



วารสารวิชาการ พลังงานทดแทนสู่ชุมชน

ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 เดือน พฤษภาคม - สิงหาคม 2561

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY

ISSN-2630-0273



J-REC BY TRECA





วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY

วัตถุประสงค์

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

เจ้าของและลิขสิทธิ์ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

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

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

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

พิมพ์ที่ บริษัท ทริปเพิ้ล กรุ๊ป จำกัด

95 ถ.แจ้งวัฒนะ ซ.6 แขวงตลาดบางเขน เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210 โทรศัพท์ 0-2521-8420 โทรสาร 0-2521-8424

วัตถุประสงค์สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

1. ส่งเสริมความร่วมมือ ทางด้านวิชาการระหว่างภาครัฐและภาคประชาชน ในด้านพลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงาน และสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชนต่างๆในประเทศไทย
2. จัดหาทุน เพื่อสนับสนุนการศึกษา วิจัย ฝึกอบรม การดำเนินโครงการด้านพลังงานทดแทนให้กับภาครัฐและภาคประชาชน
3. ไม่ดำเนินการ ส่งเสริมและพัฒนากิจกรรมใดๆ ที่มุ่งไปสู่การดำเนินงานทางการเมือง
4. ไม่ดำเนินการ ให้มีการกระทำการอันผิดต่อขนบธรรมเนียมและจารีตประเพณีที่ดีของสังคมไทย

หลักการและเหตุผล

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

จุดมุ่งหมายสำคัญ

คือ การทำงานกันทั้งส่วนภาครัฐและประชาชนในการใช้พลังงานทดแทน อนุรักษ์พลังงานและใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศไทย ตลอดจนการศึกษาวิจัย ดำเนินการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่างๆ มาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อความเหมาะสมและให้เกิดความยั่งยืนของชุมชนและประชาชนในประเทศไทย





วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY

คณะกรรมการจัดทำวารสาร
วิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช

คณะผู้ก่อตั้งวารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช
รองศาสตราจารย์ ดร.อิสสระีย์ ทรราชจรรยาโรจน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี
นายมนตรี ชาลีเครือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง
พลโท ดร.กฤตภาส คงคาพิสุทธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล
พลอากาศโทเอกราชชาติชัย
นายวิชัย เพ็ชรทองคำ
นายวิสูตร ยังพลจันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญญฤทธิ์ ประสาทแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ เรืองวาริ
อาจารย์สมควร แหวดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ
ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรพงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แหวศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปรีชา ศรีประภาคาร
ดร.อำพล อาภาธนากร
ดร.ภาสวรรณ วัชรดำรงศักดิ์
ดร.พิสิษฐ์ มณีโชติ
หม่อมหลวงลือศักดิ์ จักรพันธุ์
นายพิเนตร พรธำรงค์
นายสุภิตเดช แก้วศรีสด
และสมาชิกสามัญสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
ที่ปรึกษาสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
ที่ปรึกษาสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
ที่ปรึกษาสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
ที่ปรึกษาสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
เลขานุการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
กรรมการสมาคมฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
กรรมการสมาคมฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
กรรมการสมาคมฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
กรรมการสมาคมฯ มหาวิทยาลัยนเรศวร
กรรมการและประชาสัมพันธ์สมาคมฯ
อุปนายกภาคใต้
อุปนายกภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
อุปนายกภาคกลาง
อุปนายกภาคเหนือตอนบน
อุปนายกภาคเหนือตอนล่าง
อุปนายกภาคตะวันออก
ปฏิคมสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย
นายทะเบียนสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

กองบรรณาธิการ

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

นายสมภาคพล้งงานทดแทนผู้ชุมชนแห่งประเทศไทย

รองบรรณาธิการ

อุปนายสมภาคพล้งงานทดแทนแห่งประเทศไทย

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ

กรรมการสมภาคพล้งงานทดแทนผู้ชุมชนแห่งประเทศไทย

เลขานุการ

นายจิตติวัฒน์ ยวงเกตุ

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวปิยธิดา โปยขุนทด

นางสาวจรรยารัตน์ สีนาค

นางสาวธนาวัตี เนตรกรรม

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช ไรยนรินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วารุณี อริยวิริยะนันท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวิทย์ ถวณะสกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญย์ฤทธิ์ ประสาทแก้ว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ เรืองวารี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ ประทุมพนรัตน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปราชัญญ์ อัครนรากุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญย์ฤทธิ์ ประสาทแก้ว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

พลโท ดร.กฤตภาส คงคาพิสุทธ์

ผู้เชี่ยวชาญพลังงานทดแทน กระทรวงกลาโหม

ดร.ภาสวรรณ วัชรดำรงศักดิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปรีชา ศรีประภาคาร

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ดร.อำพล อาภาชนนาร

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ เกตุจ้อย

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ

ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ดร.พิสิษฐ์ มณีโชติ

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แววศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

รองศาสตราจารย์ ดร.กนกพร สังข์รักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพร แก้วอ่อน

วิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เริงวุฒิ ชูเมือง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มาริณา มะหนิ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรเชษฐ์ เพชรห้วยลึก

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัฒน์ชัย เทพนवल

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

ดร.นันทพันธ์ นภัทรานันท์
ดร.พลกฤษณ์ คล้ายวิดิภัทร
ดร.รวมพร นิคม
ดร.โชคชัย เหมือนมาศ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมรภัช เกิดสุวรรณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ นิลผึ่ง
ดร.ธวัชชัย วงศ์ช่าง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จารุวัฒน์ เจริญจิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บัญญัติ นิยมवास
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ ศุภลักษณ์ปัญญา
ดร.อาริษา โสภากาจารย์
ดร.สายใจ แก้วอ่อน
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย เทพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัฒนะ รักความสุข
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิระ สายสร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูรัตน์ ธารารักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล
ดร.สมมาส แก้วล้วน
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ภูริระวณิชกุล
ดร.เกียรติศักดิ์ เส็งช่วย
ดร.วาริช วีระพันธ์
รองศาสตราจารย์ ดร.วรเชษฐ ภิรมย์ภักดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันตวิธานุรักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปรีชา ศรีประภาคาร
รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณุช แจงสว่าง
ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรศักดิ์
ดร. สุรชัย ณัฐจันทร์ศรี

ดร.ชยานนท์ สวัสดิ์นันทนาท

ดร.หทัยทิพย์ สินธูยา

ดร.ณัฐยา ตันตรานนท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพันธ์ ดั่งทองสุข
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อชิตพล ศศิธรานูวัฒน์

วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
วิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
วิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
คณะอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
คณะพลังงานวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
คณะพลังงานวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.ชุมพร
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
พลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

.....

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ฉบับที่ 2 นี้ เป็นงานทางวิชาการโดยความร่วมมือของเครือข่ายสมาชิกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (TRECA) วารสารฉบับนี้เป็นเนื้อหาของบทความทางวิชาการที่มุ่งสร้างผลงานที่เด่นทางด้านการศึกษาวิจัย และมุ่งสู่การใช้งานจริง ซึ่งได้รวบรวมความรู้ทางวิชาการที่สามารถถ่ายทอดให้แก่สังคม ทางด้านพลังงานทดแทน ในสาขาต่างๆ เพื่อให้วารสารนี้เป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนวิชาการ และแนวความคิดในแวดวงวิชาการทั้งผู้วิจัยและผู้ใช้งาน อันเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างผลงานทางวิชาการสู่ชุมชนและสังคม โดยดำรงไว้ซึ่งความเป็นตัวตนทางวิชาการของผู้เขียนและวัตถุประสงค์ของสมาคมฯ ที่ทรงคุณค่า บทความในวารสารฉบับที่ 2 นี้ มีจำนวนทั้งสิ้น 10 บทความ ซึ่งในแต่ละบทความมีความเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันของรูปแบบพลังงานทดแทนต่างๆ ครอบคลุมกระบวนการในการวิจัยและการศึกษาสู่ภาคการใช้งาน ผู้อ่านจะได้รับความรู้ที่หลากหลายจากการอ่านวารสารฉบับนี้ ในแนวทางที่จะจุดประกายความคิด หรือการต่อยอดความคิดทางด้านพลังงานทดแทนสาขาต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การอ่านอย่างวิพากษ์และตั้งคำถาม เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนในทางวิชาการอย่างสร้างสรรค์ อันจะช่วยให้ความรู้และความคิดเดิมถูกแพร่ขยายออกไปได้อย่างกว้างขวาง อีกทั้งให้วารสารฉบับนี้เป็นแหล่งความรู้ในทุกระดับภาคส่วนของทุกคนในสังคมไทย โดยไม่ยึดติดตนเองและอยู่กับความรู้ความคิดเพียงบางมุมบางด้านเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เขียนและผู้อ่านมีความเป็นตัวตนทางวิชาการที่พร้อมจะพัฒนาตนเองอยู่เสมออย่างไม่หยุดนิ่ง และท้ายที่สุดแล้วความรู้ความคิดที่ถูกต่อยอดออกไปนั้น ก็จะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนกระบวนการทัศนคติของสังคมและชุมชนอย่างกว้างขวาง อันจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางวิชาการของสังคมเพื่อความยั่งยืนของประเทศชาติ

กองบรรณาธิการขอขอบพระคุณคณะทำงานทุกท่าน คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิชาการ และทุกภาคส่วนที่ได้สละเวลาอันมีค่าอ่านบทความ เพื่อความถูกต้องทางวิชาการ และเป็นวารสารที่ดีต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งนี้หากผู้อ่านมีความประสงค์จะตีพิมพ์บทความสามารถขอความกรุณาโปรดจัดเตรียมต้นฉบับให้เป็นไปตามรูปแบบของวารสารและส่งบทความทางออนไลน์ที่ www.reca.or.th เพื่อการพิจารณาและตีพิมพ์ในวารสารฉบับต่อไป

กองบรรณาธิการ

สารบัญ	หน้า
<p>การออกแบบและพัฒนาชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ A Design and Development of Solar powered DC Compressor Air Conditioner วีระชาติ ขวดแก้ว, กิตติศักดิ์ มณีทอง, ธวัชชัย ปัดถา และ ชัชวาล แข่งขัน, นพพร พัชรประภิติ</p>	9
<p>การเปลี่ยนมีเทน (CH₄) ไปเป็นไฮโดรเจน (H₂) ด้วยกระบวนการพลาสมาดีอิเล็กทริกแบบมีไดอิเล็กทริกขวางกั้นที่ความดันบรรยากาศ Conversion of Methane into Hydrogen with Dielectric Barrier Discharge Plasma System at Atmospheric Pressure ยุทธพร เลี่ยมแก้ว, สมพงษ์ โอทอง และ ธวัฒน์ชัย เทพนวล</p>	19
<p>การพัฒนาสถานีอัดประจุสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แบบอิสระ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ Development of Stand-Alone Solar Charge Station Faculty of Engineering Princess of Naradhiwas University พลากร พรหมเมศร์, สุวินันท์ จันทูไร, สัبری สะนอ และสมาน วิวรรณโรจน์</p>	23
<p>การศึกษาการบริหารจัดการใช้พลังงานสำหรับอาคารด้วยการตอบสนองด้านโหลด Study of Building Energy Management System With Demand Response เอกรัตน์ นภกานต์, บุญยง ปลั่งกลาง</p>	28
<p>การคัดแยกยีสต์ทนร้อนเพื่อผลิตเอทานอลจากน้ำตาลเพนโตส Screen of Thermotolerant Yeast for Ethanol Production from Pentose sugar นวกัทร นวกะคาม</p>	32
<p>ผลกระทบของชนิดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษจากเตาแก๊สชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น The Effects of Fuel Type on Performance and Emission of Up-Draft Gasifier Stove ชัชฎพงษ์ จิตตคาม, ณัฐพล แสงทอง, จักรารุจ เมตตา, ณัฐนนท์ วิมลสุตร์, ศักดิ์ชาย เพ็ชรตรา, สุรัชย์ ณัฐจันทร์ศรี และ สมมาส แก้วล้วน</p>	39
<p>การศึกษาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับเตาชีวมวลแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่อง The study of suitability air fuel ratio for biomass stoves under continuous fuel feeding พงศ์สถิตย์ ศรภักดิ์ วิลาวัลย์ คุ่มเหม จิราภรณ์ แก้วเดียว มุस्ताฟา ยะภา ศิรินุช จินดารักษ์ และณัฐวุฒิ ดุษฎี</p>	45
<p>การประเมินสถานะที่เหมาะสมในการใช้งานเตาหนึ่งก้อนหึ่งแบบใช้ความร้อน 1 ก้อน 2 ก้อน และ 3 ก้อน สำหรับกลุ่มอาชีพเพาะเห็ดแบบก้อนในจังหวัดลำปาง Evaluate the Optimal Conditions of Use in Single, Double and Triple Pass of Fuel Economy Steamed Mushrooms System for Mushroom Occupational Groups in Lampang Province. รวิภา ยงประยูร, และ พรชัย เอี่ยมสาย</p>	50

สารบัญ	หน้า
<p data-bbox="228 301 1185 338">การศึกษาสมรรถนะเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอบฆ่าเชื้อก้อนเห็ด</p> <p data-bbox="228 355 1231 437">Performance Study of Low Pressure Steam Generator using Biomass Fuel for Pasteurizing Mushroom Cultivation Material</p> <p data-bbox="228 449 1231 531">ณัฐพล แสงทอง, จักรารุช เมตตา, ชิชฌนุพงศ์ จิตตคาม, ณัฐนนท์ วิมลสุตร์, ภรณี ศรีธรรมรัตน์ และ สมมาส แก้วล้วน</p>	57
<p data-bbox="228 590 1185 627">การศึกษาการอบแห้งกุ้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบเรือนกระจก ร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำ</p> <p data-bbox="228 644 1168 679">The study on drying of shrimp by greenhouse drying combine low humidity drying</p> <p data-bbox="304 696 1055 731">ณัฐธวัฒน์ วิสัยพรม, ณัฐย์ กาศยปนนันท์, นริศ ประทีนทอง และศิริชัย เทพา</p>	63



การออกแบบและพัฒนาชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ A Design and Development of Solar powered DC Compressor Air Conditioner

วีระชาติ ขวดแก้ว, กิตติศักดิ์ มณีทอง, ธวัชชัย ปัดถา และ ชัชวาล แข่งขัน, นพพร พัทธประภคิต*

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 57120
99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120

*อีเมลล์ : pnopporn@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอผลการวิจัยครั้งนี้เน้นไปที่การพัฒนาชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่ชุดฝึกปฏิบัติระบบทำความเย็นโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้ระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 48 V 500 Watt. โดยกำลังพลังงานที่ใช้ในชุดฝึกเฉลี่ยแล้วอยู่ที่ 663.98 W. โดยการตรวจวัดหาค่าการทำงานของระบบเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาตามมาตรฐานการประหยัดพลังงาน ค่าเฉลี่ยในการวิจัยครั้งนี้วัดจากการทำงานของชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ภายใน 1 ชั่วโมง ทำการวัดในช่วงเวลาทุกๆ 5 นาทีของการทำงาน โดยทำการเก็บบันทึกค่า แรงดันแผงเซลล์ (V_{pv}), กระแสแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I_{pv}), แรงดันอัดประจุ ($V_{charger}$), กระแสอัดประจุ ($I_{charger}$), แรงดันแบตเตอรี่ (V_{batt}), กระแสแบตเตอรี่ (I_{batt}), แรงดันคอมเพรสเซอร์ (V_{com}), กระแสคอมเพรสเซอร์ (I_{com}) ในขณะที่ทำงานและวัดอุณหภูมิ ความชื้นด้านลมจ่าย-ลมกลับ และคำนวณหาค่า แรงดัน, กระแส ที่ใช้ในระบบโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์, ค่าประสิทธิภาพ (Btu/h)/watt ซึ่งผลการทดลองพบว่า ขณะทำงานการทำงานของชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ มีผลค่าเฉลี่ยทางด้าน V_{pv} = 55.15 V, I_{pv} = 7.8 A, $V_{charger}$ = 55.525 V, $I_{charger}$ = 7.975 A, V_{batt} = 45 V, I_{batt} = 13.275 A, V_{com} = 49.15 V, I_{com} = 13.575 A, P = 663.98. ด้านผลของ อุณหภูมิลมจ่าย เฉลี่ยอยู่ที่ 19.7 °C อุณหภูมิลมกลับ เฉลี่ยอยู่ที่ 28.85 °C ความชื้นด้านลมจ่ายเฉลี่ยที่ 75.325% ด้านลมกลับเฉลี่ยที่ 73.425% ส่วนด้านของ ค่าประสิทธิภาพ (Btu/h)/Watt มีค่าเฉลี่ยที่ 154044 หรือ 30819.62 kW และค่า EER ค่าที่ดีที่สุด 23.59 (Btu/h)/Watt และค่าที่ต่ำที่สุดอยู่ที่ 11.81 (Btu/h)/Watt ซึ่งผลของค่า EER ที่ได้จากการทดลองชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ มีด้านคุณภาพและประสิทธิภาพในการใช้พลังงานอยู่ในระดับที่ดีมากที่สุดซึ่งเทียบวัดจากค่า EER ของเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 Btu. ที่ใช้คอมเพรสเซอร์กระแสสลับ จะมีค่า EER ประมาณ 12 (Btu/h)/Watt ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้.

คำหลัก: คอมเพรสเซอร์กระแสตรง, พลังงานแสงอาทิตย์.

Abstract

This paper proposes a solar DC air conditioner 12,000 Btu/h with battery backup. The DC compressor is rotary type which has voltage 48 V and power 500 W. The parameter of solar energy, input electrical and output air flow, humidity and temperature are collected every 5 minute follow as solar array voltage (V_{pv}), solar array current (I_{pv}), Charging voltage ($V_{charger}$), Charging Current ($I_{charger}$), battery voltage (V_{batt}), battery current (I_{batt}), compressor voltage (V_{com}) and compressor current (I_{com}). The air conditioning system is operating at temperature 25 Celsius and the average power consumption is 663.98 W. The temperature and humidity of return air flow are 28.85 °C and 73.42% respectively. The temperature and humidity of supply air flow are 19.7 °C and 75.32%. The average energy efficiency ratio of solar DC air condition (Btu/h)/Watt are 18.73 which very high compare with the conventional AC air condition about 12.00 (Btu/h)/Watt.

Keywords: DC compressor air conditioner, photovoltaic system



1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวัน จึงทำให้มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งประเทศไทยได้เจอวิกฤตการณ์ด้านพลังงานไฟฟ้าในปี 2559 เป็นวิกฤตการณ์ที่มีการใช้ปริมาณไฟฟ้าสูงที่สุดเป็นครั้งที่ 7 เกิดขึ้นเมื่อปี 2559 ในวันที่ 11 พฤษภาคม 2559 เวลา 14.12 น. ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) อยู่ที่ 29,600.8 เมกะวัตต์ ทำลายตัวเลขการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในปีเป็นครั้งที่ 7 เมื่อเทียบกับปี 2558 ที่อุณหภูมิ 36.4 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงขึ้นจาก ครั้งที่ 6 เมื่อวันที่ 28 เมษายน 2559 ที่ 29,403.7 เมกะวัตต์ เป็นผลทำให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตต้องสร้างโรงผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และมองเห็นความสำคัญของพลังงานทดแทนมากขึ้นที่นำมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าและหนึ่งในพลังงานทดแทนก็คือ การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจากการสำรวจศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 20 ถึง 24 เมกะจูล/ตารางเมตร บริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปี อยู่ที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ครอบคลุมบางส่วนของจังหวัด นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อำนาจเจริญ อุบลราชธานี ชัยภูมิ ขอนแก่น และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อโยธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19 ถึง 20 เมกะจูล/ตารางเมตร คิดเป็น ร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศจึงทำให้การใช้เครื่องปรับอากาศเป็นจำนวนมากและมีแนวโน้มที่จะมากขึ้น ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานเป็นสัดส่วนมาก และกินพลังงานไฟฟ้ามาก และในช่วงเวลาบ่ายที่มีอุณหภูมิสูง อากาศร้อนขึ้นทำให้เกิดสภาวะความต้องการไฟฟ้าสูงสุด จากสภาวะดังกล่าวพบว่าในช่วงเวลากลางวันเมื่ออุณหภูมิสูง ก็จะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวสูงด้วยเช่นกัน และเมื่อได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโหลดภาระเครื่องปรับอากาศและความเข้มแสงอาทิตย์ [1-2] พบว่ามีความสัมพันธ์ที่สอดคล้อง หากสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาปรับเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าและช่วยจ่ายโหลดในเวลาที่มีอุณหภูมิสูงได้ ซึ่งอุปกรณ์หลักที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดของเครื่องปรับอากาศก็คือ คอมเพรสเซอร์ เป็นหลักและพัดลมหมุนเวียนอากาศด้านคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นมีส่วนเล็กน้อย โดยปัจจุบันคอมเพรสเซอร์ที่ใช้กันมากในเครื่องปรับอากาศก็คือคอมเพรสเซอร์กระแสสลับชนิดที่ไม่สามารถปรับความเร็วรอบได้ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้สารทำความเย็น

R-22 และชนิดคอมเพรสเซอร์ที่นำมาใช้ชนิดโรตารีและ Scroll ใช้การควบคุมด้วยเทอร์โมสตัท ที่ปรับตั้งค่าอุณหภูมิไว้ และทำงานแบบตัดต่อ (On-off Control) ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพต่ำ และอากาศภายในห้องมีอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ จึงได้มีการพัฒนาคอมเพรสเซอร์มอเตอร์เหนี่ยวนำที่และใช้อินเวอร์เตอร์ปรับค่าความเร็วรอบ เพื่อควบคุมการไหลสารทำความเย็นที่เรียกว่า VRF (Variable Refrigerant Flow) ทำให้ควบคุมอุณหภูมิได้อย่างต่อเนื่อง แต่ระบบนี้มีราคาสูง และการควบคุมค่อนข้างซับซ้อน และหากจะใช้ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะไม่สามารถใช้โดยตรงได้ ต้องมีชุดแปลงไฟฟ้าเป็นกระแสสลับอีกที อีกแนวทางหนึ่ง คือ การใช้คอมเพรสเซอร์มอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีปรอทแทน ซึ่งมีข้อดีที่มีประสิทธิภาพสูง ให้แรงบิดสูงในความเร็วรอบที่สูงเช่นกัน และสามารถปรับความเร็วรอบของอุปกรณ์ได้ ใช้ร่วมกับสารทำความเย็น R-22 ได้โดยไม่ต้องตัดแปลงระบบท่อน้ำยา [3] ซึ่งต่างหากจาก R-410A ที่มีค่าความดันน้ำยาสูงกว่า [4] ไม่สามารถนำมาทดแทนได้ นอกจากนี้ชุดคอมเพรสเซอร์ แนวนั้มราคาตลาดลง ติดตั้งง่าย และได้รับความนิยมสูงขึ้น และได้มีโครงการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ [5-6]

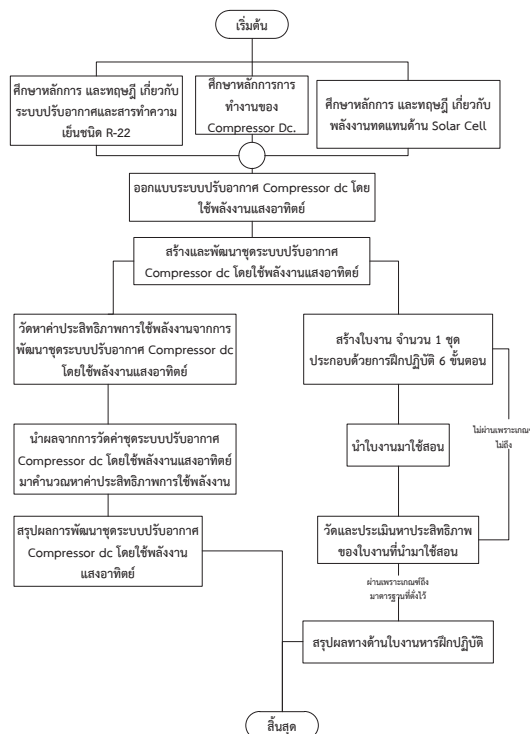
พบว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำระบบมอเตอร์กระแสตรงไร้ปรอทแทนที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ [7-10] ดังนั้นในโครงการนี้จึงมีแนวคิดที่ทำมาตรการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศโดยนำคอมเพรสเซอร์กระแสตรงไร้ปรอทแทน ชนิดสารทำความเย็น R-22 มาตัดแปลงและเปลี่ยนแทนคอมเพรสเซอร์กระแสสลับชนิดสารทำความเย็น R-22 และทำการทดสอบประสิทธิภาพ เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะระบบและอัตราการใช้พลังงานแต่ละช่วงความเร็วรอบของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้ปรอทจะสามารถใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้โดยตรง ในบริเวณที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึงหรือเสถียรภาพไฟฟ้าไม่ดี สามารถใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานเสริมให้ระบบสามารถทำงานได้

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยได้จึงได้มีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การออกแบบจะมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งคือ การออกแบบ และพัฒนาชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งในส่วนที่สองคือการออกแบบและสร้างไปงานจะนำเสนอในครั้งถัดไป เพื่อให้ให้นักเรียนนักศึกษาที่มีความรอบรู้ และเกิดการเรียนรู้จากชุดฝึก อีกทั้งยังให้สำคัญต่อผู้ปฏิบัติติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีความรู้ ความเข้าใจในระบบ และให้การ



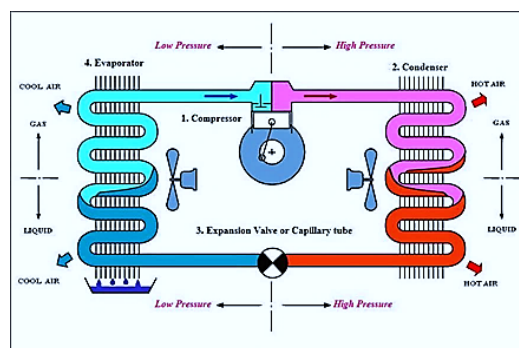
ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในกรอบตามมาตรฐานฝีมือแรงงานและมาตรฐานสากล เพื่อให้ผู้ติดตั้งระบบได้ออกไปประกอบอาชีพอย่างสุจริต มีคุณภาพ สามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้อง ระเบียบร้อย และปลอดภัย

2. วิธีการวิจัย



รูปที่ 1 ผังแสดงการดำเนินงานวิจัย

อกระหว่างที่ไหลในเครื่องควบแน่น สารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่น เมื่อถูกดึงความร้อนออกส่วนหนึ่ง ก็จะเปลี่ยนสถานะเป็น ของเหลว แต่ยังคงมีแรงดันสูงมีอุณหภูมิสูง จากนั้นของเหลวแรงดันสูงอุณหภูมิสูง ก็จะวิ่งตามท่อทางอัดไปเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมน้ำยา (Refrigerant Control) เมื่อสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวแรงดันสูงอุณหภูมิสูง ผ่านเข้าอุปกรณ์ควบคุมน้ำยา จะถูกลดแรงดันลง แล้วไหลเข้าไปยังคอยล์เย็น (Evaporator) ในจังหวะที่ของเหลวแรงดันสูงอุณหภูมิสูง ถูกลดแรงดันลงอย่างรวดเร็ว ก็จะเกิดการระเหยกลายเป็นไอ การระเหยที่เกิดขึ้นในคอยล์เย็น จะดึงเอาความร้อนรอบๆบริเวณนั้น มาช่วยให้การระเหยทำได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อความร้อนในบริเวณนั้น ถูกดึงมาช่วยในการระเหยของสารทำความเย็น ทำให้อุณหภูมิในห้องเย็นลง สารทำความเย็นที่ออกจากคอยล์เย็น จะอยู่ในรูปแบบของแก๊สแรงดันต่ำอุณหภูมิต่ำ ไหลกลับสู่ท่อทางดูดไปเข้าคอมเพรสเซอร์ ซึ่งหมุนเวียนเป็นวัฏจักรเช่นนี้ตลอดไป ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

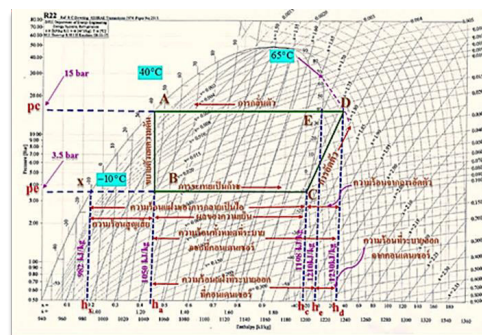
2.1 วัดคุณสมบัติ

2.1.1 พัฒนาชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์แบบอัดไอ ชนิดสารทำความเย็น R-22 ที่ใช้มอเตอร์กระแสตรง วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

2.1.2 เพื่อนำผลที่วัดและคำนวณได้ไปใช้เป็นมาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศด้วยคอมเพรสเซอร์กระแสตรงร่วมกับพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์

2.2 แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักการของเครื่องปรับอากาศเริ่มจากการนำสารทำความเย็น ในที่นี้ใช้ R-22 มาทำการอัดด้วยเครื่องอัดสารทำความเย็น(Compressor)สารทำความเย็นจะถูกอัดออกมาในรูปแบบแก๊สแรงดันสูงมีอุณหภูมิสูง ไหลตามท่อไปเข้าสู่ เครื่องควบแน่น (Condenser) แก๊สแรงดันสูงมีอุณหภูมิสูง เมื่อไหลเข้ามาสู่เครื่องควบแน่นที่ขับไปขดมาและถูกระบายความร้อน



รูปที่ 3 ไดอะแกรมความดันและเอนทัลปี R-22



ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติมอเตอร์

คุณสมบัติ	BLDC	Brushed	AC Induction
การบำรุงรักษา	ไม่มี	ทุกช่วงเวลา	ไม่มี
อายุการใช้งาน	ยาว	สั้น	ยาว
ประสิทธิภาพ	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง
กำลังต่อน้ำหนัก	สูง	ต่ำ	ปานกลาง
ความเฉื่อย	ต่ำ	สูง	สูง
เสียง	เงียบ	ดัง	เงียบ
ราคา	สูงแต่มีแนวโน้มลดลง	ปานกลาง	ต่ำ
การควบคุม	ซับซ้อน	ง่าย	ง่าย/ซับซ้อน

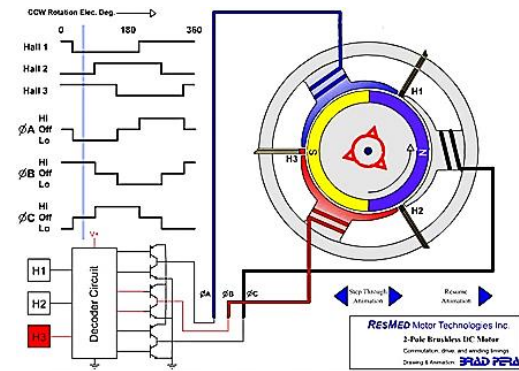
มอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบไม่มีแปรงถ่าน มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านมีความเหมาะสมสำหรับงานเครื่องปรับอากาศกระแสตรงที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากมีสามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ และมีประสิทธิภาพสูงและสามารถใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่หรือเซลล์แสงอาทิตย์ได้ คุณสมบัติมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่น เช่น ประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำมากกว่า 5-10% และคุณสมบัติด้านอื่น แสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 4 โครงสร้างคอมเพรสเซอร์ Rotary BLDC

รูปที่ 5 คอมเพรสเซอร์ Rotary BLDC เชิงพาณิชย์

สำหรับโครงสร้างของมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 4 และ 5 คอมเพรสเซอร์แบบโรตารีที่นิยมนำมาใช้กับมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านที่มีในเชิงพาณิชย์

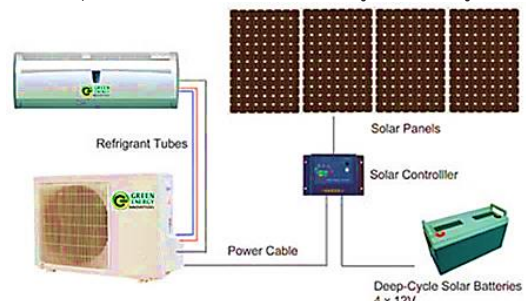


รูปที่ 6 หลักการทำงานชุดขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ BLDC



รูปที่ 7 โครงสร้างและชุดขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ BLDC

ในส่วนของการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน จะใช้เทคนิคการควบคุมสัญญาณพัลส์ โดยโครงสร้างวงจรถูกำล้างแบบอินเวอร์เตอร์สามเฟสที่มีการตรวจวัดความเร็วรอบและตำแหน่งของโรเตอร์และนำมาป้อนให้กับระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลสัญญาณและสวิตซ์สั่งการให้โรเตอร์หมุนปรับความเร็วรอบ ดังแสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7



รูปที่ 8 ไดอะแกรมระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์



สำหรับคอมเพรสเซอร์แบบโรตารีที่ใช้มอเตอร์ กระแสตรงไร้แปรงถ่านขับเคลื่อน ที่นำมาใช้ใน เครื่องปรับอากาศสำหรับโครงการวิจัยนี้ และสามารถนำ แบตเตอรี่หรือแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ป้อนให้กับชุด ปรับอากาศกระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 8

2.3 การตรวจวัดเพื่อหาประสิทธิภาพและอัตราการใช้ พลังงาน

สามารถตรวจวัดความต้องการไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ พัฒลมที่แฟนคอยล์และคอนเดนเซอร์ได้จากเครื่องมือวัดทาง ไฟฟ้าโดยตรงในขณะที่เครื่องปรับอากาศกำลังทำงานดังนั้น ใน การวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียว รายการเครื่องมือวัดที่จำเป็นได้แก่ Power Meter หรือ kW Meter, Thermometer (เครื่องมือนัดอุณหภูมิ), Anemometer (เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ), Hygrometer (เครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์) และPsychrometric Chart (แผนภูมิอากาศ) โดยมีแนวทางการเก็บข้อมูล มีดังนี้

2.3.1 บันทึกค่าความเร็วลมผ่านหน้าตัดของช่องลม กลับ โดยควรวัดหลาย ๆ จุดให้ทั่วทั้งหน้าตัดแล้วหาค่าเฉลี่ย

2.3.2 วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดของช่องลมกลับ แล้วนำไป คูณกับค่าความเร็วลมเฉลี่ยเพื่อหาปริมาณลมหมุนเวียนผ่าน คอยล์เย็นได้

2.3.3 บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลม ง่าย (Supply Air) เพื่อนำไปหาค่าเอนทัลปีของลมง่าย (h1) จากแผนภูมิ Psychrometric

2.3.4 บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลม กลับ (Return Air) เพื่อนำไปหาค่าเอนทัลปีของลมกลับ (h2) จากแผนภูมิ Psychrometric

2.3.5 บันทึกค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของพัฒลมเป็น kW ด้วย Power Meter

2.3.6 บันทึกค่ากระแสและแรงดันของขณะชาร์จโซล่า เซลล์

2.3.7 บันทึกค่ากระแสและแรงดันที่คอมเพรสเซอร์ใช้ งาน

การวัดกำลังไฟฟ้ากระแสตรง กำลัง เป็นตัวแสดง ปริมาณของงานที่ทำในช่วงเวลาที่กำหนด มันคือ อัตราในการ ทำงาน กำลังไฟฟ้าสามารถวัดได้ในรูปของแรงดันไฟฟ้าและ กระแสไฟฟ้า นำค่าที่ได้ทั้งสอง มาคำนวณหาค่ากำลัง ไฟฟ้า โดยใช้สูตรคำนวณ ดังสมการที่ 1

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

การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรกระแสสลับ

ค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ จะต้องเป็นค่า กำลังไฟฟ้าจริง (True Power) หรือ PT สามารถเขียนเป็นสูตร ได้ดังสมการที่ 2

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

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

V คือ แรงดันไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

I คือ กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

$\cos \theta$ คือค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของวงจร

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ สามารถ หาได้จากการคำนวณหาค่าอัตราการจ่ายลมเย็น ซึ่ง สามารถ คำนวณปริมาณลมเย็นตามสมการที่ 3 และสามารถ นำอัตรา การจ่ายลมเย็นดังกล่าวไปคำนวณหาภาระการทำความ เย็น ได้ตามสมการที่ 4 เมื่อสามารถคำนวณภาระการทำความ เย็นได้แล้ว ผนวกกับการวัดความต้องการการใช้พลังงาน จะสามารถคำนวณประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศได้ ตาม สมการที่ 5

$$CFM = \text{Air Flow Rate (ft}^3/\text{min)} \quad (3)$$

$$= \text{Supply Air Speed (ft/min)} * \text{Grill Area (ft}^2)$$

$$Q = 4.5 * CFM * (h_2 - h_1) \quad (4)$$

เมื่อ Q = การคำนวณภาระการทำความเย็น (Btu/hr)

CFM = อัตราการจ่ายลมของระบบปรับอากาศ

h_2 และ h_1 = enthalpy ของลมง่ายและลมกลับ

ซึ่งอ่านค่า ได้จาก Psychrometric Chart (รูปที่ 8)

h_2 = สภาวะอุณหภูมิและความชื้นด้านลมกลับ (Btu/lb)

h_1 = สภาวะอุณหภูมิและความชื้นด้านลมง่าย (Btu/lb)

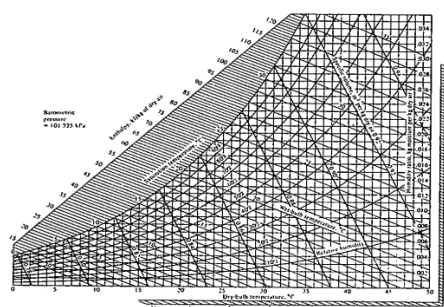
$$EER = (\text{Cooling load (Btu/h)}) / (\text{Electrical Power (W)}) \quad (5)$$

$$EER = 3.412 * COP$$

$$COP = EER / 3.412 \quad (6)$$

$$kW/TR = 12 / EER \quad (7)$$

$$Q_i = 5.707 * 10^{-3} * V_a * (h_i - h_e) \quad (8)$$



รูปที่ 9 Psychrometric Chart



Psychometric Chart นั้น คือ กราฟที่แสดงค่าของ อุณหภูมิในสภาวะปกติ เพื่อทำการคำนวณค่าเกี่ยวกับ อุณหภูมิ เช่นระบบการควบคุมอุณหภูมิ หรือการ ควบคุมความชื้น เป็นต้น ซึ่งการที่เราจะอ่านค่าได้ จำเป็นต้องทราบ ค่าที่แสดงใน กราฟ

Dry Bulb Temperature คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส เส้นแนวตั้ง จากในกราฟแสดง ตั้งแต่ -10 จนถึง 55 องศาเซลเซียส

Wet Bulb Temperature คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส แสดงที่เส้นโค้งนอกสุด ที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 100% เนื่องจากอุณหภูมิกระเปาะเปียก คือสภาวะ ที่แสดง อุณหภูมิที่มีค่าความชื้นมากที่สุดคือ 100%

Relative Humidity คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ แสดง เป็น % ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างอุณหภูมิกระเปาะเปียกและ กระเปาะแห้ง แสดงที่เส้นโค้งในแนวนอน ตั้งแต่ 0 – 100%

Moisture content หรือค่า W นั้นเอง คืออัตราส่วน ความชื้น มีหน่วยเป็น kg/kg คือเส้นในแนวนอน แสดง ตั้งแต่ 0.001 – 0.033 kg/kg

Enthalpy หรือค่า H ถ้าจะเรียกง่าย ๆ ก็คือ ปริมาณของ พลังงานความร้อนในระบบ มีหน่วยเป็น kJ/kg คือเส้นเอียงๆที่ แสดงค่า ตั้งแต่ -10 ถึง 145

การหาค่านั้น ถ้ามีค่าเพียง 2 ค่า นั้นเราก็จะสามารถหา ค่าได้จากการ นำค่าจากเส้นที่ได้ 2 เส้นตัดกัน ก็จะหาค่าได้ทุก ค่า แต่ในความเป็นจริง ส่วนใหญ่จะสามารถเก็บข้อมูลได้ 2 ค่า คืออุณหภูมิกระเปาะแห้ง และกระเปาะเปียก ดังรูปแผนภูมิ ไฮโครเมตริก รูปที่ 9

ในการคำนวณหาขนาด Btu ที่ใช้ในห้องที่มีพื้นที่ห้อง ขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร โดยใช้ สมการ

กว้าง × ยาว เพราะฉะนั้น 4×4 = 16 ตร.ม. นำค่าที่ คำนวณได้มาเทียบหาขนาด Btu ของเครื่องปรับอากาศ ในตาราง

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบการเลือกขนาด Btu กับ พื้นที่ห้อง

Btu	ห้องปกติ (ตร.ม.)	ห้องที่โดนแดด (ตร.ม.)
9,000	12-15	11-14
12,000	16-20	14-18
18,000	24-30	21-27
21,000	28-35	25-32
24,000	32-40	28-36
25,000	35-44	30-39
30,000	40-50	35-45
35,000	48-60	42-54

48,000	64-80	56-72
80,000	80-100	70-90

วิธีการคำนวณ ระบบโซล่าเซลล์

$$\begin{aligned} \text{ขนาดของแผง} &= \text{ค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมด} / 5 \\ &\text{ชั่วโมง (ปริมาณแสงอาทิตย์ที่นำจะได้ใน 1 วัน)} \quad (9) \\ &= \{(900 \text{ W} \times 1 \text{ เครื่อง}) \times 1 \text{ ชั่วโมง}\} / 5 \text{ ชั่วโมง} \\ &= 180 \text{ W} \end{aligned}$$

ดังนั้น ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ คือ ขนาด 30V 180 W จึงเลือกใช้แผงขนาด 29.9 V 250W จำนวน 2 แผง แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่เก็บสำรองไฟฟ้า ในเวลาที่ แผงโซล่าไม่สามารถรับแสงได้ (เวลากลางคืน) แบตเตอรี่ที่ เหมาะสมกับการใช้งานในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ควรใช้ แบตเตอรี่ชนิด Deep Cycle แต่จะมีราคาสูง ซึ่งเราสามารถ เลือกใช้กับแบตเตอรี่ชนิดอื่นแทนได้ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ หรือ แบตเตอรี่แห้ง (Sealed Lead Acid Battery) ได้ ซึ่งจะมี ราคาถูกกว่า

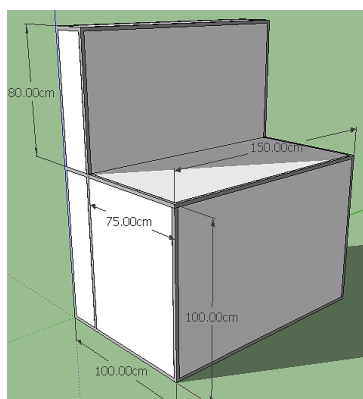
สูตรคำนวณ ขนาดกระแส/ชั่วโมง ของแบตเตอรี่ สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \text{Ah} &= \text{ค่าพลังงานรวม} / [\text{แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่} \times 0.6 \\ &(\% \text{ การใช้งานกระแสไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่}) \times 0.85 \\ &(\text{ประสิทธิภาพของ Inverter})] \\ &= \{(900 \text{ W} \times 1 \text{ เครื่อง}) \times 1 \text{ ชั่วโมง}\} / [48 \text{ V} \times 0.6 \times 0.85] \quad (10) \\ &= 36.764 \text{ Ah} \end{aligned}$$

ดังนั้นขนาดของแบตเตอรี่ที่จะใช้เป็นขนาด 48 โวลต์ 45 Ah หรือมากกว่า แต่ในชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์ กระแสตรงใช้ 12 โวลต์ 45 Ah จำนวน 4 ลูก

2.4 วิธีการวิจัย

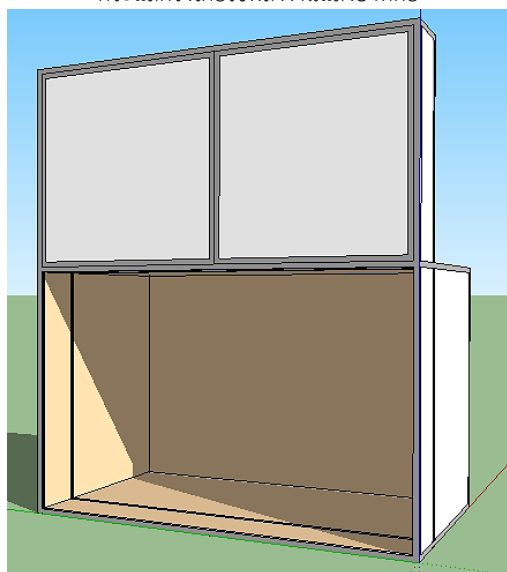
2.4.1 ออกแบบโครงสร้างชุดระบบปรับอากาศ คอมเพรสเซอร์กระแสดตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ โดยการ ออกแบบจะคำนึงถึงเรื่องการต่อหลอดและการขนย้าย การ วางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ขนาดและความสูงแสดงตามรูป ที่ 10



รูปที่ 10 โครงสร้างชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์
 กระแสตรงที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 13 ส่วนด้านหลังของชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์
 กระแสตรงที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 11 ด้านหลังของโครงสร้าง



รูปที่ 14 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการออกแบบก็จะได้ชุดระบบปรับอากาศ
 คอมเพรสเซอร์กระแสตรงที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่สมบูรณ์
 แบบดังรูปที่ 11



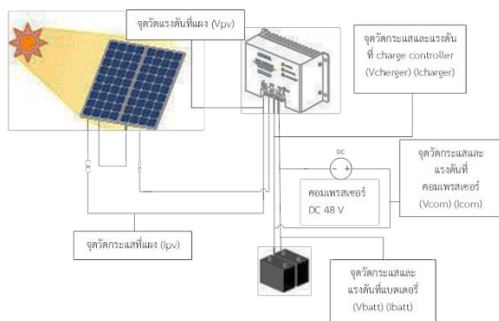
รูปที่ 12 ชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรงโดยใช้
 พลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 15 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่

2.5 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการวัดค่าประสิทธิภาพการออกแบบและพัฒนา ระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์นั้น วัดค่าตามรูปที่ 16 ซึ่งจะแสดงวิธีการเก็บค่ากระแสแรงดันด้านของแผงโซลาร์เซลล์และ charge controller การชาร์จโซลาร์เซลล์ลงแบตเตอรี่ และการใช้กระแสแรงดันของคอมเพรสเซอร์กระแสตรง 48 V และนำมาหาค่าที่ปรับค่าความต้านทาน 500 Ω, 1 KΩ, 1.5 KΩ, 2 KΩ, ได้ผลดังตารางที่ 3 และหาค่าเฉลี่ยเพื่อไปหาค่ากำลังไฟฟ้า



รูปที่ 16 แสดงจุดการวัดค่ากระแสและแรงดันระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสตรงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 3 ตารางบันทึกค่าแรงดันและกระแส ในส่วนทางด้านแหล่งจ่ายที่แผงโซลาร์เซลล์และชาร์จเจอร์

ตารางบันทึกค่าแรงดันและกระแส ในส่วนทางด้านแหล่งจ่าย

R (Ω)	Vpv	Ipv	Vchager	Ichager
500 Ω	55.4	7.8	56.3	8.2
1 KΩ	55.3	7.8	55.6	8
1.5 KΩ	55.4	7.8	55.5	7.8
2 KΩ	54.5	7.8	54.7	7.9
ค่าเฉลี่ย	55.15	7.8	55.525	7.975

ตารางที่ 4 ตารางบันทึกค่าแรงดันและกระแส ในส่วนทางด้านแหล่งจ่ายที่แบตเตอรี่และคอมเพรสเซอร์

R (Ω)	Vbatt	Ibatt	Vcom	Icom	Vc*Ic
500 Ω	46	9.5	50.4	10.1	509.04
1 KΩ	45.6	10.9	50	11.9	595
1.5 KΩ	44.6	15	48.6	14.4	699.84
2 KΩ	43.8	17.7	47.6	17.9	854.04
ค่าเฉลี่ย	45	13.275	49.15	13.575	663.98

ในส่วนของการวัดค่าด้านระบบทำความเย็นนั้นจะปรับค่าความต้านทานที่ 500 Ω, 1 KΩ, 1.5 KΩ, 2 KΩ, ได้ผลดังตารางที่ 3 และนำไปคำนวณหาค่าที่กำลังงานที่คอมเพรสเซอร์

ตารางที่ 5 ตารางบันทึกค่าการทำงานในส่วนของการทำความเย็นด้านลมจ่าย

R (Ω)	Speed	%Rh	T/ลมจ่าย	m/s
500 Ω	2500	68.2	21.5	3.5
1 KΩ	2850	76.2	20.8	3.1
1.5 KΩ	3200	77.2	18.4	3.5
2 KΩ	3500	79.7	18.1	3.8
ค่าเฉลี่ย		75.325	19.7	3.475

ตารางที่ 6 ตารางบันทึกค่าการทำงานในส่วนของการทำความเย็นด้านลมกลับ

R (Ω)	Speed	%Rh	T/ลมกลับ	m/s
500 Ω	2500	71	29.1	1.7
1 KΩ	2850	74.2	28.6	1.9
1.5 KΩ	3200	75.2	28.1	2.4



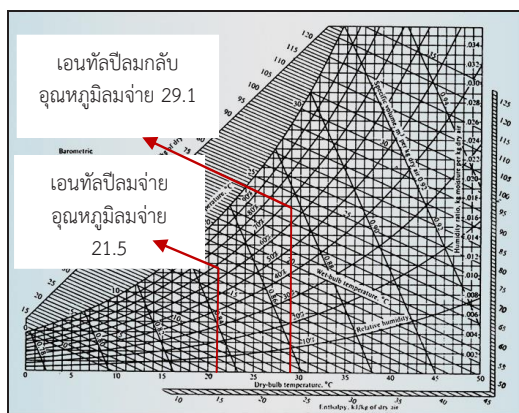
2 KΩ	3500	73.3	29.6	2.3
ค่าเฉลี่ย		73.425	28.85	2.075

ตารางที่ 7 ตารางคำนวณค่ากำลังงานและอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ

ตารางบันทึกค่าการทำงานในส่วนของการทำความเย็น	
Btu/h	EER
103800	29.6 kw
117936	20.18kw
198600	56.51kw
195840	55.73kw
154044	30.81kw

$$\text{สมการ } Q_i = 5.707 \times 10^{-3} \times V_a \times (h_i - h_e) \quad (11)$$

เมื่อได้ค่าดังตารางที่ 3,4,5,6,และ7 นำค่าลมจ่ายและลมกลับความชื้นมาใส่ใน แผนภูมิไซโครเมตริกรูปที่ 17 ที่ความดัน 500 Ω จะได้ค่า เอนทัลปีลมจ่ายและลมกลับ = 49 kJ/kg และ 75 kJ/kg และคำนวณหาค่าลมหมุนเวียนผ่านคอยล์เย็นจะได้ $= 1.5 \times 60 \times 0.65 \text{ m}^3 = 58.5 \text{ ลบ.ม./นาที่}$ แล้วนำค่าที่ได้มาใส่ตามสมการที่ (8) $= 5.707 \times 10^{-3} \times 58.5 \times (75 - 49)$ และจะได้ค่า = 8.65 TR (103800 Btu/h หรือ 29.5 kW) หรือค่า EER (103800/8.65×509.04) = 23.59 สูงกว่ามาตรฐานแอร์เบอร์ 5 (ค่า EER จะอยู่ประมาณ 12) สุดท้ายนำมาหาค่า COP จะได้ $(29.5/8.65) = 3.41$



รูปที่ 17 การปรับค่าความดันที่ 500 Ω

ตารางที่ 8 บันทึกค่าอุณหภูมิลมจ่ายลมกลับและความชื้น

R (Ω)	%Rh	Speed	T (อุณหภูมิลมจ่าย)	V (m/s)	T (อุณหภูมิลมกลับ)	V (m/s)
500	68.2	2500	21.5	3.5	29.1	1.5

2.6 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลได้ว่าการทดลองหาค่าคุณภาพและประสิทธิภาพหรือค่า EER ที่มีหน่วยเป็น (Btu/h)/Watt มีค่าที่ทดลองจากการวัดโดยที่ปรับความต้านทานที่ R ที่ 500Ω , 1 kΩ , 1.5kΩ , 2kΩ ซึ่งพบว่าได้ค่าประสิทธิภาพ EER (Energy Efficiency Ratio) หรืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ คือค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ ว่าดีหรือไม่ และผลการวิจัยทดลองพบว่าชุดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสดวงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ มีค่า EER สูงสุดที่ 23.59 (Btu/h)/Watt ที่ค่าความต้านทาน 500Ω และต่ำสุดที่ 14.08 (Btu/h)/Watt ที่ค่าความต้านทาน 2kΩ ซึ่งถือว่าค่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศถือว่าดีมากซึ่งเทียบค่า EER ระหว่างระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์กระแสดวง ขนาด 12,000 บีทียู ค่า EER อยู่ที่ 12 (Btu/h)/Watt และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในการวิจัยทดลองในครั้งนี้

3. กิตติกรรมประกาศ

รูปแบบของการเขียนบทความได้ปรับปรุงมาจากรูปแบบของการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยและการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ขณะผู้จัดจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

4. เอกสารอ้างอิง

- [1]. Noppom Patcharaprakiti, Kasem Treepak, Jeerawan Saelao, "Load Modeling based on System Identification with Kalman Filtering of Electrical Energy Consumption of Residential Air-Conditioning", International Symposium on Science Fusion and Technology (ISFT) 2014, Korea 2014
- [2]. Jeerawan Saelao*, Kasem Treepak and Noppom Patcharaprakiti, "Mathematical Load Modeling of Residential Air-Conditioning for Demand Response Application", The 6th International Conference of Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB VI). Apsara Ankor Resort and Conference, Siem Reap, Kingdom of Cambodia Cambodia 2014.



- [3]. T.Kata, Y.Shirajuji, S.Kawaguchi, "Comparison of Compressor Efficiency Between Rotary and Scroll Type with Alternative Refrigerants for R22", International Compressor Engineering Conference Paper, 1085.
- [4]. W.Vance Payne and Piotr A.Domanski, "A Comparison of an R22 and R410A Air Conditioner Operating at High Ambient Temperatures",
- [5]. Nopporn Patcharaprakiti *, Jeerawan Saelao, " A Technical Design and Economic Evaluation of DC Solar Air Conditioning System", ISFT 2016, New Delhi India, 17-23 January 2016
- [6]. U. Desideri, S.Proietti, " Solar powered cooling systems : Technical and economic analysis on industrial refrigeration and air conditioning applications, Applied Energy, 2009, 86, 1376-1386.
- [7]. R. Gugulothu, N. Sarada Somanchi, and etal., "A Review on Solar Powered Air Conditioning System", Procedia Earth and Planetary Science, Global Challenges, Policy Framework & Sustainable Development for Mining of Mineral and Fossil Energy Resources (GCPF 2015), 361-367.
- [8]. I. Daut, M. Adzrie, M.Irwanto, P.Ibrahim, M.Fitra, "Solar Powered Air Conditioning System", Energy Procedia, TerraGreen13 International Conference, 2013, 444-453.
- [9]. Q.P. Ha and V.Vakiloroya, "A novel solar assisted air conditioner system for energy savings with performance enhancement", Procedia Engineering, Evolving Energy – IEF International Energy Congress (IEF-IEC2012), 116-123.
- [10]. U.Eicker, D.Pietruschka, M.Haag and A.Schmitt, "Energy and economic performance of solar cooling systems world wide", Energy Procedia, 2013 ISES Solar World Congress.



การเปลี่ยนมีเทน (CH₄) ไปเป็นไฮโดรเจน (H₂) ด้วยกระบวนการพลาสมาดีสชาร์จ
แบบมีไดอิเล็กทริกขวางกั้นที่ความดันบรรยากาศ
Conversion of Methane into Hydrogen with Dielectric Barrier Discharge
Plasma System at Atmospheric Pressure

ยุทธพร เลี่ยมแก้ว^{1,*}, สมพงษ์ โอทอง² และ ธวัชมนชัย เทพนวล¹

¹ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ 222 หมู่ 2 ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

² สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ 222 หมู่ 2 ตำบลบ้านพร้าว อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง 93210

*E-mail: leamkaew_22@hotmail.com, โทรศัพท์: 0848613630

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากการเปลี่ยนแก๊สมีเทนไปเป็นแก๊สไฮโดรเจนด้วยกระบวนการพลาสมาดีสชาร์จแบบมีไดอิเล็กทริกขวางกั้นแบบทรงกระบอกแกนร่วมที่ความดันบรรยากาศด้วยศักย์ไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสสลับ 8 kV ความถี่ 25 kHz ใช้แก๊สร่วมในการตั้งต้น 3 ชนิด ได้แก่ แก๊สอาร์กอน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และอากาศ และใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีในการตรวจวิเคราะห์สัดส่วนของแก๊สที่เกิดขึ้น ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของแก๊สมีเทนเปลี่ยนมากที่สุดที่ 35.019% เมื่อป้อนแก๊สมีเทนผสมกับอากาศ และความเข้มข้นของมีเทนเปลี่ยนน้อยที่สุดที่ 1.126% เมื่อป้อนแก๊สมีเทนเพียงอย่างเดียว โดยสามารถเรียงลำดับการเปลี่ยนความเข้มข้นของแก๊สมีเทนจากมากที่สุดไปน้อยที่สุดได้เป็น แก๊สมีเทนผสมกับอากาศ (35.019%) > แก๊สมีเทนผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (31.122%) > แก๊สมีเทนผสมกับแก๊สอาร์กอน (2.186%) > แก๊สมีเทน (1.126%) ตามลำดับ ในส่วนของผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจนพบมากที่สุดที่ 1.547% เมื่อป้อนแก๊สมีเทนผสมอาร์กอน และพบผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจนน้อยที่สุดที่ 0.763% เมื่อป้อนแก๊สมีเทนผสมกับอากาศ สามารถเรียงลำดับการเกิดผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจนจากมากที่สุดไปน้อยที่สุดได้เป็น แก๊สมีเทนผสมกับแก๊สอาร์กอน (1.547%) > แก๊สมีเทน (1.057%) > แก๊สมีเทนผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (0.783%) > แก๊สมีเทนผสมกับอากาศ (0.763%) ตามลำดับ

คำหลัก: พลาสมาดีสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ พลาสมาดีสชาร์จแบบมีไดอิเล็กทริกขวางกั้น การเปลี่ยนแก๊สมีเทนเป็นไฮโดรเจน

Abstract

In this research, study the conversion of methane into hydrogen with dielectric barrier discharge plasma cylindrical coaxial at atmospheric pressure, with AC high voltage 8 kV and frequency 25 kHz. There are 3 common types of gas substrate; argon, carbon dioxide and air. Gas is analyzed by Gas Chromatography. The results showed that the most of conversion of methane at 35.019%, when feed CH₄ + Air. The concentration of methane converted at least 1.126%, when feed methane. The sort of methane converts the concentration of methane from the most to least; CH₄ + Air (35.019%) > CH₄ + CO₂ (31.122%) > CH₄ + Ar (2.186%) > CH₄ (1.126%) respectively. The products of hydrogen at most 1.547% when fed CH₄ + Ar and least 0.763% when feed CH₄ + Air. Sort of product hydrogen from the most to least had; CH₄ + Ar (1.547%) > CH₄ (1.0547%) > CH₄ + CO₂ (0.783%) > CH₄ + Air (0.7631%) respectively.

Keywords: plasma discharge at atmospheric pressure, dielectric barrier discharge plasma, conversion of methane into hydrogen



1. บทนำ

ในปัจจุบัน ความต้องการพลังงานเพื่อใช้ในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของประชากรโลกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพลังงานที่ใช้เป็นพลังงานหลักในปัจจุบันเป็นพลังงานจากฟอสซิล แต่เนื่องจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลนอกจากจะให้พลังงานแล้วยังก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจก ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในปัจจุบัน ดังนั้นการแก้ไขปัญหาการเกิดภาวะเรือนกระจกนอกจากการรณรงค์ให้ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลให้น้อยลงและเกิดประโยชน์สูงสุดแล้ว จำต้องหาพลังงานจากแหล่งอื่นมาทดแทน ซึ่งพลังงานทดแทนนี้ต้องเป็นพลังงานสะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และให้พลังงานสูง [1] พลังงานทดแทนที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในปัจจุบันได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น และอีกหนึ่งทางเลือกในการใช้เป็นพลังงานทดแทน คือ พลังงานจากไฮโดรเจน เนื่องจากแก๊สไฮโดรเจน (H_2) นั้นเป็นพลังงานสะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ให้พลังงานสูง การเผาไหม้ของไฮโดรเจนจะได้ผลผลิตเป็นเพียงน้ำและพลังงานความร้อนปราศจากแก๊สที่ก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจก [2]

ด้วยเหตุผลดังกล่าวแก๊สไฮโดรเจนจึงได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถผลิตได้จากแก๊สชีวภาพ จากบ่อของเสียจากมูลสัตว์ในการปศุสัตว์ เนื่องจากองค์ประกอบหลักของแก๊สชีวภาพ คือ แก๊สมีเทน (CH_4) สามารถให้แก๊สไฮโดรเจนได้สูง ซึ่งแก๊สชีวภาพประกอบด้วยแก๊สมีเทนประมาณ 65-70 % แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-35 % ที่เหลือเป็นแก๊สชนิดอื่น ๆ เช่น แก๊สไนโตรเจน (N_2) แก๊สออกซิเจน (O_2) แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นต้น [3] นอกจากนี้ได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพที่เป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน เพื่อใช้แทนแก๊สหุงต้มในครัวเรือนจากเศษอาหารและน้ำเสียที่มาจากกระบวนการทำยางแผ่นยางพารา [4]

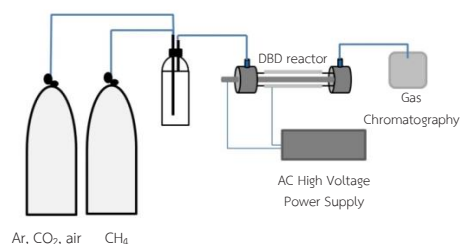
ในปัจจุบันองค์ความรู้ทางด้านเคมีพลาสมาสามารถตอบสนองความต้องการในการผลิตแก๊สไฮโดรเจนได้ เนื่องจากกระบวนการพลาสมาดีสชาร์จนั้นเกิดปฏิกิริยาเคมีสูง ใช้เวลาการเกิดปฏิกิริยาไม่นานนัก กระบวนการพลาสมาดีสชาร์จจึงได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นในการใช้ผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากแก๊สชีวภาพ [5] ซึ่งกระบวนการพลาสมาดีสชาร์จ ได้มีการศึกษาในหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น พลาสมาความร้อน (thermal plasma) ดีสชาร์จแบบไดอิเล็กทริกขวางกั้น (dielectric barrier discharge; DBD) โคโรนา ดีสชาร์จ

(corona discharge) และ ดีสชาร์จเรืองแสง (glow discharge) เป็นต้น

งานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาการเปลี่ยนรูปแก๊สมีเทน ด้วยกระบวนการพลาสมาดีสชาร์จแบบมีไดอิเล็กทริกขวางกั้นที่ความดันบรรยากาศ การดีสชาร์จแบบมีไดอิเล็กทริกขวางกั้นเป็นลักษณะหนึ่งของการดีสชาร์จทางไฟฟ้าที่ระหว่างขั้วไฟฟ้ามีวัสดุที่มีคุณสมบัติไดอิเล็กทริกขวางกั้นอยู่ เพื่อให้กระแสกระจายกันอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มเบรกดาวน์ทางไฟฟ้าให้สูงขึ้นด้วย ซึ่งระบบนี้มีรูปทรงแตกต่างกันออกไปแล้วแต่การออกแบบ เมื่อป้อนแก๊สเข้าไปในระบบนี้ก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้นก็จะได้แก๊สชนิดใหม่ และเนื่องจากระบบนี้ไม่มีความซับซ้อนของระบบ และไม่จำเป็นต้องปฏิบัติงานภายใต้ระบบสุญญากาศทำให้ค่าใช้จ่ายลดน้อยลง [6] โดยศึกษาการเปลี่ยนรูปแก๊สมีเทนไปเป็นแก๊สไฮโดรเจนจากการป้อนแก๊สมีเทนบริสุทธิ์ และแก๊สมีเทนผสมแก๊สชนิดอื่นอีก 3 ชนิด ได้แก่ แก๊สอาร์กอน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และอากาศ

2. วิธีการวิจัย

แผนผังการจัดอุปกรณ์การทดลองดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยห้องพลาสมาแบบทรงกระบอกแกนร่วม แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง (Cool Neon: NEON POWER SUPPLY) ขนาดศักย์ไฟฟ้าขาออก 0 – 8 kV และความถี่ 25 kHz และแก๊สที่ใช้ในการทดลอง (CH_4 , CO_2 , Ar, Air) ห้องพลาสมาประกอบด้วยท่อแก้ว Pyrex หนา 1 mm ยาว 20 cm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 mm และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 12 mm ในส่วนขั้วไฟฟ้าภายในและขั้วไฟฟ้าภายนอก ขั้วไฟฟ้าภายในใช้แท่งโลหะไร้สนิมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 mm ขั้วไฟฟ้าภายนอกใช้แผ่นอลูมิเนียมบางหุ้มท่อแก้ว Pyrex มีช่องว่างของการดีสชาร์จ 1.25 mm ปริมาตรภายในห้องพลาสมาเท่ากับ 0.982 cm^3



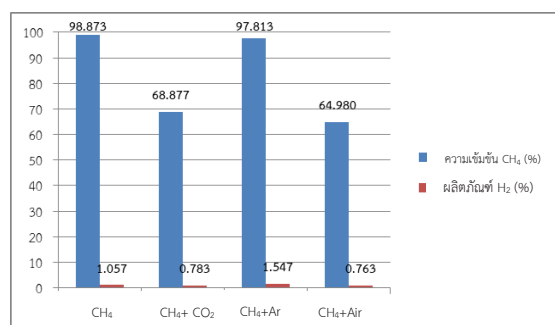
รูปที่ 1 แสดงแผนผังการจัดอุปกรณ์การทดลอง



การศึกษากระบวนการพลาสมาดีสชาร์จแบบมีไดอิเล็กทริกขวางกั้นที่ความดันบรรยากาศ เพื่อเปลี่ยนแก๊สมีเทนไปเป็นแก๊สไฮโดรเจน ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายไปยังห้องพลาสมาที่ 8 kV และความถี่ 25 kHz เก็บตัวอย่างแก๊สจากการทดลองด้วยถุงเก็บตัวอย่างแก๊ส (SKG FlexFoil[®] PLUS Sample Bag) ใช้เวลาเก็บตัวอย่างใส่ถุงเก็บตัวอย่างแก๊ส 2 นาที โดยตัวอย่างแก๊สแต่ละตัวอย่างเก็บผลซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง นำตัวอย่างแก๊สไปวิเคราะห์ด้วย Gas Chromatography (GC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC-8A แล้วนำผลจากการวิเคราะห์ด้วย GC ในแต่ละตัวอย่างมาเฉลี่ยเพื่อตรวจสอบผลลัพธ์การเปลี่ยนของแก๊สมีเทนและผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจน

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแก๊สมีเทนไปเป็นแก๊สไฮโดรเจนด้วยกระบวนการพลาสมาดีสชาร์จแบบมีไดอิเล็กทริกขวางกั้นที่ความดันบรรยากาศ ที่ใช้ศักย์ไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสสลับระดับแรงดันไฟฟ้า 8 kV และความถี่ 25 kHz โดยใช้แก๊สมีเทนบริสุทธิ์ 99.999% และแก๊สรวมในการตั้งต้น 3 ชนิด ได้แก่ แก๊สอาร์กอน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และอากาศ ที่อัตราการไหล 0.2 L/min นำตัวอย่างแก๊สไปวิเคราะห์ด้วย GC ได้ผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแก๊สมีเทนและได้ผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงความเข้มข้นของมีเทนจากการวิเคราะห์ด้วย GC และผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจน

ผลของการป้อนแก๊สมีเทนบริสุทธิ์ 99.999% เข้าสู่ห้องพลาสมา จากการนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วย GC ตรวจพบแก๊สมีเทน 98.873% ความเข้มข้นของแก๊สมีเทนลดลง 1.126% และตรวจพบผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจน 1.057% จากการป้อนแก๊สมีเทนบริสุทธิ์เพียงอย่างเดียว ตรวจพบแก๊สมีเทน

68.877% แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 30.017% และตรวจพบผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจน 0.783% ความเข้มข้นของแก๊สมีเทนลดลง 31.122% และความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง 69.973% จากการป้อนแก๊สมีเทนบริสุทธิ์ผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ตรวจพบแก๊สมีเทน 97.813% ความเข้มข้นของแก๊สมีเทนลดลง 2.185% และตรวจพบผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจน 1.547% จากการป้อนแก๊สมีเทนบริสุทธิ์ผสมกับแก๊สอาร์กอน และตรวจพบแก๊สมีเทน 64.98% แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.347% แก๊สไฮโดรเจน 34.677% และตรวจพบผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจน 0.763% ความเข้มข้นของแก๊สมีเทนลดลง 35.019% จากการป้อนแก๊สมีเทนบริสุทธิ์ผสมกับอากาศ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแก๊สมีเทนไปเป็นแก๊สไฮโดรเจนพบว่า แก๊สมีเทนผสมแก๊สอาร์กอนเกิดแก๊สไฮโดรเจนได้มากที่สุดที่ 1.547% เนื่องจากแก๊สอาร์กอนสามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ง่าย จึงทำให้ในห้องพลาสมามีพลังงานในการสลายพันธะ C-H ของแก๊สมีเทนมากขึ้น และแก๊สมีเทนผสมอากาศเกิดแก๊สไฮโดรเจนได้น้อยที่สุดที่ 0.763% สามารถเรียงลำดับการเกิดแก๊สไฮโดรเจนจากมากที่สุดไปสู่น้อยที่สุดได้เป็น แก๊สมีเทนผสมกับแก๊สอาร์กอน (1.547%) > แก๊สมีเทน (1.057%) > แก๊สมีเทนผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (0.783%) > แก๊สมีเทนผสมกับอากาศ (0.763%)

ขณะเดียวกันการเปลี่ยนความเข้มข้นของแก๊สมีเทนจากการเกิดปฏิกิริยาในห้องพลาสมา แก๊สมีเทนผสมกับอากาศเกิดการเปลี่ยนมากที่สุด เนื่องจากอากาศประกอบไปด้วยแก๊สหลายชนิด อาทิ ออกซิเจน ไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ดังนั้นเมื่อพันธะ C-H ของแก๊สมีเทนแตกตัวแล้ว จึงไปจับพันธะกับแก๊สชนิดอื่น ๆ ในอากาศ แล้วเกิดเป็นแก๊สชนิดใหม่ ได้แก่ H₂ สามารถจับพันธะกับ N₂ ในอากาศ ได้เป็นแอมโมเนีย C สามารถจับพันธะกับ O₂ ในอากาศ ได้เป็น CO และ CO₂ ดังนั้นจึงทำให้ความเข้มข้นของแก๊สมีเทนลดลงถึง 35.019% ความเข้มข้นของแก๊สมีเทนที่เกิดการเปลี่ยนน้อยที่สุดเมื่อป้อนแก๊สมีเทนเพียงอย่างเดียว ความเข้มข้นลดลง 1.126% เนื่องจากการพันธะ C-H ของแก๊สมีเทนต้องใช้พลังงานอย่างน้อย 413 kJ/mol ในการสลายพันธะระหว่างอะตอมของแก๊สมีเทน ดังนั้นคาดว่าพลังงานที่ได้จากห้องพลาสมานั้นไม่มากพอต่อการสลายพันธะ C-H ของแก๊สมีเทน โดยสามารถเรียงลำดับจากมากที่สุดไปสู่น้อยที่สุดได้เป็น แก๊สมีเทนผสมกับอากาศ (35.019%) > แก๊สมีเทนผสมกับแก๊ส



คาร์บอนไดออกไซด์ (31.122%) > แก๊สมีเทนผสมกับอาร์กอน (2.186%) > แก๊สมีเทน (1.126%)

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษากการเปลี่ยนแก๊สมีเทนไปเป็นไฮโดรเจนด้วยกระบวนการพลาสมาดีสชาร์จแบบมีไดอิเล็กทริกขวางกั้นที่ความดันบรรยากาศ จากการป้อนแก๊สมีเทนบริสุทธิ์ และแก๊สมีเทนผสมแก๊สชนิดอื่น อาทิ แก๊สอาร์กอน อากาศ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เข้าสู่ห้องพลาสมาแบบทรงกระบอกแกนร่วม เกิดการเปลี่ยนความเข้มข้นของแก๊สมีเทนหลังจากเกิดปฏิกิริยาภายในห้องพลาสมาดีสชาร์จ จากความเข้มข้นแก๊สมีเทนตั้งต้น 99.999% ลดลงเป็น 98.873% สำหรับแก๊สมีเทนเพียงอย่างเดียว 68.877% สำหรับแก๊สมีเทนผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 97.813% สำหรับแก๊สมีเทนผสมกับแก๊สอาร์กอน และ 64.980% สำหรับแก๊สมีเทนผสมกับอากาศ และได้ผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรเจน 1.547%, 1.057% 0.783% และ 0.763% จากการป้อนแก๊สมีเทนผสมกับแก๊สอาร์กอน แก๊สมีเทนบริสุทธิ์เพียงอย่างเดียว แก๊สมีเทนผสมกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สมีเทนผสมกับอากาศ ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ จากบัณฑิตวิทยาลัย และสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] รัชนิกร วันจันทิก. (2554). ก๊าซไฮโดรเจน: ความคาดหวังเพื่อเป็นแหล่งพลังงานที่ยั่งยืน. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 16 (2554) 1: 131-140
- [2] นิสิต ตันทวีเชฐ. (2553). เทคโนโลยี ผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่สะอาดและยั่งยืน. *Techno & InnoMag*. 36(209), 059 - 062.
- [3] เจษฎา มิ่งฉาย, สร้อยรัตน์ดา สามโพธิ์ศรี, ลือ เกิดสาย และประวีติ คำจัน. (2556). ก๊าซชีวภาพ: พลังงานทางเลือกเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน
- [4] อุษา อันทอง วิทยาญา ทองเนื้อแข็ง และอาภรณ์ ส่งแสง. (2557). การพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับน้ำเสียจากการผลิตยางแผ่นระดับครัวเรือน. *การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24 ประจำปี 2557*, 18. วันที่ 21-24 พฤษภาคม 2557 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ

[5] Nguyen, H. H. and Kim, K. (2015). Combination of plasmas and catalytic reactions for CO₂ reforming of CH₄ by dielectric barrier discharge process. *Catalysis Today*. 256.

[6] ธวัชณชัย เทพทว, ประชิต คงรัตน์, ศุภลักษณ์ อำนวย และไกรสร เอียดเนตร. (2552). การออกแบบและสร้างระบบพลาสมาดีสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ เพื่อการประยุกต์ใช้งานด้านสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.



การพัฒนาสถานีอัดประจุสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แบบอิสระ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
Development of Stand-Along Solar Charge Station Faculty of Engineering
Princess of Naradhiwas University

พลากร พรหมเมศรี^{1,*}, สุวินันท์ จันทอไร¹, สัตรี สชนอ¹ และสมาน วิวรรณโรจน์¹

¹ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

*palakorn.ep@hotmail.com, 081-542-6986

บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอการพัฒนาสถานีอัดประจุสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ เพื่อใช้เป็นสถานีอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ โดยประยุกต์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 90 วัตต์ จำนวน 4 แผง ทำหน้าที่แปลงผันพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ร่วมกับแบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ 45 แอมแปร์/ชั่วโมง ทำหน้าที่กักเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรง จำนวน 1 ลูก และอินเวอร์เตอร์ ขนาด 500 วัตต์ 220 โวลต์ สำหรับแปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อใช้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น หลอดไฟให้แสงสว่าง คอมพิวเตอร์แบบพกพา โทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น ในการสร้างสถานีอัดประจุสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ ไว้ในพื้นที่กลางแจ้ง และเปิดโล่งโดยไม่มีสิ่งบังบังเพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ผลการทดสอบโดยการใช้อุปกรณ์เคลื่อนที่ จำนวน 5 เครื่อง ร่วมกับคอมพิวเตอร์แบบพกพา จำนวน 1 เครื่อง ในสภาวะแบตเตอรี่ลดลงเหลือใกล้ 0 เปอร์เซ็นต์ ทุกเครื่อง จะใช้เวลาในการอัดประจุให้เต็มได้ทั้งหมด ใช้เวลาเฉลี่ย 3 ชั่วโมง ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศในระหว่างวันว่ามีแสงอาทิตย์มากน้อยเพียงไร เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของสถานีอัดประจุด้วยเช่นกัน

คำหลัก: สถานีอัดประจุ, แผงเซลล์แสงอาทิตย์

Abstract

This paper is presents the development of a stand-alone solar charge station, in Faculty of Engineering Princess of Naradhiwas University. To use as a battery charging station for electrical and electronic appliances, by using four 90 watt solar panels converts solar energy into electricity, cooperated a 12 volt battery 45 ampere per hour, it stored electrical energy in a direct current (DC) system, and a 500 watt inverter with 220 volt of power to convert DC power into AC power. For used with electrical appliances such as light bulbs, laptop, mobile phones etc., to build outdoor and open up a stand-alone solar charge station, want to work at full capacity. The experimental results are use of 5 mobile phones with 1 laptop, in battery condition lowed near to 0 percent all of them, will take up to 3 hours to fully charge. Which depends on the weather conditions during the day how much sun light, as it is important to consider the performance of the charging station.

Keywords: Solar Charge Station, Solar Cell Panel.



1. บทนำ

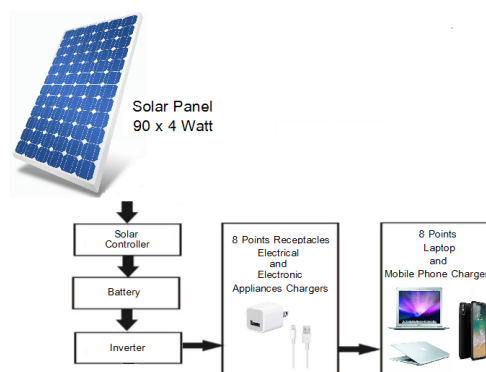
พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ และเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำเนินชีวิตของประชาชน การเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้แก่ประเทศมีพลังงานใช้อย่างเพียงพอ และมีประสิทธิภาพ ภายใต้สถานการณ์ทางด้านพลังงานที่นับวันจะมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง และมีความผันผวนทางด้านราคาของเชื้อเพลิง โดยกำหนดแนวทางการส่งเสริมให้มีการคิดค้นแหล่งพลังงานใหม่ที่สะอาด ราคาถูก และไม่วันหมดสิ้น พลังงานบางชนิดถูกนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ชีวมวล น้ำขึ้น - น้ำลง คลื่นทะเล แสงอาทิตย์ ลม และความร้อนใต้พิภพ ซึ่งเป็นงานพื้นฐานหลักในการพัฒนาพลังงานของประเทศ และมีความสอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานทดแทน [1] ในปี พ.ศ. 2553 ประเทศไทย มีความต้องการใช้พลังงานรวมในภาคที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2552 ถึงร้อยละ 9.2 [2] ส่งผลให้มีการนำเข้าของพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2552 ถึงร้อยละ 220.0 จากสถานการณ์ดังกล่าว บ่งชี้ได้ว่าประเทศไทยเผชิญหน้ากับปัญหาวิกฤตการณ์พลังงานครั้งสำคัญ ตามแผนพลังงานทดแทน 15 ปี ได้กำหนดให้ในปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยต้องเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนจากร้อยละ 9.2 ของการใช้พลังงานรวมทั้งประเทศเป็นร้อยละ 20.3 [3] โดยภาครัฐได้กำหนดเป้าหมายการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในปี พ.ศ. 2565 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 30 ของอัตราการผลิตในปี พ.ศ. 2551 แต่ในปี พ.ศ. 2553 พบว่า มีการใช้กระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานทดแทนเพียงร้อยละ 4.3 ของอัตราการผลิตพลังงานทดแทนในปีเดียวกัน

ปัจจุบัน พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งในประเทศไทยที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าสูงมาก [3] ซึ่งการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีความยั่งยืน และเป็นพลังงานสะอาดอย่างแท้จริง ประเทศไทยรับพลังงานจากแสงอาทิตย์สูงเกือบตลอดทั้งปี ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ประเทศไทยมีศักยภาพในการใช้แสงอาทิตย์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สูงถึง 5,000 เมกกะวัตต์ ซึ่งกำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตาม ความเข้มแสงอาทิตย์ ที่ตกกระทบแผง และอุณหภูมิของแสงอาทิตย์ [4] ในความเป็นจริงกลับพบว่ามีการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพียง 32 เมกกะวัตต์ ซึ่งต่ำกว่าการคาดการณ์ตามแผนพลังงานทดแทนมาก สาเหตุสำคัญส่วนหนึ่งคือ ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์เป็นศาสตร์ขั้นสูงที่ต้องอาศัยวัตถุดิบ และอุปกรณ์ต่าง ๆ จากต่างประเทศเป็นหลัก ต้นทุนในการผลิตพลังงาน

ไฟฟ้าต่อหน่วยจึงสูงกว่า ส่งผลให้ระยะเวลาในการคืนทุนไม่คุ้มค่ากับการลงทุน [5] ประกอบกับระเบียบข้อบังคับในการรับซื้อพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยยังไม่มีความชัดเจน ดังนั้น ในการแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ด้านผลิตพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบขนาดใหญ่ จึงเป็นการผลักดันให้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นที่ยอมรับกับผู้ใช้จำนวนมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ จึงเป็นมาของการพัฒนาสถานีอัดประจุสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แบบอิสระ โดยดำเนินการติดตั้งในพื้นที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ซึ่งออกแบบให้เป็นสถานีสำหรับนั่งพักและนั่งทำงานทั้งช่วงเวลากลางวัน และกลางคืน เนื่องจาก มีหลอดไฟแอล.อี.ดี ขนาด 7 วัตต์ จำนวน 2 ชุด ให้ความสว่างในช่วงกลางคืน และมีเต้าเสียบไฟฟ้า ขนาด 220 โวลต์ ไว้สำหรับใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น คอมพิวเตอร์แบบพกพา โทรศัพท์เคลื่อนที่ แบตเตอรี่สำรอง เป็นต้น โดยประยุกต์ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 90 วัตต์ จำนวน 4 แผง ทำหน้าที่แปลงผันพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ร่วมกับแบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ 45 แอมแปร์/ชั่วโมง ทำหน้าที่กักเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรง จำนวน 1 ลูก และอินเวอร์เตอร์ ขนาด 500 วัตต์ 220 โวลต์ สำหรับแปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ

2. วิธีการวิจัย

ในการออกแบบ และพัฒนาสถานีอัดประจุสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ มีส่วนประกอบของระบบ ดังรูปที่ 1

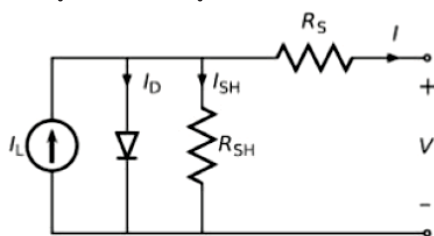


รูปที่ 1 โดอะแกรมระบบสถานีอัดประจุสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แบบอิสระ



2.1 แบบจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Model of Photo Voltaic System)

หลักการเบื้องต้นของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถจำลองการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติด้วยวงจรสมมูล โดยเขียนแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์นั้น เชื่อมต่อกับไดโอด ร่วมกับค่าความต้านทานที่ต่อขนาน (R_{sh}) และค่าความต้านทานต่ออนุกรม (R_s) ดังรูปที่ 2 รูปที่ 2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์



สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางด้านออก (V) และกระแสไฟฟ้า (I) ดังสมการที่ (1)

$$I = I_L - I_S \left[\exp\left(\frac{q(V + I R_s)}{nkT}\right) - 1 \right] - (V + I R_s) / R_{SH} \quad (1)$$

เมื่อ I_L คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์นั้น; I_S คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับของไดโอด; n คือ อัตราส่วนอุดมคติของไดโอด; q คือ คุณสมบัติพื้นฐานของประจุไฟฟ้า (1.6×10^{-19} C); k คือ ค่าคงตัวของโบลทซ์มานน์ (1.38×10^{-23} J/K); R_{sh} คือ ค่าความต้านทานต่อขนาน; R_s คือ ค่าความต้านทานต่ออนุกรม และ T คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [6]

จากสมการที่ (1) สามารถเขียนใหม่ได้ ดังสมการที่ (2)

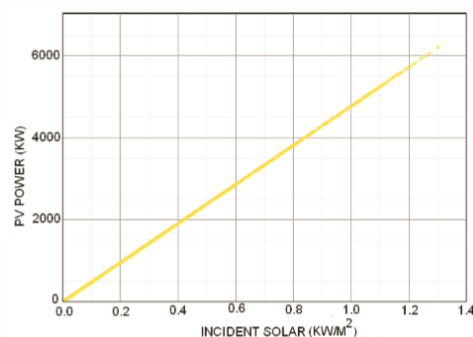
$$I = I_L - I_S \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

เนื่องจาก กำลังไฟฟ้าด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ (P) จะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ต่อพื้นที่ จะสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ ดังสมการที่ (3)

$$P = \gamma f \left(\frac{G_T}{G_{T,STC}} \right) \quad (3)$$

เมื่อ γ คือ ค่าพิคกิ้งกำลังไฟฟ้า (kW) ของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้การทดสอบที่สภาวะมาตรฐาน (Under Standard Test Conditions; STC); f คือ ค่าสัมประสิทธิ์การ

รับความร้อนของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%); G_T คือ ค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ต่อพื้นที่ที่ต่อชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kW/m^2); $G_{T,STC}$ คือ ค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ต่อพื้นที่ในสภาวะการทดสอบมาตรฐาน (kW/m^2) ลักษณะรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพิคกิ้งกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (kW) กับค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ต่อพื้นที่ (kW/m^2) ดังรูปที่ 3

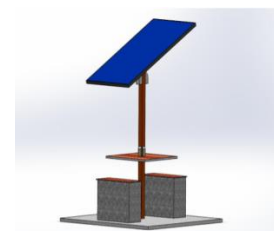


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ค่าพิคกิ้งกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (kW) กับค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ต่อพื้นที่ (kW/m^2)

ค่าพลังงานที่จ่ายให้กับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นั้นคือ ค่าความเข้มแสงของรังสีดวงอาทิตย์ต่อพื้นที่ [7] ซึ่งสามารถทำการประมาณค่าได้ ดังสมการที่ (4)

$$G_T = G_b R_b + G_d R_d + (G_d + G_b) R_r \quad (4)$$

เมื่อ G_b และ G_d คือ รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรงมายังพื้นผิวโลก และรังสีกระจาย; R_b , R_d และ R_r คือ ปัจจัยการเอียงของลำแสง การแพร่กระจาย และการสะท้อนของรังสีแสงอาทิตย์ ตามลำดับ

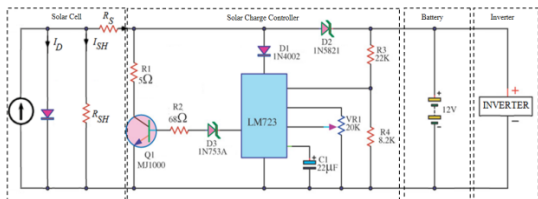


2.2 ระบบจัดการพลังงาน (Energy Management)

ส่วนประกอบของระบบจัดการพลังงานที่ใช้ระบบสถานีอัดประจุสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ ประกอบด้วย โซลาร์คอนโทรลชาร์จเจอร์ สำหรับควบคุม



การอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ ร่วมกับแบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ 45 แอมแปร์/ชั่วโมง ซึ่งทำหน้าที่กักเก็บพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรง จำนวน 1 ลูก ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบตเตอรี่ จะนำมาจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ ขนาด 500 วัตต์ 220 โวลต์ เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงของแบตเตอรี่ (DC System) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC System) เพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ส่วนประกอบภายในของระบบจัดการพลังงาน

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การทดลองหาประสิทธิภาพ และระยะเวลาในการอัดประจุให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยใช้แอล.อี.ดี ขนาด 7 วัตต์ จำนวน 2 ชุด คอมพิวเตอร์แบบพกพา จำนวน 1 เครื่อง และโทรศัพท์เคลื่อนที่ จำนวน 5 เครื่อง ดังรูปที่ 5 เพื่อเป็นตัวอย่างในการใช้งานร่วมกับระบบสถานีอัดประจุสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ ซึ่งในการทดลองหาประสิทธิภาพการอัดประจุให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า จะทำการทดลอง 2 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 08.00 – 11.10 น. และ 12.00 – 15.05 น. โดยผลการตรวจสอบสถานะความจุของแบตเตอรี่ และระยะเวลาในการอัดประจุแบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์แบบพกพา จำนวน 1 เครื่อง และโทรศัพท์เคลื่อนที่ จำนวน 5 เครื่อง ดังตารางที่ 1

ชื่ออุปกรณ์	ขนาดของแบตเตอรี่ (มิลลิแอมแปร์)	สถานะแบตเตอรี่		ระยะเวลาชาร์จแบตเตอรี่ (1)		ระยะเวลาชาร์จแบตเตอรี่ (2)	
		ก่อน	หลัง	เริ่ม	หยุด	เริ่ม	หยุด
SAMSUNG GALAXY J5	2,600	0 %	100 %	08.00 น.	10.30 น.	12.00 น.	14.25 น.
SAMSUNG DUOS	1,150	0 %	100 %	08.00 น.	09.20 น.	12.00 น.	13.20 น.
OPPO R1 (R829)	2,410	0 %	100 %	08.00 น.	10.15 น.	12.00 น.	14.10 น.
OPPO R1 (R829)	2,410	0 %	100 %	08.00 น.	10.15 น.	12.00 น.	14.10 น.
TRUE SMART 4.0	1,350	0 %	100 %	08.00 น.	09.40 น.	12.00 น.	13.40 น.
ACER LAPTOP	4,700	0 %	100 %	08.00 น.	11.10 น.	12.00 น.	15.05 น.
L.E.D LAMP 14 W	N/A	ใช้งานตลอดช่วงเวลา					

รูปที่ 5 ลักษณะสถานีอัดประจุพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระและการใช้งาน

ตารางที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพและการอัดประจุให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษา เพื่อหาประสิทธิภาพ และระยะเวลาในการอัดประจุให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยใช้แอล.อี.ดี ขนาด 7 วัตต์ จำนวน 2 ชุด (เปิดทุกครั้งในขณะที่ทำการทดสอบ) คอมพิวเตอร์แบบพกพา จำนวน 1 เครื่อง รุ่น ACER Aspire E15 E5 - 551G ค่าความจุแบตเตอรี่ 4,700 มิลลิแอมแปร์ และโทรศัพท์เคลื่อนที่ จำนวน 5 เครื่อง คือ SAMSUNG GALAXY J5 ค่าความจุแบตเตอรี่ 2,600 มิลลิแอมแปร์ SAMSUNG DUOS ค่าความจุแบตเตอรี่ 1,150 มิลลิแอมแปร์ OPPO R1 (R829) ค่าความจุแบตเตอรี่ 2,410 มิลลิแอมแปร์ (จำนวน 2 เครื่อง) TRUE SMART 4.0 ค่าความจุแบตเตอรี่ 1,350 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งในการทดลองหาประสิทธิภาพการอัดประจุให้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า จะทำการทดลอง 2 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 08.00 – 11.10 น. และ 12.00 – 15.05 น. ดังตารางที่ 1 ซึ่งกำหนดให้สถานะของแบตเตอรี่หมดก่อนอัดประจุ อยู่ที่ 0 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อผ่านช่วงเวลากการอัดประจุแล้วเติม อยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาในการอัดประจุเต็มต้องใช้เวลานานทั้งสิ้น 3 ชั่วโมง ซึ่งจะไม่พิจารณาอายุการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำการทดสอบ เนื่องจากอาจส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการอัดประจุของระบบสถานีอัดประจุสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระทำให้ผลการทดสอบเปลี่ยนแปลงได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายต๋มมีชี บินเจ๊ะอาแซ นายอนันต์ ยา และนายอัปดุลเลาะ สามะ นักศึกษาสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ที่ให้ข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณสถานที่ในการท่ววิจัย ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

6. เอกสารอ้างอิง

[1] วรพงศ์ พวงแก้ว และคณะ (2553). การประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานลมและความเป็นไปได้ในการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานลมขนาด 0.225 - 0.75 เมกะวัตต์ ตามแนวชายฝั่งทะเล ของจังหวัดนครศรีธรรมราชและจังหวัดสงขลา, *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 3 ตุลาคม 2552 – มกราคม 2553, 129 - 137.

[2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency [DEDE] (2010). *รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย (เบื้องต้น) 2553 [Thailand Energy Statistics 2010]*, [ระ บ บ อ อ น โล ณ์], แ ท ล ัง ที่ ฆ า



http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/Th_En_St_2010_p.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/08/2553.

[3] Department of Alternative Energy Development and Efficiency [DEDE] (2008). แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (พ.ศ. 2551 - 2565) [Renewable Energy Development Plan], [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/Th_En_St_2010_p.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 10/08/2553.

[4] สรรพพล คุ่มทรัพย์ (2555). สถานีอัดประจุแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2555, 100 - 108.

[5] พิมลมาศ วรรณคนาพล และคณะ (2555). ประโยชน์ของการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา: กรณีศึกษาอาคารที่พักอาศัยต้นทุนต่ำ, วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/ผังเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, ปีที่ 9, ฉบับที่ 2 ธันวาคม 2555, 49 - 61.

[6] Satya, P.M. and Dubey, S.P. (2016). Analysis of Effects on Hybrid Power System's Costs and Pollutant Emissions due to Replacement of Petroleum Diesel with Natural Gas, Fuel Oil and Biodiesel, paper presented in *Electrical Energy Systems (ICESS 2016) 3rd International Conference*, Chennai, India.

[7] Oner, O.C., Uzunoglu, M. and Alan, M.S. (2006). Dynamic modeling, Design and Simulation of a Wind/Fuel Cell/Ultra-Capacitor-Base Hybrid Power Generator System, *Journal of Power Sources*, Vol. 161, May 2006, pp. 707 - 722.



การศึกษาการบริหารจัดการใช้พลังงานสำหรับอาคารด้วยการตอบสนองด้านโหลด Study of Building Energy Management System With Demand Response

เอกรัตน์ นภกานต์¹ บุญยัง ปลั่งกลาง¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

E-mail: akeratana_n@mail.rmutt.ac.th, 0844543234

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบการจัดการพลังงานโดยใช้ดิจิทัลพาวเวอร์มิเตอร์ ที่จัดทำขึ้นเพื่อเป็นการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจริงในแต่ละวันในรูปแบบ Real Time ของอาคารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธัญบุรี โดยใช้ดิจิทัลพาวเวอร์มิเตอร์ติดตั้งภายในตู้ประธานไฟฟ้าที่มีพอร์ตสื่อสาร RS485 Communication ต่อเข้ากับอุปกรณ์แปลงสัญญาณ เพื่อส่งสัญญาณเข้าคอมพิวเตอร์ ที่ติดตั้งโปรแกรมการจัดการพลังงานไฟฟ้าและสามารถแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยสามารถแสดงผลออกมาในลักษณะกราฟและตารางข้อมูล ในเดือนมีนาคม ปีพ.ศ. 2560 ได้คำนวณทั้งหมด 40,479.08 หน่วย และสามารถทำบิลค่าใช้จ่ายโดยเปรียบเทียบกับบิลค่าใช้ไฟฟ้าจริง จากข้อมูลการศึกษาและการติดตั้งใช้งานจริง แสดงให้เห็นความสามารถในการจัดการพลังงาน และสามารถนำไปใช้ในระบบที่ใหญ่มากขึ้น และสามารถประมาณการการใช้พลังงานสำรองที่มีอยู่รูปแบบต่าง ๆ เพื่อลดปริมาณความต้องการการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด 5-10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ เมื่อเทียบกับบิลค่าใช้จ่ายไฟฟ้าจริง

คำหลัก: ดิจิทัลพาวเวอร์มิเตอร์ การบริหารจัดการพลังงาน การตอบสนองด้านโหลด

Abstract

This article presents an energy management system using digital power meter which is designed to collect real-time data of electricity use at Engineering Building of Thonburi University. The use of digital power meter was installed in Main Distribution Board unit, then send signal through A/D converter device using RS485 communication port to send the data to the computer. The data were managed by energy management software and displayed on the computer screen in graphs and data tables used in March, 2560 at 40,479.08 units, and could be calculated electric cost from the program to compare with the actual electricity bill. From this study, it can estimate different type of reserved energy source in order to decrease load power 5-10 percent for obtaining accurate values compared to actual electricity bill.

Keywords: Digital power meter, Energy management system, Load demand response.

1. บทนำ

การเปลี่ยนของโลกส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยได้มีการดำเนินงานเพื่อบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง และตอบสนองความต้องการต่อผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น การใช้แหล่งพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อนำมาทดแทนพลังงานทดแทนที่ได้มาจากธรรมชาติ ในอดีตที่ผ่านมาการควบคุมความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบทิศทางเดียว คือ จากผู้จำหน่ายผ่านระบบสื่อสารไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อควบคุมให้ผู้ใช้

ไฟฟ้าลดระดับความต้องการให้อยู่ในระดับเดียวกัน ทั้งนี้พลังงานไฟฟ้าที่มีภายในประเทศนั้นยังไม่เพียงพอต่อความต้องการในการใช้พลังงาน จึงจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศหรือประเทศเพื่อนบ้าน ซึ่งจะต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก เมื่อมีความต้องการในการใช้พลังงานมากก็จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่นำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย และมีผลกระทบที่จะก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน ทำให้หน่วยงานต่างๆทั้งภาครัฐ



และเอกชนออกมารณรงค์ หรือเชิญชวนให้มีการประหยัดพลังงานไฟฟ้ารวมถึงการนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการผลิตอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการสิ้นเปลืองพลังงานน้อยที่สุด และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่น้อยที่สุด

2. ทฤษฎีและการดำเนินงาน

2.1 การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า [1]

การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า (Demand Side Management หรือ DSM) มีความหมายคือเป็นวิธีการดำเนินการควบคุม และสนับสนุนให้มีการใช้ไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง หรือ การใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัดที่สุด หรือ ทำควบคู่กันทั้งสองด้าน (Gelling and Chamberlin,1992) โดยจะต้องให้การสนับสนุนให้การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและ ควบคุมหรือเพื่อลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (On Peak) หรือ การอนุรักษ์พลังงาน (Energy Efficiency or Energy Conservation) และการบริหารการใช้พลังงาน (Load Management) และปฏิบัติด้วยวิธีการต่างๆเกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มี ซึ่งส่งผลกระทบต่อช่วงเวลาใช้งานอุปกรณ์ รวมไปถึงระยะเวลาในการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถวัดผลของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เป็นสองค่าคือ จำนวนกิโลวัตต์ (Kilowatt, kW) และจำนวนกิโลวัตต์ชั่วโมง (Kilowatt-hour, kWh) และสามารถแปลผลเป็นตัวเงินเพื่อประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ได้อีกด้านหนึ่งด้วย ซึ่งอัตราทั้งสองนี้มีอัตราต่อหน่วยที่ต่างกันมาก การวิจัยนี้ใช้อัตราค่าไฟฟ้าคิดตามเวลาการใช้งาน เรียกว่า Time of Use Rate (TOU Rate) ผู้ใช้ไฟประเภทที่ 4 กิจกรรมขนาดใหญ่ มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที สูงสุดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไปหรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือนโดยผ่านเครื่องวัดไฟฟ้า

2.2. การกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้า

การกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้านั้น เป็นการสำรวจให้รู้ถึงลักษณะของการใช้พลังงานที่เป็นอยู่ในปัจจุบันว่า สูงต่ำเพียงใด เพื่อเป็นขอบเขต โดยทำการสำรวจลักษณะของ

การใช้พลังงาน หรือตรวจสอบข้อมูลที่มี หรือตรวจสอบลักษณะการใช้ไฟฟ้าจากใบเรียกเก็บค่าไฟฟ้าที่ผ่านว่ามีค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพียงใด เมื่อได้ข้อมูลแล้วจึงดำเนินการจัดการการใช้พลังงาน ซึ่งในระบบการจัดการ และควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy Management and Demand Control System) มีองค์ประกอบที่ทำให้การบริหารและควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า หรือเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล คือ การกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน และแนวทางและวิธีการลดการใช้พลังงาน จากนั้นคือการหาแนวทางที่จะนำไปสู่เป้าหมายนั้น

2.3 รูปแบบการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า

การลดการใช้พลังงานทุกช่วงเวลา หรืออนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation) หลักการคือ มาตรฐานที่เน้นในการจัดการกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานตลอดเวลาหรือเกือบตลอดเวลาเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ หรือการเปลี่ยนมาใช้ อุปกรณ์ชนิดประสิทธิภาพสูงแทนอุปกรณ์ในระบบเดิมที่ใช้อยู่ ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าหรือมีการใช้พลังงานสูงกว่าแต่มีการให้จุดประสงค์การใช้งานเดียวกัน ซึ่งการจัดการการใช้พลังงานโดยวิธีนี้ยังคงตอบสนองความต้องการและไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการทำงาน

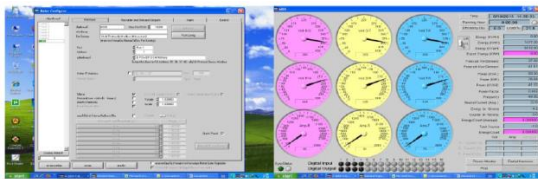
3. ขั้นตอนการดำเนินการ

ในบทความนี้ได้ทำการทดลองเพื่อเก็บค่าพลังงานที่ใช้งานสำหรับอาคารด้วยการใช้ดิจิทัลมิเตอร์เพื่อใช้โปรแกรมบริหารจัดการพลังงานเป็นตัวบันทึกข้อมูล จากนั้นทำการตั้งค่าเพื่อส่งข้อกำหนดสำหรับการชดเชยพลังงานจากแหล่งกำเนิดที่สามารถชดเชยการใช้พลังงาน จากนั้นทำการประมาณการเพื่อลดปริมาณการใช้ในช่วงที่มีการใช้งานสูงสุด



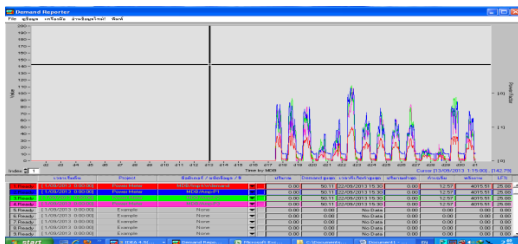
รูปที่ 1 การเชื่อมต่อดิจิทัลมิเตอร์

การติดตั้งดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์ในตู้ MDB แล้วทำการเดินสายส่งสัญญาณไปยัง Converter Device ต่อเข้ากับช่องสัญญาณ RS485 แล้วทำการเชื่อมต่อ RS485 เข้ากับคอมพิวเตอร์ที่เราทำการติดตั้งโปรแกรมบริหารพลังงานไว้แล้ว และทำการลิงค์สัญญาณเชื่อมต่อกับตู้ MDB เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในอาคาร



รูปที่ 2 การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์และการดูข้อมูลแบบวินาที

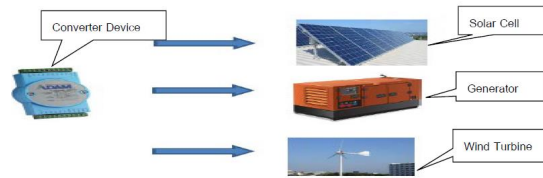
การเชื่อมต่อสำหรับการแสดงในส่วนของการเก็บค่าการใช้พลังงานซึ่งสามารถบันทึกลงสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต Rs485 แสดงผลเพื่อการเก็บข้อมูลแบบวินาที การใช้ไฟฟ้าเป็นได้ทั้งแบบกราฟและ Excel โดยเราทำการกำหนดค่าที่เราต้องการดู ตัวอย่างเช่น กระแสไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในตู้ MBD กระแสไฟฟ้าของสายไฟ Phase A, Phase B, Phase C ทั้งนี้ถ้าเราต้องการดูค่าที่เราต้องการให้ทำการกำหนดค่ากราฟในโปรแกรม ใน Excel เราจะดูค่าได้ในทุกๆ 15 นาทีที่ Peak สูงสุดในแต่ละช่วง และค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวัน เวลาเท่าใดที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดในหนึ่งวันจะสามารถดูได้ใน Excel รวมทั้งหมดที่เราทำการกำหนดค่าในกราฟที่เราเฝ้าดูจะมาแสดงใน Excel ทั้งหมด



รูปที่ 3 ลักษณะการเคลื่อนไหวของเส้นกราฟ

จากการคาดการณ์การชดเชยพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาจากแหล่งสำรองพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งอื่น ๆ ซึ่งจะนำมา

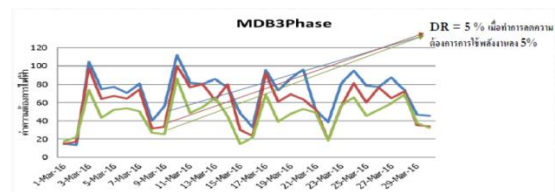
ชดเชยค่าพลังงานที่มีการใช้สูงสุดในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นการควบคุมการชดเชยพลังงานไฟฟ้าได้จากพอร์ต I/O ของเพาเวอร์ดิจิทัลที่การส่งสัญญาณไปสั่งงานตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเชื่อมต่อแหล่งจ่ายภายนอก

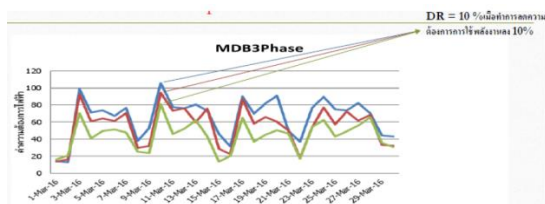
4. ผลการดำเนินการและอภิปรายผล

ระบบไฟฟ้า 3 เฟสนั้นมีข้อสังเกตและข้อควรระวังบางประการกล่าวคือ เนื่องจากระบบไฟฟ้า 3 เฟสที่นำมาใช้จะถูกแยกให้กลายเป็นระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 3 ชุดเพื่อนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าตามจุดต่างๆ ถ้า ไฟฟ้าแต่ละสายที่แยกไปใช้งานตามจุดต่างๆ นั้น มีปริมาณการใช้งาน (load) ที่สมดุลกันหรือใกล้เคียงก็ย่อมจะเป็นการประหยัดค่าไฟฟ้าได้ดี และบางช่วงเวลามีการใช้ค่าพลังงานมากกว่า 100 กิโลวัตต์



รูปที่ 5 ค่าพลังงานที่ได้จากดิจิทัลเพาเวอร์มิเตอร์เมื่อลดลง 5 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 5 การชดเชยค่าพลังงานที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อทำการลดความต้องการด้านโหลดลง 5 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการทั้งหมด โดยค่าการใช้จะลดลงเหลือที่ประมาณ 110 กิโลวัตต์ จากเดิมที่ต้องการประมาณ 120 กิโลวัตต์



รูปที่ 6 ค่าพลังงานที่ได้จากดีจิตอลเพาเวอร์มิเตอร์เมื่อลดลง 10 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 6 การลดค่าพลังงานที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อทำการลดความต้องการด้านโหลดลง 10 เปอร์เซ็นต์ของความถี่ทั้งหมด โดยค่าการใช้จะลดลงเหลือที่ประมาณ 105 กิโลวัตต์ จากเดิมที่ต้องการประมาณ 120 กิโลวัตต์

จากผลการทดลองที่เก็บได้จริงในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 จำนวนหน่วยที่เก็บได้จากโปรแกรม 40,479.08 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้านครหลวงของประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ และสถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องซึ่งมีความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ แต่ไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนก่อนหน้าไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว คือ ค่าไฟฟ้า (หน่วย/บาท) ได้มาจากการ Run ของโปรแกรม 0.32 คือ ค่าไฟฟ้าที่คิดภาษี 7% ได้มาจากการนำเอาหน่วยค่าไฟ 7% หารด้วยค่าไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์) ค่าไฟฟ้าหน่วย/บาท = ค่าไฟฟ้าหน่วย/บาท + ค่าไฟฟ้าที่คิดภาษี 7% = 4.86 (หน่วย/บาท) $40,479.08 \times 4.86 = 196,728.25$ บาท ซึ่งถ้าทำการลดปริมาณความต้องการด้านโหลดลง 10 เปอร์เซ็นต์จะทำให้ค่าใช้จ่ายจะลดลงด้วยเช่นกัน

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาการศึกษากิจการการจัดการใช้พลังงานสำหรับอาคารด้วยการตอบสนองด้านโหลด ด้วยการ

อุปกรณ์ของดีจิตอลเพาเวอร์มิเตอร์ สามารถบันทึกค่าและเก็บรายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา จากผลของค่าที่เก็บได้สามารถนำมาบริหารจัดการเพื่อเลือกการชดเชยพลังงานจากแหล่งอื่น ๆ ที่มีสำรองไว้แล้ว เช่น จากพลังงานแสงอาทิตย์ เจนเนอเรเตอร์ เป็นต้น จากผลการทำงานเราสามารถควบคุมหรือลดปริมาณการใช้งานด้านโหลดลง 5 – 10 เปอร์เซ็นต์ จาก 120 กิโลวัตต์เหลือ ประมาณ 100 กิโลวัตต์ ในช่วงเวลาที่กำหนดดังนั้นการดำเนินงานในครั้งนี้เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการออกแบบเพื่อที่จะออกแบบอุปกรณ์สำหรับการควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธนบุรีตลอดจนเจ้าหน้าที่ ที่อำนวยความสะดวกในสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ในการทดลองและขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมาและขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำโครงการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้านั้นสำเร็จ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัทกร ยุทธพัฒน์. 2544. การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.energy.go.th/?q=th/profile> (10 พฤศจิกายน 2559).
- [2] วิบูลย์ สงวนพงศ์. 2427. อัตราค่าไฟฟ้า. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.pea.co.th> (13 พฤศจิกายน 2559).
- [3] นุชทิศา สุทธิสินทอง. 2530. โปรแกรม Demand Monitoring Software (Idea Pro). [ซีดี-รอม] กรุงเทพฯ : โปรเกรส.



การคัดแยกยีสต์ทนร้อนเพื่อผลิตเอทานอลจากน้ำตาลเพนโตส Screen of Thermotolerant Yeast for Ethanol Production from Pentose sugar

นวภัทร นวกะคาม^{1, 2*}

¹ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ถนนทหาร ตำบลหมากแข้ง อุดรธานี 41000

² หน่วยวิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อุดรธานี 41000

navapatn_naja@hotmail.com, 0956594972, 042341615

บทคัดย่อ

การคัดแยกยีสต์ทนร้อนที่สามารถใช้น้ำตาลเพนโตส เพื่อผลิตเอทานอล คัดแยกเชื้อจากขานอ้อย ช้างข้าวโพด มูลโค และดิน โดยวิธีสเปรดเพลตและสตรีคเพลต บนอาหารยูนYM บ่มที่อุณหภูมิ 40°C เมื่อได้ยีสต์บริสุทธิ์แล้ว นำมาศึกษาความสามารถ ในการใช้น้ำตาลเพนโตส ความทนต่ออุณหภูมิสูง อัตราการเจริญ การผลิตเอทานอล และตรวจสอบชนิดของยีสต์ระดับโมเลกุล โดยหาลำดับเบส D1/D2 ของ 26S ribosomal RNA จากการศึกษาได้ยีสต์ทนร้อน 37 ไอโซเลต เมื่อทดสอบการใช้น้ำตาลเพนโตส พบว่า 2 ไอโซเลต(CD1 และ CD2) ที่คัดแยกได้จากมูลโค สามารถใช้น้ำตาลเพนโตสได้และเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 40 และ 45°C เมื่อทดสอบการผลิตเอทานอล ในอาหาร YM ประกอบด้วย น้ำตาลเพนโตส 1% บ่มที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็ว 150 rpm ในสภาวะไร้ออกซิเจน เป็นเวลา 7 วัน เก็บน้ำหมักไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลและ ปริมาณเอทานอลด้วยเครื่อง HPLC พบว่า เชื้อ CD1 ผลิตเอทานอลจากน้ำตาลไซโลสและน้ำตาลอะราบินอสได้ 1.94 และ 1.58 g/L ตามลำดับ และเชื้อ CD2 ผลิตเอทานอลจากน้ำตาลไซโลสและน้ำตาลอะราบินอสได้ 1.58 และ 1.28 g/L ตามลำดับ และเมื่อนำไปตรวจสอบชนิดของยีสต์พบว่าทั้งสองไอโซเลตเป็นยีสต์ *Candida tropicalis*

คำหลัก: ยีสต์ทนร้อน เอทานอล น้ำตาลเพนโตส

Abstract

Thermotolerant pentose-utilizing yeast for ethanol production were isolated from bagasse, corncob, cow dung and soil using spread plate and streak plate techniques on YM agar which incubated at 40°C. The pure culture stains were studied on pentose utilizations, thermotolerant abilities, growth rates, ethanol productions and were identified in molecular level using D1/D2 domain of 26S ribosomal RNA. From this study, 37 isolates were obtained. Two isolates (CD1 and CD2) showed the pentose-utilizing abilities and thermotolerant abilities (40°C and 45°C) which were isolated from cow dung. The ethanol production of CD1 and CD2 were studied by using YM media which contained 1% of pentose and incubated in anaerobic condition with 150 rpm shaking at 40°C for 7 days. The quantities of sugar and ethanol of fermented broth were analyzed via HPLC machine. The ethanol productions of CD1 using xylose and arabinose were 1.94 g/l and 1.58 g/l respectively. The ethanol productions of CD2 using xylose and arabinose were 1.58 g/l and 1.28 g/l respectively. The identification in species level revealed that these 2 isolates were *Candida tropicalis*.

Keywords: Thermotolerant yeast, Ethanol, Pentose sugar



1. บทนำ

ในปี 2560 สถานการณ์การใช้พลังงานจะเพิ่มสูงขึ้นไม่
ว่าจะเป็นการใช้น้ำมันเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.8 จากการใช้ น้ำมัน
เบนซินและแก๊สโซฮอล์[1]แก๊สโซฮอล์ได้จากเอทานอลผสมกับ
น้ำมันเบนซิน กระบวนการผลิตเอทานอลได้จากกระบวนการ
หมักพืชจำพวกแป้งและน้ำตาล รวมทั้งเซลลูโลสและ
เฮมิเซลลูโลส เพื่อให้ได้เอทานอลโดยใช้ยีสต์ในกระบวนการ
หมัก[2]การผลิตเอทานอลทั่วโลกในปัจจุบันนี้ใช้วัตถุดิบ
ประเภทแป้งและน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่[3]ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้มี
ราคาสูงทำให้ต้นทุนในการผลิตเอทานอลมีราคาสูงตามไปด้วย
ดังนั้นการผลิตเอทานอลจากแหล่งพลังงานทางเลือก
(Alternative energy sources) แหล่งใหม่ เช่น ชานอ้อย
เศษไม้ ชังข้าวโพด ฟางข้าว เป็นสิ่งที่น่าสนใจเพราะวัสดุเหล่านี้
เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและมีราคาถูก ซึ่งวัสดุเหล่านี้
เรียกว่า Lignocellulosic material วัตถุดิบประเภทลิกโน
เซลลูโลสที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลนั้นมี
องค์ประกอบที่เป็นเซลลูโลส 39%, เฮมิเซลลูโลส 27% และ
ลิกนิน[4] ซึ่งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส เมื่อสารประกอบ
เหล่านี้ผ่านการย่อยสลายด้วยกรดหรือเอนไซม์ จะได้น้ำตาล
กลูโคส น้ำตาลไซโลสและน้ำตาลอะราบินอส [5] โดยทั่วไปยีสต์
ที่ใช้ น้ำตาลกลูโคสในการหมักเป็นเอทานอลมากกว่าใช้น้ำตาล
ไซโลสและน้ำตาลอะราบินอส ดังนั้นการคัดเลือกยีสต์ที่มี
ประสิทธิภาพสูงในการใช้น้ำตาลไซโลสในการผลิตเอทานอลได้
นั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญ

2. วิธีการวิจัย

2.1 การคัดเลือกยีสต์ทนร้อน

2.1.1 คัดแยกยีสต์ทนร้อน โดยชั่งตัวอย่างชานอ้อย
ดินผิวน้ำกองชานอ้อยจากบริษัทน้ำตาลเริ่มอุดม จังหวัด
อุดรธานี ชังข้าวโพด มูลโค จำนวน 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างมา 10 g
แล้ว เติมน้ำกลั่นความเข้มข้น 0.85% ปริมาตร 90 ml
ผสมให้เข้ากัน ทำ serial dilutions จากนั้นปิเปตความเจือจาง
ที่เหมาะสมมา 0.1 ml เกลี่ยทั่วผิวน้ำอาหาร yeast malt
extract (YM) agar [6] แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40°C เป็น
เวลา 48 h ทำการคัดเลือกโคโลนีที่เจริญบนอาหาร มาเขียนบน
อาหารชนิดเดิม เพื่อแยกยีสต์ให้เป็นโคโลนีเดี่ยว (Single
colony) บันทึกลักษณะต่างๆของโคโลนี

2.1.2 คัดแยกเชื้อให้บริสุทธิ์ โดยนำโคโลนีเดี่ยวๆ
ของยีสต์ที่คัดแยกได้ มาสตรีกบนผิวน้ำอาหารแข็ง YM อีก
ครั้ง และเลือกโคโลนีเดี่ยวๆ เก็บไว้เพื่อทดสอบขั้นต่อไป

2.1.3 นำเชื้อยีสต์ที่คัดแยกได้มาทำการย้อมสีเพื่อ
ศึกษารูปร่างลักษณะทางสัณฐานวิทยาของยีสต์เบื้องต้น

2.2 ศึกษาความสามารถของการใช้น้ำตาลของยีสต์ สายพันธุ์ทนร้อน

2.2.1 นำยีสต์บริสุทธิ์ที่คัดแยกได้ มาเลี้ยงในอาหารที่
มีน้ำตาลชนิดต่าง (Sugar medium) เช่น น้ำตาลกลูโคส
น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลอะราบินอส (Yeast extract 3 g Malt
extract 3 g Peptone 5 g Sugar 10 g and Distilled
water 1L) ใส่ใน หลอดทดลอง หลอดละ 10ml ภายใน
หลอดบรรจุหลอดดักแก๊ส ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา
10 นาที

2.2.2 นำเชื้อบริสุทธิ์แต่ละไอโซเลต ลงในอาหาร
ทดสอบหลอดละ 1 หลบ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา
48 h วัดความสามารถในการใช้น้ำตาลของยีสต์ โดยสังเกตจาก
ฟองแก๊สที่เกิดในหลอดดักแก๊ส บันทึกผลการทดลอง

2.3 ทดสอบความสามารถในการทนร้อนของยีสต์ทน ร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

2.3.1 นำยีสต์บริสุทธิ์ที่คัดแยกได้มาเลี้ยงในอาหารที่มี
น้ำตาลชนิดต่าง (Sugar medium) ในอาหารปริมาตร 50 ml
ปริมาณเชื้อเริ่มต้นโดยวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตร
โฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 600 nm บันทึกผล

2.3.2 นำไปเชื้อไปบ่ม ณ อุณหภูมิ 40, 45 และ 50°C
เป็นเวลา 72 h วัดการเจริญของยีสต์โดยวัดค่าดูดกลืนแสงด้วย
เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร
บันทึกผลค่าดูดกลืนแสง

2.4 ศึกษาอัตราการเจริญของยีสต์ทนร้อน

2.4.1 นำโคโลนีของเชื้อยีสต์บริสุทธิ์ที่แยกได้ ใส่ใน
น้ำเกลือความเข้มข้น 0.85% ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าดูดกลืน
แสงที่มีความยาวคลื่น 600 nm ให้ได้ค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.4

2.4.2 ปิเปตซัสเฟนชั้นยีสต์ ปริมาตร 5 ml ลงใน
อาหาร YM broth ปริมาตร 95 ml ที่มีค่า pH เท่ากับ 5 นำไป
วัดค่าดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 600nm บันทึกผล จากนั้น
วัดอัตราการเจริญทุก 2 h เป็นเวลา 48 h

2.4.3 นำผลที่ได้เขียนกราฟการเจริญเติบโตของเชื้อ



2.5 ทดสอบความสามารถในการผลิตเอทานอลของยีสต์ที่อื่น

2.5.1 นำโคโลนีของเชื้อยีสต์บริสุทธิ์ที่แยกได้ ใส่ในน้ำเกลือความเข้มข้น 0.85% ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 600 nm ให้ได้ค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.4

2.5.2 ปิเปิดเชื้อที่มีค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.4 แล้วปริมาตร 5 ml ลงในอาหารน้ำตาลชนิดต่างๆ ปริมาตร 45 ml บ่มที่อุณหภูมิ 40°C ในภาวะเขย่าด้วยความเร็วรอบ 200 rpm เป็นเวลา 24 h เพื่อเป็นกล้าเชื้อตั้งต้น (Inoculum)

2.5.3 เตรียมอาหาร YM broth ปริมาตร 190 ml pH 5 แล้วเติมเชื้อตั้งต้นปริมาตร 10 ml บ่มที่อุณหภูมิ 40°C ในภาวะเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบกำหนดเวลา นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 10 นาที เก็บส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส น้ำตาลอะราบิโนส และปริมาณเอทานอลด้วยเครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography)

2.6 วิธีวิเคราะห์เอทานอลและน้ำตาลด้วยเครื่อง HPLC

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส น้ำตาลอะราบิโนสและเอทานอลในตัวอย่าง ด้วยเครื่อง HPLC ซึ่งมีภาวะของการทำงาน โดยอาศัยคู่มือการใช้งาน เครื่องมือของ Agilent, HP1100 High Performance Liquid Chromatography และเตรียมกราฟมาตรฐานของปริมาณน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลอะราบิโนสและเอทานอล ที่ความเข้มข้น 0, 1.25, 2.5, 5.0, 10 และ 20% โดยน้ำหนัก แล้วนำสารตัวอย่างมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส น้ำตาลอะราบิโนสและเอทานอล [7]

2.7 ตรวจสอบชนิดของยีสต์สายพันธุ์ที่อื่น

เชื้อยีสต์สายพันธุ์ที่อื่นที่สามารถผลิตเอทานอลได้ดี ตรวจสอบชนิดของยีสต์ในระดับโมเลกุล การจัดจำแนกยีสต์ในระดับสปีชีส์ในปัจจุบัน ทำได้โดยการหาลำดับเบสในโดเมน D1/D2 ของหน่วยย่อยโมเลกุลขนาดใหญ่ (Large subunit, 26S) ของ rDNA เพื่อนำมาหาความเหมือนของลำดับเบสในโดเมน D1/D2 ของ 26S rDNA (ประมาณ 600 เบส) เทียบกับลำดับเบสของสปีชีส์ที่มีรายงานแล้วหรือที่รู้จักแล้ว (Known species) ในฐานข้อมูล และใช้เกณฑ์ของ Kurtzman and Robnett (1998) [8] ในการระบุว่าเป็นสปีชีส์ที่มีรายงานแล้วหรือที่รู้จักแล้ว หรือเป็น สปีชีส์ที่ยังไม่มีรายงานหรือสปีชีส์ใหม่ (Undescribed species) โดยพิจารณาจากหลักเกณฑ์คือ ถ้า

ยีสต์สองสายพันธุ์มีลำดับเบสในโดเมน D1/D2 ของ 26S rDNA มีการแทนที่ของนิวคลีโอไทด์มากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์แสดงว่าเป็นคนละสปีชีส์

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 การคัดแยกยีสต์ที่อื่น

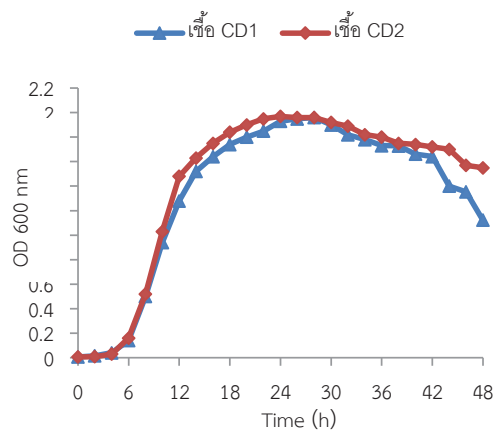
การศึกษาการคัดแยกยีสต์ที่อื่นจากตัวอย่างที่นำมาศึกษา คือ ขาน้อย ดินบริเวณกองขาน้อย ช้างข้าวโพด และมูลโค โดยทำการคัดเลือกเชื้อโดยวิธีสเปรดเพลต (Spread plate technique) และทำให้เชื้อบริสุทธิ์โดยวิธีสเตรคเพลต (Streak plate) จากการคัดเลือกจากลักษณะและรูปร่างของของโคโลนี ได้ยีสต์ทั้งหมด 37 ไอโซเลต

3.2 การศึกษาการใช้น้ำตาลและการทนร้อนของยีสต์

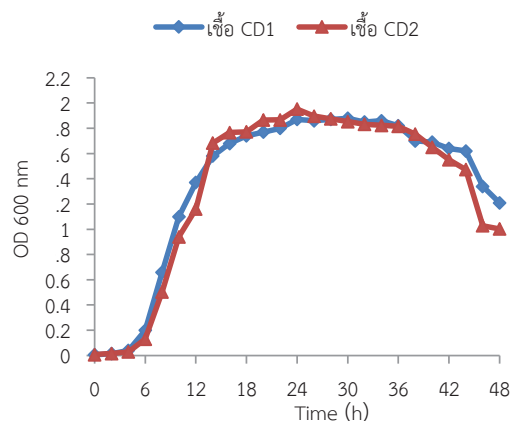
ศึกษาการใช้น้ำตาลเพนโตสของยีสต์ที่อื่นทั้ง 37 ไอโซเลต พบว่า เชื้อยีสต์ที่สามารถใช้น้ำตาลไซโลสและน้ำตาลอะราบิโนสได้ มีจำนวน 2 ไอโซเลต คือ CD1 และ CD2 ซึ่งคัดแยกได้จากมูลโค และยีสต์ทั้ง 2 ไอโซเลต สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 40 และ 45°C

3.3 การศึกษาอัตราการเจริญของยีสต์

ศึกษาอัตราการเจริญของยีสต์จากการศึกษาอัตราการเจริญของยีสต์ที่อื่นไอโซเลต CD1 และ CD2 ในอาหาร YM ที่มีน้ำตาลไซโลสและน้ำตาลอะราบิโนสเป็นแหล่งคาร์บอนเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วรอบ 200 rpm บ่มเป็นเวลา 48 h เก็บตัวอย่างวัดอัตราการเจริญโดยวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่น 600 nm ทุกๆ 2 h (รูปที่ 1)



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 การเจริญของเชื้อ CD1 และ CD2

(ก) อาหารน้ำตาลอะราบินอส

(ข) อาหารน้ำตาลไซโลส

การศึกษาการเจริญของเชื้อ CD1 และ CD2 ในอาหารที่มีน้ำตาลอะราบินอสและน้ำตาลไซโลส พบว่าทั้งเชื้อ CD1 และ CD2 มีระยะ Lag phase ถึงชั่วโมงที่ 4 ระยะ Log phase อยู่ระหว่างชั่วโมงที่ 6-24 ระยะ Stationary phase ในน้ำตาลอะราบินอสอยู่ระหว่างชั่วโมงที่ 24-32 แต่ในน้ำตาลไซโลสจะอยู่ระหว่างชั่วโมงที่ 24-36 และเชื้อทั้งสองไอโซเลตเจริญได้สูงสุดในชั่วโมงที่ 24 เชื้อ CD1 มีค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 1.96 และ 1.87 ตามลำดับ และเชื้อ CD2 เจริญได้สูงสุดในชั่วโมงที่ 24 มีค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 1.97 และ 1.95 ตามลำดับ ในอาหารน้ำตาลอะราบินอสเชื้อทั้งสองไอโซเลตมีระยะ Death phase หลังจากชั่วโมงที่ 32 ส่วนในอาหารน้ำตาลไซโลส เชื้อเข้าสู่ระยะ Death phase หลังจากชั่วโมงที่ 36 แสดงว่าเชื้อทั้งสองไอโซเลตใช้น้ำตาลไซโลสได้ดีกว่าน้ำตาลอะราบินอส

3.4 การศึกษาความสามารถในการผลิตเอทานอลของยีสต์หมัก

ยีสต์หมักที่สามารถใช้น้ำตาลเพนโทสได้ มี 2 ไอโซเลต เมื่อนำมาทดสอบความสามารถในการผลิตเอทานอลโดยใช้ Glucose medium, Xylose medium และ Arabinose medium บ่มที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วรอบ 150 rpm เป็นเวลา 7 วัน เก็บน้ำหมักในวันที่เริ่มต้น และวันที่ 0, 3 และ 7 นำมาวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสและปริมาณของเอทานอลด้วยเครื่อง HPLC ผลการศึกษาพบว่าเชื้อ CD1 และ CD2 สามารถผลิตเอทานอลได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการหมักเอทานอลจากน้ำตาลกลูโคสโดยเชื้อ CD1 และ CD2

วันที่	เชื้อ CD1		เชื้อ CD1	
	Glu.(g/L)	Eth.(g/L)	Glu.(g/L)	Eth.(g/L)
0	10.849	0.4045	11.901	0.3485
3	0.000	5.7175	0.000	5.720
7	0.000	4.715	0.000	5.276

จากผลการศึกษาการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลกลูโคส พบว่าเชื้อ CD1 และ CD2 สามารถผลิตเอทานอลได้ปริมาณมากที่สุดในวันที่ 3 ของการหมัก และเชื้อใช้น้ำตาลกลูโคสหมด เชื้อ CD1 วัดปริมาณเอทานอลได้ 5.7175 g/L และเชื้อ CD2 วัดปริมาณเอทานอลได้ 5.720 g/L เมื่อนำไปคำนวณหาปริมาณเอทานอลทางทฤษฎีได้เท่ากับ 96.02 และ 88.49 % ตามลำดับ แสดงว่าเชื้อ CD1 มีประสิทธิภาพในการหมักน้ำตาลกลูโคสดีกว่าเชื้อ CD2 เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ อภิขญา จันทรมั่น และคณะ [9] ศึกษาการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* Sc90 ในอาหารที่มีกลูโคสและไซโลสผลิตเอทานอลทางทฤษฎีได้เพียง 69.41% ซึ่งเชื้อ CD1 และ CD2 มีประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลได้ดีกว่า

การศึกษาการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำตาลไซโลส โดยเชื้อ CD1 และ CD2 ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการหมักเอทานอลจากน้ำตาลไซโลสโดยเชื้อ CD1 และ CD2

วันที่	เชื้อ CD1		เชื้อ CD1	
	Xyl.(g/L)	Eth.(g/L)	Xyl.(g/L)	Eth.(g/L)
0	10.843	0.000	10.832	0.000
3	6.295	1.6	7.446	1.582
7	3.678	1.94	5.536	1.375

จากผลการศึกษาพบว่าเชื้อ CD1 สามารถผลิตเอทานอลจากน้ำตาลไซโลสได้ปริมาณสูงสุดในวันที่ 7 มีปริมาณเอทานอล 1.94 g/L ใช้น้ำตาลไป 7.164 g/L ส่วนเชื้อ CD2 ผลิตเอทานอลได้สูงสุดในวันที่ 3 ได้เอทานอลปริมาณ 1.582 g/L เมื่อนำไปคำนวณหาปริมาณเอทานอลทางทฤษฎีได้เท่ากับ 53.09 และ 91.59 % ตามลำดับ แสดงว่าเชื้อ CD2 มีประสิทธิภาพในการหมักน้ำตาลไซโลสดีกว่าเชื้อ CD1 เมื่อเปรียบเทียบกับ การศึกษาของ อภิขญา จันทรมั่น และคณะ [9] ศึกษาการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* Sc90 ในอาหารที่มีไซโลสผลิตเอทานอลทางทฤษฎีได้เพียง 33.29% ซึ่งเชื้อ CD1 และ CD2 มีประสิทธิภาพในการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลไซโลสได้ดีกว่า



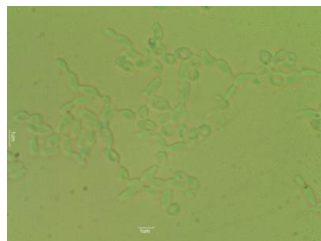
การศึกษาการผลิตเอทานอลจากการหมักน้ำตาลอะราบิโนสโดยเชื้อ CD1 และ CD2 ได้ผลดังตารางที่ 3 ตารางที่ 3 แสดงการหมักเอทานอลจากน้ำตาลอะราบิโนสโดยเชื้อ CD1 และ CD2

วันที่	เชื้อ CD1		เชื้อ CD1	
	Ara.(g/L)	Eth.(g/L)	Ara.(g/L)	Eth.(g/L)
0	10.743	0.000	10.4535	0.1275
3	7.743	1.497	7.149	1.1645
7	7.1165	0.9925	4.7725	1.288

จากผลการศึกษาพบว่า CD1 สามารถผลิตเอทานอลจากน้ำตาลอะราบิโนสได้สูงสุดในวันที่ 3 ของการหมัก ได้ปริมาณเอทานอล 1.497 g/L ใช้น้ำตาลอะราบิโนสไปจำนวน 3.00 g และเชื้อ CD2 ผลิตเอทานอลได้สูงสุดในวันที่ 7 ของการหมักได้เอทานอลสูงสุด 1.288 g/L ใช้น้ำตาลอะราบิโนสไปทั้งหมด 5.681 g เมื่อนำไปคำนวณหาปริมาณเอทานอลทางทฤษฎีได้เท่ากับ 97.84 และ 44.45% ตามลำดับ แสดงว่าเชื้อ CD1 มีประสิทธิภาพในการหมักน้ำตาลอะราบิโนสดีกว่าเชื้อ CD2 จากกระบวนการผลิตเอทานอลของเชื้อ CD1 และ CD2 โดยรวมจะเห็นได้ว่าเชื้อ CD1 มีความสามารถในการผลิตเอทานอลได้ดีกว่าเชื้อ CD2

3.5 การศึกษาการตรวจสอบชนิดของยีสต์สายพันธุ์ที่ร้อน

การศึกษาลักษณะรูปร่างของเชื้อไอโซเลต CD1 และ CD2 พบว่า เชื้อทั้งสองมีลักษณะเซลล์กลมรี และเซลล์ยาว แตกหน่อที่ปลายเซลล์ มีการสร้างเส้นใยเทียม (รูปที่ 2)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 ลักษณะรูปร่างเซลล์ของยีสต์ที่ร้อน

(ก) CD1

(ข) CD2

เมื่อนำไปจัดจำแนกชนิดของยีสต์ระดับโมเลกุลโดยหาลำดับเบส D1/D2 ของ 26S ribosomal RNA ได้ผลดังตารางที่ 4 แสดงชนิดของยีสต์ที่สามารถผลิตเอทานอลจากน้ำตาลเพนโตส

Isolate	CD1	CD2
Method of identification	D1/D2 region sequencing	D1/D2 region sequencing
Identify as	<i>Candida tropicalis</i>	<i>Candida tropicalis</i>
% Similarity	100%	100%

จากผลการตรวจสอบชนิดของยีสต์ เมื่อเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ D1/D2 ของยีสต์ไอโซเลต CD1 และ CD2 พบว่าลำดับนิวคลีโอไทด์เหมือนกัน 100% แสดงว่ายีสต์ CD1 และ CD2 เป็นยีสต์ชนิดเดียวกัน และเมื่อนำลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีสต์ทั้ง 2 ชนิด ไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ใน Gene Bank พบว่าเหมือนกับไทป์สเตรน (Type strain) ของ *Candida tropicalis* CBS 94^T (U45749) 100% ดังนั้นจึงจำแนกยีสต์ ไอโซเลต CD1 และ CD2 เป็น *Candida tropicalis* แต่จากการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีการใช้น้ำตาล พบว่า เชื้อ CD1 ไม่สามารถใช้น้ำตาลซูโครสได้แต่เชื้อ CD2 สามารถใช้น้ำตาลซูโครสได้ และผลิตเอทานอลได้ปริมาณที่แตกต่างกัน ยีสต์ *Candida tropicalis* ทั้ง 2 อาจแตกต่างกันจึงตั้งชื่อแตกต่างกันคือสายพันธุ์ *Candida tropicalis* UDRU1 และ *Candida tropicalis* UDRU2 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของอัลซริดา อัครจริญา และสมบุญ ธนาศุภวัฒน์ [10] แยกเชื้อยีสต์ที่สามารถหมักน้ำตาลไซโลสเป็นเอทานอลจากมูลสัตว์กินพืช พบว่ายีสต์ที่คัดแยกได้ที่สามารถผลิตเอทานอลจากไซโลสได้ คือเชื้อ *Candida tropicalis* และศึกษาการคัดแยกยีสต์เพื่อผลิตเอทานอลที่อุณหภูมิสูง โดยคัดแยกยีสต์จากผลไม้สุก และยีสต์ที่สามารถผลิตเอทานอลที่อุณหภูมิสูงที่ 40°C คือเชื้อ *Candida tropicalis* เช่นเดียวกัน [11]

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการคัดแยกยีสต์ที่ร้อนจากตัวอย่างขานอ้อยดิน ช้างข้าวโพดและมูลโค เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล การคัดแยกยีสต์โดยวิธีการสเปรดเพลตและสตรีคเพลต (Pour plate



and Streak plate technique) ในอาหารยีสต์มอลต์เอ็กแทรกซ์ (Yeast malt extract medium) บ่มที่อุณหภูมิ 40°C ได้เชื้อทั้งหมด 37 ไอโซเลต และทดสอบคุณสมบัติการใช้ น้ำตาลเพนโตส พบว่ามี 2 ไอโซเลต คือ CD1 และ CD2 ที่สามารถใช้ น้ำตาลไซโลสและน้ำตาล อะราบีโนสได้ ความสามารถทนความร้อนที่อุณหภูมิ 40 และ 45°C และความสามารถในการผลิตเอทานอล พบว่า เชื้อ CD1 และ CD2 มีอัตราการเจริญสูงสุดในน้ำตาลอะราบีโนสและน้ำตาลไซโลส ในช่วงเวลาที่ 24 โดยวัดค่าดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 1.96 1.87 และ 19.97 1.95 ตามลำดับ และเชื้อ CD1 และ CD2 สามารถผลิตเอทานอลจากน้ำตาลไซโลสและน้ำตาลอะราบีโนส ได้ 1.94 g/L 1.497 g/L และ 1.582 g/L 1.288 g/L ตามลำดับ เมื่อนำเชื้อ CD1 และ CD2 จัดจำแนกชนิดของยีสต์ระดับโมเลกุลโดยหาลำดับเบส D1/D2 ของ 26S ribosomal RNA พบว่า ทั้งสองเป็นยีสต์ชนิด *Candida tropicalis* แต่จากผลการศึกษายีสต์มีความแตกต่างกันในการผลิตเอทานอลและการใช้น้ำตาล ผู้วิจัยจึงตั้งชื่อยีสต์ CD1 เป็นเชื้อยีสต์ *Candida tropicalis* UDRU1 และ CD2 เป็นเชื้อยีสต์ *Candida tropicalis* UDRU2 จากงานวิจัยครั้งนี้สามารถนำเชื้อยีสต์ที่ได้ไปผลิตเอทานอลจากเศษวัสดุทางเกษตรกรรมที่มีไซโลสเป็นองค์ประกอบได้ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินไปด้วยความเรียบร้อยและประสบความสำเร็จได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายฝ่าย ผู้จัดทำโครงการวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่อนุมัติทุนในโครงการวิจัยในครั้งนี้เป็นจำนวนเงิน 100,000 บาทถ้วน และศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค) หน่วยวิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ศูนย์เครื่องมือกลางมหาวิทยาลัยขอนแก่นมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ดร.สรฉัตร เทียมดาว ดร.ปรีญา แก้วนารี อาจารย์สุนันท์ นวลเพ็ง เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาชีววิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือการวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้ นางสาวเบญจพร เนตรโทสงค์ นางสาวภาลิดา เหลลาเก็มทุ่ง นักศึกษาสาขาวิชาชีววิทยา ที่ช่วยเหลือในการทำวิจัยในครั้งนี้สำเร็จไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2560). *สถานการณ์พลังงานไทยปี 2550-2560*, [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://www.eppo.go.th/index.php/>

th/petroleum/item/12235 Stimulation 2559-2560-01. เข้าดูเมื่อวันที่ 22/05/2560.

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2549). การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า. *สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, ตุลาคม 2549, หน้า 1-5.

[3] Gong, C. S., Cao, N. J., Du, J., and Tsao, G.T. (1999). Ethanol production from renewable resources. *Advance in Biochemistry Engineering/Biotechnology*, Vol. 65, pp. 207-241.

[4] Kiran Sree, N., M. Sridhar, L. Venkateswar Rao and A. Pandey. (1999). Ethanol Production In Solid Substrate Fermentation Using Thermotolerant Yeast. *Process Biochemistry*, Vol. 34, pp. 115-119.

[5] Thomas, W. J., and Yongsu, J. (2000). Ethanol and thermo tolerance in the bioconversion of xylose by yeasts. *Advance in Applied Microbiology*, Vol. 47, pp. 221.

[6] Laplace, J. M., Delgenes, J. P., Moletta, R., and Navarro, J. M. (1993). Cofermentation of glucose and xylose to ethanol by a respiratory deficient mutant of *Saccharomyces cerevisiae* cultivated with a xylose fermenting yeast. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, Vol. 75, pp. 207.

[7] ปรีญา แก้วนารี. (2556). เครื่องมือวิเคราะห์ทางเทคโนโลยีชีวภาพ. *เอกสารประกอบการสอน สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*

[8] Kurtzman CP and Robnett CJ. (1998). Identification and phylogeny of ascomycetous yeasts from analysis of nuclear large subunit (26S) ribosomal DNA partial sequences. *Antonie van Leeuwenhoek*, Vol. 73(4), May 1998, pp. 331-371.

[9] อภิขญา จันทรมันน์ สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล และกิติพงษ์ รัตนภรณ์. (ม.ป.ป.). *การหมักเอทานอลด้วยยีสต์ Saccharomyces cerevisiae Sc90 และการหมักด้วยจุลินทรีย์ 2 สายพันธุ์ร่วมกันในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว YPD ที่มีกลูโคสและไซโลส*, [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา



http://www.annualconference.ku.ac.th/cd53/09_038_P228.pdf. เข้าดูเมื่อวันที่ 27/10/2560.

[10] อัญชริดา อัครจรัสญา และสมบุญ ธนาศุภวัฒน์. (2552). การคัดกรองเชื้อราเซลล์เดี่ยวซึ่งสามารถหมักเอทานอลจากทั้งน้ำตาลกลูโคสและไซโลส, [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/23032>. เข้าดูเมื่อวันที่ 3/06/2558.

[11] Dung, Ngo Thi Phuong, Pomthap Thanonkeo and Huynh Xuan Phong. (2012). Screening Useful Isolated Yeasts for Ethanol Fermentation at High Temperature. *International Journal of Applied Science and Technology*, Vol. 2(4), pp. 65-74.



ผลกระทบของชนิดเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษจากเตาแก๊สชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น The Effects of Fuel Type on Performance and Emission of Up-Draft Gasifier Stove

จิณณพงค์ จิตตาคม¹ ณัฐพล แสงทอง¹ จักรารุช เมตตา¹ ณัฐนนท์ วิมลสุต¹ ศักดิ์ชาย เพ็ชรตรา² สุรัชชัย ณัฐจิรันทร³
และ สมมาส แก้วล้วน^{1,*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก 26120

² ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ชัยภูมิ 36000

³ สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180

* Corresponding author: Tel.: 089-7659091. E-mail address: sommas@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของชนิดเชื้อเพลิงและสภาวะการควบคุมอากาศเข้าห้องปฏิกริยาผลิตก๊าซต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษจากเตาชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งมีการใช้เชื้อเพลิงทดสอบ 3 ชนิด ซึ่งประกอบด้วย กิ่งไม้ยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว และชีวมวลอัดเม็ด และมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศป้อนจำนวน 3 ค่า เตาชีวมวลที่ใช้ในการทดสอบสร้างจากท่อสแตนเลสทรงกระบอกเบอร์ 10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ยาว 50 เซนติเมตร บริเวณฐานเตามีวาล์วควบคุมการป้อนอากาศป้อนเข้าสู่ห้องปฏิกริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ บริเวณเหนือห้องปฏิกริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีช่องป้อนเชื้อเพลิงแข็งเข้าสู่ห้องปฏิกริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง บริเวณโดยรอบห้องปฏิกริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงถูกหุ้มด้วยฉนวนเซรามิกหนา 2 นิ้วเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกจากห้องปฏิกริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิง เหนือช่องเติมเชื้อเพลิงมีการเจาะผนังโดยรอบท่อทรงกระบอกเพื่อเป็นช่องเติมอากาศทุติยภูมิแบบธรรมชาติเข้าสู่ห้องเผาแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์เพื่อให้เกิดเปลวไฟและความร้อน โดยวัดแก๊สมลพิษด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส Testo 350 xl และทดสอบสมรรถนะของเตาชีวมวลด้วยวิธีการต้มน้ำ (Water Boiling Test) ผลการทดสอบพบว่าเตาชีวมวลมีสมรรถนะในการต้มระเหยน้ำร้อยละ 30 ที่ตำแหน่งป้อนอากาศป้อนน้อย และความร้อนในการต้มระเหยน้ำสูงสุด 3.67 kW ที่ตำแหน่งป้อนอากาศป้อนปานกลาง นอกจากนี้พบว่ามีเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจะมีค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำสุดประมาณ 75 ppm ที่ตำแหน่งป้อนอากาศป้อนปานกลาง

คำหลัก: ชีวมวล เตาชีวมวล แก๊สซิไฟเออร์

Abstract

The evaluation of fuel type and air control conditions effecting on the gasification reactor performance and the updraft biomass gasifier emission was investigated. Eucalyptus branch, coconut shell and wood pellet were raw materials for testing the conditions under three primary airflow conditions. The biomass gasifier stove was fabricated from a No. 10 stainless steel tube 6-inch in diameter and 50-centimeter in length. The base of stove was equipped with a valve for controlling the primary air to the production gas chamber. A hopper for fuel feeding was set above the reaction chamber. The fuel reaction chamber was prevented heat loss from the fuel gas reaction chamber by covering with 2-inch thick ceramic insulation. The upper of cylinder fuel tube was drilled for adding a secondary air into the combustion chamber which was mixed with the synthetic gas to generate flame and heat. Flue gas was measured by the Testo 350 xl gas analyzer and the performance of biomass gasifier stove was tested by water boiling test. Results indicated that the biomass gasifier stove had 30% of water evaporation capacity with the minimum primary air and the maximum boiler heat at the medium primary air flow was 3.67 kW. Moreover, at medium primary air flow, wood pellet was generated 75 ppm of carbon monoxide which was the lower than other materials.

Keywords: Biomass, Biomass stove, Gasifier



1. บทนำ

เชื้อเพลิงเป็นแหล่งพลังงานที่มีความสำคัญและมีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์นับแต่อดีตจนถึงปัจจุบันและต่อไปในอนาคต ประชากรโลกมีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้การใช้พลังงานมีอัตราสูงขึ้นตามไปด้วย หากแนวโน้มการใช้พลังงานของมนุษย์ยังมีอัตราเพิ่มขึ้น ด้วยปริมาณสำรองแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลของโลกที่เหลืออยู่อย่างจำกัด (น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ และถ่านหิน) คาดว่าอนาคตแหล่งเชื้อเพลิงเหล่านี้อาจขาดแคลน ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของราคาเชื้อเพลิง นอกจากนั้นการผลิตการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลยังก่อให้เกิดมลพิษและปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ของโรงงานอุตสาหกรรมและการคมนาคมขนส่งก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) และก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ตามมาซึ่งภัยพิบัติตามธรรมชาติที่รุนแรงขึ้น จากปัญหาที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลดังกล่าว ทำให้ทุกภาคส่วนของประเทศไทยให้ความสนใจและตระหนักถึงความสำคัญและผลกระทบจากการใช้พลังงานมากขึ้น รัฐบาลจึงได้กำหนดยุทธศาสตร์พลังงานทดแทนหรือพลังงานหมุนเวียนของประเทศไทย โดยธรรมาภิบาลให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้น เช่น พลังงานชีวมวล พลังงานน้ำ พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ [1] แก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas: LPG) จัดได้ว่าเป็นพลังงานสำคัญที่นำมาใช้ในกิจกรรมของครัวเรือนของประเทศที่กำลังพัฒนา เนื่องจากใช้งานได้สะดวกสบาย ทำให้เป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางจึงส่งผลให้มีการใช้งานเพิ่มขึ้น [2-3] เช่น ประเทศไทยมีการใช้แก๊สหุงต้มในครัวเรือนปริมาณมากถึง 54% ของปริมาณการใช้แก๊ส LPG ทั้งประเทศ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี [4] การเพิ่มราคาของน้ำมันดิบในตลาดโลกอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ราคาแก๊ส LPG เพิ่มขึ้นตามไปด้วย [3] ดังนั้นเพื่อลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการใช้แก๊ส LPG ให้กับครัวเรือน จึงมีการหาวิธีการเพื่อให้สามารถใช้แก๊ส LPG อย่างประหยัด และมีประสิทธิภาพสูงสุด อ้อพล และคณะ [4] ได้พัฒนาระบบเตาแก๊สหุงต้มให้หัวเตาแก๊สมีส่วนอุ่นอากาศก่อนส่งอากาศไปเผาไหม้กับแก๊ส LPG พบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดของหัวเตาในลักษณะนี้จะมีค่าอยู่ที่ 50% ซึ่งมีมากกว่าหัวเตาแก๊สทั่วไปอยู่ประมาณ 4% และระยะเวลาที่ใช้ต้มน้ำมีค่าน้อยกว่าประมาณ 2 นาที แต่เนื่องด้วยการเพิ่มราคาของแก๊ส LPG ในอัตรารวดเร็ว แม้ว่าจะมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของหัวเตาแก๊สแล้วก็ตาม แต่คาดว่า

ว่าประชาชนไม่สามารถรับภาระค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับแก๊สหุงต้มในครัวเรือนได้ ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเตาชีวมวลสำหรับใช้ให้ความร้อนเพื่อปรุงอาหารในครัวเรือนโดยใช้วัสดุเชื้อเพลิงทางเลือกที่สามารถทดแทนแก๊ส LPG ซึ่งเป็นวัสดุเชื้อเพลิงทั้งทางการเกษตรหรืออุตสาหกรรมเกษตร เช่น กิ่งไม้ เศษไม้ กะลามะพร้าว วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการเพาะเห็ด ขานอ้อย ถ่านไม้ ไม้พิน เหง้ามันสำปะหลัง และกะลามะพร้าว เป็นต้น เป็นวัสดุทางเลือกที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงวัตถุดิบในการผลิตพลังงานสะอาดอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีปริมาณกำมะถันต่ำ ราคาต่อหน่วยความร้อนที่เท่ากันถูกกว่าพลังงานเชิงพาณิชย์ สามารถจัดหาได้ง่ายในประเทศ และไม่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก แม้พลังงานที่เกิดจากชีวมวลเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ถ้าใช้เทคโนโลยีที่ไม่เหมาะสม พลังงานที่เกิดจากชีวมวลอาจให้ค่าพลังงานความร้อนที่ต่ำและเกิดแก๊สพิษที่ทำลายสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นจึงมุ่งสร้างเตาชีวมวลประสิทธิภาพสูงซึ่งเป็นเทคโนโลยีสะอาดมาใช้ในการผลิตพลังงานเพื่อใช้ประกอบอาหารทดแทนแก๊ส LPG ซึ่งเทคโนโลยีนี้สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มาก

2. วัสดุและอุปกรณ์

2.1 เตาชีวมวล

เตาชีวมวลดังแสดงในรูปที่ 1 ได้รับการพัฒนาขึ้นให้เป็นเตาที่มีผนัง 2 ชั้น (ห้องปฏิกริยา และช่องอุ่นอากาศ) มีห้องเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง ช่องซึ่ไถ่อก และช่องสำหรับใส่ชีวมวล มีการเพิ่มวาล์วควบคุมการป้อนอากาศส่วนที่ 1 เพื่อสามารถควบคุมปฏิกริยาการสันดาปให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยไม่อาศัยพัดลมเป่าอากาศ โดยวาล์วนี้เป็นวาล์วที่ควบคุมการป้อนอากาศส่วนที่ 1 เข้าสู่ห้องห้องปฏิกริยา โดยสามารถหมุนเปิดได้ในแนวแกนสามารถเร่งหรือความร้อนได้ในช่วง 3 - 4 kW และมีช่องที่ใช้สำหรับเติมเชื้อเพลิงบริเวณด้านหน้าเตาสามารถเติมเชื้อเพลิงได้ง่ายและสามารถดูปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือในเตาได้ด้วย

เตาชีวมวลรุ่น BGS 4 kW ถูกออกแบบมาเป็นเตาความร้อนเพื่อใช้ทดแทนเตาไม้พิน เต่าถ่าน และเตาแก๊สหุงต้ม โดยเตารุ่นนี้สามารถรองรับเชื้อเพลิงได้หลายประเภท เช่น กิ่งไม้ กะลามะพร้าว ชังข้าวโพด ข้าวมันสำปะหลัง และเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด เตาชีวมวลรุ่นนี้ผลิตจากวัสดุ สแตนเลส เกรด 304 สามารถเร่งหรือความร้อนได้ในช่วง 3 - 4 kW ขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งานโดยการปรับคันโยกใต้ช่องเติมเชื้อเพลิง



นอกจากนี้ยังมีช่องเติมเชื้อเพลิงบริเวณด้านหน้าเตาทำให้ผู้ใช้สามารถเติมเชื้อเพลิงได้ง่ายและสามารถดูปริมาณเชื้อเพลิงคงเหลือในเตาได้ง่ายเช่นกัน เตาชีวมวลรุ่นนี้ออกแบบให้สามารถใช้งานได้กับภาชนะปรุงอาหารได้เกือบทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็น หม้อ กระทะ ซึ่งนี้เอง อย่างไรก็ตามพบว่าก้นภาชนะหลังใช้งานจะดำกว่าการใช้เตาแก๊สหุงต้มแต่ดำน้อยกว่าเตาไม้ฟืน

2.2 เชื้อเพลิงสำหรับทดสอบ

การทดสอบสมรรถนะและมลพิษของเตาชีวมวลใช้เชื้อเพลิงทดสอบจำนวน 3 ชนิด ประกอบด้วย กิ่งไม้ยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว และ ชีวมวลอัดเม็ด โดยกิ่งไม้และกะลามะพร้าวจะถูกลดขนาดให้สามารถป้อนเข้าสู่ช่องเติมเชื้อเพลิงของเตาชีวมวลได้โดยมีขนาดหน้าตัดไม่เกิน 6.5 cm x 6.5 cm และ ยาวไม่เกิน 7.5 cm เชื้อเพลิงทุกชนิดมีสภาพแห้งโดยมีความชื้นมาตรฐานเปียกน้อยกว่า 15% เชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบสมบัติทางเคมีดังนี้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิง

องค์ประกอบ	กิ่งไม้ยูคาลิปตัส	กะลามะพร้าว	ชีวมวลอัดเม็ด
คาร์บอน: $x_{C,db}$	0.4730	0.5202	0.4708
ไฮโดรเจน: $x_{H,db}$	0.0620	0.0566	0.0594
ออกซิเจน: $x_{O,db}$	0.4530	0.3828	0.4057
ไนโตรเจน: $x_{N,db}$	0.0012	0.0020	0.0051
ซัลเฟอร์ : $x_{S,db}$	0.0003	0.0003	0.0013
เถ้า: $x_{A,db}$	0.0105	0.0381	0.0577
ความชื้น: $x_{M,ar}$ [12]	0.1145	0.1470	0.0932
อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี: AFR_T	4.96	5.33	5.16
ค่าความร้อนทางสูงของเชื้อเพลิง: HHV_{db} (MJ/kg)	19.11	20.79	19.12
ค่าความร้อนทางต่ำของเชื้อเพลิง: LHV_{ar} (MJ/kg)	15.43	16.31	15.93
ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m^3)	150	200	570

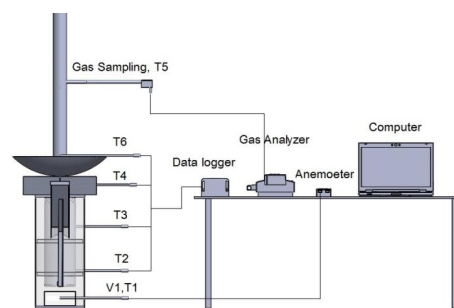
ค่าความร้อนทางสูง (Higher Heating Value: HHV) สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 1 ซึ่งเป็นสมการการทดลองของ Channiwala and Parikh [5] ในขณะที่ค่าความร้อนทางต่ำ (Lower Heating Value: LHV) สามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$HHV_{db} = 34.91x_{C,db} + 117.83x_{H,db} - 10.34x_{O,db} - 1.51x_{N,db} + 10.05x_{S,db} - 2.11x_{A,db} \quad (1)$$

$$LHV_{ar} = HHV_{db}(1 - x_{M,ar}) - 2.447 * 9.01 * x_{H,db}(1 - x_{M,ar}) - 2.447 * x_{M,ar} \quad (2)$$

3. วิธีการทดสอบสมรรถนะของเตาชีวมวล

เตาชีวมวลที่มีการออกแบบและสร้างจำนวน 3 เตา ได้รับการทดสอบด้วยมาตรฐานการทดสอบแบบ Water Boiling Test (WBT) [6-8] (รูปที่ 2) โดยใช้เชื้อเพลิงจำนวน 3 ชนิด ได้แก่ กิ่งไม้ยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว และชีวมวลอัดเม็ด (รูปที่ 3) เพื่อหาค่าประสิทธิภาพเตาที่สภาวะการทำงานของเตา 3 สภาวะ การทดสอบมีการปรับวาล์วสำหรับป้อนอากาศปฐมภูมิที่ตำแหน่ง 0, 18 และ 36° (รูปที่ 4) และมีการปรับอัตราการป้อนอากาศปฐมภูมิเข้าห้องปฏิกิริยาผลิตแก๊สที่อัตราการป้อนอากาศน้อย ปานกลาง และ สูง ตามลำดับ



รูปที่ 1 องค์ประกอบเตาชีวมวล และการตรวจวัดอุณหภูมิและมลพิษจากเตาชีวมวล



รูปที่ 2 การทดสอบต้มระเหยน้ำ

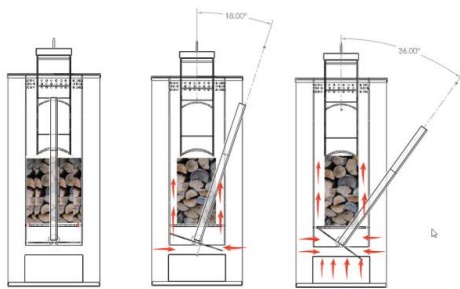
การทดสอบจะดำเนินการตั้งแต่การจุดเตาชีวมวล จนกระทั่งแก๊สที่ผลิตจากห้องปฏิกิริยาผลิตแก๊สรวมตัวกับอากาศทุติยภูมิ และสามารถติดไฟได้ดี (รูปที่ 3) จากนั้นนำกระทะเบอร์ 26 ที่บรรจุน้ำจำนวน 10 kg วางบนเตาชีวมวล



ทำการวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ Datalogger D505 (รูปที่ 1) ในขณะที่ทำการทดลองจะมีการเติมเชื้อเพลิงทุกๆ 5 min เพื่อให้ระดับเชื้อเพลิงในเตาชีวมวลสูงถึงจุดกำหนดประมาณ 18 cm จากตะแกรงเตา การทดลองแต่ละรอบจะใช้เวลา 100 min จึงหยุดทดลอง และชั่งน้ำหนักของน้ำที่เหลือจากการทดลอง



รูปที่ 3 เชื้อเพลิงและการเผาไหม้



รูปที่ 4 การปรับวาล์วสำหรับป้อนอากาศปฐุมภูมิที่ตำแหน่ง 0, 18 และ 36°

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการทดลองต้มระเหยน้ำจำนวน 10 L ในเวลา 100 min ด้วยเตาชีวมวลรุ่น BGS-4 ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง เมื่อควบคุมตำแหน่งการเปิดวาล์วป้อนอากาศปฐุมภูมิเข้าสู่ห้องปฏิกิริยาเพื่อผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจำนวน 3 ระดับคือ ป้อนอากาศปฐุมภูมิระดับน้อย ระดับปานกลาง และระดับสูง ในขณะที่การป้อนอากาศทุติยภูมิเข้าสู่ห้องเผาแก๊สเป็นไปอย่างอิสระ ผลการทดลองพบว่า การป้อนอากาศปฐุมภูมิเข้าสู่ห้องปฏิกิริยาผลิตแก๊สเชื้อเพลิงระดับน้อยส่งผลให้น้ำในภาชนะจำนวน 10 L เดือดในเวลา 26.75 min และระยะเวลาที่น้ำเริ่มเดือดลดลงเป็น 16.85 และ 15.53 min เมื่อปรับวาล์วควบคุมการป้อนอากาศปฐุมภูมิระดับปานกลาง และระดับสูงตามลำดับ

อัตราการระเหยน้ำสูงสุดมีค่า 6.07 kg/h ที่สภาวะการป้อนอากาศปฐุมภูมิระดับปานกลาง และมีแนวโน้มลดลงเป็น 5.31 และ 5.61 kg/h เมื่อสภาวะการป้อนอากาศปฐุมภูมิที่ระดับน้อยและสูงตามลำดับ เตาชีวมวลมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่ 30.63% ที่สภาวะการป้อนอากาศปฐุมภูมิระดับน้อยสุด และค่าประสิทธิภาพของระบบมีแนวโน้มลดลงเป็น 24.14% และ 18.96% ตามสภาวะการป้อนอากาศปฐุมภูมิระดับปานกลาง และสูงตามลำดับ

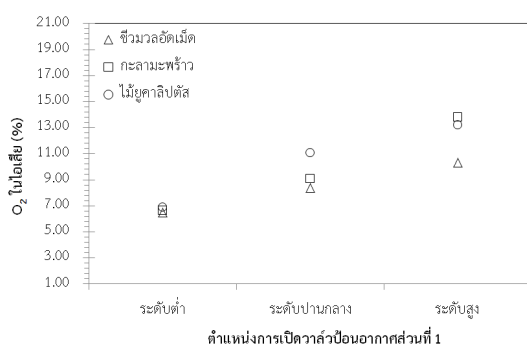
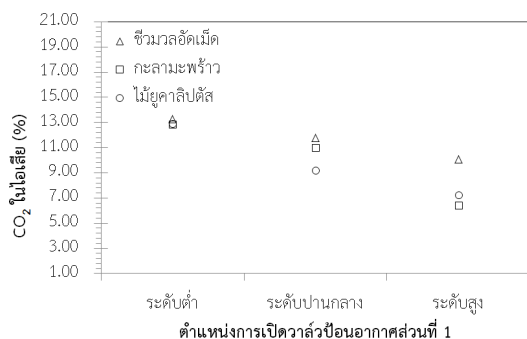
ผลจากการตรวจวัดมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากเตาชีวมวลเมื่อควบคุมตำแหน่งการเปิดวาล์วป้อนอากาศปฐุมภูมิเข้าสู่ห้องปฏิกิริยาเพื่อผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจำนวน 3 ระดับ คือ ป้อนอากาศปฐุมภูมิระดับน้อย ระดับปานกลาง และระดับสูง ในขณะที่การป้อนอากาศทุติยภูมิเข้าสู่ห้องเผาแก๊สเป็นไปอย่างอิสระโดยในการทดลองได้ใช้เชื้อเพลิงแตกต่างกัน 3 ชนิดประกอบด้วย ไม้ยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว และชีวมวลอัดเม็ด พบว่า ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน (Excess O₂) ในไอเสียมีค่าต่ำสุดที่ 6.51% ที่ตำแหน่งการเปิดวาล์วป้อนอากาศปฐุมภูมิระดับน้อยสุด และมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 8.40% และ 10.33%

ตารางที่ 2 ผลการทดลองต้มระเหยน้ำที่สภาวะการป้อนอากาศส่วนที่ 1 แตงต่างกัน

รายละเอียดการทดสอบ	การทดลองที่		
	1	2	3
เชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับทดสอบ	ไม้	ไม้	ไม้
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	15.43	15.43	15.43
ทางค่า: LHV: MJ/kg			
ปริมาณการป้อนอากาศส่วนที่ 1	น้อย	ปานกลาง	มาก
ปริมาณการป้อนอากาศส่วนที่ 2	ไม่ควบคุม	ไม่ควบคุม	ไม่ควบคุม
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง: kg	3.37	5.88	7.11
เวลาในการทำให้น้ำเดือด: M:S	26:45	16:51	15:32
เวลาในการทดสอบ: S	100	100	100
ปริมาณน้ำในกระที่สถานะเริ่มต้น: kg	10	10	10
ปริมาณน้ำในกระที่สถานะเริ่มสุดท้ายต้น: kg	3.49	1.55	2.08

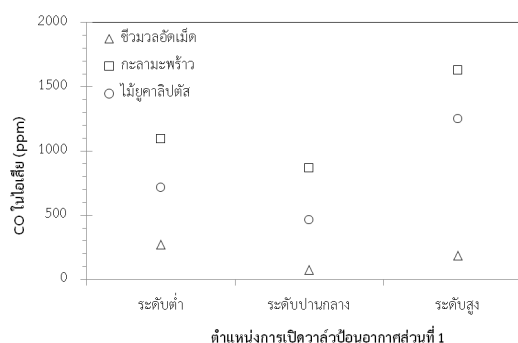


รายละเอียดการทดสอบ	การทดลองที่		
	1	2	3
ปริมาณน้ำที่ระเหยเป็นไอ: kg	6.51	8.45	7.92
อัตราการระเหยน้ำ: kg/h	5.33	6.10	5.63
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง: kg/h	2.24	3.53	4.27
พลังงานที่ป้อนเข้าเตาชีว มวล: kW	9.6	15.12	18.30
พลังงานที่ใช้ในการต้มระเหย น้ำ: kW	2.94	3.67	3.47
ประสิทธิภาพการต้มน้ำ: %	30.63	24.14	18.96

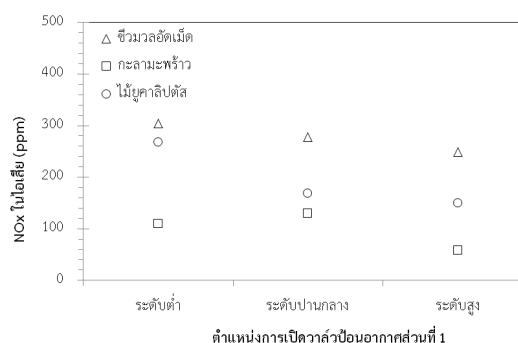
รูปที่ 5 ปริมาณ O₂ ในไอเสียจากเตาชีวมวลรูปที่ 6 ปริมาณ CO₂ ในไอเสียจากเตาชีวมวล

เมื่อปรับตำแหน่งการเปิดวาล์วป้อนอากาศปฐุมภูมิที่ระดับปานกลางและระดับสูงตามลำดับ พบว่า องค์ประกอบของคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณออกซิเจนส่วนเกินที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาแก๊สผสมพิษที่เกิดจากเตาชีวมวล

พบว่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่า 75-271 ppm และไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 249-305 ppm



รูปที่ 7 ปริมาณ CO จากเตาชีวมวล

รูปที่ 8 ปริมาณ NO_x จากเตาชีวมวล

5. สรุปผลการวิจัย

เตาชีวมวลรุ่น BSG-4 ที่ได้รับการทดสอบด้วยวิธีการทดลองต้มระเหยน้ำจำนวน 10 L ในเวลา 100 min เมื่อเปิดวาล์วควบคุมอากาศปฐุมภูมิระดับน้อย และใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง มีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดของเตาชีวมวลเท่ากับ 30.63% ใช้เวลาในการต้มน้ำให้เดือด 26.75 min และมีอัตราการระเหยน้ำที่ 5.33 kg/h และอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ 2.24 kg/h ในขณะที่อัตราการระเหยน้ำสูงสุดมีค่า 6.10 kg/h เมื่อเปิดวาล์วควบคุมอากาศปฐุมภูมิระดับปานกลาง ที่สภาวะดังกล่าวสามารถทำให้น้ำเดือดเร็วขึ้นโดยใช้เวลาในการต้มน้ำให้เดือดเพียง 16.85 min แม้มีการเปิดวาล์วควบคุมอากาศปฐุมภูมิมากที่สุดก็ไม่สามารถทำให้เวลาในการต้มน้ำให้เดือดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากขึ้นและประสิทธิภาพต่ำลงด้วย



เมื่อพิจารณาการเผาไหม้และการปลดปล่อยแก๊สมลพิษจากเตาชีวมวล เมื่อใช้เชื้อเพลิงเป็น กิ่งไม้ยูคาลิปตัส กะลามะพร้าว และชีวมวลอัดเม็ด และมีการควบคุมปริมาณอากาศปฐมภูมิเข้าสู่ห้องปฏิกิริยาผลิตแก๊สเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตแก๊สด้วยการปรับวาล์วควบคุมอากาศปฐมภูมิที่ระดับน้อยปานกลาง และมาก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามปริมาณอากาศปฐมภูมิที่เพิ่มขึ้นและอัตราการระเหยน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาผลการเผาไหม้และการปลดปล่อยมลพิษ พบว่า เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดสามารถใช้งานได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับกิ่งไม้ยูคาลิปตัส และกะลามะพร้าว โดยมีค่าก๊าซออกซิเจนส่วนเกินในไอเสียในช่วง 6.51-10.33% และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าในช่วง 13.29-10.09% ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามปริมาณอากาศส่วนเกินที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่แก๊สมลพิษที่ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าอยู่ในช่วง 75-271 ppm และก๊าซไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 249-305 ppm ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานการปลดปล่อยมลพิษจากปล่องอุตสาหกรรม (ค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ไม่เกิน 690 ppm)

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนวิจัยจากเครือข่ายอุดมศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง (โครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560) ตามสัญญาสนับสนุนการวิจัยที่ สกอ.ร. 5/2560 เรื่องการลดปัญหามลพิษทางอากาศในการผลิตขมไทยด้วยเตาชีวมวล

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2558). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2579 (AEDP2015). www.dede.go.th/download/files/AEDP2015_Final_version.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 27/04/2560
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2559). สถานการณ์พลังงานไทย ปี 2559. www.eppo.go.th เข้าดูเมื่อ 20/09/2560
- [3] Panwar N.L. and Rathore N.S. (2008) Design and performance evaluation of a 5 kW producer gas

stove, Biomass and Bioenergy, Vol. 32, pp. 1349–1352.

[4] อ่ำพล พิชัยเชิด, วันชาติ ทรัพย์เฮง และ ชานนท์ ชื่นจิตร. (2552) การเพิ่มประสิทธิภาพหัวเผาแก๊สทุ้มโดยการนำเอาความร้อนที่กลับมาอุ่นอากาศ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23 จังหวัดเชียงใหม่.

[5] Channiwala SA and Parikh PP. (2002) A unified correlation for estimating higher heating value of solid, liquid and gaseous fuels. Fuel. Vol. 81, pp. 1051-1063.

[6] Dijan Supramono และ dan Farah Inayati. (2013). Performance of a Biomass-Gas Stove using Fuel of Rubber Wood Pellets. Proceeding of the 13th International Conference on QIR (Quality in Research) Yogyakarta, Indonesia.

[7] ธนชาติ มหาวิน และคณะ (2559). สมรรถนะเตาแก๊สชีวมวลไร้ควันเมื่อใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิง. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12. พิษณุโลก.

[8] สมมาส แก้วล้วน ดำรง คักดีจันโทลี, สุรัชย์ จันทร์ศรีและเวคิน ปิยรัตน์. (2558). การทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลขนาด 20kW. วิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. เล่มที่ 8(1), หน้า 24-33.



การศึกษาอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับเตาชีวมวลแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่อง
The study of suitability air fuel ratio for biomass stoves under continuous fuel feeding

พงศ์สถิตย์ ศรีภักดิ์^{1*} วิลาวัลย์ คุ้มเหม² จิราภรณ์ แก้วเดียว² มุสตาฟา ยะกา³ ศิริบุษ จินดารักษ์⁴ และณัฐวุฒิ ดุษฎี¹

¹ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ถนนเชียงใหม่-พร้าว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

² สาขาวิศวกรรมพลังงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 ถนนเชียงใหม่-พร้าว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

³ MUSTA ENGINEERING CO.,LTD 99/100 Saimai 22Rd.,Saimai Bangkok10220

⁴ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ 99 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

*ผู้ติดต่อ: Pongsatit.me09@gmail.com, 086-2727604, 053-875590

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาชีวมวลแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่อง ที่มีขนาดความสูง 70 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm และมีปริมาตรห้องเผาไหม้ 0.049 m³ (49 L) การเผาไหม้ใช้เทคนิคการจำกัดอากาศ (Gasification process) โดยเติมอากาศสำหรับการเผาไหม้ 2 จุด ด้วยพัดลมที่มีปริมาณลม 45.90 CFM เชื้อเพลิงป้อนเข้าสู่เตาชีวมวลด้วยสกรูเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 inch ทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธีการต้มน้ำ WBT (Water Boiling Test) โดยใช้อัตราการป้อนซึ่งข้าวโพดคังที่ 7 kg/hr ขนาดซึ่งข้าวโพดคังที่ 1, 1.5 และ 2 inch และปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 1.99, 3.31, 4.63 และ 5.95 kg-air/kg-fuel ผลการศึกษาพบว่า เตาชีวมวลแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่องมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุด 20 % ที่ขนาดซึ่งข้าวโพดคัง 1.5 inch และอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 3.31 kg-air/kg-fuel และอัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio) เท่ากับ 0.637 เตาชีวมวลแบบต่อเนื่องให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าการเผาไหม้ตรงและผลิตพลังงานความร้อนได้สูงสุดเฉลี่ย 5.54 kWe อุณหภูมิโซนเผาไหม้และโซนรีดักชันสูงสุดของเตาเฉลี่ยสูงสุด 858.5 °C และ 846.4 °C ตามลำดับและระยะเวลาต้มน้ำที่ดีที่สุด 15 min

คำหลัก: เตาชีวมวล ซึ่งข้าวโพดคัง ประสิทธิภาพความร้อน อัตราส่วนสมมูล

Abstract

This research aims to study the thermal efficiency of continuous fueled biomass stoves and that was 70 cm of height biomass stove, 40 cm of diameter and 0.049 m³ (49 L) of a volume of combustion chamber. The combustion process was operated on incomplete combustion (gasification process) and filled 2 points of the air for combustion with fan of 45.90 CFM. The biomass fed into stove with 5 inch diameter of screw conveyor and tested thermal efficiency with Water boiling test. The constant biomass consumption was adjusted at 7 kg/hr and 1,1.5 and 2 inch of corn cob was used. The air-fuel ratio was tuned of 1.99, 3.31, 4.63 and 5.95 kg-air/kg-fuel. The result was found that, the maximum thermal efficiency of continuous biomass stove was of 20 % at a 1.5 inch of corn cob, 3.31 of A/F ratio and 0.637 of an equivalence ratio highest. The continuous biomass stove was provided higher thermal efficiency than direct combustion and produce thermal energy an average of 5.54 kWe. The highest temperature in combustion and reduction zone was average of 858.5 °C and 846.4 °C respectively which the best during time to boil was obtained of 15 min.

Keywords: biomass stove, corn cob, thermal efficiency, equivalence ratio.



1. บทนำ

ในปัจจุบันแต่ละประเทศมีการพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ประกอบกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลก ทำให้มีการใช้พลังงานในด้านอุตสาหกรรม คมนาคม และการดำรงชีวิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสวนทางกับแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในปัจจุบันซึ่งมีปริมาณที่กำลังลดลงอย่างต่อเนื่อง หลายประเทศจึงให้ความสำคัญในการจัดหาแหล่งพลังงานแห่งใหม่เพื่อทดแทนพลังงานที่กำลังจะหมดไป โดยพลังงานชีวมวลนั้นถูกพิจารณาว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูง

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีวัสดุเหลือทิ้งจากเกษตรกรรม [1] จึงมีการเผาชีวมวลทิ้งเพื่อกำจัด หรือ ปรับพื้นที่ในการทำเกษตรครั้งใหม่ โดยในพื้นที่ภาคเหนือนั้นจะมีการทำไร่ข้าวโพดเป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่จะเผาปลุกบนที่ราบสูง หลังการเก็บเกี่ยวข้าวโพดแล้ว ลำต้นและใบของข้าวโพดจะถูกเผาทิ้งเพื่อเตรียมพื้นที่ในการเพาะปลูกครั้งต่อไป ซึ่งอาจจะทำให้ไฟลุกไหม้ไปในพื้นที่ป่าและเกิดไฟไหม้ป่าขึ้น จึงเป็นที่มาของปัญหาหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสามารถนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนมีหลายวิธี ได้แก่ การเผาไหม้โดยตรง (Direct combustion) และเทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification process)

อย่างไรก็ตามการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับเปลี่ยนรูปพลังงานเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่จะต้องดำเนินการควบคู่กันไปกับ การหาแหล่งพลังงานทดแทน การเผาไหม้ตรง (Direct combustion) เป็นกระบวนการแปรรูปพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ากระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน [2] โดยเฉพาะเทคโนโลยีเตาเผาไหม้แบบฟลูอิดไชเบต ซึ่งได้รับการยอมรับกันโดยทั่วไปว่ามีประสิทธิภาพดีและปลดปล่อยมลพิษน้อย เมื่อเทียบกับเตาเผาไหม้รูปแบบอื่นๆ [2-3] ซึ่งทางผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเตาชีวมวลในรูปแบบต่างๆ ดังนี้

วรารณ (2557) การผลิตโปรตีนเซอร์แก๊สจากเตาแบบ Inverted Downdraft โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง สามารถผลิตโปรตีนเซอร์แก๊ส ลักษณะห้องเผาไหม้เป็นทรงกระบอกเพื่อการวางหัวเตาที่เหมือนกับหัวเตาแก๊สหุงต้ม LPG บรรจุเชื้อเพลิงแกลบได้ประมาณ 1.3 kg เป่าอากาศเข้าห้องเผาไหม้ด้วยพัดลมจากด้านล่าง จุดติดเชื้อเพลิงจากด้านบน จากการศึกษาพบว่าโปรตีนเซอร์แก๊สที่ผลิตได้จากเตาแบบ Inverted Downdraft ให้อุณหภูมิสูง มีเปลวไฟที่ใกล้เคียงแก๊สหุงต้ม LPG การเผาไหม้ขึ้นอยู่กับความเร็วลมพัดลมของเตา มีการปรับความเร็วลม 4 ระดับ มีค่าความเร็วลมเฉลี่ย

ตามลำดับคือ 4.89, 7.41, 9.41 และ 10.21 m/s น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 60, 97, 97 และ 97 °C ใช้ระยะเวลาประมาณ 60, 14, 12 และ 8 min

นิกราน และคณะ (2560) ศึกษาสมรรถนะของเตาแก๊สชีวมวลแบบป้อนต่อเนื่อง และป้อนเป็นช่วง โดยใช้เชื้อเพลิงแกลบ เศษไม้และซังข้าวโพด ซึ่งทำการทดสอบที่อัตราการป้อนอากาศในช่วง 28-40 m³/h พบว่าการเตาแก๊สชีวมวลแบบป้อนเป็นช่วงมีสมรรถนะที่สูงกว่าเตาแก๊สชีวมวลแบบป้อนต่อเนื่อง โดยที่อัตราการป้อนอากาศ 40 m³/h มีความเหมาะสมสำหรับเตาแก๊สชีวมวลทั้ง 2 แบบ ซึ่งแกลบสามารถให้สมรรถนะสูงสุดโดยเตาแก๊สชีวมวลแบบป้อนเป็นช่วงให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงสุด 19% ซึ่งมีประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าเตาแก๊สชีวมวลแบบป้อนต่อเนื่องเฉลี่ย 50% และเตาแก๊สชีวมวลแบบป้อนเป็นช่วงมีต้นทุนการผลิตความร้อนอยู่ระหว่าง 820-2,372 บาท/ปี ซึ่งต่ำกว่าเตาแก๊สชีวมวลแบบป้อนต่อเนื่อง 50-70% และต่ำกว่าแก๊สหุงต้ม 7-20 เท่า เตาแก๊สชีวมวลแบบป้อนเป็นช่วงมีระยะเวลาคืนทุน 5-7 เดือน

ภาณุพงษ์ (2557) การออกแบบและทดสอบเตาผลิตก๊าซชีวมวลชนิดไหลลง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างเตาผลิตก๊าซชีวมวลชนิดไหลลง ได้ออกแบบและสร้างเตาจากถังเก่าขนาดความจุ 200 l ซึ่งเตาผลิตก๊าซชีวมวลที่ถูกสร้างขึ้นสามารถจุเชื้อเพลิงได้ประมาณ 0.11 m³ โดยใช้ไม้ฉำฉาเป็นเชื้อเพลิงและปรับอัตราการไหลของอากาศ 5 ค่า ในช่วงระหว่าง 16x10³ ถึง 47x10³ m³/s พบว่าที่อัตราการไหลของอากาศประมาณ 47x10³ m³/s ให้ค่าประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซชีวมวลที่ดีที่สุด ประมาณร้อยละ 2.24 และค่าปริมาณความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง (ΔQ) มีค่าสูงสุดประมาณ 6,220 kJ

จากการศึกษาทางวิจัยพบว่า เตาชีวมวลแบบเผาไหม้โดยตรงให้ประสิทธิภาพความร้อนที่สูงและสะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งมีความเหมาะสมกับการใช้ในภาคชุมชนขนาดเล็กและภาคครัวเรือน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการพัฒนาเตาชีวมวลทรงกระบอกแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่อง เพื่อให้มีการใช้งานที่สะดวกมากยิ่งขึ้น และศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาชีวมวลทรงกระบอกแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่องโดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้

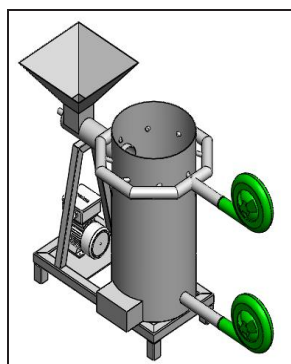
2. วิธีการวิจัย

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

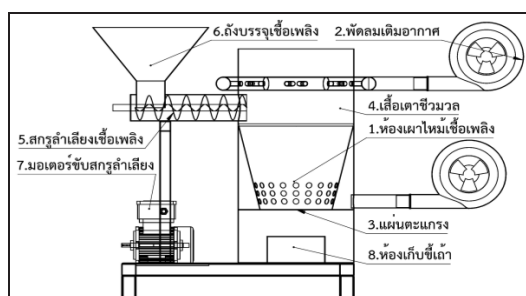
เตาชีวมวลที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นเตารูปทรงกระบอกขนาดความสูง 70 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 40 cm



โดยมีการเติมเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่องด้วยสกรูลำเลียงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 inch และมีการเติมอากาศสำหรับการเผาไหม้ 2 จุด ด้วยพัดลมที่มีปริมาณลม 45.90 CFM ดังแสดงในรูปที่ 1



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 (ก) เตาชีวมวลป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่อง
(ข) ส่วนประกอบของเตาชีวมวลป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่อง

ซึ่งเตาชีวมวลมีส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ 2 การดำเนินการทดสอบเตาชีวมวลต้องใช้เครื่องมือวัด เพื่อจะนำค่าของตัวแปรต่างมาวิเคราะห์และคำนวณต่อไป ซึ่งใช้เครื่องมือดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เครื่องมือวัด

รายการ	ยี่ห้อ	รุ่น
1. เครื่องวัดความเร็วลม	CEM	DT 620
2. ตาชั่งดิจิตอล	DIGI	DS- 671
3. นาฬิกาจับเวลา	FBT	NO.JS-307
5. เครื่องบันทึกอุณหภูมิ	YOKOKAWA	FX112-1-2

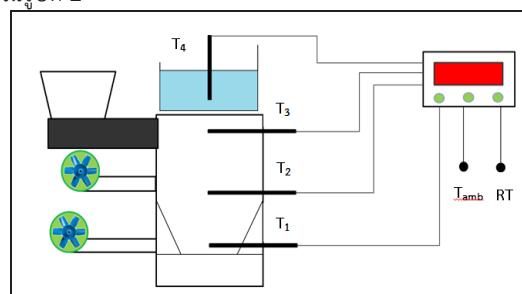
6. เทอร์โมคัปเปิ้ล

SPL

T_S/119

2.2 หลักการทำงานของเตาชีวมวล

หลักการทำงานของเตาชีวมวลทรงกระบอกแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่อง เริ่มจากการเติมอากาศในจุดที่ 1 เข้าสู่ห้องเผาไหม้ โดยอากาศจะไหลผ่านรูด้านข้างของห้องเผาไหม้ในลักษณะไหลขึ้นด้านบนเพื่อไปเผาไหม้เชื้อเพลิง หลังจากนั้นเมื่อไฟติดจะเติมอากาศในจุดที่ 2 เข้าไปสู่ส่วนบนของห้องเผาไหม้ในลักษณะการเติมแบบหัวฉีดรอบๆ เตาชีวมวลด้วยลักษณะการไหลแบบหมุนวนคล้ายกับไซโคลนเพื่อช่วยในการเผาไหม้ก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ในส่วนห้องเผาไหม้ด้วยอุณหภูมิภายในเตาชีวมวลที่สูง และสกรูลำเลียงเชื้อเพลิงจะลำเลียงเชื้อเพลิงจากฮอปเปอร์ไปยังห้องเผาไหม้และทำการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง โดยที่เถ้าจะตกลงสู่ด้านล่างของเตาชีวมวล โดยในการทดสอบเตาชีวมวลได้มีการบันทึกค่าอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการบันทึกค่าอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ

T₁ คือ อุณหภูมิโซนรีดักชัน T₂ คือ อุณหภูมิโซนเผาไหม้
T₃ คือ อุณหภูมิเปลวไฟ T₄ คือ อุณหภูมิน้ำ

3. วิธีการทดลอง

การทดสอบเตาชีวมวลด้วยการต้มน้ำเพื่อหาประสิทธิภาพและการเติมอากาศในการเผาไหม้ที่เหมาะสม ซึ่งมีเงื่อนไขการทดสอบดังนี้

1. อัตราการป้อนซึ่งข้าวโพดที่ 7 kg/hr
2. ขนาดของซึ่งข้าวโพด 1, 1.5 และ 2 inch
3. น้ำหนักน้ำเริ่มต้น 9 kg
4. อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 1.99, 3.31, 4.63 และ 5.95 kg-air/kg-fuel

การทดสอบเริ่มจากปรับปริมาณการเติมอากาศเข้าไปในเข้าห้องเผาไหม้ที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 1.99 kg-air/kg-fuel ซึ่ง



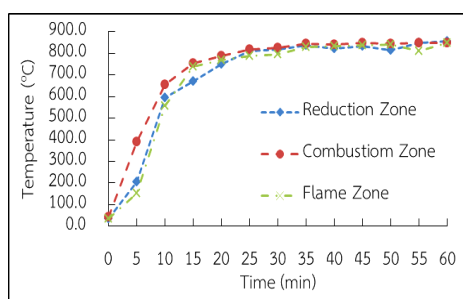
เตาเผาชีวมวลที่ทำการทดสอบเป็นเตาเผาแบบเติมเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง ในการจุดเตาจึงได้นำซังข้าวโพดเติมลงในเตาประมาณ 1 kg ก่อน และเติมลงในสกรูลำเลียงที่ปรับตั้งค่าปริมาณการป้อนที่ 7 kg/hr จากนั้นทำการจุดเตาชีวมวลและนำน้ำที่บรรจุในหม้อมาซังน้ำหนักและวางบนเตาชีวมวลพร้อมกับบันทึกอุณหภูมิของน้ำในทุกๆ 5 min จนน้ำเดือดและให้รักษาอุณหภูมิที่เดือดไปประมาณ 45 min หลังจากนั้นก็ทำการปิดเตาและนำน้ำมาซังน้ำหนักหลังการทดลองพร้อมกับบันทึกเพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเตาชีวมวลต่อไป

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบเตาเผาชีวมวลแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่องโดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบ เพื่อหาประสิทธิภาพทางความร้อนด้วยการทำ (Water Boiling Test) WBT

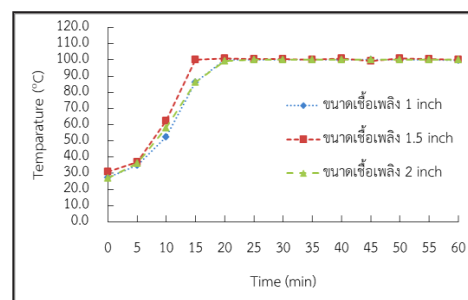
4.1 การประเมินสมรรถนะของเตาชีวมวลแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่อง

รูปที่ 3 แสดงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาชีวมวลพบว่าอุณหภูมิภายในเตาชีวมวลจะค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาประมาณ 15 min จะเห็นว่าอุณหภูมิในโซนรีดักชันและโซนเปลวไฟจะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันและสูงกว่าอุณหภูมิในโซนเผาไหม้ แต่พบว่าที่ขนาดเชื้อเพลิง 1.5 inch อุณหภูมิโซนเผาไหม้จะมีอุณหภูมิสูงกว่าโซนรีดักชัน โดยอุณหภูมิโซนเผาไหม้สูงสุดเท่ากับ 858.5 °C และโซนรีดักชันมีอุณหภูมิสูงสุด 846.4 °C เมื่ออุณหภูมิโซนเผาไหม้ส่งผลให้อุณหภูมิเปลวไฟหลังการเผาไหม้มีค่าสูงใกล้เคียงกับโซนเผาไหม้ เนื่องจากขนาดเชื้อเพลิง 1.5 inch มีความหนาแน่นที่เหมาะสมทำให้อากาศสามารถเข้าไปในช่องว่างระหว่างเชื้อเพลิงได้ทั่วถึงทำให้ผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นและเมื่อเติมอากาศจุดที่ 2 เข้าไปเผาไหม้แก๊สที่ 0.031 m³/s ส่งผลให้อุณหภูมิในโซนเผาไหม้สูงขึ้นไปด้วย



รูปที่ 3 อุณหภูมิภายในเตาชีวมวล ณ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 3.31 kg-air/kg-fuel และขนาดเชื้อเพลิง

ภาพที่ 4 แสดงอุณหภูมิการเดือดของน้ำในการสอบเตาชีวมวลที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 3.31 kg-air/kg-fuel อัตราการป้อนซังข้าวโพด 7 kg/hr พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากอุณหภูมิเริ่มต้นประมาณ 28-100 °C ในเวลา 20 min และมีอุณหภูมิคงที่อย่างต่อเนื่องประมาณ 100 °C นอกจากนี้ยังพบว่าที่ขนาดเชื้อเพลิง 1.5 inch จะมีอุณหภูมิที่สูงที่สุด และมีอุณหภูมิถึงจุดเดือดที่เร็วกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ โดยใช้เวลาประมาณ 15 min



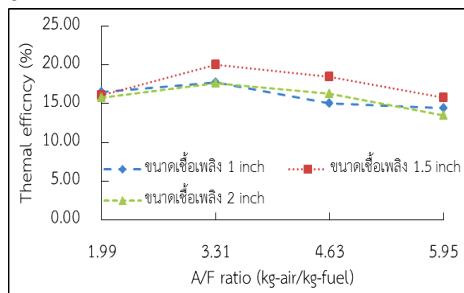
รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิ ณ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 3.31 kg-air/kg-fuel

4.2 อิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาชีวมวลแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่อง

รูปที่ 5 แสดงประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวลแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่อง พบว่าที่ขนาดเชื้อเพลิง 1.5 inch มีประสิทธิภาพทางความร้อนมากกว่าขนาดเชื้อเพลิง 1 และ 2 inch ตามลำดับ และยังพบว่าที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่ากับ 3.31 kg-air/kg-fuel มีประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 1.99, 4.63 และ 5.95 kg-air/kg-fuel ซึ่งสามารถให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงสุดเท่ากับ 20 % นอกจากนี้ยังพบว่า การเผาไหม้ของเตาชีวมวลอยู่ในรูปแบบแก๊สซิฟิเคชัน สามารถให้ประสิทธิภาพความร้อนดีกว่าการเผาไหม้ในรูปแบบเผาไหม้โดยตรง โดยที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 3.31 kg-air/kg-fuel เป็นการเผาไหม้แบบแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งมีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางปฏิบัติต่ำกว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎีที่ equivalence ratio เท่ากับ 0.637 โดยทางทฤษฎีคำนวณได้เท่ากับ 5.19 kg-air/kg-fuel และที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 5.95 kg-air/kg-fuel ซึ่ง



เป็นการเผาไหม้แบบโดยตรงที่ equivalence ratio เท่ากับ 1.146



รูปที่ 5 แสดงอิทธิพลของอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพความร้อนของเตาชีวมวล

5. สรุปผลการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพทางความร้อนเตาชีวมวลโดยใช้ขี้ข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงที่อัตราการป้อน 7 kg/hr ขนาดเชื้อเพลิงที่ 1, 1.5 และ 2 inch และอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ 1.99, 3.31, 4.63 และ 5.95 kg-air/kg-fuel พบว่าเตาชีวมวลแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่องมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดเท่ากับ 20 % ในช่วงอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 3.31 kg-air/kg-fuel ที่ขนาดเชื้อเพลิง 1.5 inch ในรูปแบบการเผาไหม้แบบ แก๊สซิฟิเคชัน สามารถให้ประสิทธิภาพความร้อนสูงกว่าการเผาไหม้ในรูปแบบการเผาไหม้โดยตรง ซึ่งมี equivalence ratio เท่ากับ 0.637 สามารถผลิตความร้อนได้ประมาณ 5.54 kWe และมีอุณหภูมิการเดือดของน้ำสูงสุด โดยมีอุณหภูมิถึงจุดเดือดอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 15 min ทั้งนี้ยังพบว่าอุณหภูมิภายในเตาชีวมวลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 15 min โดยจะเห็นว่าอุณหภูมิโซนเผาไหม้สูงสุดเท่ากับ 858.5 °C และโซนรีดิกชันมีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 846.4 °C ทั้งนี้เตาชีวมวลแบบป้อนเชื้อเพลิงต่อเนื่องยังได้ถูกนำไปใช้งานควบคู่กับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสต์โพล์ เพื่อเป็นแหล่งให้ความร้อนในการอบแห้งข้าวเปลือก

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้มอบทุนอุดหนุนในการทำวิทยานิพนธ์ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา” และเอื้อเฟื้อสถานที่การศึกษาในครั้งนี้ และขอขอบคุณ กองทุนเพื่อส่งเสริมการ

อนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ และวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. (2559). เทคโนโลยีระบบลดหมอกควันโดยการแปรรูปผลิตภัณฑ์เหลือใช้ทางการเกษตรเป็นพลังงานทดแทนให้กับชุมชน. วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- [2] Natarajan, E., Nordin, A., Rao, N. (1998) Overview of combustion and gasification of rice husk in fluidized bed reactors. Biomass and Bioenergy, Vol. 14, pp. 533-546.
- [3] Werther, J., Saenger, M., Hartge, U., Ogada, T. and Siagi, Z. (2000). Combustion of agricultural residues, Energy and Combustion Science., Vol. 26, pp.1-27
- [4] วราภรณ์ ทุมชาติ. (2557). การผลิตโปรตีนเคอร์แกลบจากเตาแบบ Inverted Downdraft โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม 2557 – มิถุนายน 2557
- [5] นิกราน หอมดวง, นฤมล ทิศใต้, กนกวรรณ ศรีคำวัง, เสริมสุข บัวเจริญ, กิตติกร สาสุจิตต์และ ณัฐวุฒิ ดุษฎี. (2560). สมรรถนะเตาแก๊สชีวมวลแบบป้อนต่อเนื่องและป้อนเป็นช่วงเมื่อใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย (ครั้งที่ 13). ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่. วันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560.
- [6] ภาณุพงษ์ หมั่นซัด. (2557). การออกแบบและทดสอบเตาผลิตก๊าซชีวมวลชนิดไหลลง. สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่



การประเมินสถานะที่เหมาะสมในการใช้งานเตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อน 1 ก้อน 2 ก้อน
และ 3 ก้อน สำหรับกลุ่มอาชีพเพาะเห็ดแบบก้อนในจังหวัดลำปาง

Evaluate the Optimal Conditions of Use in Single, Double and Triple Pass of Fuel Economy
Steamed Mushrooms System for Mushroom Occupational Groups in Lampang Province.

รวิภา ยงประยูร¹* และ พรชัย เอี่ยมสาย¹

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

*ผู้ติดต่อ: SAURAYA_Y@hotmail.com, 081-9986523, 054-241079

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสถานะที่เหมาะสมในการใช้งานเตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อน 1 ก้อน, แบบใช้ความร้อน 2 ก้อน และ แบบใช้ความร้อน 3 ก้อน ในการประยุกต์ใช้งานกับกระบวนการเพาะเห็ดของกลุ่มที่มีความแตกต่างกันทั้งรูปแบบของห้องหนึ่งก้อนเห็ดและจำนวนก้อนเห็ดที่หนึ่งต่อครั้ง ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตในแต่ละครั้ง สำหรับกลุ่มอาชีพเพาะเห็ดแบบก้อนในจังหวัดลำปาง ด้วยการทบทวนและสังเคราะห์ข้อมูลและปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างละเอียดจากการใช้เตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบต่างๆในพื้นที่ จนนำไปสู่การทดลองปฏิบัติร่วมกับชุมชนในประเด็น เพื่อให้การวิเคราะห์จากสถานะการใช้งานที่เหมาะสมอย่างแท้จริงของเตาหนึ่งก้อนเห็ด แบบใช้ความร้อน 1 ก้อน (Single Pass) แบบใช้ความร้อน 2 ก้อน (Double Pass) และ แบบใช้ความร้อน 3 ก้อน (Triple Pass) กับจำนวนก้อนเห็ดที่หนึ่งต่อครั้ง ในห้องหนึ่งของระบบหนึ่งก้อนเห็ด

ผลการศึกษา พบว่า เตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อนแบบ 1 ก้อน (Single Pass) ใช้เวลา 70 นาที ในการผลิตไอน้ำเข้าสู่ห้องหนึ่งก้อนเห็ด และสามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสได้นาน 20 นาทีจึงจะเต็มเชื้อเพลิงอีกครั้งหนึ่ง มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 5.78 % หนึ่งก้อนเห็ดได้มากกว่า 500 ก้อน โดยค่าใช้จ่ายต่อก้อนอยู่ที่ 1.3 – 1.5 บาท ในขณะที่เตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อนแบบ 2 ก้อน (Double Pass) ใช้เวลา 40 นาที ในการผลิตไอน้ำเข้าสู่ห้องหนึ่งก้อนเห็ด และสามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสได้นาน 60 นาทีจึงจะเต็มเชื้อเพลิงอีกครั้งหนึ่ง มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 8.87% หนึ่งก้อนเห็ดได้มากกว่า 800 ก้อน โดยค่าใช้จ่ายต่อก้อนอยู่ที่ 1.18 – 1.25 บาท สุดท้ายคือ เตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อนแบบ 3 ก้อน (Triple Pass) ใช้เวลา 10 นาที ในการผลิตไอน้ำเข้าสู่ห้องหนึ่งก้อนเห็ด และสามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสได้นาน 70 นาที โดยจะผลิตไอน้ำหรือไอน้ำยวดยิ่งในช่วง 10 นาทีสุดท้ายก่อนจะเต็มเชื้อเพลิงอีกครั้งหนึ่ง มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 17.37% หนึ่งก้อนเห็ดได้มากกว่า 1,000 ก้อน โดยค่าใช้จ่ายต่อก้อนอยู่ที่ 1.15 – 1.16 บาท

คำหลัก: สถานะที่เหมาะสม เตาหนึ่งก้อนเห็ด

Abstract

This research aimed to estimate the optimization conditions for a Single Pass, Double Pass and Triple Pass mushroom steamer in the application of different mushroom culture processes due to the style of steamed mushroom cubes and the number of steamed mushrooms once. That related to the amount of thermal energy used in each production process for the mushroom culture group in Lampang province by reviewing and synthesizing information and problems. That arise from another mushrooms steamer through a community experiment on the issue to analyze the proper use of the mushroom steamer with the different number of steamed mushrooms once.

The results showed that a Single Pass mushroom steamer takes 70 minutes to produce a steam into the steam room for 20 minutes before refuel. The efficiency of a Single Pass mushroom steamer is 5.78 percentage which produce more than 500 pieces steamed mushroom by a cost per unit is 1.3 - 1.5 baht.



While a Double Pass mushroom steamer takes only 40 minutes for 60 minutes steam continue before refuel. The efficiency of a Single Pass mushroom steamer is 8.87 percentage which produce more than 800 pieces with a cost per unit is 1.18 – 1.25 baht. Finally, a Triple Pass mushroom steamer takes the least steamed time is 10 minutes. Nevertheless the longest time to produce a steam into the steam room is 70 minutes while the Triple Pass mushroom steamer produces a super steam in the last 10 minutes before refueling. The efficiency of this steamer is 17.37 percentage which produce more than 1,000 pieces with a cost per unit is 1.15 – 1.16 baht.

Keywords: Optimal Conditions Fuel Economy Steamed Mushrooms System

1. บทนำ

จากการเรียนการสอนรายวิชา “แหล่งพลังงานและการแปรรูปพลังงาน” ในปีการศึกษา 1/2558 ที่มีการฝึกปฏิบัติจริงในการประเมินสมรรถนะเตาหนึ่งเตาแบบประหยัดพื้นที่ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานจังหวัดลำปาง ประจำปีการศึกษาประมาณ 2558 ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ต.ปงยางคก อ.เมือง จ.ลำปาง ทำให้ทราบถึงปัญหาและข้อจำกัดในการใช้งานระบบหนึ่งเตาแบบประหยัดพื้นที่ เมื่อนำหม้อไอน้ำไปต่อเข้ากับตู้รับรูปแบบต่างๆของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจดังกล่าว แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบที่แตกต่างกันตามจำนวนงบประมาณของแต่ละบ้านได้แก่

1. ระบบหนึ่งเตาของลุงม้วน มะโนคำ สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ด บ้านทุ่งบ่อแป้น อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง มีลักษณะของตู้หนึ่งเป็นบ่อซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.50 เมตร ต่อในแนวตั้งกันสองวง แบ่งใช้น้ำได้ทั้งด้านซ้าย-ขวา สามารถนึ่งก้อนเห็ดได้ครั้งละ 800 – 1,200 ก้อนโดยใช้เวลานึ่งหนึ่งโดยเฉลี่ย 3 – 5 ชั่วโมง

2. ระบบหนึ่งเตาของลุงอรุณ ปินใจ ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ด บ้านทุ่งบ่อแป้น อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง มีลักษณะของตู้หนึ่งก่อซีเมนต์เป็นห้องสี่เหลี่ยม กว้าง 1.50 เมตร ยาว 1.50 เมตร สูง 2 เมตร จำนวน 2 ห้อง แบ่งใช้น้ำได้ทั้งด้านซ้าย-ขวา สามารถนึ่งก้อนเห็ดได้ครั้งละ 1,000 – 2,000 ก้อนโดยใช้เวลานึ่งหนึ่งโดยเฉลี่ย 5 – 8 ชั่วโมง

3. ระบบหนึ่งเตาของลุงสัมพันธ์ ชัยเรืองเดช รองประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ด บ้านทุ่งบ่อแป้น อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง มีลักษณะของตู้หนึ่งสี่เหลี่ยมทำจากเหล็กบุด้วยฉนวนกันความร้อน กว้าง 1.50 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 1.50 เมตร ได้รับจากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานทดแทน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ตั้งแต่ปี 2538 จำนวน 1 ตู้ นึ่งก้อนเห็ดได้ครั้งละ 500 – 800 ก้อนโดยใช้เวลานึ่งหนึ่งโดยเฉลี่ย 2 – 5 ชั่วโมง

4. ระบบหนึ่งเตาของผู้ช่วยผู้ใหญ่บ้านศรีลัษณ์ ตาวิยะ สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ด บ้านทุ่งบ่อแป้น อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ตู้หนึ่งมีลักษณะของบ่อสี่เหลี่ยมก่อซีเมนต์ กว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 0.75 เมตร จำนวน 2 ช่อง แบ่งใช้น้ำได้ทั้งด้านซ้าย-ขวา สามารถนึ่งก้อนเห็ดได้ครั้งละ 1,000 – 2,000 ก้อนโดยใช้เวลานึ่งหนึ่งโดยเฉลี่ย 5 – 8 ชั่วโมง



รูปที่ 1 การตรวจวัดและประเมินผลระบบหนึ่งเตาในกลุ่มสมาชิกของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ต.ปงยางคก อ.เมือง จ.ลำปาง

ปัจจัยต่างๆข้างต้นส่งผลต่อค่าสมรรถนะโดยรวมที่ต่ำลงของระบบหนึ่งเตาแบบประหยัดพื้นที่ อันเนื่องมาจากพฤติกรรมการใช้งานและกำลังการผลิตก้อนเห็ดป้อนออกสู่ตลาดที่แตกต่างกันของสมาชิก จึงกลายเป็นที่มาของโครงการที่จะพัฒนาระบบหนึ่งเตาแบบประหยัดพื้นที่ที่มีสมรรถนะสูงขึ้นและเหมาะสมกับการใช้งานของชุมชน ซึ่งได้จัดสร้างและทดสอบสมรรถนะเตาหนึ่งเตาแบบใช้ความร้อน 1 กลีบ (Single Pass) เปรียบเทียบกับเตาหนึ่งเตาแบบใช้ความร้อน 2 กลีบ (Double Pass) ผลปรากฏว่า สมรรถนะของระบบใหม่ซึ่งเป็นแบบให้ความร้อน 1 กลีบ เทียบกับระบบเก่าซึ่งเป็นแบบให้ความร้อน 2 กลีบ มีค่าต่ำกว่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเตาหนึ่งเตาแบบประหยัดพื้นที่ของระบบเดิมมีการออกแบบให้มีห้องกักเก็บไอน้ำด้านบน ซึ่งเป็นการนำเอาความร้อนจากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ถึงสองครั้ง ในขณะที่



เตาหนึ่งของระบบใหม่มีการนำเอาความร้อนจากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์แค่ครั้งเดียว เนื่องจากได้ตัดเอาส่วนนี้ออกเพื่อให้ประหยัดงบประมาณในการจัดสร้างเตาหนึ่งและลดการเกิดควันย้อนออกมาขณะใช้งาน

แต่ถึงกระนั้นเตาหนึ่งทั้งแบบเก่าและแบบใหม่สามารถผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในการอบฆ่าเชื้อก้อนวัสดุที่ใช้เพาะเห็ดได้ใกล้เคียงกัน และในการเรียนการสอนรายวิชา “แหล่งพลังงานและการแปรรูปพลังงาน” ในปีการศึกษา 1/2559 ที่ผ่านมานั้น ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและจัดสร้างเตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อน 3 กลีบ ซึ่งเป็นการนำเอาความร้อนจากการเผาไหม้มาใช้ประโยชน์ถึงสามครั้ง (Triple Pass) ณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งปอแป้น ต.ปรางค์กู่ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 2 แสดงเตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบต่างๆที่ถูกสร้างและทดสอบในรายวิชา “แหล่งพลังงานและการแปรรูปพลังงาน”

(ก) แบบใช้ความร้อน 1 กลีบ (ข) แบบใช้ความร้อน 2 กลีบ

(ค) แบบใช้ความร้อน 3 กลีบ

จากผลการดำเนินงานดังกล่าวนำไปสู่ปัญหาของการหาสภาพการณ์ทำงานที่เหมาะสมของเตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบต่างๆ ที่ถูกออกแบบและจัดสร้างขึ้นในการประยุกต์ใช้งานกับกระบวนการเพาะเห็ดของกลุ่มที่มีความแตกต่างกันทั้งรูปแบบ

ของห้องหนึ่งก้อนเห็ดและจำนวนก้อนเห็ดที่หนึ่งต่อครั้ง ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตในแต่ละครั้ง

2. หลักการทำงานของเตาหนึ่งก้อนเห็ด [1]

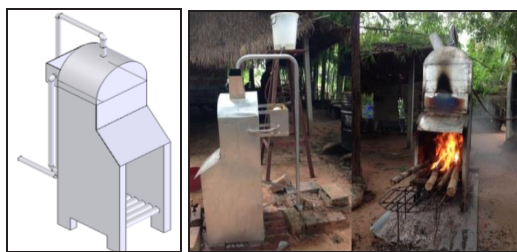
เตาหนึ่งก้อนเห็ดในปัจจุบันใช้หลักการทำงานของหม้อต้มไอน้ำ หรือ บอยเลอร์ (Boiler) หมายถึง เครื่องกำเนิดไอน้ำชนิดภาชนะปิด ทำด้วยเหล็กกล้าหรือวัสดุอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน ซึ่งได้รับการออกแบบและสร้างอย่างแข็งแรงถูกต้องตามหลักเกณฑ์ทางวิศวกรรม ภายในภาชนะบรรจุไอน้ำและไอน้ำเมื่อหม้อต้มไอน้ำได้รับพลังงานความร้อนจากภายนอก หรือภายในก็ได้ จากนั้นจะส่งผ่านพลังงานความร้อนต่อไปยังน้ำที่อยู่ภายในหม้อต้มไอน้ำจนกระทั่งน้ำกลายเป็นไอ ส่วนใหญ่หม้อต้มไอน้ำนี้จะมีหน้าที่ในการสร้างไอน้ำเพื่อส่งผ่านความร้อนไปยังเครื่องจักร ทำให้ต้นทุนค่าพลังงานถูกลงกว่าการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องจักร หม้อต้มไอน้ำใช้งานช่วงอุณหภูมิไม่สูงมากนัก ไม่เกิน 120 องศาเซลเซียส แบ่งตามลักษณะการถ่ายเทความร้อน ออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่

1. แบบท่อไฟ (fire tube boiler) กำลังการผลิตไอน้ำขนาด 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง – 50 ตันต่อชั่วโมง

2. แบบท่อน้ำ (water tube boiler) กำลังการผลิตไอน้ำขนาด 100 -300 ตันต่อชั่วโมง หรือแรงดัน 20 บาร์ ขึ้นไป

2.1 หลักการทำงานของเตาหนึ่งก้อนเห็ด แบบให้ความร้อนสองกลีบ [2]

เตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อนสองกลีบนี้ถูกออกแบบและพัฒนาโดย นิสิต ระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามตั้งแต่ปี 2555-2556 และถูกนำมาถ่ายทอดขยายผลต่อโดยสำนักงานพลังงานจังหวัดลำปาง ภายใต้โครงการเพิ่มสมรรถนะด้านการบริหารและพลังงานครบวงจรในชุมชนระดับตำบลปี 2558 ซึ่งตัวเตาได้ถูกออกแบบให้ประยุกต์ใช้กับตู้หนึ่งแบบต่างๆของเกษตรกร โครงสร้างของเตาหนึ่งก้อนเห็ดนี้มีความคล้ายคลึงกับตู้สี่เหลี่ยม โดยบริเวณผนังโดยรอบทั้งสามด้านทำหน้าที่กักเก็บน้ำเพื่อขยายพื้นที่ห้องเผาไหม้ให้กว้างขึ้น โดยต้มน้ำในปริมาณที่น้อยโดยเมื่อมีการมาติดตั้ง ณ กลุ่มวิสาหกิจกลุ่มอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งปอแป้น ก็มีการปรับปรุงเล็กน้อยตามลักษณะจริงของพื้นที่ติดตั้ง โดยมีการปรับตำแหน่งของกระบอกน้ำเติมให้ต่ำลงมาจากรูปแบบเดิม และตะแกรงสำหรับป้อนฟืนก็มีลักษณะเรียบตรง และท่อไอน้ำที่ออกจากเตาหนึ่งก้อนเห็ดนี้เดิมทั้งสองตู้ สามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานจากการเปิด-ปิดวาล์วท่อ



รูปที่ 3 เตาต้มน้ำแบบประหยัดพื้นที่ของมหาวิทยาลัย

มหาสารคาม (ก) ภาพวาด (ข) ภาพจริง
(ที่มา: วีระวัฒน์ ศรีชา และคณะ, 2557)

2.2 หลักการทำงานของเตาต้มน้ำแบบให้ความ

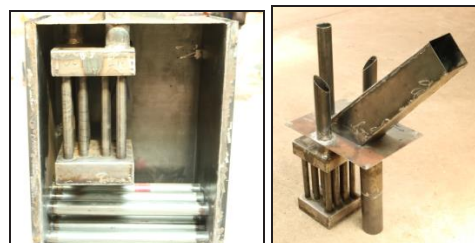
ความร้อนหนึ่งกลับ [3]

จากการตรวจวัดและประเมินสมรรถนะเตาต้มน้ำแบบให้ความร้อนสองกลับ ที่ติดตั้งในพื้นที่ที่ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานจังหวัดลำปางประจำปีการศึกษางบประมาณ 2558 นำมาสู่การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความแตกต่างของสมรรถนะเมื่อได้รายละเอียดปัจจัยดังกล่าวจึงนำไปสู่การออกแบบใหม่ที่ตอบสนองผู้ใช้งาน นำไปสู่การออกแบบและพัฒนาแบบระบบหนึ่งเตาต้มน้ำแบบประหยัดพื้นที่ใหม่ จากข้อจำกัดที่ได้สอบถามจากผู้ใช้งานเตาต้มน้ำดังกล่าวข้างต้น จึงได้ทำการออกแบบและพัฒนาเตาต้มน้ำแบบใหม่ให้มีลักษณะดังนี้

1. จัดทำปล่องระบายควันให้สูงขึ้นและอยู่บริเวณที่สามารถระบายควันไฟได้ทันทั่วทั้งที่ เพื่อลดการเกิดควันย้อนออกมาขณะใช้งาน
2. จัดทำถาดรองรับการตกของขี้เถ้าเพื่อป้องกันการทำความสกปรกเมื่อใช้งานเตาต้มน้ำเรียบร้อยแล้วจัดทำท่อน้ำเพื่อระบายน้ำ ลดการเกิดสนิมในเตา
3. ลดขนาดและเพิ่มจำนวนท่อพร้อมเพิ่มระยะห่างของท่อภายในห้องเผา เพื่อให้อากาศเข้าอย่างเพียงพอ
4. ปรับตำแหน่งของกระบอกน้ำเติมให้แนบติดกับตัวเตา เพื่อให้ให้น้ำได้รับความร้อนได้มากขึ้น ก่อนเข้าสู่ภายในเตา
5. ปรับตำแหน่งท่อไอน้ำออกให้ต่ำลง เพื่อให้ได้ปริมาณไอน้ำที่มากขึ้นตัดห้องกักเก็บไอน้ำด้านบนออก เพื่อประหยัดงบประมาณในการจัดสร้างเตา

2.3 หลักการทำงานของเตาต้มน้ำแบบให้ความร้อนสามกลับ [4]

เตาต้มน้ำแบบให้ความร้อนสามกลับนี้ ถูกออกแบบและพัฒนาต่อจากเตาต้มน้ำแบบให้ความร้อนสองกลับ ที่ทางสำนักงานพลังงานจังหวัดลำปางได้ทำการติดตั้งให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านทุ่งปอแป้น อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง โดยโครงสร้างของเตาต้มน้ำแบบประหยัดพื้นที่นี้มีความคล้ายคลึงกับตู้สี่เหลี่ยม โดยบริเวณผนังโดยรอบทั้งสามด้านทำหน้าที่กักเก็บน้ำเพื่อขยายพื้นที่ห้องเผาไหม้ให้กว้างขึ้น โดยต้มน้ำในปริมาณที่น้อย ด้านล่างของตัวเตาต้มน้ำจะเป็นท่อที่รับความร้อนซึ่งถูกออกแบบให้เป็นตะกรับแบบเอียง เพื่อต่อการป้อนหินและกำจัดขี้เถ้า ส่วนกลางของเตาจะเป็นห้องเผาไหม้ ในขณะที่ด้านบนจะมีท่อที่คอยรับความร้อนจากการเผาไหม้ ที่จะถ่ายเทความร้อนไปให้กับน้ำที่อยู่ในผนังทั้งสามด้านของเตาต้มน้ำอีกด้วย โดยน้ำที่ได้รับความร้อนจะระเหยขึ้นไปที่ด้านบนซึ่งมีห้องกักเก็บไอน้ำ ก่อนที่จะถูกปล่อยไปตามท่อเข้าสู่ตู้ของเกษตรกร การเติมน้ำเตาต้มน้ำแบบประหยัดพื้นที่นี้ใช้หลักการของแรงโน้มถ่วงของโลกในการปล่อยน้ำเข้าไปแทนที่โดยการไหลลงที่ติดตั้งในกระบอกด้านหลังเตาต้มน้ำเป็นตัวควบคุม โดยการปรับปรุงให้กลายเป็นเตาผลิตไอน้ำสำหรับหนึ่งเตาต้มน้ำแบบให้ความร้อนสามกลับนี้ ได้นำระบบท่อน้ำไปติดตั้งตรงทางออกของควันทำให้เกิดการนำความร้อนมาใช้จำนวน 3 ครั้งตามชุดท่อน้ำที่สร้างเพิ่ม และมีการเพิ่มขนาดของถังน้ำที่ใหญ่ขึ้น ขนาดของช่องใส่เชื้อเพลิงที่เล็กลงโดยลักษณะการทำงาน แตกต่างจากเตาต้มน้ำแบบให้ความร้อนสองกลับ คือ มีการนำความร้อนของไอน้ำที่จะถูกปล่อยทิ้งกลับมาใช้จำนวน 3 ครั้งตามชุดท่อน้ำที่สร้างเพิ่ม



(ก)

(ข)

รูปที่ 4 ส่วนประกอบของเตาผลิตไอน้ำสำหรับหนึ่งเตาต้มน้ำแบบสามกลับ

(ก) ตำแหน่งการติดตั้งระบบท่อน้ำการนำความร้อนมาใช้จำนวน 3 ครั้ง

(ข) รูปลักษณะของระบบท่อน้ำการนำความร้อนมาใช้จำนวน 3 ครั้ง



3. วิธีการวิจัย

การดำเนินงานตามโครงการแบ่งออกเป็น 3 ระยะ
ได้แก่

1. ช่วงเวลา 1 – 3 เดือนแรก ทบทวนและสังเคราะห์ข้อมูลและปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างละเอียดจากการใช้เตาตั้งก้อนเห็ดแบบต่างๆในพื้นที่ พร้อมทั้งค้นหาประสิทธิภาพในการผลิตน้ำร้อน-ไอน้ำของเตาตั้งแบบต่างๆโดยใช้สมการ [5]

$$\eta = \frac{m C_p (T_2 - T_1) + (m - m_1) L}{m_1 H_i}$$

m =มวลของน้ำก่อนต้ม (กิโลกรัม)

C_p =ความร้อนจำเพาะของน้ำ (4,187 จูล/กิโลกรัม.เคลวิน)

T_1 = อุณหภูมิที่น้ำเดือด (เคลวิน)

T_2 = อุณหภูมิของน้ำก่อนต้ม(เคลวิน)

m_1 = มวลของน้ำที่เหลือ (กิโลกรัม)

L =ความร้อนแฝงของน้ำ (2,257 กิโลจูล/กิโลกรัม)

m_1 = มวลของพื้(กิโลกรัม)

H_i = ค่าความร้อนที่ได้จากพื้ (15,990 กิโลจูล/กิโลกรัม)

2. ช่วงเวลา 4 – 6 เดือน เป็นการทดลองปฏิบัติร่วมกับชุมชนในประเด็น เพื่อให้การวิเคราะห์จากสภาวะการใช้งานที่เหมาะสมอย่างแท้จริงของเตาตั้งก้อนเห็ด แบบใช้ความร้อน 1 กลีบ (Single Pass) , แบบใช้ความร้อน 2 กลีบ (Double Pass) และ แบบใช้ความร้อน 3 กลีบ (Triple Pass) กับจำนวนก้อนเห็ดที่หนึ่งต่อครั้ง ในห้องนึ่งของระบบนึ่งเห็ดของสมาชิกของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดบ้านทุ่งปอแป้น ได้แก่ลุงม้วน มะโนคำ, ลุงอรุณ ปินใจ, ลุงสัมพันธ์ ชัยเรืองเดช และลุงศรีลีย์ ตาวิยะ

3. ช่วงเวลา 7 – 12 เดือน เป็นการประเมินผลผลิตจากตัวชี้วัด ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลผลิตและตัวชี้วัดของงานวิจัย

ชื่อผลผลิต	ตัวชี้วัด			
	เชิงปริมาณ	เชิงคุณภาพ	เชิงเวลา	เชิงต้นทุน
1. เตานึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อน 1 กลีบ (Single Pass)	จำนวนก้อนเห็ดที่หนึ่งต่อครั้ง โดยเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 500 ก้อน	คว ามหลากหลายของการใช้งานกับตู้หนึ่งเห็ด	ล ด ระยะเวลาการนึ่งลง ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10	เตานึ่งเห็ดแบบประหยัดพื้แบบต่างๆ มีระยะคืนทุนไม่เกิน 2 ปี

ชื่อผลผลิต	ตัวชี้วัด			
	เชิงปริมาณ	เชิงคุณภาพ	เชิงเวลา	เชิงต้นทุน
2. เตานึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อน 2 กลีบ (Double Pass)	จำนวนก้อนเห็ดที่หนึ่งต่อครั้ง โดยเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 800 ก้อน	คว ามหลากหลายของการใช้งานกับตู้หนึ่งเห็ด	ล ด ระยะเวลาการนึ่งลง ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20	เตานึ่งเห็ดแบบประหยัดพื้แบบต่างๆ มีระยะคืนทุนไม่เกิน 2 ปี
3. เตานึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อน 3 กลีบ (Triple Pass)	จำนวนก้อนเห็ดที่หนึ่งต่อครั้ง โดยเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 1,000 ก้อน		ล ด ระยะเวลาการนึ่งลง ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30	

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ทบทวนและสังเคราะห์ข้อมูลและปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างละเอียดจากการใช้เตาตั้งก้อนเห็ดแบบต่างๆในพื้นที่

1. การบริโภคเชื้อเพลิงแข็ง(พื้)ในการนึ่งก้อนเห็ด เฉลี่ยครั้งละ 2 ชั่วโมง คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานในกระบวนการเพาะเห็ดของกลุ่ม
2. การบริโภคเชื้อเพลิงเหลว ในส่วนน้ำมันเบนซินสำหรับการจำหน่ายเห็ดด้วยการขนส่งด้วยรถจักรยานยนต์ เฉลี่ยวันละครั้ง คิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานในกระบวนการเพาะเห็ดของกลุ่ม
3. การบริโภคเชื้อเพลิงเหลว ในส่วนน้ำมันดีเซลจะใช้สำหรับการขนส่งก้อนเห็ดที่ใช้แล้วไปทิ้งโดยรถกระบะ เฉลี่ย 2 ครั้งต่อเดือนหรือทุกๆ 15 วัน คิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานในกระบวนการเพาะเห็ดของกลุ่ม

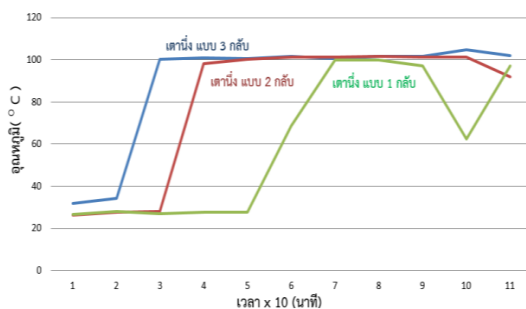
จากการปรับปรุงการจัดการพลังงานด้วยการเปลี่ยนระบบเตานึ่งเห็ดแบบเดิม เป็นเตานึ่งเห็ดแบบประหยัดพลังงานภายใต้โครงการ เพิ่มสมรรถนะด้วยการบริหาร และการจัดการพลังงานครบวงจรในชุมชนระดับตำบล ประจำปีงบประมาณ 2558 ของสำนักงานพลังงานจังหวัดลำปาง โดยมีสมาชิกที่สมัครใจในการเปลี่ยนระบบดังกล่าว จำนวนทั้งสิ้น 9 คน จากสมาชิกทั้งหมด 22 คน พบว่า การบริโภคเชื้อเพลิงแข็ง(พื้)ในการนึ่งก้อนเห็ดลดลงจากเดิม 30 เปอร์เซ็นต์อันเนื่องมาจากการนำเตานึ่งเห็ดแบบประหยัดพลังงาน หรือ



เตาหนึ่งก้อนเห็ด แบบใช้ความ แบบใช้ความร้อน 2 กลับ (Double Pass) มาใช้ในกระบวนการเพาะเห็ดของสมาชิกทั้ง 9 คน โดยผลการประหยัดพื้นที่นั้นปรากฏอย่างชัดเจนในกระบวนการ หนึ่งเห็ดของ นายอรุณ ปินใจ ที่มีจำนวนโรงเรือนเพาะเห็ดมากที่สุดและการใช้ระยะเวลาในการนึ่งนานถึง 6 ชั่วโมง

4.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมการและประสิทธิภาพของเตาหนึ่งก้อนเห็ด แบบใช้ความร้อน 1 กลับ (Single Pass) , แบบใช้ความร้อน 2 กลับ (Double Pass) และ แบบใช้ความร้อน 3 กลับ (Triple Pass)

- เตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อนแบบ 1 กลับ (Single Pass) ใช้เวลา 70 นาที ในการผลิตไอน้ำเข้าสู่ห้องหนึ่งก้อนเห็ด และสามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสได้นาน 20 นาทีจึงจะเต็มเชื้อเพลิงอีกครั้งหนึ่ง มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 5.78 %
- เตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อนแบบ 2 กลับ (Double Pass) ใช้เวลา 40 นาที ในการผลิตไอน้ำเข้าสู่ห้องหนึ่งก้อนเห็ด และสามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสได้นาน 60 นาทีจึงจะเต็มเชื้อเพลิงอีกครั้งหนึ่ง มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 8.87%
- เตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อนแบบ 3 กลับ (Triple Pass) ใช้เวลา 10 นาที ในการผลิตไอน้ำเข้าสู่ห้องหนึ่งก้อนเห็ด และสามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสได้นาน 70 นาที โดยจะผลิตไอน้ำหรือไอน้ำยวดยิ่งในช่วง 10 นาทีสุดท้ายก่อนจะเต็มเชื้อเพลิงอีกครั้งหนึ่ง มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 17.37%



รูปที่ 5 กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิไอน้ำที่เข้าสู่ห้องหนึ่งก้อนเห็ดด้วยเตาผลิตไอน้ำแบบต่างๆ

4.3 การวิเคราะห์สภาวะการใช้งานที่เหมาะสมอย่างแท้จริงของเตาหนึ่งก้อนเห็ด แบบใช้ความร้อน 1 กลับ (Single Pass), แบบใช้ความร้อน 2 กลับ (Double Pass) และ แบบใช้ความร้อน 3 กลับ (Triple Pass) ร่วมกับชุมชน

- สภาวะการทำงานของเตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อน 1 กลับ (Single Pass) ว่าสามารถใช้นึ่งก้อนเห็ดได้มากกว่า 500 ก้อน โดยค่าใช้จ่ายต่อก้อนอยู่ที่ 1.3 – 1.5 บาท โดยคำนวณเฉพาะค่าจ้างในการทำก้อนเพาะเห็ด ก้อนละ 1 บาท พร้อมค่าพินกีโลกรัมละ 3 บาท และควรใช้เวลาในการนึ่งก้อนเพาะเห็ดนับตั้งแต่เกิดไอน้ำ ไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง
- สภาวะการทำงานของเตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อน 2 กลับ (Double Pass) ว่าสามารถใช้นึ่งก้อนเห็ดได้มากกว่า 800 ก้อน โดยค่าใช้จ่ายต่อก้อนอยู่ที่ 1.18 – 1.25 บาท โดยคำนวณเฉพาะค่าจ้างในการทำก้อนเพาะเห็ด ก้อนละ 1 บาท พร้อมค่าพินกีโลกรัมละ 3 บาท และควรใช้เวลาในการนึ่งก้อนเพาะเห็ดนับตั้งแต่เกิดไอน้ำ ไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง
- สภาวะการทำงานของเตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อน 3 กลับ (Triple Pass) ว่าสามารถใช้นึ่งก้อนเห็ดได้มากกว่า 1,000 ก้อน โดยค่าใช้จ่ายต่อก้อนอยู่ที่ 1.15 – 1.16 บาท โดยคำนวณเฉพาะค่าจ้างในการทำก้อนเพาะเห็ด ก้อนละ 1 บาท พร้อมค่าพินกีโลกรัมละ 3 บาท และควรใช้เวลาในการนึ่งก้อนเพาะเห็ดนับตั้งแต่เกิดไอน้ำ ไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง

5. สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงด้วยการเปลี่ยนระบบเตาหนึ่งเห็ดแบบเดิมเป็นเตาหนึ่งเห็ดแบบประหยัดพลังงานแบบต่างๆ จะทำให้การบริโภคเชื้อเพลิงแข็ง (ฟืน) ในการนึ่งก้อนเห็ดลดลงจากเดิม 30 เปอร์เซ็นต์ สามารถวิเคราะห์สภาวะการใช้งานที่เหมาะสมของเตาหนึ่งแต่ละแบบได้ดังนี้ เตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อนแบบ 1 กลับ (Single Pass) ใช้เวลา 70 นาที ในการผลิตไอน้ำเข้าสู่ห้องหนึ่งก้อนเห็ด และสามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสได้นาน 20 นาทีจึงจะเต็มเชื้อเพลิงอีกครั้งหนึ่ง มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 5.78 % นึ่งก้อนเห็ดได้มากกว่า 500 ก้อน โดยค่าใช้จ่ายต่อก้อนอยู่ที่ 1.3 – 1.5 บาท ในขณะที่เตาหนึ่งก้อนเห็ดแบบใช้ความร้อนแบบ 2 กลับ (Double Pass) ใช้เวลา 40 นาที ในการผลิตไอน้ำเข้าสู่ห้องหนึ่งก้อนเห็ด และสามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสได้นาน 60 นาทีจึงจะเต็มเชื้อเพลิงอีกครั้งหนึ่ง มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 8.87% นึ่งก้อนเห็ดได้มากกว่า 800 ก้อน โดยค่าใช้จ่ายต่อก้อนอยู่ที่ 1.18 – 1.25 บาท สุดท้ายคือ เตาหนึ่งก้อนเห็ด



แบบใช้ความร้อนแบบ 3 กลีบ (Tribble Pass) ใช้เวลา 10 นาที ในการผลิตไอน้ำเข้าสู่ห้องนึ่งก้อนเห็ด และสามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสได้นาน 70 นาที โดยจะผลิตไอน้ำหรือไอน้ำยวดยิ่งในช่วง 10 นาทีสุดท้ายก่อนจะเติมเชื้อเพลิงอีกครั้งหนึ่ง มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 17.37% นึ่งก้อนเห็ดได้มากกว่า 1,000 ก้อน โดยค่าใช้จ่ายต่อก้อนอยู่ที่ 1.15 – 1.16 บาท

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจาก คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปีงบประมาณ 2560 ภายใต้ประเด็นยุทธศาสตร์ด้านการวิจัยและบริการวิชาการ ในประเด็น งานวิจัยเพื่อแก้ปัญหาและพัฒนาชุมชน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] บัญชา ไต้ศรีโครต และคณะ (2557). การออกแบบและประสิทธิภาพเตานึ่งก้อนเชื้อเห็ด, *การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 7 ประจำปี 2557*. 6 พ.ค. 2557
- [2] วีระวัฒน์ ศรีชา และคณะ (2557). การพัฒนาหม้อผลิตไอน้ำโดยใช้ไม้พินเป็นเชื้อเพลิงสำหรับนึ่งเชื้อก้อนเห็ด, *การประชุมวิชาการ มหาสารคามวิจัยครั้งที่ 10 ประจำปี 2557*. 11-12 กันยายน 2557
- [3] ณัฐนันท์ นาโพธิ์ทอง และคณะ (2559). การพัฒนาสมรรถนะระบบนึ่งเห็ดแบบประหยัดพิน, *โครงการสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมสายอุดมศึกษา ประจำปี 2559, มหกรรมงานวิจัยแห่งชาติ 2559 (Thailand Research Expo 2016)*. 18 – 20 สิงหาคม 2559
- [4] ณัฐพงษ์ ตาปัญญา และคณะ (2560). เตาผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ด แบบท่อสามกลีบ, *โครงการการจัดประกวดสิ่งประดิษฐ์คิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2560, มูลนิธิบัวหลวงร่วมกับกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 8 พฤษภาคม 2560
- [5] รวิภา ยงประยูร และคณะ (2560). การปรับปรุงระบบนึ่งเห็ดที่ใช้เตาพิน: กรณีศึกษากลุ่มวิสาหกิจชุมชนอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ต.ปงยางคก อ.เมือง จ.ลำปาง, *การประชุมวิชาการการถ่ายทอด พลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2560*. 23 - 24 ก.พ. 2560



การศึกษาสมรรถนะเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลสำหรับอบฆ่าเชื้อก้อนเห็ด
Performance Study of Low Pressure Steam Generator using Biomass Fuel for Pasteurizing
Mushroom Cultivation Material

ณัฐพล แสงทอง¹, จักรวรุฒ เมตตา¹, ชิชณพงค์ จิตตคาม¹, ณัฐนนท์ วิมลสุตร์¹, ภรณ์ ศรีรัมย์²
และสมมาส แก้วล้วน^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก 26120

² ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ นครนายก 26120

*ผู้ติดต่อ: sommas@g.swu.ac.th, 089-7659091.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำสำหรับอบฆ่าเชื้อก้อนเห็ดด้วยเตาแก๊สชีวมวลประสิทธิภาพสูงซึ่งควบคุมการป้อนอากาศด้วยวาล์วปีกผีเสื้อ การวิจัยนี้ได้ศึกษาตำแหน่งวาล์วป้อนอากาศ 0% 50% และ 100% โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตความร้อนคือชีวมวลอัดเม็ดจากก้อนเห็ดด้วยคุณภาพ มีค่าความร้อน 15.93 เมกะจูล/กิโลกรัม ผลการทดสอบผลิตไอน้ำพบว่าอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุดและต่ำสุด 20 และ 10 กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ และอัตราการสิ้นเปลืองชีวมวลอัดเม็ดจากก้อนเห็ดด้วยคุณภาพสูงสุดและต่ำสุด 4.8 และ 2.24 กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในช่วง 72% และ 65% สำหรับห้องอบฆ่าเชื้อก้อนเห็ดขนาด 0.8 ลูกบาศก์เมตร จำนวนก้อนเห็ดที่บรรจุในห้องอบ 144 ก้อน ใช้เวลาทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง โดย 1 ชั่วโมงแรกอุณหภูมิภายในห้องอบฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้นจาก 30 °C เป็น 80 °C และ 3 ชั่วโมงสุดท้ายเป็นการป้อนไอน้ำเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในห้องอบฆ่าเชื้อให้คงที่ 80-90 °C จากการตรวจวัดการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศพบว่าปริมาณการปลดปล่อย CO มีค่าอยู่ในช่วง 75-271 ppm และ NOx มีค่าในช่วง 249-305 ppm ดังนั้นเมื่อกลุ่มเกษตรกรเพาะเห็ดนำเครื่องผลิตไอน้ำนี้ไปใช้จะทำให้ลดต้นทุนการผลิตและสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนแก๊ส LPG ได้

คำหลัก: เครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำ; เตาแก๊สชีวมวล; ชีวมวลอัดเม็ดจากก้อนเห็ดด้วยคุณภาพ; ห้องอบฆ่าเชื้อ

Abstract

The purpose of this research is to analyze the efficiency of a self-designed, low-pressure steam generator for pasteurizing a mushroom cultivation material by using a biomass gasifier stove. The air inlet valve in the stove controlled by a hinge was studied at 0%, 50%, and 100%. Wood pellets made from waste mushroom cultivation material with low heating value 15.93 MJ/kg were used as fuel. The results showed that the steam generator produced the amount of steam at the maximum and minimum values at 20 kg/h and 10 kg/h, respectively. The highest and lowest consumption rates of fuel use were 4.8 kg/h and 2.24 kg/h, respectively. The efficiency of the steam generator was indicated in the range of 72% to 65%. The total pasteurizing time for the 144 pieces of mushroom cultivation material in 0.8 m³ of room size is 4 hours. Within the first hour of pasteurizing, the temperature in the sterilization room increased from 30 °C to 80 °C. After the first hour, the steam was fed in order to maintain the temperature in the sterilization room at 80-90 °C. Air pollution emission of CO was found in the range of 75 to 271 ppm and NOx in the range of 249 to 305 ppm. This research showed that agriculturists can reduce the cost of production by using their waste



mushroom cultivation material instead of LPG as fuel together with the self-designed steam generator in pasteurizing their mushroom cultivation materials.

Keywords: Low-Pressure steam generator; Biomass Gasifier stove; Wood pellet; Sterilization room.

1. บทนำ

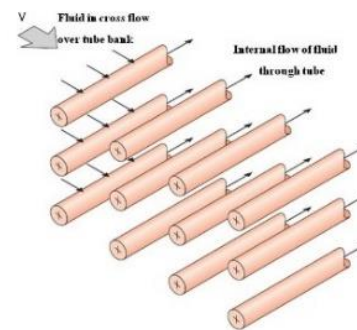
การเพาะเห็ดในถุงพลาสติกเป็นที่นิยมของเกษตรกรมาก เนื่องจากการเพาะเห็ดในถุงพลาสติกนี้ ใช้วัสดุเพาะที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรพวกขี้เลื่อยหรือฟางข้าวผสมอาหารเสริม จึงสามารถทำได้ง่าย ดังนั้น การเพาะเห็ดในถุงพลาสติกจึงแพร่หลายมาก เห็ดที่นิยมเพาะในถุงพลาสติกส่วนมากได้แก่ เห็ดสกุลนางรม (เช่น เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรม เห็ดภูฐาน เห็ดเป๋าฮื้อ เห็ดนางรม และเห็ดฮังการี) เห็ดหูหนู เห็ดหอม เห็ดตีนแรด เห็ดยานางิ เห็ดหลินจือ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ก่อนจะหยุดซื้อเห็ดลงในวัสดุเพาะที่บรรจุในถุงพลาสติกจะต้องผ่านกระบวนการนึ่งฆ่าเชื้อก่อน ซึ่งกระบวนการนี้มีความยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงสูง ตลอดจนเกษตรกรต้องมีการลงทุนอุปกรณ์ในการนึ่งฆ่าเชื้อด้วย จึงทำให้เป็นข้อจำกัดที่เกษตรกรรายย่อยไม่สามารถจัดหาเครื่องมือสำหรับกระบวนการนึ่งฆ่าเชื้อก่อนเห็ดไว้ในชุมชนได้ เนื่องจากเครื่องมือดังกล่าวมักมีขนาดใหญ่และมีราคาแพง (นึ่งฆ่าเชื้อก่อนวัสดุเพาะเห็ดครั้งละมากกว่า 1,000 ก้อน) จึงไม่เหมาะกับเกษตรกรรายย่อย หรืออาจมีขนาดเล็กเกินไป (นึ่งฆ่าเชื้อก่อนวัสดุเพาะเห็ดครั้งละ 72 ก้อน) จึงทำให้เสียเวลาในการนึ่งฆ่าเชื้อก่อนวัสดุเพาะเห็ด จากข้อจำกัดดังกล่าว ทำให้เกษตรกรรายย่อยจำเป็นต้องซื้อเห็ดจากฟาร์มเห็ดที่ผ่านกระบวนการนึ่งฆ่าเชื้อก่อนวัสดุเพาะเห็ด และหยุดซื้อเห็ดมาเลี้ยงและเปิดดอก จึงทำให้เกษตรกรมีความเสี่ยงที่จะเกิดภาวะขาดทุนถ้าเห็ดออกน้อย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

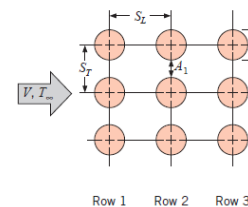
การต้มน้ำให้กลายเป็นไอน้ำความดันต่ำโดยใช้ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นอากาศร้อนไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำซึ่งแนวความคิดในการออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สร้อนกับน้ำนั้นจะใช้ชุดกลุ่มท่อ (Tube bank) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเนื่องจากต้องการปริมาณไอน้ำมากในการใช้งานจึงให้น้ำไหลไปรับความร้อนในชุดกลุ่มท่อซึ่งมีหลักการทำงานและการคำนวณดังนี้

ชุดกลุ่มท่อจะเป็นลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลภายในท่อกับของไหลที่ไหลตัดภายนอกท่อตามรูปที่ 1 (ก) โดยที่จะมีการวางเรียงเป็นแถวเป็นแนวแบ่งได้เป็น

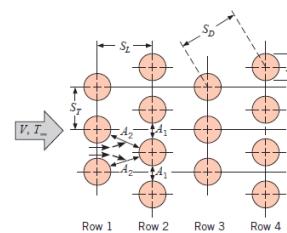
2 ลักษณะคือแบบวางในแนวเดียวกัน (Aligned) และแบบวางสลับหรือเยื้องกัน (Staggered) ตามรูปที่ 1 (ข) และ 1 (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 1 (ก) ลักษณะการไหลผ่านชุดกลุ่มท่อ (ข) ลักษณะชุดกลุ่มท่อแบบวางแนวเดียวกัน (ค) แบบวางเยื้องกัน [1]

สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนในรูปของค่า Nu (Nusselt number) [1-2] มีสมการดังนี้

$$\overline{Nu}_D = C_1 C_2 \overline{Re}_{D,max}^{0.36} \left[\frac{\mu_s}{\mu_f} \right]^{0.25} \quad (1)$$

เมื่อ

\overline{Nu}_D คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของ

C_1, C_2 คือ ค่าคงที่ของลักษณะการจัดวางท่อ

$Re_{D,max}$ คือ ค่า Reynolds number ของของไหลที่ไหลผ่าน



กลุ่มท่อที่มีค่ามากที่สุด (คิดจากความเร็วที่ไหลผ่านมากที่สุด)
 m คือ ค่าคงที่ของลักษณะการจذبความร้อน
 Pr_α, Pr_s คือ ค่า Prandtl number ตามอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลที่สัมผัสท่อและของไหลที่บริเวณผิวท่อ

m_r คือ อัตราการขึ้นเปลือกเชื้อเพลิง, kg/h
 h₂ คือ เอนทัลปีของไอน้ำ, kJ/kg
 h₁ คือ ค่าเอนทัลปีของน้ำ, kJ/kg
 LHV คือ ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงชีวมวล, kJ/kg

3. วิธีการวิจัย

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะใช้ Nu เป็นตัวแปรในการบ่งชี้ถึงการถ่ายเทความร้อนว่ามากหรือน้อยเนื่องจากเป็นตัวแปรไร้มิติซึ่งจะสามารถใช้เทียบ กับขนาดหรือคุณสมบัติบางประการที่ต่างกันได้โดยคำนวณจากสมการ (1) แล้วนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวท่อในสมการ (2) [1] สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในสมการที่ (3) [1] และการคำนวณหาพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนจะใช้วิธี LMTD ซึ่งแสดงในสมการที่ (4)

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{h_c} + \frac{m \ln \left(\frac{h_c}{h_c - h_r} \right)}{2k} + \frac{1}{h_r} + \frac{1}{h_{f,i}} + \frac{1}{h_{f,o}} \quad (2)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h} + \frac{m \ln \left(\frac{h_c}{h_c - h_r} \right)}{2k} + \frac{1}{h_r} + \frac{1}{h_{f,i}} + \frac{1}{h_{f,o}} \quad (3)$$

$$A = \frac{Q}{U \Delta T_{LMTD}} \quad (4)$$

เมื่อ
 h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวท่อ, W/m²K
 k คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุ, W/mK
 D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, m
 R_{f,i} คือ ค่าความต้านทานอันเกิดจากสิ่งสกปรกภายในท่อ, m².K/W
 R_{f,o} คือ ค่าความต้านทานอันเกิดมาจากสิ่งสกปรกภายนอกท่อ m².K/W
 U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, W/m²K
 LMTD คือ ผลต่างอุณหภูมิแบบล็อก
 A คือ พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน, m²

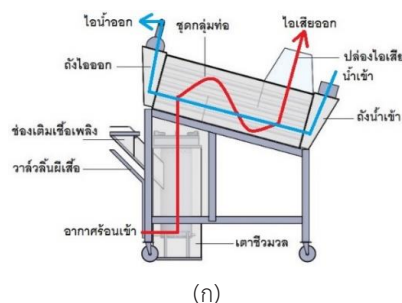
การคำนวณสมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำ แสดงดังสมการที่ 5 โดยเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดมีค่าความร้อนทางต่ำ (LHV) 15.93 MJ/kg

$$\eta = \frac{m_g (h_2 - h_1)}{m_r LHV} \quad (5)$$

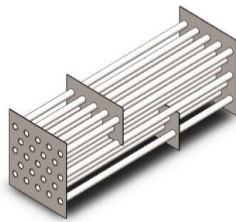
เมื่อ
 η คือ สมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำ
 m_g คือ อัตราการผลิตไอน้ำ, kg/h

เครื่องผลิตไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำที่ความดันบรรยากาศ และมีอุณหภูมิประมาณ 100 °C โดยใช้ความร้อนจากการเผาเชื้อเพลิงไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ ซึ่งแนวคิดในการออกแบบระบบแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแก๊สร้อนที่ได้จากการเผาไหม้กับน้ำนั้นจะใช้ชุดกลุ่มท่อ (Tube bank) เป็นอุปกรณ์ในการแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากต้องการปริมาณไอน้ำที่ระดับอุณหภูมิ 100 °C มาใช้ในการนึ่งฆ่าเชื้อก้อนเห็ด จึงออกแบบให้น้ำไหลไปปรับความร้อนในกลุ่มท่อ แล้วเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

เครื่องผลิตไอน้ำที่ถูกออกแบบให้ป้อนเชื้อเพลิงด้านหน้าเตาโดยชีวมวลอัดเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8 เซนติเมตร และยาวประมาณ 2 เซนติเมตร มีค่าความร้อนประมาณ 15.93 เมกะจูล/กิโลกรัม เตาแก๊สชีวมวลสามารถเร่งหรือการเผาไหม้ได้โดยการปรับวาล์วป้อนอากาศเพื่อผลิตแก๊สร้อนไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในชุดกลุ่มท่อเพื่อให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำและมีการออกแบบโครงสร้างเครื่องให้มีการหมุนวนของอากาศร้อน 3 กลีบ โดยกลีบที่ 2 และ 3 แก๊สร้อนจะผ่านบริเวณที่ไม่ได้รับความร้อนโดยตรงจากเตาแก๊สชีวมวลและปล่อยออกสู่ท่อไอเสียตามภาพที่ 2 (ก) ซึ่งการหมุนวนของอากาศร้อนในกลีบที่ 3 นี้ ทำให้น้ำเข้าเครื่องผลิตไอน้ำมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นส่งผลทำให้เครื่องผลิตไอน้ำมีประสิทธิภาพสูงขึ้นซึ่งมีรายละเอียดของโครงสร้างตามรูปที่ 2 (ก)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 2 (ก) แบบเครื่องผลิตไอน้ำและทิศทางการไหลของ กระแสร้อนและเย็น (ข) ลักษณะการจัดเรียงกลุ่มท่อ (ค) เครื่อง ผลิตไอน้ำพร้อมทดสอบ (ง) ก้อนเห็ดสำหรับอบฆ่าเชื้อ (จ) เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากก้อนเห็ดด้วยคุณภาพ

การทดลองอบฆ่าเชื้อก้อนวัสดุเพาะเห็ดโดยก้อนวัสดุ เพาะเห็ดบรรจุในหีบอบขนาด 0.8 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถ บรรจุก้อนวัสดุเพาะเห็ดได้จำนวน 144 ก้อน โดยเครื่องผลิตไอน้ำโดยใช้น้ำป้อนประมาณ 90-100 ลิตรเติมเข้าเครื่องตามรูปที่ 2(ก) โดยเติมครั้งแรกจำนวน 10 ลิตรและน้ำป้อนส่วนที่เหลือ จะถูกเติมเข้าทุกๆ 5 นาที หลังจากเริ่มการจุดเตาแก๊สชีวมวล เพื่อผลิตไอน้ำร้อนป้อนให้กับน้ำในชุดกลุ่มท่อภายในเครื่องผลิตไอน้ำทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำไหลออกจากเครื่องผลิตไอน้ำที่จุดไอน้ำออกตามรูปที่ 2 (ก) และไอน้ำถูกปล่อยทิ้งสู่ บรรยากาศ ไอน้ำที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตไอน้ำไหลไปตามท่อ

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องผลิตไอน้ำ

รายการ	รูปแบบ	ขนาด
เครื่องผลิตไอน้ำ	One shell pass and one tube pass	15 kW
- อัตราการผลิตไอน้ำอิ่มตัว	Saturated vapor	20 kg/h
- จำนวนแถว	ST=SL=2D	5 rows
- จำนวนท่อ	Raw no.1,3,5 = 5 tube, raw no. 2,4 = 4 tube	23 tubes
- LMTD ช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2	ช่วงที่ 1 ความร้อนสัมผัส ช่วงที่ 2 ความร้อนแฝง	119.5 °C, 313 °C
- สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, U_o	U_{1o} , U_{2o} อ่างอิงพื้นที่ผิวภายนอก	18.7, 37.7 W/m ² K
- พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	Outer surface	1.8 m ²
- ความยาวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน		0.7 m.

เพื่อจ่ายเข้าห้องอบฆ่าเชื้อตามรูปที่ 2 (ก) โดยการควบคุม อุณหภูมิของห้องอบให้คงที่ 85-95 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงซึ่ง การควบคุมอุณหภูมินี้สามารถทำได้โดยการปรับวาล์วควบคุม อากาศเข้าสู่เตาแก๊สชีวมวลที่จะส่งผลให้ผลิตความร้อนมากขึ้น และได้ไอน้ำมากขึ้น

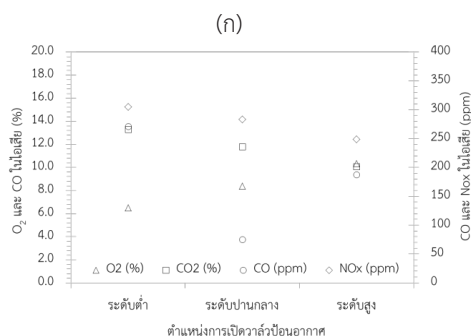
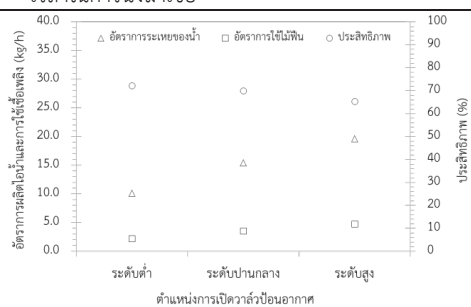
4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เครื่องผลิตไอน้ำสามารถผลิตไอน้ำได้สูงสุดและต่ำสุด 20 และ 10 kg/h โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงสุดและ ต่ำสุด 2.24 และ 4.8 kg/h ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์ สมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำตามสมการที่ 5 พบว่ามีค่าอยู่ใน ช่วง 65% และ 72% ซึ่งมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับ งานวิจัยของ พรประสิทธิ์ [5] และผลจากการตรวจวัด องค์ประกอบของแก๊สไอเสียพบว่า O_2 ส่วนเกินในไอเสียมีค่าอยู่ใน ช่วง 6.51 – 10.33 % CO_2 มีค่าอยู่ในช่วง 10.09- 13.29 % CO มีค่าอยู่ในช่วง 75-271 ppm และ NO_x มีค่าในช่วง 249-305 ppm โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวแสดงในรูป ที่ 3

เมื่อนำระบบผลิตไอน้ำเชื่อมต่อเข้ากับห้องอบฆ่าเชื้อ ก้อนวัสดุเพาะเห็ด ในช่วงแรกจะเร่งเตาแก๊สชีวมวลเต็มที่เพื่อให้ อุณหภูมิในห้องอบสูงขึ้นเร็วที่สุดในช่วงนี้ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง และเมื่ออุณหภูมิในห้องอบฆ่าเชื้อสูงเพียงพอแล้วจึงทำ การหรี่เตาชีวมวลเพื่อรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 85-95 °C (ช่วงนี้ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง) รวมระยะเวลาการอบฆ่าเชื้อ ก้อนวัสดุเพาะเห็ด 4 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามเกษตรกรสามารถ ปรับเปลี่ยนเวลาการอบฆ่าเชื้อได้ตามเหมาะสม



เตาความร้อน	Updraft Gasifier Stove Dia. 6 นิ้ว	11-20 kW
- เชื้อเพลิง	ชีวมวลอัดเม็ดจากก้อนเห็ดด้วยคุณภาพ	Dia. 8 mm. ยาว 20 mm.
- การป้อนเชื้อเพลิง	ค่อยๆ ป้อนด้วยมือ	2.2-4.8 kg/h
- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด	Bomb calorimeter	15.93 MJ/kg
- ค่าความชื้นของเชื้อเพลิง	ASTM E1358-97	9.7 % wet basis
ห้องอบก้อนเห็ด	W= 80 cm, L= 120 cm, H= 80 cm	0.8 m ³
- จำนวนการบรรจุก้อนเห็ด	12 ตะแกรง x 12 ก้อนต่อตะแกรง	144 ก้อน
- เวลาต้มน้ำให้เป็นไอ		20 นาที
- เวลาเพิ่มอุณหภูมิในห้องนึ่งก้อนเห็ด	30-85 °C	40 นาที
- เวลาในการนึ่งมาเชื้อ	รักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 85-95 °C	3 ชั่วโมง



รูปที่ 3 (ก) อัตราการผลิตไอน้ำ อัตราการใช้เชื้อเพลิงและประสิทธิภาพ (ข) ไอเสียจากเครื่องผลิตไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด

5. สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบสมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำสำหรับอบฆ่าเชื้อก้อนเห็ดด้วยเตาแก๊สชีวมวลประสิทธิภาพสูงซึ่งควบคุมการป้อนอากาศด้วยวาล์วปีกผีเสื้อโดยเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ผลิตความร้อนคือ ชีวมวลอัดเม็ดจากก้อนเห็ดด้วยคุณภาพ มีค่าความร้อน 15.93 เมกะจูล/กิโลกรัม ผลการทดสอบผลิตไอน้ำพบว่าอัตราการผลิตไอน้ำสูงสุดและต่ำสุด 20 และ 10 กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ และอัตราการ

สิ้นเปลืองชีวมวลอัดเม็ดจากก้อนเห็ดด้วยคุณภาพสูงสุดและต่ำสุด 2.24 และ 4.8 กิโลกรัม/ชั่วโมงตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องผลิตไอน้ำมีค่าสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในช่วง 72% และ 65% สำหรับห้องอบฆ่าเชื้อก้อนเห็ดขนาด 0.8 ลูกบาศก์เมตร จำนวนก้อนเห็ดที่บรรจุในห้องอบ 144 ก้อน ใช้เวลาทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง โดย 1 ชั่วโมงแรกอุณหภูมิภายในห้องอบฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้นจาก 30 °C เป็น 80 °C และ 3 ชั่วโมงสุดท้ายเป็นการป้อนไอน้ำเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในห้องอบฆ่าเชื้อให้อยู่ในช่วง 85-95 °C จากการตรวจวัดการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศพบว่าปริมาณการปลดปล่อย CO มีค่าอยู่ในช่วง 75-271 ppm และ NOx มีค่าในช่วง 249-305 ppm ดังนั้นเมื่อกลุ่มเกษตรกรเพาะเห็ดนำเครื่องผลิตไอน้ำนี้ไปใช้จะทำให้ลดต้นทุนการผลิตและสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนแก๊ส LPG

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณ เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2560 หมายเลขโครงการ 369/2560

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Incropera, Frank, P. and David, P. D. (1996) Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John Wiley & Sons, New York, pp. 419-461.
- [2] Zukauskas, A., (1972) Heat transfer from Tubes in Cross Flow." in J.P. Hartnett and T.F. Irvine, Jr., Eds., Advances in Heat Transfer. Vol. 8, Academic Press, New York.
- [3] สมมาส แก้วล้วน ดำรง ศักดิ์จันโทสี, สุรัชย์ จันทร์ศรีและเวศิน ปิยรัตน์. (2558) การทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวล



- ขนาด 20kW. วิศวกรรมศาสตรมหาวิทาลัยศรีนครินทรวิ
โรฒ. เล่มที่ 8(1) หน้า 24-33.
- [4] ศูนย์บริการวิชาการแก่ชุมชน มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรี
นครินทรวิโรฒ (2554) โครงการการสร้างเครื่องต้นแบบเตา
ชีวมวลสำหรับผลิตความร้อน
- [5] พรประสิทธิ์ คงบุญ จีระศักดิ์ เพียรเจริญ และสุเทพ ชู
กลิ่น. (2554) การพัฒนาเครื่องผลิตไอน้ำความดันต่ำ
สำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน. วิศวกรรมสาร มช. เล่ม
ที่ 38 (2) หน้า 111-116.
- [6] ลือพงษ์ ลือนาม ดวงกมล ปานรศทิพ ธรรมมาธิวัฒน์
และ สมศักดิ์ คูหาสวรรค์เวช. (2553) การออกแบบ
พัฒนาเตาผลิตไอน้ำสำหรับโรงเรือนเพาะเห็ด. การ
ประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น "การพัฒนาที่ยั่งยืน"
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [7] Department of Mechanical and Aerospace
Engineering, North Carolina State University, USA,
MAE 406 – Energy Conservation in Industry, URL:
<http://www.mae.ncsu.edu/access> on
03/04/2016.



การศึกษาการอบแห้งกุ้งด้วยวิธีการอบแห้งแบบเรือนกระจกร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำ
The study on drying of shrimp by greenhouse drying combine low humidity drying

ณัฐวัฒน์ วิสัยพรหม^{1*} ณัฐ กาศยปนนันท์² นริส ประทินทอง² และศิริชัย เทพา¹

¹ห้องปฏิบัติการพลังงานแสงอาทิตย์ในงานเกษตร สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน
คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

²สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

*ผู้ติดต่อ: natthawat.wis@mail.kmutt.ac.th, 02-4708626

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการอบแห้งกุ้งด้วยระบบการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการอบแห้งระบบความชื้นต่ำ เพื่อต้องการพัฒนากระบวนการผลิตกุ้งให้ได้คุณภาพ โดยเป็นที่ทราบกันดีว่าการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการอบแห้งอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ แต่อย่างไรก็ตามการอบแห้งวิธีนี้จะประสบกับปัญหาการรบกวนของแมลงวัน ฝุ่น เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์ปนเปื้อนได้ง่าย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการอบแห้งด้วยการอบแห้งแบบเรือนกระจกร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำเพื่อส่งผลให้การอบแห้งดำเนินไปอย่าง ต่อเนื่องโดยการควบคุมความชื้นภายในห้องอบแห้งความชื้นต่ำ 45 % Rh โดยทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น สี ความแข็ง อุณหภูมิและความชื้น เป็นต้น ซึ่งผลการทดลองพบว่า การอบแห้งแบบเรือนกระจกร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ 16 ชั่วโมง โดยพบว่าความชื้นสุดท้ายของกุ้ง คือ 13.41 (% d.b) สำหรับคุณภาพด้านสีของกุ้งนั้น พบว่ามีค่าความสว่าง คือ 34.51 ± 5.03^b เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งในแบบอื่น ๆ แล้วพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ในทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับความแข็งของผลิตภัณฑ์ พบว่าการอบแห้งแบบเรือนกระจกร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำจะมีค่าความแข็งที่มากที่สุด คือ 152.45 นิวตัน

คำหลัก: การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, กุ้ง, ความชื้น

Abstract

In this study, the drying of shrimp by solar drying combine Low humidity to development the shrimp production process. It is well-known that drying using solar energy is methods used in food drying to prolong shelf life. However, drying this method is subject to dust interference, which results in contaminated products. So in this research drying with greenhouse drying combined with low moisture drying resulted in the drying process. The moisture content of 45 %Rh was studied by physical properties of the products such as color, hardness, temperature and moisture content. Greenhouse drying with low humidity drying took 16 hours. The final moisture content of the shrimp was 13.41 (% d.b). The qualities of color was 34.51 ± 5.03^b compared with other drying methods. They found similar values the values were not significantly different ($p > 0.05$). It was found that greenhouse drying combined with low moisture drying had the highest shading value of 152.45 Newton

Keywords: Solar drying, Shrimp, Moisture.



1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศที่มีอัตราการส่งออกผลิตภัณฑ์จำพวกอาหารทะเลที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ซึ่งในปี 2559 อุตสาหกรรมอาหารของไทยมีมูลค่าประมาณ 27.4 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งมีการขยายตัวจากปีก่อนร้อยละ 4.0 โดยการส่งออกอาหารที่คาดว่าจะขยายตัวได้ดี ได้แก่ กุ้ง ไข่ และสับปะรด กระป๋อง [1] ทั้งนี้อาหารทะเลแปรรูปเป็นสินค้าส่งออกสำคัญของไทย มูลค่าการส่งออกอาหารทะเลแปรรูปของไทยปี 2559 กุ้ง 69,422 ตูนากระป๋อง 68,535.8 หน่วย : ลานบาท [2] ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้แก่ประเทศเป็นจำนวนมาก การแปรรูปอาหารทะเลสามารถสร้างรายได้ให้แก่ประเทศได้เป็นอย่างดี [3] โดยเฉพาะกุ้งแห้งซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางอาหารสูงโดยเฉพาะโปรตีนซึ่งเป็นสารอาหารสำคัญ [4] และในปัจจุบันขั้นตอนการผลิตยังไม่ได้คุณภาพ เนื่องจากมีขั้นตอนการผลิตที่ยุงยากและไม่ได้มาตรฐาน สำหรับประเทศไทยจัดได้ว่าเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตรได้รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี โดยความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยของการแผ่รังสี 5 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อตารางเมตร (KWhr/m²) ดังนั้นจึงมีการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์กันอย่างต่อเนื่อง [5] ซึ่งการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ถือได้ว่าเป็นอีกวิธีการหนึ่งของการถนอมอาหาร ซึ่งการตากแดดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม เช่น การตากเนื้อ ปลา พืช ผักและผลไม้ จะมีปัญหาเรื่องฝุ่นละออง มีเชื้อจุลินทรีย์ แมลงวันตอมเป็นพาหะนำเชื้อโรค แต่อย่างไรก็ตามการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีข้อจำกัดคือสามารถอบแห้งได้เฉพาะในเวลากลางวันเท่านั้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการนำกุ้งมาอบแห้งด้วยการอบแห้งแบบเรือนกระจก ร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำเพื่อแก้ไขปัญหา ซึ่งสำหรับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำนี้เป็นเทคโนโลยีการอบแห้งแบบใหม่ที่สามารถอบแห้งได้ที่อุณหภูมิไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส [6] โดยปราศจากการเจริญเติบโตของเชื้อรา แบคทีเรีย เป็นต้น

2. อุปกรณ์และวิธีการ

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการอบแห้งกุ้งด้วยการอบแห้งแบบเรือนกระจก ร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำ ซึ่งประกอบด้วย โรงเรือนอบแห้ง จำนวน 1 ชุด เครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จำนวน 1 เครื่อง เครื่องชั่งดิจิตอล ขนาด 3 กิโลกรัม ค่าความละเอียด 1 กรัม จำนวน 1 เครื่อง

การเตรียมวัสดุสำหรับการทดลอง

นำกุ้งมาล้างทำความสะอาดและนำไปลวกน้ำที่ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็น เวลา 15 นาที ซึ่งในการ อบแห้งแต่ละกรณีจะใช้กุ้งประมาณ 350 กรัม โดยเงื่อนไขที่ใช้ ในการอบแห้งคือวิธีการอบแห้งที่ แตกต่างกันและการควบคุมความชื้นในห้องอบแห้งที่ 45 % โดยที่ความชื้นเริ่มต้นของกุ้งประมาณ 380-450 มาตรฐานแห้ง แล้วอบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าร้อยละ 15-20 มาตรฐานแห้ง [7] ก่อนที่จะนำไปตรวจสอบคุณภาพหลังจาก อบแห้ง โดยวัดค่าของสี L a b ความแข็ง เพื่อ เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีการวางจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป

การหาปริมาณความชื้นของตัวอย่าง

การหาน้ำหนักของกุ้งสามารถทำได้โดยการนำกุ้งไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่ อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ โดยจะทำการชั่งน้ำหนักระหว่างก่อนและหลังการอบแห้ง แล้วจึงนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาความชื้นของกุ้งที่เวลาใด ๆ ดังสมการที่ 1

$$M.C. = \left[\frac{W - D}{D} \right] \times 100 \quad (1)$$

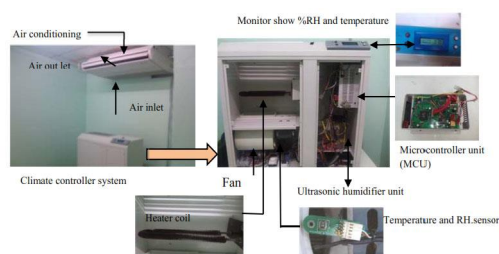
โดยที่ M.C. คือ ความชื้นของกุ้งที่เวลาใด ๆ (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง)

W คือ น้ำหนักของกุ้งที่เวลาใด ๆ (กรัม)

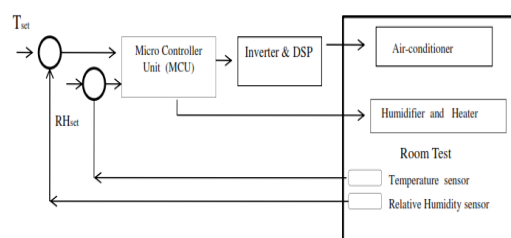
D คือ น้ำหนักแห้งของกุ้ง (กรัม)

การทดสอบคุณภาพทางด้านสีของตัวอย่าง

จะใช้เครื่องวัดสียี่ห้อ Minolta รุ่น CR-400 วัดที่บริเวณพื้นผิวของกุ้งตามระบบ Hunter ซึ่งจะแสดงค่าในรูปแบบตัวแปร L, a และ b โดยที่ค่า L จะแสดงค่าความสว่าง a จะแสดงค่าสีแดงและสีเขียว b จะแสดงค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน ในการทดสอบคุณภาพด้านสีของตัวอย่างนี้จะใช้กุ้ง จำนวน 3 ชิ้นของการอบแห้งแต่ละกรณีต่อการทดสอบ 1 ครั้ง แล้วจึงนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาหาค่าเฉลี่ยและทำการวิเคราะห์ผล



รูปที่ 1 เครื่องปรับอากาศและระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศ



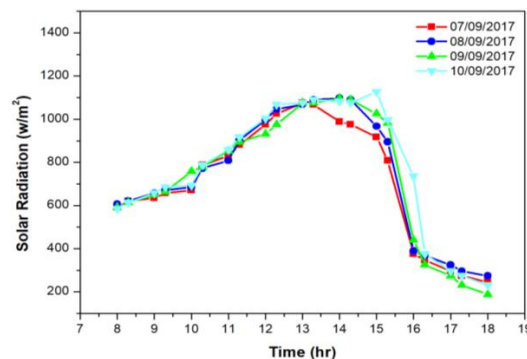
รูปที่ 2 แผนผังการทำงานกับ MCU และอินเวอร์เตอร์ DSP MCU จะวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องและเปรียบเทียบค่ากับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิที่กำหนด ถ้าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้หน่วย MCU จะเปิดคอมเพรสเซอร์จนกว่าอุณหภูมิและความชื้นจะเท่ากับจุดที่ทำการตั้งค่าและความเร็วของคอมเพรสเซอร์ไว้ ความชื้นและอุณหภูมิลดลง เครื่องจะตัดการทำงานเองโดยอัตโนมัติหลังจากนั้นหากความชื้นและอุณหภูมิภายในห้องไม่เป็นไปตามค่าที่ตั้งไว้เครื่องก็จะกลับมาทำงานอีกครั้ง โดยที่จะสั่งให้อัลตราโซนิกทำงานเพื่อเพิ่มปริมาณไอน้ำในอากาศจนกว่าจะถึงจุดที่กำหนด

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกทำการทดลองในวันที่สภาพท้องฟ้าอากาศเป็นปกติไม่มีฝนตก ซึ่งได้ทำการทดลองตั้งแต่วันที่ 8.00 น. ถึง 18.00 น. ซึ่งในการทดลองพบว่าช่วงเวลา 8.00 น. เป็นต้นไปความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเวลาประมาณ 13.00 – 14.00 น. ของแต่ละวันที่ทำการทดลองจะเป็นช่วงเวลาที่ค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด ซึ่งจะมีค่าสูงสุดในวันที่ 10 กันยายน 2560 คือ 1090.0166 วัตต์ต่อตารางเมตร และหลังจากช่วงเวลานี้ไปค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าลดลง โดยความเข้ม

ของรังสีดวงอาทิตย์ที่ลดต่ำลงนี้จะทำให้อุณหภูมิภายในระบบอบแห้งลดต่ำลง ซึ่งไม่เหมาะสมกับการอบแห้งจากภาพที่ 3 จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละวันจะมีค่าที่แตกต่างกันไป



รูปที่ 3 ค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ ระหว่างวันที่ 7 กันยายน – 10 กันยายน 2560

3.2 คุณภาพด้านสี (Color)

จากตารางที่ 1 ซึ่งแสดงคุณภาพด้านสีของการอบแห้งกึ่งแบบต่าง ๆ พบว่าค่าสี L ของการอบแห้งทั้ง 5 กรณีมีค่าอยู่ระหว่าง 32.03 – 35.37 จะสังเกตเห็นว่าการอบแห้งแบบเรือนกระจกร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในทางสถิติ ($p>0.05$) แต่อย่างไรก็ตามการอบแห้งกึ่งทั้ง 5 กรณีนั้นมีค่า L ที่ต่ำกว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกึ่งแห้งที่ขายตามท้องตลาดทั่วไป โดยที่ค่า a ของการอบแห้งทั้ง 5 กรณีมีค่าอยู่ระหว่าง 16.97 – 18.21 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งมีความมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกึ่งแห้งที่ขายตามท้องตลาดซึ่งมีค่าเฉลี่ย 16.57 และในส่วนของค่า b พบว่ากึ่งแห้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งทั้ง 5 กรณีมีค่าอยู่ระหว่าง 17.46 – 18.84 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 1 แสดงคุณภาพด้านสีของการอบแห้งกึ่งแบบต่าง ๆ

เงื่อนไข	สี			ความแข็ง (N)
	L*	a*	b*	
SD	32.03±6.71 ^b	16.97±3.21 ^a	18.25±2.37 ^a	145.45 ^a
GD	33.93±6.61 ^b	17.01±3.11 ^a	18.49±0.71 ^a	146.77 ^a
LD	35.37±5.25 ^b	17.29±3.49 ^a	18.53±0.63 ^a	140.33 ^a
SDCL	32.49±5.34 ^b	17.02±6.44 ^a	18.84±3.72 ^a	148.81 ^a
GDCL	34.51±5.03 ^b	18.12±3.42 ^a	17.46±6.38 ^b	152.49



GM	41.31±2.16 ^a	16.57±1.37 ^b	14.81±0.71 ^b	140.08 ^b
----	-------------------------	-------------------------	-------------------------	---------------------

^{a, b} มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

หมายเหตุ

SD คือ Sun drying

GD คือ Greenhouse drying

LD คือ Low humidity air drying

SDCL คือ Sun drying combined with low humidity air

GDCL คือ Greenhouse drying combined with low humidity air

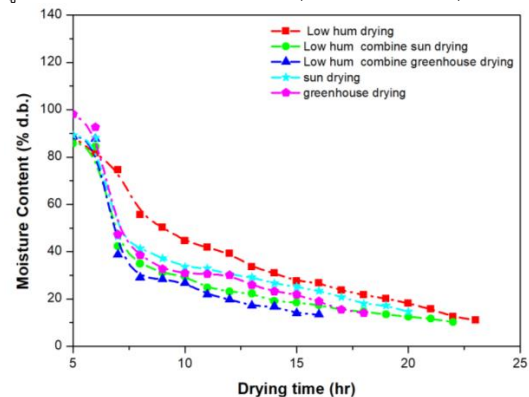
3.3 ค่าความแข็ง (Hardness)

การวัดค่าเนื้อสัมผัสเป็นคุณลักษณะด้านการต้านทานของอาหารต่อสิ่งที่มีกระทำ ซึ่งการอธิบายคุณลักษณะด้านความแข็งขึ้นอยู่กับวิธีการวัดค่า ซึ่งค่าแรงที่แสดงออกมาจะเป็นค่าแรงสูงสุดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวิธีการวัดค่าโดยเฉพาะขนาดของหัววัดและระยะทางที่ทำการวัด ซึ่งในการทดลองวัดครั้งนี้ได้เลือกใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture analyzer โดยเลือกใช้หัววัดโตไปมีขนาดความยาว 10 cm เคลื่อนที่ไปกดตัดชิ้นวัสดุ โดยพิจารณาถึงแรงต้านทานทานสูงสุด (Hardness) ก่อนที่ชิ้นวัสดุจะเกิดการแตกหัก ซึ่งค่าที่อ่านได้จะแสดงอยู่ในรูปของกราฟที่บ่งบอกถึงแรงที่ใช้ในการกดเคลื่อนวัสดุให้หักขาด ซึ่งเปรียบเทียบแรงที่เราใช้ฟันในการกัดชิ้นเนื้อให้ขาด ซึ่งจากตารางที่ 1 แสดงค่าความแข็งของกุ้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งทั้ง 5 กรณี จะพบว่าการอบแห้งแบบเรือนกระจกร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำนั้นมีความแข็งที่มากที่สุดคือ 152.49 N เป็นผลมาจากการที่นำไปอบแบบเรือนกระจกก่อนในเวลากลางวันและนำมาอบแห้งแบบ ความชื้นต่ำในเวลากลางคืน ซึ่งในขั้นตอนนี้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งนั้นมีความสูงจึงทำให้อัตราการระเหยของน้ำเป็นไปด้วยความรวดเร็ว

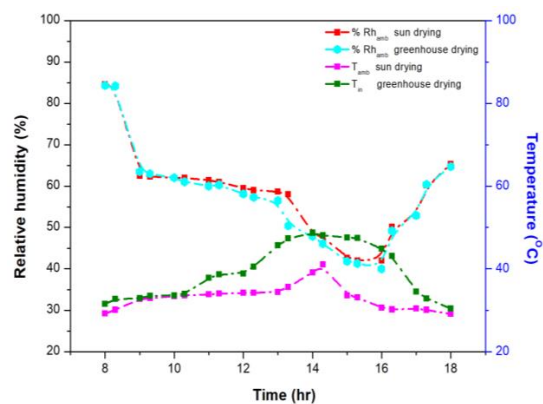
3.4 ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

จากรูปที่ 4 ซึ่งเป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของการอบแห้งแต่ละวิธี พบว่าการอบแห้งแบบเรือนกระจกร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำนั้นจะใช้เวลาในการอบแห้งเพียงแค่ 16 ชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งความชื้นสุดท้ายของกุ้ง คือ 13.41 (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง) การเปลี่ยนแปลงความชื้นของกุ้งระหว่างการอบแห้งแบบเรือนกระจกร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำนั้นจะมีค่าลดลงไว้มาก เนื่องจากในขั้นตอนของการอบแห้งแบบเรือนกระจกนั้นเป็นการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิที่สูง จึงเป็นผลทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจาก

ตัวกลางไปยังผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้อัตราการระเหยน้ำออกจากเนื้อของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นและจากภาพที่ 5 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิ และเวลา ซึ่งพบว่ามีความสอดคล้องกันกับค่าความชื้นของรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของสถานะอากาศแวดล้อมสูงขึ้นความชื้นจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนถึงเวลาหนึ่ง ๆ



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของการอบแห้งแต่ละวิธี



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความชื้น อุณหภูมิ และเวลา

4. สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารอบแห้งแบบเรือนกระจกร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของสถานะและปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งพบว่า การอบแห้งแบบเรือนกระจกร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้น เพียงแค่ 16 ชั่วโมงเท่านั้น ถ้าเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบอื่น ๆ ซึ่งข้อดีของ



การอบแห้งแบบรวมกันนี้ คือ การป้องกันการปนเปื้อนของฝุ่น และการรบกวนของแมลงได้ อีกทั้งยังพบว่าใช้เวลาอบแห้งเพียงไม่นานก็ส่งผลทำให้ความชื้นลดต่ำลงโดยพบว่าความชื้นสุดท้ายของกุ้ง คือ 13.41 (% d.b) สำหรับคุณภาพด้านสีของกุ้งนั้นพบว่ามีความสว่าง คือ 34.51 ± 5.03^b เมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งในแบบอื่น ๆ แล้วพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักในทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับความแข็งของผลิตภัณฑ์ พบว่าการอบแห้งแบบเรือนกระจกร่วมกับการอบแห้งแบบความชื้นต่ำจะมีความแข็งมากที่สุด คือ 152.45 นิวตัน ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิในห้องอบแห้งแบบเรือนกระจกซึ่งมีค่าสูงถึง 48.7 องศาเซลเซียส ณ เวลา 14.00 น. มีผลให้การระเหยน้ำเร็วจึงทำให้เนื้อของกุ้งแข็ง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยการสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนงบประมาณจัดทำโครงการวิจัย (ประจำปี 2560) ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีและมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย

6. บรรณานุกรม

- [1] 2560 ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย แนวโน้ม โอกาสและกลยุทธ์ทางธุรกิจภายใต้การมุ่งสู่การทำประมงอย่างถูกกฎหมายสากล และสอดคล้องกับ Thailand 4.0
- [2] 2559 Thai Frozen Foods Association Thailand Seafood Industry Overview
- [3] 2557 อุตสาหกรรมอาหารทะเลของไทยและสินค้าอาหารทะเลของไทยในตลาดยุโรป สำนักงานส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ ณ กรุงเทพฯ
- [4] 2010 Smith KL and Guentzel JL Mercury concentrations and omega-3 fatty acids in fish and shrimp: preferential consumption for maximum health benefits, marine pollution bulletin 60(9) p.1615-1618
- [5] 2009 S. Janjai, N. Lamlert, P. Intawee, B. Mahayothee, B.K. Bala, M. Nagle, L. Muller, Solar drying of peeled longan using a side loading type solar tunnel dryer: Experimental and simulated performance, Journal Drying technology, Volume 27, p.595-605
- [6] 2006 Kosuke Nagaya, Ying Li, Zhehong Jin, Masahiro Fukumuro, Yoshinori Ando, Atsutoshi Akaishi. Low-temperature desiccant based food drying system with airflow and temperature control, Journal of Food Engineering 75; : p.74-77
- [7] 2553 วาญญู รอดประพัฒน์, ศรีมา แจ้คำ, กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ และวัฒนาภรณ์ นันชัย, Seafood drying using superheated steam สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



สมาชิกเลขที่

.....

ใบสมัครสมาชิกวารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

วันที่สมัคร

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว สกุล

อาชีพ ที่อยู่ (สำหรับจัดส่งวารสาร) เลขที่

เขต/อำเภอ จังหวัด

รหัสไปรษณีย์ โทรศัพท์ โทรสาร

E-mail

มีความประสงค์สมัครเป็นสมาชิก

อัตราค่าสมาชิก

 วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ปี

1 ปี 3 ฉบับ 500 บาท (สำหรับสมาชิกสมาคมฯ)

700 บาท (สำหรับนักศึกษา และบุคคลทั่วไป)

 ต่ออายุสมาชิก ปี

1 ปี 3 ฉบับ 500 บาท (สำหรับบุคคลทั่วไป)

700 บาท (สำหรับนักศึกษา และบุคคลทั่วไป)

พร้อมกันนี้ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน บาท

จำนวนเงินตัวอักษร

ชำระเงินโดยวิธี โอนเงินผ่านบัญชี ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด (มหาชน) สาขา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประเภทบัญชี ออมทรัพย์ ชื่อบัญชี สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน เลขที่บัญชี 453-1-38153-5

หมายเหตุ 1. กรุณาส่งสำเนาใบเข้าบัญชี (pay-in-slip) หรือส่งโทรสารมายังสำนักงาน

สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย พร้อมเขียน - นามสกุล และหมายเลขสมาชิก (ถ้ามี)

2. นักศึกษาที่สมัครทางไปรษณีย์ กรุณาส่งสำเนาบัตรประจำตัวนักศึกษาแนบมาด้วย

ลงชื่อ ผู้สมัคร

(.....)

สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

Thailand Renewable Energy for Community Association (TRECA)

39 หมู่ที่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110

โทรศัพท์/โทรสาร 02-549-3497 , E-mail : treca.2012@gmail.com

**แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ
เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**

ข้าพเจ้า นาย นาง นางสาว อื่นๆ (โปรดระบุ).....

ชื่อ-สกุล.....

(ภาษาอังกฤษ).....

ตำแหน่งทางวิชาการ (โปรดระบุ) ศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

อื่นๆ(โปรดระบุ).....

ที่อยู่ (ที่ติดต่อได้).....

โทรศัพท์ที่ทำงาน..... โทรศัพท์มือถือ.....

โทรสาร..... อีเมล.....

มีความประสงค์ขอส่งบทความเรื่อง :

ชื่อบทความ (ภาษาไทย).....

ชื่อบทความ(ภาษาอังกฤษ).....

การตรวจสอบ

ทำการลงทะเบียน และ ส่งวารสารต้นฉบับใน

<http://www.reca.or.th/> เรียบร้อยแล้ว

วันที่ ส่งวารสารต้นฉบับ เข้าสู่ระบบออนไลน์.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า บทความนี้เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามที่ระบุไว้ในบทความ
จริงและบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และข้าพเจ้าจะไม่นำส่งบทความนี้ไปพิจารณา
ตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน นับจากวันที่ข้าพเจ้าส่งบทความ

ลงนาม.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.



J-REC BY

THAILAND RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY ASSOCIATION (TRECA)