

วารสารวิชาการ พลังงาน ทดแทน สู่ชุมชน

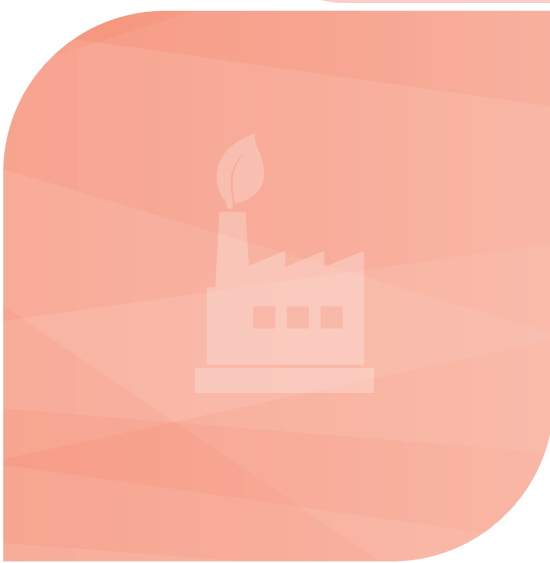
ปีที่ 6 ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน-ธันวาคม 2566



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 อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110

โทร. 0-2549-3497 www.reca.or.th/jrec

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

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

ติดต่อขอรับเป็นสมาชิกได้โดยตรงที่ สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

วัตถุประสงค์สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชน แห่งประเทศไทย

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

หลักการและเหตุผล

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

จุดมุ่งหมายสำคัญ

การทำงานกันทั้งส่วนภาครัฐและประชาชนในการใช้พลังงานทดแทน การอนุรักษ์พลังงานและใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศไทย ตลอดจนการศึกษาวิจัย ดำเนินการหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่างๆ มาใช้เป็นพลังงานทดแทนเพื่อความเหมาะสมและให้เกิดความยั่งยืนของชุมชนและประชาชนในประเทศไทย

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNITY คณะกรรมการจัดทำวารสาร วิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชน

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กองบรรณาธิการ

หัวหน้ากองบรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองบรรณาธิการ นายกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (ดร.อำพล อาภาธนากร)
ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ กรรมการสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (รศ.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.บุญเรือง มะรังศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร

เลขานุการ

นางสาววรรณิตา ทองพัด

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาววรรณิภา พงษ์ไทยสงค์

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

| | |
|---|---------------------------------------|
| ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง | มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| ศาสตราจารย์ ดร.พีระพงศ์ ทิมสกุล | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โยชนรินทร์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| รองศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| รองศาสตราจารย์ ดร.บุญย์ฤทธิ์ ประสาทแก้ว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร แก้วอ่อน | มหาวิทยาลัยทักษิณ |
| รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เรืองรุ่งชัยกุล | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| รองศาสตราจารย์ ดร.สุภกร บุญยืน | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

| | |
|--|---|
| รองศาสตราจารย์ ดร.ประไพธำรี ธนารักษ์ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิษฐ มณีโชติ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย จ้อยเจริญ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพจน์ เวศพันธ์ุ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ ประทุมนพรัตน์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ แยมแพง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐานวิทย์ แน่มใส | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนิรัตน์ วงษ์ซิม | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนโชติ เทียนมงคล | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระยศ แข็งขัน | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรพงศ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ ญรัฐ จันทร์ศรี | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยทิพย์ สินธูยา | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รวมพร นิคม | มหาวิทยาลัยทักษิณ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ จันทร์แก้ว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชาติ อากกล้า | มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สักรินทร์ แซ่ภู | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณนิภา ดอกไม้งาม | มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศกร คชาพงศ์กุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุวัฒน์ อุสาห์เพียร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงกมล เรืองงาม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติกร สาสุจิตต์ | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| ดร.อำพล อาภาชนากร | สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (องค์การมหาชน) |
| ดร.ประภาพร ประเสริฐพงศ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ดร.วินัย จันทร์เพ็ง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ดร.รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี |
| ดร.เขาวน นกอยู่ | กรมควบคุมมลพิษ |
| ดร.ธนวรรณ วีชรดำรงศักดิ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| ดร.นเรศ ฉิมเรศ | มหาวิทยาลัยทักษิณ |
| ดร.วีระวุฒิ แนบเพชร | มหาวิทยาลัยทักษิณ |
| ดร.ชยานนท์ สวัสดิ์สินธุนาท | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ |
| ดร.ณัฐยา ตันตรานนท์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ |
| ดร.นวงศ์ ชลคุป | ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ |
| ดร.กัมปนาท ซิลวา | ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ |
| ดร.กฤษมาพร พิงโพธิ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| ดร.ชานนท์ บุญมีพิพิธ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนิรัตน์ เข็มขาว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| ดร.ปรางค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| ดร.ศักรัยชัย เพชรสุวรรณ | มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม |
| ดร.สุระพล รียะนา | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| ดร.บงกช ประเสริฐ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนโดยความร่วมมือของเครือข่ายสมาชิกสมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย (TRECA) ซึ่งเป็นฉบับที่ 3 ของปีที่ 6 และนับเป็นปีสามที่วารสารตีพิมพ์รูปแบบออนไลน์ ISSN 2773-8639 (Online) วารสารฉบับนี้เป็นเนื้อหาของบทความทางวิชาการที่มุ่งสร้างผลงานที่เด่นทางด้านวิจัย และมุ่งสู่การใช้งานจริง ซึ่งได้รวบรวมความรู้ทางวิชาการที่สามารถถ่ายทอดให้แก่สังคม ทางด้านพลังงานทดแทนในสาขาต่างๆ เพื่อให้วารสารนี้เป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนวิชาการ และแนวความคิดในแวดวงวิชาการทั้งผู้วิจัยและผู้ใช้งาน อันเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างผลงานทางวิชาการสู่ชุมชนและสังคมโดยดำรงไว้ซึ่งความเป็นตัวตนทางวิชาการของผู้เขียนและวัตถุประสงค์ของสมาคมฯ ที่ทรงคุณค่า บทความในวารสารฉบับนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 10 บทความ ซึ่งในแต่ละบทความมีความเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันของรูปแบบพลังงานทดแทนต่างๆครอบคลุมกระบวนการในการวิจัยและการศึกษาสู่ภาคการใช้งานผู้อ่านจะได้รับความรู้ที่หลากหลายจากการอ่านวารสารฉบับนี้ในแนวทางที่จะจุดประกายความคิด หรือการต่อยอดความคิดทางด้านพลังงานทดแทนสาขาต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการอ่านอย่างวิพากษ์และตั้งคำถาม เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนในทางวิชาการอย่างสร้างสรรค์ อันจะช่วยให้ความรู้และความคิดเดิมถูกแพร่ขยายออกไปได้อย่างกว้างขวาง อีกทั้งให้วารสารฉบับนี้เป็นแหล่งความรู้ในทุกระดับภาคส่วนของทุกคนในสังคมไทยโดยไม่ยึดติดตนเองและอยู่กับความรู้ความคิดเพียงบางมุมบางด้านเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เขียนและผู้อ่านมีความเป็นตัวตนทางวิชาการที่พร้อมจะพัฒนาตนเองอยู่เสมออย่างไม่หยุดนิ่ง และท้ายที่สุดแล้วความรู้ความคิดที่ถูกต่อขยายออกไปนั้น ก็จะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนกระบวนการทัศนคติทางความคิดของสังคมและชุมชนอย่างกว้างขวาง อันจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางวิชาการของสังคมเพื่อความยั่งยืนของประเทศชาติกองบรรณาธิการขอขอบพระคุณคณะทำงานทุกท่านคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิชาการ และทุกภาคส่วนที่ได้สละเวลาอันมีค่าอ่านบทความ เพื่อความถูกต้องทางวิชาการ และเป็นวารสารที่ดีต่อการพัฒนาประเทศ ทั้งนี้หากผู้อ่านมีความประสงค์จะตีพิมพ์บทความสามารถขอความกรุณาโปรดจัดเตรียมต้นฉบับให้เป็นไปตามรูปแบบของวารสารและส่งบทความทางออนไลน์ที่ www.reca.or.th/jrec เพื่อการพิจารณาและตีพิมพ์ในวารสารฉบับต่อไป

กองบรรณาธิการ

สารบัญ

นวัตกรรมด้านพลังงาน

| | |
|--|----|
| การศึกษาผลของการเติมร่วมไอออนไนโอเปียมและแทนทาลัมในวัสดุ | 8 |
| ชั้นนำอิเล็กทรอนิกส์เทคโนโลยีเมมไดออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์รอฟสไกต์ | |
| การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา | 22 |
| จากผลกระทบของระยะความสูงในการติดตั้ง | |
| ตู้อบลีโอฟลูออไรด์ด้วยแสงหลอดไฟ UVC | 28 |
| เครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ | 36 |
| การหาตำแหน่งเหมาะสมของกังหันลมที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงที่สุด | 42 |
| สำหรับฟาร์มกังหันลมในภูมิภาคแบบสลัปซึบซันด้วยขั้นตอนวิธีอานานิคมมด | |
| การศึกษาและวิเคราะห์ระบบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มออกซิเจนสำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำ | 52 |
| ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดทุนลอยน้ำ | |
| การออกแบบและทดสอบกังหันลมอัตโนมัติขนาด 5 kw | 57 |

การบริหารจัดการพลังงานชุมชนด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล

| | |
|--|----|
| ระบบตรวจสอบแบตเตอรี่โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย | 65 |
|--|----|

พลังงานเพื่อชุมชน

| | |
|--|----|
| การศึกษาคุณภาพถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่โดยเตาเผาถ่านรุ่นมังกรขาว | 71 |
|--|----|

สิ่งแวดล้อมเพื่อชุมชน

| | |
|--|----|
| ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการจัดการสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเสื่อมสภาพด้วยการไพโรไลซิส | 77 |
|--|----|

การศึกษาผลของการเติมร่วมไอออนไนโอเบียมและแทนทาลัมในวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอน
ไทเทเนียมไดออกไซด์ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์อฟสไกต์
Study of the Effect of Cobalt-Doped Niobium and Tantalum Ions on Electron-
Transporting Layers of TiO₂ for Perovskite Solar Cells

ศุภกิตติ์ นิลขาว¹ ดวงมณี ว่องรัตน์ไพศาล² พิพัฒน์ เรือนคำ² และอักรินทร์ อินทนิเวศน์^{1*}
Supakit Nilkha¹ Duangmanee Wongratanaphisan² Pipat Ruankham² and Akarin Intaniwet^{1*}

¹ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

² ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

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

² Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University 50200

*Corresponding author: Tel.: 088-2687904 E-mail address: a.intaniwet@hotmail.co.th

Received: 13 March 2023, Revised: 21 April 2023, Accepted: 28 April 2023, Published online: 30 December 2023

Abstract

Perovskite solar cells represent a promising third-generation solar cell technology, and they have attracted considerable interest for their potential to compete with Si PV technology. Currently, perovskite solar cells (PSCs) using Titanium dioxide (TiO₂) as the electron-transporting material (ETM) have gained particular interest. However, an issue occurs at the junction between the ETMs and the perovskite layer due to charge transfer. Also, high temperature is required in the fabrication process of the electron-transporting layers. The addition of metal ions such as Niobium (Nb⁵⁺) and Tantalum (Ta⁵⁺) to replace Titanium (Ti⁴⁺) can potentially solve these problems. Co-doping of the ETMs material from TiO₂ is therefore a viable idea to reduce such problems and increase the efficiency of solar cells. Therefore, this study investigates various co-doping ratios of Niobium and Tantalum in Titanium dioxide. The results reveal that the ratio of 3Nb:2Ta-doped TiO₂ is the most suitable choice for the electron-transporting layer. The power conversion efficiency (PCE) of perovskite solar cell that employed such electron transporting material was as high as 11.05% (3Nb:2Ta doped-TiO₂), which is 9.71% higher than that of Pure-TiO₂. To gain further insights into the material's properties, X-ray diffraction analysis and UV-visible spectroscopy were employed, providing valuable information on its physical and optical characteristics.

Keywords: Low-temperature, Co-doped, TiO₂, perovskite solar cells

บทคัดย่อ

เซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์อฟสไกต์ถือว่าเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์รุ่นที่ 3 และได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาพัฒนาเพื่อให้ได้ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า ในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์อฟสไกต์ที่มีวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอน (ETLs) เป็น TiO_2 กำลังได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่อง แต่มีปัญหาในเรื่องการถ่ายโอนประจุบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นนำอิเล็กตรอนและชั้นเพอร์อฟสไกต์และต้องใช้อุณหภูมิที่สูงในกระบวนการการสร้างวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอน การเติมไอออนของธาตุโลหะอย่างไนโอเบียม(Nb^{5+}) และแทนทาลัม(Ta^{5+}) เข้าไปแทนที่ไทเทเนียม(Ti^{4+}) สามารถแก้ไขปัญหาคือได้เป็นอย่างดี การเติมร่วมในวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอน TiO_2 จึงเป็นแนวคิดที่มีความเป็นไปได้ในการลดปัญหาดังกล่าวและเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ การศึกษาที่อัตราส่วนการเติมร่วมที่แตกต่างกัน พบว่าที่อัตราส่วน $3\text{Nb}:2\text{Ta}$ Doped TiO_2 คือสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด โดยมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า (PCE) สูงถึง 11.05% ซึ่งมากกว่า Pure- TiO_2 9.71% นอกจากนี้ยังศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพด้วยการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (XRD) ศึกษาคุณสมบัติการส่องผ่านของแสงด้วยเทคนิค UV-Vis spectrophotometer และการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้า เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์อฟสไกต์

คำสำคัญ: อุณหภูมิต่ำ การเติมร่วม ไทเทเนียมไดออกไซด์ เซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์อฟสไกต์

บทนำ

เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนมีหลากหลายรูปแบบ ปัจจุบันในประเทศไทยเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นับว่ามีสัดส่วนในการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในบรรดาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน [1] เซลล์แสงอาทิตย์ถือว่าเป็นอีกหนึ่งอุปกรณ์สำคัญในการผลิตไฟฟ้า การคิดค้นและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ในหลายรูปแบบเมื่อจำแนกตามประเภท เซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์อฟสไกต์นับเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มวัสดุรูปแบบใหม่ ประกอบด้วยวัสดุชั้นนำไฟฟ้าทั้งด้านบน (Front electrode) และด้านล่าง (Back electrode) เซลล์แสงอาทิตย์ มีชั้นวัสดุเพอร์อฟสไกต์ (Perovskite layer) เป็นวัสดุชั้นดูดซับแสงเพื่อกระตุ้นการเคลื่อนของอิเล็กตรอนและโฮลผ่านไปยังวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอน (Electron Transporter layer) และวัสดุชั้นนำโฮล (Hole transporter layer)

เซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์อฟสไกต์ได้มีการประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกเมื่อปี 2008 โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 3.8% [2] ต่อมาได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นโดยการพัฒนาหลายวิธีเช่น การปรับปรุงโครงสร้างผลึกของวัสดุชั้นดูดซับแสง [3] การพัฒนาโครงสร้างผลึกของชั้นนำอิเล็กตรอน [4] และนำโฮล [5] นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาชั้นนำไฟฟ้าหลังเซลล์แสงอาทิตย์ [6] รวมทั้งยังมีการปรับเปลี่ยนวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนไม่ว่าจะเป็น ไทเทเนียมไดออกไซด์ [7] ซิงค์ไดออกไซด์ [8] นอกจากนี้ยังมีการเติมโลหะกลุ่มทรานซิชันอันได้แก่ ทังสแตน ฯลฯ เข้าไปในวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนที่เป็นไทเทเนียมไดออกไซด์ [9] ทั้งหมดนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า (PCE) โดยมากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์อฟสไกต์นิยมใช้วัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนเป็นไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) แต่วัสดุดังกล่าวยังมีปัญหาในหลายเรื่อง ไม่ว่าจะเป็นการที่ต้องเตรียมในอุณหภูมิสูงทำให้เกิดความยุ่งยากในกระบวนการสร้างวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอน ให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะวงจรเปิด (V_{oc}) ที่ไม่มากพอ [10] เกิดช่องว่างบริเวณพื้นผิวของชั้นดูดซับแสงอันเนื่องมาจากการบวมการเผาเพื่อสร้างผลึก [11] และการเกิดฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) ในการตรวจวัดประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า [12] ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการเติมไอออนของธาตุโลหะทรานซิชัน ในปัจจุบันการเติมไอออนโลหะทรานซิชันนิยมทำกันมากกับวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนที่เป็นไทเทเนียมไดออกไซด์ ในบางงานวิจัยมีการเติมร่วม (Co-doped) ของไอออนโลหะทรานซิชัน [13] ทั้งนี้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเติมร่วมในวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์อฟสไกต์ยังไม่เป็นที่นิยมมากจึงมีความน่าสนใจในการศึกษา โดยธาตุโลหะทรานซิชันที่ถูกนำมาเติมและมีความโดดเด่นในเรื่องของการแก้ไขปัญหาคือไทเทเนียมไดออกไซด์และยังทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นได้แก่ธาตุไนโอเบียม และแทนทาลัม เนื่องจากสามารถปรับเปลี่ยนช่องว่างระดับพลังงานของชั้นนำอิเล็กตรอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายโอนประจุทำให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าดีขึ้น [14, 15] และรัศมีไอออนของไนโอเบียมและแทนทาลัมอยู่ที่ 0.64 Å และที่ไทเทเนียมอยู่ที่ 0.605 Å ซึ่งมีความใกล้เคียงกันทำให้ไนโอเบียมและแทนทาลัมสามารถแทนที่ตำแหน่งของไทเทเนียมได้

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของการเติมไอออนร่วมกันระหว่างไนโอเบียมและแทนทาลัมเข้าในโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่สัดส่วนการเติม 5%Nb-doped Nb:Ta Co-Doped และ 5%Ta-Doped เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไทเทเนียมไดออกไซด์จากผลวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติแสงเมื่อทำการเติมร่วม รวมถึงผลคุณสมบัติทางไฟฟ้าของการเติมร่วมที่สัดส่วนต่าง ๆ นอกจากนั้นยังนำเสนอการจำลองผลผลิตพลังงานไฟฟ้าจากค่าประสิทธิภาพเมื่อนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมสารละลายวัสดุชั้นนำอิเล็กทรอนิกส์

สารละลายวัสดุชั้นนำอิเล็กทรอนิกส์ TiO_2 ถูกเตรียมจากไทเทเนียมเตตระคลอไรด์ (TiCl_4) ในรูปแบบของเหลว จากนั้นนำไปหยดใส่เอทานอลลงที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน หมุนกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 10 min. เรียกสารละลายนี้ว่า “สารละลาย A” (สำหรับสัดส่วน Pure- TiO_2) ไนโอเบียมเพนตะคลอไรด์ (Nb_5Cl) และแทนทาลัมเพนตะคลอไรด์ (Ta_5Cl) ในรูปผงถูกนำไปละลายในเอทานอลความบริสุทธิ์สูง โดยสารละลายไนโอเบียมและแทนทาลัมจะถูกหยดใส่ร่วมกับ TiCl_4 ในขั้นตอนนี้ในปริมาณสัดส่วนการเติม (5%Nb Doped TiO_2 , 5%Ta Doped- TiO_2 , 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO_2 , 2%Nb:3%Ta Co-doped TiO_2) จากนั้นใส่สารละลาย A ลงในเบนซินแอลกอฮอล์ (Benzyl alcohol) ปริมาตร 40 ml. ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 4.30 hr. จะเรียกสารละลายนี้ว่า “สารละลาย B” นำสารละลาย B ผสมกับไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl ether) ในอัตราส่วน 1.5:13.5 ml. นำไปหมุนแยกสารด้วยความเร็วการหมุน 4,000 rpm เป็นเวลา 10 min. จากนั้นนำตะกอนที่ได้จากการหมุนแยกสารผสมกับเอทานอลความบริสุทธิ์สูงให้เข้ากันด้วยเครื่องสั่นอัลตราโซนิกเป็นเวลา 2 hr. ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50°C จะได้สารละลาย “ TiO_2 NPs” สุดท้ายนำสารละลาย TiO_2 NPs ผสมกับ TIPD ด้วยอัตราส่วน 2:14 (ml:µl) เก็บไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 24 hr. ทำการสั่นอนุภาคด้วยเครื่องสั่นอัลตราโซนิกก่อนนำมาใช้งาน จากการศึกษาพบว่า TiO_2 NPs ที่ได้หลังจากการสังเคราะห์พบว่าเป็น Anatase- TiO_2 ที่มีโครงสร้างแบบ Tetragonal [16]

2. การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์รอฟสไกต์

ทำความสะอาดกระจกเคลือบสารนำไฟฟ้า (FTO) ด้วยสารทำความสะอาดด้วยสารทำความสะอาด (Alconox) อะซิโตน (Acetone) แอลกอฮอล์ (Alcohol) และไอโซโพรพานอล (IPA) ด้วยเครื่องสั่นความถี่อัลตราโซนิกและทำความสะอาดด้วย UV-Ozone จากนั้นหมุนเคลือบสารละลายวัสดุชั้นนำอิเล็กทรอนิกส์ปริมาณ 70 µl. หมุนด้วยความเร็ว 1,500 rpm เป็นเวลา 40 วินาทีนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 min. จากนั้นเตรียมสารละลายเพอร์รอฟสไกต์ $\text{Cs}_{0.17}\text{FA}_{0.83}\text{Pb}(\text{I}_{0.83}\text{Br}_{0.17})_3$ เตรียมโดย CsI 25 mg, FAI 97.9 mg, PbBr_2 63.3 mg และ PbI_2 248.7 mg. ละลายใน DMF และ DMSO ในปริมาณ 425 µl และ 95 µl ตามลำดับ นำสารละลายเพอร์รอฟสไกต์หมุนเคลือบชั้น ETL ด้วยความเร็ว 1,000 rpm 13 วินาที จากนั้นเพิ่มความเร็วเป็น 4,000 rpm 30 วินาที ในช่วง 5 วินาที สุดท้ายทำการหยด Anisole 180 µl จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 15 min. เพื่อให้สารเพอร์รอฟสไกต์เปลี่ยนสภาพเป็นชั้นฟิล์มบางต่อมาสกัดวัสดุชั้นนำโพลีโดยใช้การหมุนเคลือบด้วยสารละลาย Spiro-OMeTAD ปริมาณ 50 µl และหมุนเคลือบด้วยความเร็ว 3,000 rpm 30 วินาที ในขั้นตอนสุดท้ายการทำขั้วอิเล็กโทรดด้วยฟิล์มคาร์บอน โดยใช้แผ่นฟิล์มคาร์บอนกดอัดลงบนชั้นฟิล์ม HTL ด้วยแรงอัด 6 bar โดยที่ให้ความร้อนที่ 50°C จะได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่พร้อมนำไปทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ

3. วัสดุสำหรับสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์รอฟสไกต์

กระจกเคลือบสารนำไฟฟ้า Fluorine Doped Tin Oxide (FTO) ที่มีความต้านทานประมาณ $7\text{-}14 \Omega/\text{mm}^2$, ไทเทเนียมเตตระคลอไรด์ (TiCl_4) (MERCK), ไนโอเบียมเพนตะคลอไรด์ (Nb_5Cl) ($\geq 99.9\%$ trace metals basis, Sigma-Aldrich), แทนทาลัมเพนตะคลอไรด์ (Ta_5Cl) (99.8% trace metals basis, Sigma-Aldrich), Titanium diisopropoxide bis(acetylacetonate) (TIPD) (75 wt. % in isopropanol, Sigma-Aldrich), PbI_2 (99%, Sigma-Aldrich) CsI (99.999% trace metals basis, Sigma-Aldrich), Lead(II) Bromide (PbBr_2) ($\geq 98\%$, Sigma-Aldrich), Formamidinium iodide (FAI) ($>99.99\%$, Greatcellsolar Materials), N,N-Dimethylformamide (DMF)

(anhydrous, 99.8%, Sigma-Aldrich), Dimethyl sulfoxide (DMSO) (anhydrous, >99.9%, Sigma-Aldrich) และ Spiro-OMeTAD

4. การทดสอบคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์รอฟสไกต์

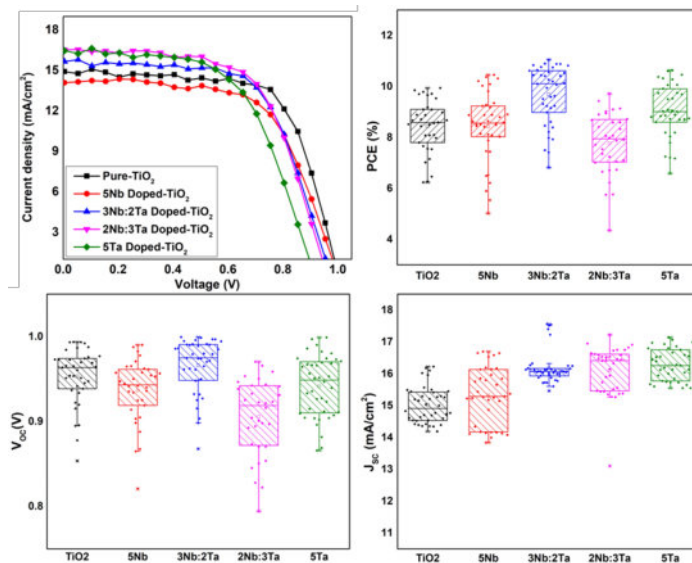
ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพเพื่อศึกษาผลของการเติมและเติมร่วมของไนโอเบียมและแทนทาลัมไปแทนที่ไทเทเนียมในโครงสร้าง รวมทั้งสามารถยืนยันความสำเร็จในการเติมโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ทำการตรวจสอบที่มุม 20° - 80° (Rigaku, miniFlex II) วิเคราะห์คุณสมบัติการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectroscopy) ที่ช่วงความยาวคลื่น 200-1,000 nm (Varian, Cary 500) ในขั้นตอนการตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ชุดทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความเข้มแสง $1,000 \text{ W/m}^2$ AM 1.5 และทดสอบค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า (J-V Curve)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์รอฟสไกต์ที่ถูกเติมไนโอเบียมและแทนทาลัมเข้าไปในชั้นนำอิเล็กตรอนที่เป็นไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยกระบวนการเติมในอุณหภูมิต่ำ ($<150^{\circ}\text{C}$) ซึ่งมีกระบวนการง่ายต่อการสังเคราะห์ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ทำให้ได้ข้อมูลคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยมีการวิเคราะห์ดังภาพที่ 1 เมื่อนำข้อมูลของทุกสัดส่วนมาวิเคราะห์จากตารางที่ 1 จากข้อมูลพบว่า Pure-TiO₂ มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 8.67% มีค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเฉลี่ย 15.02 mA/cm^2 มีค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรถัดเฉลี่ย 0.94 V และมีค่าฟิลแฟกเตอร์เฉลี่ย 60.98% ในขณะที่เมื่อทำการเติมไอออนของไนโอเบียมที่สัดส่วน 5%Nb Doped-TiO₂ สามารถให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรถัดและค่าฟิลแฟกเตอร์เฉลี่ยเท่ากับ 8.91%, 14.91 mA/cm^2 , 0.97 V และ 61.75% ตามลำดับ และเมื่อทำการเติมไอออนของแทนทาลัมที่สัดส่วน 5%Ta Doped-TiO₂ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 9.89% ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเฉลี่ย $16.41 \text{ mA}\cdot\text{cm}^2$ ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรถัดเฉลี่ย 0.97 V และค่าฟิลแฟกเตอร์เฉลี่ยมีค่า 62.50% เมื่อทำการเติมร่วมที่สัดส่วน 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂ ได้แสดงผลประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่สุด 10.37% รวมถึงตัวแปรอื่นๆ อาทิ ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเฉลี่ย 16.21 mA/cm^2 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรถัดเฉลี่ย 0.99 V และค่าฟิลแฟกเตอร์เฉลี่ย 64.81% สังเกตจากข้อมูลพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรลดลงที่สัดส่วน 5%Nb Doped-TiO₂ มีค่าน้อย อาจเป็นเพราะการเพิ่มไอออนของไนโอเบียมที่มากเกินไปจนเกิดความเหมาะสมจนเกิดขัดขวางการถ่ายโอนประจุ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [17] ที่แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนที่เหมาะสมกับการเติมไนโอเบียมคือ 0.3% ซึ่งสอดคล้องในงานวิจัยนี้ที่สัดส่วน 3%Nb Doped-TiO₂ และจากผลความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์สังเกตเห็นได้ว่าที่สัดส่วน 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂ ที่ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรต่ำกว่าสัดส่วน 2%Nb:3%Ta Co-doped TiO₂ และ 5%Ta Doped-TiO₂ แต่กลับให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดด้วยสาเหตุค่าความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีตัวแปรคือ R_s และ R_{sh} เนื่องจากด้วย 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂ มีค่า R_s ที่ต่ำถึง $12.65 \Omega\cdot\text{cm}^2$ เป็นเหตุให้ไม่เกิดการสูญเสียกระแสให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ และ R_{sh} ที่สูงถึง $9,260 \Omega\cdot\text{cm}^2$ ซึ่งเป็นค่าที่สูงทำให้ไม่เกิดการไหลกลับของกระแสภายในเซลล์ เป็นเหตุผลที่ทำให้ถึงสัดส่วน 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂ จะมีค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรน้อยกว่าแต่กลับมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าสูง ซึ่งถือว่าเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนที่มีพื้นฐานเป็น Pure-TiO₂ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์รอฟสไกต์

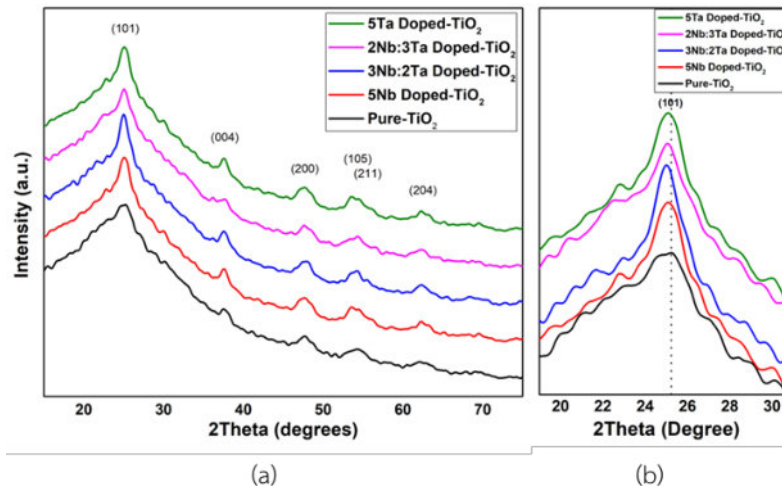
ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์รอฟสไกต์

| วัสดุชั้นนำอิเล็กตรอน | PCE Average (%) | FF (%) | J _{sc} (mA/cm ²) | V _{oc} (V) | R _{sh} (Ω·cm ²) | R _s (Ω·cm ²) |
|-----------------------------------|-----------------|--------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Pure-TiO ₂ | 8.65 | 60.98 | 15.02 | 0.94 | 8,340.6 | 16.41 |
| 5Nb Doped-TiO ₂ | 8.91 | 61.75 | 14.91 | 0.97 | 3,307.8 | 14.41 |
| 3Nb:2Ta Co-doped TiO ₂ | 10.37 | 64.81 | 16.21 | 0.99 | 9,260.11 | 12.65 |
| 2Nb:3Ta Co-doped TiO ₂ | 8.81 | 57.62 | 16.31 | 0.94 | 1,246.01 | 17.51 |
| 5Ta Doped-TiO ₂ | 9.89 | 62.50 | 16.41 | 0.96 | 2,893.28 | 12.67 |



ภาพที่ 1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าต่าง ๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์ออฟสไกต์

เพื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผลึกในทูดส์ส่วนเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ดังภาพที่ 2 พบว่าพีคส่วนใหญ่เป็นพีคของไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปแบบอนาเทส เมื่อพิจารณาที่มุม 25.25° ซึ่งเป็นระนาบ 101 จากผลตารางที่ 2 มีการเคลื่อนที่เล็กน้อยของพีคเนื่องจากการรบกวนไอออนโลหะของไนโอเบียมและแทนทาลัมมีขนาด 0.64 \AA ซึ่งมีขนาดมากกว่ารัศมีไอออนของไทเทเนียมซึ่งมีค่า 0.605 \AA เป็นผลทำให้ที่ระนาบ 101 มีการเคลื่อนที่เล็กน้อยไปยังมุมน้อยลงจาก 25.31° (Pure-TiO₂) ไปยัง 25.01° (3%Nb:2%Ta-Doped) เนื่องจากรัศมีไอออนมีผลต่อระยะห่างระหว่างแลคทิต [18] และยังสามารถสังเกตได้ว่าลักษณะของระนาบ 101 ที่สัดส่วน 3Nb:2Ta Doped TiO₂ มีลักษณะเรียวยาวแหลมและมีค่าความเข้มที่สูงกว่าสัดส่วนอื่น ๆ สามารถบ่งชี้ได้ถึงความเป็นผลึกที่ดีซึ่งเป็นผลที่ต่อคุณสมบัติการถ่ายโอนประจุในบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นนำอิเล็กตรอนและชั้นเพอร์ออฟสไกต์



ภาพที่ 2 (a) ผลวิเคราะห์ XRD ของวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนตั้งแต่มุม 10° - 80° และ (b) ระนาบ 101

ตารางที่ 2 ข้อมูลผล XRD วิเคราะห์มุม 2Theta ของระนาบ 101

| วัสดุชั้นนำอิเล็กตรอน | 2Theta (Degree) |
|-----------------------------------|-----------------|
| Pure-TiO ₂ | 25.31 |
| 5%Nb Doped-TiO ₂ | 25.12 |
| 3Nb:2Ta Co-Doped TiO ₂ | 25.01 |
| 2Nb:3Ta Co-Doped TiO ₂ | 25.09 |
| 5%Ta Doped-TiO ₂ | 25.08 |

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึง lattice parameter ของวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนทุกสัดส่วน ซึ่งการวิเคราะห์ที่ได้ใช้ Gauss's function ในการหามุม 2Theta เพื่อทราบถึงค่า d-spacing โดยใช้สมการของ Bragg's Law ดังสมการที่ (1) จากนั้นทำการหาค่า Lattice constant เพื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างแลคทิกซ์ เนื่องจากเป็นผลึก Anatase-TiO₂ ทำให้มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ Tetragonal ซึ่งมีคุณสมบัติที่เวกเตอร์แลคทิกซ์ของเวกเตอร์ a และ b มีค่าเท่ากันและไม่เท่ากับเวกเตอร์ c โดยคำนวณที่ระนาบ (200) และ (004) โดยใช้สมการที่ (2) จากการวิเคราะห์ตารางที่ 3 จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อทำการเติมไนโอเบียมที่สัดส่วน 5%Nb Doped-TiO₂ และ 5%Ta Doped-TiO₂ พบว่า Lattice constant ของเวกเตอร์ a และ b มีการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงเป็น 1.0474 Å จาก 1.0478 Å (Pure-TiO₂) และเวกเตอร์ c มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 9.5762 Å จาก 9.5650 Å (Pure-TiO₂) และการเติมรวมที่สัดส่วน 3%Nb:2%Ta Co-Doped TiO₂ สามารถสังเกตได้ว่าขนาดของเวกเตอร์ a และ b มีขนาดลดลงเมื่อเทียบกับ Pure-TiO₂ จาก 1.0478 Å เป็น 1.0477 Å ตามลำดับ รวมถึงขนาดเวกเตอร์ c ที่เพิ่มเป็น 9.5750 Å จาก 9.5650 Å (Pure-TiO₂) และที่การเติมรวมที่สัดส่วน 2%Nb:3%Ta Co-Doped TiO₂ มีขนาดเวกเตอร์ a, b และ c ที่มากที่สุดคือ 1.0505 Å, 1.0505 Å และ 9.5978 Å ตามลำดับ ซึ่งทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกับโครงสร้างผลึกแบบ tetragonal ของ TiO₂ ซึ่งสามารถยืนยันได้ถึงโครงสร้างผลึกของวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนได้ว่าเป็น Anatase-TiO₂

Bragg's Law

$$2d(\sin \theta) = n\lambda \quad (1)$$

- d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก(d-spacing) (Å)
 θ คือ มุมการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (°)
 λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ (1.5406 Å)

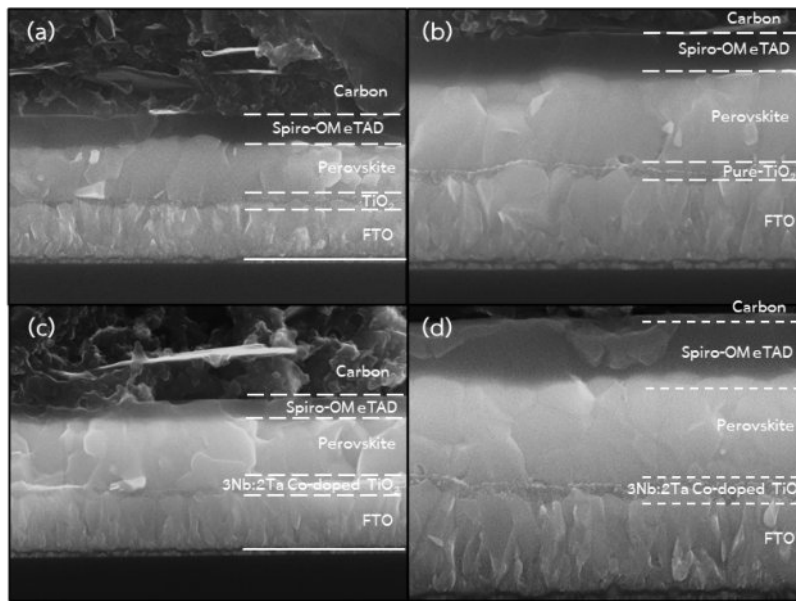
สมการ Lattice constant (Å)

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (2)$$

- d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบผลึก (d-spacing) (Å)
 h, k และ l คือ ระนาบของผลึก
 a และ c คือ Lattice constant (Å)

ตารางที่ 3 ข้อมูลการวิเคราะห์ Lattice parameter ของชั้นนำอิเล็กตรอน

| วัสดุชั้นนำอิเล็กตรอน | Lattice parameter | | |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | a Lattice constant (Å) | b Lattice constant (Å) | c Lattice constant (Å) |
| Pure-TiO ₂ | 1.0478 | 1.0478 | 9.5650 |
| 5%Nb Doped-TiO ₂ | 1.0474 | 1.0474 | 9.5762 |
| 3Nb:2Ta Co-Doped TiO ₂ | 1.0477 | 1.0477 | 9.5750 |
| 2Nb:3Ta Co-Doped TiO ₂ | 1.0505 | 1.0505 | 9.5978 |
| 5%Ta Doped-TiO ₂ | 1.0474 | 1.0474 | 9.5762 |



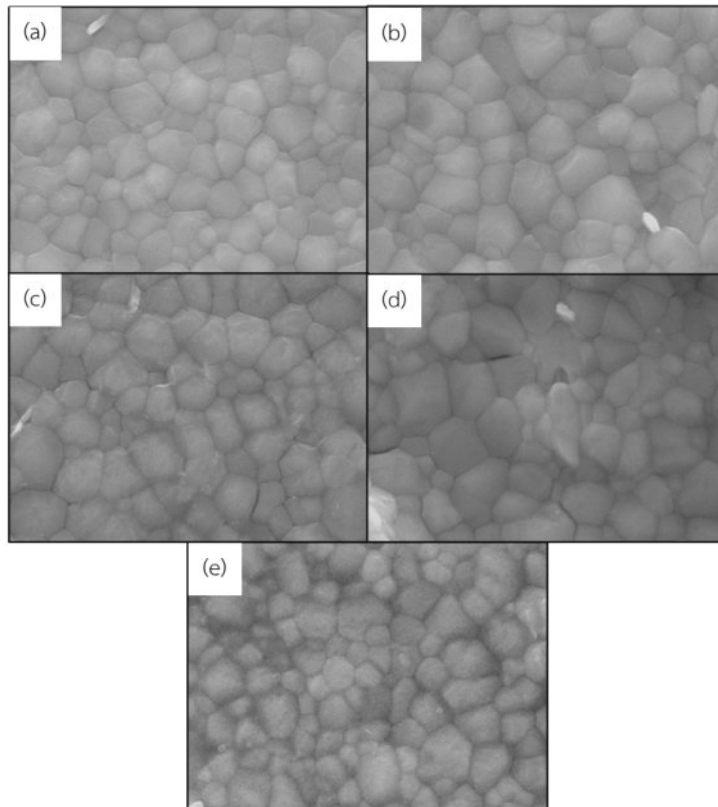
ภาพที่ 3 ภาพตัดขวางถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a-b) Pure-TiO₂ และ (c-b) 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂

จากภาพที่ 3 การวิเคราะห์ภาพตัดขวางของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์รอฟสไกต์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 30,000 และ 50,000 เท่า โดยเลือกนำเสนอความแตกต่างระหว่างวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนที่ไม่ผ่านการเติม (Pure-TiO₂) และการเติมร่วมที่สัดส่วน (3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂) เนื่องจากมีผลทางไฟฟ้าที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด เพื่อศึกษาถึงความสมบูรณ์ของรอยต่อระหว่างชั้นฟิล์มและประเมินความหนาของชั้นฟิล์ม พบว่าที่สัดส่วน Pure-TiO₂ ภาพที่ 3a และ 3b จะสังเกตเห็นได้ในบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นวัสดุนำอิเล็กตรอนที่ทำการหมุนเคลือบลงบนชั้นสารนำไฟฟ้า (FTO) ของภาพที่ 3a ที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ การเคลือบของสารละลายวัสดุไม่สามารถครอบคลุมได้อย่างทั่วถึง ซึ่งเป็นจุดบกพร่องทำให้เกิด trap current density ส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรลดลงในทางกลับกันเห็นได้ว่าสารละลายไนโอเบียมและแทนทาลัมที่สัดส่วน 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂ สามารถครอบคลุมชั้น FTO ได้ดีกว่า อาจกล่าวได้ว่าคุณสมบัติของไนโอเบียมและแทนทาลัมมีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของสารละลายวัสดุให้สามารถเคลือบพื้นผิวได้ดียิ่งขึ้น และยังทำให้เพิ่มการถ่ายโอนประจุบริเวณรอยต่อระหว่าง FTO กับ ETLs เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของสัดส่วน 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂ ที่สูงกว่าสัดส่วน Pure-TiO₂ และจากการวัดความหนาของชั้นฟิล์มแต่ละชั้นได้ความหนาดังต่อไปนี้ ชั้นนำอิเล็กตรอน 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂ มีความหนาที่เหมาะสมประมาณ 55.25 nm ชั้นเพอร์รอฟสไกต์ ซึ่งเป็นชั้นเพอร์รอฟสไกต์มีความหนาประมาณ 495.15 nm และสุดท้ายชั้นนำโฮลที่มีวัสดุเป็น Spiro-OMeTAD มีความหนาประมาณ 249.27 nm

เมื่อทำการพิจารณาพื้นผิวชั้นเพอร์รอฟสไกต์จากภาพที่ 4 พบว่าลักษณะของเกรนที่อัตราส่วน Pure-TiO₂ มีลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างไม่สม่ำเสมอโดยดูจากความเข้มของสีในแต่ละพื้นที่ผิวของชั้นฟิล์มเมื่อทำการวิเคราะห์ถึงขนาดเกรนของชั้นฟิล์มเพอร์รอฟสไกต์แสดงดังตารางที่ 4 โดยคำนวณจากสมการที่ 3 พบว่า ที่สัดส่วนดังกล่าวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 211.22 nm เมื่อทำการเติมร่วมไอออนของไนโอเบียมและแทนทาลัมพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกรนเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 236.84 nm ซึ่งสอดคล้องกับผลทางไฟฟ้าที่สัดส่วน 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂ ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุด [19] ทั้งนี้การแสดงผลออกทางกายภาพของพื้นผิววัสดุอาจไม่สามารถสรุปได้ถึงผลทางไฟฟ้าทั้งหมดของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์รอฟสไกต์จึงมีความจำเป็นต้องพิสูจน์ทราบทางคุณสมบัติทางแสงของเซลล์ด้วย

$$\text{Grain size (nm)} = 2\sqrt{\frac{A_{\text{Grain}}}{p}} \quad (3)$$

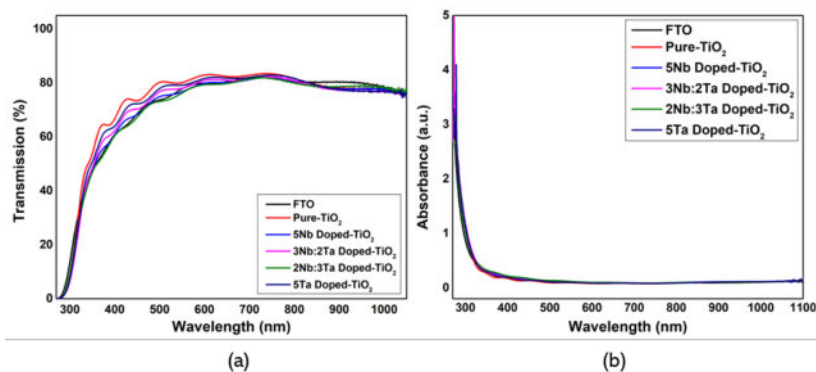
| | |
|--------------------|---------------------------------------|
| Grain size | คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเกรน (nm) |
| A _{Grain} | คือ พื้นที่ของเกรน (nm ²) |
| π | คือ ค่าคงที่ Pi มีค่าประมาณ (3.1415) |



ภาพที่ 4 ภาพถ่ายพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (a) Pure-TiO₂, (b) 5%Nb Doped-TiO₂, (c) 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂, (d) 2%Nb:3%Ta Co-doped TiO₂ และ (e) 5%Ta Doped-TiO₂

ตารางที่ 4 เส้นผ่านศูนย์กลางเกรนของวัสดุเพอร์รอฟสไกต์

| วัสดุชั้นนำอิเล็กทรอนิกส์ | เส้นผ่านศูนย์กลางเกรน (nm) |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Pure-TiO ₂ | 211.22 |
| 5%Nb Doped-TiO ₂ | 230.67 |
| 3Nb:2Ta Co-Doped TiO ₂ | 236.84 |
| 2Nb:3Ta Co-Doped TiO ₂ | 234.22 |
| 5%Ta Doped-TiO ₂ | 224.63 |



ภาพที่ 5 (a) ผลวิเคราะห์คุณสมบัติการส่องผ่านของแสง (b) ผลวิเคราะห์การดูดซับแสงของชั้นวัสดุ FTO/ETLs

จากภาพที่ 5 ซึ่งเป็นภาพแสดงผลการส่องผ่านและดูดกลืนของชั้นนำอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกหมุนเคลือบลงบนกระจกเคลือบสารนำไฟฟ้า (FTO) โดยใช้อากาศที่อุณหภูมิห้องเป็น baseline ทดสอบที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 270-1,100 nm จากภาพที่ 5a แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติการส่องผ่านของทุกสัดส่วนใกล้เคียงกัน และมีร้อยละการส่องผ่านประมาณ 80% มีค่าการส่องผ่านสูงสุดในช่วงความยาวคลื่น 550-815 nm โดยมีค่าการส่องผ่านสูงสุดประมาณ 76.34-83.57% ซึ่งถือว่าทุกสัดส่วนมีค่าการส่องผ่านที่สูงสามารถให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านไปยังวัสดุชั้นเพอร์รอฟสไกต์ซึ่งเป็นชั้นดูดกลืนแสงได้ดี เมื่อนำค่าการส่องผ่านวัสดุชั้นนำอิเล็กทรอนิกส์ทุกสัดส่วนมาหาค่าการดูดกลืนจากสมการ (4) จากภาพที่ 5b ผลที่ได้มีความสัมพันธ์กันกับค่าการส่องผ่าน และค่าการดูดกลืนของวัสดุชั้นนำอิเล็กทรอนิกส์ โดยคำนวณได้จากสมการ (5) สามารถนำไปหาช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน หรือ Energy gaps (E_g) ได้จากสมการ (6)

สมการร้อยละการส่องผ่าน Transmittance percentage (%T)

$$\%T = \frac{I}{I_0} \times 100 \quad (4)$$

- I คือ ความเข้มแสงที่ออกมาหลังจากผ่านตัวกลาง
- I_0 คือ ความเข้มแสงก่อนผ่านตัวกลาง

สมการการดูดกลืนของแสง Absorbance (A)

$$A = 2 - \log \%T \quad (5)$$

เมื่อนำผลการดูดกลืนของแสงในวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนมาวิเคราะห์ α หาช่องว่างระหว่างแถบพลังงานด้วยวิธี Tauc's plot ด้วยสมการ (4)

$$(\alpha hv)^{1/\gamma} = A(hv - E_g) \quad (6)$$

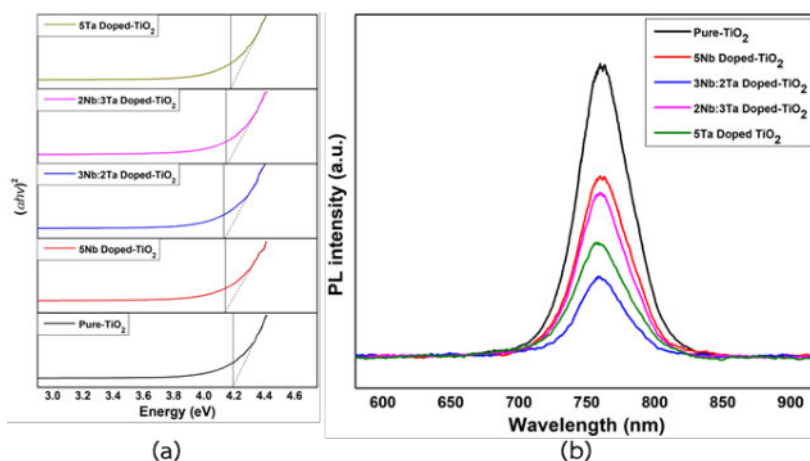
- α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง
- h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (6.625×10^{-34} J·s)
- v คือ ความถี่ของโฟตอน
- γ คือ การเปลี่ยนสถานะทางอ้อมของอิเล็กตรอนตามธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 2
- A คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับวัสดุ
- E_g คือ ช่องว่างแถบพลังงาน

จากความสัมพันธ์ของ Tauc's plot method โดยกำหนดให้แกน $y = (\alpha hv)^2$ และ $x = hv$ ทำให้เมื่อลากเส้นตัดกับแกนพลังงานโฟตอน (x-axis) ณ จุดตัดเส้นตรงสามารถประมาณได้ค่าช่องว่างระดับพลังงานดังภาพที่ 6a [20] ข้อมูลจากตารางที่ 5 เมื่อทำการเติมไนโอเบียมและแทนทาลัมลงไปชั้นนำอิเล็กตรอนทำให้ระดับช่องว่างพลังงานลดลงจาก 3.59 eV (Pure-TiO₂) โดยเมื่อทำการเติมที่สัดส่วน 5%Nb Doped-TiO₂ และ 5%Ta Doped-TiO₂ ระดับช่องว่างพลังงานลดลงเป็น 3.52 eV และ 3.51 eV ตามลำดับ และลดลงต่ำสุดที่สัดส่วนการเติมร่วม 2%Nb:3%Ta Co-Doped TiO₂ มีค่า 3.38 eV ซึ่งถือว่าต่ำเกินไปจนทำให้เกิดปัญหาในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังชั้น FTO ทำให้ค่า V_{oc} มีค่าต่ำสุดในวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนทุกสัดส่วนที่ทำการเติมไอออนมีค่าที่ 0.96 V เป็นผลมาจากเกิดการสูญเสียไอออนของไนโอเบียม (Nb⁵⁺) และแทนทาลัม (Ta⁵⁺) ให้กับไทเทเนียม (Ti⁴⁺) โดยที่สัดส่วนที่มีระดับช่องว่างพลังงานเหมาะสมกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์รอฟสไกต์มากที่สุดคือ 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂ ซึ่งมีระดับช่องว่างพลังงานอยู่ที่ 3.43 eV ซึ่งเป็นระดับช่องว่างที่เหมาะสมต่อการเคลื่อนที่ของกระแสไอออนระหว่างชั้นนำอิเล็กตรอนของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์รอฟสไกต์ [21] จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่แสดงถึงเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนระหว่างชั้นเพอร์รอฟสไกต์ไปยังวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนได้เป็นอย่างดี จึงส่งผลให้ค่า V_{oc} ของสัดส่วนการเติมร่วมดังกล่าวมีค่าสูงที่สุดถึง 0.99 V ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5 ระดับช่องว่างพลังงานของวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอน

| วัสดุชั้นนำอิเล็กตรอน | Energy band gaps (eV) |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Pure-TiO ₂ | 3.5870 |
| 5%Nb Doped-TiO ₂ | 3.5222 |
| 3Nb:2Ta Co-Doped TiO ₂ | 3.4284 |
| 2Nb:3Ta Co-Doped TiO ₂ | 3.3842 |
| 5%Ta Doped-TiO ₂ | 3.5125 |

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติแสงด้วยเทคนิค Photoluminescence เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนที่มีผลต่อวัสดุชั้นเฟอร์รอฟสไกต์และผลวิเคราะห์จากภาพที่ 6b เมื่อทำการตรวจวัดพบว่าที่สัดส่วน 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂ มีค่าความเข้ม Photoluminescence ต่ำที่สุด การที่ความเข้ม Photoluminescence ต่ำแสดงถึงชั้นเฟอร์รอฟสไกต์ที่ถูกกระตุ้นจากพลังงานโฟตอนและคายพลังงานออกมาได้ง่าย กล่าวคือสามารถแยกอิเล็กตรอนและโฮลได้ดี โดยมีปัจจัยมาจากการความสมบูรณ์ของรอยต่อเฟอร์รอฟสไกต์กับวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนแสดงออกถึงการถ่ายโอนประจุ (charge transfer) ได้ดีขึ้นส่งผลให้มีค่า J_{sc} ที่มากขึ้น [22] การเติมร่วมที่สัดส่วน 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂ มีค่า 16.21 mA/cm² ซึ่งมากกว่าสัดส่วน Pure-TiO₂ ที่มีค่า 15.02 mA/cm² ทำให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ดีขึ้น

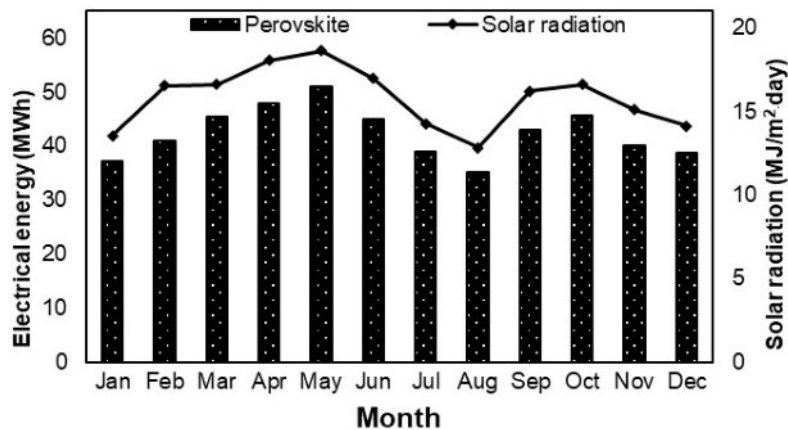


ภาพที่ 6 (a) Tauc's plot ของวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอน (b) การวิเคราะห์คุณสมบัติแสงด้วยเทคนิค Photoluminescence

ทางผู้วิจัยมีแนวคิดในการออกแบบการออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเฟอร์รอฟสไกต์ เมื่อสังเกตจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ทำการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์เดี่ยวจะมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 26.10% เมื่อทำการสร้างเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกซิลิกอนเดี่ยวพบว่าปัจจัยทำให้ประสิทธิภาพลดลงมาอยู่ที่ 20.38% เป็นสมมุติฐานได้ว่าการประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการสูญเสียประสิทธิภาพถึง 21.92% ในทำนองเดียวกันเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบเฟอร์รอฟสไกต์ที่มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 10.37% เมื่อประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเฟอร์รอฟสไกต์ จะทำให้มีประสิทธิภาพลดลงเหลือ 8.10% เมื่อทำการประเมินจากผลผลิตพลังงานไฟฟ้าใน 1 ปี บนพื้นที่ขนาด 1,000 m² บริเวณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยใช้ข้อมูลค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน พ.ศ. 2562 ณ สถานีตรวจวัดศูนย์บริการวิชาการที่ 7 จังหวัดเชียงใหม่ [23] จากการจำลองออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเฟอร์รอฟสไกต์ซึ่งแต่ละเซลล์มีพื้นที่รับแสง 16 mm² จำเป็นต้องต่อกันแบบขนาน 4,778 Cell และต่อแบบอนุกรม 57 Cell ทำให้ได้กำลังไฟสูงสุดที่ 452.67 W ที่กระแสไฟสูงสุด 10.88 A และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 41.60 V โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเฟอร์รอฟสไกต์มีขนาด 4.36 m² จากการภาพที่ 7 จำลองผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้นพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเฟอร์รอฟสไกต์สามารถติดตั้งในพื้นที่ได้จำนวน 220 panel คิดเป็นพื้นที่รับแสงขนาด 959.2 m² จากตารางที่ 6 พบว่า ในแต่ละเดือนการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นไปตามค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ และใน 1 year แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเฟอร์รอฟสไกต์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 126.73 MWh/year

ตารางที่ 6 ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์อฟสไกต์

| เดือน | ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (MJ/m ² ·day) | พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (MWh/month) |
|------------|---|---------------------------------------|
| มกราคม | 13.530 | 9.05 |
| กุมภาพันธ์ | 16.535 | 11.06 |
| มีนาคม | 16.611 | 11.11 |
| เมษายน | 18.054 | 12.08 |
| พฤษภาคม | 18.615 | 12.45 |
| มิถุนายน | 16.969 | 11.35 |
| กรกฎาคม | 14.256 | 9.54 |
| สิงหาคม | 12.816 | 8.57 |
| กันยายน | 16.203 | 10.84 |
| ตุลาคม | 16.616 | 11.12 |
| พฤศจิกายน | 15.087 | 10.09 |
| ธันวาคม | 14.128 | 9.45 |



ภาพที่ 7 ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์อฟสไกต์

สรุปผลการวิจัย

การเติมร่วมไอออนของไนโอเบียมและแทนทาลัมในวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถทำได้ที่อุณหภูมิต่ำ โดยยืนยันด้วยการเคลื่อนที่ไปยังมุมที่ลดลงของระนาบ 101 โดยเปลี่ยนจากมุม 2θ ที่ 25.31° (Pure-TiO₂) เป็น 25.01° (3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂) เนื่องจากการลดลงของระยะห่างระหว่างแลคทิตในโครงสร้าง เนื่องจากรัศมีไอออนของไนโอเบียมและแทนทาลัมมีขนาดเล็กกว่า จากการวิเคราะห์ Lattice parameter พบว่าการเติมเดี่ยวและการเติมร่วมได้เพิ่มได้ทำให้ Lattice constant เปลี่ยนแปลงนับเป็นข้อพิสูจน์ในความสำเร็จในการเติมร่วมได้อีกหนึ่ง นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงระดับช่องว่างพลังงานของชั้นนำอิเล็กตรอนให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนผ่านได้ง่ายด้วยการลดลงของช่องว่างระดับชั้นพลังงานที่เหมาะสมคือ 3.43 eV ใน 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂ และส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเพิ่มขึ้นสูงถึง 0.99 V อีกทั้งการเติมร่วมไอออนของไนโอเบียมและแทนทาลัมยังส่งผลให้การหมุนเคลือบวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนบนพื้นผิว FTO ครอบคลุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผล Photoluminescence การเติมร่วมดังกล่าวสามารถช่วยให้รอยต่อระหว่างชั้นนำอิเล็กตรอนและชั้นเพอร์อฟสไกต์ที่สมบูรณ์ซึ่งยืนยันได้จากค่าความเข้ม Photoluminescence ที่ต่ำที่สุดทำให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่เพิ่มขึ้นสูงถึง 16.21 mA/cm² โดยผลของการเติมร่วมของไอออนไนโอเบียมและแทนทาลัมในวัสดุชั้นนำอิเล็กตรอนส่งเสริมให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์อฟสไกต์เพิ่มขึ้น โดยสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ 3%Nb:2%Ta Co-doped TiO₂ เพิ่มขึ้นมาถึง 10.37% จาก 9.71% (Pure-

TiO₂) ถือว่าประสบความสำเร็จในการเติมร่วมไอออนของโลหะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีการจำลองการติดตั้งและผลิตพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ขนาด 1,000 m² ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเพอร์อฟสไกต์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ถึง 126.73 MWh/year

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาและทุนวิจัยแก่คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ ที่ให้การอนุเคราะห์สถานที่ในการวิจัย และขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ ในการอนุเคราะห์เครื่องมือตรวจวัดสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580 (AEDP2018). In: กระทรวงพลังงาน, editor.
- [2] Kojima A., Teshima K., Shirai Y., Miyasaka T. (2009). Organometal Halide Perovskites as Visible-Light Sensitizers for Photovoltaic Cells. *Journal of the American Chemical Society*. 131 (17), 6050-6051.
- [3] Xu F., Zhang T., Li G., Zhao Y. (2017). Synergetic Effect of Chloride Doping and CH₃NH₃PbCl₃ on CH₃NH₃PbI₃-xCl_x Perovskite-Based Solar Cells. *ChemSusChem*. 10 (11), 2365-2369.
- [4] Ren X., Yang D., Yang Z., Feng J., Zhu X., Niu J., et al. (2017). Solution-Processed Nb:SnO₂ Electron Transport Layer for Efficient Planar Perovskite Solar Cells. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 9 (3), 2421-2429.
- [5] ปันลำ ร., อินทนิเวศน์ อ., ชูพันธ์ ส., เรือนคำ พ. (2020). การใช้ Cu₂O CuO และ PEDOT: PSS เป็นวัสดุนำโฮลแบบชั้นคู่ สำหรับพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพอร์อฟสไกต์. *Life Sciences and Environment Journal*. 21 (2), 374-384.
- [6] Abbasi S., Ruankham P., Passatormtaschakorn W., Khampa W., Musikpan W., Bhoomanee C., et al. (2023). A new single-step technique to fabricate transparent hydrophobic surfaces utilizable in perovskite solar cells. *Applied Surface Science*. 613, 155969.
- [7] Song J., Li S.P., Zhao Y.L., Yuan J., Zhu Y., Fang Y., et al. (2017). Performance enhancement of perovskite solar cells by doping TiO₂ blocking layer with group VB elements. *Journal of Alloys and Compounds*. 694, 1232-1238.
- [8] Wu Y., Song J., Wu X., Qiu C., Yin X., Hu L., et al. (2022). Highly efficient and stable ZnO-based perovskite solar cells enabled by a self-assembled monolayer as the interface linker. *Chemical Communications*. 58 (66), 9266-9269
- [9] Liang C., Li P., Zhang Y., Gu H., Cai Q., Liu X., et al. (2017). Mild solution-processed metal-doped TiO₂ compact layers for hysteresis-less and performance-enhanced perovskite solar cells. *Journal of Power Sources*. 372, 235-244.
- [10] Liu D., Li S., Zhang P., Wang Y., Zhang R., Sarvari H., et al. (2017). Efficient planar heterojunction perovskite solar cells with Li-doped compact TiO₂ layer. *Nano Energy*. 31, 462-468.
- [11] Ono L.K., Raga S.R., Remeika M., Winchester A.J., Gabe A., Qi Y. (2015). Pinhole-free hole transport layers significantly improve the stability of MAPbI₃-based perovskite solar cells under operating conditions. *Journal of Materials Chemistry A*. 3 (30), 15451-15456.
- [12] Chen B., Yang M., Priya S., Zhu K. (2016). Origin of J-V Hysteresis in Perovskite Solar Cells. *The Journal of Physical Chemistry Letters*. 7 (5), 905-917.

- [13] Khan M.I., Mukhtar A., Alwadai N., Irfan M., Haq I-u., Albalawi H., et al. (2022). Improving the Structural, Optical and Photovoltaic Properties of Sb- and Bi- Co-Doped MAPbBr₃ Perovskite Solar Cell. *Coatings [Internet]*. 12 (3), 386.
- [14] Kim D.H., Han G.S., Seong W.M., Lee J-W., Kim B.J., Park N-G., et al. (2015). Niobium Doping Effects on TiO₂ Mesoscopic Electron Transport Layer-Based Perovskite Solar Cells. *ChemSusChem*. 8 (14), 2392-2398.
- [15] Ranjan R., Prakash A., Singh A., Singh A., Garg A., Gupta R.K.. (2018), Effect of tantalum doping in a TiO₂ compact layer on the performance of planar spiro-OMeTAD free perovskite solar cells. *Journal of Materials Chemistry A*. 6 (3), 1037-1047.
- [16] Cai F., Yang L., Yan Y., Zhang J., Qin F., Liu D., et al. (2017). Eliminated hysteresis and stabilized power output over 20% in planar heterojunction perovskite solar cells by compositional and surface modifications to the low-temperature-processed TiO₂ layer. *Journal of Materials Chemistry A*. 5 (19), 9402-9411.
- [17] Li M., Zhao Y., Zhu L., Song J., Qiang Y. (2019). Performance enhancement of perovskite solar cells via Nb/Ta-doped TiO₂ mesoporous layers. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 30 (9), 9038-9044.
- [18] Zare Bidaki A., Abdizadeh H., Pourshaban E., Shadabroo M.S., Golobostanfard M.R. (2022). Comparing the planar and porous Nb-doped TiO₂ photoanode of triple cation perovskite solar cells. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 138, 106259.
- [19] Wang H., Zhao C., Yin L., Li X., Tu X., Lim E.G., et al. (2021). W-doped TiO₂ as electron transport layer for high performance solution-processed perovskite solar cells. *Applied Surface Science*. 563, 150298.
- [20] ละครไทย อ. (2018). फिल्मบางซิงค์ออกไซด์เจืออะลูมิเนียมที่เตรียมด้วยเทคนิครีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริงโดยโหมดโลหะ โหมดทรานซิชัน และโหมดออกไซด์. *KKU Science Journal*. 47 (2), 327-338.
- [21] Chen K.T., Hsu C.H., Jiang S.C., Liang L.S., Gao P., Qiu Y., et al. (2022). Effect of Annealing Temperature on Tantalum-Doped TiO₂ as Electron Transport Layer in Perovskite Solar Cells. *IEEE Transactions on Electron Devices*. 69 (3), 1149-1154.
- [22] Abbasi S., Wang X., Tipparak P., Bhoomanee C., Ruankham P., Liu H, et al. (2023). Proper annealing process for a cost effective and superhydrophobic ambient-atmosphere fabricated perovskite solar cell. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 155, 107241.
- [23] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ผลการตรวจวัดข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2562. งานพัฒนารฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และระบบเชื่อมโยงฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทย: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน; 2564 สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2566, จาก <http://www.irradiatedata.dede.go.th:8080/report>.

การประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาจากผลกระทบ
ของระยะความสูงในการติดตั้ง

Evaluation of the Potential for Solar Rooftop Power Generation
Based on the Impact of Installation Height

สุเทพ สีมาลา¹ วิรัชย์ โรยรินทร์^{2*} ธนยศ คิตเมตตากุล¹ และปพน งามประเสริฐ³
Suthep Simala¹ Wirachai Roynarin^{2*} Thanayos Khitmettakun¹ and Papon Ngamprasert³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

^{2*}ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 12110

³สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10800

¹Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110

^{2*}Research and Service Energy Center RMUTT, Faculty of Engineering

Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110

³Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, Thailand 10800

*Corresponding author: Tel.: 02-5493497. E-mail address: wirachai_r@rmutt.ac.th

Received: 18 August 2022, Revised: 24 October 2023, Accepted: 17 November 2023, Published online: 30 December 2023

Abstract

This study presents an assessment of solar rooftop power generation potential, focusing on the influence of installation height within a 10-kilowatt solar car park located adjacent to the Amazon coffee shop, near Rajamangala University of Technology Thanyaburi. The primary objective is to analyze variations in temperature and energy output across different installation heights. The study has three PV module panels installation levels: Level 1 at a height of 2.5 meters; Level 2 at 3 meters; and Level 3, at 3.5 meters, resulting in a three-tier installation configuration. To conduct this assessment, a combination of simulations using the PVSyst program and on-site test results were employed. The findings indicate that the temperature beneath the panels at the 3.5-meter height level is higher than that under the 2.5-meter panels. The results obtained from this study serve as supporting data for the analysis of investment and economic feasibility for the construction of the 10-kilowatt solar car park building.

Keywords: Evaluation, Solar Rooftop Power Generation, Effect of Installation Height



ภาพที่ 2 แผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาอาคารจอดรถ

จากภาพที่ 2 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาอาคารจอดรถพลังงานแสงอาทิตย์มีลักษณะเป็นชั้นบันได 3 ระดับใช้ตัว
ผลเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลังคายึดติดกับโครงสร้างอาคารจอดรถ



ภาพที่ 3 การยึดตัวแผงโซลาร์เซลล์กับโครงสร้างอาคารจอดรถ



ภาพที่ 4 เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้น

ในการศึกษาครั้งนี้มีการนำข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นที่ทำการวัดจากเครื่องในพื้นที่จริงมาทำการวิเคราะห์



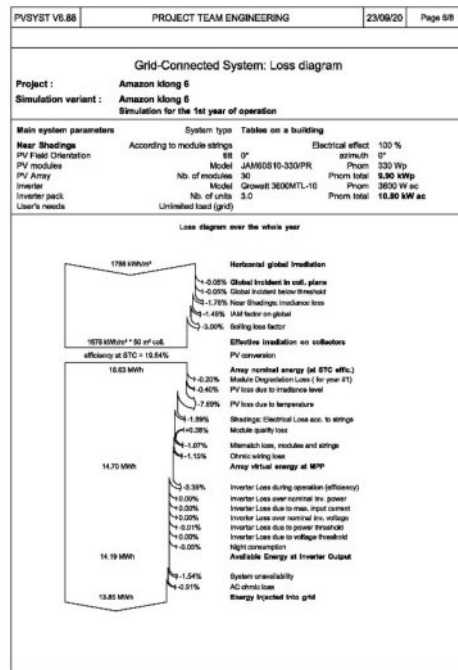
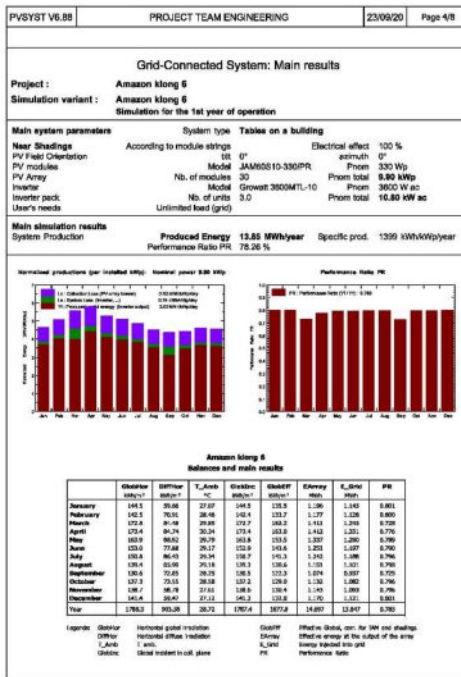
ภาพที่ 5 ระดับความสูงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถ

จากภาพที่ 5 ระดับความสูงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถประกอบด้วย 3 ระดับ ได้แก่ 2.5, 3 และ 3.5 เมตร (ความสูงจากพื้นถึงแผงโซลาร์เซลล์)

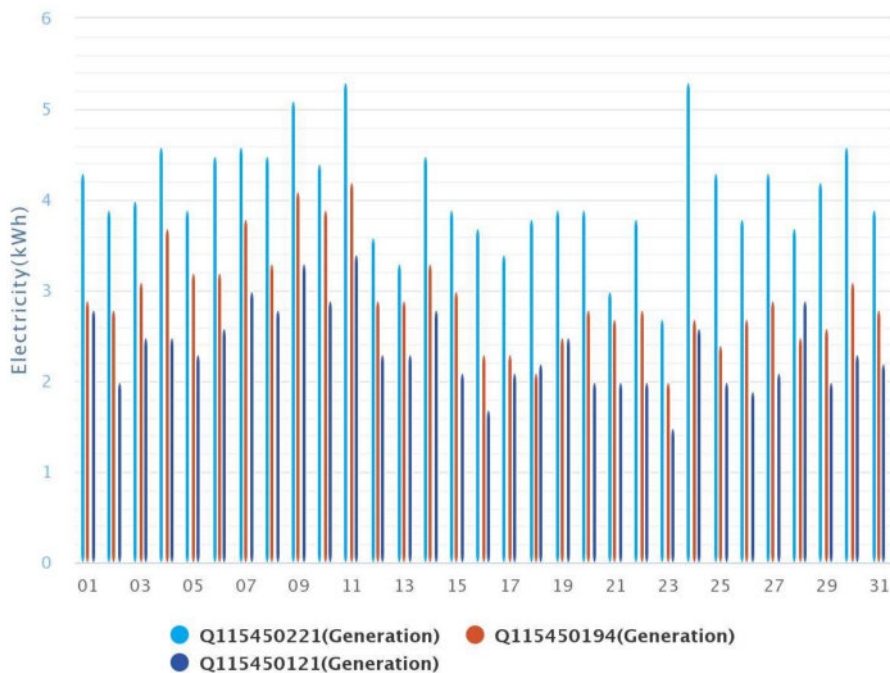
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำแบบจำลองเพื่อศึกษาค่าประสิทธิภาพต่างๆ ด้วยโปรแกรม PVsyst เวอร์ชัน 6.8 ต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้ใกล้เคียงกับสถานะจริงให้มากที่สุด ร่วมกับการวิเคราะห์จากผลการทดสอบจริง ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิด Polycrystalline ขนาด 330 วัตต์ จำนวน 30 แผง และใช้อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ขนาด 3.6 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ชุดระยะความสูงที่ติดตั้งแผง มี 3 ระดับ โดยระดับที่ 1 ความสูงจากพื้นถึงแผงโซลาร์เซลล์สูงระดับ 2.5 เมตร ระดับที่ 2 ความสูงจากพื้นถึงแผงโซลาร์เซลล์สูงระดับ 3 เมตร ระดับที่ 3 ความสูงจากพื้นถึงแผงโซลาร์เซลล์สูงระดับ 3.5 เมตร

การจำลองในโปรแกรม PVSyst เพื่อดูค่าพารามิเตอร์ และค่าสูญเสียต่างๆ เพื่อทำการวิเคราะห์การติดตั้ง และติดตามผล ดังแสดงในภาพที่ 6 และ 7



ภาพที่ 6 ผลการจำลองจากโปรแกรม PVSyst



ภาพที่ 7 ผลการวัดกำลังไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอดรถผลิตได้

ตารางที่ 1 ข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารจอร์ถเดือนกรกฎาคม 2565

| พารามิเตอร์ | ที่ผลิตได้ |
|--|--------------|
| แผงโซลาร์เซลล์สูงระดับ 2.5 เมตร | 73.6 kWh |
| แผงโซลาร์เซลล์สูงระดับ 3 เมตร | 91.5 kWh |
| แผงโซลาร์เซลล์สูงระดับ 3.5 เมตร | 126.7 kWh |
| พลังงานที่ผลิตได้ | 291.8 kWh |
| พลังงานรวม | 14,352.9 kWh |
| รายได้ในเดือนนี้ | 1,313.1 บาท |
| รายได้รวม | 64,588.1 |
| การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงในเดือนนี้ | 290.9 kg |
| การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวม | 14,309.8 kg |
| PR | 0 |

สรุปผลการวิจัย

ผลการติดตั้งหลังจากทำการออกแบบและติดตั้งอาคารจอร์ถพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 10 กิโลวัตต์ร็านอเมซอน สาขา ช้าง มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม พบว่าเดือนกรกฎาคม 2565 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ความสูงจากพื้นถึงแผงโซลาร์เซลล์สูงระดับ 2.5 เมตร ผลิตไฟฟ้า 73.6 kWh ระดับที่ 2 ความสูงจากพื้นถึงแผงโซลาร์เซลล์สูงระดับ 3 เมตร ผลิตไฟฟ้า 91.5 kWh และระดับที่ 3 ความสูงจากพื้นถึงแผงโซลาร์เซลล์สูงระดับ 3.5 เมตร ผลิตไฟฟ้า 126.7 kWh ดังนั้นความสูงเฉลี่ยของการติดตั้งที่ปลั๊กแสงอาทิตย์ทำงานดีที่สุดของ 3 ระดับ คือ ความสูงที่ 3.5 เมตร ซึ่งพบว่ามีการถ่ายเทความร้อนได้ดีและการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์เต็มประสิทธิภาพที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และคณะทำงานทุกท่านที่ทำการสนับสนุนให้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโครงการนี้ ทีมผู้วิจัย ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ มนัส บุญเทียนทอง ศุภวุฒิ เนตรแก้วโพธิ์ และ ปพน งามประเสริฐ. (2562). "กรณีศึกษาการปฏิบัติการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กในระบบจำหน่าย", ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 42, วันที่ 30 ตุลาคม- 1 พฤศจิกายน 2562 ณ โรงแรมเดอะกรีนเนอร์ รีสอร์ท เขาใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา.
- [2] นิรุตติ นิลแก้ว. (2561). การวิเคราะห์สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าด้วยโปรแกรมจำลองเปรียบเทียบกับติดตั้งจริงของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 6 MW. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [3] คณะอนุกรรมการมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย. (2565). มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

ตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยแสงหลอดไฟ UVC Vintage Wardrobe with UVC Light

ภาคิน มณีโชติ ปวีตร อุ่นสนธิ ศิริมงคล มะยมหิน และเทพ เกื้อทวีกุล*
Pakin Maneechot, Pawit Aunsanit, Sirimongkol Mayomhin and Thep Kueathaweekun*

โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000
Energy Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University,
Kamphaeng Phet 62000

*Corresponding author: Tel.: 055-706555 ต่อ 2511 E-mail address: thep_k@kpru.ac.th

Received: 14 September 2022, Revised: 28 September 2023, Accepted: 17 November 2023, Published online: 30 December 2023

Abstract

The objective of this research is to design and construct a vintage wardrobe equipped with a UVC light system controllable via a smartphone. The vintage wardrobe has a structure measuring 100 cm in width, 60 cm in length, and 150 cm in height. This wardrobe is designed to manage and control the drying of clothes through smartphone operation. The study involves a three-day assessment of the vintage wardrobe dryer's performance, focusing on the comparison of internal and external temperatures as well as humidity levels. Additionally, this research investigates the physical characteristics of clothing items dried in the vintage wardrobe in comparison to traditional drying cabinets and natural drying methods. The results indicate that the vintage wardrobe maintains an average internal temperature of 33.5°C, while the external temperature averages 29.7°C, with humidity levels at an average of 90.3%. The clothing items dried in the vintage wardrobe did not become crisp but remain soft and retain their original color, unlike items dried through natural methods, which tend to become rigid, lose their color vibrancy, and acquire a crisp texture. Therefore, using the vintage wardrobe for drying clothes proves to be effective in preserving the physical appearance and quality of the fabric, making it suitable for vintage and regular clothing drying application.

Keywords: wardrobe, UVC lamp light, vintage clothes, smartphone

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยหลอดไฟ UVC ที่มีการควบคุมผ่านสมาร์ทโฟน โครงสร้างตู้อบเสื้อผ้าวินเทจมีขนาดกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และสูง 150 เซนติเมตร และมีระบบควบคุมในการอบเสื้อผ้าที่สามารถสั่งงานผ่านสมาร์ทโฟน งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยหลอดไฟ UVC ศึกษาเป็นเวลา 3 วัน โดยทำการศึกษาค่าอุณหภูมิภายในตู้ อุณหภูมิภายนอกตู้และความชื้น นอกจากนี้ยังทำการศึกษาคูณลักษณะทางกายภาพของเสื้อผ้าวินเทจระหว่างการตากแบบใช้ตู้และการตากแบบธรรมชาติ จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในตู้เฉลี่ยอยู่ที่ 33.5 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิภายนอกตู้เฉลี่ยอยู่ที่ 29.7 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 90.3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้คุณลักษณะทางกายภาพของเสื้อที่ตากในตู้จะไม่แห้งกรอบ ไม่แข็งกระด้างและสีเสื้อไม่ซีด ส่วนการตากแบบธรรมชาติจะมีสภาพแห้งกรอบ แข็งกระด้างและสีเสื้อซีด ดังนั้นการตากในตู้จะช่วยรักษาลักษณะทางกายภาพ เนื้อผ้าไม่ซีดและมีความสวยงาม สามารถนำไปใช้กับเสื้อผ้าวินเทจและเสื้อผ้าโดยทั่วไปได้

คำสำคัญ: ตู้อบเสื้อผ้า แสงหลอดไฟ UVC เสื้อผ้าวินเทจ สมาร์ทโฟน

บทนำ

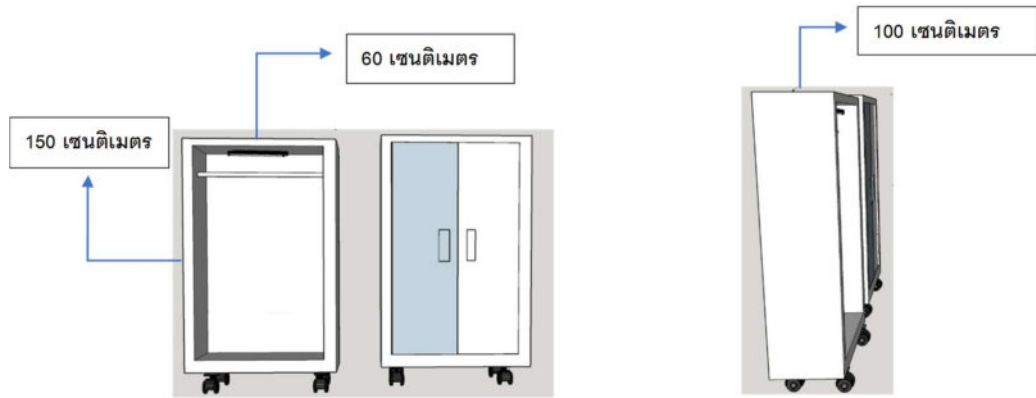
ปัจจุบันกระแสของโลกในทางออนไลน์เสื้อยืดวินเทจมีความนิยมมากขึ้นคนก็เลยกลับมานิยมเสื้อยืดวินเทจมากขึ้น หนึ่งในนั้นก็เป็นเสื้อที่ผลิตขึ้นในยุค 1980-1999 ซึ่งยิ่งปีเก่าก็ยิ่งมีมูลค่าสูงเพราะการผลิตในแต่ละตัวจะมีจำนวนน้อยและลักษณะทางกายภาพของเสื้อก็มีผลต่อราคาเช่นกันจึงต้องมีการดูแลเก็บรักษาอย่างดีเพื่อไม่ให้ราคาต่ำลง ซึ่งปัญหาในการตากแบบธรรมชาติทำให้เกิดการเก็บรักษาที่เป็นไปได้ยากการตากแดดที่นานเกินไปทำให้ลักษณะทางกายภาพเสื้อแห้งกรอบแข็งกระด้างและสีเสื้อซีด โดยที่ผ่านมามีวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยหลอด UVC ได้แก่ วรพล หนูนนุ, มุฮัมมัดอัฟฟาน สือแม่ และอนุมัติ เดชชนะ [1] ได้ทำการพัฒนานวัตกรรมเครื่องฆ่าเชื้อโรคด้วยแสงยูวีแบบเคลื่อนที่ จากการวิจัยนี้ทำให้ได้เครื่องฆ่าเชื้อโรคด้วยแสงยูวีแบบเคลื่อนที่ได้ต้นแบบ ที่สามารถใช้งานได้จริง และสามารถฆ่าเชื้อได้ ผกากรองวนไพศาล [2] ได้ทำการศึกษาการใช้รังสียูวีซีในการฆ่าเชื้อ ซึ่งรังสียูวีซีสามารถในการทำลายเชื้อโรคต่างๆ เช่น แบคทีเรีย ไวรัส ราเส้นใย ยีสต์ เป็นต้น จากการศึกษาพบว่าสามารถฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถทำลายพันธะเคมีของพลาสติก และไม่มีผลกระทบต่อร่างกาย นอกจากนี้ อิศเรศ วรณทร [3] ได้ทำการศึกษาการกระจายอนุภาคนิวเคลียสและความชื้นของสัลดฟรุ๊นในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนจากผลการวิเคราะห์การคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล พบว่าผลของอนุภาคนิวเคลียสที่อุณหภูมิสูงจะมีอัตราการลดความชื้นและการกระจายตัวของอนุภาคนิวเคลียสการอบได้ดี อาษา หมือละกู๋ คัมภีร์ โกเมนรัตน์กุล ภูวนนท์ออยก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เครื่องฆ่าเชื้อด้วยแสง UVC ระบบสายพานลำเลียงอัตโนมัติรังสี UVC มีความสามารถทำลายเชื้อ ทำลายได้ทั้งแบคทีเรีย ไวรัส ราเส้นใย ยีสต์ เป็นต้นปกติจะไม่พบ UVC ในธรรมชาติเนื่องจากไม่สามารถผ่านชั้นโอโซนของโลกลงมาได้ การทำลายเชื้อโรคจึงต้องใช้แหล่งกำเนิดรังสี ได้แก่ หลอดไอปรอทที่มีแรงดันภายในหลอดต่ำหรือที่ทั่วไปเรียกว่า หลอดฆ่าเชื้อ และ UVC-LEDs ที่ให้รังสี UVC ได้ ศิริวรรณ อัจฉาบุรุษ [4] ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูง [5] โดยอาศัยหลักการทำอาหารให้แห้งคือไล่ไอน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในอาหารหรือผลิตผลทางการเกษตรออกไปแต่ยังมีความชื้นเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารเล็กน้อยซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่จะใช้วิธีแบบเก่าโดยการตากแดดผึ่งลมแต่บางครั้งสภาพอากาศมีความชื้นสูงหรือในฤดูฝนการตากแดดและผึ่งลมจะทำได้ไม่ได้นอกจากนี้ยังมีปัญหาเกี่ยวกับความไม่สะอาดเนื่องจากฝุ่นละอองในขณะตาก และเนื่องจากในสถานการณ์โรคอุบัติใหม่ COVID 2019 ถ้าสามารถอบเสื้อผ้าให้ปลอดจากเชื้ออื่นๆ ได้ จะสามารถช่วยให้เสื้อผ้ามีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้มีแนวความคิดในการพัฒนาและสร้างตู้อบผ้าวินเทจเพื่อแก้ปัญหาการตากเสื้อผ้าวินเทจ และเสื้อผ้าอื่นๆไม่ให้สีซีด โดยหลักการการทำงานของตู้อบผ้าวินเทจ จะไล่ความชื้นด้วยพัดลมดูดอากาศและใช้ความร้อนจากหลอดไฟ UVC เพื่อทำให้เกิดความร้อนภายในตู้เพื่อทำการทำให้ผ้าแห้งเร็วขึ้นและทำการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย COVID 2019 และเชื้อไวรัสอื่นๆ โดยตู้ที่พัฒนาขึ้นจะทำการควบคุมการฉายแสงและพัดลมดูดอากาศให้ทำงานพร้อมกันโดยควบคุมผ่านสวิทช์ในสมาร์ตโฟนเราจะสามารถเปิด-ปิดได้ตามต้องการ และเพื่อช่วยให้เสื้อผ้าไม่โดนรังสีจากแสงอาทิตย์โดยตรง ทำให้เก็บรักษาผ้าได้นานยิ่งขึ้น โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาทำการศึกษาค่าอุณหภูมิภายในตู้ อุณหภูมิภายนอกตู้และความชื้น นอกจากนี้ยังทำการศึกษาคณะลักษณะทางกายภาพของเสื้อผ้าวินเทจระหว่างการตากแบบใช้ตู้และการตากแบบธรรมชาติ เพื่อวิเคราะห์ถึงคุณภาพของเสื้อผ้าที่ตากจากธรรมชาติและจากตู้ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งจะกล่าวถึงในลำดับถัดไป

วิธีการวิจัย

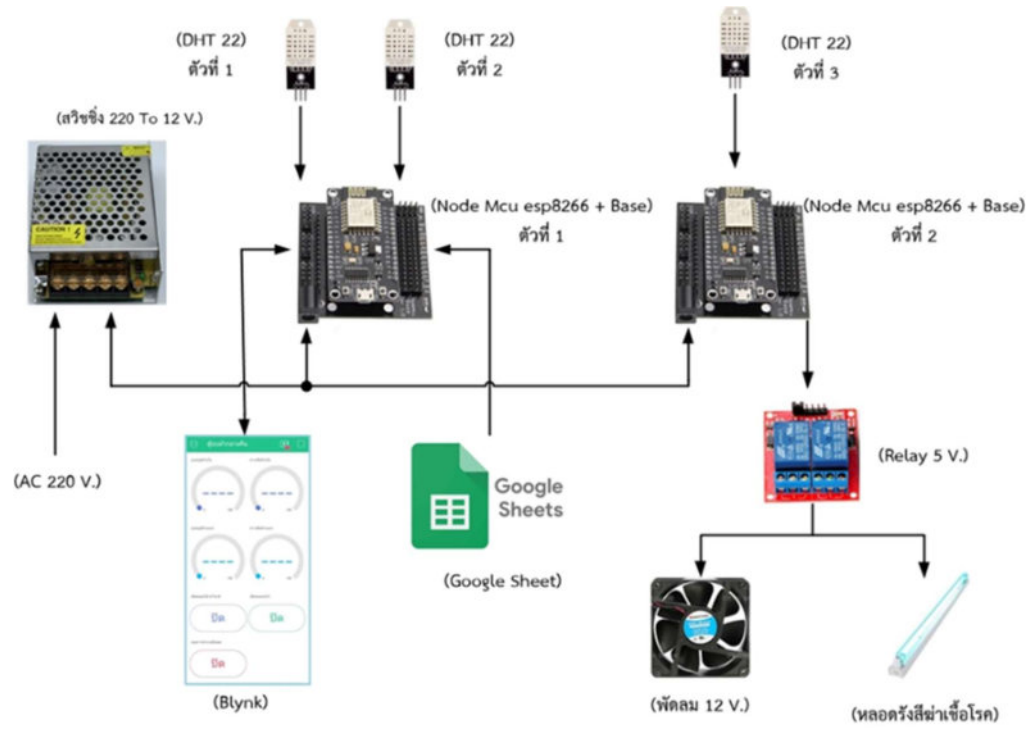
1. ศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและดำเนินการสร้างตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยแสงหลอดไฟ UVC
3. เก็บข้อมูลการใช้ตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยแสงหลอดไฟ UVC
4. วิเคราะห์ข้อมูล

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบและหาประสิทธิภาพของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแก๊ส LPG ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ โดยมีโครงสร้างของตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยแสงหลอดไฟ UVC มีขนาดกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และสูง 150 เซนติเมตร



(ก) โครงสร้างตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยหลอดไฟ UVC

(ข) โครงสร้างตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยหลอดไฟ UVC



(ค) ระบบควบคุมการใช้งานตู้อบเสื้อผ้าวินเทจ

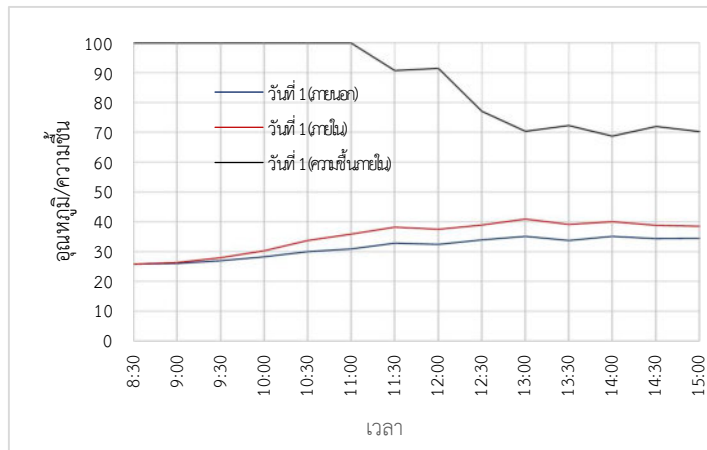
ภาพที่ 1 โครงสร้างตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยแสงหลอดไฟ UVC และระบบควบคุม



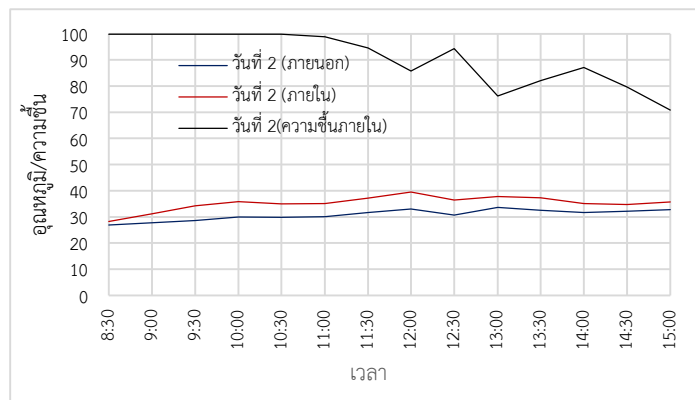
ภาพที่ 2 ต้นแบบตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยหลอดไฟ UVC

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการทดสอบประสิทธิภาพของตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแสงหลอดไฟ UVC ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติด้วยการตากผ้าเพื่อทดสอบประสิทธิภาพและเปรียบเทียบกับวิธีการตากแดดแบบธรรมดา ทำการทดสอบตากผ้าตั้งแต่วันที่ 08:30 น. ถึงเวลา 15:00 น.ระยะเวลา 5 วัน ทำการทดสอบตากผ้าในวันที่ 20, 21, 22, 23 และ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 ซึ่งจะแสดงผลดังต่อไปนี้

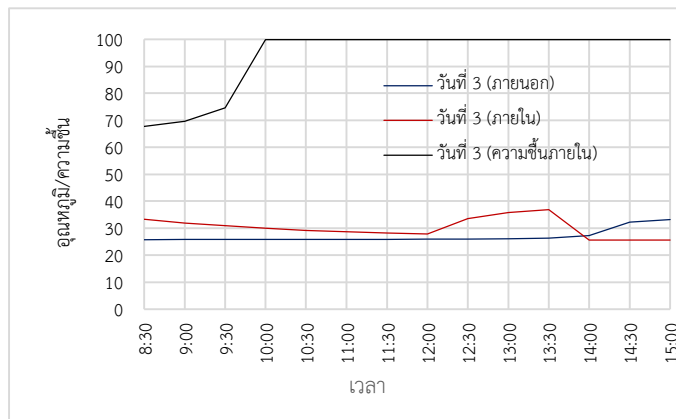


ภาพที่ 3 อุณหภูมิและความชื้น วันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2565

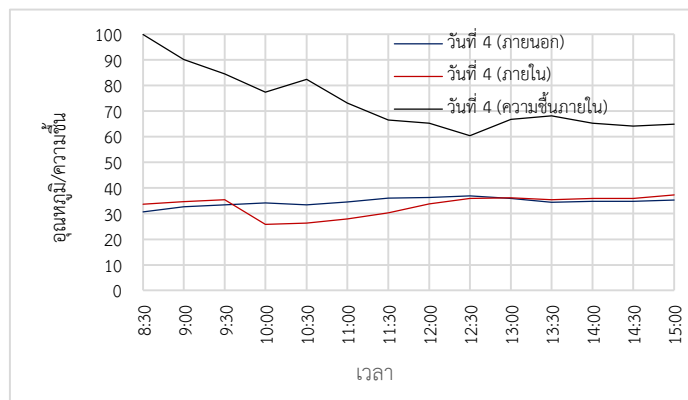


ภาพที่ 4 อุณหภูมิและความชื้น วันที่ 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2565

จากภาพที่ 3 แสดงกราฟอุณหภูมิและความชื้นในวันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 จากกราฟ พบว่า อุณหภูมิในตู้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 35.1 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิภายนอกอยู่ที่ 31.4 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นภายในตู้ค่อยๆ ลดลงจากที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ลงมาที่ 68 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 86.5 เปอร์เซ็นต์ และเช่นเดียวกันในภาพที่ 4 แสดงกราฟอุณหภูมิและความชื้นในวันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 ซึ่งพบว่า อุณหภูมิในตู้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 35.2 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิภายนอกอยู่ที่ 30.8 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นภายในตู้ค่อยๆ ลดลงจากที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ลงมาที่ 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 90.6 เปอร์เซ็นต์

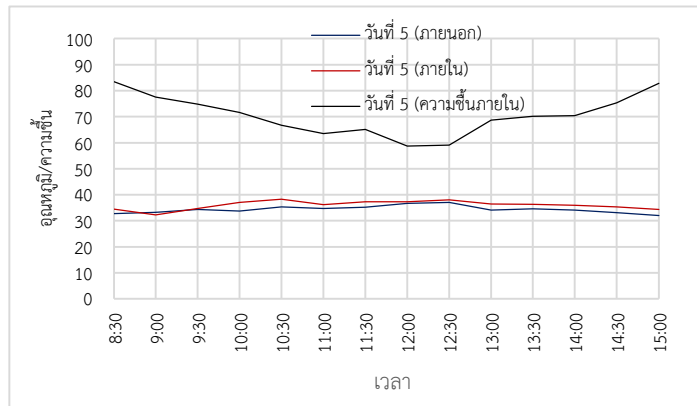


ภาพที่ 5 อุณหภูมิและความชื้น วันที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2565

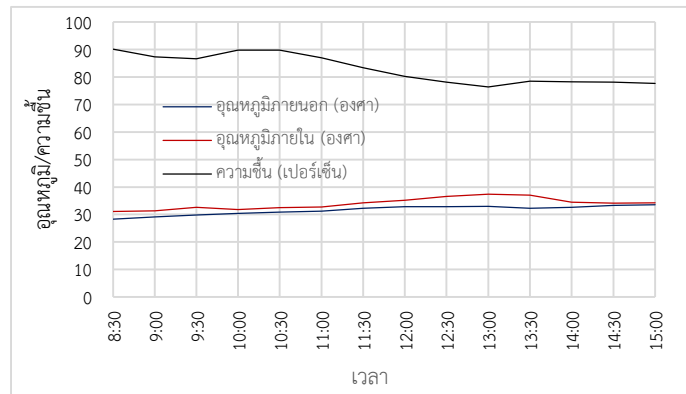


ภาพที่ 6 อุณหภูมิและความชื้น วันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2565

จากภาพที่ 5 แสดงกราฟอุณหภูมิและความชื้นในวันที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 จากกราฟพบว่า อุณหภูมิในตู้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.2 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิภายนอกอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นภายในตู้ค่อยๆ ขึ้นจากที่ 68 เปอร์เซ็นต์ ไปที่ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากฝนตก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 93.6 เปอร์เซ็นต์ และจากภาพที่ 6 แสดงกราฟอุณหภูมิและความชื้นในวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 พบว่า อุณหภูมิในตู้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 33.1 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิภายนอกอยู่ที่ 34.5 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นภายในตู้ค่อยๆ ลดลงจากที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ลงมาที่ 64 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 73.4 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 7 อุณหภูมิและความชื้น วันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2565



ภาพที่ 8 อุณหภูมิและความชื้นเฉลี่ยรวมทั้ง 5 วัน

จากภาพที่ 7 แสดงกราฟอุณหภูมิและความชื้นในวันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 จากกราฟพบว่า อุณหภูมิในตู้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 36 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิภายนอกอยู่ที่ 34.3 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นภายในตู้ค่อยๆ ลดลงจากที่ 86 เปอร์เซ็นต์ ลงมาที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 70 เปอร์เซ็นต์ และภาพที่ 8 แสดงอุณหภูมิและความชื้นเฉลี่ยรวมทั้ง 5 วัน โดยจากการทดลองประสิทธิภาพของตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยหลอดไฟ UVC ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติทั้ง 5 วันในการตากผ้า พบว่า ตู้อบแห้งด้วยหลอดไฟ UVC อุณหภูมิภายในตู้เฉลี่ยอยู่ที่ 34 องศาเซลเซียส ขณะที่อุณหภูมิภายนอกค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 31.6 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 83 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาในการตากเฉลี่ยประมาณ 5 ชั่วโมง โดยลักษณะทางกายภาพของเสื้อผ้าที่ตากจาก ตู้อบแห้งด้วยหลอดไฟ UVC และ ตากแดดแบบธรรมดาแสดงดังภาพที่ 9



(ก) ลักษณะของเสื้อผ้าวินเทจด้วยหลอดไฟ UVC (ข) ลักษณะของเสื้อผ้าวินเทจด้วยแสงแดดธรรมชาติ

ภาพที่ 9 ลักษณะของเสื้อผ้าวินเทจ

จากการทดลองการตากเสื้อผ้าในตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยหลอดไฟ UVC สามารถตากแห้งได้ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง เสื้อมีความแห้งได้คุณลักษณะทางกายภาพตามที่ต้องการเสื้อไม่แห้งกรอบ ไม่แข็งกระด้างและสีเสื้อไม่ซีดส่วนในการตากแบบธรรมชาติเสื้อแห้งมีคุณลักษณะทางกายภาพคือเสื้อกรอบ แข็งกระด้างและสีเสื้อเริ่มมีสีซีด ดังนั้นตู้อบเสื้อผ้าวินเทจด้วยหลอดไฟ UVC สามารถนำไปใช้อบเสื้อผ้าแบบวินเทจและเสื้อผ้าอื่นๆ ที่ต้องการการคงสีและความสวยงามได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาอบแห้งด้วยตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยหลอดไฟ UVC ที่มีการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติสำหรับนำไปใช้ในการอบแห้งผ้า ที่มีการศึกษาเปรียบเทียบกับการตากแบบธรรมชาติในงานวิจัยฉบับนี้พบว่าตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยหลอดไฟ UVC ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติสามารถควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 34 องศาเซลเซียส ซึ่งจะใกล้กับอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการอบแห้งผ้าส่วนการตากแบบแดดธรรมชาติจะมีเฉลี่ยอยู่ที่ 31.6 องศาเซลเซียส เท่านั้น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการอบแห้งของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยหลอดไฟ UVC ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติกับการตากแบบแดดธรรมชาติพบว่า ตู้อบแห้งที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 1-2 เท่าเมื่อเทียบกับการตากแบบแดดธรรมชาติ เนื่องจากสามารถอบแห้งได้ตลอด 24 ชั่วโมง นอกจากนี้คุณลักษณะทางกายภาพของเสื้อที่ตากในตู้อบจะไม่แห้งกรอบ ไม่แข็งกระด้างและสีเสื้อไม่ซีด ส่วนการตากแบบธรรมชาติจะมีสภาพแห้งกรอบ แข็งกระด้างและสีเสื้อซีด ดังนั้นการตากในตู้อบจะช่วยรักษาลักษณะทางกายภาพ เนื้อผ้าไม่ซีดและมีความสวยงามสามารถนำไปใช้กับเสื้อผ้าวินเทจและเสื้อผ้าโดยทั่วไปได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้นอกจากนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณโปรแกรมเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบพระคุณเพื่อนเพื่อนอันเป็นที่รักทุกคนที่คอยให้คำปรึกษาโดยตลอดสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนทางการเงินและเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอดทำให้วิจัยในครั้งนี้สำเร็จลงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรพล หนูนุ่น, มูฮัมหมัดอัฟฟาน สือแม และอนุมิตี เดชนะ. (2563). **ชุมชนกับการมีส่วนร่วมในการพัฒนานวัตกรรมเครื่องฆ่าเชื้อโรคด้วยแสงยูวีแบบเคลื่อนที่ ปลอดภัย และต้นทุนต่ำ**. รายงานวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงขลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- [2] ผกากรอง วนไพศาล. (2563). **การฆ่าเชื้อด้วยรังสี UVC** สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2565, จาก <https://pharmacy.mahidol.ac.th/knowledge/article/488/> /การฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีซี(UVC)
- [3] อิศเรศ วรรณทร. (2554). **การศึกษาการกระจายอนุภูมิและความชื้นของวัสดุพูนในเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน โดยใช้ในการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหล**. ปรินซ์นิพนธ์ ปรินซ์นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [4] อาชา หมือละกู, คัมภีร์ โกเมนรัตน์กุลและ ภูวนนท์ อายก. (2565). **เครื่องฆ่าเชื้อด้วยแสง UVC ระบบสายพานลำเลียงอัตโนมัติรังสี UVC** สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2565, จาก <https://www.princess-it-foundation.org>
- [5] ศิริวรรณ อัจจบำรุง. (2562). **ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูง**. รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม.

เครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Solar-Powered Lawn Mower

ภาคิน มณีโชติ อัครเดช พันพิพัฒน์ ปกรณ์กฤษ สนใจ จารุกิตต์ พิบูลนฤดม และเทพ เกื้อทวีกุล*
Pakin Maneechot, Akkadej Panpipat, Pakornkrit Sonjai, Jarukit Piboolnaruedom
and Thep Kueathaweekun*

โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000
Energy Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University,
Kamphaeng Phet 62000

*Corresponding author: Tel.: 055-706555 ต่อ 2511 E-mail address: thep_k@kpru.ac.th

Received: 14 September 2022, Revised: 28 September 2023, Accepted: 17 November 2023, Published online: 30 December 2023

Abstract

This research presents the design and development of solar lawn mowers. The primary objectives include cost reduction, mitigation of air and noise pollution, and the replacement of fossil fuel-dependent mowers with eco-friendly solar alternatives. The solar lawn mower's dimensions are 100 cm width, 165 cm length, and 145 cm height, incorporating a manual switch for operational control, two 12 Volt 40 Watt solar panels, and two 12 Volt 6.5 Ah batteries for continuous usage. Through experimental trials, the performance of the solar lawn mower was evaluated, demonstrating its capability to efficiently cut grass on both flat surfaces and hills. The machine exhibited a cutting duration of approximately 1.30 hours. In addition, the solar panel's charging system can fully charge both batteries in 2.30 hours. The findings suggest that the developed solar lawn mower effectively replaces oil-based ones, offering cost savings, while reducing air and noise pollution. Its versatile functionality allows for efficient grass cutting in various settings such as at the schools and communities.

Keywords: lawn mower, solar energy, solar panel

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเครื่องตัดหญ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทดแทนการใช้น้ำมัน ลดค่าใช้จ่าย ลดมลพิษทางอากาศ และทางเสียง โครงสร้างเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบมีขนาดกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 165 เซนติเมตร และสูง 145 เซนติเมตร โดยมีระบบปิด/เปิดเป็นสวิตช์ควบคุมการทำงานด้วยมือ และใช้แผงโซลาร์เซลล์ 12 โวลต์ 40 วัตต์ 2 แผง และใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 6.5 Ah จำนวน 2 ลูก เพื่อให้สามารถใช้งานอย่างต่อเนื่อง โดยทำการทดลองตัดหญ้าเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จากผลการทดลองพบว่า สามารถตัดหญ้าบนที่ราบและเนินได้เป็นอย่างดี โดยเครื่องที่ออกแบบสามารถตัดได้ประมาณ 1.30 ชั่วโมง นอกจากนั้นระบบการชาร์จของแผงโซลาร์เซลล์สามารถชาร์จให้แบตเตอรี่ทั้ง 2 ลูกเต็มจะใช้เวลา 2.30 ชั่วโมง ดังนั้น เครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นสามารถทดแทนการใช้ น้ำมัน ลดค่าใช้จ่าย ลดมลพิษทางอากาศ และทางเสียง และนำไปใช้ตัดหญ้าตามโรงเรียนและชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เครื่องตัดหญ้า พลังงานแสงอาทิตย์ แผงโซลาร์เซลล์

บทนำ

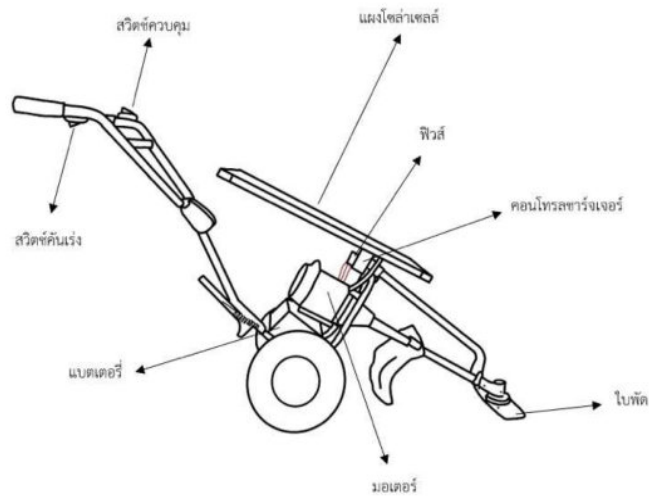
ปัจจุบันเครื่องตัดหญ้าจะมีอยู่หลายลักษณะด้วยกัน เช่น แบบรถเข็น แบบสะพายข้าง แบบรถเข็น เป็นต้น โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้น้ำเชื้อเพลิงเป็นหลัก และบางเครื่องอาจมีแสดงที่ดังพอสมควร ก่อเสียงรบกวนรอบข้างได้และขาดความปลอดภัยในการตัดเมื่อเวลาผ่านไปนานๆ ผู้ตัดจะรู้สึกหนักจำเป็นพักทำให้เสียเวลาในการตัดอีกด้วยและในปัจจุบันนี้ราคาน้ำมันสูงมาก อาจทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการตัดหญ้า เพื่อลดค่าใช้จ่าย ความปลอดภัยและเสียงรบกวนดังกล่าว ถ้าสามารถออกแบบและพัฒนาเครื่องตัดหญ้าที่ใช้งานได้ง่ายมีน้ำหนักเบา และลดต้นทุนในการใช้จ่ายของชาวบ้านและสำนักงานต่าง ๆ ซึ่งมีนักวิจัยได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องๆ ในหลายลักษณะเพื่อใช้ในการตัดหญ้า เช่น สำราญ ชำโลม และคณะ [1] ได้สร้างเครื่องตัดหญ้าพลังงานไฟฟ้าและพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการกำจัดวัชพืชของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกพริกไทย ตำบลราพัน อำเภอนาทม จังหวัดจันทบุรี โดยเน้นการใช้พลังงานสะอาดและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากผลการศึกษาพบว่า เครื่องตัดหญ้าที่ได้จัดสร้างขึ้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถทำงานเป็นระยะเวลาประมาณ 1-1.40 ชั่วโมง ต่อการชาร์จประจุ 1 ครั้ง และการชาร์จ ประจุสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือการชาร์จประจุด้วยเครื่องชาร์จประจุซึ่งจะใช้เวลาในการชาร์จประจุ ประมาณ 3-4 ชั่วโมง ศิริวรรณ อาจบำรุง [2] ได้พัฒนาเครื่องตัดหญ้าและประหยัดพลังงานและลดมลภาวะโดยอาศัยหลักการและแนวความคิดในการจัดทำเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบสะพายแทนเครื่องตัดหญ้าแบบสะพายที่ใช้เครื่องยนต์เบนซินเป็นต้นกำลังเนื่องจากเครื่องตัดหญ้าและเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าแบบสะพายจึงเป็นทางเลือกหนึ่ง ในการใช้เครื่องมือในการปฏิบัติงานที่ไม่เพิ่มมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากใช้พลังงานแสงอาทิตย์จากแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงาน นิพนธ์ มณีโชติ [3] และคณะได้พัฒนาระบบเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าโดยใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถการใช้พลังงานได้และลดรายจ่ายได้ และ อภิชาติ เสมศรี [4] ได้เครื่องตัดหญ้าโซล่าเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถตัดหญ้าในบริเวณต่างๆ เช่น สนามฟุตบอล ที่มีการเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว สมัยปัจจุบัน เทคโนโลยีทางด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ลดการใช้พลังงานโดยอุปกรณ์โซล่าเซลล์เพื่อแปลงเป็นกระแสไฟฟ้าและจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าไปยังแบตเตอรี่ และนำกระแสไฟจากแบตเตอรี่ ไปใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อใช้ในการตัดหญ้าต่อไป นอกจากนี้ เอกศิลป์ ยงทัศนีย์ และคณะ [5] ได้พัฒนาเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับลดค่าใช้จ่าย และยังเป็นการศึกษาผ่านการเรียนรู้การปฏิบัติจริงเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อชุมชนและวิทยาลัย ซึ่งจากการทดลองพบว่า สามารถตัดหญ้าได้ดีมากตัดหญ้าสม่ำเสมอและตัดหญ้าได้ในปริมาณมากและผลงานออกมาได้ดีตามที่คาดหวังไว้

จากที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องตัดหญ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทดแทนการใช้น้ำมัน ลดค่าใช้จ่าย ลดมลพิษทางอากาศ และทางเสียง และสามารถตัดหญ้าในหลากหลายสภาพพื้นที่ ด้วยการออกแบบให้เครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งใช้งานจากแผงโซล่าเซลล์ขนาด 12 โวลต์ 2 แผงต่อแบบอนุกรมในการแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านทางคอนโทรลเลอร์เพื่อชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ที่เก็บประจุไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ 2 ตัว ต่อแบบอนุกรมและเข้าสู่ฟิวส์ควบคุมไปสู่สวิทช์ ปิด/เปิด และคันเร่ง สุ่มอเตอร์ขนาด 24 โวลต์ ไปสู่มอเตอร์ตัดหญ้า โดยไม่ต้องใช้น้ำมันหรือเชื้อเพลิงโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซล่าเซลล์ที่เป็นพลังงานที่สะอาดและประหยัดต่อค่าใช้จ่าย อีกทั้งยังไม่มีมลพิษและมลภาวะเรื่องเสียงที่มีความดังและรบกวนสภาพแวดล้อม โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดในลำดับถัดไป

วิธีการวิจัย

1. ศึกษาเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์
3. สร้างและพัฒนาเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์
4. ทดสอบและทำการปรับปรุงเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์
5. ทดสอบหาประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์
6. เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ในการใช้เครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์
7. สรุปผลการวิจัย

ในการออกแบบและสร้างเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะแบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ โครงสร้างเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบควบคุมการทำงานของโครงสร้างเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยโครงสร้างเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีขนาดกว้าง 100 เซนติเมตรยาว 165 เซนติเมตร และสูง 145 เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 1(ก) และระบบควบคุมการทำงานของเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบด้วย แผงโซล่าเซลล์ 12 โวลต์ 40 วัตต์ 2 แผง และใช้แบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ 6.5 Ah จำนวน 2 ลูก คอนโทรลเลอร์จเจอร์ ฟิวส์ สวิตช์ ไข่มดตัดหญ้า และมอเตอร์ ขนาด 650 วัตต์ โดยมีแรงบิด เท่ากับ 11.6 นิวตันเมตร ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 1(ข)



(ก) โครงสร้างเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์



(ข) ระบบการทำงานของเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ภาพที่ 1 โครงสร้างเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์



(ก) ภาพด้านหน้า

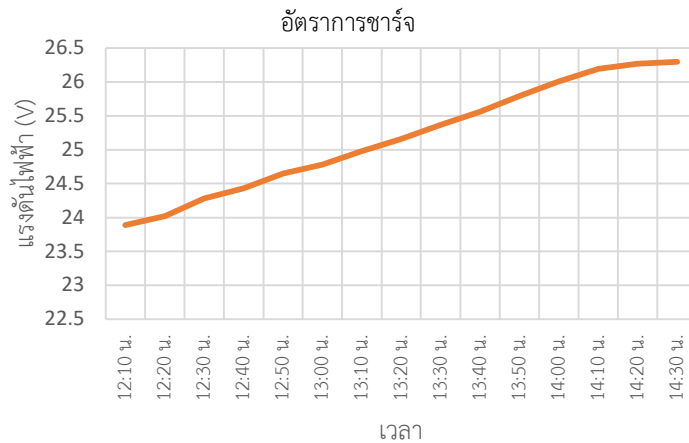


(ข) ภาพด้านข้าง

ภาพที่ 2 เครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

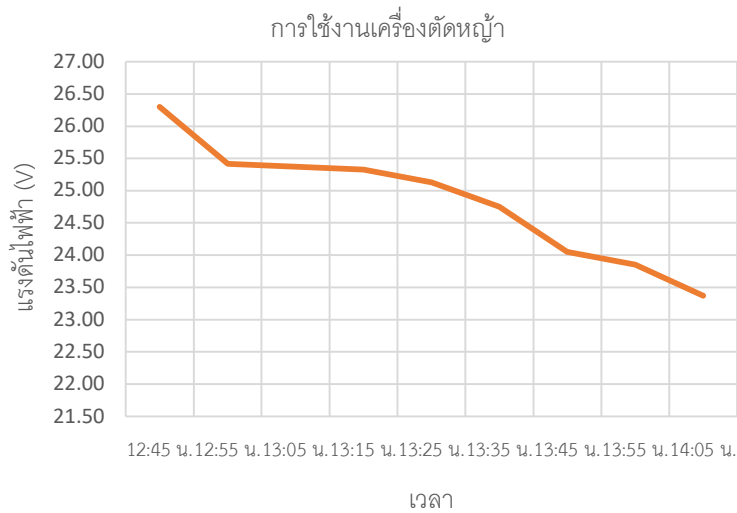
ในการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ก่อนที่จะนำเครื่องไปใช้งานจะทำการศึกษาการชาร์จ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ 12 โวลต์ 40 วัตต์ 2 แผง และใช้แบตเตอรี่ ขนาด 12 โวลต์ 6.5 Ah จำนวน 2 ลูก ในวันที่ 2 สิงหาคม 2565 วันที่ ตั้งแต่เวลา 12.10 -14.20 น. โดยสภาพอากาศมีแดดปานกลาง อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองที่ได้พบว่า จะใช้เวลาเก็บ 2.20 ชม เริ่มเก็บจาก 23.89 V-26.30 V ได้ความจุเต็มประสิทธิภาพ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงกราฟการชาร์จเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์

หลังจากเก็บการชาร์จแบตเตอรี่ของเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นวันที่สภาพอากาศดีและเป็นการเก็บที่มีประสิทธิภาพถึงจะมีบางจังหวะหรือบางช่วงอาจจะมีแดดเล็กน้อยแต่ก็ไม่เป็นผลต่อการชาร์จโดยไม่ส่งผลให้ระบบเกิดการผิดพลาดในการชาร์จของในการเก็บพลังงานการชาร์จของตัวแบตเตอรี่ 24 โวลต์

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยการตัดหญ้าเพื่อทดสอบประสิทธิภาพ ตั้งแต่เวลา 12.45-14.05 น ในวันที่ 3 สิงหาคม 2565 โดยผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงกราฟการใช้งานเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในการทดสอบจะเริ่มการตัดจากแรงดันที่แบตเตอรี่เต็มที 26.30 โวลต์ และจะลดลงเรื่อยๆ จนถึง 23.37 โวลต์ ซึ่งการทดลองการตัดจะสามารถตัดหญ้าได้ประมาณ 1.30 ชั่วโมง และในการตัดของเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถตัดได้ในหลายลักษณะดังนี้



(ก) พื้นที่ขรุขระ



(ข) พื้นที่ราบ



(ค) พื้นที่เนิน

ภาพที่ 5 ลักษณะการใช้งานต่างๆ ของเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากภาพที่ 5 ลักษณะการใช้งานต่างๆ ของเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ในการตัดหญ้าในพื้นที่ขรุขระและพื้นที่ราบตัดหญ้าได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ เนื่องจากลักษณะของใบตัดและล้อที่มีความสมดุลจึงทำให้สามารถตัดหญ้าได้ และในพื้นที่ที่เป็นเนินพบว่าสามารถตัดได้เช่นเดียวกันแต่เนินนั้นจะต้องเอียงไม่เกิน 30 องศา ไม่เช่นนั้นหญ้าที่เครื่องสามารถตัดได้จะถูกตัดไม่หมดและไม่เรียบร้อย อย่างไรก็ตามเครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นยังสามารถนำไปตัดหญ้าในลักษณะการใช้งานต่างๆ ได้ และช่วยลดการใช้ น้ำมัน ลดค่าใช้จ่าย ลดมลพิษทางอากาศ และทางเสียง ได้อีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

เครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตัดหญ้าบนที่ราบและเนินได้เป็นอย่างดี โดยเครื่องที่ออกแบบสามารถตัดหญ้าได้ประมาณ 1.30 ชั่วโมง และระบบการชาร์จของแผลโซล่าเซลล์สามารถชาร์จให้แบตเตอรี่ทั้ง 2 ลูกเต็มจะใช้เวลา 2.30 ชั่วโมง ดังนั้น เครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นสามารถทดแทนการใช้ น้ำมัน ลดค่าใช้จ่าย ลดมลพิษทางอากาศ และทางเสียง และนำไปใช้ตัดหญ้าตามโรงเรียนและชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม เครื่องตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตัดได้เช่นเดียวกันแต่เนินนั้นจะต้องเอียงไม่เกิน 30 องศา ไม่เช่นนั้นหญ้าที่เครื่องสามารถตัดได้จะถูกตัดไม่หมดและไม่เรียบร้อย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโปรแกรมเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำราญ ชำโฮสม, กฤษณะ จันทสิทธิ์ และ ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล. (2562). การสร้างเครื่องตัดหญ้าพลังงานไฟฟ้าและพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับกลุ่มผู้ปลูกพริกไทยตำบลรำพัน อำเภอบางบาล จังหวัดจันทบุรี. รายงานวิจัย คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี.
- [2] ศิริวรรณ อางบำรุง, ภคพล ช่างยันต์และรามนรี ภูติบุตร. (2556). เครื่องตัดหญ้าและประหยัดพลังงานและลดมลภาวะ. รายงานวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม.
- [3] นิพนธ์ มณีโชติ และศรัณย์ ชูคดี. (2557). การพัฒนาระบบเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าโดยใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์. รายงานวิจัย คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. จังหวัดสงขลา.
- [4] อภิชาติ เสมศรีและคณะ. (2560). เครื่องตัดหญ้าโซล่าเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก จังหวัดสมุทรปราการ.
- [5] เอกศิลป์ ยงทัศนีย์ และคณะ. (2563). รถตัดหญ้าพลังงานแสงอาทิตย์. โครงการวิจัย วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี จังหวัดชลบุรี.

การหาตำแหน่งเหมาะสมของกังหันลมที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงที่สุดสำหรับฟาร์มกังหันลม
ในภูมิประเทศแบบสลับซับซ้อนด้วยขั้นตอนวิธีอาณานิคม

Optimum Location of Wind Turbine for Maximizing Electrical Energy for Wind Farm
in Complex Terrain by Ant Colony Optimization Algorithm

พงษ์ศักดิ์ มะขามป้อม^{1*} จอมภพ แวศักดิ์² ชนะ จันทร์ฉ่ำ³ และสมพล ชิวมงคลกานต์¹
Pongsak Makhampom^{1*} Jompob Waewsak² Chana Chancham³ and Somphol Chiwamongkhonkam¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

²สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

³ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

¹ Energy Engineering, Thaksin University, Phatthalung, 93210

²Department of Physics, Faculty of science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

³Research Center in Energy and Environment, Faculty of science, Thaksin University, Phatthalung, 93210

*Corresponding author: Tel.: 082 963 1386. E-mail address: 602995011@tsu.ac.th

Received: 16 September 2022, Revised: 24 September 2023, Accepted: 17 November 2023, Published online: 30 December 2023

Abstract

In the development of a wind farm, besides assessing the potential of wind energy sources, it is also essential to study the optimum location of wind turbines to maximize the power generation. In this research, an Ant Colony Optimization Algorithm (ACO) has been applied to determine the optimum wind turbine generator locations, comparing the outcomes with those generated by the GH WindFarmer program, a tool commonly used for wind farm design.

The ACO is a conceptual algorithm based on the foraging behavior of ants that has been studied in complex terrain for the Rom Klao wind farm in Mukdahan province. The CFD model and long-term wind data from 1985–2015 were used to assess the wind potential of the study area. In this research, there will be 13 wind turbines (Gamesa G126) with a nominal capacity of 2.5 MW, a hub height of 100 m, and a rotor diameter of 126 m. The results show the Rom Klao wind farm has an average annual wind speed ranging from 3.53 - 5.42 m/s. Comparing the net annual energy production, wake loss, and capacity factor (C.F.) values of ACO and the GH WindFarmer showed differences, with ACO yielding 25.70 GWh/year, 13.74%, and 9.03% respectively, and GH WindFarmer showing 30.75 GWh/year, 10.88%, and 10.80% respectively. Notably, the ACO method requires approximately twice the time taken by the GH WindFarmer program.

Keywords: Ant colony optimization algorithm (ACO), Wind farm, Wake loss, CFD model

บทคัดย่อ

การพัฒนาฟาร์มกังหันลมนอกจากต้องศึกษาศักยภาพของแหล่งพลังงานลมแล้วยังจำเป็นต้องศึกษาค่าแห่งของกังหันลมที่เหมาะสมเพื่อให้ฟาร์มกังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด งานวิจัยนี้นำเสนออัลกอริทึมการหาสถานะที่เหมาะสมแบบอาณานิคมมด (Ant colony optimization algorithm, ACO) มาช่วยในการหาค่าแห่งของกังหันลมเปรียบเทียบกับแบบจำลอง GH WindFarmer ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการออกแบบฟาร์มกังหันลม โดย ACO เป็นขั้นตอนวิธีที่มีแนวคิดจากพฤติกรรมการหาอาหารของมด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากับภูมิประเทศแบบสลับซับซ้อนในพื้นที่ฟาร์มกังหันลมร่มเกล้า จังหวัดมุกดาหาร ขนาด $10 \times 10 \text{ km}^2$ โดยใช้แบบจำลอง CFD ในการประเมินศักยภาพของแหล่งลมร่วมกับข้อมูลลมระยะยาวตั้งแต่ พ.ศ. 2528-2558 โดยใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้ารุ่น Gamesa G126 ขนาด 2.5 MW ความสูงศูนย์กลางส่วนหมุน 100 m เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนหมุน 126 m จำนวน 13 ต้น จากการวิจัยพบว่า พื้นที่ฟาร์มกังหันลมร่มเกล้ามีอัตราเร็วลมเฉลี่ยรายปีตั้งแต่ 3.53-5.42 m/s จากการใช้ ACO ในการหาค่าแห่งของกังหันลม พบว่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่รายปีเท่ากับ 25.70 GWh/year การสูญเสียเนื่องจาก wake เท่ากับ 13.74% C.F. เท่ากับ 9.03% และเมื่อจำลองด้วย GH WindFarmer พบว่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิรายปีเท่ากับ 30.75 GWh/year การสูญเสียเนื่องจาก wake เท่ากับ 10.88% C.F. เท่ากับ 10.80% และเมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการจำลองพบว่า ACO ใช้เวลามากกว่าแบบจำลอง GH WindFarmer ประมาณ 2 เท่า

คำสำคัญ: ขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด ฟาร์มกังหันลม การสูญเสียเนื่องจาก wake แบบจำลอง CFD

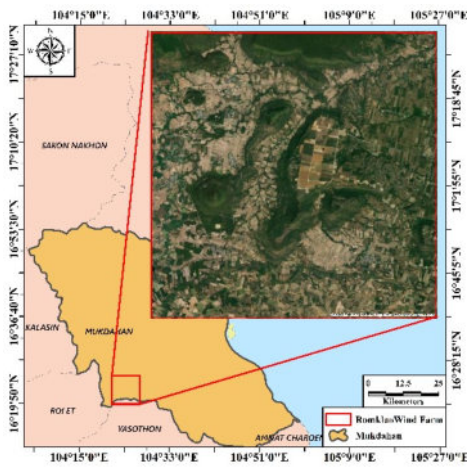
บทนำ

สำหรับศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยนั้นถูกจัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ จากข้อมูลแผนที่ศักยภาพพลังงานลมจัดทำโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่าประเทศไทยมีความเร็วลมค่อนข้างต่ำ โดยที่ความสูง 90 m พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีอัตราเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ 4-5 m/s [1] บางพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยเฉพาะบริเวณขอบที่ราบสูงโคราช มีศักยภาพพลังงานลมที่ดีกว่าพื้นที่อื่นๆ รวมไปถึงพื้นที่ตามแนวชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตั้งแต่จังหวัดนครศรีธรรมราชลงไป นั้นแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาฟาร์มกังหันลม นอกจากต้องคำนึงถึงความเร็วลมแล้ว ยังต้องคำนึงถึงลักษณะภูมิประเทศ ประเภทของการใช้ที่ดินและสถิติความเร็วลม ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ในการพัฒนาฟาร์มกังหันลม สำหรับการพัฒนาฟาร์มกังหันลมจำเป็นต้องศึกษาและประเมินศักยภาพแหล่งลม เพื่อประเมินว่าพื้นที่หรือตำแหน่งใดที่เหมาะสมกับการติดตั้งกังหันลม จากการศึกษาของ Mohamed และคณะ [2] ได้ศึกษาหาตำแหน่งของกังหันลมที่เหมาะสมในฟาร์มกังหันลมคาเบอร์เท็น ในประเทศแอลจีเรีย โดยใช้โปรแกรม WAsP ประเมินศักยภาพแหล่งลม และใช้โปรแกรม GH WindFarmer ในการหาค่าแห่งของกังหันลม ซึ่งฟาร์มกังหันลมมีกำลังการผลิตติดตั้งเท่ากับ 10 MW จากการศึกษาพบว่าพื้นที่ศึกษามีอัตราเร็วลมเฉลี่ย 5.7 m/s และพลังงานไฟฟ้าที่ฟาร์มผลิตได้เท่ากับ 21.80 GWh/year แต่หลังจากใช้ GH WindFarmer พลังงานไฟฟ้าที่ฟาร์มผลิตได้เท่ากับ 22.10 GWh/year และ González-Longatt และคณะ [3] ทำการประเมินศักยภาพแหล่งลมในประเทศเวเนซุเอลา โดยใช้ชุดข้อมูลการสังเกตการณ์ลมที่บันทึกไว้ของสถานีอุตุนิยมวิทยาตั้งแต่ พ.ศ. 2548-2550 โดยใช้ข้อมูลความเร็วและทิศทางลมจากเสาวัดลม 32 แห่ง และใช้ซอฟต์แวร์ OpenWind ในการประเมินศักยภาพแหล่งลม พบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมอยู่ทางภาคเหนือ ซึ่งสามารถพัฒนาเป็นโครงการพลังงานลมเชิงพาณิชย์เพื่อการผลิตพลังงานลมสำหรับโรงไฟฟ้าขนาดเล็กทั้งระบบเชื่อมต่อสายส่งและไม่เชื่อมต่อสายส่ง

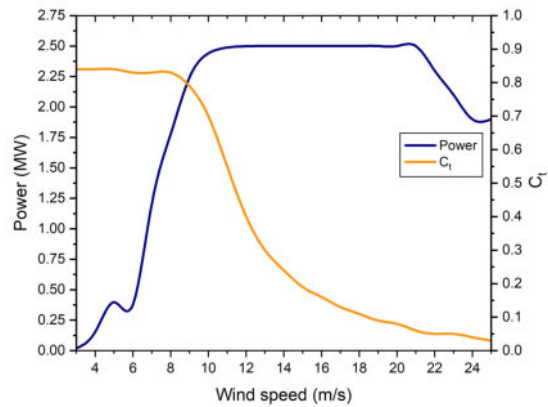
จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการศึกษาและประเมินแหล่งลมจะสามารถหาค่าแห่งของกังหันลมที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด ซึ่งทำให้สามารถออกแบบฟาร์มกังหันลม ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าแห่งที่เหมาะสมของกังหันลมโดยใช้อัลกอริทึมการหาสถานะที่เหมาะสมแบบอาณานิคมมด (Ant colony optimization algorithm, ACO) โดยทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิรายปี การสูญเสียเนื่องจาก wake ค่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม (C.F.) และเวลาที่ใช้ในการจำลองเพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง GH WindFarmer

วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกพื้นที่ฟาร์มกังหันลมร่มเกล้า จังหวัดมุกดาหาร โดยมีขนาดพื้นที่ศึกษาเท่ากับ $10 \times 10 \text{ km}^2$ แสดงดังภาพที่ 1 และใช้กังหันลม Gamesa G126-2.5MW ขนาด 2.5 MW ความสูงศูนย์กลางส่วนหมุน 100 m เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนหมุน 126 m กังหันลมเริ่มทำงานและหยุดทำงานที่อัตราเร็วลม 3 m/s และ 25 m/s ตามลำดับ เส้นโค้งกำลังแสดงดังภาพที่ 2 [4] จำนวน 13 ต้น โดยฟาร์มกังหันลมมีกำลังผลิตติดตั้งอยู่ที่ 32.5 MW และใช้ข้อมูลลมระยะยาว ตั้งแต่ พ.ศ. 2528-2558 จากฐานข้อมูล MERRA ความสูง 50 m ณ ตำแหน่ง $16^\circ 22' 49.206'' \text{ N } 104^\circ 24' 51.1632'' \text{ E}$ เพื่อวิเคราะห์ทิศทางและความเร็วลมด้วยการแจกแจงไวบูลล์ซึ่งเป็นการแจกแจงทางสถิติวิธีหนึ่งในการใช้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของลม พารามิเตอร์ของการแจกแจงไวบูลล์ประกอบด้วย พารามิเตอร์รูปร่าง (Shape parameter, k) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงลักษณะการกระจายของข้อมูลความเร็วลม (v) ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่ามีความเร็วลมต่ำบ่อยกว่าความเร็วลมสูง และพารามิเตอร์ระดับ (Scale parameter, c) เป็นพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับความเร็วมเฉลี่ย ถ้าความเร็วมเฉลี่ยมีค่าสูง ค่าจะมากตามไปด้วย [5]

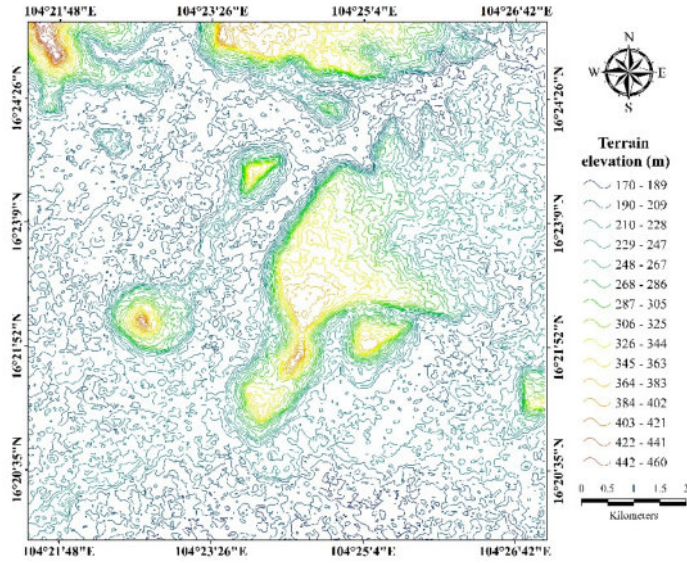


ภาพที่ 1 พื้นที่ฟาร์มกังหันลมร่มเกล้า จังหวัดมุกดาหาร

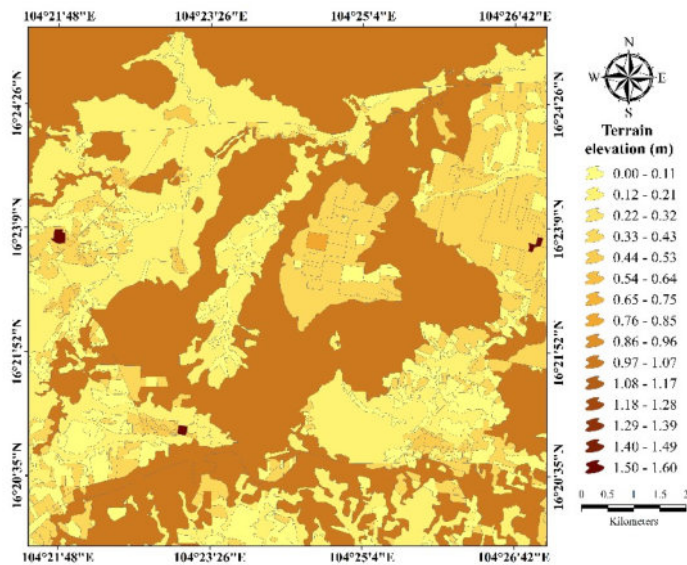


ภาพที่ 2 เส้นโค้งกำลังของกังหันลม Gamesa G126-2.5MW

ในการประเมินศักยภาพแหล่งลมเฉพาะแหล่งจำเป็นต้องทำแผนที่ลมระดับจุลภาคมี โดยอาศัยด้วยเทคนิค CFD ซึ่งจำเป็นต้องเตรียมแผนที่เส้นชั้นความสูงและแผนที่ดัชนีความขรุขระของพื้นที่ศึกษา ได้ดำเนินการจัดทำโดยอาศัยแผนที่แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ขนาด 10×10 ตารางกิโลเมตร และใช้โปรแกรม Arcgis สำหรับการสร้าง grid cell ใหม่เพื่อจัดเตรียมแผนที่ฐาน [6] โดยได้ดำเนินการสร้างแผนที่เพื่อแสดงระดับความสูงต่ำหรือลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา และแสดงความขรุขระของพื้นที่ศึกษาดังภาพที่ 3 และ 4



ภาพที่ 3 แผนที่เส้นชั้นความสูงของกิ่งห้วยลุ่มเกล้า จังหวัดมุกดาหาร



ภาพที่ 4 แผนที่ความขรุขระของกิ่งห้วยลุ่มเกล้า จังหวัดมุกดาหาร

การประเมินศักยภาพแหล่งลม

การประเมินศักยภาพแหล่งลมในพื้นที่ฟาร์มกิ่งห้วยลุ่มเกล้า จังหวัดมุกดาหาร ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศแบบสลับซับซ้อน ทำการประเมินศักยภาพแหล่งลมโดยใช้โปรแกรม WindSim ด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics : CFD) ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

- 1) ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล (Input) ประกอบด้วยแผนที่ระดับจุลภาคและข้อมูลทิศทางและความเร็วลม
- 2) ขั้นตอนการประมวลผลโดยการใช้วิธีทาง CFD Process
- 3) การแสดงผล (Output)

อัลกอริทึมการหาสถานะที่เหมาะสมแบบอาณานิคมมด (Ant colony optimization algorithm, ACO)

ระเบียบวิธีอาณานิคมมดถูกพัฒนาโดย Dorigo และคณะ [7] ในปี 1992 โดยมีแนวคิดจากการเลียนแบบพฤติกรรมหาอาหารของอาณานิคมมด โดยเริ่มจากมดจะเดินหาอาหารกลับมายังรัง ในขณะที่เดินหาอาหารอยู่นั้น มดจะปล่อยสารเคมีที่เรียกว่า ฟีโรโมน ซึ่งเป็นสารเคมีที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างมดด้วยกัน เพื่อให้สมาชิกตัวอื่นๆ ตามไปยังแหล่งอาหารได้อย่างถูกต้อง [8] ปริมาณของฟีโรโมนที่มดปล่อยระหว่างทางจะขึ้นอยู่กับระยะทางและปริมาณของแหล่งอาหาร [9] การทำงานของ ACO ในการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งของกังหันลมในฟาร์มกังหันลมแสดงดังภาพที่ 5

```
1. Initialization;
Set the initial values: Number of turbines  $N_t$ , Number of ants
Generate initial solution: Randomly locate each turbine with respect to
assumptions six and eight and compute  $Pup_i$  and  $totalPup_i$  as the optimal
solution
2. Compute  $Vel\_def_i$ ,  $c_i$ ,  $P_i$ , and  $P_f$ 
3. set  $best=P_f$ 
4. for  $iter=1$  to  $MaxIter$ 
5. compute  $\pi_i$  and number of ants  $Tant_i$  for each turbine proportional with  $\pi_i$ 
if  $best \neq totalPup_i$  or  $iter \neq MaxIter$ 
for each turbine  $i=1$  to  $N_t$ 
for  $ant=1$  to  $Tant_i$ 
re-locate turbine  $i$  randomly with respect to assumptions six and eight
end
re-compute (2)
if  $P_f > best$ 
 $best = P_f$  and update  $farm$  by new best turbine locations
end
end
re-compute (5)
else
STOP
 $P_f$  is the solution and turbine locations ( $farm$ ) give the optimized layout
```

ภาพที่ 5 การทำงานของ ACO ในการหาตำแหน่งของกังหันลม [9]

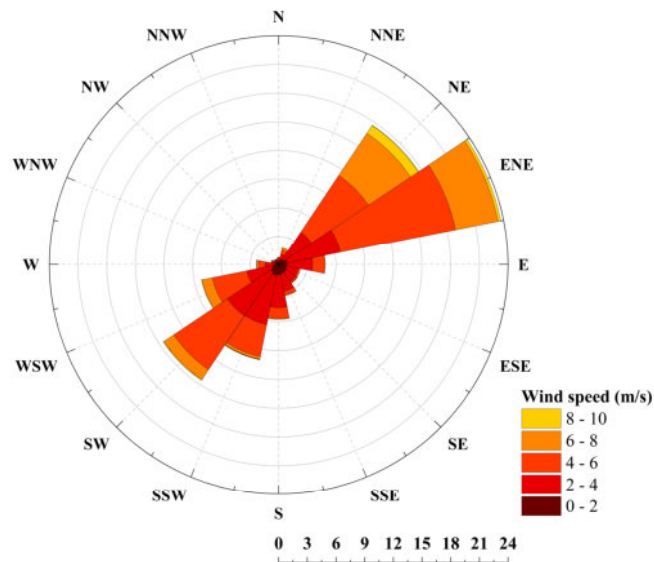
ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เมื่อนำข้อมูลลมระยะยาวตั้งแต่ พ.ศ. 2528-2558 จากฐานข้อมูล MERRA ในพื้นที่ฟาร์มกังหันลมร่มเกล้า จังหวัดมุกดาหาร ทำการประเมินศักยภาพด้วยแบบจำลอง CFD พบว่า ทิศที่มีความถี่ในการเคลื่อนที่ของลมมากที่สุด (ENE) อยู่ระหว่างทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (EN) กับทิศตะวันออก (E) รองลงมาคือทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (EN) และ ตะวันตกเฉียงใต้ (SW) โดยมีความถี่เท่ากับ 22.76% 20.06% และ 13.61% ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 8 และเมื่อ วิเคราะห์สถิติลมด้วยการแจกแจงแบบไวบูลล์ (Weibull distribution) โดยมีพารามิเตอร์รูปร่างเท่ากับ 2.63 และ พารามิเตอร์ระดับเท่ากับ 4.8 m/s และอัตราเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 4.22 m/s แสดงดังภาพที่ 9

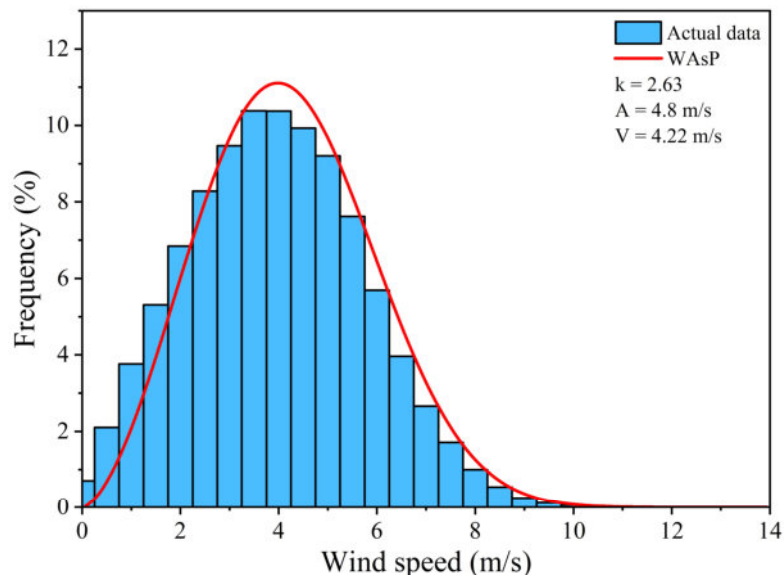
การประเมินศักยภาพแหล่งลมโดยใช้โปรแกรม WindSim ด้วยเทคนิค CFD ขนาด 10×10 km² แสดงดังภาพที่ 10 พบว่า อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายปีของพื้นที่ศึกษาอยู่ในช่วง 3.14-6.45 m/s และเมื่อเจาะจงไปยังพื้นที่ฟาร์มกังหันลม ร่มเกล้า พบว่า อัตราเร็วลมเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 3.53-5.42 m/s แสดงดังภาพที่ 11

ฟาร์มกังหันลมมีกำลังผลิตติดตั้งอยู่ที่ 32.5 MW ประกอบด้วยกังหันลมจำนวน 13 ต้น จากการใช้ ACO ในการ หาตำแหน่งของกังหันลม พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายปีเท่ากับ 29.80 GWh/year พลังงานไฟฟ้าสุทธิที่รายปีเท่ากับ 25.70 GWh/year การสูญเสียเนื่องจาก wake เท่ากับ 13.74% C.F. เท่ากับ 9.03 % และใช้เวลาในการจำลองเท่ากับ 7 ชั่วโมง 36 นาที ซึ่งตำแหน่งของกังหันลมแสดงดังภาพที่ 12 และเมื่อจำลองด้วย GH WindFarmer พบว่า พลังงานไฟฟ้าที่

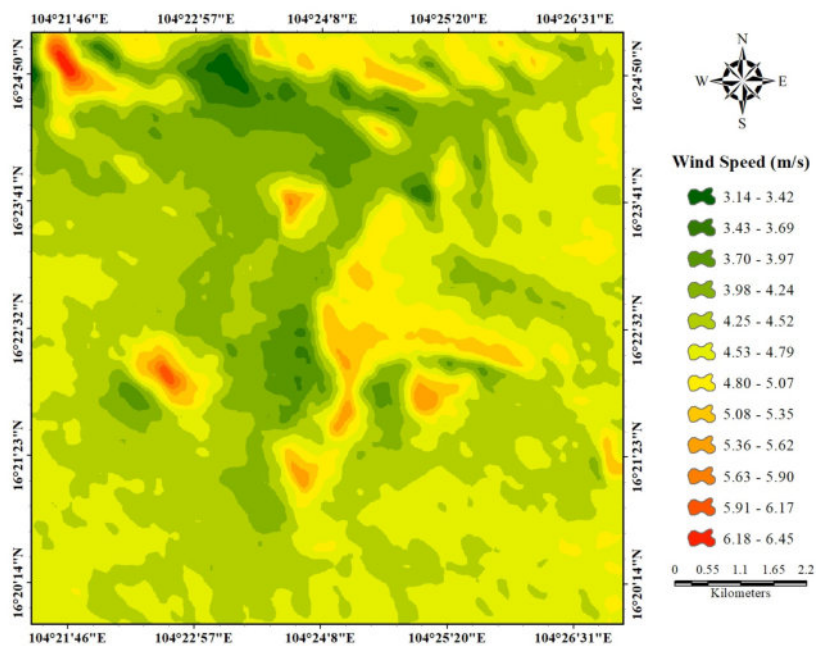
ผลิตได้รายปีเท่ากับ 34.501 GWh/year พลังงานไฟฟ้าสุทธิรายปีเท่ากับ 30.75 GWh/year การสูญเสียเนื่องจาก wake เท่ากับ 10.88% C.F. เท่ากับ 10.80% และใช้เวลาในการจำลองเท่ากับ 3 ชั่วโมง 14 นาที ซึ่งตำแหน่งของกังหันลมแสดงดังภาพที่ 13 รายละเอียดผลการจำลองด้วย ACO และ ด้วย GH WindFarmer แสดงดังตารางที่ 1 และ 2



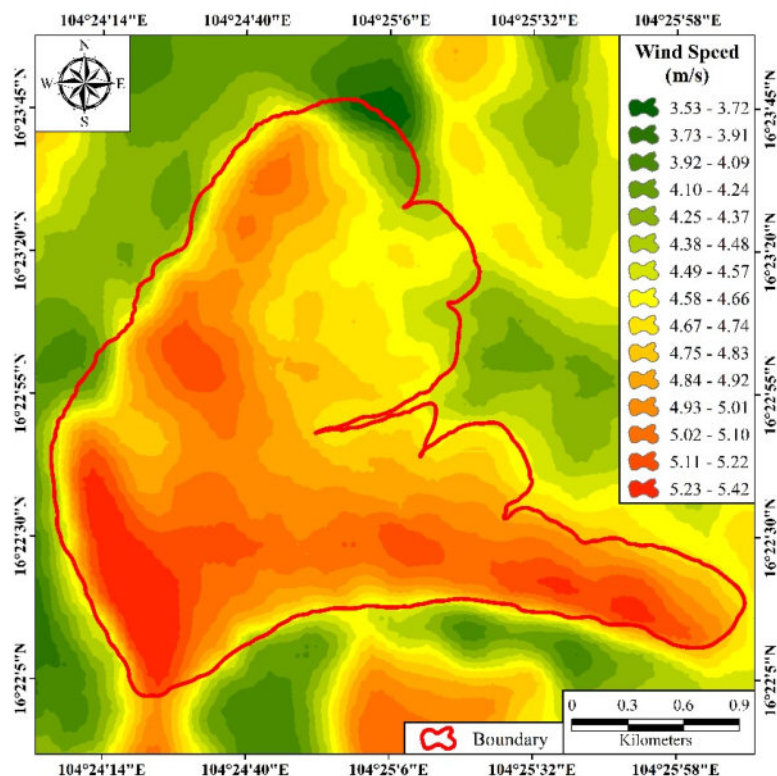
ภาพที่ 8 แผนภูมิทิศทางและอัตราเร็วลมเฉลี่ยรายปีที่ความสูง 100 m



ภาพที่ 9 ผลการวิเคราะห์การแจกแจงไวส์บูลล์



ภาพที่ 10 แผนที่ความเร็วมเฉลี่ยรายปีในพื้นที่ฟาร์มกังหันลมร่มเกล้า จังหวัดมุกดาหาร ขนาด 10x10 km² ที่ความสูง 100 m



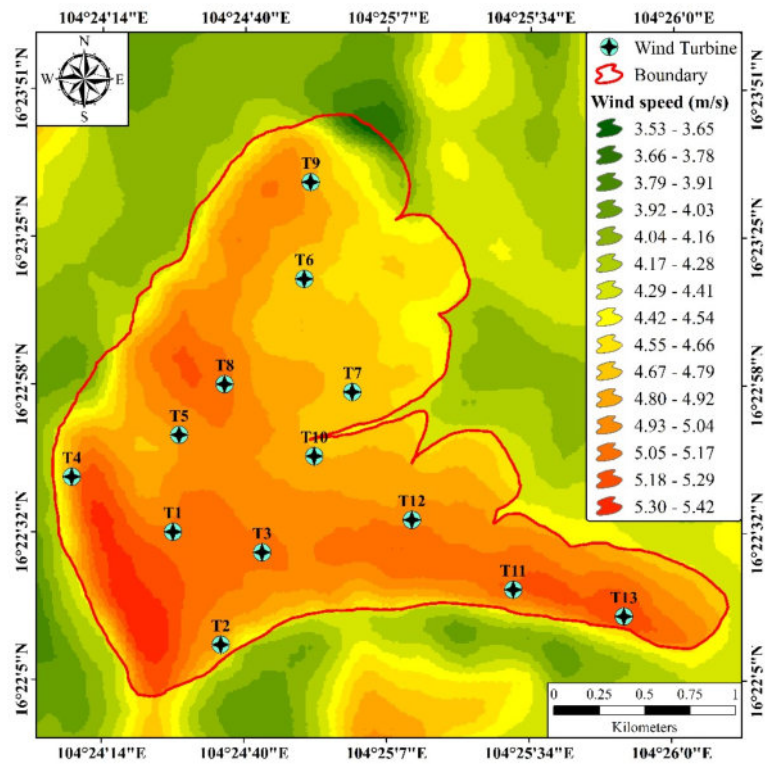
ภาพที่ 11 แผนที่ความเร็วมเฉลี่ยรายปีของฟาร์มกังหันลมร่มเกล้า จังหวัดมุกดาหาร ที่ความสูง 100 m

ตารางที่ 1 รายละเอียดผลการจำลองด้วย ACO

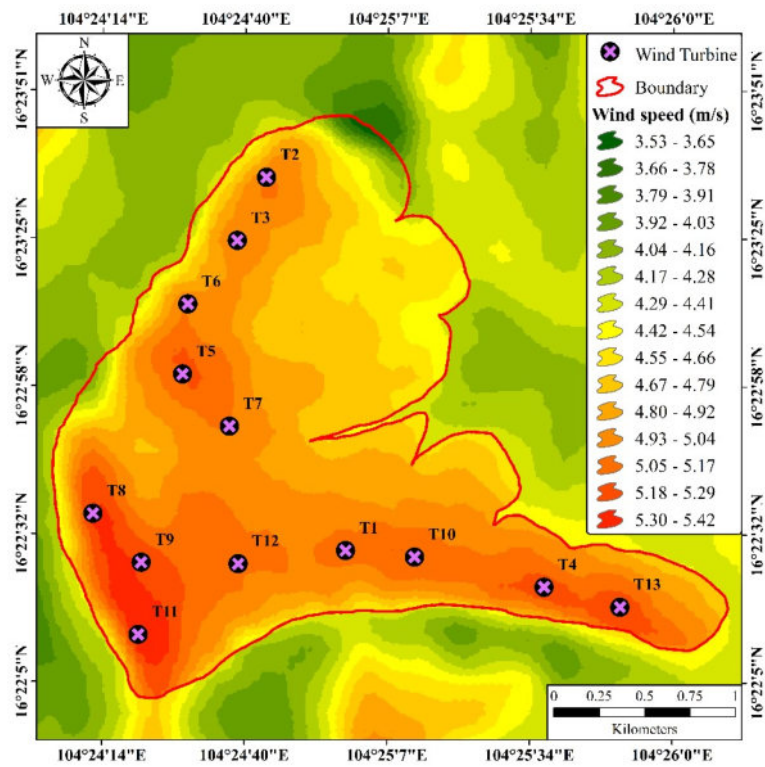
| Turbines | Wind speed (m/s) | Gross AEP (GWh/year) | Net AEP (GWh/year) | Wake loss (%) | C.F. (%) |
|----------|---------------------|-------------------------|-----------------------|------------------|----------|
| 1 | 4.07 | 2.48 | 2.03 | 18.13 | 9.27 |
| 2 | 3.88 | 2.06 | 1.80 | 12.86 | 8.19 |
| 3 | 4.05 | 2.47 | 2.05 | 17.19 | 9.34 |
| 4 | 3.92 | 2.21 | 1.69 | 23.51 | 7.71 |
| 5 | 3.95 | 2.25 | 1.35 | 40.05 | 6.16 |
| 6 | 3.75 | 1.94 | 1.82 | 5.84 | 8.32 |
| 7 | 3.78 | 1.96 | 1.76 | 9.82 | 8.05 |
| 8 | 4.07 | 2.51 | 1.89 | 24.42 | 8.64 |
| 9 | 3.86 | 2.18 | 2.11 | 2.99 | 9.63 |
| 10 | 3.84 | 2.09 | 1.64 | 21.41 | 7.49 |
| 11 | 4.09 | 2.60 | 2.57 | 1.00 | 11.74 |
| 12 | 3.95 | 2.32 | 2.25 | 3.06 | 10.27 |
| 13 | 4.13 | 2.74 | 2.74 | 0.22 | 12.48 |

ตารางที่ 2 รายละเอียดผลการจำลองด้วย GH WindFarmer

| Turbines | Wind speed (m/s) | Gross AEP (GWh/year) | Net AEP (GWh/year) | Wake loss (%) | C.F. (%) |
|----------|---------------------|-------------------------|-----------------------|------------------|----------|
| 1 | 4.06 | 2.53 | 2.43 | 3.72 | 11.1 |
| 2 | 4.02 | 2.52 | 2.41 | 4.40 | 11.01 |
| 3 | 4.05 | 2.51 | 2.12 | 15.79 | 9.66 |
| 4 | 4.17 | 2.79 | 2.77 | 0.72 | 12.64 |
| 5 | 4.15 | 2.70 | 2.57 | 4.93 | 11.71 |
| 6 | 4.02 | 2.43 | 1.88 | 22.63 | 8.58 |
| 7 | 4.03 | 2.41 | 2.16 | 10.33 | 9.87 |
| 8 | 4.25 | 2.90 | 2.47 | 14.94 | 11.27 |
| 9 | 4.22 | 2.81 | 2.10 | 25.40 | 9.57 |
| 10 | 4.06 | 2.54 | 2.50 | 1.54 | 11.41 |
| 11 | 4.35 | 3.12 | 2.36 | 24.33 | 10.77 |
| 12 | 4.07 | 2.49 | 2.24 | 10.02 | 10.2 |
| 13 | 4.14 | 2.75 | 2.74 | 0.18 | 12.52 |



ภาพที่ 12 ตำแหน่งของกังหันลมจากการใช้ ACO



ภาพที่ 13 ตำแหน่งของกังหันลมจากการใช้ GH WindFarmer

สรุปผลการวิจัย

ศักยภาพแหล่งลมบริเวณพื้นที่ฟาร์มกังหันลมร่มเกล้าที่ความสูง 100 m มีความเร็วลมเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 3.14-6.45 m/s และเมื่อเจาะจงไปยังพื้นที่ของฟาร์มกังหันลม ความเร็วลมเฉลี่ยรายปีอยู่ในช่วง 3.53-5.42 m/s ผลจากการจำลองการหาพลังงานไฟฟ้าสุทธิของฟาร์มกังหันลมและระยะเวลาในจำลองเปรียบเทียบระหว่าง ACO และ GH WindFarmer พบว่า การจำลองด้วย ACO ฟาร์มกังหันผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิได้น้อยกว่า GH WindFarmer และใช้ระยะเวลาในการจำลองมากกว่าประมาณ 2 เท่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่อำนวยความสะดวกด้านบุคลากรและเครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ที่ได้สนับสนุนเงินทุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.). (ม.ป.ป.). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561 – 2580 (AEDP2018)** สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2565, จาก https://www.dede.go.th/download/Plan_62/20201021_TIEB_AEDP2018.pdf.
- [2] Mohamed, B., Fadela, B., & Mounir, K. (2015). Optimization of the Wind Turbines Location in Kaberten Wind Farm in Algeria. **Energy Procedia**. 74, 122–129.
- [3] González-Longatt, F., Serrano González, J., Burgos Payán, M., & Riquelme Santos, J. M. (2014). Wind-resource atlas of Venezuela based on on-site anemometry observation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 39, 898–911.
- [4] wind-turbine-models.com. (ม.ป.ป.). **Gamesa G126-2.5MW** สืบค้นเมื่อ 12 กรกฎาคม 2565 จาก <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/1286-gamesa-g126-2.5mw>.
- [5] ภาคภูมิ รัตน์จิราบุญกุล, สุจิตรา รัตน์จิราบุญกุล. (2561). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การประเมินศักยภาพพลังงานลมบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยในอนาคตด้วยแบบจำลองภูมิอากาศความละเอียดสูง สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2565, จาก <http://cmruir.cmru.ac.th/handle/123456789/1363>.
- [6] มวลทกานต์ พิซโรจน์. (2551). การประเมินศักยภาพของพลังงานลมเฉพาะพื้นที่ชายฝั่งทะเลของจังหวัดนครศรีธรรมราช. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. พัทลุง : มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [7] M. Dorigo, M. Birattari, T. Stutzle. (2006). Ant colony optimization. **IEEE Computational Intelligence Magazine**. 1(4), 28–39.
- [8] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (ม.ป.ป.). **วิธีของมดงานในสังคมใหญ่** สืบค้นเมื่อ 10 สิงหาคม 2565, จาก <https://www.scimath.org/article-science/item/8642-2018-09-11-07-44-25>.
- [9] Yunus EROĞLU. 2011. **Wind Farm Layout Optimization using Ant Colony and Particle Filtering Approaches**. Thesis M.Sc. in Industrial Engineering. Turkish : Gaziantep University.

การศึกษาและวิเคราะห์ระบบอัดอากาศเพื่อเติมออกซิเจนสำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์น้ำด้วยพลังงาน
แสงอาทิตย์ชนิดทุ่นลอยน้ำ

Studying and Analyzing of Air Compress System for adding Oxygen in Aquaculture
Farm using Energy from PV Floating System

สิริศักดิ์ ปางวุฒิวณิชย์¹ วิรัชย์ โยชนรินทร์^{2*} วรเชษฐ์ แสงสีดา¹ นิมา อาซารี¹ และสุเทพ สีมาลา¹
Sirisak Pangvuthivanich¹ Wirachai Roynarin^{2*} Worachate Sangsida¹ Nima Azhari¹ and Suthep Simala¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมพลังงานและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

²ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

¹Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Thanyaburi, Pathum Thani 12110

²Research and Service Energy Center RMUTT, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110

*Corresponding author: Tel.: 02-5493433. E-mail address: wirachair.en@rmutt.ac.th

Received: 16 September 2022, Revised: 11 September 2023, Accepted: 17 November 2023, Published online: 30 December 2023

Abstract

This paper presents the design of a compressed air production system utilizing floating solar cells with a 3-kilowatt capacity, installed and tested in the Khlong Si area of Pathum Thani Province. The article outlines the design process and analysis of energy derived from solar measurements. The aim is to conduct an initial assessment of power generation potential. This involves comparing electricity generation between the PVsystem-Simulation in Solar Energy Analysis program and the actual power generation from the system. From the installation and system commissioning, it was observed that the solar energy generated was approximately 11 units per day. Comparative analysis with program calculations revealed a 10% difference. This variation, however, proved sufficient to power the air compressor, producing compressed air at 8 bars, with a capacity of 500 liters per minute.

Keywords: floating solar cell, Air compressor, PVsystem – Simulation

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบการผลิตอากาศอัดโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ชนิดโซลาร์เซลล์ลอยน้ำ โดยระบบผลิตไฟฟ้าชนิดทุ่นลอยน้ำขนาด 3 กิโลวัตต์ ซึ่งทำการติดตั้งในการใช้งานในพื้นที่ทดสอบบริเวณคลองสี่ จังหวัดปทุมธานี โดยในบทความนี้จะแสดงให้เห็นกระบวนการตั้งแต่มีการออกแบบและวิเคราะห์พลังงานที่ได้จากการวัดพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อทำการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าเบื้องต้นและทำการเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าจากโปรแกรม PVsystem-Simulation ในการวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นนำผลการผลิตไฟฟ้าจริงที่ระบบผลิตได้นำมาเทียบกับการผลิตไฟฟ้า จากผลการติดตั้งใช้งานพบว่าในช่วงเวลาที่มีการติดตั้งและทดสอบระบบมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์คิดเป็นจำนวน 11 หน่วยไฟฟ้าต่อวันและเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรมและการคำนวณพบว่า มีความแตกต่างกันร้อยละ 10 เพียงพอต่อการขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศเพื่อผลิตอากาศอัดขนาดกำลังอัด 8 บาร์ ที่สามารถผลิตอากาศอัดได้ปริมาณ 500 ลิตร ต่อนาที

คำสำคัญ: โซลาร์เซลล์ลอยน้ำ เครื่องอัดอากาศ โปรแกรมจำลองการคำนวณ

บทนำ

การเติบโตของชุมชนเมืองที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานปัจจุบันส่วนใหญ่ก่อให้เกิดมลพิษทั้งในแง่ก๊าซเรือนกระจก และฝุ่น PM 2.5 ที่ก่อให้เกิดปัญหาในปัจจุบัน ดังนั้นในการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนเช่นพลังงานลมและแสงอาทิตย์ เพื่อลดมลพิษที่เป็นสาเหตุหนึ่งของสภาวะโลกร้อน เป็นพลังงานทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นตัวอย่างของชุมชนสีเขียวให้กับประเทศ และเป็นต้นแบบในการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป ดังนั้นเทคนิคการผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ลอยน้ำเพื่อผลิตอากาศที่ใช้บำบัดน้ำเสีย จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าจากสายส่ง และเป็นตัวอย่างการใช้พลังงานหมุนเวียนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเป็นตัวอย่างของชุมชนสีเขียวให้กับประเทศและเป็นต้นแบบการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป ในงานวิจัยนี้จะนำพลังงานหมุนเวียน ได้แก่พลังงานแสงอาทิตย์ มาทำการผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นต้นกำเนิดกระแสไฟฟ้าป้อนให้กับเครื่องอัดอากาศสำหรับผลิตอากาศในการบำบัดน้ำเสีย และสามารถใช้เป็นโครงการต้นแบบเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนให้แก่บุคคลทั่วไป หน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่สนใจได้เข้ามาศึกษาดูงานได้ต่อไป

ทฤษฎีของระบบการทำงานของ Solar Cell

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีกำลังการผลิตรวม 3 กิโลวัตต์ โดยจะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly Crystalline และทำการเชื่อมต่อสายไฟเข้าด้วยกัน โดยมี JUNCTION BOX ทำหน้าที่รวมเอาแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้งหมดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นชุดเดียวกัน รวมถึงทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันแรงดันและกระแส(ฟิวส์) จากนั้นก็จะส่งต่อแรงดันกระแสตรงที่ได้จากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไปยังเครื่องแปลง(อินเวอร์เตอร์) เพื่อทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ เพื่อต่อกับระบบสายส่งของการไฟฟ้า โดยเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงส่งไปยังชุด MPPT Module ที่อยู่ในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า โดยแรงดันไฟฟ้าจะถูกควบคุมอยู่ระหว่าง 400-800 โวลต์ ซึ่งเป็นระดับที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสามารถทำงานได้ โดยจะดึงพลังงานจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จุดทำงานสูงสุดในเวลานั้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงอาทิตย์ หลังจากนั้นเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับเครื่องอัดอากาศสำหรับผลิตอากาศอัดเพื่อบำบัดน้ำเสีย ทุนลอยสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำและแรงลมได้ตามชนิดของทุ่นที่นำมาใช้ ประโยชน์ของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า บนน้ำยังสามารถช่วยลดการระเหยของน้ำได้ ซึ่งเหมาะกับบ่อเก็บน้ำที่ต้องการกักเก็บน้ำให้ได้ตลอดทั้งปี และการระเหยของน้ำยังช่วยลดอุณหภูมิได้แผงโซลาร์เซลล์ ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ดีขึ้นด้วย เป็นการนำพื้นที่เหนือแหล่งน้ำมาใช้ให้เกิดประโยชน์และลดการใช้ที่ดินที่สามารถนำมาพัฒนา ได้อีกทางหนึ่ง

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ(The floating PV system)

การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำถูกมองว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบเดิมคือการติดตั้งบนพื้นดิน ช่วงหลายปีที่ผ่านมาการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดินมีประสิทธิภาพและเทคโนโลยีที่พัฒนามากขึ้นทุกวันแต่ในปัจจุบันระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำกำลังเป็นที่นิยมสำหรับติดตั้งโดยเฉพาะในต่างประเทศ โดยพบว่า การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็นสามประเภท

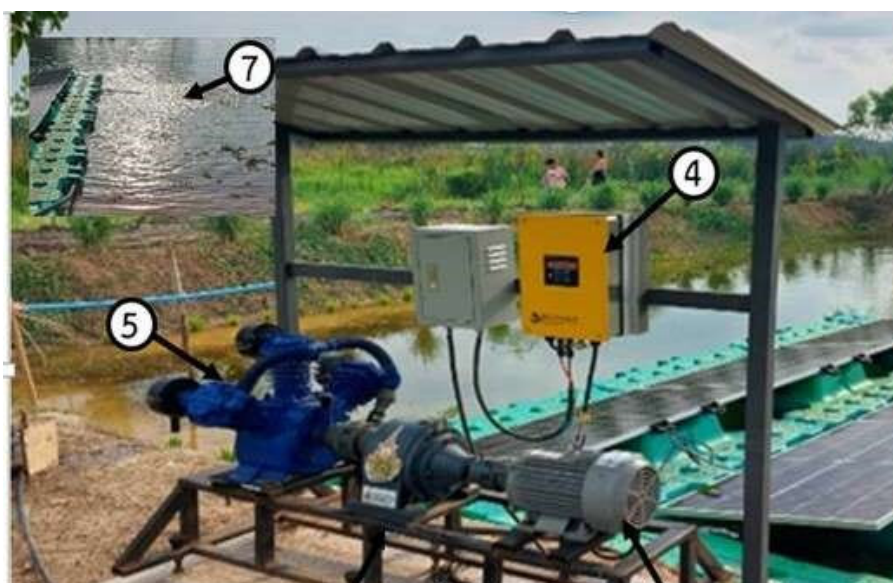
1. การติดตั้งแบบทุ่นลอยน้ำ
2. การติดตั้งบนแพพลาสติกกับโครงสร้างเหล็กชุบสังกะสี
3. การติดตั้งบนแพพลาสติก

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นทางเลือกที่สำคัญในการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากการผลิตไฟฟ้าไม่ก่อให้เกิด มลพิษจึงเป็นพลังงานทางเลือกที่มีการส่งเสริมให้มี การผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยโดยโครงการโรงไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียนใหม่ในช่วงปี2561 – 2580 ได้ตั้ง เป้าหมายการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทุ่นลอยน้ำ ร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ จำนวน 2,725 เมกะวัตต์ [1] เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบลอยน้ำ เป็นเทคโนโลยีใหม่ ซึ่งมีการใช้ทุ่นลอยน้ำ ที่ทำ จากพลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (high density thermoplastic polyethylene : HDPE) เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ลอยบน ผิวน้ำ ที่มีอุณหภูมิแวดล้อมต่ำกว่าบนบกจึงส่งผลให้ ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น [2] การศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสง อาทิตย์ลอยน้ำ แบบเซลล์แสงอาทิตย์อยู่กับที่และ แบบเซลล์แสงอาทิตย์ติดตามดวงอาทิตย์ใน

ประเทศ อินเดียพบว่านอกจากประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่ดี ขึ้นยังทำให้ลดการระเหยของน้ำ ในอ่างเก็บน้ำ ได้ทั้งยังช่วยลดการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อีกด้วย [3] การจำลองแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำในพื้นที่อ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรีใช้โปรแกรม PVsyst - Simulation จากนั้นนำผลจากการจำลองมาเปรียบเทียบวิเคราะห์ทางวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าระบบและวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุน [4]

คุณลักษณะเฉพาะระบบเติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3 กิโลวัตต์

1. แผงโซลาร์เซลล์ ชนิด PV mono crystalline ขนาด 350 วัตต์ ต่อแผง
2. ทุ่นโซลาร์เซลล์ลอยน้ำ พื้นที่โดยประมาณ 20 ตารางเมตร พร้อมทุ่นประคองทำด้วยพลาสติกคุณภาพสูงผสมไฟเบอร์กลาส
3. มอเตอร์ส่งกำลังชนิดกระแสสลับ ขนาด 3 แรงม้า
4. ระบบควบคุมและแปลงกระแสไฟฟ้าควบคุม (Inverter) ขนาด 2.5 กิโลวัตต์ แบบ hybrid พร้อมระบบควบคุมความถี่อัตโนมัติ แปรผันตามสภาพแสงแดด
5. หัวอัดอากาศ ขนาดไม่น้อยกว่า 2 แรงม้า ชนิด Piston air compressor ความดันไม่น้อยกว่า 4 บาร์ มีอัตราการไหลอากาศที่รอบการทำงานสูงสุด ไม่น้อยกว่า 800 ลิตรต่ออนาที.
6. โครงสร้างระบบพร้อมชุดเกียร์ มีความเร็วรอบ 1: 5 ในระบบส่งกำลัง.
7. หัวท่อเติมอากาศลงน้ำและระบบท่อทางเดิน ระยะทางรวม ไม่เกินกว่า 50 เมตร



ภาพที่ 1 ภาพระบบการทำงานและวัสดุอุปกรณ์ของระบบเติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3 กิโลวัตต์

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ได้นำเอาโซล่าเซลล์ลอยน้ำขนาด 3 กิโลวัตต์ โดยติดตั้งจริงในพื้นที่ทดสอบบริเวณคลองสี่ จังหวัดปทุมธานี เปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากโปรแกรม PVsyst - Simulation ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่คำนวณได้จากโปรแกรม PVsyst - Simulation พบว่าผลิตไฟฟ้าได้ปีละประมาณ 4000 หน่วยไฟฟ้าต่อปี หรือประมาณ 11 หน่วยไฟฟ้าต่อวัน เพื่อนำมาเป็นแหล่งพลังงานให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าและผ่านชุดเกียร์ที่มีอัตราทด 1:5 ขับคอมเพรสเซอร์อัดอากาศเพื่อผลิตอากาศได้ปริมาณ 500 ลิตรต่ออนาที เพื่อใช้บำบัดน้ำเสีย

ตารางที่ 1 แสดงค่าพลังงานที่ผลิตได้จากโปรแกรม PVsyst - Simulation

| | GlobHor กิโลวัตต์/ม ³ | DiffHor กิโลวัตต์/ม ³ | T_Amb °C | GlobInc กิโลวัตต์/ม ³ | GlobEff กิโลวัตต์/ม ³ | EArray กิโลวัตต์/ม ³ | E_Grid กิโลวัตต์/ม ³ | PR ratio |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------|
| January | 134.9 | 66.54 | 27.13 | 153.0 | 145.2 | 372.0 | 362.6 | 0.790 |
| February | 133.5 | 75.49 | 28.59 | 144.2 | 136.9 | 348.5 | 339.9 | 0.785 |
| March | 158.8 | 87.68 | 29.95 | 163.6 | 155.2 | 391.2 | 381.5 | 0.777 |
| April | 166.9 | 91.74 | 30.40 | 163.7 | 155.2 | 391.6 | 381.9 | 0.778 |
| May | 157.7 | 85.71 | 30.30 | 149.1 | 140.7 | 356.7 | 347.0 | 0.776 |
| June | 143.0 | 85.64 | 29.37 | 133.0 | 125.1 | 320.9 | 312.0 | 0.782 |
| July | 141.2 | 82.64 | 29.46 | 132.2 | 124.4 | 319.2 | 310.1 | 0.782 |
| August | 136.1 | 84.54 | 29.29 | 132.2 | 124.8 | 319.6 | 310.7 | 0.783 |
| September | 125.1 | 75.61 | 28.36 | 126.0 | 119.1 | 305.5 | 296.9 | 0.785 |
| October | 127.0 | 77.04 | 28.68 | 133.7 | 126.9 | 324.1 | 315.1 | 0.786 |
| November | 124.01 | 68.24 | 28.01 | 136.9 | 130.1 | 333.0 | 324.4 | 0.790 |
| December | 132.0 | 64.30 | 27.32 | 150.4 | 143.0 | 365.4 | 356.3 | 0.790 |
| Year | 1680.3 | 945.19 | 28.91 | 1718.1 | 1626.7 | 4147.7 | 4038.5 | 0.784 |



ภาพที่ 2 ภาพระบบการทำงานและวัสดุอุปกรณ์ของระบบเติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3 กิโลวัตต์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดสอบเก็บข้อมูลของระบบแสงอาทิตย์ที่ป้อนเข้าในระบบการผลิตพลังงานสูงสุดในสภาวะทางไฟฟ้าที่ปกติทำให้ได้ค่าเฉลี่ยในการผลิตไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ลอยน้ำ 4 เดือนได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณวันละ 12 หน่วยไฟฟ้าต่อวัน คิดเป็นการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีละประมาณ 4,300 หน่วยไฟฟ้าต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบในส่วนของพลังงานจากโซลาร์เซลล์ลอยน้ำได้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าค่าที่ได้จากจากคำนวณด้วยโปรแกรมเนื่องจากว่าโปรแกรมที่ใช้ ออกแบบเป็นการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา แต่ระบบติดตั้งจริงเป็นโซลาร์เซลล์ลอยน้ำซึ่งมีการระบายความร้อนที่ดีกว่าการติดตั้งบนหลังคาทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้นและได้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นด้วย

สรุปผลการวิจัย

โซลาร์เซลล์ลอยน้ำสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายให้กับระบบอัตโนมัติทำงานได้ถึงแม้ในเวลาที่ความเข้มของแสงน้อย เนื่องจากอินเวอร์เตอร์มีระบบควบคุมความถี่อัตโนมัติ แปรผันตามสภาพแสงแต่ได้มีการปรับความถี่และแรงดันเพื่อจ่ายให้กับระบบและระบบสามารถทำการอัตโนมัติได้อย่างต่อเนื่อง จากผลการเก็บข้อมูลจะเห็นว่าได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 12 หน่วยไฟฟ้าต่อวันซึ่งเพียงพอต่อการจ่ายกำลังงานให้กับคอมพิวเตอร์อัตโนมัติทำการอัตโนมัติได้ทีปริมาณอากาศ 500 ลิตรต่อนาที

สำหรับผลจากศึกษาจากจะลดการใช้กำลังไฟฟ้าและช่วยในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องอัตโนมัติยังส่งผลที่ดีต่อสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย โดยจะสามารถช่วยลดอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าต่างๆ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตลงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ Emission} &= 4,300 \text{ หน่วยไฟฟ้าต่อปี} \times 0.54 \text{ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยไฟฟ้า} \\ &= 2,322 \text{ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี} \end{aligned}$$

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท เอฟที เอนเนอจี้ จำกัด ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงานคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และคณะทำงานทุกๆท่านที่ให้การสนับสนุนให้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโครงการนี้ ทีมผู้วิจัย ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ (2559). **แผนงานพัฒนาเศรษฐกิจ ภาคตะวันออก (พ.ศ. 2560-2564)**
- [2] Yadav N., Gupta M. and Sudhakar K. (2016). Energy Assessment of Floating Photovoltaic System. **International Conference on Electrical Power and Energy Systems (ICEPES), Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal, India, 264-269.**
- [3] Mittal D., Saxena B.K. and Rao K.V.S. (2017). Floating Solar Photovoltaic Systems: An Overview and their Feasibility at Kota in Rajasthan. **International Conference on Circuits Power and Computing Technologies (ICCPCT), Baseliros Mathew II College of Engineering, Sasthancotta, Kollam district, India.**
- [4] ชัยฤกษ์ จักรพัฒนจิต (2563). การจำลองแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำในพื้นที่อ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี”, วิทยานิพนธ์ วศ.บ. (ไฟฟ้า), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตศรีราชา.

การออกแบบและทดสอบกังหันลมอัดอากาศขนาด 5 kw Design and Evaluation of a 5 kW Air Compressor Wind Turbine

วรเชษฐ์ แสงสีดา¹ วิรัชย์ โรยณรินทร์^{2*} ไววิทย์ อุทัยเฉลิม¹ สิริศักดิ์ ปางวุฒินิชย์¹
Worachate Sangsida¹ Wirachai Roynarin^{2*} Waiwit Udayachalerm¹ and Sirisak Pangvuthivanich¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมพลังงานและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

² ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

¹Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Thanyaburi, Pathum Thani 12110

²Research and Service Energy Center RMUTT, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110

*Corresponding author: Tel.: 02-5493497. E-mail address: wirachai_r@rmutt.ac.th

Received: 16 September 2022, Revised: 24 October 2023, Accepted: 17 November 2023, Published online: 30 December 2023

Abstract

This article presents the design and testing of a 5 kW compressed air turbine prototype intended for managing compressed air through wind energy to replace the use of electrical energy from the compressed air system. The design specifications reveal a propeller diameter of 6.5 meters, featuring 4 propellers, with a height of 18 meters from the ground to the center of the propeller.

From the installation of the compressed air wind turbine, it was observed that the turbine produced an average pressure of 5.80 bars, generating an average flow rate of approximately 696.10 liters per minute. This translates to an estimated annual electricity cost savings of around 350,000 Baht. Utilizing wind energy harnessed by the specially designed compressed air turbine, this system is engineered to generate torque efficiently at low wind speeds within the country, serving as a power source for the compressed air system instead of relying on electrical energy from pump motors.

Keywords: Air Compressor Wind Turbine, Low wind speed Wind Turbines, Design of Wind Turbine

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและการทดสอบกังหันลมอัดอากาศขนาด 5 kw เพื่อเป็นต้นแบบในการจัดการระบบอัดอากาศโดยใช้พลังงานลมเป็นแหล่งต้นกำลัง เพื่อทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบอัดอากาศ ผลการออกแบบพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด 6.5 เมตร จำนวนใบพัด 4 ใบ ความสูงจากพื้นถึงจุดศูนย์กลางใบพัด 18 เมตร

จากการทดลองติดตั้งกังหันลมอัดอากาศ ทำให้ทราบว่ากังหันลมสามารถสร้างแรงดันเฉลี่ยที่ 5.80 บาร์ สามารถผลิตอากาศอัดเฉลี่ยได้ประมาณ อัตราการไหล 696.10 ลิตร/นาที่คิดเป็นการประหยัดไฟฟ้าได้ ประมาณ 350,000 บาท/ปี การนำจากพลังงานลมที่ได้จากกังหันอัดอากาศซึ่งออกแบบมาเป็นพิเศษให้สามารถสร้างแรงบิดได้อย่างเหมาะสมกับความเร็วมต่ำในประเทศมาใช้เป็นต้นกำลังในระบบอัดอากาศแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์ปั๊ม

คำสำคัญ: กังหันอัดอากาศ กังหันความเร็วมต่ำ การออกแบบกังหันลม

EI

นวัตกรรมการพัฒนาพลังงาน
(Energy Innovation)

บทนำ

พลังงานลม เป็นพลังงานธรรมชาติที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ใช้แล้วไม่มีวันหมดไปจากโลก ซึ่งได้รับความสนใจและนำมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์อย่างกว้างขวาง ในขณะเดียวกันกังหันลมก็เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะในการผลิตกระแสไฟฟ้า และการสูบน้ำ ซึ่งได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย [1, 2]

ปัจจุบันได้มีการออกแบบเพื่อนำกังหันลมที่ออกแบบมาพิเศษแทนการผลิตไฟฟ้า โดยการนำกังหันลมมาใช้ในใช้เป็นต้นกำลังในการการอัดอากาศเพื่อนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือใช้ในการบำบัดน้ำเสียภายในโรงงานอุตสาหกรรม หรือเติมอากาศลงในบ่อน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ และเพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตในภาคอุตสาหกรรม โดยโรงงานอุตสาหกรรมจะมีระบบอัดอากาศและถังเก็บเดิมอยู่แล้วนำมาใช้ร่วมกันกับระบบอัดอากาศที่ได้จากกังหันลมร่วมกันได้ ดังนั้นกังหันลมอัดอากาศจะถูกนำมาใช้ในการผลิตอากาศอัดควบคู่กับระบบอัดอากาศเดิม โดยการต่อระบบอัดอากาศที่ได้จากกังหันลมอัดอากาศจะต่อขนานกับระบบอัดอากาศเดิม กังหันลมอัดอากาศจะมีการผลิตอากาศอัดค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังนั้นการใช้กังหันลมอัดอากาศจึงเป็นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อขับมอเตอร์บีบในการอัดอากาศเข้าสู่ระบบและถังเก็บ เพื่อเป็นการหาแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการอัดอากาศที่ใช้ภายในโรงงาน และช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิตลมอัดของโรงงานอุตสาหกรรมได้ [3]

การออกแบบกังหันลมอัดอากาศใช้หลักการนำพลังงานลมส่งผ่านกำลังไปยังเพลลาและส่งผ่านกำลังไปบิดเพลลาข้อเหวี่ยงของบีบลม ทำให้ลูกสูบลีมีการเคลื่อนที่และทำการอัดอากาศ ส่งผ่านอากาศอัดเข้าภายในท่อซึ่งปลายท่อต่อกับอุปกรณ์ควบคุมระบบอัดอากาศ เช่น Pressure gauge, Check valve, Relief valve และ Ball valve เป็นต้น และสามารถต่อขนานเข้ากับระบบอัดอากาศเดิมภายในโรงงานอุตสาหกรรมหรือต่อเข้าถังลมภายในโรงงานได้ ในกรณีที่ต้องการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียสามารถนำอากาศอัดต่อขนานเข้ากับระบบบำบัดเดิมหรือต่อตรงเข้าบำบัดน้ำเสีย พื้นที่ที่สามารถติดตั้งกังหันอัดอากาศที่เหมาะสมควรมีความเร็วลมเริ่มต้น 2.5 เมตรต่อวินาที ถึง 30.0 เมตรต่อวินาที และจุดต่อเชื่อมระบบอัดอากาศไม่ควรเกิน 100 เมตรเพื่อลดการสูญเสียแรงดันในระบบอัดอากาศ

วิธีการวิจัย

การออกแบบและทดสอบกังหันอัดอากาศ ขนาด 5.0 kW [4-9]

ขั้นตอนการออกแบบกังหันอัดอากาศ ขนาด 5.0 kW. สามารถแบ่งตามขั้นตอนได้ดังนี้

กำหนดเลือกลักษณะของใบกังหันลมเพื่อหา Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio เป็นจุดที่ใบกังหันหมุนทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด Tip Speed Ratio หรือความเร็วปลายใบ สามารถกำหนดได้จากการวิเคราะห์ Computational Fluid Dynamics (CFD) หรือสร้างและทดสอบจริง โดยค่า TSR ที่เหมาะสมเท่ากับ 7

กำหนด Cut in หรือจุดเริ่มต้นการหมุนของใบกังหันลม

โดยการกำหนด Cut-in ของกังหันนั้น จะมีผลอย่างมากต่อการออกแบบระบบส่งกำลังของกังหันอัดอากาศ โดยกังหันขนาดเล็กหรือกังหันความเร็วต่ำ กำหนดให้ Cut in มีความเร็วลม $V = 2.5$ เมตร/วินาที

กำหนดค่าพลังงานกังหันสูงสุดที่ต้องการออกแบบเพื่อหารัสมิใบกังหัน

ค่าที่ต้องการออกแบบเท่ากับ 5 kW ที่ความเร็วลมใดๆ ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของใบกังหันและประสิทธิภาพรวมของระบบทั้งหมด (C_p) เมื่อ $P = \frac{1}{2} \rho AV^3 C_p$ นั่นคือ C_p ต้องรวมการสูญเสียจากใบกังหันลม จากระบบส่งกำลัง ซึ่งสามารถหาได้จาก $C_{p\ total} = C_{pd} + C_{pd}$ หรือประมาณ 0.35

สามารถหาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางกังหันลมได้ดังนี้

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3 C_p \quad (1)$$

$$5000 = \frac{1}{2} \times 1.225 \times A \times V^3 C_p$$

$$5000 = 0.5 \times 1.225 \times (\pi r^2) \times 9^3 \times 0.35$$

ดังนั้น r คือรัศมีใบกังหันมีค่า $r = 3.2$ เมตร โดยให้ $V = 9$ เมตรต่อวินาที
 คำนวณรอบการหมุนของกังหันขณะเริ่มหมุน
 การคำนวณรอบการหมุนของกังหันขณะเริ่มหมุนสามารถคำนวณได้ดังนี้ [1]
 กำหนด $TSR = 7, V = 2.5 \text{ m/s}, r = 3.2 \text{ m}$

$$TRS = \frac{U}{V} = \frac{r\Omega}{V} \quad (2)$$

TRS = อัตราส่วนความเร็วปลายใบ
 Ω = ความเร็วเชิงมุม (rad/s)
 R = รัศมีใบกังหัน (m)
 V = ความเร็วลม (m/s)

$$7 = \frac{3.2 \times 2\pi N / 60}{2.5}$$

$$N = 52.25 \text{ rpm}$$

ดังนั้นที่ความเร็วลม 30 เมตรต่อวินาทีจะได้ความเร็วรอบกังหันเท่ากับ

$$TRS = \frac{U}{V} = \frac{r\Omega}{V}$$

$$7 = \frac{3.2 \times 2\pi N / 60}{30.0}$$

$$N = 627 \text{ rpm}$$

คำนวณปริมาณการจ่ายอากาศของเครื่องอัดอากาศ
 สามารถหาขนาดเครื่องอัดอากาศ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้
 เมื่อ

$$V_{acture} = \left(\frac{\pi d^2}{4} \times L \times N \times n\right) \times \eta \quad (3)$$

$d = 0.095 \text{ m}.$
 $L = 0.085 \text{ m}.$
 $N = 620 \text{ rpm}.$
 $n = 2$ สูบ
 $\eta = 0.911$

แทนค่า จะได้

$$V_{acture} = \left(\frac{\pi(0.095)^2}{4} \times 0.085 \times 620 \times 2\right) \times 0.72$$

$$V_{acture} = 545 \text{ l/min}$$

นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับปริมาณการอัดอากาศของหัวกังหันอัดอากาศ จะได้หัวกังหันอัดอากาศ SWAN รุ่น SVP 205 5.0 HP (3.75 kW) ที่ให้อัตราการไหล 545 ลิตรต่อนาที ที่ความเร็วรอบ 620 สัมพันธ์กับความเร็วรอบของเพลา หัวกังหันอัดอากาศ โดยการออกแบบทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปการออกแบบสามารถออกแบบกังหันอัดอากาศขนาด 5kW

| การออกแบบสามารถออกแบบต้นแบบกังหันอัดอากาศขนาด 5kW | | |
|---|------|-----------|
| รายการ | ขนาด | หน่วย |
| 1.เส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด | 6.5 | เมตร |
| 2.จำนวนใบพัด | 4 | ใบ |
| 3.ความสูงจากพื้นถึงจุดศูนย์กลางใบพัด | 18 | เมตร |
| 4.เสาชนิตเสาเดี่ยวกลวงความสูง | 18 | เมตร |
| 5.ขนาดเครื่องอัดอากาศ | 5 | แรงม้า |
| 6.อัตราการไหลสูงสุด (ที่ความเร็ว 30 เมตร/วินาที) | 545 | ลิตร/นาที |
| 7.แรงดันอากาศ | 7-10 | บาร์ |
| 8.รอบการทำงานสูงสุด | 620 | รอบ/นาที |

การทดสอบกังหันอัดอากาศ ขนาด 5.0 kW

ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของกังหันลมอัดอากาศ

ทดสอบอัตราการไหลของลมอัด และความดัน ที่ถูกสูบของเครื่องอัดอากาศที่ขับเคลื่อนด้วยกังหันลม ตรวจสอบระบบหลังการติดตั้ง

ทดสอบระบบวาล์วความปลอดภัย (Safety valve)

วัดพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้งานร่วมกับกังหันลมอัดอากาศ

วิเคราะห์ข้อมูลการประหยัดพลังงาน

ชุดเครื่องมือวัดผลในการทดสอบการทำงานของกังหันลมอัดอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 1-4

ชุดอุปกรณ์วัดความดัน

ชุดอุปกรณ์วัดอัตราการไหล

ชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

ชุดอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ



ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์วัดความดัน



ภาพที่ 2 ชุดอุปกรณ์วัดอัตราการไหล



ภาพที่ 3 ชุดอุปกรณ์อุณหภูมิ



ภาพที่ 4 ชุดอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ

การทดสอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

หลักการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 5 โดยการปล่อยกระแสไฟฟ้าสู่ระบบควบคุมพลังงานและความเร็วรอบการหมุนมอเตอร์หมายเลข 1 หลังจากนั้นระบบไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่มอเตอร์หมายเลข 2 เพื่อเป็นต้นกำลังเปรียบเสมือนใบกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆที่แกนมอเตอร์ก็จะส่งกำลังไปขับเคลื่อนกับจุดหัวอัดอากาศหมายเลข 3 เพื่อทำการทดสอบการทำงานของหัวอัดอากาศที่จะติดตั้งในแต่ละที่เพื่อมั่นใจในการทนแรงดันและสร้างอัตราการไหลตามที่ออกแบบไว้รวมทั้งปรับวาล์วความปลอดภัยในแต่ละชุดก่อนนำไปติดตั้งใช้งาน



ภาพที่ 5 ระบบการทำงานของเครื่องอัดอากาศที่รอบทำงานต่างๆ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

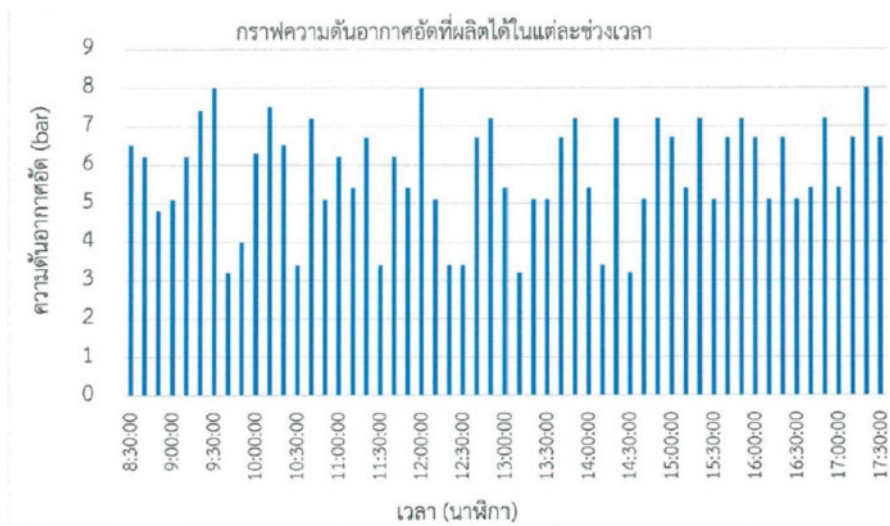
ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศผลทดสอบ พบว่า การทำงานรอบของมอเตอร์ที่สูงขึ้น ตั้งแต่ 100 – 700 rpm สามารถเปรียบเทียบความเร็วลมที่ 2.5 – 9 m/s สามารถสร้างแรงดัน ตั้งแต่ 3 – 5 bar อัตราการไหล 38 – 1654 ลิตร/นาที

ตารางที่ 2 การทำสอบการทำงานของเครื่องอัดอากาศ

| รอบการทำงานของมอเตอร์ (rpm) | ความเร็วลม (m/s) | แรงดัน (Bar) ระบบเปิด | อัตราการไหล (ลิตรต่อนาที) | อุณหภูมิอากาศ C ^o | กำลังไฟฟ้า (watt) |
|-----------------------------|------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------|
| 100 | 2.5 | 3.2 | 38 | 25.2 | 127.3 |
| 200 | 4 | 4.1 | 145 | 25.2 | 521.3 |
| 300 | 5 | 4.8 | 284 | 26.4 | 1016 |
| 400 | 6 | 5.1 | 490 | 27.1 | 1756.3 |
| 500 | 7 | 6.2 | 780 | 29.2 | 2788.9 |
| 600 | 8 | 7.4 | 1162 | 32.5 | 4163.2 |
| 700 | 9 | 8 safety release | 1654 | 38.4 | 5925 |

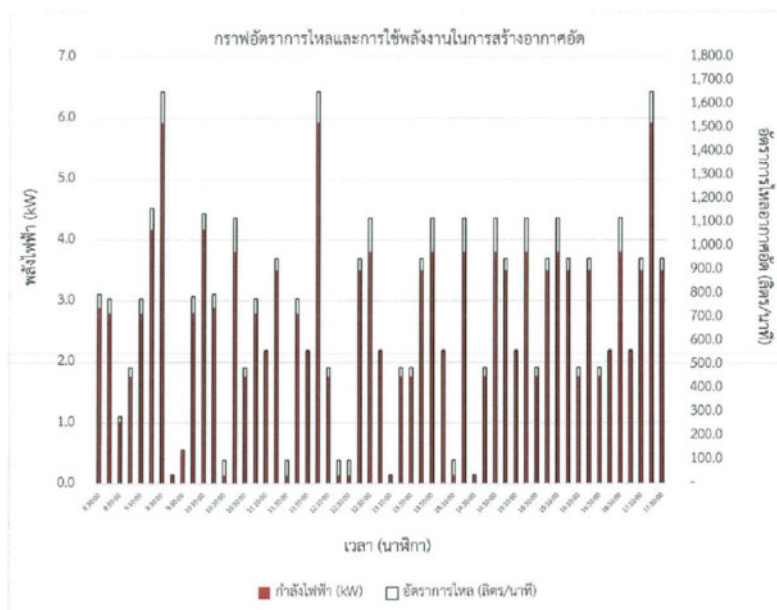
หมายเหตุ : การทำงานของใบกังหันลมที่นำมาเทียบรอบมอเตอร์ได้จากการออกแบบตามอัตราความเร็วปลายใบ (TSR)



ภาพที่ 6 ความดันอากาศอัดที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา

การตรวจวิเคราะห์กังหันลมอัดอากาศ

การตรวจวิเคราะห์กังหันลมอัดอากาศที่ใช้งานจริง โดยทำการวัดปริมาณอากาศและความดัน อากาศอัดที่ผลิตได้ที่พื้นที่ติดตั้งจริง โดยการเปรียบเทียบความดันที่เกิดขึ้นและบันทึกค่าความดันในทุกๆ 10 นาที เพื่อทำการบันทึกค่าความดันเกจน์ ที่ติดตั้งบริเวณโคนเสากังหันลมในแต่ละต้นและนำมาเปรียบเทียบกับค่าความดันและอุณหภูมิของอากาศอัด เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับการใช้กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้เป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ทั้งนี้ความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ที่มีลมเฉลี่ยแตกต่างกันออกไปอย่างไรก็ตามการเก็บค่าเป็นการตัวเฉลี่ยจากความเร็วลมเฉลี่ยที่ได้จากข้อมูลลมเฉลี่ยในพื้นที่นั้นๆ มาวิเคราะห์ร่วมกัน [2]



ภาพที่ 7 อัตราการไหลของอากาศอัดและการใช้พลังงาน

จากภาพที่ 6 แสดงให้เห็นได้ว่ากังหันลมอัดอากาศสามารถสร้างอากาศอัดได้ตลอดเวลา ซึ่งแต่ละช่วงเวลานั้นจะผลิตได้ที่มีความดันแตกต่างกันโดยที่ความดันสูงสุดที่ทำได้คือ 8 บาร์ และต่ำสุดที่ 3.2 บาร์ และมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่เวลา 8.30 น. ถึง 17.30 น. ที่ความดัน 5.80 บาร์ และเมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับอัตราการไหลไฟฟ้าและเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้า

จากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นได้ว่ากังหันลมอัดอากาศนี้สามารถสร้างอากาศอัดที่มีอัตราการผลิตได้ตลอดเวลา ซึ่งแต่ละช่วงเวลานั้นจะผลิตได้ที่อัตราการไหลแตกต่างกัน โดยที่อัตราการไหลสูงสุดที่ทำได้คือ 1,654 ลิตร/นาที่ และต่ำสุดที่ 38 ลิตร/นาที่ และมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่เวลา 8.30 น. ถึง 17.30 น. ที่อัตราการไหล 696.10 ลิตร/นาที่

ผลการคำนวณผลประหยัดพลังงาน

ผลการทดสอบการใช้งานจริงทำให้เห็นว่าในเฉลี่ยแต่ละวันในการทดสอบและบันทึกค่าแรงดันเฉลี่ยทำงานที่ 5.8 บาร์ มีอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่การใช้งานจริงที่เฉลี่ย 0.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที่ หากคิดการทำงานในระบบการผลิตอากาศอัด 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้ไฟฟ้าประมาณ 0.19 หน่วยไฟฟ้าดังนั้น หากการทำงานจริงในการวัดจะได้คิดเป็นค่าไฟฟ้าหน่วยละ 5 บาทตลอดโครงการจะได้การประหยัดไฟฟ้าดังนี้

| | |
|--|------------------|
| อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่การใช้งานจริงที่เฉลี่ย | = 0.7 m/min |
| ใช้ไฟฟ้าประมาณ | = 0.19 kWh/m |
| ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย | = 5.0 บาท/kWh |
| จำนวนการทำงาน | = 365 วัน/ปี |
| คิดเป็นการประหยัดไฟฟ้าได้ปี $0.7 \text{ m/min} \times 0.19 \text{ kWh/m} \times 60 \text{ min/hr} \times 24 \text{ hr/วัน} \times 5 \text{ บาท/kWh} \times 365 \text{ วัน/ปี}$ | = 350,000 บาท/ปี |

ในการทำงานจริงกังหันสามารถทำงานได้ตลอดทั้งกลางวันและกลางคืนซึ่งสามารถนำลมอัดเก็บไว้ในถังที่มีขนาดใหญ่และสามารถนำไปเติมออกซิเจนในบ่อบำบัดน้ำหรืองานอื่นได้ตามต้องการในการบริหารจัดการ ดังนั้นในการทำงานจริงในการบริหารที่ถูกต้องกังหันลมอัดอากาศสามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า ช่วยลดการปล่อย CO₂ และยังช่วยยืดอายุการใช้งานของปั๊มลมไฟฟ้าอีกด้วย

จากการคำนวณผลประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นของกังหันลมอัดอากาศดังกล่าวพบว่าการผลิตอากาศอัดที่ความดัน 5.8 บาร์ ที่อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับอัตราการผลิตอากาศที่ 0.19 kWh/m ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี และกังหันลมอัดอากาศดังกล่าวสามารถประหยัดไฟฟ้าได้ปีละประมาณ 350,000 บาท/ปี ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสถานะของอากาศในแต่ละวัน ซึ่งในการประมาณการนี้พิจารณาการทำงานของกังหันลมอัดอากาศได้ตลอดทั้งวัน

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบพบว่า การทำงานระบบกังหันลมอัดอากาศขนาด 5 กิโลวัตต์ สามารถสร้างความดันสูงสุด ได้ที่ 8 บาร์ (ทั้งนี้ตั้งระบบความปลอดภัยของวาล์วควบคุมไว้ที่ 8 บาร์) และมีอัตราการไหลของอากาศอัดสูงสุดได้ ที่ 1,654 ลิตร/นาที่ และเมื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับเครื่องอัดอากาศที่ใช้กำลังไฟฟ้า โดยการเทียบการผลิต อากาศอัด 1 ลูกบาศก์เมตร จะใช้ไฟฟ้าประมาณ 0.19 หน่วยไฟฟ้า พบว่าการผลิตอากาศอัดที่ความดัน 5.8 บาร์ ที่อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับอัตราการผลิตอากาศที่ 0.19 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร ทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี และกังหันลมอัดอากาศดังกล่าว สามารถประหยัดไฟฟ้าได้ปีละประมาณ 350,000 บาท/ปี ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสถานะของมวลอากาศในแต่ละวัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบพระคุณบุคลากรทุกท่าน ในที่งานกังหันอัดอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงานในครั้งนี้ ให้สำเร็จไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] กองพัฒนาพลังงานทดแทนฝ่ายพัฒนาและแผนโรงไฟฟ้า, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. พลังงานลม สืบค้นเมื่อ 8 สิงหาคม 2565 จาก <https://www.egat.co.th/home/renewables/>
- [2] Wirachai, Roynarin, PhD; (2005), **Wind Energy in Thailand, Potential, Current Status and Future.** RMUTT, Thailand, Retrieved on February 10, 2007. From <http://stweb.ait.ac.th/~wind/seminar/julyseminar.php>
- [3] Wirachai Roynarin, (2011). “Wind Machine for Wastewater Treatment”, **The Second TSME Conference on Mechanical Engineering.** 19-21 October, 2011, Krabi
- [4] Wirachai Roynarin, (2010). “Designing of 100 KW Micro Wind Farm for Low Wind Speed Zone”, **The First TSME International Conference on Mechanical Engineering.** 20-22 October, 2010, Ubon Ratchathani
- [5] วิรัชย์ โยชนรินทร์, สรพงษ์ ภาวสุปรีดิ์, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. (2554). การออกแบบและสร้างต้นแบบการผลิตแรงลมอัดด้วยกังหันลมความเร็วต่ำสำหรับบำบัดน้ำเสีย, แบบเสนอโครงการวิจัย (Research Project) ประกอบการเสนอของบประมาณของสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2554. สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.
- [6] วิรัชย์ โยชนรินทร์, อภิชาติ ไชยจันทร์ และ ภาณุ ประทุมพนรัตน์ (2556). “การออกแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 10 กิโลวัตต์เข้าสู่สายส่ง, Design of 10 kW Wind Machine fir Grid Connected System”, ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9**, วันที่ 8-10 พฤษภาคม 2556 ณ จังหวัดนครนายก.
- [7] วิรัชย์ โยชนรินทร์, สว่าง ชาติทอง และ ศิลปชัย เพิ่มพูล. “กังหันลมชนิดผลิตไฟฟ้าชนิด 2 ชุดโรเตอร์บนเสาเดี่ยวขนาด 2 กิโลวัตต์”, ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7**, วันที่ 3-5 พฤษภาคม 2554 ณ โรงแรม Phuket Orchid Resort and Spa จังหวัดภูเก็ต.
- [8] วิรัชย์ โยชนรินทร์. (2548). การออกแบบกังหันลม. **วารสารวิศวกรรมราชมงคล.** 3 (5).
- [9] สว่าง ชาติทอง, วิรัชย์ โยชนรินทร์. (2553). “การออกแบบระบบทางกลสำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์, Mechanical Design Systems of 20 kW Wind Machine”, ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6**, วันที่ 5-7 พฤษภาคม 2553 ณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ระบบตรวจสอบแบตเตอรี่โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

Battery Monitoring System by Wireless Sensor Network

สัญญา พรหมภาสิต เกียรติศักดิ์ ปิ่นมณี และรุ่งโรจน์ สงวนวัฒนา*
Sunya Promphasit, Kiatisuk Pinmanee and Rungroj Sanguanwattana*

โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000
Electrical Engineering Technology Program, Faculty of Industrial Technology,
Kampheang Phet Rajabhat University, Kampheang Phet 62000

*Corresponding author: Tel.: 095-9923971. E-mail addresses: rungroj@kpru.ac.th

Received: 14 September 2022, Revised: 28 September 2023, Accepted: 17 November 2023, Published online: 30 December 2023

Abstract

This paper introduces a prototype battery monitoring system using a wireless sensor network to monitor the temperature, voltage, and current status of 12-volt or 24-volt DC batteries within solar cell systems. Given the widespread use of solar energy, maintaining the health of the battery storage system is crucial. When charging or discharging, batteries undergo temperature fluctuations that can potentially damage solar cell equipment or even lead to fire incidents. Most often, these issues result from power usage surpassing the specified ratings or overcharging the battery beyond its capacity, resulting in heat accumulation and potential combustion that may damage materials within the solar cell system. Therefore, this research aims to develop a prototype battery monitoring system utilizing a wireless sensor network. The system uses an Arduino microcontroller ESP 8266 to manage operations and connects to ACS712 for current measurement, a voltage measurement module, and a temperature sensing module DHT11. Using programming language, the system monitors the battery status within the solar cell system, including temperature, voltage, and current usage. A fixed sensor node is placed on the solar cell battery to monitor and trigger alerts for overheating or abnormal power consumption that exceeds defined thresholds. Additionally, the system is configured to notify administrators promptly via the LINE application in case of abnormalities. During the actual trial installation, the prototype system effectively alerted about abnormal temperature, voltage, and current usage. It successfully communicated with administrators via the LINE application, providing accurate, efficient monitoring, and quick responses, thereby averting potential damage or fire incidents within the solar cell system.

Keywords: Wireless Sensor Network, Solar Systems, Notify via LINE application, Sensor Node



บทคัดย่อ

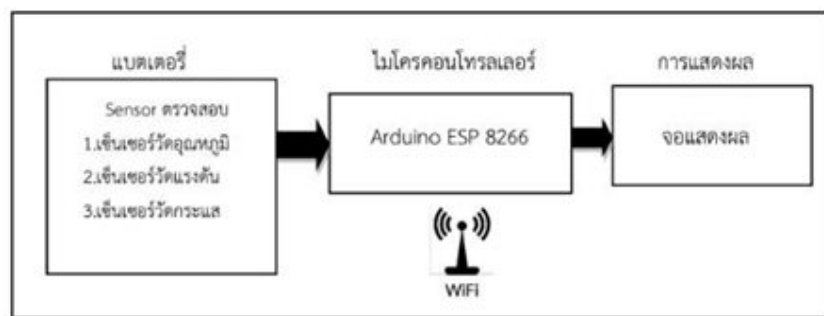
บทความนี้นำเสนอต้นแบบของระบบตรวจสอบแบตเตอรี่โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อใช้ติดตามสถานะอุณหภูมิ แรงดัน และกระแสไฟฟ้า ของแบตเตอรี่กระแสตรง มีขนาดแรงดัน 12 โวลต์หรือ 24 โวลต์ ในระบบโซลาร์เซลล์ เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์กันอย่างแพร่หลาย ระบบเก็บประจุไฟฟ้า คือ แบตเตอรี่ จึงเป็นสิ่งสำคัญ เมื่อมีการใช้งานหรืออัดประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่จะมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงสูงขึ้นซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายของอุปกรณ์ในระบบโซลาร์เซลล์หรือเป็นสาเหตุให้เกิดอัคคีภัยได้ เพราะสาเหตุส่วนใหญ่ที่พบเกิดจากการใช้กระแสไฟฟ้าเกินขนาดพิกัดที่กำหนด การอัดประจุไฟฟ้าเกินขนาดพิกัดที่แบตเตอรี่กำหนดไว้ ทำให้เกิดความร้อนสะสมจนเกิดการลุกไหม้และจุดติดไฟให้หลอมละลายของวัสดุอุปกรณ์ในระบบโซลาร์เซลล์ได้ ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดสร้างชุดต้นแบบระบบตรวจสอบแบตเตอรี่โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน้ ESP 8266 ควบคุมการทำงาน เชื่อมต่อกับโมดูลวัดกระแส ACS712 โมดูล วัดแรงดันไฟฟ้า และโมดูลตรวจวัดอุณหภูมิ DHT 11 โดยออกแบบเขียนโปรแกรมการทำงานภาษาซี มีการกำหนดเงื่อนไขในการตรวจสอบและติดตามสถานะของแบตเตอรี่ในระบบโซลาร์เซลล์ ได้แก่ สถานะอุณหภูมิ สถานะแรงดัน และสถานะการใช้กระแสไฟฟ้า ติดตั้งเซ็นเซอร์โนดประจำไว้กับแบตเตอรี่ของโซลาร์เซลล์ โปรแกรมลำดับการทำงาน ตั้งเงื่อนไขกำหนดอุณหภูมิที่ต้องการให้เซ็นเซอร์โนดตรวจสอบและแจ้งเตือนอุณหภูมิที่มีความร้อนสูง สถานะแรงดันที่ผิดปกติ การใช้กระแสไฟฟ้าที่เกินค่าพิกัดกำหนด สามารถแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ให้กับผู้ดูแลระบบทราบทันที จากผลการทดลองติดตั้งจริง พบว่า ระบบต้นแบบสามารถแจ้งเตือนสถานะของอุณหภูมิแรงดัน การใช้กระแสไฟฟ้าที่มีความเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติได้ และสามารถแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์กับผู้ดูแลระบบ มีความถูกต้อง แม่นยำ มีประสิทธิภาพติดตามสถานะและตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว ป้องกันความเสียหายหรือเหตุอัคคีภัยในระบบโซลาร์เซลล์ได้

คำสำคัญ: เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ระบบโซลาร์เซลล์ แจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ เซ็นเซอร์โนด

บทนำ

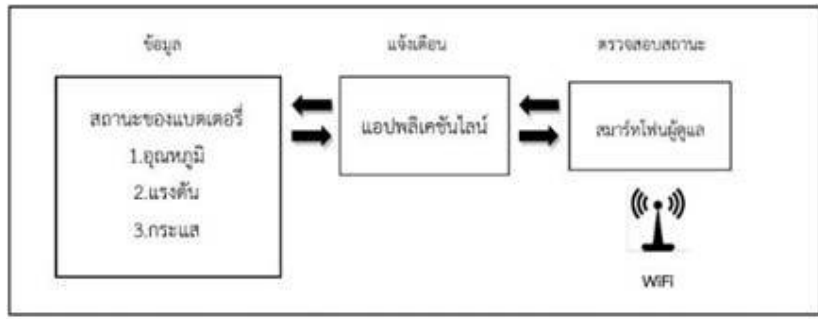
แนวคิดการสร้างต้นแบบระบบตรวจสอบแบตเตอรี่โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

1. เซ็นเซอร์โนด (Sensor node) คือ ส่วนที่ติดตั้งอุปกรณ์รับรู้ข้อมูลของแบตเตอรี่ และส่งข้อมูลสถานะอุณหภูมิ สถานะแรงดัน และสถานะกระแสของแบตเตอรี่ไปยังโนด (Node) มีแนวคิดออกแบบขั้นตอนการทำงานของเซ็นเซอร์โนด (Sensor node) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเซ็นเซอร์โนด (Sensor Node)

2. โหนด (Node) คือ ส่วนรับรู้ข้อมูลที่ส่งมาจากเซ็นเซอร์โหนด (Sensor Node) ติดตามสถานะ ตรวจสอบสถานะ แจ้งเตือนและเก็บข้อมูล ให้กับสมาร์ทโฟนของผู้ดูแลระบบ มีแนวคิดออกแบบขั้นตอนการทำงานของโหนด (Node) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโหนด (Node)

วิธีการวิจัย

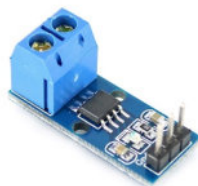
คณะผู้วิจัยดำเนินการสร้างต้นแบบระบบตรวจสอบแบตเตอรี่โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ซึ่งมีขั้นตอนดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. ศึกษาและค้นคว้าไมโครคอนโทรลเลอร์โมดูลไวไฟ (NodeMCU) งานวิจัยนี้ใช้ NodeMCU เป็นบอร์ดควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ ส่งข้อมูลไปยังโทรศัพท์หรือคอมพิวเตอร์สามารถดูข้อมูลผ่านแอปพลิเคชัน (Line Notify)



ภาพที่ 3 แสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU

2. เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกับโมดูลตรวจวัดกระแสไฟฟ้า ACS712 คือ โมดูลวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านให้มีสัญญาณออกมาเป็น Analog ใช้ทำงานร่วมกับบอร์ด Arduino เชื่อมต่อกับพอร์ต Analog โมดูลนี้ใช้ IC เบอร์ ACS712-30 เป็นเซ็นเซอร์วัดกระแสได้สูงสุด 30A เซ็นเซอร์ใช้หลักการวัดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็ก Hall effect สามารถวัดได้ทั้งกระแสตรง DC และกระแสสลับ AC



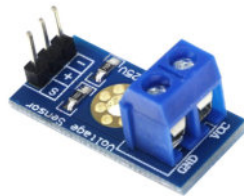
ภาพที่ 4 แสดงโมดูลวัดกระแสไฟฟ้า ACS712

3. เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกับโมดูลตรวจวัดอุณหภูมิ DHT11 Humidity and Temperature Sensor อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น สามารถสื่อสารผ่านโปรโตคอลได้



ภาพที่ 5 แสดงโมดูลวัดอุณหภูมิ

4. เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกับโมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage Sensor) โมดูลนี้ใช้หลักการวัดแรงดันไฟฟ้าทางขา Analog ของ Arduino ที่สามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 0-5 โวลต์ออกมาเป็นค่าดิจิทัล 0-1023 โมดูลนี้ใช้วงจรแบ่งแรงดันทำให้สามารถวัดไฟได้สูงสุดถึง 24.9 โวลต์ โดยใช้ไฟเลี้ยงที่ 5 โวลต์ ถ้าบอร์ด Arduino ใช้ไฟเลี้ยงที่ 3.3 โวลต์จะวัดไฟได้สูงสุดที่ 16.5 โวลต์



ภาพที่ 6 แสดงโมดูลวัดแรงดัน

ตารางที่ 1 ตารางการทดลองเปรียบเทียบผลการทดลองโมดูลวัดอุณหภูมิ

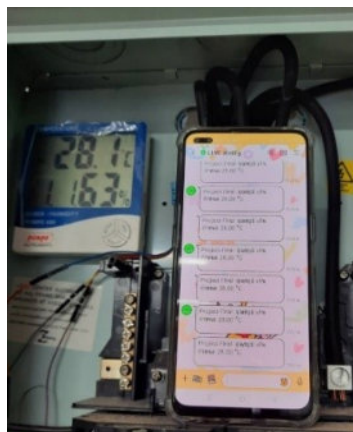
| ครั้งที่ | อุณหภูมิจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน(องศาเซลเซียส) | อุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่องต้นแบบ(องศาเซลเซียส) | ผลการทดลอง |
|----------|---|---|-----------------------|
| 1 | 15 | 14 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 2 | 20 | 18 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 3 | 25 | 23 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 4 | 30 | 29 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 5 | 35 | 33 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 6 | 40 | 38 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 7 | 45 | 44 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 8 | 50 | 49 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 9 | 55 | - | ไม่แจ้งเตือน |
| 10 | 60 | - | ไม่แจ้งเตือน |

ตารางที่ 2 ตารางการทดลองเปรียบเทียบผลการทดลองโมดูลวัตแรงดัน

| ครั้งที่ | แรงดันจากเครื่องมือ วัดมาตรฐาน(V) | แรงดันที่วัดได้จากเครื่องต้นแบบ(V) | ผลการทดลอง |
|----------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| 1 | 10 | 9 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 2 | 12 | 11 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 3 | 14 | 13 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 4 | 16 | 16 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 5 | 18 | 18 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 6 | 20 | 20 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 7 | 22 | 22 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 8 | 24 | 24 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 9 | 26 | - | ไม่แจ้งเตือน |
| 10 | 28 | - | ไม่แจ้งเตือน |

ตารางที่ 3 ตารางการทดลองเปรียบเทียบผลการทดลองโมดูลวัตกระแส

| ครั้งที่ | กระแสจากเครื่องมือ วัดมาตรฐาน(A) | กระแสที่วัดได้จากเครื่องต้นแบบ(A) | ผลการทดลอง |
|----------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 1 | 5 | 5 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 2 | 10 | 10 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 3 | 15 | 15 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 4 | 20 | 20 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 5 | 25 | 25 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 6 | 30 | 30 | แจ้งเตือนสถานะถูกต้อง |
| 7 | 35 | - | ไม่แจ้งเตือน |
| 8 | 40 | - | ไม่แจ้งเตือน |



ภาพที่ 7 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพการแจ้งเตือนข้อมูลผ่านไลน์แอปพลิเคชัน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

เมื่อทำการวัดค่าอุณหภูมิ แรงดัน และกระแสไฟฟ้า ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลและส่งผ่านระบบเครือข่ายเพื่อแจ้งเตือนข้อมูลสถานะของแบตเตอรี่ส่งไปยังแอปพลิเคชันไลน์แล้วทำการบันทึกค่าลงในตารางเพื่อนำมาเปรียบเทียบผลและประสิทธิภาพการทำงานของระบบ และอุปกรณ์สามารถพกพาได้ ง่ายต่อการติดตั้งสะดวกในการนำไปใช้งานจริง งานวิจัยนี้เป็นเพียงชิ้นงานต้นแบบและซึ่งยังต้องมีการพัฒนาและต่อยอดในเรื่องของเซ็นเซอร์รับรู้ เพื่อสามารถต่อยอดไปใช้กับสถานีประจุพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีขนาด 1 กิโลวัตต์ขึ้นไปได้

สรุปผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ สามารถสร้างต้นแบบระบบตรวจสอบแบตเตอรี่โดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย แจ้งเตือนสถานะผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ ดังนี้

1. สามารถตรวจสอบวัดค่าช่วงอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0-50 องศาเซลเซียส
2. สามารถตรวจสอบวัดค่าช่วงแรงดันได้ตั้งแต่ 0-24 โวลต์
3. สามารถตรวจสอบวัดค่าช่วงกระแส 0-30 แอมป์แปร์
4. สามารถส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ได้ เมื่ออุณหภูมิสูงเกินเงื่อนไขที่กำหนดตั้งไว้ในโปรแกรม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบิดา มารดาที่คอยให้กำลังใจจนกระทั่งดำเนินงานวิจัยนี้ได้สำเร็จ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัย อุปกรณ์และสถานที่ใช้ปฏิบัติงานทดลองวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชะลัน เหมามี. (2560). ระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยในห้องชาร์จเฟอร์ผ่านแอปพลิเคชันไลน์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สงขลา : มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- [2] ธนดล มลายเวช. (2559). ระบบแจ้งเตือนความปลอดภัยภายในบ้านผ่านแอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรบัณฑิต. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [3] บุญฤทธิ์ ภูพิพัฒน์ นายมงคลธรรม สุดใจ. (2563). อุปกรณ์แจ้งเตือนความผิดปกติของเครื่องจักรผ่านแอปพลิเคชันไลน์ V.2. โครงการพิเศษ เทคโนโลยีบัณฑิต. จันทบุรี : วิทยาลัยเทคนิคจันทบุรี

การศึกษาคุณภาพถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่โดยเตาเผาถ่านรุ่มงกรขาว

Quality study of bamboo activated carbon by White Dragon Model Charcoal Kiln

ซุลกีฟลี กะดอง¹ ฮากิม ยาตี¹ อีลีหัยะ สนิโซ¹ พิลิชญ์ มณีโชติ^{2*} ปิยณัฐ หงษ์กังวาล² และพัชรินทร์ เขาวรัตน์²
Zulkifli Kradong¹ Hakim YaTi¹ Eleeyah Saniso¹ Pisit Maneechot^{2*} Piyanut Hongkangwam²
and Phatcharin Yaowarat²

¹สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ยะลา 95000

²วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

¹The Physics Program, Faculty of Science Technology and Agriculture,
Yala Rajabhat University, Yala 95000

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

*Corresponding author: Email address: Renewaboy999@gmail.com

Received: 15 September 2022, Revised: 19 October 2022, Accepted: 16 January 2023, Published online: 30 December 2023

Abstract

This research focused on assessing the quality of bamboo-activated carbon produced using the White Dragon charcoal furnace. This furnace stands at 68 centimeters in height and 40 centimeters in width, has an air vent at the top and a fuel-filling hole at the bottom, and designs to be compact and lightweight with a capacity to hold 6-7 kg of bamboo. The internal temperature of the furnace was continuously monitored throughout the process. The charcoal burning process took approximately 2 hours, reaching a maximum temperature of 800-900 degrees Celsius before each refueling. Eucalyptus wood was refueled in varying amounts every 30 minutes: 1 kg for the first time, 1.2 kg for the second, and 1.5 kg for the third. The findings indicated that different refueling amounts resulted in varied yields of activated carbon: 1 kg of fuel produced 0.637 kg of activated carbon, 1.2 kg of fuel yielded 1.118 kg, and 1.5 kg of fuel yielded 1.308 kg of activated carbon. It became evident that the refueling schedule significantly influenced the temperature, volume, weight, and quality of the resulting activated carbon.

Keywords: bamboo, activated carbon, Charcoal kiln

บทคัดย่อ

วิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่โดยใช้เตาเผาถ่านรุ่มงกรขาวที่มีความสูง 68 เซนติเมตร กว้าง 40 เซนติเมตร มีช่องระบายอากาศอยู่ช่วงบนของเตาและมีช่องเติมเชื้อเพลิงอยู่ช่วงล่าง ลักษณะเตาถูกออกแบบให้มีขนาดเล็กและน้ำหนักที่เบา เตาสามารถจุปริมาณไม้ไผ่ได้ 6-7 กิโลกรัม โดยการเผาจะมีการบันทึกอุณหภูมิภายในเตา นอกจากนี้ใช้เวลาในกระบวนการเผาถ่านทั้งหมด 2 ชั่วโมงและใช้อุณหภูมิในการเผาถ่านสูงสุดที่ 800-900 องศาเซลเซียสและจะทำการเติมเชื้อเพลิงทุกๆ 30 นาที โดยใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง โดยกำหนดการเติมเชื้อเพลิงโดยการเผาครั้งที่ 1 เติมเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม ครั้งที่ 2 เติมเชื้อเพลิง 1.2 กิโลกรัมและครั้งที่ 3 เติมเชื้อเพลิง 1.5 กิโลกรัม ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า การเติมเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม จะได้ถ่านกัมมันต์ 0.637 กิโลกรัม เชื้อเพลิง 1.2 กิโลกรัม จะได้ถ่านกัมมันต์ 1.118 กิโลกรัมและเชื้อเพลิง 1.5 กิโลกรัม จะได้ถ่านกัมมันต์ 1.308 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งกำหนดการเติมเชื้อเพลิงมีผลต่ออุณหภูมิ ปริมาณ น้ำหนักและคุณภาพของถ่านกัมมันต์

คำสำคัญ: ไม้ไผ่ ถ่านกัมมันต์ เตาเผาถ่านรุ่มงกรขาว

บทนำ

ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวภายในสูง จึงสามารถใช้งานในการดูดซับมลสารสถานะก๊าซและของเหลวได้ดีในปริมาณสูง ทั้งนี้ สามารถนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ได้ ในหลายกระบวนการ เช่น การดูดซึม การดูดซับ [1]

คุณสมบัติในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ของการดูดซับของของเหลวบนถ่านกัมมันต์ การดูดซับไอโอดีน เป็นการหาพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์โดยหาจำนวนมิลลิกรัมของสารละลายไอโอดีนที่ถูกดูดซับ ปัจจุบันมีการปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำและปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียมากมายซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ รวมทั้งการสะสมในแหล่งน้ำ ดินตะกอน และห่วงโซ่อาหาร เมื่อมนุษย์กินพืชหรือสัตว์ที่มีสารปนเปื้อน สารเหล่านั้นจะเข้าสู่ร่างกาย และสะสมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จนถึงระดับหนึ่งมนุษย์ก็จะป่วยเป็นโรครันเนื่องมาจากพิษของสารเหล่านั้น การใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดหรือกำจัดมลสารที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียโดยอาศัยการดูดซับ แต่เนื่องจากถ่านกัมมันต์ซึ่งใช้เป็นตัวดูดซับ เป็นวัสดุที่มีราคาสูงและต้องนำเข้าจาก ต่างประเทศ แม้ประเทศไทยผลิตถ่านกัมมันต์เองได้ก็ยังไม่เพียงพอกับความต้องการ [2, 3]

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของการศึกษาคุณภาพของถ่านกัมมันต์ที่ได้จากไม้ไผ่ และศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อเป็นทางเลือกให้ผู้ประกอบการสามารถนำถ่านกัมมันต์มาต่อยอดสร้างผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมกับยุคสมัยใหม่

วิธีการวิจัย

1. วิธีการเผาถ่านกัมมันต์

1.1 ตัดไม้ไผ่ยาว 20 เซนติเมตร นำไปวัดความชื้นของไม้ไผ่และเรียงในเตาเผาถ่านรุ่นมังกรขาว



ภาพที่ 1 การเรียงไม้ไผ่

1.2 ตัดเชื้อเพลิงแล้วนำไปวัดความชื้นของเชื้อเพลิงและนำมาชั่งน้ำหนักตามที่กำหนด

1.3 ตั้งค่าเครื่องเครื่องบันทึกข้อมูล แล้วนำไปต่อกับตัววัดอุณหภูมิ

1.4 จุดไฟแล้วเติมเชื้อเพลิงที่เตรียมไว้

1.5 นำไม้ไผ่ที่เรียงไว้ในเตาเผาถ่านรุ่นมังกรขาว แล้วนำตัวเตามาครอบปิดไว้

1.6 นำตัววัดอุณหภูมิไปติดตั้งไว้กับเตามังกรขาวทั้ง 3 ช่อง T1 อุณหภูมิช่วงล่าง T2 อุณหภูมิช่วงกลาง T3

อุณหภูมิช่วงบน



ภาพที่ 2 การติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ

- 1.7 เริ่มทำการเผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยจะทำการเติมเชื้อเพลิงตามที่กำหนดทางช่องเติมเชื้อเพลิงตรงหน้าเตา
 - 1.8 เมื่อเผาครบเป็นเวลา 2 ชั่วโมงหยุดกระบวนการเผาถ่านโดยการกลบถ่านด้วยทราย
 - 1.9 นำตัวอย่างถ่านกัมมันต์ทั้งหมดไปชั่งน้ำหนัก
2. การหาค่าความชื้นของถ่านกัมมันต์
- 2.1 อุณหภูมิเผาให้มีอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
 - 2.2 นำภาชนะไปอบ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 15 นาที นำไปชั่งน้ำหนัก
 - 2.3 นำตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก
 - 2.4 นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปทำให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 20 นาที นำไปชั่งน้ำหนัก [4]

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างก่อนอบ
 W_2 คือ น้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างหลังอบ
 W คือ น้ำหนักตัวอย่าง

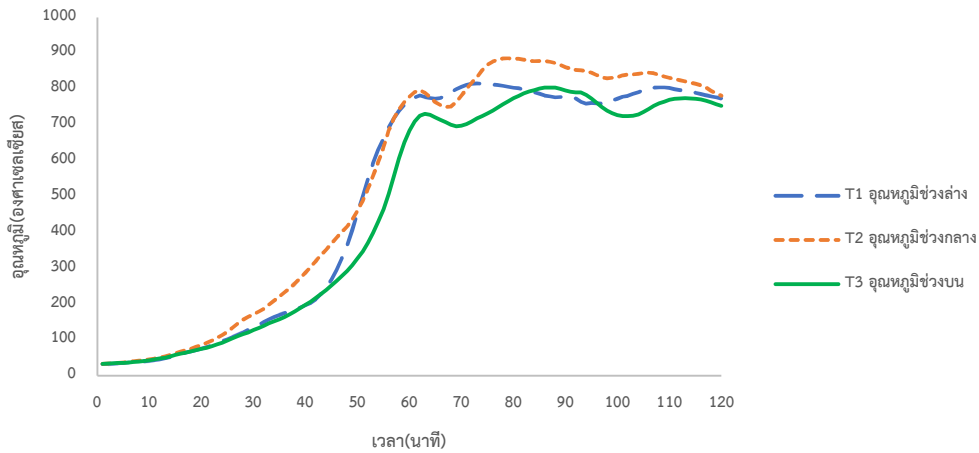
3. การหาค่าซีเถ้าของถ่านกัมมันต์
- 3.1 นำภาชนะไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
 - 3.2 นำตัวอย่างที่ได้จากการไล่ความชื้นมาบดแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก 0.1 (มิลลิกรัม)
 - 3.3 นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง
 - 3.4 นำตัวอย่างมาใส่ในโถดูดความชื้นเพื่อที่จะให้ได้อุณหภูมิห้อง
 - 3.5 นำตัวอย่างพร้อมภาชนะมาชั่งน้ำหนักและบันทึกผล
 - 3.6 นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าซีเถ้าโดยใช้สมการดังนี้ [5]

$$\% \text{ ซีเถ้ารวม} = \left[\frac{(D-B)}{(C-B)} \right] \times 100 \quad (2)$$

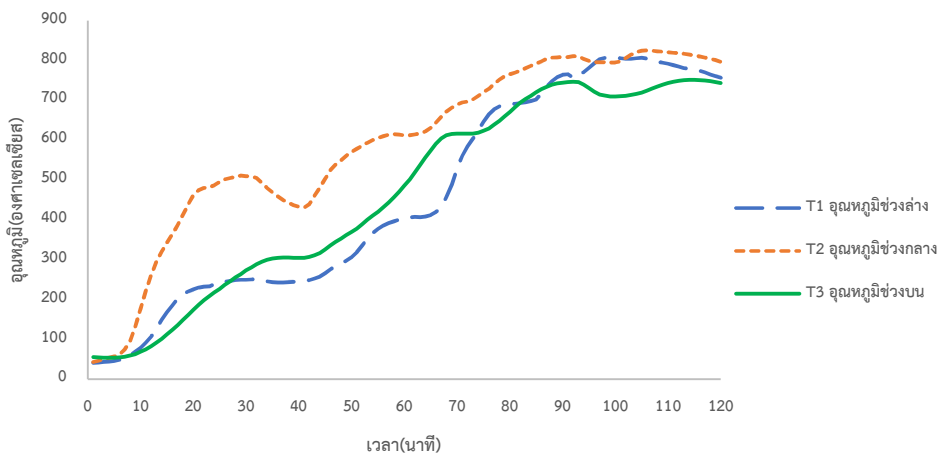
เมื่อ B คือ น้ำหนักภาชนะ
 C คือ น้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างก่อนอบ
 D คือ น้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่างหลังอบ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การเผาถ่านกัมมันต์โดยเติมเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม ใช้เชื้อเพลิงทั้งหมด 4 กิโลกรัม ความชื้นไม้ไฟ 10.16 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเชื้อเพลิง 19.5 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าภายใน 2 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในเตาในช่วง 0-20 นาทีแรก อุณหภูมิทั้ง 3 ช่วงจะไม่ค่อยแตกต่างกันจนถึงที่ 20 นาที อุณหภูมิจะเริ่มเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน และอุณหภูมิช่วงล่างจะเพิ่มขึ้นถึง 800 องศาเซลเซียส ที่ช่วง 70 นาที อุณหภูมิช่วงกลางเพิ่มขึ้นถึง 800 องศาเซลเซียส ที่ช่วง 74 นาที และอุณหภูมิช่วงบนจะเพิ่มขึ้นถึง 800 องศาเซลเซียส ที่ช่วง 85 นาที

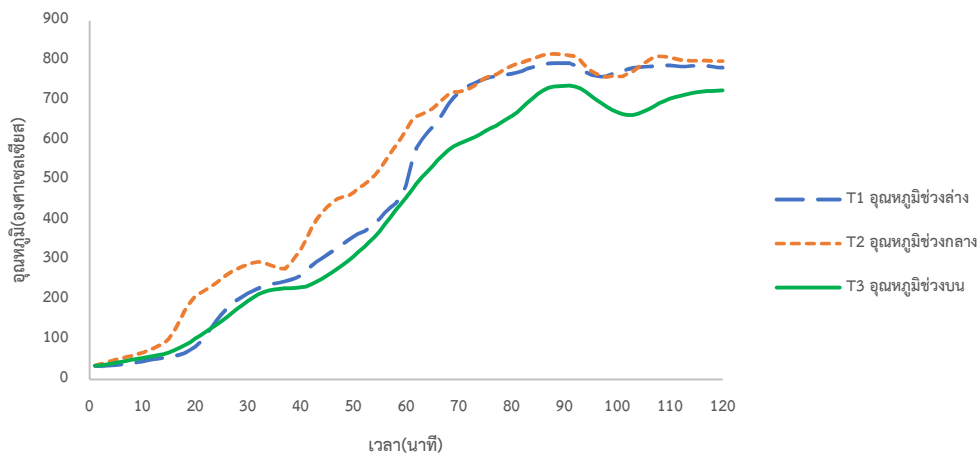


ภาพที่ 3 การเผาถ่านกัมมันต์โดยการเติมเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม



ภาพที่ 4 การเผาถ่านกัมมันต์โดยการเติมเชื้อเพลิง 1.2 กิโลกรัม

การเผาถ่านกัมมันต์โดยเติมเชื้อเพลิง 1.2 กิโลกรัม ใช้เชื้อเพลิงทั้งหมด 4.8 กิโลกรัม ความชื้นไม้ไฟ 13.83 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเชื้อเพลิง 19.5 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าภายใน 2 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในเตาในช่วง 0-6 นาทีแรก อุณหภูมิทั้ง 3 ช่วงจะไม่ค่อยแตกต่างกันจนถึงที่ 6 นาที อุณหภูมิจะเริ่มเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน และอุณหภูมิช่วงล่างจะเพิ่มขึ้นถึง 800 องศาเซลเซียส ที่ช่วง 95 นาที อุณหภูมิช่วงกลางเพิ่มขึ้นถึง 800 องศาเซลเซียส ที่ช่วง 100 นาที และอุณหภูมิช่วงบนจะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อุณหภูมิ 751.8 องศาเซลเซียส ที่ช่วง 115 นาที



ภาพที่ 5 การเผาถ่านกัมมันต์โดยการเติมเชื้อเพลิง 1.5 กิโลกรัม

การเผาถ่านกัมมันต์โดยเติมเชื้อเพลิง 1.5 กิโลกรัม ใช้เชื้อเพลิงทั้งหมด 6 กิโลกรัม ความชื้นไม้ไผ่ 15 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเชื้อเพลิง 19.5 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าภายใน 2 ชั่วโมง อุณหภูมิภายในเตาในช่วง 0-5 นาทีแรก อุณหภูมิทั้ง 3 ช่วงจะไม่ค่อยแตกต่างกันจนถึงที่ 5 นาที อุณหภูมิจะเริ่มเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน และอุณหภูมิช่วงกลางจะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อุณหภูมิที่ 794 องศาเซลเซียส ที่ช่วง 90 นาที อุณหภูมิช่วงกลางเพิ่มขึ้นถึง 800 องศาเซลเซียส ที่ช่วง 85 นาที และอุณหภูมิช่วงบนจะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อุณหภูมิ 737.4 องศาเซลเซียส ที่ช่วง 90 นาที

ตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักเชื้อเพลิง น้ำหนักถ่านกัมมันต์ เปอร์เซ็นต์ความชื้น และเปอร์เซ็นต์ซีเถ้า

| น้ำหนักเชื้อเพลิง (กิโลกรัม) | น้ำหนักถ่านกัมมันต์ (กิโลกรัม) | เปอร์เซ็นต์ความชื้น (เปอร์เซ็นต์) | เปอร์เซ็นต์ซีเถ้า (เปอร์เซ็นต์) |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 0.637 | 3.177 | 6.02 |
| 1.2 | 1.118 | 2.876 | 6.177 |
| 1.5 | 1.308 | 2.306 | 7.105 |

สรุปผลการวิจัย

จากกระบวนการเผาถ่านกัมมันต์โดยเตาเผาถ่านรุ่นมังกรขาว ที่มีความจุไม้ไผ่ 7 กิโลกรัม ใช้เวลาในการเผา 2 ชั่วโมง การเผาโดยการเติมเชื้อเพลิง 1 กิโลกรัม ความชื้นไม้ไผ่ 10.16 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเชื้อเพลิง 19.5 เปอร์เซ็นต์ ได้ถ่านกัมมันต์ 0.637 กิโลกรัม เปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ย 3.177 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เถ้ารวมเฉลี่ย 6.02 เปอร์เซ็นต์ การเผาโดยการเติมเชื้อเพลิง 1.2 กิโลกรัม ความชื้นไม้ไผ่ 13.83 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเชื้อเพลิง 19.5 เปอร์เซ็นต์ ได้ถ่านกัมมันต์ 1.118 กิโลกรัม เปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ย 2.876 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เถ้ารวมเฉลี่ย 6.177 เปอร์เซ็นต์ และการเผาโดยการเติมเชื้อเพลิง 1.5 กิโลกรัม ความชื้นไม้ไผ่ 15 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นเชื้อเพลิง 19.5 เปอร์เซ็นต์ ได้ถ่านกัมมันต์ 1.308 กิโลกรัม เปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ย 2.036 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์เถ้ารวมเฉลี่ย 7.105 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเติมเชื้อเพลิงไม้ทุกๆ 30 นาที ต่อ 1 ครั้ง จากผลการเปรียบเทียบการเผาถ่านกัมมันต์โดยกำหนดการเติมเชื้อเพลิงพบว่า การเติมเชื้อเพลิง 1.5 กิโลกรัม ให้คุณภาพถ่านที่ดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายปิยณัฐ หงษ์กังวาล ผู้สนับสนุนเตาเผาถ่านร่วนมังกรขาว สำหรับใช้ทดลองจนเสร็จสิ้น ขอขอบคุณ นางสาวกิ่งกานต์ พันธุ์วานิชย์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการวิจัย และขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและนวัตกรรมเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนเรศวร (SGtech) สำหรับสถานที่ในการฝึกสหกิจศึกษา สนับสนุนและอำนวยความสะดวกด้านต่างๆเป็นอย่างดีนอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณสุรนาท แซ่หย่าง ที่ช่วยให้คำแนะนำในงานวิจัย รวมถึง ผศ.อาบีดิน ตะแซฆาเมาะ ดร.ดาริกา จาเอาะ และ ดร.ปวีณา ดุยเสรีสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] พนิดา สุมานะตระกูล และพนิดา กิ่งซุ่น. (2559). การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วย ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ดองส้มแขก. มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [2] สุนันทา ช้องสาย. (2563). สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมและความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจาก วัสดุเหลือใช้ในการผลิตไบจากมวนยาสูบ. วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. 39, 46-57.
- [3] ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก (2558). ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ : ตลาดยังมีความต้องการสูง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 23 (6), 945-954.
- [4] ASTM D3173-11, Standard Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke. ASTM international, 1-3.
- [5] ASTM D2866-11, Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon. ASTM international, 1.

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการจัดการสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเสื่อมสภาพด้วยการไพโรไลซิส Environmental Impact of Non-used Fiber Optic Cable Management through Pyrolysis

นพดล พริงสกุล¹ ปรารงค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็ญกรอ^{1*} และรัฐศักดิ์ พรหมมาศ^{2*}
Noppadon Pringsakul¹ Prangthip Ritthichot Kaewpengkom^{1*} and Ratthasak Phrommath^{2*}

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

¹Rattanakosin College of Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University
of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170

²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170

*Corresponding author: Email address: prangtip.kae@rmutr.ac.th, ratthasak.pro@rmutr.ac.th

Received: 14 September 2022, Revised: 25 September 2023, Accepted: 17 November 2023, Published online: 30 December 2023

Abstract

This research aims to study the environmental impacts of discarded fiber optic cables as fuel for the pyrolysis process. The research also investigates the influence of temperature on the yield of liquid fuel and gaseous emissions during the conversion of fiber optic cables. The experimental pyrolysis was conducted at temperatures of 300 °C, 350 °C, 400 °C, and 450 °C. A specific type of fiber optic cable, ADSS 24C, measuring 15 centimeters in length and weighing 5 kilograms, was subjected to a 4-hour pyrolysis process. The results indicated that the temperature of 450 °C generated the highest volume of product gas, while the 350 °C temperature yielded the lowest amounts of CO, NO_x, and NO₂ gases. Additionally, the 300 °C temperature resulted in the least production of CO₂ and SO₂ gases. Among the temperatures studied, the 350°C temperature showed the least environmental impact and produced the highest proportion of liquid fuel, accounting for 43.20%. These findings suggest the viability of designing an industrial-scale system to convert waste fiber optic cables into fuel through pyrolysis. This process holds the potential to reduce pyrolysis reactor costs and mitigate emissions from discarded fiber optic cables in the future.

Keywords: Fiber Optic Cable, Pyrolysis, Pyrolysis Oil, Renewable Energy



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่ใช้งานเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยศึกษาผลของอุณหภูมิต่อปริมาณเชื้อเพลิงที่ได้และแก๊สมลพิษจากการแปรสภาพของสายเคเบิลใยแก้วนำแสง อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการไพโรไลซิสคือ 300°C , 350°C , 400°C และ 450°C ใช้สายเคเบิลใยแก้วนำแสง ชนิด ADSS 24C ความยาว 15 เซนติเมตร น้ำหนัก 5 กิโลกรัม ป้อนเข้ากระบวนการไพโรไลซิส ใช้เวลาทดลอง 4 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 450°C ให้ปริมาณก๊าซผลิตภัณฑ์สูงสุด ในขณะที่อุณหภูมิ 350°C ให้ปริมาณก๊าซ CO NO_x และ NO₂ ต่ำที่สุด และที่อุณหภูมิ 300°C ให้ปริมาณก๊าซ CO₂IR และ SO₂ ต่ำที่สุด จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าอุณหภูมิ 350°C มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และผลิตน้ำมันปริมาณสูงสุดถึงร้อยละ 43.20 ผลการวิจัยพบว่าสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปออกแบบระบบการนำสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่ใช้งานเป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิสในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการสร้างเครื่องผลิตเชื้อเพลิงมลพิษต่ำด้วยกระบวนการไพโรไลซิสจากสายเคเบิลใยแก้วนำแสงต่อไปในอนาคตได้

คำสำคัญ: สายเคเบิลใยแก้วนำแสง ไพโรไลซิส น้ำมันไพโรไลซิส พลังงานทดแทน

บทนำ

ปัจจุบันผู้ประกอบการโทรคมนาคมมีการขยายโครงข่ายโทรคมนาคมเพิ่มมากขึ้น เพื่อรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการเชื่อมต่อโครงข่ายให้ไปถึงผู้ใช้บริการได้รวดเร็วและใช้งานได้ จึงเป็นสิ่งสำคัญในการให้บริการของผู้ประกอบการโทรคมนาคม ทำให้มีสายเคเบิลใยแก้วนำแสง (Optical Fiber Cable) จำนวนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากนโยบายของรัฐบาลที่ให้มีการดำเนินงานโครงการปรับเปลี่ยนระบบสายไฟฟ้าอากาศเป็นสายไฟฟ้าใต้ดินของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวง ทำให้สายเคเบิลใยแก้วนำแสงจำนวนมากที่ต้องรื้อลงจากเสาไฟฟ้า และไม่อาจใช้งานต่อได้ อีกทั้งสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่เสื่อมสภาพจากการใช้งานเป็นเวลานาน ทำให้มีสายเคเบิลใยแก้วนำแสงจำนวนมากที่ต้องกำจัด

การกำจัดสายเคเบิลใยแก้วนำแสง มี 2 วิธี คือ การฝังกลบ ซึ่งต้องพื้นที่ในการฝังกลบมาก และการเผา [1-2] ซึ่งทำให้เกิดมลพิษมากและไม่สามารถเพิ่มมูลค่าจากการกำจัดได้ ส่วนการนำกลับมาใช้ใหม่ยังไม่สามารถทำได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา R.Miandad และคณะได้วิจัยผลกระทบของขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส จากการนำพลาสติก ชนิด โพลีสไตรีน (PS) โพลีเอทิลีน (PE) และโพลีโพรพิลีน (PP) ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของน้ำมันที่ได้ ที่อุณหภูมิ ที่ 450°C ซึ่งผลปรากฏว่ามีความคล้ายน้ำมันดีเซล มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน [3] โดยไม่ได้กล่าวถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม งานวิจัยของ Brajendra และคณะ [4] ศึกษาคุณสมบัติและการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกจากกระบวนการไพโรไลซิสของพลาสติก ชนิด โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ซึ่งผลปรากฏว่าเหมาะสมเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก งานวิจัย Al-Salem (2019) ได้ศึกษากระบวนการไพโรไลซิส โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) จากขยะพลาสติก สำหรับการผลิตน้ำมันเบนซิน สามารถให้น้ำมันเหลวสูงที่อุณหภูมิ 450°C [5]

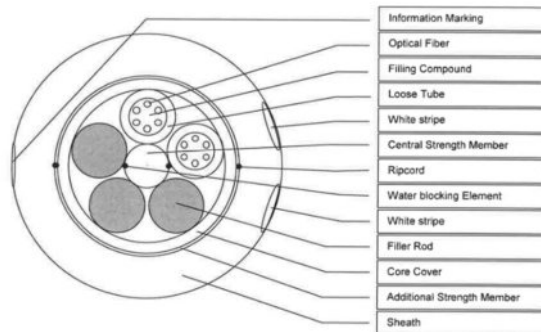
กระบวนการไพโรไลซิส คือ กระบวนการทางเคมีความร้อนที่เปลี่ยนรูปของชีวมวล พลาสติก รวมถึงยางที่ใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงที่มีค่าทางความร้อนสูงขึ้น ได้แก่ ถ่าน (Charcoal) น้ำมัน (Bio-oil) และ ก๊าซไม่กลั่นตัว (Non-condensable gas) โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ ปานกลาง 300-800 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน [6-7] โดยสัดส่วนของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการไพโรไลซิสขึ้นอยู่กับปัจจัย ได้แก่ สภาวะในการทำปฏิกิริยา ลักษณะของวัตถุดิบ ที่ใช้เป็นสารตั้งต้น ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ เป็นต้น น้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิสมีคุณสมบัติที่สำคัญ มีความหนาแน่น 1.2 กิโลกรัมต่อลิตร มีความหนืดสูง มีความเป็นกรดทำให้มีคุณสมบัติกัดกร่อน อุณหภูมิจุดติดสูง มีค่าความร้อน 15-18 เมกะจูลต่อกิโลกรัม มีคุณสมบัติไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมันจากปิโตรเลียม นอกจากนี้หากเติมน้ำลงไปน้ำมันจะแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ละลายน้ำ (Aqueous Phase) และส่วนที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายในสารอินทรีย์ (Organic Phase) น้ำมันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ได้แก่ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อต้มไอน้ำ (Boiler) หรือกังหันก๊าซ (Gas Turbine) สำหรับเผาไหม้เพื่อผลิตความร้อนและไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็น เชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำมันที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสโดยตรง โดยไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ จะทำให้เกิดปัญหาหลายประการ เช่น ปัญหาคาร์บอนเนื่องจากคุณสมบัติด้านความเป็น กรด การจุดติดยากเนื่องจากปริมาณน้ำที่มีมากเกินไป

นอกจากนี้ยังมีถ่าน จากกระบวนการไพโรไลซิสมักถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาไหม้สำหรับผลิตความร้อน ถ่านที่ผลิตได้จากกระบวนการไพโรไลซิส จะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องปฏิกรณ์ภายในกระบวนการ โดยค่าความร้อนของถ่านมีค่า 15-30 เมกะจูลต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ถ่านยังมีคุณสมบัติที่ดีเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ดังนั้นจึงมีความพยายามในการพัฒนาถ่านจากกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อใช้เป็นสารปรับปรุงดินสำหรับเกษตรกร ในขณะที่ก๊าซส่วนใหญ่จากกระบวนการไพโรไลซิส ประกอบด้วย CH₄ CO₂ CO และ H₂ โดยทั่วไปจะนำกลับมาเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนภายในกระบวนการ หรือส่งไปยังกระบวนการอื่นเพื่อผลิตความร้อนและไฟฟ้า

จากงานวิจัยต่างๆที่กล่าวถึง การนำโพลีเอทิลีน (PE) และโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) มาผ่านกระบวนการไพโรไลซิส สามารถได้เชื้อเพลิงทางเลือกได้ [8-9] โดยไม่ได้กล่าวถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และที่ผ่านมายังไม่มีงานวิจัยที่นำสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่ใช้งานมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่ใช้งาน ที่นำไปทำเป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิส เพื่อให้สามารถนำผลกระทบต่อต่างๆที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม ไปออกแบบระบบการนำสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่ใช้งาน ไปทำเป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิสต่อไป

วิธีการวิจัย

การศึกษานี้ใช้สายเคเบิลใยแก้วนำแสงในการทดสอบ เป็นประเภทแขวนในอากาศ (Aerial Cable) ชนิด ADSS OFC (All Dielectric Self-Supporting Single Mode Optical Fiber Cable) จัดอยู่ในกลุ่มสายเคเบิลเส้นหลัก การออกแบบโครงสร้างสาย ADSS OFC ด้านความแข็งแรงจะประกอบด้วย ส่วนชั้นใน (Inner Jacket) ช่วยรับความทนทานต่อแรงดึง ส่วนชั้นนอก เป็นวัสดุ PE ช่วยเพิ่มความแข็งแรงขึ้น ส่วนชั้นนอกสุดเป็นวัสดุ HDPE ซึ่งคุณสมบัติคือ มีความเหนียว ยืดหยุ่น ความต้านทานแรงต่างๆ ได้ดี ทนทานต่อแตกหรือการหักงอได้ดี ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้สูงมาก ดังภาพที่ 1 และส่วนประกอบของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS OFC 24C แสดงดังตารางที่ 1

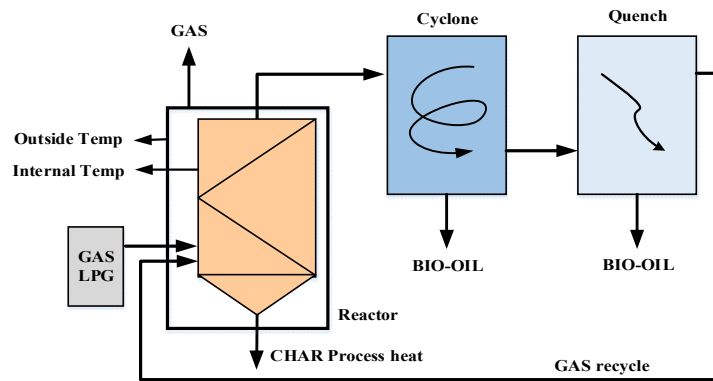


ภาพที่ 1 โครงสร้างสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS OFC [10]

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS OFC 24C [10]

| ส่วนประกอบของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS OFC 24C | น้ำหนัก (%) |
|---|-------------|
| Germania glass (GeO ₂) and Silica (SiO ₂) | 2.83 |
| High Density Polyethylene (HDPE) | 81.53 |
| Polybutylene Terephthalate (PBT) | 6.82 |
| Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) | 8.82 |

กระบวนการไพโรไลซิส ประกอบด้วย เชื้อเพลิง เต่าเผา ระบบตรวจวัดอุณหภูมิ ชุดไซโคลน และชุดหล่อเย็นด้วย น้ำด่างภาพที่ 2 โดยมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อระบบทำการจุดไฟป้อนให้กับเต่าเผาที่มีสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS บรรจุอยู่ในเต่า อุณหภูมิของเต่าจะเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิควบคุม ความร้อนภายในเต่าจะทำการเปลี่ยนสถานะจาก ของแข็งกลายเป็นไอ ผ่านชุดไซโคลนจะทำให้ไอเกิดปฏิกิริยาควบแน่นกลายเป็นน้ำมันตกลงด้านล่าง ส่วนไอที่เหลือจะผ่าน ชุดหล่อเย็นด้วยน้ำจะทำให้ไอเกิดปฏิกิริยากลายเป็นน้ำมันตกลงที่รองรับด้านล่างอีกเช่นกัน

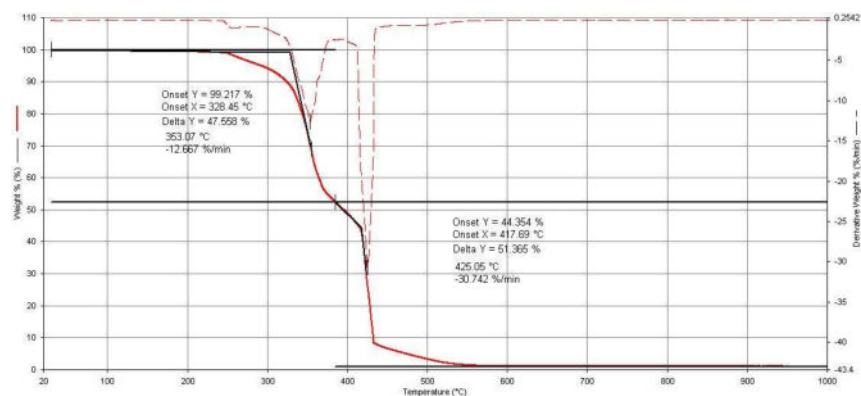


ภาพที่ 2 แผนผังกระบวนการไพโรไลซิส

ไอแก๊สที่เหลือจากชุดหล่อเย็นด้วยน้ำจะถูกป้อนกลับเต่าเผา เพื่อให้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับแก๊ส LPG ต่อไป งานวิจัย นี้ทดสอบโดยนำสายเคเบิลใยแก้วนำแสง ชนิด ADSS 24C ตัดให้ได้ความยาว 15 ซม. น้ำหนัก 5 กิโลกรัม ใส่ในเต่าปฏิกรณ์ จุดไฟให้แก๊สเต่าเผา โดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ $300\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 240 นาที แก๊สที่ไหลออกมาจากปล่องควัน ด้วยเครื่องวิเคราะห์ รุ่น Testo 350 และบันทึกทุกๆ 15 นาที บันทึกอุณหภูมิภายในเต่าจากเครื่องวัดอุณหภูมิทุกๆ 30 นาที จนครบเวลาที่กำหนด และดำเนินการเช่นเดียวกันที่อุณหภูมิต่างๆ โดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ หลังจากทดสอบแต่ละอุณหภูมิเสร็จ ปลอ่ยให้อุณหภูมิของเต่าเผาปกติ แล้วนำน้ำมัน และถ่านที่ได้จาก กระบวนการไพโรไลซิสมาชั่งน้ำหนักเพื่อศึกษาองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการทดสอบ TGA อุณหภูมิเริ่มสลายตัวที่ $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ และอุณหภูมิการสลายตัวเพิ่มแบบเอกซ์โพเนนเชียล ที่ $353\text{ }^{\circ}\text{C}$ เท่ากับ -12.667% / นาที และที่ $425\text{ }^{\circ}\text{C}$ ค่าจะลดลงเป็น -30.742% / นาที แสดงดังภาพที่ 3

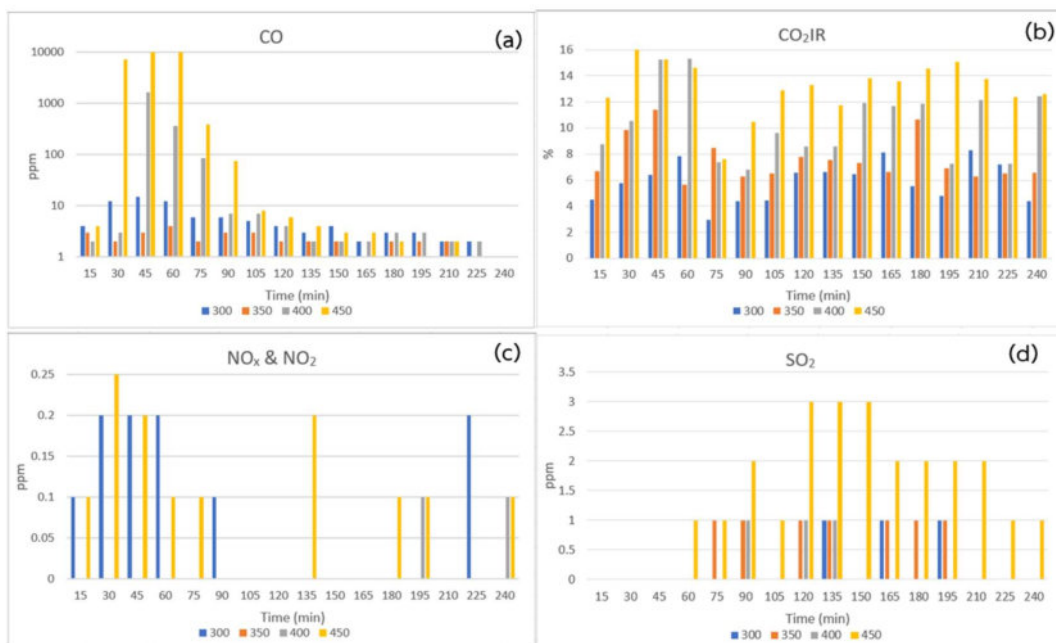


ภาพที่ 3 กราฟ TGA ของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงชนิด ADSS OFC 24C

จากการทดลองไพโรไลซิสมีการวัดอุณหภูมิด้วยระบบตรวจวัดอุณหภูมิอัตโนมัติที่ติดตั้งภายในตัวเตาเผา เพื่อควบคุมให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการตั้งแต่ 300 °C , 350 °C , 400 °C และ 450 °C ปริมาณน้ำมันและถ่านที่ได้ ดังตารางที่ 2 และสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ควบคุมกับปริมาณก๊าซต่างๆได้ดังภาพที่ 4

ตารางที่ 2 แสดงผลที่ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิต่างๆ

| อุณหภูมิ (°C) | น้ำหนักน้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิส (g) | น้ำหนักถ่านชาร์โคล (g) |
|---------------|--|------------------------|
| 300 | 2114.82 | 595.12 |
| 350 | 2163.27 | 550.17 |
| 400 | 1732.03 | 815.47 |
| 450 | 1087.73 | 739.74 |



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณก๊าซ (a) CO (b) CO₂ (c) NO_x & NO₂ (d) SO₂

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบไพโรไลซิส ปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 971.36 – 2,163.27 กรัม และปริมาณถ่านชาร์โคลอยู่ในช่วง 550.17 – 815.47 กรัม ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของปฏิกิริยา อุณหภูมิที่ให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุดและปริมาณถ่านชาร์โคลคงเหลือน้อยที่สุด อยู่ที่อุณหภูมิ 350 °C จากภาพที่ 4 จะเห็นว่า ก๊าซ CO มีปริมาณสูงในช่วง 90 นาทีแรก และค่อยๆลดลงจนมีปริมาณต่ำกว่า 10 ppm เมื่อพิจารณาถึงก๊าซ CO₂ พบว่ามีความเข้มข้นต่ำกว่า 20 ppm โดยมีปริมาณสูงที่อุณหภูมิ 450 °C เนื่องจากการไพโรไลซิสเป็นการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์จึงเกิดก๊าซ CO สูง และการทดสอบไพโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้วัสดุพอลิเมอร์สลายตัวได้ดี ผลิตภัณฑ์ปริมาณจึงมากขึ้นและเกิดปฏิกิริยาแตกตัวเป็นแก๊สได้มากขึ้น [11] จากภาพที่ 4 (c-d) พบว่ามีปริมาณ NO_x และ SO₂ ต่ำ เนื่องจากก๊าซทั้งสองชนิดจะเกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงในสถานะที่มีออกซิเจน ซึ่งนับว่าเป็นข้อดีของการไพโรไลซิสอีกอย่างหนึ่ง ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 วิเคราะห์ก๊าซที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไพโรไลซิส เทียบกับมาตรฐานคุณภาพอากาศ

| สารมลพิษ | ปริมาณก๊าซเฉลี่ย ณ อุณหภูมิต่างๆ | | | |
|---|----------------------------------|-------|--------|---------|
| | 300°C | 350°C | 400°C | 450°C |
| ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) (≤ 30 ppm.)* | 5.25 | 2.18 | 134.81 | 2956.43 |
| ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂ IR) ($\leq 1,000$ ppm หรือ $\leq 0.1\%$)* | 5.91 | 7.57 | 10.33 | 13.15 |
| ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂) (≤ 0.3 ppm.)* | 0.18 | 0.43 | 0.25 | 1.50 |
| ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂) (≤ 0.17 ppm.)* | 0.06 | 0 | 0.01 | 0.08 |

*แหล่งที่มา: ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน กรณีการใช้น้ำมันใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพและเชื้อเพลิงสังเคราะห์ เป็นเชื้อเพลิงในเตาอุตสาหกรรม พ.ศ.๒๕๔๘ เล่ม ๑๒๒ ตอนพิเศษ ๕๒ ง ๑๔ กรกฎาคม ๒๕๔๘

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 350 °C สามารถผลิตน้ำมันปริมาณสูงที่สุดถึง 2.16 กิโลกรัม คิดเป็น 43.20% เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นปริมาณก๊าซเพิ่มสูงขึ้น สัดส่วนก๊าซ CO ต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 350 °C มีค่าเท่ากับ 2.18 ppm ปริมาณ CO₂IR ต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 300 °C มีค่าเท่ากับ 5.91% ปริมาณก๊าซ SO₂ ต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 300 °C มีค่าเท่ากับ 0.18 ppm และปริมาณก๊าซ NO₂ ต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 350 °C มีค่าเท่ากับ 0 ppm จากผลการทดลองที่ได้ ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิที่ 350 °C มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยมีปริมาณก๊าซ SO₂ เกินค่ามาตรฐานเล็กน้อย ให้ผลผลิตปริมาณน้ำมันมากที่สุดและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยที่สุด จากการศึกษาสามารถทราบภาวะที่เหมาะสมเพื่อนำไปออกแบบควบคุมระบบไพโรไลซิสระดับอุตสาหกรรม และจากปริมาณก๊าซที่ยังเกินค่ามาตรฐานสามารถออกแบบระบบสเปรย์ละอองน้ำหรือสารเคมีเพื่อลดปริมาณก๊าซมลพิษที่เกิดจากกระบวนการนำสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ไม่ใช้งาน ไปทำเป็นเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการสร้างเครื่องผลิตเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการไพโรไลซิสจากสายเคเบิลใยแก้วนำแสงต่อไปในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์ปฏิบัติการวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสในการทำวิจัย รวมทั้งให้ความรู้ทางด้านพลังงานและการให้คำปรึกษาจนสำเร็จเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. (2552). การกำจัดขยะมูลฝอย แบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill). สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2563, จาก http://infofile.pcd.go.th/waste/waste_sanitarylandfill.pdf.
- [2] ปราโมช เขียวชาญ. (2557). การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill). สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2563, จาก <https://www.stou.ac.th/schools/shs/booklet/book573/Senitary573.pdf>.
- [3] Miandad, R., Barakat, M.A. (2017). Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 119, 239-252.
- [4] Brajendra, S.K., Moser B.R., Vermillion K.E., Doll K.M., and Rajagopalan N. (2014). Production, characterization and fuel properties of alternative diesel fuel from pyrolysis of waste plastic grocery bags. *Fuel Processing Technology*. 122, 79-90.

- [5] Al-Salem, S.M. (2019). Thermal pyrolysis of high density polyethylene (HDPE) in a novel fixed bed reactor system for the production of high value gasoline range hydrocarbons (HC), **Process Safety and Environmental Protection**. 127, pp. 171-179.
- [6] กุลนันทน์ วีรณรงค์กร , อมรชัย อภรณ์วิชานพ. (2015). **ไพโรไลซิส (Pyrolysis)**. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2563, จาก http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/tn241_p61-64.pdf.
- [7] O. Klein-Bendavid, Y. Peled. (2014). The pyrolysis and gasification of high density polyethylene in a batch reactor. **Waste Management and The Environment**. VII, 77-87.
- [8] Nguyen L.K., Na S., Hsuan G. Y., and Spatari S. (2020). Uncertainty in the life cycle greenhouse gas emissions and costs of HDPE pipe alternatives. **Resources, Conservation & Recycling**. 154, 104602, 1-12.
- [9] Strangla M., Ortnerb E. (2019). Evaluation of the efficiency of odor removal from recycled HDPE using a modified recycling process. **Resources, Conservation & Recycling**. 146, 89-97.
- [10] THAI FIBER OPTICS CO., LTD. (2020). Single/Double Jacket, All-Dielectric Self-supporting, **Aerial Loose Tube Fiber Optic Cable**. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2563, จาก: <http://www.tfoc-btc.com/product-detail.php?id=103>.
- [11] Prangtip K., Duangduen A., and Viboon S. (2012). Pyrolysis and gasification of landfilled plastic wastes with Ni- Mg- La/Al₂O₃ catalyst. **Environmental Technology**. 1-7.

วารสารวิชาการ
**พลังงานทดแทน
สู่ชุมชน**



J-REC

JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY
FOR COMMUNITY

สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ต.คลองหก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12110 อีเมล : treca.2012@gmail.com โทร : 02 549 3497