำ มันพืชที่ใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับถ่านกัมมันต์จากชีวมวล (3) การเพิ่มคุณภาพแก๊สชีวภาพโดยกระบวนการดูดซับทางเคมีในระบบผลิตแก๊ส ชีวภาพเพื่อใช้ชุมชน (4) การประยุกต์ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกสำหรับ ผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเหลือใช้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย ขอขอบพระคุณเทศบาลนครพิษณุโลก และ นายกองดีการบริหารส่วนตำบลท่ามะนาว อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี และบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอำนวยความสะดวกสำหรับทดสอบวิจัย รวมถึง ชุมชนเป้าหมายต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pollution Control Department Thailand State of Pollution Report, “**Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment**”, Bangkok, Thailand, 2014.
- [2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, “**Final Report research and development producing Refuse derived fuel**”, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Bangkok, Thailand, 2008.
- [3] Environmental Research Centre (ERC) Naresuan University, “**Final Report Characterize the waste after Mechanical Biological Waste Treatment of Phitsanulok Municipality**”, Environmental Research Centre (ERC) Naresuan University, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand, 2006.
- [4] S. Sadaka, K. VanDevender and T. Costello, “**Partial Composting for Biodrying Organic Materials**” (University of Arkansas Cooperative Extension Service Printing Services, Arkansas, 2011), Division of Agriculture, U.S. Dept. of Agriculture and county governments cooperating, 2011, 4-11.
- [5] K. M. Frei, D. Cameron and P. R. Stuart, “Novel drying process using forced aeration through a porous biomass”, **Matrix Drying Technology**, 2004, 22, 1191-1215.
- [6] E. C. Rada, M. Ragazzi, V. Panaitescu and T. Apostol, “Experimental characterization of municipal solid waste bio-drying”, **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, 2006, 92, 295-301.
- [7] C. A. Velis, P. J. Longhurst, G. H. Drew, R. Smith and S. J. T. Pollard, “Biodrying for mechanical–biological treatment of wastes: A review”, **Bioresource Technology**, 2009, 100, 2747-2761.
- [8] L. M. Shao, Z. H. Ma, H. Zhang, D. Q. Zhang and P. J. He, “Bio-drying and size sorting of municipal solid waste with high water content”, **Waste Management**, 2010, 30, 1165-1170.
- [9] S. Navaee-Ardeh, F. Bertrand and P. R. Stuart, “Key variables analysis of a novel continuous biodrying process for drying mixed sludge”, **Bioresource Technology**, 2010, 101, 3379-3387.
- [10] F. J. Colomer-Mendoza, L. Herrera-Prats and F. Robles-Martínez, “Effect of airflow on biodrying of gardening wastes in reactors”, **Journal of Environmental Sciences**, 2013, 25, 865-872.
- [11] J. Nithikul, O. P. Karthikeyan and C. Visvanathan, “Reject management from a Mechanical Biological Treatment plant in Bangkok Thailand Resources”, **Conservation and Recycling**, 2011, 55, 417-422.
- [12] N. A. Ab Jalil, H. Basri, N. E. Ahmad Basri and M. F. M. AbuShammala, “The Potential of Biodrying as Pre-treatment for Municipal Solid Waste in Malaysia”, **Journal of Advanced Review on Scientific Research**, 2015, 7, 1-13.

การประเมินศักยภาพระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำสำหรับโรงเรียน
ในพื้นที่จังหวัดชายแดนใต้ กรณีศึกษา: โรงเรียนบ้านช่องแมว อำเภอสาบบุรี จังหวัดปัตตานี
Potential Assessment of Floating Photovoltaic System for Schools in the Southern
Border Provinces. Case Study: Ban Chong Maeo School, Saiburi District, Pattani
Province

วาริษา วาแม^{1,*} ลุตฟี ลือณี¹ และ เอกชัย สิงหเดช²
Warisa Wamae^{1,*}, Lutfee Suni¹ and Ekachai Singhadet²

¹สาขาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
จังหวัดยะลา 95000

²กองกลาง สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา จังหวัดยะลา 95000

¹Renewable Energy Technology Program, Faculty of Science Technology and Agriculture,
Yala Rajabhat University, Yala 95000

²Central Administrative Affairs Division, Yala Rajabhat University, Yala 95000

* Corresponding author, e-mail: warisa.w@yru.ac.th, Tel.: 081-9638505

Received: 7 September 2021, Revised: 21 September 2021, Accepted: 5 October 2021, Published online: 25 December 2021

Abstract

This research conducted the feasibility study and the design of floating solar photovoltaic system for schools in the Southern Border Provinces, Case Study: Ban Chong Maeo School, Saiburi district, Pattani province. Four panels of 350 watts solar cell were assembled on the 200 Liter plastic float from plastic buckets, and connected with a charger, an inverter, and batteries. PVsyst program was used in the design and the feasibility calculation for installation and energy production efficiency in the reservoir area. The initial investment cost is approximately 45,180 baht. The system could produce energy at about 1,935 kWh/year, which the installed electrical system can save the energy cost about 7,740 THB/year, and the payback period is about 5.8 years.

Keywords: Floating Solar Photovoltaic System, Southern border provinces

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำสำหรับโรงเรียน โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 350 วัตต์ จำนวน 4 แผง ติดตั้งอยู่บนทุ่นลอยน้ำที่ทำจากถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร ต่อพ่วงกับอุปกรณ์ เครื่องอัดประจุไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ และแบตเตอรี่ ออกแบบและวิเคราะห์ความเหมาะสมในการติดตั้งและผลิตพลังงานบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำโรงเรียนบ้านช่องแมว อำเภอสายบุรี จังหวัด ด้วยโปรแกรม PVsyst มีต้นทุนค่าอุปกรณ์ของระบบประมาณ 45,180 บาท สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1,935 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นผลประหยัดประมาณ 7,740 บาท ต่อปี ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 5.8 ปี

คำสำคัญ: ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ จังหวัดชายแดนใต้

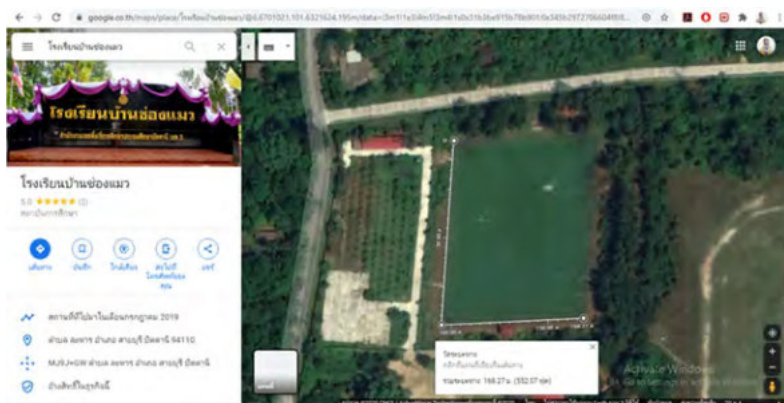
บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน แต่ในขณะที่แหล่งเชื้อเพลิงทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นทรัพยากรในการผลิตกระแสไฟฟ้าลดลงอย่างต่อเนื่อง และกำลังจะหมดไป ดังนั้นการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบอื่น เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานชีวมวล สอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 – 2580 (AEDP (2018[1] ของรัฐบาล ซึ่งปัจจุบัน พลังงานหมุนเวียนที่นิยมมากที่สุดของประเทศไทย คือ พลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยมีค่อนข้างสูงมาก ด้วยภูมิประเทศที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยสูง [2] แต่ข้อจำกัดของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนนั้น คือ การใช้พื้นที่ค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชนิดอื่น ๆ ตัวอย่าง เช่น พื้นที่ก่อสร้างโรงไฟฟ้าขนาด 1,000 เมกะวัตต์ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ จะใช้พื้นที่ประมาณ 625 – 2,500 ไร่ ในขณะที่การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ต้องใช้พื้นที่ถึง 12,500 - 31,250 ไร่ [3] เมื่อเทียบกันแล้ว การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ต้องใช้พื้นที่มากกว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ถึง 12 - 20 เท่า ทำให้ปัจจุบันในหลาย ๆ ประเทศที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เริ่มหันมาผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำ หรือที่เรียกว่า “โซลาร์เซลล์ลอยน้ำ” ซึ่งการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำนั้น นอกจากช่วยลดการใช้ที่ดินจำนวนมากแล้ว ยังทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานเพิ่มขึ้นด้วย โดยอากาศเย็นเหนือผิวน้ำ จะช่วยลดอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้ เนื่องจากอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สูงขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานลดลง [4]

โรงเรียนในระดับประถมศึกษาโดยทั่วไปมีการขาดหรือสละน้ำสำหรับเลี้ยงปลา และสำหรับอุปโภค เช่น ใช้ในแปลงเกษตรของนักเรียน หรือรดน้ำต้นไม้ภายในโรงเรียน เช่นเดียวกับโรงเรียนในพื้นที่จังหวัดชายแดนใต้ ซึ่งหากนำเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำมาผลิตไฟฟ้าใช้ภายในโรงเรียน จะช่วยลดภาระค่าไฟฟ้าของโรงเรียนได้อีกทางหนึ่ง การศึกษาวิจัยนี้ จึงเป็นการประเมินศักยภาพและความคุ้มค่าในการติดตั้งและใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำสำหรับโรงเรียนในพื้นที่จังหวัดชายแดนใต้ ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลจากโรงเรียนบ้านช่องแมว อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี เพื่อเป็นกรณีศึกษา ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปใช้เทียบเคียงเพื่อปรับใช้ให้เหมาะสมกับโรงเรียนอื่นๆ ได้

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางการความเป็นไปได้ในการออกแบบติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำสำหรับโรงเรียนในพื้นที่จังหวัดชายแดนภาคใต้ โดยศึกษาความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ติดตั้งการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ และความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์การลงทุน โดยพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ โรงเรียนบ้านช่องแหมว ตั้งอยู่ที่หมู่ 4 ตำบลละหาร อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี พิกัดละติจูด 6.6688 องศาเหนือ และลองจิจูด 101.632 ตะวันออก เป็นโรงเรียนขนาดกลาง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาปัตตานี เขต 3 ในปีการศึกษา 2562 มีนักเรียนจำนวน 286 คน ครูและบุคลากรจำนวน 25 คน มีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ความกว้างประมาณ 73 เมตร ยาว 95 เมตร หรือพื้นที่ประมาณ 6,935 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าประมาณ 2,830 กิโลวัตต์ต่อเดือน และค่าไฟฟ้าอยู่ในช่วงประมาณ 10,000 – 20,000 บาทต่อเดือน โดยข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแต่ละเดือนตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 ถึงเดือนกันยายน 2563 รวมทั้งสิ้น 25,470.43 กิโลวัตต์ รวมค่าใช้จ่าย 112,205.37 บาท (ค่าใช้จ่ายดังกล่าวรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%)

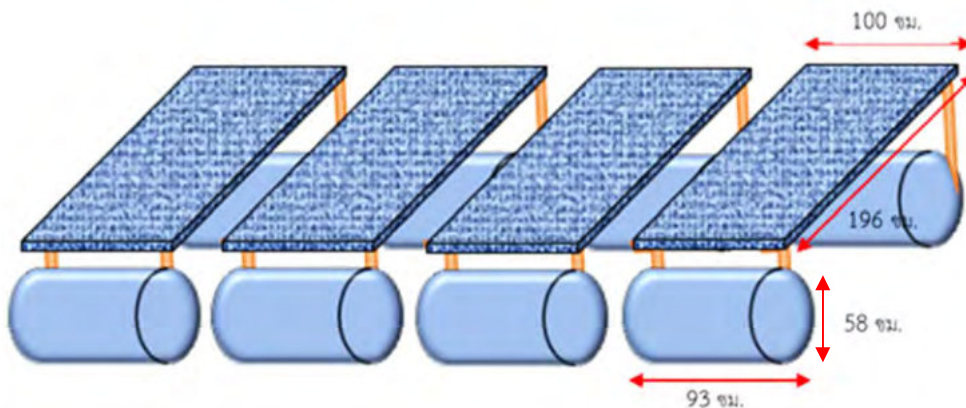


ภาพที่ 1 ภาพถ่ายดาวเทียมลักษณะอ่างเก็บน้ำโรงเรียนบ้านช่องแหมว อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี
ที่มา : Google map



ภาพที่ 2 อ่างเก็บน้ำโรงเรียนบ้านช่องแหมว อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี

การจำลองผลการผลิตพลังงาน ได้ใช้โปรแกรม PVsyst เป็นเครื่องมือในงานวิจัย ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ มีฐานข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาทั่วโลก มีข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการผลิตไฟฟ้าให้เลือกใช้ในการจำลอง มีลักษณะการติดตั้งแผงแบบต่างๆ ให้เลือกหลากหลาย โดยโปรแกรมสามารถคำนวณลักษณะการติดตั้งที่เหมาะสม หรือเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมกับพื้นที่หรือกำลังการผลิตที่ต้องการได้ [5]



ภาพที่ 3 แบบจำลองชุดผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ

ชุดผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ ประกอบด้วยถังพลาสติกผูกติดกันแนวยาว แต่ละชุดมี 8 ถัง ด้านบนติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 4 แผง ทำมุมเอียง 17 องศาไปทางทิศใต้ ต้องวงจรแบบอนุกรม สามารถลอยอยู่บนผิวน้ำได้ ชุดผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ 1 ชุด ใช้พื้นที่ติดตั้งบนผิวน้ำประมาณ 8 ตารางเมตร ดังภาพที่ 3 มีค่าใช้จ่ายรวมของระบบเท่ากับ 45,180 บาท โดยเป็นค่าใช้จ่ายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ อินเวอร์เตอร์ ชาร์จเจอร์ ถังพลาสติก และอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 และคำนวณระยะเวลาคืนทุนจากสมการที่ 1

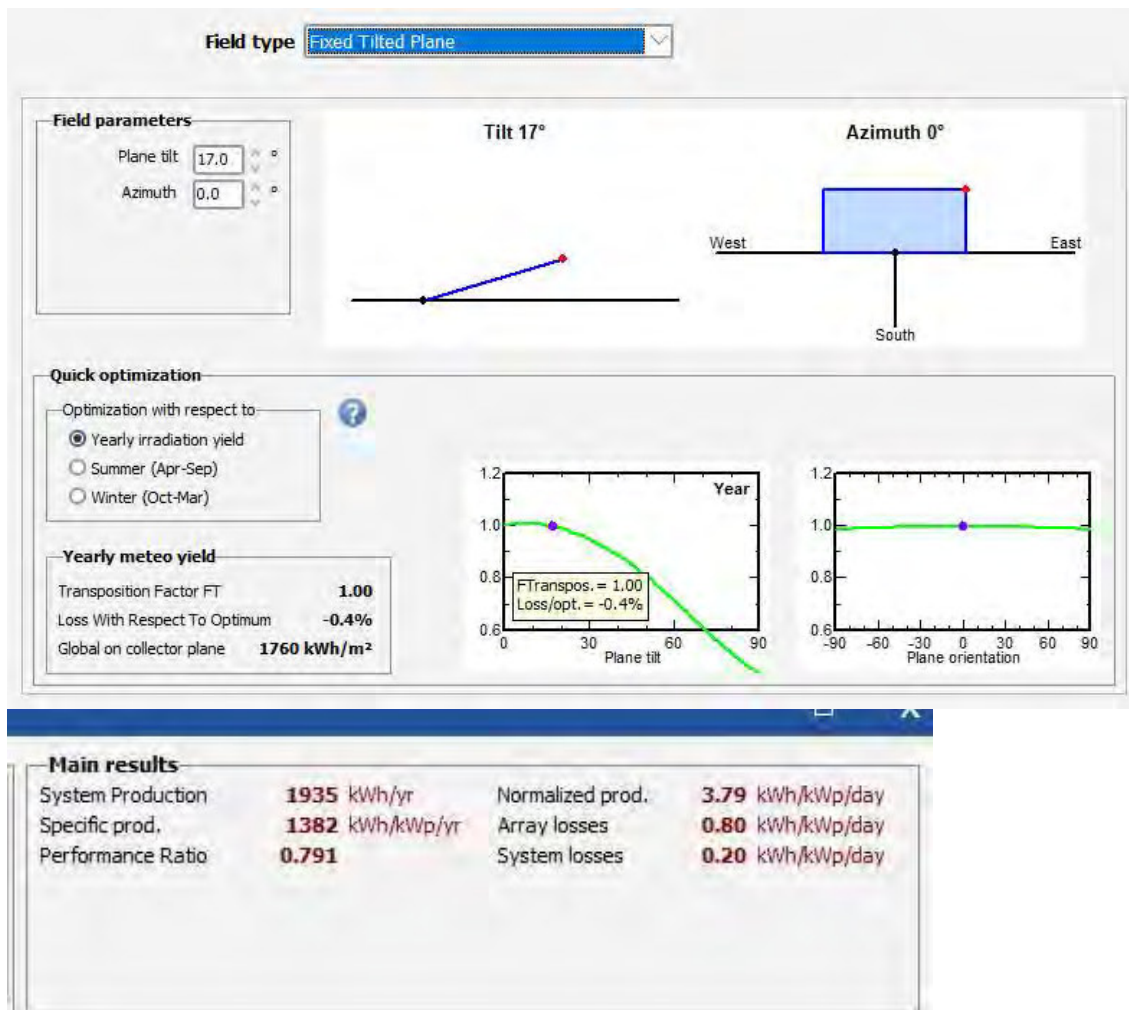
$$\text{ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{ผลประหยัด}} \quad (1)$$

ตารางที่ 1 รายการอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าลอยน้ำ

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	ราคา	รวม
1	แผงโซลาร์เซลล์ Mono Crystalline 350 วัตต์ 40.03 Vmp ต่อแบบอนุกรม	4	4,850	19,400
2	แบตเตอรี่ deep cycle 150 Ah 12V ต่อแบบอนุกรม	2	6,900	13,800
3	โซลาร์อินเวอร์เตอร์ 3000W 12V/24V	1	2,480	2,480
4	Charge Controller 48V/36V/24V/12V Solar Panel Regulator Support off grid Solar System ชนิดปรับค่าแรงดัน	1	2,500	2,500
5	ถังพลาสติก 200 ลิตร	8	500	4,000
6	อุปกรณ์อื่น ๆ	1	3,000	3,000
รวม			45,180	

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับพื้นที่โรงเรียนบ้านช่องแหม อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี โดยใช้โปรแกรม PVsyst เพื่อหาตำแหน่งการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อให้การรับแสงอาทิตย์เหมาะสมที่สุด จากภาพที่ 4 พบว่า การใช้โปรแกรมในการจำลองเพื่อหามุมที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมเท่ากับ 17 องศา เอียงไปทางทิศใต้ ได้รับรังสีอาทิตย์ตกกระทบ 1,760 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร ซึ่งสามารถผลิตพลังงานได้ 1,935 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี และมีอัตราส่วนประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 79 ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งเมื่อเทียบกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ พบว่า อัตราส่วนประสิทธิภาพมีค่าใกล้เคียงกัน [6]

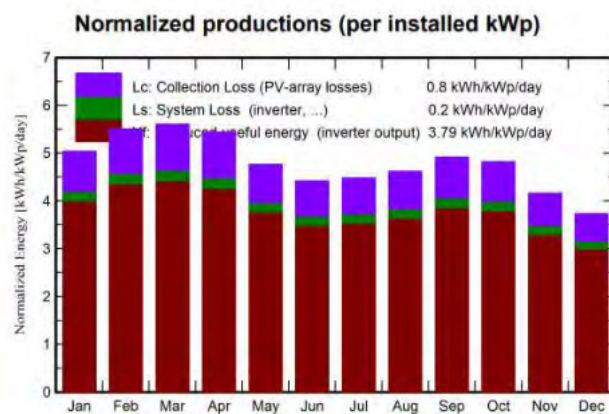


ภาพที่ 4 ผลวิเคราะห์การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โรงเรียนบ้านช่องแหม อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี



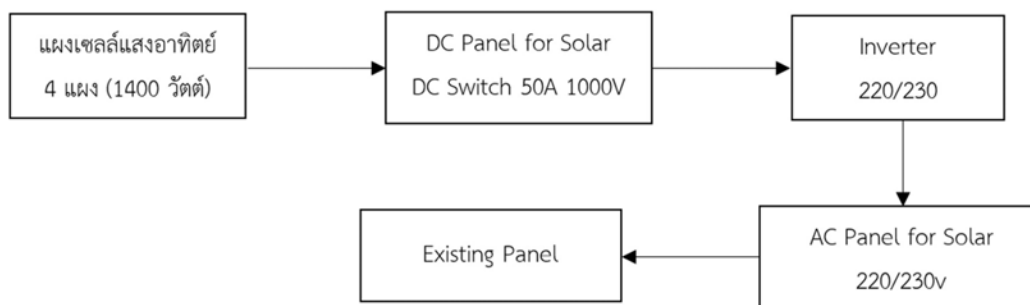
ภาพที่ 5 อัตราส่วนประสิทธิภาพของระบบ (Performance Ratio, PR)

นอกจากนี้ จากโปรแกรมข้างต้น แสดงให้เห็นว่า พื้นที่โรงเรียนบ้านช่องแมว อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี สามารถผลิตพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งปี เฉลี่ยประมาณวันละ 3.79 kWh/kWp/Day ของแต่ละวัน โดยสามารถผลิตพลังงานได้มากที่สุดในเดือนมีนาคมของทุกปี และผลิตพลังงานได้น้อยที่สุดในเดือนธันวาคม ซึ่งมีความใกล้เคียงกับผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำในพื้นที่อ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี ที่สามารถผลิตพลังงานได้มากที่สุดในเดือนมีนาคมเช่นกัน ขณะที่ผลิตได้น้อยที่สุดในเดือนกันยายน [5] ค่ากำลังการสูญเสียเฉลี่ยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน 1 วัน เท่ากับ 0.8 kWh/kWp/day และค่ากำลังการสูญเสียเฉลี่ยที่อินเวอร์เตอร์ใน 1 วัน เท่ากับ 0.2 kWh/kWp/day ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ปริมาณการผลิตไฟฟ้ารายเดือนจากเซลล์แสงอาทิตย์โรงเรียนบ้านช่องแมว อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี

การจำลองระบบการผลิตกำลังพลังงานไฟฟ้าแสดงในภาพที่ 7 ประกอบด้วยอุปกรณ์ ดังนี้ 1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยว รุ่น DMX7-60H-350 ขนาด 350 Wp ต่อขนานจำนวน 4 แผง 2) อินเวอร์เตอร์ รุ่น GES2-2KTL แรงดันด้านเข้า 80 - 400 V ขนาด 1.8 kW



ภาพที่ 7 ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง

ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำที่คำนวณจากโปรแกรม PVSyst พบว่า กำลังการผลิตเท่ากับ 1,935 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นเงิน 7,740 บาทต่อปี (คิดอัตราค่าไฟฟ้าที่ 4 บาทต่อหน่วย) และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 5.8 ปี

$$\text{ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ} = \frac{45,180}{7,740} = 5.8 \text{ ปี}$$

จากผลการคำนวณปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ เห็นได้ว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงเรียนที่ประมาณ 2,830 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน คิดเป็น 94.33 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน หากต้องการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการใช้งานทั้งหมด ต้องทำการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำตามที่ได้ออกแบบไว้ จำนวน 18 ชุด ใช้พื้นที่ประมาณ 144 ตารางเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 2 ของพื้นที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำโรงเรียน

สรุปผลการวิจัย

การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำสำหรับโรงเรียนบ้านช่องแหม อำเภอสายบุรี จังหวัดปัตตานี ด้วยโปรแกรม PVSyst โดยติดตั้งแผงขนาด 350 วัตต์ จำนวน 4 แผง สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งปี เฉลี่ยประมาณวันละ 3.79 kWh/kWp/Day มีศักยภาพในการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ 1,935 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี และมีอัตราส่วนประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 79 ต้นทุนการติดตั้งประมาณ 45,180 บาท ซึ่งสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาประมาณ 5.8 ปี การติดตั้งโซลาร์เซลล์แบบทุ่นลอยน้ำช่วยไม่ให้เกิดประโยชน์การใช้พื้นที่ดิน (ประมาณ 8 ตารางเมตร) และยังให้ผลดีกว่าการติดตั้งบนพื้นดินหลายประการ เช่น เป็นที่อยู่อาศัยของปลาและสัตว์น้ำ เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำได้แผ่เย็นกว่ารอบข้าง ทั้งยังช่วยลดการระเหยของน้ำบริเวณที่ติดตั้งช่วยให้การไหลเวียนของน้ำและอากาศบริเวณที่ติดตั้งดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 – 2580 (AEDP2018). สืบค้นเมื่อ 21 กันยายน 2564, จาก https://www.dede.go.th/download/Plan_62/20201021_TIEB_AEDP2018.pdf
- [2] กาญจนศิษฐ์ เวชการ. (2560). การวิเคราะห์สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบลอยน้ำพิกัด 50 kWp. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

- [3] ดุลยพงศ์ วงศ์แสง. (ม.ป.ป.). **โครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ของประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อ 21 กันยายน 2564, จาก https://www.ocf.berkeley.edu/~doonyapo/Section_7.pdf
- [4] เกษสุรางค์ จันทร์พูล. (2560). **การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนทุ่นลอยน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยทราย จังหวัดลำปาง**. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เศรษฐศาสตร์เกษตรและทรัพยากร). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] ชัยฤกษ์ จักรพัฒนจิต. (2563). **การจำลองแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำในพื้นที่อ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี**. **วิศวกรรมสาร มก.** 33(109), 33-46.
- [6] ชัยพร สุภาหิตานุกุล ธีระเศรษฐ์ ศรีประภัสสร ยชญ์สุธา วิชัยธนพัฒน์ สถาปนิก อัจฉิมากุล อาคม บุญปัญญา ขจรศักดิ์ วงศ์ และคณะ. (2564). **การเปรียบเทียบระหว่างผลจากการตรวจสอบกับผลจากการจำลองของแผงโซลาร์เซลล์**. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาลัยนครราชสีมา ครั้งที่ 8 ประจำปี 2564**, วันที่ 27 มีนาคม 2564 ณ การประชุมออนไลน์.

การพัฒนาโรงไฟฟ้าต้นแบบด้วยระบบก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว The Prototype Development of Biogas Powerplant from Rice Straw

พิสิษฐ์ มณีโชติ บงกช ประสิทธิ์* พัชรินทร์ เยาวรัตน์ ศักดา สมกุล พรทิพย์ เม่นสิน และ อัญชลีภรณ์ ศรีษะธาตุ
Pisit Maneechot, Bongkot Prasit*, Phatcharin Yaowarat, Pornthip Mensin, Sakda Somkun and
Anchaleepon Seesatat

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000
School of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Naresuan University, Phitsanulok 65000

* Corresponding author, e-mail: bongkotprasit19@gmail.com, Tel.: 083-6259396

Received: 12 October 2020, Revised: 3 July 2021, Accepted: 7 September 2021, Published online: 25 December 2021

Abstract

Biomass can be used as a raw material for energy production as a renewable energy to raise the level of electricity and heat generation for communities. The development of a prototype biogas production process from rice straw using microorganisms is necessary and urgently need to act as it will reduce the burning of rice straw which produces PM 2.5 dust. The article reported a model of rice straw utilization in electricity and income generation within the community that from the sale of electricity at 525,600 baht per year ($15 \text{ kW} \times 24 \text{ hours} \times 365 \text{ days} \times 4 \text{ baht} / \text{kWh} = 525,600 \text{ baht per year}$). The model resulted in the reduction of greenhouse gas emissions from burning at 354.78 tCO₂eq per year (262.8 tons per year $\times 1.350 \text{ tCO}_2\text{eq/ton}^2 = 354.78 \text{ tCO}_2\text{eq per year}$). The reduction of PM2.5 particle emissions was at 3.075 ton PM2.5 per year (262.8 tons per year $\times 11.7 \text{ kgPM}_2.5/\text{ton leftovers}$. Discard² = 3.075 ton PM2.5 per year). The generated income from the sale of carbon credits (purchase price 10-200 baht/tCO₂eq⁵) is expected at 3,548-70,956 baht per year. Degradation of rice straw was 525,600 baht per year ((20% of raw material rice straw) $0.20 \times 262,800 \text{ kilogram per year} \times 10 \text{ baht per kilogram} = 525,600 \text{ baht per year}$) and reduce illness due to smog problem.

Keywords: Biogas, Rice straw, Microorganisms

บทคัดย่อ

ชีวมวลสามารถเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็นพลังงานทดแทนเพื่อยกระดับการผลิตไฟฟ้าและความร้อนสำหรับชุมชน การพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบจากฟางข้าวโดยใช้จุลินทรีย์เร่งกระบวนการ จึงมีความจำเป็นและต้องรีบดำเนินการอย่างเร่งด่วนเพราะจะช่วยลดการเผาฟางข้าวที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง PM 2.5 ก่อให้เกิดโมเดลการใช้ประโยชน์จากฟางข้าวในการผลิตไฟฟ้าเพื่อก่อให้เกิดรายได้ภายในชุมชนจากการขายไฟฟ้า $15 \text{ kW} \times 24 \text{ ชม.} \times 365 \text{ วัน} \times 4 \text{ บาท/kWh} = 525,600 \text{ บาท}$ ต่อปี ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาฟาง 262.8 ตันต่อปี $\times 1.350 \text{ tCO}_2\text{eq/ตัน}$

เศษวัสดุเหลือทิ้ง² = 354.78 tCO₂eq ต่อปี ลดการปล่อยอนุภาค PM_{2.5} 262.8 ตันต่อปี × 11.7 kgPM_{2.5}/ตันเศษวัสดุเหลือทิ้ง² = 3.075 tonPM_{2.5} ต่อปี เกิดรายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต (ราคาซื้อขาย 10-200 บาท/tCO₂eq³) ซึ่งคาดว่าจะสร้างรายได้ 3,548-70,956 บาทต่อปี รายได้จากการขายปุ๋ยหมักที่ได้จากการย่อยสลายของฟางข้าว (เหลือ 20% ของฟางข้าววัตถุดิบ) 0.20 × 262,800 กิโลกรัมต่อปี × 10 บาทต่อกิโลกรัม = 525,600 บาทต่อปี และลดการเจ็บป่วยเนื่องจากปัญหาหมอกควัน

คำสำคัญ: ชีวภาพ ฟางข้าว จุลินทรีย์

บทนำ

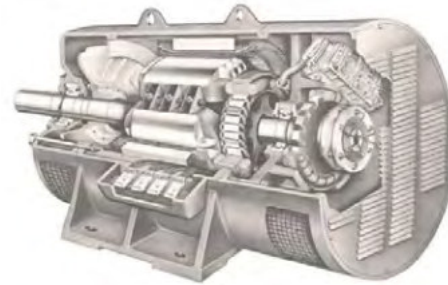
ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก ผลผลิตที่สำคัญ ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และปาล์มน้ำมัน ซึ่งภายหลังการเก็บเกี่ยวพืชทางการเกษตรต่าง ๆ เหล่านี้ จะมีชีวมวลหรือเศษวัสดุเหลือใช้ เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง เป็นต้น ที่เราเรียกว่า ชีวมวล (Biomass) ในภาคอุตสาหกรรม การผลิตกระแสไฟฟ้าและพลังงาน สามารถนำชีวมวลมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตพลังงานเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ โดยชีวมวลเหล่านี้มีแหล่งของคาร์บอนเป็นแกนหลักของโมเลกุล เชื่อมต่อกับไฮโดรเจนอะตอมก่อเกิดอัลเคนสายสั้น มีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 4 อะตอม หรือ C1 - C2 ซึ่งสารประกอบนี้สามารถเผาไหม้ในอากาศได้อย่างสมบูรณ์ให้พลังงานความร้อน เทียบเท่ากับการเผาไหม้พลังงานจากฟอสซิล [1] และมีศักยภาพนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic digestion) กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์จำพวกที่ไม่ชอบออกซิเจน โดยจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทนนี้จะใช้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนเป็นสารอาหาร และให้ผลิตภัณฑ์หลักเป็นก๊าซมีเทน (สูตรโมเลกุล CH₄) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สูตรโมเลกุล CO₂) ผลิตภัณฑ์รองเป็น ก๊าซไนโตรเจน (สูตรโมเลกุล N₂) ก๊าซไฮโดรเจน (สูตรโมเลกุล H₂) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (สูตรโมเลกุล H₂S) และก๊าซออกซิเจน (สูตรโมเลกุล O₂) [2]

วัตถุดิบชีวมวลอีกหนึ่งประเภทที่สนใจนำมาทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ฟางข้าว (Rice straw) เป็นวัตถุดิบที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวของเกษตรกรที่มีอยู่จำนวนมากในปัจจุบัน จึงนับได้ว่าเป็นแหล่งวัตถุดิบเหลือใช้ทางการเกษตร สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ ฟางข้าว มีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ แต่โดยทั่วไปใช้ระยะเวลาการย่อยสลาย (Hydraulic Retention Time, HRT) นานกว่า 20 วัน โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพของเหลวในกระเพาะรูเมนสัตว์เคี้ยวเอื้อง (rumen fluid) สำหรับเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบฟางข้าว ดังนั้นการทดลองนี้จึงหาวิธีลดระยะเวลาการหมักก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นการนำวัตถุดิบฟางข้าวมาย่อยด้วยกรดให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลกลูโคส เกิดจากปฏิกิริยาแอซิดไฮโดรไลซิส (Acid hydrolysis) เป็นปฏิกิริยาที่นำกรดเข้าไปสลายพันธะของสารที่มีโมเลกุลใหญ่ แยกตัวเป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นน้ำตาลกลูโคส ก่อนนำไปหมักก๊าซชีวภาพ ส่งผลให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็กจากการย่อยวัตถุดิบด้วยกรด สามารถเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว ช่วยลดระยะเวลาในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ การหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ โดยใช้จลนพลศาสตร์ ในการหาอันดับปฏิกิริยา ค่าคงที่อัตรา (k) และครึ่งชีวิตอันดับปฏิกิริยา (t_{1/2}) รวมถึงการศึกษาอุณหภูมิศาสตร์ สำหรับการหาค่าพลังงานการกระตุ้น (Activation Energy, E_a) ค่าคงที่ของอาร์เรเนียส (Arrhenius constant, A) พร้อมทั้งศึกษาพลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยาการหมักก๊าซชีวภาพจากน้ำตาลกลูโคส จึงมีจำเป็นและต้องรีบดำเนินการอย่างเร่งด่วน การผลิตไฟฟ้าที่มีเครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นเครื่องต้นกำลังในการผลิตไฟฟ้าดังกล่าวที่ 1 (ก) โดยส่วนใหญ่จะใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสดังแสดงในภาพที่ 1 (ข) ซึ่งประกอบด้วยขดลวดสเตเตอร์และขดลวดโรเตอร์ โดยมีหลักการทำงานด้วยการป้อนกระแสตรงเข้าไปที่ขดลวดโรเตอร์ผ่านทางวงแหวน Slip ring เพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก เมื่อเครื่องต้นกำลังหมุนโร

เตอร์ทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กจากโรเตอร์ตัดผ่านขดลวดสเตเตอร์ทำให้มีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเกิดขึ้น โดยที่ขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นอยู่กับความเร็วรอบและความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์ ส่วนความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแปรผันกับความเร็วรอบของโรเตอร์ ดังนั้นจึงต้องตั้งมีระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic voltage regulator) และต้องมีการปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อมีโหลดเพิ่มขึ้น เพื่อรักษาระดับของแรงดันและความถี่ไฟฟ้าให้อยู่ในย่านที่ยอมรับได้



(ก)



(ข)

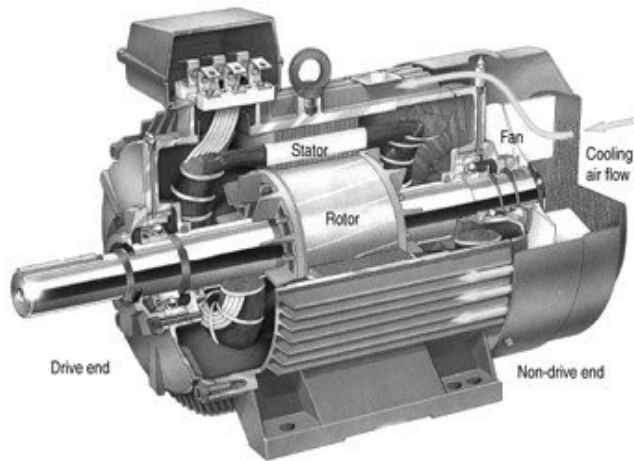
ภาพที่ 1 (ก) ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้น้ำมันเบนซิน [3]

(ข) โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส Error! Reference source not found.[4]

ขดลวดโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส สามารถใช้แม่เหล็กถาวรสำหรับสร้างสนามแม่เหล็กได้ ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้โดยทั่วไปเรียกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet generator) โดยที่ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าประมาณ MW [5] แรงดันและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรแปรผันตามความเร็วรอบที่เพลลา ดังนั้นถ้าเครื่องต้นกำลังมีความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลง เช่น กังหันลม ทำให้ต้องใช้รวมวงจรแปลงผันอิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อให้มีคุณภาพไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับใช้งานหรือจ่ายเข้าสายส่ง

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสต้องใช้วงแหวน Slip ring และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กทำให้ต้องการการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เช่น การเปลี่ยนแปลงถ่าน ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรการใช้แม่เหล็กถาวรเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ โดยที่แม่เหล็กถาวรส่วนใหญ่ทำจากแร่ Neodymium ซึ่งเป็นแร่ที่หายาก (Rare earth material) โดยที่พบมากในประเทศจีน ในปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรเพื่อนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า

นอกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแล้ว เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง (Self-excited Induction generator) ก็เป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถดัดแปลงจากมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (Squirrel-cage Induction motor) ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในภาพที่ ที่ประกอบด้วยขดลวดสเตเตอร์เหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส แต่โรเตอร์เป็นอลูมิเนียมหล่อขึ้นรูปบน 2 แกนเหล็กที่เปรียบเสมือนขดลวดที่มีการลัดวงจร ซึ่งเห็นได้ว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกมีโครงสร้างที่ง่ายไม่ซับซ้อนและต้องการการบำรุงรักษาต่ำ ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกมีราคาถูกและนิยมใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก สามารถผลิตได้เองภายในประเทศซึ่งเมื่อนำมาดัดแปลงเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้านำจะทำให้ต้นทุนไฟฟ้าต่อหน่วยต่ำลง และง่ายต่อการใช้งานและบำรุงรักษา

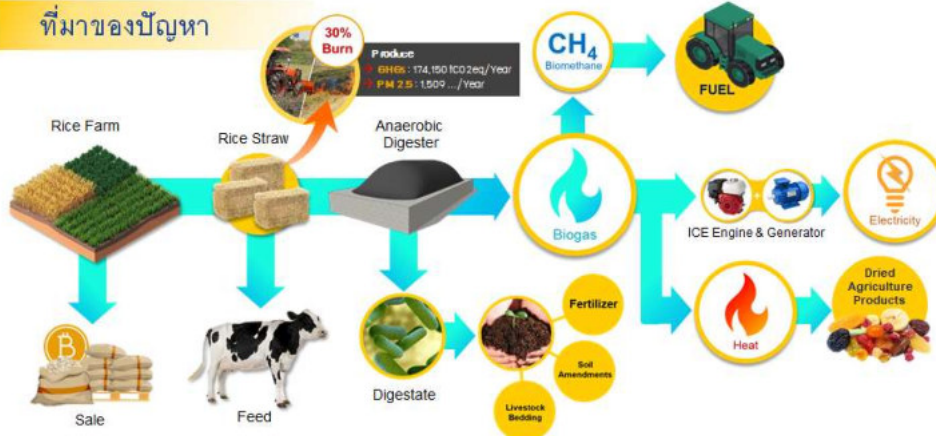


ภาพที่ 2 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก [6]

ถึงแม้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีข้อดีเมื่อเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวร แต่อย่างไรก็ตามเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสำหรับกระตุ้นและควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดของเครื่องกำเนิดให้อยู่ในย่านที่ใช้งานได้ โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวเก็บประจุต่อขนานกับขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่เมื่อมีโหลดเปลี่ยนแปลงทำให้แรงดันไฟฟ้าและความถี่เปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจำเป็นต้องต่อใช้งานร่วมกับเครื่องควบคุมที่ดี จากปัญหาการผลิตไฟฟ้าก๊าซชีวภาพโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง การออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ตัดแปลงสำหรับใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้งานในชุมชน การพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบจากฟางข้าวโดยใช้จุลินทรีย์เร่งกระบวนการเพื่อยกระดับผลิตไฟฟ้าและความร้อนในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ด้วยกระบวนการ Microorganism สู่ชุมชนจึงมีความจำเป็นและต้องรีบดำเนินการอย่างเร่งด่วนเพราะจะช่วยลดการเผาฟางข้าวที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง PM 2.5 สอดคล้องกับ Energy 4.0 ซึ่งปัญหาดังกล่าวจะถูกนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงพลังงานซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของชุมชนถือเป็นการขาดแคลนการผลิตเชื้อเพลิงเพื่อนำไปสู่การผลิตกระแสไฟฟ้าใช้เองภายในชุมชนที่ห่างไกลช่วยลดปัญหาภาวะโลกร้อน ลดการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าจากต่างประเทศ รวมถึงก๊าซธรรมชาติเพื่อผลิตไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้านที่ต้องนำเข้ากว่า 70% และช่วยลดอุปสรรคในการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเพิ่มสมรรถนะของระบบโดยรวมเป็นการสนับสนุนให้เกิดการใช้เทคโนโลยีที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศเพื่อการพัฒนาประเทศที่ยั่งยืนซึ่งสอดคล้องกับแผน EEP อดหนุนการดำเนินงานเกี่ยวกับอนุรักษ์พลังงาน/มาตรการช่วยเหลือ 5 และมีความเชื่อมโยงกับนโยบายไทยแลนด์ 4.0 และนโยบายเร่งด่วนของรัฐบาลในปัจจุบันโดยในการเปรียบเทียบเทคโนโลยีเก่าและใหม่ในการพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบจากฟางข้าวโดยใช้จุลินทรีย์เร่งกระบวนการเพื่อยกระดับผลิตไฟฟ้าและความร้อนในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก โดยรูปแบบเทคโนโลยีเก่าในการผลิตจะใช้การหมักก๊าซชีวภาพโดยตรงจากวัตถุดิบ เช่น เศษอาหาร มูลสัตว์ หรือของเสียทางการเกษตร ด้วยกระบวนการบ่มเมทาโนเจนอย่างน้อย 21 วัน จากนั้นเติมวัตถุดิบแหล่งคาร์บอนข้างต้นให้เกิดก๊าซชีวภาพอย่างสม่ำเสมอ สามารถเริ่มใช้งานก๊าซชีวภาพหลังวันที่ 21 ของการหมัก ปริมาณก๊าซชีวภาพจะเกิดสม่ำเสมอหรือไม่ขึ้นกับความสม่ำเสมอของแหล่งคาร์บอนที่เติม อายุการใช้งานขึ้นกับการดูแลรักษา มีความซับซ้อนในการบำรุงรักษาจากผลความหลากหลายของก๊าซหลายชนิดที่เกิดร่วมในก๊าซชีวภาพมีการใช้เทคโนโลยีแบบเดิมที่มีผลผลิตผสมทั้งมีเทนและแก๊สไข่เน่า H_2S คุณภาพของมีเทนจึงแปรปรวนตามวัตถุดิบตั้งต้น (ส่วนใหญ่ใช้เศษอาหาร) ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากมีเทนคุณภาพต่ำจึงไม่คงที่ การนำใช้ประโยชน์สร้างโรงไฟฟ้าชุมชนอาจเกิดปัญหาโดยอัตราส่วน C/N ซึ่งเป็นปัจจัยหลักของการหมักก๊าซชีวภาพนั้น ควบคุมได้ เนื่องจากความหลากหลายของ

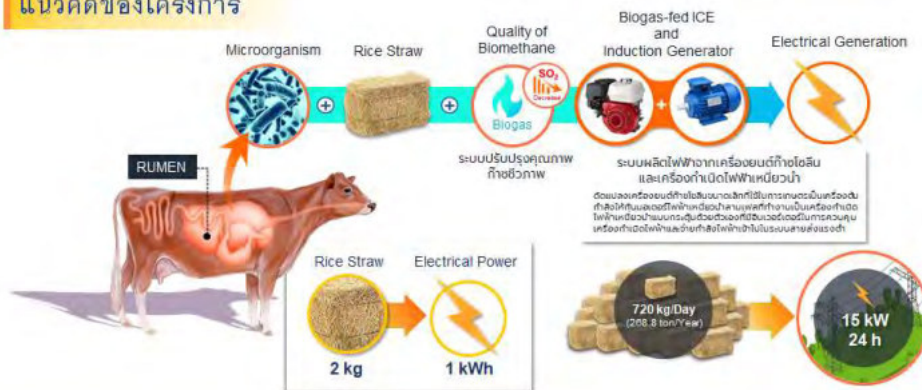
สารประกอบในวัตถุบป้อน (ส่วนใหญ่ N ได้จากโปรตีน) อาจส่งผลต่อผลผลิตมีเทนที่เกิดขึ้นได้ รวมถึงความคงที่ของปริมาณมีเทนจะมีปัญหาด้วยเช่นกันและเมื่อดำเนินการหมักในระดับ 1,000 กิโลกรัมขึ้นไปนั้น ต้องพื้นที่กักเก็บหรือกักตุนกากมันเป็นจำนวนมาก เนื่องจากต้องใช้เวลาสำหรับหมักที่ยาวนาน อาจเกิดปฏิกิริยาการย่อยโดยใช้อากาศก่อเกิด H_2S ซึ่งมีกลิ่นเหม็นเป็นปัญหาต่อสุขภาพประชาชน เนื่องจากเทคโนโลยีเดิมใช้เวลาหมักนานกว่า 21 วันจึงจะเริ่มใช้งานมีเทนได้เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวัตถุบป้อนปริมาณเท่ากันจะใช้พลังงานที่แปลงเป็นต้นทุนที่สูงกว่า หรือกล่าวอีกนัยคือ ได้กำไรต่ำกว่า การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่เป็นการดัดแปลงเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนของรถยนต์เป็นเครื่องต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสเตอร์ ดังนั้นจึงต้องตั้งมีระบบควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Automatic voltage regulator) ที่ควบคุมโดยการปรับค่ากระแสสำหรับสร้างสนามแม่เหล็กในโรเตอร์ผ่านทางวงแหวน Slip ring นอกจากนั้นต้องมีการปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เมื่อมีโหลดเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาความถี่ให้อยู่ในย่านที่ยอมรับได้ ระบบผลิตไฟฟ้าดังกล่าวส่วนมากมีขนาด 30 kVA ขึ้นไปและไม่สามารถเชื่อมต่อกับสายส่งได้เนื่องจากต้องมีระบบควบคุมความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (Speed governor) ที่แม่นยำ ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพในลักษณะนี้เหมาะสำหรับแหล่งก๊าซที่ค่อนข้างใหญ่และต้องมีโหลดไฟฟ้าที่เพียงพอกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงจะคุ้มทุนส่วน รูปแบบเทคโนโลยีใหม่ในการผลิตจะผลิตโดยใช้น้ำตาลจากฟางข้าวด้วยแบคทีเรียที่คัดเลือกสายพันธุ์จากดินบริสุทธิ์ จากนั้นหมักน้ำตาลเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิห้อง ให้ผลผลิตส่วนใหญ่เป็นมีเทน เริ่มตั้งแต่วันที่ 4 ของการหมัก และเพิ่มปริมาณขึ้นไปเรื่อย ๆ ให้มีปริมาณมีเทนสูงกว่าร้อยละ 55 สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ลดเวลาในการหมักลงกว่า 5 เท่า และสามารถใช้งานต่อเนื่องได้มากกว่า 5 ปี การดูแลรักษาง่ายกว่าเพราะก๊าซส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นคือมีเทน ส่วนก๊าซกักกร่อน ($H_2O + H_2S = H_2SO_4$) สามารถกำจัดออกไปด้วยการดูดซับ H_2S ใช้เทคโนโลยีการดูดซับด้วยคอมโพสิต Sand based- $Fe(OH)_3$ ช่วยดูดซับ H_2S ที่ผสมมากับมีเทน ช่วยให้มีเทนมีความบริสุทธิ์ได้ถึงร้อยละ 90 นอกจากนี้ความสามารถในการควบคุมวัตถุบป้อนประเภทฟางข้าว ที่สามารถมีใช้งานได้ตลอดทั้งปี ส่งผลให้ผลผลิตมีเทนที่ได้มีปริมาณคงที่ ไม่แปรปรวนในสัดส่วน สามารถพัฒนาสำหรับใช้มีเทนบริสุทธิ์ผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าชุมชนอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับว่าการหมักน้ำตาลนั้นมีปัญหาเรื่องปริมาณ N การหมักด้วยเทคโนโลยีนี้สามารถเติมปุ๋ย N ปริมาณน้อยมาก เพื่อควบคุมอัตราส่วน C/N ให้มีค่าคงที่ตลอดทุก ๆ ครั้งที่ดำเนินการหมัก ปริมาณมีเทนที่เกิดขึ้นจึงมีค่าคงที่ เสริมการใช้งานมีเทนสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าป้อนชุมชนและเมื่อดำเนินการหมักในระดับ 1,000 กิโลกรัมขึ้นไปนั้น สามารถปรับเปลี่ยนพื้นที่กักเก็บหรือกักตุนกากมันในปริมาณเท่ากันมาผลิตน้ำตาลด้วยแบคทีเรียแล้วค่อยผลิตก๊าซชีวภาพในระบบไร้อากาศในเวลาต่อมา ลดการย่อยกากมันในบรรยากาศที่อาจก่อเกิด H_2S ซึ่งเป็นปัญหาต่อสุขภาพของประชาชน เนื่องจากเทคโนโลยีใหม่เริ่มเกิดผลผลิตมีเทนเมื่อใช้เวลาหมักผ่านไป 4 วัน

ที่มาของปัญหา



ภาพที่ 3 ที่มาของปัญหา

แนวคิดของโครงการ



ภาพที่ 4 กรอบแนวคิดการพัฒนาโครงการ

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวัตถุดิบป้อนปริมาณเท่ากัน พบว่าเทคโนโลยีใหม่จะเสร็จเร็วกว่า 4-5 เท่า หรือกล่าวอีกนัยคือ สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณสูงกว่า 4-5 เท่าเมื่อใช้เวลาหมักเท่ากัน ดังนั้นจะใช้พลังงานที่แปลงเป็นต้นทุนที่ต่ำกว่าได้กำไรมากกว่า การเกิดแนวคิดการอนุรักษ์ป่าชุมชนให้เป็นที่อยู่ของแบคทีเรียบริสุทธิ์สำหรับใช้เป็นแหล่งเจริญของแบคทีเรียท้องถิ่นที่สามารถนำมาคัดแยกสำหรับผลิตน้ำตาลเพื่อลดระยะเวลาการหมักก๊าซชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ โดยการดัดแปลงจากเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน 4 จังหวะ ขนาดประมาณ 10 แรงม้า ให้สามารถใช้เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นเครื่องต้นกำลังให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสที่ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง (Self-excited Induction generator) และพัฒนาชุดแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแปลงกระแสไฟฟ้าให้จ่ายเข้าสู่สายส่งหนึ่งเฟส 220 V 50 Hz พิกัดกำลัง 5 kW

เป้าหมายของโครงการ



ภาพที่ 5 เป้าหมายในการพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบจากฟางข้าวโดยใช้จุลินทรีย์เร่ง กระบวนการเพื่อยกระดับการผลิตไฟฟ้าและความร้อนสำหรับชุมชน

เพื่อใช้งานในชุมชนรูปแบบเทคโนโลยีนี้มีข้อดีคือสามารถใช้อุปกรณ์ที่ผลิตได้ภายในประเทศ ได้แก่ เครื่องยนต์ก๊าซโซลีน ขนาดเล็ก และมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส และสามารถจ่ายไฟเข้าสู่สายส่ง

วิธีการวิจัย

การพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบจากฟางข้าวโดยใช้จุลินทรีย์เร่งกระบวนการเพื่อยกระดับการผลิตไฟฟ้าและความร้อนสำหรับชุมชนมีการวางแผนการวิจัยและกระบวนการเพื่อให้บรรลุเป้าประสงค์



ภาพที่ 6 การประยุกต์ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกสำหรับผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเหลือใช้

การพัฒนาาระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพให้สามารถ เชื่อมต่อเข้ากับสายส่ง

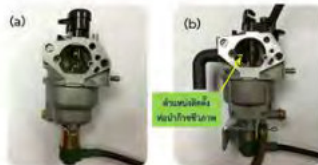
(แบบคั้ง/ความเชื่อมโยงกิจกรรมในปีที่ 1 และ 2)

- ดัดแปลงเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพให้ใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง
- ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับแปลงเชิงกลจากเครื่องยนต์เป็นไฟฟ้า
- พัฒนาคอนเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมการกานขอมอเตอร์กำเนิดไฟฟ้าและจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่สายส่งเสถียร

ภาพที่ 7 การพัฒนาาระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพให้สามารถเชื่อมต่อเข้ากับสายส่ง

เครื่องยนต์ต้นกำลัง

เครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ 1 สูบ 4 จังหวะ
5.5 แรงม้า



การพัฒนาอินเวอร์เตอร์

- กระจุกอินเวอร์เตอร์ไฟฟ้าสามารถกานขอมอเตอร์กำเนิดไฟฟ้าได้
- สเปกไฟฟ้า 3 เฟส ที่ขนาดและความถี่ไม่คงที่ก็สามารถจ่ายกำลังเข้าสายส่ง 1 เฟสได้

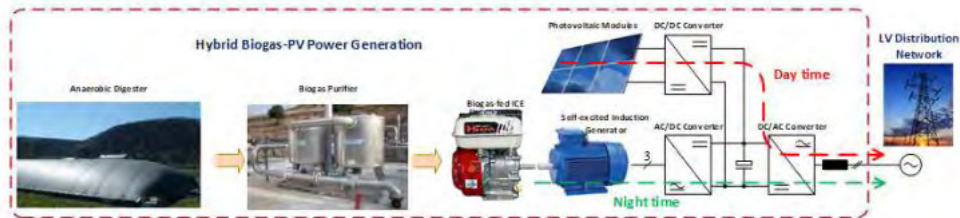
**ไม่มีอินเวอร์เตอร์
ในเชิงพาณิชย์
สำหรับระบบผลิต
ไฟฟ้า
จากก๊าซชีวภาพ
ในพิกัดกำลัง
ประมาณ 5 kW**



ภาพที่ 8 การพัฒนาอินเวอร์เตอร์

ประเด็นวิจัยสำหรับปีที่ 3

- พัฒนาคอนเวอร์เตอร์ให้ผ่านข้อกำหนด Grid code ของการไฟฟ้าทุกประเด็น
- พัฒนาระบบ Maximum power point tracking และระบบ Automation
- พัฒนาคอนเวอร์เตอร์แบบ Hybrid ร่วมกับ PV



ภาพที่ 9 ประเด็นวิจัยสำหรับปีที่ 3

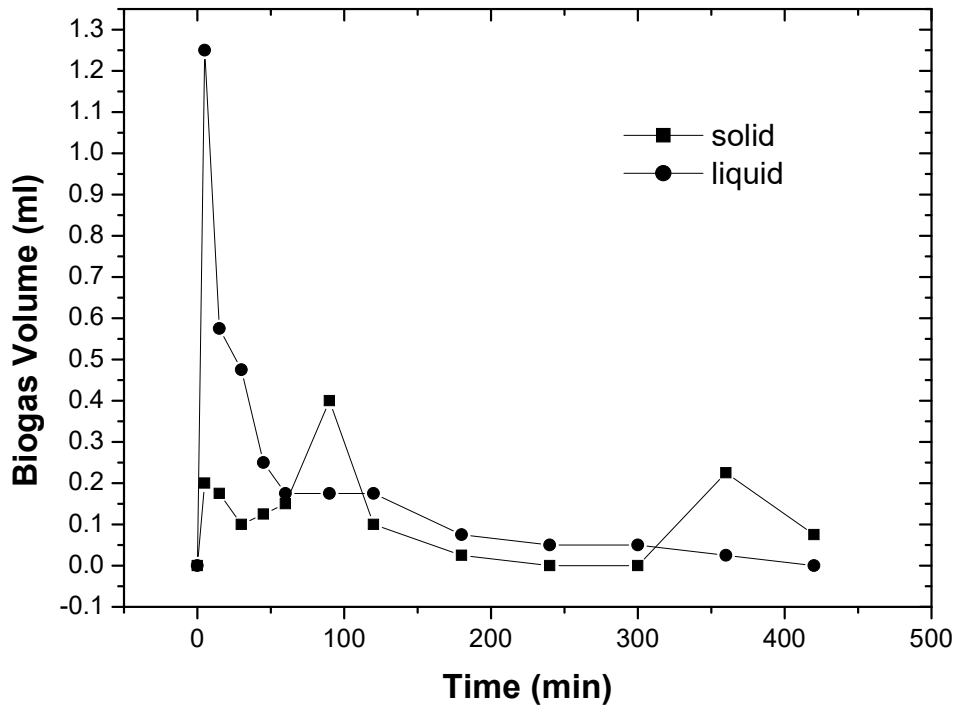
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบการเกิดก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวระหว่างวัตถุดิบของแข็ง และวัตถุดิบของเหลว

การทดลองนี้เปรียบเทียบปริมาณ การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักฟางข้าวที่เป็นวัตถุดิบของแข็ง และวัตถุดิบของเหลว ฟางข้าวที่เป็นวัตถุดิบของแข็ง เตรียมจากการอบฟางข้าวแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ปั่นฟางข้าวที่อบแล้วให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ฟางข้าวที่เป็นวัตถุดิบของเหลว เตรียมจากการอบฟางข้าวแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ปั่นฟางข้าวที่อบแล้วให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ซึ่งฟางข้าวที่ร่อนแล้ว 0.5 กรัม ย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 2% เติมกรดซัลฟิวริก 100 มิลลิลิตร ต้มให้เดือด จับเวลา 30 นาที กรองเอาเฉพาะของเหลว ปรับ pH ให้เป็นกลาง สุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำตาลกลูโคส เพื่อนำวัตถุดิบของแข็ง และวัตถุดิบของเหลวไปหมักก๊าซชีวภาพ [1] จากนั้นนำวัตถุดิบของแข็งและวัตถุดิบของเหลวมาหมักในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ โดยใช้ปริมาณสารตั้งต้น 0.2 กรัม ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ 40%v/v ทดลองที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เวลาการทดลอง 420 นาที ในขวดทดลองขนาด 60 มิลลิลิตร ผลการทดลองพบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นสูงสุดทั้งวัตถุดิบของแข็ง และวัตถุดิบของเหลว จำนวน 0.2 และ 1.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ในเวลา 5 นาที หลังจากนั้น 5 นาที พบว่าปริมาณ ก๊าซชีวภาพทั้งวัตถุดิบของแข็ง และวัตถุดิบของเหลวเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเวลาที่ 420 นาที ดังแสดงตามภาพที่ 10 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ พบว่าวัตถุดิบของเหลว มีประสิทธิภาพสำหรับการหมักก๊าซชีวภาพสูงกว่าวัตถุดิบของแข็ง

เนื่องจากวัตถุดิบของเหลวเปลี่ยนโครงสร้างจากเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เป็นกลูโคสซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาแอซิดไฮโดรไลซิส (Acid hydrolysis) ที่ช่วยลดปริมาณเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ที่มีปริมาณสูงในฟางข้าว ดังนั้นการทดสอบการเกิดก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวที่ใช้วัตถุดิบของเหลว จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะนำฟางข้าวที่ย่อยด้วยกรดแล้วเปลี่ยนเป็นน้ำตาลกลูโคสไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป [2] การผลิตก๊าซชีวภาพจากวัตถุดิบของเหลวที่ย่อยด้วยกรดให้ได้น้ำตาลกลูโคส พบว่าผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณสูงกว่า การหมักโดยใช้วัตถุดิบของแข็ง เนื่องจากการหมักในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ จากน้ำตาลกลูโคสจะถูกย่อยสลายได้ดีกว่าเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

เกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วบวกกับกรดไขมันระเหยง่ายที่มีปริมาณน้อยลง ทำให้ความหลากหลายของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นตามค่าความเป็นกรด – ด่าง จึงทำให้เกิดปริมาตรก๊าซชีวภาพสูงกว่าวัตถุดิบของแข็ง [3] ดังนั้นการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวจึงเลือกใช้วัตถุดิบของเหลวเป็นสารตั้งต้นสำหรับหมักก๊าซชีวภาพ เนื่องจากสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาตรสูงกว่าวัตถุดิบของแข็ง เพื่อลดระยะเวลาในการหมักก๊าซชีวภาพ และทดสอบสภาวะที่ดีที่สุดของกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป

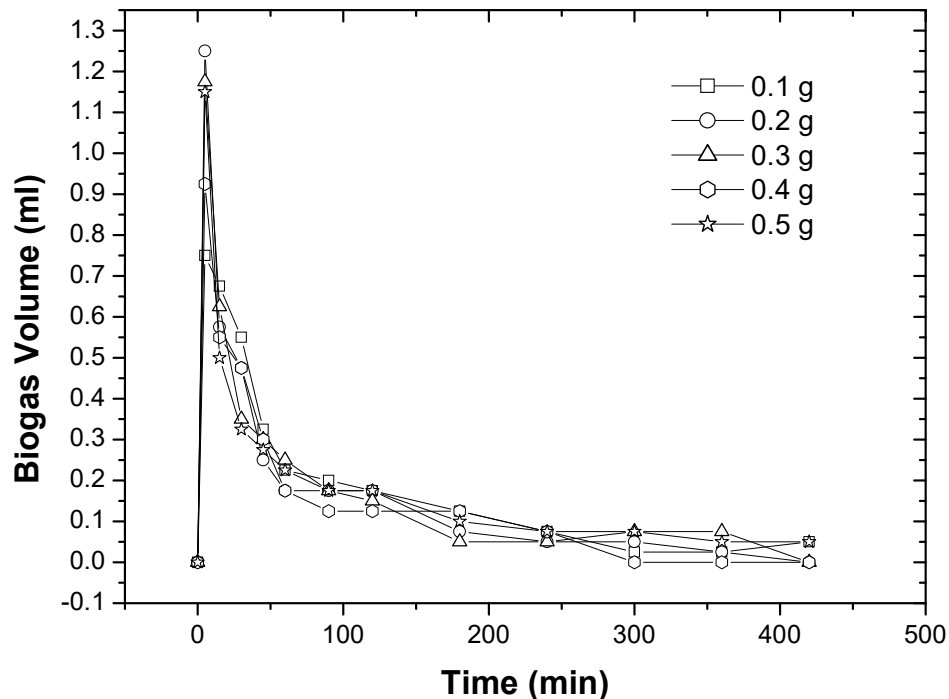


ภาพที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาตรก๊าซชีวภาพระหว่างของแข็ง และของเหลว ที่ปริมาณสารตั้งต้น 0.2 กรัม ตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพ 40 %v/v อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เวลา 420 นาที

ผลของปริมาณสารตั้งต้นของเหลว (กลูโคส) ต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

การทดลองนี้ทดสอบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่ปริมาณสารตั้งต้นของเหลวแตกต่างกัน จากการหมักวัตถุดิบของเหลวที่ปริมาณสารตั้งต้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, และ 0.5 กรัม ตามลำดับ ความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ 40 %v/v ทดลองที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เวลาการหมัก 420 นาที ในขวดทดลองขนาด 60 มิลลิลิตร ผลการทดลองพบว่า ปริมาตรก๊าซชีวภาพเกิดสูงสุด ภายในเวลา 5 นาที จำนวน 0.75, 1.25, 1.17, 0.925, และ 1.15 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นหลังเวลาที่ 5 นาที เริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเวลาที่ 420 นาที เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการเกิดก๊าซชีวภาพ พบว่าที่ปริมาณสารตั้งต้น 0.2 กรัม ผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาตรสูงสุด 1.25 มิลลิลิตร ดังแสดงตามภาพที่ 11 ทดสอบด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ F-test two-sample for variances พบว่าไม่แตกต่างกับการทดลองที่ใช้ปริมาณสารตั้งต้นสูง (0.3-0.5 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น ค่า P เท่ากับ 0.01 ปริมาณสารตั้งต้น 0.2 กรัม มีประสิทธิภาพสำหรับการหมักก๊าซชีวภาพสูงกว่าปริมาณสารตั้งต้น 0.3-0.5 กรัม เนื่องจากการทำงานของฟางข้าวที่ย่อยด้วยกรดเป็นน้ำตาลกลูโคสก่อนการนำไปหมักก๊าซชีวภาพ จะช่วยเปลี่ยนโครงสร้างจากเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส เป็นน้ำตาลกลูโคส มีผลทำให้จุลินทรีย์การหมักก๊าซชีวภาพสามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพที่

สภาวะไร้อากาศ [2] จึงเหมาะสมที่จะนำไปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ หรือน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เป็นน้ำตาลกลูโคสซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป [5] ดังนั้นการทดลองนี้จึงใช้ปริมาณสารตั้งต้นที่ดีที่สุด 0.2 กรัม เพื่อทดสอบหาสภาวะที่ดีที่สุดของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ

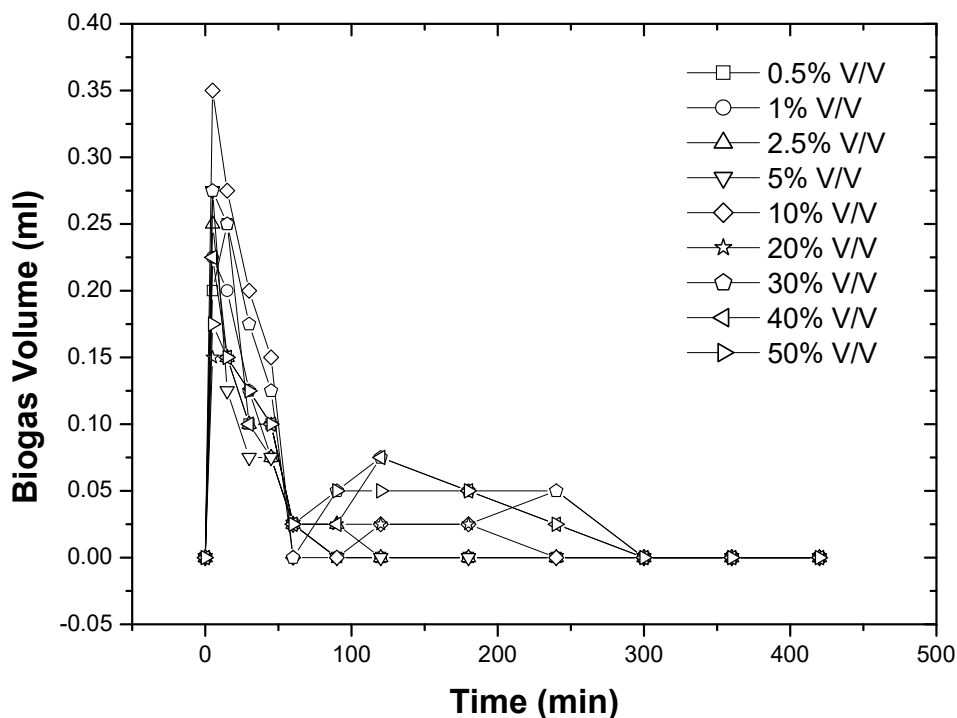


ภาพที่ 11 แสดงปริมาตรก๊าซชีวภาพเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณสารตั้งต้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, และ 0.5 กรัม โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพ 40 %v/v อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เวลา 420 นาที

ผลการทดสอบการเกิดก๊าซชีวภาพโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ

การทดลองนี้ทดสอบประสิทธิภาพ ในการผลิตก๊าซชีวภาพที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ จากการหมักตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ 0.5, 1, 2.5, 5, 10, 20, 30, 40, และ 50 %v/v ตามลำดับ ปริมาณสารตั้งต้นที่ดีที่สุด 0.2 กรัม ที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เวลาการหมัก 420 นาที ขวดทดลองขนาด 60 มิลลิลิตร ผลการทดลองพบว่า ปริมาตรก๊าซชีวภาพเกิดสูงสุดภายในเวลา 5 นาที จำนวน 0.2, 0.225, 0.25, 0.275, 0.35, 0.15, 0.275, 0.225, และ 0.175 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาตรก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นหลังจากเวลาที่ 5 นาที เริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึง 420 นาที ในทุกความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการเกิดก๊าซชีวภาพ พบว่าที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ 10 %v/v ผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณสูงสุด 0.35 มิลลิลิตร ดังแสดงตามภาพที่ 12 ทดสอบด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ F-test two-sample for variances พบว่าไม่แตกต่างกับการทดลองที่ใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพสูง (20 - 50 %v/v) อย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่น ค่า P เท่ากับ 0.01 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ 10 %v/v มีประสิทธิภาพสำหรับการหมักก๊าซชีวภาพสูงกว่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ 10 - 50 %v/v เนื่องจากการใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ 10 %v/v ช่วยลดต้นทุนในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาน้อย แต่ให้ปริมาตรก๊าซชีวภาพสูง การทดลองของ [4] พบว่าใช้ของเหลวในกระเพาะรูเมนของสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยใช้เป็นสารตั้งต้น 100 มิลลิลิตร เติมน้ำของเหลวกระเพาะรูเมนย่อยสลายแบบไร้อากาศขวดทดลองขนาด

400 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ อย่างมีนัยสำคัญ ค่า p เท่ากับ 0.05 แบคทีเรียในกระเพาะรูเมนทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 2 – 3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยมูลสัตว์ โดยไม่มีของเหลวในกระเพาะรูเมน จึงสามารถอ้างอิงได้ว่าการทดสอบการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ 10 %v/v ปริมาณที่น้อยแต่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณสูง จึงเป็นผลที่ดีการทดลองเพื่อช่วยลดต้นทุน และลดระยะเวลาในการหมักก๊าซชีวภาพอีกด้วยเป็นที่ยอมรับว่า การเพิ่มขึ้นของการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับหนึ่งคือ การตอบสนองต่อปริมาณของเหลวใน กระเพาะรูเมนที่เพิ่มเข้ามาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกลมผสมเข้ากับสารตั้งต้น ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นสภาวะที่ดีที่สุดปริมาณสารตั้งต้น 0.2 กรัม ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงชีวภาพ 10 %v/v นำมาทดสอบผลการเกิดก๊าซชีวภาพระหว่างอุณหภูมิ 39 และ 42 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 12 แสดงการเกิดก๊าซชีวภาพเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพ 0.5, 1, 2.5, 5, 10, 20, 30, 40, และ 50 %v/v ปริมาณสารตั้งต้น 0.2 กรัม อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส เวลา 420 นาที

การพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพต้นแบบจากฟางข้าวโดยใช้จุลินทรีย์เร่งกระบวนการเพื่อยกระดับผลิตไฟฟ้าและความร้อนสำหรับชุมชน ด้วยกระบวนการ Microorganism จึงมีความจำเป็นและต้องรีบดำเนินการอย่างเร่งด่วน เพราะจะช่วยลดการเผาฟางข้าวที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง PM 2.5 ก่อให้เกิดโมเดลการใช้ประโยชน์จากฟางข้าว ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อก่อให้เกิดรายได้ภายในชุมชนจากการขายไฟฟ้า 15kW x 24 ชม. X 365 วัน X 4 บาท/kWh = 525,600 บาท ต่อปีลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาฟาง 262.8 ตันต่อปี x 1.350 tCO₂eq/ตันเศษวัสดุเหลือทิ้ง² = 354.78 tCO₂eq ต่อปี ลดการปล่อยอนุภาค PM_{2.5} ต่อปี 8.262 5.2 x 11.7 kgPM_{2.5}/ตันเศษวัสดุเหลือทิ้ง² = 3.075 tonPM_{2.5} ต่อปี เกิดรายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต (ราคาซื้อขาย 10-200 บาท/tCO₂eq³) ซึ่งคาดว่าจะสร้างรายได้ 3,548 70,956 บาทต่อปี รายได้จากการขายปุ๋ยหมักที่ได้จากการย่อยสลายของฟางข้าว (เหลือ 20% ของฟางข้าววัตถุดิบ) 20.0 X 262,800 กิโลกรัมต่อปี x 10 บาทต่อกิโลกรัม = 525,600 บาทต่อปี และลดการเจ็บป่วยเนื่องจากปัญหาหมอกควัน

สรุปผลการวิจัย

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยวัตถุดิบป้อนปริมาณเท่ากัน พบว่าเทคโนโลยีใหม่จะเสร็จเร็วกว่า 4-5 เท่า หรือกล่าวอีกนัยคือ สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณสูงกว่า 4-5 เท่าเมื่อใช้เวลามากเท่ากัน ดังนั้นจะใช้พลังงานที่แปลงเป็นต้นทุนที่ต่ำกว่าได้กำไรมากกว่า การเกิดแนวคิดการอนุรักษ์ป่าชุมชนให้เป็นที่อยู่ของแบคทีเรียบริสุทธิ์สำหรับใช้เป็นแหล่งเจริญของแบคทีเรียท้องถิ่นที่สามารถนำมาคัดแยกสำหรับผลิตน้ำตาลเพื่อลดระยะเวลาการหมักก๊าซชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ โดยการตัดแปลงจากเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน แร่งม้า ให้สามารถใช้ 10 จังหวะ ขนาดประมาณ 4 เซื้อเพลิงก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นเครื่องต้นกำลังให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสที่ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ) ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง Self-excited Induction generator) และพัฒนาชุดแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแปลงกระแสไฟฟ้าให้ง่ายเข้าสู่สายส่งหนึ่งเฟส 220V 50 Hz พิกัดกำลัง 5kW เพื่อใช้งานในชุมชนรูปแบบเทคโนโลยีนี้มีข้อดีคือสามารถใช้อุปกรณ์ที่ผลิตได้ภายในประเทศ ได้แก่ เครื่องยนต์ก๊าซโซลีน ขนาดเล็ก และมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส และสามารถจ่ายไฟเข้าสู่สายส่ง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้ทุนอุดหนุนการวิจัย สำหรับโครงการแผนงานวิจัย การจัดการตนเองด้วยพลังงานทดแทน และมีโครงการวิจัยย่อยทั้งหมด 4 โครงการประกอบด้วย (1) โครงการพัฒนาระบบต้นแบบตู้ผลิต RDF โดยใช้เทคโนโลยี ไบโอดีรายเพื่อจัดการขยะชุมชน (2) การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำ มันพืชที่ใช้แล้วโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับถ่านกัมมันต์จากชีวมวล (3) การเพิ่มคุณภาพแก๊สชีวภาพโดยกระบวนการดูดซับทางเคมีในระบบผลิตแก๊ส ชีวภาพเพื่อใช้ชุมชน (4) การประยุกต์ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกสำหรับ ผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพเหลือใช้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ ผู้อำนวยการแผนงานวิจัยขอขอบพระคุณ เทศบาลนครพิษณุโลก และ นายกองดีการบริหารส่วนตำบลท่ามะนาว อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี และบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอำนวยความสะดวกสำหรับทดสอบวิจัย รวมถึง ชุมชนเป้าหมายต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมรรถกฤตเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้สนับสนุนเวลาและสถานที่ รวมคณะผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ฝ่ายสนับสนุนทุกท่าน ตลอดระยะเวลาดำเนินงานของโครงการวิจัยนี้ สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ครอบครัวของคณะผู้วิจัยที่อยู่เคียงข้างและเป็นกำลังใจ จนกระทั่งโครงการนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทพียชนก มุสิกพันธุ์, 2560 “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สภาวะปราศจากออกซิเจน”, รายงานวิจัย, ภาควิชาสาขาเคมี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด, 2560
- [2] Hendriks and Zeeman, “Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass”, *Bioresource Technology*, 2009, January 2009, 10-18
- [3] Fang and Liu, “Effect of pH on hydrogen production from glucose by a mixed culture”, *Bioresource Technology*, 2002, March 2002, 87-93

- [4] Sunarso, O., Widiasta, S.J., & Budiyono, I.N., “The Effect of Feed to Inoculums Ratio on Biogas Production Rate from Cattle Manure Using Rumen Fluid as Inoculums”, *International Journal of Waste Resources*, 2012, 2(1), 1-4
- [5] วิภาดา ศิริอนุสรณ์ศักดิ์ และนุชรา สีนบัวทอง, “การย่อยสลายฟางข้าวเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตพลังงานทดแทน”, รายงานวิจัย, สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2556

การอบแห้งแกงไตปลาด้วยเครื่องอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลจากเซรามิก

Drying of Fish Organs Sour Soup by a Far-infrared Radiation Dryer from Ceramic

โสรัญา เจตะ¹ นุรมา เวโดยี¹ พาตีเมาะ สาหะ¹ อาหมัด แวบีอราเฮง¹ พิสิษฐ์ มณีโชติ² และ อีลีหัยะ สนิโซ^{1*}
Soraya Jehtae¹, Nurma Waedoyee¹, Pateemoh Saha¹, A-mad Waeberaheng¹, Pisit Maneechot² and
Eleeyah Saniso^{1*}

¹ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อ.เมือง จ.ยะลา 95000

² วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

¹ Major of Physics, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University,
Mueang Yala District, Yala Province, 95000

² School of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Naresuan University,
Mueang Phitsanulok District, Phitsanulok Province, 65000

* Corresponding author, e-mail: eleeyah.s@yru.ac.th, Tel.: 086-2960787

Received: 20 October 2020, Revised: 12 July 2021, Accepted: 30 July 2021, Published online: 25 December 2021

Abstract

The objective of this research was to reduce the water content of fish organs sour soup (Kaeng Tai Pla) to prevent spoilage. Kaeng Tai Pla was dried by using far-infrared radiation from ceramic. The capacity of the dryer was 5,454 cm³. The drying was done at a temperature of 50°C, 60°C and 70°C with a drying layer thickness of 0.5 cm with the initial moisture content in the range of 180-190% dry basis. This was conducted until the final moisture content remained in the range of 3.6-6.1% dry basis. After that, the suitable drying temperature and drying rate of the dried Kaeng Tai Pla was analyzed. From the results, Kaeng Tai Pla dried at a drying temperature of 70°C required 5 hours for the drying time, and the final moisture content was 3.6% dry basis. While, at the drying temperature of 50°C, the drying time was equal to 10 hours for the reduction of the final moisture content of up to 5.4% dry basis. Finally, it was found that Kaeng Tai Pla had a medium yellow color, good aroma, and a salty and spicy taste.

Keywords: Drying, Kaeng Tai Pla Infrared radiation, Ceramic

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณน้ำในแกงไตปลาเพื่อป้องกันการเน่าเสียและสะดวกในการพกพา โดยใช้เครื่องอบแห้งที่อาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลจากเซรามิก ขนาดความจุ 5,454 cm³ ทำการอบแห้งแกงไตปลาซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นในช่วง 180-190% dry basis ที่อุณหภูมิ 50°C 60°C และ 70°C จนเหลือความชื้นสุดท้ายในช่วง 3.6-6.1% dry basis โดยใช้ความหนาของเนื้อแกงไตปลาเท่ากับ 0.5 cm แล้ววิเคราะห์หาอุณหภูมิและอัตราการอบแห้งที่เหมาะสมของการอบแห้งแกงไตปลา จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งแกงไตปลาที่อุณหภูมิ 70°C ใช้ระยะเวลาอบแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 5 ชั่วโมง และได้ความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 3.6% dry basis ในขณะที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C ใช้ระยะเวลาอบแห้งมากที่สุดเท่ากับ 10 ชั่วโมง จึงจะเหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 5.4% dry basis โดยแกงไตปลาแห้งที่ได้มีสีเหลืองปานกลาง มีกลิ่นของแกงไตปลา มีรสชาติเค็มและเผ็ด

คำสำคัญ: การอบแห้ง แกงไตปลา รังสีอินฟราเรด เซรามิก

บทนำ

การอบแห้ง (Drying) คือ การให้พลังงานความร้อนแก่วัสดุอบแห้งเพื่อระเหยน้ำในวัสดุหรือลดปริมาณความชื้นในที่นี้จะกล่าวถึงการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารเท่านั้น ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารส่วนมากเช่น ผัก ผลไม้ และเนื้อสัตว์ต่างๆ จะไม่ใช่วัสดุที่สามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ได้ อย่างเช่น ทราบ หรือผ้า [1] แต่เป็นวัสดุที่ไม่สามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ จึงจะมีความชื้นจำนวนหนึ่งแฝงอยู่ภายใน และความชื้นนี้สามารถใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เน่าเสียได้ง่าย การอบแห้งเป็นกระบวนการสำคัญในการลดความชื้นของวัตถุดิบจากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร วัสดุอาหารและการผลิตสินค้าชุมชนเพื่อเป็นการสร้างมูลค่าให้กับสินค้านั้น ๆ เช่น อาหารแห้ง เครื่องดื่มชนิดผง การผลิตสมุนไพร การย้อมผ้า ของใช้และของตกแต่งจากไม้ ซึ่งการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของชุมชนในปัจจุบัน จะใช้การตากแดดตามธรรมชาติหรือการอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพไม่คงที่ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารจะมีการปนเปื้อนจากสภาวะแวดล้อม เช่น ฝุ่นละออง เชื้อรา การรบกวนจากแมลงวัน หรือสัตว์ต่าง ๆ จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ในชุมชนทั้งด้านการลงทุน การบำรุงรักษาและความคุ้มค่าด้านพลังงาน [2] ดังที่ วรณิตา ทองพัด และคณะ [2] ได้ออกกล้วยน้ำว้าดิบเพื่อแปรรูปเป็นผงกล้วยและดอกอัญชันเพื่อแปรรูปเป็นชา ด้วยระบบอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิกที่อุณหภูมิ 70°C และ 60°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่า ผงกล้วยและดอกอัญชันที่ได้มีรสชาติและสีตรงตามที่ต้องการ กล่าวคือ มีสี กลิ่น และรสชาติคงเดิม จึงเป็นการยกระดับคุณภาพและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ชุมชนได้อีกทางหนึ่ง

แกงไตปลาหรือแกงพุงปลา (Fish organs sour soup) เป็นอาหารที่ขึ้นชื่อของภาคใต้ด้วยรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ ทั้งเผ็ดและร้อนแรง รสชาติเข้มข้นด้วยส่วนผสมที่ลงตัว สามารถเลือกรับประทานร่วมกับข้าวหรือขนมจีนก็อร่อยไม่แพ้กัน แกงไตปลาที่มีชนิดไม่ใส่กะทิและใส่กะทิ สำหรับแกงไตปลาไม่ใส่กะทิจะได้รับความนิยมมากกว่าแกงไตปลาแบบใส่กะทิ ซึ่งแกงไตปลาแบบใส่กะทิจะนิยมในบางท้องถิ่น เช่น จังหวัดยะลา เป็นต้น โดยการทำแกงไตปลาจะเริ่มจากการต้มกะทิพอสุกไม่แตกมัน แล้วพริกแกงซึ่งประกอบด้วย พริกชี้ฟ้าแห้ง เกลือ พริกไทยเม็ด ตะไคร้ ผิวมะกรูด กระเทียม ขมิ้น หอมแดง และกะปิ เป็นต้น ทั้งนี้แกงไตปลาแบบชุมชนจะไม่ใส่ข่า กระชาย และหอมแดง เป็นต้น [3] แต่ปัจจุบันไม่ว่าจะเดินทางไปภาคไหนของประเทศไทยก็สามารถชิมรสแกงไตปลากันได้ทั่วไป และนิยมนำมารับประทานกับข้าวสวยหรือขนมจีน เป็นต้น [4] ปัจจุบันมีการบริโภคแกงไตปลากันอย่างแพร่หลาย ไม่ใช่เพียงคนภาคใต้เท่านั้นแต่เป็นที่นิยมบริโภคกันทั่วประเทศ อย่างไรก็ตามแกงไตปลานั้นไม่สามารถ

พวกพาและเก็บรักษาไว้ได้นานเนื่องจากมีปัญหาเรื่องกลิ่นและง่ายต่อการเน่าเสีย จากปัญหาที่กล่าวมานี้ จึงเป็นที่มาของการอบแห้งแกงไตปลา เพื่อลดปริมาณน้ำอ้วนมีผลให้สามารถป้องกันการเน่าเสียและสะดวกในการพวกพา รวมทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของแกงไตปลาอีกด้วย

การอบแห้งด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น ริงส์อินฟราเรดจะมีผลให้ความชื้นของวัสดุลดลงได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อนอย่างเดียว เนื่องจากริงส์อินฟราเรดสามารถทะลุเข้าไปยังเนื้อในวัสดุที่อบแห้งแล้วเกิดความร้อนเชิงปริมาตรในวัสดุ ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนประสิทธิผลเกิดขึ้นที่ภายในวัสดุแล้วถ่ายโอนสู่ผิววัสดุแล้วจึงระเหยน้ำออกไปจากวัสดุ [5] ทั้งนี้ การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงอาจมีผลให้สารอาหาร สี และรสชาติของวัสดุเปลี่ยนแปลงได้ โดย อีลีฮัยะ สนิโซ และคณะ [5] ได้ทดลองอบแห้งเห็ดนางฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมริงส์อินฟราเรดที่อุณหภูมิ 40-70°C พบว่า ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งเห็ดนางฟ้า โดยมีอัตราส่วนความชื้นลดลงจาก ในเวลา 06.0 เฉลี่ยเท่ากับ 00.1180 min ในขณะที่เดียวกัน วรรณิตา ทองพัด และคณะ [2] ได้ระบุว่า ระบบอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิก เป็นเทคโนโลยีที่อาศัยการแผ่พลังงานความร้อนจากเซรามิกชนิดพิเศษที่รับความร้อนจากหัวเผา เพื่อปลดปล่อยคลื่นความร้อนในช่วงอินฟราเรดระยะไกล (far infrared, FIR) ซึ่งจะสร้างความร้อนที่ภายนอกจากอินฟราเรดโดยมีพลังงานส่วนหนึ่งแทรกเข้าไปในชั้นผิวของวัสดุที่อบแห้ง ส่งผลให้เกิดการส่งผ่านความชื้นจากด้านในของวัสดุสู่ด้านนอกอย่างต่อเนื่องโดยไม่ทำลายโครงสร้างของวัสดุ ทั้งยังสามารถลดระยะเวลาการอบแห้งและประหยัดพลังงาน วัตถุดิบมีรสชาติ สี กลิ่นและรสคงเดิม

งานวิจัยนี้จึงศึกษาการอบแห้งแกงไตปลาด้วยเครื่องอบแห้งที่อาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลจากเซรามิก เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมและประเมินอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งโดยการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลจากเซรามิก ที่สามารถให้ความร้อนที่รวดเร็วและกระจายความร้อนได้อย่างสม่ำเสมออีกทั้งใช้เวลาในการอบแห้งไม่นานและยังทำให้แกงไตปลาเพิ่มมูลค่าเพิ่มขึ้นสำหรับทำเป็นผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นของภาคใต้ โดยการทดลองและวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น อัตราการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงาน

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

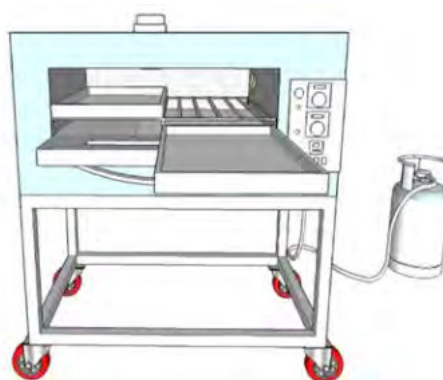
นำแกงไตปลาขนาดให้ละเอียด ด้วยเครื่องบดขนาดกำลังไฟฟ้า 1.1 kW ที่ความเร็วรอบ 190rpm ดังภาพที่ 1(ก) ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นของแกงไตปลาอยู่ที่ประมาณ 180-190% dry basis บรรจุในภาตอลูมิเนียมขนาด 16x24 cm² ซึ่งมีความหนาของเนื้อแกงไตปลาเท่ากับ 0.5 cm โดยความหนาที่เลือกใช้นี้สอดคล้องกับความลึกการทะลุผ่านของริงส์อินฟราเรด (penetration depth, D_p) [6, 7] เช่น แครอท เนย แอปเปิลสด มันฝรั่งสด มันฝรั่งแห้งและขนมปัง ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0.15-1.2 cm

2. อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องอบแห้ง ใช้แผ่นเซรามิกเป็นตัวนำในการส่งผ่านความร้อนให้กับห้องอบแห้ง ทำให้เกิดการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลจากเซรามิก โดยแผ่นเซรามิกจะได้รับความร้อนมาจากแก๊สทุ้งต้ม โดยภายในห้องอบแห้งมีขนาดความจุของเครื่องเท่ากับ 5,454 cm³ ซึ่งประกอบด้วยชั้นวางภาตสำหรับบรรจุวัสดุอบแห้ง โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นเซรามิกเท่ากับ 10 cm มีช่องระบายอากาศที่มีลักษณะทรงกลม ใช้พัดลมในการดูดอากาศออกจากห้องอบแห้ง ในขณะที่กล่องควบคุมประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายแก๊ส อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้ง อุปกรณ์ควบคุมเวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ดังภาพที่ 1(ข)

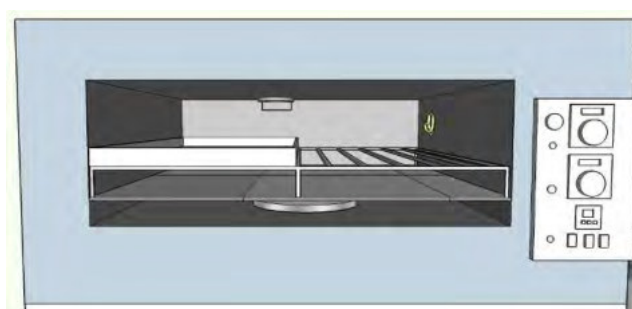


(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 (ก) แงงไต่ปลาที่ผ่านการบด และ (ข) เครื่องอบแห้งที่ใช้ในอบแกงไต่ปลา



ภาพที่ 2 ภายในเครื่องอบแห้ง (ตำแหน่งถาด) ที่ใช้ในการอบแห้งแกงไต่ปลา

3. การอบแห้งแกงไต่ปลา

การอบแห้ง ทำได้โดยนำแกงไต่ปลาเข้าเครื่องอบแห้ง ดังภาพที่ 2 แล้วใช้ความร้อนจากเซรามิกในการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกล ซึ่งกำหนดเงื่อนไขในการอบแห้ง คือ ความหนาของแกงไต่ปลาเท่ากับ 0.5 cm อุณหภูมิอบแห้ง เท่ากับ 50°C, 60°C และ 70°C ใช้ระยะห่างจากแผ่นเซรามิกเท่ากับ 10 cm และทำการชั่งการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแกงไต่ปลาทุกๆ 30 นาที ทำการอบแห้งจนแกงไต่ปลาเหลือความชื้นสุดท้ายน้อยกว่า 10% dry basis

4. การหาค่าความชื้นของแกงไต่ปลา

ความชื้นเริ่มต้นคำนวณได้ โดยการนำตัวอย่างแกงไต่ปลาเข้าตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 103±2°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยทำการชั่งน้ำหนักก่อนอบและหลังอบ แล้วคำนวณหาค่าความชื้นของแกงไต่ปลาตามมาตรฐาน AOAC 2005 [8]

5. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง ได้เลือกวิเคราะห์ค่าความชื้นของแกงไต่ปลาก่อนและหลังอบแห้ง โดยปริมาณความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 ลักษณะ [9] คือ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis) และปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

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

$$M_d = \frac{w-d}{d} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (% wet basis) M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% dry basis) w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชิ้น (kg) และ d คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง (kg)

อัตราการอบแห้ง (drying rate) คือ การเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อเวลาในการอบแห้ง ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$DR = \frac{M_i - M_f}{t} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (kg/h) M_i คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้น (kg-water) M_f คือ ปริมาณความชื้นสุดท้าย (kg-water) และ t คือ เวลาในการอบแห้ง (h)

ความสิ้นเปลืองพลังงาน (energy consumption) คือ พลังงานที่ใช้ต่อปริมาณน้ำที่ระเหยเป็นส่วนกลับของอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ ซึ่งคำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$EC = \frac{m_{fuel} - h_{fg}}{m_w} \quad (4)$$

เมื่อ m_w คือ ปริมาณน้ำที่ต้องระเหย (kg) m_{fuel} คือ มวลของเชื้อเพลิง (kg) h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงในการระเหยน้ำ (kJ/kg)

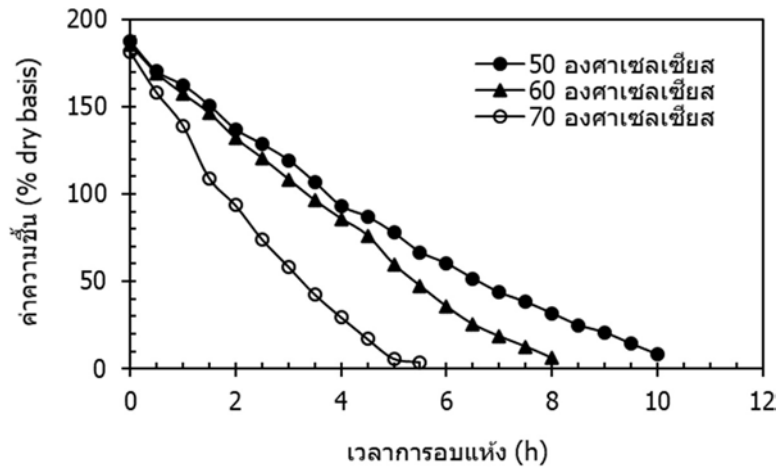
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น

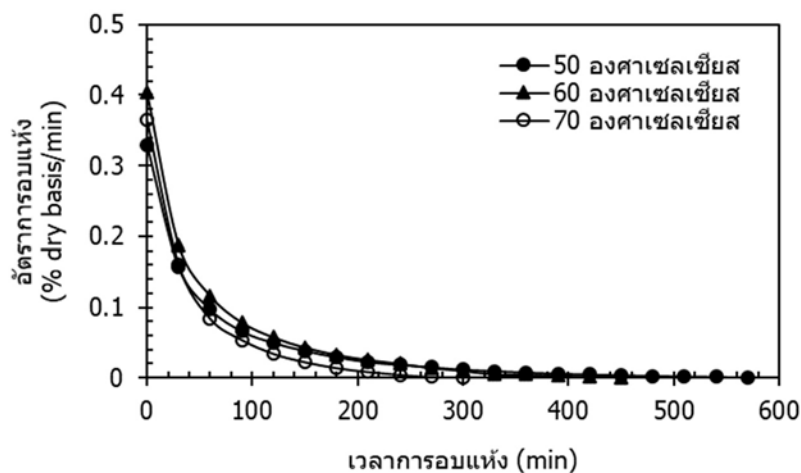
ผลการทดลองของการอบแห้งแกงไตปลาที่อุณหภูมิ 50°C 60°C และ 70°C เมื่อระยะห่างจากเซรามิกเท่ากับ 10 cm ความหนาของชั้นแกงไตปลาที่อบแห้งเท่ากับ 0.5 cm สามารถอธิบายได้โดยพิจารณาภาพที่ 3 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของแกงไตปลาที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งมากที่สุดเท่ากับ 10 ชั่วโมง จนเหลือความชื้นสุดท้าย 5.4% dry basis แกงไตปลาที่ได้หลังการอบแห้งมีลักษณะสีเหลืองปานกลาง มีกลิ่นของแกงไตปลา มีรสชาติเค็มและเผ็ด ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน แกงไตปลาแห้ง (มผช.๓๒๓/๒๕๕๖) [10] ที่ต้องมีคุณลักษณะโดยทั่วไป คือ ค่อนข้างแห้ง มีสีและกลิ่นดีตามธรรมชาติของแกงไตปลาแห้งและมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับควบคุมและป้องกันการเสียของผลิตภัณฑ์อาหาร) ไม่เกิน 0.85

ในขณะที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ต้องใช้ระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากับ 8 ชั่วโมง จึงจะเหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 6.1% dry basis โดยแกงไตปลาหลังการอบแห้งมีลักษณะสีเหลืองคล้ำ มีกลิ่นของแกงไตปลาน้อย มีรสชาติเค็มและเผ็ด ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดเท่ากับ 5 ชั่วโมง จึงเหลือความชื้นสุดท้าย 3.6% dry basis โดยแกงไตปลาที่ได้หลังการอบแห้งมีลักษณะสีเหลืองไหม้ รสชาติขม มีกลิ่นไหม้ของแกงไตปลา ทั้งนี้ระหว่างการอบแห้ง

พบว่า ในช่วงแรกความชื้นของแกงไตปลาจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเพราะเป็นช่วงที่วัสดุยังมีความชื้นสูง จึงเกิดการถ่ายเทความชื้นจากเนื้อวัสดุสู่อากาศในห้องอบแห้งอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากนั้นความชื้นจะค่อยลดลงอย่างช้าๆ จนสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง



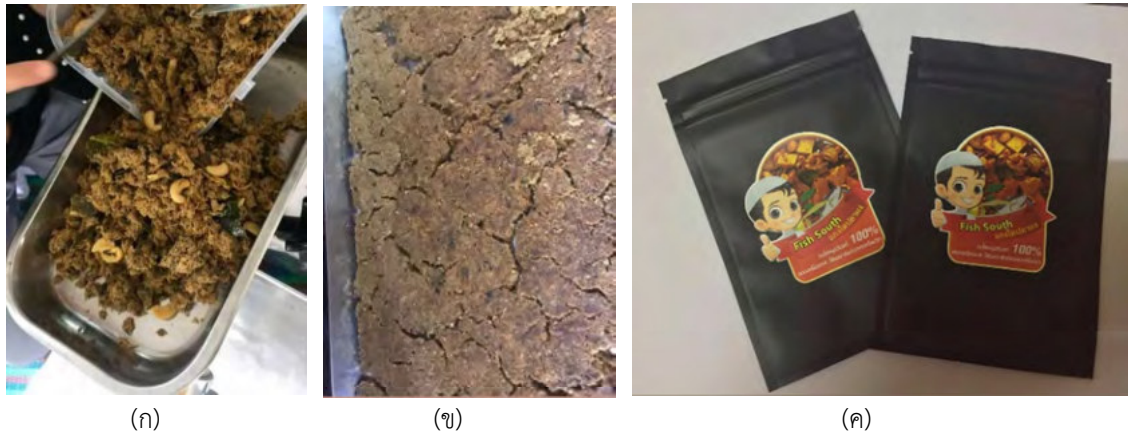
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของแกงไตปลาเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งแกงไตปลาที่อุณหภูมิต่างกัน

2. อัตราการอบแห้ง

พิจารณาภาพที่ 4 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C 60°C และ 70°C ในช่วง 1-3 ชั่วโมงแรก อัตราการอบแห้งจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากช่วงแรกนี้วัสดุมีความชื้นสูง จึงเกิดการระเหยของความชื้นในแกงไตปลาออกมาอย่างรวดเร็ว และอัตราการอบแห้งของแกงไตปลาที่อุณหภูมิ 70°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิอบแห้งที่สูงที่สุด จะพบการเปลี่ยนแปลงของอัตราการอบแห้งมากที่สุดในช่วงแรกของการอบแห้งจนถึงประมาณนาที่ที่ 50 จากนั้นอัตราการอบแห้งจะค่อยลดลงจนเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในช่วง 4-5 ชั่วโมงสุดท้ายของการอบแห้ง ซึ่งแสดงแกงไตปลาสด แกงไตปลาหลังอบแห้งและผลิตภัณฑ์แกงไตปลา ดังภาพที่ 5 (ก)-(ค)



ภาพที่ 5 (ก) แกงไตปลาสด (ข) แกงไตปลาหลังอบแห้ง และ (ค) ผลิตภัณฑ์แกงไตปลา

ทั้งนี้ วัชรินทร์ ดงบัง [6] และ Krishnamurthy et al. [7] ได้กล่าวว่า การประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดในอุตสาหกรรมอาหารจะอยู่ในรูปของตัวทำความร้อนในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การอบ การคั่วและการอบแห้ง ซึ่งพบว่ารังสีอินฟราเรดมีลักษณะเด่น คือ สามารถถ่ายโอนความร้อนสู่อาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าอากาศร้อน จึงสามารถลดเวลาของกระบวนการและค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน นอกจากนี้ผลผลิตที่ได้หลังผ่านกระบวนการทางความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดยังมีคุณภาพดีกว่าอีกด้วย เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถทะลุผ่านอาหารแต่ละชนิดได้ (ความลึกประมาณ 0.1-1.8 cm) ต่างจากการให้ความร้อนด้วยอากาศร้อนที่วัสดุจะร้อนบริเวณผิวนอกก่อนแล้วจึงถ่ายโอนไปยังภายในวัสดุซึ่งต้องใช้เวลาและวัสดุอาจไหม้หรือมีคุณภาพลดลงได้

3. ความสิ้นเปลืองพลังงาน

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งแกงไตปลาที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากค่าความสิ้นเปลืองพลังงานขึ้นอยู่กับระยะเวลา อุณหภูมิ และปริมาณเชื้อเพลิงของการอบแห้ง ซึ่งอุณหภูมิการอบแห้งที่ 50°C ใช้เวลาในการอบแห้ง 10 ชั่วโมง มีความสิ้นเปลืองพลังงานมากที่สุดและยังใช้พลังงานมากที่สุดเท่ากับ 1.525 MJ/g H₂Oevap ในขณะที่อุณหภูมิที่ 70°C ใช้พลังงานน้อยที่สุดเท่ากับ 0.813 MJ/g H₂Oevap ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งแกงไตปลาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิการอบแห้ง (°C)	มวลสุทธิของแก๊ส (LPG) (g)	ความสิ้นเปลืองพลังงาน (MJ/g.H ₂ Oevap)
50 องศาเซลเซียส	25.17	1.525
60 องศาเซลเซียส	24.21	1.239
70 องศาเซลเซียส	24.40	0.813

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้วิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และอัตราการอบแห้งแกงไตปลา ด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลจากเซรามิก โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำจะเหมาะสำหรับการอบแห้งแกงไตปลากว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง กล่าวคือ การอบแห้งแกงไตปลาด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลจากเซรามิกที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จนเหลือความชื้นสุดท้าย 5.4% dry basis ได้แกงไตปลาที่มีลักษณะสีเหลืองปานกลาง มีกลิ่นของแกงไตปลา มีรสชาติเค็มและเผ็ด ทั้งนี้อัตราการอบแห้งจะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง เนื่องจากอัตราการระเหยน้ำที่สูงขึ้นจากการได้รับพลังงานจากรังสีอินฟราเรดเข้าไปในเนื้อแกงไตปลา จึงส่งผลให้แกงไตปลาที่ได้มีลักษณะสีเหลืองปานกลาง มีรสชาติและกลิ่นของแกงไตปลาอยู่ครบถ้วน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนางสาวกิงกานต์ พันธวานิชย์ ผู้สนับสนุนเครื่องอบแห้งด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรดระยะไกลจากเซรามิก สำหรับใช้ทดลองจนเสร็จสิ้น ขอขอบคุณนายปิยณัฐ หงส์กังวาน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการวิจัย และขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมารถกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับสถานที่ในการฝึกสหกิจศึกษาและทำการวิจัยจนสำเร็จจุลวงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] นายศุภชัย แก้วจิ้ง. (2559). **ศึกษาอิทธิพลรังสีอินฟราเรดกับการอบแห้งกะปิ**. รายงานการวิจัย. สงขลา : มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- [2] วรณิดา ทองพัฑ อำพล อาภาธนากร และพิสิษฐ์ มณีโชติ. (2563). ระบบอบแห้งชนิดการแผ่รังสีความร้อนของเซรามิกสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชน. **วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**, 3(1), 19-25.
- [3] ยุทธนา ฐิระวณิชกุล สิริกานต์ ยอดแก้ว และสุภวรรณ ฐิระวณิชกุล. (2560). “แบบจำลองจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางด้วยรังสีอินฟราเรด”, ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13**, วันที่ 31 พฤษภาคม - 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยแม่โจ้และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. หน้า 44-49.
- [4] จุฑารัตน์ ทะสระระ สุภวรรณ ฐิระวณิชกุล และยุทธนา ฐิระวณิชกุล. (2560). “การอบแห้งข้าวกล้องนึ่งโดยใช้พลังงานความร้อนร่วมจากรังสีอินฟราเรดและลมร้อน”, ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13**, วันที่ 31 พฤษภาคม - 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยแม่โจ้และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. หน้า 77-83.
- [5] อีลีหียะ สนิโซ มาดีฮะ ประคู้ และฟาตีฮะ ยะยี. (2556). สภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งเห็ดนางฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมรังสีอินฟราเรด. **วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา**, 8(2), 107-117.
- [6] วิชรินทร์ ดงบัง. (2556). รังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, 18(2), 299-304.
- [7] Krishnamurthy, K., Khurana, H.K., Jun, S., Irudayaraj, J., and Demirci, A. (2008). Infrared heating in food processing: an overview. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 7, 1-13.
- [8] AOAC. (2005). Official methods of analysis. 18th Edition. Association of official analytical chemists, Washington, D.C.

- [9] สมชาติ โสภณธรณฤทธิ. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.๓๒๓/๒๕๕๖) แกงไตปลาแห้ง. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ, สืบค้นเมื่อ 6 กันยายน 2564, จาก [http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0323_56\(แกงไตปลาแห้ง\).pdf](http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0323_56(แกงไตปลาแห้ง).pdf)

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งชิ้นซิงด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับ
อินฟราเรด

Development of Mathematical Modeling for Ginger Slices Drying Kinetic
Using Infrared-Vacuum Dryer

กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์^{1,*} ดวงสิริ สยมภาค² ณรงค์ อึ้งกิมบัว³ ภาณุพงศ์ บุญเพียร³ และ วีระพันธุ์ มานันตพงศ์¹
Kittisak Witinantakit^{1,*} Dhongsiri Sayompark² Narong Uengkimbuan³ Panupong Boonpain³ and
Weeraphan Manantaphong¹

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

² สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

³ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

¹Energy Technology, School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology
Tawan-ok, Choburi 20110

²Food Science and Technology, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of
Technology Tawan-ok, Choburi 20110

³Department of Physics, Faculty of Science, Burapha University, Choburi 20131

* Corresponding author, e-mail: k_yong28@hotmail.com, Tel.: 086-386-1885

Received: 27 August 2021, Revised: 15 September 2021, Accepted: 20 September 2021, Published online: 25 December 2021

Abstract

The objective of this research was to develop mathematical modeling for ginger slices drying using infrared-vacuum dryer. Furthermore, drying kinetic, specific energy consumption, color and water activity were studied and the modeling was executed by empirical equations. The experiment was carried out by drying temperature of 50, 60 and 70°C with absolute pressure of 10 kPa consisting of 2 conditions of constant vacuum pressure and pulsed vacuum pressure with time ratio of vacuum pressure versus atmospheric pressure time at 15:2. The result shown that drying rate increased when drying by pulsed vacuum drying and increasing the drying temperature, whereas drying time and specific energy consumption decreased. The quality analysis of dried ginger slices at 70°C revealed the lowest of lightness, redness and yellowness. Moreover, ginger slices dried by pulsed vacuum drying had no statistical difference in the color of samples. In addition, the values of water activity of dried ginger slices were within standard at about 0.405-0.537. Finally, Mildilli's equation was suitable for predicting the

drying kinetics of ginger slices with the highest coefficient of determination (R^2) at 0.99947 whereas the lowest root means square error (RMSE) and sum of squared error (SSE) were 0.00722 and 0.00059, respectively.

Keywords: Ginger, Drying kinetic, Mathematical modeling, Pulsed vacuum, Specific energy consumption

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองอบแห้งชิ้นซิงด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสี ปริมาณน้ำอิสระ และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลเพื่อนำมาทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้ง โดยทดลองอบแห้งชิ้นซิงที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70°C และความดันสัมบูรณ์ 10 kPa ที่ 2 เงื่อนไข คือ ความดันสุญญากาศคงที่และความดันสุญญากาศแบบพัลส์ที่อัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาความดันสุญญากาศต่อความดันบรรยากาศ 15:2 จากผลการทดลองพบว่า เมื่ออบแห้งชิ้นซิงด้วยความดันสุญญากาศแบบพัลส์หรือเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่เวลาอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง ด้านคุณภาพของชิ้นซิงหลังอบแห้งพบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 70°C มีแนวโน้มให้ค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของชิ้นซิงต่ำที่สุด และการอบแห้งชิ้นซิงด้วยความดันสุญญากาศแบบพัลส์อุณหภูมิอบแห้งไม่มีผลต่อความแตกต่างของสีโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าปริมาณน้ำอิสระของชิ้นซิงทุกการทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.405-0.537 นอกจากนี้สมการอบแห้งเอมพิริคัลของ Midilli สามารถทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งชิ้นซิงได้สอดคล้องกับผลการทดลองมากที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุดเท่ากับ 0.99947 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.00722 และ 0.00059 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ซิง จลนพลศาสตร์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สุญญากาศแบบพัลส์ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

บทนำ

ซิง (Ginger) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Zingiber officinale* Rosco เป็นพืชล้มลุก ส่วนที่ใช้รับประทานคือ เหง้าใต้ดิน สีน้ำตาลแกมเหลือง เนื้อในสีเหลืองหรือเหลืองอ่อน เหง้าแก่มีกลิ่นหอม รสเผ็ดร้อน ซิงเป็นทั้งเครื่องเทศและสมุนไพรไทย มีสรรพคุณช่วยขับเสมหะ ลดอาการจุกเสียด ท้องอืดเพื่อ ขับลม และช่วยเจริญอาหาร นิยมรับประทานสดหรือแปรรูปเป็นซิงผง ซิงแผ่น และซิงดอง เป็นต้น เพื่อให้ง่ายต่อการเก็บรักษาและใช้ประโยชน์ กระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมวิธีการหนึ่งคือ การอบแห้ง โดยซิงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งที่ดียังคงมีสีและคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับซิงสด และเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาซิงให้นานขึ้น เนื่องจากการอบแห้งเป็นการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์และปริมาณน้ำอิสระอยู่ในเกณฑ์ที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เน่าเสีย [1] ซิงแห้งนอกจากใช้ขงต้มเป็นชาสมุนไพรแล้ว ยังใช้เป็นส่วนประกอบในตำรับยาจากตำราการแพทย์แผนไทยและตำรับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณอีกด้วย [2] ดังนั้นการอบแห้งซิงจึงเป็นวิธีการพัฒนาผลิตภัณฑ์และสร้างมูลค่าเพิ่มให้สินค้าทางการเกษตร

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปที่สำคัญ ซึ่งต้องคำนึงถึงลักษณะของวัสดุที่อบแห้ง เครื่องอบแห้งและวิธีการอบแห้งที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยและสิ้นเปลืองพลังงานต่ำ ซึ่งเป็นการเพิ่มอัตราการผลิตและลดต้นทุนการอบแห้ง การอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum Drying) เป็นการลดความดันในห้องอบแห้งให้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศส่งผลต่อจุดเดือดของน้ำซึ่งจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C ทำให้น้ำภายในวัสดุสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำ [3] จากการศึกษาการอบแห้งซิงที่ความดันสัมบูรณ์คงที่ พบว่า การอบแห้ง

ที่ความดันสัมบูรณ์ต่ำจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าที่ความดันสัมบูรณ์สูง [4] ซึ่งการเพิ่มอัตราการอบแห้งด้วยวิธีการลดความดันสัมบูรณ์ ยังมีอีกวิธีการหนึ่งคือ การอบแห้งด้วยสุญญากาศแบบพัลส์ (Pulsed Vacuum Drying) หรือการอบแห้งตามช่วงเวลาที่เป็นความดันสุญญากาศสลับกับช่วงเวลาที่เป็นความดันบรรยากาศ [5-8] จะส่งผลให้ช่องว่างภายในวัสดุเกิดการขยายตัว น้ำภายในวัสดุแพร่ออกไปที่ผิวได้ง่ายขึ้น [6, 8] จากเทคนิคดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งที่ความดันสัมบูรณ์คงที่โดยการอบแห้งดอกบัว [8] และการอบแห้งขึ้นซิง [9] พบว่า การอบแห้งด้วยสุญญากาศแบบพัลส์จะช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้ง ลดเวลาและการใช้พลังงานในการอบแห้งได้ นอกจากนี้การเพิ่มอัตราการอบแห้งโดยใช้แหล่งความร้อนจากรังสีอินฟราเรดร่วมกับสุญญากาศ เมื่อวัสดุได้รับรังสีอินฟราเรดจะทำให้โมเลกุลของน้ำภายในวัสดุสั่นและเกิดความร้อน น้ำจะแพร่ออกมาสู่ผิวของวัสดุได้เร็วขึ้นอันจะส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง และมีสีใกล้เคียงกับวัสดุก่อนอบแห้ง [4]

การอธิบายกระบวนการอบแห้งโดยการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เอมพิริคัลเป็นการทำนายการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของวัสดุอบแห้ง ซึ่งเป็นแบบจำลองที่นิยมใช้ในการทำนายการถ่ายเทมวลของวัสดุทางการเกษตรที่มีรูปแบบของสมการที่ไม่ซับซ้อน โดยใช้วิธีการปรับเส้นโค้งให้ผลการทำนายความชื้นสอดคล้องกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากผลการทดลอง ซึ่งแบบจำลองที่สามารถทำนายผลได้สอดคล้องกับการทดลองจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด (R^2) และดัชนีความแม่นยำในการทำนายจะพิจารณาจากรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน (SSE) ต้องมีค่าต่ำที่สุด [1, 4, 10] ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า แบบจำลองของ Modified Henderson and Pabis สามารถทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งขึ้นซิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดได้เหมาะสมที่สุด [4] ขณะที่แบบจำลองของ Midilli สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของซิงตองแฉ้อมที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดได้เหมาะสมที่สุด [1]

จากงานวิจัยการอบแห้งขึ้นซิงที่ความดันสุญญากาศคงที่ [4] และการอบแห้งขึ้นซิงด้วยความดันสุญญากาศแบบพัลส์ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50°C [9] ถ้านำเอาข้อดีของการอบแห้งด้วยสุญญากาศแบบพัลส์และเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งให้สูงขึ้นโดยนำแหล่งความร้อนจากอินฟราเรดมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งซิง คาดว่าจะช่วยลดเวลาในการอบแห้งซิงได้เพิ่มขึ้น ใช้พลังงานน้อยลง และซิงหลังอบแห้งยังคงมีคุณภาพที่ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการอบแห้งขึ้นซิงด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดโดยใช้อุณหภูมิอบแห้งที่แตกต่างกัน ที่ความดันสุญญากาศคงที่และความดันสุญญากาศแบบพัลส์ เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งขึ้นซิง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง สี ปริมาณน้ำอิสระ และหาสมการอบแห้งเอมพิริคัลที่เหมาะสมในการทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งขึ้นซิง เพื่อใช้เป็นแนวทางศึกษาการอบแห้งกับวัสดุทางการเกษตรชนิดอื่นต่อไป

วิธีการวิจัย

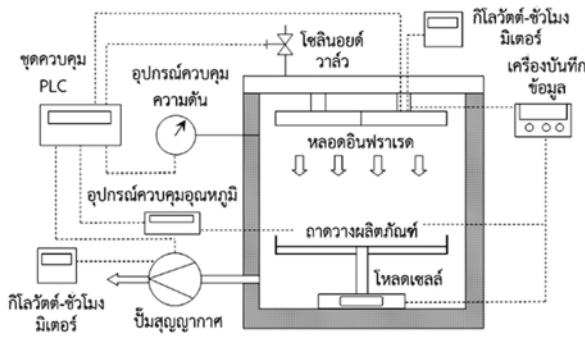
1. เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด

เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดดังภาพที่ 1(ก) ประกอบด้วยห้องอบแห้งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 cm สูง 60 cm หุ้มฉนวนหนา 2 cm ติดตั้งหลอดอินฟราเรด 4 หลอด ยี่ห้อ Infrapara รุ่น A-1 ขนาด 250 W ที่ผาด้านบนของห้องอบแห้งโดยมีระยะห่างจากผาดวงผลิตภัณฑ์ประมาณ 20 cm ควบคุมอุณหภูมิอบแห้งโดยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ Omron รุ่น E5CC แบบ PID มีความแม่นยำในการควบคุมอุณหภูมิ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ โดยต่อเชื่อมกับสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K และสร้างสภาวะสุญญากาศด้วยปั๊มสุญญากาศขนาด 0.35 kW โดยใช้เครื่องควบคุมแรงดัน (Pressure Controller) ยี่ห้อ Panasonic รุ่น DP-101 ซึ่งจะทำงานควบคู่กับชุดควบคุม PLC ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX1s-20MT ในการสร้างสภาวะสุญญากาศแบบคงที่ (Vacuum Drying, VD) และสร้างสภาวะความดันสุญญากาศแบบพัลส์ (Pulsed Vacuum Drying, PVD) ที่อัตราส่วนพัลส์ (Pulsed Ratio) 15:2 หรือช่วงเวลาที่เป็นความดันสุญญากาศ 15 นาที สลับกับช่วงเวลาที่เป็นความดันบรรยากาศ 2 นาที โดยใช้โซลินอยด์วาล์ว Pneumatic Pressure รุ่น ADK11-15A-02C-AC220V ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนแรงดัน เมื่อทำการทดลองจะใช้ไหลด์เซลล์ความละเอียด 0.1 g เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data

Logger) ยี่ห้อ Graphtec Midi Logger รุ่น GL820 เพื่อบันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้ง และวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งด้วย Kitlowatt Hour Meter ความละเอียด 0.01 kWh ดังแสดงในภาพที่ 1 (ข)



(ก) เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง



(ข) แผนภาพเครื่องอบแห้ง

ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด

2. วิธีการทดลอง

ซิงที่ใช้ในการทดลองเป็นซิงแก่อายุ 10-12 เดือน นำมาล้างทำความสะอาดทิ้งวางไว้ให้สะเด็ดน้ำ หั่นซิงตามแนวเส้นใยหนาประมาณ 3 mm ให้น้ำหนักประมาณ 200 g แล้วนำไปวางเรียงบนถาด จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดโกลที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 60 และ 70°C และความดันสัมบูรณ์ 10 kPa ที่ 2 เงื่อนไข คือ ความดันสุญญากาศคงที่ และความดันสุญญากาศแบบพัลส์ 15:2 หรือที่อัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาที่มีความดันในห้องอบแห้งเป็นความดันสุญญากาศ 15 นาที ต่อช่วงเวลาที่ความดันในห้องอบแห้งเป็นความดันบรรยากาศตามเวลาที่กำหนดจนสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง บันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและอุณหภูมิด้วย Data Logger อบแห้งซิงจนได้ความชื้นประมาณ 10-13% d.b. [11] เมื่อสิ้นสุดการทดลอง บันทึกความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าจาก Kilowatt Hour Meter แล้วนำตัวอย่างซิงไปหาความชื้น คุณภาพด้านสี และปริมาณน้ำอิสระ ต่อไป

3. การหาความชื้นของผลิตภัณฑ์

การหาความชื้นของซิงซิง โดยนำตัวอย่างซิงซิงซิงน้ำหนักแล้วนำไปอบแห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง [12] เพื่อหาน้ำหนักแห้งของซิงซิง แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สมการที่ (1) [13]

$$MC = \frac{w - d}{d} \quad (1)$$

เมื่อ	MC	คือ	ความชื้นมาตรฐานแห้ง (d.b.)
	w	คือ	น้ำหนักเปียกของซิงซิง (g)
	d	คือ	น้ำหนักแห้งของซิงซิง (g)

4. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption) ที่ใช้ในการอบแห้ง สามารถหาได้โดยใช้ ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง คือ มวลวัสดุก่อนและหลังการอบแห้ง และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จาก Kilowatt Hour Meter มาคำนวณหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งได้จากสมการที่ 2 [8]

$$SEC = \frac{3.6E_p}{m_i - m_f} \quad (2)$$

เมื่อ	SEC	คือ	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/g _{water evaporated})
	E_p	คือ	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)
	m_i	คือ	มวลของชิ้นชั่งก่อนอบแห้ง (g)
	m_f	คือ	มวลของชิ้นชั่งหลังอบแห้ง (g)

5. การทดสอบคุณภาพด้านสี

ทดสอบคุณภาพด้านสีของชิ้นชั่งก่อนและหลังอบแห้งด้วยเครื่องวัดสี Colorimeter N3H รุ่น NR200 ค่าความละเอียด 0.01 บันทึกค่าสีตามมาตรฐาน CIE Lab (International Commission on Illumination) โดย L แสดงถึงความสว่างมีค่า 0-100 โดยค่า 0 คือ สีดำ และค่า 100 คือ สีขาว ส่วนค่า a^* แสดงสีเขียว ($-a^*$) ถึงสีแดง ($+a^*$) และค่า b^* แสดงสีน้ำเงิน ($-b^*$) ถึงสีเหลือง ($+b^*$) และวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างของสีโดยรวมของชิ้นชั่งก่อนและหลังอบแห้ง ดังสมการที่ 3 [8]

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

เมื่อ	ΔE	คือ	ความแตกต่างของสีโดยรวม
	ΔL^*	คือ	ความแตกต่างของความสว่าง
	Δa^*	คือ	ความแตกต่างของความเป็นสีแดงถึงสีเขียว
	Δb^*	คือ	ความแตกต่างของความเป็นสีเหลืองถึงสีน้ำเงิน

6. การทดสอบค่าปริมาณน้ำอิสระ

นำตัวอย่างชิ้นชั่งของจากการอบแห้งที่เงื่อนไขต่างกันมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, a_w) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระยี่ห้อ AquaLab 3TE ช่วงการอ่านค่า 0.03 ถึง 1.00 ค่าความละเอียด 0.001 โดยบดตัวอย่าง 5 g ใส่ในภาชนะของเครื่องเพื่อวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ ซึ่งผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารแห้งต้องมีปริมาณน้ำอิสระไม่เกิน 0.6 จุลินทรีย์ประเภทเชื้อราจึงไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาและความปลอดภัยของอาหาร [10]

7. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัล

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีรูปแบบในการวิเคราะห์ที่ไม่ซับซ้อน และนิยมใช้ในการศึกษาจลนพลศาสตร์การถ่ายเทมวลในกระบวนการอบแห้งวัสดุทางการเกษตร โดยแบบจำลองเอมพิริคัลที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัล [1, 4, 10]

ชื่อสมการ	สมการ
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$
Midilli	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$

* a b g k และ n คือ ค่าคงที่จากการวิเคราะห์สมการเอมพิริคัล และ t คือ เวลาในการอบแห้ง (นาที)

การทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นโดยใช้แบบจำลองเอมพิริคัลจะแสดงในรูปของอัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio) ซึ่งเป็นสัดส่วนของปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ภายในวัสดุที่กำลังอบแห้งกับปริมาณน้ำทั้งหมดที่อยู่ในวัสดุก่อนอบแห้ง สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4 และเมื่อพิจารณาจากสมการที่ (3) พบว่า ความชื้นสมดุลของวัสดุมีค่าน้อยกว่าความชื้นที่เวลาใดๆ และความชื้นเริ่มต้นของวัสดุค่อนข้างมาก ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์แบบจำลอง สามารถหาอัตราส่วนความชื้นได้ดังสมการที่ 5 [10]

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

หรือ

$$MR = \frac{M_t}{M_i} \quad (5)$$

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น (decimal)
 M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (d.b.)
 M_i คือ ความชื้นเริ่มต้น (d.b.)
 M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล (d.b.)

การทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งขึ้นซึ่งโดยใช้สมการเอมพิริคัล จะใช้วิธีวิเคราะห์ถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Regression) ร่วมกับค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทดลองในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสมการในตารางที่ 1 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของขึ้นซึ่งได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองหรือไม่ จะพิจารณาจากดัชนีบ่งชี้ความสามารถในการทำนาย คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) และผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน (Sum of Squared Error, SSE) ดังสมการที่ 6-8 [1, 4, 10] โดยสมการเอมพิริคัลที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด ค่าผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อนและรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุด จะเป็นสมการเอมพิริคัลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งขึ้นซึ่ง

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - \overline{MR_{exp}})^2} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \right]} \quad (7)$$

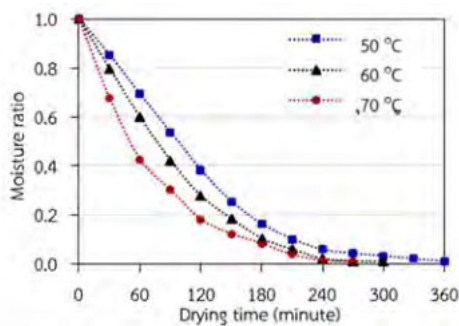
$$SSE = \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2 \quad (8)$$

เมื่อ $MR_{exp,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง (decimal)
 $MR_{pre,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นที่คำนวณได้จากสมการเอมพิริคัล (decimal)
 N คือ จำนวนข้อมูลในการทดลอง

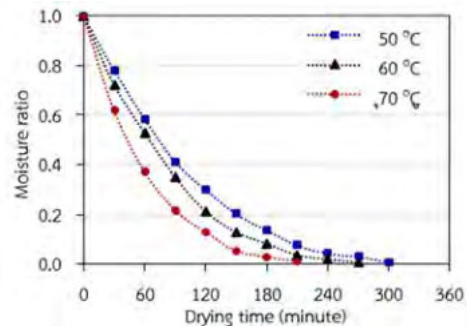
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. จลนพลศาสตร์การอบแห้งชิ้นซิง

การอบแห้งชิ้นซิงที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 60 และ 70°C และความดันสัมบูรณ์ 10 kPa แบบสุญญากาศคงที่ (VD) และสุญญากาศแบบพัลส์ (PVD) 15:2 ดังภาพที่ 2(ก) และ 2(ข) ตามลำดับ โดยอบแห้งชิ้นซิงจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 1,229.47% d.b. จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 10-13% d.b. จากผลการทดลองพบว่า เส้นกราฟการอบแห้งมีลักษณะเป็นรูปแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่ลดลงกับเวลาการอบแห้ง [1] โดยในช่วง 1-2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง เส้นกราฟจะมีความลาดชันมากและปริมาณความชื้นของชิ้นซิงจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นชิ้นซิงมีปริมาณความชื้นสูง เมื่อความดันสัมบูรณ์ในห้องอบแห้งลดลงจนมีค่า 10 kPa ซึ่งน้ำจะเดือดที่อุณหภูมิประมาณ 45.8 °C [4] และชิ้นซิงได้รับความร้อนจากรังสีอินฟราเรดเพื่อใช้ในการระเหยน้ำ ทำให้น้ำบริเวณผิวชิ้นซิงระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว เมื่อผิวของชิ้นซิงเริ่มแห้งและความชื้นของเส้นกราฟจะลดลงในช่วงท้าย ๆ ของการอบแห้ง เนื่องจากผิวหน้าของชิ้นซิงแห้งและน้ำที่อยู่ภายในชิ้นซิงเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวช้ากว่าการระเหยน้ำออกจากผิวทำให้อัตราการอบแห้งลดลง



(ก) สุญญากาศคงที่



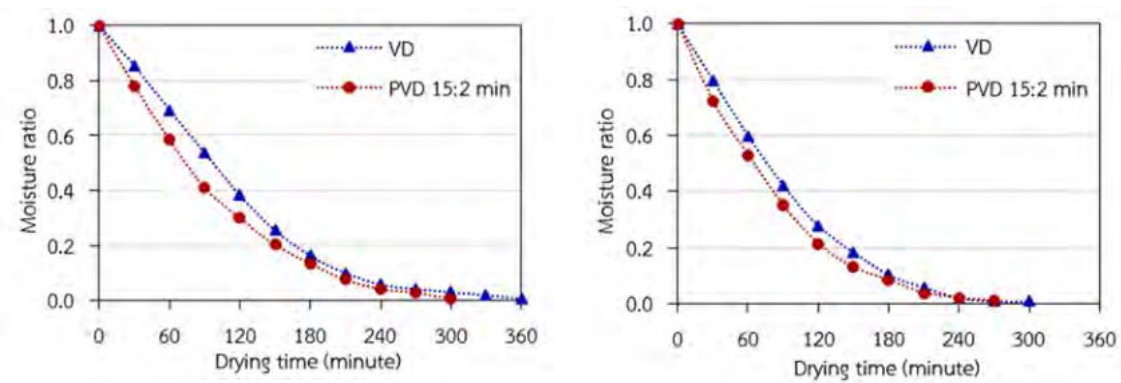
(ข) สุญญากาศแบบพัลส์ 15:2

ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของชิ้นซิงที่อบแห้งด้วยความดันสัมบูรณ์ 10 kPa โดยอบแห้งแบบสุญญากาศคงที่และสุญญากาศแบบพัลส์ 15:2

นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งให้สูงขึ้นจะทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง โดยการอบแห้งแบบสุญญากาศคงที่ อุณหภูมิอบแห้ง 50 60 และ 70°C ใช้เวลาอบแห้ง 360 300 และ 270 นาที ตามลำดับ ดังภาพที่ 2(ก) และการอบแห้งสุญญากาศแบบพัลส์ใช้เวลาอบแห้ง 300 270 และ 210 นาที ตามลำดับ ดังภาพที่ 2(ข) ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลมีค่าสูงขึ้นด้วย ส่งผลให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นและ

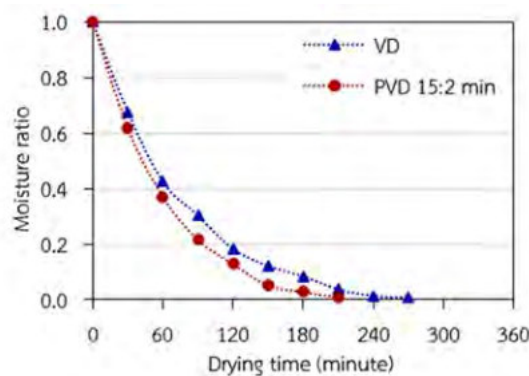
ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งขึ้นขีงน้อยลง [1, 4] ดังนั้นอุณหภูมิอบแห้งจึงมีผลต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งขีงอย่างชัดเจน โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาการอบแห้งขีงแบบสุญญากาศขีงที่เปรียบเทียบบั้กับสุญญากาศแบบพัลส์ 15:2 ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 60 และ 70°C ดังภาพที่ 3(ก) 3(ข) และ 3(ค) ตามลำดับ พบว่า การอบแห้งที่สุญญากาศแบบพัลส์มีการลดลงของอัตราส่วนความชื้นเร็วกว่าและใช้เวลาอบแห้งน้อยกว่าแบบสุญญากาศขีงที่ทุกอุณหภูมิการอบแห้ง เนื่องจากการอบแห้งที่สุญญากาศแบบพัลส์เป็นการทำงานของความดันสุญญากาศ (15 นาที) สลับกับความดันบรรยากาศ (2 นาที) ทำให้ความดันในห้องอบแห้งเกิดการเปลี่ยนแปลงตามจังหวะพัลส์ตลอดเวลากการอบแห้ง ส่งผลต่อช่องว่างและรูพรุนขนาดเล็กในขีงขีงเกิดการขยายตัว ทำให้น้ำภายในขีงขีงแพร่กระจายมาที่ผิวได้ง่ายขีงขึ้น อัตราการอบแห้งสูงขีงขึ้นและความชื้นลดลงเร็วขีงขึ้น [6, 8-9] นอกจากนี้การอบแห้งแบบสุญญากาศขีงที่ความดันในห้องอบแห้งจะคงที่ ขณะที่การอบแห้งสุญญากาศแบบพัลส์ ความดันในห้องอบแห้งจะเปลี่ยนแปลงตามจังหวะพัลส์ทำให้อากาศบริเวณขีงขีงเกิดการไหลเวียน ส่งผลให้ความชื้นถ่ายเทออกจากผิวของขีงได้ขีงขึ้น ทำให้อัตราการอบแห้งสูงขีงขึ้นและใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลง [14]



(ก) อุณหภูมิอบแห้ง 50°C

(ข) อุณหภูมิอบแห้ง 60°C

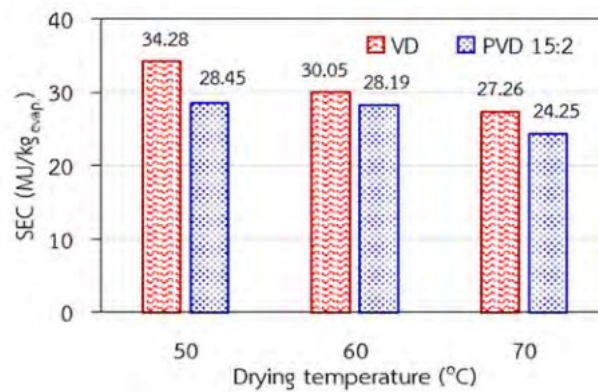


(ค) อุณหภูมิอบแห้ง 70°C

ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของขีงขีงที่อบแห้งด้วยความดันสัมบูรณ์ 10 kPa และอุณหภูมิอบแห้ง 50 60 และ 70°C

2. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

เมื่อนำค่าน้ำหนักของขึ้นขิงก่อนและหลังอบแห้ง และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งมาคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ดังภาพที่ 4 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งขึ้นขิงให้สูงขึ้นจาก 50 เป็น 60°C และจาก 60 เป็น 70°C จะทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่อบแห้งแบบความดันสุญญากาศคงที่มีค่าลดลงโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 12.32 และ 9.31 ตามลำดับ และการอบแห้งที่ความดันสุญญากาศแบบพัลส์มีค่าลดลงโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.90 และ 13.99 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นส่งผลให้น้ำระเหยได้เร็วขึ้นและทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งแบบสุญญากาศคงที่และสุญญากาศแบบพัลส์ที่อุณหภูมิการอบแห้งเดียวกัน พบว่า การอบแห้งที่สุญญากาศแบบพัลส์มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าการอบแห้งแบบสุญญากาศคงที่ โดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 60 และ 70°C จะมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 16.99 6.19 และ 11.03 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งขึ้นขิงที่สุญญากาศแบบพัลส์ส่งผลต่อการระเหยน้ำของขิงได้ดีกว่าและทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง จึงทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยลงตามไปด้วย [8-9] โดยการอบแห้งขึ้นขิงที่สุญญากาศแบบพัลส์และอุณหภูมิอบแห้ง 70°C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดเท่ากับ 24.25 MJ/kg_{water-evap.}



ภาพที่ 4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งขึ้นขิง

3. สีและปริมาณน้ำอิสระ

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำอิสระและสีของขึ้นขิงก่อนและหลังอบแห้ง

Method	T (°C)	a _w	L*	a*	b*	ΔE
Fresh		0.994±0.004 ^a	76.98±3.13 ^a	1.66±0.50 ^c	6.87±3.69 ^a	N/A
VD	50	0.491±0.083 ^{bc}	72.63±2.64 ^b	4.28±1.05 ^a	4.52±2.05 ^{ab}	6.24±2.66 ^b
	60	0.537±0.079 ^b	73.16±2.81 ^b	3.12±0.99 ^b	3.35±2.23 ^{bc}	6.69±2.18 ^b
	70	0.529±0.050 ^{bc}	68.54±2.80 ^c	2.36±1.83 ^{bc}	1.03±2.35 ^c	11.24±3.00 ^a
PVD 15:2	50	0.443±0.024 ^{bc}	73.37±3.73 ^b	1.77±1.15 ^c	2.87±2.28 ^{bc}	6.45±3.34 ^b
	60	0.458±0.080 ^{bc}	73.22±5.74 ^b	1.88±1.39 ^c	4.16±5.07 ^b	8.17±4.49 ^b
	70	0.405±0.048 ^c	71.21±3.31 ^{bc}	1.81±1.19 ^c	1.73±2.28 ^c	8.72±3.36 ^b

a-c means in the same column with different superscripts are significantly different (p<0.05)

ปริมาณน้ำอิสระของชั้นขิงหลังอบแห้งมีค่าอยู่ในช่วง 0.405-0.537 ดังตารางที่ 2 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือ มีค่าไม่เกิน 0.6 จุลินทรีย์ประเภทเชื้อราไม่สามารถเจริญได้ ทำให้สามารถเก็บรักษาชั้นขิงหลังอบแห้งไว้ได้นาน [10] เมื่อพิจารณาที่ค่าสี พบว่า ชั้นขิงอบแห้งมีค่าความสว่างใกล้เคียงกันและมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับขิงสด โดยเฉพาะที่อุณหภูมิอบแห้ง 70°C จะมีค่าความสว่างต่ำที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้นทำให้ชั้นขิงหลังอบแห้งมีสีที่คล้ำขึ้น ส่วนชั้นขิงที่อบแห้งด้วยสุญญากาศแบบพัลส์มีค่าสีแดงใกล้เคียงกับขิงสด ขณะที่การอบแห้งแบบสุญญากาศคงที่ ค่าสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งการอบแห้งแบบสุญญากาศคงที่จะใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าสุญญากาศแบบพัลส์ ส่วนค่าสีเหลืองของชั้นขิงมีค่าลดลงทุกการทดลอง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความแตกต่างของเอนทัลปี (ΔE) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ยกเว้นการอบแห้งแบบสุญญากาศคงที่ ที่อุณหภูมิ 70°C จะมีความแตกต่างของเอนทัลปีโดยรวมมากที่สุด เนื่องจากเป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าสุญญากาศแบบพัลส์จึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจน

4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัล

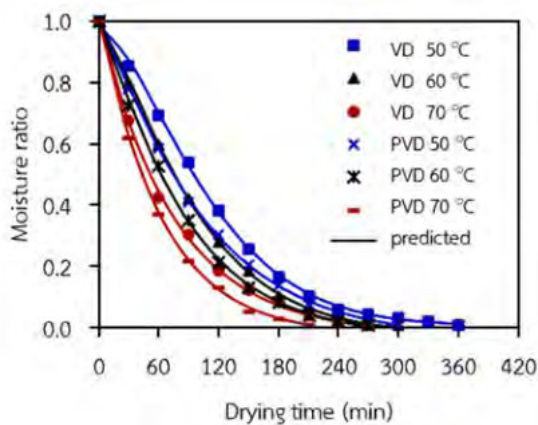
ตารางที่ 3 ค่าคงที่ของสมการเอมพิริคัล

Model	Con.	T (°C)	Constant		R ²	RMSE	SSE	
Newton	VD	50	k= 0.00866		0.97120	0.05621	0.04108	
		60	k= 0.01061		0.98134	0.04502	0.02229	
		70	k= 0.01388		0.99831	0.01283	0.00165	
	PVD	50	k= 0.01032		0.99053	0.03100	0.01057	
		60	k= 0.01231		0.99160	0.02950	0.00871	
		70	k= 0.01699		0.99796	0.01473	0.00174	
Average					0.98849	0.03155	0.01434	
Page	VD	50	k= 0.00103	n= 1.43374	0.99919	0.00940	0.00115	
		60	k= 0.00221	n= 1.33076	0.99917	0.00949	0.00099	
		70	k= 0.01101	n= 1.05146	0.99885	0.01059	0.00112	
	PVD	50	k= 0.00382	n= 1.20869	0.99919	0.00907	0.00090	
		60	k= 0.00492	n= 1.19905	0.99873	0.01149	0.00132	
		70	k= 0.01144	n= 1.09179	0.99938	0.00809	0.00052	
Average					0.99909	0.00969	0.00100	
Henderso n and Pabis	VD	50	a= 1.07831	k= 0.00926	0.97804	0.04908	0.03131	
		60	a= 1.05482	k= 0.01113	0.98492	0.04047	0.01801	
		70	a= 1.00802	k= 0.01399	0.99839	0.01252	0.00157	
	PVD	50	a= 1.03772	k= 0.01069	0.99232	0.02791	0.00857	
		60	a= 1.02874	k= 0.01263	0.99266	0.02760	0.00762	
		70	a= 1.00986	k= 0.01714	0.99809	0.01425	0.00162	
Average					0.99074	0.02864	0.01145	
Verma et al.	VD	50	a= 9.98493	k= 0.01635	g = 0.01800	0.99848	0.01292	0.00217
		60	a= 5.70171	k= 0.00562	g = 0.00491	0.99565	0.02174	0.00520
		70	a= 1.00050	k= 0.01390	g = -	0.99837	0.01260	0.00159
	PVD	50	a= -0.62900	k= 0.02519	g = 0.01360	0.99891	0.01050	0.00121
		60	a= -0.82488	k= 0.02714	g = 0.01661	0.99866	0.01180	0.00139
		70	a= -0.03460	k= 0.00015	g = 0.01564	0.99972	0.00550	0.00024
Average					0.99830	0.01251	0.00197	

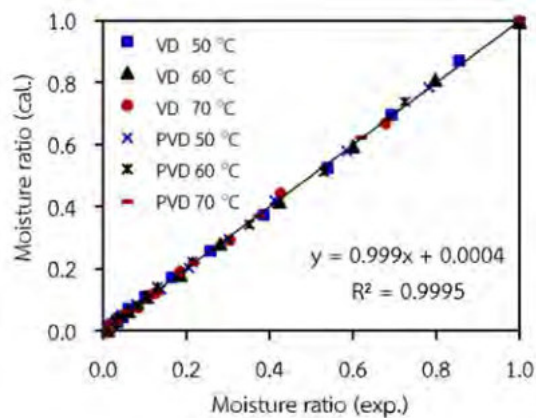
	50	a=0.98920	k=0.00084	n=1.47262	b=0.00001	0.99929	0.00881	0.00101
VD	60	a=0.99602	k=0.00254	n=1.29379	b=-0.00006	0.99960	0.00658	0.00048
	70	a=1.00133	k=0.01304	n=1.00718	b=-0.00007	0.99922	0.00871	0.00076
	50	a=0.99911	k=0.00471	n=1.15523	b=-0.00009	0.99974	0.00513	0.00029
Midilli	60	a=0.99591	k=0.00574	n=1.15717	b=-0.00008	0.99919	0.00916	0.00084
	70	a=0.99972	k=0.01362	n=1.04315	b=-0.00010	0.99977	0.00495	0.00020
	Average						0.99947	0.00722

เมื่อนำอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากผลการทดลองอบแห้งขึ้นซึ่งที่ความดันสัมบูรณ์ 10 kPa แบบความดันสุญญากาศคงที่ (VD) และความดันสุญญากาศแบบพัลส์ (PVD) 15:2 และอุณหภูมิอบแห้ง 50 60 และ 70°C ไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์เอมพิริคัลจำนวน 5 สมการ ได้แก่ แบบจำลอง Newton, Page, Henderson and Pabis, Verma et al. และ Midilli ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear regression) ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของขึ้นซึ่งที่เหมาะสมที่สุด จะพิจารณาจากความแม่นยำในการทำนายซึ่งจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงที่สุด และพิจารณาจากค่าความผิดพลาดในการทำนายซึ่งต้องมีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุด [1, 4, 10]

จากการวิเคราะห์พบว่า แบบจำลองคณิตศาสตร์เอมพิริคัลทั้ง 5 สมการ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในช่วง 0.97120-0.99977 ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.00495-0.05621 และผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.00020-0.04018 แสดงดังในตารางที่ 3 ซึ่งสมการเอมพิริคัลของ Midilli สามารถทำนายผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นได้สอดคล้องกับผลการทดลองที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด ($R^2=0.99947$) ค่าเฉลี่ยรากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุด (RMSE=0.00722) และค่าเฉลี่ยผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด (SSE=0.00059) สอดคล้องกับงานวิจัยการศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งซึ่งต้องแช่แข็ง ซึ่งพบว่าแบบจำลองของ Midilli มีความเหมาะสมในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นมากที่สุด [1] และเมื่อนำค่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองและค่าอัตราส่วนความชื้นที่คำนวณได้จากสมการของ Midilli มาสร้างกราฟเปรียบเทียบกันดังภาพที่ 5 (ก) พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันทุกการทดลอง นอกจากนี้เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นจากผลการทดลองกับผลการคำนวณด้วยสมการของ Midilli แสดงดังรูปที่ 5 (ข) พบว่า มีความสัมพันธ์ของข้อมูลเกาะกลุ่มกันเป็นแนวเส้นตรง และมีความลาดชันของเส้นแนวโน้ม 45 องศา แสดงว่าแบบจำลองของ Midilli สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของขึ้นซึ่งได้เหมาะสมที่สุด



(ก) อัตราส่วนความชื้นกับเวลา



(ข) อัตราส่วนความชื้นจากผลการทดลอง และผลการทำนาย

ภาพที่ 5 เปรียบเทียบอัตราส่วนความชื้นของขึ้นชิงจากผลการทดลองและผลการทำนายด้วยแบบจำลอง Midilli ที่อบแห้งด้วยสุญญากาศแบบคงที่และสุญญากาศแบบพัลส์ 15:2

สรุปผลการวิจัย

การอบแห้งขึ้นชิงด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70°C และความดันสัมบูรณ์ 10 kPa ที่ 2 เงื่อนไข คือ ความดันสุญญากาศคงที่และความดันสุญญากาศแบบพัลส์ที่อัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาที่เป็นความดันสุญญากาศต่อช่วงเวลาที่เป็นความดันบรรยากาศ 15:2 พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งขึ้นชิงให้สูงขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานลดลง และการอบแห้งขึ้นชิงที่ความดันสุญญากาศแบบพัลส์สามารถอบแห้งขึ้นชิงได้เร็วกว่าที่ความดันสุญญากาศคงที่ เป็นผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานลดลงเช่นเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าการอบแห้งขึ้นชิงที่ความดันสุญญากาศแบบพัลส์และอุณหภูมิอบแห้ง 70°C ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด และมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำที่สุดเท่ากับ 24.25 MJ/kg_{water-evap.} สำหรับด้านคุณภาพของขึ้นชิงพบว่า ปริมาณน้ำอิสระของขึ้นชิงทุกการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 0.405-0.537 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ มีค่าไม่เกิน 0.6 การใช้อุณหภูมิต่างกันในการอบแห้งขึ้นชิงที่ความดันสุญญากาศแบบพัลส์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าความแตกต่างของสีโดยรวม และอุณหภูมิต่างกัน 70°C ส่งผลต่อค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของขึ้นชิงมีแนวโน้มต่ำที่สุด นอกจากนี้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เอมพิริคัลที่ใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นของขึ้นชิงได้เหมาะสม คือ สมการของ Midilli ซึ่งมีความแม่นยำในการทำนายสูงสุด โดยมีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุดเท่ากับ 0.99947 และมีค่าผิดพลาดในการทำนายต่ำที่สุด โดยมีค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.00722 และผลรวมกำลังสองความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.00059

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] รัชฎา แยมศรวล, ชนิษฐา รุตรีตนมงคล และฤทธิชัย อัครวาชัย. (2561). ศึกษาแบบจำลองและผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของชิงตงแช่อบแห้ง. *วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย*. 24(1), 47-57.
- [2] โชติกา เทียบคำ, ศุภชัย ตียวรรณท์ และธนีสร์ ปทุมานนท์. (2561). “ชิงแห้ง” สมุนไพรที่ใช้ทางเภสัชกรรมไทยตามศาสตร์การแพทย์แผนไทย. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์*. 20(พิเศษ), 53-62.
- [3] ศรีมา แจ้คำ, กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์, จิรวัดน์ สิตรานนท์ และศัพันธ์ สุวรรณทัต. (2562). การศึกษาและเปรียบเทียบการอบแห้งสมุนไพรด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดและอากาศร้อน. *วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน*. 2(2), 71-77.
- [4] อำไพศักดิ์ ทิบุญมา และศักชัย จงจำ. (2553). การอบแห้งชิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 15(2), 76-86.
- [5] Xie, Y., Gao, Z., Liu, Y. and Xiao, H. (2017). Pulsed vacuum drying of rhizome dioscoreae slices. *LWT-Food Science and Technology*. 80, 237-249.
- [6] Zhang, W., Pan, Z., Xiao, H., Zheng, Z., Chen, C. and Gao, Z. (2018). Pulsed vacuum drying (PVD) technology improves drying efficiency and quality of *Poria cubes*. *Drying Technology*. 36(8), 908-921.
- [7] Liu, Z.L., Wei, Z.Y., Vidyarthi, S.K., Pan, Z., Zielinska, M., Deng, L.Z., Wang, Q.H., Wei, Q. and Xiao, H.W. (2021). Pulsed vacuum drying of kiwifruit slices and drying process optimization based on artificial neural network. *Drying Technology*. 39(3). 405.417.
- [8] วรวิภา มาณะงาน และกิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์. (2563). การอบแห้งดอกบัวด้วยเทคนิคสุญญากาศแบบพัลส์และอินฟราเรดร่วมกับการฝังในซิลิกาทราย. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*. 10(3), 84-98.
- [9] กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์, วีระพันธุ์ มานันตพงศ์, จิรวัดน์ สิตรานนท์ และเอกภูมิ บุญธรรม. (2564). จลนพลศาสตร์การอบแห้งชิงด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศแบบจิ้งหะ. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*. 3(1), 21-31.
- [10] ศรีมา แจ้คำ และกิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์. (2564). การอบแห้งแป้งเท้ายายม่อมด้วยโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*. 16(2), 94-105.
- [11] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2526). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม: ชิงแห้ง (มอก. 458-2526)*. กรุงเทพฯ.
- [12] AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 17th ed. Maryland: Gaithersburg.
- [13] สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ. (2540). *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท*. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [14] Xie, L., Mujumdar, A.S., Fang, X.M., Wang, J., Dai, J.W., Du, Z.L., Xiao, H.W., Lui, Y. and Gao, Z.J. (2017). Far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying (FIR-PVD) of wolfberry (*Lycium barbarum* L.): Effects on drying kinetics and quality attributes. *Food and Bioproducts Processing*. 102, 320-331.

การปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบติดตามดวงอาทิตย์
และพัดลมระบายความร้อน

Improving the Solar Panel Efficiency by Solar Tracking System and The Cooling Fan

วรชัย ปิตูรัตน์* จิรวัดน์ สิตรานนท์ และศรีมา แจ้คำ

Warachai Piturat*, Jirawat Sitranon and Srima Jakhom

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพลังงาน) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 21100

Master of Engineering Program (Energy Technology), School of Engineering and Innovation,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, 21100

* Corresponding author, e-mail: warachai_piturat@hotmail.co.uk, Tel.: 081-4224156

Received: 24 September 2021, Revised: 27 October 2021, Accepted: 10 November 2021, Published online: 25 December 2021

Abstract

This research is the study about the effectiveness improvement of solar cells once the single axis solar tracking system and ventilation fan are installed. Four types of 20-Watt monocrystalline silicon solar cell panels were used for this study: 1) a fixed solar cell panel, 2) a fixed solar cell panel with ventilation fan, 3) a solar cell panel with solar tracking system, and 4) a solar cell panel with solar tracking system and ventilation fan. The resulting data from these 4 panels were collected at the same period from 9.00 – 16.30 hrs. It has been found that the variables effecting the changes in the effectiveness of the solar cells were temperature and intensity of solar radiation. The temperature had direct impact on the voltage, but the temperature did not have any impact with the changes of electric current. The installed solar tracking system on the solar cell panel had direct impact on electric current since the panel was exposed to the sunlight all the time. Therefore, the intensity of solar radiation had a direct impact on electric current. Installing the ventilation fan on the solar cell panel for reducing the temperature produced average power at 0.74%, while the solar cell panel with solar tracking system produced power at 16.85%. This has been shown that the intensity of the solar radiation had more impact than the reduction of panel temperature. Therefore, the solar tracking system installation caused the solar cell panel to produce more average power than the fixed panel. The installed solar tracking system and the ventilation fan on the solar cell panel could produce the highest power and electric current out of 4 types of panel configurations. The highest average power was 8.12 Watt which the average effectiveness of the solar cell panel with the solar tracking system and the

ventilation is at the highest average power of 7.47%. This was higher than the fixed panel without the ventilation fan by 36%. In conclusion, the installation of the solar tracking system on the solar cell panel caused more average power production than the fixed panel and the ventilation fan installation plus the solar tracking system could cause very high average power production. This type of panel had the highest efficiency and the best configuration, because the decrease in temperature caused higher voltages and the solar tracking system provided long exposure to sunlight and caused higher voltages and more power production.

Keywords: solar cell, electric power, efficiency, solar tracking system

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ ชนิดปรับการหมุนแบบแกนเดียว และติดตั้งพัดลมระบายความร้อน โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 20 วัตต์ แบบผลึกเดี่ยว จำนวนทั้งหมด 4 แผง คือ 1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ 2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ติดพัดลมระบายความร้อน 3) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ และ 4) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดระบบติดตามดวงอาทิตย์ติดพัดลมระบายความร้อน ทำการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกัน ตั้งแต่เวลา 9:00-16:30 น. พบว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ อุณหภูมิ และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ โดยอุณหภูมิส่งผลโดยตรงต่อแรงดันไฟฟ้า แต่อุณหภูมิจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า เมื่อมีการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าโดยตรงเนื่องจากแผงจะรับรังสีอาทิตย์ตลอดเวลา ทำให้ทราบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีผลโดยตรงต่อกระแสไฟฟ้า การที่ติดพัดลมระบายความร้อนให้กับแผงเพื่อลดอุณหภูมิจะทำให้ได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยร้อยละ 0.74 ในขณะที่ให้แผงติดตามดวงอาทิตย์จะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยร้อยละ 16.85 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มรังสีอาทิตย์มีผลมากกว่าการลดอุณหภูมิของแผง ดังนั้นถ้ามีการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าแผงแบบอยู่กับที่ และเมื่อใดที่ทำการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์และติดพัดลมระบายความร้อนให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ก็จะทำให้แผงผลิตแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้สูงที่สุดจากทั้งหมด 4 แผงส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่ 8.12 วัตต์ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงติดตามดวงอาทิตย์และติดพัดลมระบายความร้อนมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่ร้อยละ 7.47 ซึ่งสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่และไม่ติดพัดลมระบายความร้อนถึงร้อยละ 36 ดังนั้นถ้ามีการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าแผงแบบอยู่กับที่ และถ้ามีการติดพัดลมระบายความร้อนเพิ่มให้กับแผงที่ติดตามดวงอาทิตย์ก็จะทำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าเดิม จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพสูงและดีที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิที่ลดลงทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น และการติดตามดวงอาทิตย์ทำให้แผงรับรังสีอาทิตย์ตลอดส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าสูง ทำให้ผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูง

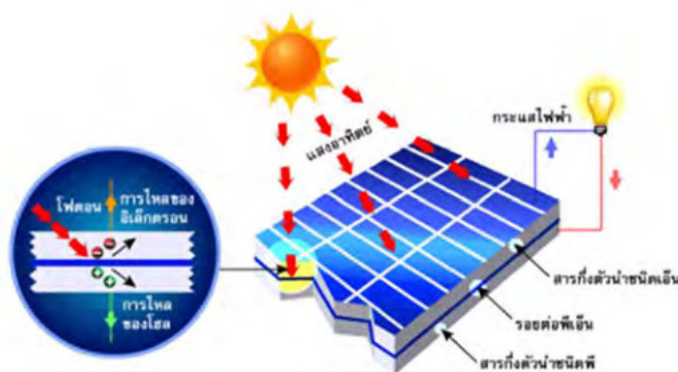
คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพ ระบบติดตามดวงอาทิตย์

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์นับเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญและเป็นแหล่งกำเนิดของพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ บนพื้นโลก เช่น พลังงานชีวมวล พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานคลื่น พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวโลกมีจำนวนมหาศาล ประเทศไทยถือว่ามีความศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง โดยมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รวมรายวันเฉลี่ยต่อปี ประมาณ 18.2 เมกกะจูลต่อตารางเมตร-วัน [1] โดยปกติการติดตั้งแผงเซลล์อาทิตย์แบบอยู่กับที่ จะทำการติดตั้งที่มุมเอียงของแผง คือ 15 องศา [2, 3] ไม่ว่าจะอยู่ ณ. ที่ตำแหน่งต่างๆ ของประเทศไทย ทั้งที่เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา หรือแม้กระทั่งฟาร์มของเซลล์แสงอาทิตย์ การที่จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดตลอดวันนั้นจะต้องทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน จากการศึกษาของ N. Barsoum (2011) อ้างถึงใน [4] พบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียวสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ามากกว่าระบบที่อยู่กับที่ร้อยละ 27-32 ในขณะที่ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ามากกว่าระบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ถึงร้อยละ 35-40 [5] ปกติค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะอ้างอิงอุณหภูมิทำงานที่ 25 องศาเซลเซียส แต่ในการใช้งานประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพจะลดลงประมาณร้อยละ 0.4 สำหรับทุก 1 องศาเซลเซียส ที่สูงขึ้นจากอุณหภูมิอ้างอิง ที่อุณหภูมิทำงานจริงที่ประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงประมาณร้อยละ 10-15 [6] และจากอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สูงขึ้นเนื่องมาจากแสงอาทิตย์กระทำกับแผงเซลล์อาทิตย์ตลอดเวลาทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียวเพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ และติดตั้งพัดลมระบายความร้อนในการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์นั่นเอง

หลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงาน ไฟฟ้าโดยใช้กระบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Effect) ในสารกึ่งตัวนำ โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ P และสารกึ่งตัวนำ N เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงที่มีพลังงานมากพอ จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นถ้ามีการเชื่อมต่อระหว่าง ฝั่งทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนซึ่งทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบ ไฟฟ้ากระแสตรง [7] ตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

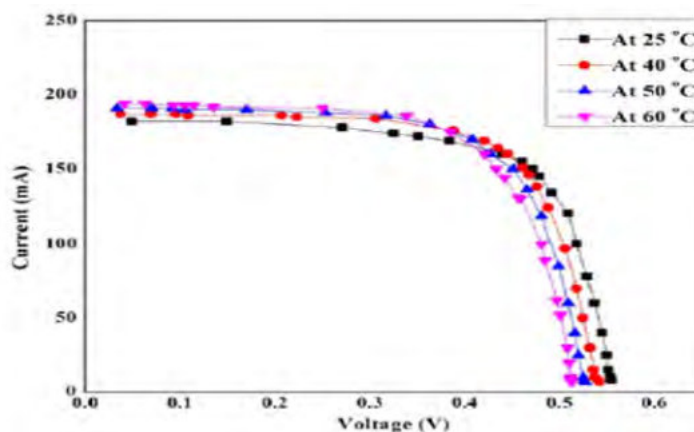
โดยทั่วไปสามารถแบ่งตามชนิดของโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การติดตั้งแบบอยู่กับที่ (Fixed system) และการติดตั้งแบบติดตามดวงอาทิตย์ (Tracking system) โดยมีรายละเอียดดังนี้ [8]

ติดตั้งแบบอยู่กับที่ (Fixed System) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ จะพบเห็นได้เยอะที่สุดเนื่องจากการติดตั้งที่ง่ายลงทุนน้อย เช่น การติดตั้งบนบ้านเรือน การติดตั้งบนพื้นดินในโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Farm) เป็นต้น โดยใช้ในการคำนวณจากข้อมูลเฉลี่ยของระดับความเข้มของแสงในแต่ละพื้นที่ เพื่อกำหนดองค์ประกอบติดตั้งแผงเพื่อรับแสงอาทิตย์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่นี้ ทำให้ได้รับค่าพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ดีเพียงบางเวลาหรือประมาณ 5-6 ชั่วโมงต่อวัน เนื่องจากดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดจากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตก แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ จะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ได้เต็มที่ในเวลาเที่ยงวันเท่านั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า ไม่เต็มศักยภาพ ซึ่งการที่จะให้ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพจะต้องทำมุมตั้งฉากกับดวงอาทิตย์เท่านั้น

การติดตั้งแบบติดตามดวงอาทิตย์ (Tracking system) ซึ่งมี 2 ชนิด คือ ติดตั้งบนโครงสร้างแบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียว (1 Axis) จุดประสงค์ของการติดตั้งคือการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของโลกในแต่ละวันในรอบปีทำให้การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนโครงสร้างแบบแกนเดียวนั้น สามารถปรับมุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรับค่ารังสีแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมตามมุมเอียงของโลก ที่แปรเปลี่ยนตามวันและ อีกชนิดหนึ่งคือ ติดตั้งบนโครงสร้างแบบติดตามดวงอาทิตย์สองแกน (2 Axis) จุดประสงค์ของการติดตั้งคือการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามวันในรอบปีและช่วงเวลา เพื่อลดผลกระทบ จากการเปลี่ยนแปลงมุมเอียงของโลกในแต่ละวันและการเคลื่อนที่ของพระอาทิตย์จาก ทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก ซึ่งการติดตั้งแบบนี้จะให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดแต่ก็ลงทุนมากที่สุด อีกทั้งยังมีระดับการซ่อมบำรุงที่ยากที่สุด [3]

การถ่ายเทความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้า เมื่อมีรังสีแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มที่สูงพอมาตกกระทบบนแผง โดยอิทธิพลที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศโดยรอบ ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ความเร็วลมของอากาศโดยรอบ ซึ่งอิทธิพลจากตัวแปรเหล่านี้จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกระแสไฟฟ้าบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [9] ตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ, แรงดันไฟฟ้า และ กระแสไฟฟ้า

สมการที่เกี่ยวข้อง

สมการกำลังไฟฟ้า และ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในสมการที่ (1) และ (2) [10]
กำลังไฟฟ้า

$$P = VI \quad (1)$$

เมื่อ

- P = กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (วัตต์)
- V = แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (โวลต์)
- I = กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แอมแปร์)

ประสิทธิภาพ

$$\eta = [P/AG] \quad (2)$$

เมื่อ

- η = ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ร้อยละ)
- P = กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (วัตต์)
- A = พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (ตารางเมตร)
- G = ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

วัตถุประสงค์

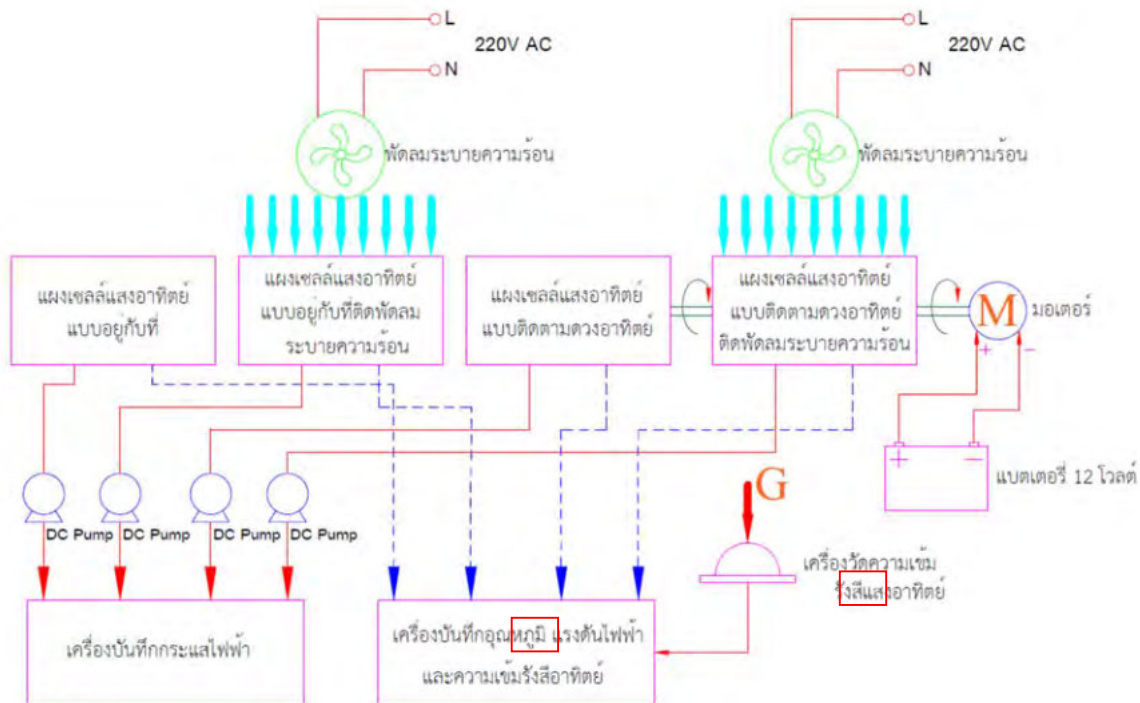
เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ และติดตั้งพัดลมระบายความร้อน

วิธีการวิจัย

ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ อุณหภูมิแวดล้อม แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ โดยมีการปฏิบัติงานในการศึกษา และรวบรวมข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 4 ลักษณะ เพื่อทำการเก็บข้อมูลในเวลาเดียวกัน ตามลำดับดังนี้ 1)แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ 2)แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ติดตั้งพัดลมระบายความร้อน 3)แผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ และ 4)แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ติดตั้งพัดลมระบายความร้อน โดยมีวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Silicon) ขนาดพื้นที่ 0.34x0.47 ตารางเมตร กำลังไฟฟ้าสูงสุด 20 วัตต์ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 17.8 โวลต์ และ กระแสสูงสุด 1.12 แอมแปร์ จำนวน 4 แผง

- 2) ภาระทางไฟฟ้าหรือโหลด เป็นปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่มีแปรงถ่านแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 16.8 วัตต์ กระแสสูงสุด 1.2 แอมแปร์ ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 ตัวต่อแผง
- 3) ชุดติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียว
- 4) เครื่องบันทึกอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า (Data logger) บริษัทผู้ผลิต GRAPHTEC รุ่น (Model) GL820 ช่องสัญญาณ 20 ช่อง ค่าความคลาดเคลื่อน (แรงคลื่นไฟฟ้า) ร้อยละ ± 0.05 ค่าความคลาดเคลื่อน (อุณหภูมิ) ร้อยละ ± 0.15
- 5) เครื่องบันทึกกระแสไฟฟ้า (Data logger) บริษัทผู้ผลิต WISCO รุ่น (Model) AI210 ช่องสัญญาณ 8 ช่อง ค่าความคลาดเคลื่อน (กระแสไฟฟ้า) ร้อยละ ± 0.05
- 6) เครื่องวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ (Pyranometer) เป็นเซนเซอร์วัดความเข้มแสง แบบรวมแสง รุ่น CMP 11 วัดความเข้มแสงได้ตั้งแต่ 0-4,000 วัตต์ต่อตารางเมตร
- 7) แบตเตอรี่ สำหรับจ่ายให้มอเตอร์ติดตามดวงอาทิตย์ แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ 70 แอมป์-ชั่วโมง แบบ Deep cycle



ภาพที่ 3 โครงสร้างวัสดุอุปกรณ์

การทดลอง

- 1) แบ่งกลุ่มของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์
- 2) ทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่เข้ากับโครงสร้างเหล็ก โดยแผงแรกไม่มีพัดลมระบายความร้อน และแผงที่สองทำการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนเข้ากับโครงสร้างเหล็ก และทำการปรับมุมเอียงของทั้งสองแผงให้ได้ที่ 15 องศา และหันหน้าแผงไปทางทิศใต้

3) ทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนโครงสร้างเหล็กที่สามารถปรับการหมุนรอบแกนสองแผงในโครงสร้างเดียวกัน จากนั้นนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดมอเตอร์ และก้านต้นแกนหมุนของระบบปรับการหมุนติดเข้ากับโครงสร้างเหล็กดังกล่าว และทำการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงใดแผงหนึ่งในโครงสร้างดังกล่าว และทำการปรับระดับให้มุมเอียงของแกนหมุนของแผงทั้งสองหันหน้าแผงไปทางด้านทิศใต้ และเอียงที่ 15 องศา

4) ทำการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ และสายวัดแรงดันไฟฟ้าเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า GRAPHTEC รุ่น GL820 เข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

5) ทำการติดตั้งสายวัดกระแสไฟฟ้าเข้ากับเครื่องบันทึกกระแสไฟฟ้า WISCO รุ่น AI210

6) ทำการติดตั้งสายไฟฟ้าพัดลมระบายความร้อนซึ่งเป็นไฟฟ้าแรงดัน 220 โวลต์ เข้ากับพัดลมระบายความร้อน

7) ทำการติดตั้งสายของเครื่องวัดค่ารังสีเข้ากับเครื่องบันทึก GRAPHTEC รุ่น GL820

8) ทำการติดตั้งสายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์เข้ากับมอเตอร์ชุดปรับการหมุนติดตามดวงอาทิตย์ และทำการปรับตั้งสวิตช์ตัดต่อการทำงานของมอเตอร์ควบคุมการหมุนติดตามดวงอาทิตย์ให้สัมพันธ์กับองศาการรับแสงอาทิตย์

9) ทำการติดตั้งสายไฟฟ้าปั๊มน้ำพลังแสงอาทิตย์เข้ากับระบบดังกล่าว

10) ทำการทดลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 4 แผง (ในช่วงเวลาเดียวกัน) ตามภาพที่ 3 โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 9:00-16:30 น. โดยนำค่าที่ได้จากการทดลองของ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และค่ารังสีแสงอาทิตย์ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงที่ถูกกล่าวข้างต้น

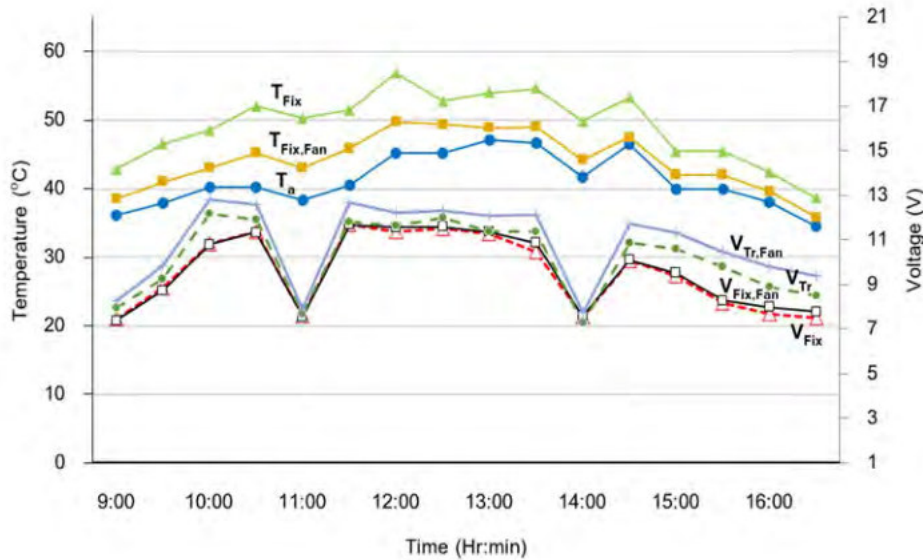
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพิจารณาจากการที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์หันตั้งฉากกับรังสีตลอดเวลา มีการติดตั้งพัดลมระบายความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแบบ มาวิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้า และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นำมาเปรียบเทียบกัน ระหว่าง 1)แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ 2)แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ติดตั้งพัดลมระบายความร้อน 3)แผงเซลล์แสงอาทิตย์ปรับการหมุนตามดวงอาทิตย์ และ 4)แผงเซลล์แสงอาทิตย์ปรับการหมุนตามดวงอาทิตย์ติดตั้งพัดลมระบายความร้อน

ผลการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้ากับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 4 เมื่อ T_{Fix} คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ $T_{Fix,Fan}$ คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ติดตั้งพัดลมระบายความร้อน T_a คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม V_{Fix} คือ แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ และ $V_{Fix,Fan}$ คือ แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ติดตั้งพัดลมระบายความร้อน ในขณะที่ T_{Tr} คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ $T_{Tr,Fan}$ คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ติดตั้งพัดลมระบายความร้อน V_{Tr} คือ แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ และ $V_{Tr,Fan}$ คือ แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ติดตั้งพัดลมระบายความร้อน ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ณ เวลา 13.00 น. มีค่าสูงสุดในช่วงเวลาที่ทำการทดลองที่ 47.04 °C เนื่องจากสภาพอากาศของสิ่งแวดล้อมไม่มีลมตามธรรมชาติเกิดการสะสมความร้อน และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยทั้งวันอยู่ที่ 41.12 °C ซึ่งค่อนข้างสูง โดยอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ และแบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ไม่มีพัดลมระบายความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม 10.90 °C ในขณะที่อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ติดตั้งพัดลมระบายความร้อน และแบบติดตามดวงอาทิตย์ติดตั้งพัดลมระบายความร้อนมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 4.32 °C ทำให้ความร้อนสะสมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง

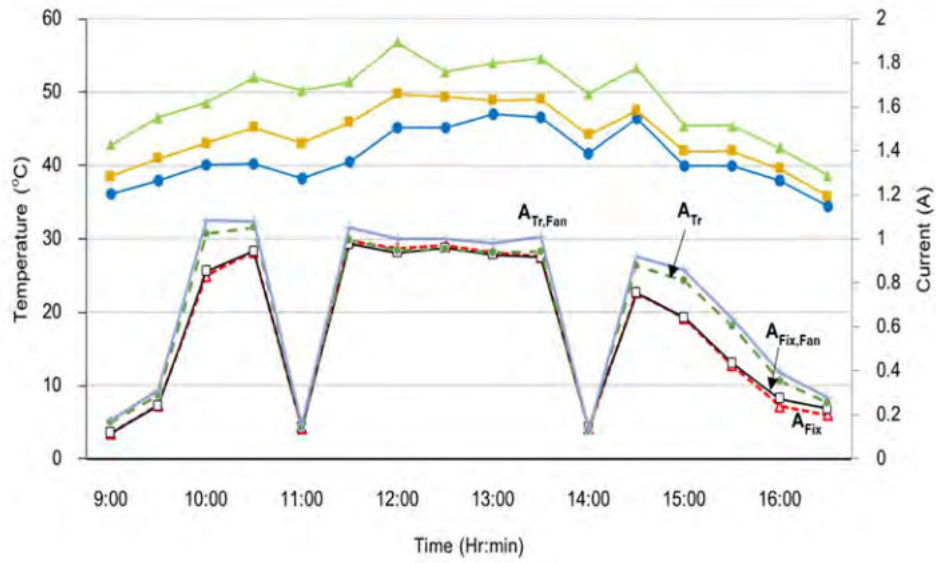
ระบายความร้อนถูกระบายสู่สิ่งแวดล้อมและส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยแผงลดลง 6.58 °C ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งตามระบายนความร้อนมีค่าสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ติดตั้งตามและบายความร้อนร้อยละ 3.57 ซึ่งจะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน และเมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างแผงแบบอยู่กับที่กับแผงติดตามดวงอาทิตย์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงที่ติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยได้ 10.52 โวลต์ ส่วนแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงแบบอยู่กับที่ 9.60 โวลต์ ทำให้สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.59 เมื่อติดตามดวงอาทิตย์



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

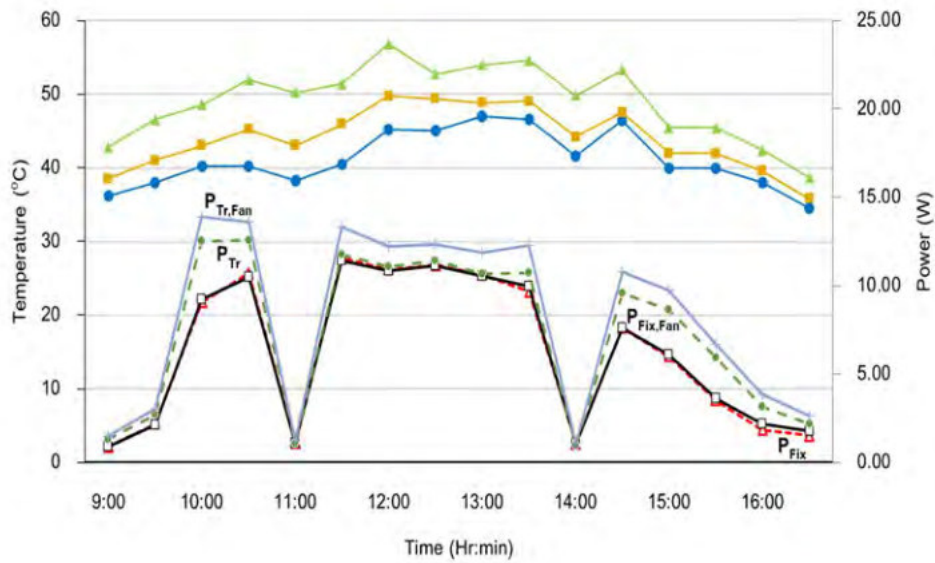
ผลการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้ากับอุณหภูมิ

จากภาพที่ 5 เมื่อ T_{Fix} คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ $T_{Fix,Fan}$ คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ติดตั้งตามระบายนความร้อน T_a คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม A_{Fix} คือ กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ และ $A_{Fix,Fan}$ คือ กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ติดตั้งตามระบายนความร้อน ในขณะที่ T_{Tr} คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ $T_{Tr,Fan}$ คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ติดตั้งตามระบายนความร้อน A_{Tr} คือ กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ และ $A_{Tr,Fan}$ คือ กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ติดตั้งตามระบายนความร้อน พบว่าแผงที่ไม่ติดตั้งตามระบายนความร้อนผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยได้ 0.62 แอมแปร์ ส่วนแผงที่ติดตั้งตามระบายนความร้อนผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยได้ 0.64 แอมแปร์ ซึ่งใกล้เคียงกันหรือไม่ต่างกันเลย แต่เมื่อเรามาพิจารณาแผงที่ติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์พบว่าการผลิตกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยได้ 0.67 โวลต์ ส่วนแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงแบบอยู่กับที่ได้ 0.59 แอมแปร์ ซึ่งแผงที่ติดตามดวงอาทิตย์ผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยได้มากกว่าแผงแบบอยู่กับที่ร้อยละ 13.61 เนื่องจากแผงมีการรับรังสีแสงอาทิตย์ตลอดเวลาจากการติดตามดวงอาทิตย์ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้สูง ต่างกับแผงแบบอยู่กับที่ที่รับรังสีแสงอาทิตย์บางช่วงเวลา 11.30-13.30 น. เท่านั้น



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิ

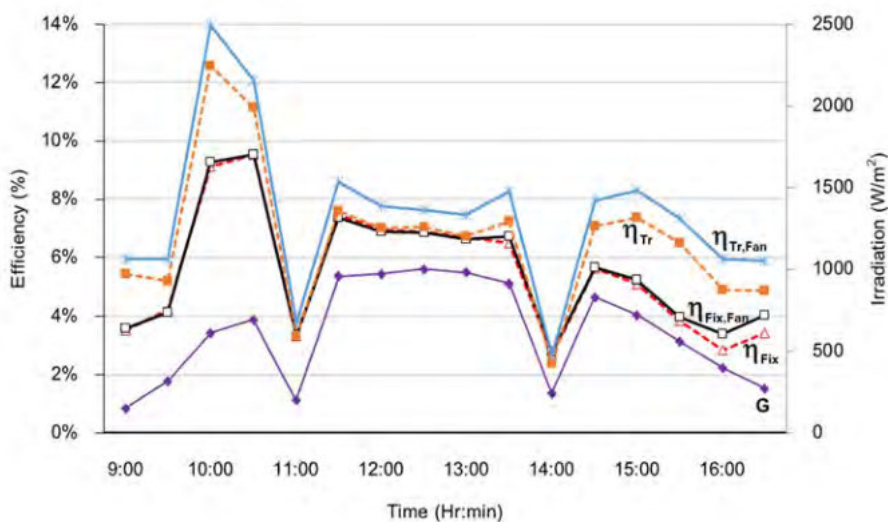


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 6 เมื่อ T_{Fix} คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ $T_{Fix,Fan}$ คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ติดพัดลมระบายความร้อน T_a คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม P_{Fix} คือ พลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ และ $P_{Fix,Fan}$ คือ กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ติดพัดลมระบายความร้อน ในขณะที่ T_{Tr} คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ $T_{Tr,Fan}$ คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตามดวงอาทิตย์ติดพัดลมระบายความร้อน P_{Tr} คือ กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ และ $P_{Tr,Fan}$ คือ กำลังไฟฟ้าของแผง

เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ติดตั้งพัฒนาระบายความร้อน จากผลการทดลองที่ผ่านมาดังภาพที่ 4 และ ภาพที่ 5 ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าดังสมการที่ 1 โดยพบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะสูงสุดสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์และติดตั้งพัฒนาระบายความร้อน โดยมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.12 วัตต์ เนื่องจากการลดลงของอุณหภูมิจากพัฒนาระบายความร้อนทำให้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น อีกทั้งแผงดังกล่าวยังติดตามดวงอาทิตย์ตลอดทำให้แผงได้รับความเข้มรังสีสูงสุดตลอดเวลาจึงส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้สูง ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าที่สูงที่สุดจากทั้งหมด 4 แผง และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้ต่ำสุดที่ 6.21 วัตต์ ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่และไม่มีพัฒนาระบายความร้อน มีผลจากอุณหภูมิของแผงที่สูงกว่าทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ต่ำกว่า และแผงไม่ได้รับความเข้มรังสีตลอดทั้งวัน ทำให้กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้ต่ำ จึงส่งผลให้กำลังไฟฟ้าต่ำไปด้วย ซึ่งตรงข้ามกับกับแผงที่ติดตามดวงอาทิตย์และติดตั้งพัฒนาระบายความร้อนนั่นเอง

ผลการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพกับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์



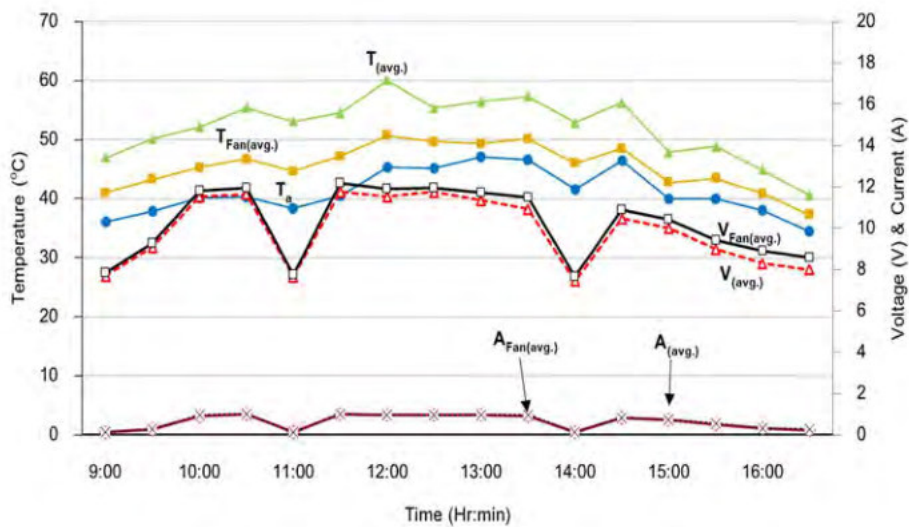
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 7 เมื่อ G คือ ค่าความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ η_{Fix} คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ $\eta_{Fix,Fan}$ คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ติดตั้งพัฒนาระบายความร้อน และในขณะที่ η_{Tr} คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ $\eta_{Tr,Fan}$ คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ติดตั้งพัฒนาระบายความร้อน พบว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่และไม่มีพัฒนาระบายความร้อนได้ประสิทธิภาพเฉลี่ยต่ำที่สุดร้อยละ 5.49 แตกต่างกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ติดตั้งพัฒนาระบายความร้อนให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยดีที่ร้อยละ 7.47 จากทั้งหมด 4 แผง โดยที่ตัวแปรที่มีผลโดยตรงกับประสิทธิภาพ คือ กำลังไฟฟ้าและความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ ตามสมการที่ 2 นี้ ที่ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์เท่ากัน การที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่และไม่มีพัฒนาระบายความร้อนมีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากแผงได้รับอุณหภูมิสูงตลอดเวลาเกิดการสะสมความร้อนจะส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงถึงแม้อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้แถบช่องว่างของสารกึ่งตัวนำลดลงทำให้อิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่จับคู่กันได้มากทำให้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันที่แถบช่องว่างสารกึ่งตัวนำลดลงส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงด้วยจึงส่งผลให้กำลังไฟฟ้าลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงลดลง [9] นอกจากนี้อิทธิพล

ของอุณหภูมิและความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้า อีกปัจจัยคือการลดความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการระบายความร้อนด้วยพัดลมให้อุณหภูมิแผงลดลง เป็นการเพิ่มอัตราการไหลใต้แผงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการไหลเวียนของอากาศตลอดเวลา [5] จึงทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ติดพัดลมระบายความร้อนให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงสูงที่สุดตามไปด้วยจากทั้งหมด 4 แผง

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ และพัดลมระบายความร้อน

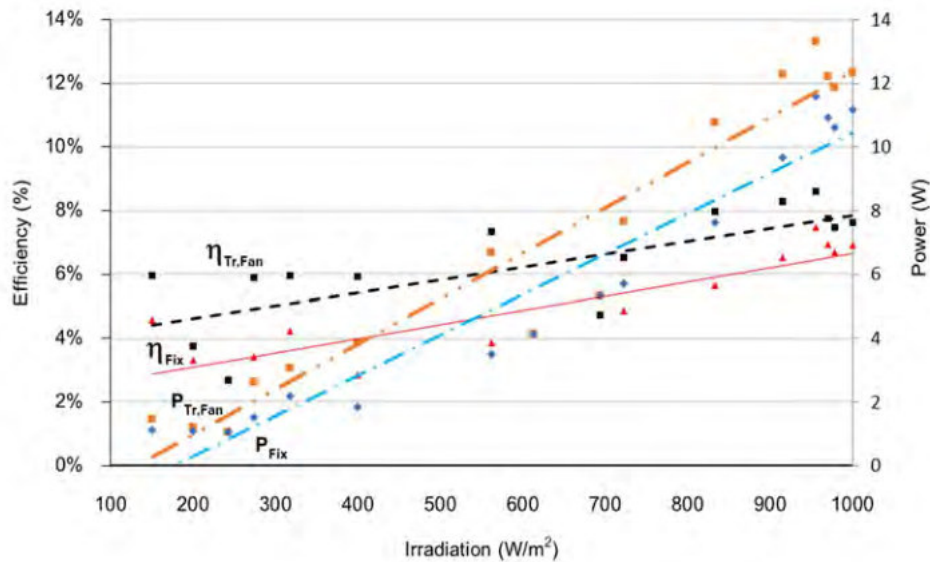
การทดลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 4 แผง แบบอยู่กับที่ แบบอยู่กับที่ติดพัดลมระบายความร้อน แบบติดตามดวงอาทิตย์ และ แบบติดตามดวงอาทิตย์ติดพัดลมระบายความร้อน ทดสอบพร้อมกัน ช่วงเวลา 9:00-16:30 น. แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิมีผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ โดยแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงที่ไม่มีพัดลมระบายความร้อนจะต่ำที่สุด ที่ 9.89 โวลต์ แต่ถ้าทำการติดพัดลมเพื่อระบายความร้อนให้กับแผงที่อยู่กับที่ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงลดลง 6.60 °C จึงส่งผลให้ผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยได้ 10.24 โวลต์ มากกว่าแผงที่ไม่ติดพัดลมระบายความร้อนถึงร้อยละ 3.57 ดังภาพที่ 8 เมื่อ $T_{(avg.)}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ติดพัดลมระบายความร้อน $T_{Fan(avg.)}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดพัดลมระบายความร้อน $V_{(avg.)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ติดพัดลมระบายความร้อน $V_{Fan(avg.)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดพัดลมระบายความร้อน $A_{(avg.)}$ คือ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ติดพัดลมระบายความร้อน และ $A_{Fan(avg.)}$ คือ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดพัดลมระบายความร้อน



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย กับอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงที่ติดพัดลม และไม่ติดพัดลม

เมื่อทำการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์และติดพัดลมระบายความร้อนให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 9 ก็จะทำให้แผงผลิตแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้สูงที่สุดจากผลการทดลองของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ติดพัดลมระบายความร้อน ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้สูงตามไปด้วยที่ 8.12 วัตต์ ขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่และไม่มีการระบายความร้อนด้วยพัดลมระบายความร้อนได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 6.21 วัตต์ ซึ่งต่ำกว่าร้อยละ 23.52 เมื่อพลังงาน

ไฟฟ้าเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ติดตั้งพัฒนาซึ่งเป็นแผงที่ให้พลังงานไฟฟ้าที่สูงที่สุดจากทั้งหมด 4 แผง จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงดังกล่าวสูงที่สุด ที่ร้อยละ 7.47 ซึ่งสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอยู่กับที่และไม่ติดตั้งลมระบายความร้อนถึงร้อยละ 36



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพของแผงแบบอยู่กับที่ และแผงแบบติดตามดวงอาทิตย์ติดตั้งพัฒนา

สรุปผลการวิจัย

ตัวแปรที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ อุณหภูมิ และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิส่งผลโดยตรงต่อแรงดันไฟฟ้า แต่อุณหภูมิจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า และเมื่อมีการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าโดยตรงเนื่องจากแผงจะรับรังสีแสงอาทิตย์ตลอดเวลา ทำให้ทราบว่าค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีผลโดยตรงต่อกระแสไฟฟ้า การที่ติดตั้งลมระบายความร้อนให้กับแผงเพื่อลดอุณหภูมิจะทำให้ได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยร้อยละ 0.74 ในขณะที่ให้แผงติดตามดวงอาทิตย์จะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยร้อยละ 16.85 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีผลมากกว่าการลดอุณหภูมิของแผง ดังนั้นถ้ามีการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าแผงแบบอยู่กับที่ และถ้ามีการติดตั้งลมระบายความร้อนเพิ่มให้กับแผงที่ติดตามดวงอาทิตย์ก็จะทำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงกว่าเดิม จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพสูงและดีที่สุดในเรื่องอุณหภูมิที่ลดลงทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น และการติดตามดวงอาทิตย์ทำให้แผงรับรังสีอาทิตย์ตลอดส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าสูง ทำให้ผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูง

ข้อเสนอแนะ

นอกจากการติดตั้งลมระบายความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงแล้ว วิธีการที่จะทำให้อุณหภูมิของแผงลดลงอาจจะทำการติดตั้งครีบบระบายความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิของแผงลดลงได้เช่นกัน ซึ่งอาจจะต้องทำการวิจัยเพื่อเก็บข้อมูล มาทำการวิเคราะห์ผลเมื่อทำการติดตั้งครีบบระบายความร้อน และในส่วนของงานนำไปประยุกต์ใช้ในงานเชิง

พานิชย์นั้น จะต้องมีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง และมองในด้านการลงทุน และจุดคุ้มทุนซึ่งจะได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในลำดับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ จิรวัดน์ สิตรานนท์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์การทดลองและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. (2542). **แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย**, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : จีรังซ์ซ์.
- [2] สิทธิชัย จินะวงษ์, น่านนที กัลยา, และเสาวลักษณ์ ชัยยีน. (2556). ระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบสองแกนด้วยการปรับสมดุลระดับน้ำ. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม**. 9 (3), 151.
- [3] ไพโรจน์ ทองประศรี. (2561). การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์และพิคัดของโหลดสำหรับติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี**, 97.
- [4] Barsoum, N. (2011). Fabrication of dual-axis solar tracking controller project. **Intelligent Control and Automation**, 2, 57-68.
- [5] ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล, และวัชรวิชัย เจียรวรรณ. (2558). ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนราคาถูสำหรับบ้านพลังงานแสงอาทิตย์, ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8 ประจำปี 2558**, 8, 4-6 พฤศจิกายน 2558, ณ อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ อ่างทองคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี. ปทุมธานี
- [6] กฤษฏา นามวงษ์, พิษณุพงศ์ พันธน์ราพงศ์, และตั้งเฮง ยนต์สถิตย์กุล. (2562). การประเมินสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของแผงโซลาร์เซลล์โดยการใช้พัลลมาระบายความร้อนแบบอัตโนมัติ, ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33 ประจำปี 2562**, 2, วันที่ 2-5 กรกฎาคม 2562 จังหวัดอุดรธานี.
- [7] นครินทร์ รินพล (2560). **คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เบื้องต้น**, สำนักพิมพ์ znakar in
- [8] ธนฉัตร ลังกาดี และ อรรถกร อาสนาคำ (2560). การประเมินสมรรถนะโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในกรณีที่มีและไม่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศ. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**, 23, 3 (ก.ย.-ธ.ค. 2559), 130-141
- [9] Deethavat, Sun, V., Asanakham, T., & Kiatsirirot, A. (2016) Numerical and experimental studies on phase change material for reducing PV module temperature. **The International Conference on Advance Manufacturing Technology and Applied Energy 2016 (AMTAE 2016)**, August 22-23, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- [10] สมชาติ บุญศรี, สุพิชัย แสงสุวรรณ, และอิทธิพล หินดี. (2560). การศึกษาเทคนิคการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำที่แตกต่างกัน, **รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร**, 22 ธันวาคม 2560, 391-397

การศึกษาอุณหภูมิและปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ส่งผลต่อความดันสุญญากาศของปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ
Study of Temperature and Amount of Cooling Water Affecting to Vacuum Pressure
of Steam Water Pump

ฉัตรชัย อุ่นวิเศษ^{1*}, จิรวัดน์ สิตรานนท์¹ และกิตติวุฒิ ศุทธิวิโรจน์²
Chatchai Oonwised^{1*}, Jirawat sitranon¹ and Kittiwoot Sutthivirode²

¹สาขาเทคโนโลยีพลังงาน, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก 20110

²ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 10800

¹Energy Technology Department, School of Engineering and Innovation,
Rajamangala University of Technology Tawan-ok 20110

²Department of Teacher Training in Mechanical Engineering, The Faculty of Technical Education,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 10800

* Corresponding author, e-mail: chatchai.lsd@gmail.com, Tel.: 086-3697058

Received: 2 August 2021, Revised: 27 August 2021, Accepted: 12 September 2021, Published online: 25 December 2021

Abstract

The purpose of the research is to study the mechanism of single-cycle steam water pump which uses the same condenser and storage tank. The study evaluates effect of temperature and volume of cooling water on the vacuum pressure. The experiment consisted of different conditions of cooling temperature with the condenser tank volume 204 Liter and steam tank volume 17 Liter at 2 m. The cooling temperature and volume of cooling water were at 15, 20, 25, and 30 °C and 2, 3, 4, and 5 Liter, respectively at suction heads 2 m. The results show that, the higher vacuum pressure in condenser tank is achievable by decreasing cooling water temperature and increase the volume of cooling water. Furthermore, the mixed temperature at 5 Liter of cooling water under cooling water temperature 15 °C is 64.36 °C resulting in the highest vacuum pressure obtained up to 74.96 kPa. Therefore, reducing the cooling temperature and increasing the amount of cooling water result in a higher vacuum pressure. Increasing the amount of cooling water resulted in three times the effect on mixing temperature than reducing the cooling temperature. This will result in increasing suction height of the steam water pump.

Keywords: Mixing Temperature, Vacuum Pressure, Cooling Water Temperature, Cooling Water Amount, Steam Water Pump

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของระบบสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบการทำงานรอบเดียว ซึ่งใช้ถังควบแน่นและถังเก็บน้ำเป็นถังเดียวกัน โดยศึกษาอุณหภูมิและปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ส่งผลต่อความดันสุญญากาศ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังควบแน่น (อุณหภูมิผสม) โดยถังควบแน่นปริมาตร 204 ลิตร และถังผลิตไอน้ำปริมาตร 17 ลิตร ทำการทดลองที่ระดับความสูงในการสูบน้ำ 2 เมตร เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของระบบ และปรับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 15, 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำหล่อเย็น 2, 3, 4 และ 5 ลิตร ที่ความสูงในการสูบน้ำ 2 เมตร ตามลำดับ พบว่า การทำให้แรงดันสุญญากาศในถังควบแน่นสูงขึ้นได้โดยการลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นและเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็น คืออุณหภูมิผสมในถังควบแน่นจากน้ำหล่อเย็น 5 ลิตร ที่ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 15 องศาเซลเซียส คือ 64.36 องศาเซลเซียส ส่งผลให้แรงดันสุญญากาศสูงสุดที่ได้คือ 74.96 kPa ดังนั้นการลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และการเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นส่งผลให้ความดันสุญญากาศมีค่ามากขึ้นตาม โดยการเพิ่มปริมาณของน้ำหล่อเย็นส่งผลต่ออุณหภูมิผสมมากกว่าการลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นถึง 3 เท่า ซึ่งจะส่งผลให้ความสูงในการสูบน้ำของปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: อุณหภูมิผสม ความดันสุญญากาศ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ปริมาณน้ำหล่อเย็น ปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ

บทนำ

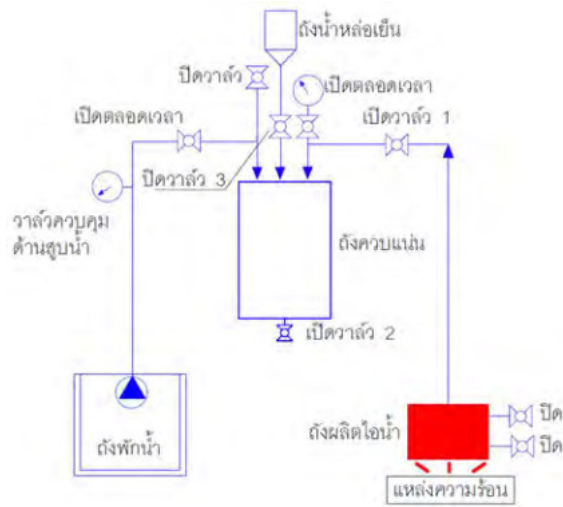
ในปัจจุบันปัญหาที่พบมากที่สุดของเกษตรกรคือการขาดการชลประทานที่ดี สำหรับการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ นอกจากต้องพึ่งปริมาณน้ำฝนที่ตกโดยธรรมชาติซึ่งมีความไม่แน่นอน เกษตรกรยังต้องมีการสูบน้ำเพื่อใช้การเกษตรอยู่ตลอด โดยทั่วไปในปัจจุบันจะมีเครื่องสูบน้ำ 3 ประเภทคือ เครื่องสูบน้ำที่ใช้ไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำใช้เครื่องยนต์พลังงานฟอสซิล และเครื่องสูบน้ำใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ในการสูบน้ำขึ้นจากบ่ออยู่ตลอดเวลา เครื่องสูบน้ำที่ใช้ไฟฟ้ายังประสบปัญหาเรื่องสายส่งไฟฟ้าที่ยังจำกัดพื้นที่ซึ่งในถิ่นทุรกันดารที่ไม่มีสายส่งไฟฟ้ายังประสบปัญหาในปัจจุบัน เครื่องสูบน้ำใช้เครื่องยนต์พลังงานฟอสซิล ยังก่อให้เกิดมลภาวะให้กับโลก ส่วนเครื่องสูบน้ำที่ใช้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ยังมีต้นทุนต่อหน่วยในราคาสูงอยู่ การสูบน้ำเพื่อการเกษตรสำหรับประเทศไทย ทั้งนี้เพื่อตอบสนองความต้องการจะต้องมีน้ำเพียงพอที่จะทำการเพาะปลูกได้ตลอดปี คือต้องมีน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เมตร ต่อการเพาะปลูก 1 ไร่ โดยประมาณ [1] ระบบปั๊มน้ำพลังงานความร้อน (Thermal water pump) อาศัยหลักการของการปั๊มน้ำ และการไหลเวียนน้ำโดย การประยุกต์ใช้พลังงานความร้อนมาใช้ในการปั๊มน้ำและการหมุนเวียนของไหลด้วยกำลังไอน้ำ สามารถรับและคายความร้อนได้ดี โดยการหมุนเวียนน้ำร้อนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อน [2] ปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำโดยใช้น้ำหล่อเย็นโดยตรง ซึ่งเป็นระบบปั๊มน้ำพลังงานความร้อนประเภทหนึ่ง จึงเป็นทางเลือกใหม่ในการสูบน้ำ โดยหลักการการทำงานที่เรียบง่ายขึ้นส่วนน้อยและใช้งานง่าย การก่อสร้างที่ไม่ยุ่งยาก ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวเมื่อเทียบกับปั๊มลูกสูบ ช่วยประหยัดพลังงานโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งเพื่อผลิตไอน้ำและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ใช้น้ำเป็นของเหลวเป็นสารใช้งานของระบบ เราอาจใช้ปั๊มนี้เพื่อผลิตน้ำร้อนฤดูหนาวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อใช้พลังงานมาจากวัสดุที่เหลือใช้ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ปั๊มขนาด 10 ลิตรนี้ ระบบเปรียบได้กับระบบ von OPPEN และ CHANDWALKER ถ้าใช้วัสดุเหลือใช้มาทำเชื้อเพลิง ปั๊มชนิดนี้อาจประหยัดกว่า [3] ปัจจุบันได้มีการสร้างเครื่องต้นแบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบอัตโนมัติขึ้นมาโดยจะมีการสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำหลายรอบการทำงาน หลายรูปแบบ ขนาดถังเล็กต้องใช้พลังงานความร้อนค่อนข้างสิ้นเปลือง ปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์ 3,000 วัตต์ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ป้อนระบบ ทำให้ระบบสูบน้ำได้มากขึ้น กำลังไฟฟ้าสูบน้ำได้ 227 ลิตร และเพิ่มความสูงในการสูบน้ำทำให้ประสิทธิภาพปั๊มสูงขึ้นตามทำได้สูงสุดที่ 4.85 เมตร [4] ได้มีการทดสอบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำพลังงาน

ความร้อนจากถ่านไม้ระบบสามารถหมุนเวียนน้ำได้ 9.5 ลิตรต่อรอบขนาดถังควบแน่นน้ำขนาด 9 ลิตร ทำการทดลองภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยสามารถสรุปได้คือ บั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำพลังงานความร้อนจากถ่านไม้สามารถผลิตน้ำร้อนได้เท่ากับ 66.5 ลิตร อุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้เฉลี่ย 41.76 องศาเซลเซียส โดยระยะเวลาแต่ละรอบมีความแตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับระบบมีความแตกต่างกัน และเนื่องจากปริมาณเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับระบบมีความไม่สม่ำเสมอทำให้ปริมาณความร้อนที่ได้ไม่คงที่ส่งผลให้การผลิตไอน้ำไม่เพียงพอรวมถึงระยะเวลาต่อรอบเพิ่มขึ้นด้วย [5] ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของระบบ คือ อุณหภูมิภายในถังควบแน่น และอุณหภูมิที่เติมให้แก่ถังผลิตไอน้ำ ซึ่งจำนวนรอบการทำงานของระบบจะเพิ่ม และลดการใช้พลังงานจากฮีตเตอร์ ถ้าอุณหภูมิที่เติมเข้าไปมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิในถังแล้ว [6] แต่ระดับความสูงของระบบก็ยังไม่เพิ่มขึ้น ระดับความสูงในการสูบน้ำเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้จำนวนรอบในการสูบน้ำลดลง เมื่อจำนวนรอบลดลงปริมาณน้ำที่สูบได้ทั้งหมดก็ลดลงตาม ส่วนประสิทธิภาพปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำจะเพิ่มขึ้นตามพลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำ และตามความสูงที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มระดับความสูงในการสูบน้ำจะส่งผลอย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำให้สูงขึ้น [7] ได้ทดลองผลของการประยุกต์ปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำโดยทำงานรอบเดียว ใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวลโดยเฉพาะเศษไม้ที่ได้จากการตัดไม้ โดยใช้ความสูงในการสูบน้ำที่ระดับความสูงด้านสูบน้ำที่ 3 เมตร ใช้น้ำหล่อเย็นปริมาณ 3 ลิตร ปริมาตรถังสูบน้ำที่ 0.204 ลูกบาศก์เมตร จะพบว่ามีสภาพพร้อมใช้งาน และสามารถสูบน้ำได้ปริมาณ 203 ลิตรต่อรอบ ความดันสูญญากาศที่ใช้ในการสูบน้ำสามารถทำได้ถึง 120 กิโลปาสคาล การทำงานของปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำใช้ระยะเวลาในการทดลอง 1.15- 2 ชั่วโมง และสามารถนำน้ำไปใช้งานหรือปล่อยใส่ถังเก็บน้ำต่อไปเพื่อรอการใช้งานได้ ใช้เวลาในการทดลองนาน เนื่องจากต้องทำให้อุณหภูมิถังควบแน่นมีอุณหภูมิถึง 100 องศาเซลเซียส และหล่อเย็นด้วยอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ความดันสูญญากาศที่เหมาะสม สามารถเอาชนะความสูงในการสูบน้ำได้ [4]

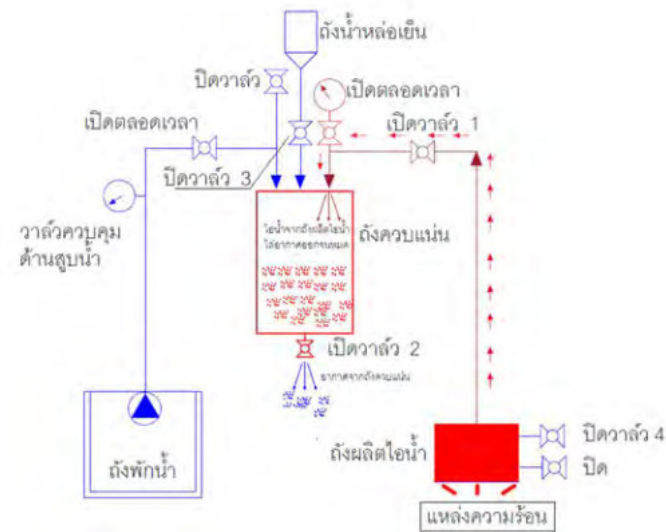
จากปัญหาดังกล่าวระบบไม่สามารถสูบน้ำที่ความสูงมากขึ้นได้ เพื่อให้อุณหภูมิในถังควบแน่นในขณะเกิดความดันสูญญากาศลดลง และทำให้เกิดความดันสูญญากาศเพิ่มขึ้น เพื่อเอาชนะความสูงในการสูบน้ำได้ตามที่ต้องการ ดังนั้น ในการวิจัยนี้จึงทำการทดลองใช้น้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิ และปริมาณน้ำหล่อเย็นที่แตกต่างกัน

หลักการการทำงานของระบบปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ

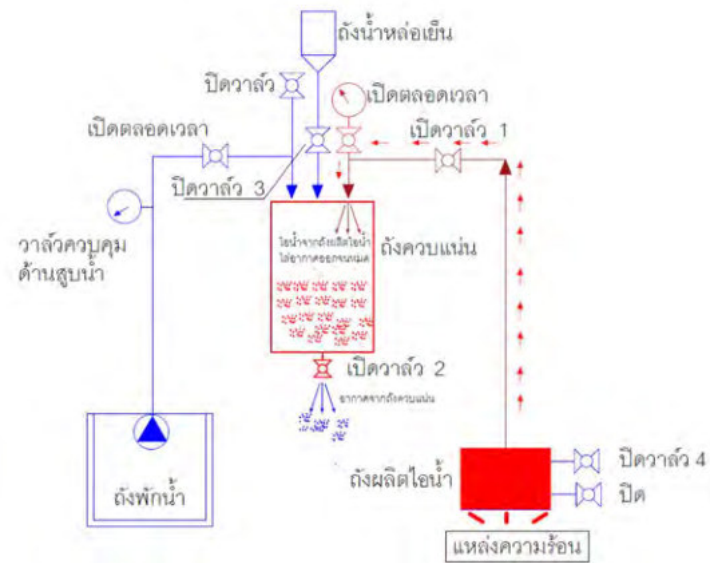
หลักการการทำงานของระบบปั้มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบการทำงานรอบเดียว 1. ช่วงผลิตความร้อนและขับเคลื่อนอากาศ เริ่มต้นเปิด วาล์วตัว ที่ 1 กับ วาล์วตัวที่ 2 และปิด วาล์วตัวที่ 3 เมื่อน้ำในถังผลิตไอน้ำซึ่งบรรจุน้ำ 3 ลิตร ได้รับความร้อนจาก แก๊สหู้งต้ม จนกระทั่งมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะเกิดไอน้ำขึ้นภายในถังผลิตไอน้ำ และเคลื่อนผ่านท่อส่งไอน้ำ และ วาล์วตัวที่ 1 ไปยังด้านบนของถังควบแน่น และขับเคลื่อนอากาศออกทางด้านล่างผ่านวาล์วตัวที่ 2 ดังภาพที่ 1(a) 2. ช่วงระบายไอ เมื่อน้ำที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึง 100 องศาเซลเซียส ไอน้ำจะเข้ามาแทนที่อากาศภายในถังควบแน่นจนอากาศไหลผ่านวาล์ว 2 จนอากาศไหลออกหมดเนื่องจากที่อุณหภูมิเท่ากันไอน้ำจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศ จึงลอยอยู่ที่สูงและไล่อากาศออกทางด้านล่างของถังควบแน่น ดังนั้นภายในถังควบแน่นจะมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ ดังภาพที่ 1(b) 3. ช่วงหล่อเย็น เมื่ออุณหภูมิภายในถังควบแน่นเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส จะไม่มีอากาศเหลืออยู่ภายใน เติมน้ำหล่อเย็นที่ระดับความสูงมากกว่าในถังหล่อเย็นที่เตรียมไว้ก็จะถูกเปิดให้ไหลเข้าสู่ถังควบแน่นด้วยค่าแรงโน้มถ่วงโลก ผ่านวาล์วตัวที่ 3 ดังภาพที่ 1(c) 4. ช่วงสูบน้ำ เมื่อน้ำหล่อเย็นไหลเข้าถังควบแน่นด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีไอน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจึงเกิดการควบแน่นภายในถังจนเกิดเป็นสูญญากาศ และเริ่มสูบน้ำจากถังพักน้ำขึ้นมายังถังควบแน่นเพื่อนำไปใช้งานหรือปล่อยใส่ถังเก็บน้ำต่อไปเพื่อรอการใช้งานได้ดังภาพที่ 1(d)



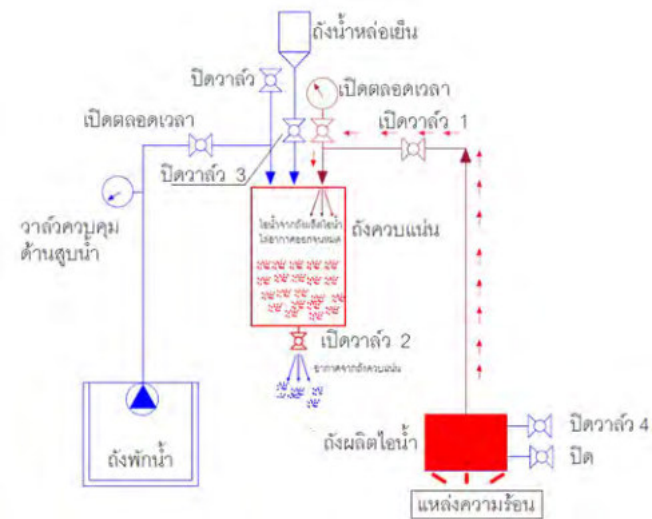
ภาพที่ 1 (a) ช่วงผลิตความร้อนและขับดันอากาศ



ภาพที่ 1 (b) ช่วงระบายไอ



ภาพที่ 1 (c) ช่วงหล่อเย็น



ภาพที่ 1 (d) ช่วงสูบน้ำ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณความร้อนที่จ่ายให้ระบบ [8]

$$Q = mC_p\Delta T \quad (1)$$

เมื่อ

- Q = ปริมาณความร้อน (กิโลจูล)
- m = มวลของน้ำ (กิโลกรัม)
- C_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส)
- ΔT = อุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป (องศาเซลเซียส)

สมดุลพลังงานในถังควบคุมแรงดันสามารถหาได้จากสมการ [9]

$$m_{v,LT}(h_{g,100} - h_{f,Tmix}) + m_{w,LT}C_{p,w,LT}(100 - T_{mix}) = m_c(h_{f,Tmix} - h_{f,cw}) + m_e h_{fg,Tmix} \quad (2)$$

เมื่อ

- m_{v,LT} = มวลของไอน้ำภายในถังควบคุมแรงดัน (กิโลกรัม)
- h_{g,100} = เอนทัลปีของไอน้ำภายในถังควบคุมแรงดันที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
- h_{f,Tmix} = เอนทัลปีของน้ำภายในถังควบคุมแรงดันที่อุณหภูมิ T_{mix} (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
- h_{f,cw} = เอนทัลปีของน้ำหล่อเย็น (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
- h_{fg,Tmix} = ค่าความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นไอที่อุณหภูมิ T_{mix} (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
- T_{mix} = อุณหภูมิผสมภายในถังควบคุมแรงดัน (องศาเซลเซียส)
- m_c = มวลของน้ำหล่อเย็น (กิโลกรัม)
- m_e = มวลของน้ำที่ระเหยเป็นไอภายในถังควบคุมแรงดัน (กิโลกรัม)
- m_{w,LT} = มวลของน้ำในถังควบคุมแรงดัน (กิโลกรัม)
- C_{p,w,LT} = ค่าความจุความร้อนของน้ำภายในถังควบคุมแรงดัน (กิโลจูลต่อกิโลกรัม องศาเซลเซียส)

วัตถุประสงค์

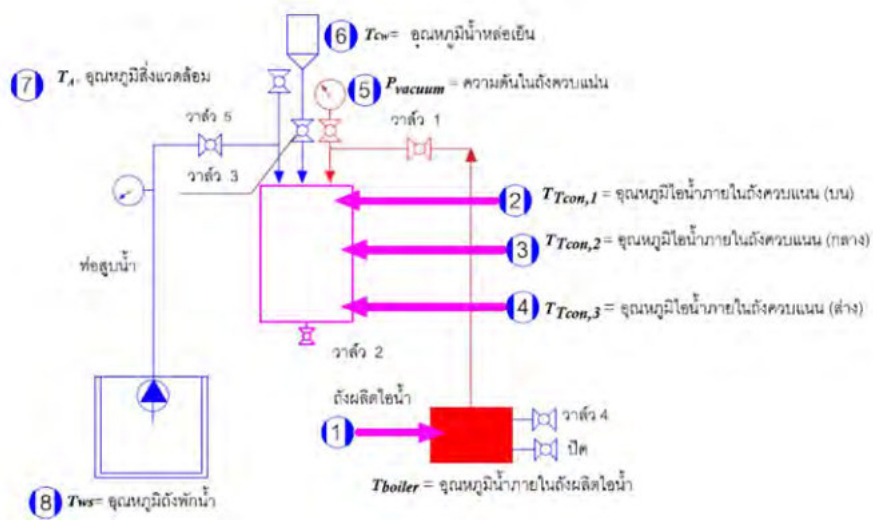
เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผสมและความดันสุญญากาศภายในถังควบคุมแรงดันของปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบการทำงานรอบเดียว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ที่เอาชนะความสูงในการสูบน้ำของปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำที่ความสูงตามความลึกของบ่อน้ำได้

วิธีการวิจัย

ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบการทำงานรอบเดียว ได้แก่ อุณหภูมิแวดล้อม, อุณหภูมิถังควบคุมแรงดัน, อุณหภูมิถังผลิตไอน้ำ, อุณหภูมิถังพักน้ำ และความดันภายในถังควบคุมแรงดัน โดยมีการปฏิบัติงานในการทดลองปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ โดยใช้ น้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิ และปริมาณที่แตกต่างกัน ตามลำดับดังนี้ 1. ถังควบคุมแรงดัน/ถังเก็บน้ำ ปริมาตรในการบรรจุน้ำ 204 ลิตร 2. ถังผลิตปริมาตรในของถัง 17.18 ลิตร 3. ถังพักน้ำ ปริมาตรในการบรรจุน้ำ 265.9 ลิตร 4. ท่อส่งไอน้ำขนาด ½ นิ้ว 5. ท่อสูบน้ำขนาด 1 ½ นิ้ว และ 6. วาล์วควบคุมแรงดัน



ภาพที่ 2 โครงสร้างอุปกรณ์การทดลอง

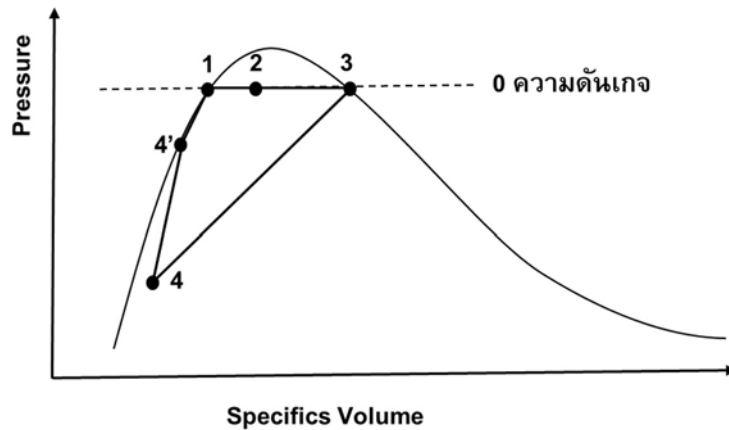


ภาพที่ 3 จุดวัดอุณหภูมิ

- 1) ติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ประกอบด้วยชุดเตาสำหรับให้ความร้อนแก่น้ำ ถังควบแน่น ถังพักน้ำและถังผลิตไอน้ำตามโครงสร้างอุปกรณ์การทดลองตามภาพที่ 2 และจุดวัดอุณหภูมิตามภาพที่ 3
- 2) ติดตั้งท่อส่งไอน้ำที่สูบน้ำวาล์วต่าง ๆ รวมทั้งสายวัดอุณหภูมิและเครื่องวัดความดัน
- 3) ติดตั้งเครื่องมือบันทึกอุณหภูมิและความดัน
- 4) ติดตั้งท่อทางด้านสูบน้ำที่ระดับความสูงที่ 2 เมตร
- 5) เตรียมน้ำเข้าถังพักน้ำ (แหล่งน้ำ) ปริมาณ 260 ลิตร
- 6) เติมน้ำเข้าถังผลิตไอน้ำปริมาณ 3 ลิตร ปิดวาล์วทั้งระบบ
- 7) เติมน้ำหล่อเย็นไว้ที่ถังหล่อเย็นปริมาณ 2 ลิตร อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส
- 8) เติมน้ำเข้าไปในท่อสูบน้ำที่ฟุตวาล์วให้เต็มเพื่อเป็นน้ำล่อ
- 9) ให้ความร้อนกับระบบโดยใช้แก๊สหุงต้ม เพื่อต้มน้ำที่ถังผลิตไอน้ำระหว่างนี้ต้องเปิดวาล์วที่และวาล์วที่ 2 ที่ด้านล่าง ถังควบแน่นไว้ตลอดเพื่อไล่อากาศภายในถังควบแน่น
- 10) รอจนอุณหภูมิไอน้ำภายในถังควบแน่นเท่ากับ 100 องศาเซลเซียส
- 11) ปิดวาล์วที่ 1 จากถังผลิตไอน้ำเพื่อไม่ให้ไอน้ำเข้าถังควบแน่นอีก
- 12) เปิดวาล์วที่ 4 ถังผลิตไอน้ำเพื่อระบายไอน้ำจากถังผลิตไอน้ำ
- 13) ปิดวาล์วที่ 2 ระบายไอน้ำที่ด้านล่างถังควบแน่น
- 14) เปิดวาล์วที่ 5 ระหว่างถังควบแน่นและถังพักน้ำ
- 15) เปิดวาล์วที่ 3 น้ำหล่อเย็นและปิดวาล์วที่ 3 เมื่อน้ำหล่อเย็นไหลเข้าถังควบแน่นตามค่าที่ตั้งไว้
- 16) รอจนถังควบแน่นหยุดสูบน้ำ ดูได้จากความดันภายในถังควบแน่น
- 17) บันทึกค่าด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความดัน
- 18) นำน้ำที่ได้จากถังควบแน่นมาวัดปริมาณทุกครั้ง
- 19) นำผลไปวิเคราะห์
- 20) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5 ถึงขั้นตอนที่ 19 แต่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นเป็น 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส
- 21) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5 ถึงขั้นตอนที่ 19 แต่เปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำหล่อเย็นเป็น 3, 4 และ 5 ลิตร
- 22) ทำการทดลองซ้ำอย่างละ 3 ครั้ง ทุกตัวแปร
- 23) นำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบและสรุปผล

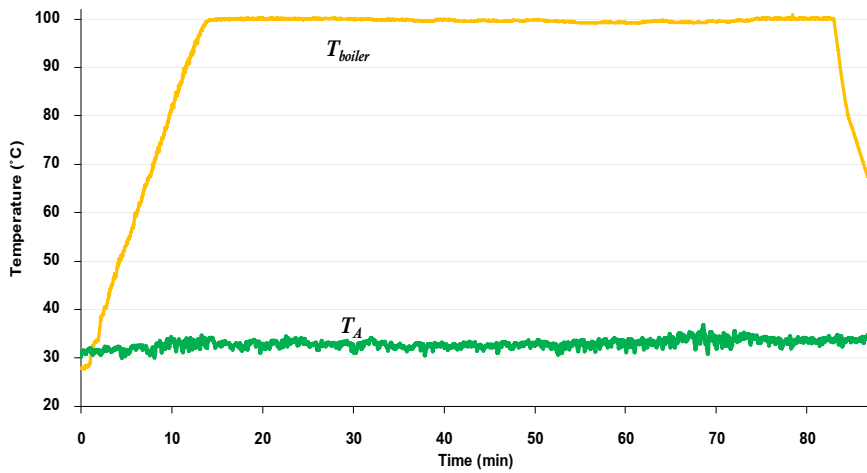
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เพื่ออธิบายเกี่ยวกับการทำงานของปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำแบบการทำงานรอบเดียว ที่ความสูงในการสูบน้ำ 2 เมตร ปริมาณน้ำหล่อเย็น 5 ลิตรและที่อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นที่ 15 องศาเซลเซียส แผนผังของกระบวนการสูบน้ำได้อธิบายไว้ที่กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาณของระบบแสดงในภาพที่ 3

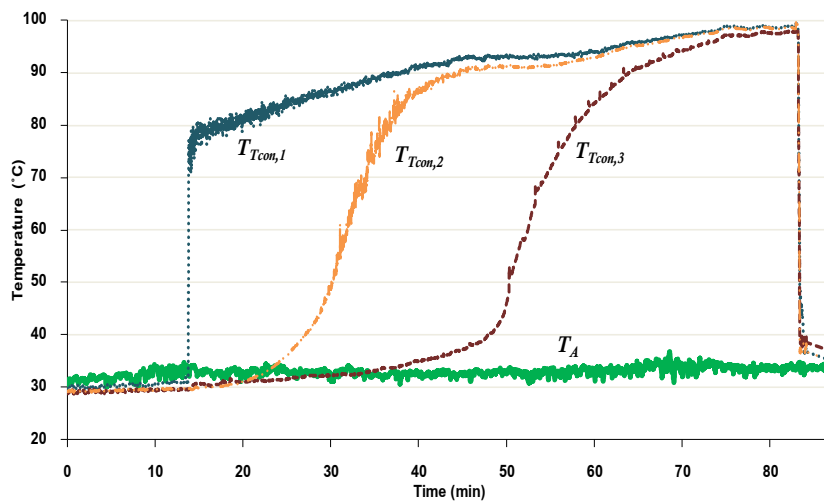


ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรของระบบ

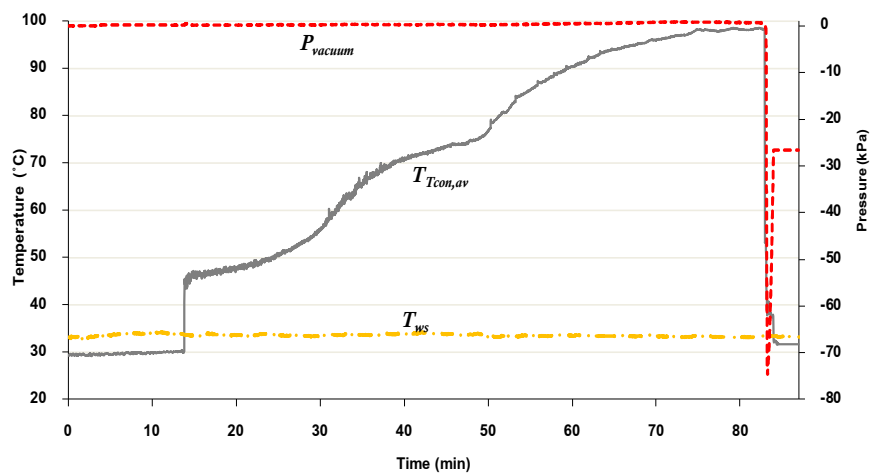
- 1) จุดที่ 1-2 เป็นช่วงให้ความร้อนแก่น้ำปริมาณ 3 ลิตร ในถังผลิตไอน้ำด้วยแก๊สหุงต้ม อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งน้ำมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที
- 2) จุดที่ 2-3 เป็นช่วงไอน้ำไหลสู่ถังควบแน่น เมื่อถึงผลิตไอน้ำได้ความร้อนจนกระทั่งน้ำมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนจน อุณหภูมิของของน้ำจะไม่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงแต่ปริมาณไอน้ำจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เป็นการผลิตไอน้ำ โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 10-20 นาที
- 3) จุดที่ 3-4 เป็นช่วงหล่อเย็น เมื่อถึงควบแน่นมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงว่าไม่มีอากาศภายในถังควบแน่นแล้ว จึงเติมน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ปริมาณ 5 ลิตร เข้าสู่ถังควบแน่นด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้อุณหภูมิในถังควบแน่นลดลงและเกิดเป็นความดันสุญญากาศ โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 70-90 นาที
- 4) จุดที่ 4-4' เป็นช่วงสูบน้ำ การผสมไอน้ำและน้ำหล่อเย็นทำให้เกิดการควบแน่น และเกิดความดันสุญญากาศภายในถังควบแน่น ระบบจึงสูบน้ำจากถังพักน้ำขึ้นมายังถังควบแน่น จนความดันสุญญากาศไม่สามารถเอาชนะความสูงและการสูญเสียความดันในท่อและข้อต่อจึงหยุดสูบน้ำ แต่ความดันยังไม่เท่ากับความดันบรรยากาศ โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 2-5 นาที
- 5) จุดที่ 4'-1 เป็นช่วงที่สมดุลความดัน หลังจากการสูบน้ำยังคงมีความดันสุญญากาศเหลืออยู่ในระบบ แต่ยังไม่เพียงพอที่จะเอาชนะความสูงในการสูบน้ำได้ ดังนั้นจึงเปิดวาล์วให้ความดันภายในระบบมีค่าใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศ เพื่อนำน้ำไปใช้งานหรือปล่อยใส่ถังเก็บน้ำเพื่อรอการใช้งานต่อไป โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 25-35 นาที



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิถังผลิตไอน้ำ



ภาพที่ 5 การถ่ายเทความร้อนของอุณหภูมิภายในถังควบแน่น



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสุญญากาศภายในถังควบแน่นและอุณหภูมิเฉลี่ยในถังควบแน่น

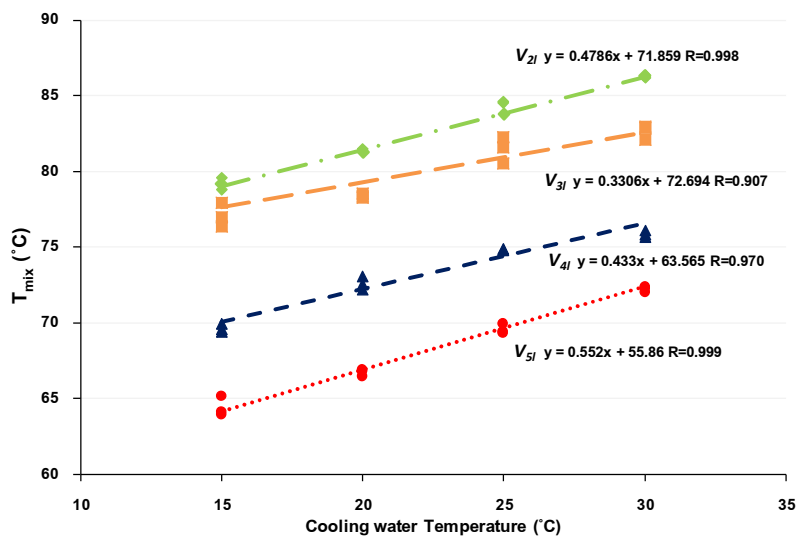
จากภาพที่ 4 - 6 เป็นการผลทดลองการสูบน้ำที่ระดับความสูงในการสูบน้ำ 2 เมตร ปริมาณน้ำหล่อเย็น 5 ลิตร และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ 15 องศาเซลเซียส เมื่อเมื่อ T_A คือ อุณหภูมิแวดล้อม และ T_{boiler} คือ อุณหภูมิน้ำภายในถังผลิตไอน้ำ การให้ความร้อนของถังผลิตไอน้ำ ด้วยพลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม ปริมาณพลังงานที่ใช้ขึ้นอยู่กับมวลเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าระบบ การวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำแสดงได้ดังภาพที่ 4 เมื่อน้ำภายในถังผลิตไอน้ำได้รับการถ่ายเทความร้อนจากเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จนน้ำในถังมีอุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำดังสมการที่ 1 เป็นการให้ความร้อนในช่วงเริ่มต้น หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิน้ำมีค่า 100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำจะไม่เพิ่มขึ้นอีก เนื่องจากที่ความดันบรรยากาศมีจุดเดือดที่ค่า 100 องศาเซลเซียส ทำให้ในช่วงที่อุณหภูมิน้ำหยุดอยู่ที่ 100 องศาเซลเซียส ทำให้ลดพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ เนื่องจากการใช้พลังงานความร้อนเพื่อรักษาขนาดของอุณหภูมิของน้ำในถังที่ ปัจจัยที่ทำให้เกิดความสูญเสียความร้อนในช่วงการให้ความร้อนกับน้ำภายในถัง ส่งผลให้ระยะเวลาในการให้ความร้อนเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการสูญเสียความร้อนมากขึ้น ระยะเวลาในการให้ความร้อนก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

อุณหภูมิถังควบแน่นมีจุดวัดอุณหภูมิ 3 จุด คือ บน กลาง และล่าง คือ $T_{Tcon,1}$, $T_{Tcon,2}$ และ $T_{Tcon,3}$ ตามลำดับเมื่ออุณหภูมิน้ำภายในถังผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงค่า 100 องศาเซลเซียส ไอน้ำจะไหลเข้าสู่ถังควบแน่น และเริ่มมีการถ่ายเทความร้อนให้ถังควบแน่นโดย จากจุดที่อยู่ด้านบนของถังควบแน่นจะได้รับความร้อนก่อน แล้วหลังจากนั้นจะเคลื่อนที่ไปตรงกลางและข้างล่างถังควบแน่น ดังภาพที่ 5 $T_{Tcon,1}$, $T_{Tcon,2}$ และ $T_{Tcon,3}$ ไอน้ำจะค่อย ๆ แลกเปลี่ยนความร้อนกับถังควบแน่น ซึ่งในช่วงเริ่มต้นภายในถังควบแน่นมีอากาศอยู่ สังเกตได้ว่าช่วงแรก $T_{Tcon,2}$ และ $T_{Tcon,3}$ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จนกว่าไอน้ำจะไหลลงสู่ $T_{Tcon,2}$ และ $T_{Tcon,3}$ ไอน้ำจะเคลื่อนที่ซบตันอากาศภายในถังควบแน่นจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง ทำให้อุณหภูมิภายในถังควบแน่นมีค่าสูงจากบนลงล่าง เนื่องไอน้ำมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศ จึงทำให้อากาศที่อยู่ใต้อุณหภูมิซบตันด้วยไอน้ำออกทางด้านล่างที่มีค่าความหนาแน่นมากกว่า เมื่อไอน้ำแทนที่อากาศจนหมดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่อถังควบแน่นเต็มไปด้วยมวลไอน้ำ หลังจากนั้นอุณหภูมิภายในถังควบแน่น จะลดลงเนื่องจากการเติมน้ำหล่อเย็นเข้าสู่ถังควบแน่นที่ปริมาณ น้ำ 5 ลิตร 15 องศาเซลเซียส ผสมกับไอน้ำในถังควบแน่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ 2 ทำให้อุณหภูมิภายในถังควบแน่นลดลงอย่างรวดเร็ว กลายเป็นอุณหภูมิผสม และเกิดเป็นความดันสุญญากาศ ดังสมการ PV=mRT เมื่ออุณหภูมิลดลงความดันก็จะลดลงตามที่ปริมาตรและมวลคงที่ ดังภาพที่ 6 เมื่อ P_{vacuum} คือ ความดันสุญญากาศ, T_{ws} คือ อุณหภูมิน้ำในถังพักน้ำ และ $T_{Tcon,av}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของถังควบแน่น ดังนั้นเมื่อความดันบรรยากาศ (0 ความดันเกจ) หลังจากที่ได้รับความร้อนจนถึงจุดเดือด และถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วในระบบปิดจึงทำให้ระบบเกิดเป็นความดันสุญญากาศ 74.96 กิโลปาสคาล สูบน้ำจากถังพักน้ำเข้าสู่ถังควบแน่น และจะหยุดนิ่งเมื่อความดันสุญญากาศไม่สามารถเอาชนะความสูงในการสูบน้ำได้ เนื่องจากการสูญเสียความดันในท่อและข้อต่อจึงหยุดนิ่งที่ความดันสุญญากาศ 26.6 กิโลปาสคาล ส่วนอุณหภูมิภายในถังควบแน่นก็จะลดลงถึงอุณหภูมิผสม ซึ่งอุณหภูมิผสมก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ปริมาณน้ำและอุณหภูมิน้ำที่สูบน้ำได้

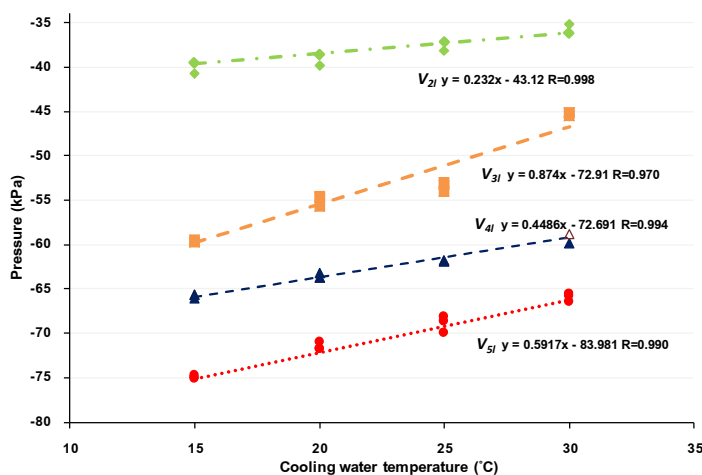
ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและปริมาณน้ำหล่อเย็น

ไอน้ำภายในถังควบแน่นที่ปริมาตร 204 ลิตร ถูกทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วจนไอน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว เนื่องจากการสูญเสียพลังงานความร้อนของไอน้ำในการเปลี่ยนสถานะ เป็นเกิดเป็นอุณหภูมิผสมระหว่างไอน้ำที่ 100 องศาเซลเซียส กับน้ำหล่อเย็นที่ ปริมาณ 2, 3, 4 และ 5 ลิตร อุณหภูมิ 15, 20, 25 และ 30 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 7 การเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นส่งผลให้อุณหภูมิผสมลดลงจากสมการที่ 2 เมื่อมวลของน้ำหล่อเย็นมีค่าเพิ่มมากขึ้นการสูญเสียพลังงานความ

ร้อนที่ทำให้ไอน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว และของผสมก็มีมากขึ้นตามลำดับ ในส่วนของ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ลดลงก็จะส่งผลให้อุณหภูมิผสมลดลงตามเช่นกัน ซึ่งการลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นจะสูญเสียพลังงานมาก แต่ในทางตรงกันข้ามการเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นจะส่งผลให้อุณหภูมิผสมลดลงมากกว่า 3 เท่าของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น โดยที่ R-Squared มีค่ามากกว่า 0.9 ทั้ง 4 สมการในภาพที่ 7 ความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะของไอน้ำให้กลายเป็นน้ำ ที่ส่งผลให้เกิดเป็นความดันสุญญากาศดังภาพที่ 8 เมื่อปริมาณน้ำหล่อเย็นเพิ่มน้ำ และมีอุณหภูมิต่ำ จะสามารถทำให้เกิดความดันสุญญากาศมากขึ้นตามส่งผลในระบบสามารถนำความดันสุญญากาศที่เกิดขึ้นไปสูบน้ำจากแหล่งน้ำที่ระดับความสูงต่าง ๆ ได้ โดยการเลือกอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ปริมาณต่าง ๆ ให้ความดันสุญญากาศที่เหมาะสมกับระดับความสูงในการสูบน้ำ ในภาพที่ 8 แสดงสมการที่มีค่า R-Squared มีค่ามากกว่า 0.9 ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มความดันสุญญากาศให้มีค่ามากขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็นให้มากกว่า 5 ลิตรได้



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผสมภายในถังควบแน่นและปริมาณน้ำหล่อเย็น



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสุญญากาศภายในถังควบแน่นและปริมาณน้ำหล่อเย็น

สรุปผลการวิจัย

ระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ แบบการทำงานรอบเดียว เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในถังควบแน่น ทำให้เกิดความดันสูญญากาศ โดยที่อุณหภูมิและปริมาณของน้ำหล่อเย็นส่งผลโดยตรงกับความดันที่เกิดขึ้น ซึ่งอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นจะแปรผันกับความดัน และปริมาณของน้ำหล่อเย็นจะแปรผกผันกับความดัน การทำนายหาอุณหภูมิและปริมาณของน้ำหล่อเย็นที่เหมาะสมกับความดันที่ใช้ในการสูบน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำหล่อเย็นสามารถทำได้ดี และส่งผลได้มากกว่าการลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นถึง 3 เท่า ดังนั้นเมื่อต้องการให้เกิดความดันสูญญากาศมากขึ้นต้องลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น และเพิ่มปริมาณน้ำหล่อเย็น

ข้อเสนอแนะ

ในการนำไปใช้งานระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ แบบการทำงานรอบเดียว โดยถังควบแน่นปริมาตร 204 ลิตร โดยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 15 องศาเซลเซียสและปริมาณน้ำหล่อเย็น 5 ลิตร ได้อุณหภูมิผสมที่ 64.36 องศาเซลเซียส ความดันสูญญากาศที่ 74.96 กิโลปาสคาล ซึ่งสามารถสูบน้ำที่มีความสูงในการสูบน้ำ 6 เมตรได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] มุลนิธิชัยพัฒนา. (3 มิถุนายน 2553). **ทฤษฎีใหม่ขั้นต้น** สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2563, จาก <https://www.chaipat.or.th/2010-06-03-03-39-51.html>
- [2] N. Roonprasang, P. Namprakai and N. Pratinthong. (2008). Experimental studies of a new solar water heater system using a solar water pump. **International Journal of Energy**. 2008 (33), 639–646.
- [3] K. Sutthivirode, N. Pratinthong, P. Namprakai, N. Roonprasang and T.Suparos. (2014) Waste heat water pumping model with direct contact cooling. **Journal of Central South University**. 2014 (2), 3896-3910.
- [4] จิรวัดน์ สิตรานนท์. (2557). **การพัฒนาปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำสำหรับการผลิตน้ำร้อนและการเกษตร**. วิทยานิพนธ์ ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี
- [5] ภาณุศักดิ์ มุลศรี ปองพล รักการงาน ชลิตล อินยาศรี และกังสาด สกุลพงษ์มาลี. (2558). “เครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากถ่านไม้สำหรับชุมชน”, ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8**, วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 ณ อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ อ่างทองคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

- [6] เกรียงไกร เฉลิมช่างรงค์ พิชัย นามประกาย และ นริส ประทีนทอง. (2556). “ป้อนสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำโดย การนำความร้อนเหลือทิ้งกลับมา” , ใน การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต0 กำแพงแสน ครั้งที่ 10, วันที่ 6-7 ธันวาคม 2556 ณ อาคารศูนย์เรียนรวม อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม. นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [7] จิรวัดณ์ สิตรานนท์ กิตติวุฒิ ศุทธิโรจน์ และณัฐพล รุ่งประแสง. (2563). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการศึกษาระดับ ความสูงในการสูบน้ำ ของระบบสูบน้ำความร้อนด้วยกำลังไอน้ำแบบต่อเนื่อง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 15 (3), 89-100.
- [8] Y. A. Cengel and A.J. Ghajar, (2015) **Heat and mass transfer fundamentals and applications**. New York. McGraw-Hill Inc.,
- [9] Perry RH, Green DW, Maloney JO. (1997) **Perry's chemical engineers' handbook**. New York. McGraw-Hill Inc.,

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