



# วารสารวิชาการ พลังงานทดแทนสู่ชุมชน

ปีที่ 1 ฉบับที่ 3 เดือน กันยายน - ธันวาคม 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](http://www.reca.or.th)

### วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

พิมพ์ออกเผยแพร่ 3 ฉบับต่อปี ตั้งแต่ เดือนมกราคม-เมษายน พฤษภาคมสิงหาคม และ กันยายนธันวาคม  
ติดต่อขอรับเป็นสมาชิกได้โดยตรงที่สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

### พิมพ์ที่บริษัท ทริปเพิ้ล กรุ๊ป จำกัด

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

## วัตถุประสงค์สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

1. ส่งเสริมความร่วมมือทางด้านวิชาการระหว่างภาครัฐและภาคประชาชน ในด้านพลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชนต่างๆ ในประเทศไทย
2. จัดหาทุน เพื่อสนับสนุนการศึกษา วิจัย ฝึกอบรม การดำเนินโครงการด้านพลังงานทดแทนให้กับภาครัฐและภาคประชาชน
3. ไม่ดำเนินการส่งเสริมและพัฒนากิจกรรมใดๆ ที่มุ่งไปสู่การดำเนินงานทางการเมือง
4. ไม่ดำเนินการให้มีการกระทำการอันผิดต่อขนบธรรมเนียมและจารีตประเพณีที่ดีของสังคมไทย

## หลักการและเหตุผล

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

## จุดมุ่งหมายสำคัญ

คือการทำงานกันทั้งส่วนภาครัฐและประชาชนในการใช้พลังงานทดแทน 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 โยนรินทร์  
ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์  
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช  
รองศาสตราจารย์ ดร.อิสริยยั ทรรษาจรรยาโรจน์  
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 ยั้งพลพันธ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญย์ฤทธิ์ ประสาทแก้ว  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ เรืองวารี  
อาจารย์สมควร แวดดี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย มณีวรรณ  
ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรศักดิ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวดศักดิ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปรีชา ศรีประภาคาร  
ดร.อำพล อาภาธนากร  
ดร.ภาสวรรณ วัชรดำรงศักดิ์  
ดร.พิสิษฐ มณีโชติ  
หม่อมหลวงลือศักดิ์ จักรพันธ์  
นายพิเนตร พรวิจิธารังค์  
นายสุภิตเดช แก้วศรีสด  
และสมาชิกสามัญสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
ที่ปรึกษาสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
ที่ปรึกษาสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
ที่ปรึกษาสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
ที่ปรึกษาสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
เลขาธิการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
กรรมการสมาคมฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
กรรมการสมาคมฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
กรรมการสมาคมฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
กรรมการสมาคมฯ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
กรรมการและประชาสัมพันธ์สมาคมฯ  
อุปนายกภาคใต้  
อุปนายกภาคตะวันออกเฉียงเหนือ  
อุปนายกภาคกลาง  
อุปนายกภาคเหนือตอนบน  
อุปนายกภาคเหนือตอนล่าง  
อุปนายกภาคตะวันออก  
ปลุกิคมสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย  
นายทะเบียนสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย



ดร.นันทพันธ์ นภัทรานันท์  
ดร.พลกฤษณ์ คล้ายวิตภัทร  
ดร.รวมพร นิคม  
ดร.โชคชัย เหมือนมาศ  
รองศาสตราจารย์ ดร.สมรักษ์ เกิดสุวรรณ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ นิลฝั่ง  
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.ศิริระ สายศรี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูรัตน์ ธารารักษ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี  
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นำผล  
ดร.สมมาส แก้วล้วน  
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ภูริระวณิษฐ์กุล  
ดร.เกียรติศักดิ์ เล็งช่วย  
ดร.วาริช วีระพันธ์  
รองศาสตราจารย์ ดร.วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปรีชา ศรีประภาคาร  
รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณุช แจงสว่าง  
ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรศักดิ์  
ดร.สุรัชย์ ณัฐจันทร์ศรี  
  
ดร.ชยานนท์ สวัสดิ์นันทนา  
  
ดร.หทัยทิพย์ สีนุธยา  
  
ดร.ณัฐยา ตันตราภรณ์  
  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพันธ์ ตัวทองสุข  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อชิตพล ศศิธรานุวัฒน์

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  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์  
มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

.....

## บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ฉบับที่ 3 นี้ เป็นงานทางวิชาการโดยความร่วมมือของเครือข่ายสมาชิกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (TRECA) วารสารฉบับนี้เป็นเนื้อหาของบทความทางวิชาการที่มุ่งสร้างผลงานที่เด่นทางด้านวิจัย และมุ่งสู่การใช้งานจริง ซึ่งได้รวบรวมความรู้ทางวิชาการที่สามารถถ่ายทอดให้แก่สังคมทางด้านพลังงานทดแทน ในสาขาต่างๆ เพื่อให้วารสารนี้เป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนวิชาการ และแนวความคิดในแวดวงวิชาการทั้งผู้วิจัย และผู้ใช้งาน อันเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างผลงานทางวิชาการสู่ชุมชนและสังคม โดยดำรงไว้ซึ่งความเป็นตัวตนทางวิชาการของผู้เขียนและวัตถุประสงค์ของสมาคมฯ ที่ทรงคุณค่า บทความในวารสารฉบับที่ 3 นี้ มีจำนวนทั้งสิ้น 10 บทความ ซึ่งในแต่ละบทความมีความเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันของรูปแบบพลังงานทดแทนต่างๆ ครอบคลุมกระบวนการในการวิจัยและการศึกษาสู่ภาคการใช้งาน ผู้อ่านจะได้รับความรู้ที่หลากหลายจากการอ่านวารสารฉบับนี้ ในแนวทางที่จะจุดประกายความคิด หรือการต่อยอดความคิดทางด้านพลังงานทดแทนสาขาต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การอ่านอย่างวิพากษ์ และตั้งคำถาม เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนในทางวิชาการอย่างสร้างสรรค์ อันจะช่วยให้ความรู้ และความคิดเดิมถูกแพร่ขยายออกไปได้อย่างกว้างขวาง อีกทั้งให้วารสารฉบับนี้ เป็นแหล่งความรู้ในทุกระดับภาคส่วนของทุกคนในสังคมไทย โดยไม่ยึดติดตนเอง และอยู่กับความรู้ความคิดเพียงบางมุมบางด้านเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เขียน และผู้อ่านมีความเป็นตัวตนทางวิชาการที่พร้อมจะพัฒนาตนเองอยู่เสมออย่างไม่หยุดนิ่ง และท้ายที่สุดแล้วความรู้ความคิดที่ถูกต่อขยายออกไปนั้น ก็จะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนกระบวนทัศน์ทางความคิดของสังคม และชุมชนอย่างกว้างขวาง อันจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางวิชาการของสังคมเพื่อความยั่งยืนของประเทศชาติ

กองบรรณาธิการขอขอบพระคุณคณะทำงานทุกท่าน คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิชาการ และทุกภาคส่วนที่ได้สละเวลาอันมีค่าอ่านบทความ เพื่อความถูกต้องทางวิชาการ และเป็นวารสารที่ดีต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งนี้หากผู้อ่านมีความประสงค์จะตีพิมพ์บทความสามารถขอความกรุณาโปรดจัดเตรียมต้นฉบับให้เป็นไปตามรูปแบบของวารสารและส่งบทความทางออนไลน์ที่ [www.reca.or.th](http://www.reca.or.th) เพื่อการพิจารณาและตีพิมพ์ในวารสารฉบับต่อไป

กองบรรณาธิการ

สารบัญ	หน้า
<p><b>ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบผสมผสานเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายและเก็บสะสมพลังงาน: กรณีศึกษาติดตั้งบนหลังคามัสยิดตลาดใต้</b></p> <p>The 3 kWp Hybrid Solar Grid Connected and Energy Storage Power System: Study Case Installed on the Taladtai Mosque Roof.</p> <p>พงษ์ศักดิ์ มะขามป้อม, จอมภพ แววศักดิ์, ชนะ จันทรฉ่ำ, สมพล ชีวมงคลกานต์ และปราณี หนูทองแก้ว</p>	9
<p><b>สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริการจากโปรแกรม PVsyst และติดตั้งจริงบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง จังหวัดพัทลุง</b></p> <p>Performance of PVsyst program of 3.5 kWp Grid Connected Solar Rooftop PV System at Sin Prae Thong Learning Center in Phatthalung Province</p> <p>ณัฐกร สุวรรณโณ, จอมภพ แววศักดิ์, ชนะ จันทรฉ่ำ, สมพล ชีวมงคลกานต์, และปราณี หนูทองแก้ว</p>	16
<p><b>การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะม่วงมหาชนกอบแห้งโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาล โดยเทคนิคการอบแห้งแบบปรับลดอุณหภูมิลมร้อน</b></p> <p>Product Development of Dried Mahachanok Mango without Sugar Added Using Step-down Hot Air Drying Technique</p> <p>ศรัณย์ ศักดิ์สุวรรณ, อติศักดิ์ นาถกรณกุล และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์</p>	21
<p><b>สภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาของน้ำมันยางนาและเอทานอลในการผลิตไบโอดีเซล</b></p> <p>The optimum conditions for reaction of Yangna oil and ethanol in biodiesel production</p> <p>ปรียา แก้วนารี, นงนรินทร์ รัตนวงศ์ และไพโรจน์ วงศ์นายโกฏ</p>	25
<p><b>ผลของการกวนที่มีต่อการเจริญและการผลิตน้ำมันของสาหร่ายคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอล ภายใต้แสงจากสารกึ่งตัวนำเรืองแสงแอลอีดี (LED)</b></p> <p>The effect of agitation on biomass and oil of Chlorella vulgaris cultured in wastewater from the ethanol distillation process under the light emitted diode (LED)</p> <p>เพลินพิศ แจ้งโพธิ์นาค, หนึ่งฤทัย วงเวียน และปรียา แก้วนารี</p>	31



สารบัญ	หน้า
<p><b>ผลของสมรรถนะที่กระทำต่อกังหันแบบแรงกระแทกของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ ที่ต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์และแบบเดลต้าสำหรับเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กมาก</b></p> <p>The Effect of Performance on Impulse Turbine of Automotive Alternator from Star and Delta Stator Windings for Micro Hydro Power Generator</p> <p>ศรีธร อุปคำ, จิรศักดิ์ ปัญญา, จักรพันธ์ เมฆจันทร์สม, ดุลยรัตน์ ไชยโชติวัฒน์ และ ปกรณ์ อินทร์ไชย</p>	38
<p><b>การส่งเสริมชุมชนเพื่อการเรียนรู้ผลกระทบระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร บ้านคำปากดาว ต.คำแคน อ.มัญจาคีรี จ.ขอนแก่น</b></p> <p>The Impact of Learning Community Promotion of Biogas Pipeline System Ban Kham Pak Dao, Kham Khaen Village, Manchakhiri District, Khon Kaen Province</p> <p>วุฒิศาสตร์ โชคเกื้อ, อภิชาติ คงแป้น, รุจิรา ทะนงกิจ และศาศตรา ศิริแก้ว</p>	43
<p><b>ศักยภาพการใช้เครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนในโรงงานผลิตอาหาร</b></p> <p>The potential of using absorption chiller in a food industry</p> <p>กิจชัย เพ็ชรวารวิทย์ และอภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ</p>	49
<p><b>การประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพสำหรับแผนพัฒนาพลังงานชุมชนของภาคใต้</b></p> <p>Assessment of Biomass and Biogas Energy Potential for Community Energy Development Plan of Southern Thailand</p> <p>สุวิทย์ เพชรห้วยลึก</p>	55
<p><b>การศึกษาการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากประยุกต์ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องซักผ้า</b></p> <p>Study of Generating Electric Generator from Electric Motor of Washing Machine</p> <p>ประสิทธิ์ มงคลเกษตร, จิตกรณณ์ เพชรภักดี และธีรศาสตร์ คณาศรี</p>	65



ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบผสมผสานเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายและเก็บสะสมพลังงาน: กรณีศึกษาติดตั้งบนหลังคามัสยิดตลาดใต้

The 3 kWp Hybrid Solar Grid Connected and Energy Storage Power System: Study Case Installed on the Taladtai Mosque Roof.

พงษ์ศักดิ์ มะขามป้อม<sup>1</sup> จอมภพ แวศักดิ์<sup>2</sup>, ชนะ จันทร์น้า<sup>3</sup> สมพล ชิวมงคลกานต์<sup>4</sup> และ ปราณี หนูทองแก้ว<sup>4</sup>

Pongsak Makhampom<sup>1</sup> Jompob Waewsak<sup>2</sup> Chana ChanCham<sup>3</sup> Sompol Chewamongkolkarn<sup>4</sup> and Pranee Nutongkaew<sup>5</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210 2

<sup>2</sup>สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210 3

<sup>3</sup>ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210 1

<sup>1</sup>Department of Energy Engineering Faculty of Engineering Thaksin University Phatthalung 93210 2

<sup>2</sup>Department of Physics Faculty of Science Thaksin University Phatthalung 93210 3

<sup>3</sup>Research Center in Energy and Environment Thaksin University Phatthalung 93210

## บทคัดย่อ

การศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์สุริยะแบบติดตั้งบนหลังคาแบบจำลอง PVSystem: กรณีศึกษาติดตั้งบนหลังคามัสยิดตลาดใต้ ได้อาศัยการเก็บข้อมูลจริงจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และจำลองแบบจากโปรแกรม PVSystem โดยอาศัยข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากฐานข้อมูล NASA เพื่อประเมินสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะที่ติดตั้งบนหลังคามัสยิดตลาดใต้ ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.0 kWp โดยระบบที่ติดตั้งเป็นแบบ แบบอิสระ ซึ่งพลังงานที่ได้ถูกกักเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าต่อไป ผลการจากจำลองเชื่อมต่อกับระบบกับระบบแสงสว่างทั้งหมดของมัสยิดตลาดใต้พบว่าระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 5,215 kWh โดยแบตเตอรี่สามารถกักเก็บพลังงานไว้ได้ 2,705 kWh และจากพลังงานที่กักเก็บได้นี้มีการนำมาใช้งานในระบบเพียง 1,612 kWh ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะนี้สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอต่อระบบแสงสว่างของมัสยิดตลาดใต้ แต่จากการเก็บข้อมูลในพบว่าการใช้ไฟฟ้าของมัสยิดตลาดใต้มีการใช้ไฟฟ้า 761 kWh/ปี คิดเป็น 47.21% ของแบบจำลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การผลิตไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพียงพอต่อการใช้กับระบบแสงสว่างภายในมัสยิดตลาดใต้ และจากการใช้ไฟฟ้าของระบบทั้งจากแบบจำลองและการใช้งานจริง 0.91 tonCO<sub>2</sub>eq /year และ 0.43 tonCO<sub>2</sub>eq /year ตามลำดับ ซึ่งค่าการปลดปล่อย CO<sub>2</sub> จากการใช้งานจริงมีค่าน้อยกว่าแบบจำลอง 47.21% และจากงานวิจัยพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสถานที่ราชการหรือสถานที่เอกชนที่มีการใช้ไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกันได้ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณค่าไฟฟ้าของสถานที่นั้นๆ ได้ ทั้งนี้ถ้าหากนำไปใช้กับสถานที่ที่มี



การใช้ไฟฟ้าที่มากกว่าหรือน้อยกว่า ต้องมีการปรับเปลี่ยนระบบให้ตรงกับความต้องการใช้ไฟฟ้าในสถานที่นั้นๆ

**คำสำคัญ:** พลังงานแสงอาทิตย์, ระบบเซลล์สุริยะแบบติดตั้งบนหลังคา, PVSyst

#### Abstract

This paper aims to study the comparison of performance of electricity generated from solar rooftop system with PVSyst simulation model: study case installed on the Taladtai mosque rooftop. The actual data and simulation data from PVSyst program are used solar radiation data from NASA data based. The assessment performance of the solar rooftop generated on Taladtai mosque roof at install capacity 3 kWp. The system is installed by stand-alone system that including of battery stores and the grid connect to lighting system. The result found that the system can generate energy 5,215 kWh and batteries can store the energy 2,705 kWh. Although Taladtai Mosque consume the electrical power amount 1,612 kWh. The simulation data showed the energy generation from solar rooftop system is enough to use for lighting in Taladtai Mosque. The electrical power for Lighting system is around 761 kWh or 47.21% of simulation data. The solar rooftop system electrical power is enough to supply lighting system Taladtai Mosque. Taladtai Mosque can avoid CO<sub>2</sub> emission about 0.91 tonCO<sub>2</sub>eq /year of simulation model and the actual system can avoid CO<sub>2</sub> emission about 0.43 tonCO<sub>2</sub>eq /year or 47.21% of simulation model. Finally, the solar rooftop system can be installed to official place or private place at place use electrical to equal or nearby Taladtai Mosque. In order to apply the solar rooftop system as Taladtai Mosque model to other public building or private build have to adjust by mean of Taladtai Mosque model to archive each objective.

**Keyword:** Solar Energy, Solar rooftop system, PVSyst



## 1. บทนำ

ปัจจุบันกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ได้กำหนดเป้าหมายการส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตไฟฟ้า 3,000 MW และกำลังจัดทำแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า (PDP) โดยมีแผนที่จะส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็น 6,000 MW [1] นอกจากนี้เซลล์สุริยะได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นและมีเทคโนโลยีหลากหลายให้เลือกใช้งานมากขึ้น ประกอบกับต้นทุนเซลล์สุริยะลดลงเป็นอย่างมากในช่วงห้าปีที่ผ่านมาทำให้การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอาศัยเซลล์สุริยะกำลังเป็นที่นิยม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีศักยภาพหรือความเข้มรังสีอาทิตย์สูง ซึ่งประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์ประมาณ 18 MJ/m<sup>2</sup>/day อย่างไรก็ตามพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยมีความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศไทย โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 16 MJ/m<sup>2</sup>/day [2] เนื่องจากสภาพภูมิอากาศที่มีความชื้นและละอองน้ำตามปัจจัยฤดูกาล ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอาศัยเซลล์สุริยะอาจจะทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าพื้นที่อื่นๆ ของประเทศ รวมทั้งสมรรถนะก็อาจจะมีค่าต่ำกว่าพื้นที่ภาคอื่นๆ ของประเทศไทย และสำหรับโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 0.5661 tCO<sub>2</sub>/MWh ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ โครงการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (Baseline Emission) [3] อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้นทุนแผงเซลล์สุริยะมีค่าลดลงซึ่งนับเป็นโอกาสอันดีที่จะนำเซลล์สุริยะมาผลิตไฟฟ้าในพื้นที่จังหวัดทางภาคใต้ของ

ประเทศไทยซึ่งถือว่าเป็นพื้นที่ที่มีศักยภาพของรังสีอาทิตย์ไม่สูงมากเพื่อสาธิตให้เห็นถึงการใช้งานและใช้ประโยชน์จากการผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะ หากผลการประเมินสมรรถนะและผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานออกมาเป็นที่น่าพึงพอใจก็จะสามารถยืนยันได้ถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะต่อไป ซึ่งจะทำได้ทั้งส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าให้กับหน่วยงานภาครัฐและเอกชนได้ต่อไป

## 2. วิธีการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา พื้นที่ติดตั้ง มัสยิดตลาดใต้ ต.ปริก อ.สะเตา จ.สงขลา ตั้งอยู่ที่พิกัด 6.708188 N, 100.443796 E

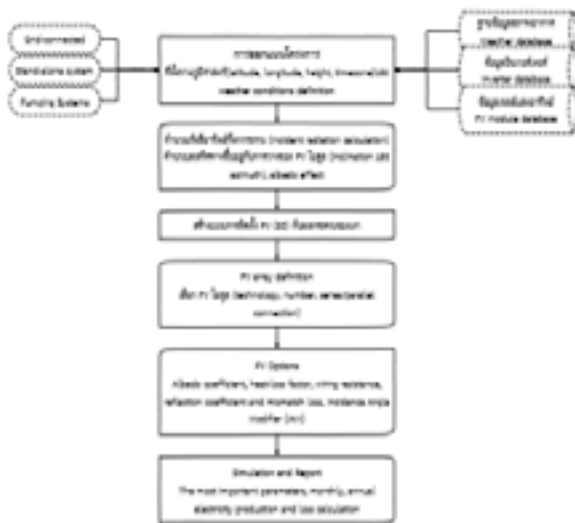
ภาพที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งของมัสยิดตลาดใต้



## 3. วิธีดำเนินการ

การดำเนินงานวิจัยได้รับความร่วมมือระหว่างนักวิจัยผู้นำมัสยิดตลาดใต้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและผู้นำชุมชน เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับความเป็นมาและรายละเอียดโครงการ ในการออกแบบระบบของพลังงานเซลล์สุริยะจำเป็นต้องมีการสำรวจปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างของมัสยิดตลาดใต้ ข้อมูลที่ได้จะนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการจำลองโดยใช้โปรแกรม PVSystem หลังจาก

นั้นทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างและปริมาณค่าการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอน [3,4] ระหว่างแบบจำลองและจากที่ใช้จริง ซึ่งขั้นตอนการใช้โปรแกรม PVSyst แสดงดังภาพที่ 2 และค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานไฟฟ้าคำนวณได้จาก  $CO_2 \text{ eq emission} = \text{Emission Factor (kgCO}_2\text{/kWh)} \times \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)}$  [4] โดยค่า Emission Factor เท่ากับ  $0.5661 \text{ tCO}_2\text{/MWh}$



ภาพที่ 2 การประมวลผลโดยอาศัยโปรแกรม PVSyst

## 4. ผลการศึกษา

### 4.1 การออกแบบและวิเคราะห์ขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะ

ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะบนหลังคามัธยมศึกษาตอนต้นได้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำพลังงานที่ได้มาใช้ในระบบแสงสว่างของมัธยม ซึ่งเป็นระบบหลักที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดในมัธยม โดย

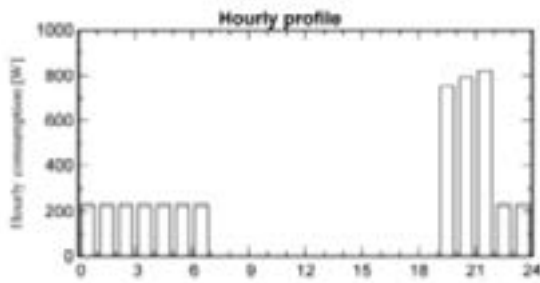
จากการสำรวจระบบแสงสว่างในมัธยมพบว่า มีการใช้พลังงานในแต่ละวันประมาณ 4.44 kWh โดยแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 1 และการใช้ไฟฟ้าเพื่อระบบแสงสว่างของมัธยมศึกษาตอนต้นได้ดังภาพที่ 3

ตารางที่ 1 การใช้พลังงานในระบบแสงสว่างของมัธยมศึกษาตอนต้น

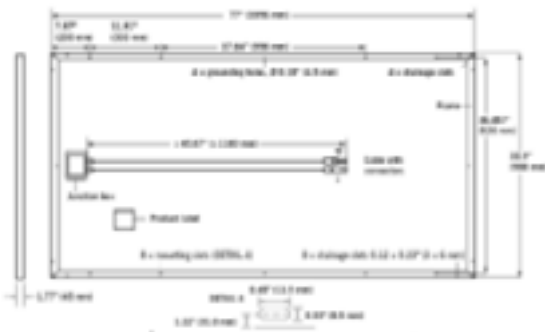
อุปกรณ์แสงสว่าง	Watt	จำนวน	ช่วงเวลาใช้งาน (ชม.)	ปริมาณการใช้ (kWh/Day)
โคมอาคาร	40	6	19:00-21:00 (3)	720
โคม	15	1	19:00-21:00 (3)	450
โคม	15	15	19:00-06:00 (11)	2,475
โคมเฝ้าตัดไม้	15	17	19:00-21:00 (3)	765
โคมแนวป่า	11	1	19:00-21:00 (3)	33
รวม				4,443

### 4.2 การประเมินโครงสร้างหลังคาในการรับน้ำหนักการติดตั้งเซลล์สุริยะ

สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์สุริยะบนหลังคามัธยมศึกษาตอนต้นนั้น ได้ติดตั้งในตำแหน่งที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ดี ตลอดทั้งวัน ตลอดทั้งปี และไม่มีสิ่งปลูกสร้างหรือสิ่งของอื่นใดมาบังแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน โดยติดตั้งให้ด้านหน้าของแผงเซลล์สุริยะหันไปทางทิศใต้ และแผงเซลล์เอียงเป็นมุมประมาณ 10-15 องศากับพื้นโลก สำหรับชนิดของหลังคามัธยมที่ติดตั้งแผงเซลล์สุริยะเป็นหลังคากระเบื้อง โดยแผงเซลล์สุริยะ ที่ติดตั้งมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 300 W มีขนาดประมาณ  $1.956 \text{ m} \times 0.988 \text{ m}$  มีน้ำหนักประมาณ 27 kg ต่อแผงแผงมีพื้นที่  $1.94 \text{ m}^2$  ดังนั้นแผงจึงมีน้ำหนักประมาณ  $13.92 \text{ kg/m}^2$  จึงไม่มีปัญหาในการติดตั้งบนหลังคามัธยม โดยรายละเอียดแผงเซลล์สุริยะแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 โปรไฟล์การใช้พลังงานในระบบแสงสว่างของมัสยิดตลาดใต้

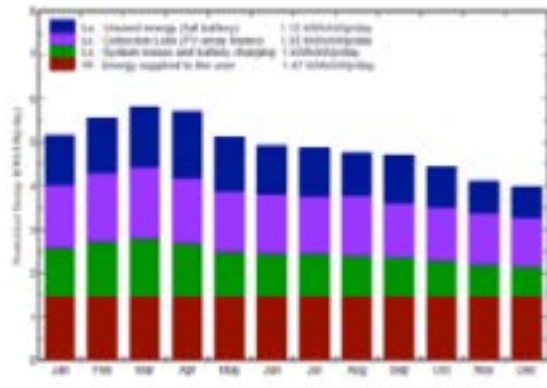


ภาพที่ 4 คุณลักษณะของแผงเซลล์สุริยะ

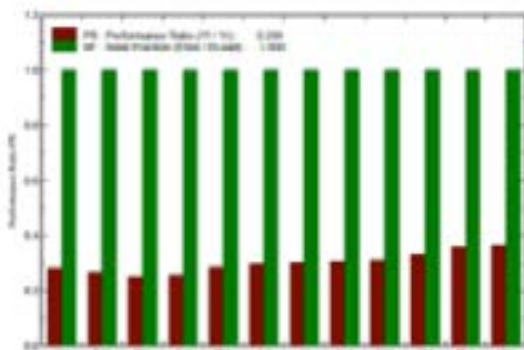
#### 4.3 การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3 kWp

ในการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะได้อาศัยการจำลองแบบจากโปรแกรม PVsyst โดยอาศัยความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมจากฐานข้อมูลองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (NASA) และฐานข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) เพื่อประเมินสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะที่ติดตั้งบนหลังคามัสยิดตลาดใต้ ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.0 kWp โดยจำลองการเชื่อมต่อกับระบบกับระบบแสงสว่าง

ทั้งหมดของมัสยิดตลาดใต้พบว่า การผลิตพลังงานที่กำลังการผลิตติดตั้งต่อกิโลวัตต์สูงสุดที่กำลังการผลิตติดตั้ง 3 kWp แสดงดังภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าพลังงานที่ผลิตได้ต่อวันจะมีค่าเกิน 5 kWh/kWp/day จะอยู่ในช่วงเดือน มกราคม-พฤษภาคม



ภาพที่ 5 พลังงานที่ผลิตได้ต่อวันรายเดือน



ภาพที่ 6 ประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะ

สำหรับประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานของระบบจากการจำลองแบบ โดยใช้ PVsyst พบว่า ประสิทธิภาพระบบเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 29.9% และแผงเซลล์สุริยะมีประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 100% โดยแสดงประสิทธิภาพรายเดือนของ แผงเซลล์สุริยะและระบบดังภาพที่ 6 และภาพที่ 7 แสดงการสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะ ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบ



สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 5,215 kWh โดยแบตเตอรี่สามารถกักเก็บพลังงานไว้ได้ 2,705 kWh คิดเป็นร้อยละ 97.3 ของความสามารถในการกักเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ ซึ่งจากพลังงานที่กักเก็บได้นี้มีการนำมาใช้งานในระบบเพียง 1,612 kWh ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะนี้สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอกับระบบแสงสว่างของ มัสยิดตลาดใต้ และเมื่อคำนวณปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์พบว่าแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ปลดปล่อย CO<sub>2</sub> จากการใช้ไฟฟ้าของระบบ 0.91 ton CO<sub>2</sub>eq /year

#### 4.4 ข้อมูลจากการเก็บบันทึกหน่วยไฟฟ้าจากการใช้งานเพื่อระบบแสงสว่าง

การเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูลในระยะเวลา ระหว่างวันที่ 12 เดือนสิงหาคม พ.ศ.2559 ถึง วันที่ 28 เดือนสิงหาคม พ.ศ.2559 พบว่ามัสยิดตลาดใต้ใช้ไฟฟ้าเพื่อแสงสว่างจากพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด 761 kWh/year ดังภาพที่ 8 และปริมาณการใช้ไฟฟ้าเท่า 1.89 kWh/day คิดเป็น 47.21% ของแบบจำลอง จากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าการตรวจวัดและข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากการจำลองพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการจำลองเท่ากับ 52.79% และเมื่อคำนวณปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้ไฟฟ้าของระบบพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ปลดปล่อย CO<sub>2</sub> เท่ากับ 0.43 tonCO<sub>2</sub>eq /year ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแบบจำลอง 47.21 %

#### 5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาและเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์สุริยะแบบติดตั้งบนหลังคาแบบจำลอง

PVSyst: กรณีศึกษาติดตั้งบนหลังคามัสยิดตลาดใต้ได้ อาศัยการเก็บข้อมูลจริงจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และจำลองแบบจากโปรแกรม PVSyst โดยอาศัยข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากฐานข้อมูล NASA เพื่อประเมินสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะที่ติดตั้งบนหลังคามัสยิดตลาดใต้ ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.0 กิโลวัตต์สูงสุด โดยระบบที่ติดตั้งเป็นแบบ Stand Alone ซึ่งพลังงานที่ได้จากถูกกักเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายให้กับภาระโหลดต่อไป ผลการจากจำลองเชื่อมต่อกับ ระบบกับโหลดแสงสว่างทั้งหมดของมัสยิดตลาดใต้พบว่า ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 5,215 kWh โดยแบตเตอรี่สามารถกักเก็บพลังงานไว้ได้ 2,705 kWh ซึ่งจากพลังงานที่กักเก็บได้นี้มีการนำมาใช้งานในระบบเพียง 1,612 kWh และ จากการเก็บข้อมูลในพบว่าการใช้ไฟฟ้าของมัสยิดตลาดใต้มีการใช้ไฟฟ้า 761 kWh/ปี คิดเป็น 47.21% ของแบบจำลองจากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าการตรวจวัดและข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากการจำลองพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการจำลองเท่ากับ 52.79% แต่การผลิตไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพียงพอต่อการใช้กับระบบแสงสว่างภายในมัสยิดตลาดใต้ และเมื่อคำนวณปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์พบว่าแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ปลดปล่อย CO<sub>2</sub> จากการใช้ไฟฟ้าของระบบทั้งจากแบบจำลองและการใช้งานจริง 0.91 tonCO<sub>2</sub>eq /year และ 0.43 tonCO<sub>2</sub>eq /year ตามลำดับ ซึ่งค่าการปลดปล่อย CO<sub>2</sub> จากการใช้งานจริงมีค่าน้อยกว่าแบบจำลอง 47.21% ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสถานที่ราชการหรือ



สถานที่เอกชนที่มีการใช้ไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกันได้ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณค่าไฟฟ้าของสถานที่นั้นๆ ได้ ทั้งนี้ถ้าหากนำไปใช้กับสถานที่ที่มีการใช้ไฟฟ้าที่มากกว่าหรือน้อยกว่า ต้องมีการปรับเปลี่ยนระบบให้ตรงกับความเหมาะสมต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าในสถานที่นั้นๆ



ภาพที่ 7 การสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะ



ภาพที่ 8 การสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะ

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมัศยิตตลาดใต้และเทศบาลตำบลปริก อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา ที่อำนวยความสะดวก

สะดวกและให้ความร่วมมือในการจัดทำโครงการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่อำนวยความสะดวกด้านบุคลากรและเครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

## 6. อ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน. (2556). โซลาร์ รูฟท็อป พลังงานทางเลือกดาวรุ่ง. สืบค้นจาก <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/185> เมื่อ 20 มกราคม 2559.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน. (2559). คู่มือการพัฒนาและการลงทุน ผลิตพลังงานทดแทน สืบค้นจาก [http://www.dede.go.th/article\\_attach/h\\_solar.pdf](http://www.dede.go.th/article_attach/h_solar.pdf)
- [3] สำนักวิเคราะห์และติดตามประเมินผล องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2557). การศึกษาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2557. สืบค้นจาก [http://tver.tgo.or.th/2015/file/download/Grid\\_Emission\\_Factor\\_124.pdf](http://tver.tgo.or.th/2015/file/download/Grid_Emission_Factor_124.pdf)
- [4] หทัยรัตน์ ปาลาศ. (2558). การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานไฟฟ้าในสำนักงานคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร สืบค้นจาก [http://www.agi.nu.ac.th/nred/Document/is-PDF/2558/nre\\_2558\\_018\\_FullPaper](http://www.agi.nu.ac.th/nred/Document/is-PDF/2558/nre_2558_018_FullPaper).





สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริการจากโปรแกรม PVsyst  
และติดตั้งจริงบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด

ศูนย์การเรียนรู้สิรินธรแพรวทอง จังหวัดพัทลุง

Performance of PVsyst program of 3.5 kWp Grid Connected Solar Rooftop PV  
System at Sin Prae Thong Learning Center in Phatthalung Province

ณัฐกร สุวรรณโณ<sup>1\*</sup> จอมภพ แวศักดิ์<sup>2</sup> ชนะ จันทร์น้ำ<sup>3</sup> สมพล ชิวมมงคลกานต์<sup>3</sup> และปราณี หนูทองแก้ว<sup>3</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

<sup>2</sup> สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

<sup>2,3</sup> ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210) จังหวัด รัศมีประชานิยม

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริการที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สิรินธรแพรวทอง ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง โดยใช้การจำลองแบบจากโปรแกรม PVsyst V6.29 ซึ่งอาศัยฐานข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์จากองค์การบริหาร การบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) ผลจากการจำลองสำหรับการผลิตพลังงานของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บน หลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ผลจากการจำลองแบบโดยใช้โปรแกรม PVsyst และผลจากการเก็บข้อมูลจริง พบว่าค่าพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานที่เข้าสู่ระบบกริดนั้นเกิดการสูญเสียจากระบบ โดยพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์รายปีมีค่า 5,553.8 kWh ในขณะที่พลังงานที่เข้าสู่ระบบกริดรายปีมีค่า 5,538.3 kWh เกิดการสูญเสีย (Loss) 15.5 kWh และผลจากการเก็บข้อมูลจริงพบว่าค่าพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์รายปี มีค่า 5,117 kWh ในขณะที่พลังงานที่เข้าสู่ระบบกริดรายปีมีค่า 4,932 kWh เกิดการสูญเสีย (Loss) 185 kWh โดยระบบมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปีร้อยละ 79.8 จากแบบจำลอง และระบบมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปีร้อยละ 84.2 จากข้อมูลจริง

**คำหลัก:** พลังงานแสงอาทิตย์, ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์, PVsyst

### Abstract

The aim of this paper is to evaluate the performance of a 3.5 kWp grid connected solar rooftop that installed at Sin Prae Thong learning center in Phatthalung province. PVsyst V6. 29 is applied along with NASA solar resource database in simulation of a 3.5 kWp. The results of the simulation using PVsyst and the result of actual data. Found that the energy from solar panels and energy into the grid system loss from the system. The energy from the solar year is 5,553.8 kWh while energy into the grid annually is 5,538.3 kWh loss (Loss) 15.5 kWh and results of the data actually showed that energy from the panels. The solar year is 5,117 kWh, while energy into the grid is 4,932 kWh annual loss 185 kWh. The system performance ratio average annual percent 79.8 from the model. System performance ratio and average annual percentage 84.2 from actual data.

**Keywords:** Solar energy, Solar power system, PVsyst



## 1. บทนำ

เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยสารกึ่งตัวนำ เช่น

ผลึกซิลิกอน หรือ อะมอร์ฟัส เป็นต้น ไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ปริมาณไฟฟ้าที่ได้จะมาก

หรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีอาทิตย์และขนาดกำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อพิจารณาที่ปริมาณความเข้มแสงที่เท่ากัน แผงเซลล์ที่มีขนาดกำลังมากก็จะให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่มาก โดยไฟฟ้าที่ได้ต้องผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ไฟฟ้าเป็นกระแสสลับต่อไป การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่ด้วยกัน 3 ระบบ คือ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย และระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [1]

ปัจจุบันมีหลายภาคส่วนให้ความสนใจในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้นทั้งในรูปแบบที่ติดตั้งบนหลังคาสำหรับบ้านพักอาศัยทั่วไป (Solar PV Rooftop) ติดตั้งบนหลังคาอาคาร เล็ก-กลาง-ใหญ่ (Commercial Solar PV Rooftop) และโซลาร์ฟาร์ม (Solar Farm) เนื่องจากปัจจุบันต้นทุนการผลิตไฟฟ้าพลังงาน

แสงอาทิตย์ต่ำลงเรื่อยๆบริเวณทางตอนเหนือของประเทศมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์มากกว่าทางตอนใต้ของประเทศ โดยมีค่ารังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือน ในช่วง 15-20 MJ/m<sup>2</sup>-day สำหรับภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงกว่าภาคอื่นๆ โดยส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 18-19 MJ/m<sup>2</sup>-day ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 16-18 MJ/m<sup>2</sup>-day [2] พื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่จังหวัดพัทลุงมีความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศไทย ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอาศัยเซลล์แสงอาทิตย์อาจจะทำให้ได้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าพื้นที่ภาคอื่นๆของประเทศไทย อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้นทุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง ณ ปัจจุบัน

นับเป็นโอกาสที่ดีที่จะนำเซลล์แสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าในพื้นที่จังหวัดพัทลุง เพื่อสาธิตให้เห็นถึงการใช้งานและใช้ประโยชน์จากการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์หากผลการประเมินสมรรถนะออกมาเป็นที่น่าพอใจก็จะยืนยันได้ถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไปโดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้รัฐสุรินทร์แพรงทอง ซึ่งนอกจากจะเป็นแหล่งเรียนรู้ทางด้านพลังงานทดแทนที่สำคัญในพื้นที่ภาคใต้ให้กับหน่วยงานต่างๆของรัฐแล้วยังเป็นแหล่งเรียนรู้ให้กับชาวบ้านหรือชุมชนอื่นๆ รวมทั้งนิสิตนักศึกษาที่สนใจภายในพื้นที่ใกล้เคียงได้ศึกษาหาความรู้

## 2. วัตถุประสงค์

เปรียบเทียบสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบริการจากโปรแกรม PVSystem และติดตั้งจริงบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ศูนย์การเรียนรู้รัฐสุรินทร์แพรงทอง ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง

## 3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโดยใช้ฐานข้อมูลของ NASA-SSA เพื่อนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าในการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับกริดที่ติดตั้งบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด โดยอาศัยการจำลองแบบจากโปรแกรม PVSystem โดยการจำลองแบบจะกำหนดประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ Grid Connected เช่น ทรัพยากร ศักยภาพพลังงาน การปรับขนาดชิ้นส่วนระบบการผลิตพลังงานและการสูญเสียของระบบซึ่งแสดงระเบียบวิธีวิจัยดังภาพที่ 1 โดยแสดงตารางสรุปคุณลักษณะของระบบดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ระเบียบวิธีวิจัย

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะของระบบที่ทำการติดตั้ง

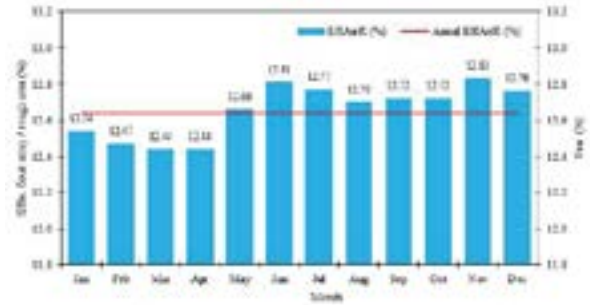
พารามิเตอร์	คุณลักษณะ
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	ผลิตโดย SHARP 230 Wp 81mm x 44 mm - 3.000 Wp P <sub>max</sub> 230 W V <sub>oc</sub> 37.30 V I <sub>sc</sub> 6.00 A V <sub>mp</sub> 30.48 V I <sub>mp</sub> 6.15 A
การติดตั้ง	ติดตั้ง 2/1/25 34 panel
เครื่องควบคุมแรงดันไฟฟ้า	ABBHMP175-20/100-PI-10000-0 VOCmax 100 V VNC 230 V IOCmax 22.5 A IPCmax 15.4 A
DC BREAKER	2BAT, 1000 V
PLUG	12A, 1000 V



4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การจำลองแบบจากโปรแกรม PVsyst โดยอาศัยข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์จากฐานข้อมูล NASA-SSE เพื่อประเมินสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุดในพื้นที่ ต.ลาสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง เมื่อพิจารณาค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยพิจารณาค่ารังสีรวมแนวราบ พบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์ตกกระทบมีค่าสูงสุด 188.5 kWh/m<sup>2</sup> ในเดือนมีนาคม โดยมีค่ารังสีรวมแนวราบที่ตกกระทบรวมทั้งปี 1,885.8 kWh/m<sup>2</sup> มีอุณหภูมิแวดล้อมพื้นที่จะมีค่าสูงในช่วง มีนาคม-พฤษภาคม โดยมีค่าเฉลี่ยทั้งปี 26.53 องศาเซลเซียส

สำหรับค่าพลังงานที่ได้รายปีจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานที่เข้าสู่ระบบกริด นั้นมีค่าต่างกันเพียง เล็กน้อย โดยพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่า 5,553.8 kWh และพลังงานที่เข้าสู่ระบบกริด มีค่า 5,538.3 kWh แสดงภาพที่ 2-3 สำหรับประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานของระบบจากการจำลองโดยใช้ PVsyst พบว่าประสิทธิภาพระบบเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับร้อยละ 12.15 และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับร้อยละ 12.64 โดยแสดง ประสิทธิภาพรายเดือนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบดังภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพพลังงานจากระบบบนพื้นที่

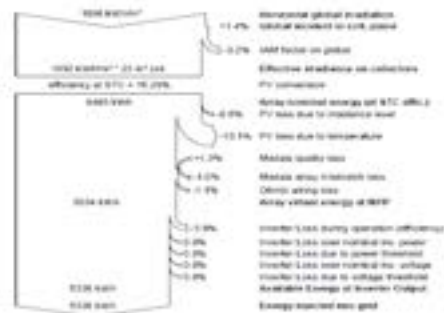


ภาพที่ 2 พลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

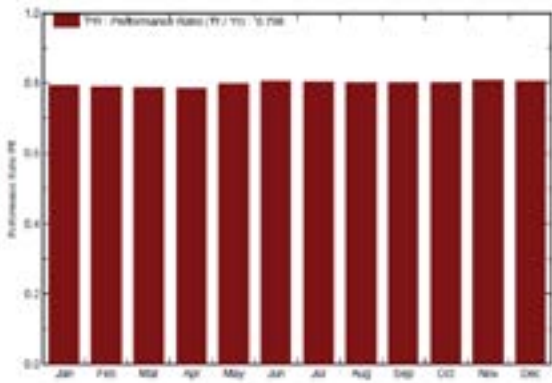


ภาพที่ 3 พลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบกริด

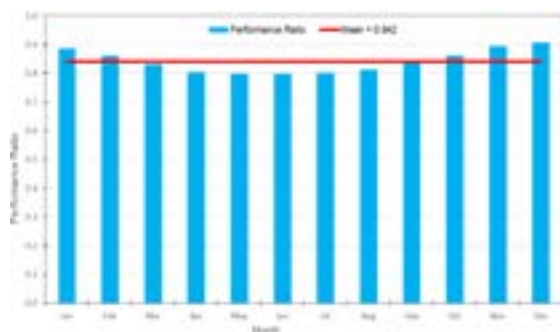
การจำลองแบบโดยใช้ PVsyst แสดงให้เห็นการสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด 1 มกราคม 2559 – 31 ธันวาคม 2559 ดังภาพที่ 6 ซึ่งจะเห็นการสูญเสียส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ คิดเป็นร้อยละ 13.1 รองลงมาเป็นการสูญเสียจากการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ร้อยละ 3.9 โดยระบบมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปี เท่ากับ 0.798 แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 7 และระบบจากข้อมูลจริงมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 0.842 ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 6 การสูญเสียของระบบ



ภาพที่ 7 อัตราส่วนสมรรถนะจากแบบจำลอง



ภาพที่ 8 อัตราส่วนสมรรถนะจากข้อมูลจริง

## 5. อภิปรายผลการวิจัย

สำหรับการผลิตพลังงานของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ผลจากการจำลองแบบโดยใช้โปรแกรม PVSyst พบว่าค่าพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานที่เข้าสู่ระบบกริดนั้นเกิดการสูญเสียเล็กน้อยโดยพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน 1 ปี มีค่า 5,553.8 kWh ในขณะที่พลังงานที่เข้าสู่ระบบกริดใน 1 ปี มีค่า 5,538.3 kWh เกิดการสูญเสีย (Loss) 15.5kWh โดยระบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งปีร้อยละ 12.64 โดยผลจากการเก็บข้อมูลจริงพบว่าค่าพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานที่เข้าสู่ระบบกริดนั้นเกิดการสูญเสียจากระบบโดยพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์รายปีมีค่า 5,117 kWh ในขณะที่พลังงานที่เข้าสู่ระบบกริดรายปีมีค่า 4,932 kWh เกิดการสูญเสีย (Loss) 185 kWh ในส่วนของ การสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด พื้นที่ ต.ลาสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง ตลอดทั้งปี ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ คิดเป็นร้อยละ 13.1 รองลงมาเป็น การสูญเสียจากการทำงานของเครื่องแปลง กระแสไฟฟ้าร้อยละ 3.9 โดยระบบมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปีร้อยละ 79.8

จากแบบจำลอง และระบบมีอัตราส่วน สมรรถนะเฉลี่ยรายปี ร้อยละ 84.2 จากข้อมูลจริง

## 6. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการประเมินสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ในพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง ต.ลาสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง โดยอาศัยการจำลองแบบจากโปรแกรม PVSyst ผลจากการจำลองแบบ พบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ที่ตกกระทบแนวราบมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคม โดยพื้นที่ ต.ลาสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง นั้นมีอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 26.53 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุดในช่วงเดือนมีนาคม – พฤษภาคม ระบบมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งปีร้อยละ 12.15 และแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งปีร้อยละ 12.64 การสูญเสีย (Loss) ส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รองลงมาเป็น การสูญเสียจากการทำงานของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า โดยการเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูลในระยะเวลาระหว่างวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ.2559 ถึง วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2559 สำหรับค่าพลังงานที่ได้รายปีจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่า 5,117 kWh คิดเป็น 92.14 % ของแบบจำลอง จากข้อมูลพลังงานที่ได้รายปีจากการตรวจวัดและข้อมูลการจากจำลองพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการจำลองเท่ากับ 7.85 % สำหรับพลังงานที่เข้าสู่ระบบกริดมีค่า 4,932 kWh คิดเป็น 92.39 % ของแบบจำลอง จากข้อมูลพลังงานที่ได้ รายปีจากการตรวจวัดและข้อมูลการจากจำลองพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการจำลองเท่ากับ 7.61 % และเมื่อคำนวณปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงตลอดปี มีค่าเท่ากับ 2.792 tonCO<sub>2</sub>eq/year โดยศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง ต.ลาสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ นอกจากจะเป็นแหล่งเรียนรู้ทางด้านพลังงานทดแทนที่สำคัญในพื้นที่ภาคใต้ให้กับหน่วยงานต่างๆของรัฐแล้วยังเป็นแหล่งเรียนรู้ให้กับชาวบ้านหรือชุมชนอื่นๆ รวมทั้งนิสิตนักศึกษาที่สนใจภายในพื้นที่ใกล้เคียงได้ศึกษาหาความรู้และยังเป็นต้นแบบการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ เชื่อมต่อกับระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด เพื่อเป็นแนวทาง และให้สอดคล้อง กับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (AEDP) ที่จะนำพลังงานส่วนนี้มาใช้ประโยชน์ให้ มากขึ้นเพื่อทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล



## 7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรทอง ต.ลาสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงาน และสิ่งแวดล้อม และสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่สนับสนุนบุคลากรและอุปกรณ์

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (ม .ป.ป.). ระบบผลิต ไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์. สืบค้นจาก [http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell\\_pg5.htm](http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_pg5.htm) เมื่อ 9 ตุลาคม 2560.
- [2] บริษัท วัฒนาวาณิชย์จำกัด.(ม.ป .ป.). *แผนที่ยกยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย ต ลอดปี*. สืบค้นจาก <http://www.solargen.co.th/th/blog/1012/blog-1012> เมื่อวันที่ 9 ตุลาคม 2560.
- [3] N. Gupta, G. F. Alapatt, R. Podila, R. Singh, K.F.Poole. (2009). Prospects of Nanostructure-Based Solar Cells for Manufacturing Future Generations of Photovoltaic Modules. International Journal of Photoenergy 2009: 1. doi:10.1155/2009/154059
- [4] A. De Vos, "Detailed balance limit of the efficiency of tandem solar cells", Journal of Physics D: Applied Physics Volume 13, Issue 5 (14 May 1980), page 839-846 doi:10.1088/0022- 3727/13/5/018



## การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะม่วงมหาชนกอบแห้งโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาล โดยเทคนิคการอบแห้งแบบปรับลดอุณหภูมิลมร้อน

### Product Development of Dried Mahachanok Mango without Sugar Added Using Step-down Hot Air Drying Technique

ศรัณย์ ศักดิ์สุวรรณ<sup>1\*</sup> อติศักดิ์ นาดกรณกุล<sup>1</sup> และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประจักษ์ศิลปาคม แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเทคนิคการปรับลดอุณหภูมิในกระบวนการอบแห้งแบบลมร้อนเพื่อผลิตมะม่วงมหาชนกอบแห้งปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาล แทนวิธีการอบแห้งมะม่วงแช่เชื่อมที่มีน้ำตาลสูงซึ่งไม่เหมาะกับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพมะม่วงมหาชนกขนาดหั่นครึ่งลูกมีความหนาประมาณ 12-15 mm และมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 15 - 19 °Brix ถูกอบด้วยวิธีการปรับลดอุณหภูมิลมร้อนในช่วง 65-90 °C จากความชื้นเริ่มต้น 450-540 % มาตรฐานแห้ง (81 - 84 % มาตรฐานเปียก) จนได้ความชื้นสุดท้าย 15 % มาตรฐานแห้ง (13 % มาตรฐานเปียก) และเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C เพียงอย่างเดียว ทางด้านจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ คุณภาพของมะม่วงอบแห้งทางด้านสี และการหดรัดตัว ผลการทดลองพบว่า การใช้เทคนิคการปรับลดอุณหภูมิมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าและใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนโดยใช้อุณหภูมิคงที่ การปรับลดอุณหภูมิที่อุณหภูมิเริ่มต้น 90 °C อบแห้งเป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 65 °C จนสิ้นสุดการอบแห้งเป็นเงื่อนไขที่มีอัตราการอบแห้งสูงที่สุดเมื่อเทียบกับเงื่อนไขอื่นๆ ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำ และมีการหดรัดตัวน้อยที่สุด ในขณะที่มะม่วงที่ผ่านวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนด้วยเทคนิคการปรับลดอุณหภูมิมือที่อุณหภูมิเริ่มต้น 90 °C อบแห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอุณหภูมิ 65 °C จนสิ้นสุดการอบแห้งมีความสวยงามของสีมากที่สุด

**คำหลัก:** การหดรัดตัว การอบแห้งแบบปรับลดอุณหภูมิลมร้อน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ มะม่วงอบแห้ง สี

#### 1. บทนำ

มะม่วงพันธุ์มหาชนก (Mangifera indica L., cv. Mahachanok) มะม่วงมหาชนกเกิดจากการผสมข้ามระหว่างมะม่วงกลุ่มอินเดีย (Indian types) และกลุ่มอินโดจีนีส (Indochinese types) [1] ผลมีสีส้มแดง ลักษณะยาวรี ขั้วผลไม่มีจุก เมื่อสุกมีสีผิวเหลืองปนเขียว และด้านที่ได้รับแสงแดดจะมีสีแดงอมส้ม

ในการส่งออกมะม่วงมหาชนกสด ผู้ประกอบการจะมีวิธีซื้อมะม่วงจากชาวสวน 2 แบบ คือ ซื้อแบบคัดเกรด และซื้อแบบเหมาสวน โดยการซื้อแบบคัดเกรดจะได้มะม่วงส่งออกตามขนาดที่ต้องการแต่จะมีราคาสูง ในขณะที่การซื้อแบบเหมาสวนจะได้ราคามะม่วงต่ำกว่า แต่ผู้ประกอบการจะต้องแบกรับภาระของมะม่วงส่วนที่ไม่ได้ขนาดหรือมะม่วงตกเกรดที่ส่งออกไม่ได้และขายในประเทศไม่ได้ราคา รวมทั้งการเน่าเสียหากขายไม่หมด ดังนั้นหากผู้ประกอบการต้องการซื้อแบบเหมาสวน ผู้ประกอบการจำเป็นต้องหาวิธีจัดการกับมะม่วงตกเกรด

ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันคือการแปรรูปให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น และเพิ่มคุณค่าให้กับมะม่วงตกเกรด

การแปรรูปผลไม้ให้เป็นผลไม้อบแห้งเป็นกระบวนการที่สามารถเก็บรักษาผลไม้ได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น ซึ่งได้หลายรูปแบบคือ การตากแดด การกวน การอบแห้ง แต่วิธีที่นิยมกันมากที่สุดในปัจจุบันคือวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนในตู้อบแห้ง [2] เพราะทำได้ง่าย และให้ความร้อนสม่ำเสมอทั่วทั้งตู้ แต่การอบแห้งชนิดนี้จะมีข้อเสียคือ ระยะเวลาที่ใช้อบแห้งนานประสิทธิภาพต่ำ และทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งด้อยลง [3-5] เนื่องจากใช้อุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้งค่อนข้างต่ำ [6] ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่สัมผัสลมร้อนเป็นเวลานาน การอบแห้งด้วยลมร้อนมีการลงทุนค่อนข้างสูง แต่ให้ผลคุ้มค่าในระยะยาว โดยทั่วไปใช้อุณหภูมิอบแห้งประมาณ 60-70 °C ถ้าใช้ลมร้อนมากกว่านี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มและผิวเหี่ยวยุบมาก [7]



## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 เงื่อนไขการวิจัย

ในการทดลองจะมีเงื่อนไขการอบแห้งมะม่วงในตารางที่ 1 โดยทุกการทดลองจะใช้ลมร้อนที่มีความเร็ว 0.3 m/s ใช้อากาศหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 80% และทุกเงื่อนไขจะนำมาแช่สารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลก่อนทำการอบแห้ง

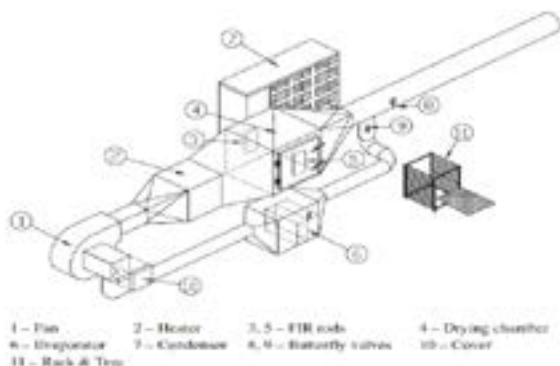
### 2.2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

มะม่วงมหาชนกที่มีความชื้นเริ่มต้น 80-85 % (w.b.) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ 15-19 °Brix หนักเป็นแผ่นบางขนาดความหนาเท่ากัน หลังจากนั้นนำไปแช่สารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลก่อนอบแห้งนาน 5 นาที และนำมาแช่สารยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลออกมาก้างไว้ประมาณ 10 นาที เพื่อให้ความชื้นที่บริเวณผิวของมะม่วงมหาชนกลดลง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องอบแห้งแบบใช้ลมร้อนซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 1 โดยประกอบด้วย (1) เครื่องเป่าลมร้อน (2) เครื่องทำความร้อน (3) และ (5) หลอดรังสีอินฟราเรดไกล (4) ห้องอบแห้ง (6) อีวาโปรเตอร์ (7) คอนเดนเซอร์ (8) และ (9) วาล์ว (10) ฝาครอบ และ (11) ถาดวางตัวอย่าง สำหรับการทดลองนี้ใช้เฉพาะลมร้อนเท่านั้น ดังนั้นอุปกรณ์หมายเลข (3), (5), (6) และ (7) จะปิดการใช้งาน

### 2.3 การวัดคุณภาพด้านสี

การวัดคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้งโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (HunterLab, ColorFlex, UK) และใช้ระบบสีเป็นแบบ CIE L\*, a\* and b\* โดยค่า L\* แสดงถึงความสว่างของวัตถุ (0 ดำ, 100 ขาว) a\* คือ ค่าสีแดง/เขียว (+ แดง, - เขียว) และค่า b\* คือ ค่าสีเหลือง/น้ำเงิน (+ เหลือง, - น้ำเงิน) โดยก่อนการวัดสีของผลิตภัณฑ์อบแห้งทุกครั้งต้องสอบเทียบกับแผ่นสีมาตรฐานทั้งแผ่นสีดำและแผ่นสีขาว



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

(Nathakaranakule, 2010)

### 2.4 การทดสอบคุณภาพก้านการหดตัว

การหาปริมาตรของมะม่วงก่อนและหลังการอบแห้งใช้วิธีการแทนที่ปริมาตรของตัวอย่างในช่องเหลว โดยของเหลวที่ใช้ในการทดสอบคือ n-heptane  $[CH_3(CH_2)_5CH_3]$  ซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.684 g/cm<sup>3</sup> การหาน้ำหนักของตัวอย่างใช้เครื่องชั่งดิจิทัล ยี่ห้อ Sartorius รุ่น ED 2202S-CW อ่านค่าความละเอียดได้ 0.01 g เปอร์เซ็นต์การหดตัวของมะม่วงอบแห้งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (1) ค่าความละเอียดได้ 0.01 g เปอร์เซ็นต์การหดตัวของมะม่วงอบแห้งสามารถคำนวณได้ดังสมการ (1)

$$\%Shrinkage = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100$$

เมื่อ  $V_0$  คือ ปริมาตรของเนื้อมะม่วงสด, cm<sup>3</sup>  
 $V$  คือ ปริมาตรของเนื้อมะม่วงอบแห้ง, cm<sup>3</sup>

### ตารางที่ 1 เงื่อนไขและวิธีการอบแห้ง

เลขที่การอบแห้ง	เงื่อนไข	ควบคุมการอบแห้ง
เลขที่การอบแห้ง	HAB0_2h/HAB0_1h/HAB70_1h/HAB5	การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตามด้วยอุณหภูมิ 65°C
	HAB0_1.5h/HA80_1.5h/HAB70_1.5h/HAB5	การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง และตามด้วยอุณหภูมิ 65°C
	HAB0_2h/HAB0_2h/HAB70_2h/HAB5	การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และตามด้วยอุณหภูมิ 65°C
	HAB0_2.5h/HA80_2.5h/HAB70_2.5h/HAB5	การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ตามด้วยอุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง และตามด้วยอุณหภูมิ 65°C
	HAB5	การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65°C

### 2.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง

ความสิ้นเปลืองพลังงานของกระบวนการอบแห้งประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เครื่องเป่าลมและเครื่องทำความร้อน โดยความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวสามารถวัดได้โดยตรงจากมิเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส ในงานวิจัยนี้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption, SEC) จะวัดในรูปของ MJ/kg water evaporated ซึ่งแสดงถึง ดัชนีบ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้ง [9] โดยค่า SEC ของกระบวนการอบแห้งคำนวณได้จาก สมการ (2)

$$SEC = \frac{E_{Heater} + E_{Blower}}{M_{Wp}}$$



เมื่อ คือ พลังงานที่ใช้สำหรับเครื่องทำความร้อน, MJ Heater E

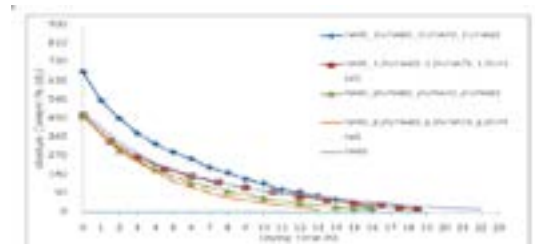
คือ พลังงานที่ใช้สำหรับเครื่องเป่าลม, MJ Blower E

คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ, kg W M

### 3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

#### 3.1 จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง

จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งมะม่วงมหาชนกด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคการปรับลดอุณหภูมิที่เงื่อนไขต่างๆ เปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ 65 °C แสดงในภาพที่ 2 พบว่า การใช้อุณหภูมิลมร้อนสูงในช่วงแรกจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ทำให้ใช้เวลาอบแห้งสั้นลง โดยที่การอบแห้งมะม่วงด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดอุณหภูมิที่ 90 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง แล้วตามด้วย 65 °C มีอัตราการอบแห้งสูงที่สุด รองลงมาคือการอบแห้งมะม่วงด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดอุณหภูมิที่ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วตามด้วย 65 °C ซึ่งใกล้เคียงกับการอบแห้งมะม่วงด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดอุณหภูมิที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วตามด้วย 65 °C เพราะเนื่องจากการทดลองนี้มีน้ำหนักของมะม่วง น้อยกว่าปกติ 200 กรัม และตามด้วยการอบแห้งมะม่วงด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดอุณหภูมิที่ 90 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง แล้วตามด้วย 65 °C สุดท้ายการอบแห้งมะม่วงด้วยลมร้อนแบบอุณหภูมิคงที่ 65 °C ซึ่งทั้งห้าเงื่อนไขใช้เวลาอบแห้งประมาณ 13, 16, 16, 18.5 และ 22 ชั่วโมงตามลำดับ



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของมะม่วงอบแห้งในขณะอบแห้งด้วยลมร้อนที่เงื่อนไขต่างๆ

#### 3.2 สีของมะม่วงมหาชนกอบแห้ง

เมื่อพิจารณาสีของมะม่วงหลังจากอบแห้งของแต่ละเงื่อนไขพบว่ามะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วตามด้วย 65 °C มีค่าความสว่างของสีมากที่สุด แต่มีค่าสีแดงและค่าสีเหลืองต่ำกว่ามะม่วงที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่เงื่อนไขอื่น และการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิคงที่ 65 °C เนื่องจากกรณีอบแห้งดังกล่าวใช้อุณหภูมิสูงด้วยระยะเวลาที่สั้นกว่าวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน ในขณะที่เงื่อนไขการอบแห้งอื่นใช้อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานานกว่า ส่งผลให้เร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้องมากขึ้น ผลผลิตที่อบแห้งจึงมีสีคล้ำและสีเข้มกว่า

ตารางที่ 2 สีของมะม่วงมหาชนกอบแห้งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

Drying method	L*	a*	b*	Drying time (hr)
Fresh mango	81.68±3.43	7.08±0.75	44.35±5.28	—
H90_1.5/H80_1.5/H70_1.5/H65_1.5	49.84±2.18	8.68±3.22	48.34±3.19	14
H90_1.5/H80_1.5/H70_1.5/H65_1.5	68.42±3.23	9.31±3.46	45.98±2.06	18.5
H90_2/H80_2/H70_2/H65_2	45.58±2.50	9.71±3.05	48.61±3.25	16
H90_2.5/H80_2.5/H70_2.5/H65_2.5	42.45±4.41	10.85±3.56	51.30±3.69	18
H65	36.58±4.29	10.88±3.38	52.67±2.82	22

#### 3.3 หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา

การหาค่าของมะม่วงอบแห้งที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ แสดงในตารางที่ 3 พบว่า มะม่วงอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคการปรับลดระดับอุณหภูมิทุกเงื่อนไขการทดลองมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำกว่ามะม่วงอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ เนื่องจากวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคปรับลดระดับอุณหภูมิใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะใช้เวลาในการอบแห้งสั้น ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัวต่ำกว่า

ตารางที่ 3 การหดตัวของมะม่วงมหาชนกอบแห้งที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ

Drying method	Shrinkage (%)
H90_1.5/H80_1.5/H70_1.5/H65_1.5	52.46±7.22
H90_1.5/H80_1.5/H70_1.5/H65_1.5	55.98±3.46
H90_2/H80_2/H70_2/H65_2	55.24±5.42
H90_2.5/H80_2.5/H70_2.5/H65_2.5	51.55±5.82
H65	51.10±1.55





### 3.4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งมะม่วงในแต่ละเงื่อนไขการทดลองแสดงในตารางที่ 4 พบว่า วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคการปรับลดระดับอุณหภูมิทุกเงื่อนไขการทดลองมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งทั้งในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนต่ำกว่าวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ 65 °C เนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าและพบว่าวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคการปรับลดระดับอุณหภูมิที่ 90 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง แล้วตามด้วย 65 °C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งต่ำกว่าวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนที่เงื่อนไขอื่น เนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่า

ตารางที่ 4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งมะม่วงมหาชนกแต่ละเงื่อนไขต่างๆ

Dryng method	Dryng time (h)	Water evaporated (kg)	SEC (MJ/kg water evaporated)	
			Electric	Heater
HKC_15/NHAB_1 S/NH72_15/NHAB2	16	0.39	4.19	104.55
HKC_15/NHAB2 _15/NH72_15/ /NHAB	10.5	0.39	4.64	123.71
HKC_25/NHAB_1 S/NH73_25/NHAB5	16	0.37	3.92	100.94
HKC_25/NHAB2 _25/NH73_25/ /NHAB	13	0.39	3.78	71.23
NHAB	22	0.58	10.40	266.14

### 4. สรุปผลการวิจัย

การอบแห้งมะม่วงด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคการปรับลดระดับอุณหภูมิที่เงื่อนไขต่างๆ เปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่ จากผลการทดลอง พบว่า วิธีการอบแห้งมะม่วงด้วยลมร้อนโดยใช้เทคนิคการปรับลดระดับอุณหภูมิที่ 90 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง แล้วตามด้วย 65 °C มีอัตราการอบแห้งสูงกว่ากรณีอบแห้งด้วยเงื่อนไขอื่น ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้น และส่งผลให้มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งต่ำ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์มะม่วงอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคการปรับลดระดับอุณหภูมิที่ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 80 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามด้วย 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วตามด้วย 65 °C มีค่าความสว่างของสีที่ดีที่สุด แต่มีค่าสีแดงและสี

เหลืองต่ำกว่า และการอบแห้งมะม่วงด้วยลมร้อนแบบใช้เทคนิคการปรับลดระดับอุณหภูมิทุกเงื่อนไข มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำกว่ามะม่วงอบแห้งด้วยลมร้อนแบบใช้อุณหภูมิคงที่

### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโครงการทุนศาสตราจารย์วิจัยดีเด่น (Grant No. DPG5980004) โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยดังกล่าว

### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศิริศักดิ์ บุตรกระจ่าง และ อภินันท์ เมฆบั้งวัน, 2551, ผลของวัสดุห่อผล ต่อการควบคุมโรค และคุณภาพของผล มะม่วงมหาชนก ก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว, สังกัดสถาบันวิจัย และฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, 21 หน้า.
- [2] สิทธิชัย ศรีไทย, 2559, การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาลโดย วิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบปรับลดอุณหภูมิและแบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบสายพานลำเลียง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 110หน้า.
- [3] Drouzas, A.E., Tsami, E. and Saravacos, G. D., 1999, "Microwave/vacuum drying of model fruit gels", *Journal of Food Engineering*, Vol. 39, No.2, pp. 117-122.
- [4] Maskan, M., 2000, "Microwave/Air and Microwave Finish Drying of Banana", *Journal of Food Engineering*, Vol. 44, No. 2, pp. 71-78.
- [5] Maskan, M., 2001, "Drying, Shrinkage and Rehydration Characteristics of Kiwifruits During Hot Air and Microwave Drying", *Journal of Food Engineering*, Vol. 48, No. 2, pp. 177-182.
- [6] Prachayawarakorn, S., Tia, W., Plyto, N., and Soponronnarit, S., 2008, "Drying kinetics and quality attributes of low-fat banana slices dried at high temperature", *Journal of Food Engineering*, Vol. 85, No. 2, pp. 509-517.
- [7] ศักดิ์รินทร์ รัสศรี, 2541, การอบแห้งมะม่วงแช่แข็งโดยใช้ป้ิมความร้อน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 170 หน้า.



## สภาวะที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาของน้ำมันยางนาและเอทานอลในการผลิตไบโอดีเซล The optimun conditions for reaction of Yangna oil and ethanol in biodiesel production

ปรียา แก้วนารี<sup>1,2,\*</sup> นงนรินทร์ รัตนวงศ์<sup>1</sup>, ไพโรจน์ วงศ์นายโกฏ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อุดรธานี 41000

<sup>2</sup> หน่วยวิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อุดรธานี 41000

<sup>3</sup> ศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง ตำบลพิมาน อำเภอนาแก จังหวัดนครพนม

\*ผู้ติดต่อ: preeyaka2558@gmail.com, 091-159-7939

### บทคัดย่อ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา โดยในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบ่งออกเป็น 4 สภาวะคือ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณน้ำมัน เวลา และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล วิเคราะห์คุณภาพตามมาตรฐานไบโอดีเซล เมื่อศึกษาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อน้ำมัน 100 มิลลิลิตร ที่ 100:2.00 100:2.50 และ 100:3.00 มิลลิลิตรต่อกรัม พบว่าที่อัตราส่วน 100:2.00 มิลลิลิตรต่อกรัม ได้ผลได้ไบโอดีเซลมากที่สุดคือ 56.66 มิลลิลิตร ปริมาณน้ำมันต่อเอทานอลที่เหมาะสม 100:2.00 มิลลิลิตรต่อกรัม ได้ผลได้ไบโอดีเซลมากที่สุดคือ 57.33 มิลลิลิตร เวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับเอทานอล พบว่า เวลา 15 นาที ได้ปริมาณไบโอดีเซลมากที่สุดคือ 59.33 มิลลิลิตร อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับเอทานอล คือ 70 องศาเซลเซียส ได้ผลได้ไบโอดีเซลมากที่สุดคือ 65.33 มิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลจากน้ำมัน ยางนาและไบโอดีเซลมาตรฐาน ที่ผลิตในสภาวะโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ 2.00 กรัม น้ำมัน 100 มิลลิลิตร เวลาทำปฏิกิริยา 15 นาที และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่า มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไบโอดีเซลมาตรฐาน ดังนั้นน้ำมันยางนาเป็นพืชพลังงานอีกชนิดหนึ่งซึ่งควรอนุรักษ์และส่งเสริมเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลเพื่อเป็นพลังงานทางเลือกในอนาคตได้

**คำหลัก:** น้ำมันยางนา ไบโอดีเซล เอทานอล

### Abstract

The study of the most suitable condition to produce biodiesel from Yang Na Oil. The 4 stages to the production of biodiesel. 1) The amount of catalyst use 2) Amount of Oil 3) Controlled temperature and 4) reaction time. Of these 4 stages will be classified under the standard of biodiesel production. The research of catalyst used "potassium hydroxide" was performed under 3 variations from 100 ml of Yang na oil, which was between 1:2, 1:2.5 and 1:3 ml/g. In this study shows that the ratio between 1:2 ml/g produces the highest out-put of biodiesel production at 56.66 ml, with a mixture of ethanol at 1:2 ml/g, the maximum biodiesel out-put found was 57.33 ml. The most suitable time required to react with ethanol was within 15 min with an out-put of 59.33 ml. The most suitable reaction temperature was found at 70°C with a maximum biodiesel out-put of 65.33 ml. In comparison to the standard of biodiesel, with this condition of 2 g potassium hydroxide, 100 ml of Yang na oil, 15 min reaction time of ethanol at 70°C, this break through shows very similar properties to the standard of biodiesel production on the market today. In summary Yang na tree and the oil produce from Yang na tree can be another source of renewable energy which should be under preservation as an alternative for future use.

**Keywords:** Yang Na Oil, Biodiesel, Ethanol



## 1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาประเทศทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม เพราะจำเป็นต้องใช้พลังงานในทุกขั้นตอนของการดำเนินงานทั้งทางด้านอุตสาหกรรมคมนาคม เกษตรกรรม และอื่นๆ พลังงานจากปิโตรเลียมเป็นพลังงานหลักที่ถูกนำมาใช้และจะหมดไปในเวลาอันสั้นนี้ ดังนั้นจึงต้องหาพลังงานแหล่งใหม่ที่สามารถใช้ทดแทนและผลิตหมุนเวียนใช้ได้โดยไม่หมดไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้ในประเทศซึ่งเป็นการลดการนำเข้าและใช้เป็นพลังงานที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม พลังงานส่วนใหญ่ใช้ในภาคเกษตร ที่มีบทบาทในภาคการเกษตร คือ ดีเซล เพื่อใช้ในการขนส่งและเครื่องจักรการเกษตร แต่เครื่องยนต์ดีเซลสามารถใช้พลังงานจากพืชน้ำมันมาทดแทนได้ ซึ่งปัจจุบันได้นำเอาพืชน้ำมันหลายชนิดมาผลิตเป็นน้ำมัน ไบโอดีเซล (Biodiesel) ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันสบู่ดำ เป็นต้น แต่พืชน้ำมันเหล่านี้เป็นแหล่งอาหาร ถ้านำมาผลิตใช้เป็นพลังงานก็จะส่งผลกระทบต่อปริมาณอาหารของมนุษย์ ดังนั้นจึงควรหาแหล่งวัตถุดิบแหล่งใหม่ ในประเทศไทยมีพืชน้ำมันหลายชนิดที่พอจะเป็นไปได้ ได้แก่ น้ำมันมะเขือเทศ และน้ำมันยางนา โดยเฉพาะอย่างยิ่งยางนาซึ่งเป็นพืชน้ำมันที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงตั้งแต่โบราณกาล ปัจจุบันมีหลายกลุ่มได้พยายามนำน้ำมันยางนามาใช้ประโยชน์ในชุมชน เช่นเดียวกับศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงกลุ่มสังขจาย ตำบลพิฆาน อำเภอนาแก จังหวัดนครพนม มีพื้นที่ 37 ไร่ ลักษณะป่าไม้เป็นป่าที่มีไม้หลายชนิดและมีต้นยางนาจำนวนมากประมาณ 1250 ต้น และมีต้นยางนาที่มีขนาดเหมาะสมนำมาผลิตเป็นน้ำมันยางนาจำนวน 800 ต้น ขนาดเส้นรอบวงต้น 80 เซนติเมตรขึ้นไป มีอายุราว 14-30 ปี สามารถเจาะน้ำมันยางนามาใช้เป็นพลังงานในรถไถนาและเครื่องสูบน้ำชุมชน แต่ปัญหาของการใช้น้ำมันยางนาเป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์โดยตรงคือเกิดเขม่าและยางเหนียวปริมาณมากอาจเนื่องจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ในน้ำมันยางนามีองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ไขมัน เช่น น้ำยางของแข็ง โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ซึ่งไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในเครื่องยนต์ได้ ในการวิจัยน้ำมันยางนาถูกแยกส่วนที่เป็นน้ำมันออกโดยใช้เฮกเซนสกัด และในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลส่วนใหญ่ใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา ในงานวิจัยนี้ใช้เอทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยาเนื่องจากการผลิตไบโอดีเซลจากยางนาใช้เป็นพลังงานชุมชน ซึ่งเมทานอลเป็นสารที่มีพิษเป็น

อันตรายถ้าเกิดการรั่วไหลอาจทำให้เกิดพิษได้ ดังนั้นเอทานอลจึงเป็นแอลกอฮอล์อีกชนิดหนึ่งซึ่งไม่มีพิษ ทำปฏิกิริยาได้ตรง

จากเมทานอลที่สำคัญเอทานอลได้จากการหมักชุมชนพืชมานสามารถหมักและกลั่นใช้เองได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะใช้น้ำมันยางมาแยกให้บริสุทธิ์และนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซลที่มีคุณภาพใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยใช้ปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีเอทานอล (Ethanol) เป็นตัวทำปฏิกิริยาและใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการการแยกน้ำมันยางนา ออกจากองค์ประกอบอื่นด้วยตัวทำละลาย และหาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาในส่วน ปริมาณน้ำมัน เอทานอล ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา เพื่อผลิตไบโอดีเซลที่สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ ซึ่งจะกินประโยชน์กับชุมชนและสร้างองค์ความรู้การใช้ประโยชน์จากต้นยางนา ในด้านการสร้างคุณค่าให้ชุมชนได้ พัฒนาขยายผลสู่การเป็นชุมชนต้นแบบพลังงานทางเลือกได้ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้

## 2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 2.1 วัตถุดิบ

น้ำมันยางนา จากศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงตำบลพิฆาน อ. นาแก จ. นครพนม ประเทศไทย น้ำมันยางนา นำไปแยกเอาเฉพาะน้ำมันโดยใช้เฮกเซนในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ซึ่งน้ำมันถูกแยกออกจากส่วนที่เป็นน้ำ ยาง โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และส่วนอื่นๆ ที่ไม่ละลายในเฮกเซน จากนั้นกลั่นเฮกเซนออกจากน้ำมันและนำน้ำมันไปผลิตไบโอดีเซลนำไปวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระโดยวิธีไตเตรต

### 2.2 การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

เตรียมน้ำมันยางนาปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์อุ่นน้ำมันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ความร้อนทั่วถึง เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 2.0 2.5 และ 3.0 กรัมละลายในเอทานอล 90 เปอร์เซ็นต์ และปรับปริมาตรด้วยเอทานอลเป็น 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายที่เตรียมได้ลงในน้ำมันที่อุ่นไว้จากนั้นกวนให้เข้ากันอย่างทั่วถึงด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที สีของน้ำมันจะเปลี่ยนโดยจะมีสีเข้มขึ้นไม่ขุ่น เกลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20-30 นาที จะเกิดการแยกชั้นเป็นสองชั้นโดยชั้นบนคือไบโอดีเซล ส่วนชั้นล่างคือกลีเซอริน แยกชั้นกลีเซอรินออก



ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ครั้งละ 100 มิลลิลิตร จนค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำมีค่าเท่ากับ 7 นำไบโอดีเซลที่วัดปริมาตรที่เหลือไปอบระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไบโอดีเซลที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติ

### 2.3 การศึกษาปริมาณน้ำมันที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

เตรียมน้ำมันยางนาปริมาณที่เหมาะสม 50 75 และ 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในบีกเกอร์อุ่นน้ำมันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ความร้อนทั่วถึง โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ (KOH) ละลายในเอทานอล 90 เปอร์เซ็นต์ และปรับปริมาตรด้วยเอทานอลเป็น 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงในน้ำมันที่อุ่นไว้ กวนให้เข้ากันอย่างทั่วถึงด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที สีของน้ำมันจะเปลี่ยนโดยจะมีสีเข้มขึ้นไม่ขุ่น เกล็ดในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20-30 นาที จะเกิดการแยกชั้นเป็นสองชั้นโดยชั้นบนคือไบโอดีเซล ส่วนชั้นล่างคือกลีเซอริน แยกชั้นกลีเซอรินออก ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ครั้งละ 100 มิลลิลิตร จนค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำมีค่าเท่ากับ 7 นำไบโอดีเซลที่ได้วัดปริมาตรที่เหลือไปอบระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไบโอดีเซลที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติ

### 2.4 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

เตรียมน้ำมันยางนาปริมาณที่เหมาะสม ใส่ในบีกเกอร์อุ่นน้ำมันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ความร้อนทั่วถึง สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ปริมาตรที่เหมาะสม ละลายในเอทานอล 90 เปอร์เซ็นต์ และปรับปริมาตรด้วยเอทานอลเป็น 200 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นที่เตรียมได้ ลงในน้ำมันที่อุ่นไว้ กวนให้เข้ากันอย่างทั่วถึงด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 20 และ 25 นาที สีของน้ำมันจะเปลี่ยนโดยจะมีสีเข้มขึ้นไม่ขุ่น จากนั้นเทลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20-30 นาที จะเกิดการแยกชั้นเป็นสองชั้นโดยชั้นบนคือไบโอดีเซล ส่วนชั้นล่างคือกลีเซอริน จากนั้นแยกชั้นกลีเซอรินออก ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ครั้งละ 100 มิลลิลิตร จนค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำมีค่าเท่ากับ 7 นำไบโอดีเซลที่ได้วัดปริมาตรที่เหลือไปอบระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทดสอบคุณสมบัติไบโอดีเซล

### 2.5 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

เตรียมน้ำมันยางนาปริมาณที่เหมาะสม อุ่นน้ำมันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ความร้อนทั่วถึงสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ปริมาตรที่เหมาะสม ละลายในเอทานอล 90 เปอร์เซ็นต์ และปรับปริมาตรด้วยเอทานอลเป็น 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นที่เตรียมได้ ลงในน้ำมันที่อุ่นไว้กวนให้เข้ากันอย่างทั่วถึงด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 65 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาที่เหมาะสม สีของน้ำมันจะเปลี่ยนโดยจะมีสีเข้มขึ้นไม่ขุ่น นำไปเทลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20-30 นาที จะเกิดการแยกชั้นเป็นสองชั้นโดยชั้นบนคือไบโอดีเซล ส่วนชั้นล่างคือกลีเซอริน แยกชั้นกลีเซอรินออก ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ครั้งละ 100 มิลลิลิตร จนค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำมีค่าเท่ากับ 7 นำไบโอดีเซลที่ได้วัดปริมาตรที่เหลือไปอบระเหยน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไบโอดีเซลที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติ

### 2.6 การวิเคราะห์

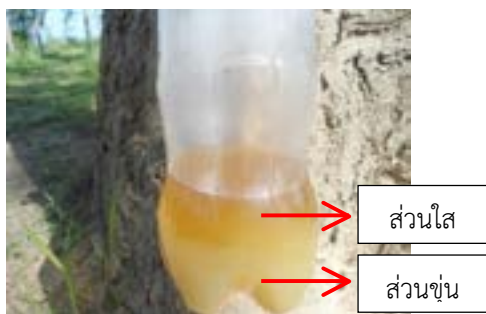
การวิเคราะห์น้ำมันยางนาและไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา ค่าความเป็นกรด-เบส ของน้ำมัน เติมน้ำมันยางนาปริมาณ 50 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์จุ่มอิเล็กโทรดเครื่องวัด pH ที่ล้างด้วยน้ำกลั่น (Distilled water) และชั่งด้วยกระดาษชั่งชูลงในน้ำมันเครื่องวัด pH จะแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลข บันทึกค่าความเป็นกรด-เบสของน้ำมัน การวิเคราะห์ความหนืดของน้ำมัน ใช้เครื่องวัดความหนืดแบบ Saybolt (Saybolt Viscometer) ยี่ห้อ ESSON รุ่น D88 จากบริษัท S.D.M TORINO-ITALY การวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำมัน โดยไฮโดรมิเตอร์ การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน โดยวิธีไทเทรต การวิเคราะห์จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องวัดจุดวาบไฟ (Digital Electric Pensky-Martens) ใช้เครื่องวัดจุดวาบไฟ (Digital Electric Pensky-Martens) ยี่ห้อ ESSON จากบริษัท S.D.M TORINO-ITALY การวิเคราะห์ค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ยี่ห้อ ESSON รุ่น ESSON ISO 9001 จากบริษัท S.D.M TORINO-ITALY และการวิเคราะห์ความหนาแน่นของน้ำมันไบโอดีเซล โดยไฮโดรมิเตอร์

### 3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 สภาวะ คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณน้ำมัน เวลา และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล จากนั้นนำไปโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพตามมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งมีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

#### 3.1 น้ำมันยางนา

น้ำมันยางเป็นของเหลวข้น สีน้ำตาลถึงดำปนเขียว หรือเทา อายุ 14-30 ปี เจาะบริเวณลำต้นสูงจากพื้นประมาณ 50 เซนติเมตร เจาะด้วยสว่านไฟฟ้าเจาะลึกเข้าไปประมาณ 20 เซนติเมตร ในมุมชี้ขึ้นไป 40-45 องศา ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 น้ำมันยางนา

#### 3.2 ผลการแยกน้ำมันยางนา

ปริมาณน้ำมันยางนาต่อรูต่อวันมีปริมาณ 400 มิลลิลิตรต่อวัน ได้ส่วนใส 250 มิลลิลิตร และส่วนขุ่น 150 มิลลิลิตร ส่วนขุ่นไม่สามารถทำปฏิกิริยา จึงนำไปแยกด้วยเฮกเซน ปรากฏว่ามีน้ำมันแยกจากส่วนขุ่นได้ 50 มิลลิลิตร และที่เหลือ 100 มิลลิลิตร เป็นส่วนที่เป็นองค์ประกอบอื่น คิดเป็นปริมาณน้ำมัน 300 มิลลิลิตร หรือ 75 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 1

#### 3.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันยางนา

คุณสมบัติบางประการของน้ำมันยางนาที่ผ่านการแยกน้ำและส่วนประกอบอื่นๆ โดยเฮกเซน ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้น พบว่าน้ำมันยางนา มีความหนาแน่น 921 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่า pH 3.80 ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ (40 องศาเซลเซียส) 5.609 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที และปริมาณกรดไขมันอิสระ 2.37 เปอร์เซ็นต์

3.4 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาโดยมีเอทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยา

#### 3.4.1 ผลการศึกษาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล

การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพื่อติดตามการแยกชั้นของไบโอดีเซลกับกลีเซอริน ปริมาตรของไบโอดีเซลและกลีเซอรินที่ได้หลังทำปฏิกิริยาจากการทดลองใช้น้ำมันยางนาปริมาณ 100 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเร่งปฏิกิริยาด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 2.5 และ 3 กรัม ตามลำดับ พบว่า เกิดไบโอดีเซลทั้ง 3 สภาวะ ได้ผลได้ไบโอดีเซล คือ 56.66 54.00 และ 55.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ที่สภาวะการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม ได้ผลได้ไบโอดีเซลสูงที่สุด ใช้เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา

#### 3.4.2 ผลการศึกษาปริมาตรของน้ำมันที่เหมาะสมต่อการผลิตไบโอดีเซล

ปฏิกิริยาจากการทดลองใช้น้ำมันยางนาปริมาณ 50 75 และ 100 มิลลิลิตร พบว่าเกิดไบโอดีเซลทั้ง 3 สภาวะ การแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอริน แยกชั้นได้ดีทั้ง 3 สภาวะ ได้ปริมาตรไบโอดีเซลทั้ง 3 สภาวะ คือ 29.66 37.00 และ 57.33 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาตรกลีเซอรินที่ได้คือ 16.00 18.50 และ 34.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ที่ปริมาตรน้ำมัน 100 มิลลิลิตร ได้ผลได้ไบโอดีเซลสูงที่สุดคือ 57.33 มิลลิลิตร แสดงว่าที่ปริมาตรน้ำมัน 100 มิลลิลิตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนา

#### 3.4.3 ผลการศึกษาเวลาที่ที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับเอทานอล

ทำปฏิกิริยาจากการทดลองใช้น้ำมันยางนาปริมาณ 100 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 2.00 กรัม เอทานอล 100 มิลลิลิตร กวนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 20 และ 25 นาที ตามลำดับ พบว่าเกิดไบโอดีเซลได้ดีทั้ง 3 สภาวะ การแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอริน แยกชั้นได้ดีทั้ง 3 สภาวะ ได้ปริมาตรไบโอดีเซลทั้ง 3 สภาวะ คือ 59.33 43 และ 49.33 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาตรกลีเซอรินที่ได้ คือ 29.00 30.33 และ 16.33 มิลลิลิตร ตามลำดับ ที่เวลา 15 นาที ได้ผลได้ไบโอดีเซลสูงที่สุดคือ 59.33 ใช้เป็นสภาวะในการศึกษาการผลิตไบโอดีเซล



### 3.4.4 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับเอทานอล

ใช้น้ำมันยางนาปริมาณ 100 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นเร่งปฏิกิริยาด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่มีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 2.00 กรัม ละลายในเอทานอล 100 มิลลิลิตร กวนด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 60 65 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นเวลา 15 นาทีพบว่า เกิดไบโอดีเซลทั้ง 3 สภาวะการแยกชั้นของไบโอดีเซลและกลีเซอรินแยกชั้นได้ดีทั้ง 3 สภาวะ ผลดังรูปที่ 2 ได้ปริมาณไบโอดีเซลทั้ง 3 สภาวะ คือ 59.66 60.33 และ 65.33 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปริมาตรกลีเซอรินที่ได้คือ 28.00 34.00 และ 35.66 กรัม ตามลำดับ ที่ 70 องศาเซลเซียส ได้ผลได้ไบโอดีเซลสูงที่สุด ใช้เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 2 การแยกชั้นของไบโอดีเซลโดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา (ก) 60 (ข) 65 และ (ค) 70 องศาเซลเซียส

### 3.4.5 ผลการเปรียบเทียบไบโอดีเซลมาตรฐานจากน้ำมันยางนาและไบโอดีเซลมาตรฐาน

วิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติตามไบโอดีเซลมาตรฐาน จะเห็นได้ว่าความหนืดอยู่ในช่วงมาตรฐาน ส่วนความหนาแน่นไม่อยู่ในมาตรฐาน และค่าจุดวาบไฟต่ำกว่าช่วงมาตรฐาน ดังตารางที่ 1

เมื่อเปรียบเทียบกับไบโอดีเซลมาตรฐานจะเห็นได้ว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไบโอดีเซลมาตรฐานคือ ความหนืดแสดงดังตารางที่ 2 ให้เห็นว่า ที่สภาวะเหมาะสมดังกล่าวสามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลที่มีประสิทธิภาพได้ ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำมันยางนาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเวลาทำปฏิกิริยา 15 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลและได้ผลได้ไบโอดีเซล 65.33 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ใช้เวลาทำปฏิกิริยา เพียง 15 นาที น้อยกว่าเมื่อเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันยางนากับไบโอดีเซลมาตรฐาน

คุณสมบัติ	มาตรฐาน	ไบโอดีเซลจากน้ำมันยางนาของแต่ละสภาวะที่เหมาะสม			
		KOH 2.00 กรัม	น้ำมัน 100 มิลลิลิตร	เวลา 15 นาที	อุณหภูมิ 70 องศา - เซลเซียส
ความหนืด	3.66-6.32	3.45	3.51	3.59	3.51
ความหนาแน่น	860 -900	914.00	921.00	913.00	912.00
จุดวาบไฟ	120	85.00	92.00	95.00	104.00

หมายเหตุ: ความหนืดของน้ำมัน (ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส) ความหนาแน่นของน้ำมัน มีหน่วย คือ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จุดวาบไฟมีหน่วยคือ องศาเซลเซียส ค่าความร้อนของน้ำมัน มีหน่วย คือ กิโลจูลต่อกิโลกรัม



ตารางที่ 2 ผลการทดลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	ชนิดน้ำมัน	KOH	อุณหภูมิ	เวลา	ผลได้ (เปอร์เซ็นต์)
[1]	ถั่วเหลือง	6.52 %	393 K	2.5 h	98.00
[2]	ปาล์ม	1.2 mg /g oil	170 C	3 h	82.10
[3]	ปาล์ม	3% wt.	60 C	3 h	90.70
[4]	มะเขือหิน	1-3%	40-60 C	2 h	90.00
[5]	ปาล์ม	1%	60	2 h	96.00
งานวิจัยนี้	ยางนา	2% wt.	70	15 min	65.33

#### 4. สรุปผลการวิจัย

การผลิตไบโอดีเซลจากยางนาโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยาและใช้โพแทสเซียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลคือ ปริมาณน้ำมัน 100 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับ เอทานอล 100 มิลลิลิตร และมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ได้ผลได้ไบโอดีเซลสูงที่สุด และมีคุณภาพใกล้เคียงกับไบโอดีเซลมาตรฐาน มีบางคุณสมบัติเท่านั้นที่ต้องปรับเพื่อให้ได้คุณภาพดีขึ้น

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่สนับสนุนการทำวิจัย ขอขอบคุณศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียง ตำบลพิมาน อำเภอโนนสูง จังหวัดนครพนม ในการอนุเคราะห์น้ำมันยางนา และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่สนับสนุนทุนวิจัย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] E., Rashtizadeh , F., Farzaneh , M., Ghandi (2010.). A comparative study of KOH loaded on double aluminosilicate layers, microporous and mesoporous materials as catalyst for biodiesel production via transesterification of soybean oil. Fuel vol 89, pp. 3393–3398.
- [2] Zakaria, M., Yasir, A., Elsheikh, M., Azmi B., Suzan, a Y., M.I. Abdul M. and Nawshad M., (2013.). A Brnsted ammonium ionic liquid-KOH two-stage catalyst for biodiesel synthesis from crude palm

oil. Industrial Crops and Products. vol 41, pp.144–149.

[3] Felycia, E. S., ,Aning, A., Surya, D., and Anastasia, L. M., (2011.). KOH/bentonite catalysts for transesterification of palm oil to biodiesel. Applied Clay Science vol 53, pp.341–346.

[4] ChenY-H., Chen, J-H., Chang, C-Y. and Chang, C-C. (2010.). Biodiesel production from tung (*Verniciamontana*) oil and its blending properties in different fatty acid compositions.

[5] Alamu, O.J., M.A. Waheed and S.O. Jekayinfa. (2008.). Effect of ethanol-palm kernel oil ratio on alkali-catalyzed biodiesel yield. Fuel, 87: 1529-1533.



ผลของการกวนที่มีต่อการเจริญและการผลิตน้ำมันของสาหร่ายคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจาก  
กระบวนการกลั่นเอทานอล ภายใต้แสงจากสารกึ่งตัวนำเรืองแสงแอลอีดี (LED)

The effect of agitation on biomass and oil of *Chlorella vulgaris* cultured in wastewater  
from the ethanol distillation process under the light emitted diode (LED)

เพลินพิศ แจ้งโพธิ์นาค<sup>1</sup>, หนึ่งฤทัย วงเวียน<sup>2</sup> และปรียา แก้วนาสี<sup>3</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 41000

<sup>2</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 41000

<sup>3</sup> หน่วยวิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

### บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการกวนที่มีต่อการเจริญและการผลิตน้ำมันของสาหร่ายคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจาก กระบวนการกลั่นเอทานอล ภายใต้แสงจากสารกึ่งตัวนำเรืองแสงแอลอีดี (LED) เพาะเลี้ยงสาหร่ายปริมาตร 1 ลิตร ภายใต้ การกวน 150 200 และ 250 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ โดยใช้ น้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลที่ผ่านการปรับสภาพด้วย *Klebsiella* sp. พบว่าการกวนที่ 250 รอบต่อนาที มีการเจริญสูงสุด ค่า OD<sub>682 nm</sub> เท่ากับ 2.046 ในวันที่ 14 ซึ่งน้ำหนักแห้งได้ 0.8365 กรัมต่อลิตร ที่ การกวน 150 รอบต่อนาที สาหร่ายผลิต น้ำมันได้สูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 4.2673 แสดงให้เห็นว่าน้ำทิ้งจาก กระบวนการกลั่นเอทานอลและการกวนมีผลให้สาหร่าย สามารถเจริญและผลิตน้ำมันได้ เมื่อติดตามการใช้ สารอาหารคือไนเตรท ในสภาวะการกวน 150, 200, และ 250 รอบต่อ นาที พบว่ามีปริมาณไนเตรท (NO<sub>3</sub>) 84.13 94.80 และ 97.47 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า ซีโอดีจากน้ำทิ้งจาก กระบวนการกลั่นเอทานอลที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งก่อนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเท่ากับ 2,600 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากนำไปเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา พบว่าการกวนทั้งสามระดับมีค่าซี โอดี ลดลงเหลือ 720 120 และ 320 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งค่าซีโอดีต้องไม่เกิน 120- 400 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบของการกวนสูง คือที่ 200 และ 250 รอบต่อนาที สามารถลดค่า ซีโอดีในน้ำทิ้งได้ดี สามารถปล่อยสู่ลงแม่น้ำได้ไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: การกวน สาหร่ายคลอเรลลา การเจริญ น้ำมัน หลอด LED COD NO<sub>3</sub>-





## 1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาด้านพลังงาน เนื่องจากมีแหล่งพลังงานธรรมชาติไม่เพียงพอต่อการผลิตการบริการของภาคเอกชนและภาคประชาชน โดยต้องพึ่งพาพลังงานประเภทต่างๆ จากต่างประเทศ โดยเฉพาะปิโตรเลียมวัน ละประมาณ 700,000 บาร์เรล หรือร้อยละ 63 ของการจัดหาทรัพยากรปิโตรเลียมของประเทศ ปัญหาด้านพลังงานจึงเป็นประเด็นสำคัญที่มีผลต่อการแข่งขันของประเทศในเวทีโลก จึงจำเป็นต้องมีการเตรียมพร้อมทางด้านพลังงาน ส่งเสริมการใช้ พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจากแหล่งคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งรวมถึงน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการกลั่นเอทานอล ซึ่งอุตสาหกรรมการกลั่นเอทานอลในจังหวัดอุดรธานี ได้มีการผลิตเอทานอลจากอ้อย ดังนั้นจะเหลือน้ำทิ้งจาก กระบวนการกลั่นเอทานอล เมื่อน้ำไปตรวจสอบวิเคราะห์องค์ประกอบแล้วพบว่าในน้ำทิ้งมีองค์ประกอบหลักคือ น้ำตาล ซูโครส แร่ธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) สารอินทรีย์ และ อนินทรีย์อื่นๆ [9] ดังนั้นจึงได้นำน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลจากอ้อยมาใช้ประโยชน์ในด้านการ ผลิตพลังงานชีวมวล คือ การนำสาหร่ายคลอเรลลามาลำเลียงในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอล ซึ่งสาหร่ายคลอเรลลา เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว และสามารถใส่สารอินทรีย์และแร่ธาตุที่อยู่ในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลได้ดี ทั้งนี้ นอกจากสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลาแล้วยังมีปัจจัยอื่นที่จะส่งเสริมต่อการเจริญเติบโต ของสาหร่ายคลอเรลลา เช่น แสง เป็นตัวที่ให้พลังงานเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งเป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดแป้งและน้ำตาล โดย

การศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ใช้แสงแอลอีดี (LED) ไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode) ซึ่งแสงที่เปล่งออกมาประกอบด้วยคลื่นความถี่เดียวและเฟสต่อเนื่องกัน ต่างกับแสงธรรมชาติที่ตาคนมองเห็น โดยหลอดแอลอีดี (LED) สามารถเปล่งแสงได้แม้จะจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าเพียงเล็กน้อย และประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างดีกว่าหลอดไฟขนาดเล็กรุ่นเก่า งานวิจัยครั้งนี้จึงเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาด้วยแสง แอลอีดี (LED) ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพบว่าสาหร่ายคลอเรลลาสามารถผลิตน้ำมันได้ นอกจากนี้ยังศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา ด้วยถังปฏิกรณ์ขนาดเล็ก [5] หรือที่เรียกว่า ถังหมัก (Fermentor) เพื่อการเพิ่มอัตราการผลิต นอกจากนี้อัตราการกวนมีผลต่อการเจริญของสาหร่าย เนื่องจากสาหร่ายคลอเรลลาเป็นสาหร่ายเซลล์เดียว โอกาสในการสัมผัสกับสารอาหาร อากาศ และความเร็วของการกวนมีผลต่อลักษณะเซลล์ในเรื่องของแรงเฉือน ดังนั้นอัตราการกวนที่เหมาะสม จึงจะส่งผลต่ออัตราการเจริญสูงสุดและการผลิตน้ำมันของสาหร่ายคลอเรลลา

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลเพาะเลี้ยงสาหร่ายในถังปฏิกรณ์ขนาดเล็กด้วยความเร็วรอบ 150 200 และ 250 รอบต่อนาที ภายใต้สภาวะการใช้แสงแอลอีดี (LED) และดูอัตราการเจริญของสาหร่ายคลอเรลลาและการผลิตน้ำมัน ซึ่งคาดว่าผลจากการวิจัยครั้งนี้จะสามารถต่อยอดในการพัฒนาการใช้ น้ำทิ้งในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเพิ่มปริมาณเซลล์ให้สูงขึ้น และสามารถผลิตเพื่อเป็นพลังงานในอนาคตได้



## 2. วิธีการวิจัย

**สาหร่ายคลอเรลลา (Chlorella vulgaris)**  
จากห้องปฏิบัติการชีวภาพสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ ประเทศไทย

**อาหารเลี้ยงสาหร่าย [8]** สูตรอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงสาหร่าย คือ Basal Medium (BM) ประกอบด้วย  $\text{KNO}_3$  5 กรัม  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  2.07 กรัม  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.74 กรัม  $\text{CaCl}_2$  1.3 กรัม EDTA 1.0 กรัม  $\text{MgSO}_4$  0.25 กรัม และ yeast extract 0.1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร

**การเตรียมน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอล** น้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลจากห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี โดยเตรียมกล้าเชื้อ Klebsiella sp. เชื้อเชื้อลงในอาหาร NB ปริมาตร 200 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมงใช้เป็นเชื้อเริ่มต้นในกระบวนการหมักไฮโดรเจน นำน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอล ปรับ pH เท่ากับ 5 และความเข้มข้นน้ำตาลเท่ากับ 6.5 องศาบริกซ์ ปริมาตร 10 ลิตร เติมห้าเชื้อจาก Klebsiella sp. ที่บ่มไว้แล้ว หมักในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน ใช้เป็นอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา จากนั้นนำมาเจือจางด้วยน้ำกลั่น 80 เท่า เป็นการปรับสภาพน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลก่อนนำไปเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา

**การเตรียมกล้าเชื้อสาหร่ายคลอเรลลา**  
เตรียมสาหร่ายเริ่มต้นใช้อาหารสังเคราะห์ BM ปริมาตร 1 ลิตร บรรจุลงในขวดเพาะเลี้ยงขนาด 1 ลิตร จากนั้นนำสาหร่ายปริมาตร 50 มิลลิลิตร เติมนลงในขวดเพาะเลี้ยง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเพาะเลี้ยง

ภายใต้ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ เป็นเวลา 7 วัน วัดค่า OD ที่ความยาวคลื่น 682 นาโนเมตร ( $\text{OD}_{682 \text{ nm}}$ ) ได้ 0.161 ใช้เป็นสาหร่ายเริ่มต้น

**การศึกษาการเจริญของสาหร่ายคลอเรลลา โดยใช้น้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอล** ใช้ถังปฏิกรณ์เพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาด 1 ลิตร (Omni culture, VIRTIS) น้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลเจือจาง 80 เท่า (ที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว) เติมห้าเชื้อสาหร่ายเริ่มต้นปริมาตร 50 มิลลิลิตร กวนด้วยความเร็วรอบ 150 200 และ 250 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 34 องศาเซลเซียส เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ จากหลอดแอลอีดี (LED) เก็บตัวอย่างและติดตามการเจริญทุกวัน เป็นเวลา 14 วัน วัดค่า  $\text{OD}_{682 \text{ nm}}$

**การศึกษาการผลิตน้ำมันของสาหร่ายคลอเรลลา [2]** นำน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลที่ผ่านการปรับสภาพและเจือจางแล้วปริมาตร 1 ลิตร เติมห้าเชื้อสาหร่ายเริ่มต้น 50 มิลลิลิตร เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ เก็บตัวอย่างและติดตามการเจริญทุกวัน เป็นเวลา 14 วัน วัดค่า  $\text{OD}_{682 \text{ nm}}$  จากนั้นเก็บตัวอย่างที่เพาะเลี้ยง ติดตามผล การผลิตน้ำมันโดยหาปริมาณน้ำหนักแห้ง โดยนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที 10 นาที แยกส่วนใสออก นำตะกอนสาหร่ายมาปั่นเหวี่ยงอีกครั้งที่ 12,000 รอบต่อนาที 10 นาที แยกส่วนใสออก นำตะกอนสาหร่ายไปอบแห้งที่

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนักหามวลเซลล์ของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้งและนำไปหาปริมาณน้ำมัน โดยสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ [2]



**การวิเคราะห์** การวัดค่าดูดกลืนแสงโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 682 นาโนเมตร (OD<sub>682 nm</sub>) การวิเคราะห์ปริมาณไนเตรท (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) การวิเคราะห์ค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand, COD) โดยการไทเทรต

### 3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

**ผลการศึกษาการเจริญของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยใช้ถังปฏิกรณ์เพาะเลี้ยงปริมาตร 1 ลิตร ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ภายใต้แสงของหลอด LED**

ผลการศึกษาการเจริญของสาหร่ายคลอเรลลา โดยวิธีการวัดค่า OD<sub>682 nm</sub> พบว่าสาหร่ายคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอล ด้วยการกวน 150 รอบต่อนาที มีการเจริญเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 0 วัดค่า OD<sub>682 nm</sub> ได้ 0.065 จนถึงวันที่ 10 สาหร่ายคลอเรลลามีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Log phase) และสามารถเจริญได้สูงสุดที่วันที่ 10 วัดค่า OD<sub>682 nm</sub> ได้ 0.709 ช่วงที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 7-14 สาหร่ายคลอเรลลามีอัตราการเจริญคงที่ที่การกวน 200 รอบต่อนาที มีการเจริญเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 0 วัดค่า OD<sub>682 nm</sub> ได้ 0.056 จนถึงวันที่ 9 สาหร่ายคลอเรลลามีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Log phase) และสามารถเจริญได้สูงสุดที่วันที่ 12 วัดค่า OD<sub>682 nm</sub> ได้ 0.524 ช่วงที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 8-14 สาหร่ายคลอเรลลามีอัตราการเจริญคงที่ และที่การกวน 250 รอบต่อนาที มีการเจริญเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่ 1 ตั้งแต่วันที่ 0 วัดค่า OD<sub>682 nm</sub> ได้ 0.073 จนถึงวันที่ 4 สาหร่ายคลอเรลลามีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Log phase) และสามารถเจริญได้สูงสุดที่วันที่ 14 วัดค่า OD<sub>682 nm</sub> ได้ 2.046 ช่วงที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 4-14

สาหร่ายคลอเรลลามีอัตราการเจริญคงที่ ดังภาพที่ 1 มีรายงานวิจัยพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ เป็นเวลา 20 วัน วัดค่า OD<sub>682 nm</sub> ได้ 0.705 [2] เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาด้วยหลอดแอลอีดี (LED) ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ วัดค่า OD<sub>682 nm</sub> ได้ 2.046 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาด้วยหลอดแอลอีดีมีการเจริญได้ดีกว่าการเพาะเลี้ยงด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ และมีผลมาจากการอัตราการกวนที่ทำให้สาหร่ายคลอเรลลาได้รับแสงสม่ำเสมอ

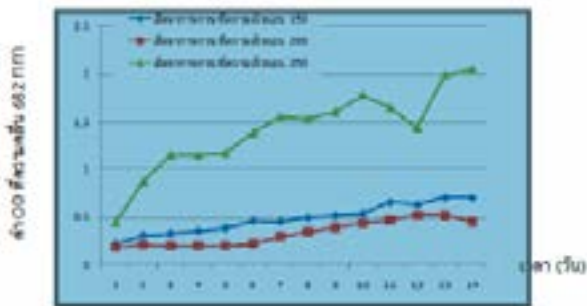
ผลการศึกษาปริมาณน้ำหนักรวมของสาหร่ายคลอเรลลาในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอล สาหร่ายคลอเรลลามีการเจริญเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง คือ ตั้งแต่วันที่ 6-9 ดังภาพที่ 1 ทั้งสามอัตราการกวนด้วยความเร็วรอบสามารถเจริญได้สูงสุดในที่ 14 โดยพบว่า น้ำหนักแห้งของสาหร่ายคลอเรลลาเท่ากับ 0.4429 0.3181 และ 0.8365 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ งานวิจัยพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ เพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาปริมาตร 1 ลิตร เป็นเวลา 25 วัน ได้ปริมาณน้ำหนักรวม 0.8653 กรัมต่อลิตร [3] เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาด้วยหลอดแอลอีดี(LED) ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ เป็นเวลา 14 วัน ได้ปริมาณน้ำหนักรวม 0.8365 กรัมต่อลิตร รายงานวิจัยข้างต้นพบว่าปริมาณน้ำหนักรวมไม่แตกต่างกัน

**ภาพที่ 1** ผลการเปรียบเทียบการเจริญของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลที่การกวน 150 200 และ 250 รอบต่อนาที



ศึกษาผลของการกวนที่มีผลต่อการเจริญและการผลิตน้ำมันที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลความที่เข้มแสง 3,000 ลักซ์ ภายใต้แสงของหลอด LED

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในสาหร่ายคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลด้วยถังปฏิกรณ์ขนาดเล็กริมมาตร 1 ลิตร ด้วยอัตราการกวนด้วยความเร็วรอบ 150, 200 และ 250 รอบต่อนาที



หลังจากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลทั้งสามอัตราการกวนเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันโดยใช้เครื่องสกัดน้ำมัน โดยเก็บตัวอย่างสาหร่ายที่จะนำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในสามอัตรา

การกวนด้วยความเร็วรอบ 150 200 250 รอบต่อนาที สาหร่ายอายุ 14 วัน พบว่ามีปริมาณน้ำมันในสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง คิดเป็นร้อยละ 4.2673, 5.7843 และ 2.4148 ตามลำดับ ซึ่งร้อยละของปริมาณน้ำมันของสาหร่ายคลอเรลลาในทั้งสามอัตราการกวนมีแนวโน้มลดลง ดังตารางที่ 2 มีรายงานวิจัยพบว่าสาหร่ายคลอเรลลาผลิตไขมันได้ (42 เปอร์เซ็นต์) และสามารถผลิตไขมันได้ 147 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน [7] เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับรายงานวิจัยข้างต้นพบว่าปริมาณไขมันที่ได้ต่ำกว่าอาจเป็นผลมาจากการ

ทดลองนี้ไม่ได้ควบคุมปัจจัยที่เหมาะสมต่อการผลิต

อัตราการกวนต่อชั่วโมง	ปริมาณไขมัน (กรัมต่อลิตร)
150 รอบต่อนาที	0.4273
200 รอบต่อนาที	0.5743
250 รอบต่อนาที	0.24148

สาหร่ายน้ำมัน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณน้ำแห้งของสาหร่ายคลอเรลลาในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยเพาะเลี้ยงด้วยถังปฏิกรณ์ขนาดเล็กริมมาตร 1 ลิตร ด้วยอัตราการกวนด้วยความเร็วรอบ 150, 200 และ 250 รอบต่อนาที

ตารางที่ 2 แสดงร้อยละของน้ำมันในสาหร่ายคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลด้วยอัตราการกวนด้วยความเร็วรอบ 150 200

อัตราการกวน	รอบต่อชั่วโมง	ร้อยละไขมัน
150 รอบต่อนาที	14	4.2673
200 รอบต่อนาที	14	5.7843
250 รอบต่อนาที	14	2.4148

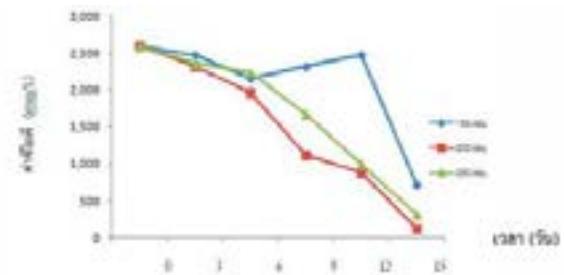
และ 250 รอบต่อนาที

ผลการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอล พบว่าสาหร่ายคลอเรลลาสามารถเจริญเติบโตได้ดีอาจเนื่องมาจากมีปัจจัยมีเอื้อต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งปัจจัยที่น่าจะนำมาอธิบายผลการทดลองข้างต้นได้คือการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรท ( $\text{NO}_3$ ) ทั้งสามอัตราการกวนซึ่งเป็นปัจจัยมีผลต่อการเจริญ [7] ซึ่งได้ผลการทดลองพบว่ามีปริมาณไนเตรท ( $\text{NO}_3$ ) 84.13 94.80 และ 97.47 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในระยะเวลา 14 วัน งานวิจัยพบว่า [4] ปริมาณไนเตรท  $\text{NO}_3$  ที่ละลายอยู่ในน้ำเป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำอาจได้รับการปนเปื้อน

จากสิ่งสกปรกจากสิ่งแวดล้อมในน้ำที่มีไนเตรท ( $\text{NO}_3$ ) ละลายอยู่ปริมาณมากอาจทำให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชโดยเฉพาะสาหร่ายได้ดี แต่จะทำให้เกิดน้ำเน่าเสียซึ่งมาตรฐานคุณภาพของน้ำดื่มปริมาณไนเตรท ( $\text{NO}_3$ ) ไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และมาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้ปริมาณไนเตรท ( $\text{NO}_3$ ) ไม่เกิน 45.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลอง พบว่าปริมาณไนเตรท ( $\text{NO}_3$ ) ในน้ำที่จากกระบวนการกลั่นเอทานอลสูงกว่ามาตรฐานอาจจะเป็นผลดีต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแต่อาจจะมีผลทำให้น้ำเน่าเสียได้ง่าย ผลการใช้ซีโอติในระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาจากน้ำที่ ึ่งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลภายใต้สภาวะแสง LED ที่อัตราการกวนด้วยความเร็วรอบ 150, 200 และ 250 rpm ในถังปฏิกรณ์ขนาด 1 ลิตร

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอติในน้ำที่จากกระบวนการกลั่นเอทานอลที่ทำการหมักด้วยจุลินทรีย์แล้วทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาภายใต้สภาวะแสง LED และอัตราการกวนที่ความเร็วรอบ 150 200 และ 250 รอบต่อนาที พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอติในน้ำที่จากกระบวนการกลั่นเอทานอลหลังจากหมักด้วยจุลินทรีย์มีค่าซีโอติเท่ากับ 2,600 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำที่หลังจากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาด้วยอัตราการกวนด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ค่าซีโอติลดลงเหลือ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อัตราการกวนด้วยความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที ค่าซีโอติลดลงเหลือ 320 มิลลิกรัมต่อลิตร และอัตราการกวนด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ค่าซีโอติลดลงเหลือ 720 มิลลิกรัมต่อลิตรจากมาตรฐานน้ำที่ค่าซีโอติต้องไม่เกิน 120-400 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าซีโอติอัตราการกวนด้วย

ความเร็วรอบ 200 และ 250 รอบต่อนาที มีค่าซีโอติที่น้อยแต่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ดี [6]



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอติในน้ำที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลาภายใต้การกวน 150 200 และ 250 รอบต่อนาที ในถังปฏิกรณ์ขนาด 1 ลิตร

#### 4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลจากการกวนที่มีต่อการเจริญและการผลิตน้ำมันของสาหร่ายคลอเรลลา ที่เพาะเลี้ยงในโดยใช้ น้ำที่จากกระบวนการกลั่นเอทานอลภายใต้แสงจากสารกึ่งตัวนำเรืองแสง (LED) ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ และศึกษาอัตราการกวนที่มีผลต่อการเจริญและการผลิตน้ำมันสาหร่ายคลอเรลลา พบว่าเมื่อนำสาหร่ายคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงในน้ำที่จากกระบวนการกลั่นเอทานอลด้วยอัตราการกวนด้วยความเร็วรอบ 150, 200 และ 250 รอบต่อนาที ที่การกวน 250 รอบต่อนาที สาหร่ายสามารถเจริญสูงที่สุดภายในวันที่ 14 สามารถผลิตมวลเซลล์คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 0.8365 กรัมต่อลิตร การกวนทั้งสามระดับสาหร่ายผลิตน้ำมันได้ไม่แตกต่างกัน ที่การกวน 150 รอบต่อนาที สาหร่ายผลิตน้ำมันได้สูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 4.2673 แสดงให้เห็นว่าน้ำที่จากกระบวนการกลั่นเอทานอลและอัตราการกวนมีผลต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา จะเห็นได้จากการใช้ปริมาณ  $\text{NO}_3$  ในการเจริญ และจากการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอติพบว่าค่า



ซีโอดีเริ่มต้น 2,600 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา พบว่า มีค่าซีโอดีลดลงต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งทุกระดับการกวนจากงานวิจัยพบว่าค่าซีโอดีไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามมาตรฐานคณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร [1] ซึ่งสาหร่ายคลอเรลลาสามารถลดค่าซีโอดีในน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลได้ และลดได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สามารถปล่อยสู่ลงแม่น้ำได้ไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่สนับสนุนการทำวิจัย และสถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่อนุเคราะห์สาหร่ายคลอเรลลา

## 6. เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3. (2539). ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐาน ควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

[2] ธัญญพัทธ์ เพชรแพง. (2557). การศึกษาการผลิตน้ำมันของสาหร่ายคลอเรลลาภายใต้สภาวะที่ไม่ใช้แสง โดยใช้ น้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอล.

[3] ศิริลักษณ์ คำมุงคุณ. (2558). การผลิตน้ำมันของสาหร่ายคลอเรลลาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากกระบวนการหมักไฮโดรเจน.

[4] ศุภชัย เค รื่อง มี อ วิ ท ย า ศ า ส ต ร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2554). **มาตรฐานปริมาณไนเตรท NO<sub>3</sub>**

[5] สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล และคณะ .(2554). การออกแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเบื้องต้น วิศวกรรมเคมี ชีวภาพ พื้นฐาน 2 .สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 284 หน้า.

[6] สุกัญญา ชมชัยรัตน์ .(2555). การหมักน้ำทิ้งจากกระบวนการกลั่นเอทานอลโดยแบคทีเรียเพื่อใช้ผลิตสาหร่ายคลอเรลลา. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

[7] Feng ,Y.,Li.,C and Zhang D.(2011). Lipid production of *Chlorella vulgaris* cultured in artificial wastewater medium. **Bioresource Technology** 102:101-105.

[8] Li. Z., Yuan H.L., Yang J., and Li . Z. (2011). Optimization of the biomass production of oil algae

*Chlorella minutissima* UTEX2341 . **Bioresource Technology**. 102:9128-9134.

[9] Preeya Kaewnaee. (2014). A Two-step sequential treatment of ethanoldistillation bottom liquid by bacterial fermentation and subsequent *Chlorella vulgaris* culture under continuous illumination of various lights.KKU Res.j.2014:19, 98-108.



## ผลของสมรรถนะที่กระทำต่อกังหันแบบแรงกระแทกของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ ที่ต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์และแบบเดลต้าสำหรับเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กมาก

### The Effect of Performance on Impulse Turbine of Automotive Alternator from Star and Delta Stator Windings for Micro Hydro Power Generator

ศรัทธา อุปคำ<sup>1\*</sup> จิรศักดิ์ ปัญญา<sup>1</sup> จักรพันธ์ เมฆจันทร์สม<sup>1</sup> ดุลยรัตน์ ไชยโชติวัฒน์<sup>1</sup> และปรกรณ์ อินทร์ไชย<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 128 ถ.ห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

\*ผู้ติดต่อ: E-mail : srithorn@gmail.com , เบอร์โทรศัพท์ 081-7831973

#### บทคัดย่อ

การศึกษาสมรรถนะที่กระทำต่อกังหันแบบแรงกระแทกของชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กมากที่ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ เพื่อทดสอบสมรรถนะเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กมากที่ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ และเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กมากที่ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ที่ต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์และแบบเดลต้า สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย คือ ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงอินทนนท์ หน่วยแม่ยะน้อย ตำบลบ้านหลวง อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำที่ได้ทำการออกแบบมีกำลังงาน 840 วัตต์ โดยใช้กังหันน้ำแรงกระแทกเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ ขนาด 24 โวลต์ 35 แอมแปร์ ทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ โดยปรับอัตราการไหลของน้ำ 5 ค่า คือ 0.0050 0.0055 0.0060 0.0065 และ 0.0070 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โหลดที่ใช้ในการทดสอบ คือ หลอดไฟฟ้า โดยใช้หลอดเริ่มต้น 50 วัตต์ และเพิ่มโหลดครั้งละ 50 วัตต์ จนครบ 1,000 วัตต์ จากผลการทดสอบ พบว่า ที่อัตราการไหลของน้ำน้อย (ความเร็วรอบต่ำ) กำลังงานสูงสุดที่การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์จะมีค่าสูงกว่าแบบเดลต้า แต่ถ้าเพิ่มอัตราการไหลของน้ำให้สูงขึ้น (ความเร็วรอบสูง) กำลังงานสูงสุดที่การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์จะมีค่าน้อยกว่าแบบเดลต้า โดยเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำให้กำลังงานสูงสุดที่การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบเดลต้าเท่ากับ 509 วัตต์ ที่ความเร็วรอบ 1987 รอบต่อนาที และอัตราการไหลของน้ำ 0.0070 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีประสิทธิภาพ 58.4 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่ากำลังงานสูงสุดมากกว่าแบบสตาร์ 8.96 เปอร์เซ็นต์

**คำหลัก:** เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ ขดลวดสเตเตอร์

#### Abstract

This study was investigate the performance of impact turbine for car electric generator. The purpose to design and assembly small electric generator from car electric generator. The aim of study was compared the performance of water power generator between stator as star type and delta type. The car electric generator was used stator as star type and delta type. The study was performed at Inthanon royal agricultural project, Meaya-noi, Banluang, Jomthong, Chiang Mai. The 840 W water power generator was used with impact turbine. The power which used to drive car electric generator are have 24 V voltage and 35 ampere. The testing were separated into five condition of water flow rate as 0.0050, 0.0055, 0.006, 0.0065 and 0.007 m<sup>3</sup>/s. The light bulb was used as load by initially 50 W and increasing 50 W until 1,000 W during testing. The result show that the lower of water flow rate, the maximum power of star type stator was greater than delta type stator. But, at the higher of water flow rate, the maximum power of star type stator was less than delta type stator. By the maximum power of delta type stator is 509 W at speed of 1,987 RPM, which the condition of 0.007 m<sup>3</sup>/s and have efficiency of 58.4%. Finally, the delta type stator are have maximum power greater than star type stator about 8.96%.



## 1. บทนำ

ในพื้นที่ชุมชนหรือหน่วยงานต่างๆ บนพื้นที่ราบสูง ห่างไกลจากสายส่งไฟฟ้า มีความต้องการไฟฟ้าเพื่อใช้ใน ชีวิตประจำวัน เช่น แสงสว่างสำหรับกิจกรรมในบ้าน การอ่าน หนังสือของเยาวชนในบ้านหรือโรงเรียน รวมถึงระบบการ สื่อสาร เช่น การชาร์จโทรศัพท์มือถือ ด้วยแหล่งพลังงานใน พื้นที่ราบสูงที่มีป่าไม้จะมีแหล่งน้ำที่สามารถนำมาเป็นต้นกำลัง เพื่อการผลิตไฟฟ้าใช้ได้ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีขนาดหรือปริมาณน้ำ ไม่มากจึงต้องใช้เครื่องผลิตไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กหรือเล็กมาก ดังนั้นการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ราบสูงจึงมีขนาดการผลิตที่ไม่มาก และต้องสามารถดูแลซ่อมบำรุงได้ง่าย ต้นทุนต่ำ ซึ่งจาก การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำโดย จิระชาติ มนภัทร พิบูล และ ญัฐพล ตันภู [1] ได้ทำการสร้างและออกแบบชุด ทดสอบประสิทธิภาพกังหันเพลตันโดยได้ทำการทดลองหาค่า กำลังทางไฟฟ้าที่ได้รับจากกังหันเพลตันที่ความดันต่างๆ และ ประสิทธิภาพของกังหันเพลตันในระบบการติดตั้งตามแนวรัศมี และแนวแกน ทำการทดลองประสิทธิภาพของกังหันในย่าน ความดันตั้งแต่ 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 บาร์ ตามลำดับ โดย ติดตั้งกังหันเพลตันให้หมุนตามแนวรัศมีและแนวแกน พบว่า หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 21 มิลลิเมตร ใช้ค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.98 ได้ค่ากำลังงานทางไฟฟ้า 801.56 วัตต์ มีประสิทธิภาพสูงสุด 56.29 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหล 283.86 ลิตรต่อวินาที ที่ความดัน 3 บาร์ การติดตั้งตามแนวแกนมี ประสิทธิภาพมากกว่าแนวรัศมี 0.64 เปอร์เซ็นต์ และได้มีการ พัฒนาระบบพลังงานน้ำขนาดเล็กมากไปสู่ระดับชุมชน โดยศรี ธร อุปะคาและคณะ [2] ได้พบว่าพลังงานที่เหมาะสมในพื้นที่ หมู่บ้านขุนตื้นน้อย ต.แม่ตืน อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่ ที่จะ นำมาใช้เป็นต้นกำลังในการผลิตไฟฟ้า คือ พลังงานน้ำ ซึ่งแหล่ง น้ำมีอัตราการไหลต่ำสุด 0.0108 m<sup>3</sup>/s ระดับความสูง 57 m และมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 3 kW ซึ่ง เพียงพอสำหรับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในชุมชนที่ 12.32 kw-hr ต่อวัน โดยระบบผลิตไฟฟ้าใช้กังหันน้ำเป็นต้น กำลังขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิง โครนัส 1 Phase 3 kW 220V/50Hz 1500 rpm ซึ่งระบบไฟฟ้าสามารถเลือกใช้งานได้ 2 โหมด คือโหมดเชื่อมต่อกับระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยตรง และโหมดเชื่อมต่อเครื่องสำรองไฟฟ้าขนาด 4 kVA ซึ่งต่อ ร่วมกับแบตเตอรี่ขนาด 300Ahr สำหรับเก็บพลังงานสำรองเพื่อ จ่ายไฟฟ้าให้กับชุมชนขุนตื้นน้อย ซึ่งถูกประจุด้วยเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าฝั่งขดลวดเชื่อมผ่านเครื่องประจุแบตเตอรี่

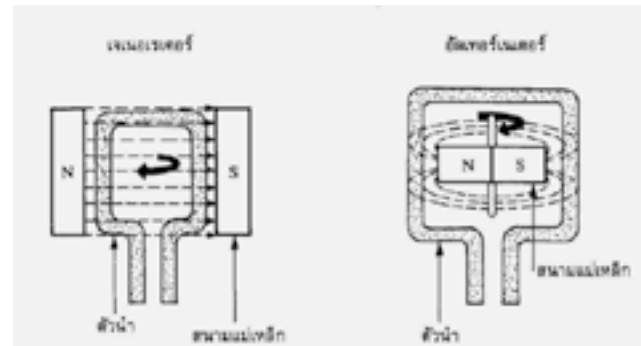
จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ทางคณะทำงานจึงได้มี แนวคิดที่จะทำการศึกษาพัฒนาศักยภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า รถยนต์ที่สามารถหาซื้อได้ง่าย มีอายุการใช้งานนาน ซ่อมบำรุง ง่าย เพื่อให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ดีขึ้น ด้วยการดัดแปลง วงจรของขดลวดในสเตเตอร์ของเครื่องผลิตไฟฟ้าในรถยนต์ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมากที่ ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ เพื่อทดสอบสมรรถนะเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมากที่ ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ และเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาด เล็กมากที่ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า รถยนต์ที่ต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์และแบบเดลต้า

## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ

#### 2.1.1 หลักการเกิดไฟฟ้า [3]

เมื่อนำขดลวดตัวนำหมุนตัดกับสนามแม่เหล็ก หรือให้สนามแม่เหล็กหมุนตัดกับขดลวดก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นภายในขดลวดนั้น



รูปที่ 1 เปรียบเทียบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสไฟตรงและ กระแสไฟสลับ [2]

ซึ่งการที่ขดลวดหมุนตัดกับสนามแม่เหล็ก คือ เครื่องกำเนิด ไฟฟ้ากระแสตรง (DC current) และสนามแม่เหล็กหมุนตัด ขดลวดคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC current) อัล เทอร์เนเตอร์ จะประกอบไปด้วยขดลวดฟิลด์คอยล์หรือขดลวด โรเตอร์(ประกอบด้วยขั้ว N และขั้ว S) และขดลวดตัวนำทาง ไฟฟ้าหรือขดลวดสเตเตอร์ เมื่อตัวโรเตอร์หมุนตัดขดลวด สเตเตอร์ครบ 1 รอบ จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นทั้งคลื่นบวก และคลื่นลบ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเรียกว่าไฟฟ้ากระแสสลับ ดัง



รูปที่ 1 และลักษณะการต่อขดลวดสเตเตอร์มี 2 แบบคือ แบบสตาร์และเดลต้า ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การต่อขดลวดแบบสตาร์และเดลต้า

### 2.1.2 กำลังและพลังงานของของไหล [4]

การประยุกต์ใช้พลังงานจากน้ำที่อยู่ในแหล่งกักเก็บที่อยู่สูงอย่างเช่น น้ำตก หรือเขื่อน ซึ่งน้ำสะสมพลังงานอยู่ในรูปของพลังงานศักย์นั้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$PE = mgH \quad (1)$$

โดยที่  $PE$  = พลังงานศักย์ของของไหล ;  $J$

$m$  = มวลของของไหล ;  $kg$

$g$  = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ;  $m/s^2$

$H$  = ความสูงในแนวตั้งของแหล่งน้ำเหนือ

ระดับอ้างอิง ;  $m$

จากสมการที่ (1) ถ้าเปลี่ยนค่าพลังงานให้อยู่ในรูปของกำลัง หรือค่าพลังงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา จะมีค่าเท่ากับ

$$P_i = \gamma QH \quad (2)$$

โดยที่  $P_i$  = กำลังงานของของไหล ;  $W$

$\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของไหล ;  $N/m^3$

$Q$  = อัตราการไหลของของไหล ;  $m^3/s$

$H$  = ความสูงในแนวตั้งของแหล่งน้ำเหนือ

ระดับอ้างอิง ;  $m$

และสามารถหาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำได้ ดังต่อไปนี้

$$\eta = \frac{P}{P_o} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่  $\eta$  = ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ; %

$P_i$  = กำลังงานของของไหล ;  $W$

$P_o$  = กำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ;  $W$

## 2.2 สถานที่ดำเนินการวิจัย

ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงอินทนนท์ หน่วยแม่ยะน้อย ตำบลบ้านหลวง อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

## 2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ

1) เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ใช้ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ กำลังงาน 800 W ขนาด 24 V 35 A ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกังหัน 250 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีด 25 mm ทดสอบที่ความดันของหัวฉีด 127 kPa



รูปที่ 3 เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าพลังน้ำ

2) หลอดไฟฟ้า ที่ใช้เป็นโหลดของเครื่องผลิตไฟฟ้า

3) เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ

4) วัดตมิตเตอร์

5) เครื่องวัดความเร็วรอบ

6) เครื่องวัดความดันน้ำ

## 2.4 ขั้นตอนการทดสอบ

1) ติดตั้งเครื่องมือวัดต่างๆ เพื่อบันทึกค่าการทดลอง

2) หมุนเปิดวาล์วหัวฉีดเพื่อเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ

3) ปรับอัตราการไหลของหัวฉีดที่  $0.0050 m^3/s$

4) เปิดหลอดหลอดไฟฟ้าขนาด 50 W แล้วทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าและความเร็วรอบของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ

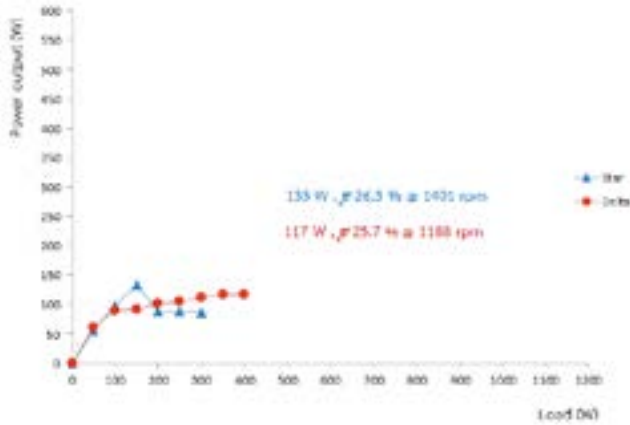
5) เปิดหลอดหลอดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นครั้งละ 50 W แล้วทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าและความเร็วรอบของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ จนครบ 1,000 วัตต์

6) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 - 5 โดยปรับอัตราการไหลของหัวฉีดที่  $0.0055 m^3/s$ ,  $0.0060 m^3/s$ ,  $0.0065 m^3/s$  และ  $0.0070 m^3/s$  ตามลำดับ



### 3. ผลการวิจัย

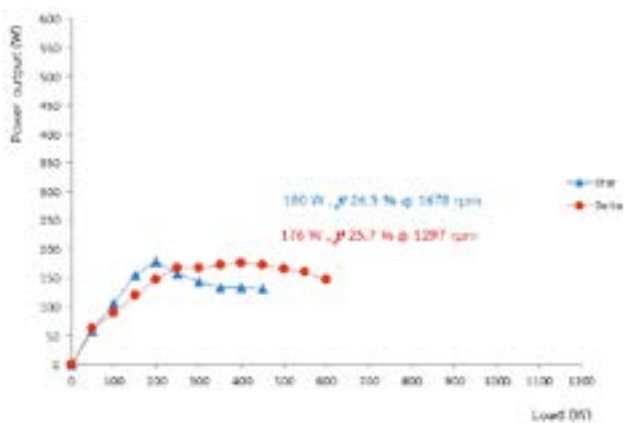
#### 3.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ที่อัตราการไหล 0.0050 m<sup>3</sup>/s



รูปที่ 4 สมรรถนะของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ที่อัตราการไหล 0.0050 m<sup>3</sup>/s

จากผลการทดสอบดังรูปที่ 4 พบว่า เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำให้กำลังงานสูงสุดที่การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์เท่ากับ 133 W ที่ความเร็วรอบ 1401 rpm ซึ่งมีประสิทธิภาพ 26.30 % สูงกว่าการต่อขดลวดสเตเตอร์แบบเดลต้า 2.33 %

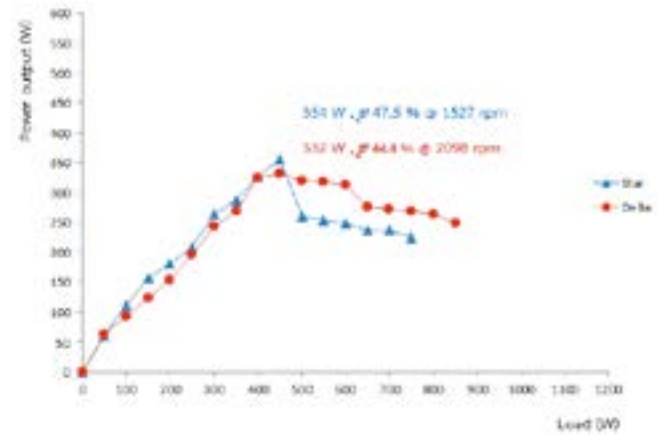
#### 3.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ที่อัตราการไหล 0.0055 m<sup>3</sup>/s



รูปที่ 5 สมรรถนะของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ที่อัตราการไหล 0.0055 m<sup>3</sup>/s

จากผลการทดสอบดังรูปที่ 5 พบว่า เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำให้กำลังงานสูงสุดที่การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์เท่ากับ 180 W ที่ความเร็วรอบ 1678 rpm ซึ่งมีประสิทธิภาพ 26.30 % สูงกว่าการต่อขดลวดสเตเตอร์แบบเดลต้า 2.33 %

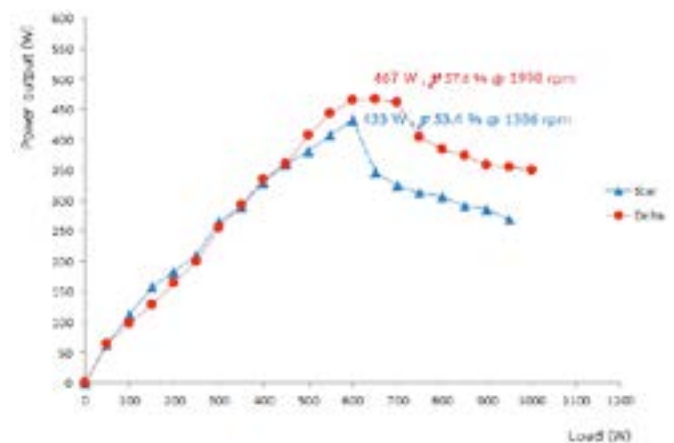
#### 3.3 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ที่อัตราการไหล 0.0060 m<sup>3</sup>/s



รูปที่ 6 สมรรถนะของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ที่อัตราการไหล 0.0060 m<sup>3</sup>/s

จากผลการทดสอบดังรูปที่ 6 พบว่า เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำให้กำลังงานสูงสุดที่การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์เท่ากับ 354 W ที่ความเร็วรอบ 1527 rpm ซึ่งมีประสิทธิภาพ 47.50 % สูงกว่าการต่อขดลวดสเตเตอร์แบบเดลต้า 6.98 %

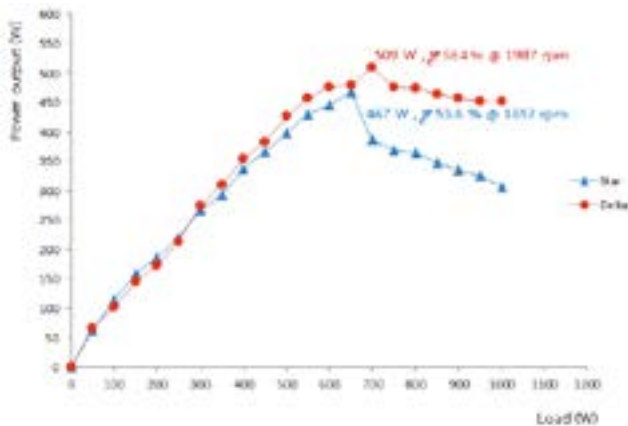
#### 3.4 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ที่อัตราการไหล 0.0065 m<sup>3</sup>/s



รูปที่ 7 สมรรถนะของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ที่อัตราการไหล 0.0065 m<sup>3</sup>/s

จากผลการทดสอบดังรูปที่ 7 พบว่า เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำให้กำลังงานสูงสุดที่การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบเดลต้าเท่ากับ 467 W ที่ความเร็วรอบ 1998 rpm ซึ่งมีประสิทธิภาพ 57.60 % สูงกว่าการต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์ 7.86 %

### 3.5 ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ที่อัตราการไหล 0.0070 m<sup>3</sup>/s



รูปที่ 8 สมรรถนะของเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ที่อัตราการไหล 0.0070 m<sup>3</sup>/s

จากผลการทดสอบดังรูปที่ 8 พบว่า เครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำให้กำลังงานสูงสุดที่การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบเดลต้าเท่ากับ 509 W ที่ความเร็วรอบ 1987 rpm ซึ่งมีประสิทธิภาพ 58.40 % สูงกว่าการต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์ 8.96 %

#### 4. วิจัยผล

จากผลการวิจัย พบว่า ที่อัตราการไหลของน้ำน้อย (ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ต่ำ) กำลังงานสูงสุดที่การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์จะมีค่าสูงกว่าแบบเดลต้า แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าเพิ่มอัตราการไหลของน้ำให้สูงขึ้น (ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์สูง) กำลังงานสูงสุดที่การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์จะมีค่าน้อยกว่าแบบเดลต้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมากที่ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายนต์ เหมาะสำหรับการต่อขดลวดสเตเตอร์แบบเดลต้า และทำงานที่ความเร็วรอบสูง

#### 5. สรุปผล

ที่อัตราการไหลของน้ำน้อย (ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์ต่ำ) กำลังงานสูงสุดที่การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์จะมีค่าสูงกว่าแบบเดลต้า แต่ถ้าเพิ่มอัตราการไหลของน้ำให้สูงขึ้น (ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารถยนต์สูง) กำลังงานสูงสุดที่การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์จะมีค่าน้อยกว่าแบบเดลต้า โดยเครื่องผลิตไฟฟ้าพลังน้ำให้กำลังงานสูงสุดที่การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบเดลต้าเท่ากับ

509 วัตต์ ที่ความเร็วรอบ 1987 rpm และอัตราการไหลของน้ำ 0.0070 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีประสิทธิภาพ 58.4 เปอร์เซ็นต์ และยังพบว่ากำลังงานสูงสุดมากกว่าแบบสตาร์ 8.96 เปอร์เซ็นต์

#### 6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงและบรรลุตามวัตถุประสงค์ได้ เนื่องจากได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และได้รับความอนุเคราะห์จากที่ร้อยตรีวันชัย แก้ววิจิตร และพนักงานศูนย์วิจัยเกษตรหลวงอินทนนท์ หน่วยแม่ยะน้อย ตำบลบ้านหลวง อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ ที่คอยอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ในการติดตั้งและทดสอบ ขณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

#### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] จิระชาติ มนภัทรพิบูล และ ณิชพล ต้นภู. “การศึกษาและการออกแบบชุดทดสอบประสิทธิภาพกังหันน้ำชนิดเพลดัน” ปรินญาณพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ, 2553.
- [2] ศรีธร อุปคำ อุเทน คำน่าน จิรศักดิ์ ปัญญา ทวีศักดิ์ มหารรรณ สมาน ดาวเวียงกัน ศุภลักษณ์ ศรีตา และพร้อมรบ คำธาร “การศึกษาและพัฒนาพลังงานทางเลือกระดับชุมชน” สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) 2557.
- [3] วัฒนา ถาวร. “โรงต้นกำลังไฟฟ้า” สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย ญี่ปุ่น, 2546.
- [4] อนุสรณ์ ชินสุวรรณ. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น. Fluid machinery เครื่องจักรของไหล, 2543.



## การส่งเสริมชุมชนเพื่อการเรียนรู้ผลกระทบระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร บ้านคำปากดาว ต.คำแคน อ.มัญจาคีรี จ.ขอนแก่น

### The Impact of Learning Community Promotion of Biogas Pipeline System Ban Kham Pak Dao, Kham Khaen Village, Manchakhiri District, Khon Kaen Province

วุฒิสาสตร์ โชคแก้ว<sup>1\*</sup>, อภิชาติ คงแป้น<sup>2</sup>, รุจิรา ทะนงกิจ<sup>2</sup> และศาสตรา ศิริแก้ว<sup>1</sup>

<sup>1</sup> หน่วยงานวิจัยพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>2</sup> ฝ่ายกิจการเพื่อสังคม บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) ถ.วิภาวดีรังสิต แขวงจตุจักร เขตจตุจักร กทม. 10900

\*Corresponding author: wutthisat.c@msu.ac.th, 089-7119586

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการส่งเสริมชุมชนเพื่อการเรียนรู้ผลกระทบจากการผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร บ้านคำปากดาว ต.คำแคน อ.มัญจาคีรี จ.ขอนแก่น ภายใต้ความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยมหาสารคามร่วมกับ บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) และ องค์การบริหารส่วนตำบลคำแคน โดยมีนิสิตเป็นกลไกในการทำงานผ่านกิจกรรมลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลชุมชน เรียนรู้วิถีชีวิต และแนวทางการแก้ไขปัญหาอย่างมีส่วนร่วมโดยการนำเอาหลักการควบคุมคุณภาพ (PDCA) มาใช้ในการวางแผนการดำเนินงาน ควบคู่กับการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT) เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย 3 ช่วงหลัก 5 ขั้นตอนดังนี้ ระยะต้นน้ำ ประกอบด้วย (1) การเตรียมความพร้อมและชี้แจงทำความเข้าใจชุมชน ระยะกลางน้ำ ประกอบด้วย (2) การจัดเก็บข้อมูลความรู้ความเข้าใจของชุมชน (3) การเรียนรู้และร่วมสร้างระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพจาก ฟาร์มสุกระดับชุมชน และระยะปลายน้ำ ประกอบด้วย (4) การสะท้อนข้อมูลระดมความคิดเห็น และ (5) สร้างความร่วมมือกับ ภาคีเครือข่าย ผลการดำเนินงานวิจัยพบว่าทุกหน่วยงานให้ความสำคัญในการแก้ปัญหาชุมชน และยกฐานความรู้ของประชาชนใน การใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทน โดยเฉพาะเทคโนโลยีการผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพสามารถนำก๊าซชีวภาพมาเปลี่ยนเป็นพลังงาน เพื่อลดค่าใช้จ่ายรายครัวเรือน อีกทั้งยังสามารถแก้ปัญหามลพิษทางอากาศจากฟาร์มสุกรซึ่งส่งผลต่อความขัดแย้งในชุมชน นับเป็น การพึ่งพาตนเองทางด้านพลังงานและแบ่งปันประโยชน์ภายในชุมชน โดยเทคโนโลยีจะเดินได้และมีความยั่งยืนหากคนในชุมชนมี ช่างหรือผู้รู้ในการดูแลระบบ และการมีส่วนร่วมในระบบตั้งแต่ผู้ประกอบการ (ฟาร์มสุกร) เห็นความสำคัญของระบบผลิตก๊าซ ชีวภาพเป็นหนึ่งในข้อบังคับในการก่อสร้างฟาร์ม เพื่อผลิตพลังงานใช้เองภายในฟาร์มหรือแจกจ่ายสู่ชุมชนใกล้เคียง ผลจากการ สสำรวจพฤติกรรมการใช้พลังงานของกลุ่มผู้ใช้ก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรโดยใช้แบบสอบถามพฤติกรรมปริมาณความต้องการ พลังงานในครัวเรือนที่เปลี่ยนแปลงเฉลี่ยรายเดือนในช่วงเวลาประมาณ 1 ปี ที่ผ่านมา ผ่านแบบบันทึกการใช้พลังงานของกลุ่ม สมาชิกผู้เข้าร่วมโครงการกลุ่มแรกจำนวน 26 ครัวเรือน พบว่ากลุ่มผู้ใช้ก๊าซมีการลดการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เฉลี่ยราย เดือน 1.39 ถัง/ครัวเรือน และลดปริมาณการใช้ถ่านหุงต้ม 1.5 กระสอบ/ครัวเรือน คิดเป็นพลังงานความร้อนรวม 708 จิกะจูล/ปี

**คำหลัก:** ผลกระทบ ระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพ

#### Abstract

This research is purposely to promote the community to learn about the impact of biogas production and distribution from pig farm located at Kampakdao village, Kamkan sub-district, Manchakiri District, Kon Kaen province. The project is an cooperation between Mahasarakham University with PTT (Public) and Kam Kan sub-district organization by sending the university students to conduct the field survey and community data collection, learning about daily life of the community, and finding solutions to the problems basing on principles of quality control (PDCA) for planning of the operation together with Environmental Analysis and Capacity (SWOT) to ensure of work efficiency. It is composed of 3 primary step and 5 procedures as of follows: the initial step shall be comprised of (1) preparation step and community orientation; the midway step, shall be composed of (2) data collection on the understanding of the community (3) learning and constructing

production and distribution system from pig farm to community level, and the ending step shall be comprised of (4) feedback and comments from the community and (5) create cooperation with networks. Nevertheless, it has been come across that all organizations have realized of the importance of community solutions and increasing the understanding of the community on the alternative energy especially production and distribution technology of biomass energy to decrease the household expenditures. It is also able to solve the air pollution from the pig farms that creates the conflict in the community and it is a way of sharing benefits among the community and to suffice the community on energy by locally produce energy for household consumption or selling out the community nearby. The study on energy consumption behavior among the biomass energy produced from pig farm using questionnaire asking about the amount of a monthly energy requirement at the household level during the past year has revealed that by using energy consumption record of the first group of the members of the project 26 households, it has found out that the members of the group has decreased their dependency on LPG approximately 1.39 canister/household and it is also decreased the dependency on charcoal to 1.5 bag/household, it is equivalent to 708 GJ/Year

**Keywords:** Impact, Biogas pipeline system



รูปที่ 1 แนวคิดในการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศโดยใช้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

#### บทนำ

พลังงานนับว่าเป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญเพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ จากสถานการณ์การนำเข้าก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ของประเทศไทย พบว่าความต้องการ LPG (มกราคม พ.ศ. 2560 - สิงหาคม พ.ศ. 2560) เพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับปี 2559 และสถานการณ์การใช้ LPG ของประเทศไทย พบว่ามีปริมาณการใช้ทั้งหมด 547 พันตัน/เดือน โดยสัดส่วนการใช้ภาคครัวเรือนสูงสุด

ปริมาณ 177 พันตัน/เดือน หรือคิดเป็น 35 เปอร์เซ็นต์ [1] อีกทั้งรัฐบาลได้มีแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 หรือ Alternative Energy Development Plan : AEDP2015 โดยมีเป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกในปี พ.ศ. 2579 ตั้งอยู่ที่ 30% ซึ่งเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพในปี พ.ศ. 2579 คือ 1,280 เมกะวัตต์ (การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพสำหรับน้ำเสีย/ของเสีย 600 เมกะวัตต์ และการผลิตไฟฟ้าจาก



ก๊าซชีวภาพสำหรับพืชพลังงาน 680 เมกะวัตต์) และเป้าหมายการผลิตความร้อนจากก๊าซชีวภาพในปี พ.ศ. 2579 คือ 1,283 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ [2] โดยการพัฒนาตามกรอบการส่งเสริมการพัฒนาแผน AEDP มุ่งส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง อีกทั้งยังส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับครัวเรือน โดยเฉพาะชุมชนชนบทเพื่อให้เกิดการพึ่งพาตนเอง(รูปที่ 1) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการพัฒนาและติดตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำมาใช้ในชุมชนระดับครัวเรือน โดยการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และประสิทธิผลของโครงการสามารถสะท้อนข้อมูลเชิงสถิติ อีกทั้งดัชนีการใช้ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาโครงการในมิติต่างๆ ให้ดีและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ในช่วงเวลา 6 ปีที่ผ่านมา องค์การบริหารส่วนตำบลคำแคน อ.มัญจาคีรี จ.ขอนแก่น ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อใช้ในชุมชน และได้ลงนามความร่วมมือกับ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ผ่านกิจกรรมโครงการด้านพลังงานต่างๆ เพื่อให้ชุมชนได้เรียนรู้การประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนในวิถีชีวิตประจำวัน และในปีงบประมาณ พ.ศ.

2559 องค์การบริหารส่วนตำบลคำแคนได้จัดสรรงบประมาณดำเนินโครงการระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร เพื่อเป็นต้นแบบระบบที่มีการพึ่งพากันระหว่างฟาร์มสุกรกับชุมชนรอบข้าง นับว่าเป็นการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด [3] และลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของชุมชนผ่านกิจกรรมการมีส่วนร่วมในการดูแลระบบ

เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อชุมชน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จึงได้จัดกิจกรรมส่งเสริมชุมชนเพื่อการเรียนรู้ผลกระทบจากระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร เพื่อให้เกิดการรับรู้การจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมในชุมชนโดยใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ ผลกระทบทางด้านพลังงาน ด้านสิ่งแวดล้อม ตลอดจนบริบทของชุมชนที่เปลี่ยนไป โดยการส่งเสริมให้ชุมชน/หมู่บ้าน เป็นต้นแบบในการนำวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไปใช้ในการประกอบอาชีพและพัฒนาคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น รวมทั้งสนับสนุนให้ชุมชนเข้าถึงแหล่งเทคโนโลยี มีความตระหนักและมีขีดความสามารถด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



1. ชี้แจงทำความเข้าใจกับชุมชน



2. จัดเก็บข้อมูลความรู้ความเข้าใจ



3. นิสิตเรียนรู้ระบบผลิตและจ่ายก๊าซ



4. สะท้อนข้อมูล ระดมความคิดเห็น



5. สร้างความร่วมมือกับภาคีเครือข่าย

## รูปที่ 2 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน

### วิธีการดำเนินงาน

การจัดกิจกรรมการส่งเสริมชุมชนเพื่อการเรียนรู้ผลกระทบจากระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรเป็นการดำเนินการระหว่างมหาวิทยาลัยมหาสารคามร่วมกับองค์การบริหารส่วนตำบลคำแคน สำนักงานพลังงานจังหวัด

ขอนแก่น และ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ผ่านการวางแผนโดยให้ชุมชนมีส่วนร่วมโดยการนำเอาหลักการควบคุมคุณภาพ (PDCA) [4] มาใช้ในการวางแผนการดำเนินงาน ควบคู่กับการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT) [5] การวิเคราะห์ความเป็นไปได้และความเสี่ยงในการลงทุน เพื่อให้การ



ดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย 3 ช่วงหลัก 5 ขั้นตอน (รูปที่ 2) ดังนี้

1. เตรียมความพร้อมและชี้แจงทำความเข้าใจกับชุมชน (ต้นน้ำ)

1.1 ประสานงานหน่วยงานที่เข้าร่วมประกอบด้วย องค์การบริหารส่วนตำบลคำแคน สำนักงานพลังงานขอนแก่น และ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

1.2 ชี้แจงทำความเข้าใจ ระดมความคิดเห็น วิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรคของระบบผลิต และจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรระดับชุมชน

1.3 แลกเปลี่ยนเรียนรู้แนวคิดในการใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน

2. จัดเก็บข้อมูลความรู้ความเข้าใจสถานการณ์ด้านพลังงาน/พลังงานทางเลือกของชุมชน (กลางน้ำ)

2.1 จัดเก็บข้อมูลความรู้ความเข้าใจระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชนทุกหลังคาเรือนที่มีส่วนได้เสีย

2.2 ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน

2.3 จัดเก็บข้อมูลปัญหาและอุปสรรคการใช้งานก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชน

3. นิสิตเรียนรู้และร่วมสร้างระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรระดับชุมชน (กลางน้ำ)

3.1 นิสิตเรียนรู้วิถีชีวิตชุมชนกับการเปลี่ยนแปลงมาใช้พลังงานทดแทน

3.2 นิสิตเรียนรู้และติดตั้งระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรระดับชุมชน

3.3 ถอดบทเรียนการเรียนรู้ของนิสิตกับปัญหาและอุปสรรคการทำงาน

4. สะท้อนข้อมูลระดมความคิดเห็นผลการศึกษา (ปลายน้ำ)

4.1 สะท้อนข้อมูลผ่านกิจกรรมเวทีเสวนาแลกเปลี่ยนเรียนรู้ “แนวทางการส่งเสริมพลังงานชุมชนเพื่อความยั่งยืน”

4.2 นำเสนอความเป็นไปได้ แนวโน้มของความผันผวนหรือการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

4.3 รับฟังความคิดเห็นเพิ่มเติมของผู้เข้าร่วมโครงการฯ เพื่อปรับเปลี่ยนเนื้อหาและความเข้าใจ

5. สร้างความร่วมมือกับภาคีเครือข่าย (ปลายน้ำ)

5.1 ลงนามข้อตกลงความร่วมมือกับภาคีเครือข่าย ประกอบด้วยองค์การบริหารส่วนตำบลคำแคน สำนักงานพลังงานขอนแก่น และ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

5.2 ผลักดันเครือข่ายสู่แผนโครงการเรียนรู้และถ่ายทอดระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรระดับชุมชน

### ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการดำเนินการวิจัยภายใต้การวางแผนโดยการนำเอาหลักการควบคุมคุณภาพ (PDCA) ซึ่งทุกหน่วยงานและชุมชนมีส่วนร่วมทุกกระบวนการผ่านการประชุมติดตามการดำเนินงานพร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไขอย่างต่อเนื่อง ผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและศักยภาพ (SWOT) ความเป็นไปได้และความเสี่ยงในการลงทุน พบว่าชาวบ้านมีจุดเด่น (S) คือต้นทุนทางด้านสังคมและวัฒนธรรมที่เข้มแข็ง องค์การบริหารส่วนตำบลฯ ได้รับการยอมรับอย่างโปร่งใสในการทำงานและเห็นความสำคัญของพลังงานทดแทน ผู้ประกอบการ (ฟาร์มสุกร) มีความพร้อมทั้งการเงินและการเรียนรู้การแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศ จุดด้อย (W) คือตำแหน่งที่ก่อสร้างฟาร์มสุกรอยู่ใกล้ลำน้ำสาธารณะและยังขาดองค์ความรู้ในการจัดการฟาร์มให้เป็นไปตามมาตรฐาน GMP โอกาส (O) คือมีหน่วยงานภาครัฐและเอกชนพร้อมเป็นพี่เลี้ยงทางด้านความรู้ เทคโนโลยี และงบประมาณ ชาวบ้านต้องการพึ่งพาตนเองทางด้านพลังงาน อุปสรรค (T) คือชาวบ้านยังขาดองค์ความรู้และความเชื่อมั่นในการแก้ปัญหาจากฟาร์มสุกรด้วยเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ โดยผลการดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

1. กระบวนการการมีส่วนร่วมของชุมชน

โครงการติดตั้งระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรระดับชุมชน ต.คำแคน อ.มัญจาคีรี จ.ขอนแก่น เริ่มต้นในปี พ.ศ. 2558 โดย บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ร่วมกับองค์การบริหารส่วนตำบลคำแคน และแกนนำชุมชนวางแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานของตำบลในระยะยาว จัดตั้งคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมประจำตำบลเพื่อเป็นกลไกในการขับเคลื่อน โดยมีเป้าหมายเพื่อการพัฒนาชุมชนต้นแบบด้านการแก้ไขและป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งใช้พลังงานทดแทนและเป็นศูนย์กลางการถ่ายทอดความรู้ด้านพลังงานทดแทนประจำภูมิภาค ทั้งนี้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมฯ มีข้อสรุปว่าปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์มีความจำเป็นต้องดำเนินการแก้ไขอย่างเร่งด่วน โดยมีมติและแนวทางแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม “การจัดทำระบบก๊าซชีวภาพ” ซึ่งได้คัดเลือกฟาร์มตัวอย่างในการก่อสร้าง รวมถึงศึกษาดูงานจากชุมชนที่มีประสบการณ์จากระบบก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกร ต.ท่ามะนาว อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี







ส่วนที่ 2 จากข้อมูลแบบสอบถามรายครัวเรือนเพื่อพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการใช้พลังงานทดแทนในชุมชน พบว่าชุมชนมีส่วนร่วมในการรับผิดชอบต่อปัญหาการขาดแคลนพลังงานในระดับปานกลาง (3.38) โดยให้ความสำคัญในกิจกรรมส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในระดับดี (3.89) เพื่อสร้างความเข้มแข็งด้านพลังงานของชุมชนผ่านกิจกรรมการมีส่วนร่วมภายในชุมชนระดับมาก (4.27) ผ่านความร่วมมือในการสำรวจศักยภาพพลังงานทดแทนในชุมชนระดับมาก (4.19)

ส่วนที่ 3 ผลจากการสัมภาษณ์ในหัวข้อ “ความเข้าใจในระบบก๊าซชีวภาพ” จากกลุ่มผู้ได้รับประโยชน์จากแนวท่อก๊าซจำนวน 26 ครัวเรือน พบว่าทุกครัวเรือนเคยมีส่วนร่วมในการเรียนรู้หลักความปลอดภัยในการใช้งานระบบก๊าซชีวภาพ แต่ยังคงขาดความรู้ด้านการผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพ และยังไม่แน่ใจว่าระบบจะสามารถใช้งานได้หรือไม่ แต่มีความคาดหวังว่าระบบจะสามารถลดปัญหามลพิษทางอากาศ (กลิ่น) ลดค่าใช้จ่ายจาก LPG ที่เคยใช้งานอยู่ประจำ และลดโลกร้อน ชุมชนสามารถผลิตพลังงานใช้เอง หากใช้งานได้จริงพร้อมจะเป็นวิทยากรตัวคูณเพื่อเผยแพร่ความรู้ต่อไป

#### 4. ผลการประหยัดพลังงานกลุ่มผู้ใช้ก๊าซชีวภาพ

ผลจากการสำรวจพฤติกรรมการใช้พลังงานของกลุ่มผู้ใช้ก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรโดยใช้แบบสอบถามพฤติกรรมปริมาณความต้องการพลังงานในครัวเรือนที่เปลี่ยนแปลงเฉลี่ยรายเดือนในช่วงเวลาประมาณ 1 ปี ที่ผ่านมา ผ่านแบบบันทึกการใช้พลังงานของกลุ่มสมาชิกผู้เข้าร่วมโครงการกลุ่มแรกจำนวน 26 ครัวเรือน ผลการสำรวจพบว่ากลุ่มผู้ใช้ก๊าซมีการลดการใช้ LPG เฉลี่ยรายเดือน 1.39 ถัง/ครัวเรือน และลดปริมาณการใช้ถ่านหุงต้มเฉลี่ยรายเดือน 1.5 กระสอบ/ครัวเรือน คิดเป็นพลังงานความร้อนรวม 708 จิกะจูล/ปี

#### สรุป

จากผลการวิจัยพบว่าทุกหน่วยงานให้ความสำคัญในการแก้ปัญหาชุมชน และยกฐานความรู้ของประชาชนในการใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทน โดยเฉพาะเทคโนโลยีการผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพสามารถแก้ปัญหามลพิษทางอากาศจากฟาร์มสุกรซึ่งส่งผลกระทบต่อความขัดแย้งในชุมชน สามารถนำก๊าซชีวภาพมาเปลี่ยนเป็นพลังงานเพื่อลดค่าใช้จ่ายรายครัวเรือนของผู้ที่ได้รับผลกระทบ นับเป็นการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานและ

แบ่งปันประโยชน์ภายในชุมชน โดยเทคโนโลยีจะเดินได้หากคนในชุมชนมีช่างหรือผู้รู้ในการดูแลระบบ และการมีส่วนร่วมในระบบตั้งแต่ผู้ประกอบการ (ฟาร์มสุกร) เห็นความสำคัญของระบบผลิตก๊าซชีวภาพเป็นหนึ่งในข้อบังคับในการก่อสร้างฟาร์มเพื่อผลิตพลังงานใช้เองภายในฟาร์มหรือแจกจ่ายสู่ครัวเรือน/ชุมชนบริเวณใกล้เคียง โดยในมุมมองของมหาวิทยาลัยและกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพร้อมส่งเสริมและวิจัยต่อยอดเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับชุมชนเพื่อแก้ปัญหามลพิษทางอากาศ และเป็นแหล่งพลังงานทดแทนภายในชุมชน โดยยกเอาตัวอย่างระบบผลิตและจ่ายก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรระดับชุมชนเป็นต้นแบบในการขยายผลการแก้ปัญหาต่อไป

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะผู้บริหารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์ ที่อนุมัติงบประมาณสนับสนุนโครงการบริการวิชาการสู่ชุมชน “1 หลักสูตร 1 ชุมชน” ผู้บริหารและบุคลากรองค์การบริหารส่วนตำบลคำแคน สำนักงานพลังงานจังหวัดขอนแก่น บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) และชาวบ้านบ้านคำปากดาวที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลือในการจัดกิจกรรมเป็นอย่างดี

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) (2560). *ภาพรวมพลังงาน*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [www.eppo.go.th](http://www.eppo.go.th), เข้าดูเมื่อวันที่ 29/10/2560.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) (2558). *แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan : AEDP2015)*. กระทรวงพลังงาน.
- [3] กรมควบคุมมลพิษ (2547). *พรบ. กฎหมายและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมมลพิษ*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [www.pcd.go.th](http://www.pcd.go.th), เข้าดูเมื่อวันที่ 25/09/2560.
- [4] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ (2558). *PDCA หัวใจสำคัญของการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [www.ftpi.or.th](http://www.ftpi.or.th), เข้าดูเมื่อวันที่ 25/09/2560.
- [5] เอกชัย บุญยาธิษฐาน (2553). *คู่มือวิเคราะห์ SWOT อย่างมืออาชีพ*, กรุงเทพฯ: ปัญญาชน.



## ศักยภาพการใช้เครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนในโรงงานผลิตอาหาร The potential of using absorption chiller in a food industry

กิจชัย เพ็ชรวารวิทย์<sup>1</sup>, อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
2410/2 ถนน พหลโยธิน แขวง เสนานิคม เขต จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

\*ผู้ติดต่อ: E-mail, apirak.sa@spu.ac.th, โทร 02-5791111, โทรสาร 02-5611721

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงศักยภาพการใช้ระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนในโรงงานแปรรูปอาหารประเภท ไส้กรอก และเบคอน ซึ่งมีกำลังการผลิตเฉลี่ย 5,500 ตันต่อปี ชั่วโมงการทำงาน 7,680 ชั่วโมงต่อปี ขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการหาศักยภาพทางเทคนิคของระบบการผลิต เพื่อหาแนวทางในการใช้น้ำอย่างเหมาะสมพบว่าการปรับปรุงกระบวนการต้มน้ำจากการใช้น้ำผสมโดยตรง สามารถเปลี่ยนเป็นการคายความร้อนผ่านขดท่อจะทำให้มีคอนเดนเสทเหลือพอที่จะนำไปใช้ในเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์พบว่าเมื่อเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นเป็นแบบดูดกลืนทดแทนระบบอัดไอเดิมและใช้ความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตจะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ปีละ 8,711,408 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 0.43 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุนร้อยละ 38 ซึ่งผลตอบแทนอยู่ในเกณฑ์ที่ดี เป็นเพราะใช้ความร้อนมือสองจากกระบวนการผลิต และโรงงานมีชั่วโมงการทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน อีกทั้งค่าไฟฟ้าเฉลี่ยสูงถึง 4.11 บาทต่อหน่วย จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมกับโรงงาน และเป็นกรณีศึกษาที่ดีสำหรับนำไปใช้ในโรงงานกลุ่มอุตสาหกรรมอื่นที่มีการใช้พลังงานในลักษณะเดียวกัน ผลของการศึกษานี้จะเหมาะกับโรงงานที่มีความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและในปัจจุบันภาครัฐฯ มีเงินสนับสนุนในรูปแบบต่าง ๆ เช่นอัตราส่วนลดด้านภาษีอากรสำหรับอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน เงินช่วยเหลือให้เปล่าร้อยละ 20 หรือ 30 สำหรับโครงการอนุรักษ์พลังงานที่ผลตอบแทนดีซึ่งจะทำให้ผู้ประกอบการให้ความสนใจในการอนุรักษ์พลังงานมากขึ้น

**คำหลัก:** โรงงานแปรรูปอาหาร ระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน คอนเดนเสท

### Abstract

This research is to study the potential of using absorption chiller system in a sausage and bacon processing plant with an average production capacity of 5,500 tons a year and the working hours of 7,680 hours a year. The procedure begins with the technical capacity of the production in order to find a proper way to use steam. The study was found that the improvement of the boiling process using a direct steam can be the exothermic change through the coil with enough condensates to use in the absorption chiller without affecting the production process. The economic evaluation showed that replacing the absorption chiller with a vacuum pump and using the heat recovery from the production process can save the expenses of 8,711,408 baht a year with a payback period of 0.43 year. The good return on investment is 38% because of the heat recovery from the production process, 24 working hours a day, and the average electricity cost of 4.11 baht a unit. This is a proper outcome and a good case study for other industrial plants with similar energy consumptions. The result of this study is suitable for the industries with the heat recovery from the production process. In present, the government provides various types of funding such as tax reduction for energy saving equipment, and 20% or 30% subsidy for energy conservation projects. This will give the entrepreneurs more awareness to energy conservation.

**Keywords:** food processing plant, absorption chiller, condensate

## 1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศ โดยเฉพาะภาคธุรกิจอุตสาหกรรมหรือภาคครัวเรือน และภาคการขนส่ง เหล่านี้ต้องอาศัยพลังงานเป็นปัจจัยหลักในการดำเนินการ ดังนั้นการลดการใช้พลังงาน การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพแม้กระทั่งการปรับเปลี่ยนมาใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบอื่น จะช่วยทำให้เกิดผลดีต่อภาพรวมการใช้พลังงานของประเทศเป็นอย่างมาก และปัจจุบันได้มีการค้นคว้าพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ลดการใช้พลังงานในหลาย ๆ รูปแบบเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ได้เหมาะสมทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน

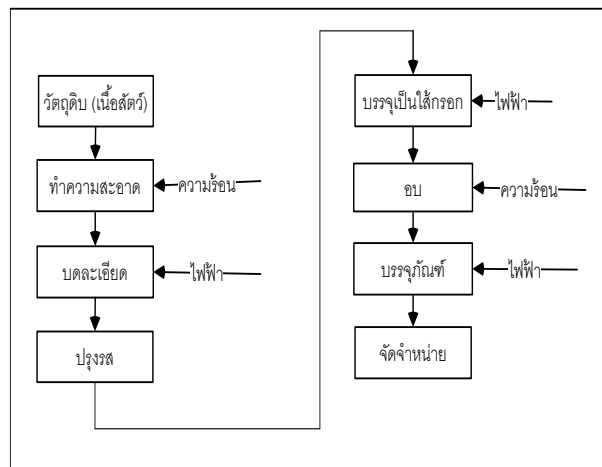
ในธุรกิจอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารประเภทไส้กรอก เบคอน ฯลฯ นอกจากพลังงานความร้อนและไฟฟ้าที่ใช้ในการประกอบการแล้วยังต้องการ การทำความเย็นอย่างต่อเนื่องอีกด้วย จึงทำให้ภาระทางไฟฟ้าโดยรวมส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับระบบการทำความเย็นจึงควรนำระบบดังกล่าวมาพิจารณาในลำดับแรก เพราะจะทำให้เห็นผลประหยัดอย่างชัดเจน ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องทำน้ำเย็นระบบดูดกลืน (absorption chiller) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในอาคารสูงและโรงงานอุตสาหกรรม [1] ข้อได้เปรียบของ absorption chiller คือใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าเครื่องทำน้ำเย็นระบบอัดไอ ผลกระทบต่อโอโซนในชั้นบรรยากาศน้อย การสั่นสะเทือนและเสียงที่เกิดจากการทำงานต่ำ ด้วยเหตุนี้ระบบจึงมีความเหมาะสมกับสภาพการณ์ในปัจจุบัน

## 2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- ศึกษาถึงความต้องการใช้พลังงานรูปแบบต่าง ๆ ของโรงงานแปรรูปอาหาร
- ประเมินศักยภาพทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการนำระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนมาใช้แทนระบบอัดไอเดิม

## 3. ลักษณะทางกายภาพของโรงงานแปรรูปอาหาร

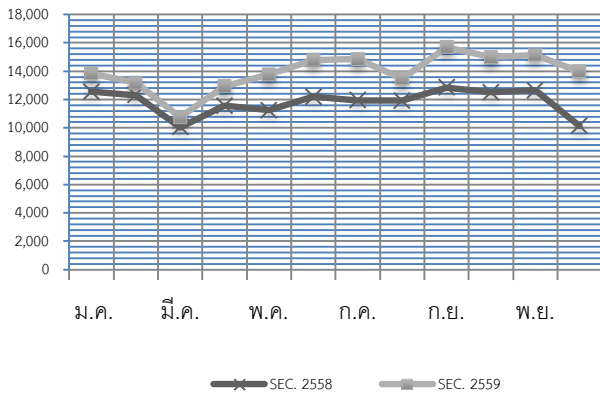
โรงงานที่ใช้เป็นที่ศึกษาเป็นโรงงานแปรรูปอาหารสำเร็จรูปจากวัตถุดิบเนื้อสัตว์นำมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ ตามที่แสดงในรูปที่ 1 เพื่อผลิตเป็นไส้กรอก เบคอน ฯลฯ โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 5,500 ตันต่อปี จำหน่ายภายในและต่างประเทศ



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตไส้กรอก

การใช้พลังงานของโรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในรอบปี 5,573,515 kWh/ปี ค่าเป็นค่าใช้จ่าย 22,907,147 บาท/ปี ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.11 บาท/kWh มีการใช้ compressor chiller ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 300 ตันความเย็นสำหรับใช้ในการปรับอากาศในไลน์การผลิต อายุใช้งานมากกว่า 10 ปี พลังงานความร้อนที่ใช้ได้จากไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำที่มีจำนวน 2 ลูก เติ้น 1 ลูก สำรอง 1 ลูก ยี่ห้อ LOSS GUNZENHAUSEN ชนิด fire tube ผลิตไอน้ำชนิดโออิมตัวพิกัดเครื่อง 8,000 kg/hr เติ้นเครื่องทำงานที่ 5,000 kg/hr ความดันไอสูงสุด 12 bar.g ความดันไอควบคุม 6.5 bar.g (ตัดการจ่ายเชื้อเพลิง) ความดันที่ผลิตได้ 6 bar.g อุณหภูมิไอน้ำป้อน 90 °C จุดไฟด้วยระบบแมกนีโต ใช้หัวเผาชนิด PRESSURE AUTOMIZER ใช้ น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง น้ำมันมีค่าความร้อน 38.18 เมกกะจูล/ลิตร ปริมาณการใช้เฉลี่ย 525,000 ลิตร/ปี ค่าเป็นค่าใช้จ่าย 13,125,000 บาท/ปี ราคา น้ำมันเฉลี่ย 25 บาท/ลิตร โรงงานทำงาน 24 ชั่วโมง/วัน 320 วัน/ปี จากข้อมูลการใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลผลิต (specific energy consumption) หรือ SEC เปรียบเทียบ 2 ปี ที่แสดงในรูปที่ 2 ค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอตามปริมาณผลผลิตไม่มีปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อ SEC มากนักส่งผลให้การใช้พลังงานคงที่

SEC. (MJ/ton)

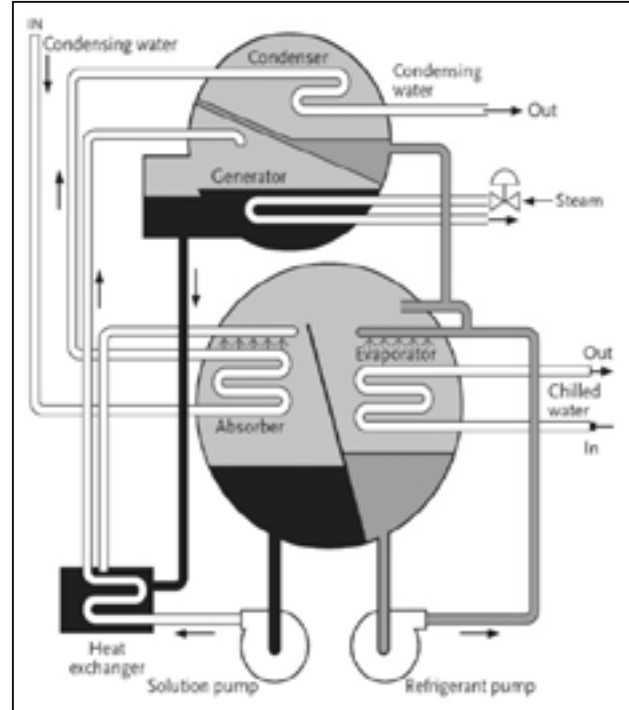


รูปที่ 2 ปริมาณการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานปี 58-59

#### 4. ระบบการทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน

ระบบการทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน [2] ใช้เป็นเครื่องทำน้ำเย็น (chiller) ในระบบปรับอากาศหรือกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ลักษณะการทำงานของมันเป็นคล้ายกับระบบอัดไอแบบปกติในเรื่องของการใช้สารทำความเย็น เป็นตัวขนถ่ายความร้อนในระบบโดยให้ความร้อนจากน้ำในท่อ ที่ทำให้เย็นในส่วนในระบบที่เรียกว่า evaporator แต่แทนที่จะใช้วิธีการอัดสารทำความเย็นในสภาพไอให้มีความดันสูง โดยใช้เครื่องอัด (compressor) มันอาศัยวิธีการดูดกลืน (absorption) โดยใช้สารดูดกลืน (absorbent) ในสภาพของสารละลายดูดเอาไอของสารทำความเย็นไว้ทำให้ตัวมันเองกลายเป็นสารละลายเจือจางต่อจากนั้นของเหลวดังกล่าว จะถูกปั๊มจากห้องการดูดกลืนซึ่งมีความดันต่ำไปยังเครื่องระเหยเพื่อแยกเอาน้ำออกที่เรียกว่า generator ทั้งนี้โดยให้ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) เพื่ออุ่นสารละลายให้ร้อนมากขึ้นก่อนเข้า generator จากการที่ระบบใช้วิธีอัดความดันในสภาพของเหลวทำให้ใช้พลังงานต่ำกว่าการอัดไอในสภาพไอมาก และเนื่องจากปฏิกิริยาการดูดกลืนเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic reaction) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้น้ำหล่อเย็นระบายความร้อนออกใน generator สารทำความเย็นซึ่งปกติจะใช้น้ำจะถูกขับออกจากสารละลายของสารดูดกลืน (มักใช้ Li-Br หรือ  $\text{NH}_3$ ) โดยอาศัยความร้อนจากไอน้ำ ทำให้มันระเหยกลายเป็นไอและแยกตัวออก เนื่องจากจุดเดือดของมันต่ำกว่าสารดูดกลืนไอน้ำที่ใช้จะถูกควบแน่น condenser แล้วไหลเข้าสู่ evaporator ตามวัฏจักรเดิมส่วนสารดูดกลืน เมื่อน้ำถูกแยกออกตัวมันเองจะกลายเป็นสารละลายเข้มข้นไหลกลับมาสู่ห้องดูดกลืน โดยผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่กล่าวมาแล้วเพื่อระบายความร้อนบางส่วนออก ก่อนที่จะมาทำหน้าที่ดูดกลืนไอน้ำในห้อง

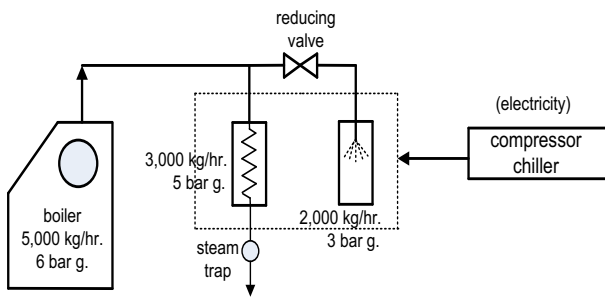
ดูดกลืนเข้าวัฏจักรเดิมต่อไป รายละเอียดของกระบวนการทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนชนิดชั้นเดียว



รูปที่ 3 เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนชนิดชั้นเดียว

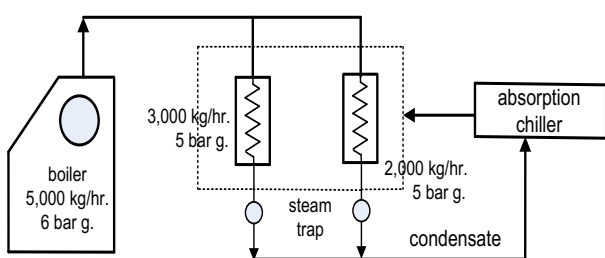
#### 5. วิธีการศึกษา

จากข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานที่แสดงอยู่ในรูปที่ 4 จะเห็นว่าโรงงานมีการผลิตไอน้ำจากหม้อไอน้ำขนาด 5 ตันต่อชั่วโมง ที่ความดัน 6 bar g. และส่งไปใช้ในกระบวนการผลิต โดยแยกออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งใช้ไอน้ำขนาด 3 ตันต่อชั่วโมง ที่ความดัน 5 bar g. ผ่านขดท่อเพื่อคายความร้อนใช้ในการอบฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์และผ่านกับดักไอน้ำ (steam trap) ปล่อยอกสู่บรรยากาศ ส่วนที่สองใช้ไอน้ำขนาด 2 ตันต่อชั่วโมงผ่านวาล์วลดความดันจนเหลือความดัน 3 bar g. ฉีดผสมกับน้ำเพื่อทำน้ำร้อนใช้ในการต้มและล้างทำความสะอาดในกระบวนการผลิตที่ใช้ความร้อนอื่น ๆ ในส่วนการผลิตน้ำเย็นที่ใช้ในระบบปรับอากาศจะใช้ compressor chiller ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก



รูปที่ 4 แผนผังกระบวนการผลิตของโรงงานก่อนปรับปรุง

ในการนี้สามารถออกแบบให้น้ำความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตมาใช้ใน absorption chiller ที่ลงทุนติดตั้งใหม่ทั้งนี้จะต้องเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตน้ำร้อนจากการนำไอน้ำเข้าผสมให้เป็นการคายความร้อนผ่านขดท่อ และระบายออกผ่านกับดักไอน้ำเป็นคอนเดนเสทรวมกับคอนเดนเสทที่ได้จากกระบวนการอบ และนำไปใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนชนิดชั้นเดียวที่ใช้กับน้ำร้อนอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 90 – 130 °C ประมาณ 4,000 kg/hr [3] สำหรับผลิตน้ำเย็นใช้ในการปรับอากาศในโรงงาน เพื่อลดการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอเดิม อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียพลังงานจากการหรีวาล์วอีกส่วนหนึ่งเพราะความดันไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งหมดจะใกล้เคียงกับความดันที่ผลิตจากหม้อไอน้ำ กรณีที่มีคอนเดนเสทส่วนเกินยังสามารถนำไปผสมน้ำป้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นทดแทนระบบเดิมที่ใช้ไอน้ำเข้าผสมน้ำป้อนก็จะประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อไอน้ำอีกทางหนึ่งด้วย ลักษณะของการออกแบบปรับปรุงแสดงอยู่ในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนผังกระบวนการผลิตของโรงงานหลังปรับปรุง

หลังการประเมินศักยภาพทางเทคนิคซึ่งพบว่าโรงงานมีศักยภาพเพียงพอในการปรับปรุงระบบดังกล่าว จากนั้นจึงทำการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นทางเลือกในการลงทุนโดยพิจารณาจากรายรับและรายจ่ายของการลงทุนดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการประกอบด้วย [4]

ก. ค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่อง ( $CH_e$ ) คิดจากความต้องการพลังงานไฟฟ้าของ absorption chiller (12.5 kW) คูณกับ

ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (4.11 Baht/kWh) และชั่วโมงทำงานในรอบปี (7,680hr/yr)

$$CH_e = \text{พลังไฟฟ้า} \times \text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย} \times \text{OP.hr} \quad (1)$$

ข. ค่าดูแลและบำรุงรักษา ( $CH_{O\&M}$ ) รวมถึงค่าซ่อมแซมคิดจากขนาดตันความเย็นของ absorption chiller ที่ใช้ (300 RT) คูณกับค่าดูแลบำรุงรักษารายปี กรณีนี้ดูแลบำรุงรักษารายปีประมาณ 200 Baht/TR/yr (ข้อมูลจากผู้แทนจำหน่าย)

$$CH_{O\&M} = \text{ขนาดตันความเย็น} \times 200 \quad (2)$$

ค. ค่าลงทุนของเครื่อง absorption chiller ( $CH_{cost}$ ) ราคาเครื่องขนาด 300 ตันความเย็น ประมาณ 5,100,000 บาท

ง. ค่าลงทุนของอุปกรณ์ในระบบ condensate และการปรับปรุงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิต ( $EQ_{cost}$ ) รวม 500,000 บาท

2. รายได้ในการลงทุนของโครงการ ประกอบด้วย

ก. ค่าไฟฟ้าของระบบ compressor chiller ( $A/C_e$ ) ขนาด 300 RT คำนวณจากพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องต้องการ (0.95 kW/RT) คูณกับราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย (Baht/kWh) และชั่วโมงทำงานต่อปี (hr/yr)

$$A/C_e = \text{พลังไฟฟ้า} \times \text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย} \times \text{OP.hr} \quad (3)$$

ข. ค่าดูแลและบำรุงรักษาของระบบ compressor chiller ( $A/C_{O\&M}$ ) กรณีนี้อาศัยข้อมูลค่าใช้จ่ายในการดูแลบำรุงรักษาและซ่อมแซมประจำปีที่โรงงานจ่ายให้กับบริษัทผู้รับเหมา ซึ่งราคาบำรุงรักษาจะขึ้นอยู่กับขนาดตันความเย็นและอายุการใช้งานของเครื่อง สมมติให้ค่าเป็น 5% ของราคาเครื่อง (ราคาเครื่อง 3,400,000 บาท)

ค. มูลค่าซากของระบบ absorption chiller ( $S_v$ ) เท่ากับ 1% ของราคาลงทุน

ง. ค่าเสื่อมราคาของ compressor chiller ( $D_{c,old}$ ) คิดโดยวิธีเส้นตรงโดยกำหนดอายุการใช้งานเท่ากับ 25 ปี มูลค่าซากเท่ากับ 10% ของราคาซื้อและอายุการใช้งานขณะประเมิน 12 ปี



3. รายได้สุทธิประจำปี (Annual net income, A) ของระบบ absorption chiller

$$\text{Annual net income} = (A/C_B + A/C_{O\&M}) - (CH_g + CH_{O\&M}) \quad (4)$$

4. การประเมินผลตอบแทนการลงทุน [5] ดัชนีที่ใช้ในการประเมินผลตอบแทนได้แก่

ก. ระยะเวลาคืนทุน (payback period, n) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$P \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = A \quad (5)$$

โดยที่ P คือเงินลงทุน n คือระยะเวลาคืนทุน i คืออัตราดอกเบี้ย A คือรายได้สุทธิประจำปี

ข. อัตราผลตอบแทนภายใน (internal rate of return, IRR) คำนวณจากสมการที่ (6)

$$\sum_{t=1}^N \frac{A}{[1+IRR]^t} - P = 0 \quad (6)$$

โดยที่ t คือปีที่พิจารณา N เป็นอายุการใช้งานของระบบ IRR คืออัตราผลตอบแทนภายใน ดัชนีดังกล่าวนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าโครงการหรือมาตรการนั้น ๆ มีความคุ้มค่าที่จะลงทุนหรือไม่เพียงไร

## 6. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

หลังการประเมินศักยภาพทางเทคนิคซึ่งพบว่ามีความเป็นไปได้ในทางเทคนิค จึงได้ประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยอาศัยข้อมูลทางเทคนิคจากเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ รวมทั้งราคาของอุปกรณ์ที่ใช้จากผู้แทนจำหน่ายภายในประเทศ ได้ข้อสรุปข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงในตารางที่ 1 ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ อยู่ในเกณฑ์ที่ดีทั้งระยะเวลาคืนทุนของโครงการและอัตราผลตอบแทนการลงทุน อาจเป็นเพราะความร้อนที่นำมาใช้เป็นความร้อนที่ เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ทำให้ไม่มีต้นทุนในส่วนนี้อีกทั้งโรงงานทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวันนั้นคือมีชั่วโมงการทำงานมาก ระยะเวลาคืนทุนเร็ว นอกจากนี้โดยการประเมินราคาขายซาก compressor chiller ตามวิธีข้างต้นจะได้ราคาขายสูง จึงทำให้เงินลงทุนต่ำผลตอบแทนดี

ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการประเมิน

ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ที่พิจารณา	มูลค่า
ค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่อง (CH <sub>g</sub> )	394,560 บาท
ค่าดูแลและบำรุงรักษา (CH <sub>O&amp;M</sub> )	60,000 บาท/ปี
ค่าลงทุนของเครื่อง absorption chiller (CH <sub>cost</sub> )	5,100,000 บาท
ค่าลงทุนของอุปกรณ์ (EQ <sub>cost</sub> )	500,000 บาท
ค่าไฟฟ้าของระบบ compressor chiller (A/C <sub>g</sub> )	8,995,968 บาท/ปี
ค่าบำรุงรักษาของระบบ compressor chiller (A/C <sub>O&amp;M</sub> )	170,000 บาท/ปี
มูลค่าซากของระบบ compressor chiller (S <sub>v</sub> )	34,000 บาท
ราคาขาย compressor chiller (ตามค่าเสื่อมราคา, D <sub>c,old</sub> )	1,784,320 บาท
รายได้สุทธิประจำปี	8,711,408 บาท
เงินลงทุนของโครงการ (หักรายได้ต่าง ๆ แล้ว)	3,781,680 บาท
ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ	0.43 ปี
ผลตอบแทนการลงทุนต่อปี	38%

## 7. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของการนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตโดยการปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตบางส่วนพบว่าสามารถนำคอนเดนเสทมาใช้ในระบบ absorption chiller เพื่อทดแทน compressor chiller เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องทำน้ำเย็นเดิม โดยออกแบบให้ใช้อุปกรณ์ส่วนควบต่าง ๆ เช่นปั๊ม หรือหระบายความร้อน (cooling tower) ชุดเดิม การศึกษาเริ่มจากการประเมินศักยภาพในทางเทคนิคเพื่อดูความเป็นไปได้ของปริมาณความร้อนทิ้งที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ในรูปของคอนเดนเสทซึ่งพบว่ามีความเป็นไปได้สูง จากนั้นจึงประเมินศักยภาพในทางเศรษฐศาสตร์โดยพิจารณาจากรายได้และค่าใช้จ่ายของโครงการเทียบกับการลงทุน พบว่าระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนอยู่ในเกณฑ์ที่ดี เนื่องจากโรงงานมีชั่วโมงทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน และราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงงานสูงถึง 4.11 บาท/kWh ทำให้ผลประหยัดจากระบบการทำน้ำเย็นสูงด้วย ผลของการศึกษานี้จะเหมาะกับโรงงานที่มีความร้อนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและในปัจจุบันภาครัฐฯ มีเงินสนับสนุนในรูปแบบต่าง ๆ เช่นอัตราส่วนลดด้านภาษีอากรสำหรับอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน เงินช่วยเหลือให้เปล่าร้อยละ 20 หรือ 30 สำหรับโครงการอนุรักษ์พลังงานที่ผลตอบแทนดีซึ่งจะทำให้ผู้ประกอบการให้ความสนใจในการอนุรักษ์พลังงานมากขึ้น



## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, (2550) กรณีศึกษา “ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Chiller)”, เอกสารประกอบการอบรมสัมมนา เรื่องการอนุรักษ์พลังงานในระบบการทำความเย็น, ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย, กรกฎาคม 2550, 34 หน้า
- [2] ASHRAE Handbook, (1998)”, **Absorption Cooling Heating and Refrigeration Equipment, Refrigeration** Volume. Chapter 41. 1998
- [3] Energy Conservation System. Greener Air Conditioning. Available from URL : <http://www.ecsthai.co.th/product-services-2/greener-air-conditioning/>. Accessed Mar 4, 2014.
- [4] พิชัย กฤษไมตรี, (2541), “ระบบทำความเย็นแบบดูดซึมอดีต ปัจจุบัน และอนาคต” บทความวิชาการสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศ. Vol 27 : 18 – 23.
- [5] อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ และจุลละพงศ์ จุลละโพธิ “การประหยัดไอน้ำในโรงงานยาสูบ” วารสารวิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 พ.ศ.2543 หน้า 95-103
- [6] Reay, D.A., (1979), **Industrial Energy Conservation**, Pergamon, Inc.
- [7] W.F.Stoker, (1989), **Design of Thermal Systems**, Mc.Graw-hill , Inc.



การประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพสำหรับแผนพัฒนาพลังงานชุมชนของภาคใต้  
Assessment of Biomass and Biogas Energy Potential for Community Energy Development  
Plan of Southern Thailand

สุวิทย์ เพชรห้วยลึก\*

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง 93210

\*ผู้ติดต่อ: E-mail: suwitsuwitp@gmail.com, Tel. 0980163961

**บทคัดย่อ**

การวิจัยครั้งนี้ได้ประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพจากแหล่งชีวมวลในภาคภาคใต้ ที่ประกอบด้วย (i) เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ii) มูลสัตว์ และ (iii) น้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปปาล์ม น้ำมันและยางพารา โดยการประเมินจากข้อมูลปี 2548 -2556 และใช้ข้อมูลปี 2556 เป็นฐานตั้งต้น สำหรับพยากรณ์ในปี 2558, 2563, 2568, 2573 และ 2578 ดังนั้น ศักยภาพพลังงานทั้งหมดที่ได้ในปี 2556, 2558, 2563, 2568, 2573 และ 2578 จึงมีค่าเท่ากับ 24.4, 27.4, 35.6, 45.2, 56.6 and 70.5 TWh ตามลำดับ โดยที่ผลการวิเคราะห์แบบจำลองแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าและความร้อนจากชีวมวลและแก๊สชีวภาพของภาคใต้ พบว่า จะได้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 6.5, 8.2, 15.5, 31.8, 50.0 และ 81.7 % ของความต้องการใช้ไฟฟ้าในภูมิภาคนี้ ตามลำดับ ขณะที่พลังงานความร้อนจะมีค่าประมาณ 5.2, 7.2, 17.4, 43.2, 46.1 และ 49.6 % ของศักยภาพพลังงานชีวมวลแก๊สชีวภาพทั้งหมด ตามลำดับ

**คำหลัก:** ศักยภาพพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพ พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน

**Abstract**

This research assesses the biomass and biogas energy potential of the following biomass resources in the southern of Thailand : (i) agricultural residues, (ii) animal manure, and (iii) industrial wastewater of the palm oil and rubber products. The potential of each source is estimated, from the annual year data of 2005 – 2013, for base year 2013 and for the years 2015, 2520, 2525, 2530 and 2035. The total energy potential of these sources in 2013, 2015, 2520, 2525, 2530 and 2035 is 24.4, 27.4, 35.6, 45.2, 56.6 and 70.5 TWh, respectively. The power plant and thermal development plane, from biomass and biogas energy potential of the southern of Thailand, showed that the total electrical energy is estimated to be 6.5, 8.2, 15.5, 31.8, 50.0 and 81.7 % of the projected total electricity consumption of this region, respectively. The total thermal energy is estimated to be 5.2, 7.2, 17.4, 43.2, 46.1 and 49.6 % of the total energy potential, respectively.

**Keywords:** Biomass and Biogas Energy Potential, Electrical Energy, Thermal Energy.

**1. บทนำ**

ปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานในแต่ละปีคิดเป็นมูลค่ากว่า 700,000 ล้านบาท หรือกว่าร้อยละ 10 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product:

GDP) โดยประมาณร้อยละ 80 ของพลังงานที่ใช้ยังเป็นพลังงานเชิงพาณิชย์ที่ได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน และแก๊สธรรมชาติ [1] ซึ่งการเพิ่มขึ้นและความผันผวนของราคาเชื้อเพลิงได้ส่งผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรมและค่า





ครองชีพ แนวทางการลดผลกระทบของปัญหาพลังงาน ก็คือเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่ในประเทศ ซึ่งการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยยังคงใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นหลัก ที่สำคัญคือ น้ำมันและแก๊สธรรมชาติ แต่เชื้อเพลิงหลักอย่างน้ำมันและแก๊สธรรมชาติคงจะต้องหมดลงในไม่ช้านี้ ดังนั้นการสร้างความมั่นคงทางพลังงานโดยการจัดหาหรือวางแผนพัฒนาพลังงานอื่นขึ้นมาทดแทนอย่างยั่งยืนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยต้องมีการประเมินทั้งศักยภาพและผลกระทบที่จะเกิดขึ้นทั้งปัจจุบันและอนาคต พลังงานหมุนเวียนจึงเป็นทางเลือกและทางรอดที่น่าจะเป็นไปได้ ซึ่งสำหรับภาคใต้มีทรัพยากรทางพลังงานหมุนเวียนอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่เนื่องจากพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางอุทุนิยมวิทยาอยู่ตลอดเวลา และนอกจากนี้พืชเศรษฐกิจของภาคใต้มีการขยายพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้นถึงปีละมากกว่า 2 % [1] ทั้งปาล์มน้ำมันและยางพารา ดังนั้นวัสดุเหลือทิ้ง น้ำเสีย และเศษชีวมวลจะต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งในพื้นที่ภาคใต้มีการพัฒนาองค์ความรู้และนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับพลังงานหมุนเวียนขึ้นทั้งในระดับนักวิชาการและชุมชน ทำให้ในระดับชุมชนตื่นตัวมีการพัฒนาใช้ในชุมชนมากขึ้นทั้งภูมิภาค นอกจากนี้ภาคใต้ยังมีการผลิตและแปรรูปทางปศุสัตว์และการผลิตและแปรรูปอาหารทะเลแหล่งใหญ่ด้วย ดังนั้นพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพที่ได้จากการผลิตและแปรรูปดังกล่าวนี้ ทั้งที่อยู่ในระดับอุตสาหกรรมและเกษตรกรรายย่อย จึงต้องมีการประเมินศักยภาพทั้งในเชิงพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน เพื่อกำหนดแผนพัฒนาพลังงานขึ้นมาทดแทนพลังงานหลัก โดยคำนึงถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคมของภูมิภาคนี้ควบคู่ไปด้วย ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะมีประโยชน์ต่อการกำหนดแผนพัฒนาพลังงานหมุนเวียนของภาคใต้ที่มีชีวมวลและแก๊สชีวภาพเป็นหัวใจหลัก นักวิชาการ สถาบันการศึกษาหรือองค์กรที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน และที่สำคัญก็คือการสร้างความคิดตื่นตัวให้เกิดขึ้นต่อการพัฒนาพลังงานหมุนเวียนทั้งในระดับชาติ ภูมิภาค และท้องถิ่น ที่จะร่วมกำหนดเป็นเป้าหมายแก่ภาวการณ์การขาดแคลนพลังงานหลักในอนาคต

## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 ข้อมูลพื้นฐานทุติยภูมิ

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ เป็นการสร้างแบบจำลองแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนจากชีวมวลและแก๊สชีวภาพของภาคใต้ จึงต้องอาศัยการใช้ข้อมูลพื้นฐานทางด้านผลผลิตทางการเกษตรและทางด้านปศุสัตว์ที่สำคัญที่ครอบคลุมทั้ง 14 จังหวัดภาคใต้ ที่เป็นข้อมูลทุติยภูมิของปี พ.ศ. 2548-2556 ซึ่งได้จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [2]-[4] ประกอบด้วย ข้าว ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ยางพารา โคเนื้อ สุกร ไก่เนื้อ ไก่ไข่ และไก่พื้นเมือง โดยที่ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้จากการตรวจพลังงาน และปริมาณพลังงานทดแทนที่ผลิตได้จากชีวมวลและแก๊สชีวภาพของปี พ.ศ. 2556 ได้จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [5]

### 2.2. วิธีดำเนินการวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่เป็นข้อมูลทุติยภูมิตามแหล่งข้อมูลหรือหน่วยงานต่างๆ พร้อมกับสุ่มลงสำรวจและตรวจสอบการให้ผลผลิตในพื้นที่แหล่งทรัพยากรชีวมวลและปศุสัตว์
2. ทำการวิเคราะห์และประเมินพื้นที่ให้ผลผลิตหรือผลผลิตที่ได้ (y) ในอนาคตตามความเหมาะสมและแนวโน้มข้อมูลที่มีอยู่ โดยใช้สมการพยากรณ์แบบยกกำลัง  $y=ax^b$  หรือแบบลอการิทึม  $y=a\ln(x)+b$  เมื่อ x คือ ลำดับที่ของปี โดย พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2578 มีค่า  $x=1$  และ 31 ตามลำดับ ส่วนค่า a และ b คือ สัมประสิทธิ์ของสมการ
3. วิเคราะห์และประเมินศักยภาพพลังงานเชิงความร้อนชีวมวลและแก๊สชีวภาพของทรัพยากรแหล่งต่างๆ โดยใช้ตัวแปรและค่าคงที่ ดังตารางที่ 1 - 3
4. ประเมินศักยภาพพลังงานเชิงไฟฟ้าจากพลังงานเชิงความร้อนที่ได้โดยใช้ตัวแปรและค่าคงที่ ดังตารางที่ 4
5. สร้างแบบจำลองแผนพัฒนาพลังงานทดแทนจากพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพของภาคใต้ ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2557 -2578



ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรคงที่สำหรับใช้ประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้การเกษตรที่สำคัญภาคใต้

ชนิดพืช	วัสดุเหลือใช้	อัตราส่วน		ค่าความร้อน
		วัสดุต่อผลผลิต	วัสดุเหลือใช้ (MJ/kg)	
1. ข้าว	แกลบ <sup>1</sup>	0.230	0.469	12.85
	ฟาง (ส่วนบน) <sup>1</sup>	0.447	0.684	8.83
2. ปาล์ม น้ำมัน**	ทะลายปาล์มเปล่า <sup>1</sup>	0.428	0.584	16.44
	เส้นใยปาล์ม <sup>1</sup>	0.147	0.134	16.19
	กะลาปาล์ม <sup>1</sup>	0.049	0.037	17.00
	ก้าน/ทางใบปาล์ม <sup>1</sup>	2.604	1.000	7.97
	ทะลายปาล์มตัวผู้ <sup>1</sup>	0.233	1.000	14.86
3. มะพร้าว	ลำต้น <sup>2</sup>	0.420	1.000	7.556
	เปลือกมะพร้าว <sup>1</sup>	0.362	0.595	14.71
	กะลามะพร้าว <sup>1</sup>	0.160	0.378	16.48
	ทะลายมะพร้าว <sup>1</sup>	0.049	0.843	13.94
4. ไม้ ยางพารา***	ก้าน/ทางใบมะพร้าว <sup>1</sup>	0.255	0.809	14.55
	กิ่งก้านและใบ <sup>3</sup>	0.10*	1.0	12.68
	ตอ/ราก <sup>3</sup>	0.15*	0.2	12.68
	เศษไม้/เปลือก/ซีกบ <sup>3</sup>	0.15*	0.4	12.68
	ขี้เลื่อย <sup>3</sup>	0.10*	0.2	10.88

หมายเหตุ : <sup>1</sup> Sajjakulnukit et al [8], <sup>2</sup> Garivait et al[9],

<sup>3</sup> สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ [1] : พลังงาน 1 ktoe =

41.868 TJ, : \*อัตราส่วนของชีวมวลไม้ยางพาราทั้งต้น \*\* ลำต้นหมดอายุให้ผลผลิต ประมาณ 25 ปี ได้อัตราชีวมวลไร่ละ 35 ตัน หรือ 1.4 ตัน/ปี หรือ 42 % ของผลผลิตปาล์มต่อไร่ต่อปี \*\*\* ลำต้นให้ผลผลิตประมาณ 25 ปี หรืออัตราตัดโค่น 4 %ต่อไร่ ได้อัตราชีวมวลทั้งหมดเฉลี่ยไร่ละ 35 ตัน

ตารางที่ 2 แสดงค่าตัวแปรคงที่สำหรับใช้ประเมินศักยภาพ

พลังงานจากแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์

ชนิดสัตว์	น้ำหนัก (kg /ตัว)	มูลสด <sup>1</sup> (kg/ตัว/วัน)	อัตราส่วน มูลที่เก็บ ได้ <sup>1</sup>	ของแข็ง ระเหยได้ <sup>1</sup> (%)	แก๊สที่ ผลิตได้ <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> /kg)
1. โคเนื้อ	400	5.00	0.50	13.37	0.307
2. สุกร	60	2.00	0.80	24.84	0.217
3. ไก่เนื้อ	2	0.03	0.80	22.34	0.242
4. ไก่ไข่	2	0.03	0.80	22.34	0.242
5. ไก่ พื้นเมือง	2	0.03	0.80	22.34	0.242

หมายเหตุ : <sup>1</sup> Sajjakulnukit et al [8]

: ค่าความร้อนของแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์ = 21 MJ/m<sup>3</sup>

ตารางที่ 3 แสดงค่าตัวแปรคงที่สำหรับใช้ประเมินศักยภาพพลังงานจากแก๊สชีวภาพจากน้ำเสีย

ประเภท	อัตราส่วน น้ำเสียต่อ ผลผลิต (m <sup>3</sup> /ton)	COD (mg/liter)	อัตรา กำจัด COD (%)	แก๊สที่ได้ (m <sup>3</sup> /kg <sub>cod</sub> )
1. โรงฆ่าสัตว์ <sup>1</sup>	74.54	2,284	80	0.5
2. โรงงานยางแผ่น รมควัน <sup>2</sup>	10.00	6,673	80	0.5
3. โรงงานน้ำยางข้น <sup>2</sup>	8.00	7,996	80	0.5
4. โรงสีปาล์ม <sup>1</sup>	1.00	52,000	80	0.5
5. ฟาร์มสุกร <sup>1</sup>	0.44	4,000	80	0.5

หมายเหตุ : <sup>1</sup> ธเนศ อุทิศธรรม และคณะ [6], <sup>2</sup> กรมควบคุมมลพิษ [7]

: ค่าความร้อนของแก๊สชีวภาพจากน้ำเสีย = 24 MJ/m<sup>3</sup>

ตารางที่ 4 แสดงค่าเพกเตอร์สำหรับคำนวณพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าใช้ขั้นสุดท้าย

ประเภท	Conversion efficiency (%)				Plant capacity factor	
	2556	2563	2568	2573	(h/yr)	(%)
1. ชีวมวล	23.0	26.4	29.1	32.2	6,570	75
2. แก๊สชีวภาพ	30.0	32.2	33.8	35.5	7,200	82

ปรับปรุงจาก : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ [1]

6. สร้างแบบจำลองแผนพัฒนาพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพของภาคใต้ ไปสู่นาตคอีก 32 ปี คือ ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2557-2578 (ค.ศ. 2014 - 2035) โดยใช้ข้อมูล ปี พ.ศ. 2556

เป็นฐานตั้งต้นในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งกำหนดเงื่อนไขดังนี้

6.1 อัตราการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ (GDP) มีภาวะใกล้เคียงช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ที่เติบโตประมาณ 5% ซึ่งทำให้อัตราการบริโภคไฟฟ้าของภาคใต้เพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 5.1 % ดังนั้นจึงใช้อัตราความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคต (ที่ประหยัดแล้ว) เพิ่มขึ้นปีละ 5.0 %



6.2 ด้วยแผนพัฒนาไฟฟ้าพลังงานจากปาล์มน้ำมันของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่กำหนดให้ภาคใต้ ณ ปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) มีเนื้อที่ให้ผลิตปาล์มน้ำมันเท่ากับ 4 ล้านไร่ และพัฒนาอัตราผลผลิตต่อไร่ให้ได้เฉลี่ยปีละ 4 ตัน รวมทั้งมีการรณรงค์ สนับสนุน ส่งเสริม และพัฒนาการใช้เทคโนโลยีเพื่อการผลิตไฟฟ้าและความร้อนจากแหล่งพลังงาน ชีวมวลและแก๊สชีวภาพอย่างต่อเนื่อง จึงสามารถกำหนดให้อัตราการเติบโตของการผลิตไฟฟ้าชีวมวล ปีละ 25 และ 17 % และแก๊สชีวภาพ ปีละ 10 และ 3% สำหรับระยะที่ 1 (ปี 2556 – 2568) และระยะที่ 2 (ปี 2569 -2578) ตามลำดับ เพื่อให้ได้ปริมาณไฟฟ้า 50% ของความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของภาคใต้ ณ ปี 2573 ตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ปี 2555 (PDP 2012)

6.3 ศักยภาพพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพที่เหลืออยู่ในจังหวัดต่างๆ ของภาคใต้ ในแต่ละปีนำมาใช้เชิงความร้อนที่มีความต้องการอยู่แล้วในภาคอุตสาหกรรม รวมทั้งมีการรณรงค์สนับสนุน ส่งเสริม และพัฒนาการใช้เทคโนโลยี เพื่อการผลิตพลังงานความร้อน โดยกำหนดให้อัตราการเติบโตของการผลิตความร้อนจากชีวมวล ปีละ 26 และ 6 % และแก๊สชีวภาพ ปีละ 5 และ 10% สำหรับระยะที่ 1 และระยะที่ 2 ตามลำดับ

### 3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

#### 3.1 ศักยภาพพลังงานชีวมวล

ผลการประเมินศักยภาพพลังงานความร้อนของชีวมวลที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งจากข้าว ปาล์ม น้ำมัน มะพร้าว และยางพารา และเมื่อเปลี่ยนเป็นศักยภาพพลังงานเชิงไฟฟ้าของชีวมวลด้วยค่าเพกเตอร์ตามตารางที่ 4 ได้ผลดังตารางที่ 5 ซึ่งพบว่า จังหวัดกระบี่มีศักยภาพพลังงานมากที่สุด ในช่วงปี 2548-2550 แต่หลังจากนั้นมีอัตราต่ำกว่าจังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีค่าสูงสุด ตามมาด้วยกระบี่ ชุมพรและนครศรีธรรมราช ตามลำดับ ซึ่งรวมกันแล้วมีค่ามากกว่า 70% ของศักยภาพพลังงานชีวมวลทั้งหมด โดยที่จังหวัดนครศรีธรรมราชมีอัตราการเพิ่มศักยภาพพลังงานชีวมวลสูงที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณา รวมทั้งภาคใต้จะมีศักยภาพเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 15.3%ต่อปี ในช่วงปี 2548-2556 และ 8.7 %ต่อปี ในช่วงปี 2557-2578 โดยในช่วงปี 2550-2553 มีภาวะแปรปรวนค่อนข้างมาก แต่หลังจากนั้นมีศักยภาพพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จาก 26.3 TWh ในปี 2556 เพิ่มขึ้น เป็น 68.3 TWh ในปี 2578 ดังภาพที่ 1 และเมื่อพิจารณาศักยภาพพลังงานชีวมวลรวมทั้งภาคใต้ตามชนิดของแหล่งทรัพยากร พบว่า ปาล์ม น้ำมันมีศักยภาพมากที่สุดถึง 90 %ของทั้งหมด รองลงมา คือ ไม้ยางพารา ส่วนข้าวและมะพร้าวศักยภาพจะลดลงในอนาคต ดังภาพที่ 2

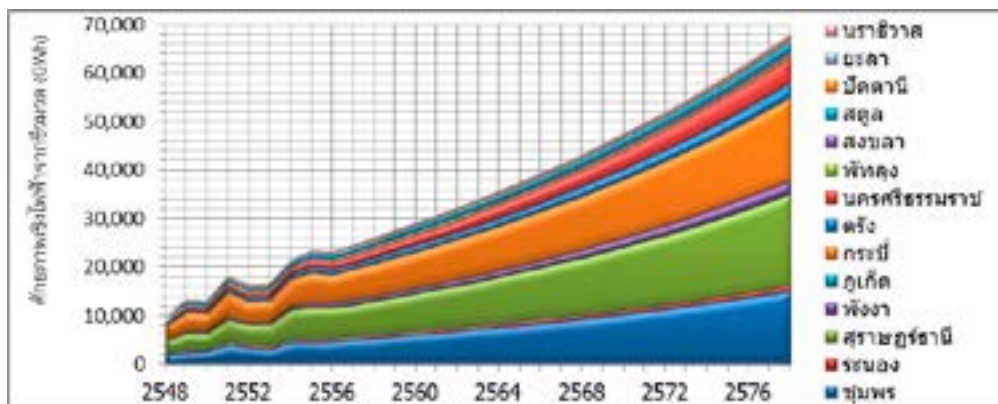


ตารางที่ 5 คักยภาพพลังงานเชิงไฟฟ้าที่ประเมินได้จากชีวมวลรวมเป็นรายจังหวัด และจำแนกตามชนิดของพืชที่ให้ชีวมวลรวมทั้งภาคใต้

จังหวัด	คักยภาพพลังงานเชิงไฟฟ้าจากชีวมวล (GWh)							Rate1 (%/ปี)	Rate2 (%/ปี)
	2548	2556	2558	2563	2568	2573	2578		
ชุมพร	1,845	4,850	5,512	7,281	9,387	11,948	15,088	20.36	9.60
ระนอง	123	382	403	527	669	837	1,038	26.18	7.81
สุราษฎร์ธานี	2,738	6,485	7,175	9,363	11,967	15,127	18,996	17.11	8.77
พังงา	305	920	993	1,335	1,746	2,253	2,883	25.20	9.70
ภูเก็ต	30	27	26	27	29	32	35	-1.28	1.31
กระบี่	3,049	6,054	6,757	8,685	10,981	13,759	17,147	12.32	8.33
ตรัง	591	1,047	1,154	1,502	1,887	2,329	2,846	9.63	7.81
นครศรีธรรมราช	460	1,661	1,925	2,674	3,469	4,355	5,364	32.61	10.13
พัทลุง	138	247	269	353	448	558	687	9.83	8.11
สงขลา	347	464	504	592	688	794	912	4.20	4.39
สตูล	360	526	648	808	999	1,231	1,512	5.78	8.51
ปัตตานี	96	121	168	215	271	337	417	3.18	11.12
ยะลา	174	240	277	326	380	441	511	4.72	5.13
นราธิวาส	262	345	442	530	629	743	875	3.93	6.99
<b>ทั้งภาคใต้</b>	<b>10,520</b>	<b>23,369</b>	<b>26,252</b>	<b>34,219</b>	<b>43,550</b>	<b>54,744</b>	<b>68,310</b>	<b>15.27</b>	<b>8.74</b>
ข้าว	191	172	159	161	168	178	191	-1.23	0.51
ปาล์มน้ำมัน	8,102	20,569	23,385	31,032	40,008	50,808	63,938	19.23	9.58
มะพร้าว	409	250	233	221	218	220	226	-4.85	-0.44
ยางพารา	1,819	2,378	2,476	2,805	3,156	3,537	3,954	3.84	3.01

หมายเหตุ : Rate1 คือ อัตราพลังงานเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยต่อปี ของปี 2548 -2556 (จากผลผลิตที่มีอยู่จริง)

Rate2 คือ อัตราพลังงานเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยต่อปี ของปี 2557 -2547 (จากผลผลิตที่พยากรณ์ได้)

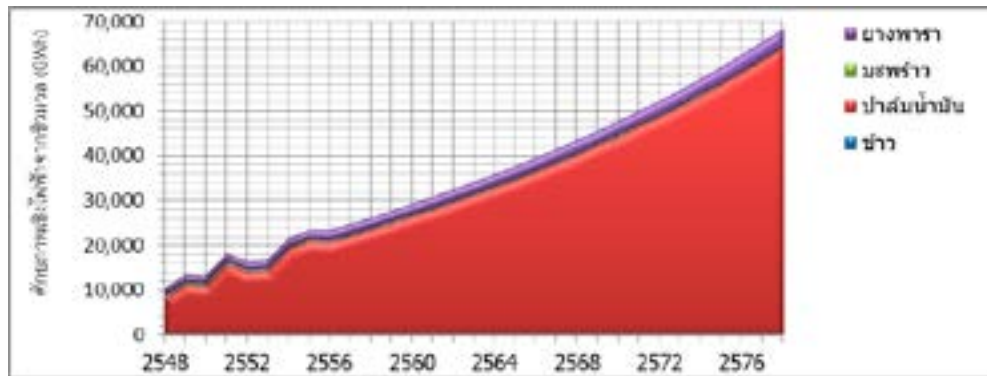


ภาพที่ 1 คักยภาพพลังงานเชิงไฟฟ้าที่ประเมินได้จากชีวมวลรวมเป็นรายจังหวัด

### 3.2 คักยภาพพลังงานจากแก๊สชีวภาพ

ผลการประเมินคักยภาพพลังงานความร้อนของแก๊สชีวภาพที่ได้จากของเสียและมูลของการผลิตโคเนื้อ สุกร และไก่ และเปลี่ยนเป็นคักยภาพพลังงานเชิงไฟฟ้าของแก๊วชีวภาพด้วยค่าเฟกเตอร์ตามตารางที่ 4 ได้ผลดังตารางที่ 6 ซึ่งพบว่า จังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ และชุมพร มีคักยภาพพลังงานจากแก๊สชีวภาพที่ใกล้เคียงกัน คือ มากกว่า 500 GWh ซึ่งรวมกันแล้วมีค่ามากกว่า 60% ของคักยภาพพลังงานแก๊สชีวภาพ

ทั้งหมด โดยที่จังหวัดชุมพร มีอัตราการเพิ่มคักยภาพพลังงานจากแก๊สชีวภาพสูงที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณารวมทั้งภาคใต้จะมีคักยภาพเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 9.7%ต่อปี ในช่วงปี 2548 -2556 และ 5.0%ต่อปี ในช่วงปี 2557-2578 โดยในช่วงปี 2550 -2552 มีภาวะแปรปรวนค่อนข้างมาก แต่หลังจากนั้นมีคักยภาพพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จาก 1.0 TWh ในปี 2554 เพิ่มขึ้น เป็น 2.2 TWh ในปี 2578 ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ศักยภาพพลังงานเชิงไฟฟ้าที่ประเมินได้ตามชนิดพืชที่ให้ชีวมวลรวมทั้งภาคใต้

ตารางที่ 6 ศักยภาพพลังงานเชิงไฟฟ้าที่ประเมินได้จากแก๊สชีวภาพรวมเป็นรายจังหวัด และจำแนกตามชนิดของแหล่งที่ให้แก๊สชีวภาพรวมทั้งภาคใต้

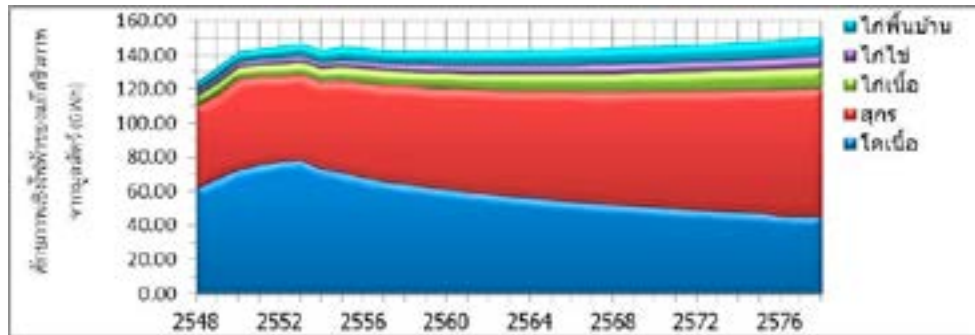
จังหวัด	ศักยภาพพลังงานเชิงไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพ (GWh)							Rate1	Rate2
	2548	2556	2558	2563	2568	2573	2578	(%/ปี)	(%/ปี)
ชุมพร	80.4	186.4	206.8	257.7	313.9	377.9	451.7	16.49	6.47
ระนอง	7.3	16.3	16.7	20.2	23.9	28.1	32.7	15.40	4.57
สุราษฎร์ธานี	128.6	260.2	280.2	341.9	410.5	488.7	579.0	12.80	5.57
พังงา	19.5	41.8	43.6	53.9	65.4	78.7	94.1	14.31	5.69
ภูเก็ต	4.4	4.3	4.4	4.6	4.9	5.1	5.4	-0.30	1.18
กระบี่	124.9	223.9	244.3	297.4	356.5	423.9	501.4	9.90	5.64
ตรัง	40.7	60.0	63.2	73.5	84.2	95.6	108.1	5.93	3.65
นครศรีธรรมราช	52.8	101.6	110.3	133.9	156.9	180.6	205.5	11.54	4.65
พัทลุง	24.1	32.8	33.6	36.9	40.3	44.1	48.2	4.53	2.13
สงขลา	41.5	50.5	52.3	55.7	59.3	63.1	67.0	2.70	1.49
สตูล	19.1	25.7	29.7	34.1	39.2	44.9	51.5	4.38	4.55
ปัตตานี	13.3	11.4	11.3	11.2	11.2	11.4	11.6	-1.78	0.07
ยะลา	15.9	18.5	19.5	20.8	22.2	23.8	25.4	2.10	1.70
นราธิวาส	23.1	24.8	27.6	29.5	31.6	34.1	36.8	0.87	2.21
<b>ทั้งภาคใต้</b>	<b>596</b>	<b>1,058</b>	<b>1,143</b>	<b>1,371</b>	<b>1,620</b>	<b>1,900</b>	<b>2,219</b>	<b>9.71</b>	<b>4.98</b>
<b>แก๊สชีวภาพผลสัตว์</b>	<b>123.9</b>	<b>144.0</b>	<b>142.5</b>	<b>142.4</b>	<b>144.1</b>	<b>146.8</b>	<b>150.3</b>	<b>2.03</b>	<b>0.20</b>
โคเนื้อ	61.88	68.48	64.59	57.55	52.59	48.76	45.61	1.33	-1.52
สุกร	47.86	55.00	56.90	61.41	65.77	70.14	74.59	1.86	1.62
ไก่เนื้อ	6.49	8.39	8.75	9.81	10.78	11.72	12.65	3.68	2.30
ไก่ไข่	2.78	4.08	4.33	4.87	5.37	5.85	6.33	5.88	2.50
ไก่พื้นบ้าน	4.87	8.05	7.95	8.80	9.59	10.36	11.14	8.15	1.75
<b>แก๊สชีวภาพหน้าสิ่ว</b>	<b>472</b>	<b>914</b>	<b>1,001</b>	<b>1,229</b>	<b>1,476</b>	<b>1,753</b>	<b>2,068</b>	<b>11.73</b>	<b>5.74</b>
ข้าวหะโคเนื้อ	5.93	5.91	5.60	4.99	4.56	4.22	3.95	-0.04	-1.51
ข้าวหะสุกร	9.85	11.16	11.47	12.39	13.28	14.16	15.07	1.66	1.59
ข้าวหะไก่เนื้อ	16.97	20.50	21.64	24.44	26.97	29.42	31.84	2.60	2.51
ข้าวหะไก่พื้นบ้าน	2.10	2.74	2.86	3.17	3.47	3.76	4.04	3.76	2.16
ฟาร์มเลี้ยงสุกร	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10	1.86	1.62
แปรรูปข้าวพารา	125.4	144.2	147.3	158.9	170.2	181.5	193.2	1.87	1.55
หีบปาล์มน้ำมัน	311.3	729.7	811.9	1,024.9	1,257.4	1,519.7	1,820.1	16.80	6.79

หมายเหตุ : Rate1 คือ อัตราพลังงานเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยต่อปี ของปี 2548 -2556 (จากผลผลิตที่มีอยู่จริง) Rate2 คือ อัตราพลังงานเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยต่อปี ของปี 2557 -2547 (จากผลผลิตที่พยากรณ์ได้)

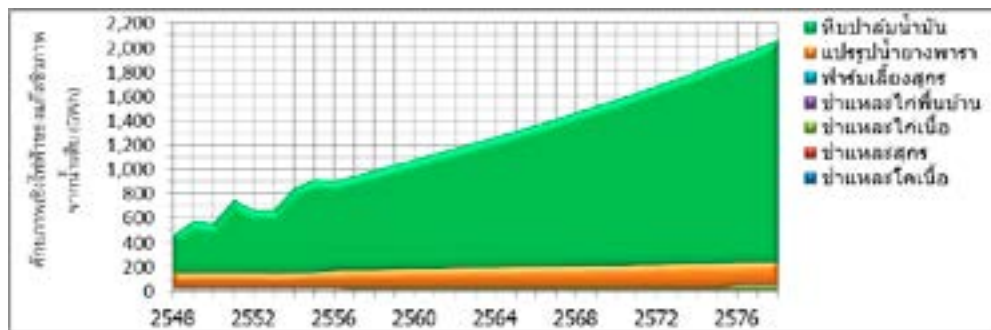


เมื่อพิจารณาศักยภาพพลังงานจากแก๊สชีวภาพรวมทั้งภาคใต้ ตามชนิดของแหล่งทรัพยากร พบว่า น้ำเสียจากการหีบหรือสกัดน้ำมันปาล์ม มีศักยภาพมากที่สุดถึง 80 %ของทั้งหมด

รองลง คือ น้ำเสียจากการแปรรูปน้ำยางพารา ส่วนศักยภาพแก๊สชีวภาพจากน้ำเสียของการชำแหละโคเนื้อ มีค่าลดลงในอนาคต ดังภาพที่ 3 และ 4



ภาพที่ 3 ศักยภาพพลังงานเชิงไฟฟ้าที่ประเมินได้จากแก๊สชีวภาพของมูลสัตว์รวมทั้งภาคใต้



ภาพที่ 4 ศักยภาพพลังงานเชิงไฟฟ้าที่ประเมินได้จากแก๊สชีวภาพของน้ำเสียรวมทั้งภาคใต้

### 3.3 ศักยภาพพลังงานเชิงไฟฟ้าของชีวมวลและแก๊สชีวภาพ

เมื่อนำศักยภาพพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพที่ประเมินได้แล้วมาพิจารณาร่วมกับการใช้พลังงานไฟฟ้า และผลผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากชีวมวลและแก๊สชีวภาพ เป็นรายจังหวัดของภาคใต้ ณ ปี 2556 พบว่า จังหวัดกระบี่ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี มีศักยภาพทางด้านพลังงานชีวมวลที่โดดเด่นมาก และมีค่ามากกว่า 2 เท่าของปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในจังหวัดนั้นๆ โดยที่จังหวัดพังงา ตรัง นครศรีธรรมราช สตูล ภูเก็ต และนราธิวาส ก็มีศักยภาพพลังงานชีวมวลสูงกว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าด้วย แต่ขณะที่จังหวัดสงขลาและภูเก็ตมีศักยภาพพลังงานชีวมวลต่ำปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก โดยที่จังหวัดกระบี่และยะลา มีผลผลิตพลังงานชีวมวลใช้แล้วใกล้เคียงกับปริมาณการใช้ไฟฟ้า และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ซึ่งในปี 2556 จังหวัดยะลา มีการผลิต

พลังงานชีวมวลใช้แล้วมากกว่าศักยภาพพลังงานชีวมวลที่มีอยู่ ดังภาพที่ 5 ซึ่งเมื่อพิจารณาศักยภาพพลังงานจากแก๊สชีวภาพ จะเห็นได้ชัดเจนว่ามีปริมาณที่ต่ำมากเมื่อเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละจังหวัด โดยที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีความโดดเด่นของแก๊สชีวภาพมากที่สุดเมื่อเทียบกับจังหวัดอื่นๆ คือ มีผลผลิตพลังงานจากแก๊สชีวภาพที่ใกล้เคียงกับศักยภาพที่มีอยู่ และผลผลิตพลังงานชีวมวลที่ใช้ได้แล้ว

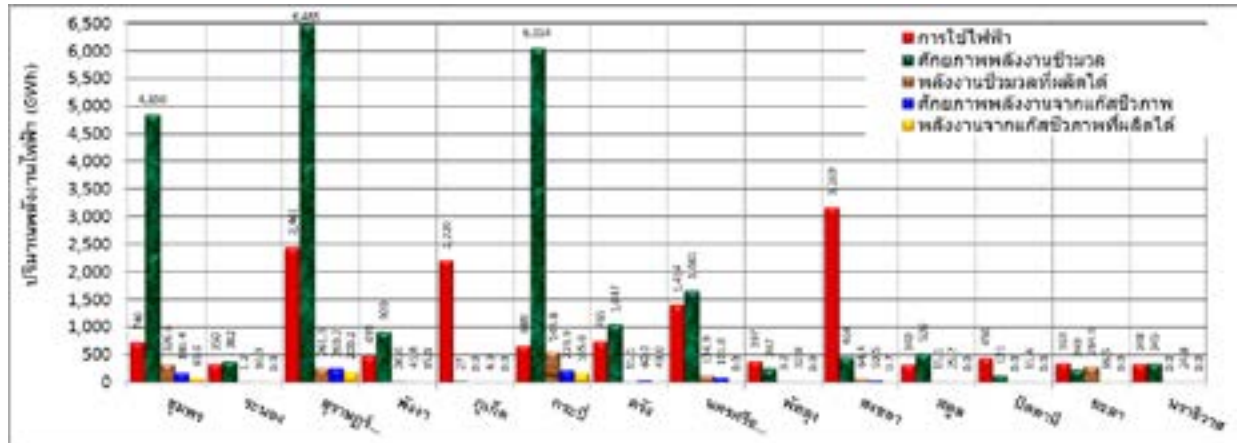
### 3.4 แบบจำลองแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าและความร้อนจากชีวมวลและแก๊สชีวภาพ

ผลการสร้างแบบจำลองแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าและความร้อนจากชีวมวลและแก๊สชีวภาพของภาคใต้ พบว่าพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อนได้มากกว่า 90% ของทั้งหมด โดยปี 2556 ภาคใต้มีพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่ผลิตใช้ได้



แล้วจากชีวมวลและแก๊สชีวภาพเท่ากับ 6.5 % ของความต้องการใช้ไฟฟ้า และเพิ่มขึ้น (แบบเอ็กโพเนนเชียล) เป็น 8.2, 15.5, 31.8, 50.0 และ 81.7 % ในปี 2558, 2563, 2568, 2573 และ 2578 ตามลำดับ ขณะที่แผนพัฒนาความร้อนจะ

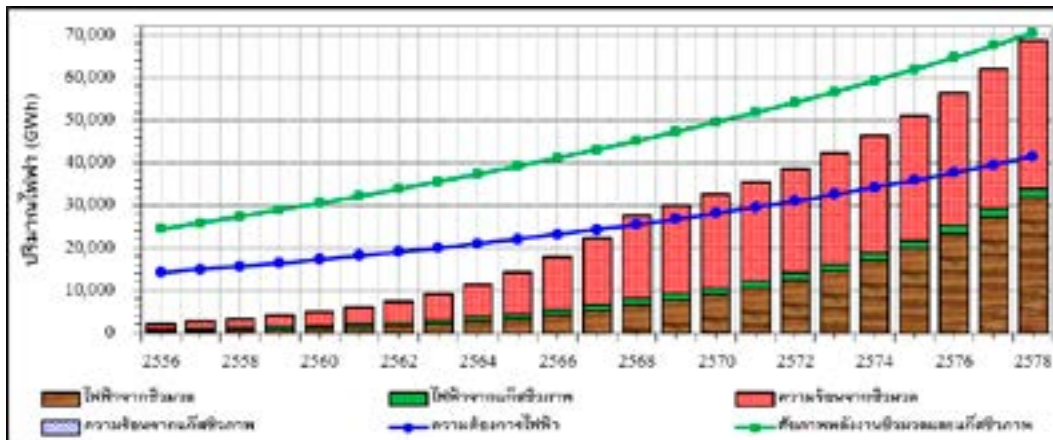
เพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกัน จาก 5.2% (ของศักยภาพพลังงานรวม) ในปี 2556 เป็น 7.2% และ 49.6% ในปี 2568 และ 2578 ตามลำดับ ดังตารางที่ 7 และแสดงละเอียดรายปี ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้า และศักยภาพพลังงานและพลังงานเชิงไฟฟ้าที่ผลิตได้แล้วจาก ชีวมวลและแก๊สชีวภาพ เป็นรายจังหวัดของภาคใต้ ณ ปี 2556

ตารางที่ 7 ผลวิเคราะห์แบบจำลองแผนพัฒนาพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพของภาคใต้ ตั้งแต่ปี 2557-2578

ตัวแปร	ปริมาณไฟฟ้ารวม (GWh)						อัตราเติบโต (%/ปี)	
	2556	2558	2563	2568	2573	2578	2556-2568	2569-2578
<b>ความต้องการไฟฟ้า</b>	14,207	15,663	19,990	25,513	32,562	41,558	5	5
<b>แผนพัฒนาไฟฟ้า</b>								
ชีวมวล	457	714	2,180	6,654	14,589	31,986	25	17
แก๊สชีวภาพ	468	567	913	1,470	1,704	1,976	10	3
<b>แผนพัฒนาความร้อน</b>	1,260	1,978	6,182	19,506	26,127	35,001		
ชีวมวล	1,213	1,926	6,115	19,421	25,990	34,780	26	6
แก๊สชีวภาพ	47	52	67	85	137	221	5	10
<b>ศักยภาพพลังงานรวม</b>	24,427	27,396	35,590	45,170	56,644	70,529		
ชีวมวล	23,369	26,252	34,219	43,550	54,744	68,310		
แก๊สชีวภาพ	1,058	1,143	1,371	1,620	1,900	2,219		
<b>ศักยภาพที่เหลือ (%)</b>	91.1	88.1	73.9	38.8	25.1	2.2		
<b>อัตราแผนพัฒนาไฟฟ้า/ความต้องการ (%)</b>	6.5	8.2	15.5	31.8	50.0	81.7		
<b>อัตราแผนพัฒนาความร้อน/ศักยภาพรวม (%)</b>	5.2	7.2	17.4	43.2	46.1	49.6		



ภาพที่ 6 พลังงานเชิงไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองแผนพัฒนาพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพของภาคใต้ ตั้งแต่ปี 2557 – 2578

นั้นแสดงว่าศักยภาพพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพที่เหลืออยู่ 91.1 % ในปี 2556 จะลดลงเหลือเพียง 2.2 % ในปี 2578 โดยสามารถผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพได้ตามแผน PDP 1012 เท่ากับ 50.0 และ 81.7 % ของความต้องการใช้ไฟฟ้า ณ ปี 2573 และ 2578 ตามลำดับ และภาคใต้สามารถที่จะใช้พลังงานหมุนเวียนผลิตไฟฟ้าได้ 100 % ของความต้องการใช้ไฟฟ้า ณ ปี 2558 โดยใช้พลังงานหมุนเวียนชนิดอื่นร่วมด้วยอีกเพียง 18.3% หรือเท่ากับ 7,600 GWh ซึ่งพลังงานลมและพลังงานน้ำ คือ โอกาสที่จะทำได้ตามเป้าหมายนี้

#### 4. สรุปผลการวิจัย

ผลการประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพรายจังหวัดของภาคใต้ ณ ปี 2556 พบว่า จังหวัดกระบี่ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี มีศักยภาพทางด้านพลังงานชีวมวลที่โดดเด่นมาก แต่ขณะที่จังหวัดสงขลาและภูเก็ตมีศักยภาพพลังงานชีวมวลต่ำกว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก โดยที่จังหวัดกระบี่และยะลา มีผลผลิตพลังงานชีวมวลใช้แล้วใกล้เคียงกับปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปี 2556 จังหวัดยะลา มีการผลิตพลังงานชีวมวลใช้แล้วมากกว่าศักยภาพพลังงานชีวมวลที่มีอยู่ ส่วนศักยภาพพลังงานจากแก๊สชีวภาพมีปริมาณที่ต่ำมาก เมื่อเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละจังหวัด โดยที่จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีความโดดเด่นของแก๊สชีวภาพมากที่สุด

เมื่อเทียบกับจังหวัดอื่นๆ คือ มีผลผลิตพลังงานจากแก๊สชีวภาพที่ใกล้เคียงกับศักยภาพที่มีอยู่และผลผลิตพลังงานชีวมวลที่ใช้ได้แล้ว

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์แบบจำลองแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าและความร้อนจากชีวมวลและแก๊สชีวภาพของภาคใต้ พบว่า พลังงานชีวมวลและแก๊สชีวภาพมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นพลังงานไฟฟ้าและความร้อนได้มากกว่า 90% ของทั้งหมด โดยปี 2556 ภาคใต้มีพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่ผลิตใช้ได้แล้วจากชีวมวลและแก๊สชีวภาพเท่ากับ 6.5 % ของความต้องการใช้ไฟฟ้า และเพิ่มขึ้น (แบบเอ็กโพเนนเชียล) เป็น 8.2, 15.5, 31.8, 50.0 และ 81.7 % ในปี 2558, 2563, 2568, 2573 และ 2578 ตามลำดับ ขณะที่แผนพัฒนาความร้อนจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกัน จาก 5.2% (ของศักยภาพพลังงานรวม) ในปี 2556 เป็น 7.2% และ 49.6% ในปี 2568 และ 2578 ตามลำดับ

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยทักษิณที่ได้สนับสนุนงบประมาณดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง





## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (2550). การวิจัยเชิงนโยบายเพื่อสนับสนุนการพัฒนาและการใช้ พลังงานหมุนเวียนและการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในประเทศไทย. รายงานวิจัยเสนอสำนักนโยบายและแผนพลังงาน. 950 หน้า.
- [2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2551). สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2550. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 191 หน้า.
- [3] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2553). สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2552. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 199 หน้า.
- [4] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2556). สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2555. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 198 หน้า.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556. รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทยปี 2556. กระทรวงพลังงาน, 52 หน้า.
- [6] ธเนศ อุทิศธรรม และคณะ (2550). ศักยภาพพลังงานจากชีวมวลเหลือทิ้งในประเทศไทย. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3. 23-25 พฤษภาคม 2550 โรงแรมไบฮอกสกาย กรุงเทพมหานคร, ENETT2550-125 1/6-6/6.
- [7] กรมควบคุมมลพิษ (2548). แนวทางปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษในอุตสาหกรรมยางแผ่นรมควัน น้ำยางข้น และแปรรูปอาหารทะเล. 180 หน้า.
- [8] Sajjakulnukit, B., Yingyuad, R., Maneekhao, V., Pongnarintasut, V., Bhattacharya, S.C., Abdul Salam, P., (2005). Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in Thailand. *Biomass and Bioenergy*. 29, 214–224.
- [9] Garivait, S., Chaiyo, U., Patumsawad, S., Deakhuntod, J. (2006). Physical and Chemical Properties of Thai Biomass Fuels from Agricultural Residues. The 2nd Joint International Conference on

Sustainable Energy and Environment (SEE 2006). 1-23 November 2006, Bangkok, Thailand.



## การศึกษาการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากประยุกต์ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องซักผ้า Study of Generating Electric Generator from Electric Motor of Washing Machine

ประสิทธิ์ มงคลเกษตร<sup>1</sup>, จิตกรณ เพชรภักดี<sup>2</sup> และธีรศาสตร์ คณาศรี<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

<sup>2</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

### บทคัดย่อ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการประยุกต์ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องซักผ้า แบบไดเอกินเวอร์เตอร์ รุ่น AW-DC 1300 WT ยี่ห้อ Toshiba โดยการตัดต่อวงจรขดลวดภายในของมอเตอร์เครื่องซักผ้าเดิน 36 ขด แบ่งเป็น 3 ชุด ขดละ 12 ขด แต่ละชุดต่อแบบสตาร์ และนำขดลวดทั้ง 3 ชุด มาต่อเป็นแบบขนานเพื่อจะทำให้กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีค่าที่สูงขึ้น จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องต้นกำลังหมุนที่ความเร็วรอบของกังหันลม 150 นาที และได้ทำการทดสอบโดยใช้กังหันลมเป็นเครื่องต้นกำลัง ทดสอบบริเวณเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ดบนดาดฟ้าของอาคาร 9 ชั้น โดยใช้กังหันลม แบบ 3 ใบพัด 4 ใบพัด และ 5 ใบพัดตามลำดับ ผลการทดสอบ แบบ 3 ใบพัด ได้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบ 4 ใบพัด และ 5 ใบพัด ที่ความเร็วลม 8 เมตร/วินาที ได้ความเร็วรอบกังหัน 130 รอบต่อนาที และเกิดแรงดันไฟฟ้า 14.40 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 2.9 แอมป์ และกำลังไฟฟ้า 41.7 วัตต์ ผลจากการทดสอบแบบ 3 ใบ พัดมีประสิทธิภาพ 99.42 เปอร์เซ็นต์ โดยการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าได้กับการทดสอบในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าด้วยวิธีการมอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับกังหันที่ความเร็วรอบกังหัน 130 รอบต่อนาที

**คำสำคัญ:** มอเตอร์เครื่องซักผ้า, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ไดเอกินเวอร์เตอร์

### 1. บทนำ

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมซึ่งเป็นพลังงานสะอาดใช้แล้วไม่หมดไป เป็นพลังงานที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในเขตพื้นที่ฝั่งภาคตะวันออกของประเทศไทยซึ่งภูมิประเทศเป็นชายฝั่งทะเลมีลมทะเลพัดผ่านตลอดทั้งปี แต่ในปัจจุบันได้มีการสำรวจพื้นที่ในเขตภาคอีสานของประเทศไทยที่สามารถนำพลังงานลมมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ในพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ดซึ่งได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ มีลักษณะเป็นลมร้อนความเร็วลมร้อนความเร็วลมไม่สม่ำเสมอในบริเวณพื้นที่เขตทุ่งกุลาร้องไห้ซึ่งครอบคลุม 13 อำเภอ 5 จังหวัดในภาคอีสาน

จากปัญหาความเร็วลมที่ไม่สม่ำเสมอในพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้จังหวัดร้อยเอ็ด ผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์เครื่องซักผ้าชนิดไดเอกินเวอร์เตอร์ รุ่น AW-DC1300WT โดยตัดจากกังหันลมแบบแนวแกนนอน (Horizontal Axis wind Turbine) ขดลวดภายในมอเตอร์ 36 ขด นำมาดัดแปลงเป็นเครื่องกำเนิดโดยการตัดต่อแบ่งขดลวดเป็น 3 ชุดขดละ 12

ชุด ต่อแบบสตาร์ 3ชุด แล้วนำ 3ชุดที่ต่อแบบสตาร์กันมาต่อแบบขนานกันจะทำให้กระแสและแรงดันมีค่ามากขึ้นและออกแบบใบพัดลมจากท่อพีวีซี มีหมีขนาดใบพัด ความยาว 110 เซนติเมตร กว้าง 17 เซนติเมตร จำนวน 3 ใบพัด 4 ใบพัด และ 5 ใบพัด ด้วยความเร็วลม 8 เมตร/วินาที เพื่อให้เหมาะสมกับการรับลมในเขตพื้นที่ที่มีความเร็วลมไม่สม่ำเสมอ

จากการออกแบบและพัฒนากังหันลมผลิตพลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์เครื่องซักผ้าสามารถใช้เป็นเครื่องต้นกำลังในการผลิตแรงดันไฟฟ้าในเขตพื้นที่ที่มีลมไม่สม่ำเสมอ ที่ความเร็วลม 8 เมตร/วินาทีได้แรงดันไฟฟ้า 14.48 โวลต์ กระแส 2.92 แอมป์/ชั่วโมง สำหรับการใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ 12 โวลต์ กระแส 35 แอมป์/ชั่วโมง

### 2. วิธีการวิจัย

#### ขั้นตอนการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นจากการศึกษารายละเอียดต่างๆ ทางคณะผู้จัดทำจะใช้การคำนวณจากทฤษฎีของ Hug Piggott เข้ามาอ้างอิง จากการที่ทดลองใบพัดกับแรงลมนั้นจะหมุนอยู่ที่ 100 รอบต่อนาทีใช้แม่เหล็ก 48

ก่อนพื้นที่หน้าตัดแม่เหล็ก 0.001 ตารางเมตร และจำนวนขดลวดในแต่ละเฟส 12 ขด แต่เนื่องจากความเร็วลมในโครงการนี้เป็นความเร็วลมที่ค่อนข้างคงที่ ทำให้ง่ายการคำนวณ จากการวัดลมที่เกิดขึ้นบริเวณชั้นร่องลมบนชั้นตาดฟ้าของอาคาร 9 ชั้น จะได้ความเร็วรอบได้

$$rpm_{wind} = \frac{windspeed \times tsr \times 60}{A_{wind}}$$

เมื่อ  $rpm_{wind}$  คือความเร็วรอบของกังหันที่เกิดจากลม (รอบต่อนาที)

Windspeed คือความเร็วลม (เมตรต่อวินาที)

$A_{wind}$  คือพื้นที่หน้าตัดลม (ตารางเมตร)

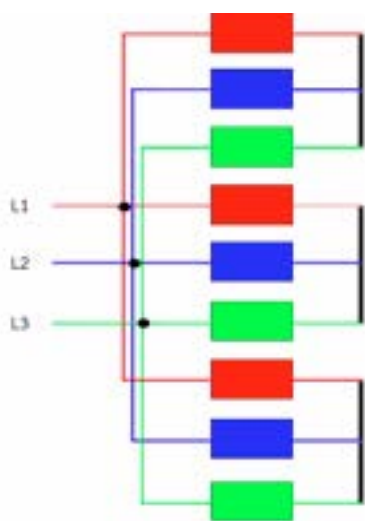
Tsr คือค่าสัมประสิทธิ์ทึบของกังหันลม

ดังนั้นในออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Hugh

Piggott จำเป็นจะต้องกำหนดความเร็วของแกนเพลลาให้เสียก่อนแต่เนื่องจากในการสร้างใบพัดต้องออกแบบให้เหมาะสมกับความเร็วลมจึงทำการคำนวณหาความเร็วรอบของกังหันที่เกิดจากลมตดยที่ความเร็วลมที่ยอมรับได้ในการคำนวณจะใช้ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที เพื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ทำได้ ค่า tsr กรณีเป็นแบบ ซาโวนเนียส

$$rpm_{wind} = \frac{8 \times 2 \times 60}{3.14 \times 2.35}$$

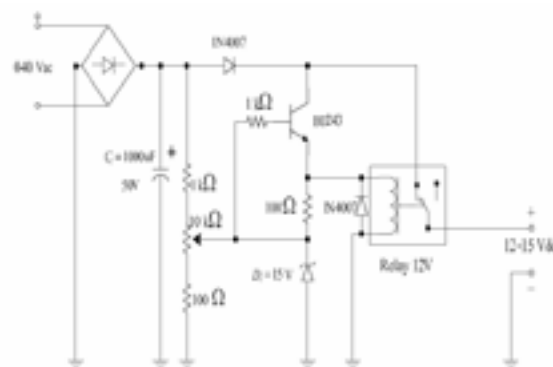
$$rpm_{wind} = 130 \text{ รอบต่อนาที}$$



ภาพที่ 1 แบบลือกไดอะแกรมการต่อขดลวดมอเตอร์แบบ 3ขุด ขุดละ 12 ขด

จากภาพที่ 1 แบบลือกไดอะแกรมการต่อขดลวดมอเตอร์แบบ 3 ขุด ขุดละ 12 ขด สีแดงคือเฟสที่ 1 (L1) สีน้ำเงิน คือเฟสที่ 2 (L2) สีเขียวคือเฟสที่ 3 (L3) ทั้ง 3 เฟสต่อแบบสตาร์ จากนั้นนำแต่ละเฟสมาขานานกันทั้ง 3 ขุด วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้า

ในการออกแบบและสร้างวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าจะคำนึงถึงเรื่องแรงดันไฟที่เกินจากค่าที่ตั้งไว้ เพราะจะทำอันตรายกับวงจรไฟฟ้า ดังนั้นจึงออกแบบวงจรควบคุม ซึ่งจะมีหลักการทำงานในวงจรการป้องกันแรงดันเกิน จะทำงานก็ต่อเมื่อเกิดแรงดันไฟเกินจากปกติ โดยทำการเปรียบเทียบแรงดัน เข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ หากแรงดันไฟฟ้าเกินกว่าไหลทำให้ คอยล์รีเลย์ทำงาน จากออก เพื่อหยุดทำงาน



ภาพที่ 2 วงจรควบคุมแรงดัน

วิธีการทดลอง

1. ทดลองจากห้องปฏิบัติการไฟฟ้า ใช้มอเตอร์เป็นตัวต้นกำลังขับเคลื่อนความเร็วรอบของมอเตอร์เครื่องซักผ้าที่ 150 รอบ/นาที วัดค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า
2. ทดลองโดยใช้กังหันลมเป็นเครื่องต้นกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าจากมอเตอร์เครื่องซักผ้า แบบ 3ใบพัด 4 ใบพัด และแบบ 5 ใบพัด ที่ความเร็วลม 8 เมตร/วินาที วัดค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า

### 3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลวิจัย

ผลจากการทดสอบความเร็วรอบมอเตอร์เครื่องซักผ้าไดเร็คอินเวอร์เตอร์เก็บผลการตัดต่อขดลวดแบบ 3 ขุด และการตัดต่อขดลวดแบบ 6 ขุด โดยใช้มอเตอร์เป็นตัวต้นกำลังในการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการไฟฟ้า ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนความเร็วรอบที่ 150 รอบ/นาที วัดค่า



แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ของขดลวดแบบ 3 ชุด และ แบบ 6 ชุด

จำนวนขดลวด	แรงดัน DC (V)	กระแส (A)	วัตต์ (W)
3 ชุด	14.86 V	3.98 A	55.3 W
6 ชุด	14.74 V	3.31 A	54.4 W

ตารางที่ 2 ผลการทดลองเก็บผลจากการใช้กังหันลมชนิด แบบ 3 ใบพัด แบบ 4 ใบพัด และแบบ 5 ใบพัด เป็นเครื่องต้นกำลัง ตามลำดับ ทดสอบที่ความเร็วลม 8 เมตร/วินาที

จำนวนใบพัด	ความเร็วรอบ (RPM)	แรงดัน DC (V)	กระแส (A)	วัตต์ (W)
3	130	14.0 V	2.9 A	41.76 W
4	125	14.35 V	2.65 A	40.40 W
5	122	14.31 V	2.42 A	40.00 W

การผลิตกระแสไฟฟ้า จากกังหันลมผลิตพลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์เครื่องชักผ้า การตัดต่อขดลวดเพื่อลดแรงดันและทำให้กระแสเพิ่มขึ้น กระตัดขดลวดแบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1. การทดสอบในห้องปฏิบัติการไฟฟ้า แบบ 3 ชุด ผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ความเร็วรอบของเครื่องต้นกำลัง 150 รอบต่อวินาที จะได้แรงดัน 14. 86 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 3.98 แอมป์และกำลังไฟฟ้า 55.3 วัตต์

2. การทดสอบในห้องปฏิบัติการไฟฟ้า แบบ 6 ชุด ผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ความเร็วรอบของเครื่องต้นกำลัง 150 รอบ ต่อวินาที จะได้แรงดัน 14.74 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 3.31 แอมป์ และกำลังไฟฟ้า 54.4 วัตต์

จะเห็นว่าจากการทดสอบ แบบ 3 ชุด จะได้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า แบบ 6 ชุด จึงได้นำกังหัน 3 ชุด ไปทดลองที่บริเวณตาดฟ้าตึก 9 ชั้น ด้วยความเร็วลม ที่ 8 เมตรต่อวินาที โดยทดสอบใบพัด ขนาด 3 ใบพัด 4 ใบพัด 5 ใบพัด ตามลำดับ ได้ค่าการทดลองดังนี้

- การทดลอง แบบ 3 ใบพัด ด้วยความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที ได้ค่ากำลังไฟฟ้า 41.76 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 14.40

โวลต์ และกระแส 2.9 แอมป์ โดยความเร็วรอบ 130 รอบต่อวินาที

- การทดลอง แบบ 4 ใบพัด ด้วยความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที ได้ค่ากำลังไฟฟ้า 40.4 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 14.45 โวลต์ และกระแส 2.45 แอมป์ โดยความเร็วรอบ 125 รอบต่อวินาที

- การทดลอง แบบ 5 ใบพัด ด้วยความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที ได้ค่ากำลังไฟฟ้า 40.1 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 14.40 โวลต์ และกระแส 2.42 แอมป์ โดยความเร็วรอบ 122 รอบต่อวินาที

จากการทดลองจะเห็นว่าค่าที่ได้จากการทดลองร่วมกับกังหันลมแบบ 3 ใบพัด ได้ค่าพลังงานไฟฟ้ามากกว่าแบบ 4 ใบพัด และ 5 ใบพัด ที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที

#### 4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบ และสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากประยุกต์ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องซักผ้า เพื่อศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยทดสอบในห้องปฏิบัติการ และทดสอบจากกังหันลมแบบแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) ชนิด 3 ใบพัด 4 ใบพัด 5 ใบพัด ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าความเร็วลมในเขตพื้นที่ชั้นตาดฟ้า อาคาร 9 ชั้น ของมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด เฉลี่ยตลอดทั้งปีที่ประมาณ 8m/s ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 41.76 W. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่พัฒนาจากมอเตอร์เครื่องซักผ้าสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 365 kWh ต่อปี

#### 5. เอกสารอ้างอิง

[1] ศูนย์ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2008 , พลังงานลง,[Online].Available:

[http://www.tpa.or.th/writer/read\\_this\\_book\\_to\\_pic](http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_to_pic).

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549, "โครงการศึกษาศักยภาพพลังงานลมเฉพาะแหล่ง" มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สหน้า40-51

[3] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2013, เทคโนโลยีกังหันลม, [Online].Available:

[http://www2.egat.co.th/re/egat\\_wind/wind\\_technology.htm](http://www2.egat.co.th/re/egat_wind/wind_technology.htm)

[4] pom\_Relay, 2011, หลักการทำงานของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า(Generator) , [Online].Available:



<http://protectionrelay.blogspot.com>

[5] พิทักษ์ชัย จันทรสิริทธิ์ ล 2551ล”เครื่องกำเนิดไฟฟ้า  
กึ่งหันลมความเร็วรอบต่ำ”,โครงการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์  
บัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,  
กรุงเทพมหานคร.

[ 6 ] Hugh Piggott,2001,”PMG construction  
manuai”,Scoraig Wind Electric, February 2001,pp. 2-  
47



สมาชิกเลขที่  
.....

### ใบสมัครสมาชิกวารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

วันที่สมัคร .....

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว ..... สกุล .....

อาชีพ ..... ที่อยู่ (สำหรับจัดส่งวารสาร) เลขที่ ..... ถนน .....

แขวง/ตำบล ..... เขต/อำเภอ ..... จังหวัด .....

รหัสไปรษณีย์ ..... โทรศัพท์ ..... โทรสาร .....

E-mail .....

#### มีความประสงค์สมัครเป็นสมาชิก

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน ..... ปี

ต่ออายุสมาชิก ..... ปี

#### อัตราค่าสมาชิก

1 ปี 3 ฉบับ 500 บาท (สำหรับสมาชิกสมาคมฯ)  
700 บาท (สำหรับนักศึกษา และบุคคลทั่วไป)

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  
(.....)

**แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ  
เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน**

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

ชื่อ-สกุล.....

(ภาษาอังกฤษ).....

ตำแหน่งทางวิชาการ (โปรดระบุ)  ศาสตราจารย์  รองศาสตราจารย์  ผู้ช่วยศาสตราจารย์

อื่นๆ(โปรดระบุ).....

ที่อยู่ (ที่ติดต่อได้).....

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

โทรสาร.....อีเมล์.....

มีความประสงค์ขอส่งบทความเรื่อง :

ชื่อบทความ (ภาษาไทย).....

ชื่อบทความ(ภาษาอังกฤษ).....

การตรวจสอบ

ทำการลงทะเบียน และ ส่งวารสารต้นฉบับใน

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

วันที่ ส่งวารสารต้นฉบับ เข้าสู่ระบบออนไลน์.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า บทความนี้เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุไว้ในบทความจริงและบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และข้าพเจ้าจะไม่นำส่งบทความนี้ไปพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน นับจากวันที่ข้าพเจ้าส่งบทความ

ลงนาม.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....



**J-REC BY**

**THAILAND RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY ASSOCIATION ( TRECA )**