



วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College

ISSN 2392-5701

ปีที่ 9 ฉบับที่ 1, มกราคม – มิถุนายน 2565 / Vol. 9, No. 1, January - June 2022

I AM
STC

SIAM TECHNOLOGY
COLLEGE



สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีวิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม



วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2565): Vol. 9 No. 2 (July - December 2022)

Print-ISSN: 2392-5701

วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม จัดทำโดย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม เพื่อเป็นสื่อในการเผยแพร่ผลงานวิจัย ความรู้และวิทยาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น โดยวารสารเปิดรับ บทความจากภายในและภายนอก รวมถึงต่างประเทศ แบบเต็มรูปแบบ (Full Paper) รวมถึงบทความวิชาการ (Review Articles) บทความ ที่เสนอมาอาจเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ โดยบทความดังกล่าวจะต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน และเป็นข้อคิดเห็น ของผู้ส่งบทความ นอกจากนี้อัตราการคัดลอกในระบบต้องไม่เกินกว่าร้อยละ 5 เท่านั้น

วัตถุประสงค์ เพื่อสนับสนุนและกระตุ้นให้มีการเขียนผลงานทางวิชาการ เผยแพร่ผลงานทางวิชาการของคณาจารย์ นักวิชาการ และนักศึกษาทั้งภายในและภายนอก รวมทั้งเป็นสื่อกลางทางการศึกษา ค้นคว้า และเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการ

จุดมุ่งหมาย เป็นศูนย์กลางเพื่อสนับสนุน ถ่ายทอด องค์ความรู้ และเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ และการวิจัยที่มีคุณภาพให้เกิด ประโยชน์ต่อสังคม ชุมชน ส่วนรวมของประเทศได้อย่างต่อเนื่องในวารสารรูปแบบสิ่งพิมพ์ และวารสาร อิเล็กทรอนิกส์

เงื่อนไข/ข้อกำหนด

1. รับต้นฉบับบทความที่เป็นไปตามเกณฑ์ รูปแบบ มาตรฐาน และแนวปฏิบัติที่วารสารกำหนดไว้ โดยผ่านความเห็นชอบจากวารสารแล้วเท่านั้น (ไม่รับต้นฉบับบทความที่ไม่เป็นไปตามที่ระบุไว้)
2. บทความที่ส่งขอรับการพิจารณาจะต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารอื่นใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในขั้นตอน พิจารณาเพื่อเผยแพร่ในวารสารอื่น
3. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เป็นข้อคิดเห็นของผู้แต่ง/ผู้พิมพ์/ผู้เขียน เท่านั้น และจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบ ต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นจากบทความนั้น
4. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารเป็นลิขสิทธิ์ของวิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 2 ฉบับ (ราย 6 เดือน) ดังนี้

ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม-มิถุนายน

ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม-ธันวาคม

การประเมินบทความ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ/ผู้เชี่ยวชาญอย่างน้อย 3 ท่าน ต่อ 1 บทความ ในรูปแบบ Double blinded

ที่ปรึกษา อธิการบดี

หน้าที่ ให้คำปรึกษาในการจัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม

บรรณาธิการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐกฤต ปานชลธิ

หน้าที่ ดำเนินงานบริหารจัดการวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อมให้เป็นไปตามนโยบาย ของวิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

เจ้าของ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

46 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600 โทรศัพท์ 02-878-5000

การส่งบทความ ส่งไฟล์ทาง E-mail (MS Word และ PDF) ไปที่ทางเว็บไซต์ของวารสาร <http://jeet.siamtechu.net/> และ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/JEET/index>

พิมพ์ที่ บริษัท แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตปอเรชั่น จำกัด

99/164 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

โทรศัพท์ 02-5751791 โทรสาร 02-5751793 เว็บไซต์ www.protexts.com

สำนักงาน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

เลขที่ 46 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600 โทรศัพท์ 02-878-5035

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.จงจิตร หิรัญลาภ
 รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงษ์
 รองศาสตราจารย์ ดร.ศิระ สายสร
 รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ ดวงเดือน
 รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปรากการเจริญ
 รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ ดั่งทองสุข
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุโกศล วโนทยาพิทักษ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา สาราญพันธ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ ภูเกล้าวัน
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต แต่งศรี
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ ดีรอด
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วณิช นิลนนท์
 ดร.กนกกร รจนากิจ
 ดร.ดิณณภพ จุ่มอิน
 ดร.ชัยพร ทบแป
 ดร.ณัฐภูมิ อินทุบุตร
 ดร.วีระ ศรีอริยะกุล
 ดร.สุนทร แสงเพชร
 ดร.สุรชาติ จันทราชิต
 ดร.เชษฐภรณ์ ปญญวรางค์
 ดร.ประจักษ์ พรหมงาม
 อาจารย์วิษณุ บุญมาก
 รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ
 รองศาสตราจารย์ ดร.สายพิณ ไชยนันท์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สิทธิพันธุ์ ไชยนันท์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จงสุพรรณพงศ์
 ดร.สุทธิลักษณ์ ชุนประวัตติ
 อาจารย์ธเนศ วัฒสมงคลชัย
 อาจารย์จิรวัดน์ กรุณา
 อาจารย์สกรณรัตน์ ภารกุล
 อาจารย์อองอาจ วิเศษสุข

มหาวิทยาลัยปทุมธานี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
 มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
 วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก
 มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 มหาวิทยาลัยธนบุรี
 มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
 Xian Jiaotong University
 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
 มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
 มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก
 วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก
 มหาวิทยาลัยธนบุรี
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

หน้าที่

1. ให้ข้อคิด แนวทาง คำปรึกษา รวมทั้งข้อเสนอแนะในการดำเนินการจัดทำวารสารให้มีคุณภาพ เพื่อส่งเสริม และสนับสนุนให้การดำเนินงานจัดทำวารสารสำเร็จลุล่วงด้วยดี
2. พิจารณาและประเมินบทความที่ส่งเข้าสู่กระบวนการของวารสารตามความเหมาะสม

ฝ่ายประสานงานและเลขานุการกองบรรณาธิการ

อาจารย์ชลิตา โปะมา
 อาจารย์กัจจ ใจตรง

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
 วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

บทบรรณาธิการ

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในปัจจุบันส่งผลทางตรง หรือทางอ้อม ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้ องค์ประกอบของบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไปโดยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศดังกล่าวส่งผลกระทบต่อ การดำเนินชีวิตทั่วโลก ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งยวดที่ต้องร่วมมือกันในทุก ๆ องค์การ เพื่อหวังที่จะให้ลดการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในปัจจุบัน ทั้งนี้ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม ได้จัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและ สิ่งแวดล้อม และเผยแพร่ปีนี้เป็นปีที่ 9 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม ถึง เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2565) โดยเผยแพร่ผลงานวิจัย และบทความวิชาการครอบคลุมด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นที่ทราบกันดี การดำเนินงานภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่าง ๆ มากมายในปัจจุบัน ส่งผลต่อการดำเนินชีวิตต่าง ๆ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ การเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ หรือแม้กระทั่งการเกิดภัยพิบัติ ทางธรรมชาติ และภัยคุกคามของการกำเนิดของโรคอุบัติใหม่ ที่ส่งผลกระทบดำรงชีพในวิถีใหม่

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม ได้ตระหนักและให้ความสำคัญในการประยุกต์ นำองค์ความรู้บูรณาการสร้างคุณประโยชน์สู่สังคม ซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยี นวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์ และแก้ปัญหาโดย ผ่านองค์ความรู้ในศาสตร์ต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ มุ่งเน้นเชิง “การสร้างคุณค่า” ร่วมกัน ให้มีความสอดคล้องกับบริบท และการส่งเสริมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ไปสู่ประโยชน์ต่อสังคม ประเทศชาติอย่างไม่มีที่สิ้นสุด แสดงให้เห็นถึง ความก้าวหน้าทางงานวิจัยที่ครอบคลุมทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นอย่างดี

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม ยินดีรับบทความที่มีความประสงค์ เผยแพร่ / ตีพิมพ์ผลงานวิจัย และผลงานทางวิชาการ เพื่อเป็นศูนย์กลางการเผยแพร่ให้เป็นที่รู้จักมากยิ่งขึ้น โดยขอความ ร่วมมือกับผู้ส่งบทความให้ตระหนัก และเห็นความสำคัญต่อคุณภาพของบทความอย่างเคร่งครัดเป็นไปตามรายละเอียด กฎเกณฑ์ ขั้นตอน การดำเนินงานของวารสาร

ท้ายสุดนี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิ คณะที่ปรึกษา ผู้มีส่วนที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ตลอดจนผู้อ่าน ที่ให้ความสนใจในงานวิจัย และนำไปใช้ประโยชน์จากวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม ซึ่งคณะ ผู้ดำเนินงานจะพัฒนาวารสารวิชาการให้ได้รับการรับรองมาตรฐานในระดับที่สูงขึ้นต่อไป



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุจกฤต ปานชลธิ

บรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
1. Production of Biodiesel from Refined Palm Kernel Oil as A Fuel and Its Effects on Compression Ignition Engine Performance Kanok-on Rodjanakid	1
2. ระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน ศรายุทธ จิตรพัฒนากุล, กฤษณะ จันทสิทธิ์ และธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต	11
3. การศึกษาปัญหา วิธีแก้ไขปัญหและป้องกันในการติดตั้งระบบสุขาภิบาลของอาคารสูง หรือขนาดใหญ่พิเศษ เมืองแก้ว ยุตัน และสัญญา สิริวิทยาปกรณ์	23
4. Study on The Characteristic and Effects of Diesel-Propanol-Biodiesel and Biodiesel Blend in A Compression Ignition Engine Kanok-on Rodjanakid	36
5. ผลของการใช้ถ่านชีวภาพเป็นส่วนผสมในดินปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกิ้นใบ 3 ชนิด ที่ปลูกในกระบะ ธนชัย ฉลาดเฉลียว, จันทร์เพ็ญ ชุมแสง และพจณีย์ แสงมณี	46
6. การออกแบบและสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ความเร็ว 3 ระดับ แบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ อนุชา ดีผาง และชัยพร อัดโตดตร	56
7. การออกแบบและสร้างระบบไอโอทีสำหรับราวตากผ้าแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ นิติคม อริยพิมพ์ และชัยพร อัดโตดตร	70
8. แนวทางการส่งเสริมเชิงประจักษ์ที่สัมพันธ์กับปัจจัยการทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อตัดสินใจใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย คัทลียา ฤกษ์พิไชย	82
9. การปรับปรุงข้อคำถามด้วยความเกี่ยวพันย้อนกลับโดยใช้ขั้นตอนเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูทส์สำหรับการค้นคืนรูปภาพจากเนื้อหาของรูปภาพ ทรงพล นครเรศเรืองศักดิ์, รัตนาภรณ์ นิลพงษ์ และสุทธิลักษณ์ ชุนประวดี	92
บทความวิชาการ	
10. เทคโนโลยีการสะสมพลังงานจากพลังงานหมุนเวียน ฐกฤต ปานชลี	103

PRODUCTION OF BIODIESEL FROM REFINED PALM KERNEL OIL AS A FUEL AND ITS EFFECTS ON COMPRESSION IGNITION ENGINE PERFORMANCE

Kanok-on Rodjanakid

Faculty of International Maritime Studies, Kasetsart University, Sri Racha Campus, Sri Racha, Chonburi, 20230, Thailand

Corresponding author, E-mail: kanokon.ro@ku.th

Received: 29 January 2022

Revised: 14 February 2022

Accepted: 22 February 2022

Abstract

This research attempted to study the biodiesel production reaction by transesterification of crude palm kernel oil and refined palm kernel oil. From the experiment found that methyl esters synthesized from crude palm kernel oil were lower than methyl esters synthesized from refined palm kernel oil under the same conditions due to the oil's purity and different acidity. Butanol was used to produce diesohol at a low mixing ratio in this experiment. Physical properties, homogeneity were then tested after six months of storage. Conduct the test by D90B_u5B5(RPKO) mixed well without stratification after six months of storage. From the experiment biodiesel produced has a maximum productivity equal to 90.8%. Biodiesel was then used as an ingredient in the D90B_u5B5(RPKO). Then testing D90B_u5B5(RPKO) for physics properties and performance in the engine. From the experiment found that the D90B_u5B5(RPKO) had similar physical properties to diesel fuel except the flash point is lower than high-speed diesel fuel. The result of the performance found that D90B_u5B5 had slightly less torque and brake power than standard diesel fuel with a higher fuel consumption rate than diesel fuel

Keywords: Biodiesel, Diesohol, Butanol, Transesterification, Methyl Ester

1. Introduction

Refined palm kernel oil is a vegetable oil with an unstable molecular structure. It cannot be stored for a long time but has an iodine value below 120, so it is a non-drying oil. The iodine value indicates the plant oil's double bond content, indicating the polymerization reaction. Refined palm kernel oil is less polymerized and reacts more slowly than oils with higher iodine values. Direct application of refined palm kernel oil to diesel engines is not workable due to it is a solid oil at room temperature and has high viscosity. Due to its high viscosity, it causes a problem of injecting the oil as a fine mist, impeding the complete combustion of the oil. J. Baumi et al. [1] found that clogging in the fuel line and fuel filter was associated with the saturated fatty acid methyl ester in vegetable oil-based biodiesel. S. Kumar et al. [2] claimed that methanol and ethanol were assessed for their potential in most research studies. M. Wu et al. [3] found that the advantages of these oxygenates are classified into several categories. They are available from sustainable, the cultivation of crops, and atmospheric pollution increased energy security, and the variability of energy sources generate market stability and reduce scarcity risk. G. Knothe et al. [4] found that in the case of ethanol content in diesel: ethanol mixture. Ethanol increases, resulting in incomplete combustion due to lower cetane values and higher CO₂ and CO emissions. Many researchers [5,6] suggested that

<http://jeet.siamtechu.net>

an abundance of researches have been conducted on the properties of ethanol. Recent research studies on the properties of butanol have shown that it is compatible with diesel fuel. However, the cetane content and flashpoint are higher than ethanol. Butanol is less toxic and corrosive than ethanol. Many studies [7,8] found that due to the presence of oxygen in butanol, the amount of carbon dioxide produced by combustion is reduced when adding butanol to diesel: butanol mixture. S.B. Bankar et al. [9] claimed that the engine will be difficult to start with too much butanol in the diesel mixture because the cetane number of the oil decreases with increasing butanol ratio. E.G. Giakoumis et al. [10] found that recently, researchers have been interested in the simultaneous use of biodiesel, ethanol, and butanol in diesel. Because biodiesel has a high viscosity, lubricity, cetane number and flashpoint than butanol, which can be compensated by using butanol as a fuel ingredient. Mixing biodiesel in diesel fuel can help reduce the amount of carbon monoxide and hydrocarbon in the engine. In this experiment, D90B₀5B5(RPKO) was tested in diesel engine

2. Objective

1. To study the production process of biodiesel from Refined Palm Kernel Oil and Crude Palm Kernel Oil by transesterifications method when the reactants were given different oil purity values
2. Study on the homogeneity of fuels when using biodiesel as an emulsifier of Butanol: Diesel fuel to replace the use of additives imported from abroad
3. Comparison of biodiesel produced from Refined Palm Kernel Oil and Crude Palm Kernel Oil when NaOH was used as a catalyst. Study the homogeneity when stored for six months to observe the mixture stratification and chemical properties of D90B₀5B5(RPKO). Then take D90B₀5B5(RPKO) to test performance and fuel consumption compared with standard diesel

3. Methodology

3.1 Biodiesel production process (Biodiesel from Refined Palm Kernel Oil)

1. One thousand milliliters of biodiesel from RPKO were poured into beaker one, then the oil was stirred and heated by setting the stirring speed at 1500 rev/min and the temperature at 60°C. Seven grammes of NaOH (0.7%NaOH(wt/vol)) and methanol: RPKO at a ratio of 1:3 were put into a second beaker, stirred and heated to dissolve the NaOH flakes. Then the mixture from the second beaker was poured into the beaker one, stir for 60 minutes and then the stirrer was turned off. The glycerol was separated, and the methyl ester was washed with warm water at 40°C. Rinsed until the pH of the water was seven. Then the experiment was carried out under the following conditions:
2. Change the volumetric ratio of methanol: RPKO at 1:2 and 1:4
3. Change the reaction time from 60 minutes to 30 minutes
4. Change percent by mass 0.6%NaOH(wt/vol) and 0.8%NaOH(wt/vol)

3.2 Biodiesel production process (Biodiesel from Crude Palm Kernel Oil)

1. One thousand milliliters of biodiesel from CPKO was poured into a beaker, then stirred and heated by setting the stirring speed at 1500 rev/min and the temperature at 60°C. Eight grammes of NaOH (0.8%NaOH(wt/vol)) and methanol: CPKO at a ratio of 1:3 were put into a second beaker, then stir and heat to dissolve the NaOH flakes. The mixture from the second beaker was poured into the first beaker, stirred for 60 minutes, and then the stirrer turned off. The glycerol was separated, and the methyl ester was washed with warm water at 40°C. Then rinse until the pH of the water was seven. Then the experiment was carried out under the following conditions:

2. Change the volumetric ratio of methanol: CPKO at 1:2 and 1:4
3. Change the reaction time from 60 minutes to 30 minutes
4. Change percent by mass 0.7% NaOH(wt/vol) and 0.9% NaOH(wt/vol)

3.3 Diesohol production process

1. Testing homogenous and emulsification stability by mixing diesel at low mixing. To do this, the ratio of Diesel: Butanol: Biodiesel (RPKO) at 90:5:5 (volume) mixed using butanol with a purity of 99.4%. Then, adding biodiesel blend by increasing the mixing ratio at all times with 5% by volume of a mixing ratio ranging from 5%-15% by volume of mixed oil. The test oil was stirred at room temperature of 25°C and 35°C, 30 min and then stored for six months to observe the mixture stratification

2. Take 1 to test the homogeneity
3. Take D90B_u5B5(RPKO) to test physical properties
4. Then take D90B_u5B5(RPKO) to test performance and fuel consumption compared with standard diesel

4. Equipment

1. RET BASIC SAFETY CONTROL IKAMAG
2. A set of equipment used in the production of biodiesel
3. Refined Palm Kernel Oil
4. Crude Palm Kernel Oil
5. Industrial grade methanol, purity is not less than 99.5%
6. n-Butanol 99.4% AR.Grade
7. Industrial grade sodium hydroxide, the purity value is not less than 90%
8. Sodium sulfate

HONMAR Diesel Engine Specification

Model	: DH850
Horsepower	: 6.7HP/ 3600 rpm
Engine type	: Single-cylinder
Cooling system	: Direct injection
Combustion system	: 78 x 62
Displacement volume	: 296 cc
Capacity	: 3.5 liters

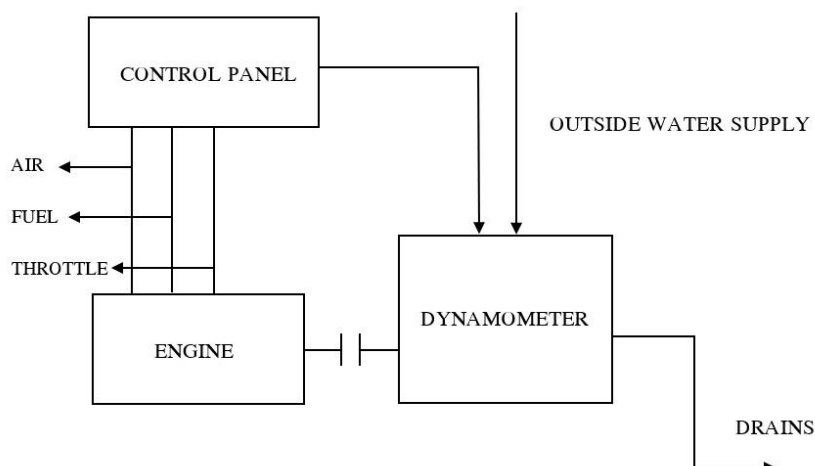


Figure 1 Installation of the engine

5. Results

Table 1 Volumetric ratio of methanol to refined palm kernel oil, 0.7%NaOH(wt/vol), at 60°C for 60 min

(Methanol : RPKO) (by volume)	Yield (%)
1:2	-
1:3	90.8
1:4	72

The results showed that biodiesel production from RPKO was significantly higher than biodiesel from crude palm kernel oil; the difference was equal to 5%. From Table 1, the test results when changing the volumetric ratio of methanol to RPKO at 1:2, 1:3 and 1:4 at 60 min showed that the volumetric ratio of methanol: RPKO gave percentage equal to 90.8%

Table 2 Change in proportional time at a volumetric ratio of methanol to refined palm kernel oil, 0.7%NaOH(wt/vol), at 30 minutes and 60 minutes

Time (min)	Oil (cc)	Biodiesel (cc)	Yield (%)
30	250	177.5	87
60	250	185	90.08

<http://jeet.siamtechu.net>

Table 3 Percentage change by NaOH catalyst mass proportional of methanol to refined palm kernel oil 1:3, 60°C, for 60 minutes

%NaOH(wt/vol)	Oil (cc)	Biodiesel (cc)	Yield (%)
0.6	250	194	77.6
0.7	250	227	90.8
0.8	250	202	80.8

From Table 2 and Table 3, the reaction of the volumetric ratio of methanol to refined palm kernel oil, 0.7%NaOH(wt/vol), at 60°C, reaction time of 60 min was more complete than at 30 min with a difference in production percentage of 3.08%. Therefore, best biodiesel production from refined palm kernel oil was 60 minutes due to the significant percentage difference; the percentage by catalyst mass per oil volume 0.7%NaOH(wt/vol) was the percentage by volume of the product obtained with the highest oil consumption of 90.8% when compared to the percentage by catalyst masses of 0.6 and 0.8%NaOH(wt/vol)

Table 4 Number of biodiesel rinsing times with distilled water, by volume methanol to refined palm kernel oil 1:3, reaction temperature 60°C, for 60 min. Biodiesel washing: distilled water at a ratio of 1:3, reaction temperature 40°C, Na₂SO₄ 45% by weight of biodiesel. The time required for rinsing 30 minutes

%NaOH(wt/vol)	Time	Yield (%)
0.7	3	90.8

From Table 4, the percentage ratio by the catalyst mass to the oil volume 0.7%NaOH(wt/vol) can totally remove soap and methanol catalyst from the oil. Water must rinse three times to neutralize the biodiesel

Table 5 Homogeneity test results of low mixing proportion fuels. (percent by volume) using biodiesel from refined palm kernel oil and butanol as a mixture at room temperatures of 25°C and 35°C using butanol with a purity of 99.4%

Diesel	Butanol	Biodiesel (RPKO)	Stability Observation (25°C)	Stability Observation (35°C)
90	5	5	clear and not separated	clear and not separated
85	5	10	clear and not separated	clear and not separated
80	5	15	clear and not separated	clear and not separated

From Table 5, fuel produced were homogeneous and non-stratified when stored for six months

Table 6 Volumetric ratio of methanol to crude palm kernel oil, 0.8%NaOH(wt/vol), at 60°C, for 60 min

(Methanol : CPKO) (by volume)	Yield (%)
1:2	-
1:3	77.2
1:4	70

Table 7 Change in proportional time at a volumetric ratio of methanol to crude palm kernel oil, 0.8%NaOH(wt/vol), at 30 minutes and 60 minutes

Time (min)	Oil (cc)	Biodiesel (cc)	Yield (%)
30	250	177.5	74
60	250	185	77.2

Table 8 Percentage change by NaOH catalyst mass proportional to methanol to crude palm kernel oil 1:3, at 60°C, for 60 minutes

%NaOH(wt/vol)	Oil (cc)	Biodiesel (cc)	Yield (%)
0.7	250	184	73.6
0.8	250	193	77.2
0.9	250	178	71.2

From Table 6 to Table 8, as a result, the ratio by volume of methanol to crude palm kernel oil at 1:3 was the highest product percentage, 77.2%, when using sodium hydroxide base as a catalyst. The reaction of the volumetric ratio of methanol to crude palm kernel oil, 0.8%NaOH(wt/vol), at 60°C, reaction time of 60 min was more complete than at 30 min with the difference in production percentage of 3.2%. Therefore, biodiesel production from crude palm kernel oil was 60 minutes due to the significant percentage difference. Moreover, a percentage by catalyst mass per oil volume 0.8%NaOH(wt/vol) was the percentage by volume of the product obtained with the highest oil consumption of 77.2% when compared with the percentage by catalyst masses of 0.7 and 0.9%NaOH(wt/vol)

Table 9 The number of biodiesel rinsing times with distilled water, by volume methanol to crude palm kernel oil 1:3, reaction temperature 60°C, time 60 min. Biodiesel washing: distilled water at a ratio of 1:3, reaction temperature 40°C, Na₂SO₄ 45% by weight of biodiesel. The time required for rinsing 30 minutes

%NaOH(wt/vol)	Time	Yield (%)
0.8	3	77.2

From Table 9, the percentage ratio by the catalyst mass to the oil volume 0.8%NaOH(wt/vol) can totally remove soap and methanol catalyst from oil. Water must rinse three times to neutralize the biodiesel

<http://jeet.siamtechu.net>

Table 10 Properties of Fuel

Test Description	Test Method	High Speed Diesel	D90B _u 5B5
		Bright and Clear	Bright and Clear
Color	ASTM D1500	Max 4.0	L1.0
Cetane Index	ASTM D976	Min 50	55.8
Distillation, C	ASTM D86		
Initial Boiling Point		-	113.4
90%vol. Recovered		Max 357	345.5
Flashpoint	ASTM D93	Min 52	42.0
Pour Point, °C	ASTM D97	Max 10	3.0
Viscosity at 40 C, cSt	ASTM D445	1.8 - 4.1	2.7
Total Contamination, mg/kg	EN 12662	Max 24.0	2.9
Micro Carbon Residue (MCR), %mass	ASTM D4530	Max 0.3	<0.01
Ash, %wt	ASTM D482	Max 0.010	<0.001
Total Sulfur Content, mg/kg	ASTM D5453	Max 50	37.2
Water and Sediment, %Vol.	ASTM D2709	Max 0.05	<0.01
Corrosion	ASTM D130	No.1 max	No.1

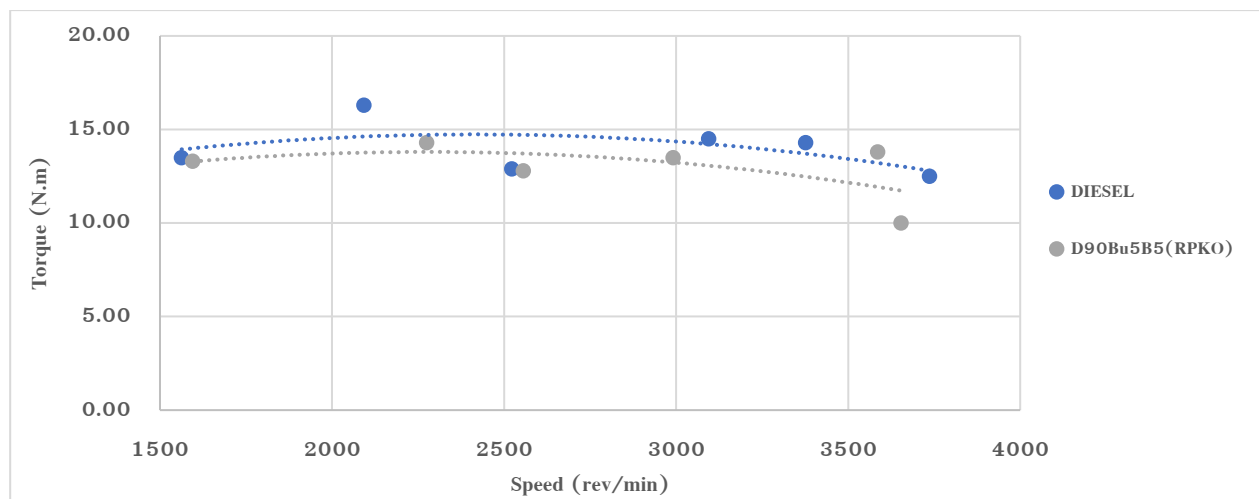


Figure 2 Relationship between torque and engine speed when using D90B_u5B5 (RPKO)

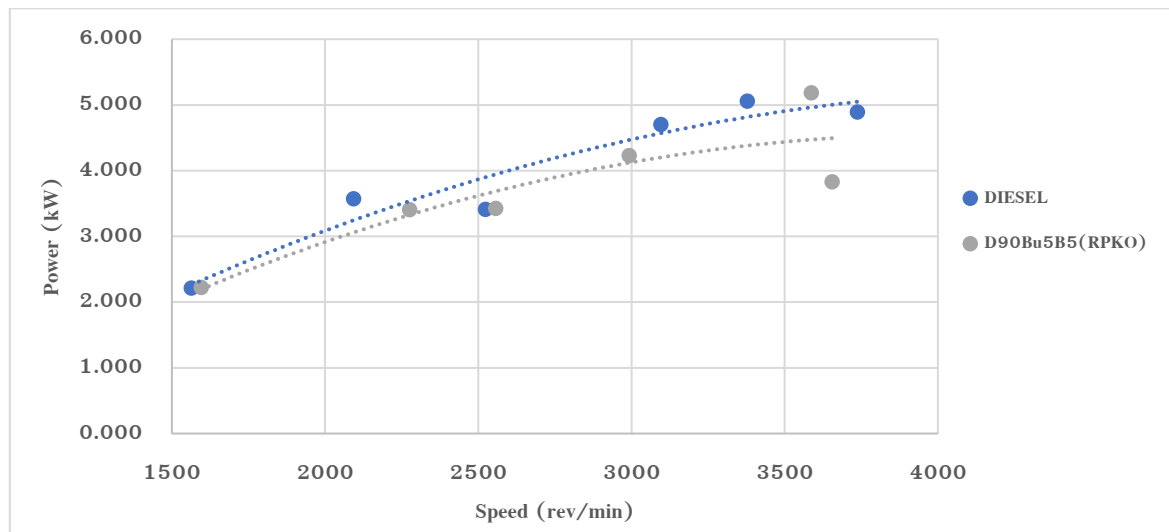


Figure 3 Relationship between power and engine speed when using D90B₅B5 (RPKO)

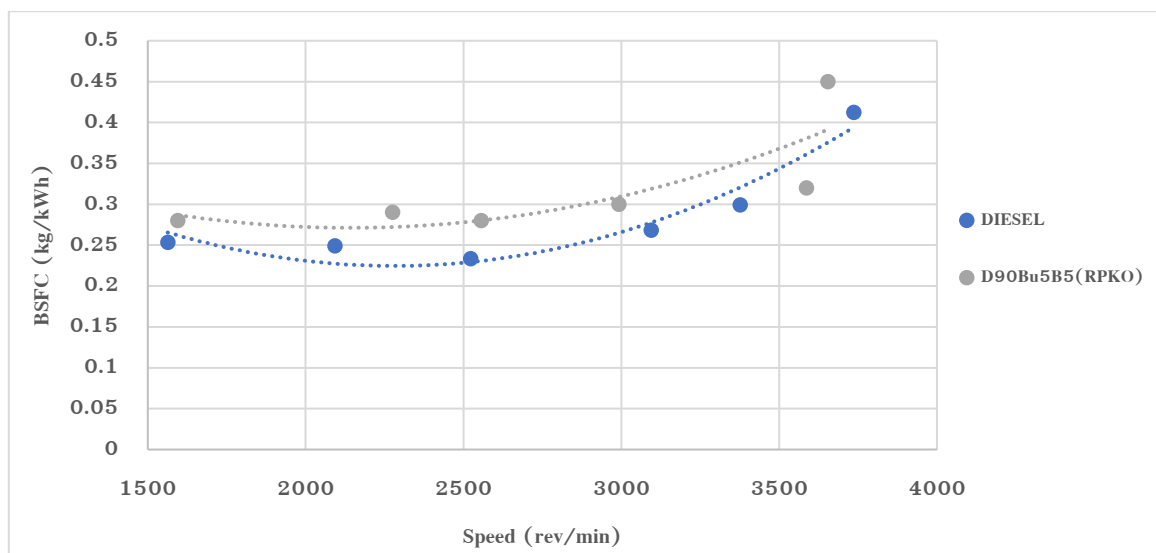


Figure 4 Relationship between BSFC and engine speed when using D90B₅B5 (RPKO)

From Figure 2 to Figure 4, the results found that D90B₅B5 from refined palm kernel oil gave torque and braking power similar to diesel fuel. The benefit of using butanol and biodiesel blends in diesel fuel is that because butanol is blended in the oil, the oil's viscosity will be reduced to compensate for biodiesel. The experiment mixed the proportions of butanol and biodiesel at the same ratio to study the behavior of the oil when used in diesel engines. It is influenced by the density of the fuel properties, which directly affects the engine's performance characteristics. The oil test results showed that low blending ratio diesohol D90B₅B5 from refined palm kernel oil had slightly less torque and brake power than standard diesel fuel with a higher fuel consumption rate than diesel fuel. The main benefit of using biodiesel in diesohol because biodiesel has a high viscosity which compensates for the low viscosity of butanol-diesel blends. A low blending ratio of diesohol, D90B₅B5 from refined palm kernel oil had slightly less torque and brake power than standard diesel fuel

5. Conclusion

From the experiment, when considering the cost of the oil used as raw material, it was found that biodiesel production from RPKO has a simple production process. Thus, it is an oil crop that has potential as a raw material source for industrial biodiesel production because it requires only a cheap plant that is easily available within Thailand

Base is chosen as a catalyst because it is a highly economical technology as it is a chemical process that uses catalyst conditions to produce at low temperature and pressure and has a shorter reaction time than using acid as a catalyst. Summary of factors affecting the production process are reaction temperature, oil and alcohol ratio, type and concentration of catalyst, and reactant purity

In the experiment, the investigators considered choosing biodiesel produced from RPKO for engine testing because RPKO biodiesel had lower polyunsaturated fatty acid content and higher productivity compared to biodiesel made from CPKO. In addition, production control at 60°C for a short time increases biodiesel oxidation stability, making the fuel produced stable and non-stratified

The pour point of the D90B₅B5 from RPKO has a pour point temperature of 3°C, so it can be used in a temperature range of not less than 3°C. This will cause the oil to become waxy, which will cause clogged problems in the oil duct and fuel filter. The produced diesohol has a discharge point that does not exceed the high-speed diesel standards set by the Department of Energy Business

Biodiesel and butanol have lower calorific values than standard diesel. Therefore, when mixing biodiesel and butanol in an increased proportion of the mixture, the calorific value of the fuel is reduced

The increased mixing ratio of butanol will cause a lower flash point of the fuel produced. However, when butanol is added to an increased mixing ratio, the resulting fuel has a lower flashpoint

From the experiment, diesohol produced from RPKO has a flashpoint of 42°C, which is lower than the standard for high-speed diesel fuel. Separate storage areas are required and safety management in oil transportation

According to the results of the experiments standard corrosion test ASTM D130, diesohol can be used in engines without causing the effects of oil corrosion on the metal parts of the engine and does not affect the operation of the engine.

The D90B₅B5(RPKO) had similar trends in torque and braking power at a low speed diesel engine and high speed diesel engine with standard diesel fuel

6. References

- [1] J. Baumi, C.M. Bertosse, and C. Luisa Barbosa Guedes, Aviation Fuels and Biofuels. Renewable Energy-Resources, 2020. DOI: 10.5772/intechopen.89397
- [2] S. Kumar, J. Cho, J. Park, and I. Moon, "Advances in diesel-alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22, 46-72, 2013. DOI: 10.1016/j.rser.2013.01.017
- [3] M. Wu, G Wu, L. Han, and J. Wang, "Low-Temperature Fluidity of Bio-Diesel Fuel Prepared from Edible Vegetable Oil", 2005. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/279567550_Low-temperature_fluidity_of_bio-diesel_fuel_prepared_from_edible_vegetable_oil

<http://jeet.siamtechu.net>

- [4] G. Knothe, A.C. Matheaus, and T.W. Ryan III, "Cetane numbers of branched and straight-chain fatty esters determined in an ignition quality tester", *Fuel* 82 8 971 975 Volume 82, Issue 8, May 2003, Pages 971-975 Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(02\)00382-4](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(02)00382-4)
- [5] K. Nanthagopal, B. Ashok, V. Varatharajan, V. Anand, and R.D. Kumar, "Study on the effect of exhaust gas-based fuel preheating device on ethanol–diesel blends operation in a compression ignition engine", *Clean Technol Environ Policy*, 19 (10) 2017, pp. 2379-2392
- [6] D.C. Rakopoulos, C.D. Rakopoulos, E.G. Giakoumis, and D.C. Kyritsis, "The combustion of n-butanol/diesel fuel blends and its cyclic variability in a direct injection diesel engine", *Proceedings of the institution of mechanical engineers, Part AJ Power Energy*, 225 (3) 2011, pp. 289-308
- [7] D.C. Rakopoulos, C.D. Rakopoulos, E.G. Giakoumis, A.M. Dimaratos, and D.C. Kyritsis, "Effects of butanol–diesel fuel blends on the performance and emissions of a high-speed DI diesel engine", *Energy Convers Manage*, 51 (10) 2010, pp. 1989-1997
- [8] D.C. Rakopoulos, C.D. Rakopoulos, D.T. Hountalas, E.C. Kakaras, E.G. Giakoumis, and R.G. Papagiannakis, "Investigation of the performance and emissions of bus engine operating on butanol/diesel fuel blends", *Fuel*, 89 (10) 2010, pp. 2781-2790
- [9] S.B. Bankar, S.A. Survase, H. Ojamo, and T. Granstrom, Biobutanol: the outlook of an academic and industrialist. *RSC Adv*, 3 (47) (2013), pp. 24734-24757. DOI: 10.1039/C3RA43011A (Review Article) *RSC Adv.*, 2013, 3, 24734-24757
- [10] E.G. Giakoumis, C.D. Rakopoulos, A.M. Dimaratos, and D.C. Rakopoulos, "Exhaust emissions with ethanol or n-butanol diesel fuel blends during transient operation: a review", *Renew Sustain Energy Rev*, 1 (17) 2013, pp. 170-190

ระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน THE SOLAR MOBILE PUMPING SYSTEM FOR COMMUNITY FOUNDATIONS HOUSEHOLD LEVEL

สรายุทธ์ จิตพัฒน์กุล^{1*} กฤษณะ จันทสิทธิ์²ธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต³

Sarayut Chitphutthanakul,^{1*} Kritsana Chantasit,² Teerawat Chuenatsadongkot³

^{1*}ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

³อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

* Corresponding author, E-mail: sarayut.c@rbru.ac.th

Received: 22 December 2021

Revised: 5 April 2022

Accepted: 6 April 2022

บทคัดย่อ

การทำวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน และวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาของระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์ อุปกรณ์หลักประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านขนาด 250 วัตต์ ร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 400 วัตต์ จำนวน 1 แผง ติดตั้งบนโครงสร้างรถเข็นสำหรับเคลื่อนที่ได้ขนาดความกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 135 เซนติเมตร และสูง 70 เซนติเมตร ตัวควบคุมภายในติดตั้งฟิวส์ไฟฟ้ากระแสตรง เซอร์คิตเบรกเกอร์ อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชากทางไฟฟ้ากระแสตรง (DC Surge Protector) และมอนิเตอร์แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ปริมาณน้ำจะไหลผ่านท่อเพิ่มแรงดัน (แอร์แวน) ขนาด 3 นิ้ว สูง 60 เซนติเมตร ผ่านมาตรวัดอัตราการไหล หลังติดตั้งทดสอบการทำงานตามระดับความเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ 3 ระดับ ได้แก่ 10, 20 และ 30 องศา ในช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 17.00 น. โดยเฉลี่ย 6 ครั้ง ใน 1 ชั่วโมง จำนวน 3 ครั้ง พบว่า ช่วงเวลาการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดทั้ง 3 ระดับคือ ช่วงเวลา 13.00 น. ค่าปริมาณน้ำสูงสุดเท่ากับ 1,411.18, 1,965.74 และ 1,624.10 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยระดับความเอียงที่เหมาะสมต่อการใช้งาน คือ ที่ระดับความเอียง 20 องศา ได้ปริมาณน้ำสูงสุดต่อวันเท่ากับ 13,848 ลิตร หรือ 13.85 คิวต่อวัน

คำสำคัญ: ระบบสูบน้ำ, พลังงานแสงอาทิตย์, ระดับครัวเรือน

Abstract

The purpose of this research were to study and develop the solar mobile pumping system for the community at the household level and to analyze the amount of water that obtained in each period from the solar mobile pumping system. The main equipment consists of a BLDC motor pump at 250 watt together with a solar panel at 400 watt, which were installed on a mobile trolley with the dimension of 70 centimeters width, 135 centimeters length and 70 centimeters height. A DC electric fuse, circuit breaker, a DC Surge Protector and a monitor showing the information of the voltage value, electric current, and electric power were installed on the internal control cabinet. The amount of water flow through the pipe of a 3 inch width and 60 centimeter height were also measured. After installing and testing the equipment, the 3 level of inclination (10, 20 and 30 degrees) of the solar cells were examined during 8:00 a.m. to 5:00 p.m. on average 6 times in 1 hour with 3 replications. It was found that the highest efficiency for all 3 levels was at 1:00 p.m. The maximum water volume of each

inclination levels were 1411.18, 1,965.74 and 1,624.10 liters per hour, respectively. The suitable inclination level was 20 degrees which obtained the maximum amount of water of 13,848 liters or 13.85 cubic meters per day.

Keywords: Pumping System, Solar Energy, Household Level

1. บทนำ

เทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมกับวิถีชีวิตและกิจกรรมทางการเกษตรของชุมชน มีเป้าหมายต้องเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้ชุมชนสามารถลดการใช้พลังงานฟุ่มเฟือยจากกิจกรรมทางการเกษตร ลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานของชุมชนสามารถใช้งานได้อย่างยั่งยืน ซึ่งต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในการใช้งานเทคโนโลยีทางด้านพลังงานทดแทนของชุมชนทั้ง 4 ด้าน ประกอบด้วย ความเหมาะสมทางด้านเทคนิค ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ ความเหมาะสมทางด้านนโยบาย และความสอดคล้องกับชุมชนเกษตรกรรมและความเหมาะสมทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งเทคโนโลยีทางด้านพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับชุมชนเกษตรกรรมจะต้องสามารถลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานของชุมชนลงได้ โดยเทคโนโลยีที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกที่เหมาะสมกับชุมชน สามารถจำแนกเทคโนโลยีพลังงานทดแทนตามการใช้งานของชุมชนออกเป็น 2 ส่วน คือ เทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับการใช้ในครัวเรือน และเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับการใช้ในการประกอบอาชีพของคนในชุมชน กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2563) [1]

โรงเรียนบ้านทุ่งกร่าง ต.ทับไทร อ.โป่งน้ำร้อน จ.จันทบุรี สังกัดสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาจันทบุรี เขต 2 ได้จัดทำโครงการเรียนรู้บูรณาการตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงกิจกรรมสวนผสมผสาน โดยมุ่งสอนให้นักเรียนของโรงเรียนปลูกพืชผักสวนครัว และผลไม้สำหรับใช้เป็นแหล่งอาหารเป็นของตนเอง ซึ่งในแต่ละวันจะต้องนำน้ำที่ได้จากบ่อน้ำขึ้นมารดน้ำต้นไม้ และผลผลิตทางการเกษตรภายในแปลงผัก โดยมีความสนใจต้องการระบบไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์มาใช้ประโยชน์ในกระบวนการสูบน้ำ โดยให้นักเรียนมีส่วนร่วม เพื่อลดปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าภายในโรงเรียนลง อีกทั้งยังเป็นแหล่งเรียนรู้ การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ภายในโรงเรียน และบุคคลทั่วไปมาศึกษาเพื่อนำกลับไปปรับใช้กับครัวเรือนได้ ซึ่งทางโรงเรียนยังขาดบุคลากรที่มีองค์ความรู้ความเชี่ยวชาญในการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านการสูบน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างระบบสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ได้ เพื่อสะดวกต่อการดำเนินงาน การเก็บรักษา และการนำไปถ่ายทอดเทคโนโลยียังชุมชน โดยมีอุปกรณ์หลักที่สำคัญประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ บั๊มน้ำ และตู้ควบคุมระบบการทำงาน ต่อร่วมกับระบบแอร์แวนเพื่อเพิ่มแรงดันบั๊มน้ำให้มีระดับแรงดันสูงขึ้น โดยจะเป็นการส่งเสริมให้ภาคครัวเรือนสามารถพึ่งพาตนเองในการดำรงชีพในชีวิตประจำวันได้ ควบคู่กับการอนุรักษ์พลังงาน และการรักษาสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับศาสตร์พระราชา สู่การพัฒนาที่ยั่งยืน และตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง ซึ่งประกอบด้วย 3 ห่วง 2 เงื่อนไข คือ ความพอประมาณ ความมีเหตุผล และมีภูมิคุ้มกัน โดยมีเงื่อนไขประกอบ คือ ความรู้ ความคุณธรรม ใช้สติด้วยความไม่ประมาทในการดำรงชีวิต มุลนิธิชัยพัฒนา (2563) [2]

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาที่จะศึกษาระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน โดยจัดสร้างระบบสูบน้ำติดตั้งอยู่บนยานพาหนะที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ด้านบนโครงสร้างติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ สามารถปรับระดับมุมเอียงเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจะทำให้การสูบน้ำภายในบ่อที่มีระดับความลึก 5 เมตร ส่งไปยังแปลงผัก เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง ลดต้นทุนการผลิตภาคเกษตรกรรม ส่งเสริมเรียนรู้การนำพลังงานที่มาจากแหล่งธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อจะสามารถพึ่งพาตนเอง ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านกระแสไฟฟ้าในระดับครัวเรือน ด้วยกรรมวิธีหลักการทางวิศวกรรม โดยสอดคล้องกับ ชวกร รุ่งทวีชัย และอนุรักษ์ ตาคำ (2562) [3] ศึกษาติดตั้งโซลาร์เซลล์กับเครื่องสูบน้ำสำหรับศูนย์เรียนรู้เกษตรทฤษฎีใหม่ขนาด 24 โวลต์ 370 วัตต์ ซึ่งจะนำพาให้ทางโรงเรียนได้ผลสัมฤทธิ์ในด้านการเรียนการสอนของอาจารย์ และคงรักษาปลูกจิตสำนึกการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาพัฒนาระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน
2. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาของระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนงานด้านเกษตรกรรม โดยมีอุปกรณ์หลักประกอบด้วย แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 400 วัตต์ จำนวน 1 แผง เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (Centrifugal Pump) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 250 วัตต์ ปริมาณน้ำไหลผ่านมาตรวัดอัตราการไหลแบบกังหัน (Turbine Flow Meter) แบ่งวิธีการดำเนินการวิจัย 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาข้อมูลอุปกรณ์ในการจัดสร้างระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน

1.1 การศึกษาเครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่นำมาใช้ในโครงการวิจัยเป็นเครื่องสูบน้ำขนาด 250 วัตต์ ยี่ห้อ โจได (Jodai) รุ่น LIQB2.0/28-24/250 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (Centrifugal Pump) สามารถต่อแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 1x144 Cells หรือขนาด 300-400 วัตต์ จำนวน 1 แผง ดังรูปที่ 1 โดยมีคุณลักษณะของอุปกรณ์โดยทั่วไป ดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 เครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 250 วัตต์

ลำดับที่ (1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) กำลังไฟฟ้าเข้าเครื่องสูบน้ำไฟฟ้าแบบหอยโข่งมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 250 วัตต์ ปริมาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ระหว่าง 10-55 โวลต์ แรงดันขณะทำงาน 24 โวลต์ และสามารถรับกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 11 แอมแปร์ เสื่อมอเตอร์ทำจากอลูมิเนียมมีครีบริบเพื่อช่วยระบายความร้อน (2) พัดลมระบายความร้อนขณะมอเตอร์ทำงาน ลักษณะของพัดลมทำจากใบพัดทนต่อความร้อน ช่วยยืดอายุ และรักษามอเตอร์ให้ยาวนาน (3) กล่องความคุมโดยติดตั้งบนตัวมอเตอร์เครื่องสูบน้ำ (Built In) ภายในกล่องมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการทำงานประกอบด้วย สวิตช์สำหรับเปิด-ปิด ระบบการทำงาน จุดเชื่อมต่อสำหรับต่ออุปกรณ์ตรวจสอบปริมาณน้ำภายในบ่อ และตรวจสอบปริมาณน้ำที่อยู่ในภาชนะบรรจุน้ำ อีกทั้งยังมีจุดเชื่อมต่อสายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ (4) ช่องน้ำออกขนาด 1 นิ้ว ทำจากเหล็กหล่อ ภายในมีใบพัดทองเหลืองต่อรวมกับท่อประปา เพื่อส่งน้ำไปยังพื้นที่ที่ต้องการ (5) ช่องน้ำเข้าขนาด 1 นิ้ว สำหรับต่อกับสายอ่อนที่หย่อนลงในบ่อน้ำ โดยปริมาณความลึกอยู่ในระดับไม่เกิน 8 เมตร (6) ฐานสำหรับยึดเครื่อง สูบน้ำ เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของเครื่องสูบน้ำ โดยสามารถติดตั้งเครื่องสูบน้ำเข้ากับโครงสร้างแบบแพลอยน้ำ หรือแบบโครงสร้างบนบก

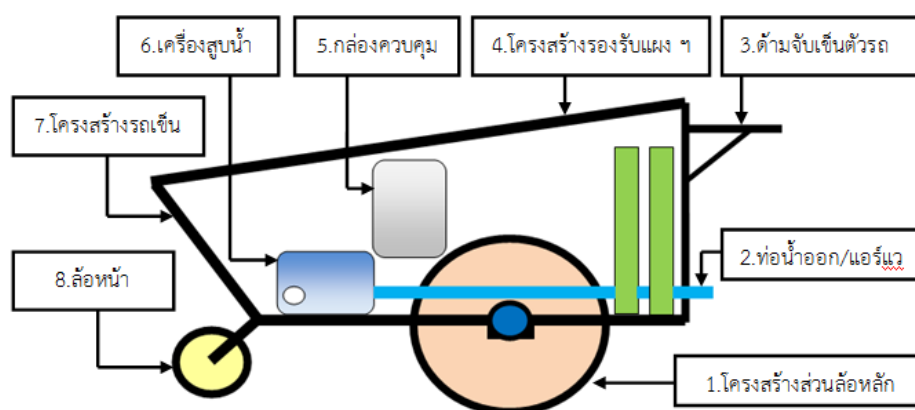
ที่อยู่กับที่ได้ ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 10 โวลต์ ระบบจะสั่งงานให้เครื่องสูบน้ำหยุดทำงาน หรือในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าเกิน 10 โวลต์ ระบบจะหน่วงเวลา 10 นาที เพื่อกลับมาทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ

1.2 การศึกษาแผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cells) แผงโซลาร์เซลล์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นแบบผลึกเดี่ยว (Mono Half Cut Cell Crystalline) มีขนาดความกว้าง 1,002 มิลลิเมตร ยาว 2,016 มิลลิเมตร และสูง 35 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำหนัก 23.2 กิโลกรัม ยี่ห้อ Suntech รุ่น STP400S-A72/Vfh กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ 400 วัตต์ ปริมาณเซลล์เท่ากับ 144 Cells สำหรับติดตั้งด้านบนระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน เพื่อเป็นหลังคาป้องกันละอองน้ำ และฝุ่น ใช้ในการรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยแผงโซลาร์เซลล์แบบผลึกเดียวนั้นจะมีราคาแพงกว่าแบบโพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline) หรือมัลติคริสตัลไลน์ (Multi Crystalline) แต่จะให้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าเมื่อเทียบกับพื้นที่ในการติดตั้ง โดยจะมีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 15 ถึง 20 เนื่องจากการเรียงตัวผลึกในแต่ละเซลล์ที่ดีกว่า โดยจะมีประสิทธิภาพการทำงานลดลงอย่างมาก เมื่อทำงานในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงโดยการติดตั้งนั้นจะใช้พื้นที่ประมาณ 7 ถึง 9 ตารางเมตรต่อกิโลวัตต์ นครินทร์ รินผล (2559) [4]

1.3 มาตรวัดอัตราการไหลของน้ำ (Flow Meter) มาตรวัดอัตราการไหลสำหรับในงานวิจัย เป็นมาตรวัดอัตราการไหลแบบกังหัน (Turbine Flow Meter) สามารถแสดงผลด้วยจอแสดงภาพแบบอิเล็กทรอนิกส์ รุ่น FM001 ขนาดความกว้าง 105 มิลลิเมตร และยาว 66 มิลลิเมตร ขนาดความกว้างภายในเส้นผ่านศูนย์กลาง 31 มิลลิเมตร ผลิตจากวัสดุอลูมิเนียม ซึ่งสามารถวัดอัตราการไหลของเหลวที่เป็นน้ำ น้ำมัน ระหว่าง 20-120 ลิตรต่อนาที โดยหลักการทำงานของเครื่องวัดการไหลแบบกังหัน ประกอบด้วยใบพัดที่วางขวางอยู่ในท่อ ซึ่งกังหันนี้จะติดตั้งอยู่บนเพลลาหรือแบร์ริงที่เป็นศูนย์กลางของทิศทางการไหล โดยขนานกับเส้นทางการไหลในขณะที่มีของไหลไหลผ่าน จะทำให้กังหันหมุนด้วยแรงจากของไหล ความเร็วในการหมุนของกังหันนั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของไหลที่ไหลผ่าน จากนั้นจะใช้วิธีการวัดความเร็วของการหมุนของกังหันเพื่อหาความเร็วของของเหลว โดยอาศัยตัวเซ็นเซอร์ที่ต่ออยู่กับตัวโครงสร้าง ซึ่งมีอุปกรณ์เซ็นเซอร์ในการตรวจจับ เช่น ตัวเซ็นเซอร์แม่เหล็ก โดยใช้หลักการหาค่าเฉลี่ยความเร็วในเส้นจุดศูนย์กลางของท่อ เหมาะสำหรับการวัดของไหลที่มีความสะอาดและในช่วงของความเร็วในการไหลที่มีย่านกว้างมากได้ แพ็คโตมาร์ท (2564) [5]

ส่วนที่ 2 ศึกษาออกแบบโครงสร้าง และระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน

1. ศึกษาออกแบบชุดโครงสร้างระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน โครงสร้างที่สำคัญดังรูปที่ 2 ประกอบด้วย (1) โครงสร้างส่วนล้อหลักทำหน้าที่รองรับน้ำหนักตัวรถเข็น และสำหรับเคลื่อนย้ายระบบสูบน้ำ โดยติดตั้งล้อทั้ง 2 ด้าน (ซ้ายและขวา) บนเพลลากลางที่ทำด้วยโลหะกลม ให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกโดยการออกแรงดันไปด้านหน้าหรือดึงถอยหลัง (2) ท่อน้ำออก ระบบแอร์แวน และมาตรวัดอัตราการไหล โดยเมื่อมีปริมาณน้ำที่ออกมาจากเครื่องสูบน้ำจะไหลผ่านท่อน้ำมายังระบบแอร์แวน เพื่อเพิ่มแรงดันน้ำที่อยู่ในท่อให้สูงขึ้นทำให้สามารถส่งน้ำได้ในระยะทางที่เพิ่มขึ้น (3) ด้ามจับเข็นตัวรถสำหรับเคลื่อนย้ายระบบสูบน้ำไปยังสถานที่ที่ต้องการ โดยทำการติดตั้งทางด้านหลังของตัวรถ โดยมีขนาดเท่ากับความกว้างของตัวรถทำให้สะดวกต่อการใช้งาน (4) โครงสร้างส่วนบนสำหรับรองรับแผงโซลาร์เซลล์ สามารถปรับองศาตามองได้ 10-35 องศา เพื่อให้สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ตลอดทุกช่วงเวลา โดยสามารถรองรับแผงแผงโซลาร์เซลล์ได้จำนวน 1 แผง (5) กล่องควบคุมการทำงานหลักของระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้กล่องกันน้ำ เพื่อป้องกันละอองน้ำ และฝุ่นเข้าไปในกล่องควบคุม ภายในติดตั้งติดตั้งฟิวส์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับตัดต่อวงจรไฟฟ้าระบบการทำงาน และอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้า (Surge Protector) เพื่อป้องกันในกรณีที่เกิดไฟกระชอกรุนแรง (6) เครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบหอยโข่งขนาด 250 วัตต์ ท่อน้ำขาเข้า และขาออกขนาด 1 นิ้ว โดยทำการติดตั้งในส่วนด้านหน้าของตัวรถ ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน



รูปที่ 2 แบบจำลองโครงสร้างระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์

ลำดับที่ (7) โครงสร้างระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์ส่วนหน้าทำมุมเอียงไปทางด้านหน้า เพื่อรองรับปริมาณน้ำแผงโซลาร์เซลล์ให้ถ่ายเทไปยังส่วนหน้า เมื่อทำการปรับตั้งมุมองศาแผงโซลาร์เซลล์ อีกทั้งยังช่วยให้รถไม่เอียงมาทางด้านหลังอีกด้วย (8) ล้อหน้าสำหรับค้ำยันพื้นด้านหน้ารถไม่ให้เอียง โดยมีขนาดล้อที่เล็กกว่าโครงสร้างส่วนล้อหลัก โดยจะยังทำหน้าที่ช่วยประคองรถขณะเคลื่อนย้ายอีกด้วย

2. ศึกษาและออกแบบชุดควบคุมกระแสไฟฟ้าระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน ดังนี้

1. ขนาดแผงโซลาร์เซลล์ เนื่องจากความต้องการของเครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 250 วัตต์ เริ่มทำงานตามคุณลักษณะที่ระบุไว้มีความต้องการแรงดันไฟฟ้าขณะทำงานอยู่ระหว่าง 10-55 โวลต์ โดยเริ่มทำงานที่แรงดัน 10 โวลต์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้แผงขนาด 400 วัตต์ ดังนี้

ค่าแรงดันแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 400 วัตต์ = 49.00 โวลต์ (±ร้อยละ 5)

ค่ากระแสแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 400 วัตต์ = 10.17 แอมแปร์ (±ร้อยละ 5)

ดังนั้น ขนาดของแรงดันและกระแสแผงโซลาร์เซลล์ที่เหมาะสมต่อการใช้งานมีค่าเท่ากับ 49 โวลต์ (ไม่เกินคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ) และค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 10.17 แอมแปร์ จำนวน 1 แผง โดยสังเกตที่ค่า VOC (Open-Circuit Voltage) และค่า ISC (Short Circuit Current) ของแผงโซลาร์เซลล์ ตามลำดับ

2. ปริมาณค่าแรงดัน และกระแสไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำปริมาณแรงดันไฟฟ้าขณะทำงานอยู่ในช่วงระหว่าง 10-55 โวลต์ และปริมาณค่ากระแสที่ต้องการ 11 แอมแปร์ ดังนั้นแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 400 วัตต์ จึงมีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้งาน เนื่องจากไม่เกินคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ โดยสามารถคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าได้ ดังต่อไปนี้

$$W = (\text{กำลังการผลิตของแผงโซลาร์เซลล์} \times 5) / 1,000$$

เมื่อ

W คือ จำนวนขนาดการผลิตกระแสไฟฟ้าใน 1 วัน (วัตต์)

เมื่อต้องการหาขนาดการผลิตกระแสไฟฟ้าใน 1 วัน สามารถคำนวณได้ ดังนี้

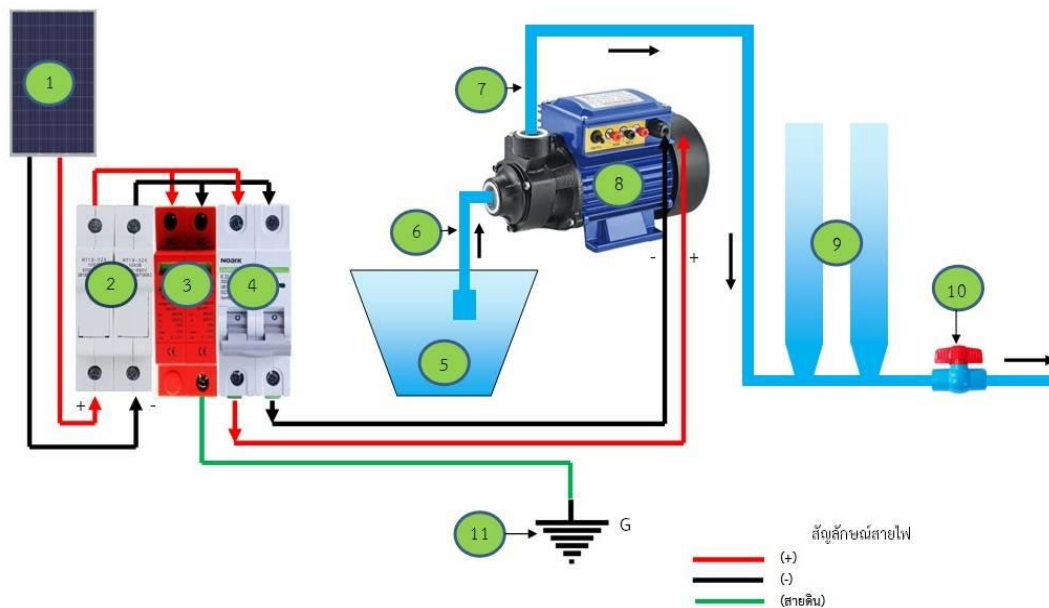
$$W = (400 \times 5)$$

$$= 2,000 \text{ วัตต์ หรือ 2 ยูนิตต่อวัน}$$

ดังนั้น แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 400 วัตต์ จำนวน 1 แผง สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เท่ากับ 2 ยูนิตต่อวัน หรือ 60 ยูนิตต่อเดือน สามารถประหยัดค่ากระแสไฟฟ้าในการสูบน้ำในช่วงเวลากลางวันได้เป็นเงิน 270 บาทต่อเดือน คำนวณจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ 4.5 บาท ต่อยูนิต รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2564) [6]

ส่วนที่ 3 การติดตั้งระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน

การติดตั้งระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน สามารถออกแบบวงจรการเชื่อมต่อดังรูปที่ 3 โดยติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 400 วัตต์ เครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 250 วัตต์ นอกจากนั้นยังได้มีติดตั้งอุปกรณ์อื่น ๆ ประกอบด้วย ฟิวส์ เบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรง อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้า (Surge Protector) และวัตต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 3 วงจรการเชื่อมต่อระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์

สามารถอธิบายแผนผังการเชื่อมต่อระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน ได้ดังนี้ (1) โดยเมื่อมีความเข้มแสงตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 400 วัตต์ ทำให้เกิดแรงดัน และกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบ โดยผ่าน (2) ฟิวส์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้งขั้วบวก (+) และขั้วลบ (-) ผ่าน (3) อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้ากระแสตรงก่อนเข้าระบบด้วย (4) เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าให้กับ (8) เครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 250 วัตต์ ทำให้เกิดแรงดูด (5) แหล่งน้ำดิบ โดยเป็นลักษณะแหล่งน้ำระดับผิวดิน ด้วย (6) ท่อขนาด 1 นิ้ว ผ่านฟุตวาล์ว (วาล์วหัวกะโหลก) ส่งน้ำไปยังท่อทางออก (7) เพื่อลำเลียงน้ำผ่านท่อขนาด 1 นิ้ว ก่อนเข้าระบบ (9) แอร์แวน เพื่อเพิ่มแรงดันให้กับเครื่องสูบน้ำ ทำให้สามารถส่งน้ำไปได้ระยะทางไกลขึ้น ผ่าน (10) วาล์วน้ำขนาด 1 นิ้ว เพื่อทำหน้าที่เปิดและปิดการจ่ายปริมาณน้ำ โดยการติดตั้งสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง และควรได้รับการเชื่อมต่อ คือ (11) ระบบกราวด์ เนื่องจากเป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรงอาจจะมีกระแสไฟฟ้ารั่วตามอุปกรณ์ต่าง ๆ จึงควรเชื่อมต่อบริการกราวด์ตั้งแต่แผงโซลาร์เซลล์ และอุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมเพื่อป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้ารั่วอีกด้วย และเป็นไปตามมาตรฐานการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา วสท. 022013-59 เรื่อง มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศ: โดยระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2561) [7]

ส่วนที่ 4 วิเคราะห์และประเมินผลประสิทธิภาพการใช้งานระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน

หลังจากดำเนินการจัดสร้างระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือนแล้ว ดำเนินการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำที่ได้จากเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ตั้งแต่วันที่ 08.00 น.-17.00 น. โดยการปรับระดับความเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30 องศา ในช่วงอุณหภูมิโดยเฉลี่ย 32-35 องศาเซลเซียส เพื่อหาปริมาณน้ำสูงสุดที่ได้ใน 1 วัน วัดค่าความเข้มแสง แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ได้โดยเฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง จำนวน 3 ครั้ง ประเมินประสิทธิภาพในด้านพลังงาน ประสิทธิภาพระบบ ฯ การใช้งาน ต้นทุนที่ใช้สร้าง และสมรรถนะการใช้งาน

4. ผลการวิจัย

1. ผลการจัดสร้างระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน

โครงสร้างของระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน พบว่า โครงสร้างระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์มีขนาดความกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 135 เซนติเมตร และสูง 70 เซนติเมตร เมื่อทำการติดตั้งล้อหลักขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 17 นิ้ว ทำให้ตัวรถสูงจากระดับพื้น 32 เซนติเมตร ลักษณะภายนอกและภายใน สามารถเดินลมได้ในเวลาที่แรงดันภายในล้อลดลง ส่วนล้อด้านหน้ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นิ้ว สูงจากระดับพื้น 28.5 เซนติเมตร ลักษณะเป็นแบบยางตันยึดด้วยแผ่นเหล็กทำมุมเอียง 45 องศา โครงสร้างของตัวรถสร้างด้วยโลหะกล่องชุบซิงค์ป้องกันการกัดกร่อนขนาด 1x2 นิ้ว มาเป็นโครงสร้างทั้งหมด เพลากลางสำหรับติดตั้งล้อ ใช้โลหะกลมขนาด 1 นิ้ว โดยนำมาเข้าเครื่องกลึงเพื่อติดตั้งดุมล้อ และนำแผ่นเหล็กมาเจาะรูกลางสำหรับยึดเพลากลางกับโครงสร้างของตัวรถ ด้านท้ายรถใช้โลหะกล่องชุบซิงค์ขนาด 1x1 นิ้ว มาเชื่อมต่อกับโครงสร้างของตัวรถให้สามารถเคลื่อนที่ได้ โครงสร้างด้านหน้ารถเอียงทำมุม 110 องศา เพื่อถ่ายเทน้ำหนักไปยังล้อด้านหน้าของตัวรถดังรูปที่ 4 โดยการป้องกันการกัดกร่อนของโครงสร้างที่เป็นโลหะ ทำการทาสีกันสนิม และปกปิดรอยเชื่อมด้วยสีบรอนซ์เงินชนิดกันน้ำ ซึ่งลักษณะการใช้งานระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์ ต้องอยู่ในสถานที่กลางแจ้งมีโอกาสที่จะเกิดคราบสนิมได้



รูปที่ 4 โครงสร้างระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์

การติดตั้งกล่องควบคุมระบบควบคุมระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า อุปกรณ์ที่ควบคุมระบบการทำงานจะถูกติดตั้งลงในกล่องเหล็กกันน้ำพร้อมช่องระบายความร้อน แบบติดตั้งภายนอกอาคารขนาดความกว้าง 35 เซนติเมตร ยาว 52 เซนติเมตร และลึก 17 เซนติเมตร โดยทำการติดตั้งฟิวส์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 32 แอมแปร์ 1,000 โวลต์ เซอร์กิตเบรก

เกอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 32 แอมแปร์ 440 โวลต์ อุปกรณ์ป้องกันไฟกระชอกทางไฟฟ้า (Surge Protector) ขนาด 20 กิโลแอมแปร์ 1,000 โวลต์ ชุดเทอร์มินอลขนาด 25 แอมแปร์ 600 โวลต์ มอนิเตอร์แสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าขนาด 100 แอมแปร์ 100 โวลต์ สวิตช์แบบปรับหมุนขนาด 6 แอมแปร์ 250 โวลต์ และไฟโซลาร์สถานะในตำแหน่ง ปิด และตำแหน่งเปิดขนาด 27 มิลลิแอมแปร์ 24 โวลต์ ซึ่งภายในถูกเชื่อมต่อด้วยสายไฟขนาด 1x2.5 ตารางมิลลิเมตร

การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ พบว่า บริเวณสำหรับติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ของระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์ อยู่ในสวนบนสุดของโครงสร้างเพื่อป้องกันแสงแดดส่องกระทบโดยตรงยังเครื่องสูบน้ำ และระบบท่อส่งน้ำโดยตรง โดยสามารถปรับมุมมองแผงโซลาร์เซลล์ใช้งานได้ตั้งแต่ 10 ถึง 35 องศา แผงโซลาร์เซลล์จะถูกยึดเข้ากับเหล็กกล่องขนาด 1x2 นิ้ว ขนาดความกว้าง 100 เซนติเมตร และยาว 135 เซนติเมตร ด้านหน้าของโครงสร้างรองรับแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งบานพับให้สามารถปรับตำแหน่งได้ ส่วนด้านหลังนำเหล็กแผ่นขนาดความกว้าง 1.5 นิ้ว หนา 0.5 เซนติเมตร มาเจาะร่องค้ำยัน เพื่อให้สามารถล็อกตำแหน่งมุมเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ได้ ซึ่งจะสามารถรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ทุกช่วงเวลา ตลอดทั้งวัน

2. ผลการวิเคราะห์ทดสอบระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน

1. การศึกษาการใช้งานระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน มีขั้นตอนเตรียม โดยต่อท่อดูดน้ำสายอ่อนขนาด 1 นิ้ว พร้อมฟุตวาล์ว (วาล์วหัวกะโหลก) เข้ากับเครื่องสูบน้ำ ทำการกรอกน้ำให้เต็มท่อดูด เชื่อมต่อสายไฟสายเข้ากับขั้วต่อของแผงโซลาร์เซลล์ให้ตรงขั้ว (+,-) เนื่องจากเป็นไฟฟ้ากระแสตรง อาจเกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ และวงจรที่เชื่อมต่อได้ดังรูปที่ 5 โดยสามารถปรับระดับองศาแผงโซลาร์เซลล์ให้อยู่ในช่วง 10-30 องศา ให้สามารถรับแสงแดดในช่วงเวลากลางวันระหว่าง 08.00-17.00น. เนื่องจากเครื่อง สูบน้ำจะใช้กระแสไฟฟ้าโดยตรงจากแผงโซลาร์เซลล์



รูปที่ 5 ระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน

การใช้งานเริ่มต้นโดยการหันด้านหน้าแผงโซลาร์เซลล์ไปยังทิศใต้ เปิดสวิตช์เบรกเกอร์ที่อยู่ภายในกล่องควบคุม และทำการปิดสวิตช์เปิดการทำงานของระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์ไปที่ตำแหน่ง “ON” เพื่อเปิดระบบให้วงจรภายในกล่องควบคุมทำงาน สังเกตไฟแสดงสถานะการทำงานจะเปลี่ยนจากตำแหน่งสีแดง มาอยู่ในตำแหน่งสีเขียวพร้อมที่จะทำงาน มาตรวัดจะแสดงผลในส่วนค่าแรงดัน ค่ากระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ เครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านขนาด 250 วัตต์ ต่อร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 400 วัตต์ จะเริ่มทำงานเมื่อมีแรงดันที่ระดับ 10 โวลต์ เป็นต้นไป ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์ ปริมาณน้ำจะไหลผ่านท่อแอร์ว เพื่อเพิ่มแรงดันภายใน โดยจะมีระดับอัตราการไหลของปริมาณน้ำที่แตกต่างกันและแต่ละช่วงเวลา อัตราการไหลสูงสุดที่ 34 ลิตรต่ออนาที หรือ 2,000 ลิตรต่อชั่วโมง โดยเมื่อปั๊มหยุดทำงานจะมีอุปกรณ์ป้องกันการไหลย้อนกลับ (Check

Valve) เพื่อให้เครื่องสูบน้ำทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยขณะเครื่องสูบน้ำทำงานหากมีเงาบังแผงโซลาร์เซลล์ ก็จะส่งผลให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าลดลง ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบด้วย

2. ผลการวิเคราะห์ระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน การทดสอบระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน พบว่า การทดสอบดำเนินการโดยการเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 08.00น. ถึง 17.00น. เฉลี่ย 6 ครั้งใน 1 ชั่วโมง จำนวน 3 ครั้ง โดยการปรับระดับความเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ 3 ระดับ 10, 20 และ 30 องศา เพื่อหาปริมาณน้ำสูงสุดที่ได้ใน 1 วัน บันทึกปริมาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ปริมาณความเข้มแสงที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ และปริมาณน้ำที่ได้จากมาตรวัดอัตราการไหล บันทึกผลที่ได้ตั้งตารางที่ 1

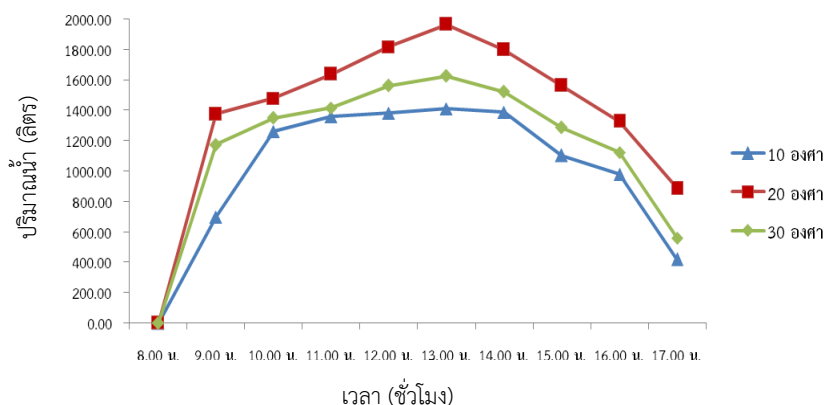
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตามระดับความเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ (ลิตรต่อชั่วโมง)		
	10 องศา	20 องศา	30 องศา
08.00น.	0.00	0.00	0.00
09.00น.	968.89	1,374.32	1,173.43
10.00น.	1,261.10	1,479.02	1,348.40
11.00น.	1,359.26	1,637.03	1,416.55
12.00น.	1,381.56	1,818.55	1,561.42
13.00น.	1,411.18	1,965.74	1,624.10
14.00น.	1,387.42	1,798.65	1,522.55
15.00น.	1,101.64	1,562.81	1,287.97
16.00น.	979.84	1,325.98	1,124.00
17.00น.	418.45	886.43	560.01

ผลการวิเคราะห์ทดสอบระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือนที่ระดับความเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ 10 องศา พบว่า ปริมาณน้ำเริ่มต้นที่ระดับ 0 ชั่วโมงต่อลิตร มีปริมาณค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เท่ากับ 16.78 โวลต์ 3.48 แอมแปร์ และ 58.20 วัตต์ ตามลำดับ วัดระดับความเข้มแสงด้วยเครื่องมือทดสอบความเข้มแสง (Light Intensity Meter) ยี่ห้อ UNIT-T รุ่น UT383 ปริมาณความเข้มแสงเริ่มต้นเวลา 08.00 น. มีค่าเท่ากับ 36,342 ลักซ์ เมื่อระยะเวลาผ่านไป ปริมาณความเข้มแสงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก สามารถวัดปริมาณน้ำสูงสุดที่เวลา 13.00 น. เท่ากับ 1,411.18 ลิตรต่อชั่วโมง ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เท่ากับ 24.76 โวลต์ 6.84 แอมแปร์ และ 186.59 วัตต์ ปริมาณความเข้มแสงสูงสุดที่ระดับ 110,056 ลักซ์ โดยความลาดเอียงแผงโซลาร์เซลล์ที่ น้อยกว่า 15-20 องศา ทำให้ได้ปริมาณกำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ไม่เต็มประสิทธิภาพตามคุณลักษณะทั่วไป และจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำที่ได้ลดลงเมื่อระยะเวลาหลังจาก 14.00 น. ดังรูปที่ 6 กราฟจะมีลักษณะเป็นรูปพาลาโบลา เนื่องมาจากปริมาณความเข้มแสงลดลง โดยมีปริมาณน้ำที่ได้ในเวลา 17.00 น. ที่ระดับ 418.45 ลิตรต่อชั่วโมง ระดับความเข้มแสง 34,215 ลักซ์ ปริมาณ ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เท่ากับ 15.50 โวลต์ 2.47 แอมแปร์ และ 31.37 วัตต์ ตามลำดับ ปริมาณน้ำเฉลี่ยสะสมตลอดทั้งวันเท่ากับ 10,269.34 ลิตร หรือ 10.27 คิวต่อวัน

ผลการวิเคราะห์ทดสอบระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือนที่ระดับความเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ 20 องศา พบว่า ปริมาณค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเริ่มต้นเท่ากับ 17.81 โวลต์ 5.09 แอมแปร์ และ 89.70 วัตต์ ตามลำดับ และเมื่อระยะเวลาผ่านไป สามารถวัดค่าปริมาณน้ำสูงสุดได้สูงสุดในเวลาช่วง 13.00 น. ที่ระดับ 1,965.74 ลิตรต่อชั่วโมง เนื่องมาจากมีปริมาณความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์สูงสุด ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่

มาอยู่ในตำแหน่งตั้งฉากกับแผงโซลาร์เซลล์ ทำให้สามารถวัดค่าปริมาณค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 34.82 โวลต์ 10.85 แอมแปร์ และ 376.58 วัตต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับคุณลักษณะของมอเตอร์สูบน้ำที่สามารถรับกระแสได้สูงสุดที่ระดับ 11 แอมแปร์ โดยปริมาณน้ำที่ได้จะมีปริมาณลดลงหลังจากระยะเวลา 14.00 น. เนื่องมาจากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก ดังรูปที่ 6 กราฟจะมีลักษณะเป็นรูปพลาโบลา โดยมีปริมาณน้ำที่ได้ในเวลา 17.00 น. ที่ระดับ 886.43 ลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณ ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เท่ากับ 17.14 โวลต์ 4.05 แอมแปร์ และ 66.70 วัตต์ ตามลำดับ และยังได้ค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยสะสมตลอดทั้งวันเท่ากับ 13,484 ลิตร หรือ 13.85 คิวต่อวัน โดยหากไม่มีเงาบังแผงโซลาร์เซลล์ก็จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เครื่องสูบน้ำทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของระยะเวลา และปริมาณน้ำตามระดับความเอียงของแผงโซลาร์เซลล์

ผลการวิเคราะห์ทดสอบระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือนที่ระดับความเอียงของแผงโซลาร์เซลล์ 30 องศา ซึ่งเป็นระดับความเอียงมากกว่าข้อกำหนด (วสท. 022013 - 59) พบว่า ปริมาณค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเริ่มต้นเท่ากับ 17.33 โวลต์ 4.23 แอมแปร์ และ 73.40 วัตต์ ตามลำดับ และเมื่อระดับความเข้มแสงสูงสุดเวลา 13.00 น. สามารถวัดค่าปริมาณน้ำได้ที่ระดับ 1,624.10 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถวัดค่าปริมาณค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ 27.15 โวลต์ 8.73 แอมแปร์ และ 281.66 วัตต์ ตามลำดับ ซึ่งระดับความเอียงที่มากขึ้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ เนื่องจากมุมที่ตกกระทบเกิดการหักเหของระดับความเข้มแสง โดยปริมาณน้ำที่ได้จะมีระดับปริมาณลดลงหลังจากระยะเวลา 14.00 น. จากการโคจรของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก ดังรูปที่ 6 กราฟจะมีลักษณะเป็นรูปพลาโบลา โดยมีปริมาณน้ำที่ได้ในเวลา 17.00 น. ที่ระดับ 560.01 ลิตรต่อชั่วโมง ปริมาณ ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เท่ากับ 16.78 โวลต์ 3.84 แอมแปร์ และ 51.71 วัตต์ ตามลำดับ ปริมาณน้ำเฉลี่ยสะสมตลอดทั้งวันเท่ากับ 11,618.43 ลิตร หรือ 11.62 คิวต่อวัน

ผลการวิเคราะห์ระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน พบว่า ปริมาณความเข้มแสงจะมีผลต่อปริมาณน้ำที่ได้ในแต่ละช่วงเวลา โดยลักษณะการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก และเคลื่อนที่อ้อมไปทางทิศใต้ จารุวรรณ พิพัฒน์พชรพันธ์ (2564) [8] ซึ่งแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 400 วัตต์ ต่อร่วมกับเครื่องสูบน้ำขนาด 250 วัตต์ ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์หันไปทางทิศใต้ให้มีความเอียง 3 ระดับ 10, 20 และ 30 องศา ตามลำดับ โดยในช่วงเวลา 13.00 น. มีปริมาณน้ำสูงสุดทั้ง 3 ระดับเท่ากับ 1,411.18, 1,965.74, 1,624.10 ลิตรต่อชั่วโมง โดยที่ระดับความเอียง 20 องศา เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด มีค่าปริมาณน้ำที่ได้ต่อวันเท่ากับ 13,848 ลิตร หรือ 13.85 คิวต่อวัน เนื่องจากลักษณะติดตั้งด้านหน้าแผงโซลาร์เซลล์ทำมุมในทิศทางตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ สามารถรับปริมาณความเข้มแสงมากที่สุดตลอดระยะเวลา 08.00-17.00 น. โดยหากแผงโซลาร์เซลล์ติดตั้งให้สามารถรับปริมาณความเข้มแสงได้สูง แผงโซลาร์เซลล์ก็จะผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาเต็มประสิทธิภาพส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำสูงตลอดวัน สอดคล้องกับ ศรายุทธ

จิตรพัฒนานกุล กฤษณะ จันทสิทธิ์ และธีรวัฒน์ ชื่นอัสตงค์ (2563) [9] ได้ศึกษาพัฒนาระบบปั๊มลมพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานปั๊มลมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้ภาชนะบรรจุลมขนาด 36 ลิตร ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor) 24 โวลต์ 350 วัตต์ ที่ความเร็วรอบ 500 รอบต่อนาที ทำงานร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 325 วัตต์ จำนวน 1 พบว่าหลังติดตั้งทดสอบการทำงานในช่วงเวลา 08.00น. ถึง 17.00น. โดยเฉลี่ย 6 ครั้ง ใน 1 ชั่วโมง ช่วงเวลาการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือช่วงเวลา 13.00น. ใช้ระยะเวลาการบรรจุลมลงในภาชนะขนาด 36 ลิตรด้วยเวลา 7.42 นาที ด้วยแรงดัน 36.85 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 7.23 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้า 259.26 วัตต์ และความเร็วรอบ 426.80 รอบต่อนาที

3. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน ทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างเครื่องสูบน้ำไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 250 วัตต์ ยี่ห้อ Hitachi รุ่น WM-P250XX กับเครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ดังแสดงผลในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ กับเครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบบไร้แปรงถ่าน

ปัจจัยที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	เครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	เครื่องสูบน้ำมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน
1. ด้านพลังงาน		
1.1 กำลังงานไฟฟ้ารวม (วัตต์)	¼ Hp หรือ 250	250
1.2 ค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	220	10-55
1.3 ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	2.5-3	11
2. ด้านประสิทธิภาพระบบสูบน้ำ		
2.1 ปริมาณน้ำ (ลิตรต่อชั่วโมง)	3,240 (54 ลิตร/นาที)	2,000 (34 ลิตร/นาที)
2.2 ระยะดูดลึก (เมตร)	8	8
2.3 ระยะส่งแนวราบ (เมตร)	18	28
2.4 วัสดุของใบพัด	ทองเหลือง	ทองเหลือง
3. ลักษณะการใช้งานเครื่องสูบน้ำ		
3.1 แหล่งกำเนิดพลังงาน	ไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	แผงโซลาร์เซลล์ 400 วัตต์
3.2 ลักษณะการใช้งาน	ต่อกับปลั๊กไฟ	แสงแดด
3.3 การควบคุมการทำงาน	Pressure Switch	กล่องควบคุม
3.4 มอนิเตอร์แสดงผล	วัตต์มิเตอร์	วัตต์มิเตอร์
3.5 ค่ากระแสไฟฟ้า/การสูบน้ำ	48.6 บาท/วัน	ไม่มี
3.6 เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อน้ำทางเข้า/ออก	1 นิ้ว	1 นิ้ว
4. ต้นทุนในการสร้างระบบ ฯ (เครื่องสูบน้ำ)	6,930 บาท	7,290 บาท
5. สมรรถนะการใช้งาน	มากกว่า	น้อยกว่า

5. สรุปและอภิปรายผล

ระบบสูบน้ำเคลื่อนที่พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับชุมชนฐานรากในระดับครัวเรือน จะมีค่าความเข้มแสงสูงสุดในช่วงเวลา 13.00น. โดยมีปริมาณน้ำที่ได้ต่อชั่วโมงสูงสุดจากระดับความเอียงแผงโซลาร์เซลล์ 3 ระดับ (10, 20 และ 30 องศา) พบปริมาณน้ำสูงสุดที่ระดับ 1,411.18, 1,965.74 และ 1,624.10 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งระดับที่เหมาะสมต่อการใช้งาน คือ ที่ระดับความเอียง 20 องศา ได้ปริมาณน้ำสูงสุดต่อวัน 13,848 ลิตร หรือ 13.85 คิวต่อวัน สอดคล้องกับ ทวีศักดิ์ ทองแสน ชัยวัฒน์ เย็นศิริ และสิวา สมอแข็ง (2560) [10] จัดสร้างเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 250 วัตต์ ได้ปริมาณน้ำ 880 ลิตรต่อชั่วโมง โดยระบบดังกล่าวเหมาะสมกับการนำไปใช้ในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากไม่มีค่ากระแสไฟฟ้า อีกทั้งระบบฯ ยังดูแลรักษาง่าย ช่วยส่งเสริมการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศลง เป็นต้นแบบของภาคเกษตรกรรมที่ใช้น้ำในปริมาณไม่มาก และยังเป็นการอนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากโซลาร์เซลล์เป็นพลังงานสะอาด

6. ข้อเสนอแนะ

1. ควรติดตั้งใช้งานในบริเวณที่ไม่มีเงาบังต้นไม้ และมีสิ่งกีดขวางใด ๆ เนื่องจากจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง
2. ควรมีการศึกษาการเพิ่มแบตเตอรี่สำหรับเก็บกระแสไฟฟ้า และสำรองในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแดด ซึ่งจะเป็นการช่วยให้มอเตอร์ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563 พฤศจิกายน 25). คู่มือเทคโนโลยีที่เหมาะสมโครงการศึกษาพัฒนาต้นแบบชุมชนพลังงานทดแทน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=42136
- [2] มูลนิธิชัยพัฒนา. (2563 พฤศจิกายน 26). ความหมายของเศรษฐกิจพอเพียง, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.chaipat.or.th/site_content/item/3579-2010-10-08-05-24-39.html
- [3] ชวกร รุ่งทวีชัย และอนุรักษ์ ตาคำ. “การติดตั้งปั๊มน้ำโซลาร์เซลล์สำหรับการเกษตรเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”. ปรินญาณินท์ วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2562.
- [4] นครินทร์ รินผล. “คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์เบื้องต้น”. จรัสสินทวงศ์การพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2559.
- [5] แฟ็คโตมาร์ท. (2564 พฤศจิกายน 6). ประเภทของ Flow Meter, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://mall.factomart.com/type-of-flow-meter>
- [6] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (20 กรกฎาคม 2564). อัตราค่าไฟฟ้า-การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.pea.co.th/Portals/0/demand_response/Electricity%20Reconsider.pdf?ver=2018-10-01-155123-370.
- [7] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. “มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย: ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา”. พิมพ์ครั้งที่ 2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2561.
- [8] จารุวรรณ พิพัฒน์พุทธพันธ์. (2564 พฤศจิกายน 4). ตำแหน่งของทิศที่ควรติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์, แหล่งที่มา: https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=55175
- [9] ศรายุทธ จิตรพัฒนากุล ฤกษ์ชนะ จันทสิทธิ์ และธีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต. “ระบบปั๊มลมพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก”. วารสารวิจัยไร่ไพรรณี, 14(2), 2563, 43-54.
- [10] ทวีศักดิ์ ทองแสน ชัยวัฒน์ เย็นศิริ และสิวา สมอแข็ง. “เครื่องสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์”. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, 2560.

การศึกษาปัญหา วิธีแก้ไขปัญหาและป้องกันในการติดตั้งระบบสุขาภิบาลของอาคารสูงหรือขนาดใหญ่พิเศษ

PROBLEM STUDY SOLUTION AND PREVENTION IN THE INSTALLATION OF SANITARY SYSTEMS OF HIGH-RISE OR EXTRA-LARGE BUILDINGS

เมืองแก้ว ยุตัน^{1*} สัญญา สิริวิทยาปกรณ²

Muangkaew Yutan¹ Sanya Sirivithayapakorn²

^{1*} นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

² อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

* Corresponding author, E-mail: ting_yutan@yahoo.com

Received: 25 November 2021

Revised: 21 March 2022

Accepted: 6 April 2022

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการก่อสร้างอาคารสูงหรือขนาดใหญ่พิเศษเป็นที่พักอาศัยและสำนักงานเมื่อมีการก่อสร้างอาคารต้องมียานระบบสุขาภิบาล ดังนั้นการติดตั้งงานระบบสุขาภิบาลซึ่งจะต้องเจออุปสรรคปัญหาต่าง ๆ มีผลกระทบต่อความเสียหายต่อการดำเนินงาน จึงมีการกำหนดแนวทางที่จะลดปัญหาข้อบกพร่องให้น้อยลง อันที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงการต่อไปโดยในนี้จะมีการศึกษาปัญหาวิธีการแก้ไขปัญหาและป้องกัน โดยมีการรวบรวมข้อมูลปัญหา สาเหตุ ส่งไปในการกระบวนการขั้นตอนตรวจสอบโดยมีการแบ่งออกเป็น 2 ตอนคือช่วงตอนออกแบบและก่อสร้างเมื่อได้ข้อมูลออกมาก็นำไปวิเคราะห์หาสาเหตุ มีผลกระทบของปัญหาดังกล่าว 2 แบบคือเวลาทำงานกับงบประมาณ โดยแบ่งความรุนแรงเป็น 3 ระดับ

ผลจากการศึกษา ปัญหาที่พบมากส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในช่วงตอนก่อสร้างที่ขั้นตอนที่ 1 (งานเตรียมงาน), 3 (งานฐานราก), 5 (งานสนาม) เกือบทุกประเภทอาคารมีผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย), 3 (มาก) มีค่าความถี่ร้อยละ 18.18 – 27.25 และปัญหาที่พบมากที่สุดมีค่าความถี่สูงสุดร้อยละ 37.5 ที่ช่วงขั้นตอนออกแบบเกิดขึ้นที่ขั้นตอนที่ 3 (การออกแบบ) ของอาคารประเภทโรงงานมีผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง), 3 (มาก) ส่วนปัญหาที่พบน้อยที่สุดและบางอาคารไม่พบปัญหาเลยเกิดขึ้นที่ช่วงตอนออกแบบขั้นตอนที่ 1 (สำรวจ), 2 (กฎหมายและกฎเกณฑ์) เป็นผลกระทบทั้งด้านเวลาและงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง), 3 (มาก)

คำสำคัญ: ระบบสุขาภิบาล, อาคารสูงหรือขนาดใหญ่พิเศษ, ผลกระทบ, ระยะเวลาทำงาน, งบประมาณ

Abstract

At present, high-rise buildings or extra-large buildings are being constructed as residences and offices. When building constructions, the sanitation systems are installed which will encounter obstacles, problems that affect the working practice. Therefore, guidelines were set to reduce the problem of defects to a lesser extent. Which will cause damage to the project in the future, where there will be a study of the problem, how to fix it and prevent it. by collecting problem and cause data into the process of checking which is divided into 2 phases: the design and construction phases. There are two kinds of consequences from the problems that affecting the working time and the budget. The consequences are divided into 3 levels of severity

The study results indicated that the most common problems occurred during the construction phase at stages 1, 3, and 5. Almost all building types had a time impact of severity of 2 (midium) and 3(high) with a frequency of 18.18 - 27.25 percent. The most common problem, with a maximum frequency of 37.5 percent was found in the design phase occurred at stage 3 of the factory building with a time impact of 2 (midium) and 3(high). The least common problems and some buildings did not encounter any problems occurred at the design stage 1 and 2, with both time and budget impacts, with severity levels of 2 (midium) and 3(high).

Keywords: Sanitary System, High-Rise or Extra-Large Buildings, Impact, Time, Budget

1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีการก่อสร้างอาคารประเภทต่าง ๆ เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากตามการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นจำนวนประชากรที่ต้องการที่พักอยู่อาศัย ซึ่งอาคารแต่ละประเภทก็มีเงื่อนไขหรือปัจจัยในการก่อสร้างซับซ้อนมากขึ้นแตกต่างกันไปโดยมีการพัฒนาการรูปแบบโครงสร้างและสถาปัตยกรรมหลากหลายตามยุคสมัยที่มีความเจริญก้าวหน้าเข้ามาและทางเทคโนโลยีงานระบบประกอบอาคารไปด้วยกัน งานระบบประกอบอาคารซึ่งจะมีงานด้านเครื่องกลและไฟฟ้า (Mechanical & Electrical Systems) เป็นส่วนจำเป็นต้องจัดให้มีใน ปัญหาที่เกิดขึ้นของงานติดตั้งระบบสุขาภิบาลในอาคารสาเหตุส่วนใหญ่เริ่มมาจากการวางแผนและการออกแบบและรองลงมาคือมาจากการติดตั้งและอาจรวมไปถึงความไม่ชำนาญงานและความผิดพลาดของผู้ที่เกี่ยวข้องด้วย โดยทั่วไปแล้วเป็นประโยชน์ต่อวิศวกรเป็นอย่างยิ่งในอันที่จะเรียนรู้ถึงรายละเอียดของปัญหาต่าง ๆ ทั้งเล็กและใหญ่ เพื่อป้องกันมิให้กระทำผิดอย่างเดียวกันอีก สุรินทร์ เศรษฐมานิต และ ทาเคโอะ มอริมุระ (2550) [1]

ระบบสุขาภิบาลเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตมนุษย์ ทั้งในการอุปโภคและบริโภค อยู่เกือบตลอดเวลา ดังนั้นถือได้ว่าระบบสุขาภิบาลเป็นระบบที่ขาดไม่ได้สำหรับเป็นองค์ประกอบสำหรับอาคาร เกชา ชีระโกเมน, เกียรติ อัครพงศ์, วันชัย บัณฑิตกฤษดา, วิโรจน์ ตั้งธนาพลกุล และสุรสิทธิ์ ทองจันทร์พัย (2539) [2]

ระบบสุขาภิบาลภายในและภายนอกอาคารมีอยู่ด้วยกัน 7 ระบบ ได้แก่ 1) ระบบน้ำดี (หรือน้ำประปา) Cold water pipe system เป็นระบบท่อที่ใช้งานในการลำเลียงน้ำสะอาดไปใช้งานตามจุดต่าง ๆ ที่ต้องการใช้ภายในอาคาร 2) ระบบระบายน้ำโสโครก Soil pipe system เป็นระบบท่อนำน้ำเสียที่ถูกใช้งานจากโถส้วม หรือโถปัสสาวะออกจากพื้นที่และนำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียก่อนระบายออกนอกอาคาร 3) ระบบระบายน้ำทิ้ง Waste pipe system เป็นระบบท่อนำน้ำเสียที่ถูกใช้งานจากกิจกรรมอื่น ๆ ออกจากพื้นที่ และนำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียก่อนระบายออกนอกอาคาร 4) ระบบบำบัดน้ำเสีย Wastewater treatment system เป็นระบบที่ใช้บำบัดน้ำจากการใช้งานภายในอาคาร ให้มีค่าดัชนีวัดค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของน้ำ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดก่อนระบายออกสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะ 5) ระบบท่อระบายอากาศ Vent pipe system หรือเรียกสั้น ๆ ว่าท่ออากาศ ระบบท่อ vent นี้จะติดตั้งเข้ากับระบบท่อระบายน้ำป้องกันปัญหาสภาวะอากาศในเส้นท่อระบายน้ำ ทำให้ระบบระบายน้ำในเส้นท่อสามารถระบายน้ำได้สะดวก 6) ระบบท่อระบายน้ำฝน Rain drainage pipe system ระบบท่อที่ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำฝนที่เกิดขึ้นกรณีฝนตก ออกจากตัวอาคาร 7) ระบบระบายน้ำภายนอกอาคาร Building sewer system เป็นระบบท่อระบายน้ำบริเวณโดยรอบของอาคาร ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำออกจากบริเวณอาคารเข้าสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะ นิพนธ์ ลักษณะอดิศร [3] อาคารสูง หมายความว่า อาคารที่บุคคลเข้าใช้สอยมีความสูงตั้งแต่ 23 เมตรขึ้นไป อาคารขนาดใหญ่พิเศษ หมายความว่า อาคารที่อยู่อาศัยหลังเดียวกันมีพื้นที่ตั้งแต่ 10,000 ตร.ม.ขึ้นไป กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารที่เกี่ยวข้อง [4]

ลักษณะปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นของระบบสุขาภิบาลในอาคารของโครงการก่อสร้างอาคารที่ทำให้เกิดผลกระทบหลายอย่างที่เกิดปัญหาเป็นความเสียหายต่อโครงการและยังโดนค่าปรับที่ล่าช้าที่เลยกำหนดเวลาแล้วเสร็จตามสัญญา มีมูลเหตุปัญหาหลายอย่าง เช่น การเสียค่าใช้จ่ายต่อการแก้ไขงานที่เสียหาย การทำงานไม่เป็นไปตามแผนงานทำให้เกิดความล่าช้า

ของงาน ความไม่พร้อมของวัสดุอาจเนื่องมาจากของขาดตลาด การขัดข้องหยุดชะงักของงานอาจจะเกิดมาจากไฟฟ้าดับหรือ แรงงานขาดแคลน ลักษณะของงานที่มีพื้นที่การติดตั้งทำงานยาก

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเรื่องมูลเหตุปัญหา ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ผลกระทบ แนวทางวิธี แก้ไขปัญหาและป้องกันปัญหา ของงานติดตั้งระบบสุขาภิบาลภายในอาคารที่เป็นประเภทอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่ พิเศษสำหรับเป็นสำนักงานหรือที่พักอาศัย เป็นกรณีศึกษาเพื่อไม่ให้เกิดปัญหากับอาคารอื่น ๆ ในอนาคตได้ต่อไป

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อรวบรวมปัญหาและสาเหตุปัญหาของงานติดตั้งระบบสุขาภิบาลในอดีต
- 2.2 เพื่อการประเมินความเสียหาย และผลกระทบจากปัญหา
- 2.3 เพื่อวิเคราะห์แนวทางแก้ไขปัญหและเสนอแนวทางป้องกันปัญหาของงานติดตั้งระบบสุขาภิบาล

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาในครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นแนวทางเปรียบเทียบและประยุกต์ใช้ เพื่อให้สอดคล้องกับงานระบบสุขาภิบาลในอาคารสูง

ภาณุพงศ์ กองคำสุก (2559) [5] ศึกษาเพื่อลดปัญหา การติดตั้งระบบสุขาภิบาลในอาคาร โดยใช้การประชุมกลุ่มย่อย พบว่า ปัญหาส่วนใหญ่ในการ ติดตั้งระบบสุขาภิบาล ประกอบด้วย ความล่าช้าของงาน ความบกพร่องในการติดตั้ง และ ค่าใช้จ่ายที่เกินความจำเป็น จากนั้นได้ทำการนำ MS Project มาวางแผนและควบคุมของโครงการก่อสร้างห้องน้ำรวม พบว่าปัญหาในส่วนของการติดตั้งและค่าใช้จ่ายลดน้อยลง จึงทำให้การบริหารงานด้านระบบสุขาภิบาลและระบบงานด้านอื่น มีประสิทธิภาพ คุ่มค่า และบรรลุเป้าหมายตามที่วางไว้ได้ตามข้อกำหนดของแผนงาน

ณัฐภณ ราชเดิม (2560) [6] ศึกษาเปรียบเทียบการออกแบบท่อน้ำประปาโดยใช้ท่อพีวีซีและ ท่อพีอีอาร์ในโครงการ โรงเรียนนานาชาติคอนคอร์เดีย ซึ่งได้ทดลองทำการคำนวณหาขนาดท่อจาก สมการ Hazen-Williams ในโปรแกรม Microsoft Excel 2013 เทียบกับการใช้กราฟแสดงความดันสูญเสียกับขนาดเส้นท่อ ซึ่งจากผลการทดลองหาขนาดท่อทั้ง 2 ชนิด พบว่าท่อพีอีอาร์ (Polypropylene Random Copolymer :PP-R) มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งานได้ดีกว่าท่อพีวีซี (Polyvinyl Chloride :PVC) ถึงแม้ว่าจะมีราคาสูงกว่า 62% แต่เมื่อพิจารณาอายุการใช้งานที่มากกว่า (อายุการใช้งานของ ท่อพีอีอาร์ 50 ปี ส่วนท่อพีวีซีมีอายุการใช้งาน 10 ปี) ทางผู้ศึกษาจึงพิจารณาเลือกใช้ท่อพีอีอาร์เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาในระยะยาว

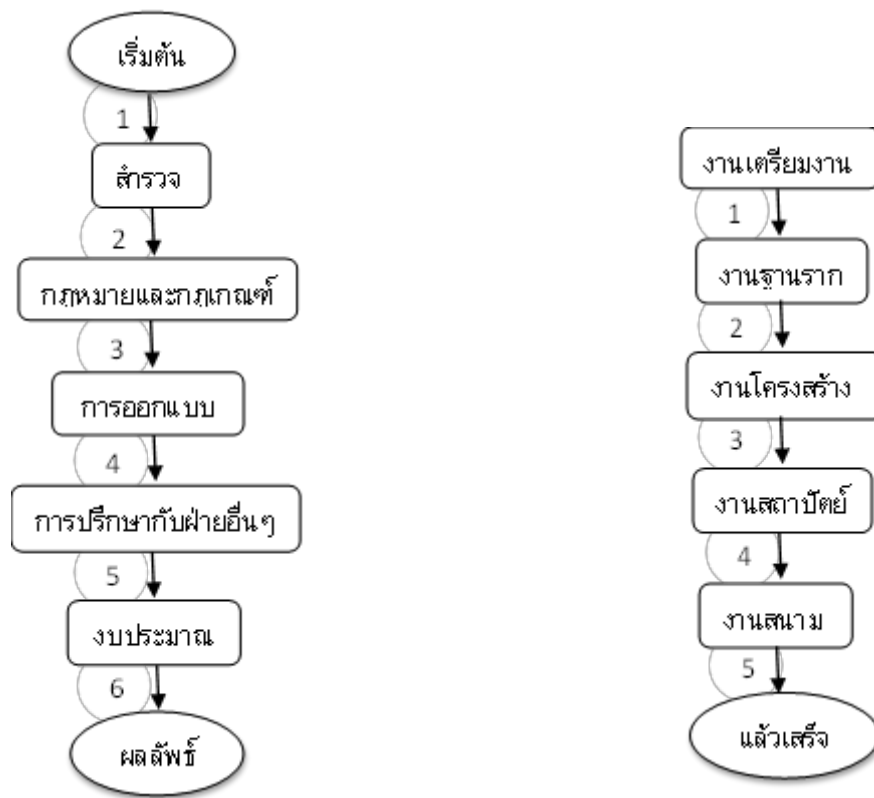
ปฐมพงศ์ ตระบันพฤกษ์ (2561) [7] ศึกษาทางเลือกในการออกแบบงานระบบประปา สุขาภิบาลและดับเพลิง ประกอบ อาคารพักอาศัยสูง 7 ชั้น ผลจากการศึกษาระบบจ่ายน้ำประปาแบบผสมซึ่งเมื่อเทียบกับแบบจ่ายน้ำขึ้นด้วยเครื่องสูบน้ำเพิ่ม แรงดันเพียงอย่างเดียวของโครงการอื่น พบว่าระบบจ่ายน้ำประปาแบบผสมมีความเสถียรมากกว่าและ ระบบบำบัดน้ำเสีย แบบใช้ถังสำเร็จรูปชนิดเติมอากาศมีประสิทธิภาพในการทำจัด BOD ได้ดี ส่วนระบบระบายน้ำฝนได้ออกแบบท่อระบาย น้ำฝนจากชั้นดาดฟ้ามายังบ่อพักน้ำฝนชั้นล่างแล้วรวมก่อนปล่อยสู่ท่อสาธารณะเมื่อเทียบกับโครงการอื่นที่ไม่ได้จัดเตรียม ท่อระบายน้ำฝนไว้โดยปล่อยให้ไหลตามธรรมชาติ จะพบว่าปัญหาน้ำท่วมขังในบริเวณบางพื้นที่

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงปริมาณได้เสนอแยกเป็นประเด็นการศึกษาของปัญหาไว้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การศึกษาปัญหาในตอนออกแบบมี 6 กระบวนการขั้นตอน
2. การศึกษาปัญหาในตอนก่อสร้างมี 5 กระบวนการขั้นตอน

โดยมีรายละเอียด ตามรูปที่ 1 ดังนี้



(a) ตอนออกแบบมี 6 ขั้นตอน

(b) ตอนก่อสร้างมี 5 ขั้นตอน

รูปที่ 1 (a), (b) ไคอะแกรมกระบวนการขั้นตอนของช่วงตอนการออกแบบและตอนก่อสร้างงานระบบสุขาภิบาล

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบอาคารก่อสร้างจำนวน 4 โครงการแห่งหนึ่งที่ผ่านมานในอดีต

อาคาร	โครงสร้าง	เริ่มก่อสร้าง	แล้วเสร็จ	จำนวนพื้นที่	สูง	พื้นที่	มูลค่างาน
	แบบชนิด	ปี พ.ศ.	ปี พ.ศ.	(ชั้น)	(เมตร)	(ตร.ม)	(ล้านบาท)
1	คสล.	2550	2552	37	136	45,000	1,100
2	คสล.	2551	2553	7	33	36,000	475
3	คสล.	2552	2554	20	44	33,750	550
4	คสล.	2554	2556	22	104	58,000	1,000

โดยมีลำดับการศึกษาแต่ละหัวข้อ ดังต่อไปนี้

4.1 รวบรวมข้อมูลปัญหาและสาเหตุปัญหาของงานติดตั้งระบบสุขาภิบาลในอดีตของ 4 อาคารโครงการ

4.1.1 โดยได้รวบรวมข้อมูลเอกสารประกอบของอาคารทั้ง 4 อาคาร ไว้ เช่น รูปถ่ายการประชุมกลุ่มย่อย บันทึกการประชุม รายงานประจำวัน พิจารณาวัดดู แบบก่อสร้างแล้วเสร็จ

4.2 ประเมินความเสียหาย และผลกระทบจากปัญหา สำหรับการประเมินผลกระทบความเสียหายของโครงการ โดยมีการแบ่งเกณฑ์จัดระดับของผลกระทบความรุนแรงออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับ 1 (น้อย), ระดับ 2 (ปานกลาง), ระดับ 3 (มาก)

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความรุนแรงจากผลกระทบของปัญหาช่วงระหว่างการทำงาน

ระดับ	แนวทางการปรับปรุงการดำเนินงานโครงการอาคารก่อสร้าง
1	ดำเนินการแก้ไข
2	ดำเนินการแก้ไข + ผู้ออกแบบ
3	ดำเนินการแก้ไขเร่งด่วน + ผู้ออกแบบ + คณะกรรมการผู้บริหารโครงการ

แบ่งประเภทความเสียหายที่เกิดผลกระทบจากปัญหามีด้วยกัน 2 แบบคือด้าน งบประมาณ และระยะเวลาในการทำงานของโครงการ

1. B (Budget) = งบประมาณ หมายถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุนโครงการอาคารก่อสร้าง

2. T (Time) = ระยะเวลาทำงาน หมายถึงเวลาดำเนินงานในโครงการอาคารก่อสร้าง

4.3 วิเคราะห์แนวทางแก้ไขปัญหาและเสนอแนวทางป้องกันปัญหาของงานติดตั้งระบบสุขภาพ โดยจะทำการวิเคราะห์ปัญหาในโครงการ หาสาเหตุของปัญหา ผลกระทบที่เกิดจากปัญหา วิธีการแก้ไขปัญหา และป้องกันซึ่งมีการแบ่งงานออกเป็น 3 ระบบด้วยกันคือ 1) งานระบบประปา 2) งานระบบระบายน้ำเสีย 3) งานระบบระบายน้ำฝน

5. ผลการวิจัย

ตารางที่ 3 แสดงปัญหาตอนออกแบบ

ขั้นตอน	ปัญหาตอนออกแบบ
1 (สำรวจ)	แหล่งระบายน้ำทิ้งลงคลองสาธารณะไม่มี, แหล่งจ่ายน้ำประปาเข้าโครงการไม่มี, มาตรการป้องกันน้ำท่วมไม่มี
2 (กฎหมายและกฎเกณฑ์)	ปัญหาชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงโครงการก่อสร้าง, ตรวจสอบมาตรฐานน้ำดื่ม
3 (การออกแบบ)	แบบไม่เคลียร์ให้ชัดเจน, มีการเปลี่ยนแปลงแบบ
4 (การปรึกษากับฝ่ายอื่นๆ)	มีการแบ่งพื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์ไม่สัมพันธ์กันของงานแต่ละระบบ, ไม่ได้เผื่อพื้นที่บริเวณเข้าออกที่จะนำเครื่องจักรอุปกรณ์ที่จะนำมาติดตั้ง
5 (งบประมาณ)	การเปลี่ยนแปลงปริมาณงานของการเปลี่ยนแปลงแบบ
6 (ผลลัพธ์)	มีการเปลี่ยนแปลงแบบหลายครั้ง

ตารางที่ 4 แสดงปัญหาตอนก่อสร้าง

ขั้นตอน	ปัญหาตอนก่อสร้าง
1 (งานเตรียมงาน)	แรงงานขาดแคลน, พื้นที่บริเวณในการรื้อถอนใช้เวลานานกว่าที่คาดการณ์ไว้
2 (งานฐานราก)	วางท่อ Sleeve ผ่านผนังไม่ได้ระดับท่อ, ไม่ได้ใส่ flex connector ที่ท่อน้ำเสียของบ่อบำบัด
3 (งานโครงสร้าง)	เครื่องสูบน้ำเพิ่มแรงดันทำงานไม่ครบตามฟังก์ชันการใช้งานของระบบ, เครื่องสูบน้ำที่สูบน้ำจากถังเก็บน้ำใต้ดินสูบน้ำไม่ขึ้น, ไม่สามารถติดตั้งท่อน้ำเสียและท่อส้วมได้เนื่องจากไม่มีท่อ sleeve, breaker ตัดไฟบ่อยของเครื่องสูบน้ำของน้ำเสีย, หัวรับน้ำฝนต้นมีเศษปูนก่อสร้างติดในท่อ
4 (งานสถาปัตย์)	ติดตั้งท่อระบายน้ำเสียไม่ได้เนื่องจากระดับความสูงของฝ้าเพดานไม่ลดระดับให้, ก๊อกล้างมือติดตั้งไม่ได้ตามระยะตำแหน่งที่ระบุในแบบ
5 (งานสนาม)	มีการระบายน้ำฝนเข้ามา ๑ ในบริเวณพื้นที่รอบอาคาร, เครื่องสูบน้ำเสียสูบน้ำไม่ขึ้น, ระดับน้ำระบายน้ำฝนในโครงการต่ำกว่าของนอกโครงการ

ตารางที่ 5 การประเมินผลกระทบความเสียหายต่องานของปัญหาตอนออกแบบ

ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยรวมของ 4 โครงการที่ผ่านมา			ผลกระทบที่เป็นความเสียหายต่อการดำเนินงาน					
			ระดับความรุนแรงของผลกระทบ					
ขั้นตอน	ลำดับ	ปัญหาตอนออกแบบ	งบประมาณ	ระยะเวลา	1	2	3	
1 (สำรวจ)	1	แหล่งระบายน้ำทิ้งลงคลองสาธารณะไม่มี	-	x	-	-	x	
	2	แหล่งจ่ายน้ำประปาเข้าโครงการไม่มี	x	x	-	x	-	
	3	มาตรการป้องกันน้ำท่วมไม่มี	-	-	-	-	x	
2 (กฎหมายและกฎเกณฑ์)	1	ปัญหาชุมชนที่อยู่ใกล้เคียงโครงการก่อสร้าง	-	x	-	-	x	
	2	ตรวจสอบมาตรฐานน้ำดื่ม	x	-	-	x	-	
3 (การออกแบบ)	1	แบบไม่เคลียร์ให้ชัดเจน	-	x	-	x	-	
	2	มีการเปลี่ยนแปลงแบบ	x	x	-	-	x	
4 (การปรึกษากับฝ่ายอื่นๆ)	1	มีการแบ่งพื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์ไม่สัมพันธ์กันของงานแต่ละระบบ	-	-	-	x	-	
	2	ไม่ได้เผื่อพื้นที่บริเวณเข้าออกที่จะนำเครื่องจักรอุปกรณ์ที่จะนำมาติดตั้ง	-	x	-	x	-	
5 (งบประมาณ)	1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณงานของการเปลี่ยนแปลงแบบ	x	x	-	-	x	
6 (ผลลัพธ์)	1	มีการเปลี่ยนแปลงแบบหลายครั้ง	-	x	-	-	x	

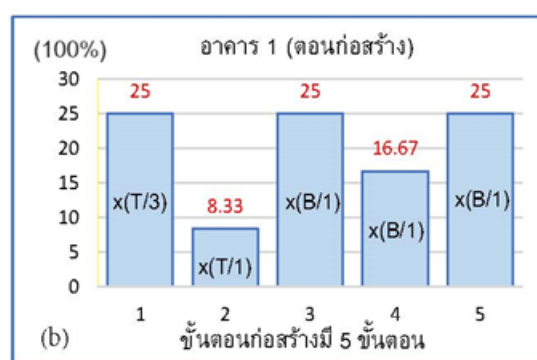
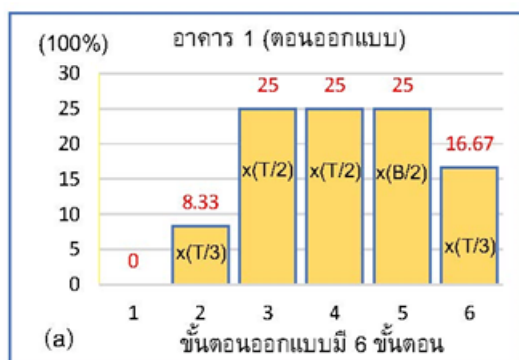
ตารางที่ 6 การประเมินผลกระทบความเสียหายต่องานของปัญหาตอนก่อสร้าง

ปัญหาที่เกิดขึ้น โดยรวมของ 4 โครงการที่ผ่านมา			ผลกระทบที่เป็นความเสียหายต่อการดำเนินงาน				
			ระดับความรุนแรงของผลกระทบ				
			งบประมาณ	ระยะเวลา	1	2	3
ขั้นตอน	ลำดับ	ปัญหาตอนก่อสร้าง					
1 (งานเตรียมงาน)	1	แรงงานขาดแคลน	-	x	-	-	x
	2	พื้นที่บริเวณในการรื้อถอนใช้เวลานานกว่าที่คาดการณ์ไว้	-	x	-	-	x
2 (งานฐานราก)	1	วางท่อ Sleeve ผ่านผนังไม่ได้ระดับท่อ	-	x	x	-	-
	2	ไม่ได้ใส่ flex connector ที่ท่อน้ำเสียของบ่อบำบัด	-	x	x	-	-
3 (งานโครงสร้าง)	1	เครื่องสูบน้ำเพิ่มแรงดันทำงานไม่ครบตามฟังก์ชันการใช้งานของระบบ	-	x	x	-	-
	2	เครื่องสูบน้ำที่สูบน้ำจากถังเก็บน้ำใต้ดินสูบน้ำไม่ขึ้น	x	-	x	-	-
	3	ไม่สามารถติดตั้งท่อน้ำเสียและท่อสวมได้เนื่องจากไม่มีท่อ sleeve	x	-	x	-	-
	4	breaker ตัดไฟบ่อยของเครื่องสูบน้ำของน้ำเสีย	x	-	x	-	-
	5	หัวรับน้ำฝนต้นมีเศษปูนก่อสร้างติดในท่อ	-	-	x	-	-
4 (งานสถาปัตย์)	1	ติดตั้งท่อระบายน้ำเสียไม่ได้เนื่องจากระดับความสูงของฝ้าเพดานไม่ลดระดับให้	x	-	x	-	-
	2	ก๊อกล้างล้างมือติดตั้งไม่ได้ตามระยะตำแหน่งที่ระบุในแบบ	x	-	x	-	-
5 (งานสนาม)	1	มีการระบายน้ำฝนเข้ามา ๑ ในบริเวณพื้นที่รอบอาคาร	-	x	-	x	-
	2	เครื่องสูบน้ำเสียสูบน้ำไม่ขึ้น	x	-	x	-	-
	3	ระดับน้ำระบายน้ำฝนในโครงการต่ำกว่าของนอกโครงการ	x	-	-	-	x

ตารางที่ 7 สรุปผลกระทบด้านงบประมาณ ระยะเวลาทำงานและระดับความรุนแรง ที่เกิดขึ้นในช่วงขั้นตอนออกแบบและ
ตอนก่อสร้าง

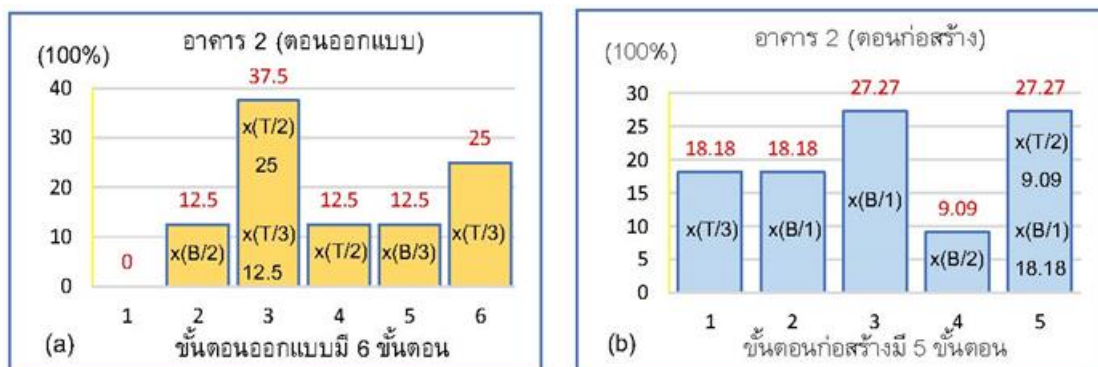
ผลกระทบด้าน		ตอนออกแบบ						ตอนก่อสร้าง				
งบประมาณ, ระยะ		ขั้นตอนที่						ขั้นตอนที่				
เวลาทำงาน และ												
ระดับความรุนแรง												
อาคาร	ระบบ	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5
1	ประปา	-	-	$x(T/2)$	$x(T/2)$	$x(B/3)$	$x(T/3)$	$x(T/3)$	-	$x(B/1)$	$x(B/1)$	$x(B/1)$
	ระบายน้ำเสีย	-	$x(T/3)$	$x(T/2)$	$x(T/2)$	$x(B/3)$	-	$x(T/3)$	$x(T/1)$	$x(B/1)$	$x(B/1)$	$x(B/1)$
	ระบายน้ำฝน	-	-	$x(T/2)$	$x(T/2)$	$x(B/3)$	$x(T/3)$	$x(T/3)$	-	$x(B/1)$	-	$x(B/1)$
2	ประปา	-	-	$x(T/3)$	$x(T/2)$	-	$x(T/3)$	$x(T/3)$	-	$x(B/1)$	-	$x(B/1)$
	ระบายน้ำเสีย	-	$x(B/2)$	$x(T/2)$	-	$x(B/3)$	$x(T/3)$	-	$x(B/1)$	$x(B/1)$	$x(B/2)$	$x(B/1)$
	ระบายน้ำฝน	-	-	$x(T/2)$	-	-	-	$x(T/3)$	$x(B/1)$	$x(B/1)$	-	$x(T/2)$
3	ประปา	$x(B/2)$	$x(B/2)$	$x(T/2)$	-	$x(B/3)$	-	$x(T/3)$	-	$x(B/1)$	$x(B/1)$	-
	ระบายน้ำเสีย	$x(T/3)$	$x(T/2)$	$x(T/2)$	-	$x(B/3)$	$x(T/3)$	$x(T/3)$	$x(B/1)$	$x(B/1)$	$x(B/1)$	-
	ระบายน้ำฝน	$x(B/3)$	$x(T/2)$	$x(T/2)$	-	$x(B/3)$	$x(T/3)$	$x(T/3)$	$x(B/1)$	$x(B/1)$	$x(B/1)$	$x(B/1)$
4	ประปา	-	-	$x(T/3)$	$x(T/2)$	$x(B/3)$	-	$x(T/3)$	$x(T/1)$	-	$x(B/1)$	$x(B/1)$
	ระบายน้ำเสีย	-	-	$x(T/3)$	$x(T/2)$	$x(T/3)$	-	$x(T/3)$	$x(T/2)$	$x(B/1)$	$x(B/1)$	$x(B/1)$
	ระบายน้ำฝน	-	-	$x(T/3)$	$x(T/2)$	$x(T/3)$	-	$x(T/3)$	$x(T/1)$	$x(B/1)$	$x(B/1)$	$x(B/2)$

*หมายเหตุ: X = ปัญหาที่พบ, B (Budget) = งบประมาณ, T (Time) = ระยะเวลาทำงาน



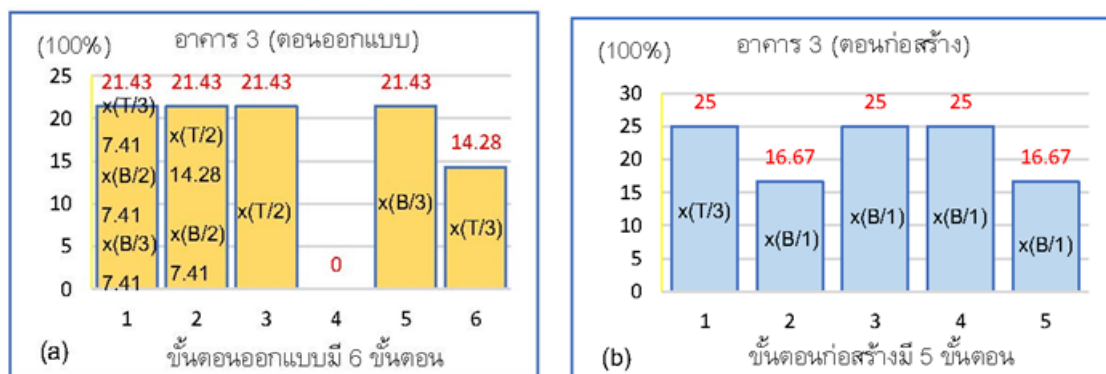
รูปที่ 2 (a), (b) แสดงค่าร้อยละความถี่ปัญหา ผลกระทบปัญหาและระดับความรุนแรงตอนออกแบบและก่อสร้างอาคาร 1

จากกราฟรูปที่ 2 (a) จะเห็นได้ว่าที่ชั้นตอนนอกแบบของอาคารที่ 1 จะพบปัญหามากที่สุดมีค่าถึงร้อยละ 25 เท่ากันที่ช่วงชั้นตอนที่ 3, 4, 5 และน้อยที่สุดมีค่าร้อยละ 8.33 ที่ชั้นตอนที่ 2 ส่วนด้านผลกระทบและระดับความรุนแรงจะพบมากที่สุดเริ่มเกิดขึ้นที่ชั้นตอนที่ 3, 4, 5 เป็นผลกระทบด้านเวลาทำงานและงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง) เท่ากัน จากนั้นมาเป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 3 (มาก) น้อยที่ชั้นตอนที่ 2 และกราฟรูปที่ 2(b) จะพบว่าที่ชั้นตอนก่อสร้างของอาคารที่ 1 จะพบปัญหามากที่สุดมีค่าถึงร้อยละ 25 เท่ากันที่ชั้นตอนที่ 1, 3, 5 และน้อยที่สุดมีค่าร้อยละ 8.33 ที่ชั้นตอนที่ 2 และ ส่วนด้านผลกระทบและระดับความรุนแรงจะเกิดขึ้นที่ชั้นตอนที่ 1 เป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 3 (มาก) และผลกระทบด้านงบประมาณความรุนแรงระดับ 1 (น้อย) ที่ชั้นตอนที่ 3 กับ 5 และชั้นตอนที่ 2 เป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย)



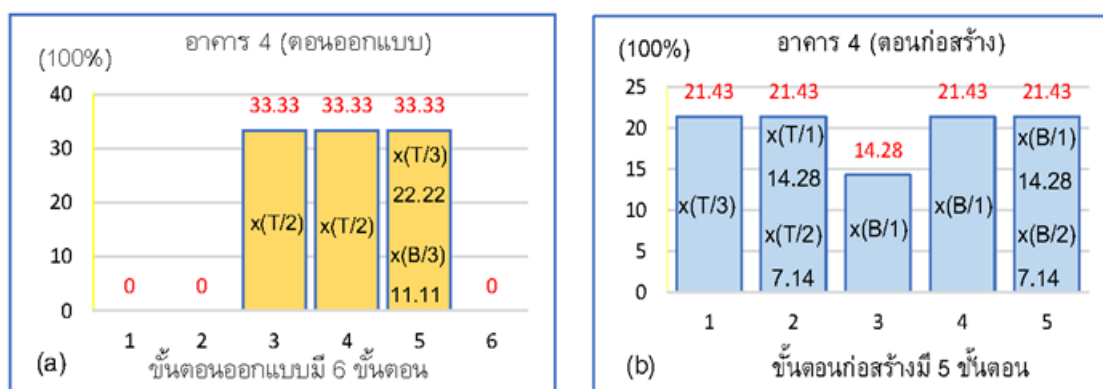
รูปที่ 3 (a), (b) แสดงค่าร้อยละความถี่ปัญหา ผลกระทบปัญหาและระดับความรุนแรงตอนนอกแบบและก่อสร้างอาคาร 2

จากกราฟรูปที่ 3(a) จะเห็นได้ว่าที่ชั้นตอนนอกแบบของอาคารที่ 2 จะพบปัญหามากที่สุดมีค่าถึงร้อยละ 37.5 ชั้นตอนที่ 3 และน้อยที่สุดมีค่าร้อยละ 12.5 เท่ากันที่ชั้นตอนที่ 2 และช่วงชั้นตอนที่ 4 ถึง 5 และชั้นตอนที่ 1 ไม่พบปัญหาเลย ส่วนด้านผลกระทบและระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นมากที่สุดที่ชั้นตอนที่ 3 เป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง), 3 (มาก) โดยชั้นตอนที่ 2, 5 มีผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง), 3 (มาก) และชั้นตอนที่ 4 เป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง) และกราฟรูปที่ 3(b) ที่ชั้นตอนก่อสร้างจะพบปัญหามากที่สุดมีค่าถึงร้อยละ 27.27 เท่ากันที่ชั้นตอนที่ 3, 5 และน้อยที่สุดมีค่าร้อยละ 9.09 ที่ชั้นตอนที่ 4 ส่วนด้านผลกระทบและระดับความรุนแรงจะเกิดขึ้นมากที่สุดที่ชั้นตอนที่ 3, 5 โดยที่ชั้นตอนที่ 3 เป็นผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย) และชั้นตอนที่ 5 มีผลกระทบด้านงบประมาณและเวลารวมอยู่ด้วยกันโดยแบ่งเป็นผลกระทบด้านงบประมาณที่มีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย) มีค่าร้อยละ 18.18 และผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง) อยู่ร้อยละ 9.09 และส่วนชั้นตอนที่ 4 เป็นผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง)



รูปที่ 4 (a), (b) แสดงค่าร้อยละความถี่ปัญหา ผลกระทบปัญหาและระดับความรุนแรงตอนนอกแบบและก่อสร้างอาคาร 3

จากกราฟรูปที่ 4(a) จะเห็นได้ว่าที่ชั้นตอนนอกแบบของอาคารที่ 3 จะพบปัญหามากที่สุดมีค่าถึงร้อยละ 21.43 เท่ากันที่ช่วงชั้นตอนที่ 1 ถึง 3 และชั้นตอนที่ 5 และน้อยมีค่าร้อยละ 14.28 ที่ชั้นตอนที่ 6 และไม่พบปัญหาเลยที่ชั้นตอนที่ 4 ส่วนด้านผลกระทบและระดับความรุนแรงเกิดขึ้นมากที่สุดที่ชั้นตอนที่ 1, 2, 3, 5 โดยชั้นตอนที่ 1 เป็นผลกระทบรวมอยู่ด้วยกัน 3 ด้านโดยแบ่งมีค่าร้อยละ 7.41 เท่ากัน ซึ่งเป็นผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง), 3 (มาก) และผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 3 (มาก) และชั้นตอนที่ 2 เป็นผลกระทบมีรวมอยู่ด้วยกัน 2 ด้านโดยแบ่งเป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง) มีค่าร้อยละ 14.28 กับผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง) มีค่าร้อยละ 7.41 และชั้นตอนที่ 3 เป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง) และชั้นตอนที่ 5 เป็นผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 3 (มาก) และชั้นตอนที่ 6 มีผลกระทบน้อยเป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 3 (มาก) และกราฟรูปที่ 4(b) ชั้นตอนก่อสร้างจะพบปัญหามากที่สุดมีค่าถึงร้อยละ 25 เท่ากันที่ชั้นตอนที่ 1 และช่วงชั้นตอนที่ 3 ถึง 4 และน้อยมีค่าร้อยละ 16.67 ที่ชั้นตอนที่ 2 และ 5 ส่วนด้านผลกระทบและระดับความรุนแรงจะเกิดขึ้นมากที่สุดที่ชั้นตอนที่ 1, 3, 4 โดยที่ชั้นตอน 1 เป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 3 (มาก) และชั้นตอนที่ 3, 4 เป็นผลกระทบด้านงบประมาณความรุนแรงระดับ 1 (น้อย) และต่ำชั้นตอนที่ 2, 5 ที่มีความรุนแรงเท่ากัน



รูปที่ 5 (a), (b) แสดงค่าร้อยละความถี่ปัญหา ผลกระทบปัญหาและระดับความรุนแรงตอนนอกแบบและก่อสร้างอาคาร 4

จากกราฟรูปที่ 5(a) จะเห็นได้ว่าที่ชั้นตอนนอกแบบของอาคารที่ 4 จะพบปัญหามากที่สุดมีค่าถึงร้อยละ 33.33 เท่ากันที่ช่วงชั้นตอนที่ 3 ถึง 5 และไม่พบปัญหาเลยที่ช่วงชั้นตอนที่ 1 ถึง 2 และ 6 ส่วนด้านผลกระทบและระดับความรุนแรงจะเกิดขึ้นมากที่สุดเท่ากันที่ชั้นตอนที่ 3, 4, 5 โดยที่ชั้นตอน 3 กับ 4 เป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 3 (มาก), 2 (ปานกลาง) และชั้นตอนที่ 5 เป็นผลกระทบร่วมกันโดยแบ่งเป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 3 (มาก) มีค่าร้อยละ 22.22 และด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 3 (มาก) มีค่าร้อยละ 11.11 และกราฟรูปที่ 5(b) ชั้นตอนก่อสร้าง จะพบปัญหามากที่สุดมีค่าถึงร้อยละ 23.08 ที่ชั้นตอนที่ 2 จากนั้นรองลงมามีค่าร้อยละ 21.43 เท่ากันที่ช่วงชั้นตอนที่ 4 ถึง 5 จากนั้นมารองลงมามีค่าร้อยละ 15.38 ที่ชั้นตอนที่ 1 และน้อยที่สุดร้อยละ 7.7 ที่ชั้นตอนที่ 3 ส่วนด้านผลกระทบและระดับความรุนแรงจะเกิดขึ้นมากที่สุดเท่ากันที่ชั้นตอนที่ 1, 2, 4, 5 โดยที่ชั้นตอนที่ 2 เป็นผลกระทบร่วมกันโดยแบ่งเป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย), 2 (ปานกลาง) มีค่าร้อยละ 14.28 และ 7.14 และชั้นตอนที่ 4 เป็นผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย) และชั้นตอนที่ 5 เป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 3 (มาก), 2 (ปานกลาง) และชั้นตอนที่ 5 เป็นผลกระทบร่วมกันโดยแบ่งเป็นผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย), 2 (ปานกลาง) มีค่าร้อยละ 14.24 และ 7.14 และชั้นตอนที่ 3 เป็นผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย)

5.1 การแก้ปัญหาและป้องกันโดยถ้า

5.1.1 แรงงานไม่เพียงพอที่ใช้แรงงานต่างด้าวทดแทนแต่ก็ป้องกันโดยปรับค่าตอบแทนให้สอดคล้องกับผลิตภาพแรงงาน

5.1.2 ความยากในการทำงานหน้งานที่มีฝนตกน้ำท่วมก็สูบน้ำออกและป้องกันโดยทำหลังคาชั่วคราวคลุมพื้นที่บริเวณทำงานแล้วเตรียมเครื่องสูบน้ำสำรองไว้

5.1.3 เงินเบิกจ่ายล่าช้าก็หาเงินสำรองจ่ายและป้องกันโดยต้องควบคุมและระมัดระวังในการบริหารจัดการเป็นอย่างมาก

5.1.4 เปลี่ยนแปลงแบบบ่อก็ควรมีข้อสรุปที่ชัดเจนและป้องกันโดยควรตั้งกฎระเบียบหรือข้อตกลงกันไว้ก่อนให้ชัดเจน

5.1.5 ออกแบบผิดก็แก้ไขแบบให้เข้าใจตรงกันและป้องกันโดยควรมีช่วงการประชุมอัปเดตงานอย่างต่อเนื่องและทีมงานพูดคุยให้ตรงกัน

5.1.6 วัสดุไม่มีในการติดตั้งทำงานในกรณีของขาดตลาดก็ควรหาวัสดุเทียบเท่าและป้องกันโดยควรระบุผลิตภัณฑ์และผู้แทนจำหน่ายไว้หลายที่

6. สรุปผลการวิจัย

อาคารที่ 1 จากรูปที่ 2(a) ช่วงชั้นตอนที่ 3 ถึง 5 จะพบปัญหามากที่สุดมีค่าถึงร้อยละ 25 เท่ากันของช่วงชั้นตอนออกแบบโดยมีผลกระทบด้านเวลาทำงานและงบประมาณที่มีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง) เป็นช่วงชั้นตอนออกแบบจนถึงชั้นตอนเกี่ยวกับงบประมาณมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแปลงแบบ ส่วนปัญหามากรองลงมามีค่าร้อยละ 16.67 ที่ชั้นตอนที่ 6 การปรับแบบและเอกสารต่าง ๆ ออกมาใช้งานและชั้นตอนที่ 2 มีปัญหาน้อยที่สุดเกิดผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 3 (มาก) ส่วนที่ชั้นตอนที่ 1 ไม่พบปัญหาเลย และจากรูปที่ 2(b) ของชั้นตอนก่อสร้างจะพบปัญหามากที่สุดที่ชั้นตอนที่ 1, 3, 5 มีค่าร้อยละ 25 โดยมีผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 3 (มาก) โดยที่ชั้นตอน 1 ถึง 5 เป็นตอนเริ่มเตรียมงานไปจนถึงงานภาคสนามมีผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย) ปัญหามากรองลงมาเกิดที่ช่วงชั้นตอนที่ 4 มีค่าร้อยละ 16.67 เป็นช่วงของงานสถาปัตยกรรม

อาคารที่ 2 จากรูปที่ 3(a) ของชั้นตอนออกแบบจะพบปัญหามากที่สุดมีค่าถึงร้อยละ 37.5 ที่ชั้นตอนที่ 3 เป็นงานออกแบบมีผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง), 3 (มาก) ส่วนปัญหารองลงมาคงเป็นปัญหาตอนที่ 6 มีค่าร้อยละ 25 งานชั้นตอนเกี่ยวกับเอกสารส่วนชั้นตอน 2, 4, 5 จะเกิดปัญหาน้อยที่สุดมีค่าร้อยละ 12.5 มีผลกระทบด้านเวลาและงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง), 3 (มาก) ส่วนชั้นตอนที่ 1 ไม่พบปัญหาเลย และจากรูปที่ 3(b) ชั้นตอนก่อสร้างจะพบปัญหามากที่สุดที่ชั้นตอนที่ 3 และ 5 มีค่าถึงร้อยละ 27.27 เท่ากันมีผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย) และชั้นตอนที่ 4 มีปัญหาน้อยที่สุดและมีผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง) เป็นช่วงการทำงานโครงสร้างอาคารจนถึงงานภาคสนาม

อาคารที่ 3 จากรูปที่ 4(a) ของชั้นตอนออกแบบจะพบปัญหามากที่สุดที่ช่วงชั้นตอนที่ 1 ถึง 3 และ 5 มีค่าร้อยละ 21.43 ที่ชั้นตอนที่ 1 ถึง 3 เป็นช่วงงานสำรวจถึงงานออกแบบโดยที่ชั้นตอนที่ 1 มีผลกระทบร่วมกันทั้งสองด้านเลยโดยมีผลกระทบทั้งด้านงบประมาณและเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง), 3 (มาก) และชั้นตอนที่ 5 เกี่ยวกับค่าใช้จ่ายในการออกแบบมีผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 3 (มาก) ส่วนชั้นตอนที่ 4 ไม่พบปัญหาและเกิดผลกระทบเลย และจากรูปที่ 4(b) เป็นชั้นตอนก่อสร้างจะพบปัญหามากที่สุดที่ชั้นตอนที่ 1 และช่วงชั้นตอนที่ 3 ถึง 4 มีค่าร้อยละ 25 เท่ากันโดยชั้นที่ 1 เป็นงานเตรียมงานมีผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 3 (มาก) และชั้นตอนที่ 3, 4 เป็นงานโครงสร้างกับงานสถาปัตยกรรมมีผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย) ส่วนชั้นตอนที่ 2, 5 มีปัญหามากรองลงมาเป็นงานฐานรากและงานภาคสนามมีผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย) เช่นกันกับชั้นตอนที่ 3, 4

อาคารที่ 4 จากกราฟรูปที่ 5(a) ของขั้นตอนออกแบบจะเห็นได้ว่าจะมีปัญหามากที่สุดช่วงขั้นตอนที่ 3 ถึง 5 มีค่าร้อยละถึง 33.33 เป็นปัญหาแบบต่อเนื่องเลยตั้งแต่เริ่มออกแบบจนถึงงบประมาณค่าใช้จ่ายในการออกแบบส่วนมากเป็นผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง), 3 (มาก) ส่วนกราฟรูปที่ 5(b) ของขั้นตอนก่อสร้างจะมีปัญหามากที่สุดที่ขั้นตอนที่ 1, 2, 4, 5 มีค่าร้อยละ 21.43 โดยที่ขั้นตอน 1, 2 เป็นงานฐานรากและงานโครงสร้างเกิดผลกระทบด้านเวลาที่มีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย), 2 (ปานกลาง), 3 (มาก) และช่วงตอนที่ 4 ถึง 5 เป็นงานสถาปัตยกรรมและงานสนามมีผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย) ส่วนขั้นตอนที่ 3 พบปัญหาน้อยเป็นงานโครงสร้างที่ต้องทำกับงานระบบอื่นที่เกี่ยวข้องมีผลกระทบด้านงบประมาณมีความรุนแรงระดับ 1 (น้อย) เช่นเดียวกันกับขั้นตอนที่ 4, 5

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบกับการวิจัยอื่น

การศึกษาเพื่อลดปัญหาการติดตั้งระบบสุขาภิบาล ในอาคาร (ภาณุพงศ์, 2559)	การศึกษาปัญหา วิธีแก้ไขปัญหและป้องกันในการติดตั้ง ระบบสุขาภิบาลของอาคารสูงหรือขนาดใหญ่พิเศษ
โดยใช้การประชุมกลุ่มย่อยของอาคารแห่งหนึ่ง พบว่า ปัญหาส่วนใหญ่ในการ ติดตั้งระบบ สุขาภิบาล ประกอบด้วย ความล่าช้าของงาน ความบกพร่องในการติดตั้ง และค่าใช้จ่ายที่เกินความจำเป็น จากนั้นได้ ทำการนำ MS Project มาวางแผนและควบคุมของ โครงการก่อสร้างห้องน้ำรวม พบว่าปัญหาในส่วนของการติดตั้งและค่าใช้จ่ายลดน้อยลง และแล้วเสร็จตาม กำหนดของแผนงาน	โดยใช้การประชุมกลุ่มย่อยของจำนวน 4 อาคารแห่งหนึ่งในอดีต เพื่อรวบรวมปัญหาแล้วใส่ข้อมูลลงในกระบวนการ ขั้นตอนออกแบบและตอนก่อสร้างอาคารเพื่อวิเคราะห์ปัญหา จากนั้นแล้วมาทำการประเมินความเสียหายและผลกระทบที่เกิดขึ้น พบว่า ปัญหาที่พบมากที่สุดมีค่าความถี่สูงสุดร้อยละ 37.5 ที่ช่วงขั้นตอนออกแบบเกิดขึ้นที่ขั้นตอนที่ (3) การ ออกแบบ ของอาคารประเภทโรงงานมีผลกระทบด้านเวลา มีความรุนแรงระดับ 2 (ปานกลาง), 3 (มาก)

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ในการออกแบบอาคารผู้ออกแบบงานโครงสร้างและงานระบบประกอบอาคารควรมีการสื่อสารข้อมูลที่ได้รับตาม บทบาทหน้าที่มาปรึกษาหารือกันให้ชัดเจนตามฟังก์ชันการใช้งานของเจ้าของงาน เพื่อให้เกิดมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

7.2 มูลเหตุปัจจัยต่าง ๆ ที่จะให้มีเงื่อนไขในข้อจำกัดของการออกแบบซึ่งมีผลต่อคุณภาพของแบบที่ออกมาเป็น เบื้องต้นก่อนก่อสร้างอาคารลำดับต่อไปไม่ว่าจะเป็น ภูมิประเทศ สภาพอากาศ งบประมาณในการก่อสร้างและมีการประเมิน สิ่งแวดล้อมประกอบไปด้วยกัน

7.3 ในปัจจุบันนี้ควรจะมีการพัฒนาการออกแบบก่อสร้างต่าง ๆ โดยนำเครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบและตรวจเช็ค แบบก่อนที่จะนำไปใช้ก่อสร้างจริงว่ามีความเป็นไปได้มากน้อยแค่ไหนที่จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาในช่วงตอนก่อสร้าง เช่น แบบจำลองสารสนเทศอาคารหรือ BIM (Building Information Modeling) โดยเฉพาะในช่วงก่อสร้างจะมีงานระบบประกอบ อาคาร สถาปัตยกรรม โครงสร้าง ซึ่งมีความยากง่ายพอกันทุกสาขาเพื่อช่วยในการตรวจสอบงานออกแบบอีกที

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรินทร์ เศรษฐมานิต และ ทาเคโอะ มอริมุระ. 2550, วิศวกรรมงานท่อภายในอาคาร, พิมพ์ครั้งที่ 5 สำนักพิมพ์ ดวงกมล, กรุงเทพฯ, 2520
- [2] เกชา ธีระโกเมน, เกียรติ อัครพงศ์, วันชัย บัณฑิตกฤษดา, วิโรจน์ ตั้งธนาพลกุล และสุรสิทธิ์ ทองจันทร์พัย, ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมงานระบบ, เอ็มแอนด์อี, กรุงเทพฯ, 2539
- [3] นิพนธ์ ลักษณะอดิสร, ระบบสุขาภิบาลในงานอาคาร, 2556
- [4] กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารที่เกี่ยวข้อง. แหล่งที่มา: <http://www.local.mol.go.th> law99 10 ต.ค. 2564

- [5] ภาณุพงศ์ กองคำสุก, การศึกษาปัญหาเพื่อลดปัญหาการติดตั้งระบบสุขาภิบาลในอาคาร, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสยาม, กรุงเทพฯ, 2559
- [6] ณัฐภณ ราชเดิม, การศึกษาเปรียบเทียบการออกแบบท่อน้ำประปาโดยใช้ท่อพีวีซีและ ท่อพีพีอาร์ในโครงการโรงเรียนนานาชาติคอนคอร์เดียน, วิทยานิพนธ์ ปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยสยาม, กรุงเทพฯ, 2560
- [7] ปฐมพงศ์ ตระบันพฤษ, ทางเลือกในการออกแบบงานระบบประปา สุขาภิบาลและดับเพลิง ประกอบอาคารพักอาศัยสูง 7 ชั้น, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, กรุงเทพฯ, 2561

STUDY ON THE CHARACTERISTIC AND EFFECTS OF DIESEL-PROPANOL-BIODIESEL AND BIODIESEL BLEND IN A COMPRESSION IGNITION ENGINE

Kanok-on Rodjanakid

Faculty of International Maritime Studies, Kasetsart University, Sri Racha Campus, Sri Racha, Chonburi, 20230, Thailand

Corresponding author, E-mail: kanokon.ro@ku.th

Received: 22 February 2022

Revised: 8 March 2022

Accepted: 11 March 2022

Abstract

This research aimed to study biodiesel production from refined palm oil stearin and propanol as an alternative fuel. The experimental results found that biodiesel production from refined palm oil stearin using sodium hydroxide as the base catalyst was 74%. Using biodiesel from refined palm oil stearin as an emulsifier in diesel: propanol: biodiesel D90P5B5(RPO), D85P5B10(RPO), and D80P5B15(RPO) at 99.9% propanol purity, the experiments examined the homogeneity and stability of the fuel produced. It was found that D90P5B5(RPO), D85P5B10(RPO), and D80P5B15(RPO) (virtue of propanol 99.9%) were homogeneous. From the results, the physical properties of D90P5B5(RPO) and D90B10(RPO) from the experiment met the high-speed diesel standards except for the flashpoint of diesohol, which was lower than standard high-speed diesel fuel. Furthermore, the results of the lubricating properties test evaluated by High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR) according to CEC-F-06-A-96, D90P5B5(RPO) had a wear scar test 236 and D90B10(RPO) had a wear scar test 234, which were related to the better viscosity and lubricity properties than standard high-speed diesel fuel.

Keywords: Biodiesel, Transesterifications, Methyl ester, Propanol, Diesohol

1. Introduction

Biodiesel production can help meet the country's renewable energy needs. Palm oil produces the highest yield and is one of its economic crops, so it could be used as an alternative energy source for petroleum fuels. Thus, refined palm oil stearin was used in this research because the advantage of refined palm oil stearin is its low iodine content and, therefore, less polymerization than high iodine type oils. Also, biodiesel production from refined palm oil stearin is suitable because it uses the unused portion of palm oil to its full potential. Many researchers [1,2,3] researched several types of alcohol as an additive in fuels. DYC. Leung et al. [4] studied biodiesel production using methanol with the reaction temperature set below the boiling point. F Ma et al. [5] examined the interaction between methanol and sodium hydroxide and mixing to elevate the reaction, and JM. Encinar et al. [6] studied the mixing rate. Many studies [7,8,9] found using different catalysts in the transesterification process, biodiesel was produced at a low-cost, production can reduce CO₂ emissions, and compete with diesel fuel. DYC. Leung and Y. Guo [10] have reported the best temperature range was 50 to 60 °C. In this study produced biodiesel from Refined Palm Oil Stearin by using the transesterifications method. Propanol was an ingredient in diesohol production and used

biodiesel as an emulsifier for the production of diesohol and biodiesel blend at low mixing ratios. Then the physical properties were studied, homogeneity and lubricating properties tests were evaluated by High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR) according to CEC-F-06-A-96 of D90P5B5(RPO), D85P5B10(RPO), D80P5B15(RPO), D90B10(RPO), D85B15(RPO), and D80B20(RPO).

2. Objective

1. To study the biodiesel production process from Refined Palm Oil Stearin using the transesterification method and biodiesel as an emulsifier for producing diesohol and biodiesel blends at low mixing ratios.
2. To Analyze the physical properties of D90P5B5(RPO) and D90B10(RPO).
3. To study the homogeneity and observe the mixture stratification of D90P5B5(RPO), D85P5B10(RPO), D80P5B15(RPO), D90B10(RPO), D85B15(RPO), and D80B20(RPO), plus, examination the lubricating properties test evaluated by High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR) according to CEC-F-06-A-96 of D90P5B5(RPO) and D90B10(RPO).

3. Methodology

1. Sodium hydroxide catalyst for biodiesel production from refined palm oil stearin.
2. Test for homogenization and emulsification stability by mixing diesel fuel at a low mixing ratio. To do this, the diesel: propanol: biodiesel ratio must be determined at 90:5:5 (by volume). However, it must be mixed using pure propanol 99.9%. The biodiesel mixture was added by continuously increasing the mixing ratio by volume 5% of the mixing balance from 5% -15% by volume of mixed diesel and biodiesel blends D90B10(RPO), D85B15(RPO), and D80B20(RPO) shall be stored for six months to observe the stratification characteristics of the mixture.
3. Testing the physical properties of standard diesel fuel, diesohol D90P5B5(RPO) and biodiesel blend D90B10(RPO).
4. Testing the lubricating properties of fuel using the method HFRR according to diesohol fuel D90P5B5(RPO) characteristics and according to the biodiesel blend D90B10(RPO).

4. Equipment

4.1 Methods and Materials

Equipment for used in the transesterification process:

1. Magnetic stirrer temperature range: Room temperature to 340 °C, at 50-1,700 rpm.
2. Bar stirring cylindrical, separating funnel, flat bottom flask, condenser, and thermometer.

4.2 Oil used in the experiment

1. Refined palm oil stearin.

4.3 Chemicals used in the experiment

1. Industrial grade methanol.
2. Propan-1-ol (n-Propanol) AR grade with a purity of 99.9%.
3. Industrial grade sodium hydroxide.
4. Sodium sulfate.

Test Description	Test Method	Testing Instrument
Intensity	ASTM D1500	Colorimeter
Density at 15 °C , g/cm ³	ASTM D4052	Digital Density Analyzer
Cetane Index	ASTM D976	Calculation
Distillation , °C	ASTM D86	Automatic Distillation Analyzer
Flash Point	ASTM D93	Pensky-Martens Closed Cup Apparatus
Fatty Acid Methyl Ester, %vol	EN 14078	Fourier Transform Infrared Spectrometer
Pour Point , °C	ASTM D97	Automatic Pour Point Tester
Viscosity at 40 °C , cSt	ASTM D445	Viscometer
Total Contamination , mg/kg	EN 12662	Fibre glass Filter
Micro Carbon Residue (MCR) , %wt	ASTM D4530	Coking Tester
Ash , %wt	ASTM D482	Ash Content Tester
Total Sulfur Content , mg/kg	ASTM D5453	UV Fluorescence Analyzer
Water Content , mg/kg	ASTM D6304	Coulometric Karl Fischer Apparatus
Water and Sediment , %Vol.	ASTM D2709	Oil Test Centrifuge
High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR)	CEC-F-06-A-96	HFRR Instrument

Figure 1 Testing Instrument

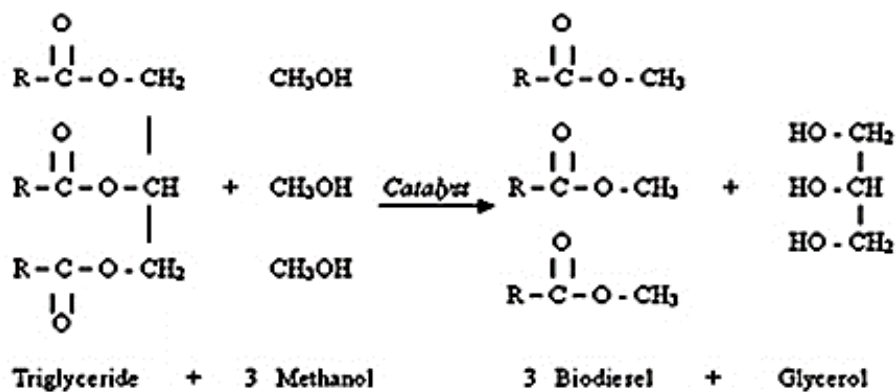


Figure 2 Transesterification of methanol and triglyceride

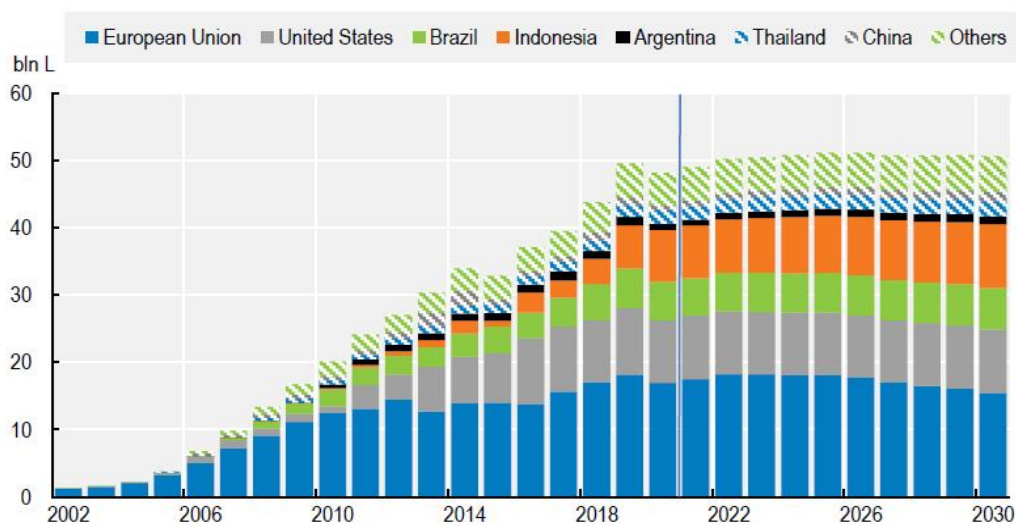


Figure 3 Progression of the world biodiesel consumption [11]

From Figure 3 Progression of the world biodiesel consumption, the share of production in the US global is down to 17%. Vegetable oil production is expected to increase globally by 1.3%. Thailand is expected to produce 3.8 million tons of palm oil in 2000.

5. Results

Table 1 The volumetric ratio of methanol to refined palm oil stearin, 0.3%NaOH(wt/vol), at 60 °C, 60 min

(Methanol : RPO) (by volume)	Yield (%)
1 : 1	-
1 : 2	74
1 : 3	73
1 : 4	71.5

From Table 1 The volumetric ratio of methanol to refined palm oil stearin, 0.3%NaOH(wt/vol), at 60 °C, 60 min, the maximum percentage of biodiesel production from refined palm oil stearin was 74% at 1:2; increasing the volume ratio decreases the production rate.

Table 2 Percentage change by NaOH catalyst mass proportional to methanol to refined palm oil stearin 1:3, at 60 °C, for 60 min

%NaOH(wt/vol)	Oil (cc)	Biodiesel (cc)	Yield (%)
0.2	250	162.5	65
0.3	250	157.5	63
0.4	250	182.5	73

From Table 2 Percentage change by NaOH catalyst mass proportional to methanol to refined palm oil stearin 1:3, at 60 °C, for 60 min, the results showed that the percentage by mass of catalyst with a volumetric methanol to refined palm oil stearin at 1:3, 60 °C, and 0.4%NaOH(wt/vol) had the rate of 73%, compared to 0.2% NaOH(wt/vol) and 0.3%NaOH(wt/vol).

Table 3 Percentage change by NaOH catalyst mass proportional to methanol to refined palm oil stearin 1:2, at 60 °C, for 60 min

%NaOH(wt/vol)	Oil (cc)	Biodiesel (cc)	Yield (%)
0.2	250	169	67.6
0.3	250	185	74
0.4	250	180	72

<http://jeet.siamtechu.net>

From Table 3 Percentage change by NaOH catalyst mass proportional to methanol to refined palm oil stearin 1:2, at 60°C, for 60 min, the results showed that the percentage by mass of catalyst with a volumetric methanol to refined palm oil stearin at 1:2, 60°C, and 0.3%NaOH(wt/vol) had the highest rate at 74%, compared to 0.2% NaOH(wt/vol) and 0.4%NaOH(wt/vol).

Table 4 Change in proportional time at a volumetric ratio of methanol to refined palm oil stearin, 0.3%(wt/vol)NaOH at 60°C

Time (min)	Oil (cc)	Biodiesel (cc)	Yield (%)
30	250	177.5	71
60	250	185	74

From Table 4 Change in proportional time at a volumetric ratio of methanol to refined palm oil stearin, 0.3% (wt/ vol) NaOH at 60°C, the reaction of the volumetric ratio of methanol to refined palm oil stearin, 0.3% NaOH(wt/vol) , at 60°C, and a reaction time of 60 min was more complete than at 30 min, with a difference in production percentage of 3%. Therefore, biodiesel production from refined palm oil stearin was 60 minutes due to the significant percentage difference.

Table 5 Percentage change by NaOH catalyst mass proportional to methanol to refined palm oil stearin 1:2, at 60°C, for 60 min

%NaOH(wt/vol)	Oil (cc)	Biodiesel (cc)	Yield (%)
0.2	250	169	67.6
0.3	250	185	74
0.4	250	180	72

From Table 5 Percentage change by NaOH catalyst mass proportional to methanol to refined palm oil stearin 1:2, at 60°C, for 60 min, biodiesel production from refined palm oil stearin using sodium hydroxide base catalyst with a reaction time of 60 minutes was conducted. The optimum catalyst content was 74% at the volume ratio of methanol: refined palm oil stearin at 1:2, at a reaction time of 60 min. Moreover, the percentage of catalyst mass per oil volume 0.3%NaOH(wt/vol) was the percentage by volume of the product obtained with the highest oil consumption of 74% compared to the percentage by catalyst mass of 0.2%NaOH(wt/vol) and 0.4%NaOH(wt/vol).

Table 6 The number of biodiesel rinsing times with distilled water, by volume methanol to refined palm oil stearin 1:2, reaction temperature of 60°C, and time 60 min. Then, the biodiesel was washed with distilled water at a ratio of 1:3, a reaction temperature of 40°C, and Na₂SO₄ at 45% by weight of biodiesel. The time required for rinsing was 30 minutes.

%NaOH (wt/vol)	Time	Yield (%)
0.3	2	74

From Table 6 The number of biodiesel rinsing times with distilled water, by volume methanol to refined palm oil stearin 1:2, reaction temperature of 60°C, and time 60 min. Then, the biodiesel was washed with distilled water at a ratio of 1:3, a reaction temperature of 40°C, and Na₂SO₄ at 45% by weight of biodiesel. The time required for rinsing was 30 minutes, the washing of the soap and methanol catalyst from the biodiesel refined from palm oil stearin was with distilled water at 40°C, and it was found that the percentage ratio of the catalyst mass to the oil volume was 0.3%NaOH(wt/vol) can remove the soap and methanol catalyst from the oil.

Therefore, the biodiesel was rinsed with water twice to neutralize the biodiesel. Then Na₂SO₄ at 45% by weight of biodiesel was added to remove the water from the biodiesel, ensuring that the water content percent by weight was not higher than 0.050 following the characteristics and quality standards of fatty acid methyl ester biodiesel according to the Department of Energy Business's announcement ASTM D 2709.

Table 7 Stability observation of fuel at 35 ° C used in the production of diesel

Diesel : Propanol : Biodiesel(RPO) (AR Grade)	Stability Observation
D90P5B5(RPO)	Homogeneous
D85P5B10(RPO)	Homogeneous
D80P5B15(RPO)	Homogeneous

From Table 7 Stability observation of fuel at 35 ° C used in the production of diesel, a small amount of propanol was soluble in large quantities of diesel fuel without stratification. Consequently, when biodiesel from refined palm oil stearin was used as an emulsifier in diesel mixtures, the diesel and propanol could blend without stratification. Therefore, the emulsion of diesohol was stable. The different mixing ratios of diesel were then assessed for stratification characteristics when kept under controlled conditions for six months. The refined palm oil stearin from the experimental results remained clear and had no stratification. Furthermore, the results showed that the experimental condition, by using 99.9% purity propanol, at 35 °C, the temperature used in the production of diesohol could produce diesohol with no characteristics of separation of diesel production.

Table 8 Stability observation of fuel at 35 ° C used in the production of diesel

Diesel : Biodiesel	Stability Observation
D90B10	Homogeneous
D85B15	Homogeneous
D80B20	Homogeneous

Table 9 Appearance of Fuel

Description	Method	High Speed Diesel	Diesel	D90P5B5 (RPO)	D90B10 (RPO)
Appearance					
Color	Visual Inspection	Bright and Clear	Bright and Clear	Bright and Clear	Bright and Clear
Intensity	ASTM D1500	Max 4.5	1	1	1

Table 10 Physical Properties of Fuel

Description	Method	High Speed Diesel	Diesel	D90P5B5 (RPO)	D90B10 (RPO)
Density at 15°C (g/cm ³)	ASTM D4052	0.81 - 0.87	0.8295	0.8300	0.8337
Cetane Index	ASTM D976	Min 50	57.4	58.0	57.6
Viscosity at 40°C (cSt)	ASTM D445	1.8 - 4.1	2.9	2.7	3.0
Flash Point (°C)	ASTM D93	Min 52	65	< 30	68
Pour Point (°C)	ASTM D97	Max 10	-6	-6	-6
Total Sulfur Content, mg/kg	ASTM D5453	Max 50	40	36	32
Cleanliness					
Micro Carbon Residue (MCR) , (%mass)	ASTM D4530	Max 0.3	< 0.01	0.01	< 0.01
Ash (%wt)	ASTM D482	Max 0.010	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Water and Sediment, %Vol.	ASTM D2709	Max 0.05	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Total Contamination (mg/kg)	EN 12662	Max 24.0	2.4	2.0	17.1

Table 11 Distillation of Fuel

Description	Method	High Speed Diesel	Diesel	D90P5B5 (RPO)	D90B10 (RPO)
Distillation	ASTM D86				
Initial Boiling Point (° C)		-	169.9	97.5	175.4
90%vol. Recovered (° C)		Max 357	349.8	348.3	346.0

Table 12 Result of Wear Scar Test

Type of Fuel	Wear Scar Test μm
D90P5B5 (RPO)	236
D90B10 (RPO)	234

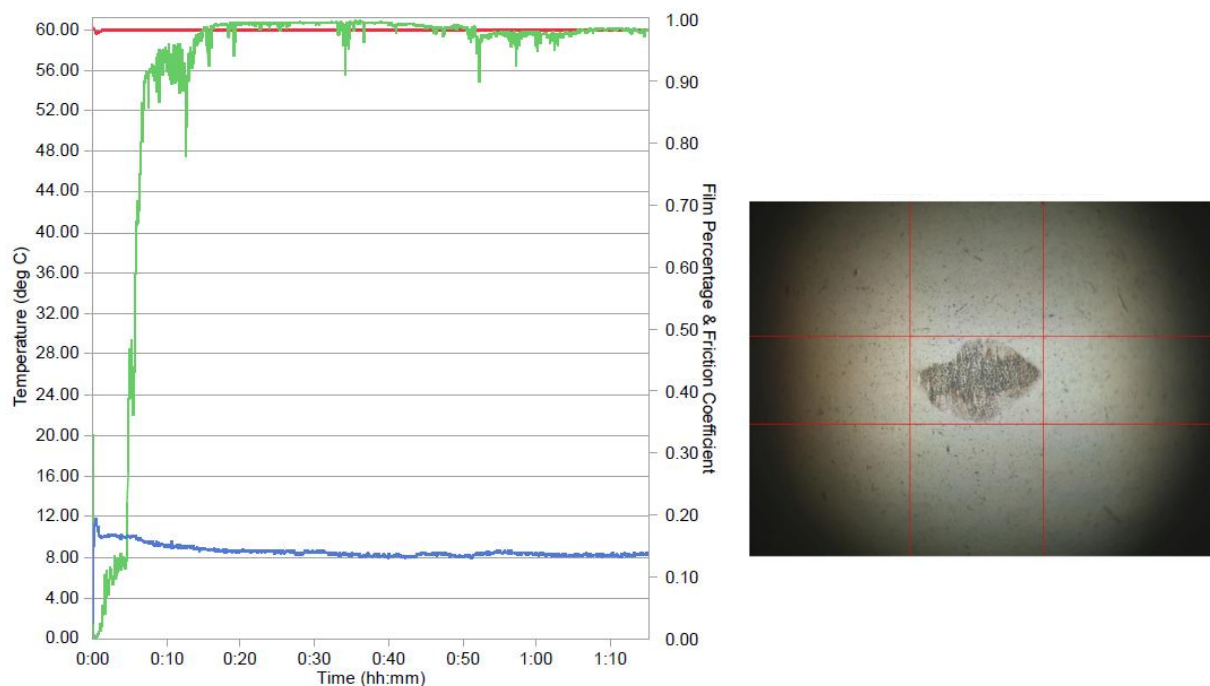


Figure 4 The wear scar test of D90P5B5(RPO)

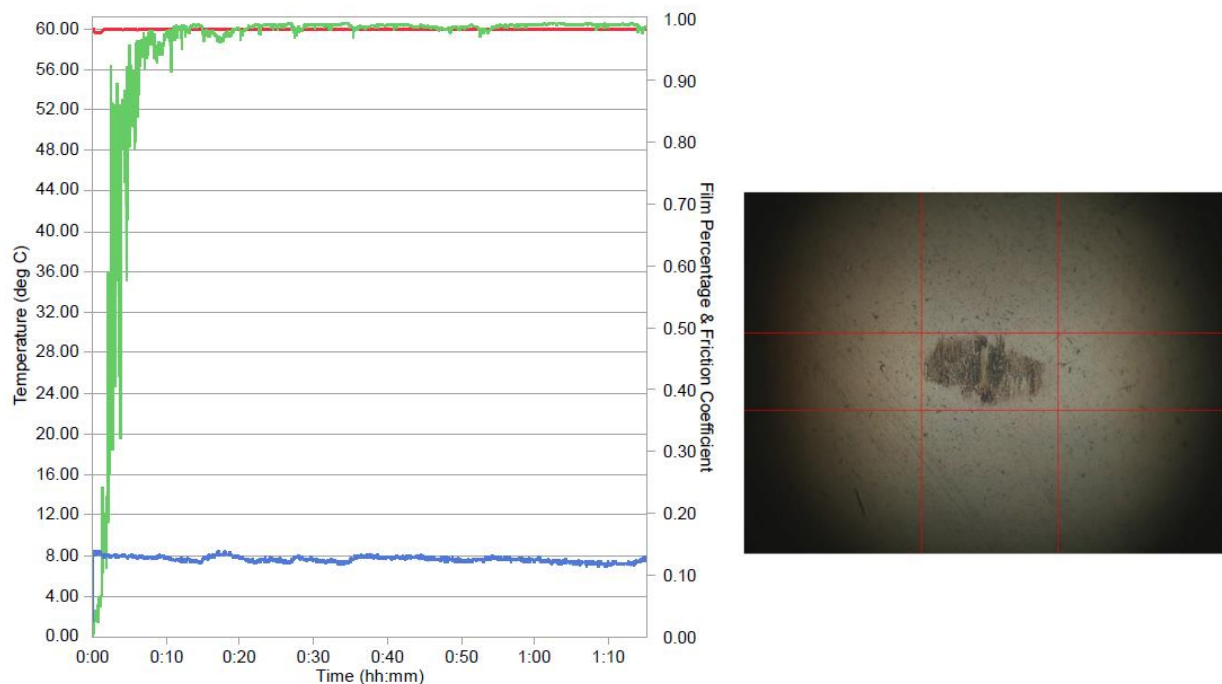


Figure 5 The wear scar test of D90B10(RPO)

6. Conclusion

Using sodium hydroxide as a catalyst at low temperature and pressure results in large product volumes and reduces production time to convert to methyl ester, with no additional processes. There are no side effects and requirements for using other substances compared to acid as a catalyst.

Diesel engine performance is influenced by the fuel properties's density, which directly affects the engine's performance characteristics. The main benefit of biodiesel in diesohol is that biodiesel has a high viscosity, compensating for the low viscosity of propanol-diesel blends. When biodiesel is mixed as a substantial proportion of the mixture, the propanol production is limited. The tendency is for the density and viscosity of the fuel to be increased because biodiesel has a higher density and viscosity than diesel fuel.

From Tables 10, although biodiesel is denser than diesel fuel, it has a lower thermal energy value. For example, the experimental at a low mixing ratio diesohol D90P5B5(RPO) was 0.8300 g/cm^3 and the low mixing ratio biodiesel blend D90B10(RPO) was 0.8337 g/cm^3 within the high-speed diesel fuel benchmark. The density value represents the amount of fuel energy at higher densities. Therefore, the cost of heating energy will be higher than the same fuel.

The viscosity of D90P5B5(RPO) was 2.7 cSt and the low mixing ratio biodiesel blend D90B10(RPO) was 3.0 cSt within the standard for high-speed diesel fuel. Therefore, the quality standards are set at 4.1 cSt at 40°C of the viscosity value following the characteristics and quality of high-speed diesel oil announced by the Department of Energy Business; it must be at least 1.8. and not higher than 4.1 cSt, while the viscosity requirement of the low-speed diesel oil is not higher than 8.0 cSt.

The results of the low mixing ratio of the diesel D90P5B5(RPO) showed it had a lower flash point than the diesel fuel standard specified set by the Department of Energy Business ASTM D93, which assigns the flash point

not lower than 52 °C. Therefore, since propanol has a low flashpoint, people must be fully aware of this during transportation, movement, and storage. In addition, when propanol is added to the fuel, the fuel's flashpoint is reduced.

Biodiesel, produced from oil plants, had a low sulfur content when used as a fuel ingredient. As a result, Diesohol D90P5B5(RPO) and biodiesel blend D90B10(RPO) had lower sulfur content than standard diesel fuel. The composition of sulfur, when burning, was converted to sulfur dioxide. Therefore, D90P5B5(RPO) and D90B10(RPO) can reduce sulfur dioxide emissions.

From table 12, the results of the lubricating properties test assessed by using the High-Frequency Reciprocating Rig (HFRR) Tested to the Standards CEC-F-06-A-96, D90P5B5(RPO) had a scar value of 236 and D90B10(RPO) had a scar value of 234, which is not over 460. From the experiment, the fuel produced has lubricating properties. Therefore, when used in compression ignition engines, it can reduce the wear of metal parts inside the engine.

7. References

- [1] M. Cardone, R. Marialto, R. Ianniello, M. Lazzaro and G. Di Blasio, Spray Analysis and Combustion Assessment of Diesel-LPG Fuel Blends in Compression Ignition Engine. *Fuels*. 2021;2:1. doi: 10.3390/fuels2010001
- [2] L.J Sitnik, Z.J Sroka and M. Andrych-Zalewska, The Impact on Emissions When an Engine Is Run on Fuel with a High Heavy Alcohol Content. *Energies*. 2021;14:41. doi: 10.3390/en14010041
- [3] T. Laza and A. Bereczky, Basic fuel properties of rapeseed oil-higher alcohols blends. *Fuel*. 2011;90:803–810. doi: 10.1016/j.fuel.2010.09.015
- [4] DYC. Leung, X. Wu and MKH. Leung, A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*. 2010;87:1083-1095. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.10.006
- [5] F Ma, LD Clements and MA. Hanna, The effect of mixing on transesterification of beef tallow. *Bioresource Technology*. 1999;69:289-293. DOI: 10.1016/S0960-8524(98)00184-9
- [6] JM. Encinar, JF. González, E. Sabio and MJ. Ramiro, Preparation and properties of biodiesel from *Cynara cardunculus* L. oil. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 1999;38:2927-2931. DOI: 10.1021/ie990012x
- [7] M. Di Serio, R. Tesser, L. Pengmei and E. Santacesaria, Heterogeneous catalysts for biodiesel production. *Energy & Fuels*. 2008;22:207-217. DOI: 10.1021/ef700250g
- [8] JM. Encinar, A Pardal and N. Sánchez, An improvement to the transesterification process by the use of co-solvents to produce biodiesel. *Fuel*. 2016;166:51-58. DOI: 10.1016/j.fuel.2015.10.110
- [9] G. Arzamendi, I. Campo, E. Arguiñarena, M. Sánchez, M. Montes and LM. Gandía, Synthesis of biodiesel with heterogeneous NaOH/alumina catalysts: Comparison with homogeneous NaOH. *Chemical Engineering Journal*. 2007;134:123-130. DOI: 10.1016/j.cej.2007.03.049
- [10] DYC. Leung and Y. Guo, Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*. 2006;87:883-890. DOI: 10.1016/j.fuproc.2006.06.003
- [11] OECD/FAO (2021), "OECD-FAO Agricultural Outlook", OECD Agriculture statistics (database), [Online] Available : <http://dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>

ผลของการใช้ถ่านชีวภาพเป็นส่วนผสมในดินปลูกต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกึ๋นใบ 3 ชนิดที่ปลูกในกระบะ

EFFECT OF BIOCHAR AS AMENDMENT OF POTTING SOIL ON GROWTH AND YIELD OF THREE LEAF VEGETABLES GROWN IN RAISED GARDEN BEDS

ธนชัย ฉลาดเฉลียว^{1*}, จันทร์เพ็ญ ชุมแสง², พจนีย์ แสงมณี³

Thanachai Chalatchaliao^{1*}, Chanphen Chumsang², Podjane Sangmanee³

^{1*} นักศึกษาหลักสูตรการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำหลักสูตรการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำหลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

Received: 2 March 2022

*Corresponding, E-mail: g57572660103@live.ur.ac.th

Revised: 17 April 2022

Accepted: 19 April 2022

บทคัดย่อ

ถ่านชีวภาพ เป็นวัสดุที่ผ่านกระบวนการแยกสลายด้วยความร้อนภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนต่ำทำให้น้ำหนักเบา เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร การวิจัยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ ได้แก่ ถ่านชีวภาพจากการเผากิ่งไม้ เศษไม้ไผ่ เปลือกทุเรียน และถ่านชีวภาพที่ได้จากการผสมถ่านชีวภาพดังกล่าว (mixed biochar : MB) ในอัตรา 50, 30 และ 20 % โดยน้ำหนักตามลำดับ และศึกษาผลของ MB ผสมร่วมกับดินปลูกทางการค้า (commercial potting soil: CP) และมูลวัวหมัก (cow manure: CM) ในอัตราที่แตกต่างกัน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตผักกึ๋นใบ 3 ชนิด ได้แก่ ผักกาดกวางตุ้ง ผักกาดฮ่องเต้ และผักคะน้าในกระบะ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก 5 กรรมวิธี 48 ซ้ำ ซ้ำละ 1 ต้น ได้แก่ 1) CP 100%, 2) CP 80% + MB 20%, 3) CP 50% + MB 50%, 4) CP 40% + MB 30% + CM 30% และ 5) CP 50 % + CM 50 % เก็บข้อมูลด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักที่อายุ 45 วันหลังปลูก วิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดินปลูกหลังเก็บเกี่ยว ผลการศึกษา พบว่า ถ่านชีวภาพทุกชนิดเป็นด่าง pH อยู่ในช่วง 8.06 – 9.87 ค่า CEC แปรผันตามค่า pH ถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียนมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ค่ามากที่สุด คือ 2,374 และ 32,627 mg kg⁻¹ ตามลำดับ ผลของดินปลูกจากการผสม MB, CM และ CP พบว่า MB และ CM ส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักเมื่อเทียบกับ CP 100% โดยเฉพาะกรรมวิธีที่ 4 CP 40% + MB 30% + CM 30% ทำให้ผักทั้งสามชนิดเจริญเติบโตทางลำต้นและผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผักกาดกวางตุ้งและฮ่องเต้มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า ส่งเสริมการสังเคราะห์แสงของผักคะน้าเมื่อพิจารณาจากค่าความเขียวของการใส่ MB ทำให้ค่า pH และ CEC ของดินปลูกเพิ่มขึ้นหลังเก็บเกี่ยวผัก แต่ไม่มีผลต่อค่า EC การใส่ MB ยังส่งเสริมประสิทธิภาพในการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน การศึกษานี้สนับสนุนความเป็นไปได้ในการใช้ถ่านชีวภาพผสมลงในดินปลูกทางการค้าได้สูงที่สุด 50% โดยไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผัก

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ, ดินปลูก, กระบะปลูกผัก, ผักกึ๋นใบ

Abstract

Biochar, a material derived from pyrolysis process under limited- oxygen condition, is light weight and can be a source of plant nutrition which mostly made from agricultural waste. The objectives of this study were to characterize biochars that made from tree branches, bamboo, durian shell and biochar mixed (MB) from these biochars at rates of 50, 30 and 20% by weight, respectively. Furthermore, to study effect of biochar combined with commercial potting soil (CP) and cow manure (CM) at different rates on growth and yield of three green vegetables such as Bok Choy, Pak Chai and Chinese kale planted in raised beds. Each of experimental design was randomized complete block (RCB) with 5 treatments and 48 plants or replications such as 1) 100%CP, 2) 80%CP + 20%MB, 3) 50%CP + 50%MB, 4) 40%CP + 30%MB + 30%CM and 5) 50%CP + 50%CM. Growth and yield of vegetables were collected 45 days after transplant as well as potting soil properties were analyzed after harvest. Results showed that all biochars were alkaline have pH at range of 8.06 – 9.87. Cation exchange capacity (CEC) of biochars varied with pH. Durian biochar contains highest concentrations of available P and exchangeable K which were 2,374 and 32,627 mg kg⁻¹, respectively. Results of potting soil mixed from MB, CP, and CM showed that MB and CM promote growth vegetables compared to 100%CP, especially potting soil mixed from 40 % CP + 30 % MB + 30% CM significantly enhanced growth and yield all vegetables. For example, Bok Choy, Pak Chai gained approximately twice of fresh weight and promoted photosynthesis of Chinese kale noticeable from leaf greenness. Adding of MB lead pH and CEC of potting soil mix after harvest but has not effect on EC values also increase nitrogen use efficiency. In conclusion, this study supports the feasibility of adding mixed biochar up to a maximum of 50% in the potting soil that has no effect on growth and yield of the green vegetables.

Keywords: Biochar, Potting soil, raised bed, Leaf vegetables

1. บทนำ

การเพาะปลูกผักในชุมชนเมือง (Urban Agriculture) ได้รับความนิยมมากขึ้นหลังจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 วิธีการเพาะปลูกผักเป็นการใช้ดินผสมหรือวัสดุปลูกที่มีน้ำหนักเบาบรรจุลงในภาชนะหรือกระบะปลูกผัก และสามารถเพาะปลูกได้หลายรอบจนกว่าดินปลูกจะมีธาตุอาหารลดลงหรือมีการยุบตัว โดยความถี่ในการปรับปรุงดินส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของวัสดุอินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบในดินที่ใช้ปลูก ขณะที่ถ่านชีวภาพ (Biochar) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในสภาวะที่มีออกซิเจนจำกัดหรือไพโรไลซิส ทำให้มีรูพรุนจำนวนมาก ทำให้น้ำหนักเบา คงตัวสูง รักษาความชื้นได้ดี สามารถดูดซับธาตุอาหารที่เป็นบวก และเป็นแหล่งของธาตุอาหารพืช ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน (ม.ป.ป.) [1] ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวางในการทดลองระดับแปลงและระดับกระถาง เช่น กระเจี๊ยบเขียว เกศศิริพันธ์ แสงมณี, จิตทยา จารุจิตร และพิชญ์ชัย ทองนวรรณ์ (ม.ป.ป.) [2] ถั่วฝักยาวไร้ค้าง สายขลุ่ย สุขญาณกิจ และสิริวรรณ สมบัติอาภรณ์ (2561) [3] ผักสลัดกรีนคอส เกศศิริพันธ์ แสงมณี, ธีระรัตน์ ชินแสน และณัฐพงษ์ พันธภา (2558) [4] ข้าว จาวภา มะนาวนอก และคณะ (2560) [5] ผลของการใช้ถ่านชีวภาพส่วนใหญ่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การตอบสนองของพืชอาจมีความแตกต่างกันในบางกรณี เช่น การเกิดผลกระทบจากอัลลีโลพาธี (Allelopathy Effect) การใช้ถ่านจากแกลบหมักรวมกับดินก่อนการเพาะปลูกข้าวในกระถางที่ระยะ 60 วันทำให้การเจริญเติบโตของข้าวลดลงเมื่อเทียบกับการไม่ได้หมักดินก่อนปลูก Butnan, S., J.L. Deenik, B. Toomsan, M. J. Antal and P. Vityakon (2015) [6] การใช้ถ่านชีวภาพจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นส่วนประกอบในวัสดุเพาะมีผลยับยั้งการงอกของผักสลัดกรีนโอ๊คและมะเขือเปราะแต่ไม่มีผลต่อการงอกของหนุ่ยหัวหมู รุ่งเพชร เกิดประกอบ และณัฐพร นันท์แก้ว (2561) [7] จะเห็นได้ว่าผลของการใช้ถ่านชีวภาพที่มีความ

เฉพาะเจาะจงกับชนิดพืชและวัสดุที่นำมาเผาเป็นถ่านชีวภาพ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิด ในการศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ และผลของการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัวหมักและดินปลูกที่มีต่อการเจริญเติบโตผักกาดกวางตุ้ง ผักกาดฮ่องเต้ และคะน้า ที่ปลูกในกระบะ รวมถึงคุณสมบัติของดินภายหลังจากเก็บเกี่ยว เพื่อนำผลการศึกษาย่อยทอดสร้างองค์ความรู้ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม ลดการใช้สารเคมี และต้นทุนในการผลิต สร้างความตระหนักในการนำวัสดุเหลือทิ้งจากพื้นที่การเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เชื่อมโยงกับการดูแลสุขภาพตนเองให้แข็งแรง และส่งเสริมคุณภาพชีวิต ให้เกิดการรักษาฐานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม การใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน สร้างจิตสำนึก และความตระหนักเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการจัดการสิ่งแวดล้อมของชุมชนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาคุณสมบัติของถ่านชีวภาพ และผลของการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับมูลวัวหมักและดินปลูกที่มีต่อการเจริญเติบโตผักกาดกวางตุ้ง ผักกาดฮ่องเต้ และคะน้า ที่ปลูกในกระบะ รวมถึงคุณสมบัติของดินภายหลังจากเก็บเกี่ยว

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมถ่านชีวภาพทำโดยนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ กิ่งไม้ เศษไม้ไผ่ เปลือกทุเรียน ตัดเป็นท่อนให้มีขนาดยาวประมาณ 20 เซนติเมตร จากนั้นนำมาตากแดดเพื่อลดความชื้นแล้วนำมาเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 500-800 องศา นำถ่านชีวภาพที่ได้มาบดให้มีขนาดประมาณ 3-5 มิลลิเมตร สุ่มเก็บตัวอย่างถ่านชีวภาพแต่ละชนิด ถ่านชีวภาพที่เกิดจากการผสมกันของกิ่งไม้ เศษไม้ไผ่ และเปลือกทุเรียน ในอัตรา 50, 30 และ 20% โดยน้ำหนัก รวมถึงดินปลูกทางการค้า และมูลวัวหมัก ไปวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมีและธาตุอาหารพืช ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) (ดิน: น้ำ 1: 2.5) ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน (Cation Exchange Capacity: CEC) สกัดด้วย 1 N NH₄OAc Cottenie, A. (1980) [8] และธาตุอาหารพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total Nitrogen) วิธี Kjeldahl Method Cottenie, A. (1980) [8] ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available Phosphorus) สกัดด้วยวิธี Bray II วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) สกัดด้วย 1 N NH₄OAc pH 7.0 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer Black, C.A. (1965) [9]

การทดสอบผลของวัสดุปลูกที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผัก แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ตามชนิดของพืชทดสอบ ได้แก่ ผักกาดกวางตุ้ง ผักกาดฮ่องเต้ และคะน้า แต่ละการทดลองวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (randomized complete block design) จำนวน 5 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 1 CP 100%, กรรมวิธีที่ 2 CP 80% + MB 20%, กรรมวิธีที่ 3 CP 50% + MB 50%, กรรมวิธีที่ 4 CP 40% + MB 30% + CM 30% และกรรมวิธีที่ 5 CP 50% + CM 50 %

หน่วยทดลองเป็นกระบะปลูกผักสำเร็จรูปมีปริมาตร 60 x 200 x 30 เซนติเมตร ทำจากผ้าพลาสติก high density polyethylene (HDPE) ต่อกับท่อพลาสติก polyvinyl chloride (PVC) โดยใช้ 10 กระบะต่อการปลูกผักแต่ละชนิด เตรียมต้นกล้าด้วยการเพาะเมล็ดในถาดเพาะกล้าจนต้นกล้ามีอายุ 15 วันจึงทำการย้ายต้นกล้าลงปลูก แต่ละกระบะปลูกผักที่ระยะห่างระหว่างต้น 20 x 25 เซนติเมตร ดังนั้น จะมีผักแต่ละชนิดจำนวน 48 ต้นหรือซ้ำ

การดูแลหน่วยทดลองด้วยการรดน้ำ มีการใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในอัตรา 250 มิลลิลิตรต่อน้ำ 5 ลิตร และผสมเชื้อไตรโคเดอร์มาตามอัตราแนะนำ เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารทางใบและควบคุมโรคพืช ทุก 2 สัปดาห์ เมื่อผักมีอายุครบ 45 วัน หลังจากปลูก ทำการเก็บข้อมูล ได้แก่ น้ำจำนวนใบ วัดความสูง ความกว้างใบ ความยาวรากด้วยไม้บรรทัด วัดค่าความเขียวของใบโดยใช้เครื่องคลอโรฟิลล์มิเตอร์ (SPAD) ยี่ห้อ Konica รุ่น SPAD-502 พลัส โดยวัดค่าความเขียวตำแหน่งปลายใบ กลางใบ และโคนใบแล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งนำหนักสดและน้ำหนักแห้งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ภายหลังจากเก็บเกี่ยว

ผลผลิตผักได้สุ่มเก็บตัวอย่างดินปลูกจากแต่ละหน่วยทดลองจำนวน 14 จุดต่อกรรมวิธี นำมาวิเคราะห์สมบัติของดินปลูก และธาตุอาหารด้วยวิธีการวิเคราะห์เดียวกับที่อธิบายไว้ข้างต้น

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธีโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS Version 21

4. ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพและวัสดุที่ใช้ทำดินปลูก

ถ่านชีวภาพ มูลวัวหมัก ที่นำมาผสมกับดินปลูกทางการค้ามีฤทธิ์เป็นด่าง มีค่า pH ตั้งแต่ 8.06-9.87 โดยถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียนมีค่า pH สูงที่สุดคือ 9.87 ส่วนดินปลูกทางการค้ามีฤทธิ์เป็นด่างเล็กน้อยมีค่า pH 7.57 (ตารางที่ 1) สำหรับค่า CEC ของถ่านชีวภาพสูงกว่ามูลวัวและดินปลูกทางการค้าอย่างชัดเจน โดยถ่านชีวภาพมีค่า CEC ตั้งแต่ 20.24-62.75 cmolc kg⁻¹ สำหรับปริมาณธาตุอาหาร มูลวัวมีไนโตรเจนทั้งหมดสูงกว่าวัสดุชนิดอื่น คือ 11.54 % ส่วนฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ พบมากที่สุด ใน ถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียน คือ 2,374 และ 32,627 mg kg⁻¹ ตามลำดับ สำหรับถ่านชีวภาพผสม มีคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารรองลงมาจากถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียน (ตารางที่ 1) แต่มากกว่าถ่านชีวภาพกึ่งไม้และเศษไม้ไฟ ซึ่งคาดว่าได้รับอิทธิพลจากส่วนผสมที่เป็นถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียน สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพถ่านเปลือกทุเรียนของ สายจิต ดาวสุโข, อรุณ คงแก้ว และอรุวรรณ อุณแก้ว (2555) [10] พบว่าถ่านเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบของธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และมีความพรุนสูงกว่าถ่านชีวภาพจากวัสดุอื่น ๆ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพที่ได้จากวัสดุทางการเกษตรแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ชนิดที่ได้จากกึ่งไม้หรือเศษไม้ส่วนใหญ่มีปริมาณธาตุอาหารน้อยกว่าชนิดที่ได้จากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เป็นแหล่งรับ (Sink) ที่มีการสะสมธาตุอาหารพืชไว้ในปริมาณที่สูงกว่า สังเกตได้ชัดเจนจากปริมาณโพแทสเซียมและค่า CEC เช่น เปลือกทุเรียน กะลาปาล์ม แกลบ เป็นต้น ดังนั้น กรณีที่ต้องการใช้ถ่านชีวภาพเป็นแหล่งของธาตุอาหารจึงควรพิจารณาชนิดของวัสดุที่นำมาเผาเป็นถ่านชีวภาพ

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารพืชของถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

Materials	pH	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	Total N (%)	Avail. P (mg kg ⁻¹)	Exch. K (mg kg ⁻¹)
Tree branches	8.06	20.24	0.56	742.17	682.40
Bamboo	9.52	38.85	0.76	627.92	14,537.00
Durian shells	9.87	62.75	1.34	2,374.00	32,627.00
Mixed biochars (MB)	9.38	48.54	1.09	1,281.08	21,690.00
Cow manure (CM)	8.43	6.36	11.54	670.62	1,680.50
Commercial potting soil (CP)	7.57	0.65	0.014	21.36	35.71

4.2 การเจริญเติบโตและผลผลิต

การใช้ถ่านชีวภาพผสมมีผลส่งเสริมการเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตของผักทั้ง 3 ชนิด สามารถพิจารณาผลของแต่ละการทดลอง ดังนี้

การเจริญเติบโตของผักกาดกวางตุ้ง พิจารณาจากความสูง ความยาวราก ความกว้างใบ จำนวนใบ ความเขียวน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งตอบสนองต่อกรรมวิธีที่ 4 คือ CP 40% + MB 30% + CM 30% ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่มีส่วนผสมของทั้งถ่านชีวภาพผสมและมูลวัวหมักในปริมาณที่เท่ากัน (ตารางที่ 2) รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 3 และ 5 ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่มี

ส่วนผสมของถ่านชีวภาพผสมหรือมูลวัวหมักผสมกันดินปลูกทางการค้า 50% โดยทั้งสองกรรมวิธีไม่ทำให้การเจริญเติบโต ค่าความเขียว และน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตาม พบว่า หากมีการลดสัดส่วนของถ่านชีวภาพผสมลงเหลือ 20% พบว่าทำให้ผักกาดกวางตุ้งมีการเจริญเติบโตลดลง เห็นได้อย่างชัดเจนจากความกว้างของใบและน้ำหนักสด ส่วนกรรมวิธีที่ 1 ที่ใช้ดินปลูกทางการค้า 100% พบว่า มีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด โดยเฉพาะน้ำหนักสดที่มีค่าต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างชัดเจน (ตารางที่ 2)

สำหรับผักกาดฮ่องเต้ พบว่า มีการตอบสนองด้านการเจริญเติบโตเมื่อได้รับดินปลูกในแต่ละกรรมวิธี เช่นเดียวกับผักกาดกวางตุ้ง กล่าวคือ กรรมวิธีที่ 4 ยังคงทำให้ผักกาดฮ่องเต้มีการเจริญเติบโตมากที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกรรมวิธีอื่น (ตารางที่ 2) ขณะที่กรรมวิธีที่ 1 ที่ใช้ดินปลูกทางการค้า 100% ทำให้ผักกาดฮ่องเต้ทำให้มีการเจริญเติบโตด้านลำต้นและผลผลิตน้อยที่สุด ยกเว้นค่าความเขียวใบ และน้ำหนักแห้งที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2)

การเจริญเติบโตของผักคะน้ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีที่ 4 ทำให้การเจริญเติบโตด้านลำต้นและค่าความเขียวมากกว่ากรรมวิธีอื่น (ตารางที่ 2) อย่างไรก็ตาม พบว่า เมื่อมีการใช้ถ่านชีวภาพผสมในสัดส่วนที่มากขึ้นเป็น 50% โดยไม่มีส่วนผสมของมูลวัว (กรรมวิธีที่ 3) พบว่าทำให้คะน้ามีน้ำหนักสดมากกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ 4 (ตารางที่ 2)

น้ำหนักสดของผักกาดกวางตุ้งและผักกาดฮ่องเต้ที่ปลูกโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 60 - 80 กรัม/ต้น ส่วนคะน้า 40 - 70 กรัม/ต้น (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นว่ากรรมวิธีที่ 4 ส่งเสริมให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มน้ำหนักสดของผักกาดกวางตุ้งและผักกาดฮ่องเต้เพิ่มขึ้นถึง 2 เท่า เมื่อเทียบกับดินปลูกทางการค้า ส่วนกรรมวิธีอื่นยังคงให้ผลผลิตผักเหมือนกันการปลูกผัก โดยทั่วไป ส่วนคะน้าพบว่าทุกกรรมวิธีไม่ทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิตสดแตกต่างจากการปลูกคะน้าโดยทั่วไป โดยปกติค่าความเขียวของใบเป็นค่าที่แปรผันตรงกับปริมาณคลอโรฟิลล์และไนโตรเจน ค่าความเขียวจากทุกกรรมวิธีที่มากกว่า 40 SPAD-unit แสดงว่าผักคะน้าเจริญเติบโตได้ตามปกติ จากการศึกษาของ Sendi, H., M.T.M. Mohamed, M.P. Anwar and H.M. Saud (2013) [11] ที่ทดลองปลูกผักคะน้าโดยใช้พีทมอสและวัสดุเหลือทิ้งก้อนเชื้อเห็ดที่ใช้แล้วมาผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ บรรจุลงในถุงปลูก และทดสอบการใส่ปุ๋ยเคมีเกรด 15-15-15 อัตรา 1.8 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่า วัสดุปลูกทุกกรรมวิธีมีค่า pH เพิ่มขึ้นตามอัตราของวัสดุเหลือทิ้งก้อนเชื้อเห็ด ผักคะน้ามีการเจริญเติบโตเป็นปกติและมีค่าความเขียวใบมากกว่า 40 SPAD-unit เฉพาะกรรมวิธีที่ใช้ปุ๋ยเคมี เนื่องจากค่า pH ที่เพิ่มขึ้นจากการใส่วัสดุเหลือทิ้งก้อนเชื้อเห็ดทำให้ธาตุอาหารอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์จึงทำให้ปุ๋ยเคมีเป็นแหล่งธาตุอาหารที่คะน้าใช้ประโยชน์ได้ Sendi, H., M.T.M. Mohamed, M.P. Anwar and H.M. Saud (2013) [11] ขณะที่การใช้ถ่านชีวภาพผสมทำให้ค่า pH สูงขึ้นเช่นกัน แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร คุณสมบัติทางเคมีของถ่านชีวภาพผสมที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้รับอิทธิพลหลักมาจากถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียน ที่มีค่า CEC และเป็นวัสดุที่มีรพูนสูง ซึ่งบริเวณรพูนมีแร่ธาตุหลายชนิด โดยเป็นแร่ธาตุที่ละลายน้ำได้ดี เช่น archerite (KH_2PO_4), Chlorocalcite (KCaCl_3), Kalicinite (KHCO_3) และ Sylvite (KCl) Prakongkep, N., R.J. Gilkes and W. Wiryakitnateekul (2014) [12] ปริมาณธาตุอาหารพืชในถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนจึงสูงกว่าถ่านชีวภาพชนิดอื่น ๆ ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นที่ใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากกิ่งไม้ แกลบ ชังข้าวโพด เป็นต้น

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตของผักกาดกวางตุ้ง ผักกาดฮ่องเต้ และผักคะน้า

Experiment	Treatment	Height (cm)	Root length (cm)	Leaf width (cm)	Numbers of leaves	Greenness (SPAD unit)	Fresh weight (g/plant)	Dry weight (g/plant)
Bok Choy	1. CP 100%	33.10c	3.72c	9.23d	11.59c	37.7b	67.75d	29.82b
	2. CP 80% + MB 20%	36.00b	4.20ab	9.79c	12.48bc	39.4b	77.05c	31.27b
	3. CP 50% + MB 50%	36.60b	4.04ab	11.35b	13.39ab	39.7ab	87.85b	32.49ab
	4. CP 40% + MB 30% + CM 30%	41.60a	4.51a	13.68a	14.06a	42.8a	156.45a	46.29a
	5. CP 50% + CM 50%	35.10b	4.27a	10.31bc	12.41bc	40.4ab	85.35b	27.92b
	F-test	*	*	*	*	*	*	*
Pak Chai	1. CP 100%	23.55c	3.64c	6.59c	14.64bc	40.6	62.01c	16.71
	2. CP 80% + MB 20%	28.95ab	3.94c	12.11b	14.26bc	42.8	77.74b	21.78
	3. CP 50% + MB 50%	25.40bc	4.28b	11.10b	15.05ab	41.4	63.49c	18.17
	4. CP 40% + MB 30% + CM 30%	31.30a	5.59a	15.44a	15.73a	45.8	102.76a	27.81
	5. CP 50% + CM 50%	28.40ab	4.48b	10.80b	13.69c	40.9	74.49b	16.51
	F-test	*	*	*	*	ns	*	ns
Chinese kale	1. CP 100%	28.75b	3.71b	7.62c	9.19c	45.0d	29.38d	2.44c
	2. CP 80% + MB 20%	31.65ab	3.92ab	9.05b	10.61b	49.9b	41.35b	3.63bc
	3. CP 50% + MB 50%	31.90ab	4.17ab	10.03ab	10.33b	49.5b	46.18a	5.42a
	4. CP 40% + MB 30% + CM 30%	34.55a	4.43a	10.58a	11.96a	51.5a	34.86c	4.31ab
	5. CP 50% + CM 50%	28.55b	4.35ab	8.72bc	10.42b	47.4c	33.06c	2.85bc
	F-test	*	*	*	*	*	*	*

Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by LSD test

* = Significantly different at $P < 0.05$, ns = non-significant difference

4.3 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของดินปลูกภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของดินปลูกภายหลังการเก็บเกี่ยวผักทั้ง 3 ชนิดมีดังนี้ ดินที่ใช้ปลูกผักกาดกวางตุ้งที่มีถ่านชีวภาพผสมทั้ง 3 กรรมวิธี ได้แก่ กรรมวิธีที่ 2, 3 และ 4 มีค่า pH ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.88 - 6.68 ค่า EC ของกรรมวิธีที่ 4 คือ CP 40% + MB 30% + CM 30% แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 0.22 dS cm^{-1} ในขณะที่กรรมวิธีอื่นมีค่า EC ในช่วง $0.15 - 0.19 \text{ dS cm}^{-1}$ ค่า CEC มีความแตกต่างเช่นเดียวกับค่า EC กล่าวคือ กรรมวิธีที่ 4 ยังคงมีค่ามากที่สุด คือ $1.50 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ และแตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปริมาณธาตุอาหารพืช พบว่า ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และโพแทสเซียม

ที่แลกเปลี่ยนได้ยังคงพบมากที่สุดในกรรมวิธีที่ 4 คือ 0.056%, 243.97 mg kg⁻¹ และ 701.55 mg kg⁻¹ ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่ 1 ที่ใช้ดินปลูกทางการค้า 100% พบว่า มีปริมาณธาตุอาหารทุกชนิดต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

สำหรับดินที่ใช้ปลูกผักกาดฮ่องเต้และคะน้าให้ผลเช่นเดียวกับดินที่ใช้ปลูกผักกาดกวางตุ้งทั้งด้านปริมาณและแนวโน้มความแตกต่างของแต่ละกรรมวิธี โดยภาพรวมพบว่า เฉพาะค่า pH ของดินปลูกที่เพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่ถ่านชีวภาพผสมส่วนกรรมวิธีที่ 1 ดินปลูกทางการค้า 100% พบค่า EC และ CEC ต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านของธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพและมูลวัวหมักลงในดินปลูกทางการค้า (กรรมวิธีที่ 4) มีผลทำให้ดินปลูกมีปริมาณธาตุอาหารสูงที่สุด ขณะที่การผสมถ่านชีวภาพผสม หรือ มูลวัวลงในดินปลูกทางการค้า 50% (กรรมวิธีที่ 3 และ 5) ทำให้ปริมาณธาตุอาหารที่พบภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ส่วนการใช้ดินปลูกทางการค้า 100% พบปริมาณธาตุอาหารต่ำที่สุด (ตารางที่ 3) จากการศึกษาี้แสดงให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพและมูลวัวสามารถปรับค่า pH และเป็นแหล่งธาตุอาหารพืชของดินปลูกได้ไม่ทำให้ค่า EC สูงจนเป็นอันตรายต่อพืช และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างถ่านชีวภาพผสมหรือมูลวัวหมักที่ใส่ลงในดินปลูกทางการค้า 50% พบว่า สามารถใช้ถ่านชีวภาพหรือมูลวัวหมักได้อย่างใดอย่างหนึ่งได้ เนื่องจากเป็นวัสดุที่ให้แหล่งธาตุอาหารหลักส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกัน และส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักทั้ง 3 ชนิด ได้เช่นเดียวกันจากข้อมูลปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเป็นที่น่าสังเกตกรรมวิธีที่ 4 พบปริมาณไนโตรเจนมากกว่ากรรมวิธีที่ 5 ในทุกการทดลอง ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่มูลวัวหมักปลดปล่อยไนโตรเจนในรูปที่เป็นประโยชน์ ได้แก่ แอมโมเนียมไอออน และไนเตรทไอออน แต่บางส่วนน่าจะถูกลดดูดซับไว้โดยถ่านชีวภาพจึงทำให้ไนโตรเจนยังคงเหลืออยู่ในดินปลูก ในขณะที่การใส่มูลวัวหมักร่วมกับดินปลูกทางการค้าในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นกลับพบไนโตรเจนต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับค่า CEC เริ่มต้นของดินปลูกทางการค้า (ตารางที่ 1) และค่า CEC ภายหลังการเก็บเกี่ยว (ตารางที่ 3) ผลการศึกษานี้สนับสนุนว่าถ่านชีวภาพช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารพืชและลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจนเช่นเดียวกับการศึกษาของ Lehmann, J., J. P. da Silva Jr., C. Steiner, T. Nehls, W. Zech and B. Glaser (2003) [13], Van Zwieten, L., S. Kimber, A. Downie, S. Morris, S. Petty, J. Rust and K.Y. Chan (2010) [14] และ เสาวคนธ์ เหมวงษ์ (2557) [15]

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของดินปลูกภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

Treatment	pH	EC (dS cm ⁻¹)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	Total N (%)	Avai. P (mg kg ⁻¹)	Exch. K (cmol _c kg ⁻¹)
Experiment 1 : Bok Choy						
1. CP 100%	6.39c	0.15c	1.15b	0.014c	228.89c	341.34d
2. CP 80% + MB 20%	6.88a	0.17bc	1.20b	0.042b	236.46b	393.70c
3. CP 50% + MB 50%	6.85a	0.17bc	1.35ab	0.041b	233.14b	638.21b
4. CP 40% + MB 30% + CM 30%	6.68ab	0.22a	1.50a	0.056a	243.97a	701.55a
5. CP 50% + CM 50%	6.47b	0.19b	1.30ab	0.028c	238.94ab	625.24b
F-test	*	*	*	*	*	*

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Treatment	pH	EC (dS cm ⁻¹)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	Total N (%)	Avai. P (mg kg ⁻¹)	Exch. K (cmol _c kg ⁻¹)
Experiment 2 : Pak Chai						
1. CP 100%	6.25d	0.18	1.05c	0.014c	226.47c	527.14d
2. CP 80% + MB 20%	6.70b	0.16	1.25bc	0.042ab	249.42b	573.53c
3. CP 50% + MB 50%	6.97a	0.19	1.40abc	0.038ab	242.78b	558.59c
4. CP 40% + MB 30% + CM 30%	6.58c	0.19	1.55a	0.042a	251.97a	928.47a
5. CP 50% + CM 50%	6.51c	0.14	1.30ab	0.028b	246.74b	633.05b
F-test	*	ns	*	*	*	*
Experiment 3 : Chinese kale						
1. CP 100%	6.39d	0.20b	1.10b	0.014d	244.87d	567.49c
2. CP 80% + MB 20%	6.65b	0.20b	1.25ab	0.028c	289.46b	675.37b
3. CP 50% + MB 50%	7.07a	0.20b	1.40a	0.042b	271.92c	584.23c
4. CP 40% + MB 30% + CM 30%	6.61bc	0.25a	1.50a	0.056a	297.73a	884.83a
5. CP 50% + CM 50%	6.54c	0.22b	1.35ab	0.028c	262.51c	677.17b
F-test	*	*	*	*	*	*

Means within the same column followed by different letters showed significantly different between treatments by LSD test

* = Significantly different at $P < 0.05$, ns = non-significant difference

5. อภิปรายผล

ถ่านชีวภาพทุกชนิดเป็นต่างมีค่า pH อยู่ในช่วง 8.06 – 9.87 และมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) แปรผันตามค่า pH ถ่านชีวภาพเปลือกทุเรียนมีปริมาณ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มากที่สุด คือ 2,374, 32,627 mg kg⁻¹ ตามลำดับ การผสมดินปลูกโดยใช้ CP 40% + MB 30% + CM 30% ส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักทั้งสามชนิดเมื่อเทียบกับ CP 100% ผักกาดกวางตุ้งและผักกาดฮ่องเต้มีน้ำหนักสดเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า และส่งเสริมการสังเคราะห์แสงของผักคะน้าเมื่อพิจารณาจากค่าความเขียวของใบ การใส่ MB ทำให้ค่า pH และ CEC ของดินปลูกเพิ่มขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยวผัก แต่ไม่มีผลต่อค่า EC นอกจากนี้การใส่ MB ยังส่งเสริมประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุไนโตรเจน สามารถใช้ MB เป็นส่วนผสมในดินปลูกผักได้สูงที่สุด 50% โดยไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผัก ผลการศึกษาวิจัยดังกล่าวสรุปได้ว่ามีความสอดคล้องกับแนวคิดในการนำถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นผสมในการปลูกผักอินทรีย์โดยพบว่า การใช้ถ่านชีวภาพที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนซึ่งเป็นวัสดุที่มีธาตุอาหารพืชสูง เมื่อนำมาผสมลงในดินปลูกทางการค้าได้สูงที่สุด 50% ส่งผลให้ผักอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดมีการเจริญเติบโตให้ผลผลิตที่ดี และส่งผลให้สมบัติทางเคมีของดินปลูกหลังการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ สายชล สุขญาณกิจ และสิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์ (2560) [2] ศึกษาชนิดและอัตราส่วนของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดิน การเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด พบว่า การใส่ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ดินมีสมบัติของดินดีขึ้น ดินมีความอุดมสมบูรณ์ เกิดความหลากหลายทางชีวภาพในดินและระบบนิเวศ ส่งผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพ ของกระเจี๊ยบเขียว การใช้เปลือกทุเรียนนำมาทำเป็นวัสดุปรับปรุงดินยังไม่มีต้นทุนการผลิต และสอดคล้องกับ สายชล สุขญาณกิจ และสิริวรรณ สมิทธิอาภรณ์ (2561) [3] ศึกษาผลของถ่านชีวภาพร่วมกับ

การจัดการปุ๋ยต่อผลผลิตและความเข้มข้นธาตุอาหารในถั่วฝักยาวไร้ค้าง พบว่า การใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับวัสดุปลูกทำให้ถั่วฝักยาวไร้ค้างมีการเจริญเติบโต ผลผลิต และปริมาณธาตุอาหารในผลผลิตสูงกว่าการไม่ใส่ ขณะที่กรรมวิธีการจัดการปุ๋ยที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตและปริมาณธาตุอาหารในผลผลิต แต่พบปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างถ่านชีวภาพและการจัดการปุ๋ยแบบต่าง ๆ ด้านปริมาณธาตุอาหารในวัสดุปลูกหลังเก็บเกี่ยวพบว่าการใส่ถ่านชีวภาพมีผลให้ปริมาณธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การศึกษานี้สนับสนุนความเป็นไปได้ในการใช้ถ่านชีวภาพผสมลงในดินปลูก สำหรับปลูกผักกินใบ เพื่อลดการใช้สารเคมี ลดต้นทุนในการผลิต และช่วยลดปริมาณขยะจากการนำวัสดุเหลือทิ้งจากพื้นที่การเกษตรมาใช้ผลิตถ่านชีวภาพ นำกลับไปใช้ปรับปรุงบำรุงดินส่งผลให้เกิดประโยชน์สูงสุด

6. ข้อเสนอแนะ

1. สามารถทำการทดลองการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ปลูกพืชชนิดอื่นได้โดยมีกรรมวิธีการทดลองเช่นเดียวกัน
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อกักเก็บคาร์บอนในดิน ปริมาณจุลินทรีย์ดิน ในแปลงทดลอง
3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงอัตราของถ่านชีวภาพที่เหมาะสมในการผลิตพืชแต่ละชนิดรวมทั้งผลกระทบในระยะยาวต่อคุณภาพของดินและสิ่งแวดล้อม

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] พินิจภณ ปิตุยะ, ไวกูมิ ภูทอง, สายฝน สิ้นสมุทรไทย, นัยนา พรหมอุดม, ปัญญารัตน์ สิงห์พยัคฆ์, ภัทรมาศ มากมูล, กิตติพัทธ์ โพธิ์ศรี ศุภกร คำงาม และจรีใจ เพชรแก้ว. เอกสารองค์ความรู้ เรื่อง ถ่านชีวภาพ. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, จังหวัดเพชรบุรี, หน้า 28.
- [2] เกศศิริพันธ์ แสงมณี, จิตรยา จารุจิตร และพิชัยชัย ทองนวัตน์. การศึกษาชนิดและอัตราส่วนของถ่านชีวภาพต่อสมบัติของดินการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของกระเจี๊ยบเขียวที่ปลูกในพื้นที่ดินเปรี้ยวจัด, รายงานวิจัย, กรุงเทพมหานคร, หน้า 101.
- [3] สายชล สุขญาณกิจ และสิริวรรณ สมิตธิอาภรณ์. ผลของถ่านชีวภาพร่วมกับการจัดการปุ๋ยต่อผลผลิตและความเข้มข้นธาตุอาหารในถั่วฝักยาวไร้ค้าง, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28(3), 2561, หน้า 443-454.
- [4] เกศศิริพันธ์ แสงมณี, วีระรัตน์ ชินแสน และณัฐพงษ์ พันธภา. การศึกษาอัตราส่วนของถ่านชีวภาพต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินปลูก การเจริญเติบโต และผลผลิตของผักสลัดกรีนคอส. เรื่องเติมการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53: สาขาพืช. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: 746-752. 2558.
- [5] จาวภา มะนาวนอก, สันติไมตรี ก้อนคำดี, เกษสุตา เดชภิมล, วรณวิภา แก้วประดิษฐ์ พลพินิจ และตรุณี โชติษฐียงกูร. ถ่านชีวภาพ: ผลต่อคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวนาหว่านน้ำตม (การทดสอบในสภาพกระถาง), แก่นเกษตร, 45(2), 2560, หน้า 209-220.
- [6] Butnan, S., J.L. Deenik, B. Toomsan, M. J. Antal and P. Vityakon. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy, *Geoderma*, 237(1), 2015, pp. 105-116.
- [7] รุ่งเพชร เกิดประกอบ และนัฐพร นันท์แก้ว. ผลของสารอัลลีโลพาธีจากถ่านเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่มีผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักและวัชพืช. วิทยาศาสตร์บัณฑิต ปัญหาพิเศษ, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์, 2561.
- [8] Cottenie, A. *Soil and Plant Testing as a Basis of Fertilizer Recommendations*. FAO Soils Bulletin No. 38/2. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, p. 118, 1980.

- [9] Black, C.A. *Methods of Soil Analysis. Part II: Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. p. 1572, 1965.
- [10] สายจิต ดาวสุโข อรุณ คงแก้ว และอุรวรรณ อุ่นแก้ว. การพัฒนาถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน และเพิ่มธาตุอาหารสำหรับเกษตรกรรม, *วารสารผลงานวิชาการกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 1(1), 2555, หน้า 133-141.
- [11] Sendi, H., M.T.M. Mohamed, M.P. Anwar and H.M. Saud. *Spent mushroom waste as a media replacement for peat moss in Kai-Lan (Brassica oleracea var. Alboglabra) production*. The Scientific World Journal. 2013, Article ID 258562, doi: 10.1155/2013/258562.
- [12] Prakongkep, N., R.J. Gilkes and W. Wiriyaakittatekul. Agronomic benefits of durian shell biochar. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 24(1), 2014, pp. 7-11.
- [13] Lehmann, J., J. P. da Silva Jr., C. Steiner, T. Nehls, W. Zech and B. Glaser. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, *Plant and Soil*, 249(1), 2003, pp. 343-357.
- [14] Van Zwieten, L., S. Kimber, A. Downie, S. Morris, S. Petty, J. Rust and K.Y. Chan. A glasshouse study on the interaction of low mineral ash biochar with nitrogen in a sandy soil, *Australian Journal of Soil Research*, 48(7), 2010, pp. 569-576.
- [15] เสาวคนธ์ เหมวงษ์. ผลของถ่านชีวภาพจากไม้ไผ่ และแกลบต่อผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดใช้ในโตรเจนของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 16(1), 2557, หน้า 69-75.

การออกแบบและสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ความเร็ว 3 ระดับแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF AUTOMATIC 3 SPEED SOLAR PANEL CLEANING MACHINE CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

อนุชา ดีผาง¹ และชัยพร อัฒโอดดร^{2*}

Anucha Deephang¹ and Chaiporn Addoddorn^{2*}

¹ อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น

^{2*} อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น

*Corresponding, E-mail: chaiporn.add@neu.ac.th

Received: 4 February 2022

Revised: 16 April 2022

Accepted: 6 April 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ความเร็ว 3 ระดับแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความกว้างพัลส์ร้อยละ 30 60 และ 100 เพื่อทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แทนมนุษย์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรอัดประจุ มอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ตัว มอเตอร์แปร่งขัด 1 ตัว โซลินอยวาล์ว 1 ตัว ไฟแสดงสถานะการทำงานและวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 เครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้สามารถเคลื่อนที่ได้ 2 ทิศทาง คือ เดินตามแนวยาวของแผงเดินหน้า ถอยหลัง ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัว มีลิ้มิตสวิทช์ตัดการทำงาน 2 ตัว เครื่องสามารถขัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยมอเตอร์กระแสตรง 1 ตัวที่เชื่อมต่อกับชุดแปร่งขัด มีโซลินอยวาล์วจัดน้ำทำความสะอาด มีหลอดไฟวาเลนแสดงสถานะการทำงานของเครื่องและแสดงระดับของแบตเตอรี่ 3 ระดับ คือ เต็ม กลาง และต่ำ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้มอเตอร์ขับเคลื่อนและมอเตอร์แปร่งขัดทำงาน ส่วนโซลินอยวาล์วจะทำงานพร้อมกับไฟแสดงสถานะการทำงาน จากการทดสอบ จะพบว่า สำหรับบนพื้นที่แห้งเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเคลื่อนที่เดินหน้า ถอยหลัง ได้ตามที่ต้องการ สำหรับบนพื้นที่เปียกเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเคลื่อนที่ได้แต่จะเกิดการสะดุดของเครื่องเล็กน้อยเนื่องจากล้อขับเคลื่อนลื่นจนไม่สามารถพาตัวเครื่องเคลื่อนที่ได้สะดวก การทดสอบมอเตอร์แปร่งขัดและแปร่งขัดจะเห็นว่าถ้าติดแปร่งขัดแล้วความเร็วของมอเตอร์แปร่งขัดจะลดลงเนื่องจากมอเตอร์มีการความขบโหลด เมื่อทดสอบขับจริงความเร็วรอบของมอเตอร์แปร่งขัดจะลดลงตามแรงเสียดทานของพื้นที่ และการทดสอบการทำงานเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติด้านประสิทธิภาพ สำหรับแผงไม่สะอาด จะมีประสิทธิภาพร้อยละ 62.06 สำหรับแผงสะอาด จะมีประสิทธิภาพร้อยละ 95 ทำให้ปลอดภัยและประหยัดการใช้แรงงานของมนุษย์ได้เป็นอย่างมาก

คำสำคัญ: เครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ความกว้างพัลส์ ไมโครคอนโทรลเลอร์

Abstract

This paper presents the design and construction of automated 3 speed level solar panel cleaning machine controlled by microcontroller with pulse width modulation at 30, 60 and 100 percent to clean solar panels instead of humans. It consists of a charging circuit 2 drive motors, 1 brush motor, 1 solenoid valve, indicator light and

Arduino Mega 2560 microcontroller circuit. This solar panel cleaning machine can move in 2 directions are longitudinal walk of the panel forward and backward with 2 DC motors and 2 cut-off limit switches, the unit can polish the solar panel by 1 DC motor connected to the brush set. There is a solenoid valve for cleaning water. There is a wireless light that shows the working status of the machine and shows the battery level in 3 levels are full, middle, and low. The microcontroller will order the drive motor and brush motor to work. The solenoid valve will work with an indicator light. From testing, it was found that on dry areas the solar panel cleaning machine can move forward and backward as needed. In wet areas, the solar panel cleaning machine can move but there will be a slight interruption of the unit because the drive wheels are so slippery that they can't carry the machine to move easily. The brush and brush motor test shows that if the brush is attached, the brush motor speed will decrease due to the motor being loaded. In the actual test drive, the speed of the brush motor will decrease according to the frictional area and efficiency test of the automatic solar panel cleaning machine for unclean panels will be 62.06 percent efficiency and for clean panels will be 95 percent efficiency, making it safe and saves a lot of human labor.

Keywords: Solar Panel Cleaning Machine, Pulse Width Modulation, Microcontroller

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้แทนแรงงานมนุษย์ ซึ่งการนำเทคโนโลยีมาทดแทนแรงงานมนุษย์ในการทำทำความสะอาดนี้ไม่ต้องใช้แรงงานมนุษย์ในการลงมือทำงานเอง แคกดสวิทช์เครื่องก็จะทำงานอัตโนมัติ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการทำทำความสะอาดโดยไม่ใช้แรงงานมนุษย์ นี่คือการเร่งด่วนในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันมีความสำคัญมาก เพราะการสูญเสียพลังงานเมื่อมีสิ่งกีดขวางที่ไม่ต้องการครอบคลุมพื้นผิวของแผง สิ่งกีดขวางจะเปลี่ยนเซลล์ที่แรงาเป็นตัวต้านทานทำให้แผงร้อนขึ้นและกินไฟเพิ่มขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาจึงได้ออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบทำความสะอาดตัวเองได้ Rutvij P. Kulkarni & Committee (2018); Yu N Zatsarinnaya & D I Amirov [1,2] ซึ่งมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน เช่น เงา หิมะ อนุภาคนิวเคลียส ละอองเกสร นก มูล เกลือทะเล ฝุ่นและสิ่งสกปรก ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ฝุ่น ซึ่งสามารถลดได้ ทำให้แผงมีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานสูงสุดถึง 50% ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เพื่อสำรวจความเป็นไปได้ของการใช้แหล่งพลังงานที่ยั่งยืนมากขึ้น ความเป็นไปได้ในการติดตั้งแผงเซลล์อาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดความจำเป็นในการพิจารณาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานในระยะยาว การกำจัดเศษซากออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเฉพาะฝุ่นที่ประกอบด้วยละอองเกสร เกลือทะเล และอนุภาคนิวเคลียส งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เครื่องทำความสะอาดเพื่อขจัดฝุ่น เกลือทะเล และละอองเกสรออกจากพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยในประเทศที่มีสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นมาก การสะสมของฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้การส่องผ่านของแสงลดลง ผลกระทบของฝุ่นที่สะสมจะส่งผลต่อการรับแสงเวลาแสงแดดส่อง วิธีที่ดีที่สุดในการขจัดผลกระทบของฝุ่นที่สะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็คือ เครื่องทำความสะอาดแผง Nasib Khadka and Committee [3] ซึ่งปกติจะทำการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ยุ่งยากในแง่ของแรงงานที่เกี่ยวข้องและระยะเวลาการทำงาน ในทางปฏิบัติการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ควรทำบ่อยๆ ซึ่งทำให้มีกระบวนการที่ยุ่งยากและมีราคาแพงขึ้นอีกด้วย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติเพื่อทดแทนแรงงานมนุษย์ และลดค่าใช้จ่ายในการทำทำความสะอาดที่ต้องทำบ่อยๆ ด้วย โดยการทำทำความสะอาดจะเคลื่อนที่เดินหน้า ถอยหลังตามระยะของแผงที่กำหนด และเครื่องก็จะแสดงค่าส่งผ่านทางจอแอลซีดีด้วย

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

ประภรณ์ชัย พลรัตนศักดิ์ และชัยพร อัดโตดตร (2020) [4] เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน นำมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ในทันทีที่มีแสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า Proton จะถ่ายเทพลังงานให้กับ Electron ในสารกึ่งตัวนำ จนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของ Atom และสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระแบ่งได้ 2 ชนิด คือ ชนิดที่ 1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน แบ่งตามลักษณะของรูปผลึกได้เป็น 3 รูปแบบ คือ แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) แบบผลึกรวม (Polycrystalline) และแบบไม่มีรูปผลึก (Amorphous) ซึ่งบางครั้งอาจเรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell) ชนิดที่ 2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบ เช่น สารประกอบแกลเลียมอาร์เซไนด์ เป็นต้น ซึ่งมีทั้งแบบผลึกเดี่ยวและผลึกรวม ส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพสูง

2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.1) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยวและชนิดผลึกรวมลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก

2.2.2) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน น้ำหนักเบาและประสิทธิภาพเพียง 10%

2.2.3) เซลล์แสงอาทิตย์ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่น ๆ เช่น แกลเลียม แคลเดียมเทลลูไรด์และคอปเปอร์ - อินเดียมไธเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว และผลึกรวม เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลียม อาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20 - 25%

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

Faridah Hanim Mohd Noh and Committee (2020); Babu K, Dinesh kumar P, Kamala priya S, Kathirvel P. (2018) [5,6] Arduino Mega 2560 R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่ออกแบบมาสำหรับงานที่ต้องใช้ I/O มากกว่า Arduino Uno R3 เช่น งานที่ต้องการรับสัญญาณจาก Sensor หรือควบคุมมอเตอร์ Servo หลากๆ ตัวทำให้ Pin I/O ของบอร์ด Arduino Uno R3 ไม่สามารถรองรับได้ ทั้งนี้บอร์ด Mega2560 R3 ยังมีความหน่วยความจำแบบ Flash มากกว่า Arduino Uno R3 ทำให้สามารถที่จะเขียนโค้ดโปรแกรมเข้าไปได้มากกว่าในความเร็วของ MCU ที่เท่ากัน

ข้อมูลจำเพาะ

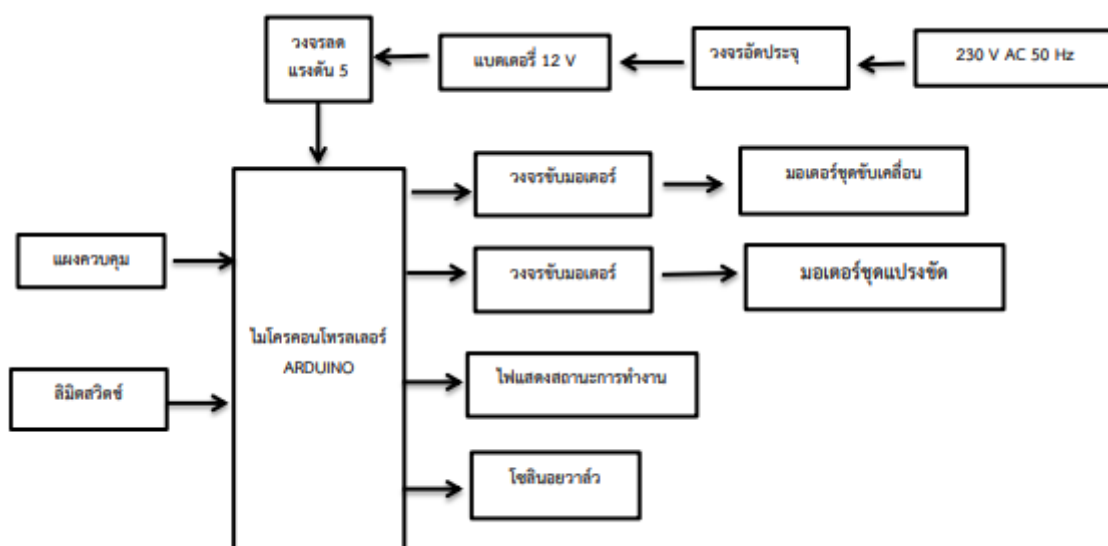
- ชิพไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega2560
- ใช้แรงดันไฟฟ้า 5 V
- รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่แนะนำ 7-12 V
- รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่จำกัด 6-20 V
- พอร์ต Digital I/O 54 พอร์ต มี 15 พอร์ต PWM output
- พอร์ต Analog Input 16 พอร์ต
- กระแสไฟฟ้ารวมที่จ่ายได้ในทุกพอร์ต 40 mA
- กระแสไฟฟ้ที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3 V 50 mA
- พื้นที่โปรแกรมภายใน 256 KB แต่ 8 KB ถูกใช้โดย Bootloader
- พื้นที่แรม 8 KB
- พื้นที่หน่วยความจำถาวร EEPROM 4 KB
- ความถี่คริสตัล 16 MHz



รูปที่ 1 บอร์ด Arduino Mega 2560 R3

3. การออกแบบและสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

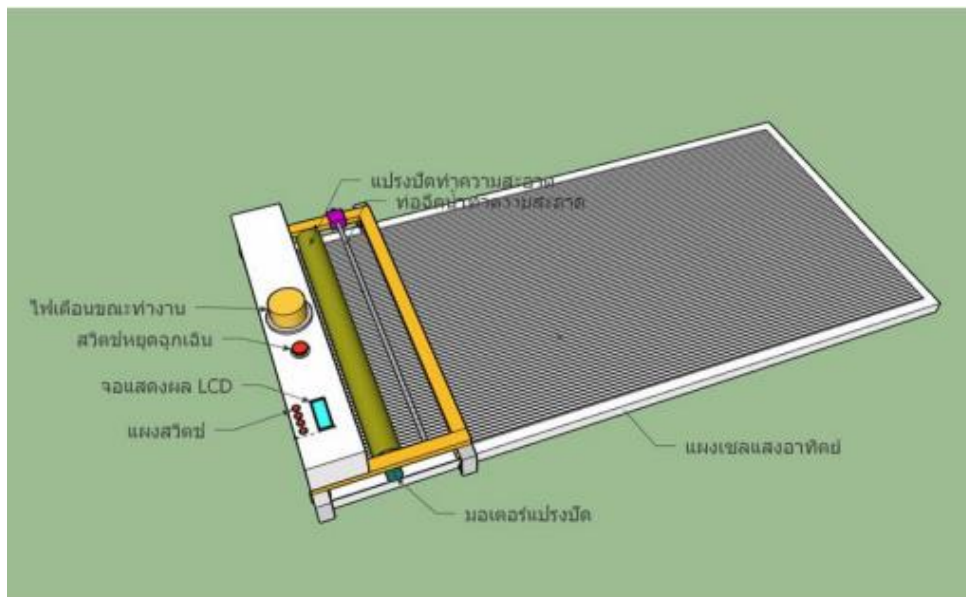
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานในรูปที่ 2 จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานในรูปที่ 2 จะประกอบด้วยวงจรตัดประจุ มอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ตัว มอเตอร์แปร่งขัด 1 ตัว โซลินอยด์วาล์ว 1 ตัว ไฟแสดงสถานะการทำงานและวงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 การทำงานเริ่มจากแผงควบคุมหรือสวิตช์จะส่งสัญญาณไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อรับคำสั่งจากลิimitswitchฝั่งเริ่มต้นว่าเครื่องติดตั้งพร้อมที่จะทำงานหรือไม่ เมื่อรับคำสั่งจาก ลิimitswitchฝั่งเริ่มต้นแล้วเครื่องติดตั้งพร้อมที่จะเริ่มการทำงาน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งการประมวลผลไปยังอุปกรณ์ ต่างๆ มอเตอร์ขับเคลื่อนจะทำงานตามแผงควบคุมที่ตั้งค่าไว้ ส่วนวงจรขับเคลื่อนก็ทำงานเช่นกัน เมื่อเริ่มการทำงาน ไฟแสดงสถานะการทำงานจะทำงานพร้อมกันกับโซลินอยด์วาล์ว

3.2 โครงสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3 โครงสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

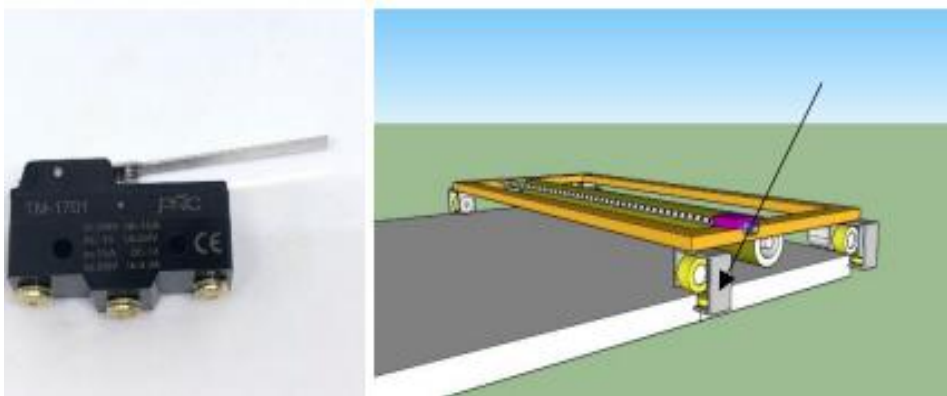
เครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกแบบให้มีระบบการขับเคลื่อนด้วยแปรงขัดขนพลาสติกแบบแบ่งทรงกลมจำนวน 1 หัวแปรง ดังในรูปที่ 3 โดยแปรงขัดขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนของการขับเคลื่อนใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจำนวน 4 ตัว ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและล้อกลิ้งตามแนวขอบแผง มีล้อล็อกประกอบขอบแผงเพื่อรักษาเส้นทางเคลื่อนที่ ส่วนด้านบนจะเป็นไฟเตือนขณะทำงาน มีโซลินอยด์วาล์วและก้านฉีดน้ำเพื่อใช้สำหรับฉีดน้ำประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน มีแหล่งพลังงานเป็นแบตเตอรี่ด้วย ซึ่งมีรูปร่างลักษณะตัวเครื่องดังแสดงในรูปที่ 4 ดังนี้



รูปที่ 4 โครงสร้างเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถ่ายจากภาพจริง

3.3 การตรวจจับขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้ใช้ลิมิตสวิตช์ตรวจจับแต่งติดตั้งที่ภายในตัวเครื่อง ใช้ 2 ตัวเป็นสวิตช์ที่จำกัดระยะทางการทำงานอาศัยแรงกดภายนอกมากระทำ เช่น วางของทับที่ปุ่มกดหรือลูกเบี้ยวมาชนที่ปุ่มกดและเป็นผลทำให้หน้าสัมผัสที่ต่ออยู่กับก้านชนเปิด-ปิด ตามจังหวะของการชน ใช้ลิมิตสวิตช์เพื่อบรรอบหรือตัดการทำงานของเครื่อง เมื่อถึงขอบแผงกันไม่ให้เครื่องทำงานเกินขอบอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ ลิมิตสวิตช์โดยปกติแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ปกติเปิดและปกติปิด จากโครงสร้างภายในตำแหน่งปกติ หน้าสัมผัสจะไม่ต่อกันทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านได้ เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ เช่น ลูกสูบเคลื่อนที่ออกมาคลimitสวิตช์ทำให้สภาวะการทำงานเปลี่ยนจากปกติเปิดเป็นปกติปิด มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปได้ และเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่กลับจะทำให้ลิมิตสวิตช์กลับสู่สภาพเดิมจากปกติปิดเป็นปกติเปิด ทำให้ตัดวงจรการทำงาน



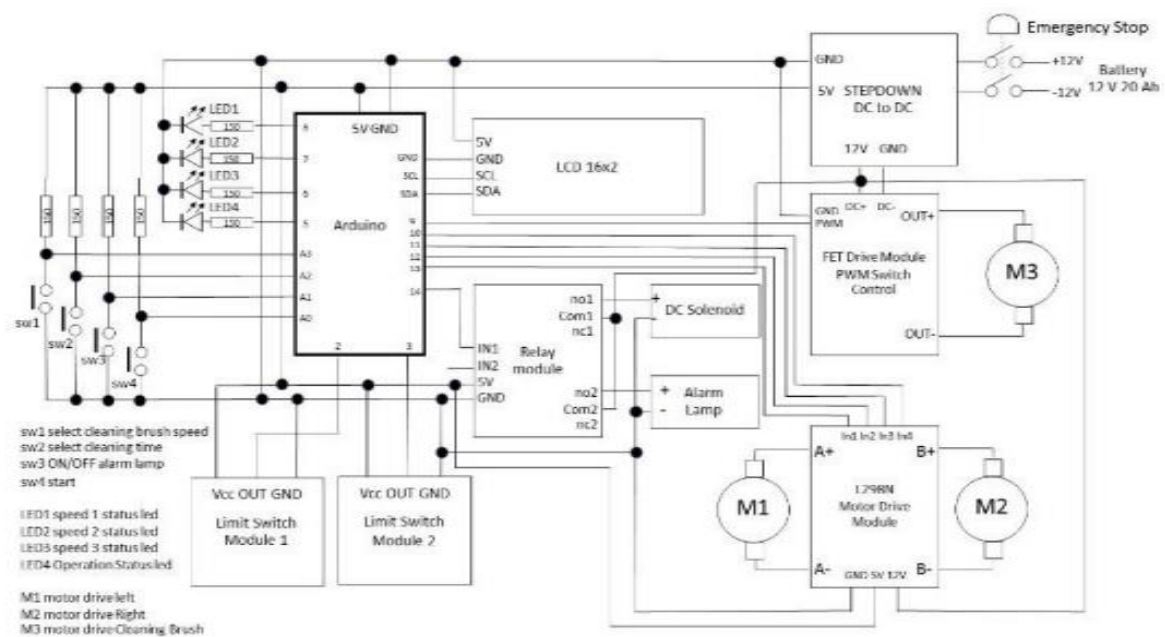
รูปที่ 5 การตรวจจับขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.4 ระบบควบคุมการเปิด-ปิดน้ำสำหรับทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

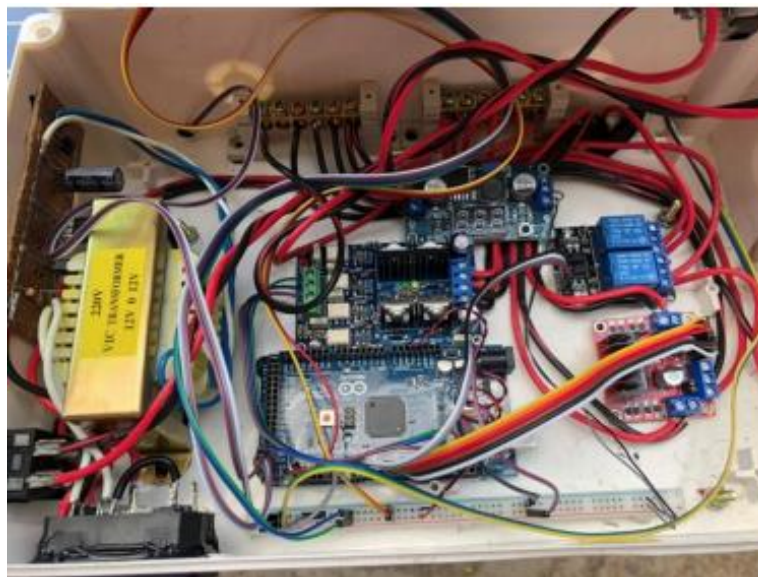
งานวิจัยนี้ใช้โซลินอยวาล์ว คือ วาล์วควบคุมทิศทางน้ำโดยใช้คอยล์ไฟฟ้าสั่งการร่วมกับสปริงหรือคอยล์ไฟฟ้าอีกตัวเมื่อต้องการให้วาล์วอยู่อีกตำแหน่ง โซลินอยวาล์วประกอบด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับทำหน้าที่เปิดปิดวาล์วเมื่อเปิดและปิดสวิตช์ เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะดูดเต็ยวาล์วเพื่อเปิดวาล์ว และเมื่อปิดสวิตช์ตัดกระแสไฟฟ้าเต็ยวาล์วจะกลับไปสู่ตำแหน่งเดิม โดยน้ำหนักของตัวเองเพื่อปิดวาล์ว อาทิ โซลินอยวาล์วน้ำ, โซลินอยวาล์วแก๊ส, โซลินอยวาล์วไฮดรอลิก, โซลินอยวาล์วลม เป็นต้น

3.5 วงจรควบคุมการทำงาน

เมื่อเริ่มเปิดสวิตช์แบตเตอรี่ 12 โวลต์จะจ่ายแรงดันให้กับบอร์ดลดแรงดันเพื่อแปลงแรงดันเป็น 5 โวลต์ ไปเลี้ยงบอร์ดต่างๆ ส่วนไฟ 12 โวลต์จะไปรอที่วงจรกำลังแผงสวิตช์เป็นตัวสั่งการตั้งค่าต่างๆไปยังอาร์ดูโน้เพื่อรอการประมวลผล ลิมิตสวิตช์ 2 ตัวเป็นตัวเช็คว่เครื่องติดตั้งพร้อมเริ่มการทำงานหรือยัง และสั่งนับจำนวนรอบการทำงานตามที่ตั้งค่าไว้ อาร์ดูโน้จะประมวลผลส่งไปยังจอ LED 6 x 12 เพื่อแสดงผลจำนวนรอบการทำงานและความเร็วแปรงข้ด อาร์ดูโน้ส่งสัญญาณไปยังบอร์ดขับเคลื่อน 2 ตัวเพื่อเริ่มการทำงานตามที่ตั้งค่าไว้และบอร์ดแปรงข้ดก็ทำงานตามที่ตั้งค่าเช่นกัน ส่วนโมดูลรีเลย์ 2 ช่องจะทำงานเมื่อเครื่องเริ่มการทำงาน ช่องที่ 1 จะส่งสัญญาณไปให้ไฟ แสดงสถานะทำงาน ช่องที่ 2 ส่งไปยังโซลินอยวาล์วเพื่อเปิดน้ำฉีดทำความสะอาด



รูปที่ 6 วงจรควบคุมการทำงาน

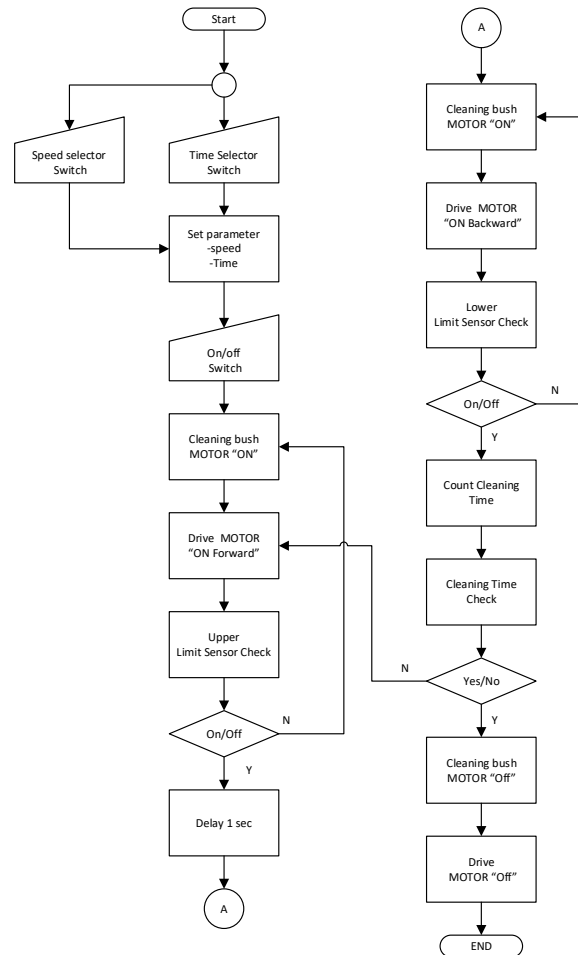


รูปที่ 7 วงจรควบคุมการทำงานที่ถ่ายจากภาพจริง

3.6 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

งานวิจัยนี้ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยรับค่าเพื่อเริ่มทำงานจากสวิตช์ปุ่มกด ระบบจะตรวจจับการติดตั้งเครื่องเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนจะเริ่มทำงานด้วยลิมิตสวิตช์จำนวน 1 ตัว และจะแสดงผลสถานะการทำงานด้วยหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานสีส้ม ตัดต่อการทำงานด้วยรีเลย์ โปรแกรมการทำงานเริ่มจากสถานะรอรับค่าจากสวิตช์ปุ่มกดเมื่อมีการกดปุ่มเริ่มการทำงานหลอดไฟสีส้มจะติด โปรแกรมจะรับค่าจากลิมิตสวิตช์ที่อยู่ในสถานะ NO และไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการให้มอเตอร์ขับเคลื่อนและชุดแปรงขัดทำงานพร้อมกับโซลินอยด์วาล์ว ขับเคลื่อนด้วยความเร็ว 80 รอบต่อนาที จนกระทั่งตัวเครื่องเคลื่อนที่ถึงขอบอีกด้านของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีลิมิตสวิตช์สถานะ NC เมื่อสุดขอบ

แผงตัวเครื่องจะเคลื่อนที่กลับไปตำแหน่งเริ่มต้นทำ ซึ่งจะหยุดการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทันที โดยมีกระบวนการทำงานดังโพล์ซาร์ทในรูปที่ 8 ดังนี้

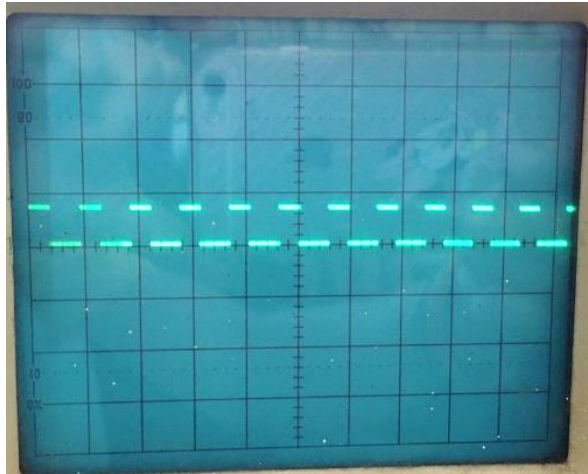


รูปที่ 8 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

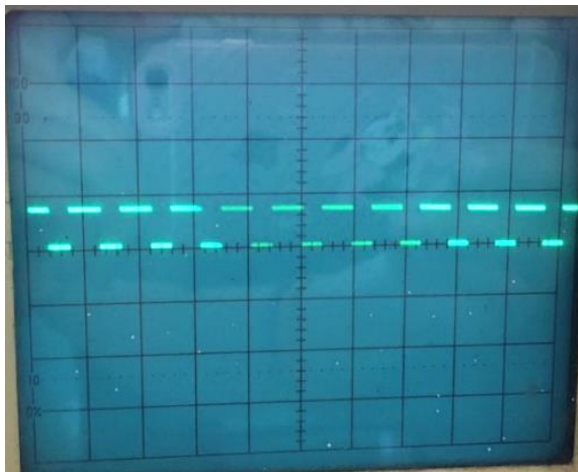
4. ผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบระบบควบคุมความเร็วของแปรงขัด

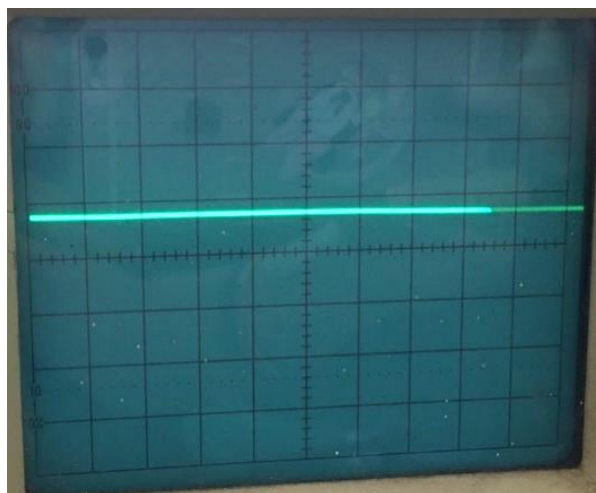
ระบบการทำความสะอาดของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัตโนมัติจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ 250 วัตต์ เป็นต้นกำลังให้แปรงขัดส่งกำลังผ่านระบบโซ่ที่มีอัตราทด 1/1 ควบคุมความเร็วรอบของแปรงขัดด้วยสัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ARDUINO MEGA 2560 ร่วมกับบอร์ดขับมอเตอร์ทำให้แปรงขัดสามารถปรับความเร็วรอบได้ตั้งแต่ 0 – 380 รอบต่อนาที โดยตั้งค่าด้วยปุ่มกดร่วมกับจอแอลซีดี จากการออกแบบกำหนดให้ แปรงขัดมีความเร็วที่ 3 ระดับ ดังนี้ หมายเลข 1 ความเร็วต่ำ มีความเร็วรอบประมาณ 30 เปอร์เซนต์ หมายเลข 2 ความเร็วปานกลาง มีความเร็วรอบประมาณ 60 เปอร์เซนต์ หมายเลข 3 ความเร็วสูงสุด มีความเร็วรอบประมาณ 100 เปอร์เซนต์ ดังนี้



รูปที่ 9 สัญญาณ PWM ที่ระดับความเร็วต่ำ



รูปที่ 10 สัญญาณ PWM ที่ระดับความเร็วปานกลาง



รูปที่ 11 สัญญาณ PWM ที่ระดับความเร็วสูงสุด

ตารางที่ 1 การทดสอบความเร็วของแปรงขัดที่ความเร็วต่ำ

ครั้งที่	ความเร็วรอบ (RPM)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	207	12.52	4.26
2	208	12.51	4.27
3	206	12.52	4.25
4	207	12.53	4.26
5	207	12.52	4.26
เฉลี่ย	207	12.52	4.26

ตารางที่ 2 การทดสอบความเร็วของแปรงขัดที่ความเร็วปานกลาง

ครั้งที่	ความเร็วรอบ (RPM)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	361	12.21	5.01
2	361	12.21	5.01
3	360	12.20	5.00
4	362	12.22	5.02
5	361	12.21	5.01
เฉลี่ย	361	12.21	5.01

ตารางที่ 3 การทดสอบความเร็วของแปรงขัดที่ความเร็วสูงสุด

ครั้งที่	ความเร็วรอบ (RPM)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	375	12.01	5.41
2	374	12.02	5.40
3	375	12.00	5.41
4	376	12.01	5.42
5	375	12.01	5.41
เฉลี่ย	375	12.01	5.41

จากการทดสอบค่าความเร็วแปรงขัดตามระดับที่กำหนดขึ้นทั้ง 3 ระดับ จะพบว่า ที่สัญญาณ PWM ที่ระดับความเร็วต่ำ จะได้ความเร็วรอบเฉลี่ย 207 RPM ที่สัญญาณ PWM ที่ความเร็วปานกลาง จะได้ความเร็วรอบเฉลี่ย 361 RPM และ ที่สัญญาณ PWM ที่ความเร็วสูงสุด จะได้ความเร็วรอบเฉลี่ย 375 RPM

4.2 การทดสอบความเร็วการเคลื่อนที่ของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ



รูปที่ 12 ขณะทำการทดสอบความเร็วการเคลื่อนที่ของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 4 ความเร็วการเคลื่อนที่ระดับความเร็วของแปรงชุดที่ความเร็วต่ำ

ครั้งที่	ระยะการเคลื่อนที่ (m)	เวลา (s)	ความเร็ว (m/s)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	1	15.09	1/15.09	12.52	4.26
2	1	15.02	1/15.02	12.51	4.27
3	1	15.01	1/15.01	12.52	4.25
4	1	14.82	1/14.82	12.53	4.26
5	1	15.12	1/15.12	12.52	4.26
เฉลี่ย	1	15.21	1/15.21	12.52	4.26

ตารางที่ 5 ความเร็วการเคลื่อนที่ระดับความเร็วของแปรงชุดที่ความเร็วปานกลาง

ครั้งที่	ระยะการเคลื่อนที่ (m)	เวลา (s)	ความเร็ว (m/s)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	1	15.00	1/15.00	12.21	5.01
2	1	15.03	1/15.03	12.21	5.01
3	1	15.01	1/15.01	12.20	5.00
4	1	15.04	1/15.04	12.22	5.02
5	1	15.03	1/15.03	12.21	5.01
เฉลี่ย	1	15.02	1/15.02	12.21	5.01

ตารางที่ 6 ความเร็วการเคลื่อนที่ระดับความเร็วของแปรงขัดที่ความเร็วสูงสุด

ครั้งที่	ระยะการเคลื่อนที่ (m)	เวลา (s)	ความเร็ว (m/s)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
1	1	15.01	1/15.01	12.01	5.41
2	1	15.02	1/15.02	12.02	5.40
3	1	15.02	1/15.02	12.00	5.41
4	1	15.03	1/15.03	12.01	5.42
5	1	15.04	1/15.04	12.01	5.41
เฉลี่ย	1	15.02	1/15.02	12.01	5.41

จากการทดสอบเพื่อหาความเร็วการเคลื่อนที่ของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ จะพบว่าเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ จะมีความเร็วการเคลื่อนที่โดยเฉลี่ย 0.066 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความเร็วแปรงขัดความเร็วต่ำที่ค่ากระแสเฉลี่ย 4.26 A มีความเร็วการเคลื่อนที่โดยเฉลี่ย 0.067 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความเร็วแปรงขัดความเร็วปานกลางที่ค่ากระแสเฉลี่ย 5.01 A และมีความเร็วการเคลื่อนที่โดยเฉลี่ย 0.067 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความเร็วแปรงขัดความเร็วสูงสุดที่ค่ากระแสเฉลี่ย 5.41 A

4.3 การทดสอบการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ

ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติโดยทดสอบการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ทำความสะอาดเปรียบเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ โดยทำการเก็บบันทึกข้อมูลกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ช่วงเวลา 8.30 – 12.30 น. วันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2564

คำนวณประสิทธิภาพที่ยังไม่ทำความสะอาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากสมการ

$$\eta = (P_m - P)/P \times 100 + (100) \%$$

คำนวณประสิทธิภาพที่ทำความสะอาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากสมการ

$$\eta = (P_f - P)/P \times 100 + (100) \%$$

กำหนดให้

η คือ ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาด

P คือ ค่ากำลังไฟฟ้ามาตรฐานจากโรงงาน

P_m คือ กำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาด

P_f คือ กำลังไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ทำความสะอาด

ตารางที่ 7 การทดสอบการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ

ครั้งที่ทำ ความ สะอาด แผง	แผงไม่ได้ทำความสะอาด (P_i)			แผงที่ได้รับการทำความสะอาด (P_m)			ผลต่าง หลังทำ ความ สะอาด (W)
	กระแสไฟฟ้า (A)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กำลังไฟฟ้า (W)	กระแสไฟฟ้า (A)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กำลังไฟฟ้า (W)	
1	5.80	27.00	156.60	7.50	36.40	273	116.40
2	5.60	27.20	152.32	7.60	37.90	288	135.68
3	5.50	27.10	149.05	7.90	38.50	304	154.95
4	5.40	27.30	147.42	7.90	38.50	304	156.58
5	5.70	27.40	156.18	7.90	38.50	304	147.82

ตารางที่ 8 การทดสอบการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติด้านประสิทธิภาพ

จำนวน ครั้งที่ทำ ความ สะอาด แผง	แผงโรงงาน			แผงไม่สะอาด			ประสิทธิภาพ %	แผงสะอาด			ประสิทธิภาพ %
	A	V	W	A	V	W		A	V	W	
1	8	40	320	6.6	30.1	198.6	62.06	7.5	36.4	273	85.31
2	8	40	320	6.6	30.1	198.6	62.06	7.6	37.9	288	90.00
3	8	40	320	6.6	30.1	198.6	62.06	7.9	38.5	304	95.00
4	8	40	320	6.6	30.1	198.6	62.06	7.9	38.5	304	95.00
5	8	40	320	6.6	30.1	198.6	62.06	7.9	38.5	304	95.00

4.4 การทดสอบระยะเวลาการใช้งาน

ตารางที่ 9 การทดสอบแรงดันของแบตเตอรี่

เวลา (นาที)	ระดับแรงดันแบตเตอรี่ (โวลต์)	ระดับ LED ที่แสดง	การทำงาน
0	12.89	สีเขียว	ทำงานปกติ
10	12.74	สีเขียว	ทำงานปกติ
20	12.68	สีเขียว	ทำงานปกติ
30	12.39	สีเหลือง	ทำงานปกติ
40	12.15	สีเหลือง	ทำงานปกติ
50	11.96	สีแดง	ทำงานปกติ
60	11.57	สีแดง	ทำงานปกติ

จากตารางที่ 9 เป็นการทดสอบแบตเตอรี่โดยจะวัดค่าทุก 10 นาที จนถึง 60 นาที แรงดันแบตเตอรี่ที่เวลา 60 นาที อยู่ที่ 11.57 โวลต์ สามารถใช้งานได้ตามปกติ

5. บทสรุป

จากการทดสอบเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ จะพบว่า เมื่อทำการทดสอบการเคลื่อนที่ เดินหน้า ถอยหลังบนพื้นที่แห้ง เครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเคลื่อนที่เดินหน้า ถอยหลัง ได้ตาม โปรแกรมที่กำหนดไว้ สำหรับบนพื้นที่เปียก เครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเคลื่อนที่ได้แต่จะเกิดการ สะดุดของเครื่องเล็กน้อยเนื่องจากล้อขับเคลื่อนลื่นจนไม่สามารถพาตัวเครื่องเคลื่อนที่ไปได้สะดวก การทดสอบมอเตอร์ แปร่งขัด และแปร่งขัดจะเห็นว่าถ้าติดแปร่งขัดแล้วความเร็วของมอเตอร์แปร่งขัดจะลดลง เนื่องจากมอเตอร์มีการขับโหลด และเมื่อทำการทดสอบขับจริงความเร็วรอบของมอเตอร์แปร่งขัดจะลดลงตามแรงเสียดทานของพื้นที่ เมื่อทำการทดสอบค่า ความเร็วแปร่งขัดตามระดับที่กำหนดขึ้นทั้ง 3 ระดับ จะพบว่า ที่สัญญาณ PWM ที่ระดับความเร็วต่ำ จะได้ความเร็วรอบ เฉลี่ย 207 RPM ที่สัญญาณ PWM ที่ความเร็วปานกลาง จะได้ความเร็วรอบเฉลี่ย 361 RPM และที่สัญญาณ PWM ที่ความเร็วสูงสุด จะได้ความเร็วรอบเฉลี่ย 375 RPM เมื่อทำการทดสอบเพื่อหาความเร็วการเคลื่อนที่ของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ เครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ จะมีความเร็วการ เคลื่อนที่โดยเฉลี่ย 0.066 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความเร็วแปร่งขัดความเร็วต่ำที่ค่ากระแสเฉลี่ย 4.26 A มีความเร็วการ เคลื่อนที่โดยเฉลี่ย 0.067 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความเร็วแปร่งขัดความเร็วปานกลางที่ค่ากระแสเฉลี่ย 5.01 A และ มีความเร็วการเคลื่อนที่โดยเฉลี่ย 0.067 เมตรต่อวินาที ที่ระดับความเร็วแปร่งขัดความเร็วสูงสุดที่ค่ากระแสเฉลี่ย 5.41 A และเมื่อทำการทดสอบการทำงานของเครื่องทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอัตโนมัติด้านประสิทธิภาพ สำหรับแผง ไม่สะอาด จะมีประสิทธิภาพร้อยละ 62.06 สำหรับแผงสะอาด จะมีประสิทธิภาพร้อยละ 95 ทำให้ปลอดภัยและประหยัดการ ใช้แรงงานของมนุษย์ได้เป็นอย่างมาก

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rutvij P. Kulkarni and Committee. AUTOMATIC SOLAR PANEL CLEANING SYSTEM. International Journal of Advance Research in Science and Engineering Volume No.07, April 2018.
- [2] Yu N Zatsarinnyaya and D I Amirov. Automated system for cleaning solar panels based on a linear actuator. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021.
- [3] Nasib Khadka and Committee. Smart Solar Photovoltaic Panel Cleaning System. Department of Electrical and Electronics Engineering, Dhulikhel, Nepal.
- [4] ประภรณ์ชัย พลรัตนศักดิ์ และชัยพร อัดโดดตร. การติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ฟัลส์วีสต์มอดูเลชันที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. Engineering Journal of Siam University Volume 21, Issue1, No.40, January-June 2020. pp. 67-78.
- [5] Faridah Hanim Mohd Noh and Committee. Development of solar panel cleaning robot using Arduino. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. Vol. 19, No. 3, September 2020, pp. 1245-1250.
- [6] Babu K, Dinesh kumar P, Kamala priya S, Kathirvel P. Solar Panel Cleaning Robot. International Journal of Innovative Science and Research Technology. Volume 3, Issue 3, March 2018.

การออกแบบและสร้างระบบไอโอทีสำหรับราวตากผ้าแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF AUTOMATIC THE IoT SYSTEM FOR CLOTHESLINE COVER CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

นิตikom อริยพิมพ์¹ และชัยพร อัฒโศธร^{2*}

Nitikom Ariyapim¹ and Chaiporn Addoddorn^{2*}

¹ อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น

^{2*} อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น

*Corresponding, E-mail: chaiporn.add@neu.ac.th

Received: 4 February 2022

Revised: 11 May 2022

Accepted: 25 April 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบไอโอทีสำหรับราวตากผ้าแบบอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการตากผ้าแทนมนุษย์ ทำให้ความกังวลลดลงเมื่ออยู่นอกบ้านและตอนไม่มีใครอยู่บ้าน เพราะกลัวเสื้อผ้าจะเปียกน้ำฝน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 ทั้งแบบอัตโนมัติและควบคุมการทำงานผ่านทางสมาร์ตโฟน และใช้อุปกรณ์ตรวจจับแสงและอุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝน จากการทดสอบ จะพบว่า ราวตากผ้าแบบอัตโนมัติจะทำงานเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับแสงจับได้ว่ามีแสงเพียงพอที่จะตากผ้าได้และอุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝนจับได้ว่าไม่มีฝนตกก็จะส่งสัญญาณไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 ประมวลผลและจะสั่งให้ผ้าตู้เก็บผ้าเปิดออกเพื่อนำราวตากผ้าออกมาตากเองโดยอัตโนมัติ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 จะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนสถานะการทำงานไปยังสมาร์ตโฟนว่าได้ทำการตากผ้าเรียบร้อยแล้ว เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับแสงตรวจจับได้ว่าไม่มีแสงเพียงพอและอุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝนตรวจจับได้ว่ามีฝนตกก็จะส่งสัญญาณไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 ประมวลผลแล้วสั่งให้ราวตากผ้าเลื่อนผ้ามาเก็บในตู้เก็บผ้าและผ้าตู้เก็บผ้าก็จะปิดโดยอัตโนมัติ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 จะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนสถานะการทำงานไปยังสมาร์ตโฟนว่าได้ทำการเก็บผ้าเรียบร้อยแล้ว ส่วนการทำงานของระบบส่งการผ่านทางสมาร์ตโฟน โดยการทดสอบจำนวน 20 ครั้ง การทำงานของระบบส่งการผ่านทางสมาร์ตโฟน โดยเมื่อกดปุ่มตากผ้าทุกครั้ง ราวตากผ้าจะตากผ้า และเมื่อกดปุ่มเก็บผ้าทุกครั้ง ราวตากผ้าจะเก็บผ้า ได้ตามที่ต้องการ ทำให้ช่วยอำนวยความสะดวก ความสบาย และลดขั้นตอนบางอย่างในชีวิตประจำวันของเราได้เป็นอย่างมาก

คำสำคัญ: ระบบไอโอที ราวตากผ้าแบบอัตโนมัติ ไมโครคอนโทรลเลอร์ สมาร์ตโฟน

Abstract

This paper presents the design and construction of automatic the IoT system for clothesline cover controlled by microcontroller to dry clothes instead of humans. This reduces anxiety when outside and when no one is home for fear that the clothes will get wet with rain as well using the NodeMCU ESP8266 microcontroller, it can be automated and controlled using a smartphone by using a light detector and a raindrop detector. From the test, it was found that the automatic clothes drying rack was activated when the light detector detected that there was enough light to dry the clothes and the raindrop detector caught it that there is no rain, it will send a signal to the NodeMCU ESP8266 microcontroller, process it and order the door of the cloth cabinet to open to bring the clothesline out to dry automatically then, the NodeMCU ESP8266 microcontroller sends a working status notification message to the smartphone that the laundry has been dried. When the light detector detects that there is not enough light and the raindrop detector detects that it is raining, it sends a signal to the NodeMCU ESP8266 microcontroller, which instructs the clothesline to move the clothes to the storage cabinet. The clothes and the closet lid are automatically closed. The NodeMCU ESP8266 microcontroller then sends a notification message to the smartphone indicating that the laundry has been collected. The working part of the command system via a smartphone by testing 20 times, the operation of the system commanded via a smartphone by pressing the button to dry clothes every time, the clothesline will dry the clothes and when pressing the button to collect the cloth every time, the clothes rack will store the clothes as needed. It greatly facilitates, comforts, and reduces some of the steps in our daily lives.

Keywords: The IoT System, Automatic Clothesline Cover, Microcontroller, Smartphone.

1. บทนำ

กับการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่คาดเดาได้ยากจนบางครั้งอากาศก็เปลี่ยนกะทันหันจากร้อนเป็นเย็นหรือกลับกัน ทำให้คนส่วนใหญ่รู้สึกกังวลเวลาตากผ้า ความกังวลจะเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่นอกบ้านและในขณะที่ไม่มีคนอยู่บ้าน เพราะกลัวเสื้อผ้าที่ตากแดดไว้จะเปียกฝน ส่งผลให้เสื้อผ้าตากฝน ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น เพื่อขจัดความกังวลว่าเสื้อผ้าจะไม่เปียกฝนเมื่อเรานอกบ้าน เราจำเป็นต้องมีระบบควบคุมอัตโนมัติโดยทำระบบราวตากผ้าอัตโนมัติ Ivan A. Salih, Stephan Adriansyah Hulukati, and Steven Humena (2019); Siti Nur Aisyah Abdul Hei, Effa Nadzirah Nazri, Nurin Faqihah Mohamed Rafik, Mazniha Berahim (2021) [1,2] ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ ได้เข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก จะเห็นได้จากเครื่องมือเครื่องใช้ภายในบ้านไม่ว่าจะเป็นเตาอบไมโครเวฟ เครื่องซักผ้า เครื่องปิ้งขนมปังอัตโนมัติ เครื่องซักผ้า และอื่นๆ อีกมากมาย และล่าสุดมีเทคโนโลยีใหม่ที่เรียกว่าระบบไอโอที หรือ Internet of Things (IoT) หรือ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง พัฒนา ดุรงค์ดำรงชัย และชัยพร อัดโดดดร (2020) [3] เป็นยุคที่นำทุกอย่างเชื่อมต่อเข้าหากันหมดด้วยเครือข่ายอินเทอร์เน็ต อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าแทบทุกอย่างกลายเป็น Smart device อย่างสมบูรณ์แบบ มนุษย์สามารถพูดคุยกับอุปกรณ์ และสิ่งต่างๆ นับล้านชิ้นผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรในโรงงาน รถยนต์ เครื่องใช้ภายในบ้าน และอื่นๆ อีกมากมาย ที่เข้ามาช่วยทำให้การใช้ชีวิตของคนเราเปลี่ยนไปในทิศทางที่ดีขึ้น สะดวกขึ้น และปลอดภัยยิ่งขึ้น ราวตากผ้าอัตโนมัติก็เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่เราเริ่มสร้างขึ้นมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการตากผ้า และเก็บผ้า เมื่อมีแสงแดดก็นำผ้าออกมาตากโดยอัตโนมัติและเมื่อไม่มีแสงแดดหรือฝนตกก็จะมีเซ็นเซอร์ตรวจจับเพื่อนำผ้าเข้าไปเก็บยังที่เก็บ ราวตากผ้าอัตโนมัติยังสามารถส่งการทางสมาร์ทโฟนผ่านแอปพลิเคชันเพื่อนำผ้ามาตากและเก็บใส่อย่างอ่อนโยนประสงค์ ถือเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ได้มีบทบาทในการพัฒนาเพื่อเพิ่มความสะดวกให้กับมนุษย์ในยุคที่เร่งรีบและการแข่งขันอย่างในปัจจุบันที่ทุกคนก็ต่างออกจากบ้านเพื่อไปทำงาน กลับมาก็ค่าเสื้อผ้าที่ตากไว้อาจจะเปียกหรืออบเพราะฝน ฟ้าฝนก็ไม่ตกตามฤดูกาลไม่รู้ว่าจะตกเมื่อไหร่ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะสร้างราวตาก

ผ้าแบบอัตโนมัติเพื่อใช้ในการศึกษา และทำการทดสอบเกี่ยวกับระบบไอโอทีในการใช้งานเกี่ยวกับระบบแจ้งเตือนต่าง ๆ ผ่านสมาร์ตโฟน และควบคุมการตากผ้า เก็บผ้าผ่านสมาร์ตโฟนอีกด้วย

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things)

Zakiah Mohd Yusoff and Committee (2018) [4] Internet of Things (IoT) พัฒนามาจากเทคโนโลยีการระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ หรือ Radio-frequency Identification (RFID) โดยพัฒนาเป็นเทคโนโลยีที่เชื่อมต่อระหว่างวัตถุสิ่งของหรือโครงสร้างทางกายภาพเข้ากับโครงสร้างด้านดิจิทัล หรือระบบอินเทอร์เน็ตผ่านเซ็นเซอร์ เพื่อให้เกิดการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานและวัตถุในเครือข่าย กล่าวคือ ผู้ใช้งานสามารถสั่งการควบคุมการใช้งานวัตถุสิ่งของในเครือข่ายผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้ เช่น การเปิด-ปิด เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านสมาร์ตโฟน Dewi Rasni Putri, Doan Perdana, Yoseph Gustommy Bisono (2017) [5] ในปัจจุบันวัตถุสิ่งของที่สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้นั้น ไม่ได้จำกัดเฉพาะ Smart Phone, Tablet หรือคอมพิวเตอร์ แต่ยังรวมถึงอุปกรณ์ไอเทคที่ได้รับการติดตั้งสมองกล เช่น Smart Watch, Smart Glass หรืออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน เช่น เครื่องปรับอากาศ ระบบไฟส่องสว่าง เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยี IoT ถูกนำมาประยุกต์ใช้เข้ากับวิถีชีวิตประจำวันของมนุษย์ จนถึงกระบวนการทำงานในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น Smart Home หรือการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในบ้านเข้าด้วยกัน และสั่งการจากส่วนกลาง และ Industrial Internet หรือการเชื่อมต่อระบบการผลิตในโรงงานเข้าด้วยกัน และควบคุมสั่งการจากส่วนกลาง โดยการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยี IoT มีแนวโน้มในเชิงจำนวนและความหลากหลายมากขึ้น มีการคาดการณ์จากบริษัทด้านเทคโนโลยีสารสนเทศว่า จำนวนวัตถุที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบ IoT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นจำนวนถึง 50,000 ล้านชิ้นภายในปี 2020 ทั้งนี้ส่วนประกอบของเทคโนโลยี IoT แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ส่วนรับข้อมูล คือ ส่วนที่ช่วยให้อุปกรณ์ IoT สามารถรับรู้ข้อมูลจากสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น เซ็นเซอร์ และแอคทิเวเตอร์ (Activator)

2. ส่วนสื่อสาร คือ ส่วนที่ช่วยให้อุปกรณ์ IoT มีความสามารถในการสื่อสาร เป็นส่วนที่มีการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต โดยเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยม คือ สมองกลฝังตัวที่ติดไว้กับวัตถุ ซึ่งเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต มีหน้าที่รับข้อมูลความเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องจากเซ็นเซอร์แล้วส่งข้อมูลนี้ผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับระบบควบคุมและประเมินผลส่วนกลาง ทั้งนี้จุดเด่นของสมองกลฝังตัว คือ การส่งข้อมูลแบบ Real Time อย่างแม่นยำ

3. ส่วนประมวลผลข้อมูล คือ ส่วนที่ช่วยให้อุปกรณ์ IoT มีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับ นับเป็นส่วนที่ทำให้เกิดกระบวนการทำงานในเทคโนโลยี IoT เช่น เทคโนโลยีการประมวลผลแบบคลาวด์ (Cloud Computing)

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (NodeMCU)

Dewi Rasni Putri, Doan Perdana, Yoseph Gustommy Bisono (2017) [5] NodeMCU (โนดเอ็มซียู) คือ บอร์ดคล้าย Arduino ที่สามารถเชื่อมต่อกับ WiFi ได้ สามารถเขียนโปรแกรมด้วย Arduino IDE ได้เช่นเดียวกับ Arduino และบอร์ดก็มีราคาถูกมากๆ เหมาะแก่ผู้ที่คิดจะเริ่มต้นศึกษา หรือทดลองใช้งานเกี่ยวกับ Arduino IoT อิเล็กทรอนิกส์ หรือแม้แต่การนำไปใช้จริงในโปรเจกต์ต่างๆ ก็ตาม เพราะราคาไม่แพงภายในบอร์ดของ NodeMCU ประกอบไปด้วย ESP8266 (ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถเชื่อมต่อ WiFi ได้) พร้อมอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ เช่น พอร์ต micro USB สำหรับจ่ายไฟ/อัปโหลดโปรแกรม ชิปสำหรับอัปโหลดโปรแกรมผ่านสาย USB ชิปแปลงแรงดันไฟฟ้า และขาสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก เป็นต้น

จุดเด่นของ NodeMCU ได้แก่

2.2.1 สามารถเชื่อมต่อกับ WiFi ได้โดยไม่ต้องติดตั้งโมดูล WiFi เพิ่มเติม

2.2.2 ราคาถูกมากเมื่อเทียบกับบอร์ดที่มี WiFi ในตัวรุ่นอื่นๆ (ราคาในไทยประมาณ 160 บาท)

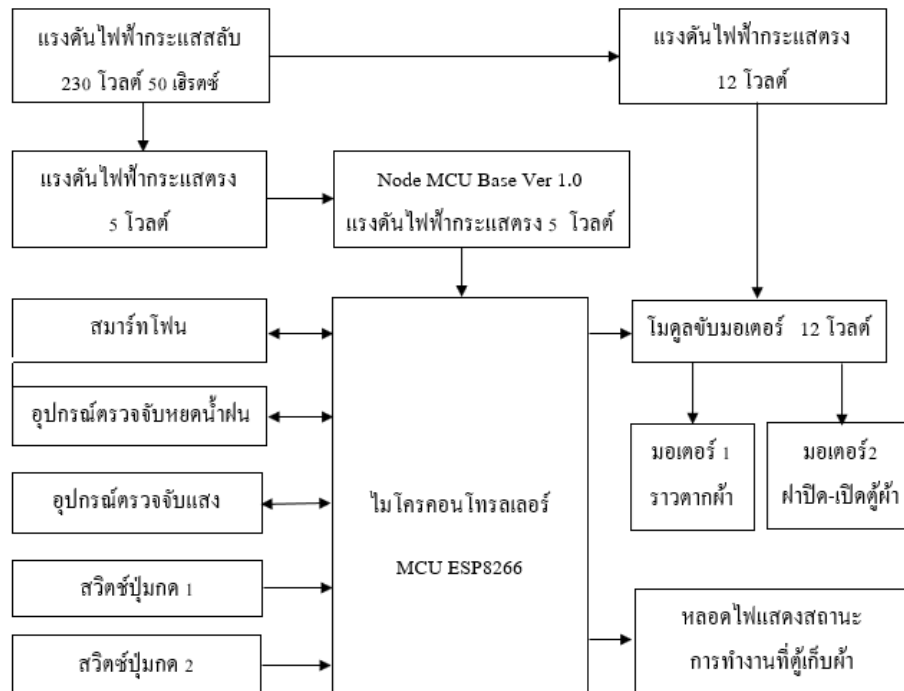
2.2.3 สามารถเขียนและอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ดด้วยโปรแกรม Arduino IDE ผ่านสาย USB แบบเดียวกับที่ใช้ชาร์จโทรศัพท์ได้

2.2.4 สามารถอัปเดตโปรแกรมผ่าน WiFi ได้ เรียกว่า Over the Air (OTA)

2.2.5 ตัวบอร์ดมีขนาดเล็ก (ประมาณ 5.5 x 3 cm.)

3. การออกแบบและสร้างระบบไอโอทีสำหรับราวตากผ้าแบบอัตโนมัติ

3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานระบบไอโอทีสำหรับราวตากผ้าแบบอัตโนมัติ

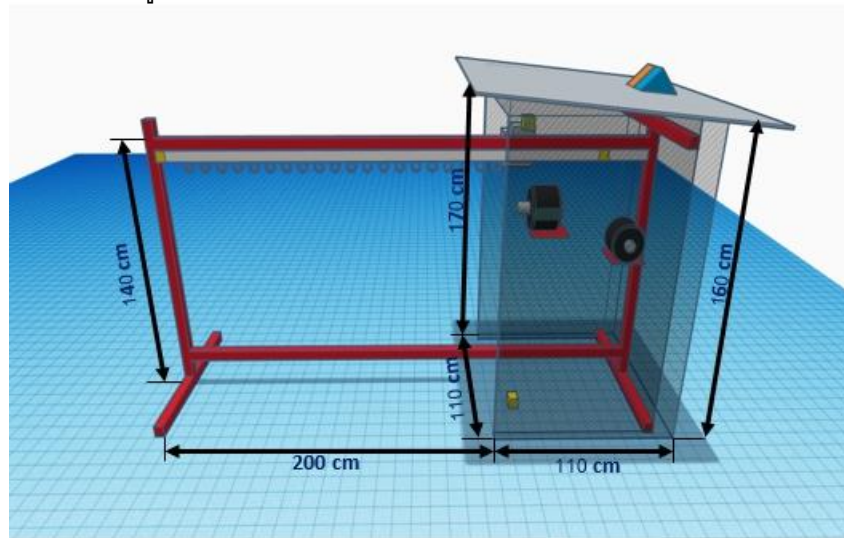
จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานในรูปที่ 1 การออกแบบราวตากผ้าอัตโนมัติจะแบ่งวงจรออกเป็น 3 วงจรหลักด้วยกัน คือ วงจรตรวจจับความเข้มแสง วงจรตรวจจับหยดน้ำฝน และวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยหลักการทำงานของวงจรควบคุมราวตากผ้าอัตโนมัติจะทำงานเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับแสงจับได้ว่ามีแสงเพียงพอที่จะตากผ้าได้และอุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝนจับได้ว่าไม่มีฝนตกก็จะส่งสัญญาณไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 ประมวลผลและจะสั่งให้ผ้าตู้เก็บผ้าเปิดออกเพื่อนำราวตากผ้าออกมาตากเองโดยอัตโนมัติ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 จะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนสถานะการทำงานไปยังสมาร์ทโฟนว่าได้ทำการตากผ้าเรียบร้อยแล้วเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับแสงจับได้ว่าไม่มีแสงเพียงพอหรืออุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝนจับได้ว่ามีฝนตกก็จะส่งสัญญาณไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 ประมวลผล จะสั่งให้ราวตากผ้าเลื่อนผ้ามาเก็บในตู้เก็บผ้าและผ้าตู้เก็บผ้าก็จะปิดโดยอัตโนมัติ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ Node MCU ESP8266 จะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนสถานะการทำงานไปยังสมาร์ทโฟนว่าได้ทำการเก็บผ้าเรียบร้อยแล้ว

3.2 การออกแบบโครงสร้างราวตากผ้าแบบอัตโนมัติ

3.2.1 ขนาดของตู้เก็บผ้าและราวตากผ้า

1. ความสูงของราวตากผ้ามีขนาด 140 เซนติเมตร
2. ความยาวของราวตากผ้ามีขนาด 310 เซนติเมตร
3. ความกว้างของตู้เก็บผ้ามีขนาด 110 เซนติเมตร
4. ความยาวของตู้เก็บผ้ามีขนาด 110 เซนติเมตร

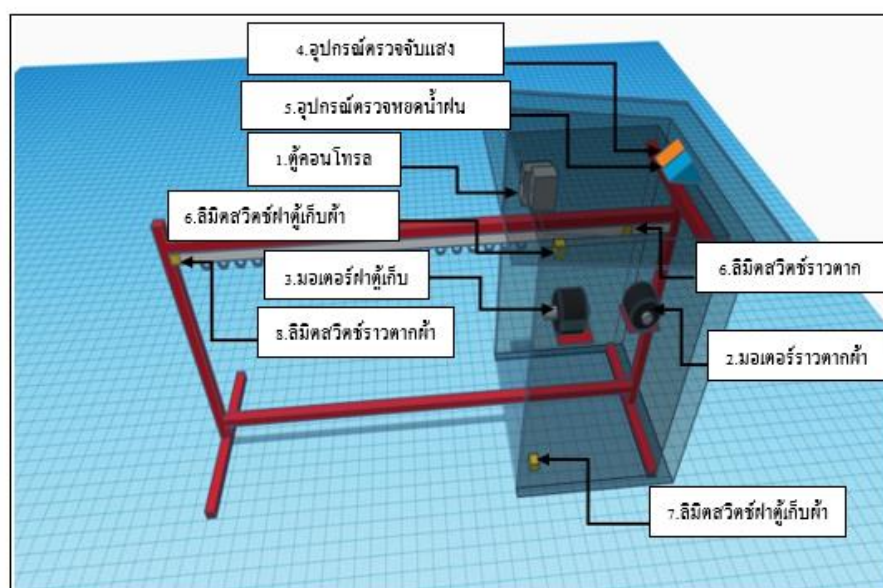
5. ความสูงด้านหน้าของตู้เก็บผ้ามีขนาด 170 เซนติเมตร
6. ความสูงด้านหลังของตู้เก็บผ้ามีขนาด 160 เซนติเมตร



รูปที่ 2 ขนาดของตู้เก็บผ้าและราวตากผ้า

3.2.2 ตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ทำการติดตั้ง

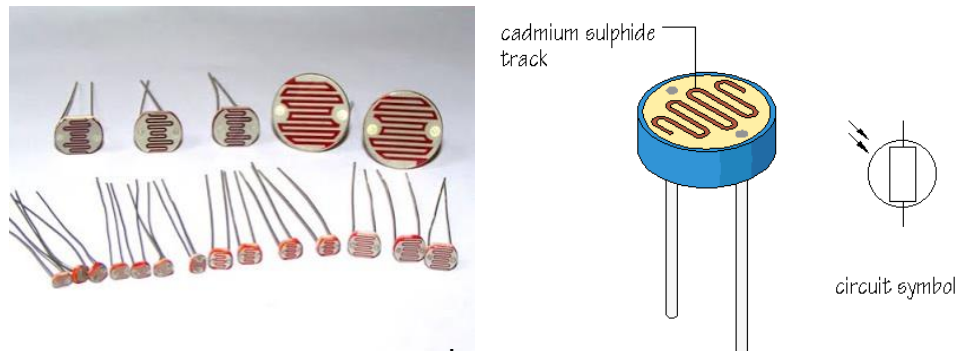
1. ตู้คอนโทรล
2. มอเตอร์ควบคุมราวตากผ้า
3. มอเตอร์ควบคุมฝาปิดตู้เก็บผ้า
4. อุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสง
5. อุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝน
6. ลิมิทสวิตช์ควบคุมมอเตอร์ราวตากผ้า 2 จุด
7. ลิมิทสวิตช์ควบคุมมอเตอร์ตู้เก็บผ้า 2 จุด



รูปที่ 3 ตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งราวตากผ้า

3.3 อุปกรณ์ตรวจจับแสง

เซนเซอร์แสงเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนความเข้มแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อส่งสัญญาณให้กับส่วนควบคุมของเครื่องไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ทำงานต่าง ๆ เซนเซอร์แสงนั้นภายในจะประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แต่อุปกรณ์ที่สำคัญในการเปลี่ยนความเข้มแสงนั้นก็คืออุปกรณ์ที่มีชื่อว่า แอลดีอาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4 ดังนี้

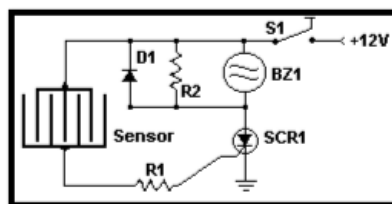


รูปที่ 4 เซนเซอร์แสง

วงจรเซนเซอร์แสงจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ 3 ส่วน คือ ตัวแอลดีอาร์ ตัวต้านทาน และทรานซิสเตอร์ โดยวงจรจะมีอยู่ 2 แบบ คือ ทำงานเมื่อมีแสง และทำงานเมื่อไม่มีแสง

3.4 อุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝน

สำหรับควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เปิดเปิดอัตโนมัติในเวลาที่ฝนตกโดยใช้เซนเซอร์ในรูปที่ 5 เซนเซอร์ rain drop module หลักการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับน้ำฝนจะอยู่ในรูปที่ 6 วงจร rain drop module เมื่อฝนตกโดนแผง Sensor จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรใช้หลักการนำกระแสไฟฟ้าของน้ำเมื่อน้ำหยดลงบนแผง sensor จะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้ำทำให้อุปกรณ์ทำงาน ในทางกลับกันถ้าไม่มีฝนตกตกลงไปบนแผง Sensor จึงไม่มีกระแสไฟฟ้าในวงจรทำให้ไม่มีคำสั่งให้อุปกรณ์ทำงาน

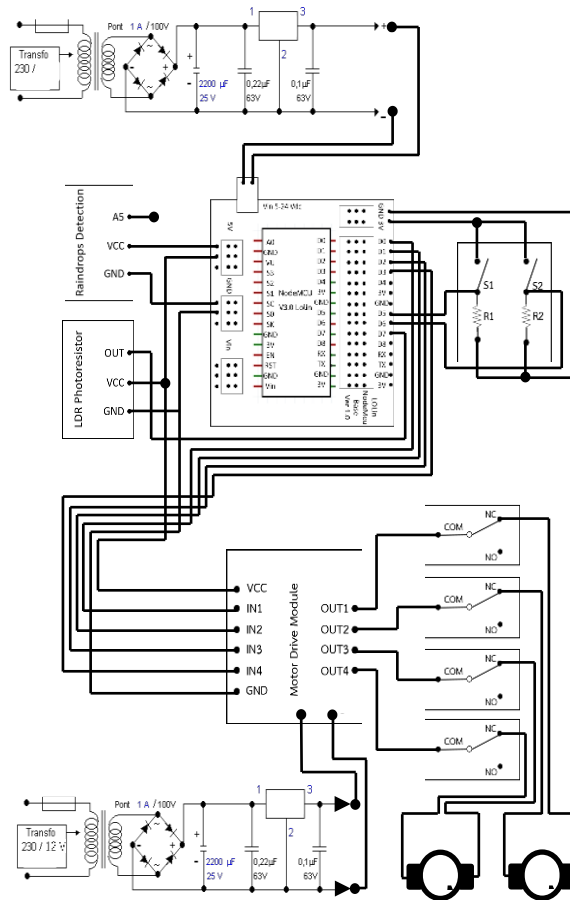


รูปที่ 5 วงจร rain drop module



รูปที่ 6 rain drop module

3.5 วงจรควบคุมการทำงาน



รูปที่ 7 วงจรควบคุมการทำงานของราวตากผ้า

จากวงจรควบคุมการทำงานในรูปที่ 7 ส่วนแรก คือ วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้วงจร Rectifier โดยมีหม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจาก 230 โวลต์ไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 5 โวลต์ ต่อมาไดโอดที่ต่อแบบบริดจ์จะทำหน้าที่แปลงจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและใช้คาปาซิเตอร์ 2200 uF 25V และ 0.22 uF 63 V กรองสัญญาณให้เรียบยิ่งขึ้นและผ่านไปยังไอซีเบอร์ 7805 ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้ใกล้เคียงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ และใช้คาปาซิเตอร์ 0.1 uF 63 V อีกหนึ่งตัวทางด้านเอาต์พุตเพื่อกรองสัญญาณอีกรอบเมื่อได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ไปเป็นแหล่งจ่ายให้กับบอร์ด NodeMCU ESP8266 บอร์ดส่วนที่เป็นอินพุต คือ อุปกรณ์ตรวจจับค่าความเข้มของแสง และอุปกรณ์ตรวจจับน้ำฝน ส่วนของเอาต์พุตเป็นอุปกรณ์ขับมอเตอร์แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ มีวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 230 โวลต์แปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ แยกออกมาจากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้เป็นพลังงานให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ สามารถขับมอเตอร์ได้ 2 ตัว ที่ควบคุมกลไกการทำงานของราวตากผ้าและประตูเปิด-ปิดตู้เก็บผ้า ความสามารถของบอร์ดขับมอเตอร์ คือ สามารถใช้โปรแกรมในการกลับทางหมุนมอเตอร์ได้โดยใช้คำสั่งดิจิทัล

4. ผลการทดสอบ

การทดสอบราวตากผ้าแบบอัตโนมัตินี้ จะทำการทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับแสง การทำงานระบบตรวจจับน้ำฝน การทำงานของระบบสั่งการแบบ Manual และการทำงานระบบสั่งการผ่านสมาร์ทโฟน เพื่อให้ได้ผลการทำงานตามที่ต้องการ ดังนี้

4.1 การทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับแสง

การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับแสง โดยการทดลองจำนวน 20 ครั้ง การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับแสง ทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ถ้าแสงเกิน 50 ลักซ์ ผ้าจะตาก แต่ถ้าแสงต่ำกว่า 50 ลักซ์ ผ้าจะเก็บ รายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับแสง

ครั้งที่	เวลา	ปริมาณแสง(ลักซ์)	การทำงานของราวตากผ้า	การแสดงผลสถานะการทำงาน
1	05.00	7	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
2	06.00	38	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
3	07.00	120	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
4	08.00	256	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
5	09.00	378	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
6	10.00	445	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
7	11.00	487	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
8	12.00	502	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
9	13.00	524	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
10	14.00	532	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
11	15.00	521	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
12	16.00	483	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
13	17.00	289	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
14	18.00	112	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
15	19.00	18	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
16	20.00	0	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
17	21.00	0	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
18	22.00	0	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
19	23.00	0	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
20	00.00	0	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า

4.2 การทดสอบการทำงานของระบบตรวจจับน้ำฝน

การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝน โดยการทดลองจำนวน 20 ครั้ง การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝนทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ รายละเอียดตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝน

ครั้งที่	สภาพอากาศ	การทำงานของราวตากผ้า	การแสดงผลสถานะการทำงาน
1	มีฝนตก	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
2	ไม่มีฝนตก	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
3	มีฝนตก	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
4	ไม่มีฝนตก	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
5	มีฝนตก	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
6	ไม่มีฝนตก	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
7	มีฝนตก	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
8	ไม่มีฝนตก	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
9	มีฝนตก	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
10	ไม่มีฝนตก	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
11	มีฝนตก	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
12	ไม่มีฝนตก	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
13	มีฝนตก	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
14	ไม่มีฝนตก	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
15	มีฝนตก	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
16	ไม่มีฝนตก	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
17	มีฝนตก	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
18	ไม่มีฝนตก	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
19	มีฝนตก	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
20	ไม่มีฝนตก	ตากผ้า	สถานะตากผ้า

4.3 การทดสอบการทำงานของระบบแบบ Manual

การทำงานของระบบแบบ Manual โดยการทดลองจำนวน 20 ครั้ง การทำงานของระบบ Manual โดยเมื่อกดปุ่มตากผ้าทุกครั้ง ราวตากผ้าจะตากผ้า และเมื่อกดปุ่มเก็บผ้าทุกครั้ง ราวตากผ้าจะเก็บผ้าได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ รายละเอียดตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดลองการทำงานของระบบแบบ Manual

ครั้งที่	การสั่งการทำงาน	การทำงานของราวตากผ้า	การแสดงผลสถานะการทำงาน
1	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
2	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
3	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
4	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
5	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
6	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
7	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
8	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
9	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
10	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
11	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
12	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
13	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
14	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
15	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
16	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
17	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
18	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
19	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
20	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า

4.4 การทดสอบการสั่งการผ่านทางสมาร์ตโฟน**4.4.1 การทดสอบสั่งการผ่านทางสมาร์ตโฟนให้ตากผ้าและเก็บผ้า**

การทำงานของระบบสั่งการผ่านทางสมาร์ตโฟน โดยการทดลองจำนวน 20 ครั้ง การทำงานของระบบสั่งการผ่านทางสมาร์ตโฟน โดยเมื่อกดปุ่มตากผ้าทุกครั้ง ราวตากผ้าจะตากผ้า และเมื่อกดปุ่มเก็บผ้าทุกครั้ง ราวตากผ้าจะเก็บผ้าได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ รายละเอียดตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การทดสอบการทำงานของระบบสั่งการผ่านทางสมาร์ทโฟน

ครั้งที่	การสั่งการทำงาน ผ่านทางสมาร์ทโฟน	การทำงานของ ราวตากผ้า	การแสดงผล สถานะการทำงาน
1	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
2	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
3	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
4	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
5	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
6	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
7	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
8	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
9	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
10	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
11	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
12	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
13	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
14	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
15	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
16	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
17	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
18	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า
19	กดปุ่มเก็บผ้า	เก็บผ้า	สถานะเก็บผ้า
20	กดปุ่มตากผ้า	ตากผ้า	สถานะตากผ้า

5. บทสรุป

จากการทดสอบการทำงานของราวตากผ้าแบบอัตโนมัติ จะพบว่า ราวตากผ้าแบบอัตโนมัติจะทำงานเมื่ออุปกรณ์ตรวจจับแสง ตรวจจับได้ว่ามีแสงเพียงพอที่จะตากผ้าได้และอุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝนตรวจจับได้ว่าไม่มีฝนตกก็จะส่งสัญญาณไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 ประมวลผลและสั่งให้ผ้าตู้เก็บผ้าเปิดออกเพื่อนำราวตากผ้าออกมาตากเองโดยอัตโนมัติ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 จะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนสถานะการทำงานไปยังสมาร์ทโฟนว่าได้ทำการตากผ้าเรียบร้อยแล้ว เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับแสง ตรวจจับได้ว่าไม่มีแสงเพียงพอหรืออุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝน ตรวจจับได้ว่ามีฝนตกก็จะส่งสัญญาณไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 ประมวลผลและสั่งให้ราวตากผ้าเลื่อนผ้ามาเก็บในตู้เก็บผ้าและผ้าตู้เก็บผ้าก็จะปิดโดยอัตโนมัติ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 จะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนสถานะการทำงานไปยังสมาร์ทโฟนว่าได้ทำการเก็บผ้าเรียบร้อยแล้ว โดยการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับแสง ซึ่งทำการทดลองจำนวน 20 ครั้ง การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับแสงสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ กล่าวคือ ถ้าแสงเกิน 50 ลักซ์ ผ้าจะตาก แต่ถ้าแสงต่ำกว่า 50 ลักซ์ ผ้าจะเก็บ และการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝน ซึ่งทำการทดลองจำนวน 20 ครั้ง การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับหยดน้ำฝนสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ส่วนการทดสอบการทำงานของระบบแบบ Manual โดยทำการทดลองจำนวน 20

ครั้ง การทำงานของระบบแบบ Manual โดยเมื่อกดปุ่มตากผ้าทุกครั้ง ราวตากผ้าจะตากผ้า และเมื่อกดปุ่มเก็บผ้าทุกครั้ง ราวตากผ้าจะเก็บผ้าได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และเมื่อทำการทดสอบการทำงานของระบบส่งการผ่านทางโทรศัพท์มือถือ ซึ่งทำการทดลองจำนวน 20 ครั้ง การทำงานของระบบส่งการผ่านทางโทรศัพท์มือถือ โดยเมื่อกดปุ่มตากผ้าทุกครั้ง ราวตากผ้าจะตากผ้า และเมื่อกดปุ่มเก็บผ้าทุกครั้ง ราวตากผ้าจะเก็บผ้าได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ จะเห็นว่าการนำระบบไอโอทีไปใช้กับสรรพสิ่งแล้วเกิดประโยชน์อย่างมาก เช่น ราวตากแบบอัตโนมัติ ลดความกังวลเมื่ออยู่นอกบ้านและในกรณีที่ไม่มีคนอยู่บ้าน เพราะกลัวเสื้อผ้าที่ตากแดดไว้จะเปียกน้ำฝนได้ ทำให้ช่วยอำนวยความสะดวกสบาย และลดขั้นตอนบางอย่างในชีวิตประจำวันของเราได้เป็นอย่างมากอีกด้วย

6. ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับเปลี่ยนเซ็นเซอร์ตรวจจับแสงและเซ็นเซอร์ตรวจจับน้ำฝน ให้ทำงานสัมพันธ์กันมากขึ้นกว่าเดิม
2. ในอนาคตสามารถต่อยอดเพิ่ม โดยการนำเครื่องอบไอน้ำเข้ามาใช้กับราวตากผ้าแบบอัตโนมัติได้
3. ควรเพิ่มระบบแบตเตอรี่เข้ามาในชิ้นงาน เพื่อสามารถนำระบบแบตเตอรี่มาใช้เมื่อไม่มีไฟฟ้า
4. ควรปรับเปลี่ยนโครงสร้างในส่วนของราวตากผ้าให้สามารถพับเก็บได้ เพื่อความสะดวกในการโยกย้ายชิ้นงาน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Irvan A. Salihi, Stephan Adriansyah Hulukati, and Steven Humena. Designing an Internet of Things Based Automatic Clothesline. The 2nd International Conference on Sustainable Engineering Practices (IConSEP) (2019). pp.240 – 246.
- [2] Siti Nur Aisyah Abdul Hei, Effa Nadzirah Nazri, Nurin Faqihah Mohamed Rafik, Mazniha Berahim. Automatic Clothesline Retrieval Prototype with Humidity Alert System to Aid Clothesline Drawbacks for Reducing Laundry Worries. Multidisciplinary Applied Research and Innovation Vol. 2 No. 1 (2021) 401–410.
- [3] พิพัฒน์ ดุรงค์ดำรงชัย และชัยพร อัดโตดตร. แบบจำลองระบบไอโอทีสำหรับฟาร์มไก่อัตโนมัติที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์, Journal of Energy and Environment Technology, ISSN 2392-5701, JEET. (2020). 7(2): 73-86.
- [4] Zakiah Mohd Yusoff and Committee. Smart Clothline System Based on Internet of Thing (IoT). MATEC Web of Conferences. (2018). 1 - 6.
- [5] Dewi Rasni Putri, Doan Perdana, Yoseph Gustommy Bisono. DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS OF SMART ROOF CLOTHESLINE SYSTEM BASED ON MICROCONTROLLER BY SMARTPHONE APPLICATION. School of Electrical Engineering, Telkom University. TEKTRIKA-Journal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika, (2017), 2(1)

แนวทางการส่งเสริมเชิงประจักษ์ที่สัมพันธ์กับปัจจัยการทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อตัดสินใจใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย

A GUIDELINES PROMOTE EMPIRICAL RELATIONSHIP WITH MARKETING FACTORS INFLUENCING THE DECISION TO USE VEHICLES ELECTRIC IN THAILAND

คัทธเลีย ฤกษ์พิไชย

Catthaleeya Rerkpichai

Received: 27 May 2022

Revised: 10 June 2022

Accepted: 30 June 2022

อาจารย์ประจำ สาขาวิชาการตลาด คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

Corresponding, E-mail: catthaleeya.re@bsru.ac.th

บทคัดย่อ

กระแสการเข้ามาของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ทั่วโลกมีแนวโน้มเติบโตอย่างรวดเร็วแต่อย่างไรก็ดีเราก็จะเห็นได้ว่ารถยนต์พลังงานไฟฟ้ายังไม่เป็นที่ได้รับการยอมรับหรือนิยมเท่าที่ควรเนื่องจากปัจจุบันรถยนต์พลังงานไฟฟ้ายังมีราคาที่สูงและมีข้อจำกัด โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาแนวทางการส่งเสริมเชิงประจักษ์ของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย 2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์แนวทางการส่งเสริมเชิงประจักษ์กับปัจจัยการทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อตัดสินใจใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ในประเทศไทยเก็บรวบรวมข้อมูลแบบสัมภาษณ์จากกลุ่มผู้ใช้รถพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งสื่อต่างๆ ที่เป็นคนไทยซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลการสัมภาษณ์ที่เป็นข้อมูลอย่างแท้จริง โดยข้อมูลการสัมภาษณ์อยู่ในช่วงระยะเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 - 2565 จำนวน 15 คน หลังจากนั้นนำมาตีความสรุปข้อมูลด้วยโปรแกรม Atlas.ti ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าเห็นได้ว่าประเทศไทยมีความพร้อมเนื่องจากมีแนวทางการส่งเสริมเชิงประจักษ์ที่สัมพันธ์กับปัจจัยการทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อตัดสินใจใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ในประเทศไทย ทั้งด้าน ส่วนประสมทางการตลาดด้านผลิตภัณฑ์ ด้านราคา ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านการส่งเสริมการขาย ที่สัมพันธ์กับผู้ซื้อ ด้านความรู้สึก ด้านความตั้งใจ ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องต่อผู้ใช้งาน ด้านความเชื่อมั่น ด้านความปลอดภัย การสนับสนุนค่ายของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ด้านลักษณะการใช้งานส่วนบุคคลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

คำสำคัญ: รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ส่วนประสมทางการตลาด

Abstract

The global influx of electric vehicles is likely to grow rapidly, however, we can see that electric vehicles are not yet as accepted or popular as they should be, as electric vehicles are currently relatively expensive and constrained.

1) To study the empirical promotion approach of electric vehicles. In Thailand 2) To study the relationship of empirical promotion approaches to market factors influencing the decision to use electric vehicles. In Thailand, we collect interview-based information from a group of electric car users from various Thai media sources, which is considered to be true interview information. The interview data is within a five-year period, 2017-2022. The data analysis showed that Thailand was ready because of the empirical promotion guidelines in relation to market factors

influencing the decision to use electric vehicles. In Thailand, both Product marketing, price, distribution channels, promotional aspects related to buyers, feelings, intentions. Factors related to users, confidence, security The camp support of electric vehicles in terms of personal use characteristics is in the same direction.

Keywords: Electric vehicles, Marketing MIX

1. บทนำ

กระแสการเข้ามาของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ทั่วโลกมีแนวโน้มเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งในที่สุดจะส่งผลต่ออุตสาหกรรมรถยนต์ในประเทศไทยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่ดูเหมือนการการตอบรับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ในประเทศไทยยังตามหลังหลายประเทศ รถยนต์พลังงานไฟฟ้าคือรถยนต์ที่ใช้พลังงานจากไฟฟ้า 100% ที่ภาษาอังกฤษเรียกว่า Electric Vehicle (EV) หรือเรียกสั้นๆ ว่า EV เป็นรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์โดยใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งเก็บอยู่ในแบตเตอรี่หรืออุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้าแบบอื่นๆ และด้วยข้อดีของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ให้แรงบิดได้ทันทีทำให้รถชนิดนี้มีอัตราเร่งที่เรียบและเร็ว และเหนือกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันรวมถึงการลดมลภาวะทางอากาศเพราะไม่ปล่อยควันพิษมาจากท่อไอเสีย นอกเหนือจากเรื่องการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ดีเราก็จะเห็นได้ว่ารถยนต์พลังงานไฟฟ้า ยังไม่เป็นที่ได้รับการยอมรับหรือนิยมเท่าที่ควรเนื่องจากปัจจุบันรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ยังมีราคาที่สูงขึ้น เนื่องจากกระบวนการผลิต ที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีที่สูง ตามไปด้วย และ รถยนต์พลังงานไฟฟ้า มีข้อจำกัดในเรื่อง ของระยะเวลาการเดินทาง ดังนั้น ผู้บริโภคจะต้องวางแผนการชาร์จแบตเตอรี่ระหว่างการเดินทาง หาก มีความจำเป็นต้องเดินทาง ในระยะที่ไกลผู้บริโภค จะต้องศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสถานีอัดประจุ และนอกจากนั้น รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ในประเทศไทยยังถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่ ทำให้มีบุคลากร ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญรวมถึง ผู้ที่สามารถตรวจบำรุงรักษารถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยได้ (สมาคมยานยนต์ไฟฟ้าไทย Electric Vehicle Association of Thailand – EVAT, 2565) จากประเด็นดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาแนวทางการส่งเสริมเชิงประจักษ์ที่สัมพันธ์กับปัจจัยการทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อตัดสินใจใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการส่งเสริมเชิงประจักษ์ที่ของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์แนวทางการส่งเสริมเชิงประจักษ์กับปัจจัยการทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อตัดสินใจใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

รถยนต์พลังงานไฟฟ้า มีชื่อเรียกแบบเต็มๆ ว่า Electric Vehicle คือ ยานพาหนะที่ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าแทนการใช้เครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้แบบสันดาป โดยรถยนต์พลังงานไฟฟ้าจะใช้พลังงานจากไฟฟ้าแทนการใช้น้ำมันหรือพลังงานอื่นๆ โดยระบบรถไฟฟ้าจะเก็บพลังงานเอาไว้ในแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จได้ และแปลงพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้ในการขับเคลื่อนรถ อนึ่งรถยนต์พลังงานไฟฟ้าไม่ต้องมีกลไกอะไรที่มากเหมือนขับเคลื่อนอย่างเช่นรถยนต์ที่ใช้น้ำมัน ซึ่งต้องใช้การจุดระเบิดเผาไหม้ในการขับเคลื่อน ทำให้เครื่องยนต์เรียบ และไม่มีไอเสียจากการเผาผลาญพลังงานรถยนต์พลังงานไฟฟ้า สามารถแบ่งได้หลายประเภทตามชื่อเรียก และกลุ่มของการใช้พลังงานในการขับเคลื่อน ตั้งแต่การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว จนถึงการใช้ระบบไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวในการขับเคลื่อน และยังมีรถยนต์ชนิด Fuel Cell Vehicles (FCV) ซึ่งขับเคลื่อนด้วยไฮโดรเจน และคาดว่าจะเข้ามาถึงตลาดได้ภายในเร็ววัน ในปัจจุบันรถยนต์ EV สามารถแบ่งตามเทคโนโลยีออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. รถยนต์พลังงานไฟฟ้า แบบไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle: HEV) เป็นรถยนต์ที่ใช้พลังงานผสมผสานระหว่างเชื้อเพลิงทั่วไป และพลังงานไฟฟ้าจากการแบตเตอรี่ รถยนต์ประเภทนี้จะมีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่าแบบใช้เครื่องยนต์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากเมื่อมีการเหยียบเบรค บางส่วนของพลังงานจะถูกจัดเก็บไว้ในแบตเตอรี่ และพลังงานที่เก็บไว้สามารถใช้ในภายหลังเพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าพร้อมกับการทำงานของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้

2. รถยนต์พลังงานไฟฟ้า แบบปลั๊ก-อิน ไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle : PHEV) รถยนต์ประเภทนี้มีระบบ น้ำมันเชื้อเพลิง และระบบไฟฟ้าเช่นเดียวกับรถยนต์ไฮบริด แต่สามารถเสียบปลั๊กชาร์จไฟได้จากภายนอก หรือ Plug-in ทำให้เมื่อเสียบชาร์จพลังงานแล้วรถก็สามารถวิ่งไปได้ในระยะทางที่มากกว่าระบบไฮบริดแบบเดิม และแบตเตอรี่ที่ใช้ยังสามารถชาร์จไฟเพิ่มเพื่อกักเก็บประจุได้ตามต้องการ และเมื่อแบตเตอรี่หมดลงรถจะทำงานคล้ายกับระบบแบบไฮบริด (HEV)

3. รถยนต์พลังงานไฟฟ้า แบบใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียวในการขับเคลื่อน (Plug-in Electric Vehicles: PEVs) รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ประเภทนี้จะคล้ายคลึงกับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า แบบปลั๊ก-อิน ไฮบริด (PHEV) เพียงแต่จะมีแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักเพียงอย่างเดียว เมื่อแบตเตอรี่หมดลงจะต้องเสียบปลั๊กเพื่อชาร์จประจุใหม่สามารถแยกตามการใช้งานรถยนต์พลังงานไฟฟ้าประเภทนี้ได้ ดังนี้

3.1 รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ที่วิ่งในระยะสั้น หรือในละแวกใกล้เคียง มีช่วงการขับขี่ต่ำและทำงานที่ความเร็วต่ำ ตัวอย่างเช่น GEM Electric Motorcar

3.2 รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ประเภท Battery Electric Vehicle (BEV) รถยนต์ประเภทนี้ขับเคลื่อนโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 100% จึงต้องมีแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ และสามารถวิ่งได้ระยะทางไกลต่อการชาร์จต่อหนึ่งครั้ง ทั้งนี้ รถยนต์ (Plug-in Electric Vehicles : PEVs) จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียว โดยไม่มีเครื่องยนต์สันดาปภายในจึงไม่ทำให้เกิดสารก่อมลพิษในขณะขับเคลื่อนหรือที่เรียกว่า Zero Emission แต่มีข้อเสียอยู่ที่มีระยะทางการวิ่งจำกัดโดยระยะทางในการขับขี่จะขึ้นอยู่กับขนาดของแบตเตอรี่ และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ในการใช้งาน และเส้นทางวิ่ง

3.3 รถยนต์พลังงานไฟฟ้า แบบเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle – FCEV) เป็นรถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่ขับเคลื่อน และใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) โดยเป็นเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจากการเติมเชื้อเพลิงภายนอก โดยไม่มีการปล่อยมลพิษ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากรถยนต์โดยตรง จะมีเพียงการปลดปล่อยน้ำเท่านั้น ในปัจจุบันรถยนต์แบบ FCEV มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น และคาดว่าจะมีการเติบโต รวมถึงเข้าสู่ตลาดได้ทันในเร็ววัน

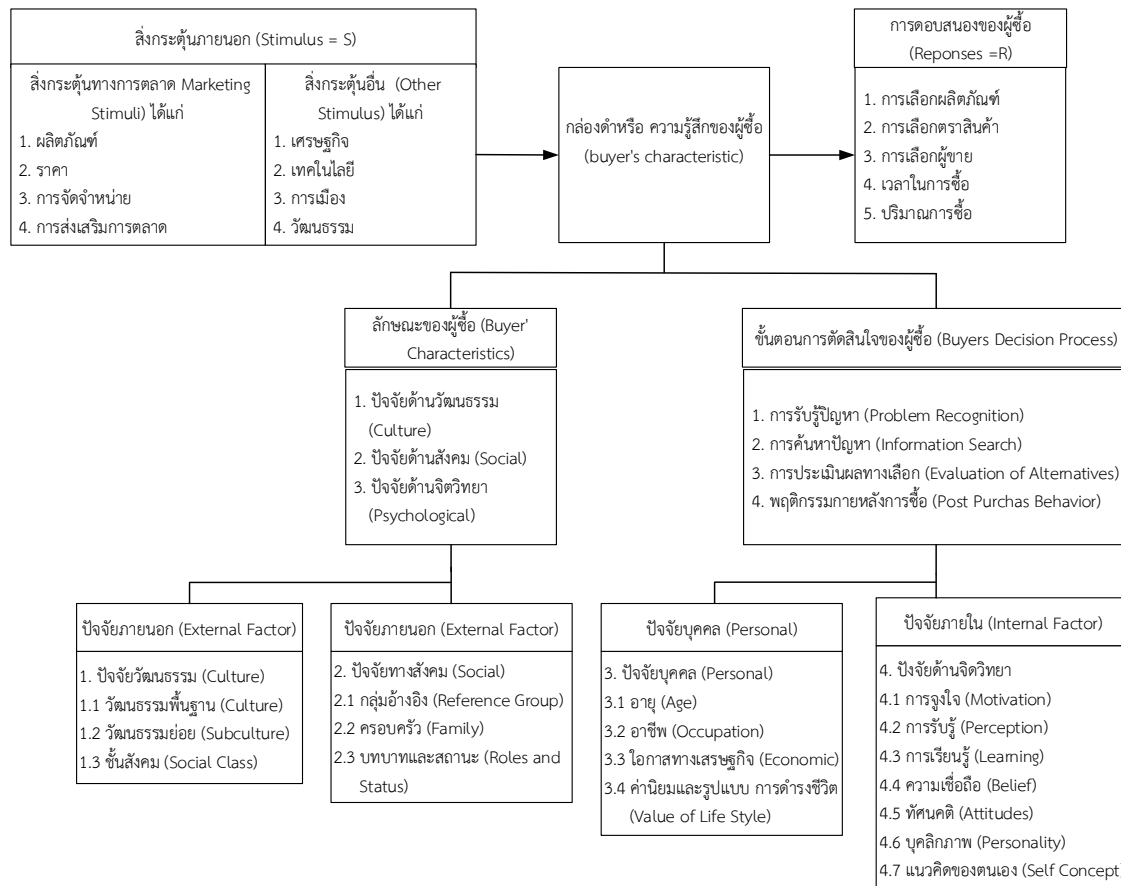
แนวคิด และทฤษฎีเกี่ยวกับพฤติกรรมผู้บริโภค

การบริโภค (Consumption) หมายถึง ความต้องการที่มีต่อสินค้าและบริการมีได้ทั้งที่เป็นอุปสงค์ต่อสินค้าและบริการขั้นสุดท้าย (Final Demand) และอุปสงค์ต่อสินค้าและบริการขั้นกลาง (Intermediate Demand) การบริโภคจัดเป็นอุปสงค์ที่มีต่อสินค้าและบริการในขั้นสุดท้าย สินค้าดังกล่าวเรียกว่าสินค้าบริโภค (Consumer Goods) ซึ่งมีทั้งที่เป็นสินค้าคงทน เช่น รถยนต์ ที่วี วิทยุ ฯลฯ และที่เป็นสินค้าไม่คงทนหรือเสียง่าย เช่น เนื้อสัตว์ พืชผัก ผลไม้ ฯลฯ พฤติกรรมของผู้บริโภคในการซื้อ เป็นพฤติกรรมที่ซื้อของผู้บริโภคขั้นสุดท้ายที่ซื้อสินค้าและบริการเพื่อไปกินเองใช้เอง หรือเพื่อกินหรือใช้ภายในครัวเรือน ผู้บริโภคทุกคนที่ซื้อสินค้าและบริการ ไปเพื่อวัตถุประสงค์เช่นนี้รวมกันเข้าเรียกว่าตลาดผู้บริโภค ทั้งนี้ผู้บริโภคทั่วโลกมีความแตกต่างกันในลักษณะประชากรอยู่หลายประเด็น เช่น ในเรื่องของอายุ รายได้ ระดับการศึกษา และรสนิยม เป็นต้น ทำให้มีการเลือกซื้อสินค้าและบริการหลายชนิดไปบริโภค นอกจากลักษณะประชากรดังกล่าวแล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้มีการบริโภคแตกต่างกัน (สุชาติ ศรีสรณกุลวงศ์, 2550)

ตัวแบบพฤติกรรมของผู้บริโภค (Model of Consumer Behavior)

1. ตัวแบบพฤติกรรมในการซื้อ ฟิลิป คอตเลอร์ (Kotler.2000, p. 161) [3] คอตเลอร์ได้คิดตัวแบบขึ้นเพื่ออธิบายพฤติกรรมในการซื้อของผู้บริโภคโดยอาศัยทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับพฤติกรรมของมนุษย์ ที่ว่าพฤติกรรมจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีสาเหตุทำให้เกิดดังนั้นตามตัวแบบของคอตเลอร์ตัวที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดพฤติกรรมประกอบด้วยสิ่งเร้า 2 ส่วน ได้แก่

สิ่งเร้าทางการตลาด อันได้แก่ ส่วนประสมการตลาด หรือ 4Ps ซึ่งเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ และสิ่งเร้าภายนอกอื่นๆ ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ อันได้แก่ ปัจจัยและเหตุการณ์ในสภาพแวดล้อมต่างๆ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ ซึ่งได้แก่ เศรษฐกิจ เทคโนโลยี การเมือง และวัฒนธรรม เป็นต้น สิ่งเร้าทั้ง 2 ส่วนดังกล่าว อันเป็นเหตุก่อให้เกิดพฤติกรรมในการซื้อ จะเป็นตัวป้อนเข้าสู่กล่องดำ หรือ Black Box ผ่านกระบวนการตัดสินใจซื้อของผู้ซื้อภายใต้อิทธิพลของวัฒนธรรมสังคม จิตวิทยาที่บุคคลนั้นได้รับและจะปรากฏผลออกมา อันเป็นการแสดงพฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้าในรูปของการตัดสินใจซื้อ หรือไม่ซื้อด้วยเหตุที่ตัวแบบของคอตเลอร์ เกี่ยวข้องกับสิ่งเร้า และการตอบสนองต่อสิ่งเร้า ซึ่งตัวแบบนี้จึงเรียกว่า Stimulus-Response Model รายละเอียด ตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 รูปแบบพฤติกรรมกาซื้อ
ที่มา : Philip Kotler (2000, p. 161) [3]

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ของเขตการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยเรื่องแนวทางการส่งเสริมเชิงประจักษ์ที่สัมพันธ์กับปัจจัยการทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อตัดสินใจใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยในครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ โดยการ เก็บรวบรวมข้อมูลแบบสัมภาษณ์จากกลุ่มผู้ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งสื่อต่าง ๆ ที่เป็นคนไทย ซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลการสัมภาษณ์ที่เป็นข้อมูลอย่างแท้จริงจากกลุ่มผู้บริหารและผู้ใช้รถที่เกี่ยวข้องกับการใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า (EV) จากแหล่งสื่อต่างๆ ที่เป็นคนไทย ซึ่ง

ถือว่าเป็นข้อมูลการสัมภาษณ์ที่เป็นข้อมูลอย่างแท้จริง โดยข้อมูลการสัมภาษณ์อยู่ในช่วงระยะเวลา 5 ปี คือปี พ.ศ. 2560-2565 จำนวน 15 คน ซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลที่มีความอึดตัว (kNatasi and Schenul, 2005) [4]

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลดังต่อไปนี้

ข้อมูลปฐมภูมิ ได้จากการสัมภาษณ์สาธารณะจากแหล่งสื่อต่างๆ ที่ผู้ถูกสัมภาษณ์แสดงความคิดเห็นอย่างมีอิสระไม่ถูกชี้นำทางความคิดโดยผู้วิจัยคัดเลือกประเด็นการสัมภาษณ์มาเฉพาะข้อคำถามที่ตรงกับตัวแปรของงานวิจัยเท่านั้น

ข้อมูลทุติยภูมิ การเก็บข้อมูลทุติยภูมิผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลเอกสารงานวิจัยบทความทั้งในประเทศและต่างประเทศที่มีความเกี่ยวข้องกับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า โดยเลือกแหล่งที่มาที่มีความน่าเชื่อถือได้

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้สร้างแบบบันทึกและแบบสัมภาษณ์ที่มีคุณภาพโดยผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านเฉพาะทางก่อนนำมาใช้

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลการสัมภาษณ์ในประเด็นที่เกี่ยวข้องของผู้ที่ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า จนกระทั่งได้ข้อมูลอย่างครบถ้วนจากนั้นผู้วิจัยจึงนำมาวิเคราะห์เนื้อหาสำคัญ และใช้โปรแกรม Atlas ti. เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ เปลี่ยนข้อมูลดิบให้เป็นข้อมูลเชิงนามธรรมโดยการให้รหัส (Coding) เพื่อเลือกข้อความที่ต้องการนำเสนอ (Quotation) เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ที่คล้ายคลึง เกี่ยวข้องกัน ให้รหัสให้เป็นหมวดหมู่ จัดระบบความสัมพันธ์ของหมวดหมู่ความหมาย เพื่อให้ได้ข้อค้นพบหรือข้อสรุปของการวิจัย" (สุพจน์ เต็มดวง, 2550) โดยเริ่มนำมารหัสและจัดการรหัสข้อมูล (Coding & Code management) จากนั้นผู้วิจัยเลือกข้อความที่ต้องการนำเสนอ (Quotation) และทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Network, hyperlink) จัดบันทึกข้อสังเกต และบันทึกข้อสรุปเกี่ยวกับข้อมูล (Memos) และทำรายงานผล

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1) เพื่อศึกษาแนวทางการส่งเสริมเชิงประจักษ์ที่ของรถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยพบว่าการศึกษาค้นคว้าพบ ประเทศไทยได้มีมาตรการสนับสนุนยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ซึ่งจะส่งเสริมการใช้อีวี 3 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ รถจักรยานยนต์และรถกระบะ สำหรับมาตรการดังกล่าวแบ่งเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ปี 2565-2568 ส่งเสริมให้เกิดการใช้รถยนต์แบตเตอรี่ไฟฟ้า 3 กลุ่ม ประกอบด้วย (1) เงินอุดหนุนรถยนต์และรถกระบะคันละ 70,000-150,000 บาทต่อคัน และรถจักรยานยนต์ 18,000 บาทต่อคัน (2) ลดภาษีสรรพสามิตรถยนต์จาก 8% เป็น 2% และรถกระบะเป็น 0% (3) ลดอากรขาเข้ารถยนต์ที่ผลิตต่างประเทศและนำเข้าทั้งคัน (CBU) สูงสุด 40% สำหรับรถยนต์ถึงปี 2566 (4) ยกเว้นอากรขาเข้ารถยนต์ที่ผลิตในประเทศ (CKD) จำนวน 9 รายการทั้งนี้ค่ายรถที่เข้าร่วมต้องรับเงื่อนไข ได้แก่ การผลิตชดเชยให้เท่ากับจำนวนที่นำเข้า CBU ช่วงปี 2565-2566 ในปี 2567 แต่ขยายเวลาได้ ถึงปี 2568 จะต้องผลิตในอัตราส่วน 1.5 เท่า (นำเข้า 1 คัน ผลิต 1.5 คัน) ผู้ใช้สิทธิจะผลิต BEV รุ่นใดก็ได้เพื่อชดเชย ยกเว้นรถที่มีราคาขายปลีก ราคา 2-7 ล้านบาทต้องผลิตรุ่นเดียวกับที่นำเข้ามาสำหรับมาตรการการสนับสนุนรถยนต์พลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็นรถ 3 ประเภท ได้แก่ รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ราคาขายปลีกแนะนำไม่เกิน 2 ล้านบาท (ผลิตและประกอบในประเทศ) ได้ลดอากรขาเข้าสูงสุด 40% (ปี 2565-2566) ลดภาษีสรรพสามิตจาก 8% เป็น 2% (ปี 2565- 2568) เงินอุดหนุน (ปี 2565-2568) 70,000 บาท (ขนาดแบตเตอรี่ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ต่อ ชั่วโมง) 150,000 บาท (ขนาดแบตเตอรี่ 30 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงขึ้นไป) และในปี 2567 ต้องผลิตเพื่อชดเชยการนำเข้าในปี 2565-2566 โดยผลิตรถรุ่นใดก็ได้ส่วนรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ที่ราคาขายปลีกแนะนำ 2-7 ล้านบาท ได้ลดอากรขาเข้าสูงสุด 20% (ปี 2565-2566) ลดภาษีสรรพสามิตจาก 8% เป็น 2% (ปี 2565-2568) แต่ต้องเลือกผลิตรถยนต์จากรถรุ่นใดรุ่นหนึ่งที่ได้นำเข้ามาในปี 2565-2566 เท่านั้น และนอกจากนั้นยังมีการให้สิทธิประโยชน์แก่ภาคอุตสาหกรรมรถยนต์ต้องมีเงื่อนไขบริษัทผู้ผลิตรถต้องตั้งฐานการผลิตอีวีในไทย โดยหากนำเข้า 1 คัน

ภายใต้โครงการสิทธิประโยชน์ที่ภาครัฐให้ต้องผลิตอีวีในประเทศ 1.5 คัน โดยต้องมาตั้งฐานการผลิตภายใน 2-3 ปี หลังรับสิทธิประโยชน์ คณะกรรมการนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าแห่งชาติ (2565) จากมาตรการดังกล่าวจะเห็นว่าทำให้ภาครัฐและภาคเอกชนออกมาสนับสนุนการใช้รถพลังงานมากขึ้น

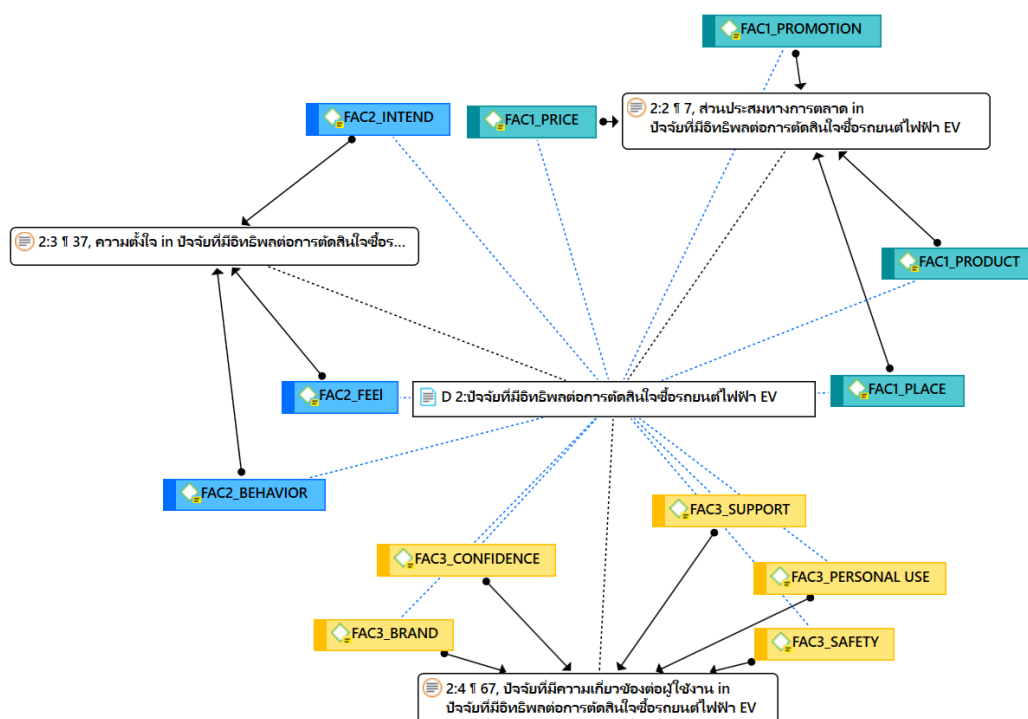
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์แนวทางการส่งเสริมเชิงประจักษ์กับปัจจัยการทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยผู้วิจัยได้เปลี่ยนข้อมูลดิบให้เป็นข้อมูลเชิงนามธรรมโดยการให้รหัส (Coding) เพื่อเลือกข้อความที่ต้องการนำเสนอ (Quotation) เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ที่คล้ายคลึง เกี่ยวข้องกัน ให้รหัสให้เป็นหมวดหมู่ จัดระบบความสัมพันธ์ของหมวดหมู่ความหมาย เพื่อให้ได้ข้อค้นพบหรือข้อสรุปของการวิจัย” (สุพจน์ เต็นดวง, 2550) โดยเริ่มนำมาลงรหัสและจัดการรหัสข้อมูล (Coding & Code management) จากนั้นผู้วิจัยเลือกข้อความที่ต้องการนำเสนอ (Quotation) และทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Network, hyperlink) จัดบันทึกข้อสังเกต และบันทึกข้อสรุปเกี่ยวกับข้อมูล (Memos) และทำรายงานผลตั้งข้อมูลต่อไปนี้

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อรถยนต์พลังงานไฟฟ้า EV

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อรถยนต์พลังงานไฟฟ้า EV			
องค์ประกอบ	คำสำคัญ	ความสัมพันธ์	รหัส CODE
ส่วนประสมทางการตลาด	ด้านผลิตภัณฑ์	1.1 รถพลังงานไฟฟ้านั้นถือว่าเป็นเทคโนโลยีของพลังงานเป็นปกติที่ราคาค่อนข้างสูงแต่ก็สามารถช่วยลดการปล่อยมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมได้ 1.2 รถพลังงานไฟฟ้ามีรูปทรงที่ทันสมัยมีสมรรถนะที่มีประสิทธิภาพสามารถประหยัดค่าน้ำมันได้จริงเนื่องจากราคาค่าไฟฟ้าถูกกว่าราคาน้ำมันในส่วนของคุณค่าบำรุงรักษาจะต้องไม่มีราคาที่สูงเกินไปมีความสมเหตุสมผล 1.3 รถพลังงานไฟฟ้ามีคุณสมบัติของรถต้องสามารถวิ่งได้ระยะทางได้ไกลต่อการชาร์จหนึ่งครั้งเพราะบางครั้งมีการเดินทางที่ไกลหรือกล่าวคือต้องเทียบเท่าการเติมน้ำมันหนึ่งถังต่อการวิ่งหนึ่งครั้งและระยะเวลาในการชาร์จไฟต่อครั้งจะต้องไม่นานเกินไปเช่นอาจจะไม่เกิน 1 ชั่วโมงต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง	เป็นส่วนหนึ่งของ FAC1_PRODUCT
	ด้านราคา	รถยนต์พลังงานไฟฟ้า เป็นนวัตกรรมและเทคโนโลยีใหม่ ราคาค่อนข้างสูงแต่เมื่อเปรียบเทียบแล้วว่า เมื่อเทียบกับราคาน้ำมันก็จะทำให้ราคาถูกกว่าอยู่ดีแต่ต้องดูว่าหาค่าบำรุงรักษา ค่าอะไหล่ หรือแบตเตอรี่มีราคาที่สูงเกินไปก็อาจจะพิจารณายังไม่รวมไปถึงรถไฟฟ้าเมื่อใช้งานไปทุกวันก็จะมีพวกค่าเสื่อมราคาเมื่อนำไปขายต่อหากราคาไม่ตกมากนักก็ถือว่าคุ้มค่า	เป็นส่วนหนึ่งของ FAC1_PRICE

ความตั้งใจ	ช่องทางจัดการจำหน่าย	ผู้ถูกสัมภาษณ์มีความเห็นว่า ผู้ถูกสัมภาษณ์มีความเห็นว่า รถยนต์พลังงานไฟฟ้า มีจุดให้บริการสถานีชาร์จ ประจุไฟฟ้าค่อนข้างมีความสำคัญที่เป็นเหตุผลหลัก รองลงมาด้านความสมัยของจุดให้บริการการอำนวยความสะดวกความรวดเร็วการมีโปรโมชั่นส่งเสริมการตลาดส่วนลดของแถมและการบริการหลังการขาย การให้สิทธิพิเศษต่างๆ	เป็นส่วนหนึ่งของ	FAC1_PLACE
	ด้านการส่งเสริมการขาย	รถยนต์พลังงานไฟฟ้า มีการให้โปรโมชั่นส่วนลด แบนเนอร์หรือการให้สิทธิพิเศษเกี่ยวกับการบริการหลังการขายเป็นจุดสำคัญเนื่องจากยังมีความกังวลเรื่องของอายุการใช้งานและการบริการหลังการขายหากมีการเน้นส่งเสริมการตลาดในส่วนนี้จะดีมาก	เป็นส่วนหนึ่งของ	FAC1_PROMOTION
	ด้านพฤติกรรม	ผู้ซื้อมีการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องรถไฟฟ้าและระบบการทำงานในลักษณะที่เป็นเทคโนโลยีใหม่มีการร่วมเข้ากลุ่มพูดคุยกับผู้สนใจหรือกำลังศึกษาชื่นชอบมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันภายในกลุ่ม มีการเปรียบเทียบราคา ศึกษาถึงปัญหารถแต่ละรุ่น	เป็นส่วนหนึ่งของ	FAC2_BEHAVIOR
	ด้านความตั้งใจ	ผู้ถูกสัมภาษณ์มีความเห็นว่า เมื่อประเทศไทยมีสถานีชาร์จอย่างเพียงพอและมีการใช้ระยะหนึ่งพบว่าการนำรถไฟฟ้ามาใช้ในประเทศไทยมีความเสถียรก็มีความตั้งใจที่จะซื้อหรือพิจารณาการใช้รถไฟฟ้า เป็นการเปิดใจยอมรับในเทคโนโลยีมากขึ้น	เป็นส่วนหนึ่งของ	FAC2_INTEND
	ด้านความปลอดภัย	ผู้ถูกสัมภาษณ์มีความเห็นว่า ความปลอดภัย ในประเทศไทยมีอากาศค่อนข้างร้อน ระบบไฟฟ้าอาจจะมีความผิดปกติได้หรือประเทศไทยในกรุงเทพเกิดน้ำท่วมทุกปีในหลายๆจุด จะทำให้ระบบไฟฟ้าเกิดความขัดข้อง	เป็นส่วนหนึ่งของ	FAC3_SAFETY
	การสนับสนุน	ผู้ถูกสัมภาษณ์มีความเห็นว่า ภาครัฐและภาคเอกชน จะต้องมีการสนับสนุนอย่างเต็มที่เช่นในเรื่องของภาษีต่างๆ การกระตุ้นซื้อจากภาครัฐ	เป็นส่วนหนึ่งของ	FAC3_SUPPORT
	ค่ายของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า	ผู้ถูกสัมภาษณ์มีความเห็นว่า ในเรื่องของแบรนด์ที่ได้รับ การยอมรับเนื่องจากแต่ละแบรนด์จะสะท้อนถึงการบริการหลังการขายในกรณีที่พบวารถนั้นเกิดมีปัญหา ศูนย์บริการจะสามารถซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่เป็นปกติได้หรือไม่เพราะยังถือว่ารถไฟฟ้าเป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่สำหรับประเทศไทย	เป็นส่วนหนึ่งของ	FAC3_BRAND

ด้านลักษณะการใช้งานส่วนบุคคล	ผู้ถูกสัมภาษณ์มีความเห็นว่า ด้านลักษณะการใช้งานส่วนบุคคลโดยปกติรถยนต์พลังงานไฟฟ้า น่าจะเหมาะกับการใช้ในตัวเมืองที่มีรถติดแต่โดยปกติแล้วคนก็จะใช้รถยนต์เพื่อเดินทางต่างจังหวัดซึ่งเป็นระยะทางค่อนข้างไกลจึงทำให้เกิดข้อจำกัดเนื่องจากตามข้อมูลรถไฟฟ้าเหมาะสำหรับการเดินทางในระยะสั้นสั้นเท่านั้นและในเรื่องของการทำความเร็วจะไม่เหมาะสมกับการเดินทางระยะไกล	เป็นส่วนหนึ่งของ FAC3_PERSONAL USE
-------------------------------------	---	---



ภาพที่ 2 ผลสรุปความเชื่อมโยงการวิเคราะห์องค์ประกอบ และความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

จากภาพที่ 1 ความเชื่อมโยงการวิเคราะห์องค์ประกอบและความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อรถยนต์พลังงานไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีความพร้อมเนื่องจากมีแนวทางการส่งเสริมเชิงประจักษ์ที่สัมพันธ์กับปัจจัยการทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย ทั้งด้าน ส่วนประสมทางการตลาด ด้านผลิตภัณฑ์ ด้านราคา ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านการส่งเสริมการขาย ที่สัมพันธ์กับผู้ซื้อ ด้านความรู้สึก ด้านความตั้งใจ ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องต่อผู้ใช้งาน ด้านความเชื่อมั่น ด้านความปลอดภัย การสนับสนุนค่ายของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ด้านลักษณะการใช้งานส่วนบุคคลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน สอดคล้องกับ รณรงค์ พูลพิพัฒน์ [2] ผู้อำนวยการสำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า (สนค.) กระทรวงพาณิชย์ กล่าวว่าการใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่มีแนวโน้มเติบโตทั่วโลกจากกระแสรักษ์สิ่งแวดล้อมและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นตัวแปรสำคัญให้นานาประเทศ ออกมาตรการสนับสนุนให้มีการใช้ยานยนต์ไฟฟ้ากันมากขึ้น ขณะที่รัฐบาลไทยเห็นชอบให้นโยบาย BCG (Bio-Circular-Green) Economy Model เป็นวาระแห่งชาติในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ ครม.มีมติเห็นชอบแพ็คเกจมาตรการสนับสนุน

รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ครอบคลุมรถ 3 ประเภท ได้แก่ รถยนต์ รถจักรยานยนต์ และรถกระบะ โดยมีมาตรการยกเว้น/ลดอากรขาเข้า ลดภาษีสรรพสามิต และให้เงินอุดหนุนตั้งแต่ปี 2565-2568 เพื่อส่งเสริมให้ประชาชนใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น รวมทั้งมีเป้าหมายให้ไทยสามารถผลิตยานยนต์ไฟฟ้าได้เอง และสามารถแข่งขันได้ ตลอดจนรักษาการเป็นฐานการผลิตรถยนต์ที่สำคัญของโลก “กระแสการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม การใช้พลังงานสะอาดเพื่อลดมลพิษ จะมีบทบาทสำคัญต่อพฤติกรรมผู้ใช้นายยนต์ และต่ออุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ของโลก ในการหันมาให้ความสำคัญต่อรถ ZEV (Zero Emission Vehicle) หรือรถยนต์ที่ปล่อยมลพิษเป็นศูนย์มากยิ่งขึ้นในอนาคต ไทยจำเป็นต้องเร่งพัฒนานวัตกรรม เพื่อให้ไทยเป็นศูนย์กลางการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าและชิ้นส่วน จะเป็นปัจจัยสนับสนุนให้ประชาชนหันมาใช้รถยนต์พลังงานสะอาดเพิ่มมากขึ้น” สอดคล้องกับ ลวรณ แสงสนิท อธิบดีกรมสรรพสามิต (2565) กล่าวถึงกรณีนี้ที่ กรม ได้อนุมัติมาตรการส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า หรือรถยนต์อีวีนั้น กรมสรรพสามิตจะออกประกาศภาษีที่เกี่ยวข้อง เพื่อดำเนินการต่อไป คาดว่าจะมีการลงนามสัญญาความร่วมมือกับค่ายรถยนต์ที่เข้าร่วมโครงการสอดคล้องกับ กฎา อดุตโมทย์ (2564) ได้ระบุไว้ดังนี้

- 1) ปัจจุบัน รัฐให้การสนับสนุนยานยนต์ไฟฟ้าด้วยการลดอัตราภาษีสรรพสามิตเป็นหลัก สำหรับรถยนต์นั่งเรียกเก็บในอัตรา 8-26% (ขึ้นอยู่กับไอเสียที่ปล่อยออกมา) ซึ่งต่ำกว่ารถชนิดอื่นๆ ที่เรียกเก็บระหว่าง 12-40% และหากค่ายรถยนต์ยื่นขอสนับสนุนโครงการจากคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) จะได้รับส่วนลดเพิ่มพิเศษ รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ชนิดใช้แบตเตอรี่จะเหลือพิกัดอัตราภาษีเพียง 2% เท่านั้น และหากเป็นรถไฮบริดจะได้รับส่วนลดครึ่งหนึ่งจากภาษีปกติ
- 2) นโยบายยานยนต์ไฟฟ้าของภาครัฐนโยบาย 30/30 คือ การตั้งเป้าให้มียอดขายรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ในสัดส่วน 30% ภายในปี 2030 หรืออีก 10 ปีข้างหน้า ซึ่งในปัจจุบันอาจจะมีการปรับตัวเลขใหม่ให้สอดคล้องกับทิศทางของโลกอีกครั้ง หลังจากที่ดีตลาดเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากการแบนรถเครื่องยนต์ดีเซลในยุโรป ที่จะเป็นแรงผลักดันให้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ที่มีสัดส่วนยอดขายเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่การขยายสถานีชาร์จจะส่งเสริมให้ครอบคลุมทั่วประเทศ สอดคล้องกับ ชิต เหล่าวัฒนา ที่ปรึกษาพิเศษด้านพัฒนาการศึกษา บุคลากร และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (สกพอ.) ในปี 2565 ได้ระบุว่า “ประเทศไทยมีรถที่สัญจรในปัจจุบัน 40 ล้านคัน มีปัญหาเยอะ เพราะเทคโนโลยีเปลี่ยน มีแบตเตอรี่ลิเทียมเข้ามาแล้ว เป็นอีวีแล้ว การสนับสนุนอุตสาหกรรม EV conversion หรือ รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ดัดแปลง ด้วยการนำรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปมาปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ให้เป็นระบบไฟฟ้า นอกจากจะช่วยให้คนใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ด้วยต้นทุนที่ถูก สอดคล้องกับสมปราชญ์ โปสุวรรณ รองกรรมการผู้จัดการ ฝ่ายขายและการตลาด บริษัท มิลเลนเนียม ออโต้ กรุ๊ป จำกัด (2564) ทิศทางและภาพรวมของตลาดรถยนต์ในไทย โดยเฉพาะรถยนต์พลังงานไฟฟ้า (EV-Electric Vehicle) โดยกล่าวว่า “ภาพรวมของตลาดรถยนต์ในไทยส่วนใหญ่จะอิงตามตลาดรถยนต์โลก ดังนั้น เทรนด์ของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า EV กำลังมา ซึ่งตลาดไทยก็ขานรับสอดคล้องกัน หลายคนให้ความสำคัญกับการรักษาสีสิ่งแวดล้อมมากขึ้น มีการออกแบบที่ดี และบริการหลังการขายที่มีคุณภาพ ประกอบกับที่ปัจจุบันมีการแข่งขันสูงในตลาดรถยนต์พลังงานไฟฟ้า EV ทั้งด้านสมรรถนะและความสะดวกสบายในการใช้งาน ยิ่งทำให้อุตสาหกรรมและการพัฒนาไฟฟ้า EV คึกคักมากขึ้น เพราะได้ทั้งการตอบรับที่ดีจากผู้บริโภค และธุรกิจเองก็ตื่นตัวกับเรื่องนี้ค่อนข้างมาก นฤมล นวลปลอด (2564) มองถึงความท้าทายจุดแรกของการเปลี่ยนผ่านไปเป็นพลังงานไฟฟ้าว่า ทั้งยานยนต์ไฟฟ้า และเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาจากความต้องการการใช้รถใช้ถนนที่หลากหลาย ทั้งรถโดยสารสาธารณะ การใช้รถส่วนตัว หรือการใช้ยานยนต์เพื่อการพาณิชย์ และการเปลี่ยนผ่านในแต่ละภูมิภาคใช้ระยะเวลาที่ไม่เท่ากัน มาจากปัจจัยทั้งการบังคับใช้กฎหมาย สภาพเศรษฐกิจ และสังคม รวมทั้งการขอความร่วมมือกับภาคการขนส่งเอกชนให้มีการเปลี่ยนผ่านทันทีเลย อาจจะไม่ใช่เรื่องง่าย ดังนั้น ภาครัฐต้องเตรียมการ รวมถึงมีการประชาสัมพันธ์แผนงานต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดความชัดเจนในวงกว้าง เช่น แผนการใช้งานยานยนต์ขับเคลื่อนอัตโนมัติ หรือการคาดการณ์ความพร้อมของประเทศไทยในการรองรับเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อให้ฝั่งของผู้ผลิต ผู้ให้บริการ และผู้รับบริการได้มีการเตรียมตัว และมีความพร้อมในการเปลี่ยนผ่าน สอดคล้องกับสุโรจน์ แสงสนิท รองประธานกรรมการบริหาร บริษัท เอสเอไอซี มอเตอร์-ซีพี จำกัด ค่ายเอ็มจี (2565) กล่าวว่า การใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ในประเทศไทยมีความเป็นไปได้มากขึ้น จากการที่ภาครัฐได้ออกมาตรการส่งเสริม และสนับสนุนผู้ประกอบการในด้านสิทธิประโยชน์และภาษีของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า นั้น ส่งผลให้งานมอเตอร์โชว์ปีนี้

มีประชาชนให้การตอบรับและสนใจเข้าชมพร้อมลงทะเบียนทดลองขับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า เป็นจำนวนมาก ในฐานะผู้ประกอบการมีความพึงพอใจต่อมาตรการของภาครัฐที่ออกมาเป็นอย่างดี สิ่งที่รัฐบาลสนับสนุนผู้ประกอบการนั้น ทำให้สามารถจัดโปรโมชั่นและแคมเปญพิเศษช่วยให้ประชาชนมีกำลังซื้อและเข้าถึงรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ได้มากขึ้น นับเป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจได้อีกทางหนึ่ง โดยเฉพาะในขณะนี้ที่สถานการณ์ราคาน้ำมันแพง ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้รถยนต์ในวงกว้าง การหันมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า จะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ตอบโจทย์สำหรับประชาชน นอกจากนี้ ในฐานะผู้ประกอบการมีความพร้อมในการเป็นกำลังผลิต และมั่นใจที่จะเป็นศูนย์กลางการผลิตรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ของภูมิภาคอาเซียน ยืนยันในประสิทธิภาพด้านความคุ้มค่าและความปลอดภัยของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า และอยากให้หน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องออกมาตราการสนับสนุนเพิ่มเติม รวมทั้งควรติดตั้งสถานีชาร์จให้มีมากขึ้น ครอบคลุมทุกพื้นที่ เพื่อรองรับการใช้งานของประชาชนในอนาคต

5. ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งต่อไปควรมีการศึกษาแนวทางการส่งเสริมเชิงประจักษ์ที่สัมพันธ์กับปัจจัยการทางการตลาดที่มีอิทธิพลต่อตัดสินใจใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย ด้วยวิธีวิทยาการวิจัยเชิงปริมาณร่วมกับเชิงคุณภาพ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สะท้อนความเป็นจริงมากที่สุด

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ประเสริฐ ศรีอุฬารพงศ์ พิธีการลงนามขยายสถานีชาร์จ EV Station PluZ แหล่งที่มา: ออนไลน์ https://www.matichon.co.th/economy/news_3236766 (สืบค้นเมื่อ 12 มิถุนายน 2565).
- [2] รณรงค์ พูลพิพัฒน์. (2565). สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า (สนค.) ชี้อัตราการใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจ BCG สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า กระทรวงพาณิชย์ แหล่งที่มา: ออนไลน์ <http://www.tpsa.moc.go.th/th/node/11550> (สืบค้นเมื่อ 12 มิถุนายน 2565).
- [3] Kotler, Phillip. (1997). Marketing Management. New Jersey: Prentice Hall International, Inc. (2000). Marketing Management. The Millennium Edition. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- [4] Nelson, M. L., & Quintana, S. M. (2005). Qualitative clinical research with children and adolescents. Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology, 34(2), 344-356

การปรับปรุงข้อความด้วยความเกี่ยวพันย้อนกลับโดยใช้ขั้นตอนเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูดเสิร์ทสำหรับการค้นคืนรูปภาพจากเนื้อหาของรูปภาพ

ENHANCEMENT OF QUERIES WITH RELEVANCE FEEDBACK USING GENETIC ALGORITHMS IN COMBINATION WITH NEIGHBORHOOD SEARCH FOR CONTENT-BASED IMAGES RETRIEVAL.

ทรงพล นครเศรษฐ์ศักดิ์¹, สุชาติ รมณีয়ারักษ์², รัตนภรณ์ นิลพงษ์³, สุธสิริลักษณ์ ชุนประวดี⁴

Songpon Nakharacruangsak¹, Suchart Rommaneeyarak², Rattanaorn Nilpong³,
Suttilug Choonprawat⁴

^{1,2,3} คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก

⁴ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

^{1*} Corresponding, E-mail: Songpon@southeast.ac.th

Received: 28 May 2022

Revised: 18 June 2022

Accepted: 21 June 2022

บทคัดย่อ

ปัจจุบันรูปภาพที่เผยแพร่อยู่ในอินเทอร์เน็ตมีอัตราการเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากความก้าวหน้าของเครื่องมือและเทคโนโลยี ทำให้มีรูปภาพเผยแพร่อยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อต้องการค้นคืนเพื่อหารูปภาพที่ต้องการจึงต้องอาศัยเครื่องมือประเภทระบบการค้นคืนรูปภาพที่มีประสิทธิภาพและความสามารถสูง แต่รูปแบบการค้นคืนแบบเก่าที่ใช้คำสำคัญจากข้อมูลเมตา โดยนำมาเปรียบเทียบกับข้อความ แต่ถ้ามีผู้ใช้สองคนต้องการเรียกข้อมูลรูปภาพเดียวกัน ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนไม่ได้ใช้ข้อความที่เป็นข้อความเดียวกัน ทำให้ระบบการค้นคืนรูปภาพจากข้อความ พิจารณาและเปรียบเทียบได้ยาก ซึ่งการปรับปรุงข้อความด้วยความเกี่ยวพันย้อนกลับโดยใช้ขั้นตอนเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูดเสิร์ท เป็นระบบแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่ผู้ใช้สามารถเลือกรูปภาพผลลัพธ์ที่ถูกต้องกับความต้องการจากการค้นคืนของรอบที่ผ่านมา แล้วทำการปรับปรุงเป็นรูปภาพคำถามใหม่ และป้อนย้อนกลับเข้าไปในระบบ จนส่งผลให้ได้รูปภาพผลลัพธ์ที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้มากขึ้น ผลจากการทดลองพบว่าวิธีการที่ผู้วิจัยดำเนินการนี้ให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในภาพรวม (F-measure) สูงถึง 0.87 ซึ่งหมายถึงระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี และให้ผลลัพธ์ที่สูงกว่าผลของการค้นคืนรูปภาพในรอบแรกที่ไม่มีการปรับข้อความด้วยความเกี่ยวพันย้อนกลับ จึงตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ของงานวิจัยนี้

คำสำคัญ: การค้นคืนรูปภาพโดยเน้นเนื้อหา, การป้อนความเกี่ยวพันย้อนกลับ, ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

Abstract

Currently, the publishing of images on the Internet is growing at a rapid rate as a result of advances in tools and technology. This results in a large number of images published. To retrieve the desired image, tools such as powerful and effective image retrieval systems are needed. The traditional retrieval system uses keywords from the metadata to compare them with the query. When two users want to retrieve the same image using different queries, it can be difficult for the query image retrieval system to determine and compare such queries. In this study, a semi-automated system was developed through the enhancement of queries with Relevance feedback using genetic algorithms in combination with Neighborhood Search. With this system, users can select the correct

result image according to their search requirements from previous iteration and the result is then revised into a new image query and fed back into the system until the resulting image is more consistent with the user's needs requirements. The results showed that this method had a mean F-measure of 0.87 indicating that the system showed good performance and produced better result compared to the result of the first iteration of image retrieval without a Relevance feedback process which meets the objectives of this study.

Keyword: Content-Based Images Retrieval, Relevance Feedback, Genetic Algorithm.

1. บทนำ

ปัจจุบันสื่อหลายประเภทในอินเทอร์เน็ต เช่น หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ หนังสือพิมพ์ออนไลน์ เว็บเพจ บล็อก มีการจัดเก็บและเผยแพร่ข้อมูลรูปภาพดิจิทัลเป็นจำนวนมากส่งผลให้รูปภาพดิจิทัลมีอัตราการเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว และยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคตตามการเติบโตของอินเทอร์เน็ต จึงเป็นเรื่องยากที่จะค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อนำมาใช้งาน ดังนั้นหากต้องการค้นคืนรูปภาพดิจิทัล และให้ได้ผลลัพธ์ที่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีระบบการค้นคืนที่มีประสิทธิภาพให้ความถูกต้อง และความแม่นยำสูง โดยปัจจุบันมีการพัฒนาระบบการค้นคืนรูปภาพเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพดังกล่าวเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถสรุปได้ 2 ประเภท คือ 1) ระบบการค้นคืนรูปภาพจากข้อความ (Text-Based Image Retrieval System) ซึ่งถือว่าเป็นเทคนิคแบบดั้งเดิมในการค้นคืนรูปภาพจากฐานข้อมูล ผู้ใช้จะใช้คำสำคัญ (Keyword) หรือ ข้อความ (Text) ในการค้นคืนรูปภาพ จึงง่ายต่อการใช้งาน แต่ถ้ามีผู้ใช้สองคนต้องการเรียกข้อมูลรูปภาพเดียวกัน ถ้าผู้ใช้แต่ละคนไม่ได้ใช้ข้อความที่เป็นข้อความเดียวกัน จะทำให้ระบบการค้นคืนรูปภาพจากข้อความพิจารณาและเปรียบเทียบได้ยาก ส่งผลให้ได้ผลลัพธ์จากการค้นคืนข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง นอกจากนี้การประมวลผลภาพล่วงหน้าของฐานข้อมูลยังเป็นปัญหาที่ซับซ้อน เพราะต้องใช้ทั้งทรัพยากรบุคคลและเวลาเป็นจำนวนมากสำหรับรูปภาพทั้งหมดในฐานข้อมูล เมื่อต้องการแยกกลุ่ม และใส่คำอธิบายประกอบ โดยเฉพาะเมื่อกำหนดให้มีผู้ที่ทำหน้าที่ในการใส่คำอธิบายประกอบหลายคนอาจทำให้เกิดความหลากหลายของความหมาย ถึงแม้ว่าจะเป็นรูปภาพที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน เพราะการรับรู้ การนึกคิดของแต่ละคนอาจไม่เหมือนกัน ซึ่งจะส่งผลต่อผลการค้นคืนภาพโดยรวมได้ 2) ระบบการค้นคืนรูปภาพจากเนื้อหาของรูปภาพ (Content-Based Images Retrieval System) วิธีการค้นคืนรูปภาพ ที่นำเนื้อหาของรูปภาพมาวิเคราะห์มากกว่าข้อมูลเมตา (Meta Data) เช่น คำหลัก แท็ก หรือคำอธิบายที่เกี่ยวข้องกับรูปภาพ ซึ่งคำว่า “เนื้อหา” ในบริบทนี้สามารถแบ่งกลุ่มได้ 3 ประเภท คือ เนื้อหาเชิงพื้นที่ (Spatial Content) พิจารณาจากการระบุตำแหน่งของวัตถุจากภาพที่กำหนด เนื้อหาเชิงความหมาย (Semantic Content) พิจารณาจากการกำหนดความหมายของภาพ และ เนื้อหาจากคุณลักษณะระดับต่ำ (Low-Level Feature Content) พิจารณาจาก สี รูปร่าง พื้นผิว เส้นขอบ โดเมนเชิงพื้นที่ (Spatial Domain) และ โดเมนเชิงความถี่ (Frequency Domain) จากการนำเนื้อหาของรูปภาพมาใช้ในกระบวนการค้นคืนรูปภาพ ทำให้สามารถลดข้อจำกัดของระบบค้นคืนจากข้อความลงได้ เพราะระบบการค้นคืนรูปภาพจากเนื้อหาของรูปภาพช่วยให้การจัดทำดัชนีดีขึ้น ส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ และตรงตามความต้องการของผู้ใช้มากขึ้น ซึ่งระบบการค้นคืนรูปภาพจากเนื้อหาส่วนใหญ่จะดำเนินการบนพื้นฐานของเนื้อหาที่ได้มาจากคุณลักษณะระดับต่ำ โดยอาศัยเทคนิค เครื่องมือ และอัลกอริทึมที่นำมาจากสาขาต่างๆ เช่น สถิติ การจดจำรูปแบบ การประมวลผลสัญญาณ และการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะระบบการค้นคืนรูปภาพจากเนื้อหาด้วยคุณลักษณะระดับต่ำร่วมกับการปรับปรุงข้อความด้วยความเกี่ยวพันย้อนกลับโดยใช้ขั้นตอนเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูทส์ โดยใช้กลยุทธ์การสืบค้นทีละตัวอย่าง กล่าวคือ ผู้ใช้ระบุข้อความค้นหาด้วยรูปภาพ นอกจากนี้ เรายังตรวจสอบการประเมินผลลัพธ์โดยให้ผู้ใช้มีส่วนร่วมในการพิจารณาว่าได้รูปภาพตรงตามความต้องการหรือไม่ โดยระบบจะอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถคัดเลือกรูปภาพผลลัพธ์ที่ตรงกับความต้องการจำนวน 5 ภาพเพื่อย้อนกลับเข้าสู่ระบบ และนำไปปรับปรุงเพื่อสร้างดัชนีของรูปภาพใหม่ด้วยเทคนิค

ของขั้นตอนเชิงพันธุกรรม H. Takagi, S.-B. Cho, and T. Noda (1999) [1] H. Takagi (2001) [2] M. Arevalillo-Herráez (2011) [3] ร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูทส์สำหรับสืบค้นใหม่จนกว่าจะจับคู่รูปภาพที่คล้ายกัน และตรงตามความต้องการของผู้ใช้มากที่สุด เท่านั้น

2. วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการปรับปรุงข้อความด้วยความเกี่ยวพันย้อนกลับโดยใช้ขั้นตอนเชิงพันธุกรรม ร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูทส์สำหรับการค้นคืนรูปภาพจากเนื้อหาของรูปภาพที่พัฒนาขึ้น

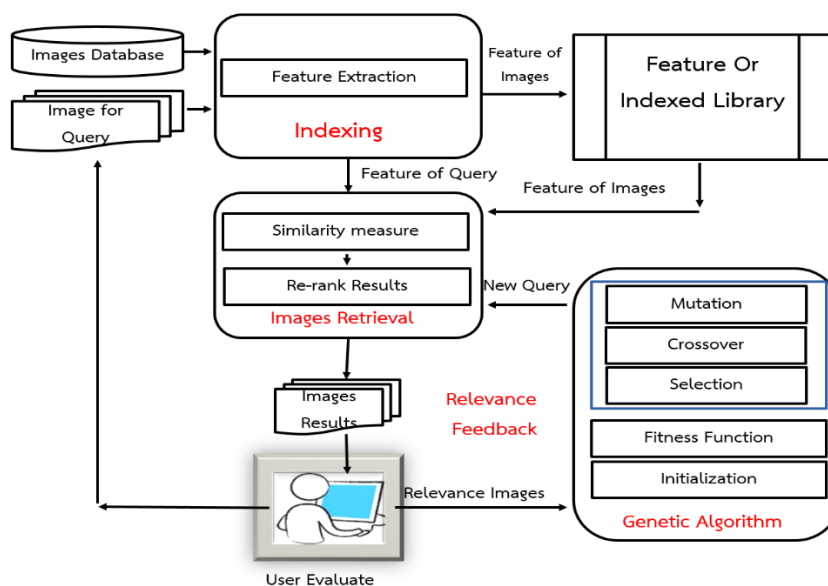
3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมรูปภาพเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลรูปภาพในการทดลอง โดยดาวน์โหลดรูปภาพจากเว็บไซต์ CS 223B Project: Color Edge Detection Examples จำนวน 500 ภาพ แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หมวดหมู่ของรูปภาพ

กลุ่มที่	ชื่อกลุ่ม	จำนวน/ภาพ
1	ดอกกุหลาบ	100
2	ม้า	100
3	รถบัส	100
4	ทิวทัศน์	100
5	ไดโนเสาร์	100

ต่อมาผู้วิจัยดำเนินการตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้สำหรับการปรับปรุงข้อความด้วยความเกี่ยวพันย้อนกลับโดยใช้ขั้นตอนเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูทส์สำหรับการค้นคืนรูปภาพจากเนื้อหาที่แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การปรับปรุงข้อความด้วยความเกี่ยวพันย้อนกลับโดยใช้ขั้นตอนเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูทส์

จากภาพที่ 1 สามารถแบ่งการดำเนินงานได้ 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูลตัวแทนรูปภาพ (Indexed Library) งานวิจัยนี้ใช้วิธีการหาตัวแทนรูปภาพจากคุณลักษณะระดับต่ำ (Low-Level Feature) 5 ลักษณะ ดังนี้ ค่าฮิสโตแกรมจากระบบสี HSV (HSV Histogram) Liang B., et al (2012) [4] Huayoung L., et al. (2004) [5] Marchal J., et al. (2006) [6] Wang R., et al. (2001) [7] ค่าสหสัมพันธ์อัตโนมัติของสี (Color Auto Correlogram) Haas M., et al. (2005) [8], Munesawang, P., et al (2005) [9], Mironica, I., Ionescu, B. and Vertan, C (2012) [10], Hopfgartner, F., et al (2007) [11] ค่าตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสี (Color Moment) Moshfeghi, Y. and Jose, J. M (2013) [12], Zhang, H., Kankanhalli, A. and Smoliar, S. W (1993) [13] ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเลต (Wavelet Transform) Shahraray B (1995) [14], Hampapur A., et al (1996) [15] และขอบภาพ (Edge) Kasturi, R. and Jain R (1991) [16] เพื่อสร้างเป็นตัวแทนหลายคุณลักษณะสำหรับการสืบค้นของรูปภาพในฐานข้อมูล และรูปภาพที่ใช้สอบถาม

2. ขั้นตอนของการค้นคืนรูปภาพ (Images Retrieval) เป็นขั้นตอนของการค้นคืนรูปภาพภายในระบบ หลังจากที่ได้ข้อความที่ผ่านการดำเนินการจากขั้นตอนที่ 1 แล้ว จะทำการค้นคืนรูปภาพบนพื้นฐานของการเปรียบเทียบโดยวัดความคล้ายคลึง (Similarity measurement) ของตัวแทนหลายคุณลักษณะของภาพ ซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะที่สกัดจากรูปภาพในขั้นตอนที่ 1 และรูปภาพคำถาม (Query) โดยการวัดความคล้ายคลึงด้วยวิธี Euclidean Distance ซึ่งสามารถคำนวณระยะห่างได้จากสมการที่ 1

$$Dis(Q_{(x,y)}, F_{(i,j)}) = \left[\sum_{i=0}^n |Q_x - F_i|^2 + |Q_y - F_j|^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

โดยที่ x และ y เป็นเวกเตอร์ของคุณลักษณะ (feature vector) และ n เป็นมิติของเวกเตอร์

หลังจากเปรียบเทียบความคล้ายคลึงแล้วจะนำรูปภาพผลลัพธ์มาจัดเรียงลำดับของความคล้ายคลึงจากมากไปหาน้อยต่อไป

3. ขั้นตอนการป้อนความเกี่ยวพันย้อนกลับ (Relevance Feedback) เป็นขั้นตอนที่ช่วยให้ผู้ใช้ระบบปรับปรุงข้อความเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องมากขึ้น โดยจะนำเอารูปภาพผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องมาทำการวิเคราะห์ โดยเลือกรูปภาพที่เป็นผลลัพธ์ใน 5 ลำดับแรกเท่านั้น เพื่อนำมาวิเคราะห์และปรับปรุงและนำไปสอบถามกับระบบอีกครั้ง โดยสันนิษฐานว่ารูปภาพผลลัพธ์ที่ได้จะตรงตามความต้องการของผู้ใช้เพิ่มมากขึ้น และรูปภาพที่ไม่ตรงตามความต้องการน้อยลง ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูทเพื่อเพิ่มโอกาสในการหาคำตอบที่ดีกว่าการใช้วิธีการวิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรมแบบเดิม โดยมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.1 การสร้างประชากรของคำตอบเริ่มต้น (Initialization) เป็นกระบวนการของการกำหนดประชากรของเวกเตอร์พารามิเตอร์ในครั้งแรกสุด ซึ่งจะถูกเลือกมาโดยผู้ใช้ระบบ ซึ่งพิจารณาจากรูปภาพผลลัพธ์ของการค้นคืนในรอบแรก แสดงดังภาพที่ 2

3.2 การประเมินค่าฟิตเนสฟังก์ชันหรือค่าสมการเป้าหมายของเวกเตอร์เป้าหมาย โครโมโซมของประชากรทั้งหมดจะถูกประเมินค่าฟิตเนสฟังก์ชัน (Fitness value) หรือค่าสมการเป้าหมายของโอกาสในการอยู่รอดของแต่ละประชากร ซึ่งปกติแล้วจะใช้สมการเป้าหมายเป็นตัววัดค่าความน่าจะเป็นในการอยู่รอดของประชากรซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 แสดงดังตารางที่ 2

$$fitness(i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{i=1}^n f(x_i)} \quad (2)$$

ตารางที่ 2 ตัวอย่างโครโมโซมของรูปภาพผลลัพธ์ที่ถูกเลือก และคำนวณค่าฟิตเนสฟังก์ชันแล้ว

Vector No.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Fitness
1	0.24	0.31	0.45	0.71	0.50	0.13	0.37	0.41	0.60	0.25	0.22
2	0.82	0.20	0.10	0.77	0.54	0.55	0.61	0.40	0.37	0.42	0.26
3	0.10	0.25	0.15	0.34	0.47	0.20	0.89	0.24	0.51	0.45	0.20
4	0.75	0.77	0.50	0.61	0.63	0.72	0.48	0.34	0.56	0.12	0.32

3.3 การคัดเลือก (Selection) เป็นกระบวนการในการคัดสรรคำตอบ ซึ่งถ้าโครโมโซมใดมีความเหมาะสมในการอยู่รอดสูง ก็จะถูกเลือกให้เป็นกลุ่มประชากรที่มีโอกาสอยู่รอดในรุ่นถัดไป ในทางตรงกันข้าม โครโมโซมนั้นก็ไม่สามารถอยู่รอดจนกลายเป็นประชากรในรุ่นถัดไปได้ โดยงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกวิธีการคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette wheel selection) มาเป็นเครื่องมือในการคัดเลือก โดยมีขั้นตอน ดังนี้

3.3.1 นำค่าฟิตเนสฟังก์ชันมาทำการสะสมความถี่ จะได้ผลลัพธ์ ดังนี้

$$q_1 = 0.22 \quad q_2 = 0.48$$

$$q_3 = 0.68 \quad q_4 = 1.00$$

3.3.2 หมุนวงล้อเสี่ยงทายจำนวน 4 ครั้ง โดยใช้หลักของการสุ่มค่าระหว่าง $[0,1]$ จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$1 = 0.3278 \quad 2 = 0.7582$$

$$3 = 0.5321 \quad 4 = 0.8832$$

3.3.3 คัดเลือกโครโมโซมหลังจากหมุนวงล้อเสี่ยงทาย ดังนี้

$$C1_{new} = q_1(0.22) < 0.3278 < q_2(0.48)$$

$$= q_2(0.48)$$

$$C2_{new} = q_3(0.68) < 0.7582 < q_4(1.00)$$

$$= q_4(1.00)$$

$$C3_{new} = q_2(0.48) < 0.5321 < q_3(0.68)$$

$$= q_3(0.68)$$

$$C4_{new} = q_3(0.68) < 0.8832 < q_4(1.00)$$

$$= q_4(1.00)$$

เมื่อดำเนินการคัดเลือกเสร็จสิ้นจะได้ ประชากรรุ่นถัดไป แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 โครโมโซมของรูปภาพที่ถูกเลือก

Co.No.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Fitness
1new	0.82	0.20	0.10	0.77	0.54	0.55	0.61	0.40	0.37	0.42	0.26
2new	0.75	0.77	0.50	0.61	0.63	0.72	0.48	0.34	0.56	0.12	0.32
3new	0.10	0.25	0.15	0.34	0.47	0.20	0.89	0.24	0.51	0.45	0.20
4new	0.75	0.77	0.50	0.61	0.63	0.72	0.48	0.34	0.56	0.12	0.32

3.3.4 การสลับสายพันธุ์ (Crossover) การสลับสายพันธุ์จะนำสมาชิกของประชากรที่ผ่านการคัดเลือกมาเป็นคู่ๆ และกำหนดให้เป็นสมาชิกรุ่นพ่อแม่ (Parent Individual) จากนั้นทำการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างสมาชิกรุ่นพ่อแม่ทำให้เกิดเป็นรุ่นลูก (Offspring Individuals) สองตัว สมาชิกแต่ละตัวจะถูกนำไปเป็นสมาชิกของประชากรรุ่นถัดไป การสุ่มเลือกสมาชิกรุ่นพ่อแม่มาทำการสลับสายพันธุ์จะถูกกำหนดโดยความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (Crossover Probability) ซึ่ง Yang, X. S (2008) [17] เสนอว่าควรกำหนดให้อยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 1.0 เพราะความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์นี้มีผลต่อค่าคำตอบ เช่น กำหนดค่าความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ที่ 0.8 หากค่าสุ่มได้ 0.7 จะมีการสลับสายพันธุ์ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าสุ่มมีค่ามากกว่า 0.8 การสลับสายพันธุ์จะไม่เกิดขึ้น โดยงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยกำหนดขั้นตอนสำหรับการสลับสายพันธุ์ไว้ดังนี้

3.3.4.1 กำหนดความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ $P_c = 0.8$

3.3.4.2 สุ่มเลือกโครโมโซมที่จะสลับสายพันธุ์ C2new , C3new แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 โครโมโซมที่จะสลับสายพันธุ์

Co.No.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Fitness
2new	0.75	0.77	0.50	0.61	0.63	0.72	0.48	0.34	0.56	0.12	0.32

Co.No.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Fitness
3new	0.10	0.25	0.15	0.34	0.47	0.20	0.89	0.24	0.51	0.45	0.20

3.3.4.3 สุ่มค่าในการสลับสายพันธุ์ให้กับทุกยีนในโครโมโซม [0,1] แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 กำหนดตำแหน่งในการสุ่มค่าเพื่อทำการสลับสายพันธุ์

ค่าสุ่ม	0.50	0.75	0.88	0.86	0.20	0.40	0.90	0.55	0.65	0.98	
Co.No.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Fitness
2new	0.75	0.77	0.50	0.61	0.63	0.72	0.48	0.34	0.56	0.12	0.32
	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	
Co.No.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Fitness
3new	0.10	0.25	0.15	0.34	0.47	0.20	0.89	0.24	0.51	0.45	0.20

3.3.4.4 การสลับสายพันธุ์ (Crossover) เมื่อได้ตำแหน่งตามขั้นตอนก่อนหน้านี้จะดำเนินการสลับสายพันธุ์แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การสลับสายพันธุ์

Co.No.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Fitness
2new _{off}	0.10	0.25	0.50	0.61	0.47	0.20	0.48	0.24	0.51	0.12	0.19
Co.No.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Fitness
3new _{off}	0.75	0.77	0.15	0.34	0.63	0.72	0.89	0.34	0.56	0.45	0.31

3.3.5 การกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการสลับสายพันธุ์ จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงค่าบางส่วนของสมาชิกของกลุ่มประชากร เพื่อให้สมาชิกของกลุ่มประชากรมีความหลากหลายมากขึ้น เป็นการแลกเปลี่ยนยีนภายในสมาชิกหรือโครโมโซมแต่ละตัวเท่านั้นจะไม่เกิดขึ้นกับสมาชิกทั้งหมดโดยขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็น (Mutation Probability) ซึ่ง Pongcharoen, P., et al (2002) [18] เสนอว่าควรจะกำหนดให้อยู่ระหว่าง 0.02 ถึง 0.18 เพราะความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์นี้มีผลต่อค่าคำตอบ เช่น 0.01 ดังนั้น ค่าสุ่มที่ได้จะต้องน้อยกว่า 0.01 จึงจะเกิดการกลายพันธุ์ ซึ่งงานวิจัยนี้จะมีขั้นตอน ดังนี้

3.3.5.1 กำหนดความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ $P_m = 0.2$

3.3.5.2 สุ่มเลือกโครโมโซมที่จะกลายพันธุ์ $C_{1_{new}}$ แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 โครโมโซมที่ถูกเลือก

Co.No.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Fitness
1new	0.82	0.20	0.10	0.77	0.54	0.55	0.61	0.40	0.37	0.42	0.26

3.3.5.3 หาค่า Min, Max ของยีนภายในโครโมโซมที่ถูกเลือก [0.10, 0.82]

3.3.5.4 สุ่มค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ให้กับยีนทุกตัวในโครโมโซม แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตำแหน่งของยีนภายในโครโมโซมที่ถูกเลือก

ค่าสุ่ม	0.50	0.15	0.88	0.86	0.10	0.40	0.90	0.55	0.65	0.98	
Co.No.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Fitness
1new	0.82	0.20	0.10	0.77	0.54	0.55	0.61	0.40	0.37	0.42	0.26

3.3.5.5 สุ่มค่าการกลายพันธุ์ให้ยีนที่จะกลายพันธุ์ระหว่าง $[0.10, 0.82]$ ได้ $x_2 = 0.55$, $x_5 = 0.28$ แสดงตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 โครโมโซมหลังการกลายพันธุ์

Co.No.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Fitness
1new _{off}	0.82	0.55	0.10	0.77	0.28	0.55	0.61	0.40	0.37	0.42	0.27

3.3.6 การจัดเก็บโครโมโซมของสมาชิกในกลุ่ม หลังจากทำการสลับสายพันธุ์ และกลายพันธุ์แล้วผู้วิจัยนำเอาค่าฟิตเนสฟังก์ชัน มาผ่านฟังก์ชัน $\text{Min}()$ แล้วคัดเลือกตัวที่มีค่าฟิตเนสฟังก์ชันที่น้อยสุดมาจัดเก็บเป็นโครโมโซมลูก แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การจัดเก็บโครโมโซมลูก

Co.No.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	Fitness
1new _{off}	0.82	0.55	0.10	0.77	0.28	0.55	0.61	0.40	0.37	0.42	0.27
2new _{off}	0.10	0.25	0.50	0.61	0.47	0.20	0.48	0.24	0.51	0.12	0.19
3new _{off}	0.75	0.77	0.15	0.34	0.63	0.72	0.89	0.34	0.56	0.45	0.31
4new	0.75	0.77	0.50	0.61	0.63	0.72	0.48	0.34	0.56	0.12	0.32

3.3.7 การสุ่มตำแหน่งเพื่อสลับที่เป็นกระบวนการของเนเบอร์ฮูดเสิร์ช (Neighborhood Search: NS) โดยจะนำโครโมโซมที่ผ่านขั้นตอนที่ 3.3.6 มาทำการสุ่มตำแหน่งที่ต้องการสลับที่ ยกตัวอย่างเช่นการนำโครโมโซมที่ 2new_{off} มาสุ่มหาตำแหน่ง เพื่อทำการสลับที่ตำแหน่งที่สุ่มได้คือ ยีน x_5 และทำการสลับตำแหน่งไปทางซ้าย จะได้โครโมโซม 2new_{NSL} และขยับไปทางขวาจะได้โครโมโซม 2new_{NSR} แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สลับตำแหน่งของยีน x_5

Co.No.	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
2new _{off}	0.10	0.25	0.50	0.61	0.47	0.20	0.48	0.24	0.51	0.12
2new _{NSR}	0.10	0.25	0.50	0.47	0.61	0.20	0.48	0.24	0.51	0.12
2new _{NSL}	0.10	0.25	0.50	0.61	0.20	0.47	0.48	0.24	0.51	0.12

3.3.8 หลังจากดำเนินการในขั้นตอนที่ 3.3.7 ผู้วิจัยจะทำการคำนวณหาค่าฟิตเนสฟังก์ชัน และนำเข้าฟังก์ชัน Min () เพื่อนำตัวที่ผ่านการคัดเลือกป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อดำเนินการค้นคืนรูปภาพอีกครั้ง

4. ขั้นตอนการทดสอบประเมินผล (Testing and Evolution) เป็นขั้นตอนของการทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้น แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาประเมินประสิทธิภาพของระบบด้วยค่าเรียกคืน (Recall) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$\text{recall} = \frac{N_c}{N_c + N_m} \times 100\% \quad (3)$$

โดยที่ N_c คือ จำนวนของรูปภาพที่เกี่ยวข้องแล้วถูกค้นคืน
 N_m คือ จำนวนของรูปภาพที่เกี่ยวข้องแต่ไม่ถูกค้นคืน
 และ ค่าความแม่นยำ (Precision) คำนวณได้จากสมการที่ 4

$$\text{precision} = \frac{N_c}{N_c + N_f} \times 100\% \quad (4)$$

โดยที่ N_c คือ จำนวนของรูปภาพที่เกี่ยวข้องแล้วถูกค้นคืน
 N_f คือ จำนวนของรูปภาพที่ไม่เกี่ยวข้องแต่ถูกค้นคืน
 และค่า F-measure คำนวณได้จากสมการที่ 5

$$\text{F-Measure} = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{(\text{Precision} + \text{Recall})} \quad (5)$$

4. ผลการวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินการข้างต้น ระบบจะแสดงผลลัพธ์การค้นคืนให้ผู้ใช้งานพิจารณาความถูกต้องว่ารูปภาพผลลัพธ์เป็นไปตามความต้องการหรือไม่ ถ้ายังไม่เป็นไปตามความต้องการระบบจะอนุญาตให้ผู้ใช้งานสามารถคัดเลือกรูปภาพผลลัพธ์ที่ตรงตามความต้องการจากผลลัพธ์ที่แสดง เพื่อนำมาเข้าสู่กระบวนการป้อนความเกี่ยวพันย้อนกลับ (Feedback) ซึ่งรูปภาพเหล่านั้นจะถูกนำมาผ่านกระบวนการสร้างข้อความใหม่ (Query Reformulation) ด้วยขั้นตอนเชิงพันธุกรรม ร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูเสิร์ท ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 รอบ คือ รอบแรกก่อนป้อนความเกี่ยวพันย้อนกลับ และรอบที่สองหลังจากผ่านกระบวนการป้อนความเกี่ยวพันย้อนกลับที่มีการวิวัฒนาการทั้งหมด 5 รอบ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบก่อนและหลังป้อนความเกี่ยวพันย้อนกลับ

กลุ่มที่	ชื่อกลุ่ม	ก่อนป้อนความเกี่ยวพันย้อนกลับ			หลังป้อนความเกี่ยวพันย้อนกลับ		
		Recall	Precision	F-Measure	Recall	Precision	F-Measure
1	ดอกกุหลาบ	0.64	0.76	0.70	0.81	0.82	0.81
2	ม้า	0.74	0.76	0.75	0.81	0.83	0.82
3	รถบัส	0.94	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00
4	ทิวทัศน์	0.90	0.90	0.90	1.00	1.00	1.00
5	ไดโนเสาร์	0.52	0.58	0.55	0.70	0.83	0.76
ค่าเฉลี่ย		0.74	0.79	0.76	0.86	0.89	0.87

จากตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพในการค้นคืนรูปภาพด้วยการปรับปรุงข้อความด้วยความเกี่ยวพันย้อนกลับโดยใช้ขั้นตอนเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูทส์ที่มีค่าเฉลี่ยในทุกด้าน (Recall, Precision, F-Measure) ในทิศทางที่ดีขึ้นในทุกหมวดรูปภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการค้นคืนรูปภาพที่ไม่มีการปรับปรุงข้อความ โดยเฉพาะในหมวดหมู่ที่ 3 รูปถ่าย และหมวดหมู่ที่ 4 รูปทิวทัศน์ ที่ได้ค่าประสิทธิภาพในภาพรวมถึง 1.00

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอกระบวนการปรับปรุงข้อความด้วยความเกี่ยวพันย้อนกลับโดยใช้ขั้นตอนเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูทส์สำหรับการค้นคืนรูปภาพจากเนื้อหาของรูปภาพ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์และประสิทธิภาพในการค้นคืนรูปภาพของระบบที่สูงขึ้น โดยอนุญาตให้ผู้ใช้งานได้ทำการคัดเลือกรูปภาพผลลัพธ์คำตอบที่ตรงตามความต้องการของผู้ใช้จากการค้นคืนในรอบแรก เพื่อนำตัวแทนของผลลัพธ์ที่เลือกมาสร้างข้อความใหม่ (New Query) ที่เหมาะสมที่สุดด้วยขั้นตอนเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูทส์จนได้ข้อความใหม่ที่เหมาะสมแล้วทำการป้อนกลับเข้าระบบเพื่อค้นคืนอีกครั้ง จากการทดลองพบว่า วิธีการที่ผู้วิจัยนำเสนอให้ค่าเฉลี่ยของความแม่นยำ 0.86 ค่าเรียกคืน 0.89 และค่า F-Measure 0.87 สูงกว่าในรอบแรกที่ไม่มีการป้อนความเกี่ยวพันย้อนกลับอยู่ที่ 0.11 (วัดเฉพาะค่าเฉลี่ย F-Measure) ดังตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการปรับปรุงข้อความด้วยความเกี่ยวพันย้อนกลับ โดยใช้ขั้นตอนเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูทส์มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการค้นคืนให้สูงขึ้นได้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Takagi, S.-B. Cho, and T. Noda, "Evaluation of an IGA-based image retrieval system using wavelet coefficients," in Proc. IEEE Int. Fuzzy Syst. Conf., 1999, vol. 3, pp. 1780.
- [2] H. Takagi, "Interactive evolutionary computation: Fusion of the capacities of EC optimization and human evaluation," Proc. IEEE, vol. 89, no. 9, pp. 1275–1296, Sep. 2001.
- [3] M. Arevalillo-Herráez, F. H. Ferri, and S. Moreno-Picot, "Distance-based relevance feedback using a hybrid interactive genetic algorithm for image retrieval," Appl. Soft Comput., vol. 11, no. 2, pp. 1782–1791, Mar. 2011, DOI: 10.1016/j.asoc.2010.05.022.
- [4] Liang B., et al. (2012). "Design of Video Retrieval System Using MPEG-7 Descriptors." In Proceedings Engineering, (2578–2582).
- [5] Huayoung L., et al. (2004). "Content-Based TV Sports Video Retrieval Based on Audio-Visual Features and Text information." In Web Intelligence, 2004, (481–484).
- [6] Marchal J., et al. (2006). "Soccer Video Retrieval using adaptive Time-frequency Method." In Proceedings of 2006 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Toulouse : The Institute of Electrical and Electronics Engineers Signal Processing Society, (509–512).
- [7] Wang R., et al. (2001). "Video retrieval and relevance feedback in the context of a post-integration model." In Proceedings of 4th Workshop on Multimedia Signal Processing. Cannes : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, (3 -38).
- [8] Haas M., et al. (2005). "Relevance feedback methods in content based retrieval and video summarization." In Multimedia and Expo, 2005, Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2005. NJ : The Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [9] Munesawang, P., et al. (2005). "Adaptive video indexing and automatic/semi-automatic relevance feedback." IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. 15 : 1032-1046.

- [10] Mironica, I., Ionescu, B. and Vertan, C. (2012). "Hierarchical clustering relevance feedback for content-based image retrieval." In Content-Based Multimedia Indexing (CBMI), Proceedings of 2012 10th International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing. Polytech Annecy, Chambéry Annecy : The Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [11] Hopfgartner, F., et al. (2007). "Evaluating the implicit feedback models for adaptive video retrieval." In Multimedia Information Retrieval, Proceedings of the international workshop on Workshop on Multimedia Information Retrieval. Bavaria : Association for Computing Machinery, (323-331)
- [12] Moshfeghi, Y. and Jose, J. M. (2013). "An effective implicit relevance feedback technique using affective, physiological and behavioural features." In Proceedings of 36th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. Dublin : Association for Computing Machinery, (133-142).
- [13] Zhang, H., Kankanalli, A. and Smoliar, S. W. (1993). "Automatic Partitioning of Full Motion Video." Multimedia Systems. 1 : 10-28.
- [14] Shahraray B. (1995). "Scene change detection and content-based sampling of video sequences." In Proceedings of Digital Video Compression: Algorithms and Technologies 1995. San Jose : The International Society for Optical Engineering, (2-13).
- [15] Hampapur A., et al. (1996). "The Virage image search engine: An open framework for image management." in Proceedings of Storage and Retrieval for Still Image and Video Databases IV. San Jose : The International Society for Optical Engineering.
- [16] Kasturi, R. and Jain R. (1991). "Dynamic Vision." Computer Vision : Principles. Washington : IEEE Computer Society Press.
- [17] Yang, X. S. (2008). Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms. United Kingdom : Luniver Press.
- [18] Pongcharoen, P., et al. (2002). "Determining optimum genetic algorithm parameters for scheduling the manufacturing and assembly of complex products." International

เทคโนโลยีการสะสมพลังงานจากพลังงานหมุนเวียน

ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES FOR RENEWABLE ENERGY

ฐกฤต ปานขลิบ

Thakrit Panklib

สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Department of Energy and Environmental Management, Faculty of Engineering and Technology,

Siam Technology College

Received: 4 February 2022

Revised: 11 May 2022

Accepted: 25 April 2022

Corresponding author, E-mail: thakrit@siamtechno.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบจัดเก็บพลังงานหรือเทคโนโลยีการสะสมพลังงานได้รับความสนใจเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาซึ่งมีการรณรงค์ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนหรือพลังงานสะอาดกันเพิ่มขึ้น วันนี้ปริมาณการใช้พลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามลำดับ โดยแหล่งพลังงานหมุนเวียนส่วนใหญ่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ จึงมีการผันแปรและเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา องค์ความรู้ในด้านการจัดเก็บพลังงานที่ได้มาอย่างไม่คงที่และต่อเนื่องจึงกลายเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้เกิดความสมดุลในการนำไปใช้ประโยชน์และช่วยให้สามารถบริหารจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากการใช้เทคโนโลยีการสะสมพลังงานช่วยเพิ่มเสถียรภาพและช่วยลดปัญหาความไม่คงที่ของพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียนแล้ว เทคโนโลยีดังกล่าวยังช่วยลดความหนาแน่นในระบบส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าในช่วงที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูง รวมถึงสามารถช่วยลดระยะเวลาและต้นทุนในการก่อสร้างระบบสายส่งได้เป็นอย่างดี แม้ว่าในปัจจุบันเทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบจัดเก็บพลังงานจะถูกพัฒนาและมีความก้าวหน้าไปจากเดิมมาก แต่ในบางเทคโนโลยีก็ยังคงอยู่ในช่วงของการวิจัยและพัฒนาและยังไม่คุ้มค่าในการลงทุน ในอนาคตหากเทคโนโลยีต่างๆ ถูกพัฒนาและนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย จะช่วยให้ภาพรวมของระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีต้นทุนที่ต่ำลง โดยในบทความทางวิชาการนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีการสะสมพลังงานประเภทต่างๆ ประโยชน์ของจากเทคโนโลยีการสะสมพลังงาน ความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นของเทคโนโลยีการสะสมพลังงานในปัจจุบัน

คำสำคัญ: ระบบจัดเก็บพลังงาน เทคโนโลยีการสะสมพลังงาน พลังงานหมุนเวียน

Abstract

Energy storage systems and technologies are getting more attention. Especially in recent years, there has been an increasing campaign to promote the use of renewable or clean energy. Today, the amount of renewable energy consumption continues to increase sequentially. Most renewable energy sources occur naturally. Therefore, there are variations and changes all the time. Knowledge in the field of steadily acquired energy storage has become essential. To achieve a balance of utilization and allow effective management in addition to the use of energy storage technology to improve stability and reduce the problem of energy instability from renewable energy sources. The technology also reduces congestion in power distribution systems during times of high-power demand. It can

also reduce the time and cost of construction of transmission lines. Although today the technology of energy storage systems has been developed and advanced much from the original. But some technologies are still in the research and development stage and not worth the investment. In the future, if such technology is developed and widely used, it will provide a more stable overview of the system and lower operating costs. In this academic article, we will discuss different types of energy storage technologies. Implementation and benefits the growing demand and today's technology.

Keywords: Energy storage, storage systems, renewable energy, clean energy

1. บทนำ

เทคโนโลยีการสะสมพลังงาน (Energy Storage) นับเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งทั้งในปัจจุบันและอนาคต โดยเฉพาะในระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) บางประเภท เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม หรือ พลังงานน้ำขนาดเล็ก เนื่องจากแหล่งพลังงานดังกล่าวมีความไม่แน่นอน อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับอีกหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น สภาพภูมิอากาศหรือสภาวะแวดล้อม และเหตุการณ์ที่แตกต่าง ทำให้แหล่งพลังงานอาจเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง มิได้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เหมือนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil) ซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานเพื่อผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน จึงยากต่อการควบคุม เช่น ในขณะที่สามารถผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนได้ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากผู้ใช้งาน (Electric demand) อาจมีอยู่น้อย ขณะที่ในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้เพิ่มมากขึ้น แต่ว่าแหล่งพลังงานหมุนเวียนกลับไม่มี หรือเกิดขึ้นไม่เพียงพอสำหรับการสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วงนั้นๆ ตัวอย่างเช่น โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ในช่วงเย็นหรือค่ำ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเก็บเอาพลังงานที่ผลิตได้ในช่วงกลางวันเก็บไว้ในระบบสะสมพลังงานเพื่อนำออกมาใช้ในช่วงทางคืนที่ไม่มีแสงอาทิตย์และไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้

2. เทคโนโลยีการสะสมพลังงาน

เทคโนโลยีสะสมพลังงาน (Energy Storage Technology) เป็นระบบใช้เก็บสะสมพลังงานที่ได้จากการผลิตพลังงานหรือเก็บสะสมพลังงานส่วนเกินจากที่ผลิตแล้วนำมาใช้ในยามจำเป็น ทั้งนี้เพื่อรักษาสมดุลของการผลิตกับความต้องการการใช้พลังงาน (Energy consumption) ที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง รูปแบบของเทคโนโลยีในการเก็บสะสมพลังงานนั้นมีอยู่หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับแหล่งพลังงานและการนำไป ประยุกต์ใช้ แต่เมื่อจำแนกตามลักษณะของพลังงานสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน (Electricity and Thermal) สำหรับแหล่งพลังงานทั้งสองอาจมาจากแหล่งพลังงานฟอสซิล (Fossil energy) หรือจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ก็ได้ โดยระบบเก็บสะสมพลังงานจะช่วยให้การเสริมสร้างเสถียรภาพให้กับระบบการผลิตพลังงาน ณ ช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งมีความต้องการใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยเทคโนโลยีในการเก็บสะสมพลังงาน มีแนวโน้มในการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและนับเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในอนาคต

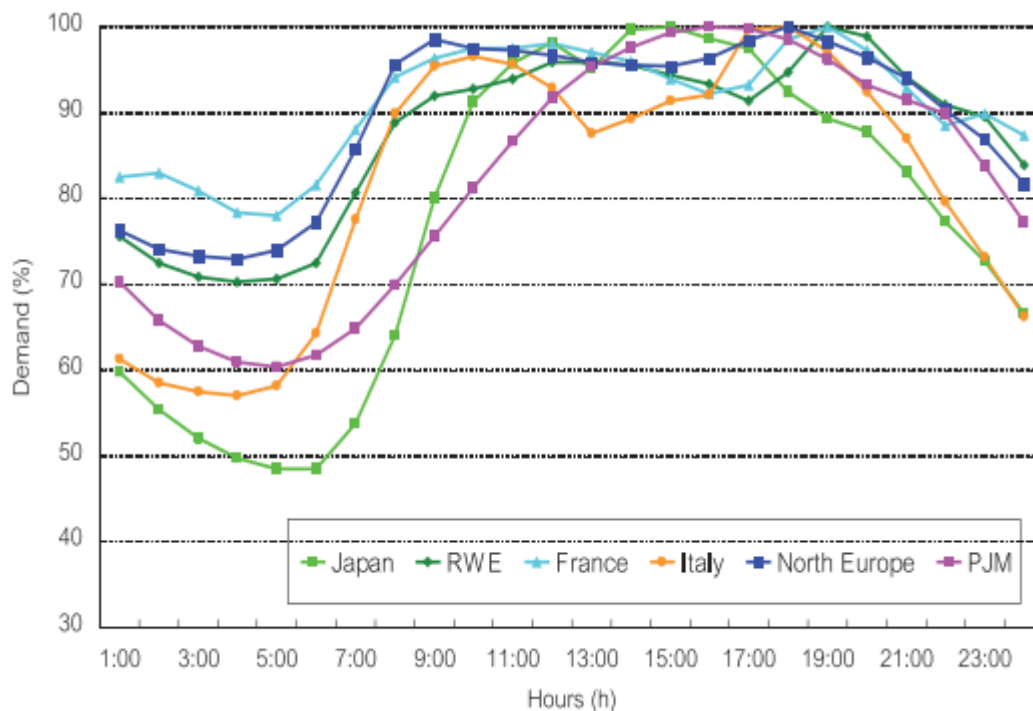
3. การใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีการสะสมพลังงาน

ปัจจัยสำคัญของการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อส่งไปยังผู้ใช้นั้นก็คือ พลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะต้องเพียงพอต่อการใช้งานของผู้ใช้ในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งหมายความว่าถ้าผู้ใช้ต้องการใช้กำลังไฟฟ้ามากแค่ไหน ก็ต้องผลิตไฟฟ้าให้พอดีกับความต้องการของผู้ใช้ในช่วงเวลานั้นๆ แต่ในความเป็นจริงมิได้เป็นเช่นนั้น พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไม่ได้คงที่ตลอดเวลา ซึ่งมาจากหลายสาเหตุ เช่น ช่วงเวลาทำงานหรือเดินเครื่องจักรไม่ได้อยู่ในช่วงเวลาเดียวกันทั้งหมด เครื่องจักรบางประเภทใช้กำลังไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ คือ มีช่วง Load และ Unload ฯลฯ จึงก่อให้เกิดความไม่สมดุลขึ้นระหว่างการผลิต

และความต้องการ และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและคุณภาพของไฟฟ้าที่ผลิตได้ เทคโนโลยีการสะสมพลังงานประเภทต่าง ๆ และอีกปัจจัยที่สำคัญก็คือ โดยทั่วไปแหล่งผลิตหรือโรงไฟฟ้ามักอยู่ห่างไกลจากผู้บริโภคหรือชุมชน ดังนั้นการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าจะกระทำโดยอาศัยระบบสายส่ง ซึ่งหากบางช่วงเวลาความต้องการของผู้ใช้สูง กระแสไฟฟ้าก็จะไหลผ่านสายส่งมากขึ้นเช่นกัน และหากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมากจนเกินขนาดของระบบสายส่งที่ออกแบบไว้ก็อาจจะสร้างความเสียหายให้กับระบบสายส่งได้ ทำให้ไม่สามารถส่งไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปถึงยังมือผู้ใช้ได้ ซึ่งปัจจัยสำคัญดังกล่าวเป็นอุปสรรคที่สำคัญในการบริหารจัดการระบบผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน และส่งผลให้เทคโนโลยีการสะสมพลังงานเริ่มเข้ามามีบทบาทในการแก้ไขและลดปัญหาที่เกิดขึ้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) บางประเภท เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม หรือ พลังงานน้ำขนาดเล็ก เนื่องจากพลังงานดังกล่าวมีความไม่แน่นอน อีกทั้งยังมีหลายปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น สภาพภูมิอากาศ ฤดูกาลที่แตกต่างกัน รวมถึงเป็นแหล่งพลังงานที่อาจเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่ง มิได้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เหมือนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานฟอสซิล (Fossil) ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานดังกล่าวจึงยากต่อการควบคุม เนื่องจากในขณะที่สามารถผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนได้ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากผู้บริโภค (Electric demand) อาจมีอยู่น้อย ขณะที่ในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น แต่ว่าแหล่งพลังงานหมุนเวียนกลับไม่มีหรือเกิดขึ้นไม่เพียงพอต่อการสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น โรงไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการใช้ประโยชน์ของจากเทคโนโลยีการสะสมพลังงานต่างๆ มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.1 การบริหารจัดการในการผลิตไฟฟ้าในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลามีความแตกต่างกัน โดยในช่วงที่มีความต้องการสูงสุด (On-peak) จะมีผู้ใช้ไฟฟ้าสูงกว่าในช่วงที่มีความต้องการต่ำ (Off-peak) ทำให้ราคาค่าไฟฟ้าในช่วงความต้องการสูงจะแพงกว่าในช่วงที่มีความต้องการต่ำ เทคโนโลยีการสะสมพลังงานอาจจะถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อสะสมพลังงานในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่ำซึ่งค่าไฟฟ้าถูก และป้อนกลับสู่ระบบเพื่อใช้งานในช่วงที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูง ทำให้เกิดผลกำไรจากส่วนต่างในกรณีเป็นผู้จำหน่ายและใช้พลังงานไฟฟ้าได้ในราคาที่ต่ำกว่าปกติในกรณีเป็นผู้บริโภค โดยเฉพาะในกรณีของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนประเภท โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ซึ่งมีกำลังการผลิตของระบบที่ออกแบบไว้ส่วนใหญ่จะคงที่ในขณะที่แหล่งพลังงานหมุนเวียนประเภทดังกล่าวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ฤดูกาลหรือสภาพภูมิอากาศในแต่ละวัน ทำให้การผลิตและการจ่ายไฟฟ้าไม่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ ช่วงที่ผลิตได้มากอาจมีความต้องการใช้น้อยทำให้ไฟฟ้าที่ผลิตได้มากกว่าที่ผู้ใช้จริง พลังงานไฟฟ้าส่วนเกินดังกล่าวสามารถนำไปสะสมไว้ยังระบบสะสมพลังงานประเภทต่างๆ แล้วนำมาใช้ในภายหลังหรือในช่วงที่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ เช่น ในช่วงเวลากลางคืนของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และช่วงลมสงบของโรงไฟฟ้าพลังงานลม หรืออาจสะสมพลังงานไว้ในช่วงที่ค่าไฟฟ้ามีราคาถูกและนำออกมาใช้หรือจำหน่ายในช่วงที่ค่าไฟฟ้ามีราคาแพงก็สามารถทำได้

3.2 การเพิ่มเสถียรภาพและความยืดหยุ่นในการผลิตและส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการผลิตไฟฟ้าก็คือ จะต้องมีความเสถียรภาพและความยืดหยุ่นในการส่งจ่ายไปยังประชาชนหรือผู้ใช้ไฟฟ้า หากกำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ ก็อาจเกิดความเสียหายขึ้นมากมายกับทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้ ซึ่งประกอบด้วยหลายภาคส่วนตั้งแต่อุตสาหกรรมการผลิต การบริการ อาคารพาณิชย์ รวมทั้งที่พักอาศัย อีกประการที่สำคัญคือต้องส่งจ่ายไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องไม่ว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าจะมากหรือน้อย ดังนั้นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการผลิตกระแสไฟฟ้าจะต้องวางแผนในการบริหารจัดการ รวมถึงจะต้องมีการคาดการณ์หรือพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอนาคตให้ถูกต้องและแม่นยำให้มากที่สุด Thakrit Panklib et al. 2015 [1]



รูปที่ 1 กราฟเปรียบเทียบความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา

ที่มา : IEEJ The Institute of Energy Economics, Japan, 2005

ดังนั้นผู้ผลิตหรือโรงไฟฟ้าจำเป็นต้องเตรียมระบบการทำงานที่นอกเหนือจากความจำเป็นขั้นพื้นฐาน เช่น ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองเพื่อจ่ายไฟฟ้าเพิ่มหรือเสริมเมื่อมีความจำเป็น และระบบติดตามและควบคุมคุณภาพของไฟฟ้าที่ผลิต โดยจะตรวจสอบในทุกขณะช่วงเวลา (Real time) โดยเมื่อเกิดปัญหาไฟฟ้ายืดหรือดับ เนื่องจากความต้องการที่เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว รวมถึงอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองก็จะทำงานทันทีโดยอัตโนมัติโดยใช้ไฟฟ้าเสริมจากแหล่งอื่น เช่น ระบบสะสมพลังงานประเภทต่างๆ โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน หรือพลังงานสำรองประเภทอื่นๆ

3.3 เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าสำหรับชุมชนในพื้นที่ซึ่งห่างไกลจากโรงไฟฟ้าหรือผู้ผลิต บ่อยครั้งที่ผู้ใช้ไฟฟ้าหรือชุมชนมีระยะทางที่ห่างไกลจากโรงไฟฟ้า มักประสบปัญหาความผิดปกติของระบบสายส่งซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ภัยจากธรรมชาติ ไฟฟ้า และพายุ หรือเกิดจากปัญหาทางเทคนิค เช่น การการใช้ไฟฟ้าเกินกว่าที่ออกแบบไว้ (Over load) และอุบัติเหตุจากการควบคุม ทำให้อาจเกิดปัญหาไฟฟ้ายืดหรือการขาดพลังงานไฟฟ้าเป็นวงกว้างในหลายพื้นที่ ระบบสะสมพลังงานจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างยิ่งเมื่อเกิดปัญหากับเครือข่ายสายส่งไฟฟ้าหลัก โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์หรือเซมิคอนดักเตอร์ และอุตสาหกรรมผลิตหลอดแอลอีดี หากคุณภาพของกระแสไฟฟ้าไม่ได้คุณภาพหรือไม่สม่ำเสมอ จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิต อุตสาหกรรมดังกล่าวจึงจำเป็นต้องลงทุนเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าสำรอง (UPS, Uninterruptible Power Supply) ซึ่งก็คือระบบสะสมพลังงานประเภทหนึ่งนั่นเอง

3.4 ข้อจำกัดของระบบสายส่งไฟฟ้าในช่วงที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง โดยในส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับหัวข้อที่ผ่านมา ซึ่งมักเกิดขึ้นในพื้นที่ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าอยู่ห่างไกลจากโรงไฟฟ้า การคาดการณ์ความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้และกระบวนการสร้างความสมดุลระหว่างผู้ใช้และผู้ผลิตเป็นสิ่งสำคัญมาก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหากระแสไฟฟ้าเกินกว่าที่ได้ออกแบบเอาไว้ (Over load) ซึ่งจะสร้างความเสียหายให้กับระบบสายส่ง โดยการแก้หรือลดปัญหาดังกล่าวอาจทำได้โดยติดตั้ง

ระบบสะสมพลังงานไว้ในพื้นที่ที่เหมาะสมในบริเวณที่ใกล้กับชุมชนหรือมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่สูง โดยสร้างระบบสายส่งอีกชุดระหว่างระบบสะสมพลังงานกับพื้นที่เป้าหมาย โดยระบบดังกล่าวจะจ่ายไฟฟ้าในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าเป็นจำนวนมากหรือเกิดความต้องการไฟฟ้าเกิดขึ้นสูงสุด เพื่อลดภาระของระบบสายส่งหลักในช่วงเวลาดังกล่าว และป้องกันการเกิดปัญหากระแสไฟฟ้าเกินกว่าที่ได้ออกแบบเอาไว้ในระบบสายส่งหลัก

4. ความต้องการที่เพิ่มมากขึ้นของเทคโนโลยีการสะสมพลังงาน

ความต้องการใช้เทคโนโลยีในการสะสมพลังงานแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือ สำหรับการใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียน กลุ่มที่สองคือ สำหรับระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) ในอนาคต โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ระบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-grid) และ ระบบอิสระ (Off-grid)

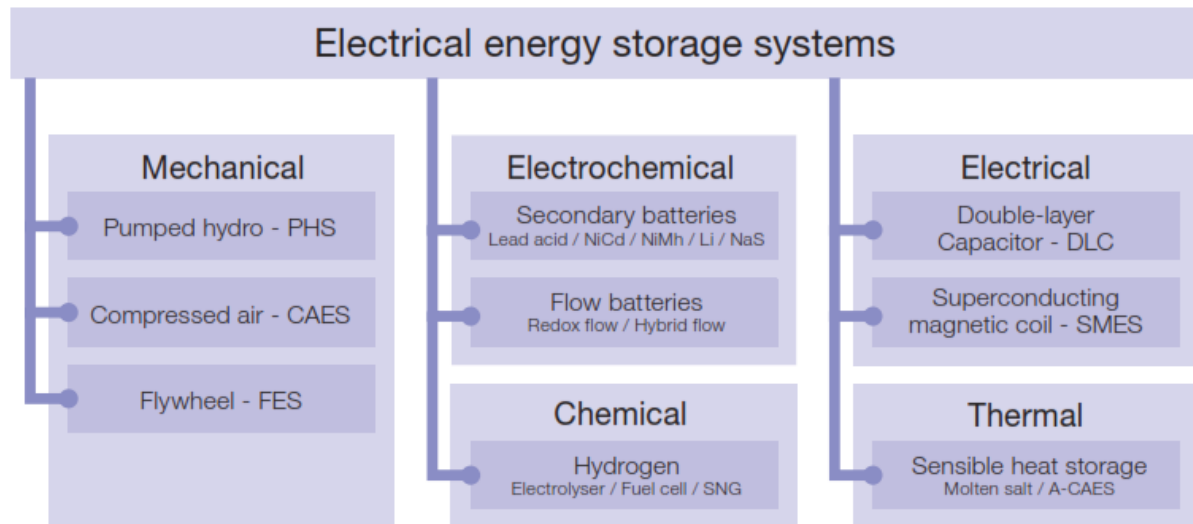
สำหรับในระบบเชื่อมต่อสายส่งซึ่งในระบบการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันได้มีการเพิ่มสัดส่วนของการใช้พลังงานหมุนเวียนขึ้นมากกว่าเดิม โดยกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียนมีความไม่สม่ำเสมอ ขึ้นลงตามสภาพแวดล้อมและภูมิอากาศ จึงส่งผลกระทบต่อความควบคุมและบริหารจัดการระบบผลิตไฟฟ้าหลัก เทคโนโลยีในการสะสมพลังงานในรูปแบบต่างๆ จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการช่วยเสริมและเป็นแหล่งพลังงานสำรองเพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับระบบผลิตไฟฟ้า

ในกรณีระบบอิสระหรือแยกเดี่ยว สิ่งสำคัญคือพลังงานที่จะต้องใช้อย่างสมดุลกับที่ถูกสะสมเอาไว้ หากระบบสะสมพลังงานไม่สามารถกักเก็บพลังงานไว้ได้เพียงพอ อาจจะต้องออกแบบให้ระบบสามารถใช้พลังงานจากแหล่งอื่นเข้ามาทดแทนได้ ส่วนใหญ่จะเป็นระบบไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะสะสมพลังงานไฟฟ้าจากการผลิตบางส่วนไว้แต่เมื่อใดก็ตาม หากไฟฟ้าในระบบสะสมพลังงานถูกใช้จนหมด ระบบผลิตไฟฟ้าทางเลือกก็จะทำงานแทนที่ในทันทีโดยใช้เชื้อเพลิงจากแหล่งอื่น เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าน้ำมันดีเซล เช่นเดียวกันกับระบบจัดการพลังงานในบ้านและอาคาร (Energy Management Systems) ซึ่งส่วนสำคัญก็คือระบบสะสมพลังงานเช่นเดียวกัน โดยระบบจะพยายามใช้พลังงานที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตพลังงานของตนเองก่อน โดยไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานบางส่วนจะถูกเก็บสะสมไว้ยังระบบสะสมพลังงานก่อนที่จะถูกนำมาใช้อย่างเหมาะสมและหากจำเป็นจึงจะนำเข้าจากระบบสายส่งโดยอัตโนมัติ

โดยในกรณีของระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) ระบบสะสมพลังงานจะถูกติดตั้งไว้ในสองส่วน ส่วนแรกจะติดตั้งไว้ยังสถานีไฟฟ้า (Substation) ของลูกค้า ส่วนที่สองติดตั้งไว้ยังผู้ผลิตไฟฟ้าโดยจ่ายรวมไปกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ โดยระบบสะสมพลังงานจะช่วยให้การบริหารจัดการและการส่งจ่ายไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการลดภาระของสายส่งในช่วงที่มีความต้องการของผู้ใช้สูงสุด ซึ่งอาจทำได้โดยการประจุไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำและจ่ายเข้าสู่ระบบในช่วงที่มีความต้องการสูง การช่วยให้คุณภาพของไฟฟ้าที่จ่ายสู่ผู้ใช้มีคุณภาพไม่ว่าจะเป็นแรงดันไฟฟ้าลดลงและความถี่ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้งานตามความต้องการที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงในพื้นที่ การช่วยให้ระบบมีความเสถียรและประสิทธิภาพสูงขึ้นในกรณีที่ระบบสายส่งทำงานเต็มภาระการทำงานที่ได้ออกแบบเอาไว้ในช่วงความต้องการสูงสุด ซึ่งหากมีการติดตั้งระบบสะสมพลังงานที่มีความเหมาะสมก็จะสามารถช่วยกระจายภาระในระบบสายส่งได้เป็นอย่างดี การช่วยให้ระบบสายส่งมีความเสถียรในกรณีที่ของการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังพื้นที่ขนาดเล็กหรือห่างไกล เช่น พื้นที่เกาะซึ่งมีระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื้อเพลิงดีเซลหรือพลังงานหมุนเวียนต่างๆ ซึ่งต้องเหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้ ระบบสะสมพลังงานสามารถช่วยให้ระบบผลิตไฟฟ้ามีความเสถียรมากขึ้น และที่สำคัญระบบสะสมพลังงานยังถูกใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองของระบบควบคุมและระบบป้องกันต่าง ๆ ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินหรืออุบัติเหตุขึ้นกับระบบสายส่งหลัก

5. เทคโนโลยีการสะสมพลังงานในปัจจุบัน

ระบบสะสมพลังงานได้ถูกคิดค้นและออกแบบมาใช้งานหลายประเภทในปัจจุบัน ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบของการสะสมพลังงาน โดยทั่วไปจำแนกตามประเภทต่างๆ ได้หลายรูปแบบ คือ แบบเชิงกล (Mechanical) แบบไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) แบบเคมี (Chemical) แบบไฟฟ้า (Electrical) และ แบบสะสมในรูปพลังงานความร้อน (Thermal energy storage)



รูปที่ 2 แผนภาพการจำแนกเทคโนโลยีการสะสมพลังงานในปัจจุบัน (Fraunhofer, ISE)

5.1 แบบเชิงกล (Mechanical) การสะสมพลังงานแบบเชิงกลเป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจที่สุด โดยมากเป็นการสะสมพลังงานในรูปพลังงานศักย์ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ (Pumped Hydro Storage, PHS) ระบบสะสมพลังงานในรูปอากาศอัด (Compressed Air Energy Storage, CAES) และ ระบบสะสมพลังงานโดยล้อช่วยแรง (Flywheel Energy Storage, FES)

5.1.1 ระบบสะสมไฟฟ้าจากพลังน้ำแบบสูบกลับ (Pumped Hydro Storage, PHS) ปัจจุบันถูกติดตั้งไปแล้วกว่า 120 GW โดยนับเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 3 ของกำลังการผลิตไฟฟ้าทั่วโลก ระบบดังกล่าวจำเป็นต้องใช้แหล่งน้ำสองแหล่งที่มีระดับความสูงต่างกัน เพื่อที่จะสูบน้ำจากแหล่งน้ำที่อยู่ในระดับที่ต่ำไปเก็บในแหล่งน้ำที่อยู่ในระดับที่สูงกว่าในช่วงที่การใช้พลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้นน้อย หรือในช่วง Off-peak หลังจากนั้นเมื่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น หรือในช่วง On-peak น้ำที่ถูกสูบขึ้นไปเก็บเอาไว้ก็จะถูกปล่อยไหลกลับลงมาผ่านกังหันน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าป้อนเข้าสู่ระบบดังรูปที่ 3 T. Fujihara, et al. 1998 [2] ; Civil Engineering. 1985 [3]

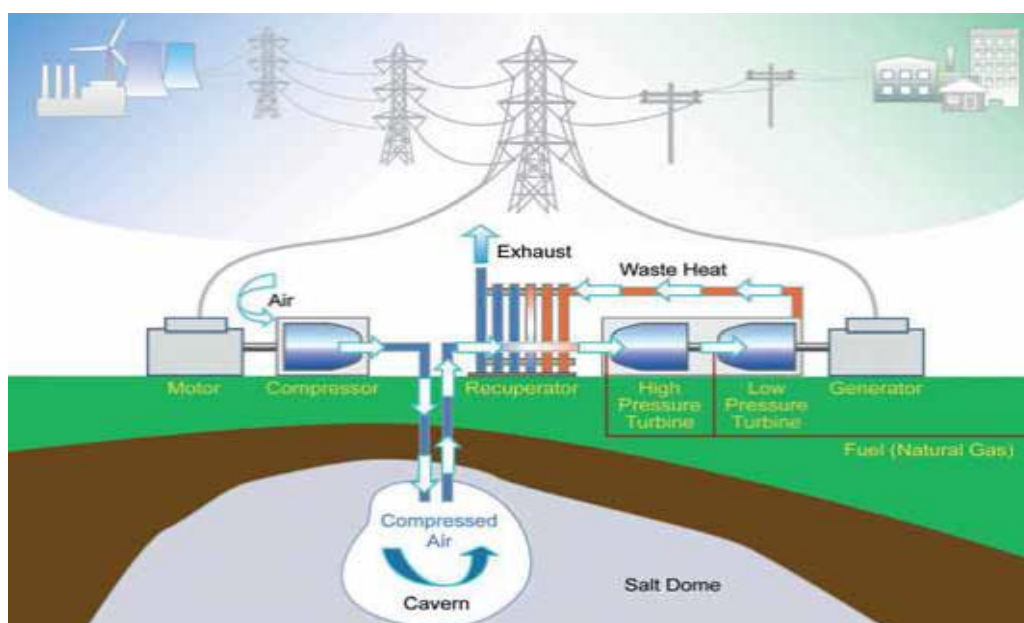
5.1.2 ระบบสะสมพลังงานในรูปอากาศอัด (Compressed Air Energy Storage, CAES) ระบบสะสมพลังงานในรูปอากาศอัดเริ่มเป็นที่รู้จักกันมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 โดยจะถูกเก็บไว้ในรูปของอากาศอัด เริ่มจากการใช้ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศเพื่อส่งอากาศแรงดันสูงไปเก็บไว้ยังโครงสร้างใต้ดินหรือถ้ำใต้ดินหรือถ้ำใต้ดินซึ่งสร้างไว้บนพื้นดิน และเมื่อมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าก็จะนำอากาศที่อัดไว้ออกมาผสมกับก๊าซธรรมชาติ ก่อนที่จะส่งไปเผาไหม้ให้เกิดการขยายตัวเพื่อนำไปขับเคลื่อนกังหันก๊าซและผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป ข้อดีของระบบดังกล่าวก็คือระบบสามารถกักเก็บอากาศอัดได้มาก ส่วนข้อเสียก็คือ การส่งผ่านอากาศอัดมีประสิทธิภาพต่ำและข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่สำหรับการก่อสร้าง

ดังรูปที่ 4



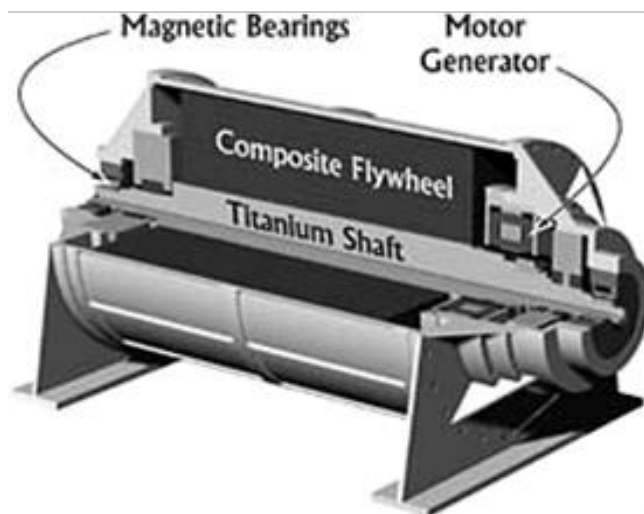
รูปที่ 3 ระบบสะสมไฟฟ้าจากพลังน้ำแบบสูบกลับ (Vattenfall, IEC MSB/EES Workshop, 2011)

5.1.3 ระบบสะสมพลังงานโดยล้อช่วยแรง (Flywheel Energy Storage, FES) ระบบนี้จะสะสมพลังงานของจลน์ โดยผ่านการหมุนของแกนเพลลาซึ่งมีล้อช่วยแรงติดตั้งอยู่ พลังงานที่สะสมไว้ในล้อช่วยแรงจะทำหน้าที่รักษารอบของการหมุนของเพลลาขับของเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ให้มีความคงที่และสม่ำเสมอ โดยอาศัยแรงจากโมเมนต์ความเฉื่อยใน ขณะที่หมุนซึ่งจะแปรผันตามมวลและรัศมีของวงล้อช่วยแรง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามแนวลักษณะของการหมุนแกนเพลลาขับล้อช่วยแรง คือ แนวแกนตั้ง (Vertical-axis) และแนวแกนนอน (Horizontal-axis) โดยทั่วไปจะผลิตจากวัสดุประเภทโลหะที่มีน้ำหนักมาก ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ระบบสะสมพลังงานในรูปอากาศอัด

ที่มา: Ridge Energy Storage & Grid Services L.P: <http://www.ridgeenergystorage.co>

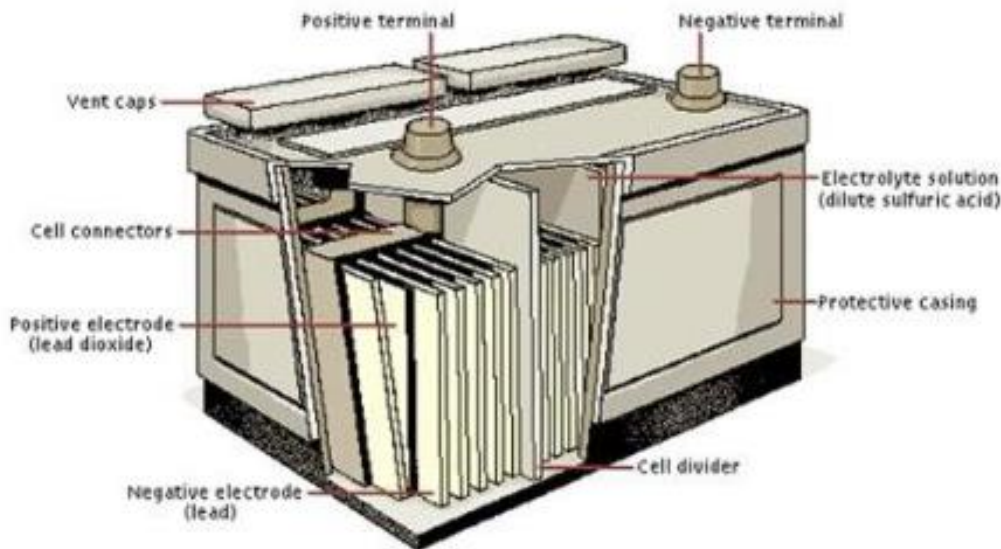


รูปที่ 5 แสดงรูปแบบล้อช่วยแรงแบบ แนวนอน (ซ้าย) และแนวดิ่ง (ขวา)

ที่มา: [http:// www.antonine-education.co.uk](http://www.antonine-education.co.uk)

5.2 ระบบสะสมพลังงานแบบไฟฟ้าเคมี (Electrochemical storage systems) การสะสมพลังงานในรูปแบบนี้ ก็คือการสะสมพลังงานของแบตเตอรี่ (Battery) ประเภทต่าง ๆ ซึ่งทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในรูปเคมีและสามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution) การเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันในเรื่องของ ค่าความจุ (AH) ความหนาแน่นหรือความสามารถในการสะสมพลังงาน (Storage density, kWh/m³) รวมถึงยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น ประสิทธิภาพ เนื่องจากการสูญเสียระหว่างการประจุ การเก็บสะสม และการคายประจุ เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับสะสมพลังงานไฟฟ้า ที่สามารถจ่ายและประจุไฟฟ้าเข้าไปได้ใหม่ (Recharge) ซ้ำกันหลายครั้ง รวมถึงอายุการใช้งาน และต้นทุน แบตเตอรี่ ที่มีการใช้ในเชิงพาณิชย์หลักๆ มีอยู่ด้วยกันสามชนิด คือ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด Lead-acid, แบตเตอรี่ในกลุ่มของนิกเกิล (Nickel-based), และ แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion) [3] ซึ่งแต่ละชนิดมีรายละเอียด ดังนี้

5.2.1 แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-acid battery) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดเป็นอุปกรณ์สะสมพลังงานไฟฟ้าทางเคมีประเภทแรกๆ ที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นและยังมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากมีต้นทุนในการเก็บพลังงานถูกกว่าชนิดอื่นๆ แบตเตอรี่ตะกั่วกรดประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบวางสลับกันจมอยู่ในอิเล็กโทรไลต์ที่ทำจากสารละลายกรดซัลฟริก อิเล็กโทรดขั้วลบจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่ขั้วบวกจะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ โดยในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมา นั้น อะตอมของตะกั่วจากขั้วลบจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในอิเล็กโทรไลต์และทิ้งอิเล็กตรอนให้ไหลออกสู่วงจรที่นำมาต่อภายนอก



รูปที่ 6 โครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว-กรด

ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดก็คือ ราคาถูกกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น สามารถผลิตได้ง่าย ทนทาน และการคายประจุของตัวเอง (Self-discharge) น้อย ส่วนข้อด้อยก็คือ มีน้ำหนักมากเมื่อเทียบกับความจุของพลังงาน และมีตะกั่วและกรดเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม VDE - ETG Energy Storage Task Force. (2008) [4]

5.2.2 แบตเตอรี่ในกลุ่มนิกเกิล (Nickel-based batteries) แบตเตอรี่ในกลุ่มนี้มีหลักๆ อยู่สามชนิดคือ แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (Nickel-cadmium battery: Ni-Cd) แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-เมทัลไฮไดรด์ (Nickel-metal hydride: Ni-MH) และ แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-ซิงค์ (Nickel-zinc: Ni-Zn) แบตเตอรี่ทั้งสามชนิดนั้นมีการใช้นิกเกิลทำเป็นขั้วบวกและใช้สารอิเล็กโทรไลต์ที่ทำจากนิกเกิลไฮดรอกไซด์ (Nickel hydroxide) ในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับลิเทียมไฮดรอกไซด์ โดยขั้วลบของแบตเตอรี่จะแตกต่างกันไปตามชนิดของแบตเตอรี่ VDE - ETG Energy Storage Task Force. (2008) [4] ข้อดีแบตเตอรี่ในกลุ่มนิกเกิลก็คือ สามารถใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าปกติได้ดี มีความหนาแน่นพลังงานและจำนวนวัฏจักรในการอัดประจุ (Charge) และคายประจุ (Discharge) สูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ส่วนข้อด้อยก็คือ ยังคงมีน้ำหนักมากอยู่ มีข้อจำกัดทางเทคนิคมากโดยเฉพาะการเกิด “Memory Effect” ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดผลึกของแคดเมียม (Cadmium needles) ซึ่งอาจทำให้เกิดการลัดวงจรภายในขึ้นได้และมีผลต่อประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องอัดประจุให้เต็มและคายประจุให้หมด อีกทั้งราคายังค่อนข้างสูง

5.2.3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-Ion battery) แบตเตอรี่ประเภทนี้ได้รับความนิยมสูงมากในปัจจุบัน โดยใช้ลิเทียมเป็นองค์ประกอบสำคัญในการผลิต ซึ่งเป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบา ให้แรงดันไฟฟ้าสูง มีค่าความจุของพลังงานสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทอื่นๆ ที่น้ำหนักเท่ากัน แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีส่วนประกอบที่สำคัญสามส่วนเหมือนแบตเตอรี่ทั่วไป ซึ่งก็คือ ขั้วลบ ขั้วบวก และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยส่วนใหญ่ขั้วบวกจะทำมาจากลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (LiCoO₂) และขั้วลบทำมาจากคาร์บอนหรือกราไฟต์ ส่วนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้คือ เกลือลิเทียมในสารละลายอินทรีย์ (Lithium salt in an organic solvent) ข้อดีแบตเตอรี่ประเภทนี้ก็คือ ประสิทธิภาพในการประจุพลังงานสูง น้ำหนักเบา อายุการใช้งานยาวนาน การคายประจุของตัวเอง (Self-discharge) ต่ำ ส่วนข้อด้อยก็คือ มีการเสื่อมอายุตามเวลาแม้ไม่มีการใช้งาน เสียหายได้ง่ายหากใช้ไม่ถูกวิธีหรือเกิดการลัดวงจร อุณหภูมิมีผลต่ออายุการใช้งาน ราคาค่อนข้างสูง และอาจติดไฟหรือระเบิดได้ที่อุณหภูมิสูง B. Espinar, D. Mayer. (2011) [5]

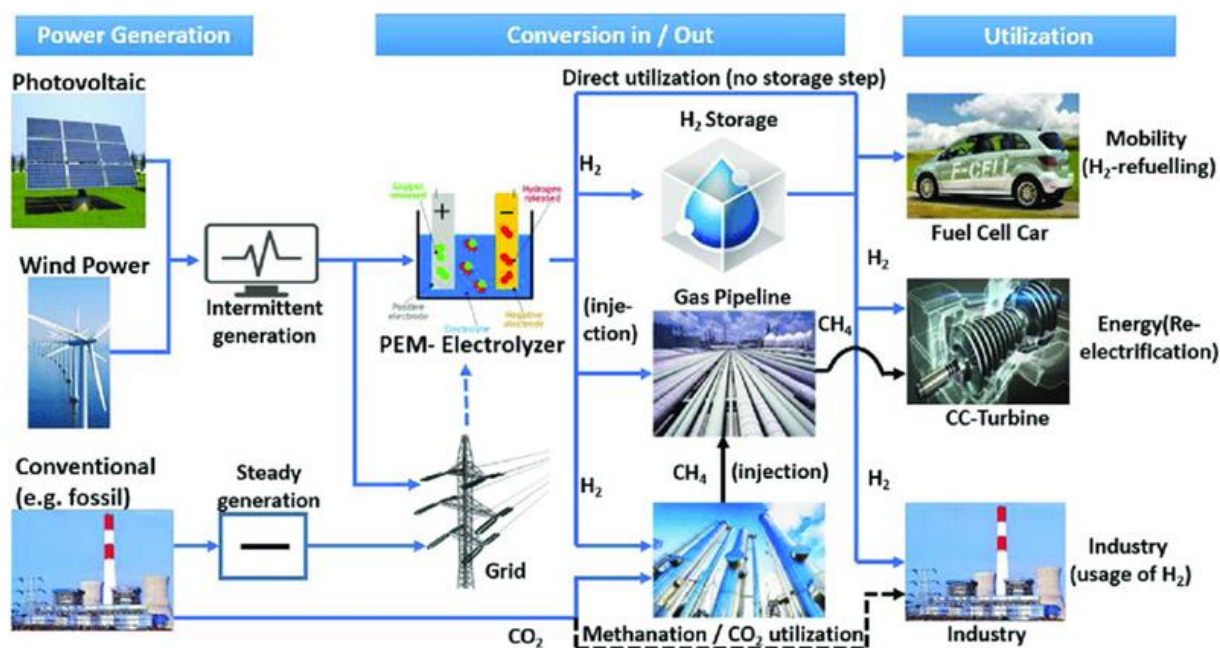
ปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาการสะสมพลังงานแบบไฟฟ้าเคมีหรือแบตเตอรี่ประเภทต่างๆ อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพิ่มศักยภาพในการประจุพลังงาน มีน้ำหนักเบา อายุการใช้งานที่นานขึ้น และมีความปลอดภัยเมื่อการใช้งานในสภาวะการณที่แตกต่างกัน เช่น แบตเตอรี่นาโน (Nano battery) โฟลว์แบตเตอรี่ (Flow battery) และ แบตเตอรี่ชนิดโซเดียมซัลเฟอร์ (Sodium-Sulfur Battery: NaS) โดยในปัจจุบันอาจจะยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนักและยังมีราคาแพงอยู่ แต่คาดว่าจะเส้นทางเลือกที่ดีกว่าและเป็นที่แพร่หลายต่อไปในอนาคตอันใกล้

5.3 ระบบสะสมพลังงานแบบเคมี (Chemical energy storage) โดยในที่นี้จะพิจารณาการใช้ก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen) และ ก๊าซธรรมชาติสังเคราะห์ (Synthetic Natural Gas, SNG) ในรูปแบบพลังงานสำรอง วัตถุประสงค์ก็เพื่อนำไฟฟ้าส่วนเกินมาผลิตก๊าซไฮโดรเจนผ่านกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) หรือการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า โดยไฮโดรเจนคาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ จะใช้ในการผลิตก๊าซธรรมชาติสังเคราะห์ (SNG) แม้ว่าประสิทธิภาพในการผลิตจะต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสะสมพลังงานในแบบอื่นๆ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ หรือ แบตเตอรี่ แต่ข้อได้เปรียบก็คือสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนและประยุกต์ใช้ได้มากมายในภาคอุตสาหกรรม

5.3.1 ไฮโดรเจน (Hydrogen, H_2) โดยทั่วไประบบสะสมพลังงานในรูปก๊าซไฮโดรเจนจะประกอบไปด้วย ระบบผลิตก๊าซไฮโดรเจน (Electrolyzer) ถังเก็บ และเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) โดยระบบผลิตก๊าซไฮโดรเจนจะทำงานโดยใช้กระแสไฟฟ้าแยกน้ำออกเป็นไฮโดรเจนกับออกซิเจนซึ่งเป็นกระบวนการแบบดูดความร้อน (Endothermic process) จำเป็นต้องใช้ความร้อนขณะทำปฏิกิริยา ก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้จะถูกเก็บไว้ในถังภายใต้แรงดันสูง เมื่อต้องการไฟฟ้าก๊าซที่ผลิตได้ทั้งสองก็จะถูกส่งไปยังเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อทำปฏิกิริยาย้อนกลับได้น้ำ ความร้อน และกระแสไฟฟ้า เป็นผลิตภัณฑ์นอกเหนือจากการใช้เทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงซึ่งเหมาะสำหรับระบบที่มีขนาดเล็ก ยังสามารถนำก๊าซไฮโดรเจนไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับมอเตอร์ก๊าซ (Gas motors) หรือ กังหันก๊าซ (Gas turbine) ได้เช่นกัน ในระบบที่มีขนาดใหญ่ๆ กระบวนการในการเก็บไฮโดรเจนนับเป็นสิ่งสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยเราสามารถเก็บไว้ในรูปของเหลวได้เช่นกันเพื่อลดขนาดของถังเก็บภายใต้สภาวะแรงดันสูงและอุณหภูมิต่ำ ในวันนี้การวิจัยและพัฒนาในระบบดังกล่าวได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่าในบางโครงการซึ่งใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานหมุนเวียนประสบความสำเร็จเป็นอย่างยิ่ง

5.3.2 ก๊าซธรรมชาติสังเคราะห์ (Synthetic Natural Gas, SNG) มีเทนสังเคราะห์ (Synthetic methane) หรือ ก๊าซธรรมชาติสังเคราะห์ (Synthetic Natural Gas, SNG) เป็นอีกรูปแบบในการสะสมพลังงานในแบบเคมี ซึ่งการสังเคราะห์ SNG เกิดขึ้นจาก 2 ขั้นตอน คือ จากกระบวนการการแยกน้ำในอิเล็กโทรไลเซอร์ (Electrolyzer) ซึ่งจะเกิดไฮโดรเจน (H) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หลังจากนั้น จะถูกนำไปทำปฏิกิริยากับมีเทน (CH_4) ในเครื่องปฏิกรณ์เมทาเนชัน (Methanation Reactor) โดยแก๊ส SNG ที่ได้สามารถกักเก็บไว้ในถังแรงดันสูงหรือใช้ในการเผาไหม้โดยตรง กระบวนการผลิต คาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตต่างๆ สามารถนำมาเข้าสู่กระบวนการเมทาเนชันได้ ดังนั้น กระบวนการดังกล่าว จึงเหมาะสมกับสถานประกอบการที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตและพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินในบางช่วงเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ โรงไฟฟ้าชีวมวล หรือโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลในภาคอุตสาหกรรม

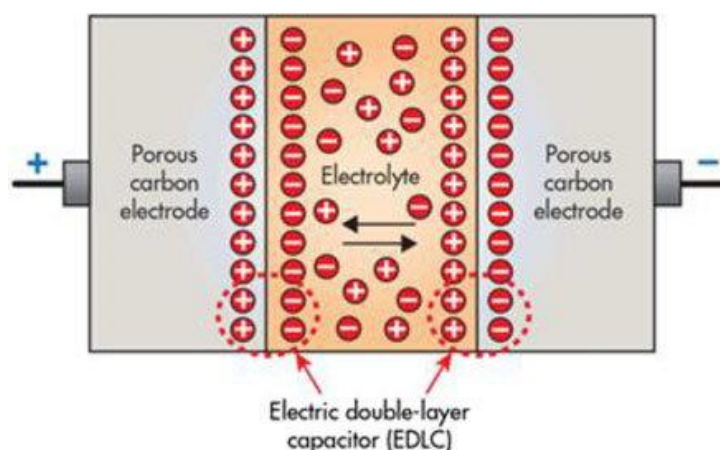
ข้อดีของเทคโนโลยีดังกล่าวก็คือก๊าซเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ได้มีค่าความร้อนและความหนาแน่นสูง สามารถส่งไปตามโครงข่ายท่อก๊าซที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนข้อเสียก็คือประสิทธิภาพในการผลิต SNG ค่อนข้างต่ำ ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ไปกับกระบวนการผลิต การจัดเก็บ และการขนส่ง ภาพโดยรวมของประสิทธิภาพในกระบวนการแปลงให้เป็นพลังงานเป็นไฟฟ้าน้อยกว่า 35 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 7 แสดงรูปแบบการใช้ประโยชน์จากก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซธรรมชาติสังเคราะห์

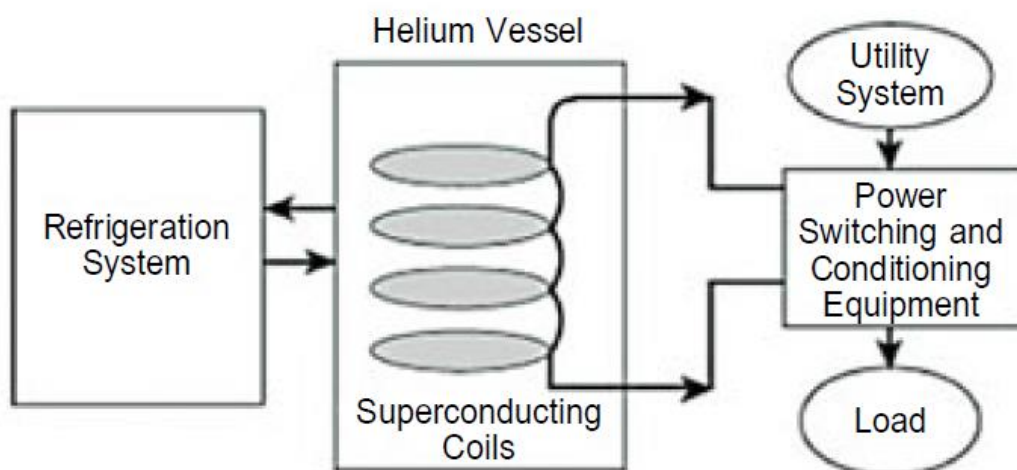
5.4 ระบบสะสมพลังงานแบบไฟฟ้า (Electrical storage systems)

5.4.1 ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบที่มีการเรียงตัวสองชั้น (Double-layer capacitors, DLC) ตัวเก็บประจุไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบที่มีการเรียงตัวของประจุแบบสองชั้น (electrochemical double-layer capacitors, EDLCs) ประกอบด้วยวัสดุที่มีรูพรุนทำหน้าที่เป็นตัวสะสมกระแสไฟฟ้าและสารอิเล็กโทรไลต์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำประจุไฟฟ้าที่จะแทรกผ่านรูพรุนของวัสดุ เมื่อมีการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในตัวเก็บประจุไฟฟ้า แผ่นอิเล็กโทรดที่ต่ออยู่กับขั้วบวกจะดึงอิเล็กตรอนที่เป็นขั้วลบจากสารอิเล็กโทรไลต์ให้มาสะสมอยู่บนพื้นผิว ส่วนแผ่นที่ต่ออยู่กับขั้วลบจะดึงประจุบวกจากอิเล็กโทรไลต์มาที่พื้นผิวของอิเล็กโทรด เพื่อให้ประจุไฟฟ้าที่พื้นผิวของอิเล็กโทรดทั้งสองขั้วสมดุล เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะมีค่าความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (specific stored energy) ที่ต่ำกว่าแบตเตอรี่ คือประมาณ 10 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม เนื่องด้วยข้อจำกัดจากการที่ตัวเก็บประจุไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงไม่ได้เป็นวัสดุที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ภายในตัวเองแต่เป็นเพียงอุปกรณ์เก็บสะสมประจุไฟฟ้า ในขณะที่แบตเตอรี่สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่ำประมาณ 35-40 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม แต่ในขณะเดียวกันตัวเก็บประจุไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะให้ค่าพลังงานเฉพาะ (specific power) ที่สูงกว่าแบตเตอรี่นอกจากนี้แล้วยังสามารถนำตัวเก็บประจุไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงกลับมาใช้ได้อีกเป็นระยะเวลานานโดยไม่เสื่อมประสิทธิภาพ Chen, H., Cong, T.N., Yang, W., Tan, C., Li, Y. and Ding, Y. (2009) [6]; Gache, G., How capacitors work. (2008) [7]



รูปที่ 8 แสดงการทำงานของตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบที่มีการเรียงตัวสองชั้น

5.4.2 ตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบใช้สนามแม่เหล็กของตัวนำยิ่งยวด (Superconducting magnetic energy storage, SMES) เป็นเทคโนโลยีการเก็บพลังงานในรูปกระแสไฟฟ้าโดยตรงในสนามแม่เหล็ก เมื่อต้องการใช้พลังงานสามารถจ่ายพลังงานออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยมีหลักการทำงานในการเก็บพลังงานในรูปกระแสไฟฟ้าโดยตรงในสนามแม่เหล็ก โดยผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ทำจากวัสดุตัวนำยิ่งยวด (superconductor) และวงแหวน (circular) ทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถหมุนเวียนได้โดยไม่เกิดการสูญเสีย (รูปที่ 9) ในการเก็บตัวเหนี่ยวนำให้อยู่ในสถานะการนำยิ่งยวดทำได้โดยการจุ่มลงในไนโตรเจนเหลวซึ่งอยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิ 1.8-4.2 เคลวิน ตัวเหนี่ยวนำโดยทั่วไปทำจากนีโอเบียม-ไทเทเนียม การเก็บพลังงานจะเก็บในขดลวดของตัวนำยิ่งยวด



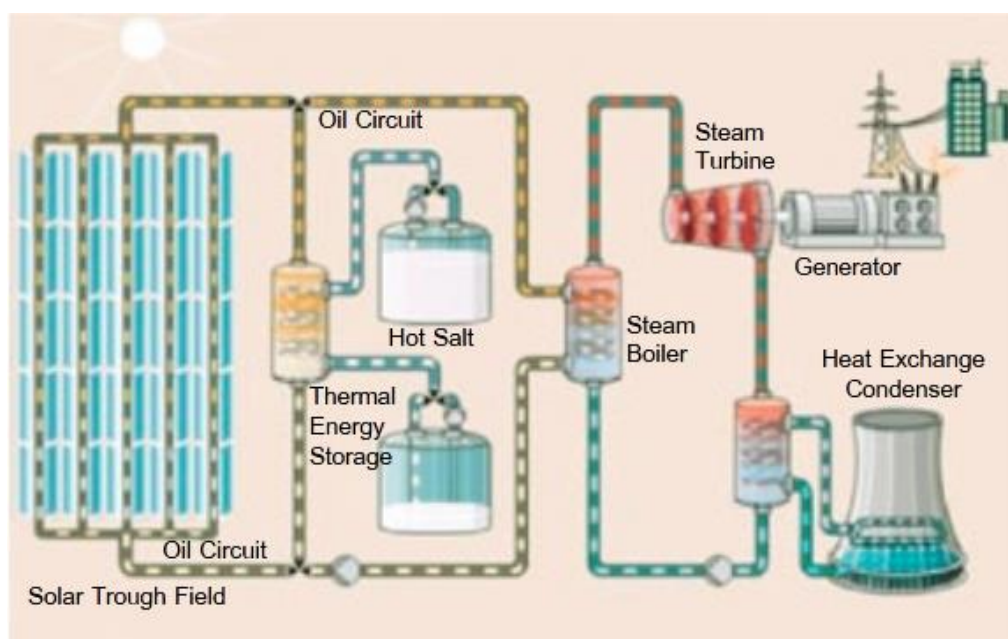
รูปที่ 9 แสดงหลักการทำงานของระบบการเก็บพลังงานโดยใช้สนามแม่เหล็กของตัวนำยิ่งยวด

ที่มา: Chen, H., Cong, T.N., Yang, W., Tan, C., Li, Y. and Ding, Y. (2009) [8]

ลักษณะเฉพาะของระบบและข้อดี-ข้อเสีย ประสิทธิภาพสูงมาก คือ มากกว่า 97 เปอร์เซ็นต์ ตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว (มิลลิวินาที) จำนวนรอบของการใช้งานสูง แต่มีความเป็นสนิมแม่เหล็กที่แรงและราคาสูงมากเนื่องจากต้องมีการทำให้โลหะอยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำ (cryogenics) ซึ่งใช้สำหรับการคงสภาวะการนำไฟฟ้ายิ่งยวด ใช้ได้เฉพาะในช่วงเวลาสั้น ๆ นิยมใช้สำหรับการปรับคุณภาพของกำลังไฟฟ้า Beaudin, M., Zareipour, H., Achellenberg, A. and Rosehart, W. (2010) [9]

5.5 ระบบสะสมพลังงานในรูปความร้อน (Thermal storage systems) เป็นเทคโนโลยีการเก็บพลังงานในรูปของพลังงานความร้อนซึ่งประกอบไปด้วย การเก็บความร้อนในรูปของความร้อนสัมผัส (sensible heat) และการเก็บความร้อนในรูปของความร้อนแฝง (latent heat) โดยมีหลักการทำงาน ดังนี้

5.5.1 การเก็บในรูปความร้อนสัมผัส ความร้อนสัมผัส ปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่งที่ทำให้สารชนิดหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยไม่มีการเปลี่ยนสถานะ โดยตัวกลางที่นิยมใช้ในการเก็บความร้อน คือ เกลือโซเดียมที่เกิดการหลอมละลาย (sodium molten salt) ในรูปแบบของเหลวภายใต้การรักษาความดัน (pressurized water) เป็นต้น โดยจะเก็บพลังงานในช่วงที่ความต้องการใช้พลังงานต่ำ หรือพลังงานส่วนเกินจากอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความร้อน (thermal plant) ความร้อนที่ได้มาจะนำไปทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำ เพื่อขับเคลื่อนกังหันที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าต่อไป Jossen, A., Garcke, J. and Sauer, D, U. (2004) [10] ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงการทำงานของเทคโนโลยีการเก็บพลังงานความร้อนแบบความร้อนสัมผัส

ที่มา : Sioshansi, R. and Denholm, P. (2011) [11]

5.5.2 การเก็บความร้อนแฝง ความร้อนแฝง ความร้อนที่ทำให้สารเปลี่ยนแปลงสถานะโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การเก็บพลังงานทำได้โดยการผ่านความร้อนเข้าไปในตัวกลางเพื่อทำให้สารเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว แล้วเปลี่ยนกลับมาเป็นของแข็งอีกครั้งในขั้นตอนการคายพลังงาน การเก็บพลังงานขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ใช้ ซึ่งมีอุณหภูมิของการหลอมละลายที่แตกต่างกัน โดยสารที่ดีที่สุดในปัจจุบันคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เนื่องจากมีอุณหภูมิของการหลอมละลายที่สูง มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity coefficient) ที่เหมาะสม มีความคงตัวที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำ Dincer, I. (2002) [12] แต่ทั้งนี้ การเลือกใช้สารที่ใช้

ในการเก็บความร้อนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ต้องการใช้งานเป็นสำคัญ ลักษณะเฉพาะของระบบ ระบบเก็บความร้อนมีประสิทธิภาพ 30-60 เปอร์เซ็นต์ สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แบบอุณหภูมิสูงและแบบอุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารที่ใช้ในการเก็บพลังงาน ในทางอุตสาหกรรมสามารถแบ่งชนิดของการเก็บความร้อนเป็น 4 ชนิด Chen, H., Cong, T.N., Yang, W., Tan, C., Li, Y. and Ding, Y. (2009) [8] ดังนี้

- (1) ระบบเก็บความเย็น (ต่ำกว่า -18°C)
- (2) ระบบทำความเย็น ($0-12^{\circ}\text{C}$)
- (3) ระบบสร้างความร้อน ($25-50^{\circ}\text{C}$) และ
- (4) ระบบเก็บความร้อน (สูงกว่า 175°C)

ข้อดี-ข้อเสียข้อดี คือ เป็นระบบที่เก็บพลังงานส่วนเกินมาใช้ประโยชน์ Dincer, I. (2002) [12] ช่วยให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการทางอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น Ibrahim, H., Ilinca, A. and Perron, J. (2008) [13] ข้อเสีย คือ ประสิทธิภาพของระบบค่อนข้างต่ำ

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

ความสำคัญของระบบจัดเก็บพลังงานซึ่งเพิ่มสูงอย่างต่อเนื่องตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของการใช้พลังงานหมุนเวียน ซึ่งในเวลานี้นานาประเทศทั่วโลกหันมาร่วมกันรณรงค์และส่งเสริมให้ภาครัฐ ภาคอุตสาหกรรม รวมถึงภาคประชาชนให้หันมาใช้พลังงานสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นการช่วยลดการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างรุนแรงในปัจจุบัน แม้ว่าการใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนจะเป็นสิ่งที่ดีเป็นพลังงานสะอาดไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ในบางประเภท เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม แต่ก็ยังมีข้อด้อยบางประการคือเสถียรภาพในการผลิตซึ่งไม่คงที่ เนื่องจากเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา หากมีจำนวนมากอาจส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบหลักของประเทศ และที่สำคัญการบริหารจัดการทำได้ยากและประสิทธิภาพต่ำ เพราะความต้องการพลังงานระหว่างผู้ใช้กับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาไม่สมดุลกัน เช่น ช่วงเวลาทางคืนความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงแต่ไม่มีแสงแดด

ระบบจัดเก็บพลังงานจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อที่จะใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว เนื่องจากสามารถใช้เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานที่ผลิตได้ในช่วงที่ความต้องการต่ำและส่งออกในช่วงที่มีความต้องการสูง ทำให้สามารถบริหารจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถช่วยลดต้นทุนและปัญหาของระบบสายส่งได้ รวมถึงช่วยเพิ่มเสถียรภาพในการใช้พลังงานของประเทศได้เป็นอย่างดี การใช้ประโยชน์ของระบบจัดเก็บพลังงานจะมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้น ตามปริมาณในการใช้พลังงานหมุนเวียนในอนาคตที่กำลังเพิ่มมากขึ้นตามแนวนโยบายในการส่งเสริมให้เกิดการใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนของภาครัฐ และจากร่วมการรณรงค์หลายภาคส่วนทั้งในระดับชาติและนานาชาติ แต่ในทางปฏิบัติก็ยังมีปัญหาและอุปสรรคบางประการในการใช้เทคโนโลยีดังกล่าว อาทิเช่น การลงทุนที่ค่อนข้างสูง บางเทคโนโลยียังอยู่ในช่วงการวิจัยและพัฒนา รวมถึงการยังไม่ได้รับการส่งเสริมจากทางภาครัฐอย่างจริงจัง ในระยะยาวหากภาครัฐมีนโยบายการสนับสนุนเทคโนโลยีดังกล่าวที่ชัดเจน ผ่านกลไกต่างๆ ของทางภาครัฐ ปริมาณการใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนก็คงเพิ่มมากขึ้น เพราะสามารถบริหารจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบผลิตไฟฟ้าหลักของประเทศเพราะสามารถควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบได้เป็นอย่างดี ผลที่ตามมาคือ จะเป็นการเพิ่มเสถียรภาพความมั่นคงด้านพลังงานให้กับประเทศโดยการพึ่งพาพลังงานทดแทนที่มีอยู่ ลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ รักษาสิ่งแวดล้อมและลดปัญหาการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก ฯลฯ ซึ่งจะส่งผลต่อประเทศในระยะยาว และจะกลายเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในอนาคต

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thakrit Panklib et al. Electricity Consumption Forecasting in Thailand, Using Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression. *Energy Sources Part B: UK*, Vol.10, No.04, 427-434. (2015).
- [2] T. Fujihara, et al.: Development of pump turbine for seawater pumped-storage power plant, *Hitachi Review* 47 (5), pp. 199-202, (1998).
- [3] N.N.: Bath County Pumped Storage. *Civil Engineering, ASCE*, 55 (7), pp. 55, (1985).
- [4] VDE - ETG Energy Storage Task Force: Energy storage in power supply systems with a high share of renewable energy sources Significance - state of the art - need for action, Report, Dec (2008).
- [5] B. Espinar, D. Mayer: The role of energy storage for mini-grid stabilization, Report, IEA-PVPS T11-0X:2011, (2011).
- [6] Chen, H., Cong, T.N., Yang, W., Tan, C., Li, Y. and Ding, Y. Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science*, 19: 291–312. (2009).
- [7] Gache, G., How capacitors work [Online]. Available from: <http://news.softpedia.com/newsImage/How-Capacitors-Work-4.jpg/> [2011, October 31]. (2008).
- [8] Chen, H., Cong, T.N., Yang, W., Tan, C., Li, Y. and Ding, Y., Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress*. (2009).
- [9] Beaudin, M., Zareipour, H., Achellenberglabe, A. and Rosehart, W. Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: An updated review. *Energy for Sustainable Development*, 14: 302–314. (2010).
- [10] Jossen, A., Garche, J. and Sauer, D, U. Operation conditions of batteries in PV applications. *Solar Energy*, 76: 759-769. (2004).
- [11] Sioshansi, R. and Denholm, P., The value of concentrating solar power and thermal energy storage [Online]. Available from: <http://newenergynews.blogspot.com/2010/04/economics-of-solar-power-plant-energy.html> [2011, October 31]. (2010).
- [12] Dincer, I., On thermal energy storage systems and applications in. *Energy and building*, 34: 377-388. (2002).
- [13] Ibrahim, H., Ilinca, A. and Perron, J. Energy storage systems-Characteristics and comparisons. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12: 1221-1250. (2008).

วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม Journal of Energy and Environment Technology

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ: บทความควรมีความยาวไม่เกิน 9 หน้า กระดาษ A4 การตั้งค่าหน้ากระดาษ ขอบด้านบน 3 ซม. และด้านล่าง 1.5 ซม. ขอบด้านขวาและซ้าย 2.25 ซม. พิมพ์ด้วย ตัวอักษร "Browallia New" ขนาด 14 โดยหัวข้อต่างๆ ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดาและพิมพ์ชิดขอบ ทั้งสองด้าน การลำดับหัวข้อของเนื้อเรื่อง ให้ใช้เลขกำกับ บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีหัวข้อย่อยให้ใช้เลขระบบทศนิยมกำกับหัวข้อย่อย เช่น 2.1 ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา

คำแนะนำในการเรียงลำดับเนื้อหา: ให้เรียงลำดับตามหัวข้อต่อไปนี้

ชื่อเรื่อง (Title): ควรกระชับ ชัดเจน ครอบคลุมเนื้อหาสำคัญ ชื่อเรื่องภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 18 ตัวหนา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

ชื่อผู้เขียน: ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็ม ของชื่อผู้เขียนให้ครบทุกคน และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับท้ายรายชื่อสำหรับผู้ประสานงาน ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

ที่อยู่หรือหน่วยงาน: ระบุชื่อหน่วยงานหรือสถาบันใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวเอียง และ E-mail address ที่ติดต่อ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย

บทคัดย่อ (Abstract): ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยให้นำบทคัดย่อภาษาไทยขึ้นก่อนภาษาอังกฤษ ซึ่งต้องมีเนื้อหาตรงกัน ให้พิมพ์คอลัมน์เดียว บรรทัดแรกเว้น 1 Tab เนื้อหาในบทคัดย่อควรระบุวัตถุประสงค์โดยย่อ ผลการวิจัย และบทสรุปโดยย่อ หัวข้อบทคัดย่อใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด 14 และพิมพ์ชิดขอบทั้งสองด้าน

คำสำคัญ (Keyword): ให้มีคำสำคัญเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษอยู่คนละหน้า ใต้บทคัดย่อ (Abstract) หัวข้อคำสำคัญใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดา

เนื้อหา (Text): บทความวิจัยประกอบด้วย

บทนำ (Introduction): บอกความสำคัญ หรือที่มาของปัญหาที่นำไปสู่การศึกษาวัตถุประสงค์ และอาวรวมการทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Methods): กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์ และการทดลองที่กระชับและชัดเจน

ผลการทดลอง (Results): บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน อาจมีรูปภาพหรือตารางที่ชัดเจนประกอบคำอธิบายได้

อภิปรายผลและสรุปผล (Discussion and Conclusion): อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมินการตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ควรมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุนหรือหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผลและอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์ กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี): ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง

ตารางและรูป ต้องมีความคมชัดและให้แทรกไว้ในบทความ มีคำอธิบายสั้นๆ แต่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วนและเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า "ตารางที่..." และมีคำอธิบายไว้เหนือตาราง กรณีที่เป็นรูป ให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า "รูปที่..."

ภาคผนวก (ถ้ามี)

เอกสารอ้างอิง (References): บทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงเอกสารในบทความโดยเอกสารอ้างอิงระบบ Vancouver ดังตัวอย่างต่อไปนี้

[หนังสือ] ชื่อผู้แต่ง. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์. ชื่อเมืองที่พิมพ์. ชื่อสำนักพิมพ์; ปีพิมพ์.

[วารสาร] ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อย่อของวารสาร. ปีพิมพ์; เล่มที่ (ฉบับที่): เลขหน้า.

[วิทยานิพนธ์และการศึกษาค้นคว้าอิสระ] ชื่อผู้เขียน. ชื่อเรื่อง [ประเภทหรือระดับปริญญา]. เมืองที่พิมพ์: ชื่อมหาวิทยาลัย; ปีพิมพ์.

[หนังสือรวมเรื่อง] ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ชื่อบรรณาธิการ (บรรณาธิการ), ชื่อหนังสือ (ครั้งที่พิมพ์ตั้งแต่พิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป, หน้า). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

[หนังสือพิมพ์] ชื่อผู้แต่ง. (วันที่ เดือน ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์. เลขหน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

[สื่ออิเล็กทรอนิกส์] ชื่อโฮมเพจ/เว็บไซต์ [อินเทอร์เน็ต]. ชื่อเมืองที่พิมพ์: ชื่อสำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์ [ปรับปรุงเมื่อปี เดือน วันที่; เข้าถึงเมื่อปี เดือน วันที่]. เข้าถึงได้จาก: URL.

เกณฑ์การพิจารณา: บทความจะต้องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชานั้น 2-3 คน ซึ่งกองบรรณาธิการ อาจให้ผู้เขียนปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และทรงไว้ซึ่งสิทธิในการตัดสินใจตีพิมพ์หรือไม่ก็ได้

**"บทความที่ลงพิมพ์ เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น"**