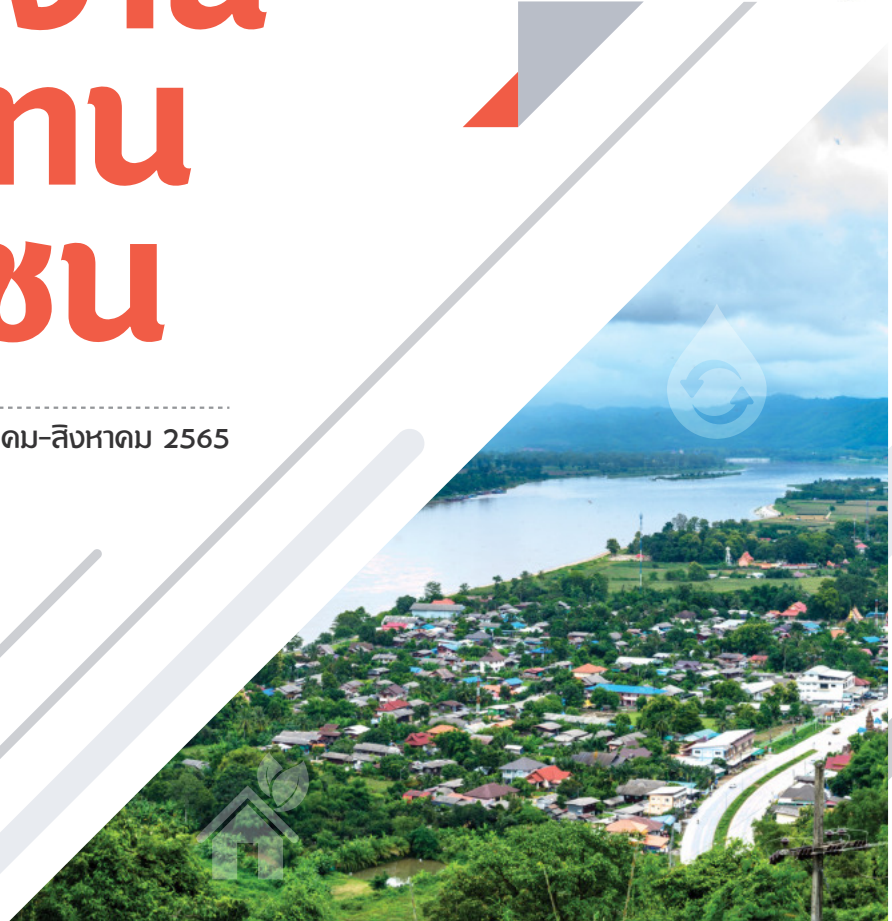


# วารสารวิชาการ พลังงาน ทดแทน สู่ชุมชน

ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม-สิงหาคม 2565



## J-REC

JOURNAL  
OF RENEWABLE  
ENERGY FOR  
COMMUNITY

ISSN 2773-8639 (Online)

J-REC BY TRECA



วารสารวิชาการ  
**พลังงานทดแทน  
สู่ชุมชน**

**J-REC**

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY  
FOR COMMUNITY

## วัตถุประสงค์

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



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

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

## วัตถุประสงค์สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน แห่งประเทศไทย

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

## หลักการและเหตุผล

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

## จุดมุ่งหมายสำคัญ

การทำงานกันทั้งส่วนภาครัฐและประชาชนในการใช้พลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศไทย ตลอดจนการศึกษาวิจัย ดำเนินการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่างๆ มาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อความเหมาะสมและให้เกิดความยั่งยืนของชุมชนและประชาชนในประเทศไทย

# วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

## JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY

### คณะกรรมการจัดทำวารสาร

### วิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

#### คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

#### กองบรรณาธิการ

หัวหน้ากองบรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์  
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
รองบรรณาธิการ นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (ดร.อำพล อภาธนากร)  
ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (ผศ.ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร)  
กองบรรณาธิการ ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ  
ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์  
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช  
ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง  
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร แก้วอ่อน  
รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ์ มณีโชติ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ อริยะวิริยะนันท์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร

#### เลขานุการ

นางสาววรรณिता ทองพัด

#### ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาววรรณิภา พงษ์ไทยสงค์

#### รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณมภ์ ภูมิภักดีพิชญ์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงไกร แซมสีม่วง	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สรพงษ์ ภาวสุปรีดิ์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราวุฒิ อริยะวิริยะนันท์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุนนมาลย์ เนียมกลาง	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประชัญ อัครนรากุล	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ ประทุมณพรัตน์  
ดร.วิเชียร อุปแก้ว  
ดร.วินัย จันทร์เพ็ง  
ดร.สถาพร ทองวิก  
ดร.อำพล อาภาธนากร  
ดร.ธนวรรธน์ วีชรดำรงศักดิ์

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

รองศาสตราจารย์ ดร.ประพิฑาริ ธนารักษ์

ดร.บงกช ประสิทธิ์

ดร.ยอดธง เม่นสิน

ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรพงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยทิพย์ สิ้นสุยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ ณัฐ จันทรศรี

ดร.ณัฐยา ตันตราภรณ์

ดร.ชยานนท์ สวัสดิ์นฤนาท

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยภัทร บุษบาบดินทร์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สักรินทร์ แซ่ภู

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

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ ดุษฎี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง  
รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณุช แจงสว่าง

ดร.นวงศ์ ชลคุป

ดร.กัมปนาท ชิลวา

ดร.สาคร สร้อยสว่างลัย

ดร.ชานนท์ บุญมีพิพิธ

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ผังเมือง และนฤมิตศิลป์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ

ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ

วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

## บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนโดยความร่วมมือของเครือข่ายสมาชิกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (TRECA) ซึ่งเป็นฉบับที่ 2 ของปีที่ 5 และนับเป็นปีสองที่วารสารตีพิมพ์รูปแบบออนไลน์ ISSN 2773-8639 (Online) วารสารฉบับนี้เป็นเนื้อหาของบทความทางวิชาการที่มุ่งสร้างผลงานที่เด่นทางด้านวิจัย และมุ่งสู่การใช้งานจริง ซึ่งได้รวบรวมความรู้ทางวิชาการที่สามารถถ่ายทอดให้แก่สังคม ทางด้านพลังงานทดแทนในสาขาต่างๆ เพื่อให้วารสารนี้เป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนวิชาการและแนวความคิดในแวดวงวิชาการทั้งผู้วิจัยและผู้ใช้งาน อันเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างผลงานทางวิชาการสู่ชุมชนและสังคมโดยดำรงไว้ซึ่งความเป็นตัวตนทางวิชาการของผู้เขียนและวัตถุประสงค์ของสมาคมฯ ที่ทรงคุณค่า บทความในวารสารฉบับนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 10 บทความ ซึ่งในแต่ละบทความมีความเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันของรูปแบบพลังงานทดแทนต่างๆครอบคลุมกระบวนการในการวิจัยและการศึกษาสู่ภาคการใช้งานผู้อ่านจะได้รับความรู้ที่หลากหลายจากการอ่านวารสารฉบับนี้ในแนวทางที่จะจุดประกายความคิด หรือการต่อยอดความคิดทางด้านพลังงานทดแทนสาขาต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอ่านอย่างวิพากษ์และตั้งคำถาม เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนในทางวิชาการอย่างสร้างสรรค์ อันจะช่วยให้ความรู้และความคิดเดิมถูกแพร่ขยายออกไปได้อย่างกว้างขวาง อีกทั้งให้วารสารฉบับนี้เป็นแหล่งความรู้ในทุกระดับภาคส่วนของทุกคนในสังคมไทย โดยไม่ยึดติดตนเองและอยู่กับความรู้ความคิดเพียงบางมุมบางด้านเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เขียนและผู้อ่านมีความเป็นตัวตนทางวิชาการที่พร้อมจะพัฒนาตนเองอยู่เสมออย่างไม่หยุดนิ่ง และท้ายที่สุดแล้วความรู้ความคิดที่ถูกต่อขยายออกไปนั้น ก็จะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนกระบวนการทัศนคติทางความคิดของสังคมและชุมชนอย่างกว้างขวาง อันจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางวิชาการของสังคมเพื่อความยั่งยืนของประเทศชาติกองบรรณาธิการขอขอบพระคุณคณะทำงานทุกท่านคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิชาการ และทุกภาคส่วนที่ได้สละเวลาอันมีค่าอ่านบทความ เพื่อความถูกต้องทางวิชาการ และเป็นวารสารที่ดีต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งนี้หากผู้อ่านมีความประสงค์จะตีพิมพ์บทความสามารถขอความกรุณาโปรดจัดเตรียมต้นฉบับให้เป็นที่ไปตามรูปแบบของวารสารและส่งบทความทางออนไลน์ที่ [www.reca.or.th/jrec](http://www.reca.or.th/jrec) เพื่อการพิจารณาและตีพิมพ์ในวารสารฉบับต่อไป

กองบรรณาธิการ

# สารบัญ

## พลังงานเพื่อการเกษตร

การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้ง .....8	
จากการผลิตลำไย	
การพัฒนาอุปกรณ์เก็บข้อมูลระยะไกลพลังงานต่ำ ..... 18	18
นวัตกรรมพลังงานทดแทนและการจัดการอย่างยั่งยืนสำหรับเกษตรกรอินทรีย์ ..... 25	25
การศึกษาสมรรถนะและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ..... 36	36
ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับฟาร์มเพาะพันธุ์ปลา	
การประยุกต์ใช้ระบบโซลาร์เซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะ ..... 45	45
สำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม	

## นวัตกรรมด้านพลังงาน

การศึกษาการใช้งานของเครื่องสูบน้ำที่อำนวยการพลังงานแสงอาทิตย์ ..... 58	58
การเติมออกซิเจนในน้ำด้วยกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ..... 69	69
การพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ตรวจรู้สภาพแวดล้อม ..... 79	79
และการทำงานด้วยตนเอง	

## การบริหารจัดการพลังงานชุมชนด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล

การพัฒนา ระบบ NILM สำหรับการจัดการพลังงานโดยการประยุกต์ใช้ ..... 87	87
AlexNet Model	
การลดใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่มีการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็น ..... 105	105
แบบระบายความร้อนเพื่ออนุรักษ์พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ กรณีศึกษา: อาคารโรงแรมพาเลซ อันดามัน บีชีริสอร์ท	





การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย  
Experimental Impact Assessment Comparison of Waste Management for  
Logan Production

พัชรี อินธนู<sup>1\*</sup> กนกพร คำปิลิว<sup>1</sup> แสนวสันต์ ยอดคำ<sup>2</sup> และพัชรินทร์ สุภาพันธุ์<sup>3</sup>  
Patcharee Intanoo<sup>1\*</sup> Kanokporn Kompliw<sup>1</sup> Sanwasan Yodkhum<sup>2</sup> and Patcharin Supapunt<sup>3</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

<sup>2</sup>หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

<sup>3</sup>หลักสูตรเศรษฐศาสตร์เกษตรและสิ่งแวดล้อม คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

<sup>1</sup>Industrial Chemistry and Textile Technology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290

<sup>2</sup>Division of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering and Agro-industry,  
Maejo University, Chiang Mai 50290

<sup>3</sup>Agricultural and Environmental Economic, Faculty of Economics, Maejo University, Chiang Mai 50290

\*Corresponding author: Tel.: 094 619 7947. E-mail address: patchareeintanoo@gmail.com

*Received: 10 July 2021, Revised: 17 June 2022, Accepted: 14 July 2022, Published online: 30 August 2022*

### Abstract

The objective in this study was to compare the environmental impact of waste management from longan production by burning, producing fertilizer and producing biogas. From the study, it was found that the management of waste from longan production by burning strongly resulted in global warming environmental problem. The amount of greenhouse gas emission by burning 1 kg of waste from longan production to the atmosphere was 1.48 kgCO<sub>2</sub>eq. Whereas, the management of waste from longan production by producing biogas had 70.28% lower greenhouse gas emission and did not affect much to global warming aspect. Moreover, the use of biogas for electricity generation might be better than the use of natural gas in term of lower both environmental and human wellbeing impact for example, low carcinogen aspect and low respiratory organics aspect.

**Keywords:** Environmental impact; biogas; natural gas; waste management; longan production

## บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยด้วยการเผาในที่โล่ง การนำไปผลิตปุ๋ยหมัก การนำไปผลิตแก๊สชีวภาพ จากการศึกษาพบว่า การจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยด้วยการเผาในที่โล่งส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนมากที่สุด ในขณะที่การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยไปผลิตแก๊สชีวภาพจะส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนต่ำที่สุดคิดเป็นร้อยละการปล่อยแก๊สเรือนกระจกเท่ากับ 70.28 (โดยปริมาณแก๊สเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย 1 กิโลกรัม ไปเผาในที่โล่ง คือ 1.48 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) มากไปกว่านั้นยังพบว่า การใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าแทนการใช้แก๊สธรรมชาติจะทำให้ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ลดต่ำกว่า เช่น ความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งและโรคระบบหายใจในมนุษย์ลดลง

**คำสำคัญ:** ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม แก๊สชีวภาพ แก๊สธรรมชาติ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย

## บทนำ

ในปัจจุบันประเทศกำลังประสบปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่รุนแรง เช่น ความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืนที่มากเกินไปซึ่งเกิดจากอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่เพิ่มสูงขึ้น และการลดลงของชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศ รวมไปถึงปริมาณของเสียหรือขยะและสารพิษที่เพิ่มขึ้น จากปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมดังกล่าวมีสาเหตุมาจากอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรสูงจนทำให้ความต้องการในการใช้ทรัพยากรเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ทรัพยากรที่มีอยู่นั้นมีอยู่อย่างจำกัดจนไม่สามารถตอบสนองความต้องการของประชากรได้ทันที [1] การขยายตัวของเศรษฐกิจเพื่อยกระดับเศรษฐกิจของประเทศที่ต้องอาศัยเงินทุนและบุคลากรรวมถึงทรัพยากรที่มีอยู่จนเกิดปัญหาการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลืองและไม่ยั่งยืน ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ได้แก่ การปฏิวัติอุตสาหกรรมที่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในระยะยาวรวมถึงการนำเทคโนโลยีมาใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรที่มักปล่อยมลพิษหรือสารพิษออกสู่บรรยากาศจนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์รวมถึงสิ่งมีชีวิตอื่นๆ [2] จึงทำให้ในปัจจุบันประเทศต่างๆ ทั่วโลกเริ่มตระหนักถึงความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งแสดงออกมาในรูปแบบของการออกมาตรการทางการค้าระหว่างประเทศด้วยการออกนโยบายและกฎระเบียบรวมถึงมาตรการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้มาตรการทางการค้าด้านสิ่งแวดล้อมดังกล่าวจัดเป็นมาตรการกีดกันทางการค้าในรูปแบบหนึ่งอีกด้วย (Non-tariff barriers: NTBs) [3] ดังนั้นในการผลิตสินค้าทุกประเภทหรือการจัดตั้งอุตสาหกรรมจึงต้องคำนึงถึงผลกระทบและปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปัญหาสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นนั้นมักส่งผลโดยตรงต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชากรในพื้นที่นั้นๆ ของแต่ละประเทศ ด้วยเหตุนี้ประเทศต่างๆ ทั่วโลกจึงให้ความสำคัญกับปัญหาสิ่งแวดล้อมและมีการกำหนดนโยบายการประหยัดพลังงานซึ่งถือเป็นนโยบายที่ช่วยสร้างจิตสำนึกด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมตามหลักการการประเมินวัฏจักรชีวิตที่ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง [4] การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆ ที่เกิดจากมลพิษและของเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ซึ่งการใช้หลักการการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นสามารถพยากรณ์ผลเสียด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ได้ จึงทำให้มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์รวมถึงปริมาณผลกระทบสำหรับเปรียบเทียบความรุนแรงของผลกระทบและปัญหาที่ต่างประเภทกัน เช่น การเกิดภาวะโลกร้อน, การลดลงของทรัพยากร, ความเสี่ยงของการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจและโรคมะเร็ง เป็นต้น [5]

การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นการวิเคราะห์เพื่อประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของผู้ที่เกี่ยวข้องตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การขนส่งเพื่อการ แจกจ่าย การใช้งาน ผลิตภัณฑ์ การนำกลับมาใช้ใหม่หรือการแปรรูป และการจัดการซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ที่ต้องระบุปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องรวมถึงของเสียหรือมลสารที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศเพื่อหารูปแบบของแนวทางการปรับปรุงกระบวนการหรือเพื่อลดผลกระทบต่อลดจนหาแนวทางในการใช้ทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น [6] เช่น การหาแนวทางในการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือเพื่อเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชากรเนื่องจากไฟฟ้าคือพลังงานที่ถือเป็นปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิตของมนุษย์และประเทศไทยมีอัตราการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในทุกๆ ปีโดยเฉลี่ยปีละไม่น้อยกว่า 1,000 เมกะวัตต์ จากกำลังการผลิตในปีพุทธศักราช 2537 ประมาณ 13,000 เมกะวัตต์ [7] และในปีพุทธศักราช 2544 ประเทศไทยมีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานฟอสซิลชนิดแก๊สธรรมชาติทั้งสิ้น 103,165 ล้านหน่วย ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 68.20 [8] อย่างไรก็ตามแม้ว่าการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิลชนิดแก๊สธรรมชาติจะทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิลชนิดอื่น เช่น ถ่านหิน และน้ำมันดิบ [9] แต่การนำแก๊สธรรมชาติขึ้นมาจากแหล่งทรัพยากรธรรมชาตินั้นถือเป็นกระบวนการที่ปล่อยแก๊สมีเทนออกสู่บรรยากาศในปริมาณสูงคิดเป็นร้อยละ 2.00 โดยปริมาตร อีกทั้งยังมีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งหมด 0.5767 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อการได้มาซึ่งแก๊สธรรมชาติ 1 ลูกบาศก์เมตร และเมื่อแก๊สธรรมชาติเกิดการเผาไหม้เพื่อใช้งานหรือเพื่อกำจัดส่วนเกินจะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศในปริมาณมากซึ่งสัดส่วนปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลชนิดแก๊สธรรมชาติคิดเป็นร้อยละ 21 โดยปริมาตร จึงทำให้กระบวนการได้มาซึ่งแก๊สธรรมชาติส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงเช่นกัน เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังกล่าวจึงมีแนวคิดในการหาแหล่งทรัพยากรทดแทน เช่น แก๊สชีวภาพซึ่งการผลิตไฟฟ้าจากแก๊สชีวภาพถือเป็นแนวทางในการช่วยลดปริมาณแก๊สมีเทนในชั้นบรรยากาศที่เป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) [10]

ในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยด้วยวิธีการเผาในที่โล่ง การนำไปผลิตปุ๋ยหมัก และการนำไปผลิตแก๊สชีวภาพของกลุ่มเกษตรกรลำไยแปลงใหญ่ ตำบลดอนเปา อำเภอม่วงสามสิบ จังหวัดชัยภูมิ ตลอดจนเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ของการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ด้วยเชื้อเพลิงต่างชนิดกัน คือ เชื้อเพลิงทางเลือก ได้แก่ แก๊สชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย และเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ แก๊สธรรมชาติ

## วิธีการวิจัย

การเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย และการเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการนำแก๊สธรรมชาติและแก๊สชีวภาพที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยไปผลิตกระแสไฟฟ้าจะแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินผลกระทบ และการแปลผลที่อาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 9.1.0.11 ด้วยวิธี IPCC 2013 GWP 100a และวิธี Impact 2002+ ที่เป็นวิธีการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะโลกร้อน และผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ ตามลำดับ [3, 5]

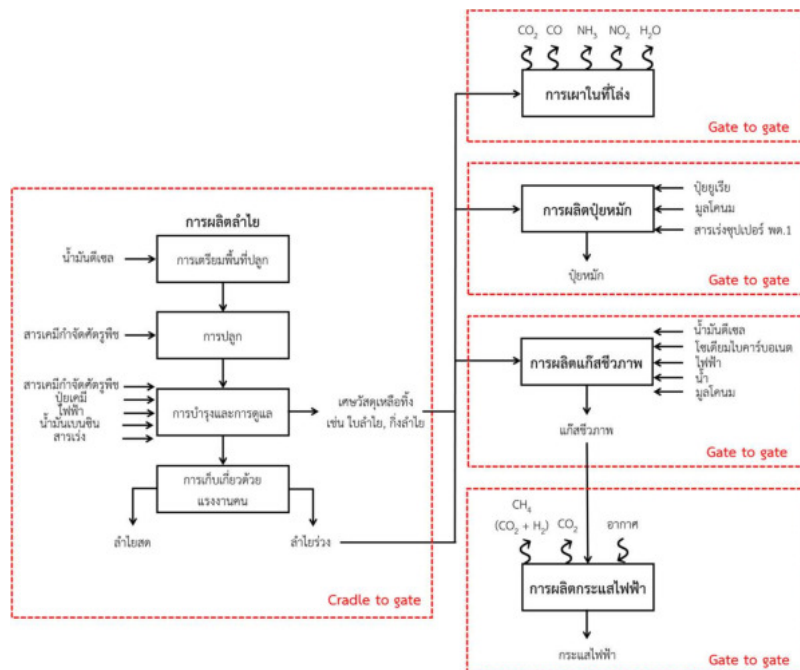
### 1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

เป้าหมายและขอบเขตของการศึกษานี้จะกำหนดตามวัตถุประสงค์ซึ่งประกอบด้วย 2 วัตถุประสงค์ จึงทำให้เป้าหมายของการศึกษานี้มีทั้งหมด 2 เป้าหมาย ดังนี้ เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยด้วยวิธี IPCC 2013 GWP 100a และ Impact 2002+ ตามลำดับ โดยมีรูปแบบของขอบเขตการศึกษาแบบ gate to gate คือพิจารณาเพียงกระบวนการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย กระบวนการเดียวเท่านั้น [11] ส่วนเป้าหมายข้อที่สอง คือ เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ของ

การผลิตกระแสไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ด้วยเชื้อเพลิงต่างชนิดกัน คือ แก๊สชีวภาพที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยและแก๊สธรรมชาติที่ได้จากการขุดเจาะที่มีรูปแบบขอบเขตการศึกษาเป็น gate to gate ที่พิจารณาเพียงกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า (ภาพที่ 1) [11]

## 2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ

การวิเคราะห์บัญชีรายการเป็นการจัดทำรายการและการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบหรือสารขาเข้าของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยด้วยการเผาในที่โล่ง การผลิตปุ๋ย และการผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วยปริมาณเชื้อเพลิง ทรัพยากร และพลังงาน ที่ใช้ตลอดจนปริมาณการปล่อยมลสารหรือสารขาออกออกสู่สิ่งแวดล้อมระหว่างการดำเนินการของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษานี้ได้จากการลงภาคสนามเพื่อสำรวจข้อมูลของเกษตรกรกลุ่มลำไยแปลงใหญ่ในพื้นที่ตำบลดอนเปา อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 30 ครัวเรือน ข้อมูลที่ได้จากการลงภาคสนามจะถือเป็นข้อมูลปฐมภูมิเชิงปริมาณของการใช้วัตถุดิบ การใช้ทรัพยากร และพลังงาน เช่น ปริมาณการใช้ปุ๋ย ปริมาณการใช้สารเคมี ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง และปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ส่งผลต่อข้อมูลมลสารที่ปลดปล่อยออกมาทั้งทางดิน ทางอากาศ และทางน้ำ (ตารางที่ 1) มากไปกว่านั้นยังมีการศึกษาข้อมูลองค์ประกอบธาตุในเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยด้วยเทคนิควิเคราะห์หาปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ (CHNS Analysis) (ตารางที่ 2) เพื่อพยากรณ์มลสารที่อาจปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศระหว่างการดำเนินการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย เช่น ชนิดแก๊สที่ได้จากการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งด้วยการเผาในที่โล่ง เป็นต้น



ภาพที่ 1 รูปแบบขอบเขตการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมนุษย์ของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยและการผลิตไฟฟ้า

ตาราง 1 ตัวอย่างบัญชีรายการข้อมูลของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยในพื้นที่ 1 ไร่

รูปแบบการจัดการ	ขั้นตอน	สารขาเข้า	ปริมาณที่ใช้	หน่วย		
การเผาในที่โล่ง	การเผา	เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย	576.00	กิโลกรัม		
		การผลิตปุ๋ย	การหมัก	เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย	576.00	กิโลกรัม
				มูลโคนม	115.20	กิโลกรัม
				ปุ๋ยยูเรีย	1.15	กิโลกรัม
		สารเร่งซูเปอร์ พด.1	0.06	กิโลกรัม		
การผลิต	การขนส่ง	น้ำมันดีเซล	4.00	ลิตร		
แก๊สชีวภาพ	การทำความสะอาด	โซเดียมไบคาร์บอเนต	3.00	กิโลกรัม		
		การบีบอัด	ไฟฟ้า	28.60	กิโลวัตต์ชั่วโมง	
		การหมัก	เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย	576.00	กิโลกรัม	
			มูลโคนม	144.00	กิโลกรัม	

ตาราง 2 องค์ประกอบธาตุของเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย

สารชีวมวล	ปริมาณธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	ซัลเฟอร์	ออกซิเจน
เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย	40.48	6.35	1.13	0.00	52.04

### 3. การประเมินผลกระทบ

การประเมินผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยจะเป็นการแปลงข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออกในขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการ ให้อยู่ในรูปแบบของตัวชี้วัดด้านสิ่งแวดล้อมโดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 9.1.0.11 ในงานวิจัยนี้เลือกวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดภาวะโลกร้อนของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย และกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยด้วยวิธี IPCC 2013 GWP 100a ส่วนการประเมินผลกระทบชั้นกลางและชั้นปลายที่ส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพมนุษย์นั้นจะอาศัยวิธี Impact 2002+ รายละเอียดผลกระทบชั้นกลางทั้ง 14 ด้าน และผลกระทบชั้นปลาย 4 ผลกระทบ แสดงไว้ในงานวิจัยก่อนหน้า [12]

### 4. การแปลผล

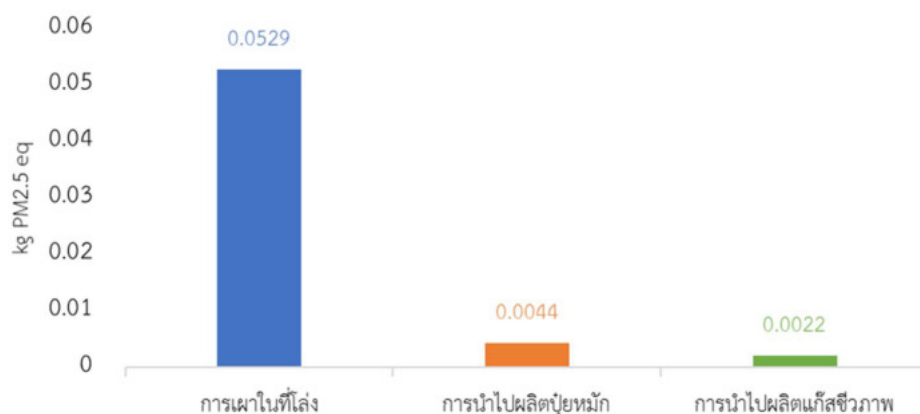
การแปลผลเป็นการตีความหมายที่ได้จากข้อมูลทั้งหมดตั้งแต่ขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการถึงการประเมินผลกระทบ โดยการแปลผลเป็นขั้นตอนที่วิเคราะห์เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อสรุป ข้อเสนอแนะ รวมถึงการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้นจากเป้าหมายและขอบเขตที่กำหนด เช่น การปรับปรุงกระบวนการบางกระบวนการเพื่อลดมลสารที่ปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมที่อาจส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และ/หรือส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์ เป็นต้น

## ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการสัมภาษณ์เกษตรกรที่มีอาชีพปลูกลำไยจากกลุ่มลำไยแปลงใหญ่ ตำบลดอนเปา อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 30 ครัวเรือน จะได้ข้อมูลปฐมภูมิของกระบวนการผลิตลำไย และข้อมูลปฐมภูมิเกี่ยวกับการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยแบบดั้งเดิม จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อน และผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 9.1.0.11 ที่อาศัยวิธีการประเมินแบบ IPCC 2013 GMP 100a และวิธี Impact 2002+ ตามลำดับ มีผลการศึกษาดังนี้

### 1. ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย

จากการผลิตลำไย 1 ตัน จะพบปริมาณเศษวัสดุเหลือทิ้ง เช่น ใบลำไยแห้ง กิ่งลำไยแห้ง รวมไปถึงผลลำไยที่ร่วงจากต้นโดยเฉลี่ย 576 กิโลกรัม ในขั้นตอนการบำรุงและการดูแล และขั้นตอนการเก็บเกี่ยว เศษวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวเกษตรกรมักกำจัดด้วยการเผาในที่โล่ง เนื่องจากเป็นวิธีที่รวดเร็วที่สุดจึงทำให้ไม่เสียเวลาและค่าใช้จ่ายมากนัก อย่างไรก็ตามการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยด้วยการเผาในที่โล่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ เป็นสาเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อน เพราะการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งในที่โล่งจะมีปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศในปริมาณมาก คือ 1.48 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย 1 กิโลกรัม (kgCO<sub>2</sub>eq/kg) ในขณะที่การนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยไปผลิตปุ๋ยตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดินและนำไปผลิตแก๊สชีวภาพด้วยกระบวนการหมักภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนจะทำให้มีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศ 0.32 และ 0.44 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย 1 กิโลกรัมไปผลิตปุ๋ยและผลิตแก๊สชีวภาพ ตามลำดับ ซึ่งถือเป็นปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่ต่ำกว่าการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งในที่โล่งคิดเป็นร้อยละ 78.04 และ 70.34 ตามลำดับ มากไปกว่านั้นการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยในที่โล่งยังก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กในชั้นบรรยากาศ (PM 2.5) สูงกว่าการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยไปผลิตปุ๋ยตามวิธีของกรมพัฒนาที่ดินและการนำไปผลิตแก๊สชีวภาพ 12 เท่า และ 24 เท่า ตามลำดับ (ภาพที่ 2) จะเห็นได้ว่าหากเปลี่ยนวิธีการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยจากการเผาในที่โล่งเป็นการนำไปผลิตปุ๋ยและผลิตแก๊สชีวภาพสามารถลดปริมาณแก๊สเรือนกระจกส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนลดลงอีกด้วย ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยที่ยั่งยืนควรเลือกวิธีการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งด้วยการนำไปผลิตปุ๋ยหรือการนำไปผลิตแก๊สชีวภาพ เนื่องจากการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยจะก่อให้เกิดแก๊สเรือนกระจกชนิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมาก ซึ่งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถือเป็นตัวการหลักและเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนในปัจจุบัน [13]



ภาพที่ 2 ผลกระทบชั้นกลางด้านการก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กในชั้นบรรยากาศ (PM 2.5) ของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้ง 576 กิโลกรัม ด้วยการเผาในที่โล่ง การนำไปผลิตปุ๋ยหมัก และการนำไปผลิตแก๊สชีวภาพ

## 2. การเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยแก๊สชีวภาพและแก๊สธรรมชาติ

การเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยแก๊สชีวภาพและแก๊สธรรมชาติจะพิจารณาการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง และแก๊สชีวภาพที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าของการศึกษานี้ผลิตจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย ในขณะที่แก๊สธรรมชาติได้มาจากกระบวนการขุดเจาะ รูปแบบขอบเขตการศึกษาและวิธีการประเมิน คือ gate to gate และ ICPP 2013 GWP 100a ตามลำดับ การผลิตกระแสไฟฟ้าของการศึกษานี้จะใช้หลักการเดียวกัน คือ อาศัยไอน้ำร้อนในการขับเคลื่อนกังหันไอน้ำที่ต่อกับมอเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า [14] ในการศึกษานี้จะจำแนกการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า 2 ประเภท คือ โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส และโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม สำหรับโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สจะมีขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยเริ่มจากการอัดอากาศเข้าไปในห้องเผาไหม้เพื่อให้อากาศมีความดันและอุณหภูมิสูงพร้อมกับการป้อนแก๊สเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง (การเผาไหม้ของแก๊สเชื้อเพลิงจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงกับอากาศ (F:A) มีค่าเท่ากับ 1:10) จนให้แก๊สร้อนสำหรับขับเคลื่อนใบพัดของเครื่องกังหันแก๊สที่ปลายเพลาก็ด้านหนึ่งต่อกับมอเตอร์ของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ในขณะที่ได้เสียที่ไอน้ำจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงนั้นคือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ [15-16] ส่วนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนร่วมจะเป็นโรงไฟฟ้าที่นำเทคโนโลยีของโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สและโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำมาใช้งานร่วมกันโดยโรงไฟฟ้าพลังงานไอน้ำเป็นการนำไอน้ำจากการเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิงของระบบกังหันแก๊สไปผ่านเครื่องให้ความร้อนซ้ำ (Reheater) จนมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จากนั้นนำไอน้ำร้อนที่ได้ไปผ่านหม้อน้ำจนเกิดการถ่ายโอนความร้อนให้กับน้ำจนกระทั่งน้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำที่ต่อตรงไปยังมอเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า [17-18]

การเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนของการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยแก๊สชีวภาพและแก๊สธรรมชาติจะพิจารณาตั้งแต่การเผาไหม้แก๊สเชื้อเพลิง (คือ แก๊สชีวภาพ และแก๊สธรรมชาติ) จนได้ไอน้ำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่าในการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ของโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สที่ใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงจะส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนต่ำกว่าการใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงแสดงในรูปปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศที่ต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 28.93 ส่วนโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมที่ใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงจะพบว่าการใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนสูงกว่าการใช้



แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงคิดเป็นร้อยละ 13.80 และเมื่อพิจารณาโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมและโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส จะเห็นว่าการใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าทำให้การผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมส่งผลกระทบต่อด้านภาวะโลกร้อนต่ำกว่าโรงไฟฟ้ากังหันแก๊สคิดเป็นร้อยละ 38.74 ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมมาเปรียบเทียบกับชนิดของแก๊สเชื้อเพลิงที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อน ซึ่งพบว่าการใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อด้านภาวะโลกร้อนต่ำกว่าการใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงคิดเป็นร้อยละ 28.93 เนื่องจากแก๊สชีวภาพมีองค์ประกอบหลัก คือ แก๊สมีเทน (ตารางที่ 3) เช่นเดียวกับแก๊สธรรมชาติ ดังนั้นเมื่อแก๊สชีวภาพเกิดการเผาไหม้จะมีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ที่ถือเป็นตัวการหลักของการเกิดภาวะเรือนกระจกเช่นเดียวกับแก๊สธรรมชาติ [19] อย่างไรก็ตามการเผาไหม้แก๊สธรรมชาติยังมีการปลดปล่อยแก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>) และแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) ซึ่งถือเป็นแก๊สที่มีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนสูงกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นอย่างมาก [19] จึงทำให้เมื่อพิจารณาการเผาไหม้แก๊สธรรมชาติและแก๊สชีวภาพในปริมาณที่เท่ากันแล้ว การเผาไหม้แก๊สธรรมชาติเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง จะมีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากกว่าการเผาไหม้แก๊สชีวภาพ 1.4 เท่า ด้วยเหตุนี้การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมีแก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงจะมีปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศมากกว่าการผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นหากต้องการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนของโรงไฟฟ้าลง จำเป็นต้องลดปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศ ซึ่งสามารถดำเนินการได้ด้วยการเลือกใช้พลังงานทางเลือกแทนพลังงานฟอสซิล เช่น แก๊สชีวภาพ เชื้อเพลิงอัดแท่งหรือเชื้อเพลิงชีวมวล ดังเช่น การใช้แก๊สชีวภาพทดแทนการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ในการประกอบอาหารซึ่งจะช่วยลดปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกลงได้มากกว่า 2,028,136 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี การใช้แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร ทดแทนการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) 1 กิโลกรัม ถือเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนลงคิดเป็นร้อยละ 54 [20] และการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 1 กิโลกรัม ทดแทนการใช้ถ่านหินลิกไนต์ 1 กิโลกรัมสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าถือเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนลงคิดเป็นร้อยละ 32.86 [22] เป็นต้น

สำหรับผลกระทบต่อชั้นกลางที่อาจเกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบการใช้แก๊สชีวภาพและแก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่าผลกระทบต่อด้านความเป็นพิษต่อมนุษย์ที่มาจากสารก่อมะเร็ง ด้านสารอินทรีย์ที่มีผลต่อระบบทางเดินหายใจ คือ สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound) และด้านการลดลงของชั้นโอโซนของการใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าต่ำกว่าการใช้แก๊สธรรมชาติคิดเป็นร้อยละ 95.54, 87.33 และ 95.27 ตามลำดับ ซึ่งผลกระทบต่อชั้นกลางดังกล่าวจะก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพมนุษย์ด้วยกล่าวคือ การได้รับหรือสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณน้อยเป็นเวลานานจะทำให้เนื้อเยื่ออวัยวะภายในร่างกายเสื่อมลง มากไปกว่านั้นสารอินทรีย์ระเหยง่ายบางชนิดอาจเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ได้ เช่น มะเร็งเม็ดเลือดขาว เป็นต้น อีกทั้งมนุษย์มีโอกาเป็นโรคมะเร็งผิวหนังอันเนื่องมาจากการเกิดรูขุมขนของชั้นโอโซนจนทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตแผ่ลงมายังบริเวณผิวโลกได้ง่ายซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยการที่ชั้นโอโซนลดลงร้อยละ 19 อาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งผิวหนังในมนุษย์ได้ถึง 10,000 คนต่อปี [22]

ตารางที่ 3 องค์ประกอบและสัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบในแก๊สธรรมชาติและแก๊สชีวภาพ

เชื้อเพลิง	องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละโดย ปริมาณ)	ค่าความร้อน (บีทียูต่อลูกบาศก์ ฟุต)	อ้างอิง
แก๊สธรรมชาติ	มีเทน (CH <sub>4</sub> )	90.795	994	[58-75]
	อีเทน (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	3.277	1,742	
	โพรเพน (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	0.187	2,479	
	บิวเทน (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	0.039	3,215	
	เพนเทน (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	0.025	3,949	
	เฮกเซน (C <sub>6</sub> )	0.039	4,680	
	คาร์บอนไดออกไซด์	2.468	-	
	ส่วนที่ไม่เผาไหม้ (CO <sub>2</sub> )	3.190	-	
	ไนโตรเจน (N <sub>2</sub> )			
	แก๊สชีวภาพ	มีเทน (CH <sub>4</sub> )	63.500	
ไฮโดรเจน (H <sub>2</sub> )		1.500	319	
คาร์บอนไดออกไซด์		35.000	-	
ส่วนที่ไม่เผาไหม้ (CO <sub>2</sub> )				

### สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนด้วยวิธี ICPP 2013 GMP 100a V.1.03 และการศึกษาผลกระทบด้านสุขภาพมนุษย์ด้วยวิธี Impact 2002+ จากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 9.1.0.11 ของการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย สามารถสรุปได้ว่าการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยไปผลิตปุ๋ยหมักและ/หรือนำไปผลิตแก๊สชีวภาพนั้นจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อนต่ำกว่าการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยไปเผาในที่โล่งคิดเป็นร้อยละ 78.04 และ 70.34 ตามลำดับ และเมื่อนำแก๊สชีวภาพที่ผลิตจากเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไยไปผลิตกระแสไฟฟ้าจะเห็นว่าปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่ำกว่าการนำแก๊สธรรมชาติไปผลิตกระแสไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 28.93 แสดงให้เห็นว่าโอกาสในการเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกจากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงต่ำกว่าการใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง มากไปกว่านั้นการใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้ายังส่งผลให้สุขภาพมนุษย์ดีขึ้น กล่าวคือ ความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งและโรคระบบทางเดินหายใจในมนุษย์ลดลง

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ในการสนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิตสาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในการตรวจวัดรวมทั้งสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณเกษตรกรกลุ่มลำไยแปลงใหญ่ ตำบลดอนเปา อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 30 ครัวเรือน ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตลำไยและวิธีการจัดการเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตลำไย สำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ดุสิต ขาวเหลือง. (2548). วิฤตสิ่งแวดลอม : ผลพวงจากความทันสมัยแต่ไม่พัฒนา. วารสารศึกษาศาสตร์, 16 (2), 1-18.
- [2] บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) สำนักงานใหญ่. (2562). วิฤตสิ่งแวดลอม ผลกระทบของปัญหาและทางแก้ไขที่ทั้งโลกต้องร่วมมือ. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2563, จากเว็บไซต์: <https://blog.pttexpresso.com/environmental-crisis/>
- [3] ปัญธิพัชรกร บุญพร้อม และ เพชรวาลัย ธิระวณัฐพงศ์. (2556). การประเมินวัฏจักรชีวิตเครื่องมือสำหรับการจัดการสิ่งแวดลอม. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 23(1), 232-240.
- [4] ศูนย์สหกิจศึกษาและพัฒนาอาชีพ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. นโยบายอนุรักษ์การใช้พลังงาน. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2563, จากเว็บไซต์: <https://coop.wu.ac.th>
- [5] เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [6] สมาคมพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2563). การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ LCA (Life Cycle Assessment: LCA). สืบค้นเมื่อวันที่ 19 กันยายน 2563, จากเว็บไซต์: <https://adeq.or.th/lca-life-cycle-assessment-lca/>
- [7] ชมเพลิน ศุภทัตกุล และ ไพรัช กาญจนการุณ. (2554). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. วารสารเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 15 (1), 46-66.
- [8] พรทิพย์ ชื่นแสงชัย (2556). การรับรู้ และระดับการมีส่วนร่วมด้านกิจกรรมความรับผิดชอบต่อสังคมของพลังงานโรงไฟฟ้าราชบุรี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [9] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โรงไฟฟ้ากระบี่. (2558). แหล่งพลังงาน. สืบค้นเมื่อวันที่ 23 มีนาคม 2564, จากเว็บไซต์: <http://krabi.egat.co.th/home/index.php/en/knowledge/2015-02-26-03-57-47>
- [10] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2563). ค่า Emission Factor โดยแบ่ง ตามประเภทกลุ่มอุตสาหกรรม. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2563, จากเว็บไซต์: [http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts\\_117a1351b6.pdf](http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_117a1351b6.pdf)
- [11] ปุณณมี สัจจกมล. การประเมินวัฏจักรชีวิตหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ 4 ขั้นตอน. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 พฤศจิกายน 2563, จากเว็บไซต์: [http://fic.nfi.or.th/waterfootprint/images/pdf/1seminar2\\_assetment4.pdf](http://fic.nfi.or.th/waterfootprint/images/pdf/1seminar2_assetment4.pdf)

# การพัฒนาอุปกรณ์เก็บข้อมูลระยะไกลพลังงานต่ำ

## Development of Remote Low Energy Data Logger

อาทิตย์ ยาวุฒิ<sup>1\*</sup> พิสิษฐ์ วิมลธนสิทธิ์<sup>1</sup> สมศักดิ์ วรรณชัย<sup>1</sup> จักรรินทร์ ถิ่นนคร<sup>1</sup> ยูพเยาว์ หัสจรรย์<sup>2</sup>  
และมนสิกันต์ ทศวิไล<sup>3</sup>

Artit Yawootti<sup>1\*</sup> Pisit Wimonthanasi<sup>1</sup> Somsak Wannachai<sup>1</sup> Jakkarin Thinnakorn<sup>1</sup> Yooppayow Husajun<sup>2</sup>  
and Mosikarn Tussavin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ 50300

<sup>2</sup>กลุ่มมาตรฐานการสำรวจจำแนกดิน,

<sup>3</sup>กลุ่มวิจัยคุณภาพและก่้างการผลิิตของดิน, กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน กรุงเทพฯ 10900

<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna : 128 Huay Kaew Road, Muang,  
Chiang Mai, Thailand, 50300

<sup>2</sup>Group of Soil Interpretation and Productivity,

<sup>3</sup>Soul Resources Survey and Research Division, Land Development Department Thailand, 10900

\*Corresponding author: Tel.: 097 923 3370. E-mail address: YArtit@rmutl.ac.th

*Received: 15 July 2021, Revised: 18 June 2022, Accepted: 14 July 2022, Published online: 30 August 2022*

### Abstract

This research discusses the development of Data Logger for temperature and moisture in soil and airborne in the offline low energy type. It can send the data remote online but still use low energy consumption and installed in forested areas without basic electricity. All devices utilize high-performance electrical batteries that are charged with solar panels. The operating system uses the nodeMCU micro-controller as the operating and processing unit. The sensor devices consist of two conductive principle soil moisture sensors connected to a 16-bit analog transducer. There are also soil temperature sensors, air temperature and humidity sensor, OLED display, real time clock device and memory card module. A general offline system uses 1.15, 3.45 and 14.42 watt hours of power each day. if the measuring system sends data to the cloud in Google Sheets, the power consumption has been increased to 2.02, 6.05 and 70.19 watt-hours for measurement and data acquisition every 30, 10 minutes and all the time, respectively. System optimization to measure and record data into memory and send data to the cloud once daily it was found that reduced system power by 42.9 percent when compared with sending data all time. This developed system actually works and can be applied to measure and record data with other low-power consumption Internet of Things systems.

**Keywords:** Soil Moisture Content, Smart Farm, Google Sheet, Remote Data Logger

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาอุปกรณ์เก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้น ในดินและอากาศ พลังงานต่ำแบบออฟไลน์ ให้สามารถส่งข้อมูลระยะไกลแบบออนไลน์ แต่ยังคงใช้พลังงานในการทำงานระดับต่ำ และมีการติดตั้งในพื้นที่ป่าที่ไม่มีไฟฟ้าพื้นฐาน อุปกรณ์ทั้งหมดทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูงที่มีการประจุด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบการทำงานใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์โหนดเอ็มซียูเป็นส่วนดำเนินการและประมวลผล อุปกรณ์เซ็นเซอร์ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นดินหลักการวัดค่าความนำไฟฟ้าจำนวน 2 ชุดต่อกับตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกขนาด 16 บิต เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิดิน และความชื้นในอากาศ จอแสดงผลโอแอลอีดี อุปกรณ์ฐานเวลา และโมดูลการ์ดบันทึกข้อมูล ระบบการทำงานเก็บข้อมูลแบบออฟไลน์ทั่วไป ในแต่ละวันจะใช้พลังงาน 1.15 3.45 และ 14.42 วัตต์ชั่วโมง หากระบบเพิ่มการส่งข้อมูลไปที่คลาวด์ในระบบปฏิบัติการ ซึ่งพบว่าใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเป็น 2.02 6.05 และ 70.19 วัตต์ชั่วโมง สำหรับการวัดและเก็บข้อมูลทุก ๆ 30 10 นาทีและตลอดเวลา ตามลำดับ การปรับปรุงให้ระบบทำงานตรวจวัดและเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำทำการส่งข้อมูลขึ้นในระบบคลาวด์เพียงครั้งเดียวในแต่ละวันพบว่าสามารถลดพลังงานของระบบลงได้ถึง 42.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับการส่งข้อมูลขึ้นระบบคลาวด์ทุก ๆ รอบการวัด-เก็บข้อมูล ระบบที่พัฒนาขึ้นทำงานได้จริงและสามารถประยุกต์ใช้ในวัดและเก็บข้อมูลร่วมกับระบบอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วยพลังงานต่ำแบบอื่น ๆ

**คำสำคัญ:** ความชื้นดิน สมาร์ทฟาร์ม กูเกิลชิต อุปกรณ์เก็บบันทึกข้อมูลระยะไกล

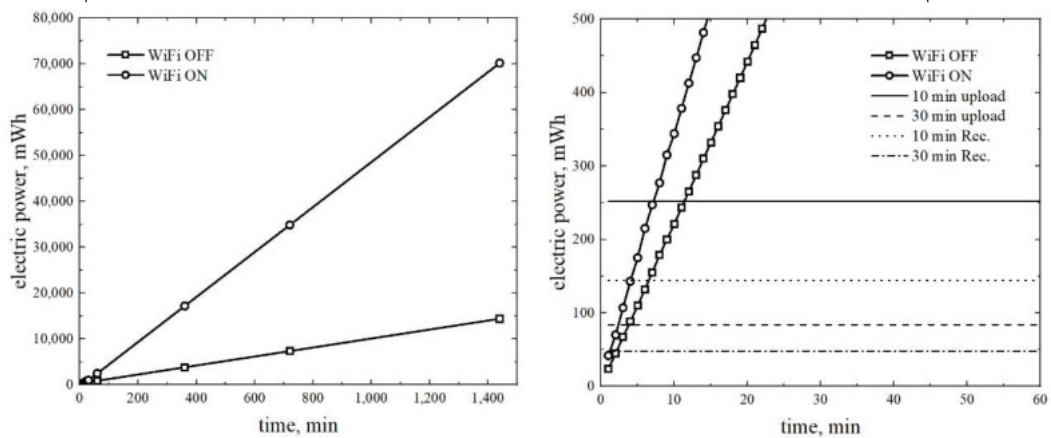
## บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยทรัพยากรธรรมชาติและมีสภาพภูมิประเทศเหมาะสมต่อการทำการเกษตร สำหรับพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 360 เมตร ได้มีการสำรวจและเก็บข้อมูลโดยกรมพัฒนาที่ดิน โดยเฉพาะกลุ่มมาตรฐานการสำรวจจำแนกดิน รวมถึงกลุ่มวินิจฉัยคุณภาพและกำลังการผลิตของดิน แต่สำหรับพื้นที่ป่าเขาที่ระดับความสูงมากกว่า 360 เมตร จากระดับน้ำทะเลนั้น ยังมีการสำรวจไม่ทั่วถึง [1] การพัฒนาอุปกรณ์เก็บข้อมูลแบบทำงานลำพังสำหรับเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นดิน สามารถช่วยให้นักวิจัยสามารถทราบถึงข้อมูลดิน ที่นำไปสู่การวางแผนการใช้ประโยชน์พื้นที่ ทั้งในด้านการเพาะปลูกและการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ การพัฒนาอุปกรณ์ดังกล่าวและติดตั้งในพื้นที่ภาคเหนือ เขตจังหวัดลำปาง จำนวน 7 แห่ง ล้วนเป็นป่าที่ที่ไม่มีแหล่งพลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน มีแสงแดดช่วงสั้นในเวลากลางวัน ดังนั้นอุปกรณ์วัดและเก็บข้อมูลจะต้องทำงานภายใต้เงื่อนไขการประหยัดพลังงาน อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวัดและเก็บบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำแบบออฟไลน์ เมื่อทำงานตลอดเวลา พบว่าในแต่ละวันจะใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึง 14.4 วัตต์ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 1 (ก) (WiFi OFF) และตารางที่ 1 เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานจึงได้ออกแบบให้ระบบที่พัฒนาขึ้นในรุ่นแรก [2] ทำงานตามแผนภาพที่ 2 (ก) มีการบันทึกข้อมูลการวัดลงในหน่วยความจำแบบ SD Card ทุกๆ ระยะเวลา 30 นาที และมีการใช้โหมดหลับลึก (Deep Sleep) เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงเหลือประมาณ 9 มิลลิแอมป์ ในขณะที่ระบบทำการวัดตลอดเวลาจะใช้พลังงานไฟฟ้าในระดับ 200 มิลลิแอมป์ ระบบการทำงานแบบนี้มีจุดเด่นในเรื่องการประหยัดพลังงานและสามารถใช้งานวัดและบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำได้ต่อเนื่องมาตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 จนถึงปัจจุบัน (กันยายน 2564) แต่ยังคงให้เจ้าหน้าที่เข้าไปยังพื้นที่ติดตั้งเพื่อทำการโหลดข้อมูลจากหน่วยความจำออกมา ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบหลายด้าน เช่น การใช้เวลาในการเดินทางเข้าพื้นที่ (ที่นักวิจัยจากกรุงเทพฯ) การปิดห้ามเข้าพื้นที่จากวิกฤตการณ์โรคระบาดโควิด 19 รวมถึงเมื่ออุปกรณ์ทำงานผิดพลาดจะไม่สามารถทราบได้ทันที การปรับปรุงให้ระบบเดิมที่ทำงานแบบออฟไลน์ให้สามารถทำงานเป็นแบบออนไลน์ โดยส่งข้อมูลมายังคลาวด์ โดยที่ยังคงมีการสำรองข้อมูลที่หน่วยความจำเป็นทางออกของข้อจำกัดข้างต้น แต่ด้วยเงื่อนไขข้อจำกัดของพลังงานไฟฟ้า ซึ่งหากตั้งค่าให้ระบบมีการทำงานส่งข้อมูลระยะไกลผ่านเครือข่าย GSM ไปที่ระบบคลาวด์ตลอดเวลาในภาพที่ 2 (ข) พบว่าระบบจะใช้พลังงาน

ไฟฟ้าสูงถึง 70 วัตต์ชั่วโมง ตามข้อมูลการทดสอบในภาพที่ 1 (ก) (WiFi ON) และตารางที่ 1 การปรับลดจากที่ระบบทำงานออนไลน์ตลอดเวลาลงเป็นทำงานทุกๆ รอบ 10 หรือ 30 นาที ยังคงใช้พลังงานไฟฟ้าสูงในระดับ 252 และ 84 มิลลิวัตต์ชั่วโมง ในแต่ละชั่วโมง แต่หากทำการปรับให้ระบบทำงานเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำและมีการส่งข้อมูลขึ้นระบบคลาวด์เพียงครั้งเดียวในแต่ละชั่วโมง (หรือในแต่ละวัน) จะสามารถลดพลังงานไฟฟ้า ลงได้อีก 42.86 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 1 (ข) การปรับรูปแบบให้ระบบทำงาน ตามภาพที่ 2 (ค) จะทำให้สามารถได้ข้อมูลการวัดออนไลน์รายวัน พร้อมทราบว่าอุปกรณ์ทำงานปกติหรือมีความผิดพลาดได้รวดเร็วและยังคงประหยัดพลังงานไฟฟ้า

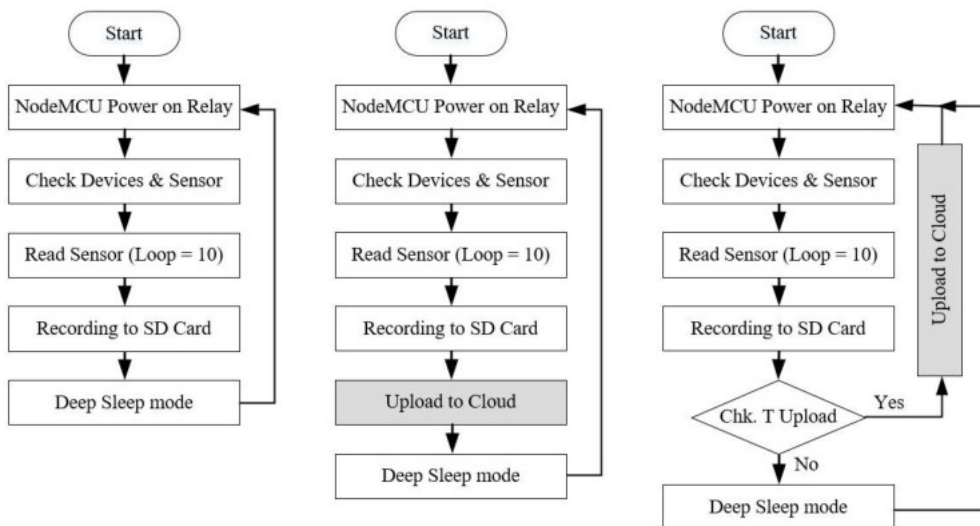
### วิธีการวิจัย

การพัฒนาให้อุปกรณ์เก็บวัดและข้อมูลฯ ทำงานจากเดิมที่เป็นระบบออฟไลน์ ให้สามารถทำงานแบบออนไลน์จะต้องใช้รีเลย์ไฟฟ้าทำหน้าที่ในการปิดและเปิดการทำงานของอุปกรณ์ WiFi ตามรูปแบบเดิมที่มีการใช้รีเลย์ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์และเซ็นเซอร์ [2] ที่เดิมมีการใช้ขา 10 หรือ SD3 ของ NodeMCU ในการสั่งงานรีเลย์อุปกรณ์เดิม ใน



(ก) การเปรียบเทียบที่เวลา 1,440 นาที (24 ชั่วโมง) (ข) การเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 60 นาที (1 ชั่วโมง)

ภาพที่ 1 การใช้พลังงานไฟฟ้าขณะทำงานเปรียบเทียบการปิดและเปิดอุปกรณ์ WiFi



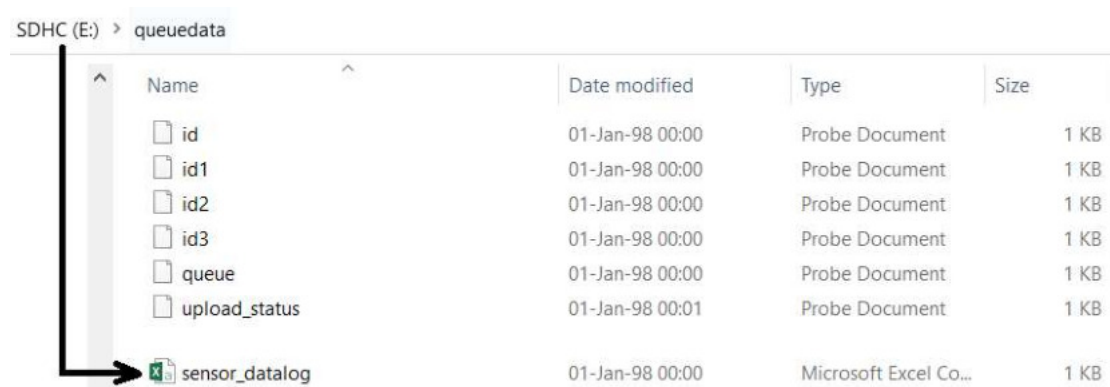
(ก) การทำงานแบบออฟไลน์ (ข) การทำงานแบบออนไลน์ตลอดเวลา (ค) การทำงานแบบออนไลน์เฉพาะเวลาที่กำหนด

ภาพที่ 2 แผนภาพการทำงานของระบบวัดและเก็บข้อมูล 3 รูปแบบ

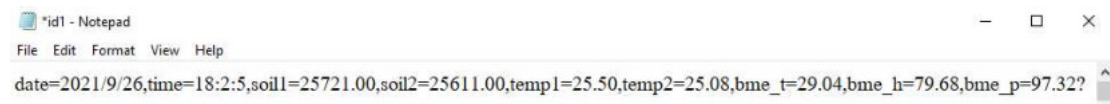
งานวิจัยนี้ได้ใช้ขา 9 หรือ SD2 ในการสั่งงานรีเลย์ WiFi สำหรับการเชื่อมต่อทางฮาร์ดแวร์ของกับอุปกรณ์ต่างๆ กับ NodeMCU ทำได้โดยใช้เซ็นเซอร์วัดความชื้นดินหลักการวัดความต้านทานไฟฟ้า จำนวน 2 ชุด เชื่อมต่อกับขา A0 และ A1 ของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 16 Bit ADS1115 ประสิทธิภาพสูง [3] เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิดิน DS18B20 แบบสายโพรบที่สามารถฝังในดินได้ จำนวน 2 ชุด ต่อกับขา D3 และ D4 เซ็นเซอร์ BME280 ที่สามารถวัดอุณหภูมิ ความชื้นและความดันบรรยากาศได้ จอแสดงผล OLED และฐานข้อมูลเวลา Real Time Clock DS3231 มีการเชื่อมต่อแบบ i2c และโมดูลการ์ดบันทึกข้อมูลแบบ micro SD มีการเชื่อมต่อขา MISO MOSI SCK และ CS กับขา D6 D7 D5 และ D8 ของ NodeMCU ตามลำดับ เมื่อใช้ USB Tester ตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าพบว่าอุปกรณ์ทั้งระบบเมื่อทำการวัดและบันทึกข้อมูลจะใช้กระแสไฟฟ้าที่ระดับ 170 มิลลิแอมป์ และเมื่อเข้าสู่โหมดหลับลึกจะใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 9 มิลลิแอมป์ เท่านั้น สำหรับการดำเนินงานแบบออนไลน์นั้น มีการใช้ Pocket WiFi แบบ USB ที่สามารถทำงานร่วมกับ SIM การ์ดอินเตอร์เน็ตแบบรายปีเครือข่ายของ AIS ซึ่งตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่าอุปกรณ์ Pocket WiFi ใช้พลังงานไฟฟ้าขณะทำการเชื่อมต่อระหว่าง 300 – 700 มิลลิแอมป์ และที่ระดับ 600 – 700 มิลลิแอมป์ในขณะที่ทำการอัปโหลดข้อมูล

ตารางที่ 1 พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอุปกรณ์ของเปรียบเทียบระหว่างปิดและเปิดระบบ WiFi

Electric Power, mWh	Time, min												
	1	2	3	4	5	10	15	20	30	60	360	720	1,440
WiFi OFF	24	45	67	88	110	221	332	442	664	898	3,838	7,366	14,422
WiFi ON	42	70	107	143	175	344	516	686	1,024	2,496	17,211	34,869	70,185



(ก) ไฟล์ข้อมูลใน SD Card



(ข) ตัวอย่างสายข้อความ String ในไฟล์ id1.dat ต่างๆ

ภาพที่ 3 ตัวอย่างไฟล์บันทึกข้อมูลในระบบที่พัฒนาขึ้น

ส่วนของซอฟต์แวร์ ใช้โปรแกรม Visual Studio Code ในการพัฒนาโค้ดโปรแกรม ซึ่งมีการเรียนรู้ Libraries ต่างๆ เช่น RTCLib.h SD.h Adafruit\_ADS1015.h DallasTemperature.h Adafruit\_BME280.h ESP8266WiFi.h เป็นต้น สำหรับอุปกรณ์ Real Time Clock ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล เซ็นเซอร์ DS18B20 เซ็นเซอร์ BME และฟังก์ชันของ NodeMCU เรียงตามลำดับ ลำดับขั้นของการทำงานตามโค้ดโปรแกรมเป็นไปตามภาพที่ 2 (ค) ในส่วนของ void setup

เริ่มจากการกำหนดขนาด SD2 และ SD3 ให้สามารถควบคุมการทำงานของรีเลย์ อุปกรณ์เซ็นเซอร์และ Pocket WiFi ได้ตามลำดับ มีการตรวจสอบอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ ได้แก่จอแสดงผล OLED อุปกรณ์ฐานข้อมูลเวลา การ์ดบันทึกข้อมูลเซ็นเซอร์ BME และตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล รวมถึงการสร้างไฟล์เก็บบันทึกข้อมูลตามภาพที่ 3 (ก) ซึ่งทั้งหมดจะแสดงผลการตรวจวัดที่จอแสดงผล OLED จากนั้นในส่วนของ void loop จะเริ่มจากการทำการตรวจวัดค่าเซ็นเซอร์ความชื้นดิน เซ็นเซอร์อุณหภูมิดิน เซ็นเซอร์ตรวจวัดอากาศ BME โดยทั้งหมดอ่านค่า 10 รอบก่อนทำเป็นค่าเฉลี่ยและบันทึกข้อมูลลงใน SD Card พร้อมแสดงผลการบันทึกสำเร็จที่จอแสดงผล OLED

ข้อมูลไฟล์ใน SD Card แสดงในภาพที่ 3 (ก) ประกอบด้วย sensor\_datalog.csv ทำหน้าที่เก็บบันทึกข้อมูลการวัดเรียงรูปแบบของการบันทึกเริ่มจาก วันเดือนปี เวลา และค่าเซ็นเซอร์ทั้งหมดที่อ่านได้เรียงกัน ไฟล์ในโฟลเดอร์ queuedata ประกอบด้วยไฟล์ id ต่างๆ ไฟล์ queue.dat และไฟล์ upload\_status.dat โดยไฟล์ id.dat จะเป็นตัวบอกจำนวนครั้งของข้อมูลที่ทำการบันทึกลง SD Card เรียบร้อยแล้ว ไฟล์ id ที่มีการเรียงตัวเลขจะถูกบรรจุสายข้อความ String ข้อมูลที่มีการเรียงรูปแบบเหมือนไฟล์ sensor\_datalog.csv ตามภาพที่ 3 (ข) นอกจากนี้ยังมีไฟล์ queue.dat และ upload\_status.dat ทำหน้าที่ตรวจสอบสถานะการอัปเดตข้อมูลว่าได้มีการอัปเดตข้อมูลไปแล้วหรือไม่ หลังจากทำการบันทึกข้อมูลการวัดลงใน SD Card แล้ว (ใช้เวลาประมาณ 50 วินาที) จะมีการตรวจสอบฐานเวลาว่าเป็นชั่วโมงที่จะต้องทำการอัปเดตหรือไม่ ถ้าหากยังไม่ถึงเวลาที่จะต้องทำการอัปเดต ระบบจะเข้าสู่โหมดการหลับลึก (Deep Sleep) เป็นเวลา 29 นาที และทำการตื่นขึ้นมาเริ่มกระบวนการวัดและเก็บบันทึกข้อมูลลงใน SD Card อีกครั้ง เป็นแบบนี้วนไปตลอด หากฐานเวลาตรงกับที่ตั้งค่าไว้ จะมีการตรวจสอบไฟล์สถานะ โดยหากไฟล์ upload\_status.dat มีสถานะเป็น "1" จะทำการสั่งเปิดใช้งาน Pocket WiFi โดยใช้เวลาในการเชื่อมประมาณ 30 วินาที (แต่มีการหน่วงเวลาการเชื่อมต่อนี้ไว้ที่ 40 วินาที) จากนั้นทำการเชื่อมต่อกับระบบกูเกิ้ลชีต (Google Sheet) โดยหากทำการเชื่อมต่อสำเร็จ จะเริ่มทำการอัปเดตข้อมูลไฟล์ id ต่างๆ พร้อมแสดงสถานะการอัปเดตว่าไฟล์ id ตัวใด ทำการอัปเดตข้อมูลสำเร็จหรือไม่ (โดยมีการแสดงสถานะการอัปเดตสำเร็จหรือว่าล้มเหลวที่จอแสดงผล OLED) หากไม่สำเร็จ จะมีการอัปเดตในการเชื่อมต่อรอบต่อไป (วันถัดไป) เมื่อกระบวนการอัปเดตเสร็จสิ้นแล้ว จะมีการสร้างสถานะ "1" ในไฟล์ upload\_status.dat (จะมีค่าเป็น "0" เมื่อเข้าสู่ชั่วโมงถัดไป)

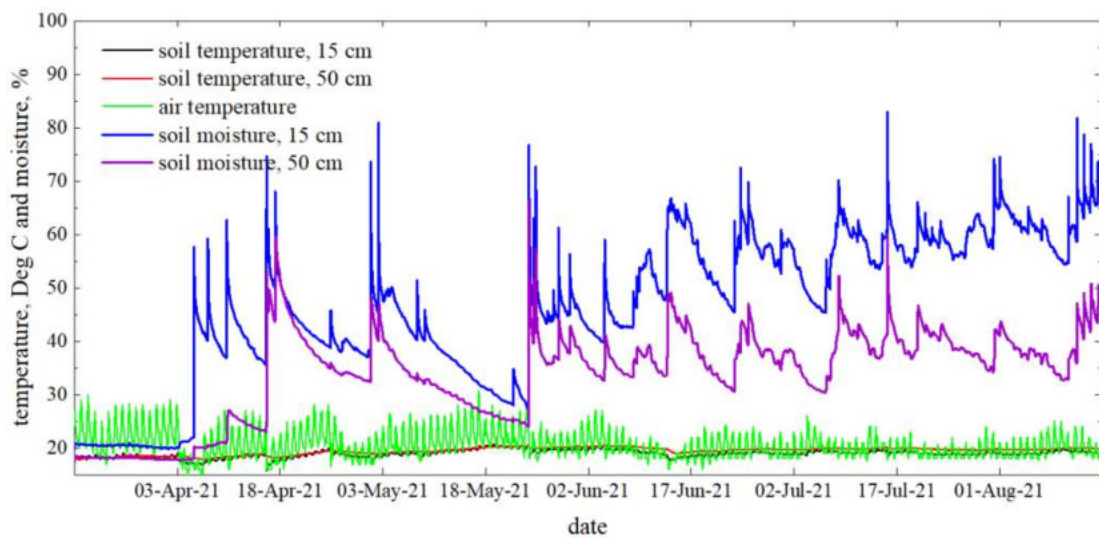
### ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ข้อมูลที่ส่งขึ้นในระบบกูเกิ้ลชีตประกอบด้วยฐานข้อมูลวันที่ เวลา และค่าจากเซ็นเซอร์วัดความชื้นผิวดิน ความชื้นใต้ดิน อุณหภูมิผิวดิน อุณหภูมิใต้ดิน อุณหภูมิ ความชื้นและความดันบรรยากาศ มีการส่งข้อมูลที่เวลา 9:00 น. ของแต่ละวัน ค่าที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินถูกแปลงเป็นความชื้นตามหลักวิชาการ ด้วยสมการ Polynomial อันดับ 4 [4] โดยข้อมูลทั้งหมดถูกนำมาแสดงให้เห็นตามภาพที่ 4 ซึ่งพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ SD Card พร้อมส่งค่าขึ้นระบบกูเกิ้ลชีตได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นประโยชน์มากสำหรับงานวิจัยพัฒนาและการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่นสามารถวิเคราะห์ได้ว่าอุณหภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันที่ช่วงกว้างกว่าอุณหภูมิผิวดิน (15 cm) ในขณะที่อุณหภูมิใต้ดิน (50 cm) มีค่าราบเรียบกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิผิวดิน (15 cm) มีความสอดคล้องกับอุณหภูมิความอากาศ ซึ่งมีความต่างของเวลาน้อยกว่า เมื่อเทียบกับอุณหภูมิใต้ดิน (50 cm) เช่นในช่วงวันที่ 4 16 และ 30 เมษายน 2564 ที่อุณหภูมิอากาศมีแนวโน้มลดลงและอุณหภูมิดินทั้งสองระดับลดลงตาม ส่วนของความชื้นผิวดิน (15 cm) ซึ่งปกติจะมีค่าน้อยกว่าความชื้นใต้ดิน (50 cm) ในช่วงก่อนวันที่ 3 เมษายน 2564 แต่กลับมากำแพงสูงขึ้น โดยความชื้นผิวดินมีค่ามากกว่านั้น สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเกิดจากผลของฝนหรือความชื้นที่ซึมผ่านจากผิวดินลงมาหรือความชื้นที่มาจากการแพร่กระจายจากเนื้อดินหรือแหล่งน้ำใต้ดิน



## สรุปผลการวิจัย

บทความนี้นำเสนอวิธีการพัฒนาอุปกรณ์วัดและเก็บข้อมูล ความชื้นและอุณหภูมิ ทั้งในดินและอากาศ แบบเดิมทำงานระบบออฟไลน์ เป็นแบบออนไลน์ โดยอยู่ในกรอบการใช้พลังงานไฟฟ้าระดับต่ำ เพื่อใช้สำหรับติดตั้งในพื้นที่ห่างไกลไม่มีไฟฟ้าพื้นฐาน ระบบแบบออนไลน์ใช้ซิมอินเตอร์เน็ตต่อร่วมกับ Pocket WiFi ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU บันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำ SD Card และส่งข้อมูลการวัดเข้าไปที่ระบบเก็ลชีต อุปกรณ์ทั้งหมดทำงานด้วยแบตเตอรี่ที่มีการประจุไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การทำงานที่เป็นแบบหลักและตื่นมาทำงานสั้รี่เลยจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เซ็นเซอร์และ Pocket WiFi ตามระยะเวลาที่กำหนด สามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าการทำงานแบบออนไลน์ตลอดเวลา โดยระบบแบบออนไลน์ที่มีการอัปเดตข้อมูลรายวัน สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากกว่าแบบออนไลน์ที่มีการอัปเดตรายชั่วโมงได้มากถึง 42.9 % ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ระยะไกลแบบต่าง ๆ ได้



ภาพที่ 4 ลักษณะข้อมูลระหว่างวันที่ 19 มีนาคม ถึง 16 สิงหาคม 2564

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ กลุ่มมาตรฐานการสำรวจจำแนกดิน, กลุ่มวินิจฉัยคุณภาพและกำล้งการผลิตของดิน, กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กองสำรวจดินและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน. (2563). โครงการการสำรวจและจัดทำฐานข้อมูลทรัพยากรดินเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำบนพื้นที่สูง.
- [2] อาทิตย์ ยาวุฒิ พิสิษฐ์ วิมลธนสิทธิ์ สมศักดิ์ วรรณชัย จักรรินทร์ ถิ่นนคร สาคร ปันตา ยุพเยาว์ หัสจรรย์ และมนสิگانต์ ทศวิล. (2563). การพัฒนาอุปกรณ์เก็บข้อมูลแบบทำงานลำพังสำหรับเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นดิน. ใน การประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 6, วันที่ 2 – 3 กันยายน พ.ศ. 2563 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

- [3] อาทิตย์ ยาอุทมิ พิสิษฐ์ วิมลธนสิทธิ์ สาคร ปันตา และสมศักดิ์ วรรณชัย. (2560). การทดสอบในห้องปฏิบัติการและภาคสนามสำหรับอุปกรณ์แปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัลต้นทุนต่ำ. ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 9, วันที่ 7 – 9 สิงหาคม พ.ศ. 2560 ณ ศูนย์แสดงสินค้าและการประชุม อิมแพ็ค เมืองทองธานี.
- [4] อาทิตย์ ยาอุทมิ ศิวพร ศิลเตโช กานต์ ไตรโสภณ พิสิษฐ์ วิมลธนสิทธิ์ สมศักดิ์ วรรณชัย และจักรรินทร์ ถิ่นนคร. (2564). การสอบเทียบเซ็นเซอร์วัดความชื้นดิน, ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 13 (EENET 2021), วันที่ 12 – 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2564 ณ โรงแรมเวียงอินทร์ จังหวัดเชียงราย.

## นวัตกรรมพลังงานทดแทนและการจัดการอย่างยั่งยืนสำหรับเกษตรอินทรีย์

### Innovation in Renewable Energy and Sustainable Management for Organic Agriculture

ปิยะพงษ์ ยงเพชร<sup>1\*</sup> ภิญญาพัชญ์ นาคภิบาล<sup>2</sup> ไตรมาส พูลผล<sup>3</sup> เทอดเกียรติ แก้วพวง<sup>4</sup> ถกลรัตน์ ทักขิมา<sup>5</sup>  
ณัฐกิตต์ อยู่ด้วง<sup>6</sup> พัชรา ยงเพชร<sup>7</sup> และกนกพร ดิษฐกระจันทร์<sup>8</sup>

Piyaphong Yongphet<sup>1\*</sup> Pinyapat Nakpibal<sup>2</sup> Trimas Phunphon<sup>3</sup> Teadkai Kaewpuang<sup>4</sup> Takunrat Taksima<sup>5</sup>  
Nattakit Yuduang<sup>6</sup> Phatchara Yongphet<sup>7</sup> and Kanokporn Diskajun<sup>8</sup>

<sup>1</sup>สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180

<sup>2</sup>คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180

<sup>3</sup>สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (สสว.)-จังหวัดปทุมธานี ศาลากลางจังหวัดปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี 12000

<sup>4</sup>สำนักส่งเสริมการเรียนรู้และบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180

<sup>5</sup>วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต กรุงเทพมหานคร 10210

<sup>6</sup>School of Industrial Engineering and Engineering Management, Mapúa University, Philippines 1002

<sup>7</sup>สถาบันการศึกษานานาชาติ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ 10240

<sup>8</sup>วิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมเกษตรอินทรีย์ อำเภอกู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี 72160

<sup>1</sup>Developer lecturer, Research and Development Institute, Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage, Pathumthani Province, 13180

<sup>2</sup>Faculty of Management Science, Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage, Pathumthani Province, 13180

<sup>3</sup>Office Of Small and Medium Enterprises Promotion - Pathumthani, Mueang Pathumthani District, Pathumthani Province, 12000

<sup>4</sup>Developer lecturer, Office of Learning Support and Academic Services, Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage, Pathumthani Province, 13180

<sup>5</sup>College of Integrative Medicine, Dhurakij Pundit University, Bangkok, 10210

<sup>6</sup>School of Industrial Engineering and Engineering Management, Mapúa University, Philippines 1002

<sup>7</sup>Institute of International Studies (IIS-RU), Ramkhamhaeng University, Bangkok, 10240

<sup>8</sup>The Community Enterprise, Organic Agriculture Promotion Group, U Thong District, Suphanburi Province, 72160

\*Corresponding author: Tel.: 083 331 7703. E-mail address: piyaphong.yong@vru.ac.th, n\_n1112@hotmail.com

Received: 16 July 2021, Revised: 10 June 2022, Accepted: 14 July 2022, Published online: 30 August 2022

### Abstract

Innovative developments in renewable energy are used in agriculture to improve farmers' lives. This research work on Area Based Approach (ABA) with the Organic Agriculture Promotion Group, Community Enterprise, U-Thong, Suphanburi Province by using Participate Action Research (PAR) method. Which emphasizes research, area-based approaches and innovates in response to local solutions. In addition,

innovation modelling can improve the quality of life and regional strengths. Using renewable energy technologies in integrated farming from upstream to downstream to promote sustainable organic agriculture is a random act of organic farmers with a Participatory Guarantee System (PGS). There are 13 households through brainstorming and Focus Group Discussing (FGD) with operational empowerment assessment and data analysis using qualitative synthesis. The results showed that farmers had developed innovative renewable energy and sustainable management for organic farming. They were developing innovations to improve soil quality in agricultural areas (upstream), producing compost from farm waste and water hyacinths, such as agricultural waste decomposition accelerators. Subsequently, participatory management processes have been developed to increase productivity and care for organic vegetable and rice plantations (midstream) such as Solar Energy-Based Insect Pest Trap. Finally, product development and online marketing plan (downstream) in this process are innovative, including Multipurpose Solar Dryer and dry rice vermicelli machine. In this regard, participatory performance strengthens the member group and increases the income of the community enterprise group. There are four innovations created in the community. There is also a gathering of youth to develop the craftsmanship of 8 artisans who can create innovations in the community for future sales.

**Keywords:** Organic farming, Participate action, Innovation, Renewable energy, Sustainability

### บทคัดย่อ

การพัฒนานวัตกรรมด้านพลังงานทดแทนเพื่อใช้ในภาคการเกษตรเป็นแนวทางที่จะช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของเกษตรกรให้ดียิ่งขึ้น งานวิจัยนี้เป็นการทำงานด้านการพัฒนาเชิงพื้นที่แบบมีส่วนร่วม (Participate Action Research) กับเกษตรกรวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมเกษตรอินทรีย์อำเภออุทองในจังหวัดสุพรรณบุรี การดำเนินงานที่ให้ความสำคัญในการพัฒนางานวิจัยและนวัตกรรมเพื่อตอบสนองต่อการแก้ไขปัญหาของท้องถิ่น และการสร้างต้นแบบนวัตกรรมที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาคุณภาพชีวิตและความเข้มแข็งของท้องถิ่น โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนในภาคการเกษตรแบบครบวงจรตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำเพื่อส่งเสริมการทำเกษตรอินทรีย์แบบยั่งยืน ซึ่งเป็นการดำเนินงานกับกลุ่มเป้าหมายแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เกษตรกรดำเนินงานในระบบเกษตรอินทรีย์ด้วยระบบการรับรองแบบมีส่วนร่วม (Participatory Guarantee Systems) จำนวน 13 ครัวเรือน ผ่านการจัดประชุมแบบระดมสมอง (Brainstorming) และการประชุมกลุ่ม (Focus Group Discussing) ที่มีการติดตามประเมินผลของการดำเนินงานและวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การสังเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Synthesis) จากการดำเนินงานพบว่าเกษตรกรมีการพัฒนานวัตกรรมพลังงานทดแทนและการจัดการอย่างยั่งยืนสำหรับการทำเกษตรอินทรีย์ การพัฒนานวัตกรรมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพดินในพื้นที่เพาะปลูก (ต้นน้ำ) จัดทำปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและผักตบชวา ได้แก่ เครื่องเร่งการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จากนั้นเกิดการพัฒนาระบบการจัดการแบบมีส่วนร่วมเพื่อเพิ่มผลผลิตและการดูแลสวนผักและข้าวอินทรีย์ (กลางน้ำ) ได้แก่ มีการทดลองผลิตเครื่องดักจับแมลงพลังงานแสงอาทิตย์ สุดท้ายมีการยกระดับการพัฒนาผลิตภัณฑ์และมีการวางแผนเพื่อสร้างการตลาดในรูปแบบออนไลน์ (ปลายน้ำ) ซึ่งในส่วนนี้มีการพัฒนานวัตกรรม ได้แก่ ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อเนกประสงค์และเครื่องทำขนมจีนเส้นแห้ง ทั้งนี้ผลการดำเนินงานแบบมีส่วนร่วมทำให้เกิดความเข้มแข็งในกลุ่ม

สมาชิกและสร้างรายได้เพิ่มขึ้นของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน เกิดนวัตกรรมชุมชนจำนวน 4 ชิ้นงาน และปัจจุบันเกิดการรวมกลุ่มของเยาวชนในพื้นที่จำนวน 8 คน สำหรับการพัฒนาฝีมือด้านช่างสามารถสร้างนวัตกรรมชุมชนเพื่อจัดจำหน่ายและต่อยอดในอนาคตต่อไป

**คำสำคัญ:** เกษตรอินทรีย์ การทำงานแบบมีส่วนร่วม นวัตกรรม พลังงานทดแทน ความยั่งยืน

## บทนำ

จากการลงพื้นที่ของทีมวิจัยในการทำงานด้านการพัฒนาเชิงพื้นที่แบบมีส่วนร่วม (Participate Action Research) กับเกษตรกรวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมเกษตรอินทรีย์ อำเภอบึงสามพัน จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนเริ่มทำเกษตรอินทรีย์เพราะต้องการปลดหนี้ของเกษตรกรโดยอาศัยการทำเกษตรแบบลดต้นทุน ต่อมาสมาชิกเริ่มเข้ามาสมัครด้วยความสนใจทำนาข้าวและผักอินทรีย์เนื่องจากปัญหาด้านสุขภาพของคนในครอบครัว โดยยึดหลักการทำนาอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม หรือที่เรียกว่าระบบประกันคุณภาพในระดับท้องถิ่น (Participatory Guarantee Systems: PGS) แต่ก่อนที่จะเริ่มทำนาอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมเกษตรกรได้กู้ยืมเงินลงทุนจากสหกรณ์ แต่ภายหลังจากได้มีการลงมือทำนาอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมอย่างจริงจังทำให้หนี้สินที่กู้ยืมมานั้นค่อยๆ ลดลงและสามารถปลดหนี้สินได้ ซึ่งลักษณะการทำนาอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมโดยยึดหลักการลดรายจ่ายและสามารถเพาะเมล็ดพันธุ์เองได้เพื่อลดต้นทุน ในกลุ่มสมาชิกทั้งหมด 13 ครอบครัว มีพื้นที่ทำนาอินทรีย์ที่เข้าร่วมมากกว่า 80 ไร่ ทำการปลูกข้าวหอมมะลิแดงตามฤดูทำนา (นาปี) และปลูกข้าวหอมมะลิสำหรับการทำนาในฤดูแล้งนอกฤดู (นาปรัง) ด้วยปริมาณพื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดจึงไม่มีการขุดสระกักเก็บน้ำในพื้นที่ ส่วนใหญ่จะใช้น้ำจากคลองชลประทานในการทำนาข้าวแต่ก็มีปัญหาเรื่องการขาดแคลนน้ำสำหรับทำนาในช่วงหน้าแล้ง ในการทำนาอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมมีการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 100% โดยมีการซื้อปุ๋ยอินทรีย์มาใช้ในราคา 180 บาทต่อ 50 กิโลกรัม และมีการเตรียมน้ำหมักจุลินทรีย์ชีวภาพใช้เอง ทั้งนี้ใช้น้ำหมักจุลินทรีย์ที่ใช้ผลิตมาจากหมักกล้วยและดินป่า ราคาต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 30 บาทต่อลิตร ใช้ในการเร่งการเจริญเติบโตและการออกรวงที่สมบูรณ์ในนาข้าว 5 ลิตรต่อไร่ การทำนาอินทรีย์สิ่งสำคัญคือเมล็ดพันธุ์และการเตรียมดิน เกษตรกรเลือกที่จะเก็บเมล็ดพันธุ์เองและมีการซื้อขายแลกเปลี่ยนภายในกลุ่ม ในราคา 200 บาทต่อถังข้าวเปลือก (เมล็ดข้าวเปลือก 10 กิโลกรัม) และขั้นตอนการเตรียมดินมีการไถแปร พรุนดิน และบ่นดิน เมื่อมีการหว่านข้าวในนาข้าวแล้วมีการขังน้ำไว้เป็นเวลา 1 เดือน การขังน้ำในช่วงแรกจะช่วยให้การคลุมวัชพืชได้ จากนั้นก็จะมีการให้น้ำในทุกๆ 15 วัน เมื่อข้าวเริ่มงอกจะมีการให้ปุ๋ยหมักที่ได้เตรียมไว้ ทั้งนี้ใช้วิธีการสังเกตสีใบข้าว หากมีสีเหลืองเกษตรกรก็จะใส่ปุ๋ยหมักลงไป ในนาข้าว ทั้งนี้เกษตรกรนิยมปลูกข้าว 4 ชนิด ได้แก่ หอมปทุม หอมมะลิแดง หอมมะลิ 105 และหอมนิลต้นเขียว โดยใช้ข้าวเปลือกหว่าน 15-20 กิโลกรัมต่อไร่ โดยคิดต้นทุนการผลิตแยกได้เป็นค่าเมล็ดพันธุ์จำนวน 400 บาทต่อไร่ ค่าเตรียมดิน 300 บาทต่อไร่ ค่าปุ๋ย 200 บาทต่อไร่ ค่าเก็บเกี่ยว 500 บาทต่อไร่ และค่าขนเมล็ดพันธุ์ไปตาก 650 บาทต่อไร่ ผลผลิตข้าวอินทรีย์ของเกษตรกรได้ผ่านระบบการรับรองแบบมีส่วนร่วม Participatory Guarantee Systems (PGS) มีการสีและบรรจุข้าวสารโดยผลิตและจัดจำหน่ายในชุมชน กลุ่มเกษตรอินทรีย์ โรงพยาบาลอุ้มถ้อง

นอกจากนี้การทำงานร่วมกับเกษตรกรในพื้นที่ทำให้พบว่าเกษตรกรประสบปัญหาและมีความต้องการด้านการพัฒนา นวัตกรรมของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมเกษตรอินทรีย์ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 ประเด็นหลัก ดังนี้

ประเด็นที่ 1 การเตรียมพื้นที่หรือคุณภาพดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกและมีความต้องการกำจัดศัตรูพืชในนาข้าว และแปลงผัก ซึ่งปัจจุบันชาวบ้านประสบปัญหาตัวกระรอกมาทำลายพืชผล หนัคกระโดด หอยทาก เพลี้ย เข้ามารบกวนแปลงนาข้าวและผัก ชาวบ้านต้องการนำองค์ความรู้ไปแก้ปัญหาศัตรูพืชรบกวนผลผลิต ทางชุมชนมีแนวความคิดที่จะประยุกต์ใช้

เทคโนโลยีพลังงานทดแทนด้วยการออกแบบและสร้างเครื่องดักแมลงด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy-Based Insect Pest Trap) ที่มีความเหมาะสมกับบริบทชุมชนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชแบบเกษตรอินทรีย์ได้ และในพื้นที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่จะมีคลองน้ำสาธารณะสำหรับใช้ประโยชน์ของส่วนรวม ซึ่งในคลองสาธารณะเต็มไปด้วยผักตบชวาและแหนแดงจำนวนมากจึงมีความคิดที่จะนำผักตบชวาและแหนแดงมาทำปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกอง [1] โดยผสมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอื่นๆ เช่น ฟางข้าว ผักบุงในนาข้าว ใบไม้ ต้นกล้วย เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 1 ทั้งนี้เพื่อให้ได้ปุ๋ยหมักที่ได้มาตรฐานและลดระยะเวลาในการหมักรวมถึงการกักเก็บน้ำปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการหมักปุ๋ยมาใช้ประโยชน์ด้วย ซึ่งได้เกิดแนวความคิดในการออกแบบเครื่องเร่งการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural Waste Degradation Accelerator) ในการผลิตปุ๋ยหมักอินทรีย์เพื่อเตรียมดินพร้อมปลูกคุณภาพให้สำหรับสมาชิกในกลุ่มและจัดจำหน่าย



ภาพที่ 1 เกษตรกรร่วมกันนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาทำปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกองในวงตาข่าย

ประเด็นที่ 2 กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ชุมชนเพื่อเพิ่มมูลค่า พบว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนขาดเครื่องมือทำขนมเงินเส้นแห้งที่สามารถทำจากข้าวแข็ง มีกลุ่มลูกค้าเป้าหมายที่ต้องการผลิตภัณฑ์และมีตลาดรองรับ ซึ่งราคาเครื่องทำขนมเงินเส้นแห้งมีราคาที่สูงมาก จึงมีแนวคิดสำหรับการออกแบบและสร้างเครื่องทำขนมเงินเส้นแห้งขึ้น และทั้งนี้เพื่อเป็นการพัฒนาแบบครบวงจรจึงริเริ่มที่จะนำเทคโนโลยีตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ “รุ่นหลังเต่า” [2] มาทำงานร่วมด้วย ซึ่งเป็นวิธีการอบแห้งด้วย

พลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตภัณฑ์ชุมชนที่จะนำมาอบแห้งได้แก่ เส้นขนมจีน ผลผลิตทางการเกษตร และสมุนไพรชุมชน เป็นต้น นอกจากนี้ทางที่นักวิจัยสามารถที่จะหาตลาดรองรับขนมจีนเส้นสด คือ ร้านอาหารจำหน่าย 10 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ ออกบูทจำหน่ายผลิตภัณฑ์ตามโครงการของภาครัฐ จำหน่าย 10-25 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ ราคาขายกิโลกรัมละ 40 บาท และตลาดจำหน่ายขนมจีนเส้นแห้ง ได้แก่ ต่างประเทศ ร้านป็นสุข ร้านออร์แกนิก 3-4 แห่งในกรุงเทพมหานคร เปรียบเทียบการจำหน่ายข้าวแห้งกับขนมจีนเส้นแห้ง ข้าวแห้งอินทรีย์จำหน่าย 9 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งการทำขนมจีนเส้นแห้ง มีมูลค่าเพิ่มมากกว่าข้าวแห้งเท่าตัว ทำให้ชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้นและควรเน้นการประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ขนมจีนเส้นแห้งอินทรีย์ราคาขายกิโลกรัมละ 40 บาท ซึ่งเก็บรักษาได้นานถึง 1 ปี นอกจากนี้จัดทำแผนธุรกิจขนมจีนเส้นแห้งแบบมีส่วนร่วมเกี่ยวกับต้นทุน วัตถุดิบ และค่าแรง เป็นต้น

การทำงานแบบมีส่วนร่วมเน้นกระบวนการจัดการตามแนวคิดของกระบวนการขับเคลื่อนและพัฒนาพื้นที่อย่างยั่งยืน [3-5] ดังแสดงในภาพที่ 2 ที่พบว่าเกษตรกรวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมเกษตรอินทรีย์ อำเภออุทอง ได้นำมาประยุกต์ใช้สร้างนวัตกรรมชุมชนที่สามารถตอบโจทย์แก้ไขปัญหาด้านการขาดเทคโนโลยีที่สามารถแปรรูปข้าวอินทรีย์ให้มีมูลค่าสูงขึ้นเพื่อเพิ่มตัวเลือกสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชนให้หลากหลาย แก้ไขปัญหาคุณภาพดินสำหรับเพาะปลูก และปัญหาแมลงศัตรูพืชได้ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่ากลุ่มจะเกิดการสร้างรายได้เพิ่มขึ้นหลายช่องทาง เช่น มีขนมจีนอินทรีย์เส้นแห้งขาย สามารถสร้างเครื่องดักแมลงด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จำหน่าย รวมถึงมีการวางแผนการจัดการชุมชนอย่างยั่งยืน

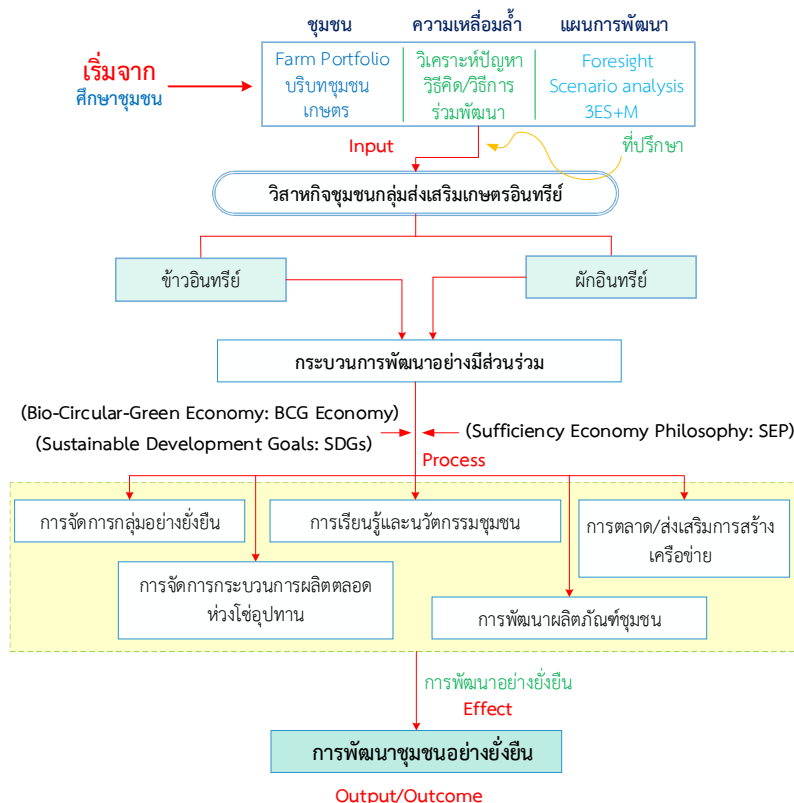


ภาพที่ 2 แนวคิดของกระบวนการขับเคลื่อนและพัฒนาพื้นที่อย่างยั่งยืน

## วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยพัฒนานวัตกรรมการพลังงานทดแทนและการจัดการอย่างยั่งยืนสำหรับเกษตรกรอินทรีย์ โดยการมีส่วนร่วมของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ อำเภออุ้มถ้อง จังหวัดสุพรรณบุรี มีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนสำหรับการทำเกษตรอินทรีย์ตลอดห่วงโซ่อุปทาน 2) พัฒนาศักยภาพกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ในการจัดการห่วงโซ่อุปทานอย่างยั่งยืนสำหรับการผลิตข้าวและผักอินทรีย์ด้วยกระบวนการมีส่วนร่วม ทีมวิจัยใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Methods Research) สำหรับการพัฒนาเชิงพื้นที่แบบมีส่วนร่วม (Participate Action Research) มีการดำเนินงานกับกลุ่มเป้าหมายแบบเจาะจง (Purposive Sampling) สำหรับเก็บข้อมูลเชิงลึก (In-depth Interview) และช่วงเวลาการพัฒนา (Development Timeline) ของกลุ่มเกษตรกรดำเนินงานในระบบเกษตรอินทรีย์ด้วยระบบการรับรองแบบมีส่วนร่วม (Participatory Guarantee Systems: PGSs) จำนวน 13 ครัวเรือน วางแผนภาพการพัฒนาในอนาคต (Foresight Tools) ผ่านการจัดประชุมแบบระดมสมอง (Brainstorming) การคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking) และการประชุมกลุ่ม (Focus Group Discussing) ที่มีการติดตามประเมินผลแบบเสริมพลังของการดำเนินงาน (Empowerment Evaluation) และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การสังเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Synthesis) ดังนั้นเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ทีมวิจัยจัดทำวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยการพัฒนานวัตกรรมการพลังงานทดแทนและการจัดการอย่างยั่งยืนสำหรับเกษตรกรอินทรีย์โดยการมีส่วนร่วมของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์ อำเภออุ้มถ้อง จังหวัดสุพรรณบุรี แสดงการพัฒนาวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมเกษตรกรอินทรีย์ที่พึ่งตนเองได้ดังแสดงในภาพที่ 3



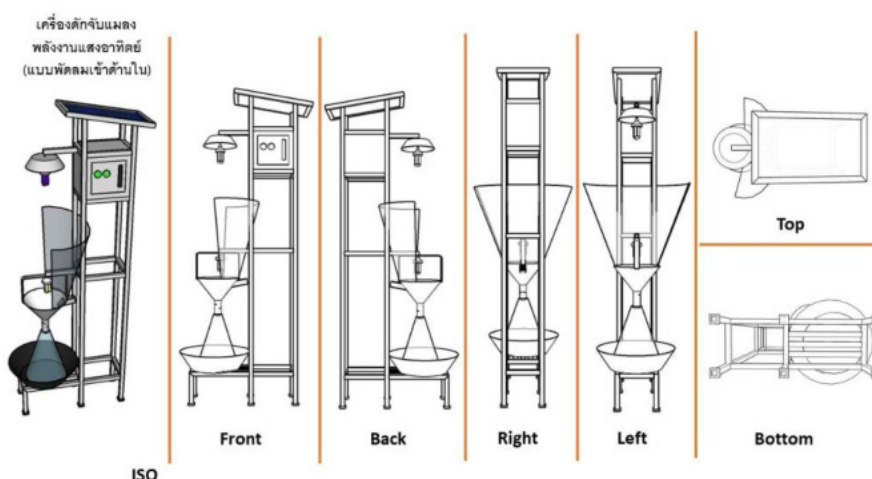
ภาพที่ 3 แผนการพัฒนาแบบมีส่วนร่วมของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมเกษตรกรอินทรีย์



## ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาขับเคลื่อนวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์มีกระบวนการขับเคลื่อนแบบมีส่วนร่วมในการประกอบอาชีพ ด้วยการผนึกกำลัง (Synergy) ในการขับเคลื่อนเกษตรกรอินทรีย์ให้ประสบความสำเร็จ โดยวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรอินทรีย์มีการกำหนดความขับเคลื่อนการดำเนินงานในระบบเกษตรกรอินทรีย์ด้วยระบบการรับรองแบบมีส่วนร่วม (Participatory Guarantee Systems :PGSs) ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมในการพัฒนาการผลิตและการจัดการฟาร์ม การรวบรวมและเพิ่มมูลค่า การบริหารจัดการการตลาด ทำให้เกิดการพัฒนาอาชีพเกษตรกรอย่างยั่งยืนและพึ่งตนเองได้ในมิติแผนการพัฒนาชุมชนอย่างยั่งยืน 3ES+M (Education, Economy, Environment, Social, and Mind) [4] มิติการศึกษา มิติด้านเศรษฐกิจ มิติสิ่งแวดล้อม มิติสังคม และมิติจิตใจ ซึ่งวิเคราะห์ความยั่งยืนและการพึ่งตนเองของกลุ่มเกษตรกรตามแนวทางของโมเดลเศรษฐกิจใหม่ (BCG Economy) สู่การพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) และมีการน้อมนำปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง (Sufficiency Economy Philosophy: SEP) ซึ่งมีแนวทางการพัฒนานวัตกรรมพลังงานทดแทนและการจัดการอย่างยั่งยืนสำหรับเกษตรกรอินทรีย์ ทั้งนี้ได้มีการพัฒนาตั้งแต่ต้นน้ำ-กลางน้ำ-ปลายน้ำ ด้วยนวัตกรรมและเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนเพื่อการพัฒนาชุมชนจำนวน 4 ชิ้นงาน ได้แก่ เครื่องดักจับแมลงพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy-Based Insect Pest Trap) เครื่องเร่งการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural Waste Degradation Accelerator) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ “รุ่นหลังเต่า” และเครื่องทำขนมจีนเส้นแห้ง (The dry rice vermicelli machine) เป็นต้น

การออกแบบพัฒนาเครื่องดักจับแมลงพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy-Based Insect Pest Trap) มีแนวความคิดที่จะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงานทดแทนออกแบบและสร้างเครื่องดักแมลงด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความเหมาะสมกับบริบทชุมชนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชแบบเกษตรกรอินทรีย์ได้ เครื่องดักจับแมลงศัตรูพืชด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้มีการออกแบบตามโจทย์ความต้องการของเกษตรกรที่ต้องการจะลดปริมาณแมลงศัตรูพืชในแปลงข้าวและผักอินทรีย์ แต่ไม่ยอมทำร้ายแมลงดีที่คอยช่วยเหลือในแปลงเกษตร โดยต้องใช้วิธีที่ปลอดภัย 100% จึงเป็นโจทย์สำคัญที่ทำให้เกิดการสร้างเครื่องดักจับแมลงพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้น ทั้งนี้ได้มีการออกแบบเครื่องดักจับแมลงพลังงานแสงอาทิตย์ดังแสดงในภาพที่ 4 ที่มีขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร และมีความสูง 200 เซนติเมตร ประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ โซลาร์ชาร์จคอนโทรลเลอร์ โทมเมอร์ หลอดไฟแบล็คไลต์ แบตเตอรี่ และส่วนฐานที่ล้อแมลง โดยเกษตรกรได้นำไปใช้งานดังแสดงในภาพที่ 5 จากการทดลองใช้จริง เกษตรกรมีความพึงพอใจในการทำงานของเครื่องดักจับแมลงศัตรูพืชด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก



ภาพที่ 4 มุมภาพของการออกแบบเครื่องดักจับแมลงพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy-Based Insect Pest Trap)



ภาพที่ 5 การติดตั้งและใช้งานเครื่องดักจับแมลงพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่

การออกแบบพัฒนาเครื่องเร่งการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural Waste Degradation Accelerator) เพื่อผลิตปุ๋ยหมักอินทรีย์และเปลี่ยนสภาพต่อยอดพัฒนาเป็นดินพร้อมปลูกคุณภาพสูง โดยอาศัยหลักการทำปุ๋ยหมักแบบไม่กลับกอง” สูตรวิศวกรรมแม่โจ้ โดยใช้วัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น ใบไม้ ผักตบชวา หญ้าตามคันนา ผักบุง ใบไม้ และมีการเติมมูลสัตว์ เช่น ขี้วัว ขี้หมู ขี้ไก่ ตามกำลังที่เกษตรกรจะหาได้ เกษตรกรมีความหวังจะได้ดินพร้อมปลูกคุณภาพสูงซึ่งมีปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารครบถ้วน และน้ำหมักจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ซึ่งเครื่องเร่งการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3.00 เมตร และมีการวางระบบท่อ PVC เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 4 นิ้ว สำหรับเติมน้ำและอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 6 ทั้งนี้ ใช้ระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักอยู่ที่ 45-60 วันต่อรอบ



ภาพที่ 6 เครื่องเร่งการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural Waste Degradation Accelerator)

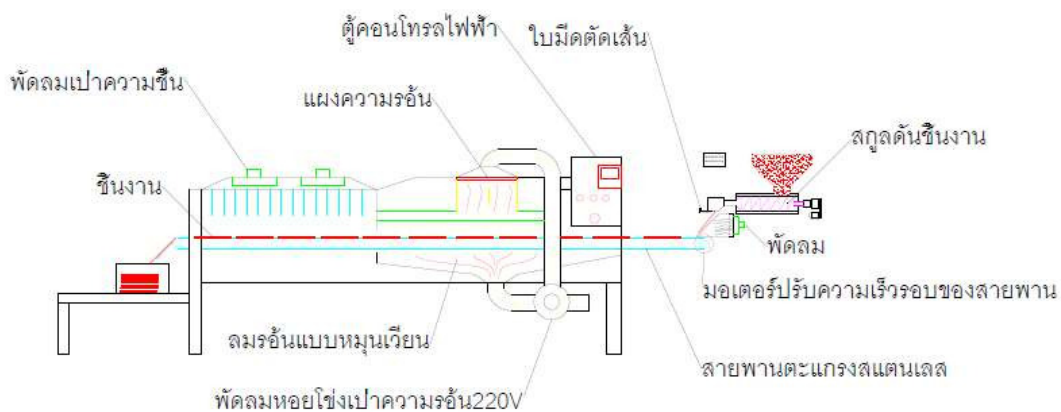
การออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยีตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ “รุ่นหลังเต่า” (Multipurpose Solar Dryer) เป็นเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่นำพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม ไม่เกิดผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกในปัจจุบัน ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งน้อย สามารถใช้

งานบนพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าได้ ต้นทุนในการผลิตไม่สูง ใช้งานง่าย และมีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการอบแห้ง วัสดุในการผลิตสามารถหาซื้อในประเทศได้ 100% และมีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี โดยได้มีการออกแบบหลายขนาดเพื่อให้เหมาะสมในการใช้งาน มีการนำผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้ไปตาก เช่น ปลา ขนมหุ้นเส้นแห้ง สมุนไพร และมีการจำหน่ายก่อให้เกิดการสร้างรายได้แก่ชุมชนอย่างยั่งยืน ทั้งนี้ชุมชนมีการออกแบบไว้ 2 รุ่น ซึ่งเป็นการออกแบบให้มีขนาด กว้าง 2.00 เมตร ยาว 0.80 เมตร และสูง 1.68 เมตร และอีกหนึ่งรุ่นมีขนาดกว้าง 1.00 เมตร ยาว 0.80 เมตร และสูง 1.68 เมตร เกษตรกรนำไปใช้งานจริงสำหรับการตากเส้นขนมหุ้น ผลผลิตทางการเกษตร และสมุนไพร ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 เทคโนโลยีตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ “รุ่นหลังเต่า” (Multipurpose Solar Dryer)

การออกแบบและพัฒนาเครื่องทำขนมหุ้นเส้นแห้ง (The dry rice vermicelli machine) ได้ถูกออกแบบเพื่อช่วยในกระบวนการทำขนมหุ้นที่แตกต่างออกไปจากที่มีทั่วไปตามท้องตลาด คือ กระบวนการบีบเส้นที่ใช้ระบบสกรูในการอัดแป้งที่ขนาดแล้วออกมาเป็นเส้น จากนั้นจะถูกตัดตามขนาดความยาวเส้นที่ตั้งค่าไว้ และเส้นขนมหุ้นจะเคลื่อนที่เข้าห้องอบลมร้อนด้วยระบบสายพาน และในห้องอบลมร้อนจะมีพัดลมดูดความชื้นออกด้วย เมื่อครบกระบวนการทำงานของระบบก็จะได้ขนมหุ้นเส้นแห้งตามที่ชุมชนต้องการ ทั้งนี้มีระบบการทำงานดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งเป็นการออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องทำขนมหุ้นเส้นแห้งสำหรับผลิตขนมหุ้นเส้นแห้งอินทรีย์จำหน่ายก่อให้เกิดการสร้างรายได้ของสมาชิกเพิ่มขึ้น ทำระบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้ระบบสกรูในการอัดแป้งออกเป็นเส้น มีกำลังผลิตสูงสุดถึง 80 กิโลกรัมเส้นเปียกต่อชั่วโมง



ภาพที่ 8 ระบบการทำงานของเครื่องทำขนมหุ้นเส้นแห้ง (The dry rice vermicelli machine)

## สรุปผลการวิจัย

การออกแบบและพัฒนานวัตกรรมพลังงานทดแทนและการจัดการอย่างยั่งยืนสำหรับเกษตรกรอินทรีย์ ของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมเกษตรกรอินทรีย์ อำเภอบัวทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ดำเนินการพัฒนาเชิงพื้นที่ร่วมกับเกษตรกรเริ่มต้นจำนวน 13 ครัวเรือน ซึ่งเป็นการทำเกษตรอินทรีย์ด้วยระบบการรับรองแบบมีส่วนร่วม (Participatory Guarantee Systems :PGSs) ได้มีการออกแบบและพัฒนานวัตกรรมสำหรับการทำเกษตรอินทรีย์แบบครบวงจร ได้แก่ (1) เครื่องดักจับแมลงพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy-Based Insect Pest Trap) (2) เครื่องเร่งการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural Waste Degradation Accelerator) (3) ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ “รุ่นหลังเต่า” และ (4) เครื่องทำขนมจีนเส้นแห้ง (The dry rice vermicelli machine) ตลอดการดำเนินงานด้านการพัฒนาเชิงพื้นที่แบบมีส่วนร่วม (Participate Action Research) เกิดการสร้างช่างเย็บเย็บขึ้นจำนวน 8 คน และมีจำนวนเกษตรกรสมัครเข้าร่วมกลุ่มเพิ่มขึ้นจำนวน 3 ครัวเรือน ซึ่งในปัจจุบันชุมชนมีเครื่องดักจับแมลงพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 13 ชุด สำหรับใช้งานในแปลงนาข้าวและผักอินทรีย์ มีเครื่องเร่งการย่อยสลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวน 6 ชุด ที่มีการผลิตปุ๋ยหมักสำหรับใช้เองและจัดจำหน่าย ชุมชนได้มีการผลิตตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ “รุ่นหลังเต่า” มากกว่า 7 ชุด สำหรับใช้งานในชุมชนและจัดจำหน่ายให้กับวิสาหกิจชุมชนอื่นที่สนใจ และออกแบบผลิตเครื่องทำขนมจีนเส้นแห้งใช้งานในชุมชน ทั้งนี้ ได้มีการต่อยอดทำขนมจีนสมุนไพรอินทรีย์เส้นแห้ง ซึ่งนับว่าเป็นอีกหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในชุมชนและได้รับความนิยมมากในท้องตลาด การนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนมาใช้ในชุมชนเน้นการทำงานแบบมีส่วนร่วมการสร้างเครือข่ายและร่วมกันสร้างภาพอนาคตชุมชนเพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนในอนาคต [6-7] ผลจากการที่นำนวัตกรรมไปถ่ายทอดใช้ในพื้นที่/กลุ่มเป้าหมายสามารถช่วยแก้ไขปัญหาและสามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรมากขึ้น ซึ่งสร้างความพึงพอใจให้กับเกษตรกรในชุมชนเป็นอย่างมาก

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยด้านพัฒนาเชิงพื้นที่ระหว่างทีมวิจัยและชุมชนนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้ชื่อโครงการการจัดการห่วงโซ่อุปทานการผลิตข้าวและผักอินทรีย์โดยการมีส่วนร่วมของวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมเกษตรกรอินทรีย์ อำเภอบัวทอง จังหวัดสุพรรณบุรี สัญญาเลขที่ SFCC-02/2563 และการสนับสนุนจากสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) โครงการพัฒนานวัตกรรมเพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิตและยกระดับเศรษฐกิจฐานรากภายใต้โครงการหน่วยขับเคลื่อนนวัตกรรมเพื่อสังคม ประจำปีพื้นที่ภาคกลาง ปีงบประมาณ 2564 รหัสโครงการ SIDC-64-18 ขอขอบคุณทีมเกษตรกรวิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมเกษตรกรอินทรีย์ อำเภอบัวทอง ทุกๆ ท่านที่ทุ่มเทแรงกายและแรงใจร่วมกันทำงาน และขอขอบพระคุณการสนับสนุนการทำงานรับใช้สังคมในนามอาจารย์นักพัฒนาของคณะผู้บริหารมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์เป็นอย่างสูง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ชีรพงษ์ สว่างปัญญางกูร, (2561) “การทำปุ๋ยหมักอย่างง่ายไม่พลิกกลับกองสูตรจรรย์ลุง เหมาะสำหรับคนในเมืองและเกษตรกรตัวจริง”, สถานที่พิมพ์: วนิดาการพิมพ์, หน้า 1-144.
- [2] ปิยะพงษ์ ยงเพชร. (2560) “ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ “รุ่นหลังเต่า”, ทีมปฏิบัติการต้นกล้าพลังงานทดแทน (ลูกแม่เดียว) วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

- [3] ปิยะพงษ์ ยงเพชร และ ณัฐวดี ดุษฎี, (2563). การมีส่วนร่วมระหว่างมหาวิทยาลัยกับชุมชนผ่านกระบวนการขับเคลื่อนและพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืน, ใน การประชุมเครือข่ายมหาวิทยาลัยยั่งยืนแห่งประเทศไทย ประจำปี 2563, วันที่ 3-4 ธันวาคม 2563 ณ อาคารวิจัยพัฒนาและนวัตกรรมกระบวนการชีวภาพ (BRI) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (บางขุนเทียน) จังหวัดกรุงเทพมหานคร
- [4] Yongphet, P., Kwamkhunkoei, J., Pakvilai, N., Nakpibal, P., Yuduang, N., Phunphon, T., (2021). Foresight for Sustainable Management of a Model Community in Renewable Energy Through Participatory Work Processes Between the University and the Community. **The 7th International (Virtual) Workshop on UI GreenMetric World University Rankings (IWGM 2021)**, University Putra Malaysia, 24-26 August, 2021.
- [5] Yongphet, P., Wang, D., Maouche, C., Bahizire, G.M., Ondokmai, P., Dutsadeesong, W., 2016. Guidelines for the Sustainability of Community Energy Management under the Sufficiency Economy Philosophy. **RMUTL Journal Socially of Engaged Scholarship**, Volume 2, pp. 33-48.
- [6] มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2564). **โครงการเสริมสร้างสมรรถนะภาคีเครือข่ายการวางแผนพัฒนาเชิงพื้นที่ระดับตำบล**. [พิมพ์ครั้งที่ 1]. กรุงเทพฯ: บริษัท พี.เอส. กรุ๊ป (1954) จำกัด (สำนักงานใหญ่).
- [7] มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2564). **คู่มือการพัฒนาเชิงพื้นที่ผ่านกระบวนการการมองภาพอนาคตชุมชนอย่างยั่งยืน**. [พิมพ์ครั้งที่ 1]. กรุงเทพฯ: บริษัท พี.เอส. กรุ๊ป (1954) จำกัด (สำนักงานใหญ่).

การศึกษาศรรณและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้า  
พื้นฐานสำหรับฟาร์มเพาะพันธุ์ปลา

The Performance and Economics Study by using Solar Photovoltaic System Together  
with Conventional Electricity for Fish Breeding Farm

สุลักษณ์ มงคล<sup>1</sup> อัครินทร์ อินทนิเวศน์<sup>1</sup> ชวโรจน์ ใจสิน<sup>1</sup> ธงชัย มณีชูเกต<sup>1</sup> ธีฎลักษณ์ สันเดช<sup>1</sup> ภาณุวิษณุ พุทธิรักษา<sup>1</sup>  
ธนวัฒน์ นิลขาว<sup>1</sup> และสรารุช พลวงษ์ศรี<sup>1\*</sup>

Sulaksana Mongkon<sup>1</sup> Akarin Intaniwet<sup>1</sup> Chawaroj Jaisin<sup>1</sup> Thongchai Maneechukate<sup>1</sup>  
Thunyalucl Sandach<sup>1</sup> Panuwit Puttaraksa<sup>1</sup> Thanawat Nikhoa<sup>1</sup> and Sarawut Polvongsri<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>หน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

<sup>1</sup>Smart Energy and Environmental Research Unit, School of Renewable Energy, Maejo University,  
Chiang Mai 50290

\*Corresponding author: Tel.: 090 330 2479. E-mail address: sarawut-energy@hotmail.com

Received: 10 July 2021, Revised: 21 June 2022, Accepted: 14 July 2022, Published online: 30 August 2022

### Abstract

This research proposes to study the performance and economics evaluation of solar photovoltaic systems (Solar PV) together with conventional electricity for fish breeding farm. The system design was found to use four-panel of 450 W<sub>p</sub> mono-crystalline silicon solar cell half-cell type which used to supply electricity to an aerator with a power of 1.2 kW. The results found that the solar PV could produce electricity equal to 8.30 kWh/day or equal to 63% of the electricity that was used in the aeration system, and the performance ratio (PR) was equal to 94%. For evaluation of annual electricity production, it was found that this solar PV system could produce electricity equal to 1,872.50 kWh/year, representing a saving electricity cost of 7,864.50 Baht/year and the solar PV investment was 54,500 Baht as a results the payback period, the net present value (NPV), and internal rate of return (IRR) were 6.93 years, 33,391.10 Baht, and 12.52%, respectively.

**Keywords:** Aerator, Solar photovoltaic system, Performance ration, Fish breeding farm, Economics

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาศรรณและประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐานในฟาร์มเพาะพันธุ์ปลา จากการออกแบบพบว่า ต้องใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono-crystalline silicon solar cell แบบ half cell ขนาด 450 W<sub>p</sub> จำนวน 4 แผง เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องเติมอากาศที่มีกำลังไฟฟ้า 1.2 kW ผลการศึกษาพบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิต

พลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 8.30 kWh/day หรือคิดเป็น 63% ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเดิมอากาศ และมีค่าสมรรถนะระบบ (Performance Ratio: PR) เท่ากับ 94% เมื่อประเมินผลผลิตพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปีพบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าที่ติดตั้งนี้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1,872.50 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ 7,864.50 บาท/ปี โดยมีเงินลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 54,500 บาท ทำให้ระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 6.93 ปี 33,391.10 บาท เท่ากับ 12.52% ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** เครื่องเติมอากาศ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สมรรถนะของระบบ ฟาร์มเพาะพันธุ์ปลา, เศรษฐศาสตร์

## บทนำ

ปลานิลเป็นสัตว์น้ำอีกประเภทที่มีคุณค่าทางด้านอาหารและมีความสำคัญกับทางด้านเศรษฐกิจของประเทศไทย ในการเลี้ยงจะใช้เวลาเลี้ยงประมาณรอบละ 3-4 เดือนแล้วแต่ขนาดของปลาที่เป็นความต้องการของตลาด โดยปกติมีการเลี้ยงในกระชุง บ่อดิน บ่อธรรมชาติ รวมทั้งการเลี้ยงในบ่อปลา ซึ่งจะมีวิธีการเลี้ยงที่แตกต่างกันออกไปเพื่อให้อัตราการรอดและการเจริญเติบโตของปลาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยอัตราการรอดของปลาที่เลี้ยงมีปัจจัยหลายปัจจัย หนึ่งในนั้นคือคุณภาพและความแข็งแรงของพันธุ์ปลาที่นำมาเลี้ยง ซึ่งต้องแข็งแรง ทนต่อโรค ดังนั้นการเลี้ยงพันธุ์ปลาเพื่อขายจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญและเอาใจใส่ โดยเฉพาะปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ต้องเพียงพอต่อความต้องการของลูกปลา ไม่เช่นนั้นถ้าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำต่ำมากจะส่งผลทำให้ลูกพันธุ์ปลาไม่สมบูรณ์แข็งแรง และอาจทำตายได้ ในปัจจุบันเกษตรกรเลี้ยงปลาจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องเติมอากาศควบคุมปริมาณ DO ให้เป็นไปตามที่ปลาต้องการ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งพื้นฐานทำให้ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ต้นทุนด้านการผลิตเพิ่มขึ้น จากปัญหาดังกล่าวได้มีหลายๆ งานวิจัยได้นำระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับเครื่องเติมอากาศในการเติมอากาศ ดังเช่น ทินกร และคณะ [1], สราวุธ และคณะ [2], อัครินทร์ และคณะ[3] และ เสฏฐวุฒิ และอัครินทร์ [4] ได้เลือกใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar PV) เพื่อลดค่าใช้จ่ายจากไฟฟ้าพื้นฐานของเกษตรกรผู้เลี้ยงปลา โดยส่วนใหญ่จะเป็นการประยุกต์ใช้ในบ่อเลี้ยงปลาจากนิตเพื่อขายต่อไปบริโภค แต่ยังไม่ค่อยมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ในบ่อเพาะพันธุ์ปลาซึ่งลักษณะการเติมอากาศมักจะใช้เครื่องเติมอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่ศึกษาการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้าเพื่อจ่ายร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐานจากการไฟฟ้าให้กับเครื่องเติมอากาศในช่วงเวลากลางวันเพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายในการซื้อใช้ไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานหรือจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และทำการวิเคราะห์สมรรถนะและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐานดังกล่าว เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

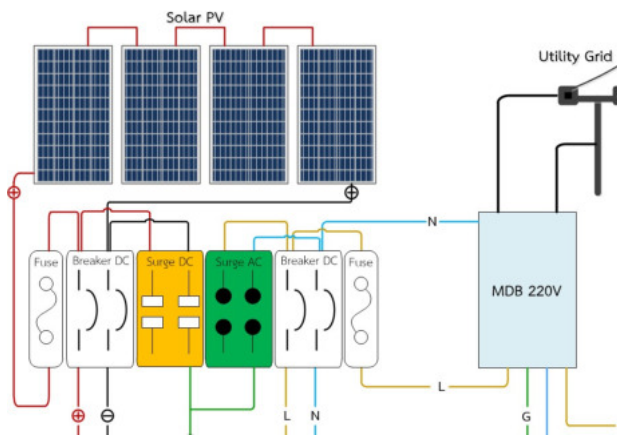
## วิธีการวิจัย

ในการวิจัยจะดำเนินงาน ณ บ่อเลี้ยงปลากุฎีพันธุ์ปลา อ.หางดง จ.เชียงใหม่ ซึ่งเกษตรกรมีการเลี้ยงปลาเพื่อจำหน่ายพันธุ์ปลาจำนวน 9 บ่อเล็ก แต่ละบ่อมีขนาด กว้าง 2.1 m ยาว 9 m ปลาที่เลี้ยงได้แก่ ปลาทาบิม ปลานิล ปลาบึก ปลาสลิด ปลาจาระเม็ด ปลาช่อน และปลาดุก มีการเติมอากาศโดยใช้โบลเวอร์ขนาด 380 W จำนวน 1 ตัว เครื่องเติมอากาศแอร์บีมสำหรับหัวทรายเติมอากาศ ขนาด 200 W จำนวน 1 ตัว ขนาด 350 W จำนวน 1 ตัว และบีมน้ำแบบจุ่มขนาด 100 W จำนวน 2 ตัว เปิดใช้งานเครื่องเติมอากาศ 24 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บ่อเลี้ยงปลาของภูฟ้าพันธุ์ปลา

สำหรับการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มจากการสำรวจข้อมูลการใช้งานและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมอากาศ และออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานซึ่งเป็นระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ผ่าน On Grid Inverter แปลงเป็นกระแสไฟฟ้าสลับจะแปลงเป็นไฟฟ้า 220 VAC 1 เฟส ที่ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าหรือตู้ควบคุมไฟฟ้า (MDB) โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังไฟฟ้า 450 W ต่อแผง ชนิด Monocrystalline silicon solar cell แบบ Half cell จำนวน 4 แผง ใช้กับอินเวอร์เตอร์ขนาด 2,200 W คิดเป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุด 1,800 W ดังรูปแบบการทำงานในภาพที่ 2 และรายละเอียดของอุปกรณ์ ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน

ตารางที่ 1 รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน

Item	Specification
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	ชนิด Mono half cell จำนวน 4 panels Model TR 60M Mono half cell $P_{max}$ 315 , $V_{mpp}$ 33.1 , $I_{mpp}$ 9.53 Efficiency 18.67%
Inverter	ขนาด 2,000 W, 500 Volt Efficiency 97.5%



เนื่องจากพื้นที่รอบๆบ่อเลี้ยงปลาไม่มีพื้นที่จำกัด จึงทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้บนหลังคาของโครงสร้างของบ่อเพาะเลี้ยงปลา ติดตั้งมุมเอียง  $18^\circ$  หันหน้าไปทางทิศใต้ โดยเชื่อมต่อกับตู้ควบคุมและอินเวอร์เตอร์เพื่อใช้งานกับเครื่องเติมอากาศ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในระบบเติมอากาศของบ่อเลี้ยงปลา

ในการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน International Electro Technical Commission หรือ IEC61724 [5] ประกอบด้วยการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ต่อกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\eta_{PV} = \frac{P_{DC}}{GA} \times 100\% \quad (1)$$

โดยที่  $\eta_{PV}$  คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)  $P_{DC}$  คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบ PV (W)  
 $G$  คือ ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบ ( $W/m^2$ ) และ  $A$  คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์รวม ( $m^2$ )

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังการติดตั้งสูงสุด ( $Y_a$ , kWh/kW<sub>p</sub>) เป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณการผลิตไฟฟ้ากระแสตรงต่อการติดตั้งระบบ 1 kW<sub>p</sub> ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$Y_a = \frac{E_{PV(DC)}}{P_o} \quad (2)$$

โดยที่  $E_{PV(DC)}$  คือ ผลรวมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน 1 วัน (kWh) และ  $P_o$  คือ ขนาดของระบบ PV ที่ติดตั้ง (kW<sub>p</sub>)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบต่อขนาดของระบบที่ติดตั้ง ( $Y_f$ , kWh/kW<sub>p</sub>) หรือผลผลิตสุดท้าย เป็นค่าที่บ่งบอกปริมาณการผลิตไฟฟ้ากระแสสลับต่อการติดตั้งระบบ 1 kW<sub>p</sub> ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$Y_f = \frac{E_{PV(AC)}}{P_o} \quad (3)$$

โดยที่  $E_{PV(AC)}$  คือ ผลรวมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้า (kWh)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังการติดตั้งสูงสุดทางทฤษฎี ( $Y_r$ , kWh/kW<sub>p</sub>) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}} \quad (4)$$

โดยที่  $H_i$  คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (kWh/m<sup>2</sup>) และ  $G_{STC}$  คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มาตรฐาน STC (1 kW/m<sup>2</sup>)

สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio หรือ PR) เป็นค่าที่บอกถึงคุณลักษณะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (5)$$

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ในการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์จะใช้ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PB) โดยคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$PB = \frac{\text{มูลค่าในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนรายปี}} \quad (6)$$

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value, NPV) คือ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} \quad (7)$$

โดยที่  $B_t$  คือ ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่  $t$ ,  $C_t$  คือ ต้นทุนของโครงการในปีที่  $t$ ,  $r$  คือ อัตราคิดลด (Discount Rate),  $n$  คือ อายุของโครงการ และ  $t$  คือ ปีของโครงการ

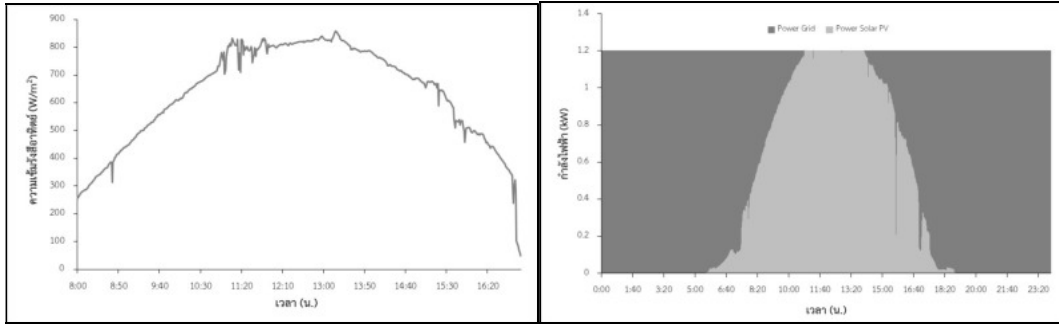
อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return, IRR) คือ อัตราผลตอบแทนการลงทุน หรืออัตราส่วนลด (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนทั้งหมดมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายทั้งหมด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8

$$IRR = \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (8)$$

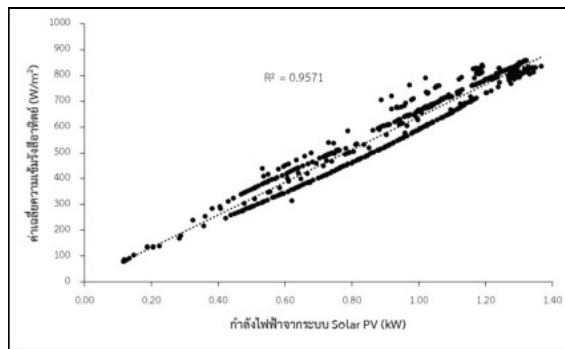
### ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐานหลังการติดตั้ง ได้ทำการเก็บข้อมูลในช่วงต้นเดือนมิถุนายน 2564 ซึ่งเป็นวันที่มีท้องฟ้าโปร่ง พบว่า มีความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุด 856.99 W/m<sup>2</sup> เฉลี่ย 518 W/m<sup>2</sup> ดังภาพที่ 4 (ก) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตรงกับความเข้มรังสีอาทิตย์ ซึ่งในวันที่เก็บข้อมูลพบว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้มีค่าเท่ากับ 1.20 kW ดังภาพที่ 4 (ข) ส่วนช่วงเวลากลางคืนไม่มีค่ารังสีอาทิตย์เครื่องเดิมอากาศก็จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานอย่างเดียว

ภาพที่ 4 (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบ Solar PV และค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเปิดระบบเดิมออกซิเจน จากภาพพบว่า ความสัมพันธ์ที่ได้มีการถดถอยเป็นเชิงเส้น ค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 0.9571 หมายความว่ากำลังไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ เมื่อพิจารณาในวันที่เก็บข้อมูลพบว่า กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากระบบ Solar PV จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.20 kW หรือคิดเป็น 55% ของกำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุด (2.2 kW) เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเฉลี่ยเท่ากับ 900 W/m<sup>2</sup>



(ก) ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์ในวันที่ทำการทดสอบ (ข) กำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน



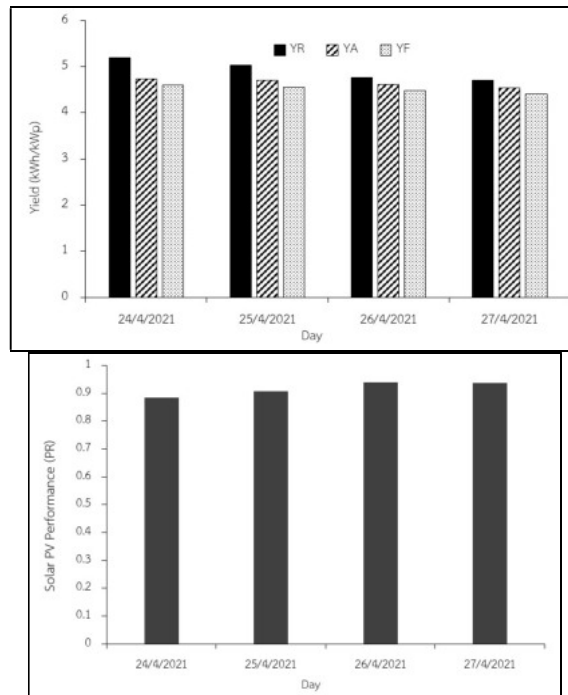
(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบ Solar PV และค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์

#### ภาพที่ 4 ผลการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

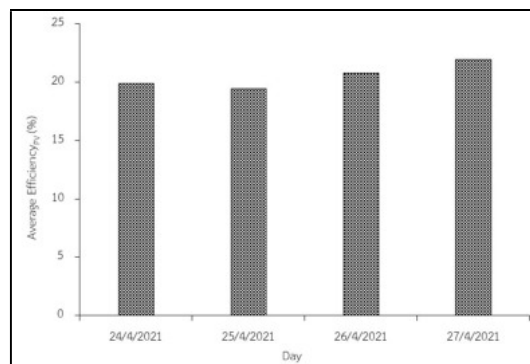
เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งภาพรวมของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ประกอบไปด้วย เครื่องเติมอากาศแบบโบลเวอร์ขนาด 380 W จำนวน 1 ตัว มอเตอร์หัวทราย ขนาด 200 W จำนวน 1 ตัว ขนาด 350 W และ ปั้มน้ำแบบจุ่มขนาด 100 W จำนวน 2 ตัว พบว่า การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้สำหรับเครื่องเติมอากาศมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวันมีค่าเท่ากับ 13.20 kWh โดยแยกเป็นใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 8.30 kWh/day หรือคิดเป็น 63% และใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานเท่ากับ 4.90 kWh/day หรือคิด 37% ในขณะที่มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันคิดเป็น 198.45 kWh/day ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้ระบบเติมอากาศทำงานได้มากกว่า 70-80% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในช่วงเวลากลางวัน ส่วนในช่วงกลางคืนจะใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าสายส่งพื้นฐานเพียงอย่างเดียว

ในส่วนการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์ พบว่ามีค่าผลผลิตตามทฤษฎี ( $Y_p$ ) ในแต่ละวันมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.70-5.20 kWh/kWp·day ซึ่งค่าผลผลิตประจำวันของอาร์เรย์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $Y_A$ ) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.53-4.73 kWh/kWp·day และเมื่อพิจารณาค่าผลผลิตสุดท้ายประจำวัน ( $Y_F$ ) มีค่าระหว่าง 4.0-4.59 kWh/kWp·day ดังแสดงในภาพที่ 5 (ก) และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยรายเดือนตลอดทั้งปีจะพบว่า ค่าผลผลิตที่ได้จากการจำลองนี้มีความสอดคล้องกับค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบ โดยในเดือนที่มีค่ารังสีอาทิตย์สูง ระบบผลิตจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้น สำหรับค่าสมรรถนะ (PR) ของระบบที่ติดตั้งมีค่าอยู่ประมาณ 94% ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานเท่ากับ 75% และมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ ปรัชพงศ์ นับถือตรง และ นลินี หมูหมื่นศรี [6] ที่มีค่าสมรรถนะของระบบ PR มีค่าเท่ากับ 88.07% แสดงดังภาพที่ 5 (ข)

ส่วนประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบมีค่าเท่ากับ 20.52% ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono half cell ที่จะสามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ดังแสดงในภาพที่ 5 (ค)



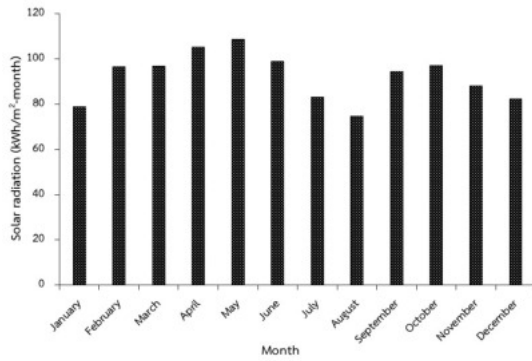
(ก) ค่าผลผลิตตามทฤษฎี (YR) ค่าผลผลิตของอาร์เรย์ (Ya) และค่าผลผลิตสุดท้าย (YF) เฉลี่ยในแต่ละวัน (ข) สมรรถนะของระบบ



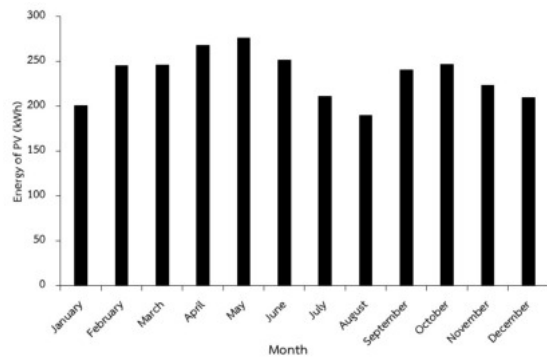
(ค) ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของระบบ Solar PV สำหรับการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

ภาพที่ 5 สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ ในการประเมินความคุ้มค่าของระบบ จำเป็นต้องมีการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี ดังนั้น จึงนำข้อมูลรังสีอาทิตย์ของประเทศไทย จากสถานีตรวจวัดศูนย์บริการวิชาการที่ 7 จังหวัดเชียงใหม่ [7] มาใช้ประกอบการคำนวณที่คิดเป็นค่ารังสีอาทิตย์เป็นรายเดือน ซึ่งพบว่า ตลอดทั้งปีจะมีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์เท่ากับ 92.1 kWh/m<sup>2</sup>-month และผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 276.0 kWh/เดือน หรือรวมตลอดทั้งปีเท่ากับ 2,808.8 kWh/ปี ดังแสดงในภาพที่ 6 (ก) และ (ข)



(ก) ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์รายเดือนของจังหวัดเชียงใหม่ ปี 2562



(ข) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือน

ภาพที่ 6 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี

เมื่อประเมินค่าใช้จ่ายของการลงทุนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กรณีการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าจากสายส่งพื้นฐาน พบว่า มีเงินลงทุนเบื้องต้นทั้งหมด 54,500 บาท โดยใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 2.2 kW และเปลี่ยนอินเวอร์เตอร์ทุกๆ 10 ปี เป็นเงิน 12,500 บาท สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้ 1,872.50 kWh/ปี คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้ 7,864.50 บาท/ปี เทียบเท่ากับปริมาณ CO<sub>2</sub> ที่ลดลงได้ 1,050.5 kg CO<sub>2</sub>/ปี มีระยะเวลาคืนทุน 6.93 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 33,391.1 บาท และมีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 12.52% ดังผลในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการลดการใช้พลังงานไฟฟ้ากรณีการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าจากสายส่งพื้นฐาน

วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์	ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
เงินลงทุน (บาท)	54,500
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	6.93
คิดเป็นผลประหยัด (บาท/ปี)	7,864.50
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ NPV (บาท)	33,391.10
อัตราผลตอบแทนภายใน IRR (%)	12.52

หมายเหตุ คิดอัตราดอกเบี้ย (MRR) เท่ากับ 6.22% (ที่มา: www.krungthai.com) [8]

### สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐานจากสายส่ง เพื่อใช้งานสำหรับเครื่องเติมอากาศ ขนาด 1.2 kW ที่มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง ระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 1.8 kW การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้สำหรับเครื่องเติมอากาศมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน 13.20 kWh โดยเป็นใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 8.30 kWh/day หรือคิดเป็น 63% และใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐาน 4.90 kWh/day หรือคิด 37% ในขณะที่มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันคิดเป็น 198.45 kWh/day ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ระบบเติมอากาศทำงานได้มากกว่า 70-80% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในช่วงเวลากลางวัน ส่วนในช่วงกลางคืนจะใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าสายส่งพื้นฐานเพียงอย่างเดียว เมื่อประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบจะ

สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้ 1,872.50 kWh/ปี คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้ 7,864.50 บาท/ปี เทียบเท่ากับปริมาณ CO<sub>2</sub> ที่ลดลงได้ 1,050.5 kg CO<sub>2</sub>/ปี มีเงินลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 54,500 บาท คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 6.93 ปี โดยมีสมรรถนะของระบบ PR เท่ากับ 94%

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ภายใต้โครงการการพัฒนาพลังงานทดแทนและการประยุกต์ใช้ในชุมชนสีเขียว ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนทุนวิจัยโครงการการเสริมสร้างชุมชนเขียวในการทำฟาร์มเลี้ยงปลาอัจฉริยะในจังหวัดเชียงใหม่เพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ขอขอบพระคุณเกษตรกรผู้เลี้ยงปลา บ่อเลี้ยงปลาภูฟ้าพันธุ์ปลา อ.หางดง จ.เชียงใหม่ และหน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้คำแนะนำและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษามา ณ โอกาสนี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] ทินกร มุสิก และคณะ. (2558). กังหันน้ำเติมอากาศแบบสามฟุนใช้พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์. ใน การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8, วันที่ 4 – 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี.
- [2] สราวุธ พลวงษ์ศรี และคณะ (2561). ดัชนีการใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศบ่อเลี้ยงปลาที่ใช้พลังงานจากระบบโฟโตวอลเทอกร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน. ใน การประชุมวิชาการการถ่ายทอดพลังงานความร้อนและมวล ใน อุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ ครั้งที่ 18, วันที่ 20-21 มีนาคม พ.ศ. 2562 ณ โรงแรม กระจับปี่ ฟรอนท์ เบย์ รีสอร์ท จังหวัดกระบี่.
- [3] อัครินทร์ อินทนิเวศน์, สุลักษณ์ มงคล และสราวุธ พลวงษ์ศรี. (2562). การศึกษาสมรรถนะระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับระบบเติมอากาศของบ่อเลี้ยงปลา กรณีศึกษา:หมู่บ้านทุ่งยาว. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 26 (3), 25-35.
- [4] เสฎฐวุฒิ แผลงศรี และอัครินทร์ อินทนิเวศน์. (2562). การศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับเครื่องเติมอากาศในบ่อเลี้ยงปลา. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 57. วันที่ 29 มกราคม – 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร.
- [5] นครินทร์ รินพล. (2558). คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์ znakar.in.
- [6] ปรัชพงศ์ นันถิ์ตรง และนลินี หม่อมศรี. (2560). การศึกษาสมรรถนะการผลิตพลังงานของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคา ขนาด 25.2 kWp กรณีศึกษาวิทยาลัยธาดูปพนม มหาวิทยาลัยนครพนม. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. วันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรม ดิเอ็มเพรส เชียงใหม่.
- [7] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.). กระทรวงพลังงาน. (2562). ศักยภาพรังสีรวม ปี 2562. สถานีตรวจวัดศูนย์บริการวิชาการที่ 7 จังหวัดเชียงใหม่
- [8] ธนาคารกรุงไทย จำกัด (มหาชน). อัตราดอกเบี้ย (MRR). สืบค้นเมื่อ 23 กันยายน 2564, จาก <http://www.krungthai.com>

การประยุกต์ใช้ระบบโซลาร์เซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะสำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่  
จังหวัดมหาสารคาม

Apply of Solar Cell System with Smart Organic Lettuce Farming Platform in  
Maha Sarakham Province.

มนิรัตน์ วงษ์ซิม<sup>1</sup> ณัฐอาภา สัจจวาที<sup>1</sup> ยงยุทธ รัชตเวชกุล<sup>1\*</sup> สมโภช ทองน้ำเที่ยง<sup>1</sup> ศิริลักษณ์ ไกยวินิจ<sup>1</sup>  
นิพนธ์พัทธ์ เมืองโคตร<sup>1</sup> และพรพิชิต โพธิ์ศรี<sup>2</sup>

Manirath WongSim<sup>1</sup> Natarpha Satchawatee<sup>1</sup> Yongyut Ratchatawetchakul<sup>1\*</sup>  
Sompoch Tongnamtiang<sup>1</sup> Sirilak Kaiwinit<sup>1</sup> Nipotepat Muangkote<sup>1</sup> and Pompichit Phosri<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

<sup>2</sup> นักวิชาการศึกษา คณะการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Business Computer, Mahasarakham Business School, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150

<sup>2</sup> Eduactor, Mahasarakham Business School, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150

\*Corresponding author: Tel.: 086 872 2722. E-mail address: manirath.w@acc.msu.ac.th

Received: 30 May 2022, Revised: 26 June 2022, Accepted: 12 July 2022, Published online: 30 August 2022

### Abstract

The objective of this research is to up the level of organic salad cultivation and efficient planning of operations, application of solar cell system and smart organic farming platform on mobile phone for growing lettuce in Maha Sarakham Province by using a specific random sample, which is 1) Community Enterprise of Healthy Vegetable Group, Chiang Yuen Sub-district, Chiang Yuen District 2) Community Enterprise of Integrated Agriculture Group Wiang Saat Subdistrict Phayakkhaphum Phisai District and data collection using in-depth interviews and questionnaires.

The results of the research were as follows: 1) The group of enterprises also have their opinions on the application of solar cell system and smart organic farming platform for growing lettuce in Maha Sarakham Province. To assist in planning the effective implementation of the overall information quality improvement at the highest level ( $\bar{X} = 4.61$ ) 2) The group of enterprises has opinions on the application of solar cell system and smart organic farming platform for growing lettuce in Maha Sarakham Province. The display aspect is at the highest level ( $\bar{X} = 4.78$ ). 3) The group of enterprises have opinions on the application of solar cell system and smart organic farming platform for growing lettuce in Maha Sarakham Province to help in planning effective operations The accuracy of the program is at the highest level ( $\bar{X} = 4.92$ ). 4) Farmers of the Enterprise Group have opinions on the application of solar cell system and smart organic farming platform for growing lettuce in Maha Sarakham Province to help plan efficient operations. The accuracy of the program was at the highest

level ( $\bar{X} = 4.42$ ). 5) The group of enterprises have opinions on the application of solar cell system and smart organic farming platform for growing lettuce in Maha Sarakham Province to help plan efficient operations. the correctness of the program At the highest level ( $\bar{X} = 4.60$ ) And after community enterprises have used the smart organic farming platform, the Return on Investment (ROI) is 16.47 percent, the Social Return on Investment (SROI) is 2.18 times, and the 90 of new generation farmers (Young Smart Farmer) who can to be used as a model for smart farming as a model to transfer knowledge to other provinces.

**Keywords:** Solar Cell System, Smart Farm, Lettuce Cultivation

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อยกระดับการปลูกสลัดแบบเกษตรอินทรีย์ และการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้ระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะบนโทรศัพท์มือถือสำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม โดยใช้การสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง คือ 1) วิสาหกิจชุมชนกลุ่มพืชผักสุขภาพ ตำบลเชียงยืน อำเภอเชียงยืน 2) วิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรผสมผสาน ตำบลเวียงสะอาด อำเภอพยัคฆภูมิพิสัย และการเก็บข้อมูลโดยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกและใช้แบบสอบถาม

ผลการวิจัย พบว่า 1) กลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะสำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพด้านการพัฒนาคุณภาพข้อมูลสารสนเทศโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.61$ ) 2) กลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะสำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ด้านการแสดงผลอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.78$ ) 3) กลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะสำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ด้านความถูกต้องของโปรแกรมอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.92$ ) 4) กลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะสำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ด้านความถูกต้องของโปรแกรมอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.42$ ) 5) กลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะสำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ด้านความถูกต้องของโปรแกรม อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.60$ ) และหลังจากวิสาหกิจชุมชนได้ใช้แพลตฟอร์มเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะแล้วส่งผลกระทบทางเศรษฐกิจ (ROI) ร้อยละ 16.47 ผลกระทบทางสังคม (SROI) 2.18 เท่า และจำนวนเกษตรกรรุ่นใหม่ (Young Smart Farmer) ได้รับประโยชน์จำนวน 90 คน ซึ่งสามารถนำมาเป็นต้นแบบเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm) เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับวิทยากรถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับจังหวัดอื่นต่อไป

**คำสำคัญ:** ระบบโซล่าเซลล์ เกษตรอินทรีย์อัจฉริยะ การปลูกผักสลัด



## บทนำ

สังคมไทยเป็นสังคมที่ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลักและประเทศไทยมีพื้นที่ทั้งสิ้น 320.7 ล้านไร่ แบ่งเป็นพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เพื่อการเกษตร และพื้นที่นอกการเกษตร ข้อมูลเมื่อปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทย มีพื้นที่เพื่อการเกษตร จำนวน 149.2 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 46.71 [1] ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง ในเขตพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก

จากข้อมูลพื้นฐานจังหวัดมหาสารคาม (2563) มีพื้นที่ทั้งสิ้น 3.31 ล้านไร่ เป็นพื้นที่สำหรับทำการเกษตรจำนวน 2.82 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 85.20 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง [2] และในปัจจุบันผู้บริโภคหันมานิยมผลผลิตทางด้านเกษตรอินทรีย์โดยเฉพาะผักสลัด ซึ่งวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดมหาสารคามได้ผลิตและจัดจำหน่ายตามห้างขายปลีกสมัยใหม่ และโรงพยาบาลทำให้ผลิตผักสลัดอินทรีย์ไม่ทันต่อความต้องการของลูกค้าเนื่องจากจะต้องคอยให้น้ำและให้ปุ๋ยตามระยะเวลาที่กำหนดไม่ได้รับความสะดวกในช่วงเวลาที่ต้องส่งผักสลัดให้ลูกค้าและเกิดปัญหาไฟฟ้ายับจากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิด เกี่ยวกับการนำเอาระบบโซลาร์เซลล์ และเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตเพื่อทุกสรรพสิ่ง (IoT) มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับการปลูกผักสลัดอินทรีย์ ผ่านแอปพลิเคชัน (application) ในโทรศัพท์มือถือ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยกระดับการปลูกผักสลัดแบบเกษตรอินทรีย์ และเพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ในด้านต่างๆ เช่น การพัฒนาคุณภาพข้อมูลสารสนเทศ ด้านการแสดงผล ด้านความถูกต้องของโปรแกรม การพัฒนาคุณภาพข้อมูลสารสนเทศ ด้านการพัฒนาบริหารจัดการข้อมูลและเชื่อมโยงข้อมูล และด้านความต้องการของผู้ใช้งาน

## วิธีการวิจัย

### กรอบการทำงานของระบบ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการบูรณาการร่วมกันระหว่าง 2 เทคโนโลยี คือ เทคโนโลยีด้านพลังงานจากแสงอาทิตย์ (Solar Cell) และเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตเพื่อทุกสรรพสิ่ง หรือ IoT การปลูกผักสลัดแบบอินทรีย์

เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตเพื่อทุกสรรพสิ่ง หรือ IoT เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่ได้เข้ามามีบทบาทกับการทำเกษตรสมัยใหม่ หรือ smart farming ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวจะเป็นตัวที่คอยเชื่อมเทคโนโลยีในด้านต่างๆ เข้าหากัน เป็นเทคโนโลยีที่นำมาใช้เพื่อพัฒนารูปแบบของการทำการเกษตรให้ทันสมัยขึ้น ได้แก่ ระบบโซลาร์เซลล์เป็นระบบพลังงานสะอาดที่ถูกติดตั้งเพื่อนำมาใช้ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า การวัดค่าความเป็นกรด เป็นด่าง ของดิน การวัดค่าความชื้นภายในดิน วัดอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน วาล์วเปิด-ปิดน้ำ [3]

ระบบโซลาร์เซลล์เป็นระบบให้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเซ็นเซอร์เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมจะถูกติดตั้งภายในโรงเรือนขนาดมาตรฐาน 6 x 12 เมตร เพื่อตรวจเช็คสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ภายในโรงเรือนและแปลงปลูก และส่งข้อมูลผ่านเข้าไปในระบบเครือข่ายเพื่อทำการประมวลผล สำหรับใช้ในการบริหารจัดการ ซึ่งเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งภายในโรงเรือนและแปลงปลูกมีดังต่อไปนี้

1. ระบบโซลาร์เซลล์ เป็นระบบพลังงานสะอาดที่ถูกติดตั้งเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับใช้งานในระบบ เช่น ใช้สำหรับตู้ควบคุม อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ต่าง ๆ และระบบแสงสว่างสำหรับส่องสว่างเพื่อให้เกษตรกรสามารถทำงานได้ในช่วงเวลากลางคืน [4]
2. ระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นระบบพลังงานสะอาดที่ถูกติดตั้งเพื่อการบริหารจัดการเก็บน้ำ โดยการดูน้ำจากแหล่งน้ำหรือบ่อบาดาล แล้วส่งขึ้นไปเก็บไว้บนถังพัก เพื่อนำมาใช้ในการรดน้ำพืชผัก [3]
3. เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความเป็นกรด เป็นด่าง ของดิน (PH Sensor) ซึ่งจะถูกติดตั้งภายในโรงเรือน เพื่อตรวจวัดค่าความเป็นกรด เป็นด่างของดินภายในแปลงปลูก และส่งค่าที่ตรวจวัดได้ผ่านเข้าไปเก็บไว้ในระบบเครือข่าย และนำมา

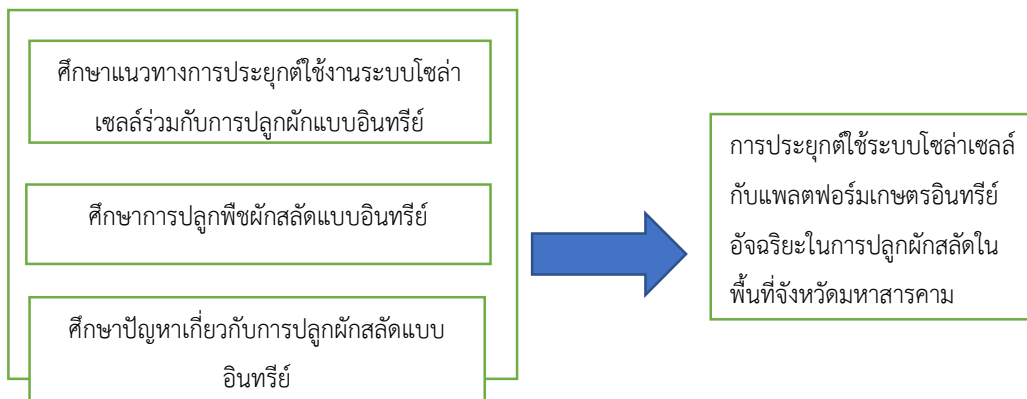
แสดงผลผ่านทางแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ ส่วนใหญ่แล้วการตรวจวัดค่าความเป็นกรด เป็นต่างจะกระทำในช่วงของการเตรียมดินสำหรับการเพาะปลูก [4]

4. เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความชื้นภายในดิน เป็นเซ็นเซอร์ที่ถูกติดตั้งที่แปลงปลูกภายในโรงเรือน เพื่อตรวจสอบว่าความชื้นภายในดินต่ำลงถึงระดับที่จะต้องรดน้ำผักหรือยัง เซ็นเซอร์ดังกล่าวจะเก็บค่าและส่งค่าที่ตรวจวัดได้ผ่านเข้าไปเก็บไว้ในระบบเครือข่าย และนำมาแสดงผลผ่านทางแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ

5. เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน เป็นเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งเพื่อตรวจเช็คสภาพอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน เซ็นเซอร์ดังกล่าวจะเก็บค่าและส่งค่าที่ตรวจวัดได้ผ่านเข้าไปเก็บไว้ในระบบเครือข่าย และนำมาแสดงผลผ่านทางแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ ยกตัวอย่างการทำงานของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น เช่น ถ้าหากอุณหภูมิภายในโรงเรือนสูงเกินกว่าระดับที่กำหนด ให้ทำการเปิดพัดลมระบายอากาศ หรือ เปิดปั๊มพ่นหมอก และเมื่อต่ำกว่าหรืออยู่ในระดับก็ให้ทำการปิดการทำงานของพัดลมระบายอากาศและปั๊มพ่นหมอก เป็นต้น

6. วาล์วเปิด-ปิดน้ำ จะถูกติดตั้งเข้ากับระบบท่อสูงพักน้ำ เพื่อทำการรดน้ำผักตามเงื่อนไขที่ได้รับมาจากเซ็นเซอร์ที่กำหนด เช่น รับค่าจากเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน ถ้าค่าความชื้นในดินต่ำก็ให้ทำการสั่งเปิดวาล์วรดน้ำผัก และเมื่อค่าความชื้นในดินสูงก็ให้ทำการปิดวาล์วรดน้ำผักโดยอัตโนมัติ เป็นต้น

เซ็นเซอร์ต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สามารถส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในระบบเครือข่าย สามารถเรียกดูสถิติข้อมูลย้อนหลังและนำมาวิเคราะห์ได้ สามารถเรียกดูข้อมูลสถานะแบบเรียลไทม์ อีกทั้งยังสามารถควบคุม สั่งการทำการผ่านทางแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือได้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด



ภาพที่ 2 การประยุกต์ใช้ระบบโซลาร์เซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะในการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม

### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย คือ กลุ่มเกษตรกรและวิสาหกิจชุมชน สวนเพียรทำบำรุงสุข ตำบลเชียงยืน อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม และ กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ไร่รวมพลัง ตำบลเวียงสะอาด อำเภอพยัคฆภูมิพิสัย จังหวัดมหาสารคาม รวมทั้งสิ้น 60 คน เมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2562 และต่อเนื่องเป็นงานวิจัย 15 พฤษภาคม 2563 จนถึงวันที่ 14 พฤษภาคม 2564

### เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. ระบบควบคุมอุปกรณ์ภายในโรงงานขนาดย่อมด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ Android บอร์ด Arduino
2. แบบประเมินประสิทธิภาพ ระบบควบคุมอุปกรณ์ภายในโรงงานขนาดย่อมด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ภายใต้แนวคิดอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่ง ประกอบด้วย 2 ตอน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้  
ตอนที่ 1 ข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบสัมภาษณ์  
ตอนที่ 2 ประเมินประสิทธิภาพ ระบบควบคุมอุปกรณ์ภายในสวนผักของวิสาหกิจชุมชนด้วยเทคโนโลยีไร้สายผ่านแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ภายใต้แนวคิดอินเทอร์เน็ตสำหรับทุกสรรพสิ่ง

### ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

#### กลุ่มวิสาหกิจชุมชนสวนเพียรทำบำรุงสุข

ระบบระบบโซลาร์เซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะในการปลูกผักสลัดในพื้นที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนสวนเพียรทำบำรุงสุข ประกอบไปด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ 1) ระบบโซลาร์เซลล์ 2) ส่วนของการควบคุมปั้มน้ำสำหรับการเกษตร 2) การควบคุมการเปิดปิดวาล์วน้ำสำหรับการเกษตร และ 4) การตรวจวัดค่าความชื้นในดิน และ 4) ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งภาพรวมของการติดตั้งมีดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 1** การติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนสวนเพชรทำบำรุงสุข

<p>1. ระบบโซลาร์เซลล์ เป็นระบบพลังงานสะอาดที่ถูกติดตั้งเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับใช้งานในระบบ เช่น ใช้สำหรับตู้ควบคุม อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ต่าง ๆ และระบบแสงสว่างสำหรับส่องสว่างเพื่อให้เกษตรกรสามารถทำงานได้ในช่วงเวลากลางคืน</p>	
<p>2. ส่วนควบคุมปั้มน้ำสำหรับการเกษตร ปั้มน้ำจะทำงานควบคู่ไปกับวาล์วจ่ายน้ำ โดยจะแบ่งจ่ายน้ำเข้าแปลงปลูกของเกษตรกรเกษตรเป็นจุดๆ จำนวน 4 จุด</p>	
<p>3. ส่วนของการควบคุมการเปิดปิด-วาล์วน้ำ จะถูกติดตั้งเข้ากับระบบท่อสูงพักน้ำ เพื่อทำการรดน้ำผักตามเงื่อนไขที่ได้รับมาจากเซ็นเซอร์ที่กำหนด เช่น รับค่าจากเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน ถ้าค่าความชื้นในดินต่ำก็ให้ทำการสั่งเปิดวาล์วรดน้ำผัก และเมื่อค่าความชื้นในดินสูงก็ให้ทำการปิดวาล์วรดน้ำผักโดยอัตโนมัติ เป็นต้น เซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สามารถส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในระบบเครือข่าย สามารถเรียกดูสถิติข้อมูลย้อนหลังและนำมาวิเคราะห์ได้ สามารถเรียกดูข้อมูลสถานะแบบเรียลไทม์ อีกทั้งยังสามารถควบคุม สั่งการทำการผ่านทางแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือได้</p>	

4. ส่วนของระบบในการตรวจวัดค่าความชื้นในดิน ซึ่งจะมีตัวรับค่าที่ถูกติดตั้งไว้บริเวณแปลงปลูก และส่งค่าที่วัดได้เข้าสู่ระบบ และจัดเก็บค่าที่วัดได้ไว้บนระบบคลาวด์



#### กลุ่มวิสาหกิจชุมชนไร่รวมพลัง

ระบบระบบโซลาร์เซลล์กับเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะในการปลูกผักสลัดในพื้นที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชน ไร่รวมพลัง ประกอบไปด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ 1) ระบบโซลาร์เซลล์ 2) ส่วนของการควบคุมปั้มน้ำสำหรับการเกษตร 3) การควบคุมการเปิดปิดวาล์วน้ำ และ 4) การตรวจวัดค่าความชื้นในดิน ซึ่งภาพรวมของการติดตั้งมีดังต่อไปนี้

#### ตารางที่ 2 การติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนไร่รวมพลัง

1. ระบบโซลาร์เซลล์ เป็นระบบพลังงานสะอาดที่ถูกติดตั้งเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานหลักสำหรับใช้งานในระบบ เช่น ใช้สำหรับตู้ควบคุม อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ต่าง ๆ และระบบแสงสว่างสำหรับส่องสว่างเพื่อให้เกษตรกรสามารถทำงานได้ในช่วงเวลากลางคืน



2. ส่วนควบคุมปั้มน้ำสำหรับการเกษตร ปั้มน้ำจะทำงานควบคู่ไปกับวาล์วจ่ายน้ำ โดยจะแบ่งจ่ายน้ำเข้าแปลงปลูกของเกษตรกรเกษตรกรเป็นจุดๆ จำนวน 4 จุด



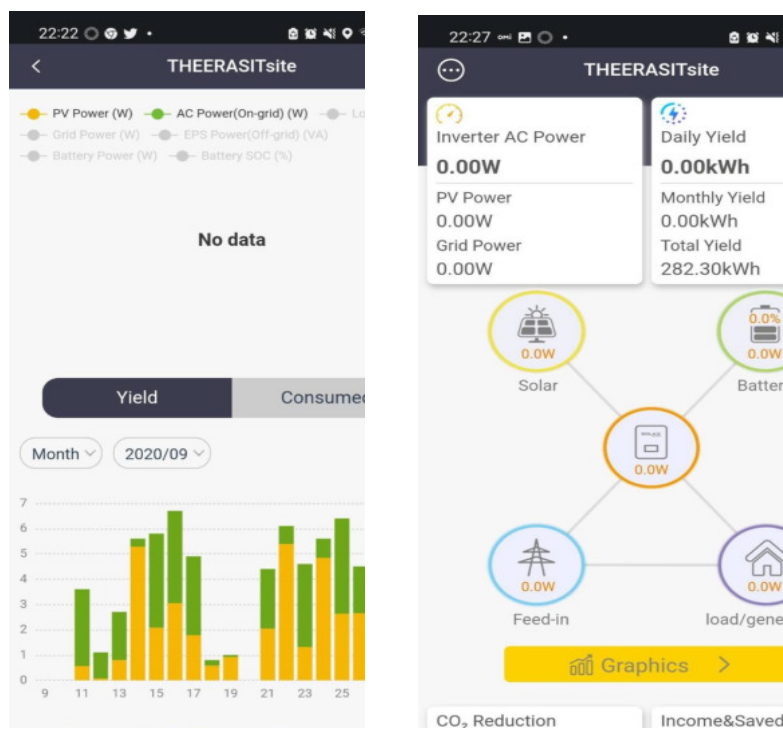
3. ส่วนของการควบคุมการเปิดปิดวาล์วน้ำ จะถูกติดตั้งเข้ากับระบบปั๊มส่งน้ำ เพื่อทำการรดน้ำผักตามเงื่อนไขที่ได้รับมาจากเซ็นเซอร์ที่กำหนด เช่นรับค่าจากเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน ถ้าค่าความชื้นในดินต่ำก็ให้ทำการสั่งเปิดวาล์วรดน้ำผัก และเมื่อค่าความชื้นในดินสูงก็ให้ทำการปิดวาล์วรดน้ำผักโดยอัตโนมัติ เป็นต้น เซ็นเซอร์ต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สามารถส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในระบบเครือข่าย สามารถเรียกดูสถิติข้อมูลย้อนหลังและนำมาวิเคราะห์ได้ สามารถเรียกดูข้อมูลสถานะแบบเรียลไทม์ อีกทั้งยังสามารถควบคุม สั่งการทำการผ่านทางแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือได้



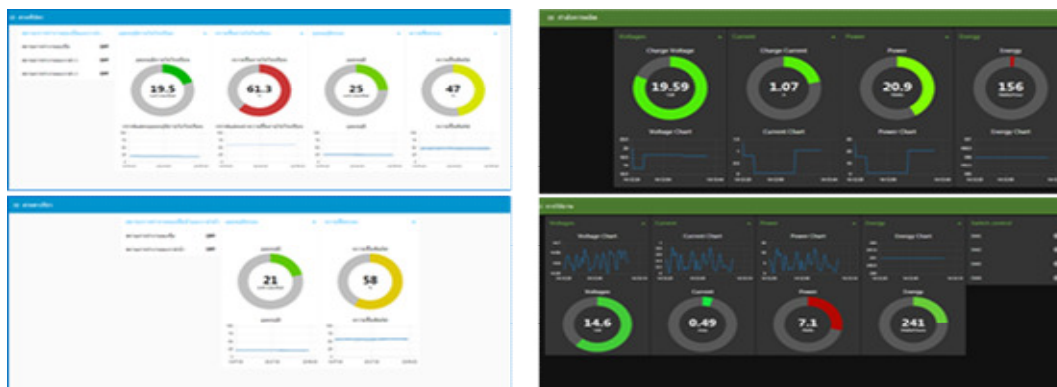
4. ส่วนของระบบในการตรวจวัดค่าความชื้นในดิน ซึ่งจะมีตัวรับค่าที่ถูกติดตั้งไว้บริเวณแปลงปลูก และส่งค่าที่วัดได้เข้าสู่ระบบ และจัดเก็บค่าที่วัดได้ไว้บนระบบคลาวด์



Dashboard การผลิตไฟด้วยระบบโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) และควบคุมวาล์ว



ภาพที่ 3 Dashboard การผลิตไฟด้วยระบบโซลาร์เซลล์ (Solar Cell)



ภาพที่ 4 Dashboard การควบคุมวาล์ว

ความคิดเห็นเกี่ยวกับระบบโซลาร์เซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะสำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับระบบโซลาร์เซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะสำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพด้านการพัฒนาคุณภาพข้อมูลสารสนเทศ

การพัฒนาคุณภาพข้อมูลสารสนเทศ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ ความคิดเห็น
1. ด้านการแสดงผล	4.78	0.24	มากที่สุด
2. ด้านความถูกต้องของโปรแกรม	4.92	0.13	มากที่สุด
3. ด้านประสิทธิภาพของโปรแกรม	4.42	0.29	มาก
4. ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน	4.60	0.36	มากที่สุด
โดยรวม	4.61	0.63	มากที่สุด

จากตารางที่ 3 พบว่า กลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นด้วยเกี่ยวกับระบบโซลาร์เซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะสำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพด้านการพัฒนาคุณภาพข้อมูลสารสนเทศโดยรวม อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.61$ ) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน อยู่ในระดับมากที่สุด 3 ด้าน และอยู่ในระดับมาก 1 ด้าน โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย จำนวน 3 ลำดับแรก ดังนี้ ด้านความถูกต้องของโปรแกรม ( $\bar{X} = 4.92$ ) ด้านการแสดงผล ( $\bar{X} = 4.78$ ) และด้านความต้องการของผู้ใช้งาน ( $\bar{X} = 4.60$ )

ตารางที่ 4 ความคิดเห็นเกี่ยวกับกลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นด้วยเกี่ยวกับระบบโซลาร์เซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะสำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ด้านการแสดงผล เป็นรายชื่อของเกษตรกร

ด้านการแสดงผล	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ ความคิดเห็น
1. ความเหมาะสมของการออกแบบของหน้าจอ	4.89	0.38	มากที่สุด
2. ความสวยงาม ความทันสมัย และน่าสนใจของระบบ	4.83	0.37	มากที่สุด
3. ความเหมาะสมของการใช้สี ขนาดตัวอักษร โดยรวม	4.70	0.46	มากที่สุด
4. การแสดงรูปแบบเนื้อหาการคำนวณต่างๆของแอปมีความเหมาะสม	4.66	0.60	มากที่สุด
5. ข้อความมีความเหมาะสม/ชัดเจน	4.81	0.39	มากที่สุด
โดยรวม	4.78	0.28	มากที่สุด

จากตารางที่ 4 พบว่า กลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับระบบโซลาร์เซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะสำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ด้านการแสดงผล อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.78$ ) โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจาก



มากไปหาน้อย 3 ลำดับแรก ดังนี้ ความเหมาะสมของการออกแบบของหน้าจอ ( $\bar{X} = 4.89$ ) ความสวยงาม ความทันสมัย และน่าสนใจของระบบ ( $\bar{X} = 4.83$ ) และข้อความมีความเหมาะสม/ชัดเจน ( $\bar{X} = 4.81$ )

**ตารางที่ 5** ความคิดเห็นเกี่ยวกับกลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับระบบโซล่าเซลล์กับฟอร์มเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะ สำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคามเพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ด้านความถูกต้องของโปรแกรม เป็นรายชื่อของเกษตรกร

ด้านความถูกต้องของโปรแกรม	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ระบบมีความครบถ้วน รายงานข้อมูลได้ถูกต้องแม่นยำ	5.00	0.00	มากที่สุด
2. ระบบสามารถคำนวณต้นทุนได้อย่างถูกต้อง	4.87	0.34	มากที่สุด
3. ระบบสามารถวัดขนาดของไร่ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ	4.99	0.07	มากที่สุด
4. ระบบแสดงรูปแบบการนำเสนอแอปพลิเคชันได้อย่างถูกต้องเหมาะสม	4.74	0.53	มากที่สุด
5. ระบบแสดงผลการวิเคราะห์เส้นทางได้อย่างแม่นยำ	5.00	0.00	มากที่สุด
โดยรวม	4.92	0.13	มากที่สุด

จากตารางที่ 5 พบว่า เกษตรกร กลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับระบบโซล่าเซลล์กับฟอร์มเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะ สำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคามเพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ด้านความถูกต้องของโปรแกรม อยู่ในระดับมากที่สุดทุกข้อ ( $\bar{X} = 4.92$ ) โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย 3 ลำดับแรก ดังนี้ ระบบมีความครบถ้วน รายงานข้อมูลได้ถูกต้องแม่นยำ ( $\bar{X} = 5.00$ ) ระบบแสดงผลการวิเคราะห์เส้นทางได้อย่างแม่นยำ ( $\bar{X} = 5.00$ ) และระบบสามารถวัดขนาดของไร่ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ( $\bar{X} = 4.99$ )

**ตารางที่ 6** ความคิดเห็นเกี่ยวกับกลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะ สำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคามเพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ การพัฒนาคุณภาพข้อมูลสารสนเทศ ด้านการพัฒนาาระบบจัดการข้อมูลและเชื่อมโยงข้อมูล เป็นรายชื่อ ของเกษตรกร

การพัฒนาคุณภาพข้อมูลสารสนเทศ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านการพัฒนาาระบบจัดการข้อมูลและเชื่อมโยงข้อมูล			
1. ระบบตอบสนองความรวดเร็วต่อการใช้งานระบบ	4.41	0.61	มาก
2. ระบบสามารถอำนวยความสะดวกต่อการใช้งาน	3.64	0.76	มาก
3. ระบบสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ถูกต้อง แม่นยำ	4.57	0.56	มากที่สุด
4. ระบบมีประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูล	5.00	0.00	มากที่สุด
5. ระบบมีเสถียรภาพต่อการเข้าถึงข้อมูล	4.63	0.50	มากที่สุด
โดยรวม	4.42	0.29	มากที่สุด

จากตารางที่ 6 พบว่า เกษตรกรกลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะ สำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคามเพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพการพัฒนาคุณภาพข้อมูลสารสนเทศ ด้านการพัฒนาระบบจัดการข้อมูลและเชื่อมโยงข้อมูล อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.42$ ) โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย 3 ลำดับแรก ดังนี้ ระบบมีประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูล ( $\bar{X} = 5.00$ ) ระบบมีเสถียรภาพต่อการเข้าถึงข้อมูล ( $\bar{X} = 4.63$ ) และระบบสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ถูกต้อง แม่นยำ ( $\bar{X} = 4.57$ )

**ตารางที่ 7** ความคิดเห็นเกี่ยวกับความคิดเห็นเกี่ยวกับกลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะ สำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคามเพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน เป็นรายชื่อ ของเกษตรกร

ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. การใช้งาน เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน	4.25	0.72	มาก
2. สะดวก รวดเร็วในการเข้าใช้งานระบบ	5.00	0.00	มากที่สุด
3. แอปพลิเคชันมีความทันสมัยและเป็นปัจจุบัน	4.24	0.73	มาก
4. การเข้าถึงข้อมูลเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งาน	4.13	0.69	มาก
5. ฟังก์ชันการใช้งานมีครบถ้วนสมบูรณ์เหมาะสมกับการใช้งาน	5.00	0.00	มากที่สุด
โดยรวม	4.60	0.36	มากที่สุด

จากตารางที่ 7 กลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะ สำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคามเพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ด้านความต้องการของผู้ใช้งาน อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.60$ ) โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย 3 ลำดับแรก ดังนี้ สะดวก รวดเร็วในการเข้าใช้งานระบบ ( $\bar{X} = 5.00$ ) ฟังก์ชันการใช้งานมีครบถ้วนสมบูรณ์เหมาะสมกับการใช้งาน ( $\bar{X} = 5.00$ ) และการใช้งาน เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน ( $\bar{X} = 4.25$ )

### สรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้ระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะ สำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อยกระดับการปลูกผักสลัดแบบเกษตรกรอินทรีย์ และเพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพด้านต่างๆ เช่น การพัฒนาคุณภาพข้อมูลสารสนเทศ ด้านการแสดงผล ด้านความถูกต้องของโปรแกรม การพัฒนาคุณภาพข้อมูลสารสนเทศ ด้านการพัฒนาระบบจัดการข้อมูลและเชื่อมโยงข้อมูล และด้านความต้องการ สรุปผลได้ดังนี้ 1) กลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นด้วยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะ สำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพด้านด้านการพัฒนาคุณภาพข้อมูลสารสนเทศ โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.61$ ) 2) กลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะ สำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ด้านการแสดงผลอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.78$ ) 3) กลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะ สำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม เพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ด้านความถูกต้องของโปรแกรมอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.92$ ) 4) เกษตรกรกลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบโซล่าเซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรกรอินทรีย์อัจฉริยะ สำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคามเพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ด้านความถูกต้องของโปรแกรมอยู่ในระดับมากที่สุด

( $\bar{X} = 4.42$ ) 5) กลุ่มวิสาหกิจมีความคิดเห็นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบโซลาร์เซลล์กับแพลตฟอร์มเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะ สำหรับการปลูกผักสลัดในพื้นที่จังหวัดมหาสารคามเพื่อช่วยในการวางแผนการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ด้านความถูกต้องของโปรแกรม อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.60$ ) และหลังจากวิสาหกิจชุมชนได้ใช้แพลตฟอร์มเกษตรอินทรีย์อัจฉริยะแล้วส่งผลตอบแทนด้านการลงทุน (Return on Investment : ROI) ร้อยละ 16.47 ผลตอบแทนจากการลงทุนด้านสังคม (Social Return on Investment : SROI) ร้อยละ 2.18 และจำนวนเกษตรกรรุ่นใหม่ (Young Smart Farmer) ได้รับประโยชน์จำนวน 90 เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับวิทยากรถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับจังหวัดอื่นต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

วิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท.) ปีงบประมาณ 2563 ผ่าน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

### เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันพัฒนาองค์กรชุมชน (องค์การมหาชน). การแก้ไขปัญหาที่ดินทำกินและที่อยู่อาศัยโดยชุมชนท้องถิ่น ในโครงการสนับสนุนแก้ไขปัญหาที่ดินทำกินและที่อยู่อาศัยชนบท ปี 2558. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2565 [https://ref.codi.or.th/attachments/article/33/report\\_landfix2558\\_131158.pdf](https://ref.codi.or.th/attachments/article/33/report_landfix2558_131158.pdf)
- [2] สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร. ข้อมูลพื้นฐานของจังหวัดมหาสารคาม ณ วันที่ 25 มิถุนายน 2563. สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2565 <https://www.opsmoac.go.th/mahasarakham-dwl-files-421391791192>
- [3] Bronson, K. (2018). Smart Farming: including rights holders for responsible agricultural innovation. Technol. Innov. Manage., 8(2), 7-14.
- [4] Expresso, P. (2562). ระบบโซลาร์เซลล์ พลังงานทางเลือกของเกษตรกรไทย. Retrieved from <https://blog.pttexpresso.com/alternativeenergy/>
- [5] Chamber, A. a. c. t. (2019). Syngenta buys agricultural technology firm cropio. Retrieved from <https://www.actc.life/syngenta-buys-agricultural-technology-firm-cropio>

# การศึกษาการใช้งานของเครื่องสูบน้ำที่อพยพจากพลังงานแสงอาทิตย์

## A Study of Usage of Solar Propeller Pump

จิราภรณ์ จันทสร<sup>1\*</sup> และธนิต เรืองรุ่งชัยกุล<sup>1</sup>  
Jiraporn Chuntasorn<sup>1\*</sup> and Tanit Ruangrunghchaikul<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต  
เลขที่ 99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

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

\*Corresponding author: Tel.: 086 388 3224. E-mail address: aekiko@gmail.com

Received: 20 November 2021, Revised: 17 December 2021, Accepted: 29 December 2021, Published online: 30 August 2022

### Abstract

This research was conducted to study the usage of a solar-powered propeller pump, which used a 2-horsepower electric motor to drive a 5-inch diameter propeller pump. The experiment used 18 panels of 94-watts solar module with a total installed power of 1,692 watts, without a battery backup. The electricity generated from the solar panels will be supplied to the inverter to convert the DC power into AC power (220 volts, 3 phases), and then supplied to the electric motor for driving the propeller pump. The study showed that the 2-horsepower motor has sufficient power for driving a 5-inch diameter propeller pump. The system can operate from about 400 watts per square meter of solar intensity. The average water flow rate is 10.38 cubic meters per hour. The flow rate of water is directly proportional to the intensity of the solar radiation and changes with the time of day. Changing the motor to be a smaller size helps to save on the cost of the motor, solar panels, and the inverter.

**Keywords:** solar water pump, propeller pump

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการใช้งานเครื่องสูบน้ำที่อพยพจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า ขับที่อพยพขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว การทดลองใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 94 วัตต์ จำนวน 18 แผง มีกำลังผลิตติดตั้งรวม 1,692 วัตต์ และเป็นระบบที่ไม่มีแบตเตอรี่สำรองไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะจ่ายไปยังเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (แรงดัน 220 โวลต์ 3 เฟส) และจ่ายต่อไปยังมอเตอร์ไฟฟ้าที่เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนที่อพยพ ผลการวิจัยพบว่า มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้ามีกำลังเพียงพอสำหรับขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำที่อพยพขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว โดยสามารถทำงานได้ตั้งแต่ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ ประมาณ 400 วัตต์ต่อตารางเมตร มีอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 10.38 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยอัตราการไหลของ

น้ำแปรผันตรงกับความเร็วแสงอาทิตย์และจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาของช่วงวัน ซึ่งการปรับเปลี่ยนมอเตอร์ให้มีขนาดเล็กลงช่วยให้สามารถประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายของมอเตอร์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าลงได้

**คำสำคัญ:** สูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์, ท่อพญานาค

## บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเกษตร พื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่มีความจำเป็นต้องเร่งสูบน้ำ เพื่อให้ทันเวลา ก่อนที่น้ำจะแห้ง ซึ่งเครื่องสูบน้ำที่นิยมใช้เพื่อการเกษตรมีหลายชนิด ได้แก่ เครื่องสูบน้ำหยด เครื่องสูบน้ำบาดาล ท่อสูบน้ำ พญานาค สำหรับพื้นที่ทำนาในเขตชลประทานโดยเฉพาะพื้นที่ราบลุ่มในเขตภาคกลาง เกษตรกรนิยมใช้เครื่องสูบน้ำท่อพญานาคเนื่องจากสามารถสูบน้ำได้ในปริมาณมาก ซึ่งเกษตรกรจะติดตั้งท่อสูบน้ำพญานาคกับเครื่องยนต์ ซึ่งมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในเรื่องของค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก และยังมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมจากควันไอเสีย เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งปัจจุบันเกษตรกรได้นำเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้มากขึ้นและมีผลการศึกษาวิจัยหลายเรื่อง ที่ชี้ให้เห็นว่าการใช้เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน อาทิเช่น การศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้าย สำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร [1] การศึกษาระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับเครื่องสูบน้ำหยด [2] การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร [3] อย่างไรก็ตาม การใช้งานเครื่องสูบน้ำท่อพญานาคพลังงานแสงอาทิตย์ยังไม่แพร่หลายนัก ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลเนื่องมาจากยังขาดข้อมูลทั้งทางด้านเทคนิค และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อการลงทุน เพื่อประกอบการตัดสินใจ การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาในประเด็นดังกล่าว ประกอบกับการใช้งานที่ผ่านมา มีการใช้งานท่อสูบน้ำพญานาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว กับมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า [3] ส่งผลให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายเริ่มต้นค่อนข้างสูง ทั้งในส่วนของมอเตอร์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะลดต้นทุนดังกล่าวลงโดยปรับลดขนาดมอเตอร์ให้เล็กลง ซึ่งจะได้ทำการศึกษาค้นคว้าทดลองการใช้งานเพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจเลือกใช้งานให้เหมาะสมต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องสูบน้ำท่อพญานาคพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร

## ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยนี้มีขอบเขตการศึกษา ดังนี้

- 1) ศึกษาเครื่องสูบน้ำท่อพญานาคพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว
- 2) ใช้มอเตอร์ขนาดไม่เกิน 2 แรงม้า เป็นต้นกำลังในการขับท่อพญานาค
- 3) ศึกษาการทำงานจริงในแปลงทดลอง

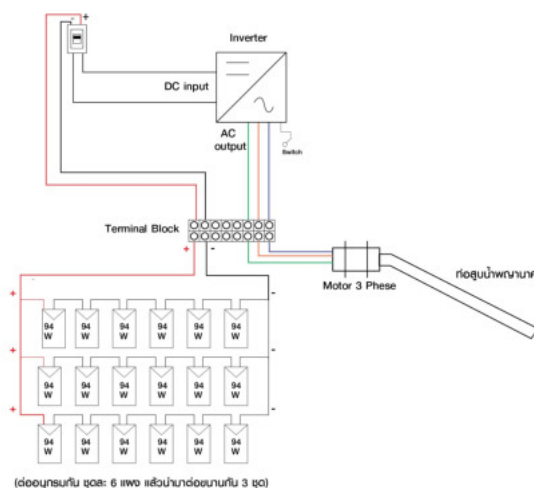
## วิธีการวิจัย

### 1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

ทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ ป้อนสูบน้ำ และระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2. ติดตั้งระบบสูบน้ำที่อุทยานหลวงพลังงานแสงอาทิตย์

นำข้อมูลจากการศึกษาเบื้องต้นมาใช้ในการออกแบบระบบเครื่องสูบน้ำที่อุทยานหลวงพลังงานแสงอาทิตย์และทำการติดตั้งระบบสูบน้ำที่อุทยานหลวงพลังงานแสงอาทิตย์ การศึกษานี้ทำการศึกษาที่สูบน้ำพยานาคขนาด 5 นิ้ว ความยาว 14 ฟุต ต่อกับมอเตอร์เครื่องสูบน้ำขนาด 2 แรงม้า และใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 94 วัตต์ จำนวน 18 แผง (ต่ออนุกรมกัน ชุดละ 6 แผง แล้วนำมาต่อขนานกัน 3 ชุด) โดยติดตั้งในแปลงเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต บริเวณสระน้ำเพื่อทดสอบสูบน้ำจากคลองส่งน้ำด้านนอกแปลงเกษตรเข้ามายังสระน้ำที่ระดับความสูงของการสูบน้ำประมาณ 150 เซนติเมตร ซึ่งแผนผังการติดตั้งระบบแสดงดังภาพที่ 1 โดยมีอุปกรณ์การทดลองดังภาพที่ 2-9



ภาพที่ 1 แผนผังการทำงานของระบบ



ภาพที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous Silicon ขนาด 94 วัตต์ (Calyxo) จำนวน 18 แผง (ต่อแบบผสม โดยต่ออนุกรม 6 แผง แล้วต่อขนานกัน 3 ชุด)



ภาพที่ 3 มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า  
(มีตชูปิซิชี รุ่น ซุปเปอร์ไลน์ เจ ซีรี่ส์ แรงดันไฟฟ้า 220/380 โวลต์ 3 เฟส)



ภาพที่ 4 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ยี่ห้อ Novem



ภาพที่ 5 ตู้ควบคุม สำหรับควบคุมระบบไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ



ภาพที่ 6 ท่อสูบน้ำขนาดรอบข้างขนาด 5 นิ้ว ความยาว 14 ฟุต



ภาพที่ 7 มาตรวัดการไหลแบบ Ultrasonic  
(TUF-2000M TM-1(DN50-700mm))



ภาพที่ 8 เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ Solar Power Mete  
(TENMARS TM -750)



ภาพที่ 9 การต่ออุปกรณ์เพื่อวัดอัตราการไหลของน้ำ

### 3. ทดสอบการทำงานระบบสูบน้ำที่อพยพขนาดพลังงานแสงอาทิตย์

หลังจากติดตั้งระบบสูบน้ำที่อพยพขนาดพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว ผู้วิจัยทำการทดสอบระบบเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นต่อการศึกษาลงมาวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดยเก็บข้อมูลดังนี้

- 1) ค่ากระแสไฟฟ้า อ่านค่าจาก Module Inverter
- 2) ค่าแรงดันไฟฟ้า อ่านค่าจาก Module Inverter
- 3) ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ใช้เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์
- 4) วัดอัตราการไหลของน้ำที่สูบได้ ทำการเก็บโดยวัดปริมาณการไหลจากมาตรวัดน้ำ Ultrasonic ในทุกๆ

1 ชั่วโมง โดยทำการเก็บค่าอัตราการไหลของน้ำ ในช่วงเวลา 09:00 น. ถึง 16:00 น.



#### 4. วิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลการทดลองที่ได้ นำมาทำการวิเคราะห์ผลการทำงานของระบบสูบน้ำท่อพญานาค โดยเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเข้มแสงอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้าของระบบและอัตราการไหลของน้ำในรูปแบบของกราฟ ดังนี้

- 1) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้า
- 2) ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอัตราการไหลของน้ำตามช่วงเวลาของวัน

#### ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

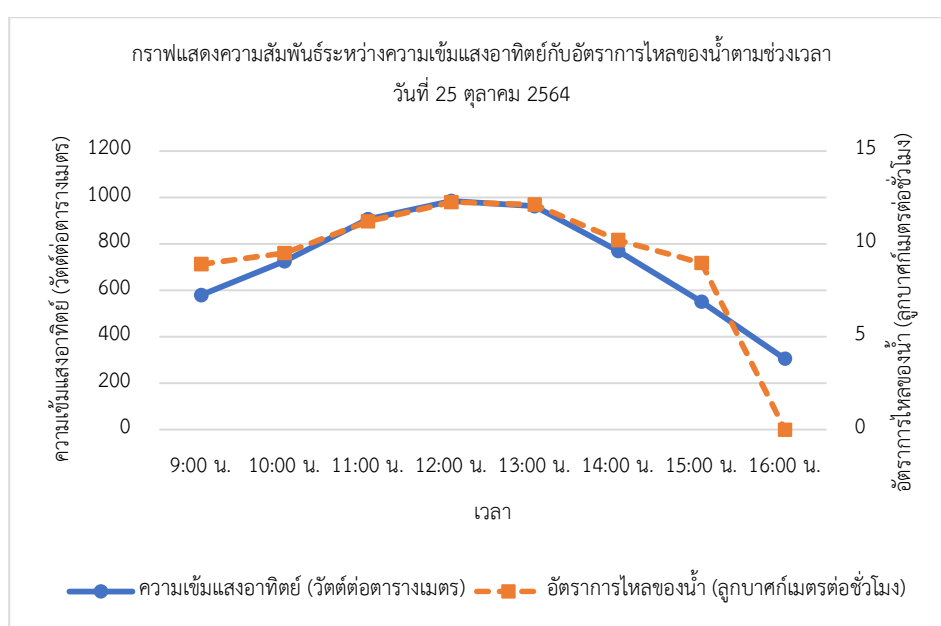
เครื่องสูบน้ำท่อพญานาคพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษานี้ ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 94 วัตต์ จำนวน 18 แผง มีกำลังผลิตติดตั้งรวม 1,692 วัตต์ ต่อกันแบบผสม (ต่ออนุกรมกัน 6 แผง แล้วนำมาต่อขนานกันจำนวน 3 ชุด) เพื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้าแรงดัน 220 โวลต์ 3 เฟส ซึ่งเป็นต้นกำลังสำหรับขับท่อสูบน้ำพญานาคขนาด 5 นิ้ว การศึกษาโดยเก็บข้อมูลการทดลองทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน (ระหว่างวันที่ 25-27 ตุลาคม 2564) ช่วงเวลาตั้งแต่ 9.00 ถึง 16.00 น. พบว่าการใช้มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า เพียงพอต่อการใช้งานเพื่อขับเครื่องสูบน้ำท่อพญานาคขนาด 5 นิ้ว ดังข้อมูลในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 3 วัน โดยเครื่องสูบน้ำท่อพญานาคสามารถสูบน้ำได้เต็มกำลังที่ 484 วัตต์ (กำลังสูงสุดที่ระบบฯ ต้องการ) ตั้งแต่ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ประมาณ 500 วัตต์ต่อตารางเมตร ถึงแม้ว่าที่ความเข้มแสงอาทิตย์ที่สูงขึ้น จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้นก็ตาม แต่เครื่องสูบน้ำท่อพญานาคขนาด 5 นิ้ว ต้องการกำลังขับเพียง 484 วัตต์ ทำให้กำลังไฟฟ้าของระบบฯ ที่วัดได้คงที่สูงสุดที่ 484 วัตต์ อ้างอิงจากข้อมูลงานวิจัย การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร [3] ที่ได้ทำการศึกษาค่าประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ได้ใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า และใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รวม 2,850 วัตต์ เป็นต้นกำลังของท่อสูบน้ำพญานาคขนาด 5 นิ้ว ซึ่งการศึกษาดังกล่าวพบว่ามีความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยสามารถนำมาใช้ทดแทนเครื่องสูบน้ำท่อพญานาคเดิมที่ใช้ท่อขนาด 8 นิ้ว ขับโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลัง ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงมาก โดยระบบสูบน้ำท่อพญานาคพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวสามารถสูบน้ำได้เพียงพอ กับความต้องการ อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยที่กล่าวถึง [3] ไม่ได้ศึกษาข้อมูลเชิงเทคนิคเกี่ยวกับปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้มาจากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ใช้งานระบบเท่านั้น ซึ่งจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เห็นได้ชัดเจนนว่ามอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า (ประมาณ 1,500 วัตต์) มีกำลังเพียงพอในการขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำท่อพญานาคขนาด 5 นิ้ว จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าเครื่องสูบน้ำท่อพญานาคขนาด 5 นิ้ว ต้องการกำลังในการขับเคลื่อนเพียง 484 วัตต์ เท่านั้น ซึ่งการปรับลดขนาดมอเตอร์ลงจาก 3 แรงม้า เป็น 2 แรงม้า ช่วยประหยัดต้นทุนค่ามอเตอร์ ค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าลงได้

ตารางที่ 1 ข้อมูลกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยของท่อสูบน้ำพญานาคขนาด 5 นิ้ว

เวลา	กระแสไฟฟ้า (A)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กำลังไฟฟ้า (W)	ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )
9:00 น.	2.2	220	484	546.67
10:00 น.	2.2	220	484	662.67
11:00 น.	2.2	220	484	796.67
12:00 น.	2.2	220	484	922.67
13:00 น.	2.2	220	484	951.67
14:00 น.	2.2	220	484	825.33

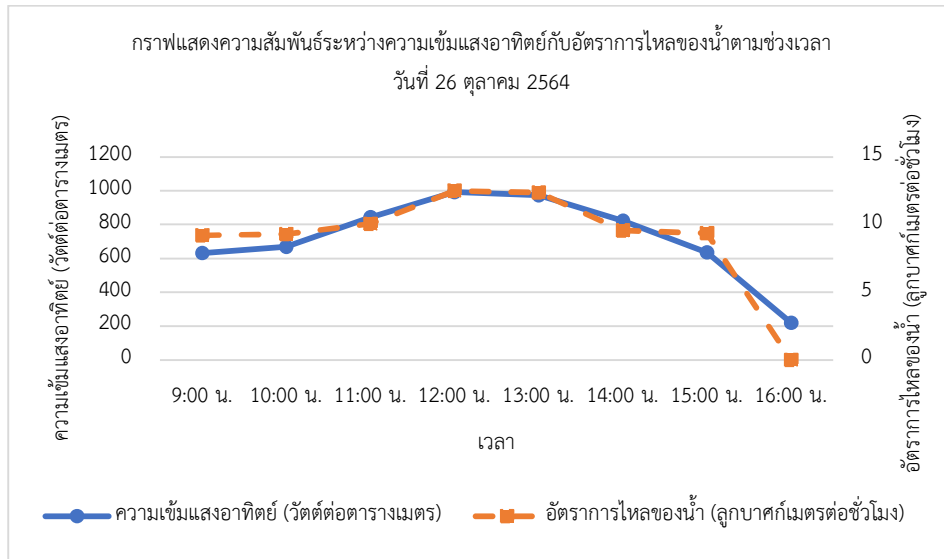
15:00 น.	2.2	220	484	595.00
16:00 น.	1.8	193.33	348	236.00

ข้อมูลการทดลองท่อสูบน้ำพญานาคพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำการทดลอง ณ วันที่ 25 ตุลาคม 2564 แสดงดังภาพที่ 10 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับอัตราการไหลของน้ำตามช่วงเวลาของวัน ซึ่งพบว่าอัตราการไหลของน้ำแปรผันตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์และจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาของวัน โดยจะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. ซึ่งจะให้อัตราการไหลสูงสุดที่ประมาณ 12 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (ความเข้มแสงอาทิตย์ ประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร) โดยระบบจะสามารถทำงานได้ตั้งแต่ช่วงเวลา 09.00-15.00 น. และหยุดทำงานที่เวลา 16.00 น. มีอัตราการไหลเฉลี่ยอยู่ที่ 10.45 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง



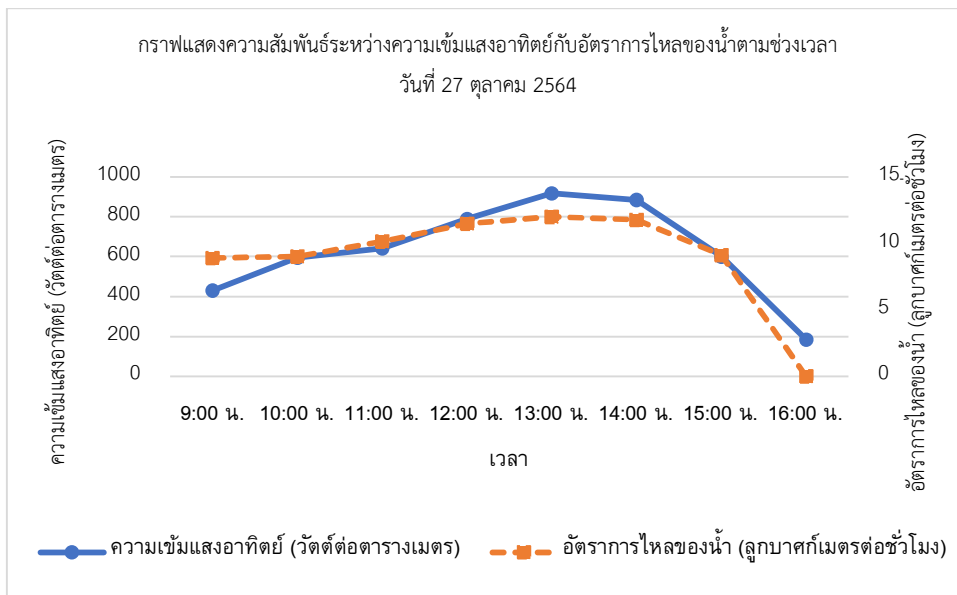
ภาพที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับอัตราการไหลของน้ำ วันที่ 25 ตุลาคม 2564

ชุดการทดลองท่อสูบน้ำพญานาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว ที่ทำการทดลอง ณ วันที่ 26 ตุลาคม 2564 แสดงดังภาพที่ 11 มีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับวันที่ 25 ตุลาคม 2564 คืออัตราการไหลของน้ำแปรผันตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์และจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาของวัน โดยจะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. โดยระบบจะสามารถทำงานได้ตั้งแต่ช่วงเวลา 09.00-15.00 น. และหยุดทำงานที่เวลา 16.00 น. เช่นกัน มีอัตราการไหลเฉลี่ยอยู่ที่ 10.33 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง



ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับอัตราการไหลของน้ำ วันที่ 26 ตุลาคม 2564

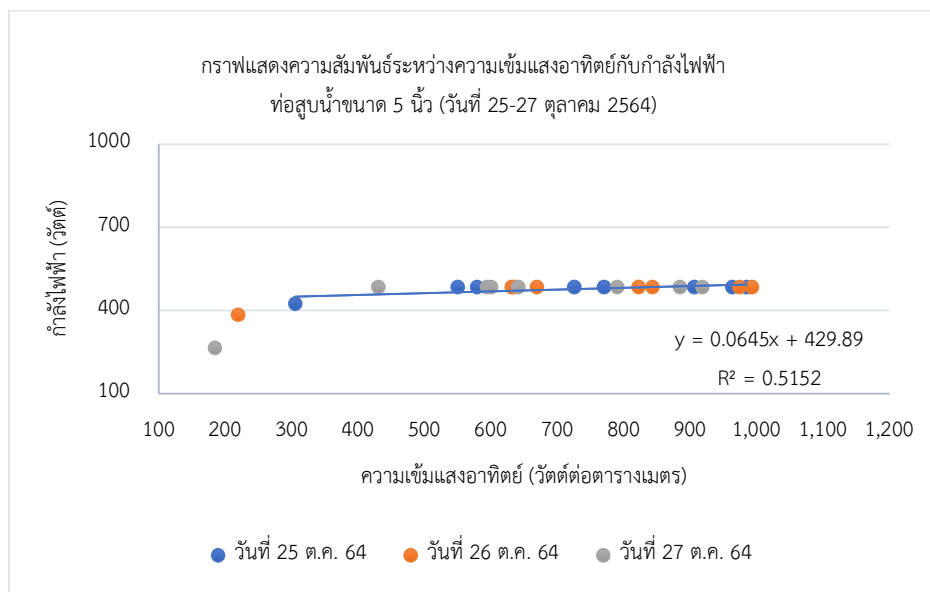
ชุดการทดลองท่อสูบน้ำพญานาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้วที่ทำการทดลอง ณ วันที่ 27 ตุลาคม 2564 แสดงดังภาพที่ 12 มีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับวันที่ทำการทดลอง 2 วันที่ได้กล่าวไปข้างต้น คืออัตราการไหลของน้ำแปรผันตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์และจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาของวัน แต่จะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 12.00-14.00 น. โดยระบบจะสามารถทำงานได้ตั้งแต่ช่วงเวลา 09.00 น. และหยุดทำงานที่เวลา 16.00 น. เช่นกัน มีอัตราการไหลเฉลี่ยอยู่ที่ 10.34 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง



ภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับอัตราการไหลของน้ำ วันที่ 27 ตุลาคม 2564

จากภาพที่ 10-12 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำและความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละวัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของแต่ละวัน ซึ่งในช่วงเช้าความเข้มแสงอาทิตย์ยังต่ำ ทำให้สูบน้ำได้น้อยและอัตราการไหลของน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงสาย จนกระทั่งสูงสุดในช่วงเที่ยงถึงบ่ายโมง ซึ่งจะให้อัตราการไหลของน้ำสูงสุดที่ประมาณ 12 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร จากนั้นอัตราการไหลจะค่อยๆ ลดลงในช่วงบ่ายถึงเย็นโดยระบบสูบน้ำที่อพยพจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำงานในช่วงเวลา 09.00 น. – 15.00 น. และหยุดทำงานที่เวลา 16.00 น. เนื่องจากมีความเข้มแสงอาทิตย์ที่ไม่เพียงพอ กล่าวคือเมื่อมีความเข้มแสงอาทิตย์สูงจะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำที่สูบน้ำได้เพิ่มขึ้น แต่ถ้าความเข้มแสงอาทิตย์น้อยลง จะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำที่สูบน้ำได้ลดลงเช่นกัน

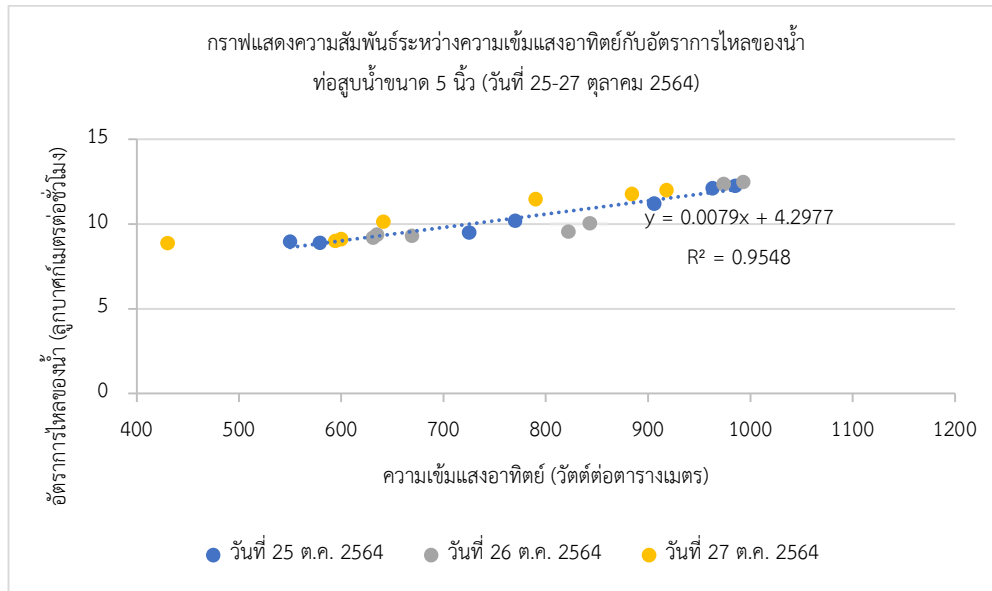
ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่โซลาร์เซลล์ขนาด 2 แรงม้า ขับที่อพยพขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว แสดงดังภาพที่ 13 ซึ่งพบว่ากำลังไฟฟ้าแปรผันตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์ กล่าวคือกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มแสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น โดยความเข้มแสงอาทิตย์ที่ประมาณ 500 วัตต์ต่อตารางเมตรขึ้นไป จะสามารถให้กำลังไฟฟ้าที่คงที่เต็มกำลังของเครื่องสูบน้ำที่อพยพจากพลังงานแสงอาทิตย์ต้องการ ซึ่งหากมีความเข้มแสงอาทิตย์ที่สูงขึ้นกว่านี้ กำลังไฟฟ้าของระบบฯ จะยังคงเท่าเดิมที่ 484 วัตต์ แต่หากความเข้มแสงอาทิตย์น้อยลง กำลังไฟฟ้าของระบบฯ จะลดลงตามความเข้มแสงอาทิตย์ โดยที่ความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำกว่า 300 วัตต์ต่อตารางเมตร กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะไม่เพียงพอต่อการขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำ ทำให้ไม่สามารถสูบน้ำขึ้นได้ ซึ่งปรากฏขึ้นในช่วงเย็นของแต่ละวัน (16:00 น.)



ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับกำลังไฟฟ้า

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับอัตราการไหลของน้ำของเครื่องสูบน้ำที่อพยพจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร จากการทดลองทั้ง 3 วัน แสดงดังภาพที่ 14 (แสดงเฉพาะความเข้มแสงอาทิตย์ที่เพียงพอต่อการสูบน้ำ) ซึ่งพบว่าระบบสามารถทำงานตั้งแต่ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ประมาณ 430 วัตต์ต่อตารางเมตร (มีอัตราการไหลของน้ำต่ำกว่าค่าเฉลี่ยเล็กน้อย) โดยอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 10.38 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ค่อนข้างสม่ำเสมอและใกล้เคียงกัน และสามารถสูบน้ำได้สูงสุดที่อัตราการไหลประมาณ 12 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์

สูงขึ้นที่ประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยสามารถสูบน้ำได้ประมาณ 68 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตลอดช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์เพียงพอให้เครื่องสูบน้ำทำงานได้



ภาพที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์กับอัตราการไหลของน้ำ

### สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่ามอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า มีกำลังเพียงพอในการขับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว มีอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยอยู่ที่ 10.38 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง สามารถทำงานตั้งแต่ความเข้มแสงอาทิตย์ประมาณ 430 วัตต์ต่อตารางเมตร และสามารถสูบน้ำได้สูงสุดที่อัตราการไหลประมาณ 12 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์ สูงขึ้นที่ประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยอัตราการไหลของน้ำแปรผันตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์และจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาของวัน กล่าวคือ เมื่อมีความเข้มแสงอาทิตย์สูงขึ้นจะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำที่สูบได้เพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์น้อยลงจะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำที่สูบได้ลดลงเช่นกัน

นอกจากนี้พบว่าหากต้องการปริมาณการสูบน้ำที่ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง การใช้งานเครื่องสูบน้ำขนาดพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 5 นิ้ว ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า มีความเหมาะสมต่อการทำงานซึ่งสามารถสูบน้ำได้ปริมาณที่มากตั้งแต่ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ต่ำๆ และสามารถสูบน้ำได้อย่างสม่ำเสมอ โดยสามารถสูบน้ำได้ประมาณ 68 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตลอดช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์เพียงพอให้เครื่องสูบน้ำทำงานได้

### ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรทำการทดลองโดยใช้ท่อสูบน้ำขนาดอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของท่อสูบน้ำขนาดต่าง ๆ
- 2) ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยปรับเปลี่ยนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นประเภทอื่น ๆ เช่น Mono Crystalline Silicon, Poly Crystalline Silicon เพื่อเปรียบเทียบการทำงานแต่ละระบบ
- 3) จากการศึกษา พบว่าขนาดท่อ 5 นิ้ว ใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 500 วัตต์สามารถสูบน้ำได้ตึ้นนั้นจึงเล็งเห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้มอเตอร์ขนาดเล็กลง (1 แรงม้า) เพื่อช่วยลดต้นทุนซึ่งควรจะต้องมีการศึกษาต่อไป

### เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติ อภิชัยไพฑูริย์. (2563). การศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนย้าย สำหรับการสูบน้ำเพื่อการเกษตร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [2] ดวงกมล พงศ์ปัญญาธิศ, นภาพรณ จันปัญญา, และ อาภาสิริ เพ็องนคร. (2557). การศึกษาระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์. โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [3] พินิจนันท์ สามาอาพัฒน์. (2557). การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

# การเพิ่มออกซิเจนในน้ำด้วยกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

## Increasing Oxygen in Water Using Solar Water Turbines

พรหมพักตร์ บุญรักษา<sup>1</sup> ชีระพงษ์ บุญรักษา<sup>2</sup> และบุญเรือง มะรังศรี<sup>3\*</sup>  
Promphak Boonraksa<sup>1</sup> Terapong Boonraksa<sup>2</sup> and Boonruang Marungsri<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10170

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครปฐม 73170

<sup>3</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 30000

<sup>1</sup>School of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Bangkokthonburi University, Bangkok 10170

<sup>2</sup>School of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology  
Rattanakosin, Nakorn Pathom 73170

<sup>3</sup>School of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology, 30000

\*Corresponding author: Tel.: 095 361 1555. E-mail address: promphak.dawan@gmail.com

Received: 20 July 2021, Revised: 20 June 2022, Accepted: 14 July 2022, Published online: 30 August 2022

### Abstract

This paper proposed the application of solar energy to generate electricity to drive water turbines in wastewater treatment by aeration of water. The researcher has designed and built a solar-powered water turbine. Using a brushless DC motor (BLDC) 2800 rpm, 350 W, 36 V, 10 A and use the power supply is a polycrystalline solar panel of 260 W,  $V_{oc}$  37.4 V,  $V_{mp}$  30.4 V,  $I_{sc}$  9.11 A,  $I_{mp}$  8.55 A to drive the motor. The experimental test was divided into 2 parts: In the first part, the researcher measured the oxygen concentration in the water before and after installing the solar water turbine. From the results of measuring the oxygen in the water before and after installing the water turbine, it was found that the oxygen in the water When the wastewater treatment turbines were installed for four weeks using a total of 10 turbines, the oxygen value in the water increased by 47 percent. The second step is to calculate the economic value. It was found that the net present value (NPV) was calculated at 257,142.34 baht, and the internal rate of return (IRR) was 28%. The discounted payback period (DPB) of the installation was calculated. 10 solar water turbines, which is 42 months or 3 years and 6 months to pay back, even though the researcher did not take the discount rate and inflation rate into account.

**Keywords:** Photovoltaic, Dissolved Oxygen, Discounted Payback Period

### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนกังหันน้ำ เพื่อทำการบำบัดน้ำเสียด้วยการเติมอากาศให้กับน้ำ คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน (BLDC) จำนวนรอบ 2800 รอบ, ขนาด 350 W, 36 V, 10 A และใช้แหล่งจ่ายพลังงานเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ขนาด 260 W,  $V_{oc}$  37.4 V,  $V_{mp}$  30.4 V,  $I_{sc}$  9.11 A และ  $I_{mp}$  8.55 A เป็นแหล่งจ่ายพลังงานในการขับเคลื่อนมอเตอร์ ทำการทดสอบโดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หนึ่ง

ผู้วิจัยได้ทำการวัดความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำก่อนและหลังทำการติดตั้งกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ จากผลการวัดค่าออกซิเจนในน้ำก่อนและหลังติดตั้งกังหันน้ำพบว่าค่าออกซิเจนในน้ำ เมื่อทำการติดตั้งกังหันน้ำบำบัดน้ำเสียเป็นเวลา 4 สัปดาห์ใช้กังหันน้ำทั้งหมด 10 ตัว พบว่า ค่าออกซิเจนในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์ 47% และ สอง ทำการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ได้ 257,142.34 บาท อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal Rate of Return: IRR) อยู่ที่ 28 % การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Discounted Payback Period: DPB) ของการติดตั้งกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 10 เครื่อง คือ 42 เดือน หรือ 3 ปี 6 เดือน ถึงจะคืนทุน ทั้งที่ผู้วิจัยไม่นำ อัตราคิดลด และอัตราเงินเฟ้อมาคิดร่วมด้วย

**คำสำคัญ:** แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ,ค่าออกซิเจนในน้ำ,ระยะเวลาคืนทุน

### บทนำ

น้ำ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตมนุษย์ ที่ใช้ในการอุปโภคบริโภคในชีวิตประจำวัน และน้ำยังมีบทบาทสูงในการรังสรรค์อารยธรรมความมั่นคงและมั่งคั่งของสังคม มนุษย์ชาติได้ประโยชน์ มหาศาลจากทรัพยากรน้ำมาโดยตลอด แต่ในปัจจุบันปัญหาการเกิดมลพิษทางน้ำ ยังคงมีความรุนแรงขึ้นทุกขณะ เนื่องจากผู้ใช้น้ำส่วนใหญ่ขาดความรู้และจิตสำนึกรับผิดชอบต่อปัญหาที่เกิดขึ้น[1] มลพิษจากน้ำเสียเป็นภัยคุกคามต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตในน้ำเพิ่มมากขึ้น ทั้งแม่น้ำ ลำคลอง และทะเล ถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ใหญ่ที่สุดของมลพิษชายฝั่งทั่วโลก[2]ทั่วโลกประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำเสีย ซึ่งรวมถึงสิ่งปฏิกูลของมนุษย์ที่ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่ได้รับการบำบัดปล่อยสารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายจำนวนมากลงสู่มหาสมุทรและก่อให้เกิดอันตรายโดยตรงต่อผู้คนและสิ่งมีชีวิตในน้ำที่อาศัยอยู่ในน้ำ[3] อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวันของประเทศไทยแสดงดังตารางที่ 1 [4]

ตารางที่ 1 อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน [4]

ภาค	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/คน-วัน)					
	2536	2540	2545	2550	2555	2560
กลาง	160-214	165-242	170-288	176-342	183-406	189-482
เหนือ	183	200	225	252	282	316
ตะวันออกเฉียงเหนือ	200-253	216-263	239-277	264-291	291-306	318-322
ใต้	171	195	204	226	249	275

การบำบัดน้ำเสียจึงเป็นวิธีที่สำคัญที่ถูกนำมาใช้เพื่อทำการบำบัด/ปรับปรุงน้ำเสีย และลดความสกปรกของน้ำก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปจะใช้วิธีการบำบัด เช่น การเพิ่มปริมาณออกซิเจนโดยการเติมอากาศเพื่อให้แบคทีเรียย่อยสลายของเสียในน้ำเสีย หรือการใช้สารเคมีตกตะกอนสีและสารแขวนลอยในน้ำเสีย การใช้แรงเหวี่ยงเพื่อเร่งการตกตะกอนของแข็ง เป็นต้น[5-7] ในงานวิจัยนี้เลือกการบำบัดน้ำเสียโดยวิธีการเติมอากาศให้กับน้ำ โดยใช้กังหันตีน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจนทำให้น้ำเสียมีคุณภาพกลับมาเป็นน้ำดี อีกครั้งหนึ่ง แต่กังหันน้ำที่มีในปัจจุบันส่วนมาก จะขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยระบบไฟฟ้า จากบ้านเรือนหรืออาคาร ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายด้านภาระค่าไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตาม ธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน[8]ทั้งนี้พลังงานแสงอาทิตย์ได้มีบทบาทสำคัญต่อแผนปฏิบัติการด้านภูมิอากาศเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอีกด้วย[9] คณะผู้วิจัยจึง



ได้เลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อทำการขับเคลื่อนกังหันน้ำเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ ทำให้น้ำสามารถกลับมาเป็นน้ำดี ใช้งานได้ตามปกติ รวมถึงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์[10]เพื่อให้เห็นความคุ้มค่าในการลงทุนด้วย

## วิธีการวิจัย

### 1.) การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียด้วยการเติมอากาศเป็นกลไกที่ทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) [11] เพื่อกำจัดแก๊สที่ปนอยู่ในน้ำ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) เหล็ก (Fe) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย การเติมออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ลงในน้ำจัดให้เป็นอุปกรณ์ aerator [12-14]

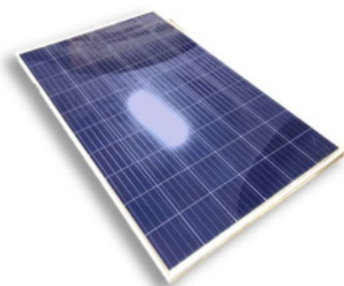


ภาพที่ 1 ตัวอย่างคลองน้ำที่ใช้ระบบการเติมออกซิเจนด้วยกังหันน้ำ (พื้นที่มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี จ.กรุงเทพมหานคร)

### 2.) กังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

#### 2.1) พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากเป็นพลังงานที่มีศักยภาพในการผลิตพลังงานมากกว่าการบริโภคพลังงานของโลกในปัจจุบันหลายเท่าหากใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม [15] พลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ 1. เพื่อผลิตไฟฟ้า 2. สำหรับทำความร้อนหรือแม้แต่ทำความเย็น แต่การที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าจะต้องผ่านอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการรับแสงจากดวงอาทิตย์ แล้วเปลี่ยนพลังงานแสงให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า [16] ในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนกังหันน้ำจนทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจนทำให้น้ำไม่เน่าเสีย คณะผู้วิจัยเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ ขนาด  $260 \text{ W}$ ,  $V_{oc} 37.4 \text{ V}$ ,  $V_{mp} 30.4 \text{ V}$ ,  $I_{sc} 9.11 \text{ A}$  และ  $I_{mp} 8.55 \text{ A}$  ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ มีข้อดีคือ แผงชนิดนี้มีขั้นตอนกระบวนการผลิตที่ง่าย ไม่ซับซ้อน จึงใช้ปริมาณซิลิคอนในการผลิตน้อยกว่า เมื่อเทียบกับ ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ มีประสิทธิภาพในการใช้งานในที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ เล็กน้อย และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ มีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับชนิดโมโนคริสตัลไลน์ [17]



ภาพที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ ขนาด 265 W

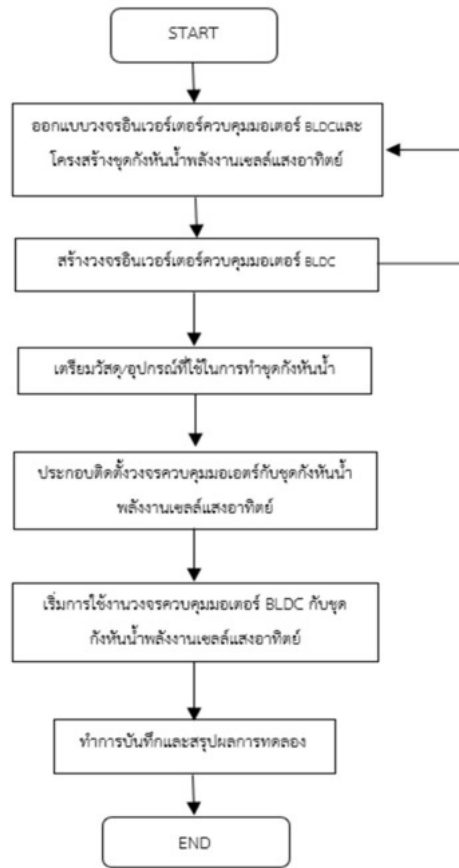
## 2.2) การออกแบบระบบกักเก็บน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

ในการออกแบบและสร้างกักเก็บน้ำพลังงานแสงอาทิตย์นั้นต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดวัสดุ/อุปกรณ์ ที่ใช้ในงานวิจัย

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย
1	แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Poly Crystalline ขนาด 260 W 36 V	1	แผง
2	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน ขนาด 350 W 36 V	1	ตัว
3	ท่อนลอยชุดกักเก็บน้ำ ขนาด 7 นิ้ว	3	ตัว
4	วงล้อตีน้ำ พลาสติก 8 ใบ บุษ ขนาด 35mm	2	ชุด
5	เพลาท่อเหล็กดำ 35mm x 2 m	1	เส้น

ในการจัดทำการศึกษา การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนกักเก็บน้ำ เพื่อทำการบำบัดน้ำเสียด้วยการเติมอากาศให้กับน้ำนั้น ทางคณะผู้จัดทำมีวิธีการดำเนินงาน ตามขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 Flowchart แผนการดำเนินการวิจัย

ภาพที่ 4 เป็นรูปแสดงชิ้นงานเมื่อทำการออกแบบและสร้างกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ 4 ต้นแบบกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น

### 3.) การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ในการจัดทำโครงการต่างๆ โครงการ ผู้วิจัยมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณา เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าการจัดทำโครงการนั้นคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ โดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ช่วยในการตัดสินใจ[18-21] เทคนิคที่นิยมใช้กันทั่วไปมี 4 วิธีดังนี้

3.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน โดยใช้อัตราคิดลด (discount rate) ตัวใดตัวหนึ่งมาปรับมูลค่าของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาให้มาอยู่ที่จุดเดียวกัน คือ ณ ปัจจุบัน วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ หรือ NPV นับเป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุนที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีการนำเรื่องค่าของเงินตามเวลามาร่วมพิจารณา และเป็นการคำนวณกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นตลอดอายุโครงการ

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad (3.1)$$

n = อายุโครงการ (ปี),  $R_t$  = เงินสดเข้า-ออกสุทธิในงวดเดียว t (Net cash inflow-outflows during a single period t), i = อัตราคิดลด (Discount rate), t=Time of cash flow

เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ ถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิที่คำนวณได้ของโครงการมีค่ามากกว่า 0 ก็ตัดสินใจลงทุนหรือยอมรับโครงการนั้น หากมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าน้อยกว่า 0 หรือ มีค่าเป็นลบก็ไม่ลงทุนในโครงการดังกล่าวเนื่องจากไม่คุ้มค่าที่จะลงทุน สำหรับในกรณีที่โครงการลงทุนที่น่าสนใจมากกว่า 1 โครงการ จะต้องจัดอันดับโครงการโดยเรียงลำดับตามมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่คำนวณได้จากค่ามากไปหาน้อย

3.2) อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal Rate of Return: IRR) คือ อัตราคิดลด (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการเท่ากับเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิพอดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ อัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์ เป็นอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยต่อปีที่ผู้ลงทุนจะได้รับจากการลงทุนตลอดอายุโครงการนั่นเอง ในทางปฏิบัติ IRR นิยมนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินโครงการอย่างแพร่หลาย เนื่องจากวิธี IRR นี้มีการแสดงค่าผลตอบแทนเป็นร้อยละ ซึ่งทำให้เข้าใจง่ายและมีความสะดวกในการเปรียบเทียบระหว่างโครงการต่างๆ ที่เป็นทางเลือกของการลงทุนที่มีอยู่ขณะนั้นสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$IRR = r_a + \frac{NPV_a}{NPV_a - NP_b} (r_b - r_a) \quad (3.2)$$

$r_a$  = อัตราคิดลดต่ำสุด (lower discount rate chosen),  $r_b$  = อัตราคิดลดสูงสุด (higher discount rate chosen),  $N_a$  = NPV at  $r_a$ ,  $N_b$  = NPV at  $r_b$

สำหรับเกณฑ์ตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่นั้นจะพิจารณา ดังนี้

- หาก  $IRR >$  ต้นทุนเงินทุน (cost of capital) ของโครงการ ก็ตัดสินใจลงทุน
- หาก  $IRR <$  ต้นทุนเงินทุน (cost of capital) ของโครงการ ก็ตัดสินใจไม่ลงทุน

3.3) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio: B/C) คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดที่ได้รับตลอดอายุโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการนั้น เป็นการเปรียบเทียบระหว่าง

ผลตอบแทนในรูปของกระแสรายได้ที่เกิดขึ้นในอนาคตตลอดอายุโครงการที่มีการปรับค่าให้เป็นมูลค่าปัจจุบันแล้วกับเงินลงทุนเริ่มแรกของโครงการที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน สามารถคำนวณได้ จากสมการ

$$B/C = \frac{\text{รายได้หรือต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน}}{\text{ค่าใช้จ่ายเทียบเท่าปัจจุบัน}} \quad (3.3)$$

ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน อัตราส่วนผลตอบแทนต่อการลงทุนจะมีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ก็ต่อเมื่อ มีค่ามากกว่า 1

3.4 ระยะเวลาคืนทุน (Discounted Payback Period: DPB) คือ ระยะเวลาที่กระแสเงินรับจากโครงการสามารถชดเชย กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการพอดี ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นการหารระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback Period) มีข้อดีตรงที่ง่ายในการคำนวณและใช้ได้เป็นประโยชน์ในกรณีที่มี ภาวะเงินเฟ้อเกิดขึ้น ค่าของเงินจะลดลงถ้ายิ่งระยะเวลาคืนทุนนาน ดังนั้นถ้าคำนวณหาระยะเวลาคืน ทุนได้แล้ว โครงการใดคืนทุนเร็วก็น่าจะเป็นประโยชน์แก่เจ้าของโครงการ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$DPB = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน}}{\text{รายได้สุทธิหรือต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบันต่อปี}} \quad (3.4)$$

รายได้สุทธิหรือต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบันต่อปี ระยะเวลาคืนทุนจะมีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ก็ต่อเมื่อมีระยะเวลา น้อยกว่าอายุของโครงการ (20 ปี)

### ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในส่วนผลการวิจัยของงานวิจัยนี้จะแบ่งผลการวิจัยออกเป็น 2 ส่วนคือ หนึ่ง ผู้วิจัยได้ทำการวัดปริมาณของออกซิเจนในน้ำก่อนและหลังทำการติดตั้งกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ และ สอง ทำการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งมีผลการวิจัยดังนี้

4.1 ผลการวัดค่าออกซิเจนในน้ำก่อนและหลังทำการติดตั้งกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่ผู้วิจัยทำการทดลองเปิดกังหันน้ำเป็นเวลา 1 เดือน ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการบำบัดน้ำเสียด้วยกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับกังหันบำบัดน้ำเสียเดิมรวมจำนวน 10 เครื่อง

ระยะเวลาทดลอง	ค่าออกซิเจนในน้ำ (mg/L)
ก่อนทดลอง	4.25
1 สัปดาห์	4.72
2 สัปดาห์	5.38
3 สัปดาห์	5.67
4 สัปดาห์	6.25

จากตารางที่ 4.1 นำไปพลอตกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าออกซิเจนในน้ำก่อนและหลังทำการติดตั้งกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์, 2 สัปดาห์, 3 สัปดาห์ และ 4 สัปดาห์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ก่อนติดตั้งกังหันน้ำบำบัดน้ำเสียค่าออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 4.25 mg/L ซึ่งเป็นระดับที่ถือว่าน้ำมีการปนเปื้อนมาก พิษและสัตว์น้ำเริ่มได้รับอันตราย ใช้ประโยชน์ได้น้อย เมื่อติดตั้งกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านไปเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ค่าออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 6.25 mg/L ซึ่งเป็นระดับที่ปนเปื้อนปานกลาง สามารถนำไปใช้ในการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมได้ แสดงผลดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กราฟผลการทดลองในตาราง

จากผลการวัดค่าออกซิเจนในน้ำก่อนและหลังติดตั้งกังหันน้ำพบว่าค่าออกซิเจนในน้ำ เมื่อทำการติดตั้งกังหันบำบัดน้ำเสียเป็นเวลา 4 สัปดาห์ใช้กังหันน้ำทั้งหมด 10 ตัว พบว่า ค่าออกซิเจนในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์ 47%

#### 4.2 ผลการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากการออกแบบและสร้างกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งใช้งบประมาณทั้งหมด 12,500 บาท ทำการติดตั้งบำบัดน้ำเสียจำนวน 10 เครื่อง ใช้เงินลงทุนรวม 125,000 บาท ระยะเวลาการใช้งานประมาณ 20 ปี เมื่อนำมาเปรียบเทียบการกังหันน้ำที่ใช้งานอยู่ที่ใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้า ซึ่งมีค่าไฟฟ้ารายเดือนอยู่ที่ 3,000 บาท (โดยเฉลี่ย) ดังนั้น นำไปคำนวณ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ได้ 257,142.34 บาท อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal Rate of Return: IRR) อยู่ที่ 28 % การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Discounted Payback Period: DPB) ของการติดตั้งกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 10 เครื่อง คือ 42 เดือน หรือ 3 ปี 6 เดือน ถึงจะคืนทุน ทั้งนี้ผู้วิจัยไม่นำอัตราคิดลด และอัตราเงินเฟ้อมาคิดร่วมด้วย

#### สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนกังหันน้ำ เพื่อทำการบำบัดน้ำเสียด้วยการเติมอากาศ( $H_2O$ )ให้กับน้ำ คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน (BLDC) จำนวนรอบ 2800 รอบ,ขนาด 350 W ,36 V, 10 A และใช้แหล่งจ่ายพลังงานเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ขนาด 260 W ,Voc 37.4 V ,Vmp 30.4 V ,Isc 9.11 A และ Imp 8.55 A เป็นแหล่งจ่ายพลังงานในการขับเคลื่อนมอเตอร์ ทำการทดสอบโดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หนึ่งผู้วิจัยได้ทำการวัดความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำก่อนและหลังทำการติดตั้งกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ จากผลการวัดค่า

ออกซิเจนในน้ำก่อนและหลังติดตั้งกังหันน้ำพบว่าค่าออกซิเจนในน้ำ เมื่อทำการติดตั้งกังหันบำบัดน้ำเสียเป็นเวลา 4 สัปดาห์ใช้กังหันน้ำทั้งหมด 10 ตัว พบว่า ค่าออกซิเจนในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเปอร์เซ็นต์ 47% และ สอง ทำการคำนวณ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ได้ 257,142.34 บาท อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal Rate of Return: IRR) อยู่ที่ 28 % การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Discounted Payback Period: DPB) ของการติดตั้งกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 10 เครื่อง คือ 42 เดือน หรือ 3 ปี 6 เดือน ถึงจะคืนทุน ทั้งที่ผู้วิจัยไม่ได้นำ อัตราคิดลด และอัตราเงินเฟ้อมาคิดร่วมด้วย

### กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และ ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการให้ติดตั้งและบันทึกผลการวิจัย และสนับสนุน งบประมาณการวิจัยมา ณ ที่นี้ด้วย

### เอกสารอ้างอิง

- [1] กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2561). **คุณภาพน้ำและการจัดการ**. สืบค้นเมื่อ 4 ตุลาคม 2564, จาก [http://pcd.go.th/info\\_serv/water\\_water.htm](http://pcd.go.th/info_serv/water_water.htm).
- [2] Wear, S. and R. Vega Thurber. (2015). **Sewage Pollution: Mitigation is Key for Coral Reef Stewardship**. Annals of the New York Academy of Sciences 1355, 15-30. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.088>.
- [3] UNESCO World Water Assessment Programme. (2017). **The United Nations World Water Development Report. Wastewater the Untapped Resource**. <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2017>.
- [4] สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. (2538). **โครงการศึกษาเพื่อจัดลำดับความสำคัญการจัดการน้ำเสียชุมชน**, สืบค้นเมื่อ 4 ตุลาคม 2564, จาก [http://pcd.go.th/info\\_serv/water\\_wt.html](http://pcd.go.th/info_serv/water_wt.html).
- [5] อุษา อันทอง วิทยาญา ทองเนื้อแข็ง และอาภรณ์ ส่งแสง. (2557). “การพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียและผลิตก๊าซชีวภาพ สำหรับน้ำเสียจากการผลิตยางแผ่นระดับครัวเรือน” , ใน **การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24 ประจำปี 2557**, 18. วันที่ 21-24 พฤษภาคม 2557 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติ ฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี อำเภอบางใหญ่ จังหวัดสงขลา. สงขลา : มหาวิทยาลัยทักษิณ
- [6] ดวงนภา แซ่ลิ้ม. (2549). **การผลิตและการย่อยสลายพอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอตจากน้ำเสียโดยใช้ Ralstonia Eutropha TOSTR 1095**. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [7] Paungfoo, C. (2003). **Use of molecular biology techniques in studying the nitrifying bacteria community from shrimp farming system**. Doctoral dissertation. Songkla: Prince of Songkla University.
- [8] สมาคมพลังงานทดแทนแห่งประเทศไทย.(2564). **เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า**. สืบค้นเมื่อ 4 ตุลาคม 2564, จาก <http://reca.or.th/solar/>

- [9] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2564). การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมและแสงอาทิตย์ กับข้อจำกัดเรื่องขนาดพื้นที่. สืบค้นเมื่อ 4 ตุลาคม 2564,  
จาก [https://www.egat.co.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=793:2014-12-16-07-06-10&catid=49&Itemid=251](https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=793:2014-12-16-07-06-10&catid=49&Itemid=251)
- [10] Prachuab Peerapong.(2021).Performance Analysis and the Returns of Investment of Solar PV in Residential scale: Cases of the Installation in Thawiwatthana District, Bangkok. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 5, วันที่ 29 – 30 เมษายน 2564 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา.
- [11] Ahmad and Boyd (1988), Ahmad, T., & Boyd, C. E. (1988). Design and performance of Paddle Wheel Aerators. *Aquacultural Engineering*, 7(1), 39-62.
- [12] Jayraj P., Subha M. Roy, C.K.Mukherjee and B.C.Mal (2017), Design characteristics of submersible aerator, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 18, 1017- 1023.
- [13] ภารดร ทองเสน และ ยอดชาย เตียเป็น. (2563). เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์.วารสารวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี *Journal of Science and Technology*. 3 (1), 35-44.
- [14] สกล ชุขันธิน, สอนอง ทองปาน, ณัฐพงษ์ เจริญพิทย์. *วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา*. 4 (2) ,77-93
- [15] Serm Janjai. (2017). *Solar Radiation*. (2). Nakhon Pathom: Petchkasem Printing Group Company Limited.
- [16] พรหมพักตร์ บุญรักษา อีระพงษ์ บุญรักษา. ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ .วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา . 8 (2) ,36-47.
- [17] พัชรินทร์ อินทมาส และ พรหมพักตร์ บุญรักษา. (2021). การประยุกต์ใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อลดต้นทุนการผลิต.ในงานประชุมวิชาการ THE 11<sup>th</sup> INTERNATIONAL SCIENCE, SOCIAL SCIENCES, ENGINEERING AND ENERGY CONFERENCE I-SEEC 2021, วันที่ 24-25 มิถุนายน 2564 ในรูปแบบการนำเสนอแบบออนไลน์ ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี.
- [18] การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของโครงการ. สืบค้นเมื่อ 4 ตุลาคม 2564, จาก [https://www.lifestudies.net/Article\\_202\\_08\\_40.html](https://www.lifestudies.net/Article_202_08_40.html)
- [19] กุณทีรา ประทักษ์นุกูล และสุทัศน์ รัตนเกื้อก้งวาน. (2554). การวิเคราะห์เงื่อนไขในการลงทุนสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก.วารสารวิจัยพลังงาน. 8 (2), 87-95
- [20] เกรียงศักดิ์ คูสุวรรณ. (2545). ผลตอบแทนทางด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์ของโครงการผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กกรณีระบบผลิตพลังงานความร้อนและไฟฟ้าร่วมกันโดยใช้ก๊าซธรรมชาติและ ชีวมวล เป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต.ปทุมธานี:มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [21] พินิจนันท์ สามาอาพัฒน์ และธนิต เรืองรุ่งชัยกุล. (2558). การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร. *Thai Journal of Science and Technology (TJST)*. 4 (3) ,217-226



การพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ตรวจสอบสภาพแวดล้อมและการทำงานด้วยตนเอง  
Developing a Smart Solar Panel that Recognizes the Environment and Works by Itself

ศุภวิชญ์ อติชัยศักดิ์<sup>1\*</sup> พลากร พรหมเมศรี<sup>2</sup> และปรุพท์ มะยะเฉี่ยว<sup>3</sup>  
Suppawich Adisaisakda<sup>1\*</sup> Palakorn Prommet<sup>2</sup> and Paroon Mayachearw<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ นราธิวาส 96000

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ นราธิวาส 96000

<sup>3</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ นราธิวาส 96000

<sup>1</sup>Technology and Innovation Management, Faculty of Engineering,  
Princess of Naradhiwas University, Narathiwat 96000

<sup>2</sup>Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University, Narathiwat 96000

<sup>3</sup>Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University, Narathiwat 96000

\*Corresponding author: Tel: 087 569 3599. E-mail address: Suppawich.A@pnu.ac.th

Received: 22 July 2021, Revised: 16 June 2022, Accepted: 14 July 2022, Published online: 30 August 2022

### Abstract

This research paper presents developing a smart solar panel that recognizes the environment and works by itself. The system measures the environment and the work of solar panels using a total of 6 types of sensors, air dust measurement device (PMS7003 G7), light intensity measurement device (BH1750), temperature measurement device and Humidity (DHT22), solar panel temperature sensing (DS18B20), current sensing (ACS274) and voltage divider circuit sensor. Using LoRa32u4 board to receive data from sensor and transmit data wirelessly by wave. 433.00 MHz frequency to the laboratory to collect data in cloud computer format (ThingSpeak) collected every 30 minutes and display the measurement results from the measuring device in real-time and historical graphs. From the experiment, it was found that The amount of light intensity and temperature of the solar panel Affects the power generation for the load. At 11:00 AM, the power was 26.48 W at a solar panel temperature of 38.93 °C and a light intensity of 32,319 Lux, and at 11:30 a.m. the power was 24.95 W. at a solar panel temperature of 50.43 °C and a light intensity of 44,338 Lux.

**Keywords:** Solar Panel, Cloud Computer

## บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ นำเสนอการพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ตรวจรู้สภาพแวดล้อมและการทำงานด้วยตนเอง โดยระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้อุปกรณ์ตรวจวัด ทั้งสิ้น 6 ชนิด ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณฝุ่นในอากาศ (PMS7003 G7) อุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณความเข้มแสง (BH1750) อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT22) อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (DS18B20) อุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า (ACS274) และวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider) และใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ LoRa32u4 รับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดและส่งข้อมูลแบบไร้สายด้วยคลื่นความถี่ 433.00 MHz ไปยังห้องปฏิบัติการ เพื่อเก็บข้อมูลในรูปแบบคลาวด์คอมพิวเตอร์ (ThingSpeak) โดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 30 นาที และแสดงผลการตรวจวัดจากอุปกรณ์ตรวจวัดในรูปแบบกราฟเวลาจริงและย้อนหลัง จากการทดลองพบว่า ปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีผลต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด โดยช่วงเวลา 11:00 น. มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 26.48 W ที่อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 38.93 °C และความเข้มแสง 32,319 Lux และช่วง 11:30 น. มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 24.95 W ที่อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 50.43 °C และความเข้มแสง 44,338 Lux

**คำสำคัญ:** แผงเซลล์แสงอาทิตย์ คลาวด์คอมพิวเตอร์

## บทนำ

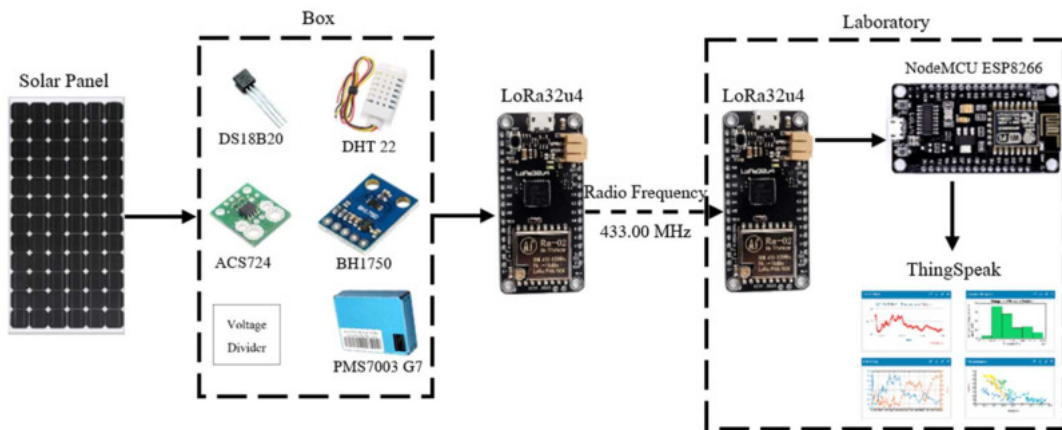
ปัจจุบันมีการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มาผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทั้งในรูปแบบของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก การติดตั้งระบบบนหลังคาบ้านพักอาศัยหรืออาคารสูง ซึ่งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านเรือนหรือพื้นที่เข้าถึงได้ยาก ทำให้การทราบสภาพแวดล้อมบริเวณแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นทำได้ยาก และต้องมีระบบและอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อน โดยประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น อุณหภูมิที่สูงขึ้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะส่งผลการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [1-4] และความชื้นสัมพัทธ์บริเวณแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถึงร้อยละ 15-30 [5]

เนื่องจาก สภาพแวดล้อมบริเวณแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าและอายุการใช้งานซึ่งค่าองค์ประกอบสภาพแวดล้อมที่ส่งผลกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นประกอบด้วย อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง และปริมาณฝุ่นในอากาศที่ส่งผลกับความเข้มแสงที่ตกกระทบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [6-8] และในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ทั่วไปจะใช้วิธีการตรวจวัดสภาพแวดล้อมโดยภาพรวมทำให้ไม่ทราบสภาพแวดล้อมบริเวณแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

จากความเป็นมาและปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถตรวจวัดสภาพแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการตรวจวัด ค่าปริมาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าความเข้มแสง ปริมาณฝุ่นในอากาศ อุณหภูมิโดยรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ เพื่อเก็บข้อมูลในรูปแบบคลาวด์คอมพิวเตอร์ (ThingSpeak) โดยเก็บข้อมูลและแสดงผลการตรวจวัดจากอุปกรณ์ตรวจวัดในรูปแบบกราฟเวลาจริงและสามารถเรียกดูผลของสภาพแวดล้อมและการทำงานย้อนหลังได้

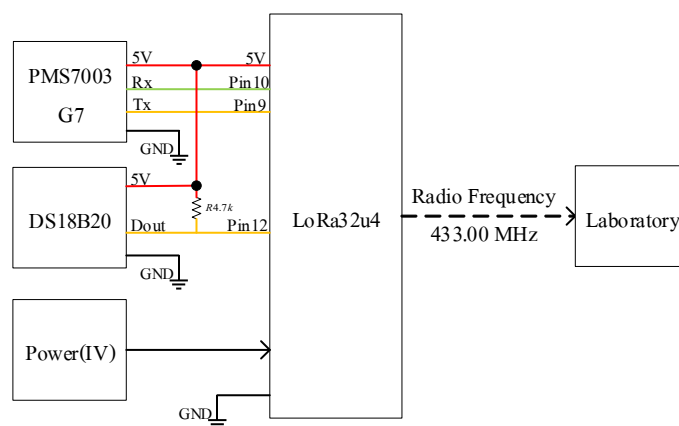
## วิธีการวิจัย

การวัดสภาพแวดล้อมและการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้ออกแบบแผงปรินต์วงจร (PCB) สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ลอรา (LoRa32u4) และเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดสภาพแวดล้อมบริเวณแผงเซลล์แสงอาทิตย์และตรวจวัดการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ให้มีขนาดเล็กและบรรจุอยู่ในกล่องพลาสติกโดยติดตั้งไว้ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 320 w 40 V ต่อกับตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (Rheostat) ขนาด 1 A 330 Ω เป็นภาระทางไฟฟ้า (Load)



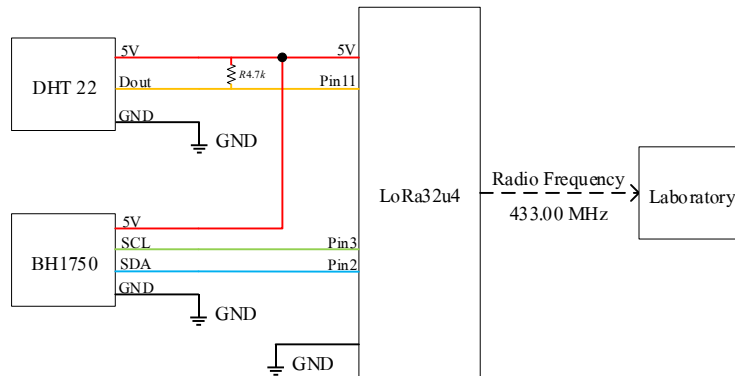
ภาพที่ 1 โดอะแกรมระบบวัดสภาพแวดล้อมและการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 1 บอร์ด LoRa32u4 เป็นตัวประมวลผลและรับค่าจาก เซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider) และกระแส (ACS724) ปริมาณฝุ่นในอากาศ (PMS7003 G7) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (DHT22) ปริมาณความเข้มแสง (BH1750) และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (DS18B20) โดยบอร์ด LoRa32u4 ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ 433.00 MHz กลับไปยังห้องปฏิบัติการที่กำหนดเพื่อแสดงผลบนคลาวด์คอมพิวเตอร์ ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 30 นาที ตั้งแต่เวลา 07:30-18:30 น.



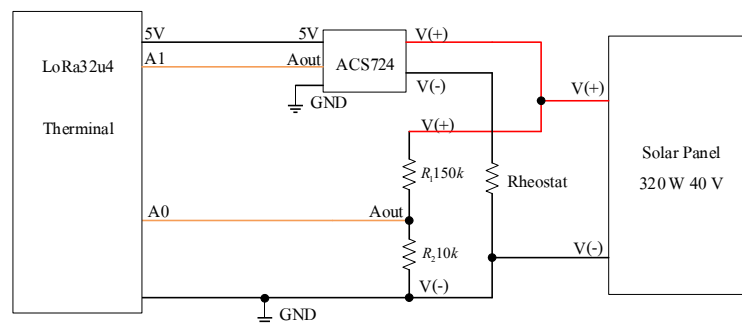
ภาพที่ 2 เซนเซอร์ภายในกล่องและการเชื่อมต่อเซนเซอร์กับบอร์ด LoRa32u4

จากภาพที่ 2 เซนเซอร์วัดปริมาณฝุ่น ติดตั้งไว้ในกล่องโดยเจาะรูสำหรับอากาศเข้า-ออก เพื่อให้สามารถวัดปริมาณฝุ่นได้ ซึ่งวัดทำการวัดปริมาณฝุ่นขนาด 10 ไมโครเมตร (PM10) มีหน่วยเป็น ไมโครเมตรต่อลูกบาศก์เมตร ( $\mu\text{m}/\text{m}^3$ ) และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างกันติดตั้งโดยสัมผัสกับด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวัดออกมาในหน่วยองศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )



ภาพที่ 3 เซนเซอร์ภายนอกกล่องและการเชื่อมต่อเซนเซอร์กับบอร์ด LoRa32u4

จากภาพที่ 3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ติดตั้งไว้บนกล่องเพื่อไม่ให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับเซนเซอร์ โดยวัดอุณหภูมิในอากาศออกมาในหน่วยองศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%)



ภาพที่ 4 การวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าเชื่อมต่อกับบอร์ด LoRa32u4

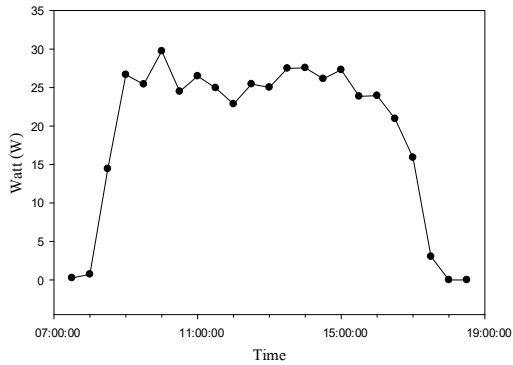
จากภาพที่ 4 การวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะใช้วงจรแบ่งแรงดัน ลดระดับแรงดันไฟฟ้าให้แรงดันตกคร่อมค่าความต้านทาน  $R_2$  ไม่เกิน 3.3 โวลต์ เนื่องจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ LoRa32u4 รับสัญญาณอนาล็อกและดิจิตอลสูงสุดได้ที่ 3.3 V และในการวัดกระแสไฟฟ้าจะใช้เซนเซอร์กระแสไฟฟ้า ACS724 ขนาด 10 A ต่ออนุกรมกับค่าความต้านทานชนิดปรับค่าได้ ขนาด 1 A 330  $\Omega$

### ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

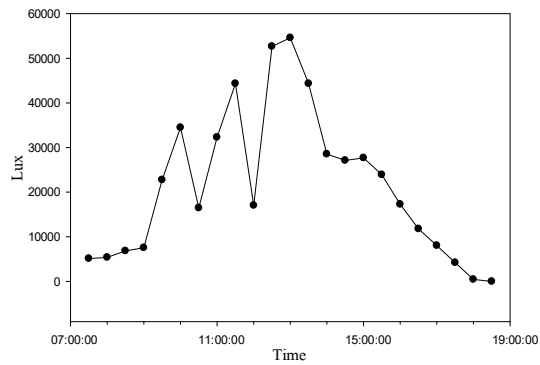
ผู้วิจัยได้บันทึกค่าจากเซนเซอร์ วัดแรงดันกระแสไฟฟ้าของแผงฯ วัดอุณหภูมิและความชื้นบริเวณแผงฯ วัดปริมาณฝุ่น PM 10 บริเวณแผงฯ และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแผงฯ ตั้งแต่ช่วงเวลา 7:30 น. ถึง 18:30 น. โดยบันทึกข้อมูลบนคลาวด์คอมพิวเตอร์ ThingSpeak ทุก ๆ 30 นาที และนำข้อมูลมาบันทึกลงในตารางที่ 1 ซึ่งการทดลองวัดสภาพแวดล้อมบริเวณแผงเซลล์แสงอาทิตย์และผลของกำลังไฟฟ้า ซึ่งเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ กับปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ใน 1 วันโดยใช้ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้เป็นภาระทางไฟฟ้า

**ตารางที่ 1** ค่าจากเซนเซอร์ วัดแรงดันกระแสไฟฟ้าของแผงฯ วัดอุณหภูมิและความชื้นบริเวณแผงฯ วัดปริมาณฝุ่น PM 10 บริเวณแผงฯ และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแผงฯ ช่วงเวลา 7:30 น. ถึง 18:30 น.

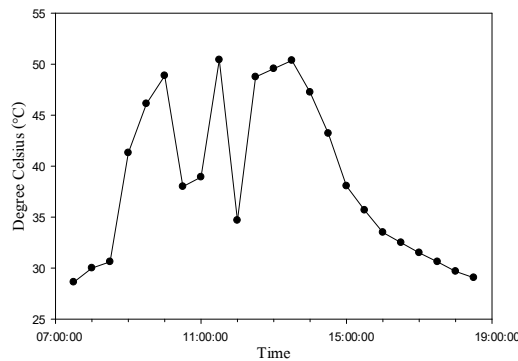
เวลา	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)	ฝุ่น PM 10 ( $\mu\text{m}/\text{m}^3$ )	อุณหภูมิแผงฯ (°C)	ความเข้มแสง (Lux)
7:30:00	5.28	0.05	0.26	27.3	86.5	22	28.62	5133
8:00:00	5.19	0.14	0.73	27.7	86.2	19	30	5381
8:30:00	25.79	0.56	14.44	29.5	80.5	22	30.62	6833
9:00:00	37.03	0.72	26.66	31.3	72.3	16	41.31	7545
9:30:00	36.84	0.69	25.42	36.2	60.5	15	46.12	22774
10:00:00	36.26	0.82	29.73	40.4	47.6	14	48.87	34508
10:30:00	33.09	0.74	24.49	35.2	55.4	16	38	16460
11:00:00	35.78	0.74	26.48	35.2	54.2	21	38.93	32319
11:30:00	36.69	0.68	24.95	40.1	43.5	17	50.43	44338
12:00:00	34.63	0.66	22.86	32.9	60.6	16	34.68	17030
12:30:00	36.36	0.7	25.45	40.2	44.3	30	48.75	52658
13:00:00	36.26	0.69	25.02	39.7	44.2	14	49.56	54612
13:30:00	36.17	0.76	27.49	40.4	42.1	16	50.37	44338
14:00:00	36.26	0.76	27.56	39.4	41.8	8	47.25	28538
14:30:00	36.31	0.72	26.14	36.7	44.5	16	43.21	27128
15:00:00	36.41	0.75	27.31	35.3	49.9	16	38.06	27706
15:30:00	34.58	0.69	23.86	34	54.6	18	35.68	23934
16:00:00	35.21	0.68	23.94	32.4	58.4	10	33.5	17264
16:30:00	33.77	0.62	20.94	31.6	62.4	15	32.5	11794
17:00:00	27.89	0.57	15.90	31.2	64	20	31.5	8049
17:30:00	11.24	0.27	3.03	30.8	64.7	20	30.62	4214
18:00:00	1.87	0	0.00	30.3	67.5	12	29.68	462
18:30:00	0	0	0.00	29.8	70.7	15	29.06	0



(ก) กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลด



(ข) ปริมาณความเข้มแสง



(ค) อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ภาพที่ 5 กราฟเปรียบเทียบการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแผงฯกับปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 5 ปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีผลต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด โดยในช่วงเวลาที่อุณหภูมิแผงมีค่าต่ำคือช่วง 11:00 น. ถึง 11:30 น. โดยช่วง 11:00 น. มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 26.48 W ที่อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 38.93 °C และความเข้มแสง 32319 Lux และช่วง 11:30 น. มีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 24.95 W ที่อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 50.43 °C และความเข้มแสง 44,338 Lux

### ผลการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์กับเครื่องมือวัดมาตรฐาน

การเปรียบเทียบหาค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์ปริมาณความเข้มแสงได้เปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนกับเครื่องมือวัด Tenmars Lux/FC Light meter รุ่นTM-202 เซนเซอร์วัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า ได้เปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนกับเครื่องมือวัด UNI-T รุ่นUT210D โดยเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนในช่วงเวลา 13:00 น. พบว่าเซนเซอร์วัดแรงดันมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 9.15 เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ACS724 มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.43 เซนเซอร์วัดปริมาณความเข้มแสงมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10.62 และมีความคลาดเคลื่อนในภาพรวมร้อยละ 7.06 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบระหว่างเซนเซอร์วัดแรงดัน กระแสไฟฟ้าและปริมาณความเข้มแสงกับเครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐาน

เวลา	แรงดัน (V)		กระแสไฟฟ้า (A)		ปริมาณความเข้มแสง (Lux)		ค่าความคลาดเคลื่อนภาพรวม (ร้อยละ)
	Sensor	UNI-T รุ่น UT210D	Sensor	UNI-T รุ่น UT210D	Sensor	Tenmars Light meter รุ่นTM-202	
13:00:00	36.26	39.91	0.69	0.7	54612	61100	7.06

### สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะที่ตรวจรู้สภาพแวดล้อมและการทำงานด้วยตนเอง สามารถบันทึกข้อมูลทุกๆ 30 นาที ไว้บนคลาวด์คอมพิวเตอร์ ThingSpeak และแสดงข้อมูลย้อนหลังในรูปแบบกราฟและไฟล์ Excel โดยบันทึกข้อมูลจากเซนเซอร์ วัดแรงดันไฟฟ้า วัดกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ปริมาณฝุ่น PM10 ในอากาศ และปริมาณความเข้มแสง การตรวจวัดสภาพแวดล้อมบริเวณแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้การหาแนวทางปรับปรุงพื้นที่ หรือปรับปรุงระบบนั้นทำได้ง่ายขึ้น จากการทดลองพบว่า ปริมาณความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์แปรผกผันกัน เมื่อค่าปริมาณความเข้มแสงมีค่ามากและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดและปริมาณฝุ่น PM10 นั้นส่งผลกระทบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยเมื่อเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์และปริมาณความเข้มแสง

### เอกสารอ้างอิง

- [1] สิทธิพัฒน์ ภูทอง วิชาญ วิมานจันทร์ และปรีดา จันทวงษ์. (2561). “การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ละอองน้ำลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์”, ใน การประชุมวิชาการเสนอมผลงานวิจัยระดับชาติครั้งที่ 2, วันที่ 30 พฤศจิกายน 2561 ณ อาคาร 21 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร.
- [2] N.H. Zaini, M. Z. Ab Kadir, M. Izadi, N.I. Ahmad, M.A.M Radzi and N. Azis. (2015). The Effect of Temperature on a Mono-crystalline Solar PV Panel. **IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)**, Johor Bahru, Malaysia, 19-20 October 2015.
- [3] V.Jafari Fesharaki, Majid Dehghani, J. Jafari Fesharaki. (2011). The Effect of Temperature on Photovoltaic Cell Efficiency. **EETEC, Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation - ETEC Tehran**, Tehran, Iran, 20-21 November 2011.
- [4] Armstrong O. Njok, Julie C. Ogbulezie. (2018). The Effect of Relative Humidity and Temperature on Polycrystalline Solar Panels Installed close to a River. **Physical Science International Journal**. 20 (4), 1-11.
- [5] Hussein A Kazem, Miqdam T Chaichan. (2015). Effect of Humidity on Photovoltaic Performance Based on Experimental Study. **International Journal of Applied Engineering Research** ISSN. 10, 43572-43577.
- [6] Shaharin Anwar Sulaiman, Atul Kumar Singh, Mior Maarof Mokhtar, Mohammed A. Bou-Rabee. (2014). Influence of Dirt Accumulation on Performance of PV Panels. **Energy Procedia**. 50, 50-56.

- [7] Ali Omar Mohamed, Abdulazez Hasan. (2012). Effect of Dust Accumulation on Performance of Photovoltaic Solar Modules in Sahara Environment. **Journal of Basic and Applied Scientific Research**. 2(11), 11030-11036
- [8] Shahrin A. Sulaiman, Haizatul H. Hussain, Nik Leh, and Mohd S. I. Razali. (2011). Effects of Dust on the Performance of PV Panels. **International Scholarly and Scientific Research & Innovation**. 5(10), 2021-2026.



# การพัฒนาระบบ NILM สำหรับการจัดการพลังงานโดยการประยุกต์ใช้ AlexNet Model NILM Development for Energy Management Systems by Applying AlexNet Model

สรายุทธ์ แยมประยูร<sup>1</sup> และจ๊กรี ศรีนนท์ฉัตร<sup>1\*</sup>  
Sarayut Yaemprayoon<sup>1</sup> and Jakkree Srinonchat<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110  
Electronic and Telecommunication Engineering,  
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110

\*Corresponding author: Tel.: 089 777 5038. E-mail address: jakkree.s@en.rmutt.ac.th

*Received: 13 February 2022, Revised: 31 March 2022, Accepted: 18 April 2022, Published online: 30 August 2022*

## Abstract

Energy conservation aims to reduce the energy used for residential homes, office buildings and industry, which is cost-saving and reduces environmental problems caused by energy source usage and production. Therefore, the load monitoring technique of using electrical appliances or electrical loads has been developed to be an intelligent device to support the energy conservation system. Non-intrusive load monitoring (NILM) is recently a research area interested in measuring electrical power consumption. This paper presents a new NILM design for electrical appliance classification by using the transient current pattern when each electrical appliance is turned on and off and recording current data with a high sampling rate using the Field-Programmable Gate Array (FPGA). These current characteristics are classified with the kurtogram technique and analyzed with the Convolutional Neural Network (CNN) based on the AlexNet model. The proposed system was tested on five different appliances for analyzing the accuracy of appliance classification and operation in the on-off state of the appliance. The results showed that the proposed system provides an accuracy of 98.56% of the load operating conditions

**Keywords:** Non-instructive load monitoring, Kurtogram image, Convolutional neural network, Deep learning



## บทคัดย่อ

การอนุรักษ์พลังงานมีจุดประสงค์ที่จะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานสำหรับบ้านเรือนที่อยู่อาศัย อาคารสำนักงานและภาคอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากแหล่งที่ใช้และผลิตพลังงาน ดังนั้นเทคนิคการรับรู้สถานะการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือโหลดทางไฟฟ้าในผู้ใช้ไฟฟ้าจึงมีการพัฒนาให้มีความฉลาดเพื่อรองรับระบบการอนุรักษ์พลังงาน ปัจจุบันการตรวจสอบโหลดแบบไม่ล่วงล้ำ (Non-intrusive load monitoring : NILM) เป็นงานวิจัยที่ได้รับความสนใจเพื่อนำไปใช้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบ NILM แบบใหม่เพื่อการจำแนกชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยการตรวจสอบรูปแบบกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงชั่วขณะแบบทรานเซียนส์ (Transient Current) ขณะเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวและทำการบันทึกข้อมูลกระแสไฟฟ้าด้วยอัตราการสุ่มตัวอย่างความเร็วสูงด้วย Field-Programmable Gate Array (FPGA) จากนั้นข้อมูลกระแสไฟฟ้าจะถูกแยกแยะคุณลักษณะเฉพาะตัวด้วยเทคนิค kurtogram และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี Convolutional Neural Network (CNN) ชนิด AlexNet ระบบที่นำเสนอได้ดำเนินการทดสอบกับเครื่องใช้ไฟฟ้าห้าชนิด และได้วิเคราะห์ความถูกต้องในการจำแนกชนิดอุปกรณ์และการทำงานในสถานะเปิด-ปิดอุปกรณ์ ผลการวิจัยพบว่าระบบที่นำเสนอให้ค่าความถูกต้องในการตรวจสอบสถานะการทำงานของโหลดอยู่ที่ร้อยละ 98.56

**คำสำคัญ:** การตรวจสอบโหลดแบบไม่ล่วงล้ำ, ภาพ Kurtogram, โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน, การเรียนรู้เชิงลึก

## บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาเรื่องการขาดแคลนพลังงานเป็นสิ่งที่สำคัญมาก การอนุรักษ์พลังงานเพื่อการมีพลังงานใช้อย่างยั่งยืนจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทุกภาคส่วนจึงมีนโยบายอย่างจริงจังในการอนุรักษ์พลังงาน สำหรับในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย ภายในอาคารขนาดใหญ่ และภาคอุตสาหกรรมก็สามารถดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้ การจัดการพลังงานจึงเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้สำหรับการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งการดำเนินงานให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการอนุรักษ์พลังงานใช้วิธี ระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System : EMS) หมายถึงระบบอัตโนมัติที่นำเข้ามาใช้ในการควบคุมการผลิตพลังงาน การส่งพลังงาน และการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพที่สุด ในส่วนของการบริหารจัดการพลังงานในด้านของผู้ใช้ไฟฟ้า ทั้งบ้านเรือนที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน และภาคอุตสาหกรรม การบริหารจัดการพลังงานจะหมายถึงระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้านเรือน ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร และระบบบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม โดยการทำงานของระบบการจัดการพลังงานจะเป็นการควบคุมการใช้พลังงานอย่างเหมาะสมที่สุด ระบบบริหารจัดการพลังงานเหล่านี้จะเป็นการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงาน (Sensor) สมาร์ทมิเตอร์ (Smart Meter) และระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติ (Actuator หรือ Controller) ซึ่งทำงานบนระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology : IT) ระบบบริหารจัดการพลังงานจะรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ ที่กระจายตัวอยู่ทั่วไป เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ ในช่วงเวลานั้นได้เป็นต้น โดยข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลในส่วนกลางเพื่อการแสดงผลอย่างเป็นระบบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความเข้าใจพฤติกรรมการใช้พลังงานของตนเองมากขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้สามารถระบุแนวทางหรือศักยภาพที่เป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานให้เหมาะสมมากขึ้น นอกจากนี้ ระบบจะใช้ข้อมูลที่รวบรวมมาในการประมวลผลและวิเคราะห์ผลเพื่อหาแนวทางการบริหารจัดการพลังงานที่เหมาะสมที่สุดอีกด้วย

ระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้านเรือน (Home Energy Management System : HEMS) และระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management System : BEMS) จะเชื่อมโยงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และระบบต่างๆ ซึ่งใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนหรืออาคารพาณิชย์เข้าด้วยกันภายใต้ระบบควบคุมส่วนกลาง การควบคุมการใช้พลังงานสำหรับ

HEMS จะมีสเกลที่เล็กกว่า BEMS แต่มีลักษณะการควบคุมที่เหมือนกัน ซึ่งจะถูกควบคุมผ่านส่วนกลางโดยหลักแล้วสิ่งที่ถูกควบคุมในการจัดการการใช้พลังงานคือการควบคุมระบบปรับอากาศ ระบบทำความร้อนและระบายอากาศ (Heating, Ventilation, and Air Conditioning : HVAC) และระบบควบคุมแสงสว่างในอาคารเป็นต้น ในอนาคตเมื่อมีการใช้แหล่งพลังงานทดแทนมาเป็นแหล่งพลังงานร่วม เช่นโซลาร์เซลล์บนหลังคา (Rooftop solar cell) การจัดสรรการใช้พลังงานจากสองแหล่งจ่ายเช่นนี้ก็จะถูกนำมาใช้เช่นกัน สำหรับระบบการบริหารจัดการพลังงานสำหรับอุตสาหกรรม (Factory Energy Management System: FEMS) เป็นระบบจัดการพลังงานที่ใช้ควบคุมการผลิต การซื้อ การส่ง การจำหน่าย และการใช้พลังงานในการกระบวนการผลิตของโรงงาน มีสเกลที่ใหญ่กว่าระบบ HEMS หรือ BEMS จึงมีความซับซ้อนมากกว่า นอกจากการจัดการกระบวนการผลิตแล้ว อาจหมายรวมถึงการบำรุงรักษาระบบอีกด้วย และการควบคุมอาจจะเป็นแบบกระจายศูนย์หรือรวมศูนย์ ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบ แต่อย่างไรก็ดีวิธีการวัดการใช้พลังงานก็ยังคงอยู่บนพื้นฐานของการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงาน, สมาร์ทมิเตอร์, และระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติ, และการทำงานบนระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ดำเนินงานวิจัยบนพื้นฐานดังกล่าว แต่ได้พัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการอ่านค่าพลังงานและวิธีการวิเคราะห์การใช้พลังงานในรูปแบบ NILM ซึ่งเป็นพื้นฐานของการนำข้อมูลไปใช้ในการจัดการพลังงานต่อไป

### วัตถุประสงค์การวิจัย

ขั้นตอนพื้นฐานแต่มีความสำคัญมากต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงานในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย ภายในอาคารสำนักงาน และภาคอุตสาหกรรม คือการตรวจสอบการใช้พลังงาน เพื่อนำมาควบคุมการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ดังนั้นในการตรวจสอบพลังงานที่ถูกใช้จากการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัวจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องวัดพลังงานให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกตัวซึ่งมีความสิ้นเปลืองมาก แต่ด้วยวิธีการตรวจสอบพลังงานรวมที่เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดด้วยวิธีการตรวจสอบโหลดแบบ NILM ถูกนำมาใช้ โดยจะระบุการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์โดยวัดการติดตามพลังงานรวมที่จุดศูนย์กลางเพียงจุดเดียว จากนั้นจึงแยกแยะการใช้พลังงานสำหรับอุปกรณ์แต่ละตัวโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent : AI) ในงานนี้จึงได้พัฒนาระบบ NILM สำหรับระบบบริหารจัดการพลังงาน ซึ่งพัฒนาบนพื้นฐานการทำงานของ สมาร์ทมิเตอร์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการทำงานของระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติ ซึ่งระบบจะใช้ข้อมูลที่รวบรวมมาในการประมวลผลและวิเคราะห์ผลเพื่อหาแนวทางการบริหารจัดการพลังงานที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

### วิธีการวิจัย

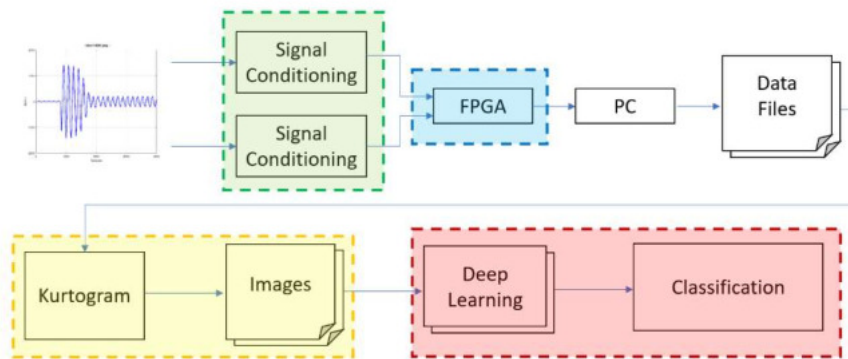
การทำงานของระบบ NILM นั้นจะทำการจำแนกตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานจากรูปแบบกระแสไฟฟ้าที่ถูกใช้โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัว การทำงานส่วนใหญ่อยู่บนพื้นฐานของการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) วิธีการทำงานเริ่มจากการวัดกระแสไฟฟ้าหรือกำลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้โดยเครื่องใช้ไฟฟ้า จากนั้นทำการสกัดฟีเจอร์ของข้อมูล (Feature Extraction) เพื่อลดมิติของข้อมูลและให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัว การวัดกระแสไฟฟ้าหรือกำลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์นั้นข้อมูลที่ได้จากการวัดจะเป็นข้อมูลแบบ 1 มิติ แต่การนำเสนอข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์นั้นมีการนำเสนอข้อมูลแบบ 1 มิติ และแบบ 2 มิติ ในกรณีที่น่าเสนอข้อมูลแบบ 2 มิติ ตัวข้อมูลกระแสไฟฟ้าหรือพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกนำเสนอในรูปแบบของข้อมูลภาพ ข้อมูลภาพนี้จึงเป็นตัวแทนของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัวซึ่งในที่นี้เรียกว่า “คลาส” (Class) ดังนั้นภาพที่ได้จากการวัดกระแสไฟฟ้าหรือกำลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละคลาสจะแตกต่างกันไป ภาพที่ได้นี้จะถูกนำมาสกัดฟีเจอร์ (Feature) และจะถูกนำไปฝึกอบรมโมเดลที่ใช้สำหรับจัดกลุ่มข้อมูลต่อไป ดังนั้นงานที่น่าเสนอก่อนหน้านี้ได้นำเสนอวิธีการทำการสกัดฟีเจอร์แบบต่างๆ และมีการนำเสนอการเก็บข้อมูลที่แตกต่างกันด้วย การเก็บข้อมูลใช้วิธีการสุ่ม

(Sampling) สัญญาณ ซึ่งในแต่ละงานใช้ช่วงเวลาในการสุ่มสัญญาณที่ต่างกัน และมีระยะเวลาในการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าหรือพลังงานที่ใช้ที่ต่างกันด้วย ในงานวิจัยก่อนหน้ามีการนำเสนอการแยกชนิดของอุปกรณ์ด้วยการตรวจสอบการเปิด/ปิดอุปกรณ์ [1-2] วิธีนี้ใช้การสุ่มสัญญาณด้วยอัตราสุ่มต่ำ (0.1 Hz) แต่เมื่อใช้ข้อมูลความถี่ต่ำค่าพีเจอร์ของข้อมูลที่นำมาใช้จึงเป็นระดับพลังงานและระยะเวลาเปิด/ปิดของอุปกรณ์ ทำให้เกิดข้อดีของระบบคือจะสามารถตรวจจับได้เฉพาะอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานมากเท่านั้น และต้องใช้เวลาในการตรวจสอบนานเพื่อตรวจวัดพลังงานที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามเพื่อแก้ปัญหาจึงได้มีการพัฒนาการวัดแบบละเอียดเพื่อเก็บข้อมูลที่มีอัตราสุ่มสูงขึ้น และมีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น การวิเคราะห์ลักษณะของกราฟแรงดัน-กระแส (V-I) [3-7] การวิเคราะห์ฮาร์มอนิก [8], การวิเคราะห์ส่วนประกอบความถี่ [9] จากสัญญาณช่วงสภาวะคงที่ (Steady state) ของสัญญาณกระแสและแรงดัน และการวิเคราะห์ขอบของพลังงาน (Power Edge) [10] ซึ่งเป็นสัญญาณกระแสที่เกิดขึ้นขณะเปิดอุปกรณ์และปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า การวิเคราะห์ขอบของพลังงานของอุปกรณ์เป็นการวัดพลังงานไฟฟ้าในช่วงแรกสุดของการทำงานและช่วงหยุดการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งเป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นเร็วที่สุดในการตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเน้นการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกิดขึ้นที่ขอบของพลังงานเนื่องจากเป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด

เมื่อได้ค่าพีเจอร์ของข้อมูลมาแล้วก็สามารถนำไปใช้กับวิธีการโมเดลในการจัดกลุ่มด้วยวิธีต่างๆเช่นวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM) [4,5,11], วิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree classifier) [12], วิธีการหาเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (k Nearest Neighbor : kNN), [2] หรือวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN) [6] รูปแบบของการใช้โมเดลในการจัดกลุ่มเหล่านี้จะเป็นการสอนโมเดลด้วยพีเจอร์ที่กล่าวมาข้างต้น แต่อีกวิธีหนึ่งที่แตกต่างกันคือการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน หรือ CNN [8,13-20] ซึ่งวิธี CNN นี้ส่วนการสกัดพีเจอร์จะเป็นส่วนของการทำคอนโวลูชัน (Convolutional) ภายในโมเดลของ CNN ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบรูปแบบของพลังงานที่ใช้จะถูกนำเข้าไปสอนให้กับโมเดล CNN ได้โดยตรง ซึ่งในงานวิจัยที่ผ่านมาก็นำเสนอรูปแบบอินพุต (Input) และการแปลงรูปแบบอินพุตที่หลากหลาย เช่น Xia และคณะ [14] ได้บันทึกข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละตัวนาน 120 นาที แล้วมาแปลงเป็น attention map ซึ่งมีลักษณะเป็นข้อมูล 2 มิติ เพื่อเป็นอินพุตให้ CNN แต่ปัญหาของงานนี้คือใช้เวลานานในการบันทึกข้อมูล มีการนำเสนองานที่ลดเวลาในการบันทึกข้อมูลลงเป็น 1 นาที [21] อย่างไรก็ตามยังคงต้องใช้เวลานานในการบันทึกข้อมูล การปรับปรุงให้ระบบทำงานเร็วขึ้นจึงถูกใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างด้วยความถี่สูงและลดเวลาข้อมูลลงเหลือ 150ms โดยการสุ่มตัวอย่างกระแสที่เกิดขึ้นขณะการทำงานในสภาวะคงที่ จากนั้นจัดเรียงข้อมูลขนาด  $80 \times 1$  เพื่อเป็นอินพุตให้ CNN [16] อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ CNC ที่มีประสิทธิภาพสูงถูกนำมาใช้ โดยการแปลงอินพุตเป็น 2 มิติหรือเป็นข้อมูลภาพ เพื่อนำไปใช้ทดสอบร่วมกับ CNN แบบ 2 มิติ [15] แต่ในงานเหล่านี้ยังคงต้องเก็บตัวอย่างค่อนข้างนาน (เป็นหลักนาที) เพื่อลดเวลาในการสุ่มตัวอย่างจึงได้ใช้วิธีการประยุกต์ใช้การแปลง 2 มิติแบบต่างๆมาเพิ่มประสิทธิภาพ เช่นการทำกราฟแรงดัน - กระแส มาใช้เป็นอินพุตสำหรับ CNN [18], การแปลง สัญญาณกระแสไฟฟ้าช่วงสภาวะคงที่ด้วยวิธี gramian angular field Matrices (GAF) เพื่อทำงานร่วมกับโครงข่าย CNN แบบ VGG16 [17] เป็นต้น การแปลงข้อมูล จาก 1 มิติ เป็น 2 มิติด้วยวิธีแปลง Kurtogram [22 23] ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบสัญญาณ เช่นการนำมาแปลงสัญญาณเสียงเป็นภาพเพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติของลูกปืน (Rolling Bearings) เป็นต้น ซึ่งการแปลงนี้มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำแนวความคิดการแปลง Kurtogram มาประยุกต์ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างด้วยอัตราสุ่มความถี่สูงเพื่อเป็นอินพุตให้กับ CNN แบบ 2 มิติ ซึ่งวิธีการนี้ไม่เคยถูกนำเสนอมาก่อน

## การทดลองและการตั้งค่าการทดลอง

ในปัจจุบัน การตรวจสอบการใช้พลังงานของโหลดแบ่งออกเป็นวิธีล่วงล้ำ (intrusive approaches) และแบบไม่ล่วงล้ำ (non-intrusive approaches) การตรวจสอบการใช้พลังงานโหลดแบบไม่ล่วงล้ำนั้นติดตั้งได้ง่ายกว่า และทำให้สามารถรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ได้ง่ายกว่า การพัฒนา NILM ในปัจจุบันพัฒนาได้รวดเร็วเนื่องจากการนำ AI มาใช้งานเป็นระบบสมาร์ตมิเตอร์ การพัฒนา NILM จำเป็นต้องมีความเข้าใจในองค์ประกอบหลักสามประการ ได้แก่ การรวบรวมข้อมูล การประมวลผลข้อมูลล่วงหน้า และการจำแนกประเภท ส่วนแรกของระบบคือส่วนเก็บข้อมูล (Data collection) ประกอบด้วย โหลด ซึ่งเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ถูกใช้งานภายในบ้าน กระแสไฟฟ้าที่ถูกโหลดดึงไปใช้จะถูกวัดที่จุดศูนย์กลางด้วยเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ค่ากระแสที่วัดได้จะถูกส่งต่อเข้ายังระบบเก็บข้อมูล (Data acquisition) ซึ่งในงานนี้ประยุกต์ใช้ FPGA เพื่อแปลงค่ากระแสไฟฟ้าเป็นค่าดิจิทัลส่งเข้าไปยังส่วนของการประมวลผล ส่วนที่สองคือการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้น (Data preprocessing) เป็นส่วนของการแปลงข้อมูลกระแสในรูปแบบ 1 มิติ ที่ได้จากระบบเก็บข้อมูลเป็นข้อมูล 2 มิติ ด้วยตัวแปลง Kurtogram สำหรับเข้าทดสอบด้วย CNN และส่วนที่สามคือ ส่วนของการจัดกลุ่มข้อมูล (Classification) ซึ่งในงานนี้ใช้วิธีการปรับปรุง CNN โมเดล AlexNet โดยการประยุกต์ใช้ CNN แบบถ่ายโอนการเรียนรู้ (Transfer Learning) มาใช้โดยการปรับพารามิเตอร์ต่างๆ ให้เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โครงสร้างการทำงานของระบบ NILM ที่นำเสนอแสดงดังภาพที่ 1 รายละเอียดในการทำงานในแต่ละส่วนได้อธิบายในหัวข้อถัดไป



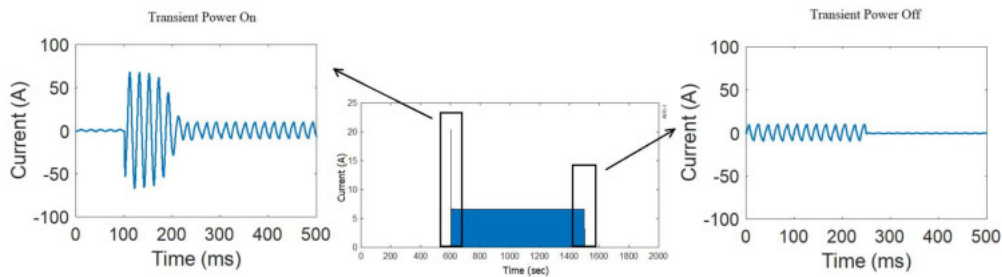
ภาพที่ 1 แสดงภาพภาพรวมของระบบ NILM ในงานวิจัยนี้

## อุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าและลักษณะการทำงาน

จากการศึกษาพบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าในระบบ NILM มีโหมดการทำงานที่แตกต่างกันไปแต่ละตัว ซึ่งความแตกต่างเกิดจากพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ต่างกัน และโครงสร้างหรือองค์ประกอบภายในเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัวก็แตกต่างกันไป ดังนั้นการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าขณะเราเปิดใช้งานอยู่นั้นแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทมีสถานะการทำงานแบบเปิด-ปิด (On-Off appliances) เช่น Lamp
2. อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทมีกำลังไฟหลายสถานะขณะทำงาน (Finite State Machines) เช่น Microwave Oven
3. อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทมีกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงขณะทำงาน (Continuously variable consumption device) เช่น Water Pump
4. อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทมีกำลังไฟฟ้าค่าเดียวและทำงานตลอดเวลา (Permanent consumer device) เช่น Air Condition

เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าทำงาน จากคุณสมบัติของโหลดที่ต่างกันทำให้กระแสทรานเซียนส์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัวมีความแตกต่างกัน กระแสไฟฟ้าช่วงทรานเซียนส์เกิดจากโหลดที่มีคุณสมบัติมีค่า L หรือ C แฝงอยู่ สัญญาณช่วงนี้จะมีลักษณะเป็นลายเซ็นของอุปกรณ์ (signatures of appliances) ดังนั้นอุปกรณ์แต่ละตัวจึงถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ NILM ได้ ภาพที่ 2 แสดงกระแสไฟฟ้าช่วงทรานเซียนส์ขณะเปิดเครื่อง (Transient Power On) ซึ่งเกิดกระแสไฟฟ้าพุ่งเข้า (Inrush Current) เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานซึ่งในงานวิจัยนี้นำมาใช้วิเคราะห์สภาวะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าในสถานะเปิด และขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าหยุดทำงานจะเกิดกระแสในช่วงที่เรียกว่าช่วงทรานเซียนส์ขณะปิดเครื่อง (Transient Power Off) ซึ่งกระแสในช่วงนี้จะถูกนำมาวิเคราะห์หาว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าใดหยุดการทำงาน



ภาพที่ 2 แสดงกระแสไฟฟ้าช่วงทรานเซียนส์ขณะเปิดเครื่องของเครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อมีการทำงาน และ ลักษณะของกระแสไฟฟ้าช่วงทรานเซียนส์ขณะปิดเครื่องเมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าหยุดการทำงาน

ในงานวิจัยนี้ทดสอบด้วย เครื่องใช้ไฟฟ้า 5 ตัวซึ่งมีลักษณะกำลังไฟฟ้าที่ใช้แตกต่างกัน เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 5 ตัวได้ทำการ “ติดป้าย” (Label) เป็น 5 คลาสประกอบด้วย Air condition1 (Class1), Air condition2 (Class2), Lamp (Class3), Microwave (Class4) และ Pump (Class5) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

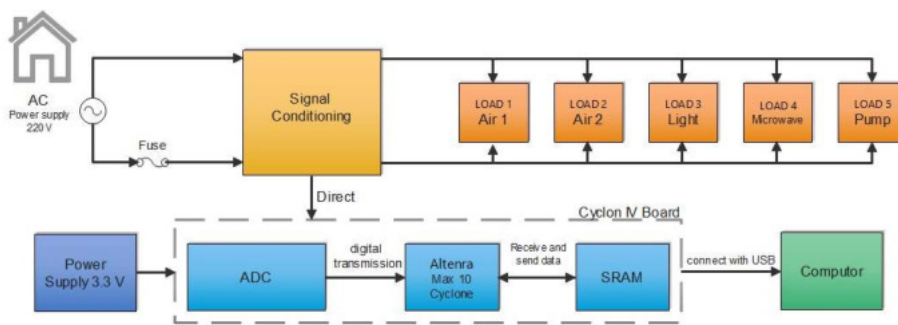
ตารางที่ 1 เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

Household appliance	Description	Category
Air condition (Class 1)	220 VAC, 7.5 Amp, 50Hz	4
Air condition (Class2)	220 VAC, 3.4 Amp, 50Hz	4
Lamp Set (Class 3)	220 VAC, 0.431 Amp, 50Hz	1
Microwave (Class 4)	220 VAC, 4.8 Amp, 50Hz	2
Pump (Class 5)	220 VAC, 1.0 Amp, 50Hz	3

ประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ถูกนำมาใช้ในการวิจัย มีความแตกต่างกันอย่างมาก เช่น Air condition ซึ่งมีลักษณะการใช้พลังงานแบบ Permanent consumer device (Category 4) แม้ Air condition มี 2 ชนิด แต่มีกำลังวัตต์แตกต่างกันชัดเจน นอกจากนี้, Category 1, 2 และ Category 3 ซึ่งได้แก่ Lamp, Microwave, และ Pump ได้ถูกนำมาใช้ในการทดสอบด้วยเพื่อให้มีโหลดที่มีความหลากหลายชนิด และให้ระบบมีประสิทธิภาพจากการเรียนรู้โหลดที่แตกต่างกัน ค่าพลังงานของโหลดทั้งหมดถูกเก็บบันทึกด้วยส่วนของระบบเก็บข้อมูลซึ่งกล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป

### การเข้าถึงข้อมูลทำงานและอุปกรณ์ลอจิกแบบโปรแกรม

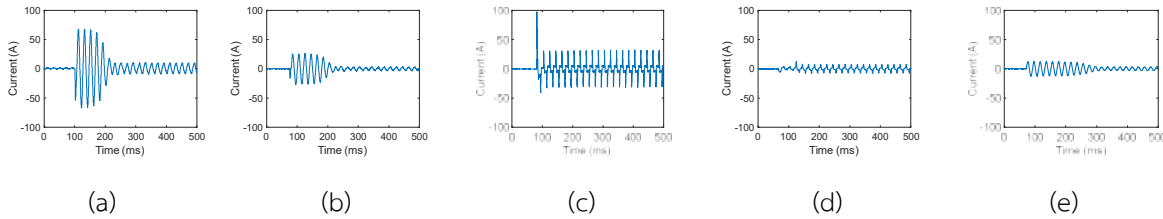
เนื่องจากงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการใช้ประโยชน์จากกระแสทรานส์เซียนส์สำหรับเป็นอินพุตให้กับ CNN เพื่อให้มีรูปแบบและขนาดของข้อมูลที่เหมาะสมกับการนำมาวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้จึงออกแบบวงจรปรับสภาพสัญญาณ (Signal conditioning circuit :SCC) เพื่อปรับขนาดสัญญาณให้เหมาะสมกับการอ่านค่าด้วย FPGA วงจร SCC ได้รับการออกแบบติดตั้งแสดงในภาพที่ 3 ใช้สำหรับวัดค่าแรงดันของอุปกรณ์ที่ใช้ โดยผ่าน Potential Transformer (PT) และ Current Transformer (CT) นอกจากนี้ SCC ยังได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับแอมพลิฟายเออร์และลดสัญญาณรบกวน ประกอบด้วยวงจรแอมพลิฟายเออร์สองวงจรสำหรับสัญญาณแรงดัน และสำหรับสัญญาณกระแส อัตราการขยายสัญญาณอยู่ในช่วง 0.1-10 เท่า ในวงจร R1 ถูกตั้งค่าคงที่ไว้ แต่ Rf สามารถปรับได้อยู่ในช่วงค่าความต้านทานระหว่าง 1k $\Omega$ -100k $\Omega$  เอาต์พุตของวงจรคือ Vout และ Iout ที่ส่งไปยัง FPGA เพื่อทำการอ่านค่าต่อไป



ภาพที่ 3 Signal conditioning Board

ชิป FPGA 10M50DAF484C6GES ใช้เพื่อแก้ไขข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้งาน ซึ่งอัลกอริทึมของ FPGA แสดงในตารางที่ 2 Vout และ Iout เข้าสู่ FPGA ผ่านอินพุต SMA Analog (ADC1/2) ซึ่งทำงานเพื่ออ่านและ ตรวจสอบข้อมูลของอุปกรณ์ที่ใช้ FPGA อ่าน Vout และ Iout ที่อัตราการสุ่มตัวอย่าง 10  $\mu$ S โดย FPTA เก็บข้อมูลไว้ใน S RAM และส่งข้อมูลผ่าน USB เป็นชุดๆ ไป ซึ่งข้อมูลนี้จะถูกแปลงเป็นข้อมูลภาพโดยใช้เทคนิค Kurtogram ในขั้นตอนต่อไป

ตัวอย่างค่ากระแสไฟฟ้าที่บ้านที่กได้ของเครื่องใช้ไฟฟ้าในสภาวะ ON ของแต่ละคลาสแสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งจะพบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นสิ่งบ่งชี้ถึงการเป็นลายเซ็นของอุปกรณ์แต่ละตัวได้ ลักษณะสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่บ้านที่มีความยาว 500 mS หรือมีจำนวนรูปคลื่น 25 รูปคลื่น (50Hz) ซึ่งสามารถลดเวลาในการบันทึกข้อมูลลงได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า [13 21] ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากไม่ต้องสูญเสียเวลาในการเก็บข้อมูล ข้อมูล ที่ได้นี้จะถูกนำไปแปลงเป็นข้อมูล 2 มิติสำหรับใช้ทดสอบกับ CNN แบบ 2 มิติ ด้วยตัวแปลง Kurtogram



ภาพที่ 4 แสดงกระแสไฟฟ้าช่วงทรานสเซียนส์ที่บันทึกได้ของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละคลาสขณะทำงาน (a) Air condition1 (Class1), (b) Air condition2 (Class2), (c) Lamp (Class 3), (d) Microwave (Class 4) และ Pump (Class 5)

เนื่องจากในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าจริงการทำงานจะเป็นแบบสุ่มซึ่งมีโอกาสที่จะมีการใช้งานเพียงตัวใดตัวหนึ่งเพียงตัวเดียว หรือหลายตัวพร้อมกัน ดังนั้นในการเก็บกระแสช่วงทรานสเซียนส์ช่วงเปิด-ปิด ของแต่ละคลาสจึงถูกเก็บภายใต้เหตุการณ์ที่อาจจะมีการใช้งานเพียงคลาสเดียวหรือหลายคลาสพร้อมกัน ดังนั้นในการทดลองได้ตั้งเงื่อนไขในการเก็บกระแสทรานสเซียนส์ช่วงเปิดเครื่องและกระแสทรานสเซียนส์ช่วงปิดเครื่องของแต่ละคลาสซึ่งสามารถจัดกลุ่มข้อมูลได้เป็น 10 ชุดข้อมูลคือ Class1-ON, Class1-OFF, Class2-ON, Class2-OFF, Class3-ON, Class3-OFF, Class4-ON, Class4-OFF, Class5-ON และ Class5-OFF, ซึ่งมีวิธีการเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 10 กรณีดังนี้

1. Class1-ON กรณีเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class1 หรือ Air condition1 เพียงตัวเดียว หรือมีการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นอยู่ก่อนหน้า แล้วทำการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class1 และทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าในช่วง Transient Power On ของเครื่องใช้ไฟฟ้า Class1 และเก็บข้อมูลไว้เป็น Class1-On ใน Dataset

2. Class1-OFF กรณีเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class1 ถูกเปิดไว้เพียงตัวเดียว หรือมีการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นอยู่ก่อนหน้า ด้วย เมื่อมีการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class1 และทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าในช่วง Transient Power OFF ของเครื่องใช้ไฟฟ้า Class1 และเก็บข้อมูลไว้เป็น Class1-Off ใน Dataset

3. Class2-ON กรณีเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class2 หรือ Air condition2 เพียงตัวเดียว หรือมีการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นอยู่ก่อนหน้า แล้วทำการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class2 และทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าในช่วง Transient Power On ของเครื่องใช้ไฟฟ้า Class2 และเก็บข้อมูลไว้เป็น Class2-On ใน Dataset

4. Class2-OFF กรณีเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class2 ถูกเปิดไว้เพียงตัวเดียว หรือมีการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นอยู่ก่อนหน้า ด้วย เมื่อมีการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class2 และทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าในช่วง Transient Power OFF ของเครื่องใช้ไฟฟ้า Class2 และเก็บข้อมูลไว้เป็น Class2-Off ใน Dataset

5. Class3-ON กรณีเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class3 หรือ Lamp เพียงตัวเดียว หรือมีการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นอยู่ก่อนหน้า แล้วทำการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class3 และทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าในช่วง Transient Power On ของเครื่องใช้ไฟฟ้า Class1 และเก็บข้อมูลไว้เป็น Class3-On ใน Dataset

6. Class3-OFF กรณีเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class3 ถูกเปิดไว้เพียงตัวเดียว หรือมีการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นอยู่ก่อนหน้า ด้วย เมื่อมีการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class3 และทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าในช่วง Transient Power OFF ของเครื่องใช้ไฟฟ้า Class3 และเก็บข้อมูลไว้เป็น Class3-Off ใน Dataset

7. Class4-ON กรณีเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class4 หรือ Microwave เพียงตัวเดียว หรือมีการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นอยู่ก่อนหน้า แล้วทำการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class4 และทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าในช่วง Transient Power On ของเครื่องใช้ไฟฟ้า Class4 และเก็บข้อมูลไว้เป็น Class4-On ใน Dataset



8. Class4-OFF กรณีเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class4 ถูกเปิดไว้เพียงตัวเดียว หรือมีการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นอยู่ก่อนหน้า ด้วย เมื่อมีการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class4 และทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าในช่วง Transient Power OFF ของเครื่องใช้ไฟฟ้า Class4 และเก็บข้อมูลไว้เป็น Class4-Off ใน Dataset

9. Class5-ON กรณีเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class5 หรือ Pump เพียงตัวเดียว หรือมีการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นอยู่ก่อนหน้า แล้วทำการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class5 และทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าในช่วง Transient Power On ของเครื่องใช้ไฟฟ้า Class4 และเก็บข้อมูลไว้เป็น Class5-On ใน Dataset

10. Class5-OFF กรณีเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class5 ถูกเปิดไว้เพียงตัวเดียว หรือมีการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นอยู่ก่อนหน้า ด้วย เมื่อมีการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า Class5 และทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าในช่วง Transient Power OFF ของเครื่องใช้ไฟฟ้า Class5 และเก็บข้อมูลไว้เป็น Class5-Off ใน Dataset

ในแต่ละกรณีจะทำการบันทึกข้อมูลไว้ 1000 ครั้งเพื่อเป็นชุดข้อมูลที่น่าไปทดสอบกับ CNN โดยทำการแบ่งข้อมูลในแต่ละเป็นชุดสำหรับทำการสอน 80% และทำการทดสอบ 20% ข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ถูกอ่านค่าได้ขณะเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัว ระยะเวลาในการบันทึก 500 ms ตัวอย่างของลักษณะข้อมูลที่บันทึกแสดงดังภาพที่ 4 จากนั้นข้อมูลเหล่านี้จะถูกแปลงเป็นข้อมูล 2 มิติ ด้วยตัวแปลง kurtogram ในลำดับถัดไป

### ภาพสเปกตรัมแบบเคอร์โทแกรม

ในส่วนนี้อธิบายวิธีการในการแปลงข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่บันทึกขณะเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนลายเซ็นกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ให้เป็น Kurtogram ซึ่งเป็นข้อมูล 2 มิติซึ่งสามารถนำไปใช้วิธีกับวิธี CNN อย่างมีประสิทธิภาพ

Spectrum Kurtogram (SK) ใช้เพื่ออธิบายสถิติการแจกแจงแบบเกาส์เซียน SK สามารถแสดงดังสมการ (1) ถึง (3) [22 23] เมื่อพิจารณา SK ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณ  $dx(f)$  ที่ตอบสนองต่อฟังก์ชันอิมพัลปร่วมตามเวลา โดย  $H(n, f)$  คือ complex envelope ของ  $a(n)$  ที่ความถี่  $f$  ดังสมการที่ (1), เมื่อ  $a(n)$  คือองค์ประกอบไม่คงที่ของสัญญาณ

$$a(n) = \int_{-\alpha}^{+\alpha} H(n, f) e^{j2\pi fn} dx(f) \quad (1)$$

หาความสัมพันธ์ของ SK ร่วมกับ conditionally non-stationary (non-CNS), เป็นวิธีหาสัญญาณรบกวนแบบ Gaussian ที่ขึ้นกับ SK ซึ่งจะได้ว่า

$$K_k(f) = \frac{\langle |H(n, f)|^4 \rangle}{\langle |H(n, f)|^2 \rangle^2} - 2 \quad (2)$$

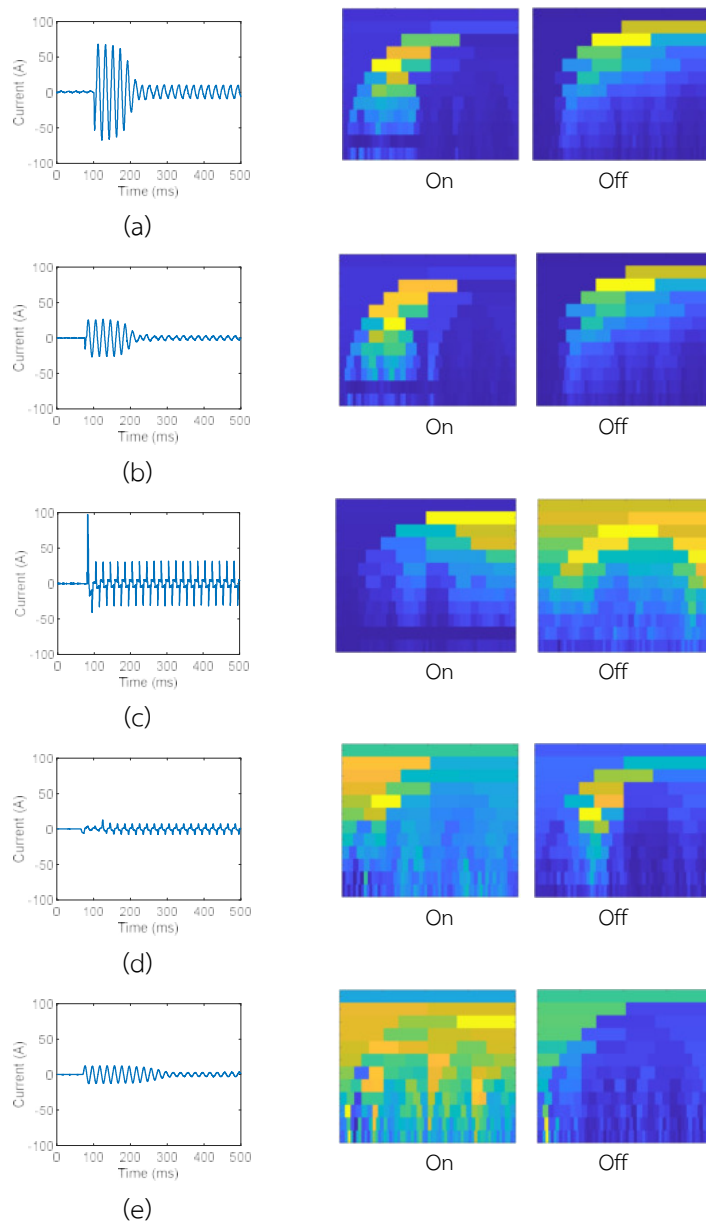
เมื่อ  $K_k(f)$  คือ SK ของสัญญาณ  $a(n)$ , กำหนด non-CNS เป็นค่าคงที่ ๆ ไม่ขึ้นกับความถี่, กำหนด Gaussian ของ SK เป็นศูนย์ และ เพิ่ม Gaussian noise ไปบนเคอร์โทแกรม โดยพิจารณา SK ร่วมกับ Noise จะได้

$$K_k + \varphi(f) = \frac{K_k(f)}{[1 + \rho(f)]^2} \quad (3)$$

เมื่อ  $\varphi(f)$  คือ noise ที่เพิ่มไปบน SK,  $\rho(f)$  คือ อัตราส่วนของ noise ต่อการทำงานของอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า แสดงตัวอย่าง Current ของเครื่องปรับอากาศ (Class1) เมื่อเปลี่ยนสัญญาณให้อยู่ในรูป Kurtogram ด้วยสมการที่ 1, 2 และสมการที่ 3, แสดงเคอร์โทแกรมของ Class1 ดังภาพที่ 5 (a)

ข้อมูลที่ถูกบันทึกในหัวข้อ 3 จะถูกนำมาทำการแปลงข้อมูลเป็น 2 มิติด้วยตัวแปลง Kurtogram จะได้ภาพ Kurtogram ขนาด 100 x 100 pixel แสดงดังภาพที่ 5 ซึ่งภาพที่ได้ถูกแปลงให้เป็นภาพสีด้วยการทำ color mapping จึงทำให้เกิดภาพสีที่เป็นพีเจอร์ของสัญญาณแต่ละตัว ในภาพที่ 5 แสดงตัวอย่างของ kurtogram image ของ Dataset ทั้ง 10 Set

คือ Class1-ON, Class1-OFF, Class2-ON, Class2-OFF, Class3-ON, Class3-OFF, Class4-ON, Class4-OFF, Class5-ON และ Class5-OFF ภาพ Kurtogram ที่ได้จากการแปลงนี้จะนำไปทดสอบกับ CNN ในลำดับถัดไป



ภาพที่ 5 เครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละตัว, กระแสไฟฟ้าขณะกำลังทำงานและ Kurtogram ขณะ On และ Off ของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัว; (a) Air condition (Class 1), (b) Air condition (Class2), (c) Lamp (Class 3), (d) Microwave (Class 4) และ (e) Pump (Class 5)

## การเรียนรู้เชิงลึกแบบคอนโวลูชัน

CNN เป็นสถาปัตยกรรม (Architecture) ในรูปแบบหนึ่งของโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปหน้า (Feed-forward neural networks) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในงานการเรียนรู้ด้วยภาพ การทำงานของ CNN ใช้พื้นฐานของการทำคอนโวลูชันเพื่อทำการสกัดพีเจอร์หรือดึงลักษณะเด่นที่สำคัญของภาพตัวอย่างออกมา โดยการคำนวณแบบ dot product ระหว่างพื้นที่ส่วนย่อยของรูปภาพ (Sub-region) กับฟิลเตอร์ (filter) หรือเคอร์เนล (Kernel) ขนาดเล็กซึ่งมีลักษณะเป็นเมทริกซ์จัตุรัส (Square Matrix) เช่นขนาด  $3 \times 3$  เป็นต้น ซึ่งผลจะได้ชุดข้อมูลชุดใหม่ที่เกิดจาก  $h \times F$  เรียกข้อมูลชุดใหม่ที่ถูกรสร้างขึ้นว่าแผนที่พีเจอร์ (Feature map) สมการการทำคอนโวลูชันดังสมการที่ 4

$$A * B(x, y) = \sum_{ij} A(i, j)B(x+i, y+j) \quad (4)$$

เมื่อ A คือภาพ 2 มิติ, และ K คือเคอร์เนล

พีเจอร์ของภาพในแต่ละชั้นที่ผ่านการสกัดพีเจอร์มาแล้วถูกนำมาคำนวณผ่านฟังก์ชันกระตุ้น (Activation function) แบบ ReLU ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 5 และทำการ Feature Regularization ด้วย DropBlock (DB) เพื่อลดการเกิดโอเวอร์ฟิตติงของโมเดล (Network overfitting) อันเนื่องมาจากชุดข้อมูลที่มีขนาดเล็กดังสมการที่ 6

$$Y_j(n) = \max(0, n) \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{1 - \text{keep\_p}}{\text{block\_s}} \times \frac{\text{feat\_s}^2}{(\text{feat\_s} - \text{block\_s} + 1)^2} \quad (6)$$

ในส่วนของโครงข่าย ANN มีการทำงานดังสมการที่ 7 โดยที่อินพุตเวกเตอร์อยู่ในภาพ  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  และเวกเตอร์ถ่วงน้ำหนักคือ  $W_{ji} = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ , ลำดับการคำนวณถูกส่งจากโหนด (j) ไปยังโหนด (k). โดยที่  $(b_j)$  เป็นค่าไบแอส และ  $z$  คือจำนวนนิวรอน

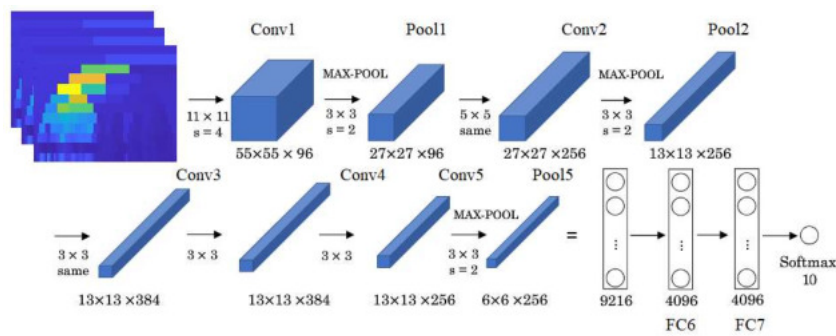
$$V_j(n) = \sum_{k=1}^z (W_{jk} X_k + b_j) \quad (7)$$

ค่าเอาท์พุตที่ได้ถูกคำนวณเป็นค่าความน่าจะเป็นโดย soft max function ดังสมการที่ 8

$$\text{soft max} = \frac{\exp(z_i)}{\sum_k \exp(z_k)} \quad (8)$$

## พารามิเตอร์ของโมเดล AlexNet

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดสอบกับ CNN เครือข่ายที่นำมาทดสอบคือ AlexNet เป็นโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งถูกนำมาใช้อย่างมากในด้านการเรียนรู้ของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะในการประยุกต์ใช้การเรียนรู้เชิงลึกกับแมชชีนวิชั่น ชนะการแข่งขัน ImageNet LSVRC-2012 [24] เนทเวิร์คนี้กำหนดขนาดภาพอินพุตเป็น  $227 \times 227 \times 3$  โครงสร้างสถาปัตยกรรมประกอบด้วยชั้น (layer) ทั้งหมด 8 ชั้น เป็นชั้นคอนโวลูชัน 5 ชั้นและป็นชั้นเชื่อมต่ออย่างสมบูรณ์ (fully connected) 3 ชั้น ซึ่งในงานนี้ได้กำหนดจำนวนคลาสของเอาท์พุตไว้ 10 Class ตาม Data Set จำนวน 10 ชุด ในส่วนของ SoftMax จึงได้กำหนดเอาท์พุตเป็น 10 Class คือ Class1-ON, Class1-OFF, Class2-ON, Class2-OFF, Class3-ON, Class3-OFF, Class4-ON, Class4-OFF, Class5-ON และ Class5-OFF



ภาพที่ 6 การทำงานของ AlexNet ที่นำมาประยุกต์ใช้กับ ภาพ Kutogram [24]

ในขั้นตอนการสอนต้องทำการปรับแต่งการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นส่วนของการกำหนดค่า พารามิเตอร์สำคัญต่างๆ ที่ต้องใช้ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบได้จากการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization) ซึ่งพารามิเตอร์ที่ให้ผลการเรียนรู้ดีสำหรับงานนี้แสดงดังตารางที่ 2 และในการทดสอบและนำไปใช้ในงานวิจัยนี้ใช้ CNN แบบถ่ายโอนการเรียนรู้ (Transfer Learning) [25] ในการดำเนินงาน ในการทดสอบใช้ GPU VNIDIA GEFORCE GTX 1650 เป็นหน่วยประมวลผล การทดสอบได้ทำการทดสอบ 4 ครั้งคือใช้อัตราการเรียนรู้เริ่มต้น (Initial Learning Rate) 0.0001 ร่วมกับ MiniBatchSize 16, Initial Learning Rate 0.0001 ร่วมกับ MiniBatchSize 32, Initial Learning Rate 0.001 ร่วมกับ MiniBatchSize 16 และ Initial Learning Rate 0.001 ร่วมกับ MiniBatchSize 32 เพื่อเปรียบเทียบผลที่ดีที่สุด สำหรับพารามิเตอร์อื่นให้คงที่ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

พารามิเตอร์	ค่า
Total Image	10,000
Initial Learning Rate	0.0001, 0.001
Epochs	30
Momentum	0.9
MiniBatchSize	16,32
LearnRateDropFactor	0.1
LearnRateDropPeriod	8

## ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการทดสอบได้ทำการแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือผลการทดสอบการแยกชนิดการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัวซึ่งได้เปรียบเทียบผลจากการทดสอบทั้งหมด 4 ครั้งจากการปรับพารามิเตอร์หลัก 2 ตัวคือ Initial Learning Rate และ MiniBatchSize ประกอบด้วยผลการทดสอบที่ได้จากการใช้ Initial Learning Rate 0.0001 ร่วมกับ MiniBatchSize 16, Initial Learning Rate 0.0001ร่วมกับ MiniBatchSize 32, Initial Learning Rate 0.001 ร่วมกับ MiniBatchSize 16 และ Initial Learning Rate 0.001ร่วมกับ MiniBatchSize 32 ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 3 และผลการทดสอบ NILM จากการบันทึกการทำงานของอุปกรณ์อย่างต่อเนื่อง

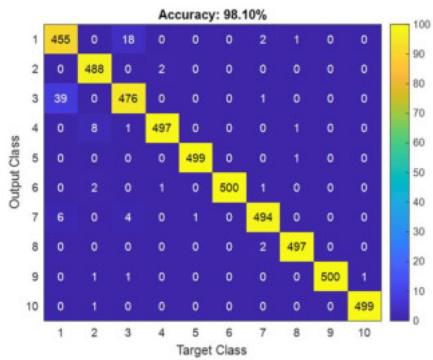
### ประสิทธิภาพของโมเดล AlexNet

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานจริงจึงได้บันทึกการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวในขณะที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเริ่มการทำงานและถูกปิด ซึ่งถูกบันทึกไว้ทั้งในสถานะที่มีการทำงานของอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งเพียงตัวเดียวหรือมีการทำงานพร้อมกันหลายตัว จากนั้นทำการแปลงสัญญาณที่บันทึกไว้ซึ่งเป็นข้อมูล 1 มิติ เป็นข้อมูลแบบ 2 มิติ โดยตัวแปลง Kurtogram จากนั้นนำไปสอนให้กับโมเดล CNN แบบ AlexNet ซึ่งถูกนำมาใช้สำหรับการจำแนกการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัว การสอน AlexNet และการทดสอบได้จากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า 5 ตัว แบ่งการทำงานเป็น 2 สถานะคือ เปิด กับ ปิด อุปกรณ์แต่ละตัวถูกบันทึกสถานะการทำงานขณะเปิดอย่างละ 1000 ครั้ง และขณะปิด 1000 ครั้ง จึงทำให้ได้ชุดข้อมูลทั้งหมด 10,000 ข้อมูล ชุดข้อมูลถูกนำมาแบ่งออกเป็น 80% สำหรับการสอนให้ระบบเรียนรู้ และอีก 20% สำหรับทดสอบการทำงานและประสิทธิภาพผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 7

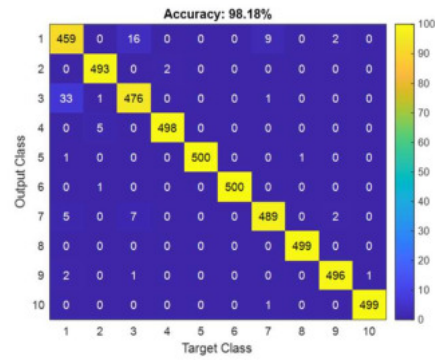
ผลการทดสอบที่ได้พบว่าเมื่อใช้ Initial Learning Rate 0.001ร่วมกับ MiniBatchSize 32 ให้ความถูกต้องเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 98.56% ผลการทำนาย Class3-ON และ Class3-OFF (Lamp) มีความถูกต้องสูงที่สุดโดยมีความถูกต้อง 100 % ส่วนผลการทำนายที่มีความถูกต้องต่ำสุดคือ Class1-On มีความถูกต้อง 94.8% ผลการทำนายที่ผิดพลาดเกิดจากการไปทำนายผลเป็น Class2-On และในทำนองเดียวกันผลการทำนาย Class2-On มีผลการทำนายผิดเป็น Class1-On ความผิดพลาดดังกล่าวเกิดจากอุปกรณ์ Class1 และ Class2 เป็น Air conditioner ซึ่งมีการทำงานที่คล้ายกัน

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการ Classify การทำงานของอุปกรณ์ด้วยวิธี AlexNet-CNN

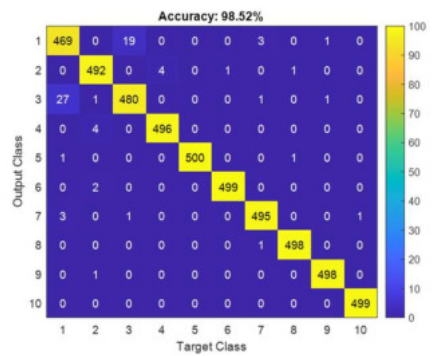
Initial Learning Rate	Batch size	Training time (s)	Accuracy (%)
0.0001	16	2167	98.10
0.0001	32	1854	98.18
0.001	16	2210	98.52
0.001	32	1871	98.56



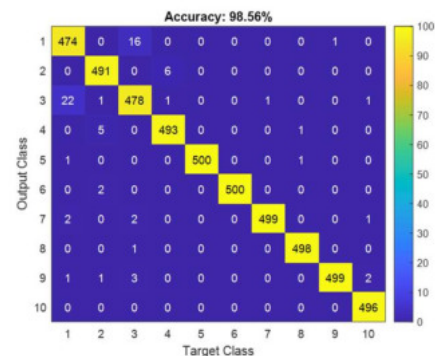
(a)



(b)



(c)



(d)

ภาพที่ 7 ผลการทดสอบการแยกชนิดและการทำงานของอุปกรณ์ด้วยวิธี CNN ชนิด AlexNet เมื่อใช้

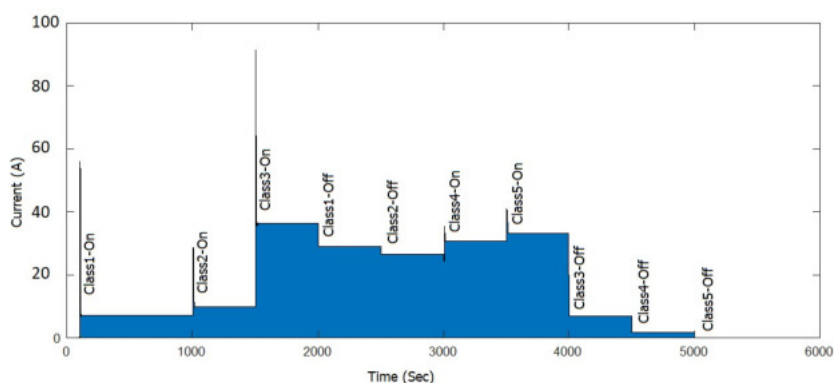
(a) Initial Learning Rate 0.0001ร่วมกับ MiniBatchSize 16, (b) Initial Learning Rate 0.0001 ร่วมกับ MiniBatchSize 32, (c) Initial Learning Rate 0.001ร่วมกับ MiniBatchSize 16 และ (d) Initial Learning Rate 0.001ร่วมกับ MiniBatchSize 32

### ผลการตรวจรู้อุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า

ในส่วนนี้เป็นผลการทำงานแยกแยะอุปกรณ์ที่กำลังทำงานโดยใช้การบันทึกกระแสไฟฟ้าช่วงทรานสเซียนส์ ขณะเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายตัวโดนใช้โมเดล AlexNet ที่ได้รับการสอนมาจากหัวข้อที่ผ่านมาโดยในการทดลองได้ทำการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าและส่งค่ากระแสไฟฟ้าช่วงทรานสเซียนส์ที่อ่านได้มาทำการทดสอบ ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งพบว่าการทำงานผลมีความถูกต้องเป็นอย่างดี ในภาพที่ 8 แสดงกราฟที่บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อเนื่องและค่าทำนายผลที่เกิดจากการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัว

ตารางที่ 4 ผลการทำนายการทำงานของอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้า

ลำดับที่	เวลา (วินาที)	สถานะใช้งาน	ค่าทำนายผล	ผลค่าทำนาย
1	60	Class1-ON	Class1-On	ถูกต้อง
2	1000	Class2-ON	Class2-On	ถูกต้อง
3	1500	Class3-ON	Class3-On	ถูกต้อง
4	2000	Class1-OFF	Class1-OFF	ถูกต้อง
5	2500	Class2-OFF	Class2-OFF	ถูกต้อง
6	3000	Class4-ON	Class4-On	ถูกต้อง
7	3500	Class5-ON	Class5-On	ถูกต้อง
8	4000	Class3-OFF	Class3-OFF	ถูกต้อง
9	4500	Class4-OFF	Class4-OFF	ถูกต้อง
10	5000	Class5-OFF	Class5-OFF	ถูกต้อง



ภาพที่ 8 ผลการประยุกต์ใช้กับระบบ NILM สำหรับรับรู้สถานะการทำงานของโหลดแบบต่อเนื่อง

ผลการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้วิธีปัญญาประดิษฐ์ บนพื้นฐานของการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) โดยการประยุกต์ใช้ CNN แบบ AlexNet สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบ NILM สำหรับรับรู้สถานะการทำงานของโหลดได้เป็นอย่างดี เราสามารถระบุการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละตัวได้จากผลในการทดสอบมีความถูกต้องในการระบุการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอยู่ที่ 98.56% อย่างไรก็ตามระบบยังคงมีความผิดพลาดอยู่ซึ่งทางผู้วิจัยจะดำเนินการพัฒนาให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นต่อไป การทดสอบการรับรู้การทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยระบบ NILM เบื้องต้นพบว่าสามารถทำนายผลของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่กำลังทำงานได้เป็นอย่างดี จากผลที่ได้นี้ทำให้เราสามารถรับรู้การทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัวซึ่งข้อมูลนี้เราสามารถนำไปบริหารจัดการการใช้พลังงานได้

## สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการพัฒนาระบบ NILM โดยประยุกต์ใช้ตัวแปลง kurtogram มาทำการแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าช่วงทรานเซียนส์ที่ได้จากการตรวจสอบพลังงานที่ถูกใช้โดยเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งถูกนำเสนอเป็นลายเซ็นของอุปกรณ์แบบใหม่ ทำงานร่วมกับการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี CNN ชนิด AlexNet โดยการประยุกต์ใช้ CNN แบบถ่ายโอนการเรียนรู้ ในงานนี้ได้ทำการทดสอบกับเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 5 ตัว โดยทำการวัดการกระแสไฟฟ้าช่วงทรานเซียนส์ที่เกิดขึ้นตอนเครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานในสถานะ ON และ OFF ด้วย FPGA และทำการแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เป็นข้อมูล 2 มิติ ซึ่งถูกนำเสนอเป็นภาพด้วยตัวแปลง kurtogram เรียกว่า ภาพ kurtogram และทดสอบการจดจำด้วย CNN โดยปรับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมพบว่าการใช้อัตราการเรียนรู้เริ่มต้นที่ 0.001 คู่กับขนาด Batch Size 32 ให้ผลการแยกแยะชนิดและสถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความถูกต้องสูงที่สุดเฉลี่ยที่ 98.56 % จากผลการการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการทำงานหลายตัวอย่างต่อเนื่องก็เป็นไปในแนวทางที่ชี้ชัดว่าวิธีที่นำเสนอมีความเหมาะสมสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Baets, L., Develder, C., Dhaene, T., and Deschrijver, D. (2019). Detection of unidentified appliances in non-intrusive load monitoring using siamese neural networks. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**. 104, 645-653.
- [2] Baets, L., Ruysinck, J., Develder, C., Dhaene, T., and Deschrijver, D. (2017). Appliance classification using VI trajectories and convolutional neural networks. **Energy and Buildings**. 158, 32-36.
- [3] Baptista, D., Mostafa, S., Pereira, L., Sousa, L., and Morgado-Dias, F. (2018). Implementation Strategy of Convolution Neural Networks on Field Programmable Gate Arrays for Appliance Classification Using the Voltage and Current (V-I) Trajectory. **Energies**. 11(9), 2460.
- [4] Basu, K., Debusschere, V., Douzal, A., and Seddik, B. (2015). Time series distance-based methods for non-intrusive load monitoring in residential buildings. **Energy and Buildings**. 96(1), 109-117.
- [5] Basu, K., Hably, A., Debusschere, V., Seddik, B., Driven, G., and Ovalle Villamil, A. (2016). A comparative study of low sampling non intrusive load dis-aggregation. **Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)**. 24-27 October 2016, Florence, Italy.
- [6] Chen, X., Feng, F., and Zhang, B. (2016). Weak Fault Feature Extraction of Rolling Bearings Based on an Improved Kurtogram. **Sensors**. 16(9), 1482.
- [7] Ciancetta, F., Bucci, G., Fiorucci, E., Mari, S., and Fioravanti, A. (2020). A New Convolutional Neural Network-Based System for NILM Applications. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**. 70, 1501112.
- [8] DrIncecco, M., Squartini, S., and Zhong, M. (2019). Transfer Learning for Non-Intrusive Load Monitoring. **IEEE Transactions on Smart Grid**. 11(2), 1419.
- [9] Faustine, A., and Pereira, L. (2020). Improved Appliance Classification in Non-Intrusive Load Monitoring Using Weighted Recurrence Graph and Convolutional Neural Networks. **Energies**. 13(13), 3374.



- [10] Garcia, F., Souza, W., Diniz, I., and Marafao, F. (2020). NILM-based approach for energy efficiency assessment of household appliances. **Energy Informatics**. 3(10), 1-21.
- [11] Ghosh, S., and Chatterjee, D. (2021). Non-intrusive identification of harmonic polluting loads in a smart residential system. **Sustainable Energy, Grids and Networks**. 26, 100446.
- [12] Hassan, T., Javed, F., and Arshad, N. (2013). An Empirical Investigation of V-I Trajectory Based Load Signatures for Non-Intrusive Load Monitoring. **IEEE Transactions on Smart Grid**. 5(2), 870-878.
- [13] Jia, Z., Yang, L., Zhang, Z., Liu, H., and Kong, F. (2021). Sequence to point learning based on bidirectional dilated residual network for non-intrusive load monitoring. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**. 129, 106837.
- [14] Krizhevsky, A., Sutskever, I., and Hinton, G. (2012). ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. **Neural Information Processing Systems**. 25, 1097–1105.
- [15] Li, K., Yin, B., Du, Z., and Sun, Y. (2020). A Nonintrusive Load Identification Model Based on Time-Frequency Features Fusion. **IEEE Access**. 9, 1376-1387.
- [16] Liu, Y., Wang, X., and You, W. (2018). Non-Intrusive Load Monitoring by Voltage–Current Trajectory Enabled Transfer Learning. **IEEE Transactions on Smart Grid**. 10(5), 5609 - 5619.
- [17] Massidda, L., Marrocu, M., and Manca, S. (2020). Non-Intrusive Load Disaggregation by Convolutional Neural Network and Multilabel Classification. **Applied Sciences**. 10(4), 1454.
- [18] Nguyen, M., Alshareef, S., Gilani, A., and Morsi, W. G. (2015). A novel feature extraction and classification algorithm based on power components using single-point monitoring for NILM. **Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering**. Halifax, NS, Canada, 37-40.
- [19] Sinno, J. P. and Qiang, Y. (2010). A Survey on Transfer Learning. **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**. 22(10), 1345 – 1359.
- [20] Jérôme, A. (2006). The spectral kurtosis: A useful tool for characterising non-stationary signals. **Mechanical Systems and Signal Processing**. 20(2), 282-307.
- [21] Stankovic, V., Liao, J., Altrabalsi, H., and Stankovic, L. (2014). A low-complexity energy disaggregation method: Performance and robustness. **IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG)**. Orlando, FL, USA.
- [22] Wang, A., Chen, B., Wang, C., and Hua, D. D. (2018). Non-intrusive load monitoring algorithm based on features of V-I trajectory. **Electric Power Systems Research**. 157, 134-144.
- [23] Wu, X., Han, X., Liu, L., and Qi, B. (2018). A Load Identification Algorithm of Frequency Domain Filtering Under Current Underdetermined Separation. **IEEE Access**. 6, 37094 - 37107.
- [24] Xia, M., Liu, W. a., Xu, Y., Wang, K., and Xu, Z. (2019). Dilated residual attention network for load disaggregation. **Neural Computing and Applications**. 31, 8931–8953.

- [25] Yin, B., Zhao, L., Huang, X., Zhang, Y., and Du, Z. (2021). Research on non-intrusive unknown load identification technology based on deep learning. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**. 131, 107016.

การลดใช้พลังงานของระบบปรับอากาศที่มีการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อน  
เพื่ออนุรักษ์พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ กรณีศึกษา: อาคารโรงแรมพาเลซ อันดามัน บีชรีสอร์ท  
Energy Reduction of Air Conditioning System with Cooled Water Chiller Control  
to Conserve Energy Efficiently, Case Study: Palace Adaman Resort Hotel Building

สัญญาชัยยะ ผสมกุศลศิลป์<sup>1</sup> และชานี ใจประดิษฐ์ธรรม<sup>2\*</sup>  
Sanchaiya Pasomkusolsil<sup>1</sup> and Chamni Jaipradidtham<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและการจัดการพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต กรุงเทพฯ 10250

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต กรุงเทพฯ 10250

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering and Energy Management, Faculty of Engineering,  
Kasem Bundit University, Bangkok 10250

<sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kasem Bundit University, Bangkok 10250

\*Corresponding author: Tel.: 02 321 6930. E-mail: j\_chamni@hotmail.com

*Received: 24 July 2021, Revised: 19 June 2022, Accepted: 14 July 2022, Published online: 30 August 2022*

### Abstract

This research paper presents the objectives to study energy consumption and analyze energy reduction in indoor air conditioning system installation. A survey to examine the loss of air conditioning in the energy use, case study: Palace Adaman Beach Resort Hotel Building, Chumphon Province. If can control the operation of the air conditioning system to have good efficiency, it can reduced the use of electricity. Therefore, this research is study of energy efficiency to energy conservation by controlling of using air-cooled and water-cooled water chiller. Adjust the temperature to suit the maximum power demand. Measure the building's peak demand and control the system with collect data to analyze the results. The results show that it was necessary to control, check the cool and air conditioning system by reducing the refrigerant condenser temperature. Comparative results evaluation of the water chiller control before and after the improvement found that the electricity cost was reduced by 10 %, which can reduce the electricity of 15,249.78 kWh/year, and the cost of energy is reduced by approximately 106,748.46 baht/year, thus results in a reduction for use to help reduce the cost of electricity.

**Keywords:** air conditioning, adjust temperature, energy conservation, water chiller, energy reduce

## บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้พลังงานและวิเคราะห์การลดใช้พลังงานในการติดตั้งระบบปรับอากาศภายในอาคาร ทำการสำรวจตรวจสอบความสูญเสียของระบบปรับอากาศในการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกรณีศึกษา: อาคารโรงแรมพาเลซ อันดามัน บีชีรีสอร์ท จังหวัดชุมพร ถ้าสามารถควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพที่ดีก็สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ศึกษาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่ออนุรักษ์พลังงานโดยการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ และทำการปรับลดอุณหภูมิให้เหมาะสมกับความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ทำการตรวจวัดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของอาคารและควบคุมระบบพร้อมทั้งเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ผล ผลการวิจัยพบว่าจำเป็นต้องทำการควบคุมตรวจสอบระบบทำความเย็นและปรับอากาศด้วยการลดอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น โดยทำการประเมินผลเปรียบเทียบผลจากการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นก่อนที่จะทำการปรับปรุงกับหลังทำการปรับปรุงจึงพบว่าค่ากำลังไฟฟาลดลงประมาณ 10 % สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ปีละ 15,249.78 kWh และคิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าประหยัดเงินได้ประมาณ 106,748.46 บาท/ปี ดังนั้นส่งผลช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าลงได้

**คำสำคัญ:** ระบบปรับอากาศ ปรับลดอุณหภูมิ การอนุรักษ์พลังงาน เครื่องทำน้ำเย็น ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

## บทนำ

ในสภาวะปัจจุบันนี้รูปแบบการใช้พลังงานได้เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเป็นมูลเหตุให้อัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นทุกๆปี ค่าไฟฟ้าที่เกิดจากค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด เป็นค่าใช้จ่ายส่วนหนึ่งที่ทางผู้ใช้ไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับการไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ที่ 20–30 % ของค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้นการควบคุมค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดให้อยู่ในค่าที่เหมาะสม ถือเป็นลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการจัดการพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี การควบคุมค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด โดยทั่วไปจะใช้วิธีการตรวจวัดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดจากระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าหลักของอาคารขนาดใหญ่ เช่น อาคารโรงแรมขนาดใหญ่ที่มีการใช้ระบบปรับอากาศจะใช้พลังงานมากกว่าร้อยละ 50 โดยเฉพาะเครื่องทำความเย็น (Chiller) ถือเป็นอุปกรณ์ที่เป็นหัวใจของระบบปรับอากาศในอาคารสูง การควบคุมความดันดันคอนเดนเซอร์ให้ต่ำสุด กรณีใช้ระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ [1] และทำการปรับลดอุณหภูมิให้เหมาะสมกับความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่มีความสำคัญยิ่งเพื่ออนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ

บทความวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้พลังงานและวิเคราะห์การลดใช้พลังงานสูญเสียในการติดตั้งระบบปรับอากาศภายในอาคาร ทำการสำรวจตรวจสอบความสูญเสียของระบบทำความเย็นและปรับอากาศในการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงเกินความจำเป็นที่เป็นปัญหา และนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการพลังงาน โดยการแก้ไขปัญหาที่จะสามารถนำมาสู่การลดใช้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียซึ่งได้ทำการศึกษา ณ อาคารโรงแรมพาเลซ อันดามัน บีชีรีสอร์ท จังหวัดชุมพร

## วิธีการดำเนินวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการอนุรักษ์พลังงานด้านระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ และนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการพลังงาน เลือกใช้ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศและแบบระบายความร้อนด้วยน้ำตั้งแต่แสดงภาพที่ 1 และภาพที่ 2 [3] กรณีศึกษาอาคารโรงแรมพาเลซ อันดามัน บีชีรีสอร์ท จังหวัดชุมพร ซึ่งศึกษาเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ โดยนำข้อมูลที่ทำการสำรวจ ตรวจสอบวัดหาค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของอาคารและควบคุมระบบทำความเย็นและปรับอากาศในการใช้พลังงานไฟฟ้า พร้อมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ผล วิเคราะห์เพื่อเสนอแนะแนวทางในการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัดและให้มีประสิทธิภาพ

สูงสุด โดยจะนำค่าที่ได้มาดำเนินการปรับปรุงแก้ไขและประเมินผลหาการประหยัดพลังงาน งานวิจัยนี้ได้แสดงผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานในเชิงเปรียบเทียบผล ได้แก่ ผลวิเคราะห์การลดใช้พลังงานสูญเสียก่อนและหลังปรับปรุงในการติดตั้งระบบปรับอากาศในอาคารโรงแรมฯ เป็นต้น

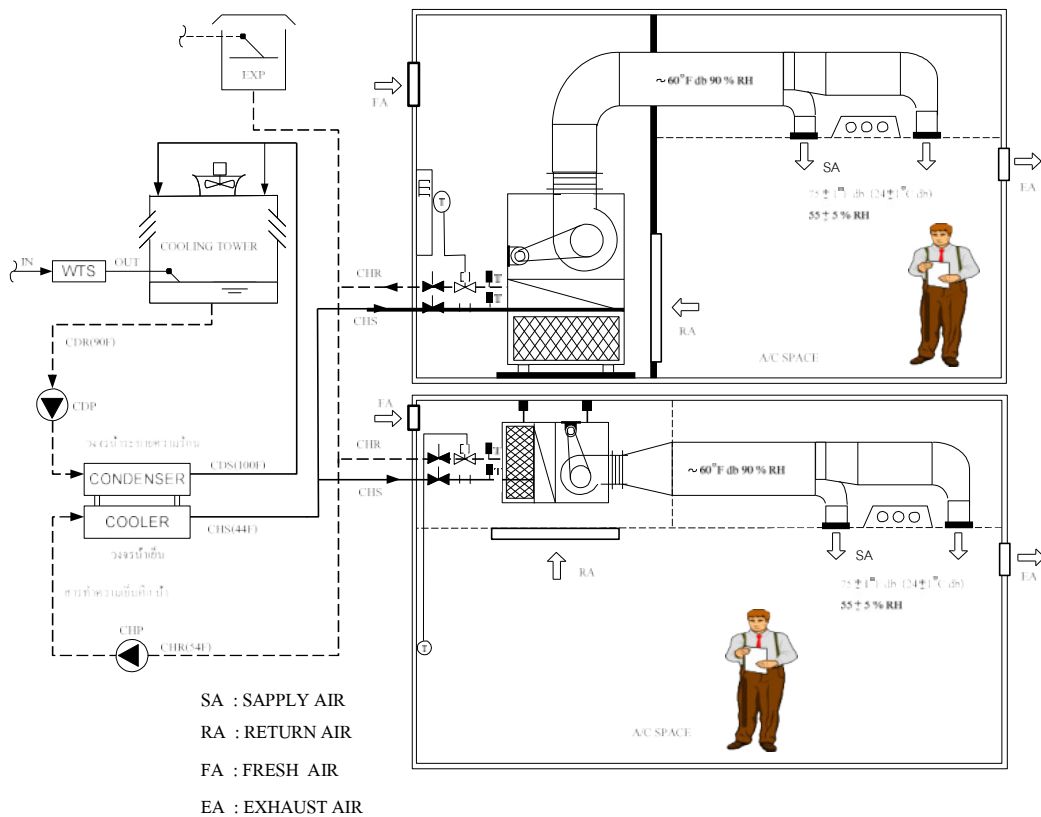
### 1. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

- ข้อมูลการวิจัยทั่วไป จะศึกษาอาคารโรงแรมพาเลซ อันดามัน บีชีรีสอร์ท จังหวัดชุมพร ภายในห้องประชุมจัดเลี้ยง ห้องสัมมนา ซึ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 46,850 m<sup>2</sup> คิดเป็น 90% และเป็นพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 5,683 m<sup>2</sup> คิดเป็น 10%

- ข้อมูลการใช้พลังงาน มีการใช้พลังงานหลัก ๆ 3 ประเภท คือ ระบบปรับอากาศมีส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 56 ระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 30 และระบบอื่นๆ [2] มีสัดส่วนการใช้พลังงานร้อยละ 14

- ข้อมูลด้านอุปกรณ์ ได้แก่ ชนิดเครื่องปรับอากาศ เป็นระบบปรับอากาศขนาดใหญ่แบบรวมศูนย์ (Central Air Conditioning System) ประเภทเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและน้ำ บีมน้ำเย็น (Chiller Pump) ข้อมูลจำนวนมอเตอร์บีมน้ำ ชนิดและปริมาณมอเตอร์ที่ใช้ทำงาน

- ข้อมูลเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) มีประสิทธิภาพสูงอายุการใช้งาน 3 ปี, ขนาดภาระการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น 500 TR (ตันความเย็น) จำนวน 3 เครื่อง มี Control Monitor ที่ตัวเครื่อง จัดว่าเป็นระบบคอมพิวเตอร์อัตโนมัติ และระบบ Manual สามารถสั่งการเพิ่มเติมได้ทั้งระบบ ข้อมูลปั๊มระบายความร้อน (Condenser Pump) ทำการติดตั้งจำนวน 3 เครื่อง [3] เพื่อระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) รุ่น PACO/USA Model, Capacity 1350/110 US GPM/Ft, Speed 1,450 rpm มีขนาด 60 Hp และข้อมูลบีมน้ำเย็น (Chiller Pump) ทำการติดตั้งเครื่องส่งน้ำเย็นจำนวน 3 เครื่อง รุ่น PACO/USA Model KP 6019-5 Capacity 1080/200 US GPM/Ft, Speed 1,450 rpm 80 Hp



ภาพที่ 1 ระบบปรับอากาศแบบเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ [3]

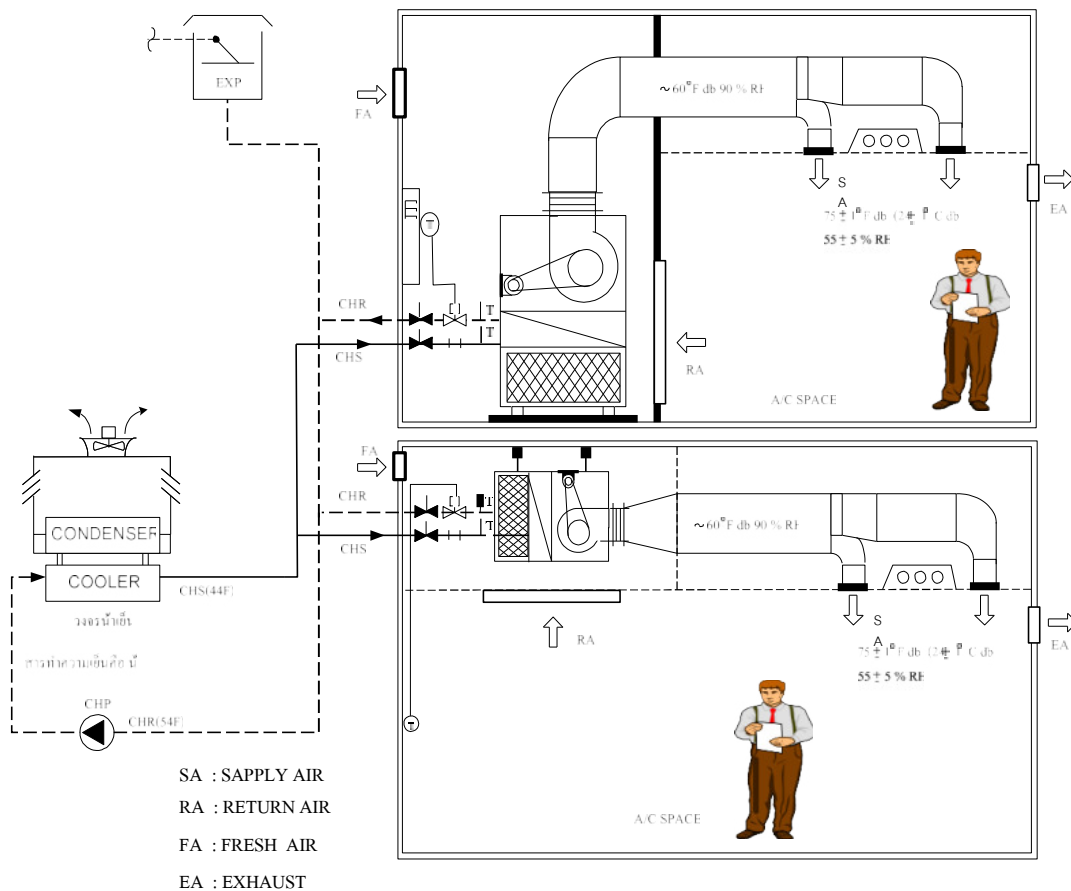
## 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องวัดเพื่อการตรวจวัดหาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นและมอเตอร์ระบบน้ำระบายความร้อน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลกระทบต่อการทำงาน Part Load เครื่องวัดหาปัจจัยต่างๆ ดังนี้ [4]

- การวัดกำลังไฟฟ้า  $P_E$
- อัตราการไหลของอากาศ  $m^3$
- อุณหภูมิน้ำเข้า  $T_1$
- อุณหภูมิน้ำออก  $T_2$

## 3. วิธีดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล

เริ่มต้นตรวจสอบอุณหภูมิภายในห้องประชุมจัดเลี้ยงของอาคารโรงแรม เพื่อวัดอุณหภูมิเฉลี่ยภายในอาคารทั้งก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนมาตรการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อดูผลกระทบที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในระบบปรับอากาศที่ติดตั้งเครื่องทำความเย็น (Chiller) โดยการตรวจวัดและวิเคราะห์การทำงานในช่วงระยะเวลาเดียวกันรวมทั้งตำแหน่งติดตั้งของเครื่องทำความเย็นทั้ง 3 เครื่อง โดยตรวจวัดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นในแต่ละวัน ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ระบบเครื่องสูบน้ำทำความเย็นทั้งหมด 15 เครื่อง และตรวจวัดหาประสิทธิภาพในแต่ละเครื่องนำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อนำมาคำนวณการใช้พลังงาน โดยทำการจดบันทึกค่าของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละเครื่อง



ภาพที่ 2 ระบบปรับอากาศแบบเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ [3]

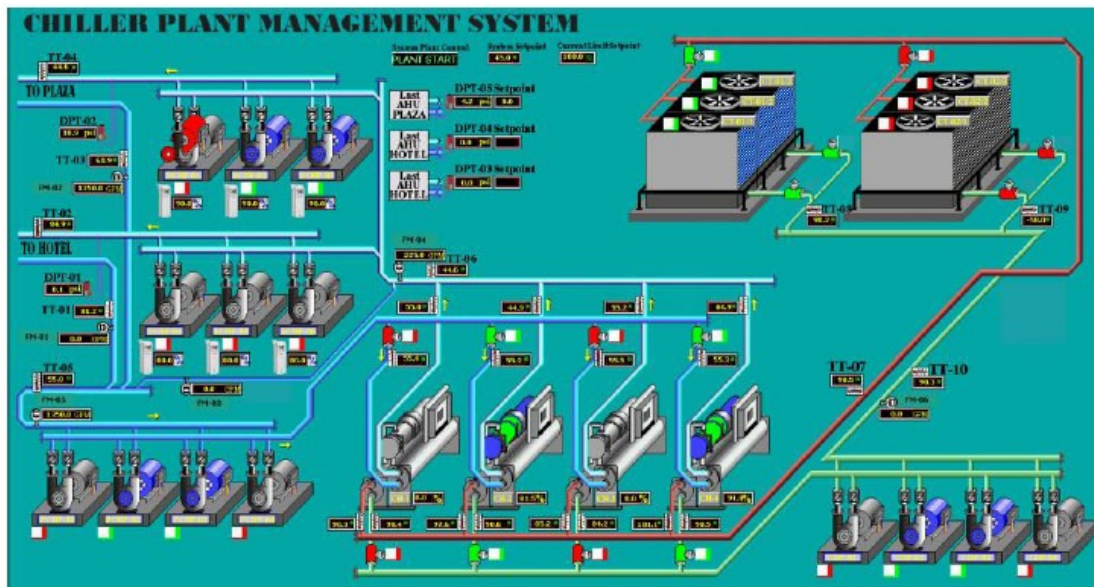
#### 4. การวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ วิเคราะห์อุณหภูมิเฉลี่ยภายในอาคารของห้องประชุม จัดเลี้ยง ห้องสัมมนาของโรงแรมทั้งก่อนและหลังการปรับเปลี่ยนมาตรการใช้พลังงาน เพื่อดูผลกระทบที่เกี่ยวข้องทั้งหมด วิเคราะห์การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศส่วนที่มีการใช้พลังงานสูงสุดในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ได้แก่ เครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) โดยอ้างอิงจากกฎกระทรวงซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และศึกษาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการจัดบันทึกการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นและจากการวัดค่าการใช้พลังงานมาคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น

วิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงานโดยทำการศึกษามาตรการการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมกับอาคารโรงแรมโดยไม่ให้มีผลกระทบต่อผู้มาใช้บริการและพนักงานของโรงแรมฯ [4-6] วิเคราะห์เรื่องการลดใช้พลังงานต่าง ๆ ของระบบปรับอากาศโดยเน้นที่ระบบเครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) ได้แก่ ควบคุมปรับลดอุณหภูมิให้เหมาะสมกับค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของอาคารโรงแรม ปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น [7] เป็นการลดเวลาการทำงานหน่วยจ่ายลมเย็นแล้วทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังดำเนินการตามมาตรการ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าใช้จ่ายไฟฟ้าต่อปีโดยคำนึงถึงการลดใช้พลังงานของระบบปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น

#### ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้อาคารโรงแรมใช้ระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อน (Cooled Water Chiller) โดยใช้เครื่องทำน้ำเย็น ขนาด 500 ตัน ทำความเย็น 3 เครื่อง [8-10] จะมีขนาดและจำนวนของชุดเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นและหอทำความเย็น เท่ากันกับเครื่องทำน้ำเย็น โดยปกติใช้งานของเครื่องทำน้ำเย็น 2 เครื่องในช่วงเวลา 08.30 น.-18.00 น. และอีก 1 เครื่องในช่วงเวลา 18.00 น.-21.00 น. ทำการปรับอุณหภูมิอากาศภายในพื้นที่ห้องประชุมจัดเลี้ยง ห้องสัมมนาของอาคารโรงแรม โดยใช้เครื่องส่งลมเย็นกระจายไปในพื้นที่ปรับอากาศ และมีการหมุนเวียนอากาศจากภายนอกอาคาร จะอาศัยแรงดูดภายในห้องเครื่องส่งลมเย็นดูดอากาศภายนอกผ่านเข้ามาโดยตรงแบบคงที่ สำหรับพื้นที่ส่วนห้องพักของโรงแรมจะมีเครื่องปรับอากาศดูดอากาศจากภายนอกอาคารเข้ามาแล้วจ่ายเข้าในแต่ละห้องแสดงดังภาพที่ 3 [4]



ภาพที่ 3 ระบบควบคุมเครื่องทำความเย็นในระบบปรับอากาศภายในอาคารโรงแรมฯ [4]

ตารางที่ 1 ผลตรวจวัดก่อนปรับปรุงหอทำความเย็นในระบบควบคุมเครื่องทำความเย็นภายในอาคารโรงแรมฯ

จุดที่ตรวจวัด	ตัวแปรที่ตรวจวัด	คุณสมบัติเครื่องทำน้ำเย็น		
		CT-1	CT-2	CT-3
สภาพแวดล้อม	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°Cab)	33.5	33.5	33.5
	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°Cab)	27.0	27.0	27.0
น้ำหล่อเย็น	อุณหภูมิเข้า (°C)	38.6	39.2	38.4
	อุณหภูมิออก (°C)	33.8	33.4	33.6
	ปริมาณการไหล (GPM)	95.2	99.3	96.5
ค่าไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (kW)	15.2	15.5	15.3

**1. ผลการตรวจวัดสำหรับปรับลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น**

ข้อสังเกตก่อนการติดตั้งระบบปรับอากาศที่ต้องการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนภายในอาคาร โรงแรมพาเลซ อันดามัน บีชีรีสอร์ท จังหวัดชุมพร นั้น โดยปกติระบบเดิมจะมีการควบคุมอุณหภูมิ 2 จุด [9] มีดังนี้

- 1) การปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น
- 2) การปรับเพิ่มอุณหภูมิของชุด เครื่องส่งลมเย็น ซึ่งต้องปรับตามจุดติดตั้งเครื่องส่งลมเย็น

ซึ่งการทำงานในลักษณะดังกล่าวจะพบปัญหาคือไม่สามารถควบคุมให้เหมาะสมกับค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของอาคาร รวมถึงผู้ควบคุมไม่สามารถทราบอุณหภูมิตามพื้นที่ต่าง ๆ ได้ ภายหลังจากการติดตั้งระบบควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อน เครื่องส่งลมเย็นและระบบแสดงผลค่าไฟฟ้า ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิของพื้นที่ปรับอากาศ และทราบค่าอุณหภูมิตามพื้นที่ต่าง ๆ ได้ ทำให้ผู้ควบคุมสามารถปรับและควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการใช้งานและค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดได้เป็นอย่างดี พบว่าอุณหภูมิเข้าน้ำหล่อเย็นจากหอทำความเย็นที่ใช้งานปัจจุบันสูงกว่าค่าพิกัดเครื่องมีปริมาณน้ำรั่วไหลตรงปะเก็นของเครื่องสูบน้ำเย็นดังแสดงผลตารางที่ 1 และตารางที่ 2 [10]

ตารางที่ 2 ผลตรวจวัดเครื่องสูบน้ำเย็นในระบบควบคุมเครื่องทำความเย็นสำหรับระบบปรับอากาศของอาคารโรงแรมฯ

ตัวแปรที่ตรวจวัด	คุณสมบัติเครื่องทำน้ำเย็น		
	CHP-01	CHP-02	CHP-03
ปริมาณน้ำขาเข้า (GPM)	80.5	79.6	74.9
ปริมาณน้ำขาออก (GPM)	80.2	79.4	74.6
ปริมาณน้ำที่รั่วไหล (GPM)	0.3	0.2	0.3
อุณหภูมิน้ำที่รั่ว (°C)	12.4	12.3	12.5

\*หมายเหตุ GPM แทนค่า อัตราการไหลของน้ำเย็น (แกลลอนต่อนาที)



ตารางที่ 3 ผลตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็นในระบบควบคุมสำหรับระบบปรับอากาศภายในอาคารโรงแรมฯ

จุดที่ตรวจวัด	ตัวแปรที่ตรวจวัด	คุณสมบัติเครื่องทำน้ำเย็น			
		CH-01	CH-02	CH-03	พิกัดอุปกรณ์
น้ำเย็น	อุณหภูมิเข้า (°C)	12.40	12.30	12.55	12.23
	อุณหภูมิออก (°C)	7.11	7.43	7.62	6.67
	ปริมาณการไหล (GPM)	78.2	79.4	76.6	75.7
น้ำหล่อเย็น	อุณหภูมิเข้า (°C)	33.06	33.06	33.06	32.24
	อุณหภูมิออก (°C)	38.07	38.06	38.08	37.78
	ปริมาณการไหล (GPM)	97.6	98.2	96.4	94.6
ค่าไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (kW)	351	349	353	350
ความสามารถในการทำความเย็น (TR)		466	460	450	500
สมรรถนะของเครื่องน้ำเย็น (kW/TR)		0.75	0.76	0.78	0.70

## 2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อทำการศึกษา สํารวจและตรวจวัดความสูญเสียของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบควบคุมการทำงาน และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อลดใช้พลังงานในการติดตั้งระบบปรับอากาศภายในอาคารแสดงผลตารางที่ 3 [10] มีรายละเอียดดังนี้

1) หอทำความเย็นและเครื่องทำน้ำเย็น จากข้อมูลการตรวจวัดพบว่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นสูงกว่าพิกัด เป็นผลจากหอทำความเย็นไม่สามารถลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นลงได้ตามที่กำหนดมีผลทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นสูงขึ้น

2) เครื่องสูบน้ำ จากการตรวจสอบสภาพการใช้งานของเครื่องสูบน้ำพบว่า มีการรั่วไหลที่ปะเก็นของเครื่องสูบน้ำค่อนข้างมาก เป็นการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องทำน้ำเย็นที่ต้องทำอุณหภูมิเต็มระบบให้ได้อุณหภูมิที่ใช้งานและยังเป็นการสูญเสียค่าน้ำประปาอีกด้วย จึงเห็นควรให้มีการแก้ไขจุดที่รั่วไหลดังกล่าว

## 3. แนวทางการปรับปรุงและผลที่ได้รับ

1) หอทำความเย็นและเครื่องทำน้ำเย็น ควรทำการปรับปรุงเพื่อให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นลดลง สำหรับอาคารโรงแรมนี้สามารถปรับปรุงได้โดยการใช้งานหอทำความเย็นเพิ่ม 1 เครื่อง [11]

2) เมื่อทดลองใช้หอทำความเย็นเพิ่มอีก 1 เครื่องแล้วตรวจวัดข้อมูลจะได้ผลทดสอบแสดงดังตารางที่ 4 มีดังนี้

ตารางที่ 4 ผลตรวจวัดหลังปรับปรุงหอทำความเย็นในระบบควบคุมเครื่องทำความเย็นภายในอาคารโรงแรมฯ

จุดที่ตรวจวัด	ตัวแปรที่ตรวจวัด	คุณสมบัติเครื่องทำน้ำเย็น		
		CT-1	CT-2	CT-3
สภาพแวดล้อม	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°Cab)	34.0	34.0	34.0
	อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°Cab)	27.5	27.5	27.5
น้ำหล่อเย็น	อุณหภูมิเข้า (°C)	36.0	36.0	36.0
	อุณหภูมิออก (°C)	32.0	32.0	32.0
	ปริมาณการไหล (GPM)	72.0	60.5	61.7
ค่าไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (kW)	14.8	14.7	14.5

จากข้อมูลตรวจวัดหลังจากเปิดใช้งานหอทำความเย็นเพิ่มอีก 1 เครื่อง ทำให้อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ผ่านเข้าเครื่อง น้ำเย็นลดลง สามารถวิเคราะห์ผลที่ได้รับมีดังนี้

#### 4. ผลการลดใช้พลังงานในการลงทุน

อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นเมื่อใช้หอทำความเย็น 2 เครื่อง = 33.4 °C (92.12°F)

อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นเมื่อใช้หอทำความเย็น 1 เครื่อง = 32.0 °C (89.6°F)

ความแตกต่างอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น = 1.4 °C (2.52°F)

จาก Pressure-Enthalpy Diagram ของสารทำความเย็นเมื่ออุณหภูมิทางด้านคอนเดนเซอร์ ลดลง 1°F จะทำให้ ประสิทธิภาพในการทำความเย็นดีขึ้นประมาณ 1.5 % ดังนั้นภายหลังจากการปรับปรุงทำให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นดี ขึ้นประมาณ 3.78 % ดังแสดงผลตารางที่ 5 สามารถวัดพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียได้ของเครื่องทำน้ำเย็นมีดังนี้

พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย (4.58TR × 0.825 kWh/TR) จำนวน 1 เครื่อง = 3.78 kWh/ปี

พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสีย จำนวน 2 เครื่อง = 15,246 kWh/ปี

ดังนั้นสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ = 3.78 + 15,246  
= 15,249.78 kWh/ปี

ค่าไฟฟ้า หน่วยละ = 7 บาท/kWh

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 15,249.78 × 7 = 106,748.46 บาท/ปี

การประหยัดน้ำประปา: ปริมาณน้ำที่สูญเสีย = 4,973 m<sup>3</sup>/ปี

ค่าน้ำประปา = 10 บาท/m<sup>3</sup>

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 49,730 บาท/ปี

รวมเป็นเงินที่ประหยัดได้ คือ 106,748.46 + 49,730 = 156,478.46 บาท/ปี

#### 5. การลงทุน

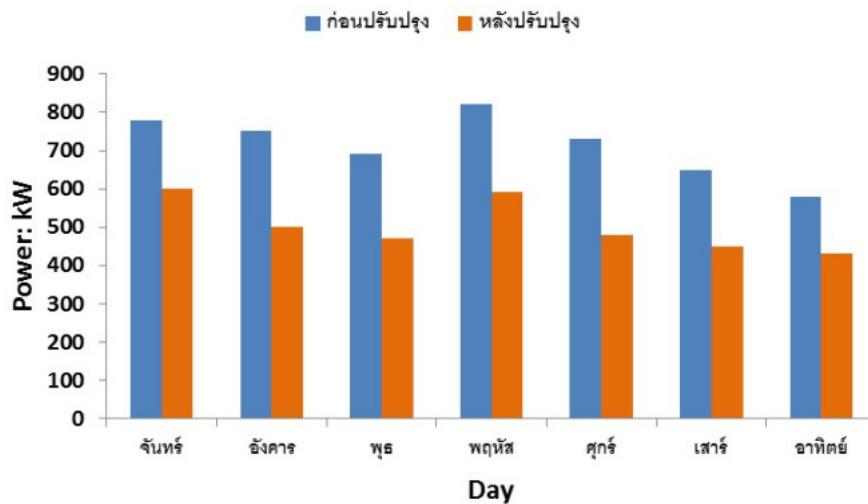
ทำการเปลี่ยนปะเก็นเครื่องสูบน้ำเย็นรวม 3 เครื่อง รวมเป็นเงิน ≅ 45,000 บาท

#### 6. ระยะเวลาคืนทุน

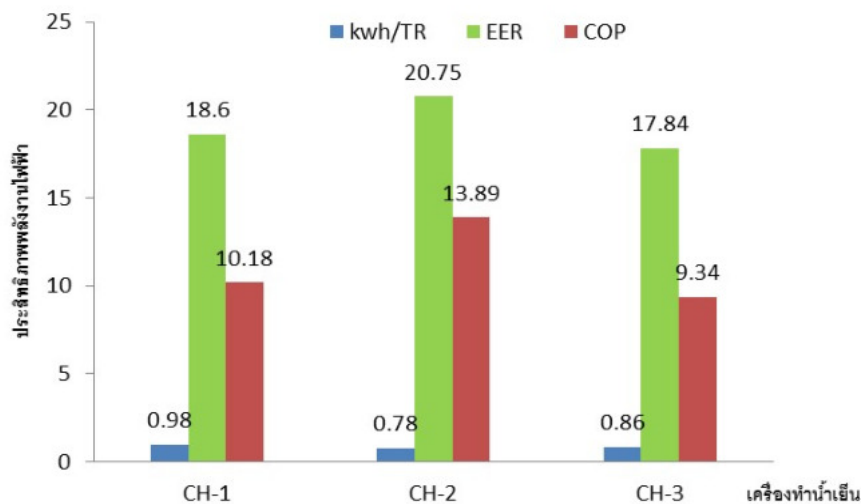
ระยะเวลาคืนทุน คือ 45,000/156,478.46 = 0.287 ปี หรือ ≅ 3 เดือน

ตารางที่ 5 ผลวิเคราะห์การลดใช้พลังงานสูญเสียก่อนและหลังปรับปรุงในการติดตั้งระบบปรับอากาศในอาคารโรงแรมฯ

รายละเอียด	คุณสมบัติเครื่องทำน้ำเย็น			คุณสมบัติหอทำความเย็น		
	CH-1	CH-2	CH-3	CH-4	CH-5	CH-6
ภาระในการทำความเย็น (TR)	466	460	450	-	-	-
สมรรถนะก่อนปรับปรุง (kW/TR)	0.75	0.76	0.78	-	-	-
กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง (kW)	351	349	353	15.2	15.4	-
สมรรถนะหลังปรับปรุง (kW/TR)	0.72	0.73	0.75	-	-	-
กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง (kW)	336	336	340	14.8	14.7	14.5
กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง (kW)	-15	-13	-13	-0.4	-0.7	-14.5



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าโดยเฉลี่ยต่อวันของระบบปรับอากาศแบบเครื่องทำน้ำเย็นก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุงที่มีการควบคุมระบบในโรงแรมฯ



ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นภายในอาคารโรงแรมฯ

#### กำหนดให้

On peak of Maximum Demand หมายถึง ช่วงเวลาของระบบมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดตั้งแต่วันจันทร์-วันศุกร์, เวลา 9.00 น.-22.00 น. ; หน่วย kW

ค่า kWh/TR หมายถึง อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าชั่วโมงต่อตันความเย็น หรือประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าชั่วโมงต่อตันความเย็น (kWh/TR)

Energy Effective Ratio: EER หมายถึง อัตราส่วนค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ ; หน่วย Btu/hr/W

Coefficient of Performance: COP หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะขีดความสามารถทำความเย็นหรือประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ ไม่มีหน่วย

### สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยสามารถอธิบายได้ว่าการวิเคราะห์ผลการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการต่างๆ นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับ คือมาตรการที่ไม่ต้องลงทุนหรือลงทุนน้อย จะต้องทำการวิเคราะห์เฉพาะผลการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายที่ลดลง ส่วนมาตรการที่ต้องใช้เงินลงทุนมากจะต้องทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมถึงระยะเวลาคืนทุน และผลตอบแทนในการลงทุนเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตัดสินใจในการลงทุนได้ การปรับตั้งอุณหภูมิน้ำเย็นให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ความดันสารทำความเย็นด้านต่ำ (Low Pressure) สูงขึ้น ซึ่งจะทำให้เครื่องทำน้ำเย็นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยค่า kWh/TR จะลดลงหรือค่า COP สูงขึ้น โดยทั่วไปถ้าอุณหภูมิน้ำเย็นสูงขึ้น 1 °F จะส่งผลให้ค่า kWh/TR ของเครื่องลดลงประมาณ 2-4 % จึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็น ถ้าค่า COP มีค่ามากยิ่งขึ้นแสดงว่าเครื่องทำน้ำเย็นมีสมรรถนะสูงดังแสดงผลวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นภาพที่ 5 และอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kWh/TR) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้ำยาตัวนำและอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนของระบบควบคุมเครื่องทำน้ำเย็น จากผลการวิจัยภาพที่ 4 พบว่าการควบคุมเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ และทำการปรับลดอุณหภูมิให้เหมาะสมกับความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (On peak of Maximum Demand) ช่วงก่อนทำการปรับปรุงกับหลังทำการปรับปรุงจึงพบว่าค่ากำลังไฟฟาลดลงประมาณ 10 % ผลจากการวิเคราะห์พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ปีละ 15,249.78 kWh คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าประหยัดเงินได้ประมาณ 106,748.46 บาท/ปี ดังนั้นจึงส่งผลช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าลงได้ ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารได้และอุณหภูมิของระบบปรับอากาศยังสามารถควบคุมได้โดยไม่กระทบผู้พักอาศัยภายในอาคารโรงแรมฯ และผลการวิจัยพบว่าการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศและทำความเย็นในอาคารโรงแรมฯ จะเกิดประสิทธิภาพผลสูงสุดได้นั้นจะต้องมีการศึกษา วางแผนงาน ติดตั้งระบบปรับอากาศ เริ่มตั้งแต่การออกแบบและการเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงจะสามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมากและวิเคราะห์การใช้พลังงานพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ 10-30 %

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิตที่สนับสนุนงบประมาณทุนวิจัยอย่างต่อเนื่องประจำปี และเพื่ออุปกรณ์ต่างๆ เครื่องวัดเพื่อตรวจวัดหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นและมอเตอร์ไฟฟ้า ดังนั้นทำให้ผลงานวิจัยเรื่องนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงด้วยดี

### เอกสารอ้างอิง

- [1] พีรเชษฐ ทับทิมทอง. (2554). การปรับปรุงระบบปรับอากาศให้เหมาะสมกับภาระการทำความเย็นโดยใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ กรณีศึกษาโรงแรมโนโวเทล. สารนิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- [2] ธนิต คล้ายอุทัย. (2557). การประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ กรณีศึกษาอาคารในโรงพยาบาลพระรามเก้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- [3] ชัยวุฒิ สุทธิเรืองวงศ์. (2555). คู่มือหลักสูตรการพัฒนาบุคลากรภาคปฏิบัติเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ตามเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

- [4] พจน์ขวัญ ไล่และเลิศสุข และคณะ. (2556). การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารสูง กรณีศึกษา: ระบบปรับอากาศ โรงแรมโนโวเทล แพลตินั่ม กรุงเทพฯ. **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**. 3 (2), 48-56.
- [5] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2550). **การปฏิบัติงานและการบำรุงรักษาอุปกรณ์ระบบสำหรับอาคารสูง**. กรุงเทพฯ ฯ : คณะกรรมการโครงการวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- [6] เวชยันต์ อะมะวัลย์. (2551). **การประหยัดพลังงานในระบบเครื่องปรับอากาศของอาคารสูงอำนวยการ**. สารนิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ ฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [7] ลีระ ธนพัฒน์. (2550). **การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าเพื่ออนุรักษ์พลังงานภายในอาคารโรงพยาบาลนครเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ ฯ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [8] ศุภชัย ปัญญาวิโร. (2546). **การประหยัดพลังงานในเครื่องทำน้ำเย็นของระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อน**. ระบบปรับอากาศ ชุดที่ 2 : 40 เรื่องหน้ารู้เทคนิคการปรับอากาศ. 165-168.
- [9] ศรายุทธ์ ขุนณรงค์ และคณะ. (2560). **การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยเทคนิคการปรับอุณหภูมิระบบปรับอากาศให้เหมาะสมกับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด**. ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [10] เอกสารคู่มือตำราอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานอาวุโส ด้านปฏิบัติด้านไฟฟ้า. (2562). **บทที่ 3 การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ**. ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย. 59-62.
- [11] เอกสารคู่มือการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ. (2559). **การประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็น**. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 27-45.

วารสารวิชาการ  
**พลังงานทดแทน  
สู่ชุมชน**



**J-REC**

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY  
FOR COMMUNITY

**สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย**

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 อีเมล : [treca.2012@gmail.com](mailto:treca.2012@gmail.com) โทร : 02 549 3497