



กังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อน้ำ Aerator in water with solar energy for pond กัลยา ชนาสินธุ์ อมรรัตน์ คำบุญ ณัฐดนัย สิงห์คลีวรรณ และสายัน พุทธลา	95
การพัฒนาเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชนระบบกึ่งอัตโนมัติ Development on Semi-Automated Plastic Bottle and Cans Compression Machine for Community ฤกษ์ชาคริต ณ วัฒนประเสริฐ กุสุมา ผลาพรม อภิสิทธิ์ อุปกิจ สุทัศน์ ดอนภูมา สีนินาถ สงวนศรี พัฒพงษ์ สุทยานาง และวริศ เดชะรินทร์	106
ระบบติดตามข้อมูลกระแสน้ำแบบเวลาจริงจากหุ่นแบบเคลื่อนที่ Real-time tide data tracking system with moving buoys อนุชา พิพิธ สุชัยศรี โลออน วิธวัช ตั้งตรงไพโรจน์ อภิรักษ์ จันทร์สร้าง ชัยพร ใจแก้ว อนันต์ ผลเพิ่ม จิตราภรณ์ พักโสภา และสุชาย วรชนะนันท์	115
ระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติโดยใช้การประมวลผลภาพด้วยอัลกอริทึม YOLO The Automatic Lighting ON and OFF Control System Using YOLO Algorithm Image Processing วีระพงศ์ ทองสา ศิลปชัย กลิ่นไกล ชุตติกาญจน์ สุพัตเวช และภุมรินทร์ ทวีศรี	125
การลดขนาดสายอากาศไมโครสตริปแบบล็อกพีริออดิคร่วมกับชั้นวางซ้อนสำหรับงานตรวจจับสัญญาณรบกวนในย่านความถี่สูงยิ่ง Miniaturization of Microstrip Log-periodic Antenna with Superstrate for Interference Detection in UHF Bands สิบลักษณ์ กันธวงศ์, สิทธิชัย เตนต์รี และศุภกิต แก้วดวงตา	137
การอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้าของกระบวนการอบยางยานวผ่ากระป๋องในอุตสาหกรรมการผลิตกระป๋อง Electrical Energy Conservation of Can Lining Compound Curled Process in Can Industry ชญาดา เทียนไชย, ธมนวรรณ เอี่ยมเงิน, วรฤทัย ชูเกียรติ และเพ็ญพิสุทธิ์ ทองหยวก	145
การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรตามแนวแกน แบบ 3 เฟส หล่อด้วยเรซิน Design and Build for 3 Phases Resin Cast Axial Flux Permanent Magnet Generator พีรวัจน์ มีสุข ประจักษ์ บุญภักดี พรชัย พรฤทธิ์ นฤกร สิริมงคลกาล ธิดาธิป ทารชุมพล และกวิณชัย ต้องตรงทรัพย์	151
การพัฒนาต้นแบบปลั๊กไฟอัจฉริยะสำหรับการตรวจสอบและจัดการพลังงานไฟฟ้าในบ้านอัจฉริยะ Development of Smart Plug Prototype for Inspection and Management Electric Energy In Smart Home ณัฐดนัย สิงห์คลีวรรณ ธนฤต จินดาศรี และรัตนสุตา สุคนธ์	159
เครื่องประจุแบตเตอรี่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์พกพาสังเกตการณ์ทำงานและแจ้งผลด้วยระบบ IoT A solar-powered battery charger for mobile phones and laptops monitoring via IoT system บุรินทร์ เทพโพธา และ มนต์รี ศิริปัญญานันท์	170
การเปรียบเทียบสมรรถนะเทคนิคการจัดเรียงสัญญาณแควเรียร์หลายระดับจากผลกระทบที่มีการฉีดฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิงบนอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ Performance Comparison of Multi-Level Carrier Signaling Techniques from the Effect of Third-Order Harmonics Injection in the Reference Signal on a Five- Level Inverter Flying-Capacitor สฤติพร เกตุสกุล	182
Adsorption of dyestuff on red perlite: isotherms, kinetics, and thermodynamics Suchada Sawasdee and Prachart Watcharabundit	191

วารสารวิชาการเทพสตรี I-TECH
ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2565

บรรณาธิการ

รศ.ว่าที่ ร.ต.ดร.ชูชาติ พยอม

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผศ.ดร.ลลิตธร มะระกานนท์ ผศ.ดร.กุลสมทรัพย์ เย็นน้ำชลิต ผศ.ดร.ธาดา คำแดง

ผู้ทรงคุณวุฒิในกองบรรณาธิการ

ศ.ดร.สุมาลี สังข์ศรี	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ศ.ดร.จรัญ จันทลักขณา	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ศ.ดร.สายัณห์ ทัดศรี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.วุฒิพงศ์ อารีกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.ธีรศิลป์ ทุมวิภาต	สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
รศ.ดร.สุมาลี อุณหวนิชย์	สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
รศ.ดร.ชนศักดิ์ บ่ายเที่ยง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.กฤษณ์ อ่างแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ชูสิทธิ์ ประดับเพชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ฝ่ายจัดการวารสาร

นางนภาพร รอดแก้ว นางสาวชญาณ์พิมพ์ จตุพรเนตรทอง

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ อุตสาหกรรมการเกษตร เทคโนโลยีสารสนเทศ การจัดการอุตสาหกรรม

กำหนดการออกวารสาร

ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม

ลักษณะบทความ

1. ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารอื่นใดมาก่อนหรือต้องไม่อยู่ในขั้นตอนการพิจารณาเพื่อเผยแพร่ในวารสารอื่น
2. ต้องเป็นผลงานวิจัยที่มีผลกระทบในวงกว้างที่ไม่ใช่งานวิจัยในระดับสถาบัน

บทความที่ลงพิมพ์เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใดๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นจากบทความนั้น

กังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อน้ำ

Aerator in water with solar energy for pond

กัลยา ธนาสิน^{1*}, อมรรัตน์ คำบุญ², ณัฐดนัย สิงห์คสิวรรณ³ และ สายัน พุทธลา⁴

Kanlaya Thanasin^{1*}, Amonrat Khambun², Nutdanai Singkhleewon³ and Sayan Putthala⁴

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

²สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

³สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

⁴สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

¹Electronics Computer Technology Program, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

²Physics Program, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

³Electronics Computer Technology Program, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

⁴Physics Program, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

*Email: kanlayathanasin@gmail.com

Received: April 01, 2022; Revised: July 01, 2022; Accepted: July 08, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบกังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อน้ำ โดยมีหลักการใช้โซล่าเซลล์เป็นแหล่งพลังงานขับเคลื่อนกังหันน้ำให้สามารถเติมออกซิเจน และสร้างระบบวัดปริมาณออกซิเจนโดยใช้เซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจน (Do-Sensor) และเทียบค่ากับเครื่องวัดปริมาณออกซิเจนมาตรฐาน (Do-Meter 450) ซึ่งกังหันน้ำจะทำงานตั้งแต่เวลา 08.00 - 16.00 น. และจะควบคุมการ เปิด-ปิด กังหันน้ำโดยตั้งเวลาการทำงานไว้ 3 ช่วงเวลา คือ 08.00 - 10.00 น., 11.00 - 13.00 น. และ 14.00 - 16.00 น. และเวลาปิดคือ 10.00 - 11.00 น., 13.00 - 14.00 น. และ 16.00 น. เป็นต้นไป ผ่านการตั้งเวลาด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยควบคุมการทำงานได้ทั้งระบบอัตโนมัติและจากผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน Bluetooth Terminal เพื่อบันทึกค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำในหน่วย มิลลิกรัม/ลิตร (mg/L) ไว้บน SD-Card ทุก ๆ 20 นาที โดยสถานที่ในการบันทึกข้อมูลการทดลองคือบ่อน้ำ ณ วัดหทัยเรศวร อำเภอบางบาล จังหวัดราชบุรี การเก็บข้อมูลใช้ระยะเวลา 10 วัน พบว่าปริมาณออกซิเจนในน้ำก่อนติดตั้งกังหันน้ำมีค่าเฉลี่ย 4.13 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณออกซิเจนในน้ำเมื่อติดตั้งกังหันน้ำในบ่อน้ำแล้วพบว่าปริมาณออกซิเจนมีค่าเฉลี่ย 5.46 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าก่อนและหลังการติดตั้งจะพบว่าปริมาณออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.33 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเครื่องต้นแบบนี้สามารถทำงานได้เทียบเท่ากับเครื่องมาตรฐาน

คำสำคัญ: กังหันน้ำ, พลังงานแสงอาทิตย์, ระบบตรวจวัดระดับออกซิเจนในน้ำ

Abstract

The purpose of this research is to design and builds a prototype of an oxygen water-turbine with solar energy for wells. The principle of using solar is a source of energy to drive water turbines producing

sufficient water diversion for using and creating a system that measures the volume of oxygen by using a sensor measures volume of oxygen (Do-sensor) compared standard oxygen meter (Do-Meter 450). The prototyping of an oxygen water starts 08.00 a.m. – 16.00 p.m. and controls turning on-off of the water-turbine by setting the timer of 3 periods. There times are start on 08.00 a.m. – 10.00 a.m., 11.00 a.m. – 1.00 p.m., and 14.00 a.m. – 16.00 a.m. The closing times are 10.00 a.m. – 11.00 a.m., 1.00 p.m. – 2.00 p.m. and 4.00 p.m. onwards through the time setting with a microcontroller. The water turbine controlled functional both automatic system and from users through the application of terminal Bluetooth recorded the amount of oxygen in water in unit milligrams/liter (mg/L) on the SD-card every 20 minutes. The location in recording experimental data is wells at Hathai Naretsuan Temple, Pak Tho District, Ratchaburi Province. The data collections took 10 days founded amount of oxygen in the water before installed the water turbine with an average of 4.13 milligram/liter. After installation of the water turbine in the wells found amount of oxygen with an average of 5.46 milligram/liter. The experiment compared to the values before and after installation found that the amount of oxygen in the water increased with an average of 1.33 milligram/liter. In this prototype-machine can operate equivalent to standard machine.

Keywords : hydraulic turbine, solar energy, Oxygen Level Monitoring System in water

1. บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญอย่างหนึ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์และ สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในขณะเดียวกันน้ำก็เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เช่น การชลประทาน การประมง การสาธารณสุข โภคการอุตสาหกรรมและการคมนาคมตลอดจน การระบายของเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่ในประเทศที่พัฒนาแล้วอาจใช้น้ำปริมาณมากถึง 500 ลิตร/คน/วัน จะเห็นได้ว่าจากความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภค และบริโภค นั้นสูงมาก มีการคาดการณ์ว่าภายในปี พ.ศ. 2568 อัตราการการเพิ่มของประชากร ในอนาคตอาจมีประชากรเพิ่มขึ้นถึง 3 พันล้านคนที่อาศัยอยู่ในประเทศที่กำลังพัฒนา ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้น้ำเป็นอย่างมาก หากเกิดสภาวะที่ขาดแคลนน้ำในการอุปโภคบริโภคซึ่งเกิดผลกระทบโดยตรงต่อประชากรใน ด้านคุณภาพชีวิต ความเป็นอยู่ สิ่งแวดล้อม ฯลฯ [1]

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้นกำเนิดของชีวิตบนโลกมนุษย์ พืชและจุลินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์แสงได้เป็นต้นตอของระบบห่วงโซ่อาหาร และนับเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่มีทางหมดไป เป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาดไม่ทำปฏิกิริยา

ใด ๆ อันจะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษสำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศใกล้เส้นศูนย์สูตรและได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีเป็นจำนวนมากและมีสภาพภูมิอากาศที่ค่อนข้างคงตัว ไม่เปลี่ยนแปลงง่าย ปัญหาความไม่แน่นอนของผลผลิตพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีไม่มากนัก เซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า เนื่องจากสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง [2]

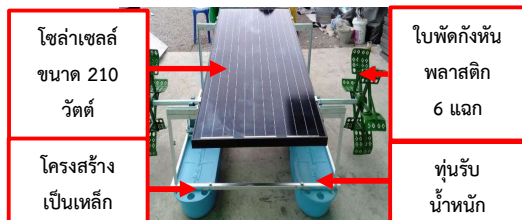
ปัจจุบันได้เกิดภาวะวิกฤตหรือมลพิษทางน้ำเพิ่มขึ้นในแต่ละปีและยากต่อการควบคุมโดยเฉพาะในด้านคุณภาพของน้ำ แต่ปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิด มลพิษทางน้ำส่วนใหญ่จะมาจากการเกษตร โรงงานอุตสาหกรรม การคมนาคมทางน้ำ และสิ่งปฏิกูลจากแหล่งชุมชน เป็นต้น ทั้งนี้จะเห็นได้ว่ามีสารพิษมากมายหลายอย่างที่ปนเปื้อนมากับน้ำ ทำให้เกิดสภาวะน้ำเสียในชุมชนอาจเกิดมาจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น สารจาก ยาฆ่าแมลง ยาฉีดหญ้า ตะกั่ว เป็นต้น จากสถานการณ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ปัญหาเรื่องออกซิเจนในแหล่งน้ำ และบ่อน้ำประสบปัญหาออกซิเจนในน้ำไม่เพียงพอ ทำให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพของน้ำในพื้นที่ ที่มีแหล่งน้ำ เช่น สระน้ำ บ่อน้ำ ประกอบกับ ผู้วิจัยได้ไปร่วม

โครงการ ณ วัดหทัยเรศวร จ.ราชบุรี ซึ่งทางวัดก็ได้ประสบปัญหาของสระน้ำ ในบริเวณวัด ซึ่งทำให้น้ำนั้นไม่มีการหมุนเวียนของออกซิเจน ทำให้น้ำนั้นมีคุณภาพที่แย่ มีความขุ่นสูง มีสี มีกลิ่น ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ให้กับวัดหทัยเรศวร โดยเน้นเพิ่มปริมาณของออกซิเจนในแหล่งน้ำนี้ ด้วยการนำเทคโนโลยีในยุคปัจจุบันที่นำไมโครคอนโทรลเลอร์ เซนเซอร์และแอปพลิเคชันมาสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติของการทำงานกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการฟื้นฟูบ่อน้ำนี้ [2-3]

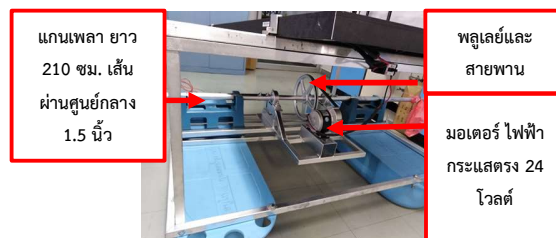
2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 การออกแบบโครงสร้างกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบโครงสร้างกังหันน้ำในแต่ละส่วนประกอบไปด้วยตัวใบกังหันน้ำที่จะใช้วัสดุที่เป็นพลาสติกเนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานและน้ำหนักเบา ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางโดยรวม 62 เซนติเมตร จำนวน 2 วง โดยแต่ละวงมีจำนวนใบ 6 ใบ [3] ส่วนโครงสร้างรับน้ำหนักของกังหันน้ำใช้วัสดุที่เป็นเหล็ก เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานสามารถรับน้ำหนักได้มาก ส่วนทุ่นลอยน้ำทำมาจากวัสดุที่เป็นพลาสติกใช้สำหรับรับน้ำหนัก จำนวน 2 ทุ่น กังหันน้ำใช้โซลาร์เซลล์ขนาด 210 วัตต์ [4] แบบโพลีคริสตัลไลน์ ส่วนมอเตอร์ ใช้มอเตอร์กระแสตรงแรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ กระแส 9.78 แอมป์ ความเร็วรอบของมอเตอร์อยู่ที่ 307 รอบ/นาที ส่วนพูลเลย์ขับเคลื่อนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.08 เซนติเมตร และพูลเลย์ตามมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 เซนติเมตร ขับเคลื่อนด้วยสายพาน ขนาดโดยรวมของกังหันน้ำ มีขนาด กว้าง 210 เซนติเมตร ยาว 158 เซนติเมตร สูง 75 เซนติเมตร (ขนาดรวมเพลทที่ยื่นออกมา) [5]



รูปที่ 1 องค์ประกอบของกังหันน้ำ



รูปที่ 2 การออกแบบโครงสร้างกังหันน้ำ

2.2 อุปกรณ์ในการสร้างเครื่องต้นแบบและระบบควบคุมกังหันน้ำเดิมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อน้ำ

2.2.1 แผงโซลาร์เซลล์ ยี่ห้อ JA SOLAR ขนาด 210 วัตต์ แบบโพลีคริสตัลไลน์ ใช้สำหรับแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าขนาด 210 วัตต์ เพื่อนำกระแสไฟฟ้าที่ได้มาใช้งานกับมอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ [5] เพื่อขับเคลื่อนเพลทที่ติดตั้งใบพัดจำนวน 2 ใบ ให้สามารถผ่นน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.



รูปที่ 3 แผงโซลาร์เซลล์ JA SOLAR

2.2.2 ศึกษาเกี่ยวกับเซนเซอร์ตรวจวัดระดับออกซิเจนเป็นเซนเซอร์ตรวจวัดระดับออกซิเจน (DO-Sensor) ที่ใช้สำหรับการวัดระดับค่าออกซิเจนในน้ำ โครงสร้างของเซนเซอร์ประกอบด้วยชุดโมดูลเชื่อมต่อการทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ การใช้งานสามารถนำมาตรวจวัดค่าระดับออกซิเจนจากบ่อน้ำ จากหัวโพรบวัดของเซนเซอร์ [6] ซึ่งจะต้องมีการต่อใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ให้สามารถแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Bluetooth Terminal บนสมาร์ตโฟนโดยสามารถวัดค่าออกซิเจนได้ตั้งแต่ 0-20 มิลลิกรัม/ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงเซนเซอร์ Dissolved Oxygen Sensor.

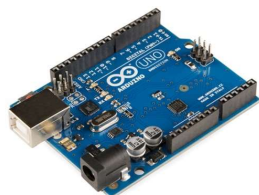
2.2.3 เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ รุ่น DO-meter450 เป็นเครื่องเทียบมาตรฐานที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบค่าออกซิเจนในบ่อน้ำของเซนเซอร์ วัดระดับออกซิเจนกับเครื่องวัดระดับออกซิเจนมาตรฐานเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์ [7] ในการวัดระดับออกซิเจนในหน่วย มิลลิกรัม/ลิตรได้ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 เครื่องวัดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO Meter450)

2.2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน ยูโน อาร์3

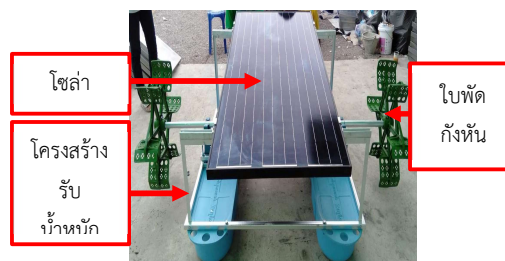
บอร์ดอาดูโน ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของเซนเซอร์วัดระดับออกซิเจนเพื่อแสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Bluetooth Terminal และบันทึกค่าออกซิเจนลงบน SD-Card ทุก ๆ 20 นาทีและคอยควบคุมการทำงานเปิด-ปิดของกังหันน้ำเดิมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์ให้สามารถทำงานได้ตามคำสั่งที่เราได้ตั้งไว้ผ่านการเขียนโปรแกรมใน Arduino 1.8.9 [6] ดังแสดงในรูปที่ 6



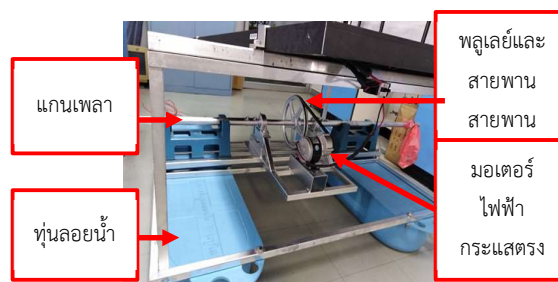
รูปที่ 6 แสดงบอร์ดอาดูโนยูโนอาร์ 3

3. การติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดของกังหันน้ำเดิมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์

การติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดของกังหันน้ำเดิมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 7 การติดตั้งกังหันน้ำด้านบน

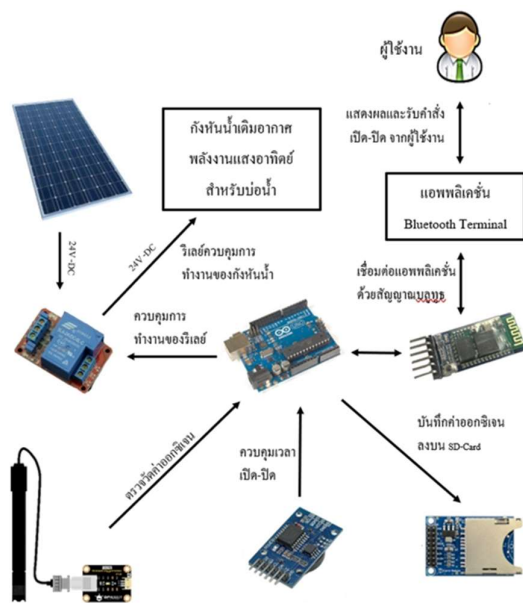


รูปที่ 8 การติดตั้งกังหันน้ำด้านล่าง

3.1 ออกแบบระบบการทำงานของกังหันน้ำ

ระบบการทำงานของกังหันน้ำเดิมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์ ใช้พลังงานไฟฟ้าที่ถูกแปลงมาจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยผ่านโซลาร์เซลล์ขนาด 210 วัตต์ (W) ซึ่งการคำนวณขนาดของแผงโซลาร์เซลล์ได้จากสมการ ขนาดของแผงโซลาร์เซลล์ = ค่าการใช้พลังงานรวมทั้งหมด / 6 ชั่วโมง (ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้นั้น 1 วัน) = (210 W) × 6 ชั่วโมง / 6 ชั่วโมง = 210 W ดังนั้น ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ คือ ขนาด 24 โวลต์ เนื่องจากพลังงานที่ใช้ 210 W ซึ่งแผงโซลาร์เซลล์ขนาดนี้ จะต้องใช้อุปกรณ์หรือมอเตอร์แรงดันไฟฟ้าขนาด 24 โวลต์ [13] เพื่อส่งกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์กระแสตรงขนาด 9.78 แอมป์ (A) ที่ติดตั้งอยู่กับพลูเลย์ขนาด 5.08 เซนติเมตร ส่งกำลังด้วยสายพานไปยังพลูเลย์ขนาด 25.4 เซนติเมตร ที่ติดตั้งอยู่กับเพลลา โดยปลายทั้ง 2 ข้างของเพลลาถูกติดตั้งด้วย ใบพัดกังหันน้ำขนาด 62 เซนติเมตรเพื่อใช้ในการผ่นน้ำในบ่อให้มีปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น [8] โดยหลักการทำงานจะมี

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ควบคุมหลักในการทำงาน โดยการจัดเวลาควบคุมการทำงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ และสามารถแสดงผลค่าออกซิเจนในน้ำและควบคุมการทำงาน เปิด-ปิด แสดงผลผ่านแอปพลิเคชัน Bluetooth



Terminal บนสมาร์ตโฟน [9] ดังแสดงในรูปที่ 9

รูปที่ 9 ระบบการทำงานของกังหันน้ำเติมออกซิเจน

3.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของกังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์

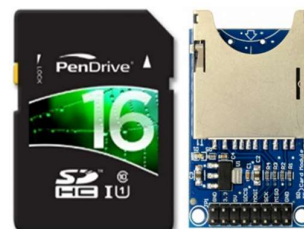
ในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมนั้น จะเป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการ เปิด-ปิด กังหันน้ำบน แอปพลิเคชัน Bluetooth Terminal บน สมาร์ทโฟน ระบบปฏิบัติการ แอนดรอยด์ โดยการส่งสัญญาณบลูทูธผ่าน โมดูล Bluetooth HC-05 ลำดับถัดไป เขียนโปรแกรมเพื่อ ควบคุมการทำงานของ เซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนในน้ำ เพื่อแสดงผลและเปรียบเทียบค่าออกซิเจนกับเครื่อง มาตรฐาน ในลำดับถัดไปเป็นการเขียนโปรแกรมควบคุมการ ตั้งเวลาการทำงาน เปิด-ปิด ของกังหันน้ำโดยผ่านโมดูล นาฬิกา DS3231 ในลำดับถัดไปเป็นการเขียนโปรแกรมใน การบันทึกค่าปริมาณออกซิเจนทุก ๆ 20 นาที โดยผ่านการ เชื่อมต่อจาก SD-Card โมดูล [6-7]

3.2.1 การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของกังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์



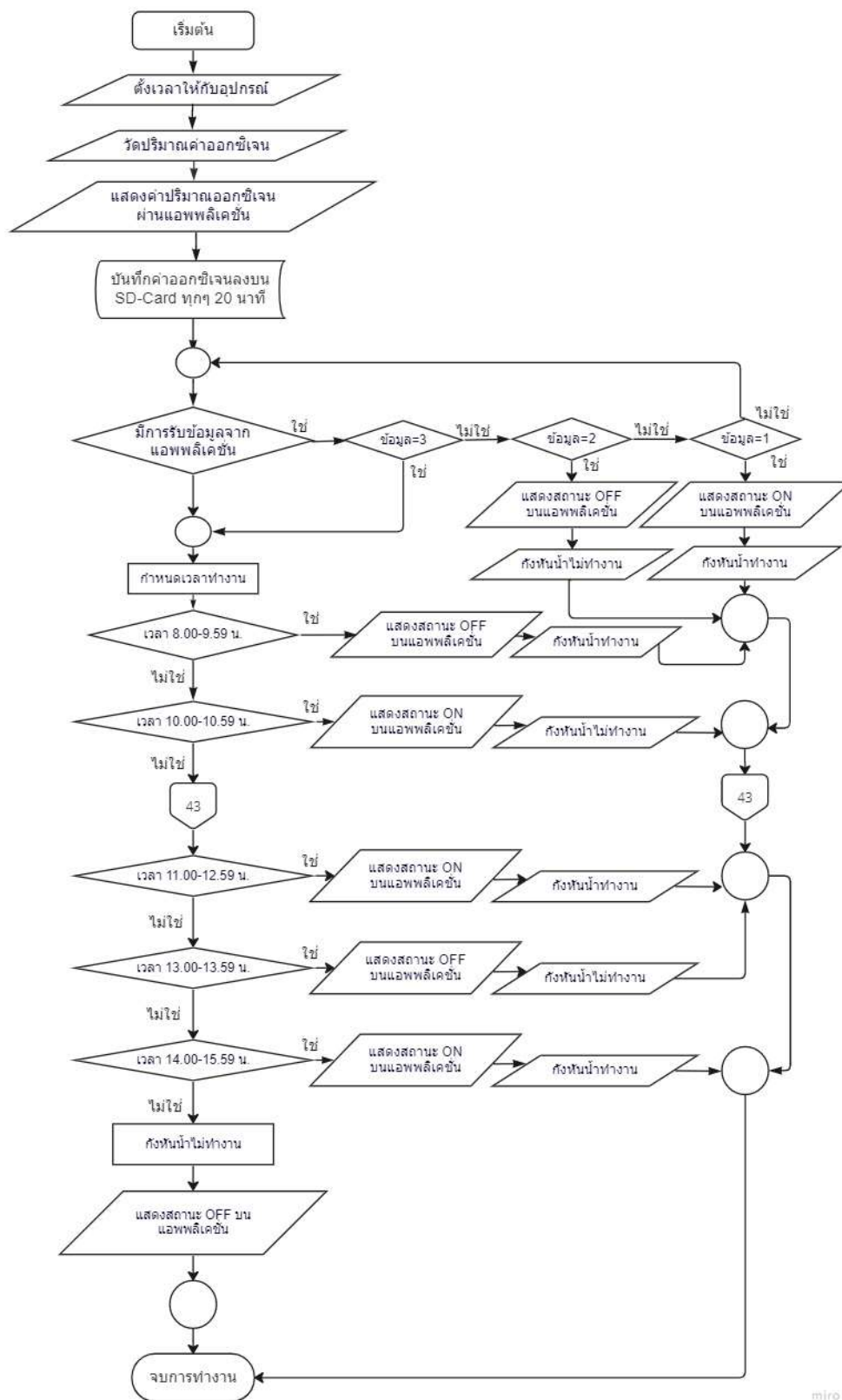
รูปที่ 10 ตัวอย่างโปรแกรม Arduino 1.8.9

การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของกังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์ได้ใช้โปรแกรม Arduino 1.8.9 ในการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ สร้างระบบควบคุมการตั้งค่าเวลาการเปิด-ปิดของกังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์ ผ่านแอปพลิเคชัน Bluetooth Terminal เชื่อมต่อด้วยสัญญาณบลูทูธกับโมดูล Hc-05 ควบคุมการทำงานด้วยรวมถึงระบบควบคุมการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าออกซิเจนในน้ำ (Do-Sensor) จะเป็นการเขียนโปรแกรมสร้างระบบการวัดค่าระดับออกซิเจนในน้ำและแสดงผลออกมาในหน่วยของระดับปริมาณของออกซิเจนในน้ำ คือ มิลลิกรัม/ลิตร และระบบยังเขียนโปรแกรมให้สามารถเก็บข้อมูลไว้เป็น Data base ของค่าการวัดระดับออกซิเจนได้โดย ระบบสามารถจะบันทึกค่าออกซิเจนลงใน SD-Card ในช่วงเวลา 08.00-16.00 นาฬิกา ซึ่งจะบันทึกทุก ๆ 20 นาที ของระยะเวลาที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพของการทำงาน ซึ่งในการเขียนโปรแกรมจะใช้โปรแกรม ภาษาซี (C++) [7] ดังแสดงในรูปที่ 10-11



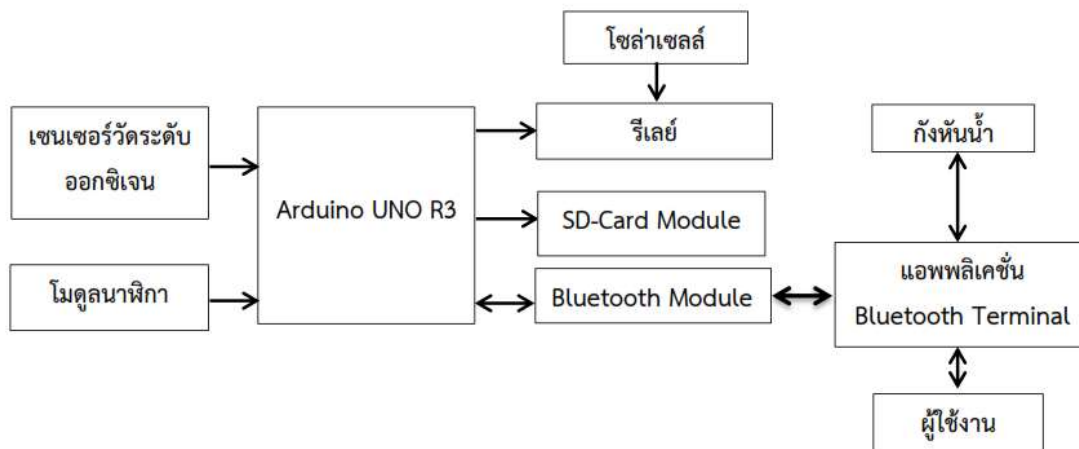
รูปที่ 11 แสดง Module SD-Card

3.3 แผนผังการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด



รูปที่ 12 ภาพผังการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด

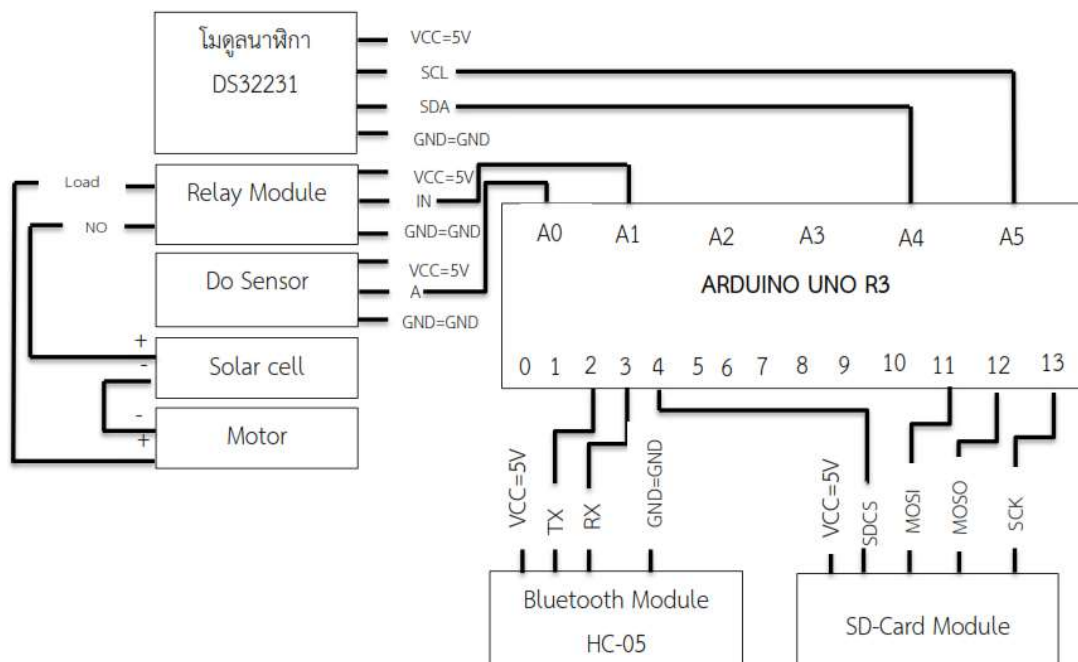
3.4 หลักการทำงานของระบบควบคุมกังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 13 แสดงบล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานของระบบควบคุมกังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อน้ำ

3.5 การออกแบบทางอิเล็กทรอนิกส์

เป็นการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับใช้ควบคุมการทำงานของกังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อน้ำ



รูปที่ 14 วงจรควบคุมกังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการทดสอบการสั่งงาน เปิด-ปิด ของกังหันน้ำเดิม ออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์ ผ่านแอปพลิเคชัน Bluetooth Terminal

ผลการทดสอบการสั่งงานการ เปิด-ปิด ของกังหันน้ำเดิม ออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์ ผ่านแอปพลิเคชัน Bluetooth Terminal เชื่อมต่อด้วยสัญญาณบลูทูธกับโมดูล Hc-05 ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ระยะ การในเชื่อมต่อไม่เกิน 15 เมตร ในที่โล่ง โดยทดสอบการ สั่งงาน เปิด-ปิด จำนวน 10 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลการทดสอบการทำงานในการ สั่งงาน เปิด-ปิด ของกังหันน้ำเดิม ออกซิเจนพลังงาน แสงอาทิตย์ ผ่านแอปพลิเคชัน Bluetooth Terminal

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เปิด	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ปิด	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ: ✓ = สามารถทำงานตามคำสั่งได้

✗ = ไม่สามารถทำงานตามคำสั่งได้

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบการสั่งงาน เปิด-ปิด กังหันน้ำเดิมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์ ผ่าน แอปพลิเคชัน Bluetooth Terminal ในการทดสอบ เปิด-ปิด เป็นจำนวน 10 ครั้ง พบว่าการทดสอบสามารถ เปิด-ปิด กังหันน้ำได้ทั้งหมด 10 ครั้ง โดยไม่มีข้อผิดพลาด

4.2 ผลการทดสอบการทำงานของกังหันน้ำ ตั้งเวลาเปิด-ปิด ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์

ผลการทดสอบการตั้งเวลาในการ เปิด-ปิด ของกังหันน้ำ ระบบจะตั้งเวลาเปิด 3 ช่วงเวลา คือ 08.00 - 10.00น. เวลา 11.00 - 13.00น. และเวลา 14.00 - 16.00น. และปิด 3 ช่วงเวลาคือ 10.00 - 11.00น. เวลา 13.00 - 14.00น.และ 16.00 น. การทดสอบนี้ทดสอบภายในหนึ่งวันของวันที่ 6 สิงหาคม 2563 ณ วัดหทัยนเรศวร อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี ดัง ตารางที่ 2 เป็นต้นไป

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลการทดสอบการทำงานในการตั้ง เวลา เปิด-ปิด

เวลา (นาท)	สถานการณ์ ทำงาน	ผลการทดสอบ
08.00	เปิด	✓
08.20-09.40	กังหันน้ำทำงาน	✓
10.00	ปิด	✓
	พักการทำงาน	
11.00	เปิด	✓
11.20-12.40	กังหันน้ำทำงาน	✓
13.00	ปิด	✓
	พักการทำงาน	
14.00	เปิด	✓
14.20-15.40	กังหันน้ำทำงาน	✓
16.00	ปิด	✓

หมายเหตุ: ✓ = สามารถทำงานตามคำสั่งที่ได้ตั้งไว้

✗ = ไม่สามารถทำงานตามคำสั่งที่ได้ตั้งไว้

จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบการตั้งเวลา เปิด-ปิด ของกังหันน้ำเดิมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยการตั้ง เวลาผ่านการเขียนโปรแกรมและควบคุมการทำงานด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการทดสอบการทำงาน จะตั้งเวลา เปิดไว้ที่ 08.00 - 11.00 น.และ 14.00 น. และปิดในเวลา 10.00 - 13.00 น. และ 16.00 น. จากการทดสอบการตั้ง เวลา เปิด-ปิด กังหันน้ำพบว่าสามารถทำงานได้ตามเวลาที่ ได้ตั้งไว้ด้วยการควบคุมผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์โดยไม่มี ข้อผิดพลาด

4.3 ผลการทดสอบการทำงานเซนเซอร์วัดระดับออกซิเจน ในการเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน

ผลการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ Do-Sensor วัดระดับออกซิเจนที่ออกแบบและสร้างขึ้น แล้วนำมาเทียบค่า ประสิทธิภาพของการทำงาน โดยการทดสอบจะทำการวัด เปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดระดับออกซิเจนมาตรฐาน Do-Meter ในการวัดระดับออกซิเจน เพื่อเปรียบเทียบค่า ปริมาณออกซิเจนและหาค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ขั้นตอนในการเทียบค่ามาตรฐานการวัดจะวัดระดับค่า ออกซิเจนในน้ำประปาในอัตราส่วนและปริมาณที่เท่ากันหลังจากนั้นก็ทำการวัดค่าออกซิเจน และอ่านค่าที่ออกมาจาก

ระบบการตรวจจับทั้ง 2 ระบบเพื่อนำค่ามา เปรียบเทียบมาตรฐาน โดยการทดสอบจะวัดค่าปริมาณค่าออกซิเจนจำนวน 10 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำประปา ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทำงานของ Do Sensor เทียบกับ Do Meter

ครั้ง	Do Meter (มิลลิกรัม/ลิตร)	Do Sensor (มิลลิกรัม/ลิตร)	Error (%)
1	5.48	5.30	3.28
2	5.56	5.38	3.24
3	5.46	5.29	3.11
4	5.65	5.49	2.83
5	5.64	5.57	1.24
6	5.37	5.30	1.30
7	5.49	5.38	2.00
8	5.34	5.28	1.13
9	5.57	5.46	1.97
10	5.66	5.50	2.82
เฉลี่ย	5.52	5.40	2.29

จากตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบการวัดค่าในน้ำประปาของเซนเซอร์ วัดระดับออกซิเจนเพื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดระดับออกซิเจนมาตรฐานเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน จากการทดสอบในการวัดค่าออกซิเจนในน้ำประปาจำนวน 10 ครั้ง ค่าเฉลี่ยของเซนเซอร์ วัดระดับออกซิเจนค่าที่วัดได้คือ 5.52 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนเครื่องวัดระดับออกซิเจนมาตรฐานค่าที่วัดได้คือ 5.40 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 2.29 (%)

4.4 ผลการทดสอบค่าออกซิเจนลงบน SD-Card ทุก ๆ 20 นาที เพื่อเปรียบเทียบค่าออกซิเจนกับเครื่องวัดระดับออกซิเจนมาตรฐาน เป็นระยะเวลา 10 วัน

ผลการทดสอบการบันทึกค่าออกซิเจนในบ่อน้ำ เพื่อนำค่าออกซิเจนมาเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการใช้งานกังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อดูแนวโน้มว่าค่าออกซิเจนเป็นไปในทิศทางใดเพื่อที่จะบันทึกและสรุปผลการ

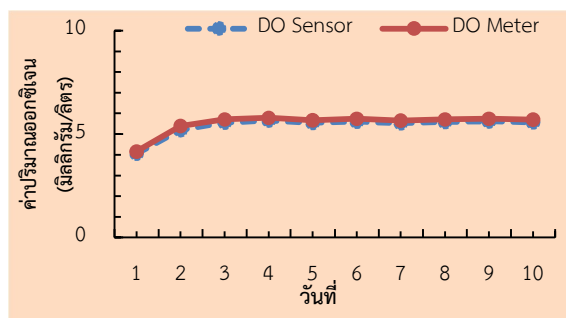
ทดลอง โดยการบันทึกค่าออกซิเจนของเครื่องวัดระดับออกซิเจนมาตรฐานเปรียบเทียบกับเซนเซอร์ [12] วัดระดับออกซิเจน ซึ่งเซนเซอร์ วัดระดับออกซิเจนจะบันทึกค่าออกซิเจนลงใน SD-Card ตั้งแต่วันที่ 08.00-16.00 น. ซึ่งจะบันทึกทุก ๆ 20 นาที เป็นระยะเวลา 10 วัน ตั้งแต่วันที่ 3 สิงหาคม 2563 ถึง 12 สิงหาคม 2563 ณ วัดหทัยเรศวร อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี

ตารางที่ 4 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยค่าปริมาณออกซิเจนของเซนเซอร์ (Sensor) วัดระดับออกซิเจน และเครื่องวัดระดับออกซิเจนมาตรฐาน ตั้งแต่วันที่ 3- 12 สิงหาคม 2563

วันที่ใน สิงหาคม	Do Sensor (มิลลิกรัม/ลิตร)		Do Meter (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	ก่อนหมุน	หลังหมุน	ก่อนหมุน	หลังหมุน
3	3.32	4.05	3.38	4.16
4	3.81	5.19	3.85	5.40
5	3.74	5.56	3.82	5.71
6	4.10	5.65	4.28	5.79
7	4.29	5.54	4.36	5.67
8	4.27	5.60	4.25	5.74
9	4.32	5.52	4.39	5.66
10	4.45	5.58	4.51	5.72
11	4.38	5.61	4.46	5.74
12	4.36	5.57	4.40	5.70
เฉลี่ย	4.10	5.39	4.17	5.53

จากตารางที่ 4 ตารางการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าออกซิเจนในน้ำของเซนเซอร์ วัดระดับออกซิเจนกับเครื่องวัดระดับออกซิเจนมาตรฐาน ก่อนหมุนและหลังหมุนของกังหันน้ำในแต่ละวันเป็นระยะเวลา 10 วัน โดยค่าออกซิเจนเฉลี่ยก่อนหมุนของเซนเซอร์วัดระดับออกซิเจนที่วัดได้อยู่ที่ 4.13 มิลลิกรัม/ลิตร และเครื่องเทียบมาตรฐานอยู่ที่ 4.4 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าออกซิเจนเฉลี่ยหลังหมุนของเซนเซอร์

วัดระดับออกซิเจนที่วัดได้อยู่ที่ 5.39 มิลลิกรัม/ลิตร และ เครื่องเทียบมาตรฐานอยู่ที่ 5.53 มิลลิกรัม/ลิตร



รูปที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจน ในระหว่าง วันที่ 3 - 12 สิงหาคม 2563

จากกราฟที่ 1 แสดงค่าปริมาณออกซิเจนของเซนเซอร์ ตรวจวัดระดับออกซิเจนเปรียบเทียบกับปริมาณออกซิเจนที่วัด ได้กับเครื่องมาตรฐานเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าวันที่ 1 ค่า ออกซิเจนที่เซนเซอร์วัดระดับออกซิเจนวัดได้คือ 4.05 มิลลิกรัม/ลิตร และ เครื่องมาตรฐานวันได้ 4.16 มิลลิกรัม/ ลิตร ซึ่งแนวโน้มออกซิเจนเพิ่มขึ้นตามลำดับโดยในวันที่ 10 ค่า ออกซิเจนที่เซนเซอร์วัดระดับออกซิเจนวัดได้เพิ่มขึ้น 1.52 มิลลิกรัม/ลิตร และ เครื่องมาตรฐานวันได้เพิ่มขึ้น 1.54 มิลลิกรัม/ลิตร

5. วิจัยและสรุปผล

ระบบกังหันน้ำเติมออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับ บ่อน้ำ โดยมีหลักการใช้โซลาร์เซลล์แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ มาเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อ ขับเคลื่อนกังหันน้ำให้เพียงพอต่อการใช้งานโดยจะทดสอบ การสั่งงาน เปิด-ปิด ของกังหันน้ำจากผู้ใช้ผ่าน แอปพลิเคชัน Bluetooth Terminal สามารถทำงานการตั้ง เวลา เปิด-ปิด อัตโนมัติ และควบคุมการทำงานผ่าน ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้แสดงสถานะบนหน้าจอ โทรศัพท์มือถือรุ่นสมาร์ตโฟน ได้ในระบบแอนดรอยด์ได้จริง ซึ่งได้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยซึ่งเน้นการออกแบบ กังหันน้ำสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนในบ่อน้ำได้ โดยใช้ พลังงานแสงอาทิตย์และระบบสามารถตรวจวัดปริมาณ ออกซิเจนในน้ำและบันทึกค่าปริมาณของออกซิเจนในน้ำ แสดงผลผ่านแอปพลิเคชันบน สมาร์ทโฟน ได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้มีข้อที่ได้เปรียบด้านเทคโนโลยี และระบบควบคุมอัตโนมัติ เมื่อเทียบกับงานวิจัยที่มีการ พัฒนามาแล้ว โดยจะมีหลักการทำงานที่มีการการสั่งงาน เปิด-ปิด ของกังหันน้ำจากผู้ใช้งานหรือการเปิด-ปิด ระบบ จากการกดสวิตช์ไฟนั่นเอง [10-12]

ประสิทธิภาพการทำงานของกังหันน้ำเติมออกซิเจน พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อน้ำ สามารถใช้โซลาร์เซลล์ แปลงพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่าย กระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนกังหันน้ำให้ เพียงพอต่อการใช้งานโดยจะทดสอบการสั่งงาน เปิด-ปิด ของกังหันน้ำจากผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน Bluetooth Terminal ด้วยสัญญาณบลูทูธ ผลการทดสอบพบว่ากังหัน น้ำสามารถทำงานได้ตามคำสั่งที่ได้ตามตั้งไว้ทุกช่วงเวลาและ สามารถสั่งการเปิด-ปิดผ่านแอปพลิเคชัน Bluetooth Terminal ได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด พบว่ามีค่าปริมาณ ออกซิเจนในน้ำก่อนติดตั้งกังหันน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.13 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณออกซิเจนในน้ำเมื่อติดตั้งกังหัน น้ำในบ่อน้ำแล้วพบว่าปริมาณออกซิเจนมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.46 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการติดตั้ง จะพบว่าปริมาณออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นเฉลี่ยอยู่ที่ 1.33 มิลลิกรัม/ลิตร

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเรื่อง กังหันน้ำเติม ออกซิเจนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อน้ำ Aerator in water with solar energy for pond ซึ่งได้รับทุนอุดหนุน การวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏ บ้านสมเด็จเจ้าพระยา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ขอขอบพระคุณที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยเพื่อการดำเนิน โครงการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] National Science and Technology Development Agency. Solar Energy Benefits. [Online]. [Cited July 15, 2021]. Available: <https://mnre.go.th>

- [2] P. Thataphan. Solar cell. [Online]. (2018). [Cited October 30, 2021]. Available: <https://medium.com/@Horizoniiz>
- [3] C. Wonggeiy. Solar-powered water-oxygenator research for fish breeding ponds. [Online]. (2018). [Cited July 20, 2021]. Available: <https://www.rdi.rmutsb.ac.th/>
- [4] Solar Energy. (2018). Title. Components of solar cells. [Online]. (2018). [Cited July 20, 2021] Available:<https://solarenergy-th.blogspot.com/>
- [5] T. Musika. (2018). Title. Air fill Water Turbine With Solar Energy. [Cited October 13, 2021]. Available: <http://rdi.rmutsb.ac.th/>
- [6] Trossen Robotics. Title Aduino UNO. (2018). [Cited September 13, 2021]. Available: <https://trossenro-botics.com/>
- [7] OSPREY SCIENTIFIC INC. (2021). Title. Do meter Sensor Do-450. [Online]. (2021). [Cited October 20, 2021]. Available: <https://Osprey-scientific.com>
- [8] Daiichi Plastic Co., Ltd. (2018).Title. Water turbine buoyancy. [Online]. (2021). [Cited June 9, 2018] Available: <https://mallc3.com/>
- [9] Protronics Company Intertrade Co., Ltd. (Title. Oxygen level sensor. [Online]. (2021). [Cited June 15, 2018] Available: <http://protronics.co.th/>
- [10] M. Prabha, M. Seema and P. Saraswathi. “Distance based Accident Avoidance System using Arduino,” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 2 no.7, pp’777-780, Oct. 2015.
- [11] P. MhahaMai, W. Wiraya, Turbine Oxygen Generator Solar Powered Co-Op Reverse Power For Fish Pond. (2018). [Cited September 17, 2021].Available: <http://journal.up.ac.th/>. 2018
- [12] P. Suwannapet. Microcontroller Teaching Materials. [Online]. (2018). [Cited August 14, 2018]. Available: <https://www.praphas.com/>. 2018
- [13] SolarHub, Calculate and design solar systems. [Online]. (2021). [Cited June 14, 2021]. Available: <https://www.solarhub.co.th/solar-information/solar-design/>. 2021

การพัฒนาเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหล้าใช้ของชุมชน ระบบกึ่งอัตโนมัติ

Development on Semi-Automated Plastic Bottle and Cans Compression Machine for Community

กฤษณ์ชากริตส ณ วัฒนประเสริฐ*, กุสุมา ผลาพรหม, อภิสิทธิ์ อุปกิจ, สุทัศน์ ดอนภูมา,
สินีนารถ สงวนศรี, พัฒนพงษ์ สุหน้านาง และ วริศ เดชะรินทร์
Kritchakhri Nawattanaprasert*, Kusuma Palaprom, Apisit Upakit, Suthat Donpuma,
Sineenat Sanguansri, Pattanapong Suyanang and Warit Decharin

สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
Department of Industrial Management Technology and Innovation, Faculty of Industrial Technology,
Phranakhon Rajabhat University

*Email: kritchakhri@pnru.ac.th

Received: March 22, 2022; Revised: June 27, 2022; Accepted: July 01, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบมีส่วนร่วมระหว่างคณะผู้วิจัยกับชุมชนหมู่บ้านถนนโค้ง อำเภอยะบะดี จังหวัดลพบุรี โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อวิเคราะห์สภาพเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหล้าใช้ของชุมชน 2) เพื่อพัฒนาเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหล้าใช้ของชุมชนระบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและประหยัดพื้นที่ใช้สอยได้มากขึ้น 3) เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายของเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหล้าใช้ของชุมชน ผลการวิจัยพบว่าขนาดที่สามารถอัดขวดพลาสติกมีประสิทธิภาพสูงสุด คือขวดพลาสติกปริมาณ 550 มิลลิลิตร ขนาดความสูงก่อนบีบ 23.0 เซนติเมตร เวลาที่ใช้ในการอัด 2.81 วินาที ขนาดความสูงหลังบีบ 1.8 เซนติเมตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเท่ากับคิดเป็นร้อยละ 62.71 และขนาดที่สามารถอัดกระป๋องมีประสิทธิภาพสูงสุด คือกระป๋องปริมาณ 320 มิลลิลิตร ขนาดความสูงก่อนบีบ 14.5 เซนติเมตร เวลาที่ใช้ในการอัด 2.25 วินาที ขนาดความสูงหลังบีบ 5.0 เซนติเมตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การยุบตัวร้อยละ 65.52 ซึ่งผ่านเกณฑ์ตามที่กำหนดไว้ในระดับคุณภาพดี และสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหล้าใช้จากราคาท้องตลาดราคาเครื่องละ 10,154 บาท ลดต้นทุนเหลือเพียง 7,700 บาทต่อเครื่อง คิดเป็นร้อยละ 24 ซึ่งเป็นประโยชน์ทั้งด้านการใช้งานและการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายให้กับชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : เครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋อง, ระบบกึ่งอัตโนมัติ, ประสิทธิภาพ

Abstract

This research is a participatory research between the research team and Thanon Khong village community at Chai Badan District, Lopburi. The objectives are to: 1) analyze the condition of plastic bottle and cans compression machine for the community, 2) develop a semi-automated plastic bottle and cans compression machine for the community in order to increase the efficiency of use and save more space, and 3) compare the cost of plastic compressions and community waste cans. The research results found that the size of a plastic bottle that could be compressed the most efficient was 550 ml. and 23.0 cm. height before compression, within the compression time of 2.81 seconds it had been reduced to 1.8 cm. height, a 62.71 percent of the collapse; and for the can size that can be canned with maximum efficiency is 320 ml. at the height of 14.5 cm. before squeezing, within the compression time of 2.25 seconds, it had been reduced to 5.0 cm. height, a 65.52 percent of the collapse. This experiment passed the specific criteria of good quality level. Moreover, it can reduce the cost of production of plastic bottle and cans compression machines from the market price of 10,154 to 7,700 baht per device, a 24 percent of reduction. This is beneficial for both usage and cost reduction for the community effectively.

Keywords : Plastic bottle and cans compression machine, Semi-automatic system, Efficiency

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

จากอดีตที่ผ่านมาเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องในอุตสาหกรรมที่มีมากแต่ยังขาดประสิทธิภาพและด้วยการพัฒนาด้านเทคโนโลยีให้ทันสมัย จากการวิจัยและพัฒนาเครื่องอัดขวดพลาสติกในอดีต นพดล เสียงหวาน [1] ได้ศึกษาการสร้างเครื่องอัดขวดพลาสติก พบว่าการอัดขวดพลาสติกแบบเดิมซึ่งอัดขวดพลาสติกได้ช้า และไม่ปลอดภัยในการใช้แรงงานคนจำนวนมาก เกิดความเมื่อยล้าในการทำงาน เมื่อพัฒนาเครื่องอัดขวดพลาสติกแล้ว สามารถอัดขวดพลาสติกได้ในเวลาที่เร็วขึ้นกว่าเดิมจากขนาดของขวดพลาสติกที่ต่างกัน และมีความปลอดภัยเพิ่มขึ้น ซึ่งในปัจจุบันเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องถูกนำมาใช้และมีบทบาทสำคัญในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น เพื่อทดแทนการใช้แรงงานจากคนในการทำงานเพื่อดำเนินการให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และมีเครื่องมืออุปกรณ์ที่จะช่วยลดขั้นตอนในการอัดขวดพลาสติกและกระป๋องได้ ซึ่งในอดีตราคาอุปกรณ์ และเทคโนโลยีในยุคสมัยนั้นค่อนข้างสูงมาก รวมไปถึงปัญหาในการจัดเก็บขวดพลาสติกและกระป๋องที่ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บเป็นจำนวนมากและบางครั้งอาจไม่

เพียงพอต่อการจัดเก็บ เมื่อยุคสมัยเปลี่ยนไป จึงมีการคิดค้นเครื่องจักรที่สามารถอัดขวดพลาสติกและกระป๋องขึ้นมาเพื่อให้เหมาะสมกับการปฏิบัติงานและใช้ประโยชน์จากเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องให้ได้มากที่สุด ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องขึ้นมาเรื่อยๆ เพื่อให้ความสะดวกต่อการใช้งาน รวมถึงความสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและการแยกขยะแต่ละประเภทและช่วยลดพื้นที่ในการจัดเก็บขยะจากขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ได้

ปัจจุบันการใช้งานเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องของชาวบ้านชุมชนบ้านถนนโค้ง อำเภอยะบะดี จังหวัดลพบุรี ซึ่งยังขาดประสิทธิภาพในการอัดขวดพลาสติกและกระป๋อง เนื่องจากแรงอัดของตัวเครื่องที่มีประสิทธิภาพของเวลาที่ใช้ในการอัดและการยุบตัวที่ยังไม่ดีพอ ซึ่งทำให้ขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชนไม่มีการบีบตัวลดลงตามขนาดที่ต้องการ รวมถึงขนาดของตัวเครื่องอัดขวดและกระป๋องที่มีขนาดใหญ่ มีน้ำหนักที่ค่อนข้างมาก เพราะวัสดุที่ใช้ทำจากเหล็กที่มีขนาดใหญ่เกินไป ซึ่งส่งผลให้การจัดเก็บจำเป็นต้องใช้พื้นที่มากในการจัดเก็บตัวเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋อง และยังเป็นผลให้การปฏิบัติงานที่ยากและลำบากต่อการเคลื่อนย้ายในแต่ละครั้งในการใช้งานของ

ชาวบ้านในชุมชน เพื่อให้เครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชนที่ได้รับการพัฒนาสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพของแรงและเวลาที่ใช้ในการอัดที่สามารถยุบตัวของขวดพลาสติกและกระป๋อง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุดและต่อยอดการพัฒนา รวมไปถึงการให้ความรู้ในการใช้งาน

จากเหตุผลข้างต้นทำให้คณะผู้วิจัยสนใจที่จะพัฒนาเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานให้สามารถบีบอัดขวดพลาสติกและกระป๋องได้ดียิ่งขึ้น และมีขนาดเครื่องที่เล็กลงเหมาะสมกับเวลาในการใช้งาน ทั้งยังมีน้ำหนักที่เบาลงเพื่อให้มีความสมดุลกับตัวเครื่องและสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายในแต่ละครั้งในการใช้งาน ทั้งยังเป็นการลดพื้นที่ในการจัดเก็บและลดต้นทุนค่าใช้จ่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อวิเคราะห์สภาพเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชน

2.2 เพื่อพัฒนาเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชนระบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานและประหยัดพื้นที่ใช้สอยได้มากขึ้น

2.3 เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายของเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชน

3. ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ ชาวบ้านชุมชนถนนโค้งอำเภอชัยบาดาล จำนวน 10 ครัวเรือน วัสดุ อุปกรณ์ และชิ้นส่วนประกอบ ราคาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชน

4. การทบทวนวรรณกรรม

4.1 แนวคิดและทฤษฎีการเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน

รักษศักดิ์ บุญสิทธิ์ [2] ได้กล่าวถึงความสำคัญของคุณภาพการปฏิบัติงานไว้ว่า ทำให้ผู้บริหารสามารถกำหนดกิจกรรมที่ต้องดำเนินการตามลำดับขั้นตอนของ

กิจกรรมต่างๆ กล่าวคือสามารถพิจารณาความจำเป็นและลำดับขั้นตอนของกิจกรรมและการวิเคราะห์กำหนดความเหมาะสมทั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ ทำให้เกิดการออกแบบกระบวนการผลิตที่ดีได้ ลดต้นทุน อีกทั้งยังเกิดประสิทธิภาพการปฏิบัติงานและยังสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของงานตามที่ต้องการได้

ตารางที่ 1 แสดงเกณฑ์การหาประสิทธิภาพการอัดขวดพลาสติก

ครั้งที่	ขวดที่	ขนาดความสูง ก่อนบีบ (มม.)	ขนาดความสูง หลังบีบ (มม.)	เปอร์เซ็นต์การยุบตัว (ร้อยละ)
1	1	230	128	44.34
	2	230	122	46.96
	3	230	120	47.83
2	1	230	130	43.48
	2	230	122	46.96
	3	230	123	46.52
3	1	230	131	43.04
	2	230	124	46.09
	3	230	127	44.78
4	1	230	118	48.70
	2	230	121	47.39
	3	230	125	45.65
5	1	230	131	43.04
	2	230	126	45.22
	3	230	131	43.04
การยุบตัวเฉลี่ย	-	230	126.4	45.04

ศทวรุธ พรหมายน [3] ได้ให้ความหมายของคำว่าประสิทธิภาพในการบริหารงานด้านทางธุรกิจ ในความหมายอย่างแคบว่าหมายถึง การลดต้นทุนในการผลิตและความหมายอย่างกว้าง หมายถึงคุณภาพของการมีประสิทธิผล (Quality of effectiveness) และความสามารถในการผลิต (Competence and capability) และ ในการดำเนินงานทางด้านธุรกิจที่จะถือว่ามี ประสิทธิภาพสูงสุด ก็เพื่อสามารถผลิตสินค้า หรือบริการในปริมาณและคุณภาพที่ต้อง การที่เหมาะสมและต้นทุนน้อยที่สุดเพื่อคำนึงถึง

สถานการณ์และข้อผูกพันด้านการเงินที่มีอยู่ ดังนั้น แนวความคิดของคำว่าประสิทธิภาพในด้านธุรกิจมีองค์ประกอบ 5 ประการ คือ ต้นทุน (Cost) คุณภาพ (Quality) ปริมาณ (Quantity) และวิธีการ (Method) ในการผลิต

สมศักดิ์ สงวนเดือน [4] ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและกำหนดเกณฑ์การหาประสิทธิภาพการอัดขวดพลาสติกและกระป๋อง โดยกำหนดเกณฑ์เปอร์เซ็นต์การยุบตัวเฉลี่ยร้อยละ 45.05 จึงจะผ่านเกณฑ์การหาประสิทธิภาพการยุบตัวของ การบีบขวดพลาสติกและกระป๋อง ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 2 แสดงเกณฑ์การหาประสิทธิภาพการอัดกระป๋อง

ครั้งที่	ขนาดก่อนบีบ (เซนติเมตร)	ขนาดหลังบีบ (เซนติเมตร)
1	12	4
2	12	3.8
3	12	4.2
4	12	4
5	12	3.9

สรุปได้ว่าประสิทธิภาพ หมายถึง การปฏิบัติงานที่นำไปสู่ผลสำเร็จโดยมีการประเมินกระบวนการต่าง ๆ โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างประหยัดและให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยอยู่บนพื้นฐานความเป็นระบบ มีเกณฑ์กำหนดในการประเมินการทดสอบการทำงานของเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องด้านเวลา ด้านคุณภาพ ด้านผลิตภัณฑ์ ด้านต้นทุน และด้านการนำไปใช้ประโยชน์ที่ดีขึ้นกว่าเดิม

4.2 แนวคิดและทฤษฎีการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรกล

วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชวัญ ถนังงาน [5] ได้กล่าวว่า การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเกี่ยวข้องกับการออกแบบรูปร่าง พื้นฐานทางด้านการคำนวณและหลักการเลือกใช้วัสดุสำหรับทำชิ้นส่วนตามความเหมาะสมกับการใช้เครื่องจักรกล และกับชิ้นงานในลักษณะต่าง ๆ กัน การออกแบบเครื่องจักรกลเป็นศิลปะของการพัฒนาทางด้านการคิดใหม่ ๆ ทางด้านเครื่องจักรกล แล้วแสดงความคิดเห็นลงบนกระดาษในรูปของแบบเครื่องจักรกลใหม่ ๆ จะเกิดขึ้นได้ ก็เพราะความต้องการในการใช้งาน และเกิดจาก

มโนภาพที่ได้จากบุคคลหลายฝ่าย เช่น ผู้ใช้เครื่องจักรกล ผู้ผลิตเครื่องจักรกล ดังนั้นด้วยผลจากความคิดเห็นต่าง ๆ ทำให้เกิดการดัดแปลงปรับปรุงเครื่องจักรกลอยู่ตลอดเวลา และค้นพบวิธีการแก้ปัญหาต่าง ๆ อย่างมาก จนกระทั่งพบวิธีที่ดีที่สุด สิ่งหนึ่งที่จะขาดเสียไม่ได้ก็คือศิลปะในการออกแบบ ผู้ออกแบบที่ดีควรมีศิลปะในการออกแบบด้วยศิลปะการออกแบบอาจอธิบายได้ดังนี้คือ ผู้ออกแบบใช้ความสามารถในการประยุกต์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ สร้างแบบที่สามารถผลิตได้โดยวิธีการทางวิศวกรรมซึ่งไม่เพียงแต่จะทำงานได้เท่านั้น แต่จะต้องผลิตได้โดยวิธีที่ประหยัดที่สุดและทำงานได้ดีมีประสิทธิภาพที่สุด

พุลพร แสงบางปลา [6] ได้กล่าวถึงการพัฒนาเครื่องจักรกลเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและยังก่อให้เกิดความเชื่อมโยงไปข้างหน้าและหลังกับสาขาการผลิตต่าง ๆ อีกมาก เป็นพื้นฐานอันสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมในประเทศ การพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลยังมีสภาพไร้ทิศทาง โดยภาครัฐบาลยังไม่มีนโยบายส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลโดยตรงทำให้อุตสาหกรรมยังไม่สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้ ในปัจจุบันประเทศไทยอาศัยการนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศอยู่มาก ดังนั้น เพื่อให้การพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลเป็นไปในแนวทางที่เหมาะสมและสอดคล้องกับการพัฒนาประเทศ

4.3 แนวคิดและทฤษฎีวัสดุเหลือใช้

มานพ ต้นตระกูลบัณฑิตย์ [7] ให้ความหมายของพลาสติกว่าเป็นพลาสติกที่เป็นผลิตผลจากขบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ด้วยวิธีการสังเคราะห์จากวัตถุดิบ เช่น น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติและถ่านหิน เป็นต้น วัสดุอินทรีย์ เพราะเกิดจากการรวมตัวของคาร์บอนยกเว้นพลาสติกซิลิโคน แทนที่จะเป็นคาร์บอนกลับเป็นซิลิคอน พลาสติกจะเป็นวัสดุมวลโมเลกุล

ในปัจจุบันพลาสติกเข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์เรามาก ทั้งของเล่น อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องประดับ รวมถึงภาชนะบรรจุสินค้าต่าง ๆ มากมาย พลาสติกที่นำมาใช้เหล่านี้มีหลายชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ในบรรดาของที่ทำด้วยพลาสติกดังกล่าว พลาสติกเพื่อการบรรจุหีบห่อ นับว่าได้รับความสนใจเป็น

พิเศษ ทั้งในเชิงการค้า การตลาด และอุตสาหกรรม มีอัตรา การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นสูงมาก แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทภาชนะบรรจุชนิดแข็ง (Rigid Container) เช่น ขวด น้ำมันพืช ขวดนม กล่องโฟม ถาดพลาสติก และประเภท ภาชนะบรรจุชนิดอ่อนตัวได้ (Flexible Container) เช่น ถุง ใส่เนื้อแข็ง ถุงขนม ถุงหิ้วทั้งหลาย รวมทั้งฟิล์มห่ออาหาร สกินแพค (Skin Pack) และบิสเตอร์แพค (Blister Pack) จะเป็นภาชนะพลาสติกที่ทำจากแผ่นพลาสติก ที่ขึ้นรูปด้วย ความร้อนแล้วนำมาประกบหรือประกอบกระดาดแข็ง ซึ่ง แผ่นพลาสติกดังกล่าวทำมาจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ตัวอย่างเช่นเครื่องเขียน แปรงสีฟัน เป็นต้น

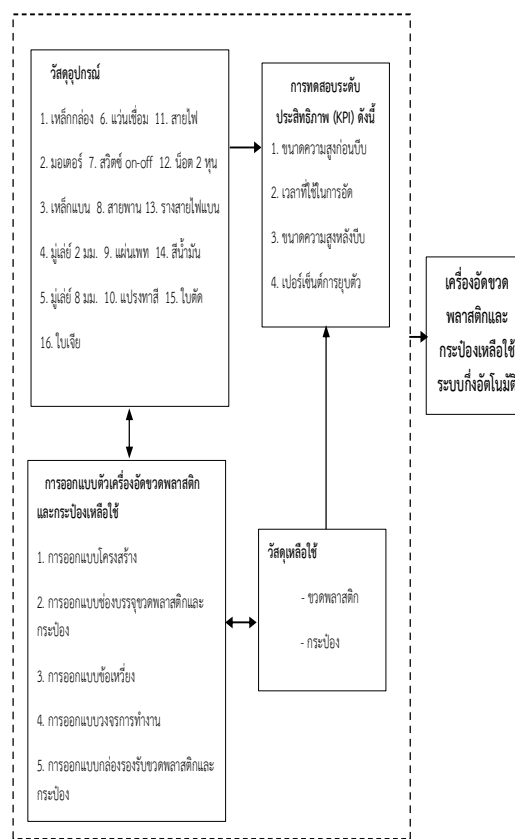
4.4 แนวคิดและทฤษฎีต้นทุนและต้นทุนการผลิต

มนวิภา ผดุงสิทธิ์ [8] กล่าวว่าไว้ว่า ต้นทุน (Cost) หมายถึง มูลค่าของทรัพยากรที่องค์กรใช้ประโยชน์เพื่อให้ บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ได้กำหนดไว้ เช่น ต้นทุนของ วัตถุดิบและแรงงานที่เกิดขึ้นเพื่อผลิตสินค้าหรือบริการ และ เมื่อต้นทุนได้ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อธุรกิจแล้ว ต้นทุนส่วนนั้น จะเปลี่ยนสภาพไปเป็นค่าใช้จ่าย (Expense) ซึ่งจะนำไปหัก จากรายได้ในแต่ละงวดบัญชี

โสธญา ม่วงกรุง [9] ให้ความหมายของคำว่า ต้นทุนการ ผลิต หมายถึง ต้นทุนที่ทำให้ได้สินค้าสำเร็จรูปใด ๆ ประกอบด้วย วัตถุดิบทางตรง ที่เบิกใช้ในการผลิต แรงงาน ทางตรงที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายในการ ผลิต เมื่อทั้ง 3 ส่วนประกอบ ได้เข้าสู่ขั้นตอนต่าง ๆ ของการ ผลิตก็จะถูกแปรสภาพเป็นสินค้าสำเร็จรูป โดยการจำแนก ประเภทต้นทุนแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ ต้นทุนตาม ระยะเวลา ต้นทุนตามลักษณะการดำเนินงาน ต้นทุนตาม ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ ต้นทุนตามปริมาณกิจกรรม ต้นทุนเพื่อการควบคุมและวัดผลการปฏิบัติงาน ต้นทุนเพื่อ การตัดสินใจ

5. กรอบแนวคิดการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาจากเอกสาร ตำรา แนวคิดทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำมาประมวลผลเป็นกรอบ แนวคิดการวิจัย ดังนี้



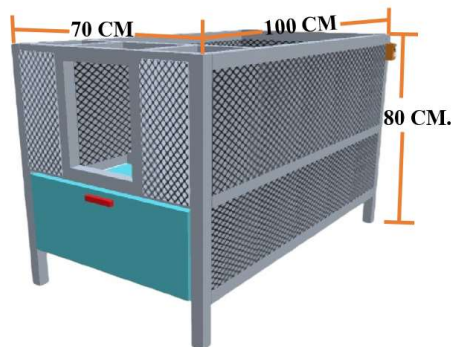
รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

6. วิธีการดำเนินการวิจัย

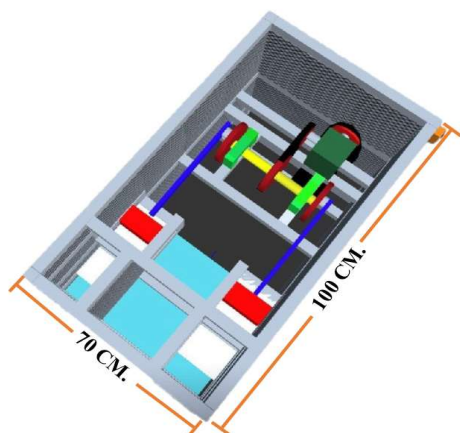
คณะผู้วิจัยใช้เทคนิคการวิจัยแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research: PAR) โดย กระบวนการวิจัยเน้นการวิจัยที่เป็นแบบผสมผสาน (Mixed Method Research: MMR) ซึ่งประกอบด้วย การศึกษาวิจัย เชิงคุณภาพ (Qualitative Research Method) และ การศึกษาวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research Method) โดยมีขั้นตอน 8 ขั้นตอนดังนี้

6.1 ศึกษาข้อมูลทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องอัด ขวดพลาสติกและกระป๋องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการ ปฏิบัติงาน เช่น การดัดแปลงโครงสร้างให้มีขนาดเล็กลง และเพิ่มประสิทธิภาพแรงอัดในการอัดขวดพลาสติกและ กระป๋องของตัวเครื่องให้ดีขึ้นจากเดิม เพื่อให้ได้เครื่องอัด ขวดพลาสติกและกระป๋องแบบใหม่

6.2 ออกแบบโครงสร้างเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ โดยการเขียนแบบโครงสร้าง ช่องบรรจุขวดพลาสติกและกระป๋อง ข้อเหวี่ยงสำหรับอัด วงจรการทำงาน ฟังก์ชันทางเลือกการใช้งาน และกล่องรองรับขวดพลาสติกและกระป๋องหลังการอัด ดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 โครงสร้างภายนอก



รูปที่ 3 โครงสร้างภายใน

6.3 สร้างเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้

6.4 ประกอบชิ้นส่วนเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋อง ดังรูปที่ 4, 5 และ 6



รูปที่ 4 การประกอบชิ้นส่วนและมอเตอร์



รูปที่ 5 การประกอบสายไฟและสวิตช์ เปิด-ปิด



รูปที่ 6 การประกอบข้อเหวี่ยงและกระบอกสูบ

6.5 ทดสอบระบบการทำงานของเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องผลปรากฏว่าเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและผลการทดสอบของเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องสามารถทำการอัดได้ตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 7, 8 และ 9



รูปที่ 7 การทดสอบการอัดและยุบตัวของพลาสติก



รูปที่ 8 การทดสอบการอัดและยุบตัวของกระป๋อง



รูปที่ 9 การอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้

6.6 สรุปผลการทดสอบและการใช้งานของเครื่องอัดขวด

พลาสติกและกระป๋องเหลือใช้

6.7 เปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตเครื่องอัดขวด

พลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชน

6.8 จัดทำรูปแบบรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์และเผยแพร่เพื่อ
การนำไปใช้ประโยชน์

7. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่อง
อัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชน โดยการนำ
ขวดและกระป๋องเหลือใช้ที่มีขนาดและความสูงแตกต่างกัน
มาใช้ในการทดสอบ ดังตารางที่ 3, 4, 5 และ 6

ตารางที่ 3 แสดงการหาประสิทธิภาพการอัดขวดพลาสติก

ขนาดของ ขวด (ปริมาตร สุทธิ : มล.)	ขนาด ความ สูง ก่อน การอัด บีบ (ซม.)	เวลาที่ ใช้ใน การอัด (วินาที)	ขนาด ความ สูง หลัง การบีบ (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ การยุบตัว (ร้อยละ)	เกณฑ์ มาตรฐาน
350 มล.	20.5	2.90	8.9	56.59	ผ่าน
500 มล.	24.0	3.03	11.2	53.33	ผ่าน
550 มล.	23.0	2.81	1.8	62.17	ผ่าน
600 มล.	23.5	2.97	9.7	58.72	ผ่าน

ตารางที่ 4 แสดงการหาประสิทธิภาพการอัดกระป๋อง

ขนาดของ กระป๋อง (ปริมาตร สุทธิ : มล.)	ขนาด ความ สูง ก่อน การอัด บีบ (ซม.)	เวลาที่ ใช้ใน การอัด (วินาที)	ขนาด ความ สูง หลัง การบีบ (ซม.)	เปอร์เซ็นต์ การยุบตัว (ร้อยละ)	เกณฑ์ มาตรฐาน
180 มล.	10.3	2.34	5.1	50.49	ผ่าน
320 มล.	14.5	2.55	5.0	65.52	ผ่าน
325 มล.	14.5	2.32	6.5	55.17	ผ่าน
490 มล.	16.5	2.09	8.5	48.4	ผ่าน

ตารางที่ 5 แสดงการสรุปผลการทดสอบการอัดขวดพลาสติก

ขนาดของขวดพลาสติก	จำนวนครั้งที่					เกณฑ์มาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
	1	2	3	4	5	
350	51.9	52.6	51.2	52.6	56.5	ผ่าน
500	56.2	57.0	56.2	55.0	53.3	ผ่าน
550	47.8	50.0	50.4	54.3	62.1	ผ่าน
600	59.5	61.7	65.9	60.4	58.7	ผ่าน

ตารางที่ 6 แสดงการสรุปผลการทดสอบการอัดกระป๋อง

ขนาดของกระป๋อง	จำนวนครั้งที่					เกณฑ์มาตรฐาน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
	1	2	3	4	5	
180	47.57	44.66	49.51	51.45	50.49	ผ่าน
320	34.82	46.21	47.72	55.17	65.52	ไม่ผ่าน
325	48.27	49.66	48.97	53.10	55.17	ผ่าน
490	36.36	41.82	45.45	43.03	48.4	ไม่ผ่าน

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบราคาค่าต้นทุนการผลิตเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชน

รายการ	ขนาด	จำนวน	ราคา/หน่วย	ราคา รวม	ราคาตลาด
เหล็กกล่อง	2*1 หนา	3 เส้น	220	660	
	1.8 มม.	2 เส้น	220	440	
	1*1/4 หนา				
	1.5 มม.				
มอเตอร์	¼ hp 220 v	1 ตัว	1,450	1,450	
เหล็กแบน	7 นิ้ว 4 มม.	4 เส้น	220	880	
ลวดเชื่อม	2.6 มม.	1 ห่อ	120	120	
มูลฝอย	2 นิ้ว	2 ตัว	180	360	
	8 นิ้ว	1 ตัว	450	450	
แวนเชื่อม	-	3 อัน	35	105	
สวิทช์ on-off	-	2 ตัว	60	120	
สายพาน	60A	1เส้น	60	60	
	30A	1 เส้น	30	30	

แผ่นเพลท	3 นิ้ว	8 แผ่น	35	280	
	8 นิ้ว	2 แผ่น	120	240	
แปลงทาสี	2 นิ้ว	3 อัน	20	60	
สายไฟ VAF	2*1.5 ยาว 15 เมตร	1 เส้น	15	225	
น๊อค 2 หุน	2 นิ้ว	20 ตัว	2	40	
รางสายไฟ	1 นิ้ว	3 เส้น	60	180	
สื่อน้ำมัน	500 มิลลิตร	2 กระป๋อง	120	240	
สีสเปรย์	-	1 กระป๋อง	50	50	
ใบตัด	4 นิ้ว	8 ใบ	15	120	
ใบเจีย	4 นิ้ว	6 ใบ	15	90	
ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด	-	-	-	1,500	
เครื่องอัดกระป๋อง					5,077
เครื่องอัดขวดพลาสติก					5,077
รวม				*7,700	*10,154

8. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชนระบบกึ่งอัตโนมัติ พบว่า ขวดพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดและความสูงที่แตกต่างกัน โดยมีขนาด 350, 500, 550 และ 600 มิลลิตร เป็นขวดพลาสติกที่มีขนาดมาตรฐานทั่วไป จากผลการทดสอบขวดพลาสติกขนาด 350 มิลลิตร มีความเหมาะสมกับการนำมาบีบอัดมากที่สุด กระป๋องที่ใช้ในการทดสอบ ขนาด 180, 320, 325 และ 490 มิลลิตร จากผลการทดสอบกระป๋องขนาด 180 มิลลิตร มีความเหมาะสมกับการนำมาบีบอัดมากที่สุด ทั้งขวดพลาสติกและกระป๋องใช้เวลาในการบีบอัดน้อย และมีการการยุบตัวได้ดีกว่าขวดพลาสติกและกระป๋องขนาดอื่น ทำให้ขวดพลาสติกและกระป๋องที่ถูกบีบอัดมีขนาดที่เล็กลงอย่างเห็นได้ชัด และจากผลการทดสอบเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋อง ในการทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพการอัดของเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋อง จะใช้ขวดพลาสติกและกระป๋องที่มีขนาดที่แตกต่างกันจะสังเกตได้ว่า การยุบตัวของขวดพลาสติกเป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งในการทดสอบการอัดของขวดพลาสติกให้ความยุบตัวของขวดพลาสติกขนาด 350 มิลลิตร มากกว่า

53.02 % แต่การยุบตัวของกระป๋องไม่เป็นไปตามที่ต้องการ เนื่องจากขนาดของกระป๋องกับกระบอกบรรจุขวดพลาสติก และกระป๋องมีขนาดที่แตกต่างกัน หากขนาดกระป๋องมีขนาดที่พอดีกับกระบอกบรรจุขวดจะทำให้การอัดกระป๋องมีประสิทธิภาพในการยุบตัวมากยิ่งขึ้น ซึ่งในการทดสอบการอัดของกระป๋องให้ความยุบตัวของกระป๋องขนาด 180 มิลลิเมตร มากกว่า 43.01 % จึงทำให้ได้ประสิทธิภาพในการอัดมากกว่าขวดพลาสติกและกระป๋องที่มีขนาดเล็กกว่า กระบอกบรรจุขวด โดยขนาดของเครื่องอัดขวดพลาสติก และกระป๋องยังสามารถทำให้ลดพื้นที่ในการจัดเก็บได้มากยิ่งขึ้น รวมไปถึงตัวเครื่องอัดที่มีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบาจากตัวเครื่องเดิมทำให้สามารถเคลื่อนย้ายและนำไปใช้งานได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า

9. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

9.1 ควรศึกษาและออกแบบระบบกลไกการทำงานของตัวเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชนให้ใช้งานได้แบบระบบอัตโนมัติ

9.2 ควรศึกษาวัสดุที่นำมาใช้ในกระบวนการการทำการบรรจุขวดพลาสติกและกระป๋องที่ยังขาดประสิทธิภาพในการรองรับแรงอัดจากตัวลูกสูบ เนื่องจากกระบอกบรรจุขวดพลาสติกและกระป๋องมีขนาดเดียวที่ไม่สามารถปรับขนาดได้ตามขนาดของขวดพลาสติกและกระป๋อง จึงส่งผลให้ในการอัดกระป๋องขนาดเล็กมาก ซึ่งไม่สามารถอัดกระป๋องได้ ดังนั้นควรพัฒนากระบอกบรรจุให้มีขนาดที่ปรับได้ตามขวดพลาสติกและกระป๋อง

9.3 ควรศึกษาการวางแผนการซื้อจัดหาวัสดุ อุปกรณ์ และชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ ในการผลิตเครื่องอัดขวดพลาสติกและกระป๋องระบบอัตโนมัติ เพื่อช่วยลดต้นทุนค่าเสียเวลาและต้นทุนค่าเสียโอกาสในการดำเนินงาน

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Noppadon. *Plastic Bottle Compression Machine*. [online] (2020). [Cited October 17, 2020]. Available: <https://www.thailandinnovationportal.com/info/innovation/item/27580>
- [2] B. Raksak. "The relationship between school culture and performance the needs of teachers must be requested by supervisors," M.Ed. thesis, *Department of Educational Administration*, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Udon Ratchathani, 2010 (in Thai).
- [3] P. Kathawut. *Operational Efficiency*. Bangkok: Ramkhamhaeng University, 2002 (in Thai).
- [4] S. Somsak, and T. Chadchawan. Drinking water container compression machine. [online]. (2020). [Cited November 8, 2020] Available: <https://dric.nrct.go.th/index.php?/Search/SearchDetail/179254>
- [5] A. Varit, and T. Chan, *Mechanical Design* (2th ed.), Bangkok: SE-ED Publisher, 2013 (in Thai).
- [6] S. Poonporn, *Total Productive Maintenance*, Bangkok: Chulalongkorn University Book Center, 2001 (in Thai).
- [7] T. Manop, *Engineering Materials* (3rd ed.), Bangkok: Technology Promotion Association (Thai-Japan), 1995, p. 34 (in Thai).
- [8] P. Monvika. *Cost Accounting*. Bangkok: Physics Center, 2013 (in Thai).
- [9] M. Soraya. *Production Cost*. Bangkok: Srinakharinwirot University Publisher, 2014 (in Thai).

ระบบติดตามข้อมูลกระแสน้ำแบบเวลาจริงจากทุ่นแบบเคลื่อนที่ Real-time tide data tracking system with moving buoys

อนุชา พิพิธ¹, สุชัยศรี โลออน¹, วิธวัช ตั้งตรงไพโรจน์¹, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง¹, ชัยพร ใจแก้ว¹, อนันต์ ผลเพิ่ม^{1*},
จิตราภรณ์ พักโสภา² และ สุชาย วรชนะนันท์²
Anucha Pipit¹, Suchaisri Li-On¹, Withawat Tangtrongpaioj¹, Aphirak Jansang¹,
Chaiporn Jaikaeo¹, Anan Phonphoem^{1*}, Jitraporn Phaksopa² and Suchai Worachananant²

¹ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

¹Department of Computer Engineering, Kasetsart University

²Faculty of Fisheries, Kasetsart University

*Email: anan.p@ku.ac.th

Received: March 26, 2022; Revised: June 18, 2022; Accepted: July 01, 2022

บทคัดย่อ

ระบบติดตามข้อมูลกระแสน้ำในปัจจุบันถูกใช้เพื่อการวัดคุณภาพน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นการใช้ทุ่นที่มีระบบวัดคุณภาพน้ำ ณ จุดที่ต้องการทดสอบ ซึ่งถ้าหากจะทดสอบหลายจุดจะต้องเพิ่มจุดทดสอบจำนวนมาก และเกิดความยุ่งยากในการดูแลรักษา จากปัญหาข้างต้น งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบติดตามข้อมูลกระแสน้ำจากทุ่นลอย แบบปล่อยลอยตามกระแสน้ำ ซึ่งจะใช้งานได้ครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้นกว่าการใช้ทุ่นฝั่งสมอ โดยมีการออกแบบอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดน้ำแบบพื้นฐาน ที่สามารถใช้งานได้ขณะทุ่นเคลื่อนที่ได้แก่ อุณหภูมิ ความขุ่นของน้ำ ลักษณะของคลื่น และมีระบบติดตามตำแหน่ง ซึ่งออกแบบระบบให้ส่งข้อมูลเซนเซอร์แสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชันตามคาบเวลาแบบเวลาจริง โดยใช้เทคโนโลยีลอราเป็นตัวติดต่อสื่อสารระหว่างทุ่นและเกตเวย์ที่ติดตั้งตามจุดต่าง ๆ และใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลมาที่เครือข่ายหลักในการจัดเก็บลงในฐานข้อมูล จากการทดสอบความแรงของสัญญาณลอรา พบว่าจะเริ่มมีการลดทอนของสัญญาณที่ 350 เมตร เนื่องจากสิ่งกีดขวางและข้อจำกัดค่า RSSI ที่รับได้ ซึ่งเมื่อใช้แบตเตอรี่ 11000 mAh อุปกรณ์สามารถใช้งานได้ถึง 80 และ 134 ชั่วโมงสำหรับส่วนทุ่นวัดน้ำและเกตเวย์ตามลำดับ

คำสำคัญ : การวัดคุณภาพน้ำ, เทคโนโลยีลอรา, ระบบติดตามตำแหน่ง, อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

Abstract

In the present, tide data tracking system is used for measuring water quality with the fixed location of the anchored buoy. However, if more testing areas are required, more anchored buoys are needed to be installed, which leads to more maintenance issues. In this paper, Real-time tide data tracking system with moving buoys has been proposed. The buoy is freely floated and moves along the water current, covering more sensing areas than the anchored buoy. The proposed system is equipped with many sensors such as essential water quality measurement, temperature, water turbidity, current wave characteristics,

and GPS tracking. All periodically sensing data will be transmitted to the gateway via the LoRa technology. Then the gateway will forward the data to the database server on the Internet via the mobile communication technology for analyzing and displaying the results in the web application. The results show that LoRa signal strength starts attenuating at 350 meters due to obstacles and RSSI limits. On an 11000 mAh battery, the device can last up to 80 hours and 134 hours for the buoy and gateway sections, respectively.

Keywords : Water quality measurement, LoRa technology, GPS tracking system, IoT

1. บทนำ

น้ำทะเลชายฝั่งเป็นระบบนิเวศทางน้ำที่ธรรมชาติสร้างมาให้สอดคล้องและสมดุล แต่เมื่อเมืองขยายตัวขึ้น ผู้คนมากขึ้น ปัญหาการรุกรานพื้นที่ชายฝั่งทะเลก็ตามมา ปัญหาการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน ทั้งจากอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และบ้านเรือน ก็ไหลต่อเนื่องลงสู่แหล่งน้ำทะเลในท้ายที่สุดทำให้เกิดมลพิษทางทะเล [1] นอกจากนี้ปัญหาที่เกิดจากมนุษย์แล้วยังมีภัยธรรมชาติ หลังเหตุการณ์สึนามิ ในปี 2548 กรมทรัพยากรและทะเลชายฝั่ง ได้เสนอร่างพระราชบัญญัติส่งเสริมการบริหารจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งครั้งแรกและได้ใช้จริงเมื่อ พ.ศ.2550 เหตุผลในการประกาศใช้ จะเน้นไปที่มาตรการคุ้มครองและการบังคับใช้กฎหมายที่เกี่ยวกับทรัพยากรทางทะเล [2] ซึ่งเป็นอีกหนึ่งสิ่งที่จะช่วยจัดการและป้องกันให้ระบบนิเวศทางทะเลอยู่ในทิศทางที่ดีขึ้น

สถานการณ์คุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งจึงเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่ต้องจับตามอง แม้ว่าความรุนแรงของปัญหาในภาพรวมอาจจะดูไม่รุนแรงนักแต่ก็ไม่อาจมองข้ามไปได้ จึงมีการประเมินสถานการณ์คุณภาพน้ำทะเลโดยใช้ดัชนีคุณภาพน้ำทะเล (Marine Water Quality Index) ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่เป็นองค์การมหาชน เช่น สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISDA) ดังได้มีการรายงานสรุปสถานการณ์ทางทะเลของประเทศไทย ซึ่งได้จัดทำขึ้นเป็นประจำทุกปี การประเมินสถานการณ์คุณภาพน้ำทะเลในประเทศไทยได้มีการใช้เทคโนโลยีมาปรับใช้มากมายในปัจจุบัน ดังเช่นการใช้หุ่นเซนเซอร์ อุปกรณ์วัดลม เรดาร์และกล้องส่องทางไกล

จากดาวเทียม กล้อง CCTV สถานีเรดาร์ชายฝั่ง จนนำข้อมูลมาให้บริการแก่ประชาชนผ่านฐานข้อมูล [3]

จากปัญหาที่อุปกรณ์การตรวจวัดดังกล่าวเป็นมีค่าใช้จ่ายที่สูง ใช้พลังงานมาก รวมถึงต้องใช้กำลังคนในการดูแลและใช้งานจำนวนมากในการดูแล ซึ่งแลกมากับคุณภาพข้อมูลทางทะเลที่น่าเชื่อถือ จึงได้เกิดแนวคิดออกแบบระบบติดตามและส่งข้อมูลกระแสน้ำทะเลจากหุ่นผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย ในรูปแบบอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพน้ำทะเลซึ่งเป็นหุ่นลอยขนาดเล็ก ทนทาน ประหยัดพลังงาน ประหยัดค่าใช้จ่าย ไม่ต้องใช้กำลังคนในการเฝ้าดูแลสามารถส่งข้อมูลทางทะเลได้เป็นอัตโนมัติ และนำข้อมูลมาให้บริการแก่ผู้ใช้งานผ่านฐานข้อมูลเช่นกันกับวิธีที่ได้กล่าวมา เพื่อเสนอเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของอุปกรณ์การตรวจวัดสภาพน้ำทะเล

2. ขอบเขตของการวิจัย

กำหนดขอบเขตของการวิจัยตามส่วนประกอบของระบบงานดังนี้

2.1 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (หุ่นและเครือข่ายไร้สาย)

1) ลักษณะหุ่นในทุก ๆ ชุดเป็นหุ่นลอยขนาดเล็กไม่ฝังสมอ

2) ติดต่อฝั่ง server โดยใช้เครือข่ายไร้สายแบบกว้างที่เน้นใช้พลังงานต่ำ (LoRa)

3) ใช้ ESP32 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการประหยัดแบตเตอรี่ และราคาประหยัด

4) บนหุ่นจะประกอบไปด้วยโมดูล จีพีเอส สำหรับติดตามตำแหน่งของหุ่น

5) บนหุ่นจะประกอบไปด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดสภาพของ กระแสน้ำ

2.2 เว็บแอปพลิเคชัน

- 1) แสดง data แบบเวลาจริง
- 2) แสดง Map GUI
- 3) แจ้งเตือนสถานะหุ่นต่างๆ เช่น แบตเตอรี่ต่ำ โมดูลไม่ตอบสนอง

3. งานวิจัยและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

3.1 เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ลอรา (LoRa: Long Range Low Power Wireless Platform)

เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมต่อไร้สายเหมาะสำหรับงาน Internet of Things (IoT) มีจุดเด่นในเรื่องของระยะทางในการสื่อสาร สามารถรับและส่งข้อมูลได้ในระยะไกล 5-15 กิโลเมตร และเนื่องจากพลังงานที่ใช้ในช่วงรับ-ส่งข้อมูลค่อนข้างต่ำ และยังมีโหมดประหยัดพลังงานในกรณีที่ไม่ได้ส่งข้อมูล จึงทำให้ลอราเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายในการใช้งานปัจจุบันมีโมดูลลอรามากมายหลายตัวเลือกในการทำเครือข่าย LoRaWAN ซึ่งรองรับในคอนโทรลเลอร์หลายประเภท [4]

3.1.2 เครือข่าย LoRaWAN

เครือข่ายความเร็วสูงสำหรับการใช้งาน Internet of Things (IoT) ซึ่งเป็นทางเลือก ที่จะช่วยให้การเชื่อมต่อแบบไร้สายของอุปกรณ์ต่างๆ มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ปัจจุบันเครือข่าย LoRaWAN ครอบคลุมแล้วทั่วประเทศ จึงมีภาครัฐและเอกชนจะนำเทคโนโลยีนี้ไปประยุกต์ใช้ ทั้งในแง่การบริหารจัดการจราจร การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในภาคการเกษตรและอุตสาหกรรม การเก็บข้อมูลการท่องเที่ยวและอื่นๆ อีกมากมาย ด้วยจุดเด่นที่สำคัญคือใช้พลังงานต่ำสามารถยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ IoT ให้นานยิ่งขึ้น เพราะว่าอุปกรณ์ IoT ส่วนใหญ่ที่ทำงานด้วยพลังงานแบตเตอรี่ [5]

อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้จะไม่ใช้การสื่อสารด้วย LoRaWAN เนื่องจากต้องการควบคุมการส่งข้อมูลการสื่อสารในรูปแบบที่แตกต่างจากมาตรฐานที่เน้นการประหยัดพลังงานเป็นหลัก โดยงานวิจัยนี้เสนอการทำงานที่ใช้เพียง

การสื่อสารด้วย ลอราในระดับ datalink เพื่อให้ส่งข้อมูลได้รวดเร็วและยังคงประหยัดพลังงานได้

3.1.3 โมดูลจีพีเอส

โมดูลจีพีเอส คือเป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์รับสัญญาณของฮาร์ดแวร์ ที่สามารถเพิ่มเข้ากับชิ้นส่วนอื่นๆของฮาร์ดแวร์ต่างๆได้เพื่อให้สามารถรับข้อมูลจากดาวเทียมจีพีเอส อุปกรณ์ที่ใช้จีพีเอสทั่วไปมีฟังก์ชันขั้นพื้นฐาน ซึ่งประกอบไปด้วยเสาอากาศเป็นตัวรับสัญญาณหลายช่องสัญญาณและการคำนวณในการรับส่งข้อมูลระยะทาง, เวลาที่ส่งไป แล้วถอดรหัสข้อมูลเหล่านั้นออกมาเป็นพิกัด ที่ส่งจากดาวเทียมและโปรเซสเซอร์ที่อยู่ใน โมดูลจีพีเอสจะจัดการกับข้อมูลเหล่านั้นและรายงานออกมาเป็น ตำแหน่ง พิกัด ความเร็ว และข้อมูลสำคัญต่างๆ

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2.1 MARINE & COASTAL GI APPLICATION (GISTDA)

ด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดทางทะเลได้แก่ งาน MARINE & COASTAL GI APPLICATION (GISTDA) เป็นเว็บแอปพลิเคชันที่ศึกษา พัฒนา และปรับปรุงการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีอวกาศและระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศทางทะเลให้เป็นมาตรฐานที่ยอมรับและให้บริการภูมิสารสนเทศทางทะเล (Marine Geo-information) เช่น การวิเคราะห์ติดตามสถานการณ์ทางทะเลประจำวัน มลพิษสิ่งแวดล้อม ภัยพิบัติทางทะเล การวิเคราะห์ติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งทะเล ด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ การวิเคราะห์ติดตามสถานการณ์การรั่วไหลของน้ำมันในทะเล ด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ พัฒนาระบบบริหารจัดการเชิงพื้นที่ทางทะเลและชายฝั่ง โดยจะใช้ข้อมูลและเรดาร์จากดาวเทียม ซึ่งมีจุดเด่นคือการนำเสนอข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชันที่มี UI สวยงาม ข้อมูลมีจำนวนมากหลากหลายประเภท [3]

3.2.2 โครงการจัดทำสถานีเฝ้าระวังคุณภาพน้ำโดยระบบโทรมาตรแบบหุ่นลอยในคลอง สารภี จังหวัดปทุมธานี

โครงการจัดทำสถานีเฝ้าระวังคุณภาพน้ำโดยระบบโทรมาตรแบบหุ่นลอยในคลอง สารภี จังหวัดปทุมธานี จัดทำสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำ โดยใช้หุ่นลอยเดี่ยวขนาดใหญ่ลักษณะเป็นสถานีที่มีการส่งข้อมูลระยะไกลแบบเวลาจริงผ่าน GPRS เข้าระบบอินเทอร์เน็ต เพื่อประโยชน์ในการใช้

งานเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริเวณคลองสารภี จังหวัด
ปราจีนบุรี โดยมีพารามิเตอร์วัดน้ำได้แก่ DO, pH, EC และ
Temperature มีจุดเด่นคือการส่งข้อมูลผ่านเว็บ
แอปพลิเคชัน และ SMS แบบเวลาจริง แต่ยังมีข้อจำกัดใน
เรื่องการใช้พลังงานที่มากซึ่งทำให้ใช้แบตเตอรี่ขนาดใหญ่
และมีการติดตั้งโซลาร์เซลล์ซึ่งทำให้ตัวหุ่นมีขนาดใหญ่

3.2.3 Data Buoys Versatile monitoring platforms

หุ่นติดเซนเซอร์สำหรับวัดคุณภาพน้ำทะเล ที่พัฒนาโดย บริษัท Nextsens technology โดยจุดเด่นจะเป็นหุ่นขนาดใหญ่ที่มีความทนทานสูงต่อสภาพแวดล้อมของน้ำทะเล จุดเด่นจะมีให้เลือกถึง 9 ผลิตภัณฑ์ ตามลักษณะการใช้งานที่เหมาะสมและมีอุปกรณ์ตกแต่งเสริมได้อีก โดยจะส่งสัญญาณ 4G ส่งข้อมูลลง cloud data center ที่มีความปลอดภัยและใช้พลังงานโซล่าเซลล์

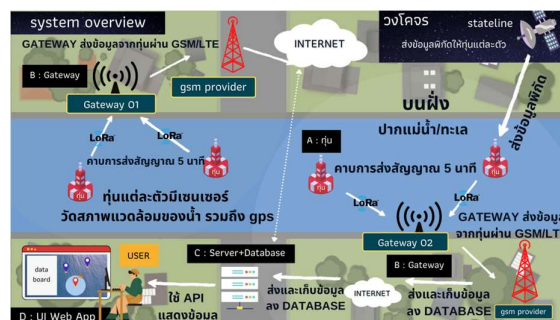
3.2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการตรวจวัดการเคลื่อนที่โดยใช้เซนเซอร์

งานวิจัยส่วนใหญ่ที่สามารถตรวจวัดได้ทั้งความเร่งและความเร็วเชิงมุมระหว่างการเคลื่อนที่นั้น จะใช้โมดูล MPU6050 ซึ่งเป็นโมดูลที่ราคาไม่แพงและถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดในงานวิจัยประยุกต์ด้านต่าง ๆ ได้แก่ การตรวจจับการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุทั้งในคนและในสัตว์ [7 - 9] การวัดท่าทาง [10] ระบบความปลอดภัยสำหรับผู้หญิง [11] การออกแบบความสมดุลของรถสองล้อ [12]

4. วัสดุ อุปกรณ์ และการทดลอง

ระบบติดตามข้อมูลกระแสน้ำจากหุ่นแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน คือ (A) หุ่นวัดน้ำ (B) เกตเวย์ (C) ฐานข้อมูล และ (D) เว็บแอปพลิเคชันแสดงผลภาพรวมของระบบดังรูปที่ 1

ในงานวิจัยนี้นำเสนอระบบการเฝ้าระวังติดตามสถานะของน้ำและกระแสน้ำโดยเน้นการพัฒนาที่มีค่าใช้จ่ายต่ำและสามารถได้รับข้อมูลในระดับเวลาจริงซึ่งจะเห็นได้ว่าการเฝ้าระวังและตรวจวัด [3,6] เป็นงานโครงการขนาดใหญ่ ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์มีราคาสูงทั้งด้านของอุปกรณ์ซอฟต์แวร์หรือค่าใช้จ่ายในการทำงาน (operation cost)



รูปที่ 1 ภาพรวมของระบบ

4.1 ภาพรวมของระบบ

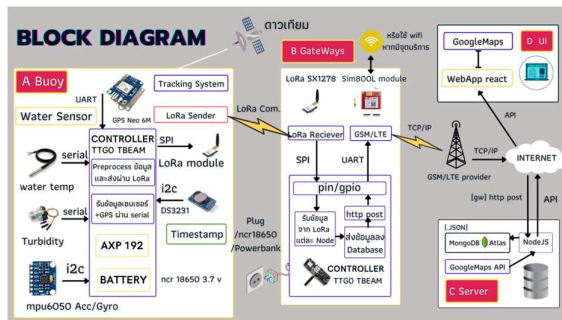
ภาพรวมของระบบแสดงดังรูปที่ 1 ทุนวัดน้ำ (A) ที่ปล่อย
 ลอยตามกระแสน้ำจะรับพิกัดตำแหน่งจากดาวเทียมจีพีเอส
 รวมถึงรับข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจวัดน้ำที่ติดตั้งบนทุ่น
 ได้แก่ เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ เซนเซอร์ตรวจวัดความขุ่น
 ของน้ำ และเซนเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและความเอียง
 ของวัตถุ แล้วทำการส่งข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับมาไปยังเกตเวย์
 (B) ที่ติดตั้งตามชายฝั่งตามเส้นทางของกระแสน้ำด้วย
 สัญญาณลอรา (LoRa Communication) ตามระยะเวลาที่
 กำหนดตามความเหมาะสมกับแบตเตอรี่ และเป็นการ
 ประหยัดพลังงาน โดยเกตเวย์ (B) จะทำหน้าที่รับข้อมูลจาก
 ทุ่นหลายๆตัวผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เพื่อบันทึกลงใน
 ฐานข้อมูล โดยออกแบบให้เมื่อเกิดการรับข้อมูลจากทุ่นแล้ว
 จะทำการส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล (C) ที่ติดตั้งไว้บน
 เซิร์ฟเวอร์ทันทีแบบเวลาจริง โดยฐานข้อมูลนั้นได้เชื่อมต่อ
 API กับเว็บแอปพลิเคชัน (D) โดยจะแสดงผลของข้อมูลจาก
 ทุ่นออกมาในรูปแบบที่และตาราง

4.2 ออกแบบและพัฒนาระบบ

ระบบติดตามข้อมูลกระแสน้ำจากทุ่นมีโครงสร้างระบบ
ดังรูปที่ 2 ส่วนต่าง ๆ ดังนี้โดยมีองค์ประกอบหลัก 4 ส่วนคือ
ส่วนท่่นวัดน้ำ, เกตเวย์, ฐานข้อมูล และเว็บแอปพลิเคชัน

ส่วนหุ่นวัดน้ำ (A) ดังแสดงในรูปที่ 3 จะประกอบไปด้วย ส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ ส่วนควบคุมกลางและเซนเซอร์ ตรวจวัดโดยส่วนควบคุมใช้บอร์ด ESP32 ซีรีส์ TTGO TBeam ในการควบคุมเซนเซอร์ทั้งหมดบนตัวหุ่นรวมถึงการ ส่งข้อมูลให้เกตเวย์ โดยใช้สัญญาณลอรา โดยจะเป็นบอร์ด สำเร็จรูป ที่ติดตั้ง ESP32 ที่สื่อสารด้วยลอราพร้อมเสา

อากาศทำงานที่ย่านความถี่ 433-470MHz และโมดูลจีพีเอส Neo-6m-0-001 พร้อมเสาอากาศ ในส่วนของเซนเซอร์ ตรวจวัดคุณภาพน้ำโครงการนี้ใช้งาน DS18B20 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบกันน้ำ Analog Turbidity Sensor Module โมดูลเซนเซอร์วัดความขุ่นในน้ำ และ mpu6050 เซนเซอร์ ตรวจจับการเคลื่อนไหวและความเอียงของวัตถุ โดยมี RTC DS3231 เป็นตัว timestamp ข้อมูลเซนเซอร์โดยทั้งหมดนี้ ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ Panasonic ncr18650b 3.7v ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 2 โครงสร้างระบบ

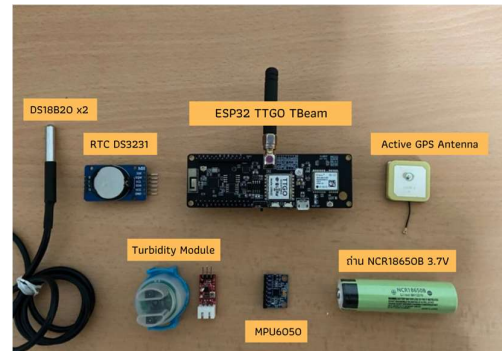


รูปที่ 3 อุปกรณ์ต้นแบบของหุ่นยนต์น้ำ

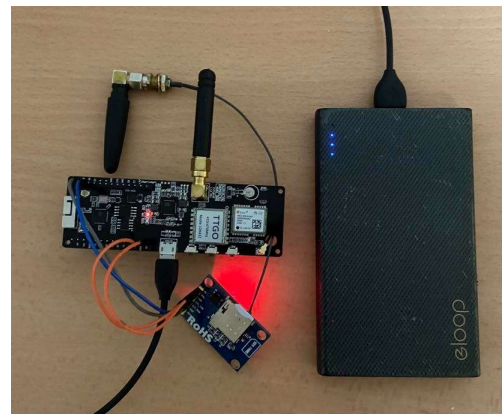
ส่วนเกตเวย์ (B) ใช้บอร์ด ESP32 ซีรีส์ TTGO TBeam เป็นส่วนส่วนควบคุมกลางและติดตั้งโมดูลSIM800L สำหรับใช้งานสัญญาณ GSM/LTE โดยสามารถใช้พลังงานจากแบตเตอรี่สำรองขนาด 11000 mA ในกรณี unplug in ดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6

ส่วนฐานข้อมูล (C) เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล Cloud MongoDB Atlas ใช้ภาษา NodeJS ในการเขียนฟังก์ชัน RestAPI เพื่อติดต่อสื่อสารกับส่วนเว็บแอปพลิเคชัน (D)

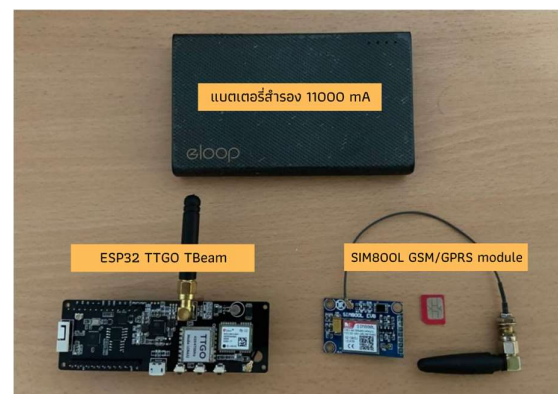
ส่วนเว็บแอปพลิเคชัน (D) ใช้งาน Frontend Framework UI ReactJS ร่วมกับ Bootstrap โดยภาษาที่ใช้งานจะเป็นภาษา JavaScript โดยจะนำข้อมูลที่ได้ผ่านการประมวลผลและนำไปแสดงบนเว็บแอปพลิเคชัน



รูปที่ 4 รายละเอียดอุปกรณ์ของหุ่นยนต์น้ำ



รูปที่ 5 อุปกรณ์ต้นแบบของเกตเวย์



รูปที่ 6 รายละเอียดอุปกรณ์ของเกตเวย์

4.3 รูปแบบข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารของอุปกรณ์ลอรา

ระบบติดตามข้อมูลกระแสน้ำจากหุ่น ทุกๆการส่งข้อมูล เซนเซอร์ผ่านสัญญาณลอราในแต่ละ 1 ชุดข้อมูลนั้น จะมีรูปแบบการส่งของข้อมูลลอรา แบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน ตามการออกแบบดังรูปที่ 7 ซึ่งโดยพื้นฐานนั้นการส่งสัญญาณลอราแบบพื้นฐานจะเป็นการส่งสัญญาณให้แก่อุปกรณ์ทุกตัวที่มีย่านความถี่เดียวกัน ดังนั้นจึงได้ออกแบบ Address เฉพาะตัวของอุปกรณ์ และเพิ่ม Source และ Destination Address ลงใน แพ็กเก็ต ทำให้ละอุปกรณ์สามารถเลือกจะรับพิจารณาแพ็กเก็ตที่มี Destination Address เป็นของตัวเอง อุปกรณ์เองเท่านั้น สามารถทราบได้ว่าแต่ละแพ็กเก็ตส่งมาจากอุปกรณ์ใด ทำให้แยกแยะอุปกรณ์ออกได้อย่างชัดเจนมากขึ้น และออกแบบ type message ลงในแพ็กเก็ตที่จะแยกแยะหน้าที่ของแต่ละแพ็กเก็ต ซึ่งจะทำให้ระบบมีความเฉพาะตัวมากขึ้น



รูปที่ 7 รูปแบบการส่งของข้อมูลลอรา

5. ผลการวิจัย ทดลอง และการอภิปรายผล

5.1 การทดสอบระบบ

ในงานวิจัยนี้มีการทดสอบการทำงานของระบบเบื้องต้นเป็น 3 ส่วนคือการส่งสัญญาณลอรา การใช้พลังงานของอุปกรณ์และการเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์

5.1.1 ทดสอบค่าสัญญาณลอรา

ทดสอบค่าสัญญาณ Received Signal Strength Indicator (RSSI) ของการส่งข้อมูลลอราระหว่างหุ่นวัดน้ำและเกตเวย์ในระยะต่างๆ จนถึงระยะทางที่ค่าสัญญาณมีความอ่อนลงถึง -120 dBm โดยตั้งค่าพารามิเตอร์ความถี่ 450 MHz แบนวิธซ์ 125 kHz, Cr = 4/8, SF = 12, CRC

13 dBm โดยเสาสัญญาณจะใช้อุปกรณ์ตามรูปที่ 8 โดยทดสอบการส่งสัญญาณที่ระยะ 500 เมตร สภาพของจุดทดสอบคือในชุมชน มีตึกแออัด วัดค่า RSSI โดยใช้บอร์ด TTGO TBeam ทดสอบรับค่า RSSI ของการส่งแพ็กเก็ตลอราในหน่วย dBm



รูปที่ 8 Magnetic antenna 433 MHz LoRa SMA Male 3.5 dBi

5.1.2 ทดสอบการใช้พลังงานของอุปกรณ์

ทดสอบการใช้พลังงานเฉลี่ยของหุ่นวัดน้ำและเกตเวย์ในหน่วยมิลลิแอมป์ต่อชั่วโมง (mAh) โดยใช้มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าขนาด 5V ทดสอบในขณะที่ระบบกำลังส่งข้อมูลลอราระหว่างหุ่นวัดน้ำและเกตเวย์ โหมด จีพีเอส ของหุ่นวัดน้ำ และโหมดประหยัดพลังงานของอุปกรณ์หุ่นวัดน้ำ โดยโหมดประหยัดพลังงานจะเป็นการปิดการใช้งานลอราและ จีพีเอส ซึ่งควบคุมโดยชิพ AXP192 ที่ติดตั้งมาบอร์ด TTGO TBeam V 1.0 ขึ้นไป

5.1.3 ทดสอบการเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลและแสดงผลบนหน้าเว็บไซต์

ในการทดสอบได้ทำการทดลองเก็บข้อมูลที่ได้รับจากการสื่อสารแบบลอราลงในฐานข้อมูล MongoDB Atlas แบบเวลาจริงพร้อมทั้งทดสอบเวลาค่าหน่วยเวลาที่นับตั้งแต่เกตเวย์เริ่มส่งข้อมูลสู่เซิร์ฟเวอร์จนได้ข้อมูลเก็บไว้ในฐานข้อมูล โดยข้อมูลที่ทำกรเก็บจะอยู่ในรูปแบบของชุดข้อมูล JSON ซึ่งมีพารามิเตอร์ดังนี้ ได้แก่ หมายเลขของหุ่น ความจุแบตเตอรี่ อุณหภูมิผิวน้ำ (องศาเซลเซียส) ระดับความขุ่นของน้ำ (NTU) ข้อมูลวันที่ ข้อมูลเวลา ค่าพิกัดตำแหน่ง และค่าความเคลื่อนไหวและความเอียงของวัตถุ

(3 แกน) โดยจะนำข้อมูลที่ได้ผ่านการประมวลผลและนำเสนอแสดงบนเว็บแอปพลิเคชัน

5.2 ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

การทดสอบผลการวิจารณ์ผลจะประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก ดังนี้

5.2.1 ผลการทดสอบค่าสัญญาณลอรา

จากการ ทดสอบค่าสัญญาณลอราที่มีการบันทึกค่า RSSI ระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์น้ำและเกตเวย์ในระยะต่างๆ จนถึงระยะทางที่ค่าสัญญาณมีความอ่อนลงถึง -120 dBm ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของสัญญาณและระยะทางในการรับส่งข้อมูลผ่านเทคโนโลยีลอรา

ระยะทาง (km)	ค่า RSSI เฉลี่ย (dBm)
0-10 m	-19
20-30m	-27
40-50m	-44
50-100m	-62
100-200m	-82
200-350m	-110
350m+	< -120

ในช่วง 100 เมตรแรกสามารถรับส่งข้อมูลได้รวดเร็ว เนื่องจากมีความไวของสัญญาณที่ดีเยี่ยม ช่วง 100-300 เมตรรับส่งข้อมูลได้รวดเร็วลดลงเนื่องจากมีความไวของสัญญาณที่พอใช้ ในระยะ 300 เมตรเป็นต้นไปเริ่มรับส่งข้อมูลได้ช้าลงและเริ่มจะมีบางแพ็กเก็ตที่หายไปหรือค่าผิดพลาดและเห็นความผิดพลาดชัดเจนในความไวการรับสัญญาณระดับ -120 dBm ซึ่งมีแพ็กเก็ตหายไปหรือมีค่าผิดพลาดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะเห็นได้ว่าระยะที่ใกล้จะเกิดการรับส่งที่เร็วมากและผิดพลาดจำนวนน้อย เมื่อส่งสัญญาณระยะทางไกลขึ้นสัญญาณการรับส่งผ่านเทคโนโลยีลอราเริ่มอ่อนลง ผลประสิทธิภาพการส่งข้อมูลระยะไกลนั้นยังมีปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังเช่น จุดทดสอบมีสิ่งกีดขวางจำนวนมากที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ทำให้ประสิทธิภาพการส่งข้อมูล

ระยะไกลนั้นอ่อนลง ซึ่งในการใช้งานจริงสามารถใช้งานได้ในระดับกิโลเมตร

5.2.2 ผลการทดสอบการใช้พลังงานของอุปกรณ์

จากการทดสอบการใช้พลังงานของหุ่นยนต์น้ำและเกตเวย์ ในหน่วยมิลลิแอมป์(mA) โดยใช้มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าขนาด 5V ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 2

ส่วนหุ่นยนต์น้ำ (A) มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 136 mAh ถ้ามีการขโมลลอราระหว่างหุ่นยนต์น้ำและเกตเวย์ตลอดเวลา โดยไม่มีการหยุดพักการใช้งาน แบตเตอรี่ ncr18650b 3.7V ขนาด 3400 mAh จำนวน 1 ก้อน จะสามารถใช้งานได้ประมาณ 25 ชั่วโมง หากใช้แบตเตอรี่สำรองขนาด 11000 mAh จะใช้งานได้ประมาณ 80 ชั่วโมง มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือโหมด จีพีเอส นับเป็น 228 mAh และลดการใช้พลังงานอย่างมากในโหมดประหยัดพลังงานซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงถึง 0.01 mAh

ตารางที่ 2 การใช้กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์

อุปกรณ์	หุ่นยนต์น้ำ			เกตเวย์
โหมด	ลอรา	จีพีเอส	sleep	ลอรา
ครั้งที่	กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (Ah)			
1	0.13	0.26	0.01	0.07
2	0.16	0.22	0.01	0.08
3	0.14	0.19	0.01	0.11
4	0.09	0.23	0.01	0.07
5	0.16	0.24	0.01	0.08
เฉลี่ย	0.136 Ah	0.228	0.010	0.082 Ah
	136 mAh	228 mAh	10 mAh	82 mAh

สำหรับเกตเวย์ (B) มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 82 mAh หากมีการส่งแพ็กเก็ตตลอดเวลาแบบไม่หยุดพัก การใช้แบตเตอรี่ ncr18650b 3.7V ขนาด 3400 mAh จำนวน 1 ก้อนจะสามารถใช้งานได้ประมาณ 41 ชั่วโมง หากใช้แบตเตอรี่สำรองขนาด 11000 mAh จะเพิ่มการใช้งานได้ถึง 134 ชั่วโมง

5.2.3 ทดสอบการเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล

จากการทดสอบข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล MongoDB Atlas แบบเวลาจริง จะมีชุดข้อมูลที่ฝั่งส่งมา ณ เวลานั้น ๆ ที่ทำการเก็บไว้ในฐานข้อมูล โดยข้อมูลที่ทำการเก็บจะอยู่ใน

รูปแบบของชุดข้อมูล JSON ดังรูปภาพที่ 9 และแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชันดังรูปที่ 10

```
{
  "_id": "ObjectID(\"61acba09135aed00081a4ccb\")",
  "buoyid": "07",
  "battery": 98,
  "temp": 27.05,
  "ec": 756,
  "lat": 13.840533,
  "long": 100.57525,
  "dd": 5,
  "mm": 12,
  "yy": 2021,
  "hh": 3,
  "mn": 26,
  "ss": 7,
  "gx": 56,
  "gy": -3,
  "gz": 82,
  "ax": 25,
  "ay": 77,
  "az": 26,
  "v": 0
}
```

รูปที่ 9 ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บในฐานข้อมูล MongoDB Atlas

รูปที่ 10 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้นำแสดงบนเว็บแอปพลิเคชัน

ตารางที่ 3 ค่าหน่วยเวลาของการส่งแพ็กเก็ตจากเกตเวย์สู่ฐานข้อมูล ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

ครั้งที่	ค่าหน่วยเวลา (s)
1	4.661
2	4.220
3	4.225
4	5.384
5	4.281
6	4.323
7	4.248
8	4.432
เฉลี่ย	4.472 ± 0.140

จากการทดสอบค่าหน่วยเวลาของการส่งแพ็กเก็ตจากเกตเวย์จนข้อมูลถูกบันทึกในฐานข้อมูลผ่านระบบ

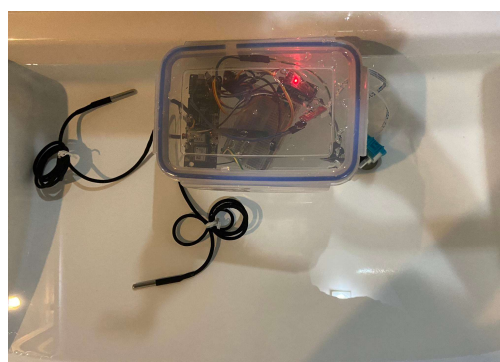
อินเทอร์เน็ต ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 3 ได้ค่าเฉลี่ยที่ 4.472 s และค่าความคาดเคลื่อน 0.140 s ต่อการส่ง 1 ชุดข้อมูล

5.2.4 ผลทดสอบการตรวจวัดคุณภาพน้ำของอุปกรณ์

ในระหว่างการทดสอบดังรูปที่ 11 พบว่า การบันทึกค่าเวลาในความเป็นจริงมีค่าเคลื่อนจากค่าเวลาที่ 5 นาทีอยู่เล็กน้อยเนื่องจากการมีหน่วยเวลาของการส่งแพ็กเก็ตจลอร่าส่วนพารามิเตอร์วัดค่าคุณภาพน้ำอย่างเช่นอุณหภูมิผิวน้ำ (องศาเซลเซียส) ระดับความขุ่นของน้ำ (NTU) และค่าความเคลื่อนไหว ยังคงให้ผลที่ค่าความคาดเคลื่อนที่ต่างกันไม่มากในสภาพแวดล้อมของน้ำที่เหมือนกันดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลทดสอบบางส่วนของารตรวจวัดคุณภาพน้ำของอุปกรณ์

เวลา (h:m:s)	อุณหภูมิ (°C)	ความขุ่น (NTU)	ตำแหน่ง (lat,lng)	แบตเตอรี่ (V)	ค่าความเคลื่อนไหว (3แกน)
11:8:18	28.50	672	100.576442,13.789137	4.1	-1,0,0 0,0,0
11:13:27	28.37	672	100.576442,13.789136	4.1	-1,2,14 0,0,0
11:18:36	28.31	677	100.576442,13.789136	4.1	1,0,2 0,0,0
11:23:44	28.25	675	100.576442,13.789136	4.1	-1,0,0 0,0,0
11:28:53	28.18	676	100.576442,13.789138	4.1	0,0,0 0,0,0
11:34:2	28.12	674	100.576442,13.789133	4.1	-1,0,0 0,0,0



รูปที่ 11 อุปกรณ์หน่วยวัดน้ำขณะทดสอบตรวจวัดคุณภาพน้ำ

6. บทสรุป

ระบบติดตามข้อมูลกระแสน้ำจากหุ่นแบบเวลาจริงผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย ที่ทำการพัฒนาขึ้นสามารถทำการตรวจวัดค่าต่างๆ ได้แก่หมายเลขของหุ่น ความจุแบตเตอรี่ อุณหภูมิผิวน้ำ (องศาเซลเซียส) ความชื้นของน้ำ (NTU) ข้อมูลวันที่ ข้อมูลเวลา ค่าพิกัดตำแหน่ง และค่าความเคลื่อนไหวและความเอียงของวัตถุ(3 แกน) และสามารถส่งข้อมูลจากตัวหุ่นผ่านเกตเวย์มายังเครื่องแม่ข่ายที่มีการเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ได้อย่างเหมาะสมจากการทดสอบความแรงของสัญญาณลอรา ในระยะที่ใกล้ จะเกิดการรับส่งที่เร็วและข้อมูลไม่ผิดพลาด เมื่อส่งสัญญาณระยะทางไกลขึ้นสัญญาณการรับส่งผ่านเทคโนโลยีลอราเริ่มอ่อนลงซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนที่ระยะ 350 เมตรเป็นต้นไป จะมีความแรงสัญญาณต่ำกว่า -120 dBm เริ่มรับส่งข้อมูลได้ช้าลงและเริ่มจะมีบางแพ็กเก็ตที่หายไปหรือค่าผิดพลาดอย่างชัดเจน นอกจากนี้ด้วยที่จุดทดสอบมีสิ่งกีดขวางจำนวนมากที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการส่งข้อมูลระยะไกล และจากการใช้งานกระแสไฟฟ้า ในส่วนของอุปกรณ์เกตเวย์ โหมดลอราจะใช้พลังงานเฉลี่ยที่ 82 mAh หุ่นวัดน้ำในโหมด ลอราจะใช้พลังงานเฉลี่ยที่ 136 mAh โหมดจีพีเอส 228 mAh และโหมดประหยัดพลังงานที่ 10 mAh ซึ่งโหมดประหยัดพลังงานจะถูกใช้งานในช่วงที่ระบบที่ไม่ได้มีการบันทึกค่าเซนเซอร์หรือมีการส่งสัญญาณลอรา ซึ่งถ้าในการใช้งานมีการออกแบบให้มีการส่งข้อมูลเซนเซอร์ที่มีคาบเวลานานๆ จะช่วยเพิ่มอายุการใช้งานแบตเตอรี่ของหุ่นวัดน้ำได้มากขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Marine Knowledge Hub. [Online]. (2017). [Cited February 27, 2017]. Available: http://www.mkh.in.th/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=75
- [2] DMCR. Central Database System and Data Standard for Marine and Coastal Resources. [Online]. (2021). [Cited August 28, 2021]. Available: https://km.dmcr.go.th/th/c_244/d_12891
- [3] MARINE & COASTAL GI APPLICATION. MARINE & COASTAL GI APPLICATION. [Online]. (2021). [Cited August 28, 2021]. Available: <https://ocean.gistda.or.th/ocean2/>
- [4] Cattlecom. Internet of Thing Long Range IoT [Online]. (2021). [Cited August 29, 2021]. Available: <https://loraiot.cattlecom.com/site/home>
- [5] Mostori. Understanding the Limits of LoRaWAN. [Online]. (2014). [Cited August 28, 2021]. Available: https://www.mostori.com/blog_detail.php?b_id=117
- [6] Nexsens Technology. Data Buoys [Online]. (2021). [Cited August 28, 2021]. Available: <https://www.nexsens.com/products/data-buoys>
- [7] J. He, Z. Zhang, X. Wang and S. Yang, "A Low Power Fall Sensing Technology Based on FD-CNN," *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 13, pp. 5110-5118. July. 2019.
- [8] J. M. D. S. Jeewandara, L. Karunaratne and K. A. Y. Sanju, "An Efficient Machine Learning Based Elderly Monitoring System," *2021 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME)*, 2021, pp. 1-5.
- [9] Z. Wang, C. Cao, H. Yu and Y. Liu, "Design and Implementation of Early Warning System Based on Dairy Cattle Activity Detection," *2020 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, 2020, pp. 2186-2189.
- [10] X. Pengfei, C. Shiwen and Y. Zhang, "Design of Pose measurement and Display system based on STM32 and MPU6050," *2021 International Conference on Intelligent Computing*,

Automation and Systems (ICICAS), 2021, pp.

71-74.

- [11] D. Tanwar, V. Nijhawan, P. Sinha and R. Gupta, "Design of Low-Cost Women Safety System using GPS and GSM," *2021 8th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 2021, pp. 827-831.
- [12] G. You and W. Zeng, "Design of Two-Wheel Balance Car Based on STM32," *2018 9th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME)*, 2018, pp. 775-779.

ระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติโดยใช้การประมวลผลภาพ ด้วยอัลกอริทึม YOLO

The Automatic Lighting ON and OFF Control System Using YOLO Algorithm Image Processing

วีระพงศ์ ทองสา^{1*}, ศิลปชัย กลิ่นไกล², ชุติกานุจน์ สุพัตเวช³ และ ภูมรินทร์ ทวีชศรี²

Wiraphong Thongsa^{1*}, Sillapachai Klinklai², Chutikarn Suppatvech³
and Phummarin Thavitchasri²

¹สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

²สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

³สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

¹Department of Mechatronics and Robotics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat
University under the Royal Patronage

²Department of Industrial Electrical Technology, Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University
under the Royal Patronage

³Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University
under the Royal Patronage

*Email: wiraphong.thong@vru.ac.th

Received: May 30, 2022; Revised: August 31, 2022; Accepted: September 07, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการพัฒนาระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างแบบอัตโนมัติสำหรับการเปิดและปิดไฟส่องสว่างตามบริเวณโถงทางเดิน โดยใช้การประมวลผลภาพด้วยอัลกอริทึม YOLO การทำงานของระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างแบบอัตโนมัติจะใช้กล้องเว็บแคมร่วมกับบอร์ด Raspberry Pi ในการตรวจจับภาพและวิเคราะห์ความเหมือนของภาพบุคคลด้วยอัลกอริทึม YOLO พิจารณาระบุภาพบุคคลที่ค่าคะแนนความเชื่อมั่นในช่วง 0.35-1 ในการทดลองได้ทำการตั้งเวลาการทำงานของระบบ ณ ช่วงเวลาตั้งแต่ 18.00 น. ถึง 20.30 น. โดยมีกลุ่มตัวอย่างบุคคลจำนวน 30 คน จากการทดลองเมื่อมีบุคคลเดินผ่านในบริเวณพื้นที่ในช่วงระยะทางตั้งแต่ 2 เมตร ถึงระยะ 19 เมตร จากตำแหน่งของตัวกล้อง พบว่าระบบสามารถตรวจจับภาพบุคคลได้และมีค่าคะแนนความเชื่อมั่นอยู่ในช่วงที่กำหนด นอกจากนี้ที่ระยะทาง 20 เมตร พบว่าการตรวจจับภาพบุคคลมีค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นที่ต่ำกว่า 0.35 ส่งผลให้ระบบไม่สามารถควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างแบบอัตโนมัติได้

คำสำคัญ : อัลกอริทึม YOLO, กล้องเว็บแคม, ความเหมือนของภาพบุคคล, คะแนนความเชื่อมั่น

Abstract

This article presents the development of an automatic lighting control system for turning on and off hallway lighting using YOLO algorithm image processing. The automatic lighting on and off control system uses a webcam camera conjunction with a Raspberry Pi board to detect and analyze the likeness of portraits using the YOLO algorithm by considering the identification of portraits with a confidence score of 0.35-1. In the experiment, the system operation time was set from 6:00 p.m. to 8:30 p.m. using a sample of 30 individuals. The experiment results showed that when a person enters an area within the range of a portrait detection distance of 2 to 19 meters from the position of the webcam camera, the system can detect images of portraits whose confidence scores are within a preset range. In addition, at a distance of 20 meters, it was found that portrait detection had an average confidence score of less than 0.35, resulting in the system being unable to control the automatic lighting on and off.

Keywords : YOLO algorithm, Webcam, Likeness of Portraits, Confidence score

1. บทนำ

แสงสว่างถือเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต โดยเฉพาะแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ [1-2] ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อสิ่งมีชีวิตโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย แต่แสงสว่างจากดวงอาทิตย์จะมีกำหนดระยะเวลาการใช้งานจำกัด ณ ช่วงเวลากลางวันและในช่วงเวลากลางคืนแสงสว่างก็จะมีดับไป จึงต้องมีการพึ่งพาแสงสว่างจากสิ่งประดิษฐ์ของมนุษย์หรือที่รู้จักกันว่า “หลอดไฟฟ้า” เพื่อการใช้งานในช่วงเวลากลางคืน โดยการทำงานของหลอดไฟจะใช้การควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างด้วยมนุษย์หรือระบบอัตโนมัติ [3] การใช้ไฟส่องสว่างในช่วงเวลากลางคืนพบปัญหาการควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่าง เนื่องจากการควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างจะต้องควบคุมที่ตัวสวิตช์จ่ายไฟ จึงมีระบบการเปิดและปิดไฟส่องสว่างแบบอัตโนมัติ [4-5] เพื่ออำนวยความสะดวกการใช้งานในเวลากลางคืน เช่น การตั้งเวลาเปิดและปิดไฟส่องสว่าง การใช้วิธีนี้ประสบปัญหาเกี่ยวกับการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากความต้องการใช้งานไฟส่องสว่างจะขึ้นอยู่กับผู้ที่ใช้งานตามบริเวณพื้นที่นั้น ๆ และการเปิดและปิดไฟส่องสว่างด้วยวิธีการตรวจจับความเคลื่อนไหว เพื่อควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่าง การทำงานเมื่อมีการเคลื่อนไหวในบริเวณที่กำหนดระบบจะทำการสั่งเปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติ และปิดไฟส่องสว่างเมื่อไม่พบการเคลื่อนไหว

ภายในบริเวณที่กำหนด แต่วิธีนี้ยังคงประสบปัญหาการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเช่นกัน เนื่องจากการตรวจจับความเคลื่อนไหวไม่สามารถจำแนกได้ว่าการเคลื่อนไหวที่เกิดขึ้นมาจากมนุษย์หรือสัตว์ ส่งผลทำให้ระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างจะเริ่มทำงานตลอดเวลาเมื่อมีการเคลื่อนไหวในบริเวณนั้น ๆ นอกจากนี้ปัญหาการเปิดและปิดไฟส่องสว่าง ณ บริเวณโถงทางเดินหน้าห้องเรียน อาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สำหรับนักศึกษาภาคพิเศษที่มีการเข้ามาใช้บริการบริเวณพื้นที่เป็นจำนวนมากในช่วงวันเสาร์และวันอาทิตย์ พบว่าในช่วงเวลา 20.30 น. หลังเลิกเรียนนักศึกษาได้ประสบปัญหาการเปิดและปิดไฟส่องสว่างตามบริเวณโถงทางเดินหน้าห้องเรียน ในการอำนวยความสะดวกต่อการเดินภายในตัวอาคาร เนื่องจากตำแหน่งสวิตช์ควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างไม่ได้เอื้ออำนวยต่อการใช้งานเมื่อต้องการเปิดไฟส่องสว่างและปิดไฟส่องสว่างบริเวณโถงทางเดินเมื่อใช้งานเสร็จสิ้น

ในงานวิจัยนี้ได้จัดทำระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างบริเวณโถงทางเดินภายในอาคารแบบอัตโนมัติ โดยใช้กล้องเว็บแคมในการตรวจจับภาพและทำการประมวลผลภาพความเหมือนของภาพบุคคลด้วยอัลกอริทึม YOLO ร่วมกับชุดบอร์ด Raspberry pi การทำงานของระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างจะทำการตรวจจับภาพและประมวลผลภาพความเหมือนของภาพบุคคล ณ บริเวณพื้นที่ที่กำหนดไว้ เพื่อควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่าง

อัตโนมัติ โดยมีชุดวงจรรีเลย์สำหรับการควบคุมการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

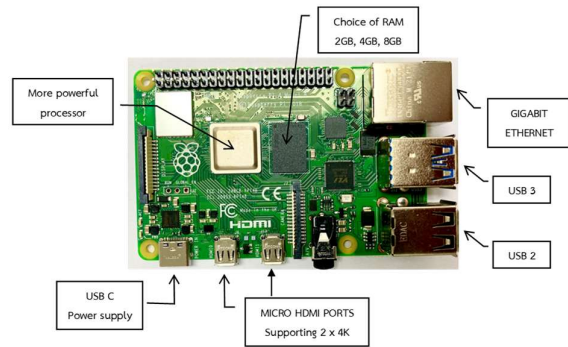
การสร้างระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างแบบอัตโนมัติใช้การประมวลผลภาพร่วมกับอัลกอริทึม YOLO ในควบคุมไฟส่องสว่างบริเวณโถงทางเดิน โดยมีทฤษฎีและหลักการทำงานของระบบที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ (Image Processing) [6] เป็นการนำภาพมาคำนวณและประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการหรือที่สนใจทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยมีขั้นตอนที่สำคัญ ได้แก่ การปรับภาพให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนของภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่สนใจออกจากภาพเพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่างและทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพจากนั้น ซึ่งสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์และสร้างเป็นระบบเพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ เช่น ระบบคัดแยกประเภทไข่มุก [7] และการตรวจจับและจดจำโมเดลรถยนต์ [8] เป็นต้น

2.2 บอร์ด Raspberry Pi

Raspberry Pi [9] เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ประกอบด้วยหน่วยประมวลผลกลาง (CPU), หน่วยความจำ RAM, ตัวรับสัญญาณไวไฟ (Wi-Fi Receiver) ตัวรับสัญญาณบลูทูธ (Bluetooth Receiver) และพอร์ตต่าง ๆ เช่น HDMI, Audio Output, USB และ LAN เป็นต้น แสดงในรูปที่ 1 บอร์ด Raspberry Pi ได้รับการพัฒนาโดยองค์กร "Raspberry Pi" เพื่อต้องการใช้ระบบโดยไม่ต้องใช้คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ปฏิบัติการอื่น ๆ ซึ่งบอร์ด Raspberry Pi มีระบบ Broadcom BCM2835 บนชิป (SoC) รวมถึงโปรเซสเซอร์ ARM1176JZF-S 700 MHz, Video Core IV GPU และ RAM ขนาด 256 เมกะไบต์ โดยโมเดลนี้ได้รับการอัปเดตในภายหลังเป็น 512 MB (รุ่น B และรุ่น B+) ไม่มีฮาร์ดดิสก์ในตัว แต่ใช้การ์ด SD สำหรับการบูทและการจัดเก็บข้อมูล รุ่น B+ ใช้ Micro SD ซึ่งเป็นคุณสมบัติขั้นสูงของยุค และต้องใช้โปรแกรม Linux สำหรับระบบปฏิบัติการบนการ์ด SD



รูปที่ 1 โครงสร้างของบอร์ด Raspberry Pi

2.3 กล้องเว็บแคม Oker รุ่น 088

กล้องเว็บแคม (WEBCAM OKER 088) มีความละเอียด 10 ล้าน pixels มี LEDs for Night View Cam Sensor สามารถปรับความคมชัดที่หน้าเลนส์ได้ มีอินฟราเรดที่ช่วยการมองเห็นในที่มืดสนิทภาพที่ได้จะสวยงามมากเมื่อใช้งาน กล้องโน้มนวดอินฟราเรด ภาพมีความคมชัดสูงมาก สามารถปิดและเปิดระบบอินฟราเรดได้ด้วยสวิตช์ ใช้ได้กับจอ LCD หรือตั้งวางได้ ปรับแสงเองอัตโนมัติ ปรับระดับมุมกล้องได้ และมีไมโครโฟนในตัว (USB Microphone) มีปุ่มกดถ่ายรูป อัตโนมัติและถ่ายภาพนิ่งได้ ติดตั้งใช้งานกับโน้ตบุ๊กหรือคอมพิวเตอร์ที่มีกล้องอยู่แล้วได้ มี CMOS 2.0 M up to 10 Mega Pixels, Frame rate : 30 fps รองรับโปรแกรมแชท MSN, Camfrog , Skype ฯลฯ Digital zoom/Support Voice chat, Info noise rate : 48dB, Focus range : 30mm-infinite, Plug and Play (no drivers required), Window NT/2000/XP/Vista/7/8 หรือสูงกว่า /Mac OS X

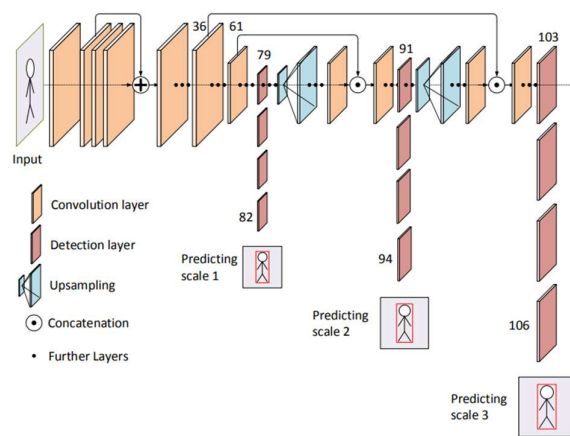
2.4 อัลกอริทึม YOLO

YOLO [10-11] ย่อมาจากคำว่า "You Only Look Once" เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจจับและจดจำวัตถุต่าง ๆ ภายในรูปภาพ (แบบเรียลไทม์) อัลกอริทึม YOLO จะใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Convolutional Neural Network : CNN) [11] เพื่อการตรวจจับวัตถุในภาพแบบเรียลไทม์ และการจดจำวัตถุต่าง ๆ ด้วยวิธีการที่เรียกว่า "Fast single-shot detection" เป็นวิธีการที่สามารถตรวจจับวัตถุจากการส่งผ่านรูปภาพเข้าไปในอัลกอริทึมเพียงครั้งเดียว และทำนายความน่าจะเป็นวัตถุต่าง ๆ ภายในรูปภาพทั้งหมดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนายความ

น่าจะเป็นของคลาสวัตถุต่าง ๆ จากนั้นจะทำการแยกประเภทของวัตถุต่าง ๆ และแยกประเภทการมีอยู่ของวัตถุที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในภาพแล้วสร้างกรอบขอบเขตของวัตถุนั้น ๆ และแสดงค่าคะแนนความมั่นใจ (confidence score) ของวัตถุนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2 ปัจจุบันอัลกอริทึม YOLO มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดย YOLO มีหลายรุ่น (version) ซึ่งแต่ละรุ่นจะมีโครงสร้างสถาปัตยกรรมที่แตกต่างกัน [12] ซึ่งอัลกอริทึม YOLO V3 ถือเป็นรุ่นล่าสุดและมีประสิทธิภาพทั้งด้านความแม่นยำและความเร็วในการประมวลผลที่ดีที่สุด โดยโครงสร้างสถาปัตยกรรมของรุ่นนี้มีจำนวน Layers 106 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งเป็นจำนวนชั้นที่ถูกกำหนดโดยผู้พัฒนาอัลกอริทึม YOLO และถูกบรรจุเป็นกรอบหรือเฟรมเวิร์คที่เรียกว่า Darknet framework



รูปที่ 2 การตรวจจับภาพวัตถุด้วยค่าคะแนนความมั่นใจ

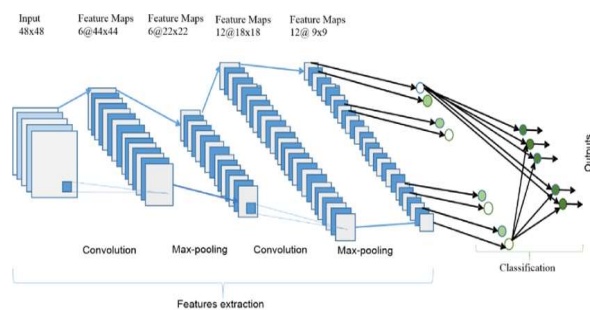


รูปที่ 3 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของอัลกอริทึม YOLO v3

2.5 เครือข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน

เครือข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network, CNN) [13,14] แสดงในรูปที่ 4 จัดเป็นเครือข่ายประสาทเทียมประเภทหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มวิธีการ

ค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimizations) โดยที่ CNN จะจำลองการมองเห็นของมนุษย์ที่มองเห็นภาพที่เป็นส่วนที่ย่อย ๆ จากนั้นนำกลุ่มของพื้นที่ย่อย ๆ เหล่านั้นมาผสมกันเพื่อตรวจสอบดูว่าสิ่งที่กำลังมองอยู่ในพื้นที่ที่มีลักษณะเด่น (Feature extraction) ของภาพ และเรียกว่าเป็น “Local feature” ของภาพดิจิทัลนั้น ๆ ซึ่งค่า Local feature ของภาพที่ตรวจจับได้นั้นถือเป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN) ที่จะถูกปรับไปพร้อม ๆ กับตัวที่ใช้ในการแบ่งแยกประเภท (Classifier) ดังนั้นเมื่อทำการสอนให้เครือข่ายทำการเรียนรู้ (Training) เสร็จสิ้นแล้วจะได้ลักษณะของเครือข่ายประสาทเทียมที่สามารถสกัดและจำแนกลักษณะเด่น (Feature extractor) ที่เหมาะสมกับงาน ซึ่งถือว่าเป็นจุดเด่นของเครือข่าย CNN เครือข่ายประสาทแบบคอนโวลูชันและที่สำคัญที่สุดคือ CNN สามารถทำการคิดอย่างเป็นขั้นเป็นตอนได้ สามารถลอกเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ได้



รูปที่ 4 โครงสร้างเครือข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การสำรวจพื้นที่สำหรับการติดตั้ง

ทำการสำรวจบริเวณพื้นที่โครงการเดินหน้า ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยมีลักษณะของบริเวณพื้นที่โครงการเดินฝั่งด้านที่หนึ่งจะเป็นตัวอาคารและฝั่งด้านตรงข้ามเป็นด้านที่เปิดโล่งเพื่อให้ในช่วงเวลากลางวันสามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติได้ การใช้งานพื้นที่โครงการเดินจะมีระยะทางเดินทั้งหมด 55.22 เมตร มีความกว้าง 2.3 เมตร ในที่นี้ ได้ทำการแบ่งบริเวณพื้นที่การทำงานออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ บริเวณพื้นที่ฝั่งด้านซ้าย ดังแสดงในรูปที่ 5(ก) ซึ่งจะมีระยะทางเดิน 24.1 เมตร และบริเวณพื้นที่ฝั่งด้านขวา ดังแสดงในรูปที่ 5(ข) มีระยะทางเดิน 31.12 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยอ้างอิง

การแบ่งบริเวณพื้นที่จากตำแหน่งของการติดตั้งระบบ ณ ตำแหน่งทางเดินบันไดหน้าลิฟต์ เนื่องจากเป็นตำแหน่งจุดกึ่งกลางการใช้บริเวณพื้นที่โถงทางเดินของทั้ง 2 ฝั่งและยังใช้เชื่อมต่อไปยังชั้นต่าง ๆ ภายในตัวอาคาร

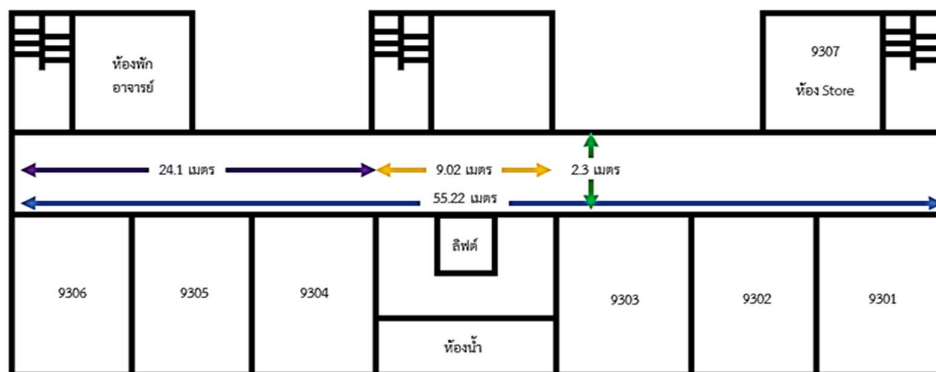


(ก)

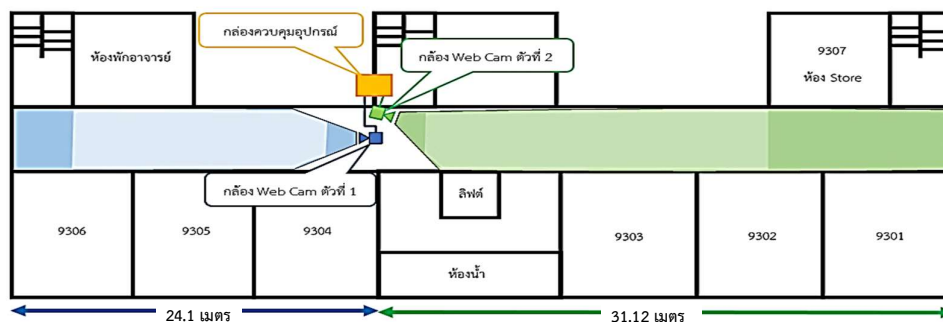
(ข)

รูปที่ 5 ลักษณะของบริเวณพื้นที่โถงทางเดิน

จากนั้นทำการออกแบบการติดตั้งระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติ ณ บริเวณพื้นที่โถงทางเดินพิจารณาการติดตั้งการทำงานของกล้องเว็บแคมทั้งหมด 2 ตัว โดยการติดตั้งกล้องแคมทั้ง 2 ตัว จะกำหนดให้มีการทำงานสำหรับการตรวจจับภาพในทิศทางตรงกันข้าม ดังแสดงในรูปที่ 7 กล้องตัวที่ 1 ทำการตรวจจับภาพบริเวณพื้นที่ฝั่งด้านซ้าย โดยจะติดตั้งตัวกล้องที่ตำแหน่งความสูงจากพื้นทางเดิน 3 เมตร ทำมุม 60 องศา มีบริเวณพื้นที่ในการตรวจจับภาพระยะทาง 24.1 เมตร และกล้องตัวที่ 2 ตรวจจับภาพบริเวณพื้นที่ฝั่งด้านขวา โดยติดตั้งตัวกล้องที่ตำแหน่งความสูงจากพื้นทางเดิน 2.33 เมตร ทำมุม 60 องศา มีบริเวณพื้นที่ในการตรวจจับภาพระยะทาง 31.12 เมตร



รูปที่ 6 แผนผังบริเวณพื้นที่โถงทางเดิน



รูปที่ 7 การติดตั้งกล้องเว็บแคมสำหรับการตรวจจับภาพบุคคล

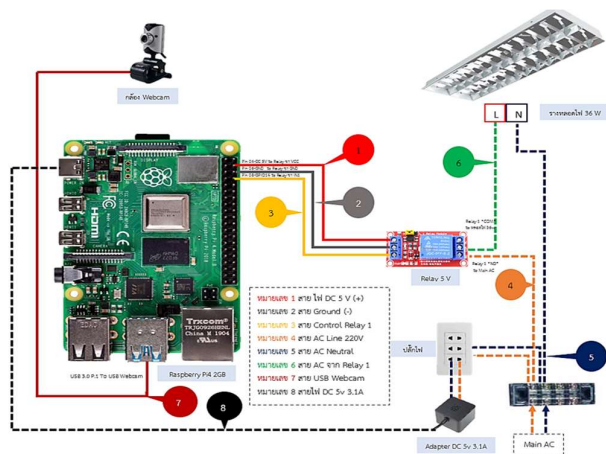
3.2 การออกแบบฮาร์ดแวร์

ระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติ ได้ทำการออกแบบฮาร์ดแวร์จำนวน 2 ชุด โดยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ชุดที่ 1 ประกอบด้วย บอร์ด Raspberry Pi กล้องเว็บแคม

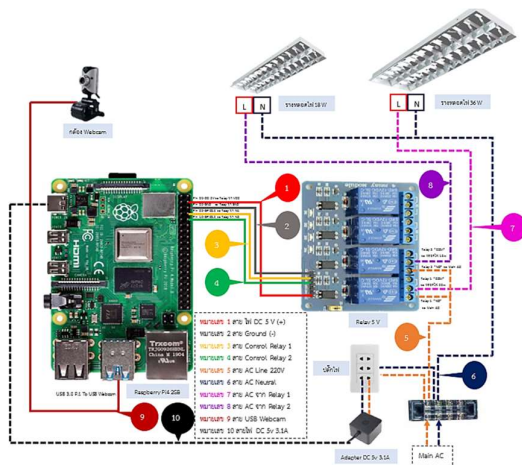
Oker รุ่น 088 ชุดอุปกรณ์รีเลย์ 1 ช่องสัญญาณ และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยสัญญาณหมายเลข 1,2,3 เชื่อมต่อระหว่างบอร์ด Raspberry Pi กับชุดอุปกรณ์รีเลย์ หมายเลข 1 คือ ไฟฟ้า

กระแสตรง 5 โวลต์ หมายเลข 2 คือ สัญญาณกราวด์ หมายเลข 3 คือ สัญญาณควบคุมการทำงานของชุดอุปกรณ์รีเลย์ หมายเลข 4, 5, 6 คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับชุดหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เชื่อมต่อควบคุมการทำงานผ่าน

ชุดอุปกรณ์รีเลย์ หมายเลข 7 คือ พอร์ต USB เชื่อมต่อกับกล้องเว็บแคม และหมายเลข 8 คือไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ขนาด 3.1 แอมป์ สำหรับบอร์ด Raspberry Pi



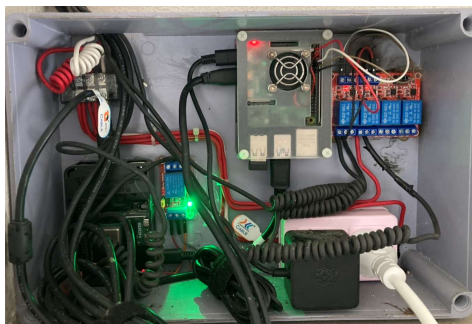
รูปที่ 8 ชุดอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติ 1



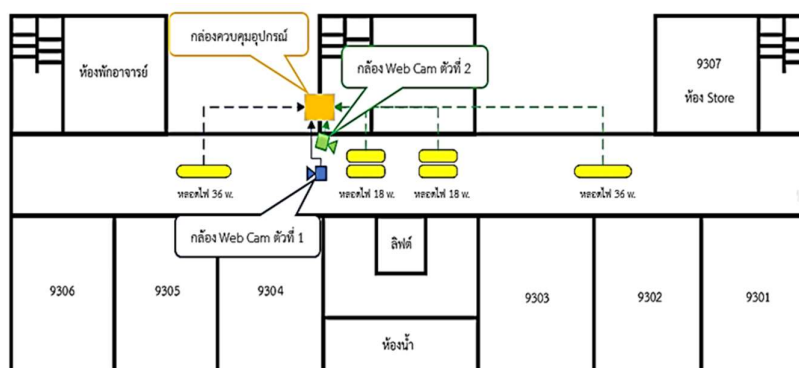
รูปที่ 9 ชุดอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติ 2

การออกแบบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ชุดที่ 2 ประกอบด้วยบอร์ด Raspberry Pi กล้องเว็บแคม ชุดอุปกรณ์รีเลย์ 4 ช่องสัญญาณ และหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 วัตต์ และ 36 วัตต์ โดยสัญญาณหมายเลข 1,2,3,4 เชื่อมต่อระหว่างบอร์ด Raspberry Pi กับชุดอุปกรณ์รีเลย์ จะทำการเพิ่มสัญญาณควบคุมการทำงานของชุดอุปกรณ์รีเลย์เป็น 2 ช่องสัญญาณ ได้แก่ หมายเลข 3 และหมายเลข 4 ดังแสดงในรูปที่ 9 ในที่นี้จะใช้งานร่วมกับชุดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีการติดตั้งใช้งานอยู่ก่อนแล้วจากนั้น ทำการ

ติดตั้งระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติ ทั้ง 2 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ 1 จะควบคุมการทำงานการเปิดและปิดหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จำนวน 1 ชุด และชุดอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ 2 จะมีการควบคุมการทำงานของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์จำนวน 2 ชุด ซึ่งหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชุดที่ 1 ประกอบด้วยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 วัตต์ จำนวน 4 หลอด และชุดที่ 2 ประกอบด้วยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ จำนวน 1 หลอด



รูปที่ 10 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติ



รูปที่ 11 การติดตั้งอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างแบบอัตโนมัติ

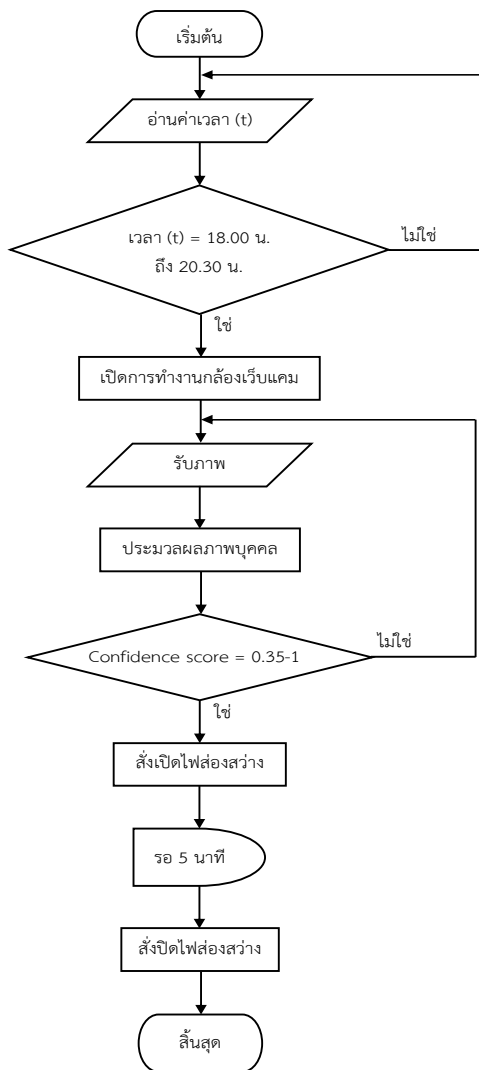
3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์

การออกแบบการทำงานของระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างแบบอัตโนมัติด้วยโปรแกรม Python การทำงานของ ระบบจะทำการตรวจสอบช่วงเวลาสำหรับการเริ่มทำการตรวจจับภาพบุคคล โดยระบบจะถูกตั้งเวลาการทำงานในช่วงเวลา 18.00 น. ถึง 20.30 น. เมื่อเข้าสู่ช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ระบบจะทำการเปิดใช้งานกล้องเว็บแคมเพื่อทำการตรวจจับภาพและประมวลผลภาพบุคคลด้วยอัลกอริทึม YOLO วิเคราะห์ความเหมือนของภาพบุคคล โดยอัลกอริทึม YOLO จะแสดงผลลัพธ์ (Output) คือค่าคะแนนความเชื่อมั่น ซึ่งค่าคะแนนความเชื่อมั่นเท่ากับ 1 หมายถึง ความเหมือนของภาพบุคคลมีความชัดเจนมาก แต่ถ้าค่าคะแนนความเชื่อมั่นน้อยกว่า 1 หรือเท่ากับ 0 แสดงว่าความเหมือนของภาพบุคคลมีความชัดเจนน้อยหรือไม่มีภาพบุคคล ในที่นี้ พิจารณาความเหมือนของภาพบุคคลที่ค่าคะแนนความเชื่อมั่นในช่วง 0.35-1 เนื่องจากต้องการให้ระบบสามารถตรวจจับภาพบุคคลได้ในระยะ 20 เมตร

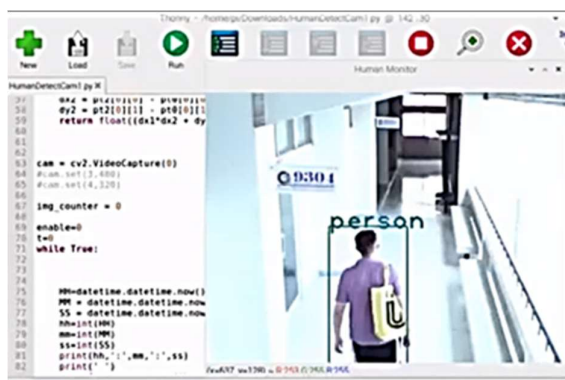
จากนั้นเมื่อระบบตรวจพบภาพบุคคลภายในบริเวณพื้นที่ที่กำหนด ระบบจะสั่งการเปิดไฟส่องสว่างด้วยหลอดไฟลูออเรสเซนต์ภายในบริเวณพื้นที่นั้น ๆ เป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วสั่งปิดไฟส่องสว่างของหลอดไฟลูออเรสเซนต์ ดังแสดงในรูปที่ 12

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติทั้ง 2 ชุด ได้ทำการทดลอง ณ บริเวณพื้นที่โถงทางเดิน โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจากผู้ใช้งานจริง ณ ช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยผู้ใช้งานที่ 30 คนต่อวัน ในการทดลองได้พิจารณาลักษณะของบุคคลที่ใช้พื้นที่ ได้แก่ การใช้บริเวณพื้นที่โถงทางเดินจำนวน 1 คน หรือมากกว่า 1 คน การเดินในทิศทางหันหน้าเข้าหาตัวกล้องหรือหันหลังเข้าหาตัวกล้อง ดังแสดงในรูปที่ 13 และรูปที่ 14 ไม่มีผลต่อการตรวจจับความเหมือนของภาพบุคคล



รูปที่ 12 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบ

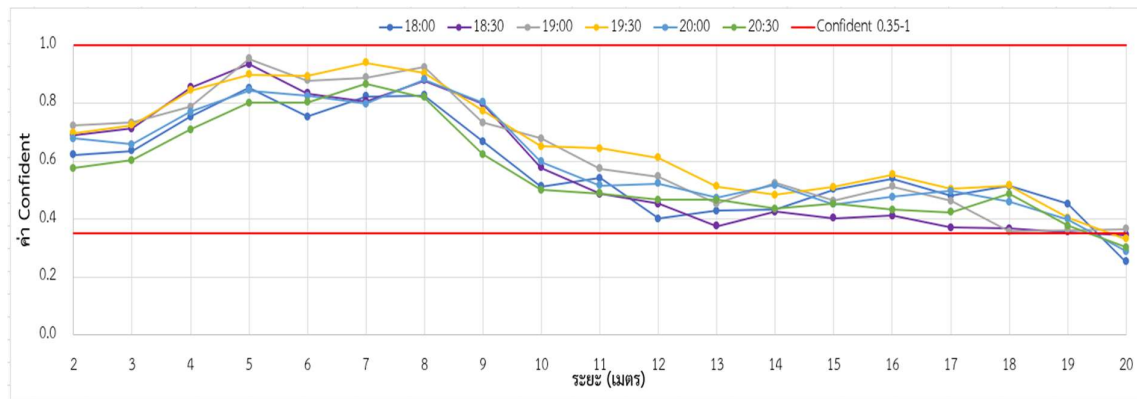


รูปที่ 13 การตรวจจับภาพบุคคลแบบเรียลไทม์ของกล้อง 1



รูปที่ 14 การตรวจจับภาพบุคคลแบบเรียลไทม์ของกล้อง 2

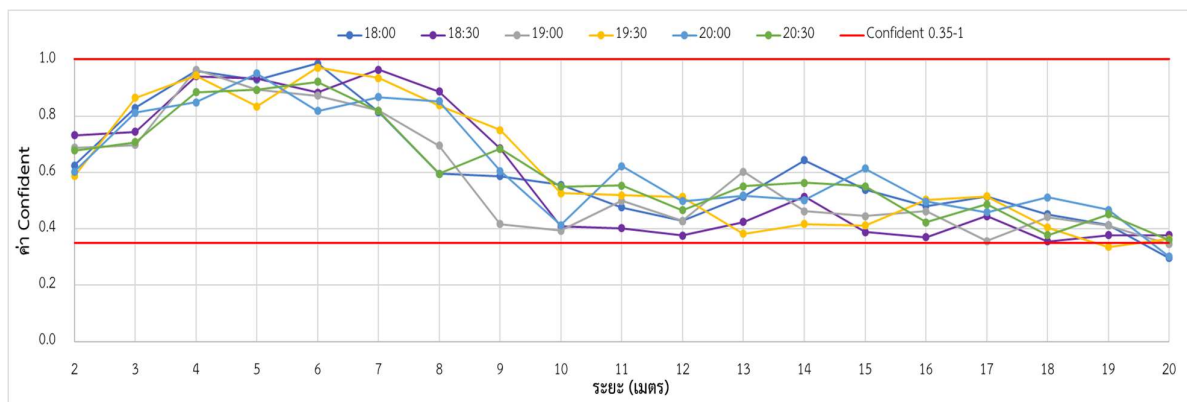
การตรวจจับภาพบุคคลแบบเรียลไทม์ เพื่อสั่งการควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติตามบริเวณพื้นที่โถงทางเดิน ได้พิจารณาค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนของภาพบุคคลจากระบบการทำงานของกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 ในช่วงเวลา 18.00 น. เวลา 18.30 น. เวลา 19.00 น. เวลา 19.30 น. เวลา 20.00 น. และเวลา 20.30 น. ที่ระยะทางตั้งแต่ 1 เมตร ถึง 20 เมตร ผลการทดลองพบว่า ที่ระยะทาง 1 เมตร การตรวจจับภาพบุคคลของกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 ระบบไม่สามารถตรวจจับภาพบุคคลได้ เนื่องจากตำแหน่งความสูงและมุมมองของการติดตั้งตัวกล้องเว็บแคมมีผลทำให้การตรวจจับภาพบุคคลมีระยะเริ่มต้นที่ 2 เมตร และผลการตรวจจับภาพบุคคลของกล้องตัวที่ 1 ที่ระยะทางตั้งแต่ 2 เมตร ถึง 20 เมตร ดังแสดงผลดังรูปที่ 15 เส้นสีแดง คือช่วงค่าคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนภาพบุคคลที่กำหนด เส้นสีน้ำเงิน คือค่าเฉลี่ยที่เวลา 18.00 น. เส้นสีม่วง คือค่าเฉลี่ยที่เวลา 18.30 น. เส้นสีเทา คือค่าเฉลี่ยที่เวลา 19.00 น. เส้นสีเหลือง คือค่าเฉลี่ยที่เวลา 19.30 น. เส้นสีฟ้า คือค่าเฉลี่ยที่เวลา 20.00 น. และเส้นสีเขียว คือค่าเฉลี่ยที่เวลา 20.30 น. จากกราฟแสดงผลค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนภาพบุคคลตามช่วงเวลาต่าง ๆ พบว่า การทำงานของกล้องตัวที่ 1 สามารถตรวจจับภาพบุคคลซึ่งมีค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นอยู่ในช่วงที่กำหนดมีระยะทางถึง 19 เมตร และที่ระยะทาง 20 เมตร พบว่าค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.254 ± 0.18 , 0.346 ± 0.24 , 0.365 ± 0.21 , 0.331 ± 0.19 , 0.289 ± 0.21 , และ 0.302 ± 0.25 ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 15 ค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนภาพบุคคลสำหรับระบบการทำงานของกล้อง 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนภาพบุคคลสำหรับระบบการทำงานของกล้อง 1 ที่ระยะทาง 20 เมตร

เวลา	18.00 น.	18.30 น.	19.00 น.	19.30 น.	20.00 น.	20.30 น.
ค่าเฉลี่ย	0.254	0.346	0.365	0.331	0.289	0.302
S.D.	± 0.18	± 0.24	± 0.21	± 0.19	± 0.21	± 0.25



รูปที่ 16 ค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนภาพบุคคลสำหรับระบบการทำงานของกล้อง 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนภาพบุคคลสำหรับระบบการทำงานของกล้อง 2 ที่ระยะทาง 20 เมตร

เวลา	18.00 น.	18.30 น.	19.00 น.	19.30 น.	20.00 น.	20.30 น.
ค่าเฉลี่ย	0.297	0.378	0.346	0.364	0.301	0.361
S.D.	± 0.16	± 0.26	± 0.21	± 0.22	± 0.18	± 0.25

ผลการตรวจจับภาพบุคคลกล้องตัวที่ 2 พบว่าในระยะทาง ตั้งแต่ 2 เมตร จนถึง 20 เมตร มีค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนภาพบุคคลอยู่ในช่วงที่กำหนด โดยมีระยะทางถึง 19 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 16 เส้นสีแดงคือช่วงค่าคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนภาพบุคคลที่กำหนดไว้ เส้นสีน้ำเงิน คือค่าเฉลี่ยที่เวลา 18.00 น. เส้นสีม่วง คือค่าเฉลี่ยที่เวลา 18.30 น. เส้นสีเทา คือค่าเฉลี่ยที่เวลา 19.00 น. เส้นสีเหลือง คือค่าเฉลี่ยที่เวลา 19.30 น. เส้นสีฟ้า คือค่าเฉลี่ยที่เวลา 20.00 น. และเส้นสีเขียว คือค่าเฉลี่ยที่เวลา 20.30 น. นอกจากนี้พบว่าที่ระยะทาง 20 เมตร มีค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนภาพบุคคลต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.297 ± 0.16 , 0.378 ± 0.26 , 0.346 ± 0.21 , 0.364 ± 0.22 , 0.301 ± 0.18 , และ 0.361 ± 0.25 ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานการตรวจจับภาพบุคคลของกล้องตัวที่ 1 และกล้องตัวที่ 2 โดยพิจารณาที่ค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนภาพบุคคลในช่วงเวลานั้น ๆ ของแต่ละระยะทางตั้งแต่ 3 เมตร ถึง 20 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 19 เส้นสีแดง คือช่วงค่าคะแนนความเชื่อมั่นที่กำหนด เส้นสีเขียว คือค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของระบบกล้องตัวที่ 1 เส้นสีน้ำเงิน คือค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของระบบกล้องตัวที่ 2 จากการเปรียบเทียบพบว่า ระบบการทำงานของกล้องทั้ง 2 ตัว สามารถตรวจจับภาพบุคคล โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความ

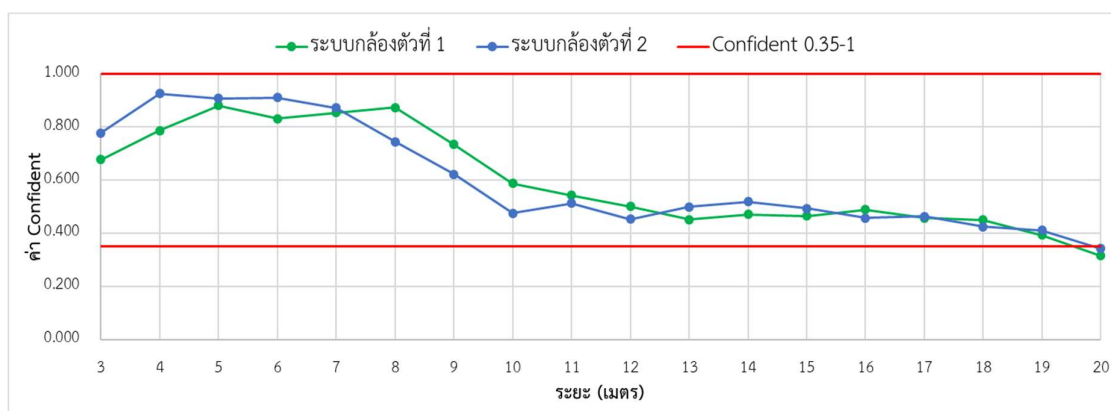
เหมือนภาพบุคคลที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 3 และตารางที่ 4 นอกจากนี้พบว่าที่ระยะทาง 20 เมตร มีค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นต่ำกว่าค่าที่กำหนด ลักษณะของภาพบุคคลมีขนาดเล็กและไม่ชัดเจนจึงส่งผลต่อการวิเคราะห์ความเหมือนของภาพบุคคล ดังแสดงในรูปที่ 17 และรูปที่ 18



รูปที่ 17 การตรวจจับภาพบุคคลที่ระยะ 20 เมตร ของกล้อง 1



รูปที่ 18 การตรวจจับภาพบุคคลที่ระยะ 20 เมตร ของกล้อง 2



รูปที่ 19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนภาพบุคคลของกล้องทั้ง 2 ตัว

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนภาพบุคคลสำหรับระบบการทำงานของกล้อง 1

ระยะ (เมตร)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเฉลี่ย	0.67	0.78	0.88	0.83	0.85	0.87	0.73	0.58	0.54	0.50	0.45	0.47	0.46	0.48	0.45	0.45	0.39	0.31
ย	7	5	0	1	3	2	3	6	2	0	1	0	4	8	6	0	2	5
S.D.	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0
	5	5	5	5	5	4	7	7	6	7	4	4	4	5	5	7	3	4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนภาพบุคคลสำหรับระบบการทำงานของกล้อง 2

ระยะ (เมตร)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าเฉลี่ย	0.77	0.92	0.90	0.91	0.87	0.74	0.62	0.47	0.51	0.45	0.49	0.51	0.49	0.45	0.46	0.42	0.41	0.34
ย	6	4	6	0	0	4	2	5	3	2	9	7	2	6	3	4	0	1
S.D.	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.1	±0.1	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0	±0.0
	6	4	4	6	6	2	1	7	7	5	7	7	8	5	5	5	4	3

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดลองการติดตั้งระบบควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติทั้ง 2 ชุด บริเวณพื้นที่โถงทางเดิน โดยระบบได้ถูกตั้งโปรแกรมให้เริ่มทำงานในช่วงเวลา 18.00 น. ถึง 20.30 น. เนื่องจากในช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงระยะเวลาที่แสงสว่างจากธรรมชาติได้มีดับลงแต่ยังคงมีผู้ใช้งานบริเวณพื้นที่โถงทางเดินอยู่ ดังนั้นเพื่อการอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้พื้นที่ ระบบจะทำการตรวจจับภาพและประมวลผลภาพบุคคลด้วยอัลกอริทึม YOLO แบบเรียลไทม์ พิจารณาความเหมือนของภาพบุคคลที่ค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่น 0.35-1 เพื่อสั่งการควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติตามบริเวณพื้นที่โถงทางเดิน จากการทดลองพบว่า เมื่อมีบุคคลเดินผ่านบริเวณพื้นที่โถงทางเดินที่กำหนดระบบสามารถตรวจจับภาพบุคคลและสั่งการควบคุมการเปิดและปิดไฟส่องสว่างอัตโนมัติในบริเวณพื้นที่ได้ โดยระบบสามารถทำงานได้ดีและมีเสถียรภาพที่ระยะทางตรวจจับภาพบุคคลตั้งแต่ 2 เมตร ถึง 19 เมตร จากตำแหน่งของตัวชุดอุปกรณ์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนของภาพบุคคลอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ และช่วงระยะทางการตรวจจับภาพบุคคลที่ 1 เมตร ระบบไม่สามารถตรวจจับภาพบุคคลได้ เนื่องจากตำแหน่งการติดตั้งตัวกล้องเว็บแคม นอกจากนี้ ที่ระยะทางตรวจจับภาพบุคคลที่ 20 เมตร พบว่า การตรวจจับภาพและการระบุภาพตัว

บุคคลมีความเสถียรภาพลดน้อยลง ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยคะแนนความเชื่อมั่นของความเหมือนของภาพบุคคลซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Kakham, and B. Ounpanich, "The Room Model Using LED Lighting Systems with Integrated Daylighting," *The Journal of Engineering Journal Chiang Mai University*, vol. 24, no. 1, pp. 35–44, Jan. 2017 (in Thai).
- [2] P. Kakham, and B. Ounpanich, "The LED Lighting Systems with Integrated Daylighting for Enhancing Energy Performance," *The Journal of Engineering Journal Chiang Mai University*, vol. 24, no. 3, pp. 13–24, Sep. 2017 (in Thai).
- [3] K. Putthiphong, T. Suthi, S. saowalak, and S. Anusorn, "Automatic Brightness Control Room on the basis of the Standard for Saving Energy," in *Proceedings of The 8th Thailand Renewable Energy for Community Conference*, Pathum Thani, Thailand, November. 4-6, 2015, pp. 215–218 (in Thai).

- [4] A. Phunphanasakul, T. Srirasan, P. Chankao, and K. Chanmano, "Development of Room Lighting and Air Conditioners Control Systems via Smart Phones," in *Proceeding of The 10th Hatyai National and International Conference*, Hatyai, Thailand, July. 12-13, 2018, pp.645-659 (in Thai).
- [5] C. Duangtasang, I. Saenkhok, S. Ritcharoenwat, S. Hansungnoen, "Automatic Room Lighting Control System," in *Proceedings of the 8th Thailand Renewable Energy for Community Conference*, Pathum Thani, Thailand, November. 4-6, 2014, pp. 211-214 (in Thai).
- [6] S. Udomhunsakul, *Fundamentals of Digital Image Processing*. Bangkok: Toptextbook, 2011 (in Thai).
- [7] J. Jaroenjit, A. Panpanasakul, P. Chaisri, P. Promduang, and S. Prompongusawa, "Classification pearls using image processing," in *Proceedings of the 9th Hatyai National and International Conference*, Hatyai, Thailand, July. 20-21, 2018, pp. 1679 – 1691 (in Thai).
- [8] A. Tungkastan and K. Leewun, "Pixel-Based Car Model Detection and Recognition," *The Journal of Engineering Journal of Siam University*, vol. 19, pp. 90–102, January-June. 2018 (in Thai).
- [9] A. Ingole, S. Ambatkar, S. Kakde, "Implementation of health-care monitoring system using Raspberry Pi," in *Proceeding of 2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP)*, India, April. 2-4, 2015, pp. 1083-1086.
- [10] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," in *Proceeding of 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, USA, June. 27-30, 2016, pp. 779-788.
- [11] Y. Lu, L. Zhang, and W. Xie, "YOLO-compact: An Efficient YOLO Network for Single Category Real-time Object Detection," in *Proceeding of 2020 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, China, August. 22-24, 2020, pp. 1931-1936.
- [12] M. Mahendru, and S. K. Dubey, "Real Time Object Detection with Audio Feedback using Yolo vs. Yolo_v3," in *Proceeding of 2021 11th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)*, India, January. 28-29, 2021, pp. 734-740.
- [13] H. Yanagisawa, T. Yamashita, and H. Watanabe, "A study on object detection method from manga images using CNN," in *Proceeding of 2018 International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT)*, Chiang Mai, Thailand, January. 7-9, 2018 (in Thai).
- [14] H. Bi, J. Deng, T. Yang, J. Wang, and L. Wang, "CNN-Based Target Detection and Classification When Sparse SAR Image Dataset is Available," *International Journal of IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 14, pp. 6815-6826, Jan. 2014.

การลดขนาดสายอากาศไมโครสตริบแบบล็อกพีริออดิคร่วมกับชั้นวางซ้อนสำหรับ งานตรวจจับสัญญาณรบกวนในย่านความถี่สูงยิ่ง Miniaturization of Microstrip Log-periodic Antenna with Superstrate for Interference Detection in UHF Bands

สืบสกุล กันธวงศ์¹, สิทธิชัย เด่นตรี² และ ศุภกิต แก้วดวงตา^{1*}
Suebsakoun Kuntawong¹, Sitthichai Dentr² and Supakit Kawdungta^{1*}

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

²ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

²Department of Electronics Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University
of Technology North Bangkok

*Email: Supakitting@gmail.com

Received: March 18, 2022; Revised: June 27, Year; Accepted: July 02, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการลดขนาดของสายอากาศไมโครสตริบแบบล็อกพีริออดิคสำหรับใช้งานย่านความถี่สูงยิ่งด้วยเทคนิคชั้นวางซ้อนแบบแผ่นไดอิเล็กตริกซึ่งสามารถลดขนาดของสายอากาศลงได้ 25 % จากผลการออกแบบและทดสอบสายอากาศที่นำเสนอมีค่าอิมพีแดนซ์เข้าใกล้ 50Ω และมีค่า $|S_{11}|$ น้อยกว่า -10 dB ในช่วงความถี่ 332 MHz ถึง 3,000 MHz ครอบคลุมสำหรับการใช้งานช่วงความถี่ของวิทยุโทรทัศน์ วิทยุสื่อสาร โทรศัพท์เคลื่อนที่ และระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเป็นแบบทิศทางด้วยความกว้างของลำคลื่น 30 องศา และมีอัตราขยายมากกว่า 7 dBi ตลอดช่วงความถี่ซึ่งสายอากาศที่นำเสนอสามารถใช้งานตรวจจับสัญญาณรบกวนทางความถี่วิทยุได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งเปรียบเทียบสายอากาศมาตรฐานกับสายอากาศที่นำเสนอพบว่ามีขนาดเล็กกว่าและมีน้ำหนักน้อยกว่า

คำสำคัญ : สายอากาศแบบล็อกพีริออดิค, เทคนิคการลดขนาด, ไดอิเล็กตริก, ชั้นวางซ้อน

Abstract

This paper presents the miniaturization of microstrip Log Periodic antenna in Ultra High Frequency (UHF) band by using dielectric Superstrate which can be reduced the total size by 25% of the conventional antenna. From simulated and measured results, the proposed antenna has an input impedance of 50Ω , $|S_{11}|$ less than -10 dB in the frequency range from 332 MHz to 3,000 MHz, that covers the application of Television Broadcasting, Radio Communication, Telecommunication as well as Wireless Communication. It also has a uni-directional radiation pattern with HPBW of 30 degrees, and an antenna Gain more than 7 dBi over the operating frequency. The proposed antenna is effective in detecting radio interference.

Keywords : Log Periodic Antenna, Miniaturization Technique, Dielectric, Superstrate

1. บทนำ

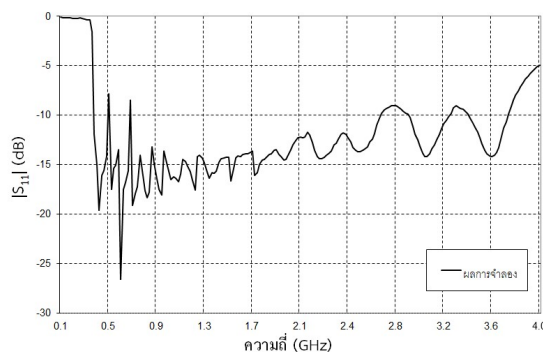
ปัจจุบันมีการใช้งานคลื่นความถี่สำหรับการส่งวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ และวิทยุโทรคมนาคม กันอย่างแพร่หลายเมื่อมีการใช้งานความถี่โดยไม่ได้รับอนุญาตหรือเกิดการแพร่คลื่นแปลกปลอมจะทำให้เกิดปัญหาการรบกวนกันของคลื่นความถี่ การตรวจสอบและติดตามการใช้คลื่นความถี่วิทยุเป็นอำนาจหน้าที่ของสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) เพื่อกำกับดูแลให้การใช้ทรัพยากรแถบคลื่นความถี่วิทยุที่มีจำกัดอย่างคุ้มค่าถูกต้องตามกฎหมาย และไม่รบกวนซึ่งกันและกัน สำหรับกิจการต่างๆ โดยมี สำนักงาน กสทช. เขต ในส่วนภูมิภาคทำหน้าที่ตรวจสอบและแก้ไขการรบกวนกันของคลื่นความถี่วิทยุ [1] โดยใช้ระบบการตรวจจับสัญญาณรบกวน (Interference Detection System) โดยพื้นฐานของระบบนี้จะประกอบไปด้วย เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer) สายนำสัญญาณและสายอากาศเป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ระบบการตรวจจับสัญญาณรบกวนมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพด้วยซึ่งก็หมายถึงสายอากาศในระบบการตรวจจับสัญญาณรบกวนนั่นเอง สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union; ITU) กำหนดให้สายอากาศในระบบการตรวจจับสัญญาณรบกวนนั้นจะต้องมีคุณสมบัติคือ มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทาง (Uni-directional Radiation Pattern) มีอัตราการขยายสูง และสามารถใช้งานได้ในช่วงความถี่กว้าง ทำให้สายอากาศที่นิยมนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางคือ สายอากาศแบบล็อกพีริออดิก (Log Periodic Antenna) [2]

จากการศึกษาลักษณะสายอากาศแบบล็อกพีริออดิกเป็นสายอากาศที่มีช่วงการตอบสนองความถี่กว้างอีกทั้งมีอัตราขยายสูงและมีความถี่ไม่ขึ้นกับการใช้งานแต่สายอากาศจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่เมื่อออกแบบเพื่อใช้งานกับความถี่ต่ำ [3]-[6] จึงได้มีการนำเทคนิคการออกแบบสายอากาศแบบล็อกพีริออดิกบนแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) เพื่อลดขนาดของสายอากาศดังแสดงในเอกสารอ้างอิงที่ [7]-[13] และได้มีการพัฒนาการลดขนาดของสายอากาศแบบล็อกพีริออดิกบนแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยวิธีการที่แตกต่างออกไปด้วยการใช้

องค์ประกอบไดโพลแบบบ่วงขดวงวน (Folded Planar Helix (FPH) Dipole) ในเอกสารอ้างอิงที่ [14] พบว่าสามารถลดขนาดของสายอากาศได้ 39% ในช่วงความถี่ 400-800 MHz จากการมุ่งเน้นการลดขนาดของสายอากาศแบบล็อกพีริออดิกบนแผ่นวงจรพิมพ์ซึ่งมักจะทำให้คุณสมบัติด้านอัตราการขยายของสายอากาศลดลงในเอกสารอ้างอิงที่ [15] จึงได้มีการนำเสนอการเพิ่มอัตราการขยายของสายอากาศแบบล็อกพีริออดิกบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีการลดขนาดด้วยวิธีการใช้อองค์ประกอบแบบแขนรูปตัวแอลสามารถใช้งานได้ความถี่ 1-9 GHz และในเอกสารอ้างอิงที่ [16]-[17] ได้มีการนำเสนอการลดขนาดและเพิ่มช่วงการตอบสนองความถี่ของสายอากาศแบบ ล็อกพีริออดิกบนแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยโครงสร้าง 3 แบบ คือ บาลันรูปทรงหัวลูกศร (Arrow Shaped Balun) การ้อนสัญญาณแบบซด (Mean Section of Feedline) และสตัปแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Stub) สามารถตอบสนองความถี่ได้ 0.55-9 GHz แต่อย่างไรก็ตามในการเปลี่ยนองค์ประกอบของสายอากาศแบบล็อกพีริออดิกบนแผ่นวงจรพิมพ์ไปนั้นสามารถทำให้เกิดผลกระทบด้านประสิทธิภาพโดยในเอกสารอ้างอิงที่ [18] ได้มีการศึกษาพบว่าสามารถลดขนาดโดยรวมของสายอากาศลงได้และสุดท้ายได้มีการนำเทคนิคการใช้วัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกมาขึ้นวางซ้อนมาเพื่อลดขนาดโดยรวมของสายอากาศแบบล็อกพีริออดิกบนแผ่นวงจรพิมพ์ซึ่งสามารถที่จะทำได้ในช่วงความถี่ใช้งานทั้งหมด 3 ช่วงความถี่คือ 0.78-1.4 GHz 1.5-1.8 GHz และ 2.29-2.54 GHz [19] ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ลดพื้นที่ในการติดตั้งสายอากาศเพื่อใช้งานในระบบการตรวจจับสัญญาณรบกวนและตอบสนองกับการใช้งานให้ครอบคลุมในย่านความถี่ของวิทยุโทรทัศน์ วิทยุสื่อสาร โทรศัพท์เคลื่อนที่ และระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายในบทความนี้จึงนำเสนอการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบล็อกพีริออดิคร่วมกับชั้นวางซ้อนเพื่อลดขนาดและปรับปรุงประสิทธิภาพของสายอากาศแบบล็อกพีริออดิกบนแผ่นวงจรพิมพ์เดิม โดยสายอากาศที่นำเสนอนี้สามารถลดขนาดลงได้จากเดิม 25 % มีค่า $|S_{11}| \leq -10$ dB ในช่วงความถี่ 332 MHz ถึง 3,000 MHz เหมาะสำหรับการใช้เป็นสายอากาศในการหาสัญญาณรบกวนในย่านความถี่สูงยิ่ง

3. ผลการจำลองการลดขนาดด้วยชั้นวางซ้อนแบบวัสดุฐานรอง

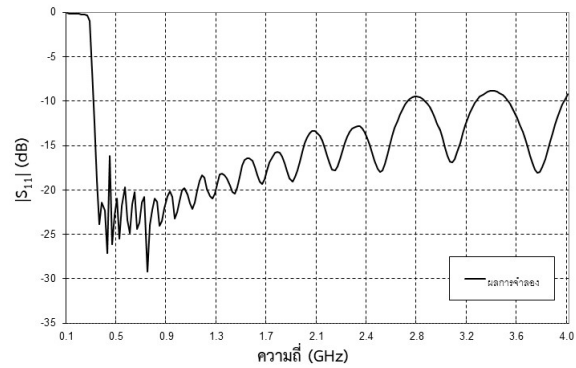
จากโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรูดิคร่วมกับชั้นวางซ้อนที่แสดงในรูปที่ 1 ในการออกแบบสายอากาศที่นำเสนอจะเริ่มจากการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบโมโนโพลที่นำมาเป็นองค์ประกอบของสายอากาศบนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board : PCB) ชนิด FR4 ($\epsilon_r = 4.3$) ที่มีความหนาเท่ากับ 1.6 mm มีแผ่นทองแดง 2 ด้าน โดยทำการจำลองปรับลดหรือเพิ่มขนาดของความสูงขององค์ประกอบย่อย (L) ความกว้างขององค์ประกอบย่อย (W) และทำการศึกษการปรับระยะห่างระหว่างองค์ประกอบย่อย (D) เพื่อให้เกิดเรโซแนนซ์ที่ความถี่กลางและเพื่อให้มีช่วงกว้างความถี่ครอบคลุมช่วงความถี่ใช้งาน โดยจะปรับลดระยะห่างลงจากค่าพารามิเตอร์ของสายอากาศที่ได้ออกแบบไว้ในช่วงแรกจากรูปที่ 2 แสดงค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรูดิคร่วมกับชั้นวางซ้อน จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า $|S_{11}|$ มีการตอบสนองลดลงแต่ยังคงครอบคลุมย่านความถี่ของวิทยุโทรทัศน์ วิทยุสื่อสาร โทรศัพท์เคลื่อนที่ และระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายคือ ช่วงความถี่ 800 MHz – 2.6 GHz



รูปที่ 2 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรูดิคร่วมกับชั้นวางซ้อน

จากนั้นเพื่อลดขนาดโดยรวมของสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรูดิคร่วมกับชั้นวางซ้อนได้อีกเล็กน้อย จึงนำเทคนิคใช้วัสดุฐานรองไดอิเล็กทริกมาวางซ้อนทั้ง 2 ด้าน ของสายอากาศโดยใช้วัสดุฐานรองไดอิเล็กทริกแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 ($\epsilon_r = 4.3$) ขนาด 598

X 364 mm ความสูงของฐานรอง 1.6 mm วางประกบทั้ง 2 ด้านของสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรูดิคร่วมกับชั้นวางซ้อน การจำลองอีกครั้งพบว่าได้ค่า $|S_{11}|$ ดังแสดงในรูปที่ 3



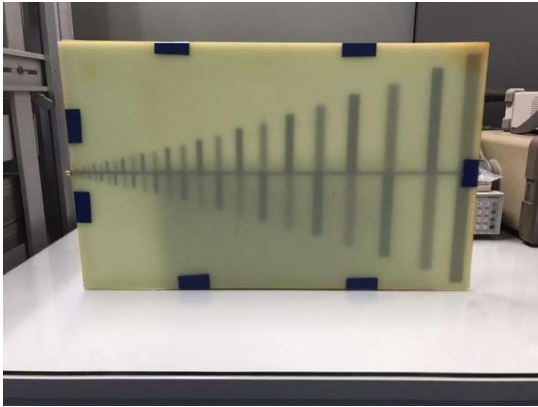
รูปที่ 3 ผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรูดิคร่วมกับชั้นวางซ้อน

รูปที่ 3 แสดงผลการจำลองค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรูดิคร่วมกับชั้นวางซ้อนด้านบนและด้านล่าง ผลที่ได้พบว่าสายอากาศสามารถตอบสนองย่านความถี่ครอบคลุมตั้งแต่ความถี่ 332 MHz จนถึง 3,000 MHz ครอบคลุมย่านความถี่ของวิทยุโทรทัศน์ วิทยุสื่อสาร โทรศัพท์เคลื่อนที่ และระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและมีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางด้วยอัตราการขยายเท่ากับ 7 dBi ดังแสดงในรูปที่ 7

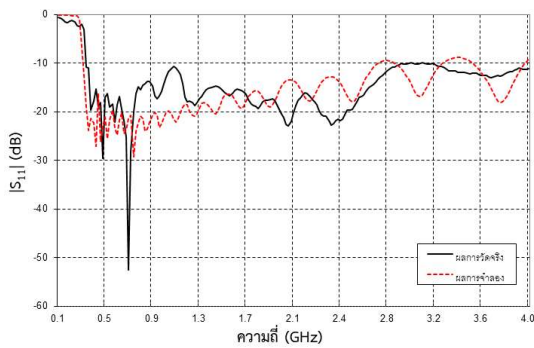
4. การทดสอบสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรูดิคร่วมกับชั้นวางซ้อน

ในหัวข้อนี้เป็นการนำผลที่ได้จากการจำลองมาสร้างสายอากาศต้นแบบและทำการทดสอบคุณสมบัติ โดยสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรูดิคร่วมกับชั้นวางซ้อนที่ได้ทำการออกแบบถูกสร้างขึ้นด้วยแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 ($\epsilon_r = 4.3$) ที่มีความหนาเท่ากับ 1.6 mm จากนั้นนำแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 ที่นำเอาทองแดงออกแล้วทั้ง 2 ด้าน มาวางซ้อนทั้งด้านบนและด้านล่างของสายอากาศ รูปที่ 4 แสดงภาพถ่ายของสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรูดิคร่วมกับชั้นวางซ้อนต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น เมื่อได้ต้นแบบที่สมบูรณ์แล้วจึงทำการทดสอบค่า $|S_{11}|$ ของ

สายอากาศต้นแบบซึ่งพบว่าสายอากาศต้นแบบมีค่า $|S_{11}|$ มีค่าต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ 332 MHz ถึง 3,000 MHz เปรียบเทียบกับสายอากาศที่ได้จากผลการจำลอง พบว่ามีค่า $|S_{11}|$ มีค่าต่ำกว่า -10 dB ครอบคลุมช่วงความถี่ 320 MHz ถึง 2,780 MHz ซึ่งมีความดังแสดงในรูปที่ 5

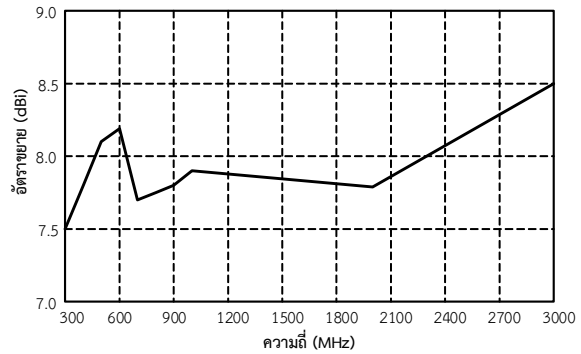


รูปที่ 4 ภาพถ่ายของสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรติดัดคร่อมกับชั้นวางซ้อนต้นแบบ



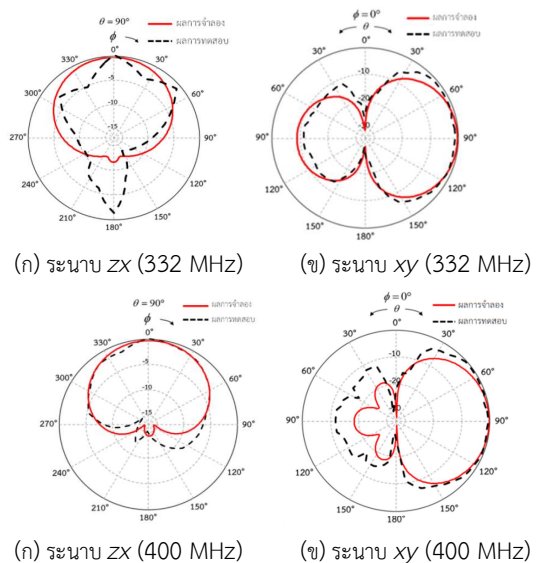
รูปที่ 5 ผลการทดสอบค่า $|S_{11}|$ ของสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรติดัดคร่อมกับชั้นวางซ้อนต้นแบบ

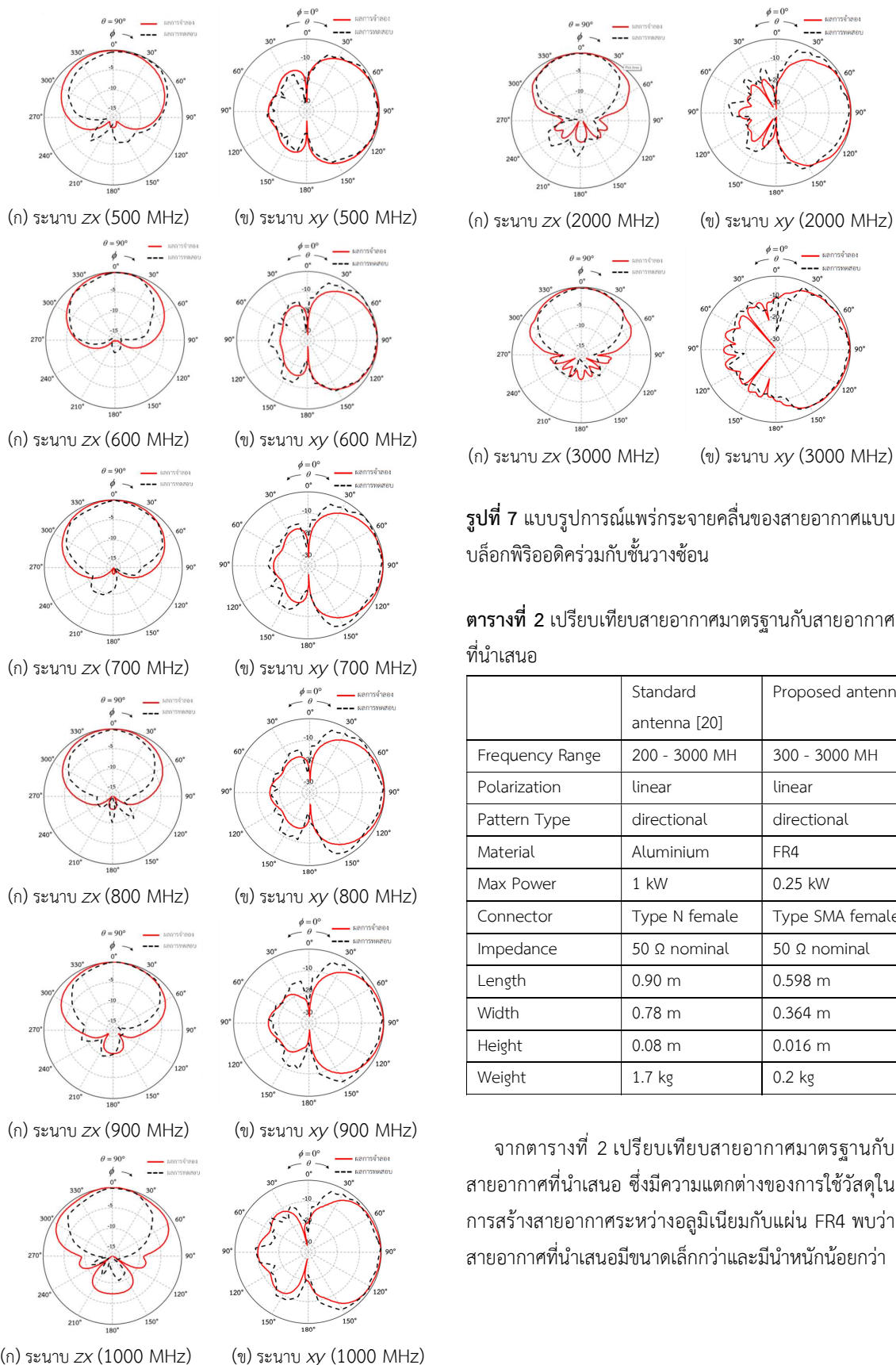
อัตราขยายต่อความถี่ใช้งานของสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรติดัดคร่อมกับชั้นวางซ้อนต้นแบบแสดงในรูปที่ 6 โดยจะเห็นว่าสายอากาศต้นแบบนี้มีอัตราขยายมากกว่า 7 dBi ตลอดย่านความถี่



รูปที่ 6 อัตราขยายของสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรติดัดคร่อมกับชั้นวางซ้อนต้นแบบ

สุดท้ายแสดงผลการทดสอบแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไมโครสตริปแบบลูปฟิรติดัดคร่อมกับชั้นวางซ้อนที่ความถี่ 332 MHz 400 MHz 500 MHz 600 MHz 700 MHz 800 MHz 900 MHz 1000 MHz 2000 MHz และ 3000 MHz ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีลักษณะแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบทิศทางด้วยควมกว้างลำคลื่นมากกว่า 30 องศา เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการจำลอง พบว่าในระนาบ zx ผลการทดสอบจะมี HPBW แคบกว่าผลการจำลองเล็กน้อย ส่วนในระนาบ xy ผลการจำลองจะมี HPBW แคบกว่าผลการจำลองเล็กน้อย





รูปที่ 7 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบบล็อกฟิรูดิคร่วมกับชั้นวางซ้อน

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบสายอากาศมาตรฐานกับสายอากาศที่นำเสนอ

	Standard antenna [20]	Proposed antenna
Frequency Range	200 - 3000 MH	300 - 3000 MH
Polarization	linear	linear
Pattern Type	directional	directional
Material	Aluminium	FR4
Max Power	1 kW	0.25 kW
Connector	Type N female	Type SMA female
Impedance	50 Ω nominal	50 Ω nominal
Length	0.90 m	0.598 m
Width	0.78 m	0.364 m
Height	0.08 m	0.016 m
Weight	1.7 kg	0.2 kg

จากตารางที่ 2 เปรียบเทียบสายอากาศมาตรฐานกับสายอากาศที่นำเสนอ ซึ่งมีความแตกต่างของการใช้วัสดุในการสร้างสายอากาศระหว่างอลูมิเนียมกับแผ่น FR4 พบว่าสายอากาศที่นำเสนอมีขนาดเล็กกว่าและมีน้ำหนักน้อยกว่า

5. สรุปผล

จากการออกแบบและสร้างสายอากาศไมโครสตริปแบบล็อกพรีออดิคร่วมกับชั้นวางซ้อนที่นำเสนอในบทความนี้ด้วยเทคนิควัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกวางซ้อน 2 ด้าน เพื่อลดขนาดของสายอากาศพบว่าสามารถลดขนาดโดยรวมของสายอากาศลง 25 % สายอากาศสามารถตอบสนองช่วงความถี่ได้ตั้งแต่ 332 MHz ถึง 3,000 MHz ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ของวิทยุโทรทัศน์ วิทยุสื่อสาร โทรศัพท์เคลื่อนที่ และระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย มีแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นแบบทิศทางด้วยความกว้างลำคลื่นมากกว่า 30 องศาและมีอัตราขยายตลอดย่านความถี่ 7 dBi ซึ่งสามารถใช้งานตรวจจับสัญญาณรบกวนทางความถี่วิทยุได้จริง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of The National Broadcasting and Telecommunications Commission, "Act on the organization of frequency allocation and supervision of radio broadcasting business Radio, Television and Telecommunications, 2010," Bangkok.
- [2] International Telecommunication Union, Spectrum Monitoring Handbook, Chapter 3, Section 3.2.4.2, 2011
- [3] R. H. DuHamel and D. E. Isbell, "Broadband Logarithmically Periodic Antenna Structures," *IRE National Convention Record*, pt. 1, 1957, pp. 119-128.
- [4] A. Q. Khan, M. Riaz and A. Bilal, "Various Types of Antenna with Respect to their Applications: A Review," *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, vol. 7, no. 3, pp. 1-8, March. 2016.
- [5] K. Mistry, P. Lazaridis, I. Glover, V. Holmes, F. Khan, Q. Ahmed, Z. Zaharis and T. Xenos, "Measurement, Simulation and Optimization of Wideband Log-periodic Antennas," *General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS)*, November. 2017, pp. 1-4.
- [6] C. Peixeiro, "The Design of Log-periodic Dipole Antennas," *IRE International Convention Record*, March. 1966, pp. 98-102.
- [7] K. M. Keen, "A Planar Log-periodic Antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 22, no. 3, pp. 489-490, May. 1974.
- [8] A. A. Gheethan and D. E. Anagnostou, "The Design and Optimization of Planar LPDAs," *PIERS ONLINE*, vol. 4, no. 8, pp. 811-814, 2008.
- [9] J. Rajendran and G. A. S. Sundaram, "Design and Evaluation of Printed Log Periodic Dipole Antenna for Detection of Radiolytic Components," *International Conference on Communication and Signal Processing*, April. 2016, pp. 32-36.
- [10] H. Kumar and G. Kumar, "A Broadband Planar Modified Quasi-Yagi Using Log-Periodic Antenna," *Progress In Electromagnetics Research Letters*, vol. 73, pp. 23-30, 2018.
- [11] T. Limpiti and A. Y. Chantaveerod, "Design of a Printed Log-Periodic Dipole Antenna (LPDA) for 0.8-2.5 GHz Band Applications," *2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, July 2016.
- [12] Y. Liu, X. Shui, H. Lu, L. Si, Y. Ge, and X. Lv, "Design of Ultra-wideband Printed Log-periodic Dipole Antenna," *2013 IEEE International Conference on Microwave Technology & Computational Electromagnetics*, August 2013, pp. 176-178.

- [13] D. E. Anagnostou, J. Papapolymerou, M. M. Tentzeris, and C. G. Christodoulou, "A Printed Log-periodic Koch-Dipole Array (LPKDA)," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 7, pp. 456-460, June 2008,
- [14] G. Shin, M. Kong, S. Lee, S. Kim, and I. Yoon, "Gain Characteristic Maintained, Miniaturized LPDA Antenna Using Partially Applied Folded Planar Helix Dipoles," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 25874-25880, May. 2018.
- [15] A. Shruthi and S. K. Menon, "Design and Analysis of Modified Log Periodic Dipole Antenna with Enhanced Gain," *Progress In Electromagnetic Research Symposium (PIERS)*, August. 2016, pp. 1972-1976.
- [16] A. Kyei, D. Sim and Y. Jung, "Compact log-periodic dipole array antenna with bandwidth-enhancement techniques for the low frequency band," *IET Microwaves, Antennas & Propagation 2017*, vol. 11 Iss. 5, pp. 711-717, April. 2017.
- [17] F. Zengin, E. Akkaya, F. Güneş and F. N. Ecevit, "Printed log-periodic trapezoidal dipole array antenna with a balun-feed for ultra-wideband applications," *IET Microw. Antennas Propag.*, 2018, vol. 12 Iss. 9, pp. 1570-1574, November. 2017.
- [18] F. Zengin, "The Effects of the Trapezoidal Dipole Array Elements on Planar Log Periodic Antenna," *2019 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC)*, September. 2019, pp. 333-336.
- [19] J. Kumar, B. Basu, F. Talukdar, "A Monopole Frequency Reconfigurable Antenna Printed on Multilayered Substrate," *Proceedings of 2017 Asia Pacific Microwave Conference*, November. 13-16, 2017, pp. 311-313.
- [20] Datasheet "Log. - Per. Breitband-Antenne VUSLP 9111B," SCHWARZBECK MESS – ELEKTRONIK, An der Klinge 29 D-69250 Schönau

การอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้าของกระบวนการอบยางยาแนวฝากระป๋อง ในอุตสาหกรรมการผลิตกระป๋อง

Electrical Energy Conservation of Can Lining Compound Curled Process in Can Industry

ชญาดา เทียนไชย¹, ธมนวรรณ เฉียนเงิน², วรฤทัย ชูเกียรติ² และ เพ็ญพิสุทธิ์ ทองหยวก^{2*}

Chayada Teanchai¹, Thamonwan Chein-ngern²,
Woraruthai Choothian², and Penpisuth Thongyoug^{2*}

¹ศูนย์บริการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค สำนักกายการวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

¹Ultrastructural Service Center, Research Office, Faculty of Dentistry, Mahidol University

²Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Silpakorn University

*Email: thongyoug_p@silpakorn.edu

Received: March 29, 2022; Revised: November 08, 2022; Accepted: November 09, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าในกระบวนการอบยางยาแนวฝากระป๋อง (Lining Compound) ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตในกระบวนการผลิตฝาหุ่น Shell 300 โดยใช้ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนมาพิจารณาปรับปรุงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องทำความร้อนหรือฮีตเตอร์ (Heater) และโบลเวอร์ (Blower) นอกจากนี้ได้ใช้ทฤษฎีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างของทาโร ยามาเน่ ในการสุ่มฝา Shell เพื่อเก็บข้อมูลทางสถิติ โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นยางยาแนว อย่างไรก็ตามการปรับปรุงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว ต้องคำนึงถึงความชื้นของยางยาแนวหลังอบไล่ความชื้นโดยต้องมีค่าน้อยกว่า 5% ตามที่มาตรฐานกำหนด และใช้ Control Chart ในการควบคุมคุณภาพความชื้นของยางยาแนวที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว จากการศึกษาพบว่า เมื่อปรับปรุงตำแหน่งของฮีตเตอร์และโบลเวอร์ โดยย้ายตำแหน่งไปที่บริเวณด้านบนของชุดตู้อบไล่ความชื้นยางยาแนว สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 32.7 kWh หรือลดลง 37.36% จากเดิมโดยที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางยาแนวเท่ากับ 1.87% ซึ่งอยู่ในค่าที่มาตรฐานกำหนด จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า สำหรับการดำเนินการปรับปรุงตำแหน่งในการวางอุปกรณ์ มีระยะเวลาคืนทุน 2 เดือน

คำสำคัญ : การลดต้นทุนการผลิต, การอนุรักษ์พลังงาน , การปรับปรุงกระบวนการผลิต

Abstract

This work aims to investigated reduction electrical energy consumable solutions in lining compound curled process of can industry. It can be decreased the production costs of the Shell 300 production process. Heat transfer theory was applied to improve the installation position of heater and blower. In addition, the sample size of sampling shell was determined by using Taro Yamane's sample size determination theory for statistic investigation. The moisture percentage of lining compound after curling

has to less than 5% according to the standard, and it was controls by control chart. The result of this work, after the installation position of the heater and blower were enhance. The electrical energy consummation decreased to 32.7 kWh or it can be decreased by 37.36%. Moreover, the moisture percentage of lining compound was 1.87%, which it followed the standard. An economic analysis of the payback period after the position of heater and blower improvement was 2 months.

Keywords : Cost reduction, Energy conservation, Process improvement

1. บทนำ

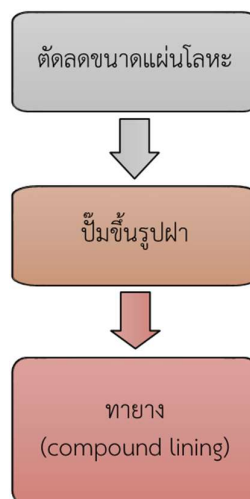
บริษัท ทรนศึกษา เป็นผู้นำบรรจุภัณฑ์โลหะทางด้านการอาหารและเครื่องดื่มในประเทศไทย ได้เห็นถึงความสำคัญของปัญหาข้างต้น จึงให้ความร่วมมือกับภาครัฐในการลดการใช้พลังงานโดยไม่จำเป็น จึงเป็นที่มาของการทำโครงการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการอบ Lining Compound การที่จะสามารถปรับปรุงเครื่องจักรเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้นั้น จะต้องคำนึงถึงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางเป็นหลัก เนื่องจากในกระบวนการ Lining Compound บริษัท ทรนศึกษาให้ความสำคัญกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางมากที่สุด หากยางมีความชื้นมากเกินไป จะทำให้ฝา Shell เกิดเป็นออกไซด์ (สนิม) และไม่สามารถส่งขายให้กับลูกค้าได้ ผู้วิจัยจึงใช้ทฤษฎีหลักการสุ่มตัวอย่างของ ทาโร ยามาเน่ ในการสุ่มจำนวนตัวอย่างฝา Shell เพื่อเก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางก่อนและหลังการปรับปรุงตำแหน่งการติดตั้งฮีตเตอร์และบลอเวอร์ ซึ่งทั้งนี้ต้องควบคุมให้ความชื้นของยาง (compound) จะต้องไม่เกิน 5% ตามที่มาตรฐานของโรงงานได้กำหนดไว้ ทั้งนี้คณะผู้วิจัยเลือกใช้ Control Chart [1] ในการควบคุมคุณภาพความชื้นของยางยานวดึงที่กล่าวไว้ข้างต้น และใช้ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนของของไหล [2] มาช่วยในการวิเคราะห์แนวทางในการปรับปรุงทิศทางการลมร้อนให้เหมาะสมกับกระบวนการอบยาง เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของฮีตเตอร์ในการสร้างความร้อนสำหรับอบยาง และความชื้นของยางยังคงอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการผลิตฝา Shell

การผลิตฝากระป๋องประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรก เป็นการตัดเตรียมแผ่นโลหะ

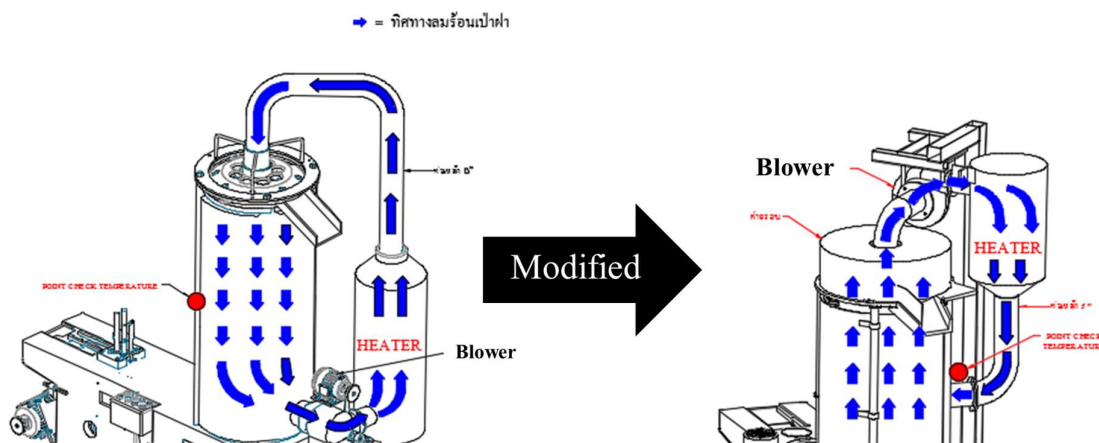
(Metal sheet) ให้มีขนาดตามต้องการ จากนั้นส่งต่อไปยังขั้นตอนถัดไป โดยขั้นตอนที่ 2 เป็นการปั๊มขึ้นรูปด้วยเครื่องไฮดรอลิก จากนั้นขึ้นส่วนจากขั้นตอนนี้ จะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการทายาแนวฝากระป๋อง คือ การฉีดยาง (compound injection) ลงบนบริเวณขอบของฝา Shell (ฝาที่ผ่านกระบวนการปั๊มขึ้นรูป ซึ่งมีลักษณะมีรอยขีดเป็นวงคล้ายลายของกันหอย) จากนั้นจะทำการอบฝาที่ทายาแล้วที่อุณหภูมิ 40-60 °C เป็นเวลา 7 นาที เพื่อไล่ความชื้นออกจากยางที่ทาบนชิ้นงาน หลังจากนั้นฝาที่ผ่านการอบแล้ว จะถูกลำเลียงผ่านสายพานเพื่อให้พนักงานตรวจสอบคุณภาพของฝา และบรรจุผลลงในถุงพลาสติกเพื่อนำส่งให้กับแผนกถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 1 ฝา shell ที่ผ่านขั้นตอนทายาแล้วจะต้องทำการอบเพื่อลดความชื้นของ compound โดยสถานประกอบการได้กำหนดมาตรฐานความชื้นที่กำหนดไม่เกิน 5% ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลของน้ำในยางทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งส่งผลให้ชิ้นส่วนฝาเสียหาย



รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตฝากระป๋อง (ฝา shell)

2.2 การปรับปรุงเครื่องอบแห้งฝากระบอง

ระบบตู้อบแบบใหม่ ได้ปรับปรุงตำแหน่งฮีตเตอร์และโบลเวอร์ไว้ทางด้านบนของตู้อบ โดยโบลเวอร์จะดูดลมร้อนที่ผ่านการอบแล้วเข้าสู่ฮีตเตอร์ จากนั้นฮีตเตอร์จะสร้างลมร้อนใหม่ให้ไหลไปตามท่อเหล็กเพื่อเข้าสู่บริเวณกลางตู้อบ ซึ่งทิศทางของลมร้อนจะไหลจากล่างขึ้นบน



รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งฝากระบองในกระบวนการ Lining Compound ก่อนการปรับปรุง (ภาพซ้ายมือ) และหลังการปรับปรุง (ภาพขวามือ)

2.3 การกำหนดขนาดของตัวอย่าง

การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยาง ด้วยความเชื่อมั่น 95% จากข้อมูลย้อนหลังของบริษัท จำนวนการผลิตฝา Shell รุ่น A เฉลี่ยโดยประมาณ 300,000 ฝาต่อวัน โดยทฤษฎีทาร์ยามาเน่ [3] ดังสมการที่ (1) และจากการคำนวณตามสมการที่กล่าวมานั้น ทำให้สามารถกำหนดจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการสุ่มคือ 400 ฝา โดยทำการวัดค่า 3 ตำแหน่ง เพื่อใช้ในการคำนวณน้ำหนักของฝาตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ในขั้นตอนการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยาง

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (1)$$

โดยตัวแปรในสมการที่ 1 คือ

n = จำนวนตัวอย่าง (ตัวอย่าง)

N = จำนวนที่ผลิตทั้งหมด (ฝา)

e = ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ สำหรับ

งานวิจัยนี้กำหนดใช้ค่าคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05

โดยตามทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนในของไหลในนี้หมายถึงอากาศ และเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวและลอยตัวสูงขึ้นเสมอทำให้การดูดอากาศกลับเป็นไปได้อย่างง่ายดาย โดยชิ้นงานที่ต้องการอบจะถูกไล่เลียงเข้ากระบวนการอบอยู่ในตำแหน่งด้านล่างของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 2

2.4 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยาง

ความชื้นของยางสำหรับงานวิจัยนี้ จะทำการคำนวณความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของปริมาณความชื้นหรือน้ำในวัสดุต่อปริมาณวัสดุรวม [4] โดยมาตรฐานความชื้นที่ควบคุมในกระบวนการ Lining Compound อยู่ที่ 5% ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$\text{Moisture content} = \left(\frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \right) \times 100 \quad (2)$$

W_1 = น้ำหนักของฝาเปล่า (mg)

W_2 = น้ำหนักของฝาผ่านกระบวนการ Lining Compound

W_3 = น้ำหนักของฝาเปล่าและยางหลังเข้าตู้อบ Curling

2.5 การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

โดยวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปของมอเตอร์เครื่อง มอเตอร์สายพาน มอเตอร์ชัก โบลเวอร์ และฮีตเตอร์ จากนั้นนำค่าพลังงานที่ได้มาคำนวณค่าไฟฟ้างสมการที่ (3)

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = \text{kWh} \times \text{CT} \times \text{ค่าไฟต่อหน่วย} \quad (3)$$

kWh = ปริมาณพลังงานที่ถูกใช้ในอัตรา 1,000 วัตต์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือ 1 หน่วยไฟฟ้า

CT = อัตราส่วนของการแปลงกระแส จาก กระแสด้าน primary เป็นกระแสด้าน secondary.

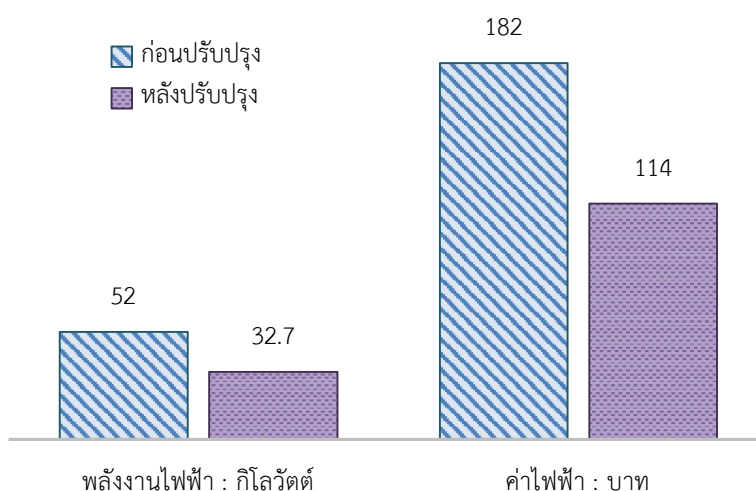
3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการปรับปรุงเครื่องอบยาแนวฝากระป๋อง ด้วยการเปลี่ยนตำแหน่ง Heater และ Blower ส่งผลให้

ความร้อนที่ให้ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 1 ทั้งนี้จะเป็นว่าการปรับปรุงด้วยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์นั้น ช่วยให้อุณหภูมิของชิ้นงานฝากระป๋องมีความแตกต่างน้อยลงจากอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนคือ จากเดิม 45 องศาเซลเซียส จะมีอุณหภูมิที่วัดได้ที่ฝาอยู่ที่ 41.69 องศาเซลเซียส เป็น 44.1 องศาเซลเซียสโดยเฉลี่ย นั่นคือมีอุณหภูมิที่สูญเสียไปเพียง 0.9 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงอุณหภูมิที่ตั้งในการอบลดลงเหลือ 40 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง โดยนำชิ้นงานหลังอบมาวัดค่าและคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังอบพบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่คำนวณได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อย แต่ได้เกินกว่าค่ามาตรฐานที่ทางบริษัทกำหนดไว้ ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการลดลง ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้นำไปคำนวณเป็นค่าไฟฟ้าที่ลดลง ดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 ผลการวัดอุณหภูมิฝา Shell ด้วย Data Logger ก่อนและหลังการปรับปรุง

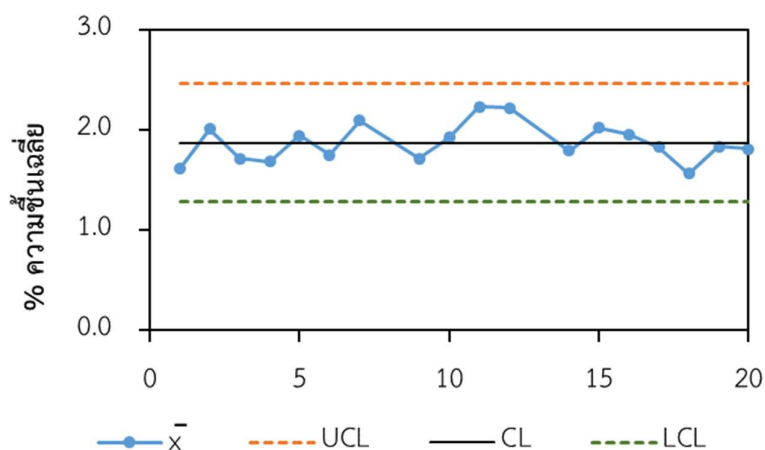
	อุณหภูมิที่ตั้งไว้ (°C)	อุณหภูมิฝาที่วัดได้จาก Data Logger (°C)
ก่อนปรับปรุง	45	41.69
หลังปรับปรุง	45	44.1
หลังปรับปรุงตำแหน่ง (ทำการปรับลดอุณหภูมิ)	40	38.5



รูปที่ 3 ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) และค่าไฟฟ้า (บาท) ก่อนและหลังการปรับปรุง

อย่างไรก็ตามแม้ว่าการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวจะไม่ส่งผลต่อความชื้นมาตรฐานที่ควบคุมได้ ทางคณะวิจัยยังคงดำเนินการเก็บข้อมูลความชื้นหลังการอบ เพื่อให้มั่นใจได้ว่ากระบวนการยังคงดำเนินไปด้วยระดับคุณภาพที่มีความเชื่อถือได้ โดยแสดงแผนภูมิควบคุม (รูปที่ 4) ซึ่งจากแผนภูมิ $\bar{x}$ - Chart ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางที่ผ่านกระบวนการ Lining compound หลังการปรับปรุง

ตำแหน่งโบลเวอร์และฮีเตอร์แสดงให้เห็นว่า ไม่มีข้อมูลจากการสุ่มตรวจสอบ จุดใดออกนอกสภาวะการควบคุม (In Control Condition) ทำให้สามารถสรุปได้ว่า กระบวนการ Lining Compound ที่อยู่ภายใต้สภาวะการควบคุมสามารถประยุกต์ใช้ได้จำกัดควบคุมสำหรับการควบคุมกระบวนการผลิตได้ นั่นคือ การปรับปรุงที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการอบไล่ความชื้นยางนั้น ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของฝากระป๋องที่ผ่านอุปกรณ์ดังกล่าว



รูปที่ 4 แผนภูมิควบคุม $\bar{x}$ - Chart ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางที่ผ่านกระบวนการ Lining compound หลังการปรับปรุงตำแหน่งโบลเวอร์และฮีเตอร์

สำหรับการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ [5] โดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการปรับปรุง ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของอุปกรณ์ของเครื่องจักร ค่าแรงในการปรับปรุงและติดตั้งเครื่องจักร [6] สำหรับการปรับปรุงที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ รวมทั้งสิ้นโดยประมาณ 4,000 บาท ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ภายหลังการปรับปรุง โดยงวดระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณได้ คือ 0.16 ปี หรือ 2 เดือน โดยการนำค่าใช้จ่ายจากการปรับปรุงดังกล่าวมาเป็นข้อมูลในการคำนวณระยะเวลาคืนทุน ดังสมการที่ (4)

$$\text{เวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ}}{\text{ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี}} \quad (4)$$

4. สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงตำแหน่งการติดตั้งของฮีเตอร์และโบลเวอร์ และการปรับตั้งอุณหภูมิของฮีเตอร์ที่ใช้ในการอบสำหรับกระบวนการ Lining Compound Curled ของการผลิตกระป๋องให้มีค่าลดลงจากเดิม ส่งผลให้แผนกสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ 24,820 บาทต่อปี หรือค่าไฟฟ้าลดลงจากเดิม 37.36% โดยที่ยังสามารถควบคุมให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางเฉลี่ยอยู่ที่ 1.87% ซึ่งอยู่ในระดับมาตรฐาน และเป็นไปตามเงื่อนไขที่ทางสถานประกอบการได้กำหนดไว้ (น้อยกว่า 5%) และจากการนำแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าไปวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า มีระยะเวลาคืนทุน 2 เดือน อย่างไรก็ตามผลจากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปขยายผลไปยังสายการผลิตอื่นที่มีลักษณะการทำงานที่ต้องมีขั้นตอนของ

การ Lining Compound Curled เป็นผลให้ผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุนในเรื่องของค่าพลังงานด้านไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

Network of Thailand, Thammasat University, Rangsit Center, Bangkok Thailand, October. 15-17, 2008, pp. 178-182 (in Thai).

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และได้รับการอนุเคราะห์การศึกษาวิจัยในพื้นที่ภาคอุตสาหกรรม โดย บริษัท โลหะกิจรุ่งเจริญทรัพย์ จำกัด

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Nathaphan, *Quality Control*, Bangkok: SE-EDUCATION Public Company Limited, 2008 (in Thai).
- [2] T. Patrahan and B. Sornil, *Applied Thermodynamics (3rd Edition)*, Bangkok: KMUTNB Textbook Production Center, 2013 (in Thai).
- [3] W. Rathachatrano, “Determining an Appropriate Sample Size for Social Science Research: The Myth of Using Taro Yamane and Krejcie & Morgan Method,” , *Journal of Interdisciplinary Research: Graduate Studies*, vol.8, no.1, pp.11-28, 2019.
- [4] N.Krachang and N.Uengkimbuan. “Kinetics and Turmeric Using Hot Air and Infrared Drying,” *Burapha Sci. J.*, vol.21(3), pp.239-246, 2016.
- [5] W. Choothian, P. Thongyong, and S. Chuapisutkul “Feasibility Study of Installing Speed Control Devices in Compressed Air Systems,” in proceeding of 7th National Research Conference Sukhothai Thammathirat Open University, Bangkok Thailand, November. 24, 2017, pp. 1208 – 1216 (in Thai).
- [6] W. Chaengsawang, “Energy Conservation with Participation in Plastic Parts Factory,” 22nd Conference on Mechanical Engineering

การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรตามแนวแกน แบบ 3 เฟส หล่อด้วยเรซิน

Design and Build for 3 Phases Resin Cast Axial Flux Permanent Magnet Generator

พีรวัฒน์ มีสุข^{1*}, ประจักษ์ บุญภักดี¹, พรชัย พรฤทธิ์¹, นฤกร สิริมงคลกาล¹,
ธิดาธิป หารชุมพล¹ และ กวินชัย ต้องตรงทรัพย์²

Peerawat Meesuk^{1*}, Prajak Bunpakdee¹, Pornchai Pornharuthai¹, Natakron Sirimongkolgal¹,
Thidathip Haanchumpol¹ and Kawinchai Tongtrongsub²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

¹Department of Electrical Engineering and Automation control systems, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University

²Department of Electromechanic Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University

*Email: peerawat.me@bsru.ac.th

Received: February 28, 2022; Revised: July 26, 2022; Accepted: July 27, 2022

บทคัดย่อ

การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรสำหรับการใช้งานในที่อยู่อาศัยขนาดเล็กเป็นแบบ 1 สเตเตอร์ 2 โรเตอร์ หล่อทับด้วยเรซินสำหรับจับยึดกับโครงสร้าง โดยโรเตอร์ประกอบด้วย 2 ชุดโดยวางประกบกับสเตเตอร์ ให้ตำแหน่งของแม่เหล็กตัดผ่านขดลวดทั้งสองข้างของสเตเตอร์ ผลการทดสอบที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที ขณะที่ไม่มีการต่อวงจรแบบสตาร์วัดแรงดันได้ 235 โวลต์ และในขณะที่จ่ายโหลดเต็มพิกัด ต่อวงจรแบบสตาร์วัดกระแสไฟฟ้าได้ 6.49 แอมแปร์ วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 53 โวลต์ ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีกำลังไฟฟ้าที่ 343.97 วัตต์ มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 34.60 เปอร์เซ็นต์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้าที่ต้องการเช่นกังหันลมและกังหันน้ำได้

คำสำคัญ : เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร, พลังงานลม, การทดสอบประสิทธิภาพ

Abstract

The design and construction of a permanent magnet generator for small residential applications is a 1-stator, 2-rotor, cast over resin for bonding to the structure. The rotor consists of 2 sets, placed in conjunction with the stator to position the magnet, cut the coil sheets on both sides of the stator. Test results at 1500 rpm with no load in star connection, 235 volts and with full load Connected the star circuit,

measure electricity at 6.49 amperes, measure voltage to 53 volts , the generator a power of 343.97 watts with an efficiency of 34.60 percent. The generator can be applied to demanding power systems such as wind turbines and water turbines.

Keywords : Permanent magnet generator, Wind Energy, Efficiency Test

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญมากต่อการดำรงชีวิตประจำวัน ซึ่งสถานการณ์การใช้พลังงานจะมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นในขณะที่แหล่งเชื้อเพลิงประเภท น้ำมัน ถ่านหิน หรือก๊าซธรรมชาติ มีแต่จะลดลง พลังงานหมุนเวียน จึงเป็นทางเลือกที่กำลังเป็นที่ให้ความสนใจ เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาด ไม่ส่งผลกระทบต่อสภาวะสิ่งแวดล้อม ในขณะที่บางพื้นที่ไม่มีพลังงานไฟฟ้าใช้เนื่องจากข้อจำกัดบางประการ จึงทำให้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม หรือพลังงานชีวมวล เป็นต้น มีความสำคัญและนำมาใช้มากขึ้น โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย [1]

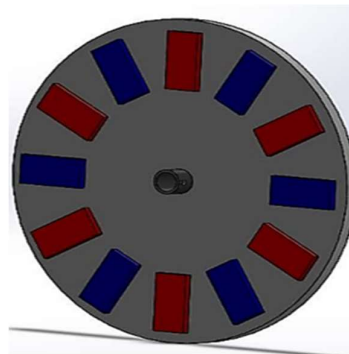
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet Generator : PMG) มีอยู่ 2 แบบด้วยกัน คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดฟลักซ์แม่เหล็กตามแนวแกน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดฟลักซ์แม่เหล็กตามแนวรัศมี ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก เนื่องมาจากเครื่องกำเนิดชนิดนี้ ถ้าเป็นเครื่องกำเนิดขนาดใหญ่จะถูก

จำกัดด้วยในเรื่องของโครงสร้างที่ยุ่งยากและมีปัญหาในด้านความร้อนเกิดขึ้นกระจายจากขดลวดอาเมเจอร์ และอีกประเด็นถ้าทำเป็นขนาดเล็กแล้ว เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบฟลักซ์ตามแนวรัศมีพบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบฟลักซ์ตามแนวแกนมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกใหญ่กว่าจึงทำให้มีจำนวนขั้วได้มากกว่า ส่งผลให้เหมาะสมในการนำมาใช้ในงานที่ต้องการความถี่สูงหรืองานที่ใช้ความเร็วรอบต่ำ [2-3]

ในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรแบบให้มีความเร็วรอบต่ำมีการใช้แบบ 2 สเตเตอร์ 3 โรเตอร์ ส่งผลให้ผลิตไฟฟ้าได้เยอะแต่มีการลงทุนที่มากขึ้น [4] ประกอบกับประเทศไทยมีความเหมาะสมกับกังหันลมขนาดเล็ก ทำงานที่ความเร็วรอบต่ำถึงปานกลาง ติดตั้งได้ในระดับความสูงไม่เกิน 30 เมตร [5] ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดแม่เหล็กถาวรตามแนวแกนสำหรับใช้ในครัวเรือน โดยใช้มอเตอร์จำลองความเร็วลมเป็นตัวให้กำลัง ให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในรูปแบบง่ายและใช้ต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบฟลักซ์ตามแนวรัศมีสามารถนำไปเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นพลังงานทดแทน และทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 1 สเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 2 โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.1 โครงสร้างหลักของตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ

- ส่วนที่ติดอยู่กับที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) สเตเตอร์ประกอบด้วยขดลวดเบอร์ 22 สามารถทนกระแสได้สูงสุด 2.95 แอมแปร์ จำนวน 220 รอบต่อขั้ว จำนวน 9 ขด แสดงดังรูปที่ 1

- ส่วนที่เคลื่อนที่เรียกว่าโรเตอร์ (Rotor) โรเตอร์ประกอบด้วย แม่เหล็กถาวรคุณภาพสูง จำนวน 24 ขั้ว 12 ขั้ว แสดงดังรูปที่ 2

2.2 การคำนวณพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำได้โดยการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเข้ากับมอเตอร์ที่เป็นต้นกำลังกำลังโดยใช้ตัวจับยึดแกนเพลเป็นตัวยึดและควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้มีความเร็วตามต้องการ ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่หมุนจะมีผลต่อกับแรงดันและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถคำนวณหาความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต้องการใช้ได้จากสมการ (1)

$$N = \frac{120f}{p} \quad (1)$$

โดยที่ N คือ ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนโรเตอร์ (rpm.)

f คือ ความถี่ของระบบไฟฟ้า (Hz)

p คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก (Pole)

การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ต้องการความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 50 เฮิรตซ์. และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 220 – 240 โวลต์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีจำนวนขั้วแม่เหล็กจำนวน 12 ขั้ว ดังนั้นจึงต้องมีความเร็วรอบเท่ากับ 500 รอบต่อวินาที ตามสมการที่ (2) จึงจะได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าและความถี่ที่ต้องการ

$$E_{ave} = \frac{2ABPNZ}{60} \quad (2)$$

โดยที่ E_{ave} คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเฉลี่ย (V)

A คือ พื้นที่หน้าตัดแม่เหล็กถาวร (m^2)

B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (T)

P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็กถาวร (pole)

N คือ จำนวนรอบของการหมุนโรเตอร์ (rpm)

Z คือ จำนวนรอบของขดลวดต่อขด

ใช้แม่เหล็กถาวร ขนาดพื้นที่หน้าตัด เท่ากับ 0.001 ตารางเมตร และมีค่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก เท่ากับ 0.4 เทสลา จากค่าต่าง ๆ ที่กำหนดมาข้างต้น สามารถคำนวณหาแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้เท่ากับ 17.6 โวลต์ และการกำหนดค่ากระแสไฟฟ้าในงานนี้ได้เลือกใช้ขดลวดเบอร์ 16 เนื่องจากทนกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 3.7 แอมแปร์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3)

$$I_A = \frac{P_A}{1.732 \times E_{ave}} \quad (3)$$

โดยที่ I_A คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในขดลวดเฟส A (A)

P_A คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในเฟส A (W)

E_{ave} คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V)

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ทำการออกแบบโดยใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังขั้วทำให้โรเตอร์หมุน พบว่าอัตราความเร็วลมเฉลี่ยในประเทศไทย มีศักยภาพลมไม่สูงมากแต่ก็สามารถใช้ผลิตไฟฟ้าได้ โดยเฉลี่ยประมาณ 4 – 6 เมตรต่อวินาที โดยจากอัตราเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดที่ทราบสามารถแปลงหน่วยความเร็วให้เป็นรอบต่อวินาที โดยคิดจากกึ่งหนึ่งลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร ได้เท่ากับ 382 รอบต่อวินาที โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) [6]

$$RS = \frac{v \times TSR \times 60}{\pi \times D} \quad (4)$$

โดยที่ RS คือ ความเร็วรอบของโรเตอร์ (rpm)

V คือ อัตราความเร็วลม (m/s)

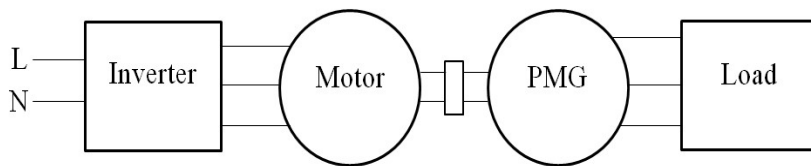
TSR คือ อัตราส่วนความเร็ว ณ ปลายใบพัดเมื่อ

เทียบกับความเร็วลม (Tip Speed

Ratio) ซึ่งใบพัดชนิด 3 ใบมีค่าเท่ากับ 5

เท่าของความเร็วลม

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบกังหันลม (m)



รูปที่ 3 ไดอะแกรมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

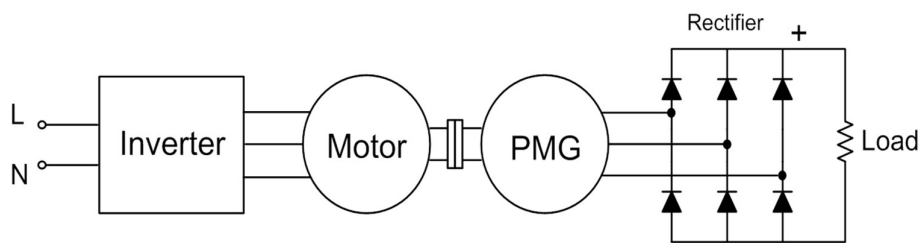
หลังจากที่ออกแบบเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงดำเนินการสร้างตามแบบ ซึ่งไดอะแกรมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3 กำหนดค่าโหลดไฟฟ้า เท่ากับ 300 วัตต์ แต่เนื่องจากแบบให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 3 เฟสสมดุล จึงแบ่งโหลดออกเป็น เฟสละ 100 วัตต์ จะได้ค่ากระแสโหลดแต่ละเฟสเท่ากับ 3.28 แอมแปร์

3.2 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำโดยการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยจำลองการทำงานของเครื่อง

กำเนิดไฟฟ้าด้วยการขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบแม่เหล็กถาวรด้วยมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า แทนการใช้พลังงานลม เพราะสามารถควบคุมและสร้างเงื่อนไขในการทดลองได้ง่ายตามที่ต้องการ วงจรการทดลองที่ใช้แสดงดังรูปที่ 4 [7] และการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างแสดงได้ดังรูปที่ 5

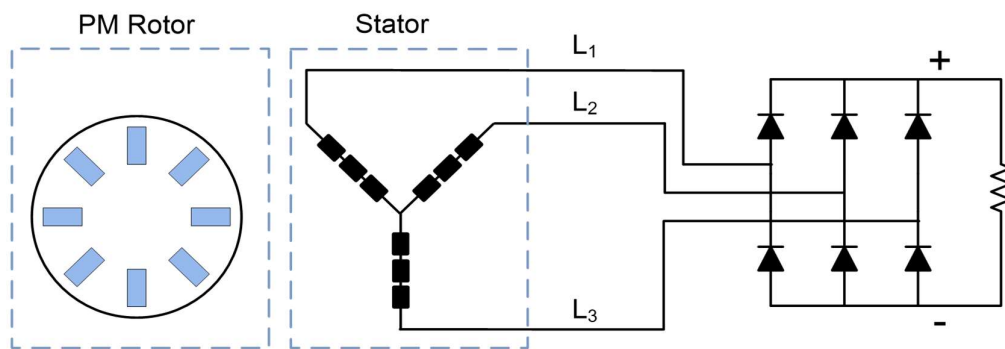
ดำเนินการกำหนดวิธีการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า. โดยแบ่งออกเป็น การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการต่อวงจรแบบสตาร์ แสดงดังรูปที่ 6 และการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการต่อวงจรแบบเดลต้า แสดงดังรูปที่ 7 [8]



รูปที่ 4 ไดอะแกรมวงจรการทดลอง



รูปที่ 5 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สร้างขึ้น



รูปที่ 6 การต่อวงจรขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์

การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่ 1500 รอบต่อนาที โดยมีการเพิ่มโหลดเป็นลำดับขั้น โดยมีขั้นตอนดังนี้

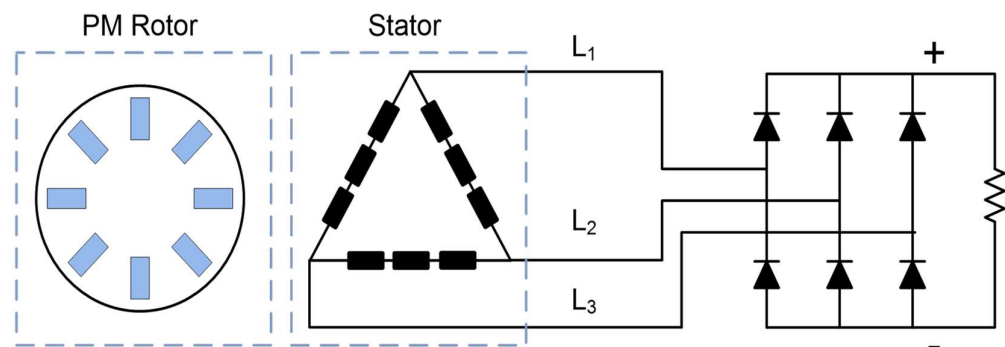
- 1) เชื่อมต่อเพลลาของมอเตอร์เข้ากับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยคัปปลิง
- 2) ต่อวงจรทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสตาร์ ต่อสายไฟเข้ากับเข้ากับชุดวงจรเรียงกระแสและต่อเข้ากับโหลด
- 3) ทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่ 1500 รอบต่อนาที โดยมีการเพิ่มโหลดเฟสละ 100 วัตต์ รวมครั้งละ 300 วัตต์ และบันทึกผลการทดลอง

4) ทำการทดลองขั้นตอนที่ 3 ซ้ำ โดยปรับโหลดเพิ่มขึ้นครั้งละ 300 วัตต์ ไปจนถึง 3000 วัตต์ และบันทึกผลการทดลองทุกระดับความเร็ว

5) เปลี่ยนการต่อวงจรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบต่อขดลวดสเตเตอร์แบบเดลต้า จากนั้นทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 4

4. ผลการวิจัย

ในการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการต่อวงจรขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์และแบบเดลต้า, แล้วทำการเพิ่มโหลดเป็นลำดับขั้น โดยผลการทดสอบเป็นดังนี้



รูปที่ 7 การต่อวงจรขดลวดสเตเตอร์แบบเดลต้า

ตารางที่ 1 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่โดยการต่อวงจรแบบสตาร์

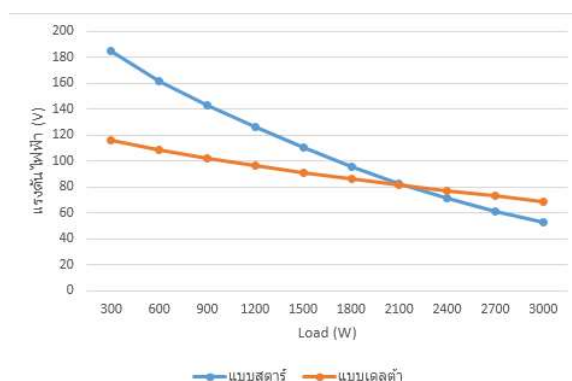
<i>Load</i> (W)	<i>P_{in}</i> (W)	<i>V_{out}</i> (V)	<i>I_{out}</i> (A)	<i>P_{out}</i> (W)	η (%)
300	1492	185.16	1.48	274.03	18.37
600	1492	161.53	2.52	407.05	27.28
900	1492	142.86	3.41	487.15	32.65
1200	1492	126.10	4.20	529.62	35.50
1500	1492	110.10	4.83	531.78	35.64
1800	1492	95.43	5.37	512.45	34.35
2100	1492	82.50	5.72	471.90	31.63
2400	1492	71.13	6.08	432.47	28.99
2700	1492	61.40	6.33	388.66	26.05
3000	1492	53.00	6.49	343.97	23.05

ตารางที่ 2 การทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่โดยการต่อวงจรแบบเดลต้า

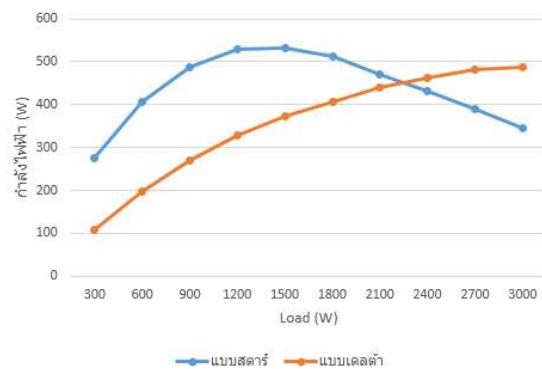
<i>Load</i> (W)	<i>P_{in}</i> (W)	<i>V_{out}</i> (V)	<i>I_{out}</i> (A)	<i>P_{out}</i> (W)	η (%)
300	1492	116.10	0.92	106.81	7.16
600	1492	108.43	1.83	198.42	13.30
900	1492	102.20	2.63	268.78	18.01
1200	1492	96.20	3.41	328.04	21.99
1500	1492	90.53	4.12	372.98	25.00
1800	1492	86.20	4.71	406.00	27.21
2100	1492	81.86	5.37	439.58	29.46
2400	1492	77.30	5.99	463.02	31.03
2700	1492	73.36	6.56	481.24	32.25
3000	1492	68.26	7.13	486.69	32.62

จากตารางที่ 1 และ 2 สามารถนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและโหลดที่เป็นโหลดอินแคนเดนเซนต์ ดังรูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์

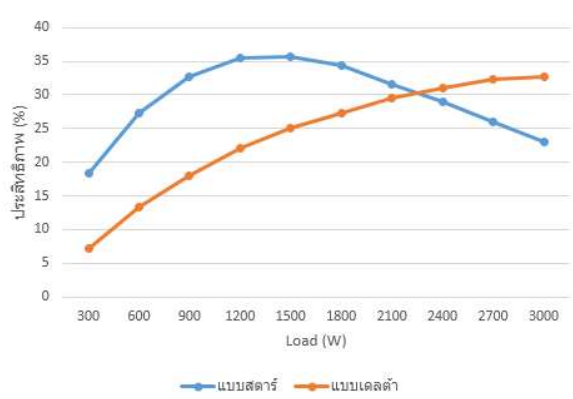
ระหว่างกำลังไฟฟ้าและโหลด ดังรูปที่ 9 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและโหลด ดังรูปที่ 10



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดไฟฟ้าและประสิทธิภาพ

จากความสัมพันธ์ระหว่างโหลดและแรงดันไฟฟ้าในสภาวะความเร็วรอบคงที่ 1500 รอบต่อนาที และเพิ่มโหลดที่ใช้โหลดอินแคนเดสเซนต์เป็นลำดับขั้นครั้งละ 300 วัตต์ จะเห็นได้ว่า ในขณะที่ทำการเพิ่มโหลดให้กับการทดสอบแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นค่อยๆ ลดลง เนื่องจากกระแสโหลดที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มโหลดโหลดอินแคนเดสเซนต์ในการทดสอบการต่อวงจรขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์และแบบเดลต้ามีแรงดันตกไม่เท่ากันเนื่องการต่อขดลวดทั้งสองแบบมีความต้านทานของขดลวดไม่เท่ากัน ในขณะที่โหลดมีค่าน้อยแรงดันไฟฟ้าของการต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์จะมีค่าสูงกว่า แต่ในขณะที่จ่ายโหลดเต็มที่ 3000 วัตต์แบบเดลต้าจะมีแรงดันสูงกว่า

ระหว่างโหลดและกำลังไฟฟ้าด้านออกที่เกิดขึ้นในการทดสอบในสภาวะความเร็วรอบคงที่ 1500 รอบต่อนาที พบว่า ในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานและมีการเพิ่ม

โหลดส่งผลให้กำลังและกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วยการต่อวงจรแบบสตาร์จะมีกำลังไฟฟ้าขาออกสูงกว่าแบบเดลต้า เนื่องจากความต้านทานโหลดแบบสตาร์มีค่าน้อยกว่าส่งผลให้มีกระแสโหลดมากกว่า โดยแบบสตาร์จะมีกำลังไฟฟ้าขาออกสูงสุดที่ 531.78 วัตต์

ความสัมพันธ์ระหว่างโหลดและประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นพบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าขาออก เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้พิจารณากำลังขาเข้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากกำลังขาออกของมอเตอร์ต้นกำลังและกำหนดให้คงที่ โดยการต่อแบบสตาร์จะมีประสิทธิภาพสูงสุด 35.64 เปอร์เซ็นต์ที่โหลด 1,500 วัตต์ และแบบเดลต้ามีประสิทธิภาพสูงสุด 32.62 เปอร์เซ็นต์ที่โหลด 3,000 วัตต์

5. สรุปผลการวิจัย

ในการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรได้ออกแบบเพื่อทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรโดยชุดการทดสอบได้ออกแบบให้สอดคล้องกับสภาพที่จะนำไปประยุกต์ใช้สำหรับพลังงานหมุนเวียนในระดับครัวเรือนรูปแบบต่างๆ เช่น พลังงานน้ำ และ พลังงานลม โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรทำงานได้ดีที่สุด คือ การต่อขดลวดสเตเตอร์แบบสตาร์ อยู่ที่ความเร็ว 1500 รอบต่อวินาที โหลด 1,500 วัตต์ ได้แรงดันไฟฟ้า 110.10 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 531.78 วัตต์ และประสิทธิภาพ 35.64 เปอร์เซ็นต์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C.Hinkerd, *Electrical Machine 1*. Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan) : TPA, 2019 (in Thai).
- [2] JF. Gieras, RJ. Wang and MJ. Kamper, *Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines*. in Principles of AFPM Machines. (2nd ed.), Springer, 2008.
- [3] P.Wannakarn, "Single-Phase Grid Connected Axial Flux Permanent Magnet Generator System with Reduced Switching Loss and Harmonic Compensation for Various Types of Nonlinear Loads," D.Eng.dissertation, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, 2018 (in Thai).
- [4] A. Sanpin, W.Muangjai and T.Somsak2, "Design and Performance Testing of Two rotors Three Stators Permanent Magnet Generator for Cross Flow Turbine," *Pathumwan Academic Journal*, vol. 7, no. 19, pp15-31, May - August 2017. (in Thai).
- [5] C.Kasagepongsarn, K.Boonma and M.Suklueng. "The Development of Low-Speed Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) For Small-Scale Wind Turbine," Thaksin.J., vol.20 (1) January-June 2017. pp.75-87 (in Thai).
- [6] C. Wisutthirat. *Design and Optimal Parameter Identification of Axial Flux Permanent Magnet Generator*, 2011 (in Thai).
- [7] Mittle, V. N., and Mittle, A. *Design of electrical machines*. Standard Publishers, 1996.
- [8] J. Ruksakulwittaya, T. Chiangjukong, W. Khoomsiriwong, J. Eakburanawat, and P. Meesuk. "Analysis of Efficiency of Permanent Magnet Generator Effect from an Air-Gap," In *Proceedings of The 7th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC- 7)*, 2014 ,pp.55-60 (in Thai).

การพัฒนาต้นแบบปลั๊กไฟอัจฉริยะสำหรับการตรวจสอบและ
จัดการพลังงานไฟฟ้าในบ้านอัจฉริยะ
Development of Smart Plug Prototype for Inspection and
Management Electric Energy in Smart Home

ณัฐดนัย สิงห์คลีวรรณ*, ธนกฤต จินดาศรี และ รัตนสุดา สุขदनัยสร
Nutdanai Singkheewon*, Thanakit Jindasri and Rattanasuda Supadanaisorn

สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.
Department of Technology Computer Electronics, Faculty of Science and Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University.

*Email: mar6666@hotmail.com

Received: April 25, 2022; Revised: June 14, 2022; Accepted: July 01, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาต้นแบบปลั๊กไฟอัจฉริยะสำหรับช่วยแก้ปัญหาในการตรวจสอบการใช้งานและการจัดการพลังงานซึ่งเชื่อมต่อกับเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG ที่พัฒนาขึ้นสำหรับการบันทึกข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า การใช้พลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในแต่ละปลั๊ก โดยจะสามารถควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แต่ละปลั๊กได้อย่างอิสระและจะตัดกระแสไฟฟ้าออกจากปลั๊กไฟฟ้าโดยอัตโนมัติเมื่อตรวจพบว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลมากกว่า 10 แอมแปร์ โดยต้นแบบปลั๊กไฟอัจฉริยะใช้เซนเซอร์กระแสไฟฟ้า PZEM-004T ตรวจวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าและส่งข้อมูลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ประมวลผลการทำงานและส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG เพื่อแสดงผล

การทดสอบการทำงานพบว่าต้นแบบปลั๊กไฟอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แต่ละปลั๊กได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถแสดงผลค่าแรงดัน กระแสไฟฟ้าและค่ากำลังงานที่ใช้ของแต่ละปลั๊กได้ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าร้อยละ 1 ส่วนค่าเฉลี่ยการวัดค่ากระแสไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10 ผลการตัดกระแสไฟฟ้าออกจากเต้าเสียบเมื่อตรวจพบว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลเกิน 10 A นั้นพบว่าสามารถทำได้ถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนด

คำสำคัญ: ปลั๊กไฟอัจฉริยะ, ระบบควบคุมไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

This paper presents the development of a smart plug prototype for solving a problem in utilization and power management monitoring connected to a SMARTPLUG application. Developed for data logging of voltage, current, electrical power, and duration of use of electrical devices in each plug. It can

independently control the electrical current to each plug. Automatically cut off the current from the socket. When it detects an electrical current over 10 amperes. The smart plug prototype uses a PZEM-004T current sensor to measure the voltage and current of devices and send the data to the ESP32 microcontroller. To process the operation and send the data via the Internet network to the SMARTPLUG application for display.

Functional testing reveals that the smart plug prototype can effectively control the power supply to each plug. The voltage and current of each plug can be displayed and calculated the power used. The voltage measurement error is less than 1% and the average current measurement error is less than 10%. The result of disconnecting the current from the plugs. When it is detecting an electrical current over 10 amperes were found to be correct under the specified conditions.

Keyword: Smart Plug, Electric Control System, Internet of Things

1.บทนำ

ปัจจุบันกระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานหลักที่สำคัญสำหรับการเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมของทุกประเทศและประชาชนทุกคน การสร้างแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจึงเป็นประเด็นหลักที่มีการเติบโตมากที่สุดทั่วโลกและยังส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วโลก ระบบสมรรถกิริตเป็นหนึ่งในโซลูชันหลักที่พัฒนาขึ้นเพื่อทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าแบบดั้งเดิมมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเป็นการพัฒนานวัตกรรมและวิธีการแก้ปัญหาที่จะช่วยตรวจสอบและจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งจะนำไปสู่การลดการใช้พลังงานและปรับปรุงโครงข่ายไฟฟ้า การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าและสามารถคาดการณ์ความต้องการไฟฟ้าล่วงหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1-2]

ระบบสมรรถกิริตจะทำงานโดยใช้เทคโนโลยีไอซีที่เป็นสื่อกลางการสื่อสารข้อมูลระหว่างส่วนประกอบต่าง ๆ ของสมรรถกิริตและใช้เทคโนโลยี พัฒนาอุปกรณ์ ปลั๊กไฟอัจฉริยะ (Smart plug) ที่จะอนุญาตให้อุปกรณ์ทั่วไปสามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ โดยผู้ใช้งานสามารถควบคุมการทำงานได้ เช่น ตั้งเวลาการเปิด/ปิดอัตโนมัติ ตรวจสอบการใช้พลังงาน เก็บข้อมูลการใช้พลังงาน เป็นต้น เพื่อการจัดการด้านอุปสงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3] โดยพบว่า S. P. Makhanya และคณะ [4] พัฒนาด้านระบบระบบสวิตซ์อัจฉริยะด้วยโมดูล Wi-Fi ESP8266 ที่สามารถควบคุมสวิตซ์ไฟฟ้าภายในบ้านและควบคุม

การทำงานได้จากระยะไกลโดยใช้แอปพลิเคชัน SCS_4.0 ที่พัฒนามาจากระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ซึ่งสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ A. S. Musleh และคณะ [5] พัฒนาปลั๊กไฟอัจฉริยะสำหรับเป็นต้นแบบการตรวจสอบและจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน โดยใช้โมดูล ZigBee เป็นอุปกรณ์สื่อสารทำงานร่วมกับเซนเซอร์วัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า โดยผู้ใช้งานสามารถควบคุมการเปิดและปิดปลั๊กไฟจากโทรศัพท์มือถือของตนได้และสามารถกำหนดตารางการทำงานล่วงหน้าได้ ซึ่งสามารถแสดงค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าบนเว็บไซต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ Z. Deng และคณะ [6] พัฒนาด้านแบบปลั๊กอัจฉริยะขนาด 120V/10A โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อป้องกันอันตรายจากไฟไหม้และไฟฟ้าช็อตที่เกิดจากสายไฟที่มีอายุหรือชำรุดเสียหาย โดยใช้มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) เป็นอุปกรณ์ควบคุมปลั๊กไฟที่แทนที่ซึ่งสามารถทำงานได้ในระดับมิลลิวัตต์ที่ A. K. Matsuo และคณะ [7] พัฒนาปลั๊กไฟอัจฉริยะโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno ร่วมกับโมดูล Wi-Fi ESP-8266 และเซนเซอร์แรงดันไฟฟ้า ZMPT101B และแพลตฟอร์ม IoT ThingSpeak สำหรับการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูลในระบบคลาวด์ และควบคุมการทำงานด้วยแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยสามารถคำนวณค่าการใช้พลังงาน (Energy consumption) และข้อมูลการใช้งานโดยละเอียดได้ในรูปแบบกราฟิก ส่วน Trio Adiono และคณะ [8] พัฒนาปลั๊กไฟอัจฉริยะที่ใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าพลังงานต่ำในบ้านขนาด 220 V

โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ SMT32L100 และใช้โมดูล Zigbee เป็นอุปกรณ์สื่อสารซึ่งสามารถควบคุมการทำงานด้วยแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยปลั๊กไฟอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้กระแสไฟฟ้า 49.9 mA ในขณะที่ไม่ได้ทำงานและใช้กระแสไฟฟ้า 123.7 mA ในขณะที่ทำงาน

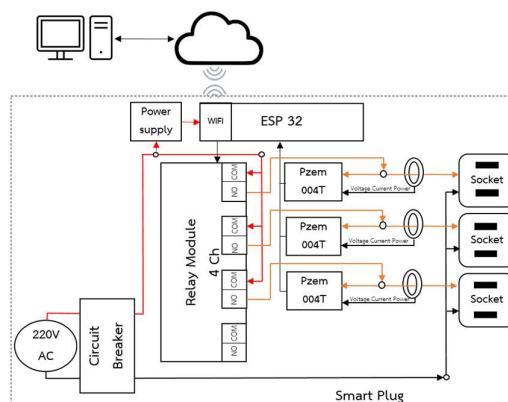
คณะผู้วิจัยจึงพัฒนาปลั๊กไฟอัจฉริยะแบบ 3 ปลั๊กเสียบที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP 32 และเซนเซอร์แรงดันไฟฟ้า PZEM-004T และพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG สำหรับควบคุมการปิดเปิดปลั๊กไฟ เก็บข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและคำนวณค่ากำลังงานแบบระบบเวลาปัจจุบัน (Real-time) เพื่อแสดงบนแอปพลิเคชัน SMARTPLUG และยังสามารถตัดวงจรไฟฟ้าออกเมื่อตรวจพบกระแสไฟฟ้าไหลเกิน 10 A ในแต่ละปลั๊กได้อย่างอิสระ

2. ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

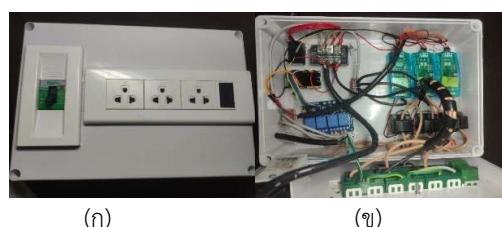
การพัฒนาต้นแบบปลั๊กไฟอัจฉริยะสำหรับการตรวจสอบและจัดการพลังงานไฟฟ้าในบ้านอัจฉริยะ มีการออกแบบการทำงานของระบบประกอบด้วย 2 ส่วนดังนี้

2.1 การออกแบบด้านฮาร์ดแวร์ของปลั๊กไฟอัจฉริยะ

ระบบควบคุมการทำงานแสดงดังภาพที่ 1 โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ทำหน้าที่สื่อสารข้อมูลระหว่างเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG เพื่อควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ปลั๊กไฟ โดยเมื่อได้รับคำสั่งเปิดสวิตช์จากโปรแกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งงานไปที่ชุดรีเลย์ที่ตรงกับคำสั่งให้จ่ายกระแสไฟฟ้าออกไปยังช่องปลั๊กไฟ โดยรีเลย์จะจ่ายกระแสไฟฟ้าออกไปที่ขา No (Normal Open) เพื่อความปลอดภัยในกรณีที่รีเลย์เสียหายก็จะมีกระแสไฟฟ้าออกไปยังปลั๊กไฟได้ และมีเซนเซอร์ PZEM-004T สำหรับวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าแยกแต่ละปลั๊กไฟแบบระบบเวลาปัจจุบัน โดยสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้สูงสุดที่ 260 VAC วัดค่ากระแสไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 100 A นอกจากนี้ยังติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 15 A ไว้ภายในอีก 1 ตัวเพื่อเป็นอุปกรณ์ป้องกันระดับที่ 2



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของต้นแบบอุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะ

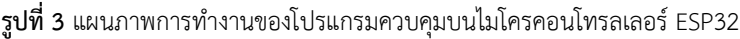


รูปที่ 2 (ก) ด้านบนของปลั๊กไฟอัจฉริยะ (ข) การต่อวงจรของปลั๊กไฟอัจฉริยะ

2.2 การออกแบบโปรแกรมการทำงานและแสดงผลประกอบด้วย

2.2.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32

ซึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์ PZEM-004T เพื่อแปลงให้เป็นค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าของแต่ละปลั๊กไฟ และส่งข้อมูลนี้ไปยังเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สายเพื่อบันทึกและประมวลผลเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้งานแบบระบบเวลาปัจจุบัน (Realtime) และระยะเวลาการใช้งานของแต่ละปลั๊กไฟ นอกจากนี้หากโปรแกรมตรวจพบว่า หากพบว่ามีความกระแสไฟฟ้าไหลเกิน 10 A เกินกว่า 3 วินาที ระบบจะตัดกระแสไฟฟ้าออกจากช่องปลั๊กไฟช่องนั้นทันทีเพื่อป้องกันการเกิดเหตุเพลิงไหม้



2.2.2 โปรแกรมการควบคุมการทำงานและแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน SMART PLUG

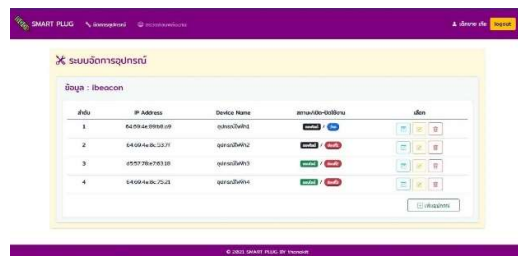
สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดปลั๊กไฟและแสดงผลค่าปริมาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาการใช้งานของปลั๊กไฟแต่ละตัวแบบระบบเวลาปัจจุบัน (Realtime)

3. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย

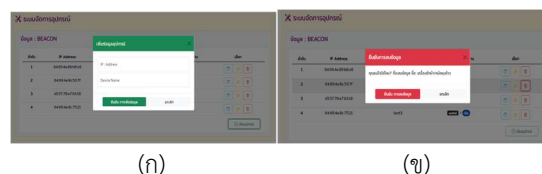
3.1 การทดสอบเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG

รูปที่ 5-9 แสดงหน้าจอของเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG ในส่วนต่าง ๆ และตารางที่ 1 แสดงการทดสอบในแง่ของการตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับ SMARTPLUG โดยผลลัพธ์จะแสดงให้เห็นการตอบสนองจากระบบ

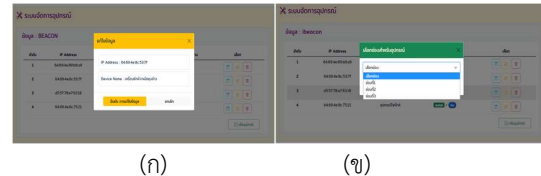


รูปที่ 5 หน้าเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG แสดงสถานะของสวิตช์

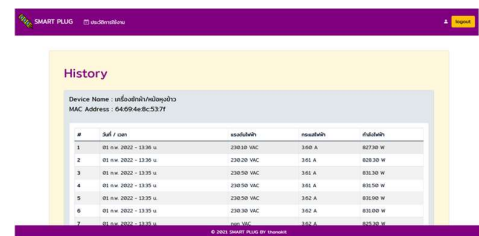
จากรูปที่ 5 เว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG จะแสดงสถานะของอุปกรณ์ไฟฟ้าว่าใช้งานอยู่หรือไม่ ถ้าใช้กำลังใช้อยู่กับปลั๊กช่องไหน



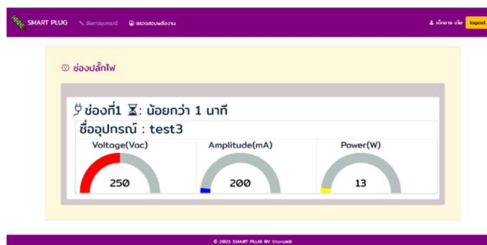
รูปที่ 6 (ก) เพื่อข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้า (ข) ลบข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้า



รูปที่ 7 (ก) แก้ไข ชื่ออุปกรณ์ไฟฟ้า (ข) เลือกช่องการใช้งานให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า



รูปที่ 8 หน้าเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG แสดงประวัติการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า



รูปที่ 9 เว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG แสดงค่าแรงดัน กระแสไฟฟ้าและระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า

จากรูปที่ 9 แสดงหน้าจอเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG ซึ่งแสดงค่าแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าที่ได้มาจากเซนเซอร์ PZEM-004T ที่ติดตั้งไว้กับสายไลน์ในแต่ละช่องของปลั๊กไฟ จากนั้นจึงอ่านข้อมูลค่าแรงดัน กระแสและค่ากำลังงานไฟฟ้าจาก PZEM-004T มาแสดงบนเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG ซึ่งพบว่ามีความผิดพลาดเมื่อเทียบกับการคำนวณตามสมการการหาค่ากำลังไฟฟ้า $P = IV$ แทนค่าสมการ $250 V \times 0.2 A = 50 W$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณจะพบว่ามีความแตกต่างกันถึง 74% แต่เมื่อทดสอบให้ PZEM-004T อ่านค่าทั้งหมดจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่า 1 A จะพบว่าจะได้ค่ากำลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกับการคำนวณ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การคำนวณค่ากำลังงานแทนการอ่านค่าจาก PZEM-004T โดยตรง

ตารางที่ 1 การทดสอบการตอบสนองของเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG

กระบวนการ	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ผลการทดสอบ
คลิกปุ่มสวิตช์สำหรับตัวควบคุม	สถานะของสวิตช์จะเปลี่ยน	ผ่าน
ต่อโหลดเข้าสู่ปลั๊กไฟ	จะมีการแสดงค่าแรงดัน กระแส พลังงานไฟฟ้า และระยะเวลาการใช้งาน	ผ่าน
ต่อโหลดเข้าสู่ปลั๊กไฟ	กราฟจะแสดงค่าแรงดัน กระแส พลังงานไฟฟ้า และระยะเวลาการใช้งานสำหรับการใช้งานปัจจุบัน	ผ่าน
การตรวจสอบข้อมูลย้อนหลัง	แสดงค่าแรงดัน กระแส และพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด	ผ่าน

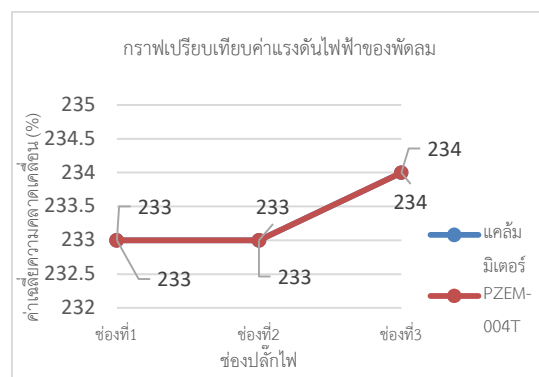
3.2 การทดสอบการวัดค่ากระแสไฟฟ้า

ทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ชิ้น คือ 1.พัดลม 2.ไดร์เป่าผม และ 3.หม้อหุงข้าวไฟฟ้า มาเสียบกับปลั๊กไฟที่ละช่องแล้วอ่านค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG เทียบกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ยี่ห้อ SZBJ รุ่น BM5266 แสดงดังตารางที่ 2 – 4

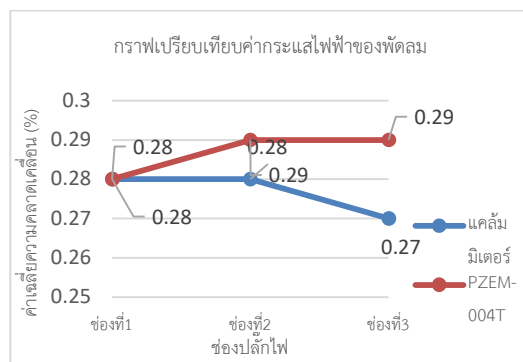
จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าของพัดลมตั้งพื้นเปรียบเทียบกับระหว่างเซนเซอร์ PZEM-004T และดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ SZBJ รุ่น BM5266 พบว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้า ส่วนความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าน้อยที่สุดคือ 0% และมากที่สุด คือ 5%

ตารางที่ 2 ผลการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าของพัดลมตั้งพื้นเปรียบเทียบกับระหว่างเซนเซอร์ PZEM-004T และดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ SZBJ รุ่น BM5266

ปลั๊กไฟช่องที่	หน่วยวัด	อุปกรณ์ที่ใช้	ค่าเฉลี่ย (5 ครั้ง)	% Error
1	แรงดัน (V)	แคลมป์มิเตอร์	233.00	0.00
		PZEM-004T	233.00	
	กระแส (A)	แคลมป์มิเตอร์	0.21	0.00
		PZEM-004T	0.21	
2	แรงดัน (V)	แคลมป์มิเตอร์	233.00	0.00
		PZEM-004T	233.00	
	กระแส (A)	แคลมป์มิเตอร์	0.20	5.00
		PZEM-004T	0.21	
3	แรงดัน (V)	แคลมป์มิเตอร์	234.00	0.00
		PZEM-004T	234.00	
	กระแส (A)	แคลมป์มิเตอร์	0.20	5.00
		PZEM-004T	0.21	



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่าง PZEM-004T และแคลมป์มิเตอร์ ทั้ง 3 ช่องของพัดลม

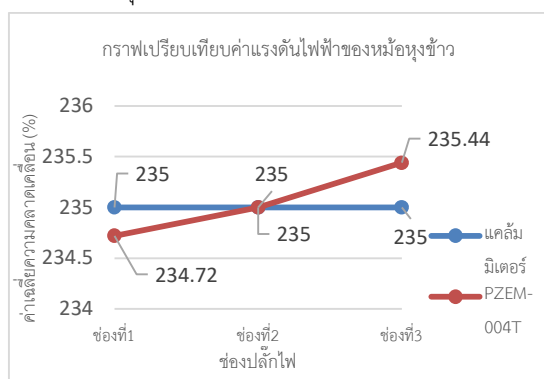


รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าระหว่าง PZEM-004T และแคลมป์มิเตอร์ ทั้ง 3 ช่องของพัดลม

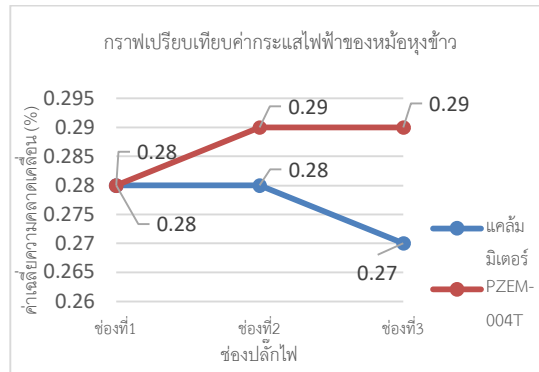
ตารางที่ 3 ผลการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าของหม้อหุงข้าวไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระหว่างเซนเซอร์ PZEM-004T และดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ SZBJ รุ่น BM5266

ปลั๊กไฟ ช่องที่	หน่วยวัด	อุปกรณ์ที่ใช้	ค่าเฉลี่ย (5ครั้ง)	% Error
1	แรงดัน (V)	แคลมป์มิเตอร์	235.00	0.12
		PZEM-004T	234.72	
	กระแส (A)	แคลมป์มิเตอร์	0.28	0.00
		PZEM-004T	0.28	
2	แรงดัน (V)	แคลมป์มิเตอร์	235.00	0.00
		PZEM-004T	235.00	
	กระแส (A)	แคลมป์มิเตอร์	0.28	2.84
		PZEM-004T	0.29	
3	แรงดัน (V)	แคลมป์มิเตอร์	235.00	0.19
		PZEM-004T	235.44	
	กระแส (A)	แคลมป์มิเตอร์	0.27	7.41
		PZEM-004T	0.29	

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าของหม้อหุงข้าวไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระหว่างเซนเซอร์ PZEM-004T และดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ SZBJ รุ่น BM5266 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้าน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 0 และมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.19 ส่วนความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 0 และมากที่สุดคือ ร้อยละ 7.41



รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่าง PZEM-004T และแคลมป์มิเตอร์ ทั้ง 3 ช่องของหม้อหุงข้าว

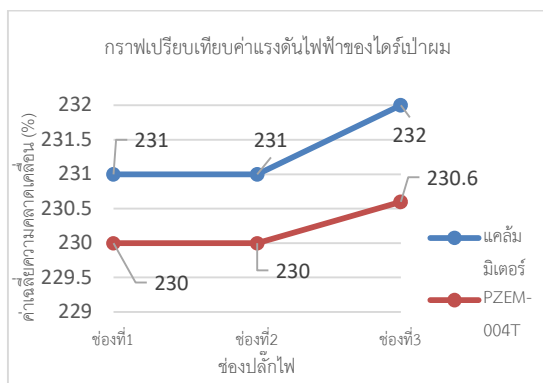


รูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าระหว่าง PZEM-004T และแคลมป์มิเตอร์ ทั้ง 3 ช่องของหม้อหุงข้าว

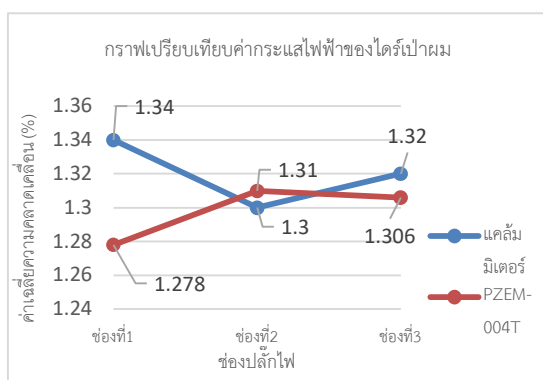
ตารางที่ 4 ผลการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าของไดร์เป่าผมเปรียบเทียบกับระหว่างเซนเซอร์ PZEM-004T และดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ SZBJ รุ่น BM5266

ปลั๊กไฟ ช่องที่	หน่วยวัด	อุปกรณ์ที่ใช้	ค่าเฉลี่ย (5ครั้ง)	% Error
1	แรงดัน (V)	แคลมป์มิเตอร์	231.00	0.43
		PZEM-004T	230.00	
	กระแส (A)	แคลมป์มิเตอร์	1.34	4.63
		PZEM-004T	1.278	
2	แรงดัน (V)	แคลมป์มิเตอร์	231.00	0.43
		PZEM-004T	230.00	
	กระแส (A)	แคลมป์มิเตอร์	1.30	0.77
		PZEM-004T	1.31	
3	แรงดัน (V)	แคลมป์มิเตอร์	232.00	0.60
		PZEM-004T	230.6	
	กระแส (A)	แคลมป์มิเตอร์	1.32	1.06
		PZEM-004T	1.306	

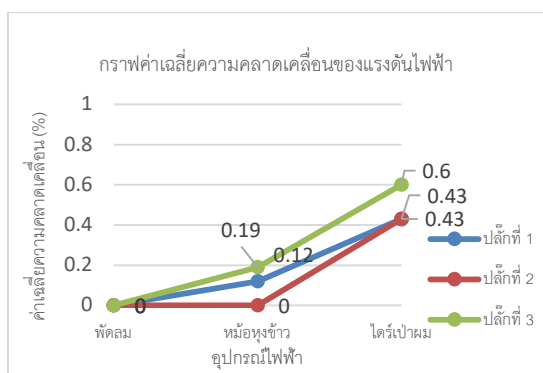
จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าของไดร์เป่าผมเปรียบเทียบกับระหว่างเซนเซอร์ PZEM-004T และดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ SZBJ รุ่น BM5266 พบว่ามีความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้าน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 0.43 และมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.6 ส่วนความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 0.77 และมากที่สุด คือ ร้อยละ 4.63



รูปที่ 14 กราฟเปรียบเทียบการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่าง PZEM-004T และแคลมป์มิเตอร์ ทั้ง 3 ช่องของไดร์เป่าผม



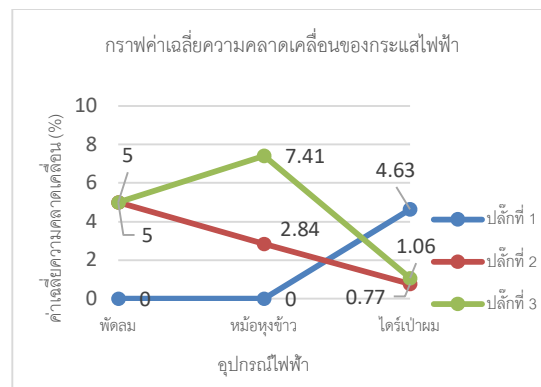
รูปที่ 15 กราฟเปรียบเทียบการวัดค่ากระแสไฟฟ้าระหว่าง PZEM-004T และแคลมป์มิเตอร์ ทั้ง 3 ช่องของไดร์เป่าผม



รูปที่ 16 กราฟค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 ปลั๊ก

จากรูปที่ 16 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนแรงดันไฟฟ้า จากเซนเซอร์ PZEM-004T ของปลั๊กทั้ง 3 ช่องพบว่า พัดลมไม่มีค่าความคลาดเคลื่อน รองลงมาคือส่วนหม้อหุงข้าวมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 0

ที่ปลั๊ก 2 และมากที่สุด คือ ร้อยละ 0.19 ที่ปลั๊ก 3 ส่วนไดร์เป่าผมมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 0.43 ที่ปลั๊ก 1 และ 2 และ มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ร้อยละ 0.6 ที่ 3



รูปที่ 17 กราฟค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่ากระแสไฟฟ้าทั้ง 3 ปลั๊ก

จากรูปที่ 17 ความคลาดเคลื่อนกระแสไฟฟ้า จากเซนเซอร์ PZEM-004T ของปลั๊กทั้ง 3 ช่องพบว่า ความคลาดเคลื่อนของพัดลมน้อยที่สุดคือ ร้อยละ 0 และมากที่สุด คือ ร้อยละ 5 ส่วนความคลาดเคลื่อนของหม้อหุงข้าวมากที่สุดคือ ร้อยละ 0 และมากที่สุด คือ ร้อยละ 7.41 และความคลาดเคลื่อนของไดร์เป่าผมมากที่สุดคือ ร้อยละ 0.77 และมากที่สุด คือ ร้อยละ 4.63

3.3 การทดสอบการใช้งานปลั๊กไฟร่วมกันทั้ง 3 ช่อง

ทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า 3 ชนิดเสียบปลั๊กไฟพร้อม กับ คือ โคมไฟตั้งโต๊ะ พัดลมตั้งโต๊ะและหม้อหุงข้าวไฟฟ้า

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการใช้งานปลั๊กไฟร่วมกันทั้ง 3 ช่อง

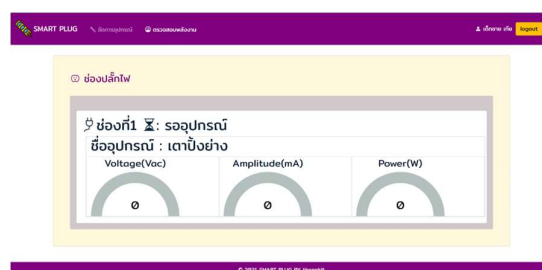
ปลั๊กไฟช่องที่	หน่วยวัด	ค่าเฉลี่ย(5ครั้ง)
1 (โคมไฟตั้งโต๊ะ)	แรงดัน (V)	234.54
	กระแส (A)	0.09
2 (พัดลมตั้งโต๊ะ)	แรงดัน (V)	234.76
	กระแส (A)	0.19
3 (หม้อหุงข้าวไฟฟ้า)	แรงดัน (V)	234.78
	กระแส (A)	0.30

3.4 การทดสอบความปลอดภัยจากกระแสไฟฟ้า

การทดสอบทำโดยการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าขนาด 3,000 W ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้า 13.63 A ต่อเข้ากับปลั๊กไฟที่ช่องโดยที่ยังไม่เปิดสวิตช์ของเครื่อง จากนั้นจึงเปิดสวิตช์ไฟฟ้าและเปิดสวิตช์การทำงานของเตาไฟฟ้าและจับเวลา ปลั๊กไฟจะต้องตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งผลการทดสอบพบว่าปลั๊กไฟอัจฉริยะสามารถตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ทุกครั้ง



รูปที่ 18 เว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG แสดงค่าแรงดันกระแสไฟฟ้าและระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า



รูปที่ 19 เว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG เมื่อถูกสั่งให้ตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์ไฟฟ้า

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ต้นแบบปลั๊กไฟอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ 1) เว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG ซึ่งใช้สำหรับควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้เตาเสียทั้ง 3 เต้า ซึ่งแต่ละเต้าเสียสามารถควบคุมและแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้า ที่ได้จากเซนเซอร์ PZEM-004T และระยะเวลาการใช้งานแยกเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งยังไม่พบงานวิจัยใดที่พัฒนาปลั๊กไฟอัจฉริยะถึง 3 เต้าเสียในชุดเดียวกัน

การทดสอบการควบคุมการทำงานจากเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG พบว่าสามารถควบคุมการทำงานและแสดงสถานะของสวิตช์เมื่อเปิด-ปิดได้โดยไม่ผิดพลาด และสามารถเก็บประวัติการใช้งานของแต่ละเต้าเสียได้ ซึ่งสอดคล้องกับ S. P. Makhanya และคณะ, Z. Deng และคณะ ที่สามารถแสดงข้อมูลต่าง ๆ ในระบบคลาวด์ และควบคุมการทำงานด้วยแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และสามารถคำนวณค่าการใช้พลังงาน (Energy consumption) และข้อมูลการใช้งานต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วนเต้าเสียประกอบด้วย 3 เต้าเสีย โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ทำหน้าที่อ่านค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากเซนเซอร์ PZEM-004T และส่งข้อมูลไปยังเว็บแอปพลิเคชัน SMARTPLUG เพื่อแสดงผล และยังทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังเต้าเสียแต่ละเต้าผ่านโมดูลรีเลย์ขนาด 10 A โดยผลการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากทั้ง 3 ปลั๊กเมื่อวัดเทียบกับ Digital Clamp meter ยี่ห้อ SZBJ รุ่น BM5266 จะพบว่าค่าเฉลี่ยการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ามีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 1 ส่วนค่าเฉลี่ยการวัดค่ากระแสไฟฟ้ามีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 10 จึงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

การอ่านค่ากำลังงานจาก PZEM-004T ผ่านไลบรารีนั้นพบว่า จะมีความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มที่สูงกว่าร้อยละ 10 เกิดขึ้นเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ต่ำกว่า 1 A และความคลาดเคลื่อนนี้จะลดลงต่ำกว่า ร้อยละ 10 เมื่อกระแสไฟฟ้าสูงกว่า 1 A ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ได้ใช้โปรโตคอล MQTT ในการรับส่งข้อมูลจึงอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP 32 และฐานข้อมูลบนเว็บเพจได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการคำนวณค่ากำลังงานแทนการอ่านค่าผ่านไลบรารี

ผลการวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากเซนเซอร์ PZEM-004T เมื่อเปรียบเทียบกับดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ SZBJ รุ่น BM5266 นั้นพบว่าความแตกต่างของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดที่ร้อยละ 0.60 ส่วนความแตกต่างของการวัดค่ากระแสไฟฟ้านั้นมากที่สุดที่ร้อยละ 7.41 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานความเที่ยงตรงของ

เครื่องวัดกับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในระดับ ± 1.0 หรือ ไม่เกินร้อยละ 10

ส่วนผลการตัดกระแสไฟฟ้าออกจากเต้าเสียบเมื่อตรวจพบว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเกิน 10 A นั้นสามารถทำได้ อย่างถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ซึ่งสอดคล้องกับ Z. Deng และคณะ ที่สามารถตัดกระแสไฟฟ้าออกจาก เต้าเสียบได้เพื่อป้องกันอันตรายจากไฟไหม้และไฟฟ้าช็อต

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะพัฒนาต่อคือ 1) ควรติดตั้ง เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิภายในเพื่อเพิ่มความปลอดภัยอีก ชั้นหนึ่งในกรณีเกิดความร้อนสูงจากการใช้งาน 2) เนื่องจาก เซนเซอร์ PZEM-004T มีขนาดใหญ่ อาจจะเปลี่ยนไปใช้ เซนเซอร์ชนิดอื่นที่มีขนาดเล็กกว่า 3) ควรพัฒนาเว็บแอป พลิกเชิ่ SMARTPLUG ให้สามารถกำหนดตารางการ ทำงานล่วงหน้าได้เช่นเดียวกับงานวิจัยของ A. S. Musleh และคณะ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] G. Dileep, "A survey on smart grid technologies and applications," *Renewable Energy*, vol. 146, pp 2589-2625, Feb. 2020.
- [2] R. C. C. Castro, M. A. R. Lunaria, E. dR. Magsakay and M. C. Leyesa, N. E. G. Silao, J. G. Jaudian and E. J. Morsiquillo, "IntelliPlugs: IoT-based Smart Plug for Energy Monitoring and Control Through WiFi and GSM," in *Proceeding of The 2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*, Philippines, December. 2020, pp.03-07.
- [3] P. Mtshali and F. Khubia, "A Smart Home Energy Management System using Smart Plugs," in *Proceeding of The 2019 Conference on Information Communications Technology and Society (ICTAS)*, South Africa, March. 2019, pp. 06-08.
- [4] S. P. Makhanya, E. M. Dogo, N. I. Nwulu and U. Damisa, "A Smart Switch Control System Using ESP8266 Wi-Fi Module Integrated with an Android Application," in *Proceeding of The 2019 IEEE 7th International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE)*, Canada, August. 12-14, 2019, pp.125 – 128.
- [5] A. S. Musleh, M. Debouza and M. Farook, "Design and Implementation of Smart Plug: An Internet of Things (IoT) Approach," in *Proceeding of The 2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA)*, United Arab Emirates, November. 2017, pp. 21-23.
- [6] Z. Deng, Y. Zhou, R. Na and Z. J. Shen, "Smart Plug 2.0: Solid State Smart Plugs Preventing Fire and Shock Hazards in Smart Homes and Offices," in *Proceeding of The 2020 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, United States of America, October. 11-15, 2020, pp.6065 – 6070.
- [7] A. K. Matsuo, A. E. Santos, C. B. Carvalho, D. M. Abreu, D. F. Luiz, D. L. S. Figueira, L. A. Silva, V. F. Souza and W. S. S. Júnior, "Smart Plug Prototype for Residential Electrical Energy Monitoring," in *Proceeding of The 2021 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)*, Taiwan, September. 2021, pp. 15-17.

- [8] T. Adiono, M. Y. Fathany, S. F. Anindya, S. Fuada and I. G. Purwanda, "Using A Smart Plug based on Consumer Electronics to Support Low Power Smart Home," in *Proceeding of The 2019 4th International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG)*, China, September. 06-09, 2019, pp.376 – 379.

เครื่องประจุแบตเตอรี่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่และ คอมพิวเตอร์พกพาสังเกตการณ์ทำงานและแจ้งผลด้วยระบบ IoT

A solar-powered battery charger for mobile phones and laptops monitoring via IoT system

บุรินทร์ เทพโพธา และ มนตรี ศิริปรัชญานันท์*
Burin Theppota and Montree Siripruchyanun *

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
Department of Electrical Education Faculty of Industrial Education King Mongkut's University of Technology North Bangkok

*Email: montree.s@fte.kmutnb.ac.th

Received: March 26, 2022; Revised: October 06, 2022; Accepted: October 10, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์พกพารายงานสังเกตการณ์ทำงานและแจ้งผลด้วยระบบ IoT โดยสามารถนำไปใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีระบบไฟฟ้า ตัวเครื่องมีขนาดกะทัดรัด เหมาะสำหรับการเดินทางไกลในพื้นที่ทุรกันดาร และสามารถประจุได้ทั้งระบบโซลาร์เซลล์และระบบไฟฟ้า 220 โวลต์ที่ผ่านอะแดปเตอร์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ อุปกรณ์สามารถเชื่อมต่อกับระบบ IoT เพื่อแสดงผลขณะประจุ ดังนี้ อันดับแรก คือ กระแสไฟฟ้าในการประจุ ถัดมาเป็นระยะเวลาในการประจุเต็ม ถัดมาเป็นความจุ (mAh) อันดับต่อไปเป็นเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ และอันดับสุดท้าย คือ เวลาขณะประจุของอุปกรณ์ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีระบบแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์เมื่อประจุแบตเตอรี่เต็ม โดยในการประจุแบตเตอรี่จากระบบไฟฟ้าใช้เวลาน้อยกว่าการประจุแบตเตอรี่จากแผงโซลาร์เซลล์ 35 นาที

คำสำคัญ : เครื่องประจุแบตเตอรี่พลังงานแสงอาทิตย์, โทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์พกพา, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

This article presents a solar-powered battery charger for a mobile phones and laptop reporting via IoT system, which can be used without electrical distribution system. The implementation is compact, suitable for long-distance travel in rugged areas, and can be charged from both the solar cell system and the 220V electrical system, converting 220VAC to 12VDC by an adapter. Furthermore, the device can be connected to an IoT system to display various charging statuses as follows; the charging current, the remaining time to full charge, the charging capacity (mAh), the battery charging percentage and the charging time. In addition, there is also a notification system on the Line application when the battery is fully charged. From the results, charging the battery from the electrical system is faster than charging the battery from the solar panel for 35 minutes.

Keywords : A solar-powered battery charger, mobile phones and laptops, internet of things

1. บทนำ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีทางการสื่อสารและคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์พกพาเป็นอุปกรณ์ช่วยอำนวยความสะดวก เช่น การสนทนาผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ สนทนาออนไลน์ผ่านอินเทอร์เน็ต การส่งข้อความต่าง ๆ การทำงานด้านเอกสาร การประมวลผลข้อมูล [1] ซึ่งแน่นอนว่า การทำงานของอุปกรณ์พกพาเหล่านี้จะใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายกำลังระยะเวลาการใช้งานจึงจำกัดโดยความจุแบตเตอรี่ ทำให้จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำรองสำหรับประจุแบตเตอรี่ให้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์พกพา เพื่อใช้ในยามฉุกเฉินหรือออกนอกสถานที่ ที่ไม่มีไฟฟ้าสามารถประจุแบตเตอรี่ได้

เมื่อปี พ.ศ. 2554 มีผู้นำเสนอเครื่องประจุแบตเตอรี่สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์พกพาใช้พลังงานแสงอาทิตย์ [2] เพื่อแก้ปัญหาในกรณีที่ไม่สามารถประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์พกพาด้วยระบบไฟฟ้าได้ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานธรรมชาติ และมีความสะดวกในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า [3-4] อย่างไรก็ตาม เครื่องดังกล่าวมีข้อจำกัด ในกรณีที่เครื่องประจุแบตเตอรี่จ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่ตรงกับอุปกรณ์ที่ต้องการประจุ ทำให้อุปกรณ์เกิดความร้อนสะสม ส่งผลให้การประจุทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ ไม่เป็นไปตามความจุเต็มที่ตามความจุของอุปกรณ์ จึงทำให้อุปกรณ์เสื่อมสภาพ [5] อีกทั้งไม่มีการแจ้งระยะเวลาการประจุเต็ม ทำให้ผู้ใช้ต้องเสียเวลามากที่เครื่องบอ่ย ๆ และทางด้านตัวเครื่องเก็บประจุแบตเตอรี่มีขนาดเล็ก ใหญ่ และน้ำหนักที่มาก เนื่องจากใช้แบตเตอรี่รถจักรยานยนต์

ปัจจุบันเป็นยุคที่ใช้อินเทอร์เน็ตในชีวิตประจำวัน และนำมาประยุกต์ใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ หรือที่เรียกว่าอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of things, IoT) จึงเป็นประโยชน์มากหากสามารถควบคุมและแสดงผลค่าต่าง ๆ ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ ซึ่งสามารถแสดงผลเป็นเวลาจริงทำให้ทราบค่าและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้ทันทั่วทั้ง [6-7]

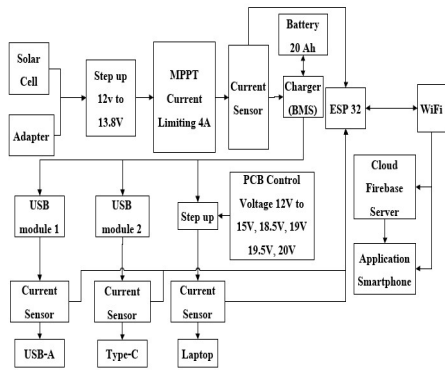
จากปัญหาดังกล่าว จึงนำเสนอเครื่องประจุแบตเตอรี่สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ และคอมพิวเตอร์พกพาที่สามารถ

ประจุแบตเตอรี่ภายในเครื่องได้ทั้งจากพลังงานแสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้า และยังรายงานการทำงานด้วยระบบ IoT โดยสามารถตรวจสอบความจุของแบตเตอรี่ภายในเครื่อง โทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์พกพา บอกเป็นเปอร์เซ็นต์และระยะเวลาในการเก็บประจุแบตเตอรี่ผ่านแอปพลิเคชัน ทำให้ประหยัด ระยะเวลาและมีความสะดวกในการใช้งานของผู้ใช้ และการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ จึงทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุด และตัวเครื่องประจุแบตเตอรี่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา

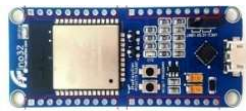
2. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

2.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

เครื่องประจุแบตเตอรี่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์พกพาสังเกตการทำงานและแจ้งผลด้วยระบบ IoT ในการทำงานมีส่วนอินพุตและเอาต์พุต ในส่วนของอินพุตมี 2 แหล่งจ่ายได้แก่ 1.แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ทำการแปลงแรงดันด้วยอะแดปเตอร์ 12 โวลต์ เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 2.แหล่งจ่ายจากโซลาร์เซลล์ 12 โวลต์ ทั้งสองแหล่งจ่ายนี้ใช้ในการประจุโดยผ่านวงจรเพิ่มแรงดัน และวงจรควบคุมประจุเพิ่มกระแสไฟฟ้าตามลำดับโดยโมดูลกระแสไฟฟ้าจ่ายเป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่คงที่ (Current constant) [8-10] ที่ใช้กระแสประจุ อยู่ที่ 4 แอมป์ และแบตเตอรี่ใช้เป็นชนิดลิเทียมไอออน 18650 โดยการต่ออนุกรม 3 ก้อนเพื่อเพิ่มแรงดันจาก 3.7 โวลต์ เป็น 11.1 โวลต์ หลังจากนั้นนำมาต่อขานานเพื่อเพิ่มความจุทั้งหมด 7 ชุด รวมทั้งสิ้น 21 ก้อน มีความจุประมาณ 20,000 mAh เนื่องจากไม่ได้ทำการคายประจุเพื่อหาความจุของแบตเตอรี่ แต่ใช้วิธีตรวจสอบความจุโดยเครื่องตรวจสอบคุณภาพแบตเตอรี่ มีค่าความจุอยู่ที่ 2,890-3,046 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง ส่วนเอาต์พุตมีภาคประจุแบตเตอรี่ของโทรศัพท์ใช้โมดูลลดแรงดันลักษณะเป็นยูเอสบีในการแปลงแรงดัน 12 โวลต์ เป็น 5 โวลต์ และภาคประจุแบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์พกพาใช้วงจรเพิ่มแรงดันโดยมีสวิตช์ที่สามารถเปลี่ยนค่าแรงดันครอบคลุมตามที่ต้องการหลากหลายยี่ห้อ มีทั้งหมด 5 ค่า ได้แก่ 15 โวลต์ 18.5 โวลต์ 19 โวลต์ 19.5 โวลต์ และ 20 โวลต์ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของตัวเครื่อง



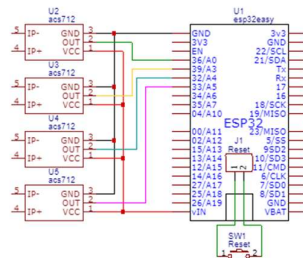
รูปที่ 2 ลักษณะของ ESP 32

รูปที่ 2 แสดงส่วนประมวลผล โดยมีโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าทำหน้าที่ในการส่งค่าข้อมูล และบอร์ด EPS 32 ทำการเชื่อมต่อ Wi-fi เพื่อที่ส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ไฟร์เบส และแสดงบนหน้าแอปพลิเคชัน และเมื่อประจุแบตเตอรี่เต็ม ทำการส่งสัญญาณแจ้งเตือนยังแอปพลิเคชันไลน์ [1]

2.2 การออกแบบลายวงจร

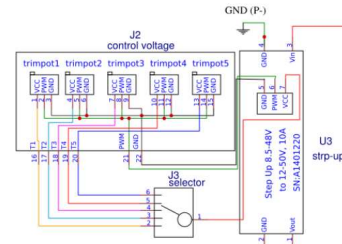
ในการออกแบบลายวงจร เป็นการจัดการอุปกรณ์ใช้งานได้อย่างง่าย มีความสวยงามและความทนทานของบอร์ด แสดงดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4

ในรูปที่ 3 เป็นการออกแบบใช้งานของโมดูล acs 712 เชื่อมต่อกับ บอร์ด ESP 32 โดยขา Vin ของบอร์ด ESP 32 เป็นไฟเลี้ยงให้กับตัวโมดูลวัดกระแสไฟฟ้า และขาเอาต์พุตของโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าเชื่อมต่อกับ ขา A0, A3, A4, A5 เพื่อส่งสัญญาณทางไฟฟ้าให้บอร์ด ESP 32 เพื่อทำการแปลงสัญญาณที่ได้รับเป็นข้อมูล



รูปที่ 3 การออกแบบวงจรคอนโทรลเลอร์กับโมดูล

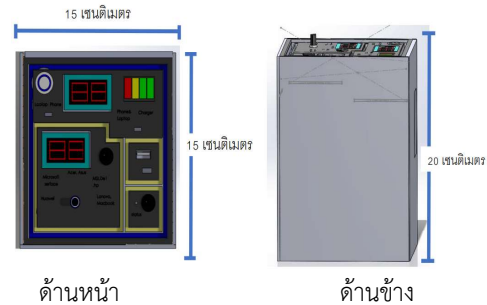
ในรูปที่ 4 เป็นการออกแบบอุปกรณ์การใช้งานของตัวด้านทานปรับค่าได้แบบละเอียด ใช้สำหรับการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมกับคอมพิวเตอร์พกพา



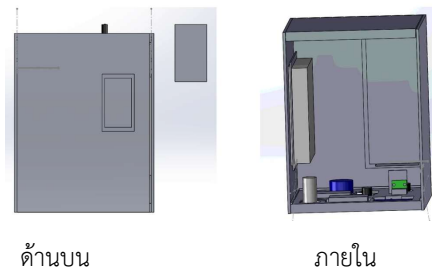
รูปที่ 4 ออกแบบวงจรควบคุมแรงดัน

2.3 การออกแบบตัวขึ้นงาน

ในการออกแบบตัวขึ้นงานเพื่อให้การจัดการวางตำแหน่งของอุปกรณ์สะดวกมากขึ้น โดยใช้วัสดุเป็นพลาสติกให้มีขนาดเบาและพกพาได้ง่าย แสดงดังรูปที่ 5 และ รูปที่ 6



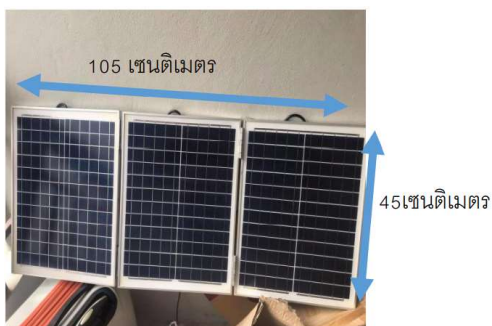
รูปที่ 5 โครงสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่ด้านหน้าและด้านข้าง



รูปที่ 6 โครงสร้างของเครื่องประจุแบตเตอรี่ด้านบนและภายใน

2.4 การออกแบบส่วนโซลาร์เซลล์

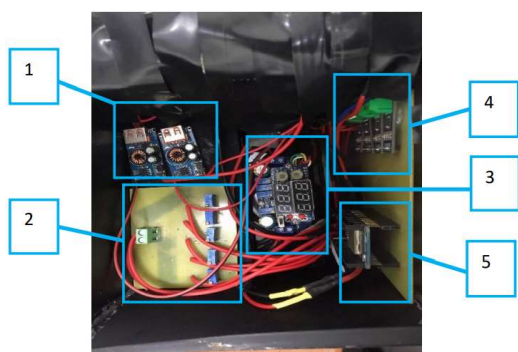
นำแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ 12 โวลต์ 20 วัตต์ ต่อแบบขนาน จะได้แหล่งจ่าย 12 โวลต์ 60 วัตต์ โดยใช้บานพับประตูดัดติดแผงโซลาร์เซลล์ แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ขนาดแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์

2.5 การติดตั้งอุปกรณ์

นำอุปกรณ์ทั้งหมดต่อวงจรและนำลงในกล่องที่ได้ทำการพิมพ์สามมิติไว้ 1. โมดูลประจุแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้ง USB-A และ USB-C 2. วงจรควบคุมแรงดันในการประจุแบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์พกพา 3. โมดูลควบคุมการประจุแบตเตอรี่ของตัวเครื่องประจุสามารถประจุได้ทั้งระบบไฟฟ้ากระแสตรง และระบบโซลาร์เซลล์ 4. โมดูลอ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำการประจุ 5. บอร์ดคอนโทรลเลอร์ ESP 32 แสดงดังรูปที่ 8



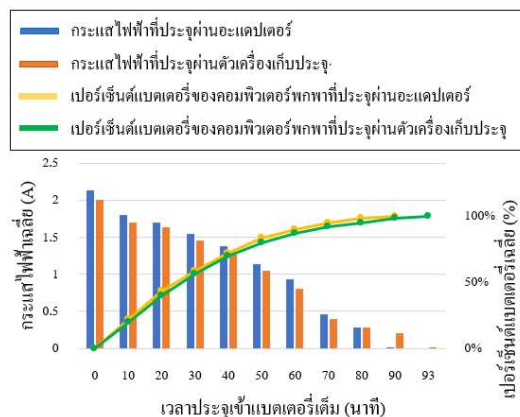
รูปที่ 8 ติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดลงในกล่อง

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 ผลการประจุแบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์พกพา

การทดสอบเก็บผลประจุเข้าคอมพิวเตอร์พกพาทางด้านกระแสไฟฟ้า พบว่าการประจุด้วยอะแดปเตอร์ที่เป็นอุปกรณ์ของคอมพิวเตอร์พกพา ยี่ห้อ MSI ได้ค่ากระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 2.126 แอมป์ ซึ่งสูงกว่าการประจุด้วยตัวเครื่องเก็บประจุ (แบตเตอรี่สำรอง) ที่มีค่ากระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 2.006 แอมป์ และมีกระแสไฟฟ้าที่ลดลงค่อนข้างมากในช่วงเวลา 10 นาที และ 60-70 นาที ทั้งนี้เนื่องจากวงจรการจัดการแบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์

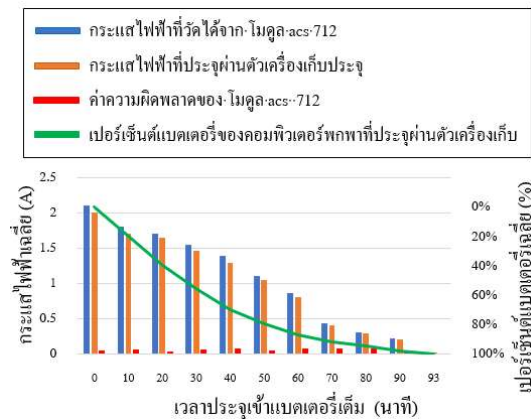
พกพาได้ถูกกำหนดให้เหมาะสมกับการใช้งานจากทางผู้ผลิต ส่วนการทดสอบเก็บผลทางด้านเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ ของคอมพิวเตอร์พกพานั้นพบว่า เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วง 0-80 เปอร์เซ็นต์ โดยการประจุจากอะแดปเตอร์ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 47.27 นาที ส่วนการประจุจากตัวเครื่องเก็บประจุใช้เวลาโดยเฉลี่ย 50 นาที เปอร์เซ็นต์จะเพิ่มช้าลง ในช่วง 80-90 เปอร์เซ็นต์ โดยประจุจากอะแดปเตอร์ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 12.33 นาที ส่วนประจุจากตัวเครื่องประจุใช้เวลาโดยเฉลี่ย 16 นาที และหลังจาก 90 เปอร์เซ็นต์ จะเพิ่มขึ้นช้าอย่างมาก จนแบตเตอรี่เต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ โดยในช่วงนี้ประจุจากอะแดปเตอร์ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 30 นาที ส่วนประจุจากตัวเครื่องประจุใช้เวลาโดยเฉลี่ย 27 นาที แสดงดังรูปที่ 9 สาเหตุการประจุผ่านตัวเครื่องเก็บประจุใช้นานกว่าเป็นเพราะเกณฑ์การบันทึกผลที่ต่างกัน การบันทึกผลจากอะแดปเตอร์เก็บผลทุก ๆ 10 นาที ส่วนตัวเครื่องประจุใช้การสังเกตเมื่อแบตเตอรี่เต็ม เห็นได้ว่า การประจุจากเครื่องที่สร้างขึ้นนี้ ให้ประสิทธิภาพดีพอ ๆ กับการประจุจากอะแดปเตอร์



รูปที่ 9 ผลทดสอบในการประจุแบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์พกพา

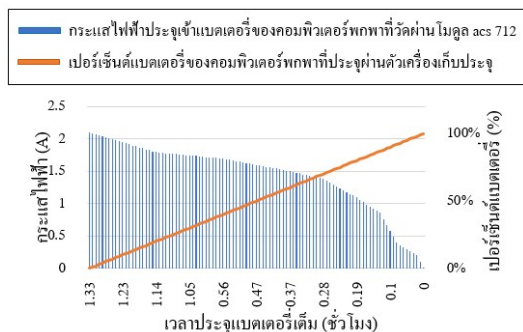
ในรูปที่ 10 แสดงค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบของคอมพิวเตอร์พกพายี่ห้อ MSI โดยประจุผ่านเครื่องเก็บประจุ และค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบของโมดูล acs 712 นำมาเทียบหาค่าความผิดพลาดเพื่อตรวจสอบคุณภาพของโมดูลตรวจจิบกระแสไฟฟ้าโดยช่วงกระแสไฟฟ้าที่ 2.1 – 1.55 แอมป์ ค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 5 เปอร์เซ็นต์ หลังจาก 1.55 แอมป์ จนถึง 0.3 แอมป์ มีค่าความผิดพลาดที่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังคงอยู่เกณฑ์ที่รับได้ และแสดงระยะเวลาพร้อมกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เพื่อใช้

ในการหาความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าแบตเตอรี่ กับเปอร์เซ็นต์ความจุของแบตเตอรี่ เทียบกับเวลาการประจุ



รูปที่ 10 ค่าความผิดพลาดของตัวโมดูลวัดกระแสไฟฟ้า

ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าแบตเตอรี่ เห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น ส่วนกระแสไฟฟาลดลง โดยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ได้ค่าเป็นเชิงเส้น เนื่องจากเป็นค่าหลักในการอ้างอิง ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าแปรผันตามเปอร์เซ็นต์ ยกตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ 0 เปอร์เซ็นต์ มีค่ากระแสไฟฟ้า 2.1 แอมป์ แบตเตอรี่ 1 เปอร์เซ็นต์ มีค่ากระแสไฟฟ้า 2.085 แอมป์ เป็นต้น และระยะเวลาที่เกิน 60 นาที ทำการแปลงจากนาทีเป็นชั่วโมง เพื่อให้ผู้ใช้ดูเวลาได้ง่ายพร้อมกับกำหนดเวลาประจุเต็มของคอมพิวเตอร์พกพา แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าแบตเตอรี่ กับเปอร์เซ็นต์ความจุของแบตเตอรี่เทียบกับเวลาการประจุของคอมพิวเตอร์พกพา

3.2 การหาค่ากระแสไฟฟ้าเทียบกับเปอร์เซ็นต์

การหาค่ากระแสไฟฟ้าต่อเปอร์เซ็นต์เป็นการหาความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าแบตเตอรี่กับเปอร์เซ็นต์ความจุของแบตเตอรี่เทียบกับเวลาการประจุ

แสดงดังรูปที่ 11 เพื่อแสดงผลในแอปพลิเคชัน ยกตัวอย่างการคำนวณ โดยใช้จากรูปที่ 10 มีดังนี้ 1.ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากโมดูล acs 712 2.ค่าระยะเวลา 3.ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์พกพา ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการคำนวณ กำหนดตัวแปรกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดคือ I_{max} และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำสุดคือ I_{min} ในช่วงเวลานั้น ๆ เช่น 0 นาที ถึง 10 นาที จะได้ $I_{max} = 2.1$, $I_{min} = 1.8$ ส่วน 10 นาที ถึง 20 นาที จะได้ $I_{max} = 1.8$, $I_{min} = 1.7$ เป็นต้น เมื่อได้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดทำการลบเพื่อหาพื้นที่กระแสไฟฟ้าแทนตัวแปรด้วย I_z

$$I_{max} - I_{min} = I_z (A) \quad (1)$$

$$2.1 - 1.8 = 0.3 (A)$$

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ ใช้ช่วงเวลากับการหาพื้นที่กระแสไฟฟ้า ยกตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์พกพาสูงสุดคือ Per_{max} ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์พกพาต่ำสุดคือ Per_{min} วิธีการทำ คือ 0 นาที ถึง 10 นาที จะได้ $Per_{min} = 0\%$, $Per_{max} = 20\%$ ส่วน 10 นาทีถึง 20 นาที จะได้ $Per_{min} = 20\%$, $Per_{max} = 40\%$ เป็นต้น ทำการลบเพื่อหาพื้นที่ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของคอมพิวเตอร์พกพาแทนตัวแปรด้วย Per_z

$$Per_{max} - Per_{min} = Per_z (\%) \quad (2)$$

$$20\% - 0\% = 20\%$$

เมื่อได้พื้นที่กระแสไฟฟ้า (1) และพื้นที่ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์พกพา (2) ทำการหารเพื่อได้ค่าพื้นที่กระแสไฟฟ้าต่อเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์พกพา แทนด้วยตัวแปร I_x

$$\frac{I_z}{Per_z} = I_x (A) \quad (3)$$

$$\frac{0.3}{20} = 0.015 (A)$$

เมื่อได้ค่าพื้นที่กระแสไฟฟ้าต่อเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์พกพา I_x นำมาลบกับกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด I_{max} ในช่วงเวลานั้น ๆ ทำการลบเท่ากับจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ได้ทำการหาร เพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้าต่อเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์พกพาแทนตัวแปรด้วย I

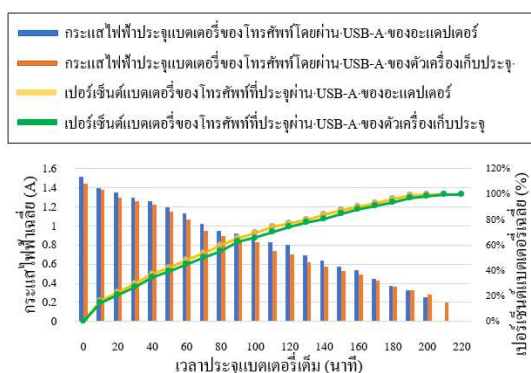
$$I_{max} - I_x = I (A) \quad (4)$$

$$2.1 - 0.015 = 2.085$$

(ทำการลบเท่ากับจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่ทำการหาร คือ 20 ครั้ง) เป็นการยกตัวอย่างการประจุของคอมพิวเตอร์พกพาที่เท่านั้น

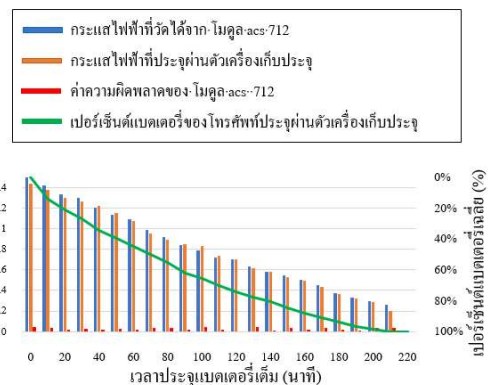
3.3 ผลการประจุของโทรศัพท์เคลื่อนที่ประจุผ่าน USB-A

การทดสอบเก็บผลประจุเข้าโทรศัพท์เคลื่อนที่ ยกตัวอย่างยี่ห้อ I-phone 7 Plus ทางด้านกระแสไฟฟ้า พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำการประจุด้วยอะแดปเตอร์ ได้ค่าโดยเฉลี่ย 1.514 แอมป์ ซึ่งสูงกว่าการประจุด้วยตัวเครื่องเก็บประจุที่มีค่ากระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 1.440 แอมป์ เมื่อทำการประจุค่ากระแสไฟฟ้าจะค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง จนถึง 0.25-0.2 แอมป์ ในช่วงเวลา 200-210 นาที หลังจากนั้นวงจรการจัดการแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการตัดประจุ กระแสไฟฟ้าไม่สามารถทำการประจุได้เนื่องจากแบตเตอรี่เต็ม ส่วนการเก็บผลทางด้านเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ พบว่าในระยะเวลา 10 นาที การประจุด้วยอะแดปเตอร์ได้เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย 16 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประจุด้วยตัวเครื่องเก็บประจุได้เปอร์เซ็นต์ของโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยเฉลี่ย 14.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นช่วงที่เปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นเร็วที่สุด และเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นช้าอย่างมาก ในช่วง 87-100 เปอร์เซ็นต์ โดยในช่วงนี้ค่าเวลาเฉลี่ยที่ประจุด้วยอะแดปเตอร์ 60 นาที และค่าเวลาโดยเฉลี่ยที่ประจุด้วยตัวเครื่องเก็บประจุ 66.40 นาที แสดงผลดังรูปที่ 12 เห็นได้ว่าการประจุจากเครื่องที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพดีใกล้เคียงกับการประจุจากอะแดปเตอร์ของโทรศัพท์ เช่นเดียวกับผลของคอมพิวเตอร์พกพา



รูปที่ 12 ผลทดสอบในการประจุแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ประจุผ่าน USB-A

ในรูปที่ 13 แสดงค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบของโทรศัพท์เคลื่อนที่ประจุผ่าน USB-A โดยประจุผ่านเครื่องเก็บประจุ และค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบของโมดูล acs 712 นำมาเทียบหาค่าความผิดพลาดเพื่อตรวจสอบคุณภาพของโมดูลตรวจจับกระแสไฟฟ้า ซึ่งค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น โมดูลตรวจจับกระแสไฟฟ้ามีความแม่นยำสูง สามารถใช้แสดงค่าของข้อมูลในการประจุของแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เป็นอย่างดี และแสดงระยะเวลาพร้อมกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เพื่อใช้หาความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าแบตเตอรี่ กับเปอร์เซ็นต์ความจุของแบตเตอรี่ เทียบกับเวลาการประจุ โดยใช้สมการของหัวข้อที่ 3.2 และใช้ค่าจากรูปที่ 13 ในการคำนวณ

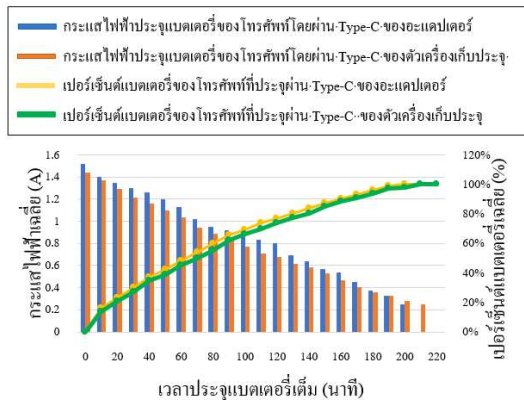


รูปที่ 13 ค่าความผิดพลาดของตัวโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าโทรศัพท์เคลื่อนที่ประจุผ่าน USB-A

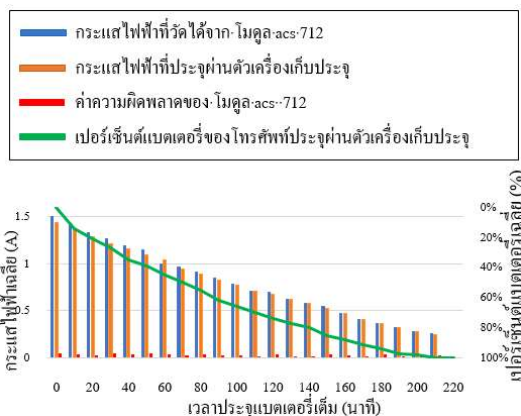
3.4 ผลการประจุของโทรศัพท์เคลื่อนที่ประจุผ่าน USB-C

การทดสอบเก็บผลประจุเข้าโทรศัพท์เคลื่อนที่ ยกตัวอย่างยี่ห้อ I-phone 7 Plus ค่ากระแสไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์ ใช้ค่าเดียวกับการประจุอะแดปเตอร์ของการประจุผ่าน USB-A เนื่องจากใช้อะแดปเตอร์ตัวเดียวกัน และสายประจุขนาด 2.4 แอมป์ เท่ากัน ผลการทดสอบลักษณะเหมือนกันแต่ที่ต่างกันคือ ทางด้านกระแสไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำการประจุด้วยตัวเครื่องเก็บประจุที่มีค่ากระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 1.439 แอมป์ซึ่งน้อยกว่าการประจุด้วยอะแดปเตอร์ ส่วนการเก็บผลทางด้านเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ ประจุด้วยตัวเครื่องเก็บประจุได้เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย 14 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นช้าอย่างมาก ในช่วง 87-100 เปอร์เซ็นต์ โดยในช่วงนี้ค่าเวลา

เฉลี่ยที่ประจวบด้วยตัวเครื่องเก็บประจุ 70 นาที แสดงผลดังรูปที่ 14 เห็นได้ว่าการประจุจากเครื่องที่สร้างขึ้นนี้ให้ประสิทธิภาพดีใกล้เคียงกับการประจุจากอะแดปเตอร์ของโทรศัพท์ เช่นเดียวกับผลของคอมพิวเตอร์พกพา



รูปที่ 14 ผลทดสอบในการประจุแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ประจุผ่าน USB-C



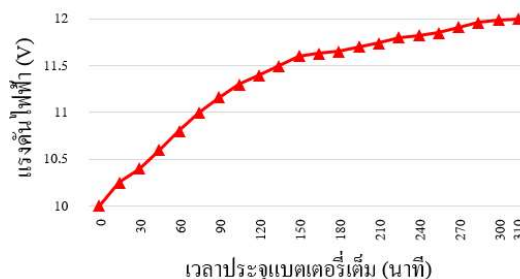
รูปที่ 15 ค่าความผิดพลาดของตัวโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าโทรศัพท์เคลื่อนที่ประจุผ่าน USB-C

ในรูปที่ 15 แสดงค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบของโทรศัพท์เคลื่อนที่ประจุผ่าน USB-C โดยประจุผ่านเครื่องเก็บประจุ และค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบของโมดูล acs 712 นำมาเทียบหาค่าความผิดพลาดเพื่อตรวจสอบคุณภาพของโมดูลตรวจจับกระแสไฟฟ้า ซึ่งค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น โมดูลตรวจจับกระแสไฟฟ้ามีความแม่นยำสูง สามารถใช้แสดงค่าของข้อมูลในการประจุของแบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้อย่างดี และแสดงระยะเวลาพร้อมกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เพื่อใช้หา

ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าแบตเตอรี่ กับเปอร์เซ็นต์ความจุของแบตเตอรี่ เทียบกับเวลาการประจุ โดยใช้สมการของหัวข้อที่ 3.2 และใช้ค่าจากรูปที่ 15 ในการคำนวณ

3.5 ผลการประจุของตัวเครื่องเก็บประจุผ่านอะแดปเตอร์

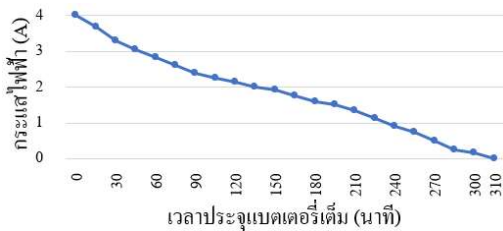
ผลการทดสอบการประจุของอะแดปเตอร์ แบตเตอรี่เต็มมีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 12 โวลต์ และเมื่อคายประจุแบตเตอรี่จนหมด ได้ค่าแรงดันคัตออฟ (Cut off voltage) อยู่ที่ 10 โวลต์ จากการทดสอบประจุแบตเตอรี่ ในช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ 10-11.5 โวลต์ มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใช้ระยะเวลาโดยเฉลี่ย 135 นาที และแรงดันไฟฟ้าที่เข้าแบตเตอรี่จะเพิ่มช้าลงในช่วง 11.5-11.9 โวลต์ ระยะเวลาในช่วงนี้โดยเฉลี่ย 132.30 นาที หลังจากแรงดันไฟฟ้าที่เข้าแบตเตอรี่มีค่ามากกว่า 11.9 โวลต์ อัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันจะช้ามากจนแบตเตอรี่เต็มใช้ระยะเวลาโดยเฉลี่ย 42.30 นาที แต่เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่เข้าแบตเตอรี่อยู่ที่ 12 โวลต์ วงจรการจัดการแบตเตอรี่ไม่ตัดการประจุไฟฟ้า เนื่องจากความจุของแบตเตอรี่ยังไม่เต็ม ซึ่งมีกระแสไฟฟ้าไหลทำการประจุอยู่ แสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ผลเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าในการประจุผ่านอะแดปเตอร์

ผลการทดสอบการประจุของอะแดปเตอร์ ในการทดสอบนี้ได้จำกัดกระแสไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่อยู่ที่ 4 แอมป์ จากการทดสอบในช่วงเริ่มต้น กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในการประจุมีค่า 3.998 แอมป์ และมีอัตราการลดลงของกระแสไฟฟ้าจาก 3.998 แอมป์ จนถึง 2 แอมป์ ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 135 นาที หลังจาก 2 แอมป์ กระแสไฟฟ้าที่ประจุแบตเตอรี่จะค่อย ๆ ลดลง จนถึง 0.26 แอมป์ ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 145 นาที หลังจากนั้นกระแสไฟฟ้าที่ทำการประจุแบตเตอรี่ลดลงอย่างมาก จนวงจรการจัดการแบตเตอรี่

(BMS) ตัววงจรการประจุเพราะแบตเตอรี่เต็ม แสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ผลเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าในการประจุผ่านอะแดปเตอร์

การหาค่าเปอร์เซ็นต์การประจุ SoC หรือ state of charge เนื่องจากไม่ได้ทำการคายประจุด้วยค่ากระแสไฟฟ้าที่คงที่ จึงใช้วิธีการคิดหาค่าเปอร์เซ็นต์โดยแรงดันที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ ใช้รูปที่ 16 เป็นตัวอย่าง กำหนด V_n คือ แรงดันที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ V_{max} คือ แรงดันแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม และ V_{min} คือ แรงดันคัตออฟ จากนั้นสามารถคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การประจุ SoC ได้ดังนี้

$$SoC = \frac{V_n - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} * 100\% \quad (5)$$

ยกตัวอย่างเช่น

$$SoC = \frac{10.25 - 10}{12 - 10} * 100\% = 12.5\%$$

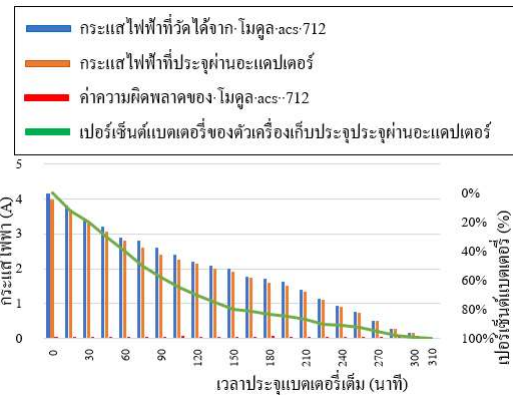
ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การประจุ SoC ของแบตเตอรี่ในตัวเครื่องประจุผ่านอะแดปเตอร์เทียบกับเวลาในการประจุ ได้ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 การเทียบค่าเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ของตัวเครื่องเก็บประจุผ่านการประจุด้วยอะแดปเตอร์

การนำค่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากรูปที่ 18 ทำการรวบรวมกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์และค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบเครื่องเก็บประจุโดยประจุด้วยอะแดปเตอร์ และค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบของโมดูล acs 712 พร้อม

กับแสดงระยะเวลา และค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของโมดูลตรวจจับสนชาร์จไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 19 เห็นได้ว่า โมดูลตรวจจับสนชาร์จไฟฟ้ามีความแม่นยำสูงสามารถใช้แสดงค่าของข้อมูลในการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ในตัวเครื่องเก็บประจุที่สร้างขึ้นได้เป็นอย่างดี การหาความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าแบตเตอรี่ กับเปอร์เซ็นต์ความจุของแบตเตอรี่ เทียบกับเวลาการประจุ ใช้สมการของหัวข้อที่ 3.2 และใช้ค่าจากรูปที่ 19 ในการคำนวณ

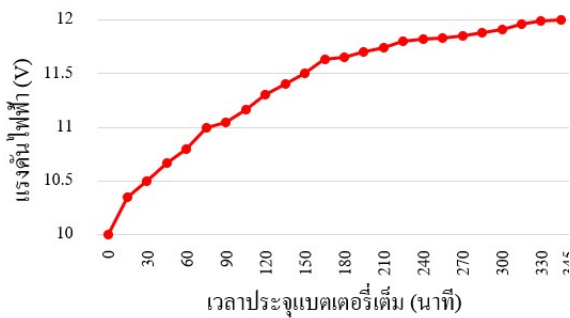


รูปที่ 19 ค่าความผิดพลาดของตัวโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าประจุผ่านอะแดปเตอร์ของตัวเครื่องเก็บประจุ

3.6 ผลการประจุของตัวเครื่องเก็บประจุผ่านโซลาร์เซลล์

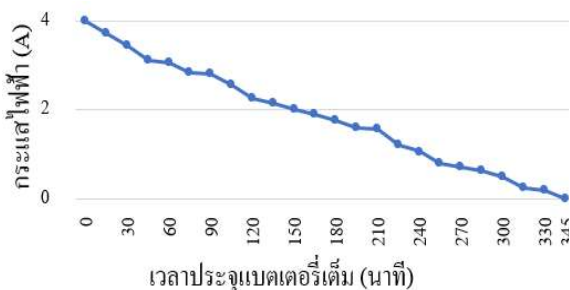
ผลการทดสอบการประจุของโซลาร์เซลล์ แบตเตอรี่เต็มมีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 12 โวลต์ และเมื่อคายประจุแบตเตอรี่จนหมด ได้ค่าแรงดันคัตออฟ (Cut off voltage) อยู่ที่ 10 โวลต์ จากการทดสอบประจุแบตเตอรี่ ในช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ 10-11.5 โวลต์ มีใช้ระยะเวลาโดยเฉลี่ย 165 นาที และแรงดันไฟฟ้าที่ชั่วแบตเตอรี่จะในช่วง 11.5-11.9 โวลต์ ใช้ระยะเวลาโดยเฉลี่ย 150 นาที หลังจากแรงดันไฟฟ้าที่ชั่วแบตเตอรี่มีค่ามากกว่า 11.9 โวลต์ อัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันจะช้าที่สุดใช้ระยะเวลาโดยเฉลี่ย 30 นาที จากการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ มีความแตกต่างจากกระแสประจุด้วยอะแดปเตอร์ จากรูปที่ 19 โดยใช้ระยะเวลาในการอ้างอิง เนื่องจากการประจุด้วยโซลาร์เซลล์ ต้องใช้ความเข้มของแสงแดดในการประจุ ด้วยเหตุนี้ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ จึงไม่คงที่ซึ่งต่างจากการประจุด้วยระบบไฟฟ้า เป็นสาเหตุทำให้การประจุจากระบบโซลาร์เซลล์ช้ากว่าการประจุด้วยอะแดปเตอร์เล็กน้อย แสดงดังรูปที่ 20 และการหาค่า

เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าจากรูปที่ 20 และใช้สมการที่ (5) ในการคำนวณ



รูปที่ 20 ผลเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าในการประจุผ่านโซลาร์เซลล์

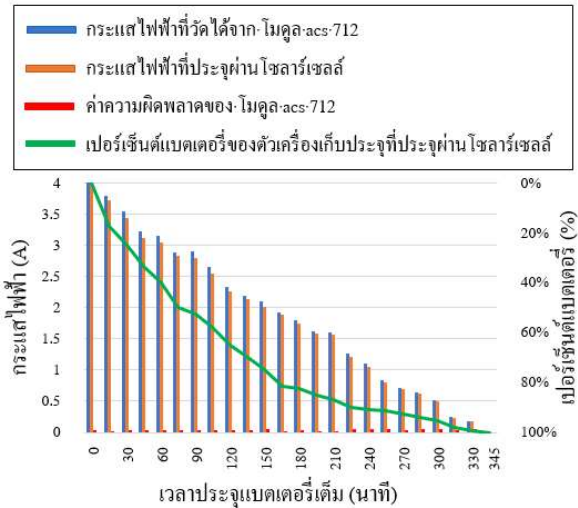
ผลการทดสอบการประจุของโซลาร์เซลล์ ในสภาพอากาศที่มีเมฆน้อย จากการทดสอบในช่วงเริ่มต้นกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในการประจุมีค่า 3.99 แอมป์ หลังจากนั้นกระแสไฟฟ้าจะลดลงจนวงจรการจัดการแบตเตอรี่ตัดการประจุ กระแสไฟฟ้าที่ทำการประจุมีความผันผวนสูง เกิดจากสภาพอากาศในแต่ละช่วงที่มีเมฆบังแผงโซลาร์เซลล์ทำให้กระแสไฟฟ้าในการประจุมีค่าน้อยจึงทำให้กระแสไฟฟ้าไม่คงที่ ทำให้ใช้เวลานานกว่าการประจุด้วยอะแดปเตอร์จากรูปที่ 17 เล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 21



รูปที่ 21 ผลเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าในการประจุผ่านโซลาร์เซลล์

การนำค่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากสมการที่ (5) ทำการรวบรวมกับค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์และค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบเครื่องเก็บประจุโดยประจุจากอะแดปเตอร์และค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบของโมดูล acs 712 พร้อมกับแสดงระยะเวลา และค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของโมดูลตรวจจับกระแสไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 22 เห็นได้ว่า โมดูลตรวจจับกระแสไฟฟ้ามีความแม่นยำสูง สามารถใช้แสดงค่าของข้อมูลในการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ในตัวเครื่องเก็บประจุที่สร้างขึ้น

ได้เป็นอย่างดี การหาความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าแบตเตอรี่ กับเปอร์เซ็นต์ความจุของแบตเตอรี่ เทียบกับเวลาการประจุ ใช้สมการของหัวข้อที่ 3.2 และใช้ค่าจากรูปที่ 22 ในการคำนวณ



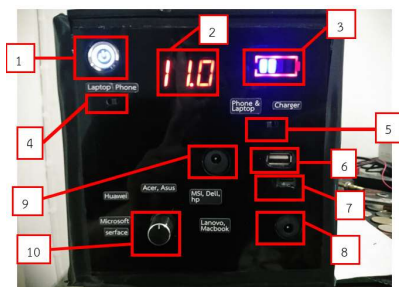
รูปที่ 22 ค่าความผิดพลาดของตัวโมดูลวัดกระแสไฟฟ้าประจุผ่านโซลาร์เซลล์ของตัวเครื่องเก็บประจุ

3.7 ตัวเครื่องประจุแบตเตอรี่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์พกพา รายงานการทำงานด้วยระบบ IoT

ในรูปที่ 23 และรูปที่ 24 แสดงเครื่องประจุแบตเตอรี่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์พกพา รายงานการทำงานด้วยระบบ IoT ที่ได้สร้างขึ้นมา มีการแสดงสถานะต่าง ๆ และมีสวิตช์เลือกใช้งานที่ต้องการ

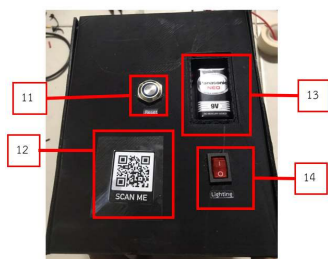
ในรูปที่ 23 คือด้านหน้าของตัวเครื่องเก็บประจุสามารถดูสถานะของตัวเครื่องเก็บประจุและมีจุดต่อใช้งานต่าง ๆ มีรายละเอียด ดังนี้ 1. เป็นสวิตช์ปิด/เปิดเครื่องประจุแบตเตอรี่ 2. บอกรางวัลที่ชั่วแบตเตอรี่ของตัวเครื่องประจุแบตเตอรี่ 3. แสดงความจุแบตเตอรี่ของตัวเครื่องประจุแบตเตอรี่ 4. เป็นสวิตช์ 2 ทาง เลือกใช้งานระหว่างคอมพิวเตอร์พกพาและโทรศัพท์เคลื่อนที่ 5. สวิตช์ 2 ทาง เลือกใช้งานระหว่างประจุเข้าตัวเครื่องหรือประจุคอมพิวเตอร์พกพาและโทรศัพท์เคลื่อนที่ 6. USB-A ใช้ประจุกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ 7. USB-C ใช้ประจุกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ 8. เต้าเสียบ ขนาด 3.5 * 2.5 มิลลิเมตร ใช้ประจุกับตัวเครื่อง 9. เต้าเสียบ

ขนาด 3.5 * 2.5 มิลลิเมตร ใช้ประจุกับคอมพิวเตอร์พกพา 10. ซีล็คเตอร์สวิตช์ ใช้ในการเลือกยี่ห้อของคอมพิวเตอร์พกพา



รูปที่ 23 ด้านหน้าตัวเครื่องเก็บประจุ

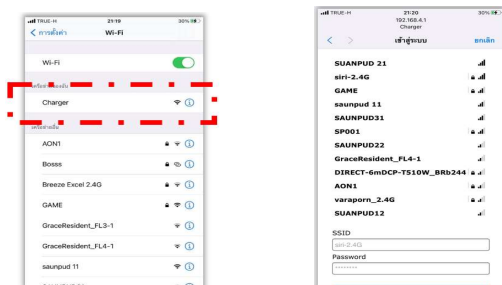
ในรูปที่ 24 คือด้านบนตัวเครื่องเก็บประจุ มีรายละเอียดการใช้งาน ดังนี้ 11. สวิตช์รีเซ็ต ใช้ทำการรีเซ็ตค่าบอร์ดคอนโทรลเลอร์ 12. คิวอาร์โค้ด ใช้แสดงเป็นรหัสเพื่อเข้าแอปพลิเคชัน 13. ถ่าน 9 โวลต์ ใช้เป็นไฟเลี้ยงบอร์ดคอนโทรลเลอร์ 14. สวิตช์ ปิด/เปิด ระบบไฟแอลอีดี



รูปที่ 24 ด้านบนตัวเครื่องเก็บประจุ

3.8 การเข้ารหัส Wi-fi

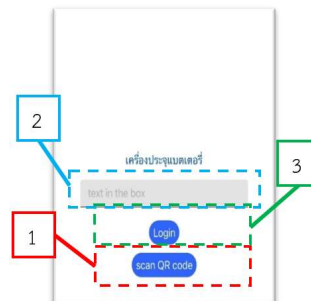
การเชื่อมต่อ Wi-fi สามารถเชื่อมต่อได้จากภายนอก โดยใช้หลักการของ WifiManager โดยตั้งชื่อตัวรับ Wi-fi ชื่อว่า Charger เลือก Wi-fi ที่ทราบ SSID/Password แสดงดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 การเข้ารหัส Wi-fi

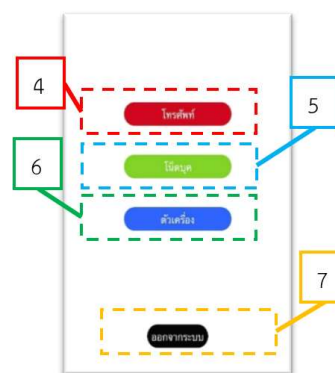
3.9 แอปพลิเคชัน

ในรูปที่ 26 เป็นหน้าแอปพลิเคชันหน้าแรก เป็นการเข้าสู่ระบบด้วยคิวอาร์โค้ด มีขั้นตอนดังนี้ 1. กดปุ่ม Scan QR code เพื่อเปิดกล้องและอ่านคิวอาร์โค้ด 2. เมื่ออ่านคิวอาร์โค้ดแสดงเป็นรหัสใส่ในช่องว่าง 3. กด Login เพื่อเข้าสู่ระบบไปยังหน้าต่อไป



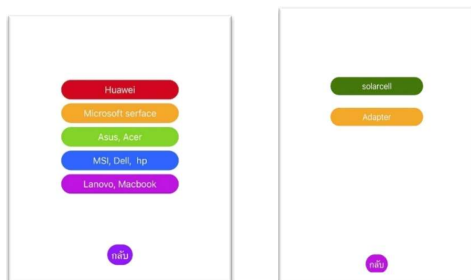
รูปที่ 26 หน้าเข้าสู่ระบบ

หน้าแอปพลิเคชันหลัก ในรูปที่ 27 ใช้สำหรับเลือกการใช้ดูการประจุของแต่ละอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้มีดังนี้ 4. เลือกดูสถานะการประจุของโทรศัพท์เคลื่อนที่ 5. เลือกดูสถานะการประจุคอมพิวเตอร์พกพา 6. เลือกดูสถานะการประจุตัวเครื่องประจุแบตเตอรี่ 7. ออกจากระบบกลับไปยังหน้าล็อกอิน



รูปที่ 27 แอปพลิเคชันหน้าหลัก

ในรูปที่ 28 เป็นการเลือกดูสถานะการประจื่อยี่ห้อคอมพิวเตอร์พกพาต่าง ๆ ซึ่งยี่ห้อของคอมพิวเตอร์พกพาในแต่ละยี่ห้อใช้แรงดันที่ต่างกัน ค่าที่แสดงผลจึงต่างกัน และสามารถเลือกดูสถานะการประจุของตัวเครื่องเก็บประจุ



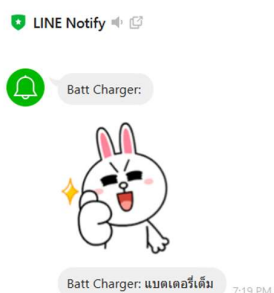
รูปที่ 28 การเลือกใช้งานอุปกรณ์ประจุ

การรายงานผลการประจุผ่านแอปพลิเคชัน มีดังนี้ 1. ผลกระแสไฟฟ้าในการประจุ 2. ผลระยะเวลาในการประจุเต็ม 3. ผลเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ 4. ผลความจุ (mAh) 5. ผลเวลาขณะประจุ ซึ่งหน้ารายงานผลเหมือนกันทั้งหมดจึงยกตัวอย่าง การรายงานผลของคอมพิวเตอร์พกพา แสดงดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 การรายงานผลการประจุ

การแจ้งเตือน เป็นการส่งข้อความการแจ้งเตือนเข้าทางแอปพลิเคชันไลน์ เมื่อประจุแบตเตอรี่เต็ม โดยกำหนดกระแสที่ได้จากการทดสอบการประจุแบตเตอรี่ของอุปกรณ์ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 30



รูปที่ 30 ข้อความการแจ้งเตือน

4. สรุปผลการทดสอบ

การทดสอบเชื่อมต่อ Wi-fi กับเครื่องประจุแบตเตอรี่ ใช้การเชื่อมต่อแบบ Wi-fi ในคลื่นความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) ตั้งแต่ 1 เมตร ถึง 10 เมตร ผลการทดสอบสามารถใช้ได้ปกติ ส่วนการประจุแบตเตอรี่โดยใช้โซลาร์เซลล์นั้น ใช้ระยะเวลาในการประจุที่นานกว่าระบบไฟฟ้า 35 นาที เนื่องจากสภาพอากาศที่มีเมฆบังแผงโซลาร์เซลล์ทำให้การประจุด้วยระบบโซลาร์เซลล์ช้ากว่าระบบไฟฟ้า ส่วนการประจุแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์พกพา ผลการทดสอบการประจุจากอะแดปเตอร์ของอุปกรณ์นั้น ๆ ใช้เวลาประจุให้เต็มน้อยกว่าการประจุด้วยตัวเครื่องเก็บประจุโดยเฉลี่ยเพียง 3-10 นาที

5. สรุป

ในการสร้างเครื่องประจุแบตเตอรี่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่และคอมพิวเตอร์พกพา รายงานการทำงานด้วยระบบ IoT ผู้ใช้สามารถพกพาใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีระบบไฟฟ้า และการประจุแบตเตอรี่แบบระบบโซลาร์เซลล์และระบบไฟฟ้า สามารถประจุเต็มภายใน 6 ชั่วโมง ซึ่งการประจุจากระบบโซลาร์เซลล์ใช้เวลานานกว่าประจุจากระบบไฟฟ้า 35 นาที นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถเลือกย่านแรงดันในการประจุแบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์พกพา มี 5 แรงดัน ได้แก่ 15 โวลต์ 18.5 โวลต์ 19 โวลต์ 19.5 โวลต์ และ 20 โวลต์ ซึ่งสามารถใช้ได้ทุกยี่ห้อตามค่าแรงดันที่ระบุและยังมีจุดต่อ USB-A และ USB-C เพื่อทำการประจุของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ทุกยี่ห้อเช่นกัน สำหรับการรายงานผลการประจุทางแอปพลิเคชัน มีดังนี้ 1. ผลกระแสไฟฟ้าในการประจุ 2. ผลระยะเวลาในการประจุเต็ม 3. ผลเปอร์เซ็นต์แบตเตอรี่ 4. ผลความจุ (mAh) 5. ผลเวลาขณะประจุ ซึ่งสามารถเชื่อมต่อระบบ Wi-fi 2.4 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) ได้โดยภายนอกไม่ต้องเปลี่ยนรหัส Wi-fi ภายในโค้ด ระยะทางสูงสุดที่ใช้ได้โดยไม่เกิดการหน่วงของอินเทอร์เน็ต คือ 10 เมตร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] O. Bakker and D. Westereen, (2017, August 4). The Internet of Things. part 2 ESP32 Development Board. [Online]. Available: https://www.diyiot.nl/download/IOT_Book_Part_2.pdf
- [2] S. Funchompoo and A. Kingmala, "A solar-powered battery charger for mobile phones and laptops," Ph.D.dissertation, Department of Electrical Education Faculty of Industrial Education, *King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, Bangkok, 2011 (in Thai).
- [3] P. Phrommet, S. Chanthaurai, S. Sanor, S. Wiwathanarot. Development of Stand-Alone Solar Charge Station Faculty of Engineering Princess of Naradhiwas Unversity. Naradhiwas University, JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY FOR COMMUNNITY (JREC). [Online]. pp 23-27. Available: http://reca.or.th/wp-content/uploads/2021/02/J-REC%E2%80%8B_Vol2_2561_03.pdf. (in Thai).
- [4] P. Mahamai, N Panyoyai and P. Watcharadumrongsak, "Battery charging by an automatic dual-axis solar tracking system," *The Journal of Industrial Technology*, vol. 8, no. 2, pp 19-28, May – August 2012. (in Thai).
- [5] M. Verasamy, M. Faisal, P. Jern and M. Hannan, (2018). Charging and Discharging Control of Li-Ion Battery Energy Management for Electric Vehicle Application. *International Journal of Engineering & Technology*. [Online]. 7 (4.35), pp 482-486. Available: <https://www.sciencepubco.com/index.php/ijet/article/view/22895/11351>
- [6] P. Limthongkul, J. Mongkolthanatus, M. Masomtop, P. Ratanawan, T. Praewpipat, W. Lailuk and K. Kasemsuk, "Research of a prototype battery for electric," *U.S. Patent 045/59*, September.29, 2017 (in Thai).
- [7] C. Ngamwanakorn, S. Rungrawiwian and A. Maniniam, "Development of a small plant-based device control system with wireless technology through mobile applications on the Internet of Things concept," Ph.D. dissertation, Faculty Humanities and Social Sciences, Yala Rajabhat University, Yala, 2018 (in Thai).
- [8] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo and M. Vitelli "Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method," *IEEE Transaction on Power Eelectronics*, vol. 20, no. 4, pp. 963-972, July 2005.
- [9] T. Logeswaran, A SenthilKumar, "A Review of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Systems under Uniform and Non-Uniform irradiances," *4th International Conference on Advances in Energy Research* 2013, pp. 228-235.
- [10] J. Archila Valderrama, M. Mantilla Villalobos, J. Barrero Pérez, J. Petit Suárez, and G. Ordóñez Plata, "A maximum power point tracking algorithm for photovoltaic systems under partially shaded conditions," *Ing. Univ.*, vol. 20, no. 2, pp. 394-407, 2016.

การเปรียบเทียบสมรรถนะเทคนิคการจัดเรียงสัญญาณแคเรียร์หลายระดับจาก
ผลกระทบที่มีการฉีดฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิงบนอินเวอร์เตอร์
5 ระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์

Performance Comparison of Multi-Level Carrier Signaling Techniques
from the Effect of Third-Order Harmonics Injection in the Reference
Signal on a Five- Level Inverter Flying-Capacitor

สทิติย์พร เกตุสกุล

Satitporn Ketsakoon

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

Department of Industrial Education, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

Email: satitporn123g@gmail.com

Received: April 01, 2022; Revised: June 22, 2022; Accepted: July 01, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเปรียบเทียบสมรรถนะเทคนิคการจัดเรียงสัญญาณแคเรียร์หลายระดับจากผลกระทบที่มีการฉีดฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิงบนอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ เทคนิคการพีดับลิวเอ็ม ที่นำมาเปรียบเทียบ คือ ACPO IPD POD และ APOD โดยทดสอบบนอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ขณะจ่าย โหลด ซึ่งการทดสอบจะดำเนินการจำลองและสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้นำมาคำนวณและแสดงค่า ผลรวมฮาร์โมนิกของแรงดันด้านออกโดยมุ่งศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการจัดเรียงแคเรียร์หลายระดับจากผลกระทบที่มีการฉีด ฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 เข้าในสัญญาณอ้างอิง ซึ่งเทคนิคพีดับลิวเอ็มแคเรียร์เลื่อนระดับเฟสตรง ให้ผลรวมฮาร์โมนิกของแรงดัน ต่ำที่ 16.81% และ 14.46% ในการฉีดฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 เข้าในสัญญาณอ้างอิง

คำสำคัญ: อินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ, พีดับลิวเอ็ม, ฮาร์โมนิกอันดับที่ 3

Abstract

This paper present performance comparison of multi-level carrier signaling techniques from the effect of third-order harmonics injection in the reference signal on a five-level inverter flying-capacitor, The PWM techniques to be compared are: ACPO IPD POD and APOD. All of process are simulate with computer program. The result of simulation has shown value of total harmonic distortion output voltage, focus on comparison of multi-level carrier signaling techniques, from the effect of third-order harmonics injection modulation (HIPWM). In-Phase disposition carrier signaling techniques generate a minimum of total harmonic distortion at 16.84%, and 14.46% in third-order harmonics injection modulation.

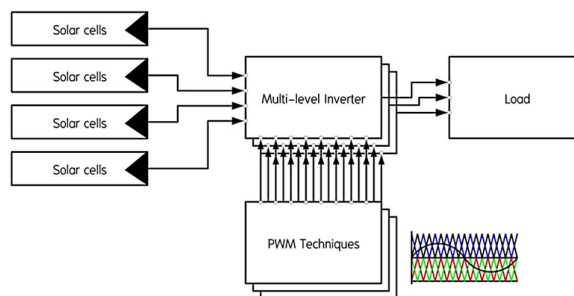
Keywords: Five-level inverter, Pulse width modulation, Third-order harmonics

1. บทนำ

ในช่วงที่ผ่านมาได้มีการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งอุปกรณ์แปลงผันพลังงานจึงมีบทบาทสำคัญในการนำมาใช้งานเพิ่มขึ้น รูปที่ 1 เทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์หลายระดับจึงเป็นตัวเลือกในการศึกษาวิจัยในปัจจุบันอย่างต่อเนื่อง ด้วยสมบัติที่ดีหลายประการโดยอินเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้ในการศึกษาและวิจัยมีด้วยกัน 3 ชนิด คือ DCI (Diode clamped inverter) CMI (Cascade multi-cell inverter) หรือ HBC (H-Bridge cell) และ FCI (Flying capacitor inverter) ซึ่งที่ผ่านมา Miao Chang-xin [1] ได้ทำการศึกษาพัฒนาเทคนิคการพิดับลิแวนสำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแรงดันด้านออกและการรักษาสมดุลของแรงดันที่ ตัวเก็บประจุอย่างต่อเนื่อง ต่อมา Harin.M.Mohan [2] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการพิดับลิแวนสำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับ (3 ระดับ) ด้วยการจำลองทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการพิดับลิแวนชนิด PDPWM และ PODPWM ซึ่งผลที่ได้ทำให้ทราบว่าเทคนิค PDPWM มีความเพี้ยนของแรงดัน %THDv เท่ากับ 36.00% และ PODPWM เท่ากับ 41.10% จากนั้น S.Narendiran [3] ได้ทำการศึกษาอินเวอร์เตอร์หลายระดับโดยการนำเทคนิค MCPWM (Multi-carrier pluse width modulation) มาทำการทดสอบและเปรียบเทียบผลการศึกษาด้วยเทคนิค POD (Phase opposition disposition), APOD (Alternate phase opposition disposition) และแบบ CO (Carrier overlapping) โดยทำการทดสอบที่ค่ามอดูเลตต่างๆ ผลที่ได้พบว่าเทคนิค CO ให้ผลของความเพี้ยนของแรงดันต่ำกว่าเทคนิคอื่นในช่วงการ มอดูเลตสูงเท่านั้น จากนั้น Wanchai Subsingha [4] ได้นำเทคนิคการฉีดฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 เข้ามาทดสอบในอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดไดโอดแคลมป์ โดยทำการเปรียบเทียบผลกระทบจากการฉีดฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 เข้าไปในสัญญาณอ้างอิง กับเทคนิคการพิดับลิแวน PD POD และ APOD ซึ่งที่ได้คือเทคนิค PD ให้ผลด้าน THDv ต่ำที่สุด จากนั้น Marcos Vinicius Bressan [5] ทำการศึกษาการออกแบบอินเวอร์เตอร์หลายระดับประเภทฟลายอิงคาปาซิเตอร์ (FC

Inverter) เปรียบเทียบการทำงานร่วมกับอินเวอร์เตอร์แบบผสมผสานสวิตช์กำลัง (SMC) ซึ่งทั้งสองแบบทำการศึกษาเกี่ยวกับความถี่การสวิตช์กำลังที่ 2 kHz และ 4 kHz ผลการศึกษาทำให้ทราบว่าความถี่การสวิตช์กำลังสูงจะให้ผลดีกว่าในทุกช่วงการมอดูเลต และ Omar Bouamrane [6] ได้ทำการศึกษา FCMLI (Flying capacitor multilevel inverter) โดยศึกษารูปแบบการควบคุมสัญญาณขับสวิตช์กำลังเพื่อควบคุมการรักษาสมดุลพลังงานที่ตัวเก็บประจุแบบฟลายอิงค์โดยการกำหนดรูปแบบล่งหน้า โดยนำเทคนิคในการควบคุมสวิตช์กำลังของอินเวอร์เตอร์ 3 ระดับ และ 5 ระดับมาประยุกต์ใช้ในอินเวอร์เตอร์ 17 ระดับ ผลการวิจัยด้านสเปกตรัมฮาร์โมนิกต่ำมากเนื่องด้วยจำนวนระดับของแรงดันใกล้เคียงสัญญาณมูลฐาน

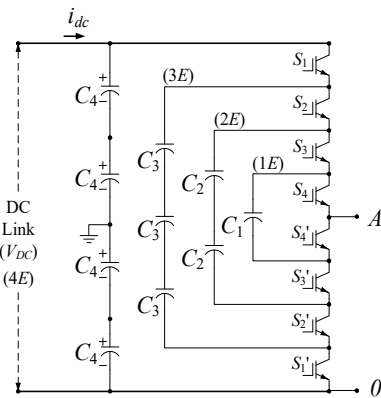
ซึ่งจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ [7] ทำให้ทราบว่าเทคนิค LSPWM มีจุดที่ต้องปรับปรุงด้านการเปลี่ยนการทำงานของสวิตช์กำลังเพื่อรักษาระดับพลังงานของตัวเก็บประจุ (ฟลายอิงคาปาซิเตอร์) ผู้วิจัยจึงได้ทำการดัดแปลงเทคนิคของ COPWM [7] แก้ไขเป็นเทคนิค APCO ที่ผู้วิจัยนำเสนอเป็นการจัดเรียงสัญญาณให้แบบเลื่อนระดับแต่ทับซ้อนสัญญาณแคเรียร์ร่วมกับการกลับเฟสสัญญาณให้มีลักษณะโดยรวมของสัญญาณแคเรียร์คล้ายกันกับเทคนิคการเลื่อนเฟสตามข้างต้นซึ่งผู้วิจัยคาดหวังผลด้านการสวิตช์กำลังเฉลี่ยและผล THDv เพื่อนำมาการจำลองกับอินเวอร์เตอร์ที่ได้มาเปรียบเทียบผลร่วมกับเทคนิค LSPWM แบบต่างๆ รวมไปถึงนำเทคนิคการฉีดฮาร์โมนิกอันดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิงมาร่วมในการทดสอบเพื่อดูแนวโน้มผลที่เกิดขึ้น



รูปที่ 1 ไดอะแกรมการทำงานโดยรวมของระบบ

2. โครงสร้างฟลายอิงคาปาซิเตอร์อินเวอร์เตอร์

โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ หรือเรียกว่า คาปาซิเตอร์แคลมป์ แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งจะมีส่วนประกอบหลักด้วยกัน 2 ส่วน คือ ตัวเก็บประจุและอุปกรณ์สวิตช์กำลัง โดยตัวเก็บประจุวงนอกสุดเรียกว่าคอมมอนดีซีลิงค์เป็นตัวสะสมพลังงาน ขณะที่ตัวเก็บประจุตัวอื่นๆ เรียกว่า ตัวเก็บประจุฟลายอิงค์ เป็นตัวสร้างแรงดันระดับต่างกัน โดยแรงดันที่ได้ในแต่ละระดับ เกิดจากผลรวมของแรงดันที่ตกคร่อมที่ตัวเก็บประจุฟลายอิงค์แต่ละตัว ที่ต่ออนุกรมกันตามสถานะการสวิตช์นั้น ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ ฟลายอิงค์ในแต่ละตัว คือ $1E$ โดยอินเวอร์เตอร์ที่ศึกษาในบทความนี้เป็นอินเวอร์เตอร์ประเภท 5 ระดับ ($m = 5$) ซึ่งสมการของวงจรสามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 2 อินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ 1 กิ่ง

$$SW = (m-1) \times 2 \quad (1)$$

$$C = \frac{(m-1) \times (m-2)}{2} \quad (2)$$

$$m = \frac{SW}{2} + 1 \quad (3)$$

เมื่อ SW คือ จำนวนสวิตช์กำลัง, Each
 C คือ จำนวนตัวเก็บประจุที่ใช้, Each
 m คือ ระดับแรงดัน, Level

หากเลือกการขับเคลื่อนสวิตช์กำลังจำนวน 3 ตัวจากทั้งหมด 4 ตัว แรงดันทางด้านออกจะได้เท่ากับ 3 ใน 4 ของแรงดันดีซีลิงค์ หากเลือกการขับเคลื่อนสวิตช์กำลังจำนวน 1 ตัวจากทั้งหมด 4 ตัว แรงดันทางด้านออกจะได้เท่ากับ 1 ใน 4 ของแรงดันดีซีลิงค์ โดยรูปแบบการสวิตช์กำลังสามารถทำได้หลายรูปแบบ แล้วแต่ลักษณะการจัดเรียงสัญญาณแคเรียร์ ซึ่งรูปแบบการสวิตช์กำลังจะทำให้เกิดแรงดันด้านออกที่มีคุณภาพสูงหรือต่ำได้ และยังมีผลต่อการรักษาระดับแรงดันที่ตัวเก็บประจุแบบฟลายอิงค์ (ฟลายอิงคาปาซิเตอร์) อีกด้วย ตารางที่ 1 แสดงรูปแบบการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์

ตารางที่ 1 รูปแบบการสวิตช์กำลังและการสร้างแรงดันอินเวอร์เตอร์

สวิตช์กำลัง				สมการแรงดันด้านออก	แรงดันด้านออกอินเวอร์เตอร์
S1	S2	S3	S4		
1	1	1	1	4E	4E (DC-link)
1	1	1	0	4E-1E	3E
1	1	0	1	4E-2E+1E	
1	0	1	1	4E-3E+2E	
0	1	1	1	3E	
1	1	0	0	4E-2E	2E
1	0	0	1	4E-3E+1E	
0	0	1	1	2E	
0	1	1	0	3E-1E	
1	0	1	0	4E-3E+2E-1E	
0	1	0	1	3E-2E+1E	
1	0	0	0	4E-3E	1E
0	1	0	0	3E-2E	
0	0	1	0	2E-1E	
0	0	0	1	1E	
0	0	0	0	0	0

หากต้องการเลือกระดับแรงดันเท่ากับดีซีลิงค์ จะต้องเลือกการขับเคลื่อนสวิตช์กำลัง S_1 ถึง S_4 รวมทั้งหมด 4 ตัว (ด้าน High) หากต้องการแรงดันทางด้านออกจะได้เท่ากับ 1 ใน 4 ของแรงดันดีซีลิงค์ จะต้องเลือกการขับเคลื่อนสวิตช์กำลัง S_4 เพียงตัวเดียวเท่านั้น ซึ่งอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้มีข้อจำกัดในการจัดเรียงสัญญาณแคเรียร์หรือรูปแบบการสวิตช์กำลังเฉลี่ยทำได้ยาก เนื่องจากรูปแบบการสวิตช์ไม่ยืดหยุ่นจึงทำให้ส่งผลต่อการรักษาระดับแรงดันที่ตัวเก็บประจุด้วย

3. เทคนิคพิดับลิแวม

เทคนิคพิดับลิแวมสำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับนั้นสามารถทำได้ โดยอาศัยพื้นฐานการสร้างสัญญาณพิดับลิแวมของวงจรขับแบบ 2 ระดับ เพียงแต่จะเพิ่มจำนวนของแคเรียร์ขึ้นตามจำนวนของสวิตช์กำลัง สำหรับในอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ จะใช้สวิตช์กำลังจำนวน 4 ตัว จึงใช้สัญญาณแคเรียร์จำนวน 4 แคเรียร์ ในการมอดูเลตเพื่อสร้างสัญญาณเกตในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นตัวอย่างการสร้างสัญญาณเกตของเทคนิคการพิดับลิแวมแบบเลื่อนระดับหลายแคเรียร์ที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบสมการที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการพิดับลิแวม

จากข้างต้นความถี่การสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ส่งผลโดยตรงต่อการปรากฏของประมาณฮาร์มอนิกในแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์โดยจะปรากฏขึ้นรอบๆ m_f

$$m_a = \frac{V_m}{V_{cr}(m-1)} \quad \text{สำหรับ } 0 \leq m_a \leq 1 \quad (4)$$

$$f_{sw,dev} = \frac{f_{cr}}{(m-1)} \quad (5)$$

$$f_{sw,inv} = (m-1)f_{sw,dev} \quad (6)$$

$$m_f = \frac{f_{cr}}{f_m} \quad (7)$$

- เมื่อ f_m คือ ความถี่ของสัญญาณมูลฐาน, Hz
 f_{cr} คือ ความถี่ของสัญญาณแคเรียร์, Hz
 $f_{sw,dev}$ คือ ความถี่ของอุปกรณ์สวิตช์กำลัง, Hz
 $f_{sw,inv}$ คือ ความถี่การสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์, Hz
 m_f คือ อัตราส่วนความถี่การมอดูเลต (f_{cr}/f_m)
 m_a คือ ค่าการมอดูเลตสัญญาณ
 m คือ ระดับแรงดัน, Level

ในการสร้างสัญญาณ PWM แบบฮาร์มอนิกนั้น จะพิจารณาในสัญญาณอ้างอิงซึ่งความถี่ของสัญญาณอ้างอิงต้องเหมือนกับความถี่เอาต์พุตที่ต้องการ และสัญญาณอ้างอิงประกอบไปด้วยองค์ประกอบความถี่พื้นฐานและความถี่ฮาร์มอนิกตามสมการต่อไปนี้ [4]

$$v_{mA}(t) = V_m \{\sin(\omega_0 t + 0^\circ) + k \cdot \sin(3\omega_0 t)\} \quad (8)$$

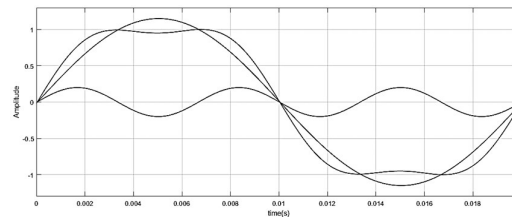
$$v_{mB}(t) = V_m \{\sin(\omega_0 t + 120^\circ) + k \cdot \sin(3\omega_0 t)\} \quad (9)$$

$$v_{mC}(t) = V_m \{\sin(\omega_0 t + 240^\circ) + k \cdot \sin(3\omega_0 t)\} \quad (10)$$

$$v_{mk}(t) = k \cdot \sin(3\omega_0 t) \quad (11)$$

- เมื่อ $v_{mA}(t)$ คือ แรงดันสัญญาณอ้างอิง เฟส A, V
 $v_{mB}(t)$ คือ แรงดันสัญญาณอ้างอิง เฟส B, V
 $v_{mC}(t)$ คือ แรงดันสัญญาณอ้างอิง เฟส C, V
 $v_{mk}(t)$ คือ แรงดันสัญญาณฮาร์มอนิกอันดับที่ 3, V
 V_m คือ แรงดันยอดคลื่นของสัญญาณอ้างอิง, V
 ω_0 คือ ความถี่เชิงมุม, rad
 k คือ อัตราส่วนแรงดันยอดคลื่นฮาร์มอนิกอันดับที่ 3

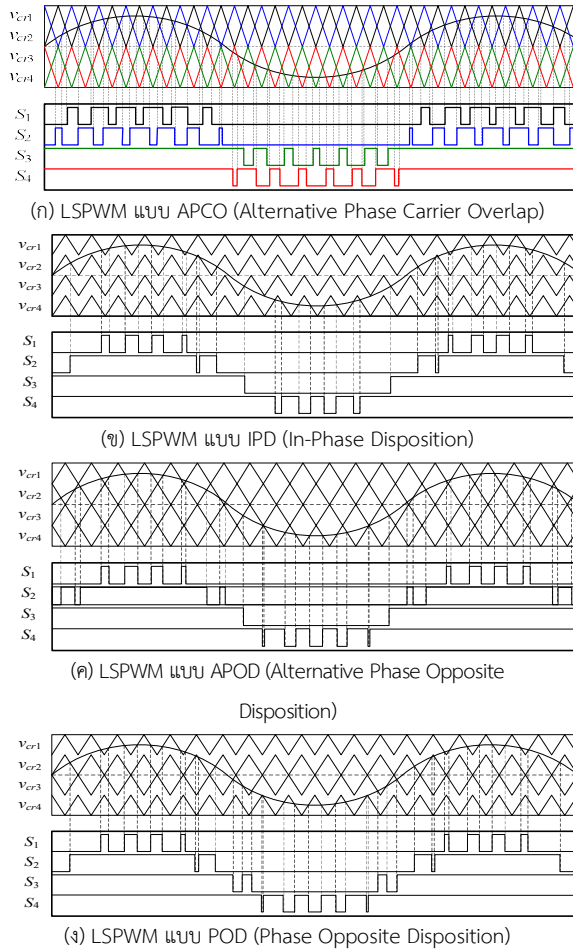
แรงดันยอดคลื่นของ k ระหว่าง 0.15 และ 0.2 ซึ่งผลที่ได้ของสัญญาณอ้างอิงที่ได้แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลจากการฉีดฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 เข้าในสัญญาณอ้างอิง [4]

ตารางที่ 2 กำหนดการทำงานของอินเวอร์เตอร์

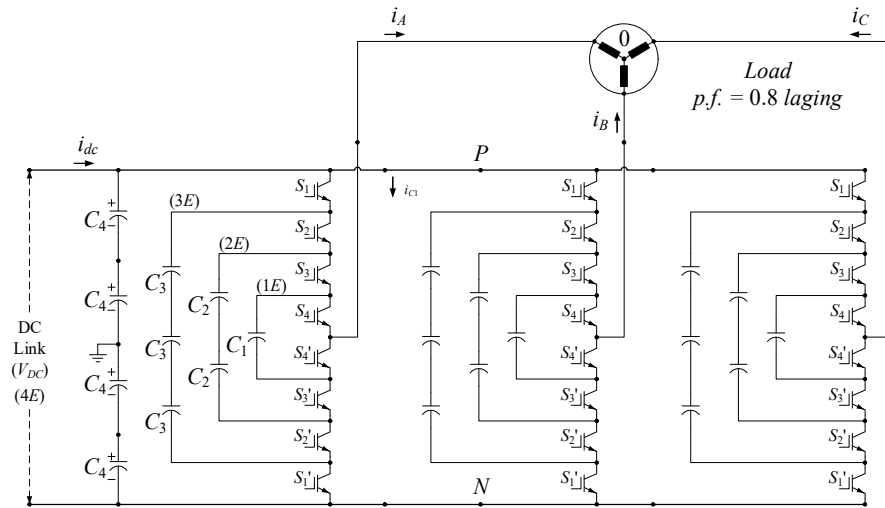
พารามิเตอร์	ปริมาณ
แรงดันดีซีลิงค์	400 V
ความถี่ของสัญญาณด้านออก	50 Hz
อัตราส่วนความถี่แคเรียร์ต่อมูลฐาน	60
ความถี่สัญญาณแคเรียร์	3 kHz
การมอดูเลต	1.0
ตัวเก็บประจุ	4,700 μ F
โหลดตัวต้านทานต่อเฟส	40 Ω
โหลดตัวเหนี่ยวนำต่อเฟส	0.0955 H
ตัวประกอบกำลัง	0.8 lagging



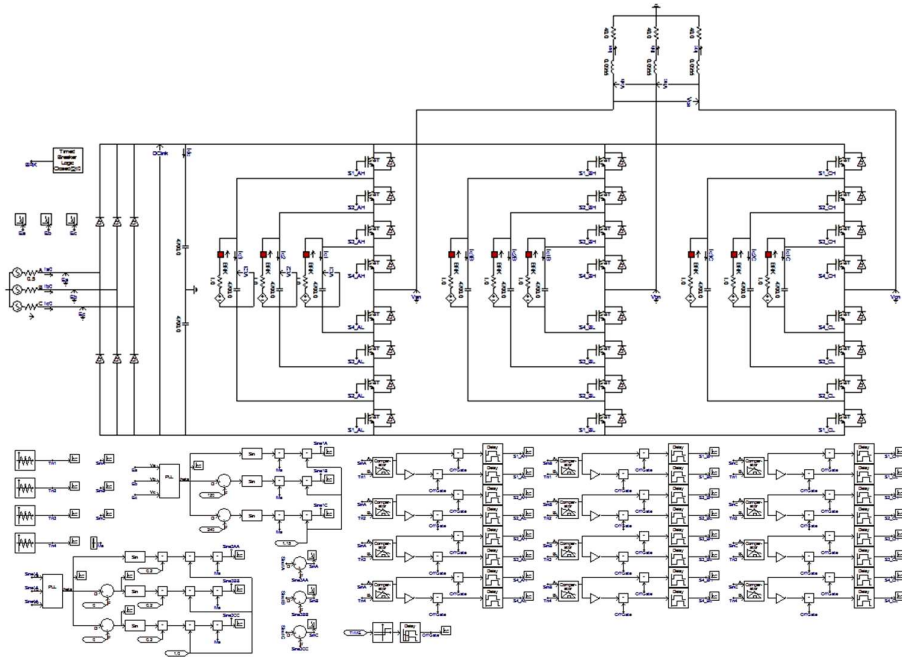
รูปที่ 4 ตัวอย่างฟีดแบ็กลิวิตซ์ชนิดเลื่อนระดับแบบหลายแคเรียร์

4. ผลการจำลอง

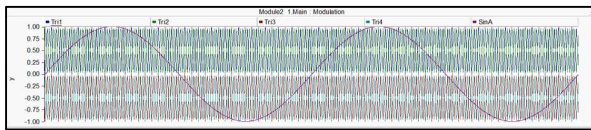
ในการจำลองทางไฟฟ้าได้ใช้แบบจำลองอินเวอร์เตอร์ฟลายอิงคาปาซิเตอร์ ตามที่แสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ภาพจากโปรแกรมจำลอง กำหนดขนาดของโหลดในการจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 2 เทคนิคการมอดูเลชันที่ใช้ในบทความนี้ คือ APCO IPD APOD และ POD [2] จะขอเรียกว่าเทคนิค LSPWM ในการจำลองผลการทำงานของอินเวอร์เตอร์ด้วยเทคนิคฟีดแบ็กลิวิตซ์แบบต่างๆ ตามข้างต้น ในการจำลองปรับค่ามอดูเลตสัญญาณตั้งแต่ $0.1 \leq m_o \leq 1.0$ ในแต่ละเทคนิคการฟีดแบ็กลิวิตซ์ ทำการบันทึกผลการจำลอง รูปที่ 7 และรูปที่ 8 เป็นผลการจำลองสัญญาณขับเคลื่อนทำงานร่วมกับอินเวอร์เตอร์ จากนั้นนำผลจากการจำลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความเพี้ยนของแรงดันทางด้านออกด้วยการคำนวณ THDv โดยพิจารณาฮาร์มอนิกถึงอันดับที่ 100^{th} รูปที่ 9 (ผลจากเทคนิค LSPWM) ในส่วนของ HIPWM เป็นการจำลองโดยเพิ่มเทคนิคการฉีดฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิง และรูปที่ 10 (ผลจากเทคนิค HIPWM) ในการจำลองปรับค่ามอดูเลตสัญญาณตั้งแต่ $0.1 \leq m_o \leq 1.0$ ในแต่ละเทคนิคการฟีดแบ็กลิวิตซ์เช่นกัน



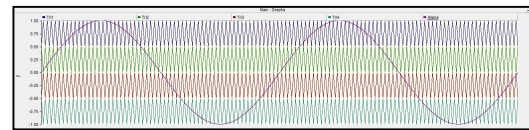
รูปที่ 5 แบบจำลองทางไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์



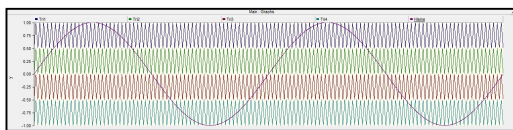
รูปที่ 6 ภาพจากโปรแกรมจำลองทางไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์



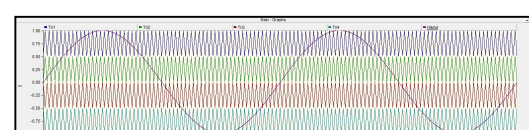
(ก) LSPWM แบบ APCO (Alternative Phase Carrier Overlap)



(ค) LSPWM แบบ APOD (Alternative Phase Opposite Disposition)

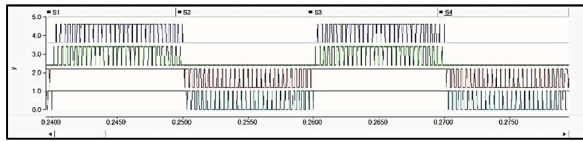
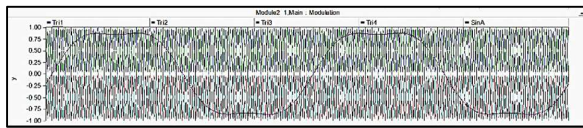


(ข) LSPWM แบบ IPD (In-Phase Disposition)

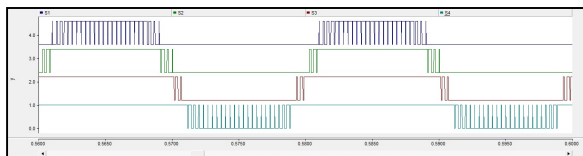
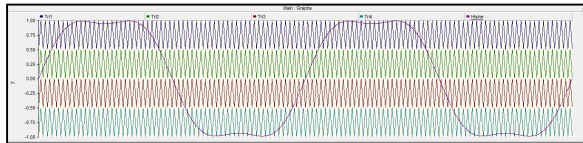


(ง) LSPWM แบบ POD (Phase Opposite Disposition)

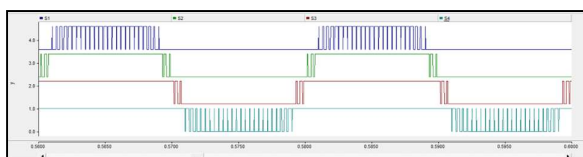
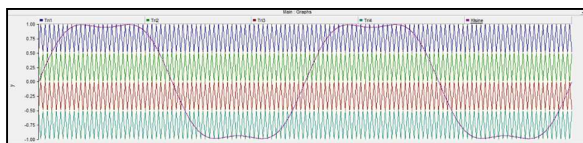
รูปที่ 7 ผลจำลองการสัญญาณขับเคลื่อนด้วยเทคนิค LSPWM



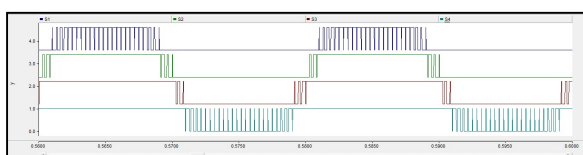
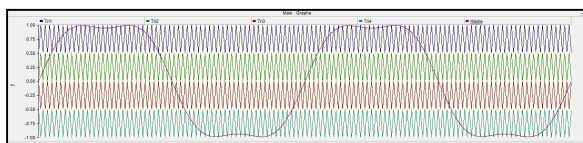
(ก) HIPWM แบบ APCO (Alternative Phase Carrier Overlap)



(ข) HIPWM แบบ IPD (In-Phase Disposition)

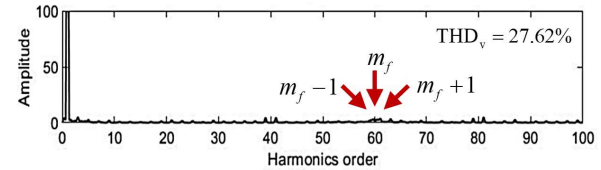
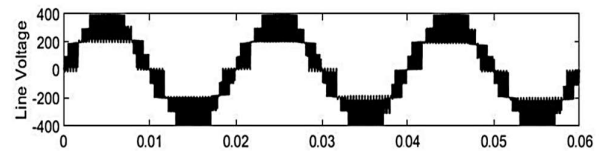


(ค) LSPWM แบบ APCO (Alternative Phase Opposite Disposition)

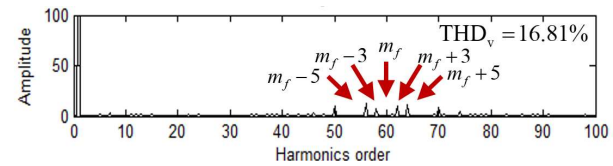
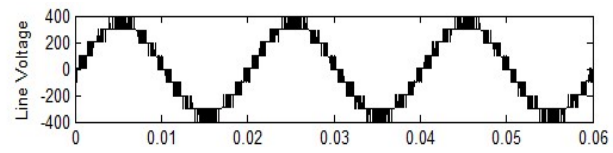


(ง) LSPWM แบบ POD (Phase Opposite Disposition)

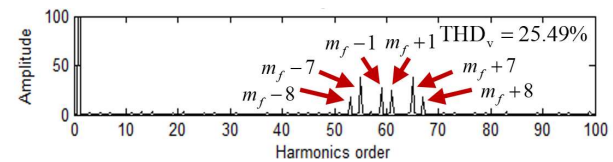
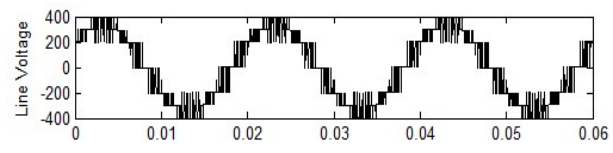
รูปที่ 8 ผลจำลองการสัญญาณขับเคลื่อนด้วยเทคนิค LSPWM



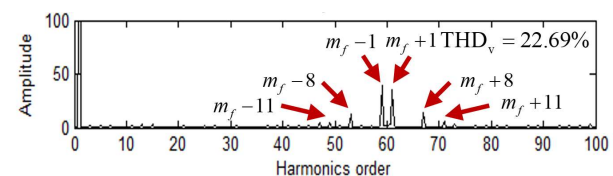
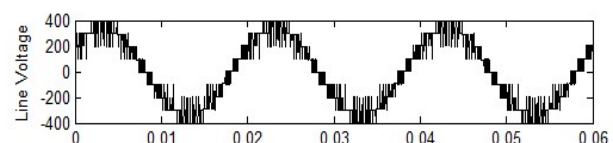
(ก) LSPWM แบบ APCO (Alternative Phase Carrier Overlap)



(ข) LSPWM แบบ IPD (In-Phase Disposition)

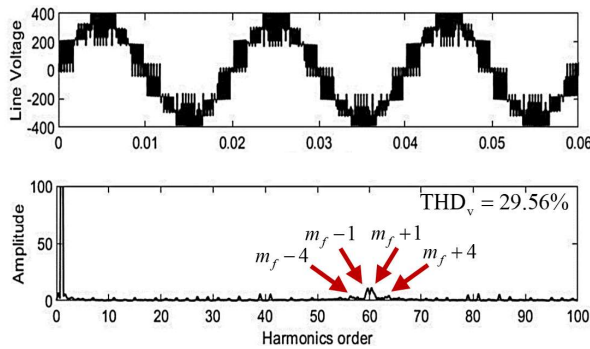


(ค) LSPWM แบบ APCO (Alternative Phase Opposite Disposition)



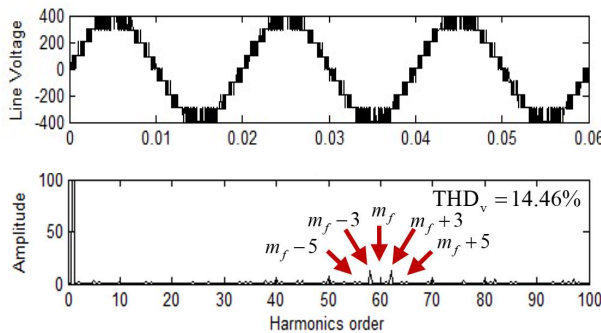
(ง) LSPWM แบบ POD (Phase Opposite Disposition)

รูปที่ 9 ผลจำลองสเปกตรัมฮาร์มอนิกจากเทคนิค LSPWM

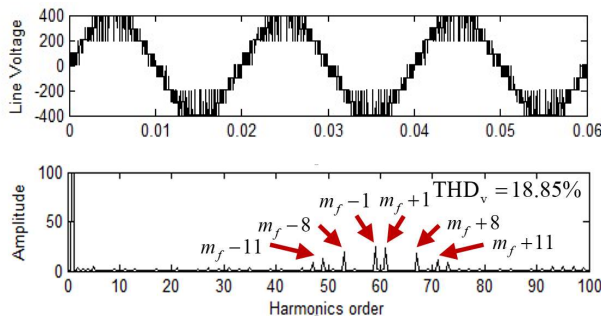


(ก) HIPWM แบบ APCO (Alternative Phase Carrier

Overlap)

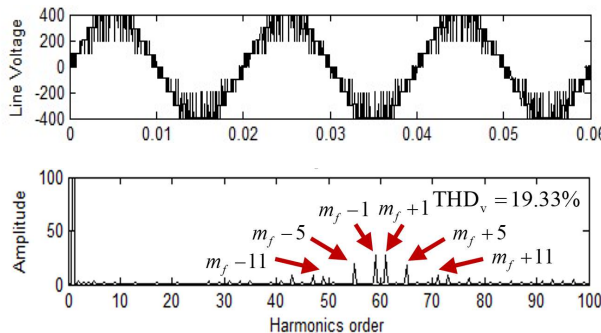


(ข) HIPWM แบบ IPD (In-Phase Disposition)



(ค) HIPWM แบบ APOD (Alternative Phase Opposite

Disposition)



(ง) HIPWM แบบ POD (Phase Opposite Disposition)

รูปที่ 10 ผลจำลองสเปกตรัมฮาร์มอนิกจากเทคนิค HIPWM

ตารางที่ 3 ผลเปรียบเทียบ THD_v ของแรงดันด้านออก

Type of PWM	LSPWM (Fundamental)	HIPWM (Third Harmonic)
APCO	27.62%	29.56%
IPD	16.81%	14.46%
APOD	25.49%	18.85%
POD	22.69%	19.33%

5. สรุป

จากตารางที่ 3 ผลการจำลองเปรียบเทียบการจัดเรียงสัญญาณแคเรียร์หลายระดับ (APCO, IPD, APOD และ POD) ร่วมกับผลกระทบที่มีการฉีดฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิง บนอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ อินเวอร์เตอร์ในสถานะจ่ายโหลด 3 HP ที่ตัวประกอบกำลัง 0.8 ล้าหลัง พบว่าการฉีดฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิง ส่งผลดีในแง่ของ %THD_v ของแรงดันด้านออกระหว่างสาย ดีขึ้นในหลายเทคนิค PWM โดยต่ำที่สุดที่ 14.46% (IPD)

เทคนิค APCO ที่ผู้วิจัยนำเสนอให้ผล THD_v ภาพรวมแย่งลงที่ 27.62% และลดลงอีก 2% หากทำงานร่วมกับเทคนิคการฉีดฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิง ในด้านการรักษาระดับพลังงานดีขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากอัตราการเฉลี่ยสวิตช์กำลัง S1 S2 มีการทำงานเฉลี่ยทำให้ตัวเก็บประจุ C3 C4 มีอัตราการคายประจุสูงโดยเฉลี่ยและ S3 S4 มีการทำงานเฉลี่ยทำให้ตัวเก็บประจุ C1 C2 มีอัตราการอัดประจุสูงโดยเฉลี่ย

ดังนั้นเทคนิค LSPWM แบบ IPD ให้ผลดีที่สอดคล้องตลอดช่วงการมอดูเลต ในแง่ของ THD_v และให้ผลดีเพิ่มขึ้นอีก 2% ด้วยการเพิ่มเทคนิคการฉีดฮาร์มอนิกอันดับที่ 3 ในสัญญาณอ้างอิง แต่ยังคงจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคการเฉลี่ยการทำงานของสวิตช์กำลัง เพื่อให้สามารถคงสภาพการสมดุลระดับพลังงานที่ตัวเก็บประจุ เช่น เทคนิคการหมุนวนสัญญาณเกต (Plus rotation)

เอกสารอ้างอิง

- [1] M.Chang-xin, S.Li-ping, W.Tai-xu and C.Cheng-bao, "Flying capacitor multilevel inverters with novel PWM method" *Research Journal of Elsevier Ltd., Procedia Earth and Planetary Science* 1, pp. 1554-1560, 2009.

- [2] M. Mohan Harina V.Vanitha and M.Jayakumar,
“Comparison of PWM Techniques for a three level
Modular Multilevel Inverter” *Research Journal of
Elsevier Ltd., Energy Procedia 117*, pp. 666-673, March.
2017.
- [3] S. Narendiran and S. Kumar Sahoo, “A Single Phase
Reduced Device Count Multilevel Inverter Topology
Using MCPWM for Renewable Energy Systems”
Research Journal of Elsevier Ltd., Energy Procedia 117,
pp. 244-251, March. 2017.
- [4] W.Subsingha, “A Comparative study of sinusoidal PWM
and third harmonic injected PWM reference signal on
five level diode clamp inverter,” *Research Journal of
Elsevier Ltd., Energy Procedia 89 (2016)* , pp.137 – 148,
2016.
- [5] M.Vinicius Bressan, C.Rech and A.Luiz Batschauer,
“Design of flying capacitors for n-level FC and n-level
SMC,” *Research Journal of Elsevier Ltd., Electrical
Power and Energy Systems 113*, pp.220-228, 2019.
- [6] O.Bouamrane, T.Khalili, I.Tyass, M.Rafik, A.Raihani,
L.Bahati and B.Benhala, “Flying capacitor multilevel
inverter: architecture, control and active balancing”
*International Conference on Energy and Green
Computing ICEGC’2021, 2022*, pp.1 – 7.
- [7] S. Ketsakoon, S. Prakobkit and C. Tongchoi, “ A
Comparative Study of Multi-Carrier in Sinusoidal Pulse
Width Modulation Between Carrier Overlapping and In-
Phase Disposition Methods for Five Level Diode
Clamped Inverter” *The Journal of Thepsatri ITECH*, vol.
14, no.1, pp.17-24, 2020 (in Thai).

Adsorption of dyestuff on red perlite: isotherms, kinetics, and thermodynamics

Suchada Sawasdee and Prachart Watcharabundit*

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

*E-mail: ps_neng@hotmail.com

Received: July 06, 2022; Revised: October 18, 2022; Accepted: October 27, 2022

Abstract

Environmental contamination by synthetic dyes has been a serious problem due to their adverse eco-toxicological effects. Recently, there is a growing interest in using low-cost adsorbents to adsorb dyes. In this study, the adsorption experiments were carried out in the batch process to remove a commercial synthetic dye with Lopburi red perlite. The factors affecting the adsorption process, such as pH of dye solution, contact time (5–540 min), initial dye concentration (10–100 mg/L), and temperature (20–40°C) were investigated. The results showed that dye removal reached equilibrium at about 180 min at all temperatures. The Langmuir and Freundlich isotherm models were used to fit the equilibrium data. The better-fitting isotherm model was found to be the Langmuir isotherm at all temperatures. The maximum monolayer adsorption capacity values were 13.70, 14.71, and 16.63 mg/g at 20, 30, and 40°C, respectively. The kinetic adsorption data could be better described by the pseudo-second-order model. Moreover, the thermodynamic study showed that the adsorption was a spontaneous and endothermic process. The results of this study indicated that the red perlite was a good and promising adsorbent for removing dyes.

Keywords: adsorption isotherm, dyestuff, perlite, kinetics, thermodynamics

1. Introduction

Synthetic dyes are widely used in many industries, such as food, cosmetics, and textiles. The presence of pigments can cause damage to living beings in the water. Also, most dye molecules' stability under the conditions of light, heat, and chemicals leads to the fact that the dyeing effluents are difficult to degrade [1]. Many methods have been used to remove dyes from aqueous solutions, but adsorption has wide applicability for decolorization due to the economic system, high efficiency, eco-friendliness, and inactivity towards toxic substances [2].

Natural adsorbents such as agricultural waste, waste food, or inorganic materials have been the most popular for wastewater treatment due to their availability and low cost. Recently, Coal fly ash [3], water hyacinth leaves [4], Moringa oleifera pod husk [5], bentonite [6], Tunisian clay [7], bentonite from Brazil [8], kaolin [9], and Perlite from Morocco [10] were used to remove dyes from dye solutions.

Perlite is an amorphous volcanic rock. Natural perlite is commonly grey, but can also be green, brown, blue, and red [11]. Its main constituents are silica and alumina. Silica and alumina can form the silanol and alumina hydroxide groups, which can bind adsorbates. Perlite is found in Lopburi and it can be used as a low-cost adsorbent. From the literature survey, it is found that the removal of magenta dye using perlite has not been reported. This work aimed to study the adsorption of a synthetic dye for silk yarn (magenta dye) onto Lopburi red perlite. The effects of adsorption, such as pH, contact time, initial dye concentration, and temperature were investigated. The experimental equilibrium data of adsorption were analyzed using the Langmuir and Freundlich isotherm models, and the experimental kinetic data were analyzed using pseudo-first, pseudo-second-order, and intraparticle diffusion at different temperatures. Also, the thermodynamic parameters such as ΔG , ΔH , and ΔS were determined.

2. Material and Methods

2.1 Preparation of adsorbent

The red perlite (**Figure 1.**) was collected from Sa Bot, Lopburi, Thailand. It was washed with distilled water and dried in a hot air oven at 100°C. Then it was powdered and sieved to a particle size of 150–300 μ m. It was dried to a constant weight and stored in a desiccator for use.



Figure 1 Red perlite

2.2 Preparation of adsorbate

Adsorbate is a commercial synthetic dye for silk yarn. Its color is magenta, and its brand is “Cats run around the World” (Thailand). It was obtained from a local shop in Lopburi, Thailand. The dye was used without further purification. It was dried at 80°C for 2 h before use. The stock solution (500 mg/L) of dye was prepared by dissolving an accurately weighed quantity of dye in distilled water. The working solutions of the desired concentrations were obtained by dilutions with distilled water.

2.3 Characterization of adsorbent

The red perlite used in this study was characterized by Fourier transform infrared spectrometry (FTIR, Perkin Elmer, model two) and a Scanning electron microscope (SEM, LEO, model 1450 VP LEO). X-ray fluorescence spectrometry (XRF, HORIBA, model MESA-500W).

2.4 Determination of pH_{pzc}

The point of zero charges (pH_{pzc}) was analyzed by the pH drift method. The pH was adjusted to a value between 2–12 by 0.1 M HCl and 0.1 M NaOH solutions. In the experiment, the adsorbent was dried in a hot air oven at 110°C for 3 h., and 0.1 g of adsorbent was taken in 50 ml of 0.1 M KNO₃ solution under agitation speed at room the

final pH was measured and plotted against the initial pH values.

2.5 Adsorption study

The adsorption study was performed in the batch method. For each experimental run, 100 ml of dye solution of known concentration was taken in a 250 mL Erlenmeyer flask containing 0.6 g of adsorbent. These flasks were agitated at a constant shaking rate of 200 rpm in a temperature-controlled orbital shaker (Vision Shaking Incubator, Model VS8480SRN) and maintained at 20, 30, and 40°C. At appropriate time intervals, each sample was withdrawn and filtered, and then the supernatant was measured for dye concentration by UV-visible spectrophotometer (Analytik Jena, Specord 210 plus) at 548 nm. The amount of the dye adsorption was calculated as Eq. (1):

$$q_t = \frac{(C_o - C_t)V}{W} \quad (1)$$

where C_o (mg/L) is initial dye concentration, C_t (mg/L) is the concentration at any time, q_t (mg/g) is the amount adsorbed at any time, V (L) is the volume of the solution, and W (g) is the mass of adsorbent.

3. Adsorption Isotherm

3.1 The Langmuir isotherm

The Langmuir isotherm in a linear form is represented as follows [1]:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max}} C_e + \frac{1}{K_L q_m} \quad (2)$$

where C_e (mg/L) is the equilibrium concentration, q_e (mg/g) is the amount adsorbed at equilibrium, K_L is the Langmuir constant, and $q_{\max}$ (mg/g) is the maximum adsorption capacity. The essential characteristics of the Langmuir isotherm can be expressed in terms of a dimensionless separation factor (R_L) which is defined by:

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L C_o)} \quad (3)$$

3.2 The Freundlich isotherm

The Freundlich isotherm in a linear form is represented as follows [2]:

$$\log q_e = \log K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e \quad (4)$$

where K_F (L/g) is the adsorption capacity, and $\frac{1}{n}$ is the adsorption intensity.

4. Adsorption Kinetics

4.1 The pseudo-first-order model

The pseudo-first-order model in a linear form is written as follows [1]:

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (5)$$

where k_1 (1/min) is the rate constant of pseudo-first, and q_t (mg/g) is the amount adsorbed at any time (min).

4.2 The pseudo-second-order model

The pseudo-second-order model is written in linear form as follows [1]:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (6)$$

where k_2 (g/(mg·min)) is the rate constant of the pseudo-second-order model.

4.3 The intraparticle diffusion model

The intraparticle diffusion model is expressed as Eq. (7):

$$q_t = K_{id} (t)^{1/2} + C \quad (7)$$

where q_t is the amount of adsorbate retained at the time (t), K_{id} is the intraparticle diffusion rate constant (mg/(g·min^{1/2}), and C is the intercept.

5. Thermodynamic parameter of adsorption

The Gibbs free energy change (ΔG) in the adsorption process can be expressed as follows:

$$\Delta G = -RT \ln K_c \quad (8)$$

where K_c ($K_c = q_e/C_e$) is the equilibrium constant, R is the gas constant and T is the absolute temperature. Also enthalpy (ΔH) and entropy (ΔS) changes can be estimated by the following equation:

$$\ln K_c = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{RT} \quad (9)$$

where ΔH and ΔS can be determined respectively by the slope and intercept of the linear plot between $\ln K_c$ and $1/T$.

6. Results and Discussion

6.1 Characterization

FTIR study

The adsorbent's functional group was observed using a Fourier transform infrared spectroscopy. The FTIR spectra of red perlite is shown in Figure 2. The spectra showed the presence of the following groups: O–Si–O stretching at 1009.9 cm^{-1} , and the peak at 790.68 cm^{-1} corresponded to amorphous silica [12]

SEM study

Figure 3 represents the SEM of the red perlite surface. The micrograph showed the heterogeneous nature of surface morphology. The red perlite had a rougher and porous surface with random, widely distributed crevasses and pores of varying sizes. Its image is characterized by open pores, and the perlite used in this study is a good possibility for pore diffusion during adsorption [13].

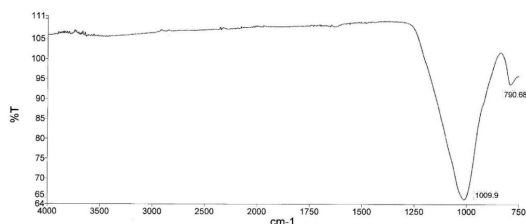


Figure 2 FTIR spectrum of red perlite



Figure 3 SEM of red perlite

XRF study

The red perlite used in this study was obtained from Sabot District, Lopburi, Thailand. By analyzing the adsorbent with XRF, the chemical compositions were SiO_2 (71.34%), Fe_2O_3 (4.26%), Al_2O_3 (11.13%), CaO (1.88%), K_2O (10.59%) and TiO_2 (0.801%). It can be seen that silica (SiO_2) and alumina (Al_2O_3) are the major compositions in the perlite, which is similar to Czech perlite [14]. Silica and alumina can form silanol and alumina hydroxide, which can bind the sorbates in the solution.

Point of zero charge (pH_{pzc}) of adsorbent

The pH of the zero point charge (pH_{pzc}) was measured by *pH drift method*. As seen in Fig. 4, the intersection plot shows the zero point charge at pH 3.5.

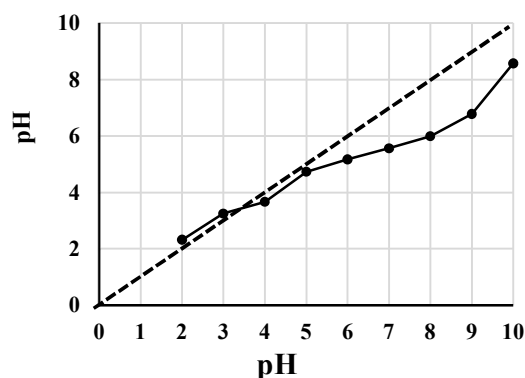


Figure 4 The pH at point of zero charge (pH_{pzc}) of red perlite

6.2 Effect of pH

The adsorption of adsorbates from aqueous solutions is dependent on the solution's pH, which affects the surface charge of the adsorbent and degree of ionization. In the experiments, the effect of initial pH between 2-10 was investigated while the dye concentration temperature and contact time were fixed at 20 mg/L, 30°C, and 180 min, respectively. Figure 5 shows the percentage of adsorption versus pH. As seen in Figure 5, the percentage of adsorption increased with the increase of pH from 2 to 6. And, the maximum adsorption was obtained at pH 6. As the pH increased, the surface of the perlite gradually acquired a negative charge. As a result, the adsorption decreased and the percentage of adsorption was lower than pH 6. It was found that the pH value at the maximum adsorption was higher than the pH_{pzc} of perlite. At this condition, the surface charge of the adsorbent was negative. Therefore, the anionic dye could not be bound on the perlite surfaces due to the electrostatic interactions. However, the interactions could be hydrogen bonding [15]. Similar adsorption was reported for the adsorption of azo dyes [16].

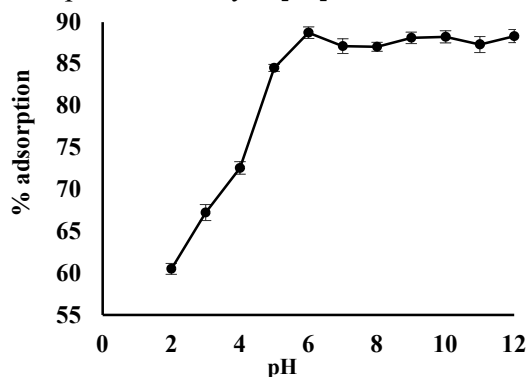


Figure 5 Effect of pH

6.3 Effect of contact time at different temperatures

The experiments were carried out to investigate the effect of contact time at three temperatures (20, 30, and 40°C) on the batch adsorption containing 100 mL of initial dye concentration of 20 mg/L and 0.6 g of perlite. The plots of adsorption capacity versus

contact time at different temperatures are shown in Figure 6. The results showed that the adsorption capacity increased with the increase in contact time and temperature. The removal of dye was rapid in the initial stages of contact time and gradually decreased with time until equilibrium at 180 min.

The initial faster rate of adsorption may also be attributed to the presence of a large number of binding sites for adsorption, and the slower adsorption rate at the end is due to the saturation of the binding sites and attainment of equilibrium. A similar observation was reported for the adsorption of dye on natural untreated clay [9].

The effect of temperature was investigated at temperatures of 20, 30, and 40°C. The adsorption capacity values at equilibrium time were 2.90, 3.11, and 3.38 mg/g at 20, 30, and 40°C, respectively. The adsorption capacity increased with increasing temperature; thus, the adsorption was an endothermic process. This is because of the increasing mobility of the dye and an increase in the number of active sites for the adsorption process with increasing temperature [17].

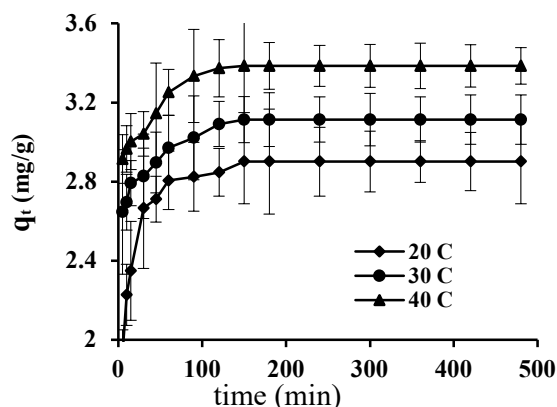


Figure 6 Effect of contact time

6.4 Adsorption kinetic study

The adsorption kinetic data, obtained from section 6.2, were analyzed by the linear pseudo-first-order, pseudo-second-order, and intraparticle diffusion kinetic models. The calculated parameters were shown in Table 1. As seen in Table 1, the correlation

coefficients (R^2) of dye adsorption were 0.936, 0.882, and 0.942 for the pseudo-first-order model and 0.999, 0.999, and 0.999 for the pseudo-second-order model at 20, 30, and 40°C, respectively. Therefore, the kinetic data were fitted better with the pseudo-second-order model at all temperatures.

For the intraparticle diffusion study, the plots (not shown) between q_t versus $t^{1/2}$ were drawn, and the results showed three linear steps of the adsorption. The second linear step was the intraparticle diffusion of the adsorption. The values of the

intraparticle diffusion rate constant (K_{id}) were 0.072, 0.051, and 0.046 mg/g min^{1/2} and the intercept (C) values were 1.881, 2.463, and 2.609 at 20, 30 and 40°C, respectively. The linear portions of the plots did not pass through the origin. This clearly showed that intraparticle diffusion was not the only rate-controlling step. Therefore, it might be concluded that surface adsorption and intraparticle diffusion were concurrently operating during adsorption

Table 1 Kinetic parameters of dye adsorption on red perlite at different temperature

Kinetic models	Temperature (°C)		
	20	30	40
q_e (exp) (mg/g)	2.901	3.113	3.385
Pseudo-first order			
q_e (cal) (mg/g)	1.095	1.550	1.154
k_1 (1/min)	0.021	0.018	0.025
R^2	0.936	0.882	0.942
Pseudo-second order			
q_e (cal) (mg/g)	2.933	3.138	3.409
k_2 (g/mg.min)	0.078	0.094	0.100
R^2	0.999	0.999	0.999
Intraparticle diffusion			
K_{id} (mg/g min ^{1/2})	0.072	0.051	0.046
C (mg/g)	1.881	2.463	2.609
R^2	0.901	0.941	0.887

6.5 Effect of initial dye concentration

The experiments were carried out to investigate the effect of initial dye concentration from 10 to 100 mg/L at three temperatures (20, 30, and 40°C) and equilibrium time (180 min). The adsorption capacities are shown in Figure 7. It revealed that the dye removal was concentration-dependent. The increase in initial dye concentration increased the adsorption capacity (q_e) of the dye. This may be due to the increase in driving the force of the

concentration gradient for mass transfer with the increase in initial dye concentration [18].

However, at higher concentration, the change of q_e versus initial dye concentration was decreasing. It can be explained that the adsorbent had a number of active sites, which became saturated at a certain concentration [19]. Moreover, at each dye concentration, the adsorption capacity increased when the adsorption temperature increased. Therefore, the adsorption was an endothermic process.

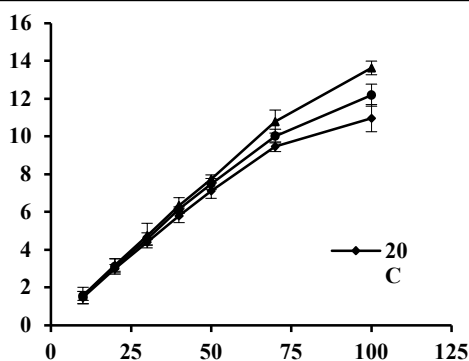


Figure 7 Effect of initial dye concentration

6.6 Adsorption isotherm study

From the results shown in Figure 6, the equilibrium adsorption data were plotted as the linear isotherm of the Langmuir and Freundlich models. The plots of the Langmuir isotherm at 20, 30, and 40 °C were shown in Figure 8. The values of the parameters from the linear plots of isotherms were calculated and tabulated in Table 2. By considering to correlation coefficient (R^2) in Table 2, the results showed that the equilibrium data were better fitted to the Langmuir isotherm than the Freundlich isotherm at all temperatures. The adsorption isotherm indicated the homogeneous nature by the monolayer coverage of dye molecules onto red perlite surface and the maximum adsorption capacity ($q_{\max}$) was 13.70, 14.71, and 16.63 mg/g at 20, 30, and 40°C, respectively.

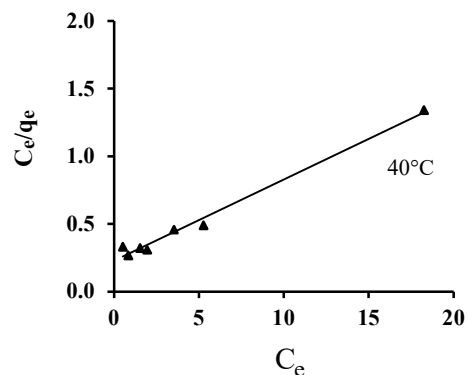
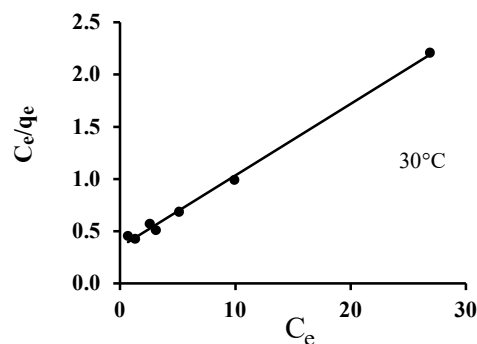


Figure 8 Langmuir isotherms at 20-40°C

The R_L values indicated the feasibility of the adsorption process because they were in the range of 0 and 1. A similar observation was reported for the adsorption of anionic dye on natural untreated clay [17].

From the Freundlich isotherm, the values of $1/n$ below 1 indicated a normal Langmuir isotherm and favorable adsorption [20]. The value of the Freundlich constant (K_F) represents the degree of adsorption. The K_F value increased with increasing temperature.

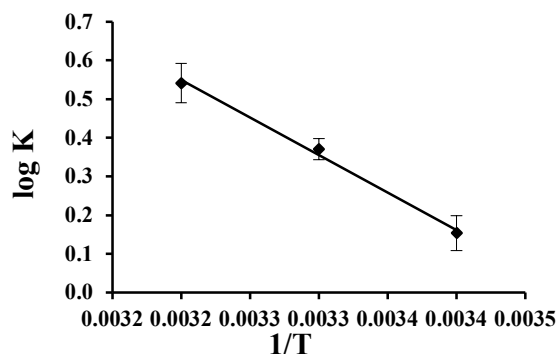
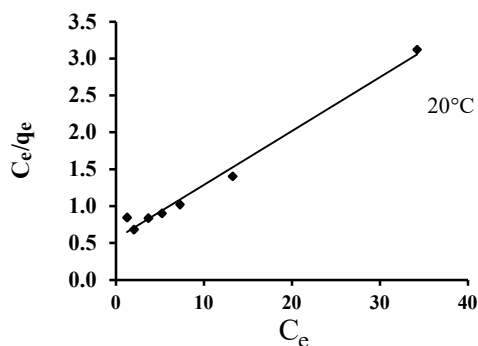


Figure 9 Thermodynamic of dye adsorption

Table 2 Isotherm parameters of dye onto red perlite

Isotherms	Temperature (°C)		
	20	30	40
Langmuir isotherm			
$q_{\max}$ (mg/g)	13.70	14.71	16.63
K_L (L/mg)	0.130	0.195	0.264
R_L	0.083–0.474	0.124–0.415	0.065–0.408
R^2	0.985	0.996	0.987
Freundlich isotherm			
K_F	1.82	2.55	3.35
$1/n$	0.591	0.558	0.586
R^2	0.896	0.913	0.893

6.7 Thermodynamic of adsorption study

The thermodynamic parameters such as the Gibbs free energy change (ΔG), enthalpy change (ΔH), and entropy change (ΔS) were determined. The experiments were carried out at three temperatures (20, 30, and 40 °C) on the batch adsorption containing 100 ml of 20 mg/L and 0.6 g of perlite at the equilibrium time. From the adsorption data, ΔG was calculated using Eq. (8). ΔH and ΔS were obtained from the slope and intercept of the plot (Figure 9.) between $\ln K_c$ and $1/T$. The values of ΔG , ΔH and ΔS were tabulated in Table 3.

As seen in Table 3, the free energy (ΔG) values of dye adsorption on perlite were -0.861 , -2.15 , and -3.24 kJ/mol at 20, 30, and 40°C, respectively. The negative values of ΔG indicated that the dye adsorption was spontaneous.

Table 3 Thermodynamic parameters for dye adsorption

Tem (K)	$-\Delta G$ (kJ/mol)	ΔH (kJ/mol)	ΔS (J/mol.K)
293	0.86	37.12	129.29
303	2.15		
313	3.24		

The enthalpy change (ΔH) and entropy change (ΔS) of adsorption were 37.12 kJ/mol and 129.29 J/mol.K, respectively. In this study, a positive value of ΔH indicated the endothermic nature of the process, and a positive value of ΔS indicated the increasing randomness at the solid/liquid interface during the adsorption process.

In addition, E_a can be determined from the slope of the plot between $\ln k$ and $1/T$ (Figure 10). In this, k is the rate constant of pseudo-second-order kinetics, and the calculated E_a value of the adsorption is 4.45 kJ/mol, indicating that the adsorption is a physisorption process ($E_a < 40$ kJ/mol) [21]. The positive activation energy implies that the rate of adsorption increases with an increase in temperature, which leads to an increase in the probability of the colliding molecules being captured by the adsorbent. A similar result was reported by the adsorption of methylene blue dye on the O-CM-chitosan hydrogel [22]

Table 4 Comparison of the dye adsorption capacity onto different adsorbents

adsorbents	Class of dye	Dyes	$Q_{\max}$, mg/g	References
Montmorillonite	Anionic	Magenta dye	161.0	[23]
HCl modified bentonite	Anionic	Methyl orange	47.8	[8]
bentonite	Anionic	Congo red	43.1	[6]
Perlite	Anionic	Congo red	55.5	[26]
Kaolin	Anionic	Congo red	5.4	[24]
Kaolin	Anionic	Reactive red	1.1	[9]
Lopburi red perlite	Anionic	Magenta dye	14.7	This study
Tunisian clay	Cationic	Crystal violet	86.5	[7]
Moroccan pyrophyllite	Cationic	Crystal violet	13.9	[25]
Kaolin	Cationic	Basic yellow 28	5.7	[9]
Pumice stone	Cationic	Crystal violet	6.99	[27]
Pumice stone	Cationic	Malachite green	22.6	[27]

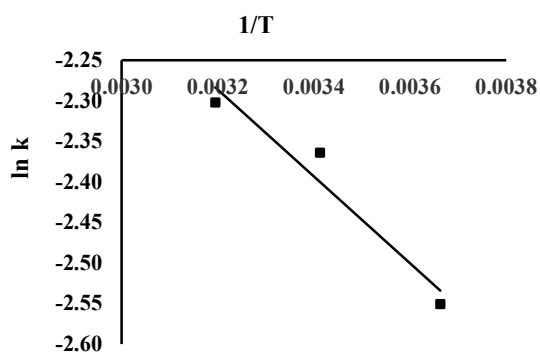


Figure 10 Arrhenius plot of dye adsorption

6.8 Comparative study of adsorption

In order to evaluate the efficiency of Lopburi red perlite used as a natural adsorbent in this study, a comparison based on the maximum adsorption capacity of dyes with different adsorbents is shown in Table 4. As seen in Table 4, the adsorption capacity is dependent on the class of dyes and the character of adsorbents. It is clear that the red perlite, used in this study, is indicative of the possibility to employ as an alternative low-cost adsorbent.

7. Conclusion

In this study, the adsorption of a synthetic dye for silk yarn onto red perlite was investigated. The red perlite was characterized by FTIR, SEM, and XRF. It

contained mainly silica and alumina. The maximum adsorption of the dye occurred at pH 6 and at the equilibrium time (180 min). The kinetic adsorption data were better described by the pseudo-second-order model. The equilibrium adsorption results showed that the overall adsorption data were better fitted by the Langmuir isotherm at all temperatures, indicating the homogeneous nature of the monolayer coverage of dye on the red perlite surface. From the thermodynamic study, the adsorption was spontaneous and endothermic. The E_a value of the adsorption showed that the adsorption was a physisorption process. This study proved that red perlite could be used as a promising adsorbent for the removal of dye in water. Moreover, it can be concluded that the use of red perlite as an adsorbent could contribute not only to solving environmental problems but also to decreasing the overall cost of wastewater treatment.

Acknowledgment

The authors would like to thank *Thepsatri Rajabhat University* for its financial support.

References

- [1] X. Han, X. Niu, and X. Ma, X. "Adsorption characteristics of methylene blue on poplar leaf in batch mode:

- Equilibrium, kinetics and thermodynamics,” *Korean Journal of Chemical Engineering*, vol.29, no.4, pp.494–502, Jan. 2012.
- [2] D. Suteu, and T. Malutan, “Adsorption of cationic dye on cellolignin,” *BioResources*, vol.8, no. 1, pp.427–446, Nov.2013.
- [3] T. Rosa, A. Martins, M.T. Santos, T. Trindade, and N. Nunes, “Coal fly ash Waste, a Low-Cost Adsorbent for the removal of Mordant Orange Dye from Aqueous Media,” *J. Braz. Chem. Soc.* vol. 32, no. 12, pp.2245-2256, 2021.
- [4] Tttt I.G. Coronilla, L.M.Barrera, and E.C. Urbina, “Kinetic, isotherm and thermodynamic studies of amaranth dye biosorption from aqueous solution onto water hyacinth leaves,” *Journal of Environmental Management*, vol.152, pp.99-108.
- [5] A. Keereerak, and W. Chinpa, “A potential biosorbent from Moringa oleifera pod husk for crystal violet: Kinetics, isotherms, thermodynamic and desorption studies,” *ScienceAsia*, vol. 46, pp.186-194, 2020.
- [6] E. Rostami, R. Norouzbeigi, and A. R. Kelishami. “Thermal and chemical modification of bentonite for adsorption of an anionic dye,” *Advances in Environmental Technology*, vol. 1, pp. 1-12, 2018.
- [7] W. Hamza, N. Dammak, H.B. Hadjitaief, M. Eloussaief, M. Benzina, “Sono-assisted adsorption of Crystal violet dye onto Tunisian smectite clay: characterization, kinetics and adsorption isotherms,” *Ecotoxicol Environ Saf*, vol. 163, pp. 365-371, 2018.
- [8] Fernandes, J. V., Rodrigues, A. M., Menezes, R. R. & Neves, G. de A. 2020. Adsorption of Anionic Dye on the Acid-Functionalized Bentonite. *Materials*, 13(16), 3600.
- [9] T.A. Aragaw, A.N. Alene, “A comparative study of acidic, basic, and reactive dyes adsorption from aqueous solution onto kaolin adsorbent: Effect of operating parameters, isotherms, kinetics, and thermodynamics,” *Emerging Contaminants*, vol. 8, pp. 59-64, 2013.
- [10] H. Babas, G. Kaichouh, M. Khachani, M.E. Karbane, A. Chakir, A. Guenbour, A. Bellaouchou, I. Warad, and A. Zarrouk, “Equilibrium and kinetic studies for removal of antiviral sofosbuvir from aqueous solution by adsorption on expanded perlite: Experimental, modelling and optimization,” *Surfaces and Interface*, vol.23, April. 2021.
- [11] L. Meesuk, and S. Seammai, “The use of perlite to remove dark colour from repeatedly used palm oil,” *ScienceAsia*, vol. 36, pp.33-39, 2010.
- [12] C.A.P.Almeida, N.A. Debacher, A.J. Downs, L. Cottet, and C.AD. Mello, “Removal of methylene blue from colored effluents by adsorption on montmorillonite clay,” *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 332, no 1, pp.46–53, April. 2009.
- [13] A. Sarl, G. Sahinoglu, and M. Tuzen, “Antimony(III) Adsorption from Aqueous Solution Using Raw Perlite and Mn-Modified Perlite: Equilibrium, Thermodynamic, and Kinetic studies,” *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 51, pp. 6877-6886, 2012.
- [14] D.N. Thanh, M. Singh, P. Ulbrich, N. Strnadova, and F. Stepanek, “Perlite incorporating γ -Fe₂O₃ and α -MnO₂ nanomaterials: Preparation and evaluation of a new adsorbent for As(V) nanomaterials: Preparation and evaluation of a new adsorbent for As(V) removal,” *Separation and Purification Technology*, vol. 82, pp.93-101, 2011.
- [15] J. K. Komosinska, C.R. Dulewska, M. Pajak, I. Krzyzewska, and A. Dzieniszewska, “Adsorption of anionic dyes onto natural, thermally and chemically modified smectite clays,” *Polish Journal of Chemical Technology*, vol. 16, no.4, pp.33-40, 2014.
- [16] P. Sirajudheen, P. Karthikeyan, S. Vigneshwaran,, M.C. Basheer and S. Meenakshi, “Complex interior and surface modified alginate reinforced

-
- reduced graphene oxide-hydroxyapatite hybrids: Removal of toxic azo dyes from the aqueous solution,” *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 175, pp.361-371, April. 2021.
- [17] E. Errais, J. Duplay, M. Elhabiri, M. Khodja, M. Ocampo, R. Batenweck, R. Guyot, and F. Darragi, “Anionic RR120 dye adsorption onto raw clay: Surface properties and adsorption mechanism,” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol.403, pp.69–78. June 2012.
- [18] A. El Kassimi, A. Boutouil, M. El Himri, M. Rachid Laamari, M. El Hadd, “Selective and competitive removal of three basic dyes from single, binary and ternary systems in aqueous solutions: A combined experimental and theoretical study,” *Journal of Saudi Chemical Society*, vol.24, pp.524–544. May.2020.
- [19] M. Malakootian, and M.R.Heidari, “Reactive orange 16 dye adsorption from aqueous solutions by psyllium seed powder as a low-cost biosorbent: kinetic and equilibrium studies,” *Applied Water Science*, vol.8, no.7, p.212, April.2018.
- [20] G.Ciobanu, S. Barna, and M. Harja, “Kinetic and equilibrium studies on adsorption of Reactive Blue 19 dye from aqueous solutions by nanohydroxyapatite adsorbent,” *Archives of Environmental Protection*, vol. 42, no. 2, pp.3–11, 2016.
- [21] S.Chakraborty, A. Mukherjee, S. Das, N.R. Maddela, S. Iram, and P.Das, “Study on isotherm, kinetics, and thermodynamics of adsorption of crystal violet dye by calcium oxide modified fly ash,” *Environmental Engineering Research*, vol. 26, no. 1, pp.190372., March. 2020.
- [22] N.F. Alharby, R.S. Almutairi, and N.A. Mohamed, “Adsorption Behavior of Methylene Blue Dye by Novel CrossLinked O-CM-Chitosan Hydrogel in Aqueous Solution: Kinetics, Isotherm and Thermodynamics,” *Polymers*. vol.13, no. 21, pp.1-27, Oct. 2021.
- [23] A.S. Elsherbiny, “Adsorption kinetics and mechanism of acid dye onto montmorillonite from aqueous solutions: Stopped-flow measurements,” *Applied Clay Science*, vol. 83-84, pp. 56-62, Oct. 2013.
- [24] V. Vimonses, S. Lei, B. Jin, C.W.K. Chow, C. Saint, “Adsorption of Congo red by three Australian kaolins,” *Applied Clay Science*, vol. 43, no. 3-4, pp. 465-472, March. 2009.
- [25] Y. Miyah, A. Lahrichi, M. Idrissi, Sd. Boujraf, H. Taouda, and F. Zerrouq , “Assessment of adsorption kinetics for removal potential of Crystal violet dye from aqueous solutions using Moroccan pyrophyllite,” *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Science*. June . 2016.
- [26] G. Vijayakumar, M. Dharmendirakumar, S.Renganathan, S. Sivanesan, G. Baskar, and K. P. Elango, “Removal of Congo Red from Aqueous Solutions by Perlite,” *Clean*, vol. 37, no. 4-5, pp. 355-364. 2009.
- [27] H. Shahestehe, A.B. Kelishamia, and R. Norouzebeigi, “Adsorption of malachite green and crystal violet cationic dyes from aqueous solution using pumice stone as a low-cost adsorbent: kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies, *Desalination and Water Treatment*, pp. 1-10, 2015. DOI: 10.1080/19443994.2015.1054315
-