

ดีมานต์เรสปอนส์และอัลกอริทึมสำหรับระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์
โหมตจากพลังงานทางเลือก



เสาวลักษณ์ ยอดวิญญวงค์

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

พฤษภาคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

ดีมานต์เรสปอนส์และอัลกอริทึมสำหรับระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจาก
พลังงานทางเลือก



เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

พฤษภาคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

DEMAND RESPONSE AND ALGORITHM FOR ENERGY MANAGEMENT SYSTEM IN ISLAND
MODE FROM ALTERNATIVE ENERGY



SAOWALAK YOTWINYUWONG

A Dissertation Submitted to University of Phayao
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Doctor of Philosophy Degree in Energy Management and Smart Grid Technology
May 2023

Copyright 2023 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ดีมานต์เรสปอนส์และอัลกอริทึมสำหรับระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจาก
พลังงานทางเลือก

ของ เสาวลักษณ์ ยอดวิญญวงค์

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมรรถกฤตเทคโนโลยี

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประพิศารีย์ ธนารักษ์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร. บุญวัฒน์ วิจารย์พล)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิชระ วงศ์ปัญญา)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา
(ดร. ประเมษฐ์ สิทธิสันต์)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตติพร เจาะจง)

..... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ต่อพงศ์ กวีธาชาติ)

- เรื่อง:** ดีมานต์เรสปอนส์และอัลกอริทึมสำหรับระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือก
- ผู้วิจัย:** เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์, วิทยานิพนธ์: ปร.ด. (การจัดการพลังงานและสมาร์ตกริด เทคโนโลยี), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2565
- อาจารย์ที่ปรึกษา:** ดร. บุญวัฒน์ วิจารณ์พล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒน์พงศ์ รักษ์วิเชียร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรระ วงศ์ปัญญา
- คำสำคัญ:** ดีมานต์เรสปอนส์, อัลกอริทึม, การจัดการพลังงาน, ไอแลนด์โหนด, พลังงานทางเลือก

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและทดสอบอัลกอริทึมของดีมานต์เรสปอนส์สำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือก วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของพลังงานทางเลือกในไอแลนด์โหนด โดยนำระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System: EMS) โนม์นำผู้ใช้ไฟฟ้าลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้งานของโหลดสูงสุด โดยทำการออกแบบอัลกอริทึมพร้อมพัฒนาแบบจำลองและนำระบบสั่งการแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automated Demand Response System) มาใช้ในการออกแบบวงจรควบคุม ทั้งนี้มีการทดสอบระบบการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือกด้วยแบบจำลอง ทั้งหมด 5 โหนดหลัก ประกอบด้วย โหนดที่ 1 พลังงานแสงอาทิตย์ โหนดที่ 2 พลังงานลม โหนดที่ 3 แบตเตอรี่สำรอง โหนดที่ 4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และโหนดที่ 5 พลังงานไฮบริด เพื่อบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือกให้เพียงพอต่อความต้องการด้านโหลดครบ 7 ชั่วโมง โดยไม่พึ่งพาพลังงานจากฟอสซิล การทดลองชี้ให้เห็นว่า เมื่อทำการเพิ่มพลังงานจากโซลาร์เซลล์ให้กับทุกโหนดหลัก โหนดที่ 1 ใช้ต้นทุนในการติดตั้งน้อยที่สุด ตามด้วยโหนดที่ 3 และโหนดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 86,135 บาท, 144,557 บาท, 190,674 บาท ตามลำดับ โดยมีกำลังติดตั้ง 1.35, 2.25, 3.15 กิโลวัตต์ ตามลำดับ มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 15.75, 15.86, 14.95 ปีตามลำดับ และเมื่อเพิ่มพลังงานลมให้กับทุกโหนดหลัก ในโหนดที่ 1 ใช้ต้นทุนในการติดตั้งน้อยที่สุด ตามด้วยโหนดที่ 3 และโหนดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 148,195 บาท, 251,985 บาท, 338,120 บาท ตามลำดับ มีผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 945, 1,575, 2,205 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ตามลำดับ สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 530.15, 883.58, 1,237.01 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปีจากพลังงานไฟฟ้า และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 2,062.50, 5,156.25, 7,218.75 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปีจากพลังงานเชื้อเพลิงดีเซล

Title: DEMAND RESPONSE AND ALGORITHM FOR ENERGY MANAGEMENT SYSTEM IN ISLAND MODE FROM ALTERNATIVE ENERGY

Author: Saowalak Yotwinyuwong, Dissertation: Ph.D. (Energy Management and Smart Grid Technology), University of Phayao, 2022

Advisor: Dr. Bunyawat Vichanpol Co–advisor Associate Professor Dr.Wattanapong Rakwichian Assistant Professor Dr.watchara wongpanyo

Keywords: Demand response, Algorithm, Energy management, Island mode, Alternative energy

ABSTRACT

This research aims to create and test a demand response algorithm for energy management in Island mode from alternative energy. Analyze and compare the environmental and economic impacts of alternative energy in Island mode by introducing the Energy Management System (EMS) to persuade electricity users to reduce electricity consumption during peak demand periods by designing algorithms, developing models, and introducing semi-automatic command systems (Semi-automated Demand Response System) used in the design of the control circuit. The energy management system has been tested in Island mode from alternative energy with a total of 5 main modes, consisting of mode 1 solar power, mode 2 wind power, mode 3 battery backup, mode 4 diesel generator, and mode 5 hybrid power. After that, manage electricity in Island Mode from alternative energy enough to meet the load demand for 7 hours without relying on fossil energy. The experiment indicated that when adding energy from solar cells to all main modes. Mode 1 has the lowest installation costs. Followed by mode 3 and mode 2, which are equal to 86,135 baht, 144,557 baht, and 190,674 baht, respectively, with installed power of 1.35, 2.25, and 3.15 kW, respectively, with a payback period of 15.75, 15.86, and 14.95 years, respectively. When adding wind power to all main modes except Mode 1, the installation cost is minimal. Followed by mode 3 and mode 2, which are equal to 148,195 baht, 251,985 baht, and 338,120 baht, respectively. As a result of energy savings of 945, 1,575, and 2,205 kWh per year, respectively. Along with reducing greenhouse gas emissions by 530.15, 883.58, and 1,237.01 tons of carbon dioxide per year from electricity. Finally, we can reduce greenhouse gas emissions by 2,062.50, 5,156.25, and 7,218.75 tons of carbon dioxide per year from diesel fuel.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นได้ตามความตั้งใจของผู้เขียน ด้วยความเมตตากรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษาทุกท่าน ท่านแรกขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความเมตตาของท่านอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒน์พงศ์ รักษ์วิเชียร ที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษาร่วม ให้โอกาสในการศึกษาและสร้างแรงบันดาลใจในการทำการวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วง ท่านที่สองขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อท่านอาจารย์ ดร.บุญวัฒน์ วิจารณ์พล ที่ท่านได้ให้ความอนุเคราะห์ในการรับเป็นที่ปรึกษา และให้คำแนะนำในเรื่องหัวข้อวิทยานิพนธ์ แนวทางการเขียนวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคอยกำกับติดตามดูแล และให้ข้อแนะนำในการแก้ไขความถูกต้องตามหลักวิชาการจนสำเร็จเรียบร้อย ท่านที่สามขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชร วงศ์ปัญญา ที่กรุณาได้รับเป็นที่ปรึกษาร่วมและเสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำที่ปรึกษาเกี่ยวกับแนวคิดในการทำวิทยานิพนธ์อย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยและสนับสนุนเครื่องมือในการวัดและทดสอบงานวิจัย ขอขอบคุณพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงที่คอยสนับสนุนการเรียนและคอยให้กำลังใจในวันที่ท้อแท้จนสามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่าง ๆ มาได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านทั้งที่ได้เอ่ยนามและไม่ได้เอ่ยนามที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทั้งปวงให้กับผู้เขียน

เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์ของวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
กรอบแนวคิดของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า	5
ระบบการจัดการพลังงาน.....	6
ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร.....	7
การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทางเลือก.....	8
ระบบไมโครกริด (Microgrid)	12
การตอบสนองด้านโหลด (Demand Response).....	13
ไอแลนด์โหมด (Island Mode)	14
อัลกอริทึม (Algorithm).....	15

ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาร์ดูโน (Arduino).....	18
เศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม	23
ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)	31
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	46
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	46
การสร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัย.....	49
ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โฮมด	53
การออกแบบการสร้างแบบจำลอง	58
ลักษณะวงจรของอุปกรณ์ควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โฮมด	60
วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์	63
การพัฒนาโมเดลด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ Decision Tree.....	65
บทที่ 4 ผลการวิจัย	69
ตอนที่ 1 การเก็บข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าของโหลดภายในอาคารปฏิบัติการ และแนวทาง การจัดการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการ.....	69
ตอนที่ 2 แบบจำลองสำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โฮมด	72
ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โฮมดจากพลังงานทางเลือก ด้วยแบบจำลอง.....	78
ตอนที่ 4 อุปกรณ์ควบคุมสำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โฮมดจากพลังงาน ทางเลือก.....	97
ตอนที่ 5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของ พลังงานทางเลือกในไอแลนด์โฮมด	102
ตอนที่ 6 วิเคราะห์การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โฮมดจากพลังงานทางเลือกด้วย โมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree.....	104
บทที่ 5 บทสรุป.....	109

สรุปผลการวิจัย	109
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้	114
ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป	114
บรรณานุกรม	115
ประวัติผู้วิจัย	121



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แสดงรายการและขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้าในการทดสอบ	53
ตาราง 2 ตัวอย่างข้อมูลค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และความเร็วลม	60
ตาราง 3 ข้อกำหนดที่ใช้ในการวิเคราะห์	64
ตาราง 4 การบันทึกของการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยพลังงานเลือก	65
ตาราง 5 ต้นทุนเริ่มแรกในการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 1.35 kW และค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life-Cycle Cost).....	82
ตาราง 6 ต้นทุนเริ่มแรกในการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ขนาด 1.5 kW	84
ตาราง 7 ต้นทุนเริ่มแรกในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3.15 kW	86
ตาราง 8 ต้นทุนเริ่มแรกในการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ขนาด 3.5 kW.....	87
ตาราง 9 ต้นทุนเริ่มแรกในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 2.25 kW.....	88
ตาราง 10 ต้นทุนเริ่มแรกในการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ขนาด 2.5 kW	90
ตาราง 11 ต้นทุนเริ่มแรกในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 2.7 kW	91
ตาราง 12 ต้นทุนเริ่มแรกในการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ขนาด 3 kW	92
ตาราง 13 ต้นทุนเริ่มแรกในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 0.9 kW.....	94
ตาราง 14 ต้นทุนเริ่มแรกในการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ขนาด 1 kW	95
ตาราง 15 ต้นทุนในการเพิ่มศักยภาพพลังงานแต่ละประเภทให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้าน โหลดสำหรับแบบจำลองทั้ง 5 โหมด.....	96
ตาราง 16 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วย พลังงานเลือก 5 โหมด	103

ตาราง 17 กำหนดตัวแปร พลังงานนำเข้าของ DR-Island model..... 104

ตาราง 18 กำหนดตัวแปร ผลลัพธ์ ของ DR-Island model เพื่อ Training โปรแกรม WEKA.. 105



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	3
ภาพ 2 ระบบไมโครกริด	12
ภาพ 3 ฟังงานแสดงขั้นตอนการปลูกต้นไม้.....	17
ภาพ 4 แสดงบอร์ด Arduino ต่อกับ LED	19
ภาพ 5 แสดงบอร์ด Arduino ต่อกับบอร์ด XBee Shield	19
ภาพ 6 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560.....	20
ภาพ 7 เซนเซอร์วัดแรงดัน ZMPT101B Arduino.....	21
ภาพ 8 รีเลย์ (Relay)	21
ภาพ 9 จอแสดงผล LCD 2004A.....	22
ภาพ 10 การเชื่อมต่อแบบขนานของ Character LCD กับ Arduino	23
ภาพ 11 รูปแบบต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Model).....	31
ภาพ 12 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	47
ภาพ 13 ระบบการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด	49
ภาพ 14 ขั้นตอนการสร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัย	50
ภาพ 15 ลักษณะการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก.....	51
ภาพ 16 การทดลองระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก.....	52
ภาพ 17 ขั้นตอนการทำงานของระบบบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด	54
ภาพ 18 ขั้นตอนการทำงานของระบบบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด	55
ภาพ 19 แสดงหน้าจอหลักแบบจำลองระบบบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า	59
ภาพ 20 การออกแบบอุปกรณ์ชุดควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด	61
ภาพ 21 Block Diagram ของอุปกรณ์ควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด.....	63

ภาพ 22 แสดงภาพรวมโมเดลและการนำไปประยุกต์ใช้งาน	66
ภาพ 23 โฟร์ซาร์ทการสร้างโมเดลด้วยโปรแกรม WEKA.....	67
ภาพ 24 ข้อมูลสำหรับสอนและทดสอบระบบ	68
ภาพ 25 แสดงพลังงานไฟฟ้าของโหลดแต่ละชนิดภายในอาคารปฏิบัติการ	70
ภาพ 26 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าประจำวัน (Daily load curve)	71
ภาพ 27 รูปแบบการบริหารจัดการพลังงานแบบกึ่งอัตโนมัติ	72
ภาพ 28 แสดงหน้าจอหลักของแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการ.....	73
ภาพ 29 แสดงหน้าจอหลักของแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการ ขณะมีโหลด.....	73
ภาพ 30 แสดงการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานลม	74
ภาพ 31 แสดงการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานลม	75
ภาพ 32 แสดงการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานลมแบบเตอรี	76
ภาพ 33 ข้อความแจ้งเตือนการใช้ไฟฟ้าของโหลดมากกว่าแหล่งจ่ายทั้งหมด	77
ภาพ 34 ระบบจะแจ้งเตือนโอเวอร์โหลด	78
ภาพ 35 แสดงพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานทางเลือก.....	79
ภาพ 36 อุปกรณ์ควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก	97
ภาพ 37 แสดงสถานะการตอบสนองการทำงานของระบบ เมื่อไม่มีการใช้งานโหลด.....	98
ภาพ 38 แสดงสถานะแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์มีพลังงานไฟฟ้าเพียงพอต่อการ.....	99
ภาพ 39 แสดงสถานะแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานลมตอบสนองด้านโหลด....	100
ภาพ 40 แสดงสถานะแหล่งจ่ายแบบเตอรีสำรองจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลด	101
ภาพ 41 แสดงสถานะการตอบสนองโหลดจากพลังงานทางเลือก.....	102
ภาพ 42 โมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree ของ DR-Island model.....	106
ภาพ 43 แสดงผลการทำนายด้วย DR-Island model	107
ภาพ 44 การออกแบบอุปกรณ์ชุดควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด.....	110

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการที่เศรษฐกิจของประเทศกลับเข้าสู่สภาวะปกติ หลังจากสถานการณ์โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา (COVID-19) การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่สูงขึ้นส่งผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่มีคุณภาพและมีความเชื่อถือได้มากขึ้นตามไปด้วย การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในปี 2565 อยู่ที่ 1,520 พันบาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.3 โดยการใช้ น้ำมันสำเร็จรูปมีสัดส่วนสูงสุดร้อยละ 53 เพิ่มขึ้นร้อยละ 14.6 สำหรับการบริโภคไฟฟ้ามีสัดส่วนรองลงมาที่ร้อยละ 22 เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.2 ในส่วนของการใช้ก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้นร้อยละ 35.9 และการใช้ลิกไนต์เพิ่มขึ้นร้อยละ 34.8 ทั้งนี้มีการใช้น้ำมันดีเซลอยู่ที่ระดับ 73 ล้านลิตรต่อวัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 15.7 มีการนำเข้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 342.4 [1] ปัจจุบันการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อผลิตไฟฟ้าส่งผลให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกมาในปริมาณมาก ในช่วงเดือนมกราคม 2566 อยู่ที่ 1.87 พันตัน CO₂/ktoe [2] ซึ่งส่งผลต่อความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศในอนาคตหากไม่มีระบบบริหารจัดการที่ดีและเหมาะสม

ในการแก้ปัญหาดังกล่าวจะต้องมีการจัดหาไฟฟ้าให้เพียงพอเพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้น และในขณะเดียวกันจะต้องมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่น้อยลง รวมถึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันการนำพลังงานทดแทนและระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแบบกระจายศูนย์ (Decentralized Generation: DG) มาใช้งานมากขึ้น เพื่อทำให้เกิดการกระจายชนิดเชื้อเพลิงและส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตามนโยบายของรัฐบาลในการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องได้อย่างยั่งยืน [3] รูปแบบการตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้า (Demand Response : DR) เป็นทางเลือกหนึ่งในการส่งเสริมและการบริหารจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานและช่วยในการลดการเกิดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Demand Peak) เพื่อให้สามารถควบคุมการผลิตและจ่ายไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นที่ต่ออาศัยเทคโนโลยีทางด้านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยในการบริหารจัดการได้ง่าย และที่สำคัญจะช่วยขยายระยะเวลาการก่อสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ได้เพิ่มมากขึ้น [4]

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เป็นองค์กรให้บริการทางด้านการศึกษา ที่ให้ความสำคัญทางด้านพลังงานและนโยบายการประหยัดพลังงานของรัฐบาล ปัจจุบันมหาวิทยาลัยฯ ได้เปิดหลักสูตรเทคโนโลยีพลังงาน มีอาคารปฏิบัติการเพื่อใช้ในการเรียนการสอน ณ สวนพลังงานของมหาวิทยาลัยฯ และมีแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าจาก พลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 2.2 กิโลวัตต์ พลังงานลมขนาด 680 วัตต์ พลังงานดีเซลขนาด 2 กิโลวัตต์ เป็นต้น ปัจจุบันอาคารปฏิบัติการใช้ไฟจากการไฟฟ้าเป็นหลัก ทั้งนี้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ไม่ได้นำมาใช้ในงาน ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เกิดการสูญเสียทรัพยากรโดยเปล่าประโยชน์ จึงมีแนวคิดในการหารูปแบบการบริหารจัดการใช้ไฟฟ้าของอาคารปฏิบัติการที่มีความเหมาะสม โดยใช้อัลกอริทึมของดีมานด์เรสปอนส์สำหรับบริหารจัดการพลังงานและการตอบสนองโหลด โดยไม่พึ่งพาสายส่ง เพื่อสร้างความสมดุลระหว่างการผลิตพลังงานให้พอดีกับความต้องการใช้พลังงานภายในอาคารปฏิบัติการ ให้มีความมั่นคงและความยั่งยืนทางด้านพลังงานมากขึ้น

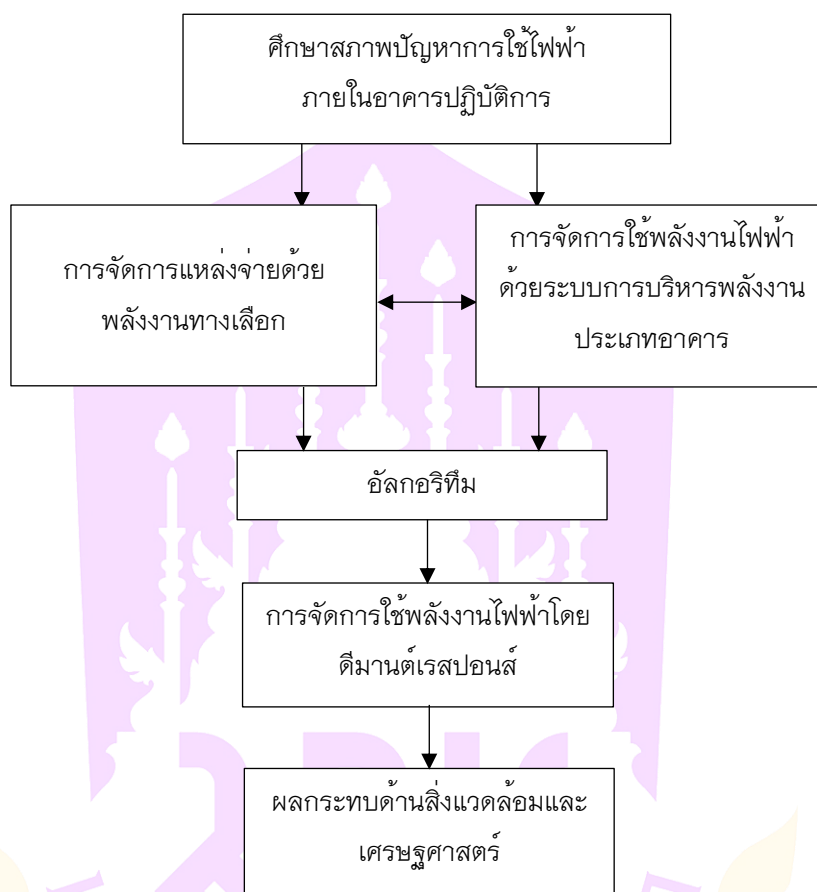
วัตถุประสงค์ของวิจัย

1. สร้างและทดสอบอัลกอริทึมของดีมานด์เรสปอนส์สำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก
2. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของพลังงานทางเลือกในไอแลนด์โหมด

ขอบเขตของการวิจัย

1. ขอบเขตเชิงสถานที่
อาคารปฏิบัติการ ณ สวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
2. ขอบเขตด้านเนื้อหา
การวิจัยเป็นการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าตอบสนองการใช้งานของโหลดภายในอาคารปฏิบัติการ เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการจำลองแหล่งจ่ายจากพลังงานทางเลือก ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่สำรองและพลังงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ระบบการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าอาคารปฏิบัติการ ทำการทดสอบรูปแบบการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าและเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของพลังงานทางเลือก
3. ขอบเขตด้านระยะเวลา
เดือนธันวาคม 2558 ถึง เมษายน 2566

กรอบแนวคิดของการวิจัย



ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย

1. ได้อัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด
2. ส่งเสริมสนับสนุนการผลิต การใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมในการผลิตไฟฟ้า
3. เป็นต้นแบบชุดควบคุมการใช้ไฟฟ้าในอาคารปฏิบัติการที่เหมาะสมกับแหล่งจ่ายแบบกระจายศูนย์
4. ลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล
5. ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน
6. เป็นต้นแบบการจัดการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. พลังงานทางเลือก หมายถึง แหล่งพลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 2.2 kW พลังงานลมขนาด 0.68 kW แบตเตอรี่สำรองขนาด 300 Ah และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาด 2 kW จากสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
2. ดีมานต์ เรสปอนส์ หมายถึง การตอบสนองความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้วิธีการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมร่วมกับพลังงานทางเลือก ผ่านทางระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ
3. อัลกอริทึม หมายถึง รูปแบบการจัดการที่อาศัยกระบวนการแก้ปัญหาการจัดการไฟฟ้าร่วมกับพลังงานทางเลือกที่อธิบายเป็นขั้นตอนอย่างชัดเจน
4. พาวเวอร์คอนโทรล หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือก โดยมีการตรวจจับปริมาณการใช้ไฟฟ้าด้วยเซนเซอร์เพื่อจ่ายไปยังโหลดแบบอัตโนมัติ
5. แหล่งจ่าย หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานทางเลือก
6. โหลด หมายถึง อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานในอาคารปฏิบัติการ สวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ประกอบด้วย ไฟฟ้าแสงสว่าง พัดลมไอน้ำ ชุดลำโพงช่วยสอน โน้ตบุ๊ก โปรเจคเตอร์และตู้เย็น
7. พลังงานแสงอาทิตย์ หมายถึง พลังงานที่ผลิตไฟฟ้าได้จากโซลาร์เซลล์
8. ไฮบริด หมายถึง พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่สำรอง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับดีมานด์ เรสปอนส์และอัลกอริทึมสำหรับระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์ใหม่คจากพลังงาน ทางเลือกดังต่อไปนี้

การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า

การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand-Side Management : DSM) หรือ การส่งเสริมการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ (Promotion of Electricity Energy Efficiency) โดยการใช้ทรัพยากรพลังงานอย่างเหมาะสม (optimizing energy resources) เพื่อหลีกเลี่ยงหรือชะลอการ สร้างโรงไฟฟ้าใหม่ ทำให้กำลังผลิตของระบบสามารถให้บริการต่อผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ได้มากขึ้น โดยผู้ใช้ไฟฟ้ายังคงได้รับประโยชน์หรือความพึงพอใจเท่าเดิมหรือมากกว่า [5] แนวทางที่จะช่วยในการบริหารการใช้พลังงานไฟฟ้าประกอบด้วย

1. การสร้างความยืดหยุ่นในการนำพลังงานมาใช้ เช่น การใช้โซลูชันการกักเก็บพลังงานและการใช้ระบบโรงไฟฟ้าเสมือน (Virtual Power Plants : VPP)
2. การปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานให้เป็นดิจิทัล ซึ่งสามารถทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ IoT (Internet of Things) เซ็นเซอร์ และซอฟต์แวร์ควบคุม
3. การนำการจัดการพลังงานไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Electrification) มาใช้ในการดำเนินงานให้ครอบคลุมทุกกระบวนการทำงาน มี 2 ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่ ความเป็นไปได้ที่จะนำพลังงานสะอาด ซึ่งไม่มีการปล่อยคาร์บอนสู่สิ่งแวดล้อมมาป้อนเข้าสู่สถานประกอบการอุตสาหกรรม อาทิ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ และ การจัดการพลังงานของสถานประกอบการอุตสาหกรรม เช่น การจัดการความต้องการใช้พลังงานด้วยซอฟต์แวร์ เป็นต้น

การจัดการพลังงานไฟฟ้าอัจฉริยะ มีผลต่อการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อจัดการการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจะทำให้สามารถเพิ่มการใช้พลังงานสะอาด ซึ่งผลิตไฟฟ้าได้โดยไม่ก่อมลภาวะ แทนที่การผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีแบบเดิม เช่น เครื่อง

กำเนิดไฟฟ้าพลังงานดีเซลที่มีการก่อกมลภาวะสูง เพิ่มโอกาสใหม่ ๆ ในการนำพลังงานไฟฟ้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาปรับใช้อย่างมีประสิทธิภาพ การจ่ายพลังงานไฟฟ้าอย่างชาญฉลาดให้กับเครื่องจักร และ/หรืออุปกรณ์ โดยเริ่มจากแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้า (Energy Supply) ไปจนถึงการใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy Consumption) เช่น ความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากหลายแหล่งพลังงาน ไม่ว่าจะเป็นแหล่งพลังงานจากถ่านหินแบบดั้งเดิม รวมไปถึงพลังงานทดแทน (Renewable Energy อาทิ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม หรือพลังงานน้ำ [6])

ระบบการจัดการพลังงาน

ระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System: EMS) เป็นระบบอัตโนมัติที่นำเข้ามาใช้ในการควบคุมการผลิต การส่งพลังงาน รวมถึงการใช้พลังงานเป็นไปอย่างเหมาะสมที่สุด มีการทำงานประสานกันระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) สมาร์ทมิเตอร์ (Smart Meter) และระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติ (Actuator หรือ Controller) บนโครงสร้างของระบบเทคโนโลยีและสารสนเทศ (Information Technology: IT) รวมถึงสามารถควบคุมเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่จะเข้ามามีส่วนในระบบไฟฟ้ามากขึ้น เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนและระบบกักเก็บพลังงาน เป็นต้น ระบบบริหารจัดการพลังงานจะรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ ที่กระจายตัวอยู่ทั่วไป เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์หรือระบบต่าง ๆ ในช่วงเวลานั้นได้ ระบบที่มีขีดความสามารถในระดับที่สูงขึ้นจะสามารถเชื่อมโยงข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น สภาพอากาศ ราคาไฟฟ้าในช่วงเวลาต่าง ๆ จากหน่วยงานด้านการไฟฟ้า เป็นต้น โดยข้อมูลที่ได้จะถูกนำมารวมศูนย์ในส่วนกลางเพื่อการแสดงผลอย่างเป็นระบบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความเข้าใจพฤติกรรมการใช้พลังงานของตนเองมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้สามารถระบุแนวทางหรือศักยภาพที่เป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานให้เหมาะสม นอกจากนี้ ระบบจะใช้ข้อมูลที่รวบรวมมาในการประมวลผลและวิเคราะห์ผล เพื่อหาแนวทางการบริหารจัดการพลังงานที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดในเชิงเศรษฐศาสตร์ บริหารจัดการพลังงานให้เกิดผลการประหยัดในเชิงการเงิน หรือจุดที่เหมาะสมที่สุดในเชิงพลังงาน โดยบริหารจัดการพลังงานให้เกิดผลประหยัดหน่วยการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด ในบางกรณีรวมถึงการงดใช้พลังงานหรือการลดการใช้พลังงานให้เหลือน้อยที่สุด โดยไม่ทำให้ความสามารถในการทำงานหรือผลิตภาพ (Productivity) ลดลง และไม่ก่อให้เกิดผลเสียทางสุขภาพใด ๆ กับผู้ที่อาศัยหรือทำงานอยู่ในพื้นที่นั้น ๆ ระบบสามารถทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าได้โดยตรงแม้จะ

ไม่ได้อยู่ในสถานที่นั้น ๆ โดยผ่านทางอุปกรณ์เคลื่อนที่และอินเทอร์เน็ต เช่น สามารถกำหนดการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า ผ่านทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ [7]

ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร

ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management System: BEMS) จะรับข้อมูลเพื่อประมวลผลและควบคุมประสานการทำงานระหว่างอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานในบ้านหรืออาคาร เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System) ระบบชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า (EV Charging) เป็นต้น ชีตความสามารถของ BEMS ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของระบบ บางระบบสามารถวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ในการทำงานร่วมกันระหว่างระบบต่าง ๆ ได้ตามเป้าหมายที่ผู้ใช้กำหนด เช่น ควบคุมให้เกิดค่าไฟฟ้าน้อยที่สุด ควบคุมให้ใช้พลังงานหมุนเวียนได้เต็มที่มากที่สุด เป็นต้น นอกจากนี้ บางระบบอาจมีการนำระบบพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน (RE Forecast) เป็นองค์ประกอบ เพื่อช่วยให้การบริหารจัดการพลังงานในอาคารมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากที่สุด

BEMS เป็นส่วนหนึ่งของระบบบริหารจัดการอาคาร (Building Management System) หรือครอบคลุมการบริหารจัดการระบบอื่น ๆ ด้วย เช่น ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบสื่อสาร ระบบอัตโนมัติต่าง ๆ เป็นต้น ช่วยสนับสนุนการดำเนินการตอบสนองด้านโหลดแบบอัตโนมัติ (Automated Demand Response) ได้ โดยมีการต่อเชื่อมการสื่อสารระหว่างระบบ BEMS ในอาคารกับระบบสั่งการของผู้ใช้งาน ซึ่งระบบคอมพิวเตอร์ส่วนกลางของอาคารทำหน้าที่รวบรวมข้อมูล ติดตามสถานการณ์ทำงาน วิเคราะห์และสั่งการระบบต่าง ๆ ที่มีการใช้พลังงานของอาคาร โดยมีเป้าหมายเพื่อควบคุมสั่งการให้การใช้พลังงานในอาคารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยประสานการทำงานของระบบต่าง ๆ เป็นไปอย่างสอดคล้องในทิศทางเดียวกัน สามารถแสดงผลการใช้พลังงานของระบบต่าง ๆ แบบช่วงเวลาจริง (Real time) ให้แก่ผู้ดูแลอาคาร ทำให้ทราบได้ถึงสถานะการใช้พลังงานที่เป็นอยู่ในปัจจุบันและในอดีตที่ผ่านมา ผู้ดูแลอาคารสามารถดึงข้อมูลย้อนหลังมาวิเคราะห์ได้โดยสะดวก ควบคุมการใช้พลังงานในอาคารได้ โดยอาจทำให้ผู้ดูแลอาคารสามารถควบคุมระบบต่าง ๆ ได้จากระยะไกล (Remote control) นอกจากนี้ ผู้ควบคุมอาคารสามารถตั้งโปรแกรมให้ BEMS ทำการควบคุมระบบต่าง ๆ โดยอัตโนมัติได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด เช่น การกำหนดพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Demand Control)

เป็นต้น ช่วยในการดำเนินการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response: DR) ได้ โดยสามารถที่จะสื่อสารกับระบบบริหารจัดการด้านการดำเนินการตอบสนองด้านโหลดของการไฟฟ้าได้ [8]

การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทางเลือก

ในงานวิจัยนี้มีการใช้พลังงานทางเลือกที่มีอยู่ในสวนพลังงาน ของมหาวิทยาลัยราชภัฏ กำแพงเพชร เพื่อใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ประกอบด้วย

1. พลังงานแสงอาทิตย์

แผงเซลล์โซลาร์เซลล์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นสามารถนำไปใช้งานตรงกับอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทกระแสตรงหรือส่งไปยังเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ซึ่งทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป แบ่งเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1.1 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แบบออนกริด (On Grid System) เป็นระบบการผลิตไฟฟ้าจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วไปเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายไฟของการไฟฟ้านครหลวง หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และสามารถนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปขายให้การไฟฟ้าหรือนำมาใช้งานเอง (Self-consumption) ได้

1.2 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แบบอิสระ/ออฟกริด (Off Grid System) เป็นระบบการผลิตไฟฟ้าจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้กำเนิดพลังงานไฟฟ้ารายใหญ่ในประเทศ โดยแยกออกมาเพื่อผลิตไฟฟ้าใช้เองเท่านั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ระบบไฟฟ้ากระแสตรง ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

1.3 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ แบบไฮบริด (Hybrid System) เป็นระบบที่ผสมผสานระหว่างแบบออนกริดและแบบออฟกริด คือมีแบตเตอรี่สำรองเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ ในเวลาที่ไม่ได้มีแสงอาทิตย์ หากยังต้องการใช้ไฟฟ้า จะนำไฟฟ้าจากกริดมาใช้งาน

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

1.3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Modules/Panel) แผงเซลล์ผลิตจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เป็นหัวใจหลักของระบบ จำนวนแผงโซลาร์เซลล์ที่ต้องการใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยความต้องการทางพลังงาน แบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1) เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Monocrystalline) ประสิทธิภาพสูงสุด 15-25% ราคาสูงเนื่องจากต้องใช้ซิลิกอนบริสุทธิ์ในการผลิต สีส้มดำเสมอทั้งแผ่น

2) เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกกรม (Polycrystalline) เป็นชนิดที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ประสิทธิภาพ 13-16% เนื่องจากราคาถูกกว่าแบบผลึกเดี่ยว ลักษณะของแผงมีสีไม่สม่ำเสมอทั้งแผ่นเนื่องจากผลึกมีการเรียงตัวกันอย่างไม่สมบูรณ์

3) เซลล์แบบชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) บางชนิดสามารถม้วนงอได้ มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด 5-8% อายุการใช้งานสั้น เหมาะกับการทำงานที่สภาวะอุณหภูมิสูงมากกว่าชนิดอื่น ราคาถูก สามารถทำงานได้ดีในที่มีความเข้มแสงต่ำ มีหมอก ฝนตกชุก

1.3.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นกลไกที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่ผลิตโดยแผงโซลาร์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

1.3.3 ระบบการมอนิเตอร์ (Monitor) แสดงการสร้างกระแสไฟฟ้าต่อชั่วโมง ระบบสามารถบอกการเปลี่ยนแปลงในประสิทธิภาพการทำงานที่เกิดขึ้นได้ และช่วยตรวจสอบปริมาณพลังงานไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ที่ผลิตได้และที่เหลือใช้ส่งคืนไปยังระบบโครงข่ายไฟฟ้าของรัฐ

1.3.4 แบตเตอรี่ (Battery) กรณีประเภทระบบอิสระ จะช่วยเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าที่ระบบโซลาร์เซลล์ผลิตได้ในตอนกลางวันเพื่อนำไปใช้ในภายหลัง หรือกักเก็บไว้ใช้ตอนกลางคืนในกรณีที่ไม่มีไฟฟ้าใช้

1.3.5 แผงเบรกเกอร์ (Breaker) เป็นการป้องกันไม่ให้เครื่องใช้ไฟฟ้าในวงจรใช้ไฟฟ้ามากเกินไป ซึ่งอาจนำไปสู่การเกิดเหตุอันตรายได้ หากมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสูงเกินไป เบรกเกอร์จะขาดทำให้ไฟถูกตัดอัตโนมัติ [9]

1.3.6 โซลาร์ชาร์จเจอร์ (Solar charge controller) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณสมบัติควบคุมการชาร์จไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ลงสู่แบตเตอรี่ เพื่อเก็บกระแสไฟฟ้ามาใช้งานตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งโซลาร์ชาร์จเจอร์ทั่วไป จะมีหลักการทำงานหรือหน้าที่จ่ายกระแสไฟเมื่อแรงดันแบตเตอรี่อยู่ในระดับต่ำ และทำการตัดการจ่ายกระแสไฟเพื่อไปประจุยังแบตเตอรี่เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่อยู่ในระดับที่สูงตามที่ได้กำหนดไว้เหมือนกัน เพื่อป้องกันการ Over Charge ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายและเสื่อมอายุ [10]

2. พลังงานลม

พลังงานลมเกิดจากพลังงานจากดวงอาทิตย์ตกกระทบโลกทำให้อากาศร้อนและลอยตัวสูงขึ้น อากาศจากบริเวณอื่นซึ่งเย็นและหนาแน่นมากกว่าจึงเข้ามาแทนที่ การเคลื่อนที่ของอากาศเป็นสาเหตุให้เกิดลมและมีอิทธิพลต่อสภาพลมฟ้าอากาศในบางพื้นที่ของประเทศ

ไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวฝั่งทะเลอันดามันและด้านทะเลจีน (อ่าวไทย) สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความเร็วลมและกำลังลม ปัจจุบันได้ให้ความสำคัญและนำพลังงานจากลมมาใช้ประโยชน์มากขึ้นเนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไปไม่ต้องซื้อหาเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อมและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จักหมดสิ้นศักยภาพของพลังงานลมที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้สำหรับประเทศไทยมีความเร็วอยู่ระหว่าง 3-5 เมตรต่อวินาที และความเข้มพลังงานลมที่ประเมินไว้ได้อยู่ระหว่าง 20-50 วัตต์ต่อตารางเมตร

เทคโนโลยีกังหันลม คือ เครื่องจักรกลที่สามารถรับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกลได้ จากนั้นนำพลังงานกลมาใช้ประโยชน์โดยตรง เช่น การบดสีเมล็ดพืช การสูบน้ำ หรือในปัจจุบันใช้ผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า การพัฒนากังหันลมเพื่อใช้ประโยชน์มาตั้งแต่ชนชาวอียิปต์โบราณและมีความต่อเนื่องถึงปัจจุบัน โดยการออกแบบกังหันลมจะต้องอาศัยความรู้ทางด้านพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมศาสตร์ในแขนงต่าง ๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด กังหันลม แบ่งออกตามลักษณะการจัดวางแกนของใบพัดได้ 2 รูปแบบ คือ

1. กังหันลมแนวตั้ง (Vertical Axis Turbine (VAWT)) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ
2. กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Turbine (HAWT)) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม

เทคโนโลยีกังหันลมมีส่วนประกอบดังนี้

1. กังหันลมเพื่อสูบน้ำ (Wind Turbine for Pumping) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกลเพื่อใช้ในการชักหรือสูบน้ำจากที่ต่ำขึ้นที่สูงเพื่อใช้ในการเกษตร การทำนาเกลือ การอุปโภคและการบริโภค ปัจจุบันมีใช้อยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบระหัดและแบบสูบชัก

2. กังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้า (Wind Turbine for Electric) เป็นกังหันลมที่รับพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล จากนั้นนำพลังงานกลมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันมีการนำมาใช้งานทั้งกังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine) และกังหันลมขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine) [11]

3. แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี (electrochemical cell) ตั้งแต่นั้นหนึ่งเซลล์ขึ้นไป โดยแต่ละเซลล์มีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า จึงสามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีที่มี

สะสมเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ เซลล์ไฟฟ้าเคมี (electrochemical cell) ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า (electrode) อย่างน้อยสองขั้วที่ทำจากวัสดุที่นำไฟฟ้าและอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นของเหลวเมื่อมีการต่อขั้วทั้งสองขั้วของเซลล์ไฟฟ้าเคมีด้วยตัวนำไฟฟ้า เช่น สายไฟ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งโดยทิศทางการเคลื่อนที่จะขึ้นกับสมบัติของขั้วไฟฟ้าและอิเล็กโทรไลต์ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างต่อเนื่องระหว่างขั้วทั้งสองของเซลล์ไฟฟ้าเคมีผ่านตัวนำ ทำให้เกิด "กระแสไฟฟ้า" ที่นำไปใช้งานได้ นอกจากนี้จะประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีการต่อกันแล้ว ยังมีตัวแบ่ง (separator) ทำหน้าที่คั่นระหว่างขั้วไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่นำมาต่อกันเพื่อไม่ให้เกิดปฏิกิริยากัน ดังนั้น โดยสรุปองค์ประกอบหลักของแบตเตอรี่มี 4 องค์ประกอบหลัก ได้แก่

1. ขั้วลบ หรือ แอโนด (anode) เป็นขั้วที่เมื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับอิเล็กโทรไลต์แล้วจะให้อิเล็กตรอน

2. ขั้วบวก หรือ แคโทด (cathode) เป็นขั้วที่เมื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับอิเล็กโทรไลต์แล้วจะเกิดสมบัติในการดึงดูดอิเล็กตรอน

3. อิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) เป็นสารที่อาจอยู่ในสถานะใดก็ได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารละลายที่ประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุที่พร้อมเคลื่อนที่หรือนำกระแสไฟฟ้า

4. ตัวแบ่ง (separator) เป็นวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าทำหน้าที่แบ่งคั่นระหว่างขั้วสองขั้ว [12] ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System: BESS) เป็นระบบกักเก็บพลังงานที่ใช้แบตเตอรี่มาเป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบ โดยแบตเตอรี่จะทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานส่วนเกินจากระบบส่งด้วยการกักเก็บประจุไว้ในแบตเตอรี่ในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำเพื่อนำมาใช้จ่ายไฟในช่วงเวลาที่ต้องการ ช่วยลดปัญหาความไม่สม่ำเสมอของการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน ซึ่งระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะช่วยลดความผันผวนของกระแสไฟฟ้าและทำให้ระบบสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มั่นคงและต่อเนื่องยิ่งขึ้น [13]

4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เริ่มมีความสำคัญต่อผู้ประกอบการในธุรกิจต่าง ๆ มากขึ้น รวมถึงความนิยมใช้ในบ้านเรือน สามารถสำรองไฟฟ้าไว้ใช้ในช่วงเกิดปัญหาใด ๆ กับไฟฟ้าเมนหลัก จะมีการเชื่อมต่อกับเครื่องปั่นไฟ เพื่อยังคงสามารถใช้งานไฟฟ้าได้ตามปกติ สามารถป้องกันความเสียหายในหลายด้านเป็นอย่างดี [14] การใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกต้องแบบให้ใช้งานอย่างเหมาะสมในแต่ละสถานที่ ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซล ขนาด 2 กิโลวัตต์

ระบบไมโครกริด (Microgrid)

ระบบไมโครกริด (Microgrid) คือ ระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่มีการรวมระบบผลิตไฟฟ้า จ่ายไฟฟ้าและควบคุมสั่งการเข้าไว้ด้วยกัน สามารถทำงานประสานเชื่อมกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลัก และยังสามารถทำงานแยกตัวอิสระได้ โดยหลักการสำคัญของระบบไมโครกริด คือ การสร้างความสมดุลระหว่างการผลิตพลังงานให้พอดีกับความต้องการใช้พลังงานภายในโครงข่ายไมโครกริด และใช้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลักเพื่อเสริมความมั่นคงเท่านั้น ซึ่งประโยชน์ที่สำคัญของระบบไมโครกริด คือ การเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) ทางไฟฟ้าภายในระบบไมโครกริดนั้น ๆ โดยเฉพาะกรณีเกิดปัญหาขัดข้องของขึ้นกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลัก นอกจากนี้ยังช่วยลดการสูญเสียไฟฟ้าในระบบส่งและระบบจำหน่ายได้จากการส่งไฟฟ้าเป็นระยะทางไกล สามารถรักษาการจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดวิกฤต (Critical Load) และโหลดที่มีความสำคัญบางส่วนได้ เช่น โรงพยาบาล สถานที่ตั้งทางการทหาร ท่าอากาศยาน เป็นต้น ระบบไมโครกริดจึงต้องมีแหล่งผลิตไฟฟ้าเป็นของตนเอง และระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System: ESS) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีสำคัญที่สามารถช่วยสนับสนุนการทำงาน และการควบคุมระบบไมโครกริด [15]



ภาพ 2 ระบบไมโครกริด

ที่มา: Michael Stadler / LBNL / US Department of Energy, ม.ป.ป.

ไมโครกริดและโปรซูเมอร์มีรูปแบบการใช้งานที่หลากหลาย เช่น ไมโครกริดแบบอัตโนมัติ (Autonomous Full Service; AF) ซึ่งเป็นไมโครกริดในพื้นที่ off-grid หรือพื้นที่ห่างไกลที่เน้นไปที่การเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy; RE) และมีการบริหารจัดการแบบอัตโนมัติและครอบคลุมการให้บริการ 24 ชั่วโมง 7 วัน อีกทั้งยังรวมถึงโปรซูเมอร์ (Prosumer) ซึ่งจะเป็นผู้ผลิตพลังงานที่อยู่กระจัดกระจายในกลุ่มบ้านอยู่อาศัยหรืออาคารต่าง ๆ ส่วนโครงข่ายไมโครกริด (Community Microgrid ;CM) จะเป็นไมโครกริดในพื้นที่ on-grid ระดับชุมชน ที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลักมาจากพลังงานหมุนเวียน และรองรับการบริหารจัดการโหลดที่มีความผันผวน (Variable load) จากยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ซึ่งจะเกิดขึ้นในชุมชนต่าง ๆ ได้ และไมโครกริดในกลุ่มอุตสาหกรรม (Industrial Microgrid; IM) ซึ่งจะเป็นไมโครกริดในพื้นที่ on-grid ระดับอุตสาหกรรม ที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลักมาจากพลังงานหมุนเวียน และรองรับโหลดที่ต้องการความเชื่อถือได้สูง (High reliable load) ทั้งนี้ จากรูปแบบการใช้งานที่หลากหลาย ทำให้ไมโครกริดและโปรซูเมอร์มีผู้ใช้งานตั้งแต่ ระดับครัวเรือน ไปจนถึงกลุ่ม อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย อาคารของรัฐและเอกชน ซึ่งในภาพรวมผู้ใช้งานในระดับดังกล่าวมีความสำคัญต่อการรักษาความมั่นคงของการผลิตพลังงานในระดับประเทศเช่นเดียวกัน [15]

การตอบสนองด้านโหลด (Demand Response)

เป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและรูปแบบการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งอยู่ทางด้านอุปสงค์ (Demand) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองต่อความจำเป็นที่เกิดขึ้นในการบริหารจัดการระบบไฟฟ้า หรือการเปลี่ยนแปลงราคาไฟฟ้าในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ หรือต่อผลตอบแทน (Incentive) ที่ออกแบบมาเพื่อโน้มน้าวให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนหรือลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ราคาไฟฟ้าสูง หรือในขณะที่มีความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาวะผิดปกติ โดยมีรูปแบบการสั่งการ 3 แบบ ดังนี้

1. ระบบสั่งการด้วยคน (Manual Demand Response System) สั่งการด้วยคนในทุกขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การสั่งการของผู้ดูแลระบบมายังผู้จำหน่ายไฟฟ้า จนถึงผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านช่องทางการสื่อสารต่าง ๆ ได้แก่ จดหมายโทรศัพท์ หรือไปรษณีย์ อีเล็กทรอนิกส์ โดยเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับคำสั่งหรือการร้องขอจะพิจารณาตัดสินใจ การเข้าร่วมตอบสนองด้านโหลดในระดับใด และเลือกใช้อุปกรณ์หรือวิธีการดำเนินการอย่างไร จากนั้นจึงสั่งการไปยังผู้ที่ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ให้ปิดหรือปรับการควบคุมการทำงานเพื่อลดการใช้ไฟฟ้า

2. ระบบสั่งการแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automated Demand Response System) สั่งการด้วยระบบอัตโนมัติจากผู้ดูแลระบบผ่านผู้จำหน่ายไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า โดยผู้ใช้ไฟฟ้าจะเป็นผู้พิจารณาเลือกวิธีการดำเนินการ ทั้งนี้ ในการดำเนินการผู้ดูแลระบบจะอาศัยเทคโนโลยีระบบบริหารจัดการพลังงานหรือการเชื่อมต่อข้อมูลต่าง ๆ ในการส่งคำสั่งหรือแจ้งการสั่งการไปยังหน้ามิเตอร์ของผู้ใช้ไฟฟ้า เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับคำสั่งหรือการร้องขอ จะพิจารณาตัดสินใจเข้าร่วมตอบสนองทางด้านโหลดต่อไป

3. ระบบสั่งการแบบอัตโนมัติ (Automated Demand Response System) สั่งการแบบอัตโนมัติในทุกขั้นตอน โดยระบบคอมพิวเตอร์ส่วนกลางจะติดตามสถานะของระบบโครงข่ายไฟฟ้า สถานการณ์ผลิตไฟฟ้า และสถานการณ์ใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เมื่อระบบประเมินแล้วเห็นความเสี่ยงที่ระดับความเชื่อมั่นของระบบไฟฟ้าต่ำกว่าเกณฑ์ หรือประเมินเห็นความจำเป็นในการบริหารจัดการโหลด เพื่อลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้า ระบบก็จะออกคำสั่งร้องขอการตอบสนองด้านโหลด ผ่านระบบสื่อสารไปยังระบบควบคุมของผู้ใช้ไฟฟ้า เพื่อปิดหรือปรับการทำงานของกระบวนการผลิตหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ โดยอัตโนมัติ ส่วนผู้ดูแลระบบจะทำงานเพียงตรวจสอบติดตามการทำงานของระบบอัตโนมัติเท่านั้น [15]

ไอแลนด์โหมด (Island Mode)

เป็นโหมดหนึ่งของระบบไมโครกริด (Microgrid) ซึ่งไอแลนด์โหมดเป็นระบบที่แยกตัวเป็นอิสระจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลัก อยู่ในพื้นที่ห่างไกลไม่ได้มีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลัก จะมีพฤติกรรมลักษณะเฉพาะของตนเองขึ้นอยู่กับลักษณะของโหลดไฟฟ้าที่มีในระบบนั้น ๆ รวมถึงแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่มีในระบบ ไอแลนด์โหมดสามารถกำหนดคุณภาพของไฟฟ้า ความมั่นคงของไฟฟ้า และความเชื่อถือได้ของไฟฟ้าที่ต้องการ สามารถลดการสูญเสียพลังงานในสายส่งและสายจำหน่าย เนื่องจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและโหลดไฟฟ้าตั้งอยู่ในพื้นที่เดียวกัน สามารถลดค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงสายส่งได้ นอกจากนี้การที่โหลดไฟฟ้าอยู่ใกล้กับระบบผลิตไฟฟ้าสามารถจัดการต้นทุนการผลิตไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ได้ กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่เป็นเป้าหมายและเหมาะสมในการพัฒนาระบบไอแลนด์โหมด มีอยู่ด้วยกันหลายกลุ่ม เช่น สถาบันการศึกษา สถาบันวิจัย โรงพยาบาล มหาวิทยาลัย สถานทัพบกทหาร ชุมชนที่อยู่นอกโครงข่ายไฟฟ้าหลัก เป็นต้น ไอแลนด์โหมดสามารถทำงานร่วมกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานทดแทน และระบบกักเก็บพลังงานซึ่งช่วยในการบริหารสมดุลพลังงานในพื้นที่นั้นๆ ส่งเสริมความหลากหลายในการใช้พลังงานประเภทต่างๆ

มากยิ่งขึ้น รวมถึงส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือ สามารถนำไปสู่ระบบการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ยั่งยืน [53]

อัลกอริทึม (Algorithm)

ความหมายอัลกอริทึม (Algorithm) คือ ขั้นตอนในการแก้ปัญหาอย่างมีขั้นตอนซึ่งจะมีเป้าหมายและมีแนวทางในการปฏิบัติอย่างชัดเจนโดยมีเป้าหมายที่ตั้งไว้ก็คือการแก้ปัญหานั้น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1. ชนิดของอัลกอริทึม (Algorithm)

1.1 อัลกอริทึมแบบแตกย่อย (Divide-and-conquer)

เป็นอัลกอริทึมที่จะมีการนำปัญหาหลักที่ได้มาทำการแยกออกเป็นปัญหาย่อย ๆ แล้วนำคำตอบที่ได้จากปัญหาย่อยต่าง ๆ มารวมกันเข้าด้วยกันโดยอัลกอริทึมนี้สามารถหาคำตอบของปัญหาได้ง่ายขึ้นจากการรวมคำตอบของปัญหาหลัก

1.2 อัลกอริทึมแบบเคลื่อนที่ (Dynamic Programming)

ปัญหาที่ได้รับมานั้นบางครั้งไม่สามารถแบ่งปัญหาออกเป็นปัญหาย่อย ๆ ได้ ซึ่งถ้าพยายามจะแบ่งปัญหานั้น ๆ ออกเป็นปัญหาย่อยที่เล็กที่สุด อัลกอริทึมก็อาจจะใช้เวลาทำงานเป็นแบบทวีคูณ (Exponential) ได้ แต่เวลาที่แก้ปัญหานั้น ๆ นั้น มักจะพบว่าบางครั้งต้องแก้ปัญหาย่อย ๆ ที่เหมือนกันซ้ำไปซ้ำมา โดยการหลีกเลี่ยงการคำนวณเพื่อหาคำตอบซ้ำ ๆ ซาก ๆ นี้ จะใช้ Dynamic Programming แก้ปัญหาย่อย ๆ เหล่านั้นเพียง ครั้งเดียวแล้วเก็บผลลัพธ์ไว้ ซึ่งถ้าหากพบว่าต้องมีการแก้ปัญหาย่อยนั้นซ้ำอีกก็สามารถนำคำตอบมาจากคำตอบที่เคยคำนวณเก็บไว้มาใช้ได้

1.3 อัลกอริทึมแบบทางเลือก (Greedy Algorithm)

เป็นอัลกอริทึมที่จะหาคำตอบโดยการเลือกทางออกที่ดีที่สุดที่พบได้ในขณะนั้น เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่ในบางครั้ง Greedy Algorithms อาจจะไม่สามารถหาคำตอบของปัญหาที่ดีที่สุดได้เสมอไป [16]

2. หลักการเขียนอัลกอริทึม

2.1 กระบวนการสำคัญเริ่มต้นที่จุดจุดเดียวในการมีจุดเริ่มต้นหลายที่จะทำให้กระบวนการวิธีสับสน จนในที่สุดอาจทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ไม่ตรงกับความต้องการ หรืออาจทำให้อัลกอริทึมนั้นไม่สามารถทำงานได้เลย

2.2 กำหนดการทำงานเป็นขั้นเป็นตอนอย่างชัดเจน การกำหนดอัลกอริทึมที่ดีควรมีขั้นตอนที่ชัดเจนไม่คลุมเครือ เสร็จจากขั้นตอนหนึ่ง ไปยังขั้นตอนที่สองมีเงื่อนไขการทำงานอย่างไร ควรกำหนดให้ชัดเจน

2.3 การทำงานแต่ละขั้นตอนควรสั้นกระชับ เพราะการกำหนดขั้นตอนการทำงานให้สั้นกระชับนอกจากจะทำให้โปรแกรมทำงานได้รวดเร็วแล้ว ยังเป็นประโยชน์ต่อผู้อื่นที่มาพัฒนาโปรแกรมต่อยอดเพราะสามารถศึกษาอัลกอริทึมจากโปรแกรมที่เขียนไว้ได้ง่าย

2.4 ผลลัพธ์ในแต่ละขั้นตอนควรต่อเนื่องกัน การออกแบบขั้นตอนที่ดีนั้นผลลัพธ์จากขั้นตอนแรกควรเป็นข้อมูลสำหรับนำเข้าไปให้กับข้อมูลในขั้นต่อไป ต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

2.5 การออกแบบอัลกอริทึมที่ดี ควรออกแบบให้ครอบคลุมการทำงานในหลายรูปแบบ เช่น การออกแบบโดยคิดว่าล่วงหน้าว่าหากผู้ใช้โปรแกรมป้อนข้อมูลเข้าผิดประเภท โปรแกรมจะมีการเตือนว่าผู้ใช้งานมีการใส่ข้อมูลที่ผิดประเภทโดยโปรแกรมจะไม่รับข้อมูลนั้น เพื่อให้ใส่ข้อมูลใหม่อีกครั้ง เพื่อป้องกันการเกิดจุดบกพร่องของโปรแกรมได้ [17]

3. รูปแบบการเขียนอัลกอริทึม

การเขียนอัลกอริทึมมีหลายรูปแบบ โดยผู้เขียนสามารถใช้อัลกอริทึมหลายรูปแบบประกอบกันในการออกแบบอัลกอริทึมนั้น เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการเขียนโปรแกรมได้

3.1 แบบลำดับ (Sequential) มีลักษณะการทำงานจะเป็นไปตามขั้นตอน ก่อน-หลัง ต่อเนื่องกันไปเป็นลำดับ โดยการทำงานแต่ละขั้นตอนต้องทำให้เสร็จก่อน แล้วจึงไปทำขั้นตอนต่อไป

3.2 แบบทางเลือก (Decision) อัลกอริทึมรูปแบบนี้ มีเงื่อนไขเป็นตัวกำหนดเส้นทางการทำงานของกระบวนการแก้ปัญหา โดยตัวเลือกนั้นอาจจะมีตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป เช่น สอบข้อเขียน คะแนนเต็ม 50 ได้คะแนน 30 สอบผ่าน ถ้าต่ำกว่า 30 สอบไม่ผ่าน

3.3 แบบทำซ้ำ (Repetition) อัลกอริทึมแบบนี้คล้ายกับแบบทางเลือก คือ มีการตรวจสอบเงื่อนไข แต่แตกต่างกันตรงที่เมื่อการทำงานตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด โปรแกรมจะกลับไปทำงานอีกครั้งจนการทำงานแบบนี้เรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่ตรงกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้จึงหยุดการทำงานหรือทำงานในขั้นต่อไป

4. เครื่องมือช่วยในการเขียนอัลกอริทึม

การเขียนอัลกอริทึม เป็นการวางแผนเกี่ยวกับการแก้ปัญหา โดยจะอธิบายการทำงานที่ชัดเจนเพื่อเป็นแนวทางในการเขียนโปรแกรม ช่วยให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายขึ้น ช่วยให้โปรแกรมมีข้อผิดพลาดน้อยลง นอกจากนี้ยังช่วยตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม

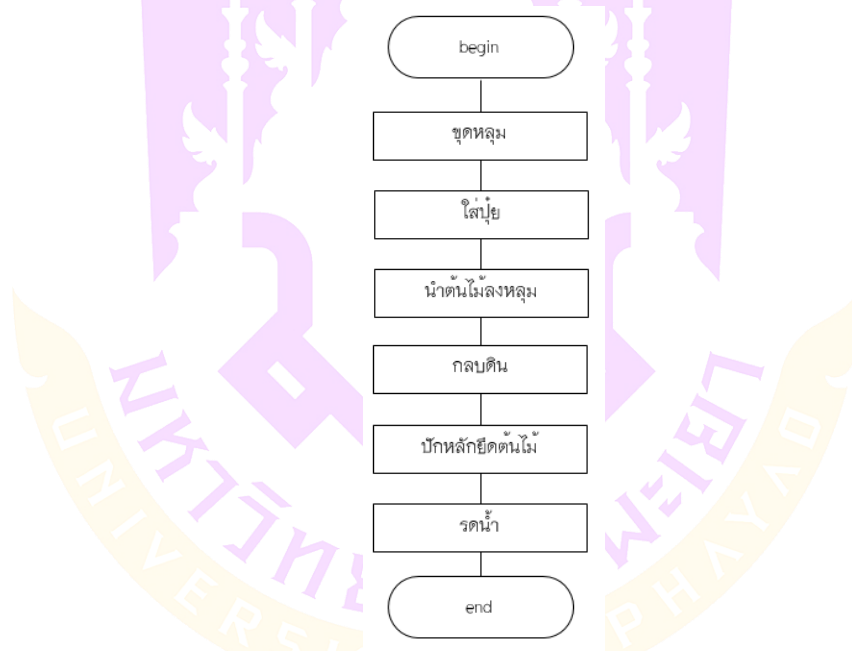
ทำให้ทราบขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องดูจากโปรแกรมจริง ในการเขียนอัลกอริทึม มีเครื่องมือช่วยในการเขียนที่นิยมใช้ 3 แบบ คือ

4.1 บรรยาย (narrative description)

เป็นการแสดงขั้นตอนการทำงานในลักษณะการบรรยายเป็นข้อความด้วย ภาษาพูดใด ๆ เช่น ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ ภาษาเกาหลี ภาษาญี่ปุ่น หรือ ภาษาจีน เป็นต้น ขึ้นอยู่กับความถนัดของผู้เขียนอัลกอริทึม มักเขียนบรรยายขั้นตอนการทำงานเป็นข้อ ๆ

4.2 ผังงาน (flowchart)

การเขียนอัลกอริทึมแบบผังงานจะแสดงขั้นตอนการทำงานในลักษณะของรูปภาพหรือสัญลักษณ์ ซึ่งเป็นสัญลักษณ์ที่เป็นมาตรฐาน ไม่อ้างอิงภาษาใดภาษาหนึ่ง ทำให้เห็นลำดับการทำงานก่อนหลังได้ชัดเจน เช่น การปลูกต้นไม้ แสดงขั้นตอนการปลูกต้นไม้ด้วย ผังงาน ดังภาพต่อไปนี้



ภาพ 3 ผังงานแสดงขั้นตอนการปลูกต้นไม้

ที่มา: <http://algorithm-elearning.esy.es/>

4.3 รหัสจำลอง (pseudo code)

เป็นการเขียนขั้นตอนการทำงานในลักษณะของคำอธิบายที่มีรูปแบบ โครงสร้างชัดเจน ไม่ขึ้นกับภาษาใดภาษาหนึ่ง แต่สามารถเปลี่ยนเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ได้ง่าย

ดังนั้นโครงสร้างส่วนใหญ่จึงนิยมใช้คำสั่งเฉพาะที่มีอยู่ในคอมพิวเตอร์เพื่อแทนการทำงานต่าง ๆ เช่น Read if Case หรือ While/Do เป็นต้น [18]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ อาดูโน (Arduino)

อาดูโน เป็นแพลตฟอร์มต้นแบบด้านอิเล็กทรอนิกส์แบบโอเพ่นซอร์ส (Open Source) ซึ่งใช้ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ยืดหยุ่นและใช้งานง่าย ความหมายของคำว่า Arduino แปลว่า เพื่อนแท้ (Strong friend หรือ Brave friend) ในภาษาอิตาลีโดยผู้ก่อตั้งมีความตั้งใจให้ราคาของอุปกรณ์ไม่แพงเมื่อเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller : MCU) ตระกูลอื่น ๆ สามารถเข้าถึงได้โดยง่ายแพลตฟอร์ม Arduino ได้ออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานง่ายผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างสถาปัตยกรรมภายในชิพ เพียงเข้าใจการใช้งานขาของบอร์ด Arduino ที่เลือกมา สามารถรันได้ในทุกระบบปฏิบัติการ เช่น แมคอินทอช วินโดวส์ หรือ ลินุกซ์ แพลตฟอร์ม Arduino ประกอบไปด้วย

1. ฮาร์ดแวร์(Hardware)

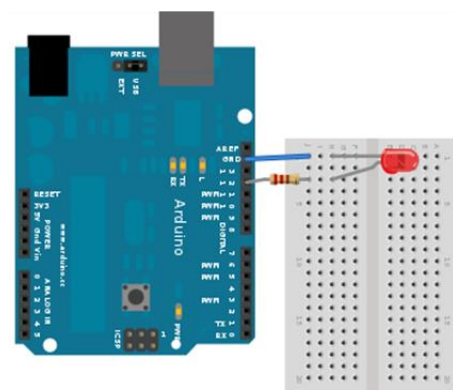
เป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นชิ้นส่วนหลัก ประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานหรือที่เรียกว่า “บอร์ด Arduino” โดยบอร์ด Arduino มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมของงาน ในแต่ละรุ่นมีความแตกต่างในขนาดของบอร์ด เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ , แรงดันไฟที่ใช้, ประสิทธิภาพของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นต้น

2. ซอฟต์แวร์ (Software)

เป็นภาษาที่ใช้เขียนโค้ดควบคุมบอร์ด Arduino เป็นภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมที่มีไวยากรณ์แบบเดียวกับภาษา C/C++ สามารถใช้ Arduino IDE เป็นเครื่องมือสำหรับเขียนโค้ดโปรแกรม การแปลงไฟล์ภาษาซีให้เป็นภาษาเครื่อง และอัปโหลดโปรแกรมลงบอร์ด [19]

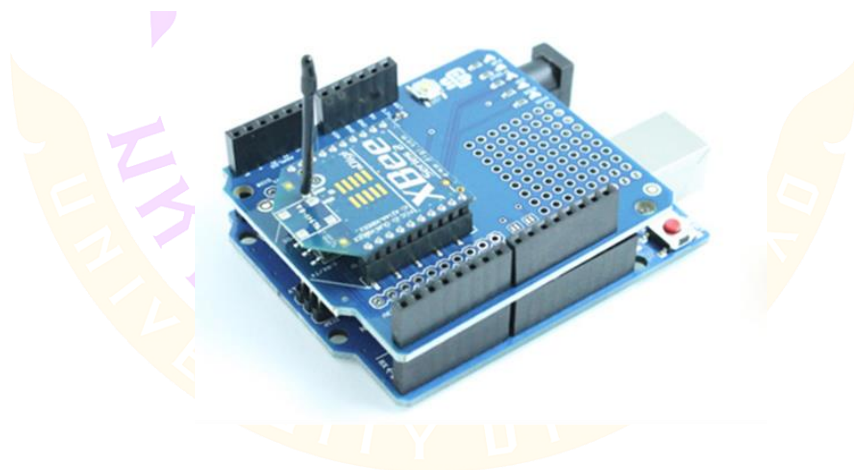
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบโอเพ่นซอร์ส คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ดอาดูโนถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่ายทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้ ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่าง ๆ สามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ดดังภาพ 4 หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield)

ประเภทต่าง ๆ ดังภาพที่ 5 เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้ [20]



ภาพ 4 แสดงบอร์ด Arduino ต่อกับ LED

ที่มา: Arduino, 2559



ภาพ 5 แสดงบอร์ด Arduino ต่อกับบอร์ด XBee Shield

ที่มา: Arduino, 2559

ในงานวิจัยนี้ ใช้อุปกรณ์บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2360 คือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาจาก ATmega 2560 มี 54 digital input/output โดยมี 14 ขา สามารถใช้เป็น output แบบ PWM ได้ มี analog inputs 16 ขา มี UARTs (hardware serial ports) 4 ขา ทำงานที่ความถี่ 16 MHz สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสายเคเบิล USB หรือใช้ adaptor AC-to-DC เพื่อเริ่มต้นใช้งาน แสดงดังภาพ 6 [21]



ภาพ 6 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560

ที่มา: บริษัท กราวีเทคไทย (ไทยแลนด์) จำกัด, ม.ป.ป.

เซนเซอร์วัดแรงดัน เป็น Single Phase Voltage Sensor โมดูล ใช้สำหรับวัด โวลต์ไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถวัดได้สูงสุด 250VAC จะมีสัญญาณที่ออกจากโมดูลเป็น สัญญาณอนาล็อก สามารถนำไปต่อเข้ากับขา ADC ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ Vref +5V ได้ทันที เช่น Arduino Uno, Mega, Leonardo มีวงจรขยายสัญญาณ สามารถปรับขนาดแอมพลิจูดของ สัญญาณเอาต์พุตได้จากการปรับตัวต้านทาน กรณีที่ไม่มีโพลดิ้งเซนเซอร์จะให้ไฟออกที่ค่าเริ่มต้น VCC/2 เช่น ถ้าไฟเลี้ยง 5V ไฟเอาต์พุตเริ่มต้นก็จะเป็น $5/2 = 2.5V$ ดังภาพ 7 [22]



ภาพ 7 เซนเซอร์วัดแรงดัน ZMPT101B Arduino

ที่มา: AllNewStep, ม.ป.ป.

รีเลย์ (Relay) ทำหน้าที่ตัดต่อวงจรคล้ายกับสวิตช์ โดยควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า Relay มีหลายประเภท ตั้งแต่ Relay ขนาดเล็กที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป หรือ Relay ขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานไฟฟ้าแรงสูง โดยมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป แต่มีหลักการการทำงานที่คล้ายคลึงกัน สำหรับการนำ Relay ที่นำไปใช้ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้ Relay Module 4 Channels มีเอาต์พุตคอนเน็คเตอร์ที่ Relay เป็น NO/COM/NC สามารถใช้กับโหลดได้ทั้งแรงดันไฟฟ้า DC และ AC โดยใช้สัญญาณในการควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณโลจิก TTL ดังภาพ 8 [23]



ภาพ 8 รีเลย์ (Relay)

ที่มา: ThaiEasyElec, ม.ป.ป.

ภายใน Relay จะประกอบไปด้วยขดลวดและหน้าสัมผัส ดังต่อไปนี้

1. หน้าสัมผัส NC (Normally Close) เป็นหน้าสัมผัสปกติปิด โดยในสภาวะปกติ หน้าสัมผัสนี้จะต่อเข้ากับขา COM (Common) และจะลอยหรือไม่สัมผัสกันเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด

2. หน้าสัมผัส NO (Normally Open) เป็นหน้าสัมผัสปกติเปิด โดยในสภาวะปกติจะลอยอยู่ ไม่ถูกต่อกับขา COM (Common) แต่จะเชื่อมต่อกันเมื่อมีกระแสไฟไหลผ่านขดลวด

3. ขา COM (Common) เป็นขาที่ถูกใช้งานร่วมกันระหว่าง NC และ NO ขึ้นอยู่กับว่า ขณะนั้นมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดหรือไม่ หน้าสัมผัสใน Relay 1 ตัวอาจมีมากกว่า 1 ชุด ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและลักษณะของงานที่นำไปใช้ [23]

จอแสดงผล LCD 2004A เป็นจอที่ทำมาจากผลึกคริสตอลเหลว หลักการทำงาน คือด้านหลังจอจะมีไฟส่องสว่าง หรือที่เรียกว่า Backlight อยู่ เมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปกระตุ้นที่ผลึก ก็จะทำให้ผลึกโปร่งแสง ทำให้แสงที่มาจากไฟ Backlight แสดงขึ้นมาบนหน้าจอ ส่วนอื่นที่โดนผลึกปิดกั้นไว้ จะมีสีที่แตกต่างกันตามสีของผลึกคริสตอล เช่น สีเขียว หรือ สีฟ้า ทำให้เมื่อมองไปที่จอก็จะพบกับตัวหนังสือสีขาว แล้วพบกับพื้นหลังสีต่างกัน จอ LCD แบ่งเป็น 2 แบบ ตามลักษณะการแสดงผลดังนี้

1. Character LCD เป็นจอที่แสดงผลเป็นตัวอักษรตามช่องแบบตายตัว เช่น จอ LCD ขนาด 16x2 หมายถึงใน 1 แถว มีตัวอักษรใส่ได้ 16 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัดให้ใช้งาน ส่วน 20x4 จะหมายถึงใน 1 แถว มีตัวอักษรใส่ได้ 20 ตัว และมีทั้งหมด 2 บรรทัด

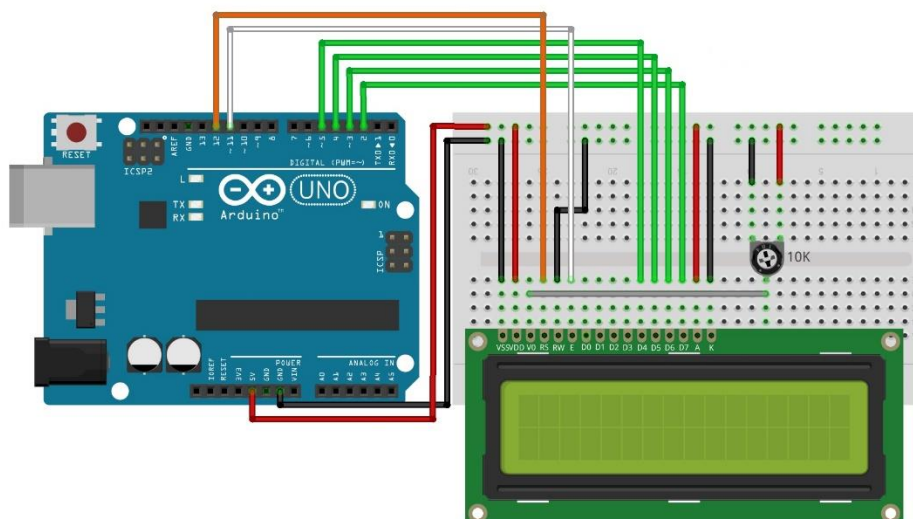
2. Graphic LCD เป็นจอที่สามารถกำหนดได้ว่าจะให้แต่ละจุดบนหน้าจอกันแสงหรือปล่อยแสงออกไป ทำให้จอนี้สามารถสร้างรูปขึ้นมาบนหน้าจอได้ การระบุขนาดจะระบุในลักษณะของจำนวนจุด (Pixels) ในแต่ละแนว เช่น 128x64 หมายถึงจอที่มีจำนวนจุดตามแนวนอน 128 จุด และมีจุดตามแนวตั้ง 64 จุด [24]



ภาพ 9 จอแสดงผล LCD 2004A

ที่มา: บริษัท อาร์ทรอน ซอป จำกัด, ม.ป.ป.

ในงานวิจัยนี้ใช้จอ Character LCD มีการเชื่อมต่อจะมีด้วยกัน 2 แบบ คือ (1) การเชื่อมต่อแบบขนานเป็นการเชื่อมต่อจอ LCD เข้ากับบอร์ด Arduino โดยตรง โดยจะแบ่งเป็นการเชื่อมต่อแบบ 4 บิต และการเชื่อมต่อแบบ 8 บิต ใน Arduino จะนิยมเชื่อมต่อแบบ 4 บิต เนื่องจากใช้สายในการเชื่อมต่อน้อยกว่า (2) การเชื่อมต่อแบบอนุกรม เป็นการเชื่อมต่อกับจอ LCD ผ่านโมดูลแปลงรูปแบบการเชื่อมต่อกับจอ LCD จากแบบขนาน มาเป็นการเชื่อมต่อแบบอื่นที่ใช้สายน้อยกว่า เช่น การใช้โมดูล I2C Serial Interface จะเป็นการนำโมดูลเชื่อมเข้ากับตัวจอ LCD แล้วใช้บอร์ด Arduino เชื่อมต่อกับบอร์ดโมดูลผ่านโปรโตคอล I2C ทำให้ใช้สายเพียง 4 เส้น ก็ทำให้หน้าจอแสดงผลข้อความต่าง ๆ ออกมาได้ การใช้งาน Character LCD กับ Arduino การเชื่อมต่อแบบขนาน สามารถต่อได้ตามวงจร ดังภาพที่ 10 [24]



ภาพ 10 การเชื่อมต่อแบบขนานของ Character LCD กับ Arduino

ที่มา: บริษัท อาร์ทรอน ซอป จำกัด, ม.ป.ป.

เศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

ระบบตลาดที่แข่งขันกันอย่างเสรีหรือระบบทุนนิยม (Capitalism) ตามหลักเศรษฐศาสตร์แบบดั้งเดิมนั้นมีการดึงเอาทรัพยากรธรรมชาติและพลังงานมาใช้ในการผลิตโดยไม่ได้ให้ความสำคัญต่อต้นทุนทางสิ่งแวดล้อมเท่าที่ควร เช่น อากาศ น้ำ ระบบนิเวศ และความหลากหลายทางชีวภาพ ซึ่งมีความสำคัญต่อความสมดุล ความคงอยู่ของสภาพแวดล้อม และชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์โลก นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดมลพิษและของเสียโดยไม่มีแบบ

แผนการจัดการที่ดีทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา ด้วยเหตุนี้หลักการทางเศรษฐศาสตร์แบบใหม่จึงเกิดขึ้นเพื่อสอดคล้องกับสภาพปัญหาความล้มเหลวของตลาดเสรีที่ก่อให้เกิดวิกฤตทางสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ โดยหลักการทางเศรษฐศาสตร์แบบใหม่นั้นมีแนวความคิดว่าระบบเศรษฐกิจที่มั่นคงต้องคำนึงถึงต้นทุนของทรัพยากรส่วนรวมและสิ่งแวดล้อมด้วยหลักการทางเศรษฐศาสตร์ในการจัดการสิ่งแวดล้อมที่สำคัญมี 3 หลักการ คือ

1. หลักการ “ผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย” (Polluter Pays Principle หรือ PPP)
2. หลักการ “ผู้ใช้เป็นผู้จ่าย” (User Pays Principle หรือ UPP)
- 3 หลักการ “ระมัดระวังล่วงหน้า” (Precautionary Principle หรือ PP)

เป้าหมายทางเศรษฐศาสตร์ในการจัดการสิ่งแวดล้อมจากการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก มีอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เกิดขึ้น รวมทั้งการขยายตัวของเมืองและการเพิ่มจำนวนประชากรโดยเฉพาะในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 และตลอดศตวรรษที่ 20 ทำให้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในอัตราที่สูงก่อให้เกิดปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการหมดสิ้นไป (Depletion) หรือความเสื่อมโทรม (Degradation) ของทรัพยากรธรรมชาติและปัญหามลพิษ (Pollution) ตลอดจนการสะสมของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและการบริโภคจนเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวงกว้างและนำไปสู่แนวคิดและกระแสในการพัฒนาเศรษฐกิจที่ยั่งยืน

การพัฒนาเศรษฐกิจที่ยั่งยืน หมายถึง การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจได้อย่างต่อเนื่องและเพียงพอในระยะยาวนั้นจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ (1)ระบบเศรษฐกิจมีเสถียรภาพอย่างต่อเนื่องในระยะยาว (2)การขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างมีคุณภาพและสมดุล (3) การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจเอื้อประโยชน์ต่อคนส่วนใหญ่และ (4)เป็นการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจจากกระบวนการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีสะอาด ลดปริมาณของเสียไม่ทำลายสภาพแวดล้อมและไม่สร้างมลพิษที่จะกลายมาเป็นต้นทุนการผลิตในระยะต่อไปและเป็นข้อจำกัดของการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างมีประสิทธิภาพในระยะยาว

การลดลงของทรัพยากรพลังงานภายใต้หลักเศรษฐศาสตร์ การจัดหาทรัพยากรพลังงานเพิ่มมากขึ้น ย่อมหมายถึงการลดลงของทรัพยากรพลังงานที่อยู่ใต้ดิน เราสามารถใช้หลักแนวคิดทางเศรษฐศาสตร์เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ของการลดลงของปริมาณทรัพยากรพลังงาน

ผลกระทบจากการใช้ทรัพยากรพลังงาน

ผลกระทบจากการใช้ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม การเผาไหม้ปิโตรเลียมจะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ โดยการปล่อยของเสียออกจากปล่องควันของโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องจักร

และรถยนต์ สารมลพิษ คือ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สารไฮโดรคาร์บอน รวมทั้งฝุ่นละออง เขม่าต่าง ๆ เป็นต้น [25]

ในงานวิจัยตีพิมพ์เรสปอนส์และอัลกอริทึมสำหรับระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์ใหม่คจากพลังงานทางเลือก นี้ ได้คำนึงถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม จึงมีการประเมินผลประหยัดด้านพลังงานทางเลือกที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1. ระบบพลังงานแสงอาทิตย์

1.1 การประเมินความต้องการพลังงาน

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ในการติดตั้งระบบ off-grid หรือไฮบริด มีขั้นตอน ดังนี้

1.1.1 ประเมินความต้องการพลังงาน (การประเมินโหลด)

ความต้องการพลังงานของระบบไฟฟ้าขึ้นอยู่กับโหลดภายใน ระบบโหลด คือ อุปกรณ์ไฟฟ้า หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าใด ๆ ที่ใช้ในบ้านหรือสำนักงาน อาคาร ในการกำหนดขนาดแบตเตอรี่ของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ สิ่งสำคัญที่ต้องรู้คือโหลดไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ และกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ ทั้งนี้ในการประเมินความต้องการพลังงานอย่างเพียงพอ โหลดทั้งหมดภายในระบบ ต้องพิจารณาทั้งในส่วนที่จำเป็นและไม่จำเป็น โดยมีวิธีในการพิจารณาระดับกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า 3 วิธี ดังนี้ 1)การอ่านโดยตรงบนป้ายชื่อ 2)การวัดแรงดันและกระแสโดยตรงโดยใช้มัลติมิเตอร์เพื่อตรวจสอบกำลังไฟฟ้า 3)การวัดพลังงานไฟฟ้าโดยตรงที่ใช้ด้วยเครื่องวัดพลังงาน การคำนวณโหลดไฟฟ้า สามารถคำนวณดังสมการ 1

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)} = \text{กำลังไฟฟ้า (kW)} \times \text{เวลา (h)} \quad (1)$$

$$W = P \times t$$

เมื่อ	W	= พลังงานไฟฟ้าที่ใช้มีหน่วยเป็นวัตต์วินาที (Ws) หรือกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh)
	P	= กำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์ (W)
	T	= เวลา มีหน่วยเป็นวินาที (s) หรือชั่วโมง (h)

1.1.2 ประเมินขนาดของแบตเตอรี่แบงก์

พลังงานทั้งหมดที่ต้องการ จะถูกคำนวณเพื่อคำนวณพลังงานที่จะต้องเก็บไว้ในแบตเตอรี่ แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานเมื่อต้องการ การกำหนดความจุพลังงานแบตเตอรี่ หากมีการคายประจุของแบตเตอรี่ร้อยละ 100 ทุกวัน จะส่งผลให้อายุของแบตเตอรี่

นั้นสั้นลงเพื่อให้อายุการใช้งานนานขึ้นควรมีการคายประจุแบบลึก (Depth of Discharge : DOD) ไม่เกินร้อยละ 80 ดังนั้นจึงสามารถหาค่าความจุของแบตเตอรี่ได้จากสมการ 2 [26]

$$\text{ความจุของแบตเตอรี่ที่ต้องการ} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)}}{\text{DOD}} \quad (2)$$

ขนาดแบตเตอรี่ เป็นสิ่งสำคัญที่จะติดตั้งให้มีขนาดใหญ่พอที่จะใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นเวลา อย่างน้อย 24 ชั่วโมงโดยไม่ต้องชาร์จ ซึ่งในสภาพอากาศที่มีเมฆมากเป็นระยะเวลานานแบตเตอรี่อาจจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น และในการเลือกซื้อแบตเตอรี่ ต้องรู้พิกัดแรงดันไฟฟ้าและแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) ของแบตเตอรี่ สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในบ้านแรงดันไฟฟ้ามักจะเป็น 12 โวลต์ 24 โวลต์หรือ 48 โวลต์

ในการกำหนดความจุของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับความต้องการพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าพิกัดของแบตเตอรี่ผู้ผลิตกำหนดในหน่วย แอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) ไม่ใช่วัตต์-ชั่วโมงในการแปลง วัตต์-ชั่วโมง เป็นแอมแปร์-ชั่วโมง ทำได้โดยการหารค่าวัตต์-ชั่วโมง ด้วยค่าแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ ดังสมการ 3

$$\text{ความจุแบตเตอรี่} = \frac{\text{ความจุพลังงานของแบตเตอรี่ที่ต้องการ}}{\text{แรงดันไฟฟ้าของระบบ}} \quad (3)$$

1.1.3 ประเมินพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่

การคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ ณ สถานที่ใด ๆ จะอ้างอิงจาก ชั่วโมงแสงอาทิตย์สูงสุด (Peak Sun Hour, PSH) จะแสดงถึงจำนวนชั่วโมงที่มีค่าแสงแดดดีมาก และไม่มีเมฆต่อหนึ่งวัน เช่น 5 PSH คือ โดยเฉลี่ยแล้วพื้นที่นั้นจะมีชั่วโมงที่แดดดีและไม่มีเมฆบดบังเป็นเวลา 5 ชั่วโมงต่อวัน

1.1.4 กำหนดขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทราบถึงความจุพลังงานของแบตเตอรี่ที่ต้องการแล้วจะต้องพิจารณาแผงอาร์เรย์แสงอาทิตย์ ให้สามารถชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่ได้ที่ SoC 100% ได้ตลอดทั้งวัน ดังนั้นเพื่อกำหนดขนาดที่ต้องการของอาร์เรย์แสงอาทิตย์สามารถทำตามขั้นตอนได้ ดังนี้

1) แบ่งความต้องการพลังงานรายวันตามอัตราส่วนประสิทธิภาพของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ความต้องการพลังงาน คือ ความต้องการใช้พลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้าทุกรายรวมถึงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

2) หาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการหารค่าพลังงานข้างต้น ด้วยค่า PSH ที่เหมาะสมสำหรับตำแหน่งที่ตั้งแผง ตำแหน่งสำหรับการติดตั้งของจังหวัด กำแพงเพชรเฉลี่ยมีค่า PSH = 4 ดังสมการ 4

$$\text{ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์} = \frac{\text{ความจุแบตเตอรี่}}{\text{ชั่วโมงแสงอาทิตย์}} \quad (4)$$

3) การเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อรู้ขนาดที่ต้องการของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว ต้องกำหนดจำนวนและประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการ สามารถคำนวณได้จากสมการ 5

$$\text{จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์} = \frac{\text{ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการ}}{\text{ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือก}} \quad (5)$$

1.1.5 กำหนดขนาดตัวควบคุมการชาร์จ

ตัวควบคุมการชาร์จประจุติดตั้งอยู่ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับโหลด และเนื่องจากแสงแดดที่แรงในช่วงเวลาสั้นๆ จึงจำเป็นต้องมีระบบการจัดการกระแสสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งอาจทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตเอาต์พุตได้มากกว่าร้อยละ 20 จากระดับพลังงานสูงสุด ในการกำหนดขนาดของตัวควบคุมการชาร์จประจุสำหรับระบบ ต้องตรวจสอบพิกัดกระแสสูงสุดตามแผ่นข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือใช้การคำนวณ ดังสมการ 6

$$\text{ขนาดของตัวควบคุมการชาร์จประจุ} = \frac{\text{ขนาดอาร์เรย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)}}{\text{แรงดันที่ทำให้เกิดกำลังสูงสุดของอาร์เรย์}} \times 1.2 \quad (6)$$

1.1.6 กำหนดขนาดอินเวอร์เตอร์

การเลือกขนาดอินเวอร์เตอร์ให้พิจารณา ดังต่อไปนี้

- 1) แรงดันขาออก ตรวจสอบให้แน่ใจว่าแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่เลือกนั้นเหมาะสม กับการใช้งานตามมาตรฐานที่ 220 โวลต์ถึง 240 โวลต์
- 2) สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องตามความต้องการพลังงานที่คำนวณได้ พิจารณาว่าโหลดใดจะทำงานพร้อมกัน ควรพิจารณาเกี่ยวกับความต้องการของผู้ใช้และตรวจสอบให้แน่ใจว่าอินเวอร์เตอร์ที่เลือกสามารถตอบสนองความต้องการเหล่านั้นได้

3) มีความสามารถในการจัดการการเกิดไฟฟ้ากระชากของโหลด เช่น ตู้เย็นจะสร้างกระแสไฟกระชากในระหว่างการใช้งาน ต้องพิจารณาสิ่งนี้เมื่อเลือกอินเวอร์เตอร์ อย่างไรก็ตามอินเวอร์เตอร์ส่วนใหญ่สามารถรองรับกำลังไฟที่สูงกว่า 2 ถึง 3 เท่าของพิกัดกำลังหากไม่เกิน 0.5 ถึง 2 วินาที

4) เมื่อเลือกอินเวอร์เตอร์ให้พิจารณาเสมอว่าอาจจะมีเพิ่มโหลดใหม่เข้าสู่ระบบ โดยสมมติว่ามีการดึงพลังงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 [27]

2. ระบบพลังงานลม

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม (Wind Power) จะอาศัยกังหันลมผลิตไฟฟ้า (Wind Turbine) เพื่อแปลงพลังงานจลน์ในลมมาหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าขึ้นมา กังหันลมผลิตไฟฟ้ามีตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงระดับใหญ่เพื่อผลิตไฟฟ้าปริมาณมาก ๆ เข้าระบบ ไม่ใช่ทุกพื้นที่จะสามารถพัฒนาโครงการพลังงานลมได้ ศักยภาพพลังงานลมในพื้นที่เป็นตัวกำหนดการพัฒนาโครงการ การใช้ประโยชน์จากพลังงานลมจึงควรมีการศึกษาเพื่อหาความชัดเจนในเรื่องความเร็วลมและทิศทางลมที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาตลอดทั้งปี การก่อสร้างกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะมีช่วงเวลาในการติดตั้งที่รวดเร็วหากเปรียบเทียบกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนโดยทั่วไป กระบวนการขนส่งอุปกรณ์ไปยังพื้นที่และการติดตั้งจะมีความซับซ้อนระดับหนึ่ง ในปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์จากพลังงานลมเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแถบประเทศยุโรป ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมเพื่อผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สำหรับประเทศไทยการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเพื่อผลิตไฟฟ้ายังมีอยู่อย่างจำกัดเฉพาะในบางพื้นที่ เช่น จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดนครราชสีมา เป็นต้น พลังงานลมเป็นพลังงานทดแทน (Renewable Energy) รูปแบบหนึ่ง การใช้พลังงานลมสามารถลดผลกระทบของการผลิตไฟฟ้าที่มีต่อสิ่งแวดล้อมได้ [28]

2.1 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและสังคมเบื้องต้น

ความสำเร็จของการติดตั้งกังหันลมส่วนหนึ่งจะต้องได้รับการยอมรับจากสังคมหรือมวลชนโดยศึกษาผลกระทบทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและชุมชน เพื่อสร้างความเข้าใจและการยอมรับสำหรับประเด็นในการศึกษาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมทรัพยากรและสังคมในปัจจุบัน สำหรับบริเวณพื้นที่ของโครงการและพื้นที่โดยรอบทั้งผลกระทบทางบวกและทางลบในระยะสั้นและระยะยาวบนพื้นฐานของการคาดการณ์ถึงความเปลี่ยนแปลงที่อาจจะเกิดขึ้น รวมทั้งมีมาตรการเพื่อป้องกันและแก้ไขผลกระทบ ที่เหมาะสมในกรณีของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม เป็นต้น

2.1.1 การประเมินผลกระทบด้านเสียงรบกวน โดยผลกระทบทางด้านเสียงรบกวนจะอยู่ในรัศมีน้อยกว่า 1 กิโลเมตรจากกังหันลม ซึ่งค่าที่กำหนดให้ค่าสูงสุดของระดับเสียงของกังหันลมสำหรับที่อยู่อาศัยที่ใกล้ที่สุดไม่ควรเกิน 45 เดซิเบล (dB) และในเขตชุมชนไม่เกิน 40 เดซิเบล(dB)

2.1.2 ผลกระทบเกี่ยวกับทรัพยากรด้านนิเวศวิทยา อาทิ สัตว์และพืชประจำถิ่น นกต่างดาว รวมทั้งผลกระทบต่ออาชีพของคนในพื้นที่ด้วย เช่น การปลูกสัตว์ การท่องเที่ยว เป็นต้นในการประเมินผลกระทบด้านสังคมสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น โดยใช้แบบสอบถามเพื่อสำรวจความคิดเห็นทัศนคติจากประชาชนและผู้นำชุมชนที่อยู่ในพื้นที่ที่จะมีการติดตั้งกังหันลมในอนาคตและบริเวณใกล้เคียงที่มีต่อโครงการ รวมทั้งทราบถึงข้อมูลพื้นฐานของชุมชนและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อสามารถกำหนดแนวทางการดำเนินการแบบมีส่วนร่วมเพื่อป้องกันปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป

2.2 ขั้นตอนในการพิจารณาและเลือกใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

2.2.1 ประเมินศักยภาพพลังงานลม

ข้อสำคัญด้านศักยภาพพลังงานลม คือ ความเร็วลม (เมตร/วินาที) และความยาวนานของการเกิดลม (ชั่วโมง/วัน) การประเมินลม เช่น บริเวณนี้มีความเร็วลมประมาณ 5-6 เมตร/วินาที พัดต่อเนื่องตั้งแต่ช่วงเวลา 10.00-19.00 น. ของทุกวัน มีลมประมาณ 10 ชั่วโมง/วัน

2.2.2 ประเมินภาระทางไฟฟ้า

ต้องทราบการนำไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีกำลังและปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการเฉลี่ยต่อวัน อาทิ บ้านหลังหนึ่งต้องการจะติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน มีภาระทางไฟฟ้าที่ต้องใช้ประมาณ 4.7 หน่วย/วัน

2.2.3 ประเมินและคัดเลือกขนาดกังหันลมให้มีความเหมาะสม

ศึกษารูปแบบ รายละเอียด ประสิทธิภาพ สมรรถนะ ราคาและการบริการหลังการขายของกังหันลมจากแหล่งต่าง ๆ เช่น เว็บไซต์ในอินเทอร์เน็ต ผู้เชี่ยวชาญด้านกังหันลม บริษัทผู้ผลิตจำหน่ายกังหันลม และทำการประเมินเพื่อคัดเลือกขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าให้มีความเหมาะสม โดยทำการประเมินขนาดของกังหันลมโดยคิดจากค่า CF (Capacity Factor) หรือประสิทธิภาพร้อยละของการผลิตไฟฟ้าได้โดยความเร็วลม ซึ่งในประเทศไทยมีค่าเฉลี่ย 5 เมตร/วินาที สามารถผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมได้ประมาณ 12-18% เฉลี่ย 15% ดังสมการ 7

$$\text{ขนาดของกังหันลม} = \frac{\text{ภาระทางไฟฟ้า}}{\text{ค่า CF} \times \text{ปริมาณลม}} \quad (7)$$

2.2.4 การติดตั้งกังหันลม

การติดตั้งกังหันลมควรติดตั้งในบริเวณที่โล่งแจ้งสามารถรับลมได้ดีทุกทิศทางหรืออย่างน้อยต้องไม่มีสิ่งกีดขวางช่องทางลมของฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงฤดูหนาว และลมตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงฤดูฝน ระยะทางระหว่างกังหันลมถึงจุดที่จะนำไฟฟ้าไปใช้งานระยะทางยิ่งสั้นยิ่งดีเพราะหากระยะทางยิ่งไกลก็ยิ่งเพิ่มค่าใช้จ่ายในการเดินระบบและจะมีการสูญเสียพลังงานในระบบสายส่งอีกด้วย [29]

3. แบตเตอรี่

ในการกำหนดความจุของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับความต้องการพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า สามารถคำนวณตามสมการ 3

4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซล

อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปริมาณของโหลดที่ใช้งาน ค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 KVA = 800 W [30] เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 5.5 kW = 5,500 W / 800 W = 6.88 KVA สามารถคำนวณอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดังสมการ 8

$$\begin{aligned} \text{อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง} &= (\text{KVA}/10) \times 2 \text{ ลิตรต่อชั่วโมง} & (8) \\ &= (6.88/10) \times 2 = 1.38 \text{ ลิตร/ชั่วโมง} \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณผลประหยัด ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 121.6 kW

จำนวนวันที่ใช้งาน 250 วัน/ปี วันทำการราชการ

กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง (Wp) 320 วัตต์

Energy yield derating factor (EF) 0.7

Peak sun hour (ชั่วโมงการทำงาน) 5.23 ชั่วโมง/วัน

ราคาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย 4.5 บาท/kWh บิลค่าไฟฟ้า

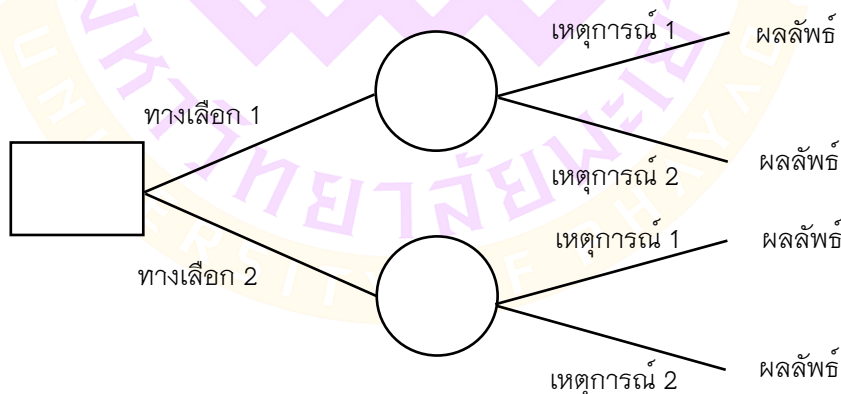
จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้ง 380 แผง

1. กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง (kW) = $(320 \text{ (วัตต์)} / 1,000) \times 0.7$
= 0.224 kW
2. กำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม (kW) = $0.224 \text{ (kW)} \times 380 \text{ (แผง)}$
= 85.12 kW
3. ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า (kWh) = $85.12 \text{ (kW)} \times 5.23 \text{ (ชั่วโมง/วัน)} \times 250 \text{ (วัน/ปี)}$

- = 111,294.4 kWh/ปี
4. เทียบเท่าต้นน้ำมันดิบ (ktoe/ปี) = $\frac{111,294.4 \text{ (kWh/ปี)} \times 3.6}{(42,244 \times 1,000)}$
= 0.00948 ktoe/ปี
5. คิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้ = 111,294.4 (kWh/ปี) \times 3.6 (MJ/Wh)
= 400,659.84 MJ/ปี
6. คิดเป็นปริมาณ CO₂ = 111,294.4 (kWh/ปี) \times 0.561 (kgCO₂e/kWh)
= 62,410.91 kgCO₂e/ปีหรือ 62.41 ตัน/ปี
7. คิดเป็นจำนวนเงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)
= 111,294.4 (kWh/ปี) \times 3.85 (บาท/kWh)
= 428,482 (บาท/ปี) [31]

ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)

ต้นไม้ตัดสินใจหรือ Decision Tree เป็นการเรียงเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในลักษณะของกิ่งไม้หรือต้นไม้ซึ่งสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมเป็นสัญลักษณ์ที่แสดงแทนจุดที่จะต้องทำการตัดสินใจของปัญหานั้น ๆ และสัญลักษณ์วงกลมแทนเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนที่อาจจะเกิดขึ้นซึ่งจุดตัดสินใจและจุดเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนนั้นจะมีมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและลักษณะของปัญหาที่ต้องตัดสินใจ ดังแสดงในภาพ 11



ภาพ 11 รูปแบบต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Model)

ที่มา: รูปแบบต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree Model), ม.ป.ป.

จากภาพ 11 จะสังเกตเห็นว่าในด้านปลายสุดของเหตุการณ์ทุกเหตุการณ์(รากของต้นไม้) จะมีค่าผลลัพธ์ที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งค่าผลลัพธ์ดังกล่าวนี้โดยปกติแล้วจะไม่เท่ากัน ซึ่งค่าผลลัพธ์ของเหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์นั้นขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของเหตุการณ์นั้นด้วย กล่าวคือถ้ามีโอกาสความน่าจะเป็นที่ไม่เท่ากันแล้วนั้นโอกาสที่ค่าผลลัพธ์จะมีค่าเท่ากันก็น้อยมาก [57]

ต้นไม้ตัดสินใจหรือ Decision tree เป็นแผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขและลำดับการกระทำตั้งแต่เงื่อนไขแรกจนเงื่อนไขสุดท้าย โดยต้นไม้ตัดสินใจมีประโยชน์ต่อนักวิเคราะห์ใน 2 กรณี คือสามารถอธิบายเงื่อนไขและโอกาสความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ชัดเจนและเป็นการตัดสินใจอย่างเป็นลำดับและเข้าใจง่ายโดยขั้นตอนการสร้างรูปแบบต้นไม้ตัดสินใจสามารถทำได้ดังนี้

1. ระบุปัญหา
2. ร่างโครงสร้างการวิเคราะห์แบบกิ่งก้านสาขา
3. ระบุความน่าจะเป็นของแต่ละทางเลือก
4. ประเมินผลตอบแทนที่คาดหวังของแต่ละทางเลือก
5. วิเคราะห์ผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับด้วยการคำนวณย้อนหลัง จากทางขวาสุดของกิ่งก้านมาทางซ้าย

จุดประสงค์ของการสร้างโมเดลต้นไม้ตัดสินใจคือเพื่อวิเคราะห์หาค่าคาดหวังหรือค่า EV (Expected Value) โดยค่าที่คาดหวัง คือการหาค่าของโอกาสที่จะเกิดผลลัพธ์ใดผลลัพธ์หนึ่งคำนวณจาก ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากผลกระทบของการตัดสินใจในแต่ละเส้นทางถ่วงน้ำหนักด้วยความน่าจะเป็นในการเกิดผลลัพธ์ของเส้นทางนั้น ๆ [58]

ขั้นตอนวิธี Iterative Dichotomiser 3 (ID3)

Iterative Dichotomiser 3 หรือ ID3 เป็นต้นไม้ตัดสินใจที่ถูกเสนอขึ้นโดย Quinlan (J. R. Quinlan, 1986) โดยการใช้ ค่า Information Gain มาช่วยในการเลือกลักษณะประจำที่เหมาะสมในแต่ละปม ซึ่งเป็นการอาศัยทฤษฎีข่าวสาร (Information Theory) ได้กล่าวถึงการวัดปริมาณข่าวสารของข้อมูลด้วยค่าเอนโทรปี (Entropy) ไว้ดังนี้

เอนโทรปี (Entropy) เป็นปริมาณที่บ่งบอกความไม่แน่นอน (Uncertainty) ความไม่เป็นระเบียบ (Disorder) ความไม่บริสุทธิ์ (Impurity) ของข้อมูล กล่าวคือ หากค่าเอนโทรปีมากจะมีข่าวสารมาก โดยเอนโทรปี $H(X)$ สามารถคำนวณได้จาก

$$H(X) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_b P(x_i) \quad (9)$$

โดย $P(x_i)$ คือความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์ X_i จะเกิดขึ้น และมีเหตุการณ์ทั้งหมด n เหตุการณ์

ค่าเอนโทรปีที่ถูกนำมาใช้คำนวณค่า Information Gain (IG) เพื่อใช้สำหรับการเลือก ลักษณะ ประจำที่ดีที่สุด a จากเซตของลักษณะประจำทั้งหมด $A (a \in A)$ ในเซตของตัวอย่าง ทั้งหมด S สำหรับแต่ละปม โดยมีนิยามดังนี้

$$IG(S, a) = H(S) - H(S|a) \quad (10)$$

โดยสามารถคำนวณจากตัวอย่างได้ดังนี้

$$IG(S, a) = H(S) - \sum_{v \in \text{Values}(a)} \frac{|S_v|}{|S|} H(S_v) \quad (11)$$

โดย V หมายถึง ค่าของลักษณะประจำ (Value(4) และ $S_v = \{s | s \in S, \text{Value}(s, a) = v\}$ โดยเครื่องหมาย S [61]

Weka ย่อมาจาก Waikato Environment for Knowledge Analysis : เริ่มพัฒนามา ตั้งแต่ปี 1997 โดยมหาวิทยาลัย Waikato ประเทศนิวซีแลนด์ เป็นซอฟต์แวร์สำเร็จประเภทฟรีแวร์ ซึ่งโปรแกรม Weka ได้ถูกพัฒนามาจากภาษาจาวาทั้งหมด โดยเน้นกับงานทางด้าน การเรียนรู้ด้วยเครื่อง หรือ Machine Learning และการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) โปรแกรมจะ ประกอบไปด้วยโมดูลย่อย ๆ สำหรับใช้ในการจัดการข้อมูล สามารถใช้ GUI หรือ Graphic User Interface สั่งให้ซอฟต์แวร์ประมวลผลได้หลายระบบปฏิบัติการ และสามารถพัฒนาต่อยอด โปรแกรมได้ เป็นเครื่องมือที่ใช้ทำงานในด้านการทำ Data Mining ที่รวบรวมแนวคิดอัลกอริทึม มากมาย ซึ่งอัลกอริทึมสามารถเลือกใช้งานโดยตรงได้จาก 2 ทางคือจากชุดเครื่องมือที่มี อัลกอริทึมมาให้ หรือเลือกใช้จากอัลกอริทึมที่ได้เขียนเป็นโปรแกรมลงไปเป็นชุดเครื่องมือ เพิ่มเติม และชุดเครื่องมือมีฟังก์ชันสำหรับการทำงานร่วมกับข้อมูล ได้แก่ Pre-Processing, Classification, Regression, Clustering, Association rules, Selection และ Visualization ส่วนใน เรื่องของการ Import ข้อมูล โดยข้อมูลนั้นจะต้องอยู่ในรูปแบบ ASCII อาจเป็น arff, csv, c45 [62]

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายสมพล โคศรี (2554). [32] ได้ศึกษาระบบควบคุมและการจัดการสมาร์ตกริด สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน โดยระบบที่ใช้เป็นแบบผสมผสาน ประกอบด้วยเครื่องจ่ายลงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และชุดพลังงานไฟฟ้าสำรองที่สามารถ

จ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่ภาระทางไฟฟ้าได้ตามขนาดพิกัดและสามารถจ่ายพลังงานเพื่อประจุแบตเตอรี่จากพลังงานที่เหลือจากการจ่ายโหลดได้ พลังงานที่กักเก็บจะถูกนำมาใช้ในเวลากลางคืน ระบบจะจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดที่บ้านตลอดเวลา เมื่อพลังงานแบตเตอรี่ต่ำลงได้ขนาดตามพิกัดที่ตั้งไว้ ชุมพลังงานไฟฟ้าสำรองจะถูกต่อเข้ากับระบบโดยอัตโนมัติและจ่ายพลังงานให้กับระบบประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานที่เหลือจนเต็มจึงตัดการทำงานออกจากระบบ จากการออกแบบระบบด้วยการคำนวณพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าและการสำรอง สถานการณ์ด้วยโปรแกรม HOMER ในเบื้องต้น โดยเลือกพิกัดแสงอาทิตย์ที่ตึกเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย ได้ออกแบบระบบประกอบด้วยไพรานอมิเตอร์(Pyranometer) ใช้สำหรับวัดรังสีแสงอาทิตย์เป็นข้อมูลพื้นฐาน เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบตเตอรี่ (Battery Temperature Sensor) ขนาดเครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.8 kWp แบตเตอรี่พิกัดขนาด 18 kWh Inverter ขนาด 1 kW Bi-directional Inverter ขนาด 2.2 kW ขนาดของไฟฟ้าสูงสุดที่ 1 kW จากผลทดสอบจริงสถานะแบตเตอรี่อยู่ที่ 40 % จากกราฟพฤติกรรมการใช้พลังงานของระบบ เริ่มจากเวลา 00.00-03.30 น. เป็นช่วงที่แบตเตอรี่มีการจ่ายโหลดที่ 600 W เมื่อเวลา 03.30-07.00 น. จะเห็นว่าการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการจ่ายโหลดและชาร์จแบตเตอรี่ จึงทำให้กราฟพุ่งขึ้นเกือบ 2 เท่าของโหลดประมาณ 1900 W และเครื่องกำเนิดจะทำงานอีกครั้งเมื่อเวลา 19.30 - 23.30 น. เนื่องจากเป็นช่วงที่เวลาที่มีโหลดสูงสุดที่ 1 kW ทำให้แบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้าได้ไม่เพียงพอและในเวลากลางวันตั้งแต่ 07.00-18.00 น. จะเป็นช่วงการทำงานของ PV ที่จะจ่ายโหลดและชาร์จแบตเตอรี่ และบางครั้งของปีเมื่อแสงน้อยอาจมีการช่วยจ่ายโหลดของแบตเตอรี่ด้วย

D. Stimoniaris, T. Kollatoua, D. Tsiamitrosa, M.A. Zehir, A. Batman, M. Bagriyanik, A. Ozdemir & E. Dialynas.(2016) [33] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าโดยทำการออกแบบระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดไฟฟ้าโดยใช้ซอฟต์แวร์มาช่วยในการจัดการเพื่อให้สามารถใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพโดยอาศัยการบริหารแบบไมโครกริดเพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยระบบมีการใช้ซอฟต์แวร์ในการเลือกแหล่งพลังงานทั้งพลังงานทดแทนและสายส่งไฟฟ้าซึ่งการบริหารแบบบัสนี้จะช่วยให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของโหนดมีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งผลการทดลองพบว่าเทคโนโลยีการสื่อสารแบบบัสสามารถควบคุมการจัดการด้านไฟฟ้าตามโครงสร้างของสมาร์ตกริด

Zvonimir Klaić, Krešimir Fekete & Damir Šljivac.(2015) [34] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยในการจัดการโหลดร่วมกับระบบโซลาร์เซลล์ โดยปัจจุบันมีความพยายามที่จะนำพลังงานทดแทนเข้ามาใช้ในระบบไฟฟ้าแต่ทำให้เกิดความไม่สมดุลระหว่างการผลิตไฟฟ้าและความต้องการของผู้บริโภคซึ่งต้องสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้อย่างรวดเร็วและเพียงพอ โดยพลังงานทดแทนจำเป็นต้องมีระบบการจัดเก็บพลังงานที่เพียงพอ ดังนั้นการแก้ปัญหาและการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าต้องนำระบบสมาร์ตกริดเข้ามาใช้เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคให้มีความสมดุลโดยบทความนี้จะแสดงให้เห็นว่าการออกแบบระบบการใช้พลังงานทดแทนร่วมกับระบบไฟฟ้าโดยจะเน้นการจัดการโหลดที่มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดของบ้านโดยเครื่องปรับอากาศจะมีผลทำให้เกิดภาวะโหลดสูงสุดเมื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาจัดการในส่วนเครื่องปรับอากาศเพื่อให้ลดอัตราความต้องการสูงสุด

รุ่งโรจน์ สงวนวัฒนา และพินิจ กาหอม (2558) [35] งานวิจัยนี้นำเสนอระบบต้นแบบตรวจนับและตรวจสอบเครื่องมือด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อตรวจนับจำนวนเครื่องมือที่มีอยู่ทั้งหมดภายในห้อง ตรวจสอบเวลาการใช้งาน วัดค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องปรับอากาศและหลอดไฟ เป็นต้นระบบต้นแบบประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับโมดูลวัดกระแสไฟฟ้า โมดูลสื่อสารไร้สายในการรับส่งข้อมูลกับจุดตรวจจับ และเก็บบันทึกข้อมูลระบบตัวตน เวลาการเปิดใช้งาน ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องมือสามารถนำข้อมูลที่ได้ ตรวจสอบความเสื่อมสภาพของเครื่องมือ ผลการวิจัยพบว่าระบบต้นแบบสามารถตรวจนับและตรวจสอบเครื่องมือทั้งหมดที่มีอยู่ภายในห้องได้ การเปรียบเทียบความเที่ยงตรงในการจับเวลาการเปิดใช้งานของอุปกรณ์ต้นแบบมีความเที่ยงตรงการเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องต้นแบบมีความแม่นยำ การสื่อสารไร้สายระหว่างเครื่องมือกับจุดตรวจจับสามารถรับส่งข้อมูลระบบตัวตน เวลาการเปิดใช้งาน ค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องมือได้ถูกต้องตามเงื่อนไขที่ต้องการและการเก็บบันทึกข้อมูลเครื่องมือของจุดตรวจจับสามารถบันทึกข้อมูลได้ถูกต้องตามเงื่อนไขที่ต้องการ

ประทีป บุญวงศ์, จรัญ คนแรง, มิ่งขวัญ สมพฤษ และคณะ. (2565) [36] งานวิจัยนี้ นำเสนอการออกแบบอุปกรณ์ที่ทำการเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแบบไมโครกริดสำหรับแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแบบทางเลือกโดยจะมุ่งเน้นการเลือกใช้งานแหล่งจ่ายกำลังงานอยู่ 3 ชนิด คือ แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแบบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากลม และแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากกริดการไฟฟ้า เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในการจัดสรรพลังงานไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและลดต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานไฟฟ้าแบบ

กริดการไฟฟ้า ทั้งนี้ระบบยังสามารถแสดงผลสถานะปริมาณไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นในแต่ละแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าโดยส่งข้อมูลผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งแบบไร้สายด้วยเทคโนโลยี LoRa ยานความถี่ 923.4 MHz และแสดงผลผ่าน Web Application ให้แก่ผู้ใช้งานได้ทราบเพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้ จากผลการทดลองสามารถบอกได้ว่าระบบสามารถเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าได้ตามความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและเวลาโดยมีประสิทธิภาพในการทำงานสามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 1,000 วัตต์ ซึ่งเหมาะกับงานที่ต้องการใช้พลังงานทางเลือกที่มีกำลังงานต่ำและในการส่งข้อมูลระยะทางไกลแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์นั้นสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสูงสุดที่ระยะทางเฉลี่ย 1.5 กิโลเมตร โดยสามารถรับสัญญาณได้ต่ำสุดที่ RSSI -105 dBm ที่กำลังส่งขนาด 20 มิลลิวัตต์เดซิเบล ซึ่งระบบสามารถประหยัดกำลังงานได้มากกว่า 50% ของกำลังงานที่ต้องใช้ จากจากการไฟฟ้าทั้งหมดทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านระบบมอโนเตอร์พลังงานและการจัดการพลังงานได้ในอนาคต

ธีรพัฒน์ เป็นสุข และคณะ (2552) [18] งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนามิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ 1 เฟส พิกัดแรงดัน 200 V \pm 10% กระแส 10(100) A เพื่อเป็นแนวทางนำไปสู่การติดตั้งระบบสมาร์ตกริดในอนาคต โดยมีมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะสามารถบันทึก และแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ไปด้วยเทคนิคการคำนวณแบบบวกลบคูณหาร อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านระบบสื่อสารไร้สายบลูทูธด้วยโปรแกรมที่จัดสร้างขึ้น ซึ่งสามารถติดตั้งได้บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ทั่วไป ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเข้าถึงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตนเอง และสามารถลดการใช้ไฟฟ้า ที่สิ้นเปลืองได้ จากผลการทดลองพบว่ามิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะสามารถ วัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า และแสดงผลบนหน้าจอบลูทูธได้ โดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเปรียบเทียบกับเครื่องวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า CHAUVIN ARNOUX ที่เชื่อมต่อกับภาระทางไฟฟ้ารวม ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น เท่ากับ 1.30 % ทำให้มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะสามารถนำไปประยุกต์ติดตั้งในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าได้จริง

ศุภวัชร นิยมพันธุ์ (2557) [37] งานวิจัยนี้ได้นำเสนออัลกอริทึมสำหรับการประสานสัมพันธ์รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทาง เพื่อหาค่าจำนวนเท่าของเวลาการทำงานของรีเลย์ (Time Dial Setting : TDS) และเวลาที่น้อยที่สุดในการประสานสัมพันธ์รีเลย์ในระบบทดสอบโดยใช้วิธีกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming : LP) ซึ่งเป็นกล่องเครื่องมือของโปรแกรมแมทแล็บและนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการประสานสัมพันธ์ของรีเลย์ในระบบทดสอบ 3 บัส 6 บัส 7 บัส 8 บัส 9 บัส 30 บัส 4700 บัส 8166 บัส และ 14454 บัส นอกจากนี้ได้แสดงผลลัพธ์ของการระบุตำแหน่งรีเลย์หลักและรีเลย์สำรองเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้น ณ บัสใด ๆ ในระบบ

ทดสอบ โดยนำโปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface : GUI) มาช่วยในการแสดงผลลัพธ์ เพื่อเพิ่มความสะดวกในการแสดงผลการทำงานของรีเลย์หลักและรีเลย์สำรอง ผลจากการดำเนินงานในช่วงต้นพบว่า สามารถหาค่าเวลาที่น้อยที่สุดในการประสานสัมพันธ์รีเลย์และค่าจำนวนเท่าของเวลาการทำงานของรีเลย์แต่ละตัวในระบบทดสอบจากการใช้วิธีกำหนดการเชิงเส้นได้และนอกจากนี้ยังได้นำวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมาใช้ในการแก้ปัญหาการประสานสัมพันธ์รีเลย์ร่วมด้วย เพื่อสนับสนุนและยืนยันความถูกต้องถึงผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองวิธีการที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่าอัลกอริทึมสำหรับการประสานสัมพันธ์รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทางโดยการใช้วิธีกำหนดการเชิงเส้นในงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาในการประสานสัมพันธ์รีเลย์ในระบบทดสอบได้

วริศรา อาสน์สถิตย์, ชัยเชษฐ สหายวิจิตร และแนบบุญ หุนเจริญ (2558) [38] งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการศึกษาเชิงเปรียบเทียบโครงข่ายสื่อสารเพื่อการใช้งานสำหรับโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งใช้พื้นที่ในเขตอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเป็นกรณีศึกษา การเปรียบเทียบรูปแบบโครงข่ายสื่อสารพื้นฐาน ได้แก่ แบบวงแหวน (Ring Topology) และแบบดาว (Star Topology) จะนำมาพิจารณาสถานะการเชื่อมต่อ (Connectivity) ในการส่งผ่านข้อมูลโดยใช้วิธี Monte Carlo ซึ่งอาศัยค่าความเชื่อถือได้ (Reliability) จากการคำนวณด้วยวิธีการเพิ่มเข้า-ตัดออก (Inclusion-Exclusion) ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้โครงข่ายแบบวงแหวนเพื่อการใช้งานสำหรับโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กในเขตอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน จะทำให้สถานะการเชื่อมต่อเพื่อส่งผ่านข้อมูลภายในโครงข่ายสื่อสารอยู่ที่ประมาณร้อยละ 97 เมื่อเทียบกับโครงข่ายแบบดาวซึ่งได้เพียงร้อยละ 70 ผลที่ได้จะนำไปพิจารณาประกอบกับการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้ในการตัดสินใจดำเนินการต่อไป

วิลาสินี ศรีสุวรรณ และคณะ (2555) [39] งานวิจัยฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างต้นแบบจำลองที่อยู่อาศัยของชุมชน โดยใช้พลังงานทดแทนตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง บ้านหนองหลวง อำเภอเวียงชัย จังหวัดเชียงรายและเพื่อศึกษาปัญหา อุปสรรคและข้อเสนอแนะในการสร้างต้นแบบจำลองที่อยู่อาศัยของชุมชน โดยใช้พลังงานทดแทนตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง บ้านหนองหลวง อำเภอเวียงชัย จังหวัดเชียงราย โดยทำการศึกษาจากศูนย์เรียนรู้การเกษตรตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง บ้านหนองหลวง อำเภอเวียงชัย จังหวัดเชียงราย เครื่องมือที่ใช้ทำการวิจัย คือการสัมภาษณ์เชิงลึก โดยแยกเป็นการสัมภาษณ์เชิงลึกโดยอาจารย์ และการศึกษาภาคสนามโดยนักศึกษาวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองที่อยู่อาศัยของชุมชน โดยใช้พลังงานทดแทนตามแนวคิดเศรษฐกิจ

พอเพียงจะต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานการเรียนรู้จากการอยู่กับธรรมชาติ ร่วมกับทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ โดยการประยุกต์ใช้จากสิ่งที่อยู่ใกล้ตัวเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อชีวิต บนความพอดี พอประมาณ ความมีเหตุมีผล มีความรอบรู้ รอบคอบ ระมัดระวัง มีคุณธรรม ซึ่งเป็นการสร้างภูมิคุ้มกันให้ตนเองลดการพึ่งพาผู้อื่นในส่วนที่ไม่จำเป็น ทำให้แบบจำลองที่อยู่อาศัยประกอบไปด้วยสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีวิต คือตัวที่อยู่อาศัยที่ทำมาจากดิน โองดินใช้รักษาความสดของอาหาร เต่าแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์และอาหารเหลือทิ้ง ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์และเตาชีวมวลสำหรับถนอมอาหาร และน้ำอุ่นสำหรับการอุปโภคบริโภคจากระบบผลิตน้ำอุ่นจากพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ในการศึกษาและทำงานร่วมกันกับธรรมชาติจะต้องรู้และเข้าใจในธรรมชาติ ศึกษาเรียนรู้ธรรมชาติให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนมากที่สุด เพื่อการทำงานจะได้เป็นไปตามแผนงานที่วางไว้อย่างรัดกุมและดีที่สุด

Mohammad Abedini a , Mohammad H. Moradi a, & S. Mahdi Hosseinian (2016) [40] แหล่งพลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่มีคุณภาพสูงพลังงานหรือความน่าเชื่อถือและค่าใช้จ่ายที่ต่ำได้รับการยกย่องในฐานะที่เป็นโซลูชันที่มีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาการจัดการพลังงานที่เกิดขึ้นจากการใช้วิธีการแบบเดิม สิ่งที่น่าเสนอในบทความนี้จะช่วยให้กลยุทธ์การจัดการที่ดีที่สุดของ PV / ลม / ดีเซลระบบไฮบริดที่เป็นอิสระสำหรับการจัดหาพลังงานที่จำเป็นในการ microgrids อิสระ ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพใหม่เป็นสูตรเพื่อลดการลงทุนเงินทุนและค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงของระบบ เพื่อการแก้ไขปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพอัลกอริธึมได้พัฒนา Guaranteed convergence Particle Swarm Optimization ร่วมกับ Gaussian Mutation (GPSO-GM) การเปลี่ยนแปลงและการรวมกันได้ถูกเพิ่มลงใน PSO เพื่อช่วยค้นหาผลลัพธ์ที่แม่นยำขึ้น และเพิ่มความเร็วของการคำนวณ ประสิทธิภาพของกลยุทธ์ที่น่าเสนอได้รับการประเมินในสองกรณีศึกษา

P. Sreedharan a,b, et. al (2016) [41] บทความนี้เป็นการศึกษา microgrid ของมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนียซานดิเอโก (UCSD) ซึ่งเป็นมหาวิทยาลัยขนาดใหญ่ที่มีความหลากหลายแหล่งพลังงานแบบกระจาย (DER) เน้น " เงินที่หายไป " ของ ไมโครกริด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมากจาก natural-gas-fired generation plant's " เงินที่หายไป " เนื่องจากขนาดใหญ่การพัฒนาทั้งหมชนขนาดใหญ่ ในการตอบสนองของความสนใจทางการเงินของ UCSD เราประเมินกลยุทธ์สามสำหรับการบูรณาการแหล่งพลังงานทดแทน: ขยับโหนดสูงสุด กระชับเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานที่และการรองรับวงจร ในขณะที่ทั้งสามกลยุทธ์เป็นไปได้ทางเทคนิคและสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายภายใต้เงื่อนไขบางอย่างแต่ โครงสร้างภาษีปัจจุบันและราคาตลาดของแคลิฟอร์เนียไม่ได้แนะนำเสนอแรงจูงใจเพียงพอที่จะจูงใจ UCSD ที่จะนำเสนอบริการ

เหล่านี้กลไกแรงจูงใจทางเลือกซึ่งอาจคล้ายกับที่ใช้ในการส่งเสริมการพัฒนาสร้างทดแทนเป็น สิ่งจำเป็นที่จะทำให้เกิดข้อเสนอดังกล่าวจะเกี่ยวข้องกับการค้าไหลตเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรมทั่วแคลิฟอร์เนียรวมถึงความร่วมมือที่กว้างใหญ่และทรัพยากรพลังงาน

กิตติวุฒิ จินนะบุตร ธงชัย คล้ายคลึง และกฤตวิทย์ บัวใหญ่ (2558) [42] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการบริหารจัดการด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองไหลต ทดสอบกับอาคารเป้าหมาย 2 อาคารประกอบด้วยอาคารบ้านพักอาศัยและอาคารสำนักงาน โดยเริ่มต้นจากการจัดทำบัญชีรายชื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและตารางเวลาการทำงาน เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองไหลต แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจวัด การกำหนด และการดำเนินมาตรการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟที่ลดได้เมื่อดำเนินมาตรการตามที่เสนอ พบว่ากรณีบ้านพักอาศัยในวันทำงานสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 108.8 กิโลวัตต์/เดือน หรือคิดเป็นจำนวนเงินค่าไฟที่ลดได้เท่ากับ 612 บาท/เดือน ส่วนกรณีอาคารสำนักงานในวันทำงาน(จันทร์ – ศุกร์)สามารถลดพลังงานได้ 1065.42 กิโลวัตต์/เดือน หรือคิดเป็นจำนวนเงินค่าไฟที่ลดได้เท่ากับ 4,642.31 บาท/เดือน

นาตยา คล้ายเรื่อง (2554) [43] ได้ศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพในการลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดด้วยมาตรการ Demand Response ในอุตสาหกรรมประเภทอาหาร และเครื่องดื่มพบว่าแนวโน้มค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทยในแต่ละปีมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แนวทางหนึ่งในการบริหารจัดการค่าพลังงานไฟฟ้า คือการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟสามารถร่วมกันจัดการการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาวิกฤตให้มีไฟฟ้าใช้ได้เพียงพอได้โดยการนำมาตรการ Demand Response มาใช้ โดยการดำเนินงานวิจัยได้สำรวจข้อมูลของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอาหารและเครื่องดื่มมาประเมินหาค่าศักยภาพในการลดค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดด้วยมาตรการ Demand response ของกลุ่มอุตสาหกรรมประเภทนี้วัตถุประสงค์เพื่อภาครัฐได้ใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายในการส่งเสริมภาคอุตสาหกรรมให้สามารถดำเนินการลดค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของประเทศในช่วงเวลาวิกฤตได้ประสบผลสำเร็จ ผลการวิเคราะห์พบว่ากลุ่มอุตสาหกรรมประเภทอาหารและเครื่องดื่มสามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของประเทศในช่วงเวลาวิกฤตได้เท่ากับ 284 MW โดยคิดเป็นร้อยละ 10 ของค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดรวมที่อุตสาหกรรมประเภทนี้ใช้แยกเป็นการดำเนินการด้วยมาตรการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองเพื่อจ่ายโหลดในโรงงานแทนการใช้ไฟจากการไฟฟ้าช่วยลดได้ 241 MW และมาตรการการปรับกระบวนการผลิตช่วยลดได้ 43 MW

นัทธีธนนท์ พงษ์พานิช และบุญวัฒน์ วิจารณ์พล (2019) [44] ได้ศึกษาศักยภาพของการใช้สมาร์ตกริดเทคโนโลยีเพื่อการจัดการพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศภายในอาคารในช่วงฤดูร้อนงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเฉพาะบริบทของพื้นที่เพื่อสร้างฐานข้อมูลและประเมินเป็นรูปแบบแนวโน้มของการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศอาคารในพื้นที่สถานศึกษาในช่วงฤดูร้อน โดยมุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากพลังงานทดแทนจากระบบผลิตไฟฟ้า smart grid UP มหาวิทยาลัยพะเยา ผลการศึกษานี้สามารถนำมาใช้สำหรับการออกแบบและสร้างทางเลือกของการจัดการพลังงานตามแนวทางสมาร์ตกริดเทคโนโลยี เพื่อเป็นแนวทางการลดภาระความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทยในฤดูร้อน ผลจากการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ศักยภาพของพลังงานทดแทนในพื้นที่ต้นแบบพบว่าระบบผลิตไฟฟ้า smart grid UP สามารถผลิตไฟฟ้า 0.80 kWh-day/(PV area)m² โดยมีประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ 17.68 % นอกจากนี้การทดสอบในพื้นที่ต้นแบบยังแสดงให้เห็นว่าค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในช่วงเวลาที่มีการทดสอบ 77.898 W/(พื้นที่ปรับอากาศ)m² และ 0.297 kWh-day/(พื้นที่ปรับอากาศ) m²ตามลำดับเมื่อประเมินระบบผลิตไฟฟ้าที่ติดตั้งประกอบอาคารที่ 60 kWp พบว่า ระบบดังกล่าวสามารถทำให้ระดับความต้องการพลังงานไฟฟ้าลดลง 24.05 % หรือระดับ 26.61 kW จากความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 110.42 kW แต่พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในระบบปรับอากาศเพียง 68.06 % ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ จากการเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 09:00-13:00 น. พบว่าสามารถใช้ประโยชน์ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตเหลือเพียง 47.90 % เท่านั้น ผลการศึกษาพบว่าการใช้ประโยชน์จากการผลิตไฟฟ้าทำได้อย่างจำกัดจากภาวะแวดล้อมภายนอกและการใช้ประโยชน์อาคาร ดังนั้นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของอาคารสามารถทำได้โดยใช้ระบบการจัดการพลังงานในอาคาร (building energy management system, BEMS) และการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าตามแนวของสมาร์ตกริดเทคโนโลยี ซึ่งสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า (demand response, DR) เทคโนโลยีดังกล่าวทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันอย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพระหว่างระบบผลิตกระแสไฟฟ้าหลักและระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน

กวีพจน์ วรเนตรสุทธิกุล และคณะ (2019) [45] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยอัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมมออปติไมเซชัน อัลกอริทึมนี้จะทำหน้าที่ในการหาจุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ (MPPT) ผลิตได้เพื่อส่งกำลังไฟฟ้าขาออกที่สูงสุดให้กับเครื่องบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์แม้ในกรณีที่มิมีเงาบัง

บางส่วน หรือในกรณีที่ความเข้มแสงต่ำ จึงทำให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกันแบบอาร์เรย์ มีประสิทธิภาพสูงขึ้น งานวิจัยนี้ได้นำอัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมออบติโมเซชันแบบค่าเฉลี่ยมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งอัลกอริทึมนี้มีโครงสร้างที่ง่ายต่อการใช้งาน ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และมีการคำนวณที่แม่นยำ ระบบการทำงานจะประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกันแบบอาร์เรย์ ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายพลังงานผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อทำการหาจุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้า และมีการจำลองการทำงานของระบบโดยใช้โปรแกรมใช้โปรแกรม แมทแล็บ (MATLAB) และเพาเวอร์ซิม (POWERSIM) ในการจำลองการทำงานของอัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมออบติโมเซชันแบบค่าเฉลี่ย มีการกำหนดให้เกิดเงาบังบางส่วน และได้ทำการทดลองจริงซึ่งผลที่ได้จากการทดลองพบว่าสอดคล้องกับผลการจำลอง

จิรพันธ์ ทาแกง และวันไชย คำเสน. (2559) [46] ได้ศึกษาการแก้ปัญหาจ่ายโหลดอย่างประหยัดของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ด้วยเทคนิคการหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง การจ่ายโหลดอย่างประหยัดของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง โดยพิจารณาถึงฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่มีสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ รวมทั้งข้อจำกัดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการจำลองทำงานบนโปรแกรม MATLAB และใช้ระบบทดสอบที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิด 6 หน่วย แบ่งเป็น 2 กรณีศึกษา ผลการทดสอบโดยการเปรียบเทียบ กับวิธี GA และวิธี PSO ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งมีความสามารถในการเข้าถึงการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้คำตอบที่ดีกว่าวิธี GA และ PSO

ชิตชัย ศรีถาพล. (2564) [47] ได้ศึกษาระบบบริหารจัดการพลังงานอัจฉริยะสำหรับไมโครกริดระดับหมู่บ้านที่มีโซลาร์ PV และรถยนต์ไฟฟ้าร่วมด้วยการควบคุมการไหลของพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์สำหรับไมโครกริดระดับหมู่บ้านที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และรถยนต์ไฟฟ้า และได้พิจารณาความสัมพันธ์ความไม่แน่นอนของตัวแปรอินพุตรวมด้วย งานวิจัยนี้ได้นำวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ที่เรียกว่า การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เพื่อใช้พัฒนาแบบจำลองตัวแทน (Surrogate model) สำหรับระบบไฟฟ้าที่มีระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และรถยนต์ไฟฟ้าร่วมด้วย โดยได้มีการนำวิธีประมาณค่าแบบจุดของ Zhao ร่วมกับวิธี Nataf Transformation เพื่อทำการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการไหลของกำลังไฟฟ้าที่พิจารณาความสัมพันธ์ของความไม่แน่นอนของตัวแปรอินพุต วัตถุประสงค์ของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหาขนาด และการทำงานของแบตเตอรี่ที่ติดตั้งในไมโครกริดประกอบด้วยสามฟังก์ชัน คือการลดต้นทุนใน

การดำเนินการของไมโครกริด ลดการสูญเสียของอายุการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกในงานวิจัยนี้การหาคำตอบของปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ได้ใช้วิธีวิวัฒนาการเชิงอนุพันธ์แบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi Objective Differential Evolution; MODE) โดยมีการนำเสนอรูปแบบการใช้ Surrogate โมเดลเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณสำหรับการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด ในกรณีศึกษาของระบบไฟฟ้าแรงต่ำ ข้อมูลในอดีตซึ่งประกอบด้วยค่าการฉายรังสีแสงอาทิตย์อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โหลดไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัย และระยะทางการเดินทางรถยนต์ ถูกนำมาคำนวณเพื่อแสดงให้เห็นถึงข้อดีที่เป็นไปได้ของวิธีการที่เสนอ ในการศึกษาครั้งนี้ Surrogate โมเดลและอัลกอริทึมการหาค่าเหมาะสมที่สุดถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรมไพทอน (Python) ซึ่งถูกเชื่อมโยงเข้าด้วยกันกับโปรแกรม PowerFactory DigSILENT ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้า ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นว่า วิธีการที่เสนอสามารถหาทางออกที่ดีที่สุดสำหรับการลดต้นทุนการดำเนินงานของไมโครกริด ช่วยยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ยิ่งไปกว่านั้นผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการใช้ Surrogate โมเดลในการช่วยแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดให้ความแม่นยำของผลเฉลยที่ดีกว่าวิธีการใช้ Surrogate โมเดลในการช่วยแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบดั้งเดิมอีกด้วย

ไพโรณรงค์ ศรีทอง และคณะ (2018) [48] ได้ศึกษาเครื่องปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมโดย Arduino คณะผู้จัดทำโครงการได้นำเครื่องปรับอากาศเก่ามาศึกษาเพื่อนำชิ้นส่วนมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยประดิษฐ์เป็นเครื่องปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมโดย Arduino ซึ่งมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับเครื่องปรับอากาศโดยมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักในการทำงาน และลักษณะการทำงานใช้หลักการคล้ายเครื่องปรับอากาศแบบทั่วไป แต่ต้นทุนในการผลิตต่ำ ประหยัดพลังงาน ลดการปล่อยสารเคมีที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกเหมาะกับการใช้งานทุกสภาพ ไม่สิ้นเปลืองค่าติดตั้ง และมีประสิทธิภาพความเย็นไม่แพ้เครื่องปรับอากาศทั่วไป โดยเครื่องปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมโดย Arduino เป็นการออกแบบ All DC ทั้งระบบ พลังงานไฟฟ้า DC ที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์สามารถนำไปต่อเข้ากับเครื่องปรับอากาศได้โดยตรง โดยไม่ต้องมีการใช้ inverter ในการแปลงไฟฟ้า และหาก ช่วงใดที่พลังงานแสงอาทิตย์ไม่มีเครื่องปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมโดย Arduino ก็จะทำนำไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (ไฟฟ้า AC) มาใช้อัตโนมัติ เพื่อให้เครื่องปรับอากาศทำงานได้ต่อเนื่อง ขนาดของแผง คือ 246w แผงมาตรฐานขนาด 12v 300w หรือ 12v 120w

ต่อขนาดกัน 2 แผง และเครื่องปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมโดย Arduino ยังมีขนาดความสามารถทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดย 1 ตันความเย็น = 8000BTU

กิตติคุปต์ คุณโท และดุลพิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์ (2019) [49] ได้ศึกษาวิธีการกำหนดขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของระบบกักเก็บพลังงานในไมโครกริดโดยคำนึงถึงความเพียงพอของกำลังการผลิตไฟฟ้า วิธีการหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของระบบกักเก็บพลังงานในไมโครกริดโดยคำนึงถึงมูลค่าความเสียหายเมื่อโหลดถูกปลดออกเนื่องจากกำลังผลิตรวมของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไม่เพียงพอค่าใช้จ่ายส่วนนี้ถูกนำมาพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายรวมที่ได้จากวิธีการแบบเดิม ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนของระบบกักเก็บพลังงานและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของไมโครกริด ผลการวิจัยพบว่าขนาดของระบบกักเก็บพลังงานที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่นำเสนอมีขนาดใหญ่กว่าขนาดที่ได้จากวิธีการคำนวณแบบเดิมสำหรับทุกตำแหน่งบัส เพราะขนาดที่ใหญ่ขึ้นช่วยลดมูลค่าความเสียหายเมื่อโหลดถูกปลดออกขณะที่วิธีการแบบเดิมไม่ได้คำนึงถึงค่าใช้จ่ายส่วนนี้จึงปรากฏขนาดที่เหมาะสมเล็กกว่าที่ควรจะเป็น นอกจากนี้พบว่าตำแหน่งติดตั้งของระบบกักเก็บพลังงานมีผลต่อค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียของไมโครกริด เป็นอย่างมาก ในช่วงที่ระบบกักเก็บพลังงานมีสถานะประจุ หากตำแหน่งติดตั้งอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าต่าง ๆ มาก จะทำให้ไมโครกริดมีค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียสูง และจะมีความรุนแรงมากขึ้นเมื่อระบบกักเก็บพลังงานนั้นมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากมีกำลังไฟฟ้าไหลผ่านสายจำหน่ายไปเก็บสะสมในระบบกักเก็บพลังงานมากขึ้น ในทางกลับกันเมื่อระบบกักเก็บพลังงานมีสถานะคายประจุ หากตำแหน่งติดตั้งของระบบกักเก็บพลังงานอยู่ใกล้กับกลุ่มโหลดที่ห่างจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าจากกริดจะถูกส่งไปยังกลุ่มโหลดดังกล่าวน้อยลง ส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียของไมโครกริดมีค่าลดลง และยังช่วยลดปริมาณโหลดที่ถูกปลดออกอันเนื่องมาจากกำลังผลิตรวมของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ามีค่าไม่เพียงพออีกด้วย สุดท้ายนี้ประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอถูกประเมินโดยการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมของไมโครกริดที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบเดิม ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่าใช้จ่ายรวมของไมโครกริดที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอมีค่าต่ำกว่าค่าใช้จ่ายรวมที่ได้จากวิธีการแบบเดิม

มานพ ยิงรัมย์ (2558) [50] ได้ศึกษาเทคนิคการตรวจจัดการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ ในการต่อต้านการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วย Matlab/Simulink Over/Under-Voltage Islanding Detection Technique of Antislanding for Grid-Connected Distributed Generation บทความนี้นำเสนอเทคนิคการตรวจจัดการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ ในการต่อต้านการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับหน่วยผลิตไฟฟ้า

แบบกระจายตัวด้วย Matlab/Simulink เพื่อแสดงให้เห็นถึง ประสิทธิภาพ และเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง ในการนำเทคนิคนี้ไปใช้งาน จากผลการจำลองการทำงาน แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการตรวจจับ การแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำ เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถต่อต้าน การแยกตัวอิสระได้อย่างรวดเร็ว ไม่มีการผิดสัญญาณรบกวนไปยังโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลัง การนำไปดำเนินการใช้งานไม่ยากแต่ยังมีจุดอ่อนเพราะมีพื้นที่ไร้การตรวจจับกว้างคือ ถ้า กำลังไฟฟ้าจริงเข้าไปสู่ขอบเขต $-24.39\% \leq \Delta P/P \leq 38.41\%$ เมื่อสภาวะการแยกตัวอิสระ เกิดขึ้นเทคนิคนี้ไม่สามารถตรวจจับสภาวะการแยกตัวอิสระได้

สัญญาชัยยะ พลสมกุลศิลป์, ชานี ใจประดิษฐ์ธรรม และไชยวรุฒ จันทรอุตร (2562) [51] ได้ศึกษาการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง 2 แนวทางคือ แนวทางจะเป็นการบริหารจัดการพลังงานชุมชนตามมาตรฐาน ISO 50001 เพื่ออนุรักษ์พลังงาน และแนวทางที่สองจะเสนอ ในการควบคุมระบบแสงสว่างภายในอาคารสำนักงาน ด้วยระบบการแจ้งเตือนการใช้พลังงาน ไฟฟ้าแบบดิจิทัลกิโลวัตต์เออาร์มีเตอร์ 1 เฟสเมื่อส่งสัญญาณไปยังชุดอุปกรณ์ควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 ที่ทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) ซึ่งชุดอุปกรณ์ระบบแจ้งเตือนนี้สามารถบอกเตือนเป็นเสียงสัญญาณเมื่อมีการใช้พลังงานในแต่ละวัน เมื่อหยุดการใช้พลังงานแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7 จะทำการประมวลผลไปยังหน้าจอ LCD เพื่อหาความต้องการพลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและควบคุม ระบบไฟฟ้าได้ด้วยใช้เทคโนโลยีสมาร์ทมิเตอร์ ปรึบความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด (Smart grid) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในระบบแสงสว่าง วิธีดำเนินการวิจัยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2561 ที่มีปริมาณการใช้ พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่างในพื้นที่โดยรวมเท่ากับ 165,750.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิด เป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับ 663,764.25 บาทต่อปี จากนั้นทำการวิเคราะห์สภาพปัญหาการใช้ พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างในพื้นที่ ซึ่งแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าระบบแสงสว่าง แบ่งออกเป็น 2 มาตรการ ได้แก่ 1) มาตรการที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงาน และ 2) มาตรการที่ จะต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงาน ผลการวิจัยพบว่ามาตรการที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย สามารถทำได้โดย การปิดหลอดแสงจันทร์ขนาด 400 วัตต์ ตลอดบริเวณทางเดินเท้าโดยคิดเฉลี่ย 7 ชั่วโมงต่อวัน สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 14,500 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ เท่ากับ 56,325.75 บาทต่อปี และมาตรการที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนหลอด ฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 28 วัตต์ (T5) ใช้เงินลงทุนรวม ทั้งสิ้น 149, 570 บาทสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 31,245.25 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อปีค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 125,326.25บาทต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 8 เดือน 30 วัน

วิรัตน์ พิชิตกฤษกร และ กิริติชยะกุลศิริ. (2561) [52] การออกแบบและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารของบัญชาการกรมยุทธโยธาทหารบก โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยประมวลผลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาอาคารจากพิกัดของสถานที่ติดตั้งจริงและข้อมูลของสภาพภูมิอากาศ สำหรับเป็นแนวทางการศึกษาความเหมาะสมในการติดตั้งและพัฒนาออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามนโยบายของกองทัพบก ซึ่งต้องการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในหน่วยทหารลง 10% รวมทั้งศึกษาระยะเวลาคืนทุนและอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยผลจากการจำลองการติดตั้งพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคาร ด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้จะมีประสิทธิภาพดีกว่าด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือประมาณ 5% โดยค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการวิเคราะห์เท่ากับ 34,809 หน่วยต่อเดือน ซึ่งถ้าคิดเป็นมูลค่าของเงินที่ประหยัดได้ในแต่ละปีจะลดลงได้ประมาณ 1,670,832 บาทต่อปีทำให้ระบบดังกล่าวจะมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 7 ปี สามารถลดพลังงานไฟฟ้าจากเดิมได้ถึง 18% ทั้งยังสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศได้ 225.56 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี

บทที่ 3

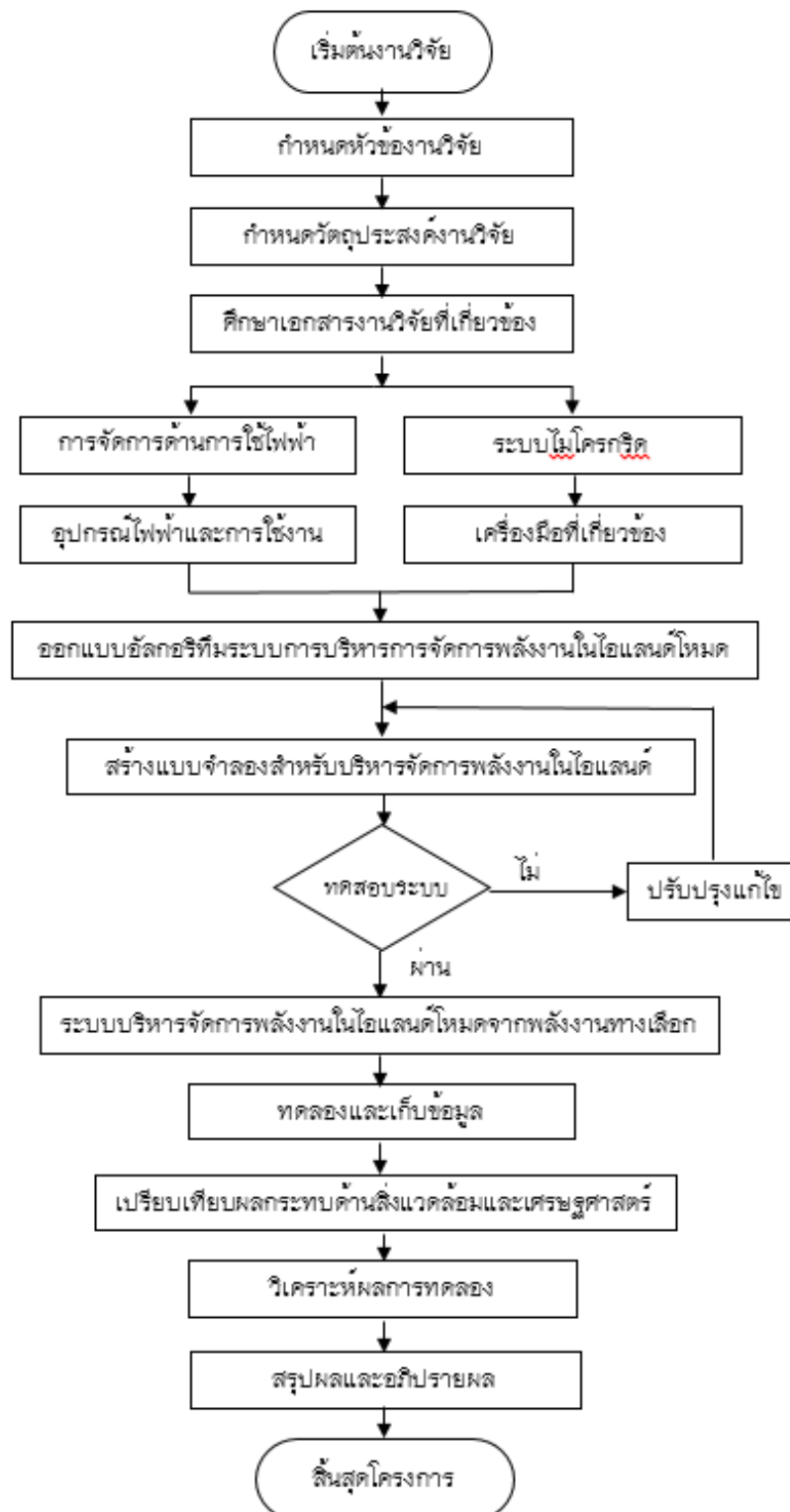
วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์สร้างและทดสอบอัลกอริทึมของดีมานต์เรสปอนส์สำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือก เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของพลังงานทางเลือกในไอแลนด์โหนด มีกระบวนการวิจัยดังนี้

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เพื่อเป็นแนวทางให้การดำเนินงานวิจัยเป็นไปอย่างมีระบบและบรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยอย่างครบถ้วนแล้วเสร็จทันตามกำหนด และมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงกำหนดขั้นตอนของการวิจัยดังต่อไปนี้

1. กำหนดหัวข้องานวิจัย
2. กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
3. การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
4. ออกแบบอัลกอริทึมของดีมานต์เรสปอนส์สำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือก
5. สร้างและทดสอบแบบจำลองการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือก
6. เปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของพลังงานทางเลือกในไอแลนด์โหนด
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง
8. สรุปผลและอภิปรายผล



ภาพ 12 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตัวแปรที่ศึกษา

ในการวิจัยครั้งนี้มีตัวแปรที่ใช้เพื่อการวิจัยประกอบด้วย ตัวแปรต้นตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ตัวแปรต้นเป็นตัวแปรที่เกี่ยวกับโหลด(Load) ได้แก่ ระบบแสงสว่าง พัดลม โปรเจคเตอร์ เครื่องเสียง คอมพิวเตอร์ และตู้เย็นที่อยู่ในอาคารปฏิบัติการ สวมพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

2. ตัวแปรตามที่ใช้ในการศึกษาริวิจัย ได้แก่ อัลกอริทึมของดีมานด์เรสปอนส์และแบบจำลองสำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก

3. ตัวแปรควบคุมเป็นตัวแปรที่เกี่ยวกับแหล่งจ่าย (Supply) ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 2.2 kW พลังงานลมขนาด 680 W แบตเตอรี่ขนาด 24 V 300 Ah และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาด 2 Kw

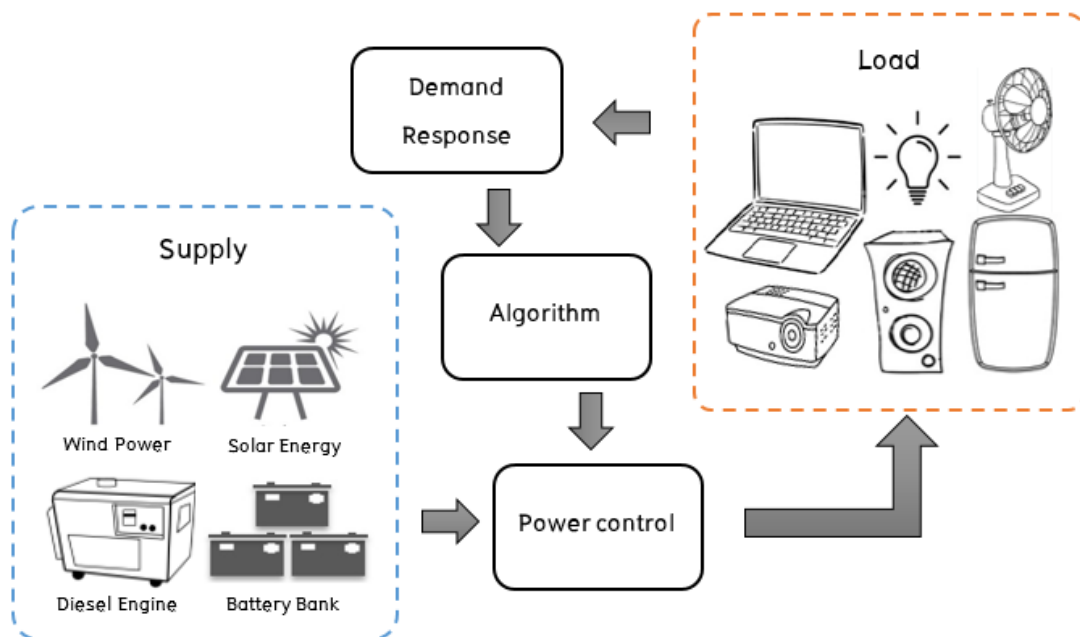
ระเบียบวิธีวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research) เพื่อสร้างและทดสอบอัลกอริทึมของดีมานด์เรสปอนส์สำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของพลังงานทางเลือกในไอแลนด์โหมด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

รูปแบบของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบอัลกอริทึมระบบการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด ในการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response: DR) ในอาคารปฏิบัติการ โดยใช้อุปกรณ์ทางด้านเทคโนโลยีควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้ากับแหล่งจ่าย ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่สำรอง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ดังภาพ 12

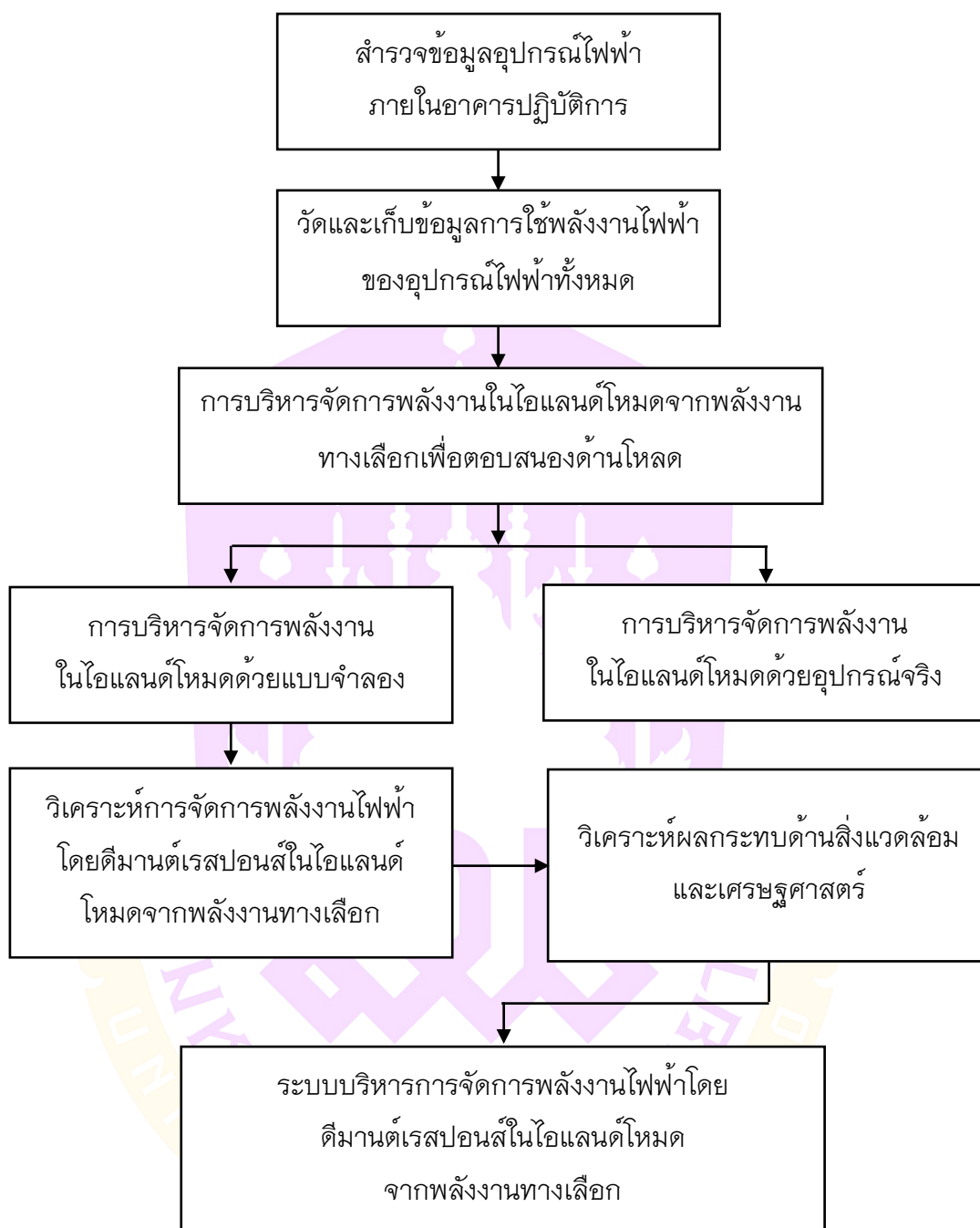




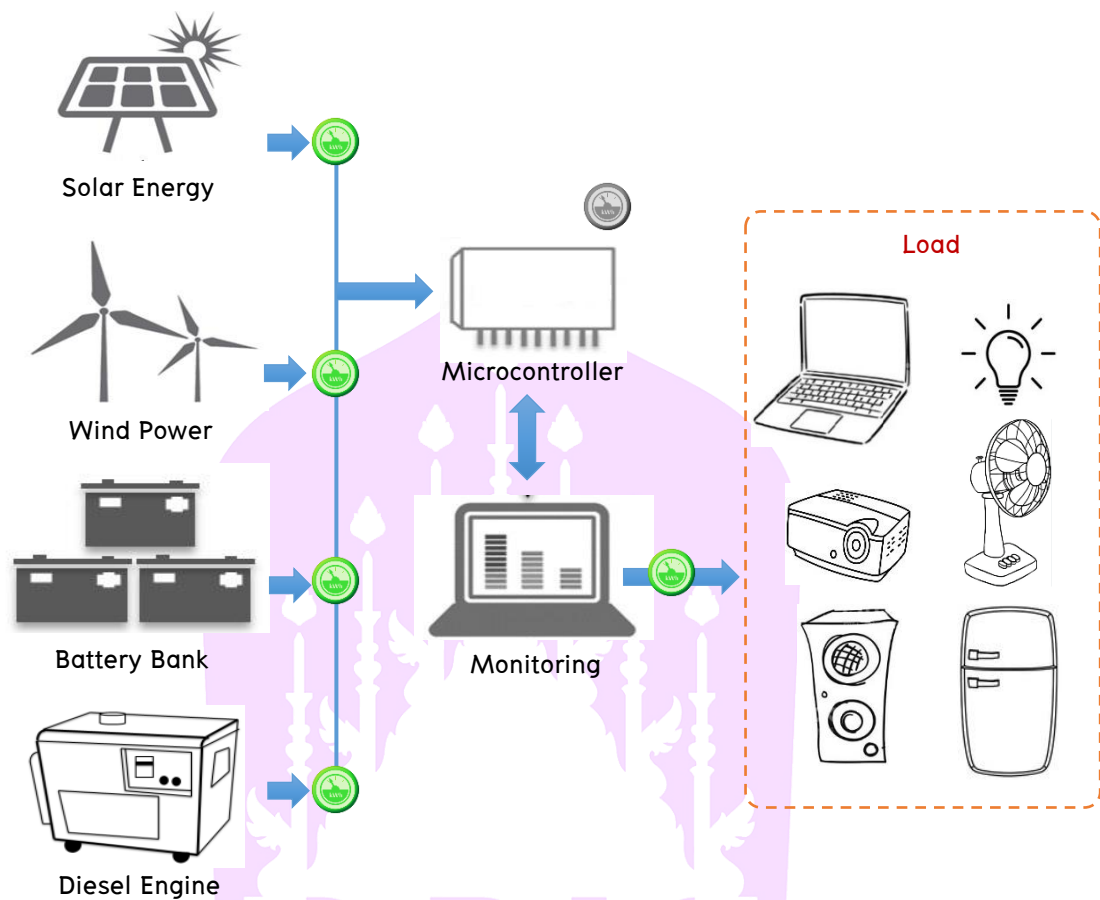
ภาพ 13 ระบบการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด
ในการตอบสนองด้านโหลด

การสร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก สำหรับตอบสนองด้านโหลดของอาคารปฏิบัติการ และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของพลังงานทางเลือก ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้แสดงตามขั้นตอนดังต่อไปนี้



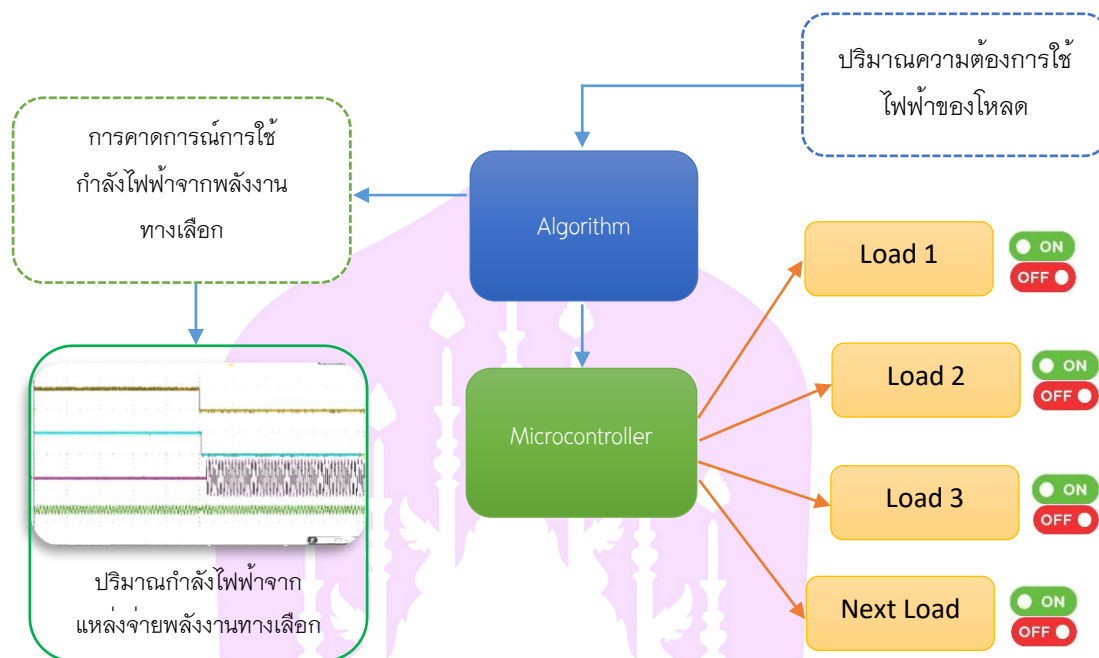
ภาพ 14 ขั้นตอนการสร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัย



ภาพ 15 ลักษณะการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก

จากภาพ 14 เป็นรูปแบบการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ในการควบคุมการตอบสนองด้านโหลด หากมีการเปลี่ยนแปลงระบบจะควบคุมการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือกให้กับโหลดแบบอัตโนมัติ

การทดสอบและรายการอุปกรณ์ไฟฟ้า



ภาพ 16 การทดลองระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือก เพื่อตอบสนองต่อโหลด

จากภาพ 15 เป็นการทดลองระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือก โดยวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดจากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารปฏิบัติการ เพื่อออกแบบอัลกอริทึมสำหรับสร้างแบบจำลองและออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบอัตโนมัติรวมกับการใช้พลังงานทางเลือก และทำการเปรียบเทียบผลการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของพลังงานทางเลือกแต่ละประเภท

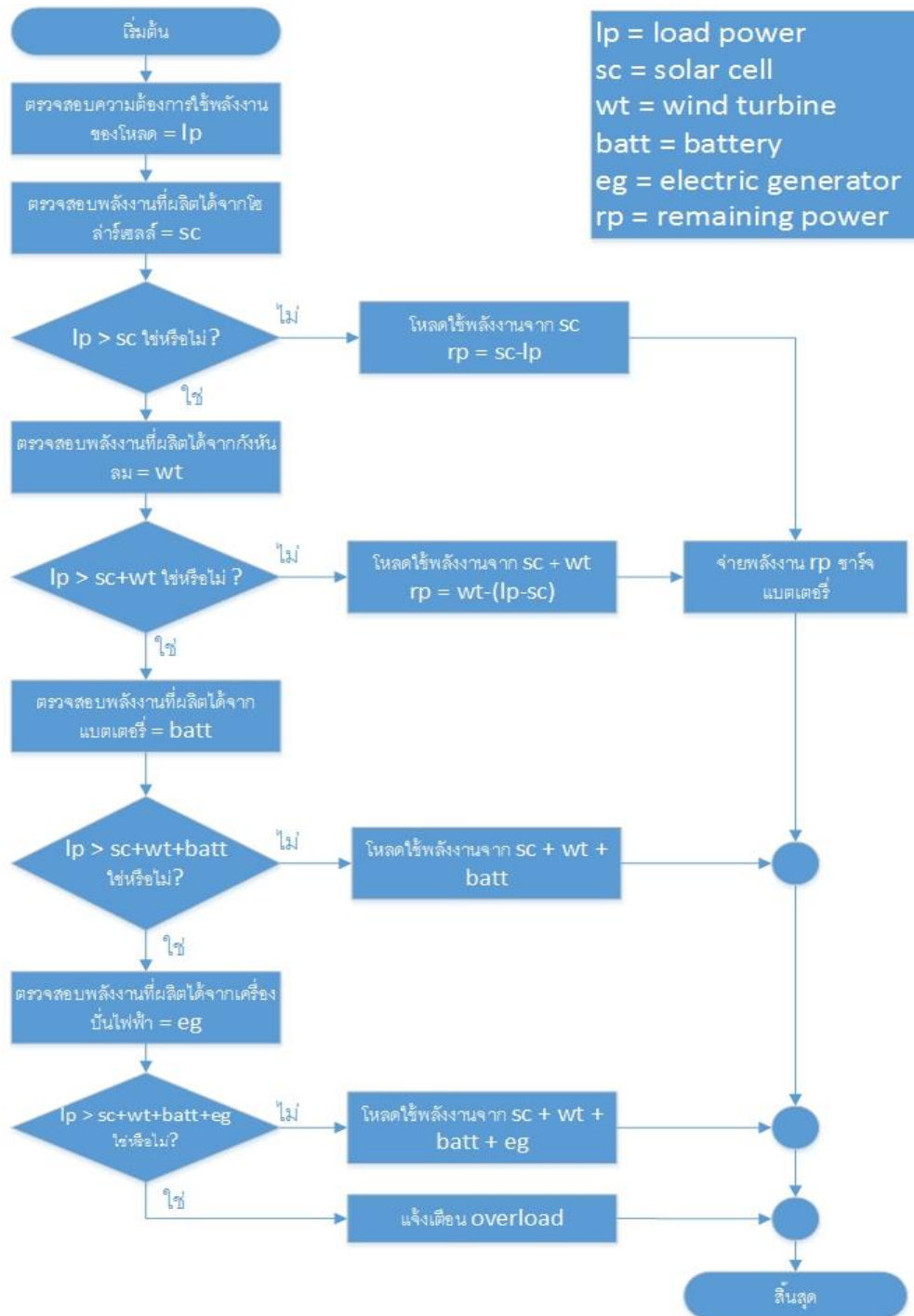
โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือกประกอบด้วยตาราง 1

ตาราง 1 แสดงรายการและขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้าในการทดสอบ

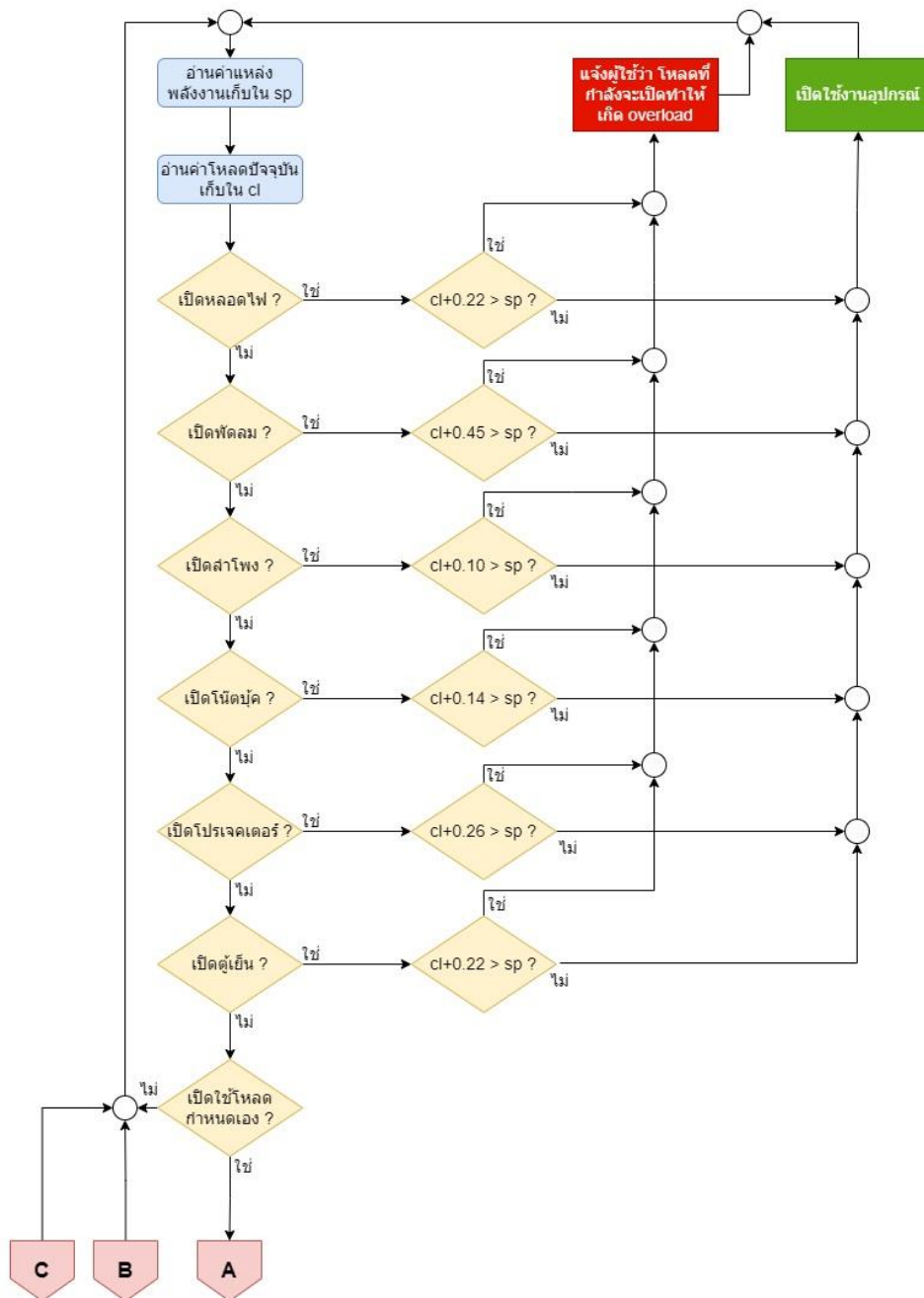
เครื่องใช้ไฟฟ้า	ขนาด (W)	จำนวน (เครื่อง)
หลอดฟลูออเรสเซนต์	36	6
พัดลมไอน้ำ	150	3
ลำโพงช่วยสอน	100	1
เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา	135	1
โปรเจคเตอร์	260	1
ตู้เย็น	220	1

ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด

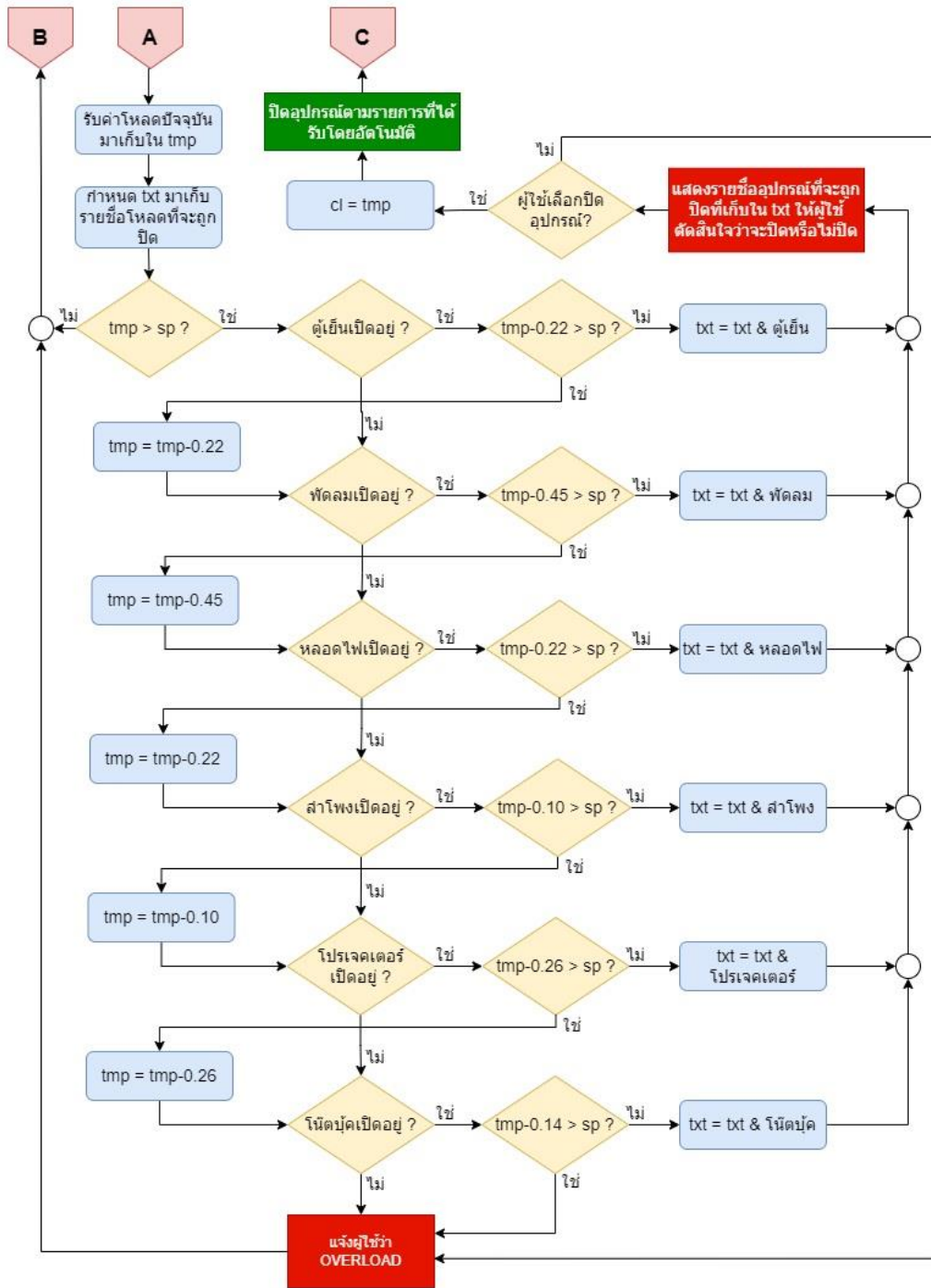
ในการออกแบบมีข้อกำหนดของแหล่งจ่าย คือ พลังงานแสงอาทิตย์มีขนาด 2.2 kW พลังงานลมมีขนาด 0.68 kW แบตเตอรี่สำรองมีขนาด 300 Ah และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาดมีขนาด 2 kW เพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้งานของโหลดภายในอาคารปฏิบัติการ ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ พัดลมไอน้ำ ลำโพงช่วยสอน เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา โปรเจคเตอร์ และตู้เย็น



ภาพ 17 ขั้นตอนการทำงานของระบบบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยแหล่งจ่ายจากพลังงานทางเลือก



ภาพ 18 ขั้นตอนการทำงานของระบบบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด เพื่อตอบสนองด้านโหลด



ภาพ 18 (ต่อ)

จากภาพ 16-18 เป็นการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับสร้างแบบจำลอง และออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการใช้พลังงานทางเลือกในการตอบสนองด้านโหลด โดยมีการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าให้ครอบคลุมการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของอาคารปฏิบัติการ เพื่อนำไปพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและรูปแบบการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งอยู่ทางด้านอุปสงค์ (Demand) และเพื่อนำไปเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมหลัก มีขั้นตอนการทำงานของระบบบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานทางเลือกกับการตอบสนองด้านโหลด โดยมีเงื่อนไขดังนี้

1. เมื่อโหลดถูกเปิดใช้งาน ระบบทำการตรวจสอบโหลด นำค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของโหลดมารวมกัน เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์และลำโพงช่วยสอนถูกเปิดใช้งาน กำลังไฟฟ้าของโหลดมีค่าเท่ากับ $0.22 \text{ kWh} + 0.10 \text{ kWh} = 0.30 \text{ kWh}$

2. ถ้าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์เพียงพอสำหรับโหลดแล้วนั้น พลังงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือของพลังงานแสงอาทิตย์บวกกับพลังงานลม (ถ้ามี) จะถูกนำไปชาร์จแบตเตอรี่

3. ถ้าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์บวกกับพลังงานลมเพียงพอสำหรับโหลดแล้วนั้น พลังงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือของพลังงานลมจะถูกนำไปชาร์จแบตเตอรี่

4. ถ้าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์บวกกับพลังงานลมบวกกับแบตเตอรี่สำรองเพียงพอสำหรับโหลดแล้วนั้น แบตเตอรี่สำรองจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าเฉพาะส่วนที่เกินจากกำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บวกกับพลังงานลมที่ผลิตได้

5. ถ้าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์บวกกับพลังงานลมบวกกับแบตเตอรี่สำรองบวกกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเพียงพอสำหรับโหลดแล้วนั้น พลังงานแสงอาทิตย์/ พลังงานลม/ แบตเตอรี่สำรองจะจ่ายไฟเต็มกำลัง ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะจ่ายไฟเฉพาะส่วนที่ยังขาดอยู่

6. เมื่อพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือกผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอกับความต้องการของโหลด ถ้ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์ บวก พลังงานลม บวก แบตเตอรี่สำรอง บวก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ไม่เพียงพอต่อความต้องการด้านโหลดแล้วนั้น จะต้องมีการปิดโหลดตามลำดับที่กำหนดไว้เพื่อให้โหลดที่มีความสำคัญมากกว่าสามารถใช้งานได้ โดยจะมีการเรียงลำดับจากความสำคัญใช้งานน้อยไปหามากดังนี้ ตู้เย็น > พัดลมไอน้ำ > หลอดฟลูออเรสเซนต์ > โพรเจคเตอร์ > ลำโพงช่วยสอน > เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา ซึ่งมีขั้นตอนการตรวจสอบและการตัดสินใจ ดังนี้

6.1 กรณีเปิดใช้งานโหลดไว้อยู่แล้ว นำกำลังไฟฟ้ารวมของโหลดมาลบออกด้วยกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ละตัวตามลำดับความสำคัญในการใช้งานข้างต้น แล้วนำไปเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานทางเลือกที่ผลิตได้ ถ้าหลังจากนำกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ละตัวมาลบแล้วได้ค่าน้อยกว่าพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย แปลว่า พลังงานจากแหล่งกำเนิดเพียงพอสำหรับโหลดที่เหลือ ระบบทำการแจ้งผู้ใช้งานเพื่อขอปิดโหลดตัวนั้น ๆ แล้วปล่อยให้โหลดตัวที่เหลือที่ถูกเปิดใช้งานให้สามารถทำงานได้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

6.1.1 พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายมีค่าเท่ากับ 0.30 kWh

6.1.2 โหลดที่ถูกเปิดใช้งานได้แก่ พัดลม 0.45 kWh + ลำโพง 0.10 kWh + หลอดไฟ 0.22 kWh รวมแล้วมีค่าเท่ากับ 0.77 kWh

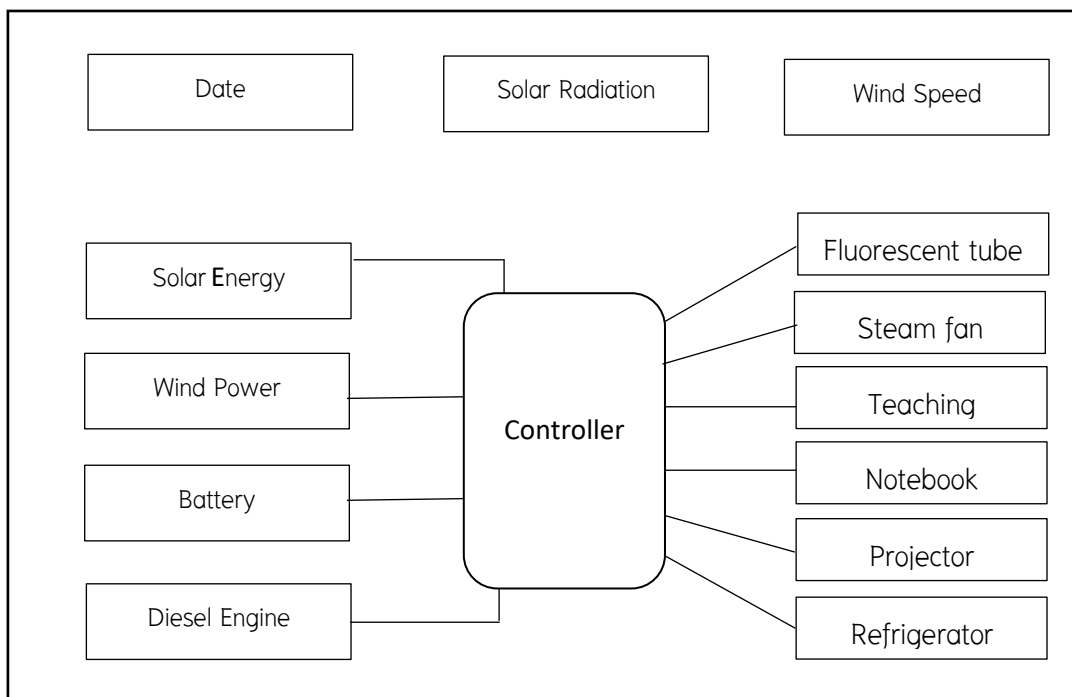
จากตัวอย่างจะเห็นว่า กำลังไฟฟ้าของโหลดมากกว่าพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายซึ่งเกินกำลังที่จะจ่ายได้ ($0.77 \text{ kWh} > 0.30 \text{ kWh}$) ดังนั้นจึงต้องนำกำลังไฟฟ้าของโหลดแต่ละตัวตามลำดับความสำคัญการใช้งาน จากนั้นน้อยไปหามาก มาลบออกทีละตัวโดยเรียงลำดับดังนี้ พัดลมไอน้ำ > หลอดฟลูออเรสเซนต์ > ลำโพงช่วยสอน จะได้ว่า $0.77 \text{ kWh} - 0.45 \text{ kWh} = 0.32 \text{ kWh}$ ซึ่งก็ยังมากกว่าพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย ($0.32 \text{ kWh} > 0.30 \text{ kWh}$) จึงต้องนำโหลดตัวต่อไปมาลบออกอีกจะได้ว่า $0.77 \text{ kWh} - 0.45 \text{ kWh} - 0.22 \text{ kWh} = 0.10 \text{ kWh}$ ซึ่งจะน้อยกว่าพลังงานจากแหล่งจ่ายแล้ว ($0.10 \text{ kWh} < 0.30 \text{ kWh}$) ดังนั้นระบบก็จะทำการแจ้งผู้ใช้งานโดยมีข้อความแสดงที่หน้าจอว่า จะทำการปิดโหลด 2 ตัว คือ พัดลมไอน้ำและหลอดฟลูออเรสเซนต์ หากผู้ใช้งานยินยอม ระบบก็จะทำการปิดโหลดตามที่แจ้ง แต่ถ้าผู้ใช้งานไม่ยินยอมระบบจะมีข้อความแสดงที่หน้าจอว่า “ระบบเกินกำลัง” (Over Load)

6.2 กรณีมีการเปิดใช้งานโหลดเพิ่ม ก่อนที่ระบบจะอนุญาตให้โหลดที่ต้องการเปิดใช้งานล่าสุดถูกเปิดได้นั้น ระบบจะทำการคำนวณกำลังไฟฟ้าของโหลดที่ต้องการเปิดใช้งานไปรวมกับกำลังไฟฟ้ารวมของโหลดปัจจุบัน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้ารวมแล้วกำลังไฟฟ้าของโหลดมากกว่าพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย ระบบจะแจ้งผู้ใช้งานว่า “ไม่สามารถอนุญาตให้เปิดโหลดเพิ่มได้เพราะจะทำให้ระบบทำงานเกินกำลัง” แต่ถ้ารวมแล้วกำลังไฟฟ้าของโหลดน้อยกว่าพลังงานจากแหล่งจ่าย ระบบจะทำการเปิดให้เปิดใช้งานโหลดตัวล่าสุดทันที

การออกแบบการสร้างแบบจำลอง

เมื่อทำการออกแบบอัลกอริทึมเสร็จแล้ว ผู้วิจัยดำเนินการออกแบบหน้าจอหลักของแบบจำลองสำหรับการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก โดยใช้

ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ เวอร์ชัน 10 และโปรแกรม Microsoft Visual Studio version 2010 สร้างแบบจำลอง และ ในส่วนฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการประมวลผลไม่น้อยกว่า Core i5 ดังภาพ 19



ภาพ 19 แสดงหน้าจอหลักแบบจำลองระบบบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าของอาคารปฏิบัติ

จากภาพ 18 เป็นการออกแบบหน้าจอหลักของโปรแกรม ซึ่งมีฟังก์ชันของแหล่งจ่าย ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ในส่วนของฟังก์ชัน ได้แก่ หลอดฟลูออโรเรสเซนต์ พัดลมไอน้ำ ลำโพงช่วยสอน เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา โปรเจคเตอร์ และตู้เย็น โดยมีการแสดงค่าความเข้มของแสง ค่าความเร็วลมในแต่ละวัน เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณของไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ทั้งนี้โปรแกรมได้สร้างเงื่อนไขผ่านชุดควบคุม ในการบริหารจัดการไฟฟ้าด้านการใช้ไฟฟ้าของอาคารปฏิบัติ โดยไม่พึ่งพาไฟฟ้าจากสายส่ง เมื่อสร้างโปรแกรมเสร็จแล้วจากนั้นจึงทำการทดสอบโปรแกรมที่สร้างให้ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตที่ตั้งไว้ นำผลที่ได้ปรับปรุงแก้ไขให้โปรแกรมที่สมบูรณ์ และทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด บันทึกค่าผลการทดลองโดย ซึ่งทำการทดสอบระบบโดยการใช้ข้อมูลค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ จากฐานข้อมูลของงานพัฒนาฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และระบบเชื่อมโยงฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวง

อาทิตย์ของประเทศไทย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [53] และใช้ฐานข้อมูลค่าความเร็วลมของสถานีตำบลท่าไม้ อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร จากคลังข้อมูลน้ำและภูมิอากาศแห่งชาติ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) [53] ในการทดสอบดังต่อไปนี้

1. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
2. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยพลังงานลม
3. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยแบตเตอรี่สำรอง
4. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยเครื่องผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซล
5. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยพลังงานทางเลือก

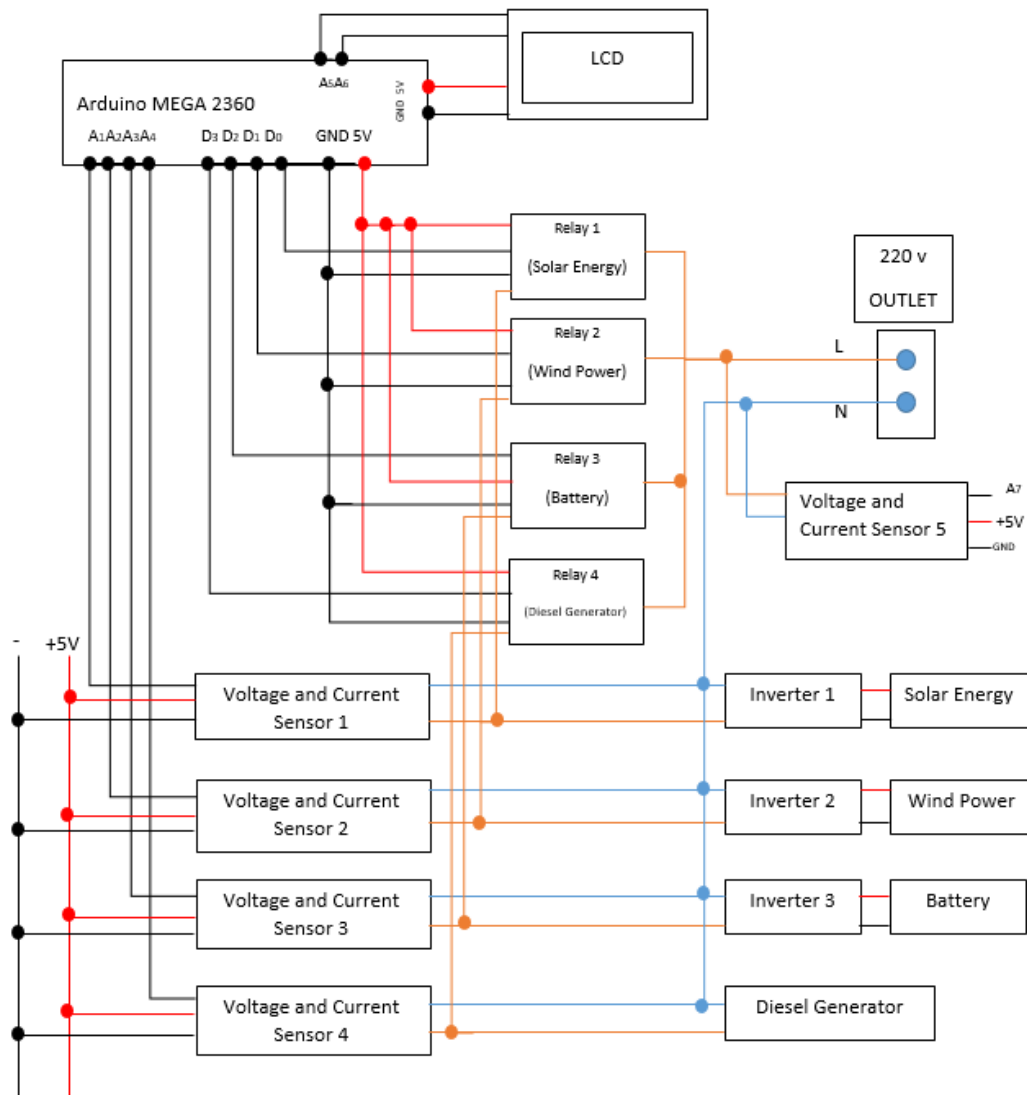
ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ ระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2564 ถึงวันที่ 14 ตุลาคม พ.ศ.2564 รวมใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 10 เดือน ดังตารางที่ 2

ตาราง 2 ตัวอย่างข้อมูลค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และความเร็วลม

วันที่	ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (MJ/m ² -d)	ความเร็วลม (m/s)
1/1/2021	17.8	0.75
2/1/2021	17.8	0.85
3/1/2021	17.6	0.75
4/1/2021	18	0.59
5/1/2021	17.7	0.59
6/1/2021	18.7	0.49
7/1/2021	19.9	0.54
8/1/2021	18.3	0.54
9/1/2021	18.9	0.59

ลักษณะวงจรของอุปกรณ์ควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด

การออกแบบอุปกรณ์ชุดควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด ให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดไม่พึ่งพาไฟฟ้าจากสายส่ง โดยนำพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่สำรองและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เป็นแหล่งจ่ายให้กับโหลดภายในอาคารปฏิบัติการร่วมกัน ดังภาพ 19

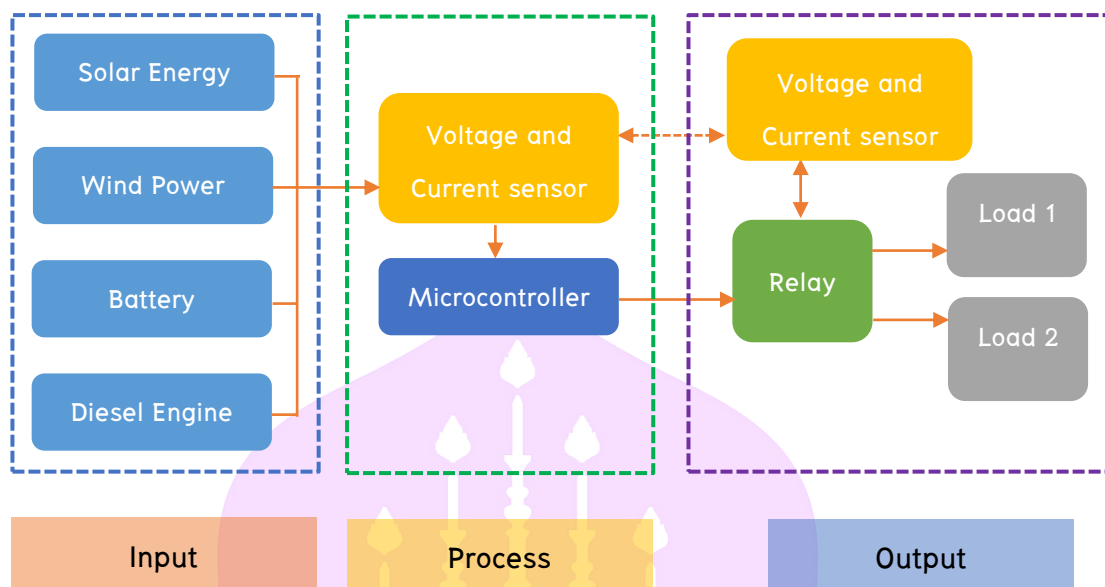


ภาพ 20 การออกแบบอุปกรณ์ชุดควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โฮมด

จากภาพ 19 จะเห็นว่า มีแหล่งจ่ายพลังงานทางเลือก 4 แหล่งจ่าย คือ (1) พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) (2) พลังงานลม (Wind Power) (3) แบตเตอรี่ (Battery) และ (4) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel Generator) ซึ่งแหล่งจ่ายแต่ละชนิดจะวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Voltage and Current Sensor ซึ่งต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ จ่ายให้กับบอร์ด Voltage and Current Sensor และส่งค่าที่ได้ไปที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2360 ซึ่งตัวบอร์ดจะใช้สัญญาณอนาล็อก ขา A1 ถึง A4 และ A7 เพื่อจะอ่านค่าของ Voltage and Current Sensor แต่ละตัวแล้วเทียบค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบแรงดันและกระแสไฟฟ้า

ของแหล่งจ่ายแต่ละชนิด จากนั้นจะนำค่าแรงดัน ณ เวลานั้น ๆ แสดงที่หน้าจอ LCD และใช้การคำนวณ Voltage and Current Sensor ตัวที่ 5 เมื่อพบว่า มีการใช้กำลังไฟฟ้า (watt) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งงานรีเลย์ ตัวที่ 1 คือ พลังงานแสงอาทิตย์จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดทางไฟฟ้าผ่านปลั๊ก 220V OUTLET หาก Voltage and Current Sensor ตัวที่ 5 ตรวจสอบแล้วพบว่า กำลังไฟฟ้า (watt) ของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งงานรีเลย์ ตัวที่ 2 คือ พลังงานลมให้จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดทางไฟฟ้าผ่านปลั๊ก 220V OUTLET ทำงานรวมกันกับพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ถ้า Voltage and Current Sensor ตัวที่ 5 ตรวจสอบแล้วพบว่า กำลังไฟฟ้า (watt) ของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของโหลด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งงานรีเลย์ ตัวที่ 3 คือ พลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ ให้จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดทางไฟฟ้าผ่านปลั๊ก 220V OUTLET ทำงานรวมกันกับพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม ถ้าหาก Voltage and Current Sensor ตัวที่ 5 ตรวจสอบแล้วพบว่า กำลังไฟฟ้า (watt) ของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ยังไม่เพียงพอที่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งงานรีเลย์ ตัวที่ 4 คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดผ่านปลั๊ก 220V OUTLET ทำงานรวมกันกับพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ ตามลำดับ และเมื่อ Voltage and Current Sensor ตัวที่ 5 ตรวจสอบแล้วพบว่า การใช้กำลังไฟฟ้า (watt) เกินความต้องการของโหลด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งตัดการทำงานของรีเลย์ ตัวที่ 4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ตัวที่ 3 พลังงานสำรอง จากแบตเตอรี่ และตัวที่ 2 พลังงานลม หยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าตามลำดับ กระบวนการทั้งหมดนี้เป็นรูปแบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก

การออกแบบวงจรของอุปกรณ์ควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดโดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมระบบการทำงาน ประกอบด้วย ชุดอินพุต (Input) ได้แก่ เซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า และสวิตช์ควบคุมการทำงาน ชุดควบคุม (Process) ได้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำหน้าที่ประมวลผลการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า และ ชุดเอาต์พุต ได้แก่รีเลย์ และจอ LCD เพื่อใช้ในการแสดงผลการทำงานของอุปกรณ์และควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือก



ภาพ 21 Block Diagram ของอุปกรณ์ควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนด

จากภาพ 20 เป็นการแสดงให้เห็นถึง Block Diagram ของอุปกรณ์ควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แบ่งอุปกรณ์ในการควบคุมออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) ชุดของแหล่งจ่ายภายนอกประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (2) ชุดของกระบวนการควบคุมประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะรับค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าจากชุดเซนเซอร์ (1) ชุดของอุปกรณ์ควบคุมการทำงานทางด้านเอาต์พุตประกอบด้วยชุดทางด้านไฟฟ้ากำลังได้แก่รีเลย์ที่ใช้ในการสลับแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากภายนอกโดยผ่านการควบคุมจากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

เมื่อทำการประกอบชุดการทดลองเข้ากับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ควบคุมโดยบันทึกค่าต่าง ๆ ด้วย digital storage oscilloscope GW Instek GDS 3154 Series 150MHz 4 input channel

วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์

เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองแล้ว ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของพลังงานทางเลือกในไอแลนด์โหนด โดยมีข้อกำหนดที่ใช้ในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 3 และนำเสนอการเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ ดังนี้

ตาราง 3 ข้อกำหนดที่ใช้ในการวิเคราะห์

ลำดับที่	ข้อกำหนด	อ้างอิง
1	จำนวนวันที่ใช้งาน 250 วัน/ปี [31]	วันทำการราชการ
2	กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง (Wp) 450 วัตต์	บริษัททาวเวอร์ บี โซลาร์เซลล์
3	Energy yield derating factor (EF) 0.7 [31]	www.greenzone-thailand.com
4	ระยะการมีแสงอาทิตย์ (Peak sun hour) 4 ชั่วโมง/วัน [55]	https://www.gaisma.com/en/location/kamphaeng-phet.html
5	ราคาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย 4.5 บาท/kWh [31]	บิลค่าไฟฟ้าการไฟฟ้าภูมิภาค 2566
6	จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้ง (แผง)	คำนวณจากแหล่งจ่ายของแต่ละโหนดในการทดลอง
7	การเผาไหม้ของน้ำมันดิบ 1 ตัน หรือประมาณ 42 (GJ) [31]	สำนักงานพลังงานสากล (International Energy Association ; IEA)

สมการที่ใช้ในการคำนวณผลประหยัดพลังงานทางเลือกในโหนดโหนดใหม่ มีดังต่อไปนี้ [31]

1. ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า (kWh)

$$= \text{กำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม (kW)} \times \text{ชั่วโมงการทำงาน} \times \text{จำนวนวันที่ใช้งาน}$$

2. เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ (ktoe/ปี)

$$= \frac{\text{ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า (kWh)} \times 3.6}{\text{การเผาไหม้ของน้ำมันดิบ 1 ตัน}}$$

3. คิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้ (MJ/ปี)

$$= \text{ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า (kWh)} \times 3.6 \text{ (MJ/Wh)}$$

4. คิดเป็นปริมาณ CO₂ (ตัน/ปี) จากพลังงานไฟฟ้า

$$= \text{ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า (kWh)} \times 0.561 \text{ (kgCO}_2\text{e/kWh)}$$

5. คิดเป็นจำนวนเงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)

$$= \frac{\text{ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า (kWh)} \times \text{ราคาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/kWh)}}{\text{ต่อหน่วย (บาท/kWh)}}$$

6. คิดเป็นปริมาณ CO₂ (ตัน/ปี) จากพลังงานเชื้อเพลิงดีเซล

$$= \text{ปริมาณน้ำมันดีเซล (l)} \times 3.0 \text{ (kgCO}_2\text{e/l)}$$

เมื่อทำการคำนวณการบริหารจัดการพลังงานในโหนดโหนดใหม่ด้วยพลังงานเลือก

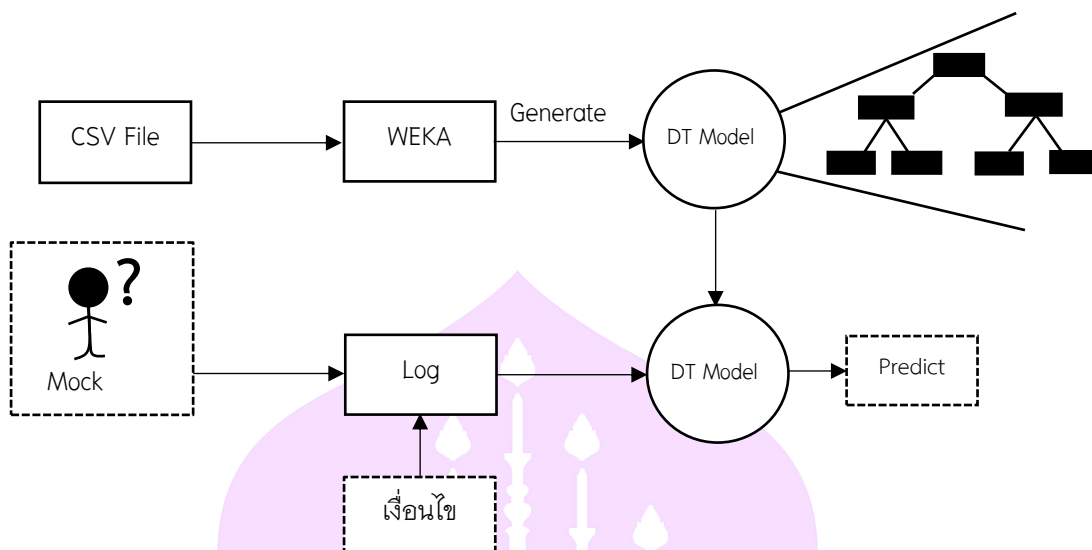
ทั้ง 5 ตัวอย่าง ให้บันทึกค่าลงตาราง 4

ตาราง 4 การบันทึกของการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมตด้วยพลังงานเลือก

รายการ (ตัวอย่าง)	ผล ประหยัด พลังงาน ไฟฟ้า (kWh)	เทียบเท่า ตัน น้ำมันดิบ (ktoe/ปี)	พลังงานที่ ประหยัดได้ (MJ/ปี)	ปริมาณ CO ₂ (ตัน/ ปี) จาก พลังงาน ไฟฟ้า	ปริมาณ CO ₂ (ตัน/ปี) จาก พลังงาน เชื้อเพลิง ดีเซล
1. การบริหารจัดการ การพลังงานในไอแลนด์ โหมตด้วยพลังงาน แสงอาทิตย์					
2. การบริหารจัดการ การพลังงานในไอแลนด์ โหมตด้วยพลังงานลม					
3. การบริหารจัดการ การพลังงานในไอแลนด์ โหมตด้วยแบตเตอรี่ สำรอง					
4. การบริหารจัดการ การพลังงานในไอแลนด์ โหมตด้วยเครื่องผลิต ไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซล					
5. การบริหารจัดการ การพลังงานในไอแลนด์ โหมตด้วยพลังงาน ทางเลือก					

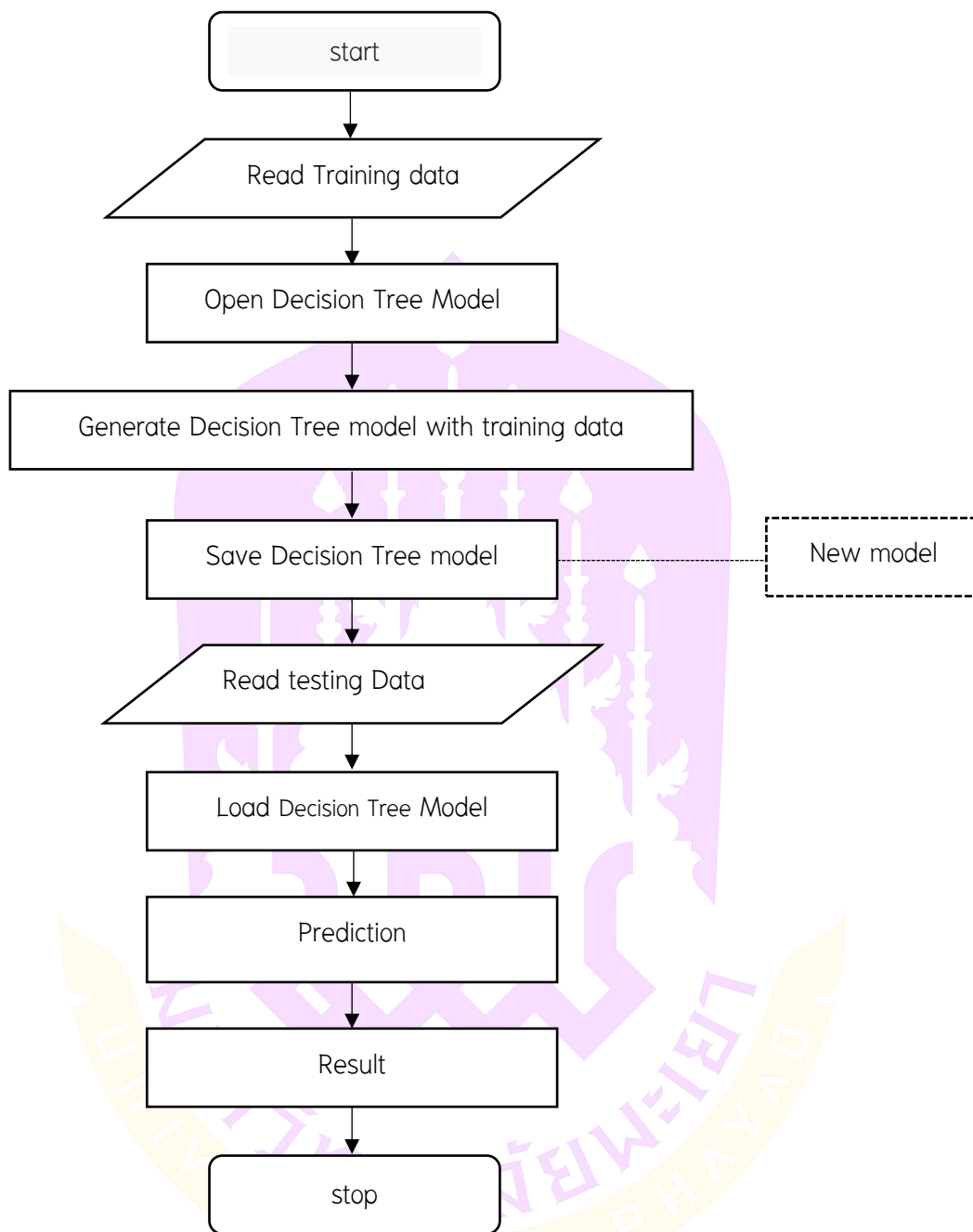
การพัฒนาโมเดลด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ Decision Tree

เมื่อทำทดสอบการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมตด้วยแบบจำลองทั้ง 5 โหมต ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้มาพัฒนาโมเดลสำหรับนำไปประยุกต์การใช้งานในพื้นที่ต่างๆ โดยมีภาพรวมของการนำข้อมูลมาสร้างโมเดลและการนำไปประยุกต์ใช้งานดังภาพที่ 23



ภาพ 22 แสดงภาพรวมโมเดลและการนำไปประยุกต์ใช้งาน

จากภาพเมื่อรวบรวมข้อมูลค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ค่าความเร็วลม แหล่งจ่ายแต่ ละชนิดและข้อมูลไหลตต่าง ๆ จากการทดสอบมาเก็บไว้ในรูปแบบ Microsoft Excel และบันทึก คำนามสกุลเป็น CSV File จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างโมเดลโดยใช้โปรแกรม WEKA ในการ ประมวลผลและได้โมเดลที่ชื่อว่า SP model ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในพื้นที่อื่น ๆ โดย การเก็บรวบรวมข้อมูล ณ พื้นที่นั้นๆ แล้วนำเข้าข้อมูลตามเงื่อนไขของ Log File และทดสอบกับ โมเดลเพื่อประมวลผล ทั้งนี้การสร้างโมเดลด้วยโปรแกรม WEKA สามารถแสดงขั้นตอนการ สร้างดังภาพ 22



ภาพ 23 โฟร์ชาร์ตการสร้างโมเดลด้วยโปรแกรม WEKA

จากภาพ แสดงขั้นตอนการพัฒนาโมเดลด้วยโปรแกรม WEKA เริ่มจากให้ระบบอ่านข้อมูลการสอนระบบ (Training data) จากนั้นเปิด Decision Tree Model ที่อยู่ในโปรแกรม WEKA โปรแกรมจะทำการโหลดข้อมูลการสอนระบบเข้ามายัง Decision Tree อย่างอัตโนมัติ จากนั้นกดประมวลผลเพื่อทำการสอนระบบ เมื่อประมวลผลเสร็จระบบจะสร้าง Decision Tree

ที่มีเงื่อนไขเพื่อเลือก Scenario (สร้างต้นไม้ตัดสินใจ) เมื่อกดบันทึกโมเดลจะได้โมเดลใหม่ขึ้นมา ในที่นี้ผู้วิจัยได้กำหนดชื่อ SP model เมื่อต้องการทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของโมเดล ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลเพิ่มเติมจากการทดสอบจากแบบจำลองทั้ง 5 โหมด แสดงดังภาพ 24

@DATA	
10,0,2.2,0,0,0,0,0,0,3.52,4.89,A	
12,0,2.2,0,0,0,0,0,0,4.22,5.87,A	
13,0,2.2,0,0,0,0,0,0,4.58,6.36,A	
14,0,2.2,0,0,0,0,0,0,4.92,6.84,A	
15,0,2.2,0,0,0,0,0,0,5.27,7.33,A	
10,0,2.2,1.35,0,0,0,0,0,3.88,5.40,B	
11,0,2.2,1.35,0,0,0,0,0,4.27,5.94,B	
13,0,2.2,1.35,0,0,0,0,0,5.05,7.02,B	
14,0,2.2,1.35,0,0,0,0,0,5.44,7.56,B	
15,0,2.2,1.35,0,0,0,0,0,5.83,8.10,B	
10,3,2.2,0,0,1.5,0,0,0,4.00,5.56,C	
11,4,2.2,0,0,1.5,0,0,0,5.23,7.27,C	
12,5,2.2,0,0,1.5,0,0,0,6.96,9.67,d	
@DATA	
11,0,2.2,0,0,0,0,0,0,3.87,5.38,?	
12,0,2.2,1.35,0,0,0,0,0,4.66,6.48,?	
14,7,2.2,0,0,1.5,0,0,0,11.96,16.62,?	
13,0,2.2,0,0,0,200,0,0,7.09,9.85,?	
0,4,0,0,0,3,300,0,0,0,5.23,7.27,?	
0,6,0,0,0,3,0,0,2,0,10.73,14.91,?	

(a)

(b)

ภาพ 24 ข้อมูลสำหรับสอนและทดสอบระบบ

จากภาพ 24 เป็นข้อมูลสำหรับสอนและทดสอบระบบ โดยภาพที่ 25 a เป็นข้อมูลสำหรับสอนระบบ ซึ่งผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาจากการทดสอบในแบบจำลอง ทั้ง 5 โหมด และในส่วนของภาพที่ 24 b เป็นข้อมูลสำหรับทดสอบความแม่นยำของโมเดลต้นไม้ตัดสินใจ ซึ่งเก็บข้อมูลเพิ่มเติมจากสถานที่จำลองอื่นๆ มีข้อสังเกตความแตกต่างของข้อมูลทั้งสองระบบ คือ ในคอลัมน์สุดท้ายของข้อมูลทั้งสองระบบจะมีชื่อของ Scenario ที่กำหนดไว้ แต่ข้อมูลการทดสอบโมเดลจะไม่มีชื่อของ Scenario แต่จะเป็นเครื่องหมาย ? แทน เพื่อให้ SP model ทำนายผลออกมาว่าเป็น Scenario ไດ

ในบทที่ 3 นี้ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารปฏิบัติการ เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำการออกแบบและวิเคราะห์การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมตจากพลังงานทางเลือกเพื่อตอบสนองทางด้านโหลด รวมถึงสร้างแบบจำลองและอุปกรณ์จริง วิเคราะห์การจัดการพลังงานไฟฟ้าโดยตีมันต์เรสพอนส์ในไอแลนด์โหมตจากพลังงานทางเลือก วิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ และสุดท้ายผู้วิจัยได้สร้างโมเดลต้นไม้ตัดสินใจสำหรับทำนายในกรณีศึกษาอื่น ๆ ที่ต้องการใช้การบริหารจัดการแบบไอแลนด์โหมต ผลการทดลองทั้งหมดแสดงดังบทที่ 4

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องปริมาณสำรองและอัลกอริทึมสำหรับระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์ใหม่จากพลังงานทางเลือก มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) สร้างและทดสอบอัลกอริทึมของปริมาณสำรองสำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์ใหม่จากพลังงานทางเลือก (2) เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของพลังงานทางเลือกในไอแลนด์ใหม่ ซึ่งได้มีการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของโหลดในอาคารปฏิบัติการของสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เพื่อหาแนวทางในการบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้แหล่งจ่ายจากพลังงานทางเลือก ประกอบด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่สำรอง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เพื่อตอบสนองด้านโหลด โดยเก็บผลการทดลอง ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การเก็บข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าของโหลดภายในอาคารปฏิบัติการ และแนวทางการจัดการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการ

ตอนที่ 2 แบบจำลองสำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์ใหม่

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์ใหม่จากพลังงานทางเลือกด้วยแบบจำลอง

ตอนที่ 4 อุปกรณ์ควบคุมสำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์ใหม่จากพลังงานทางเลือก

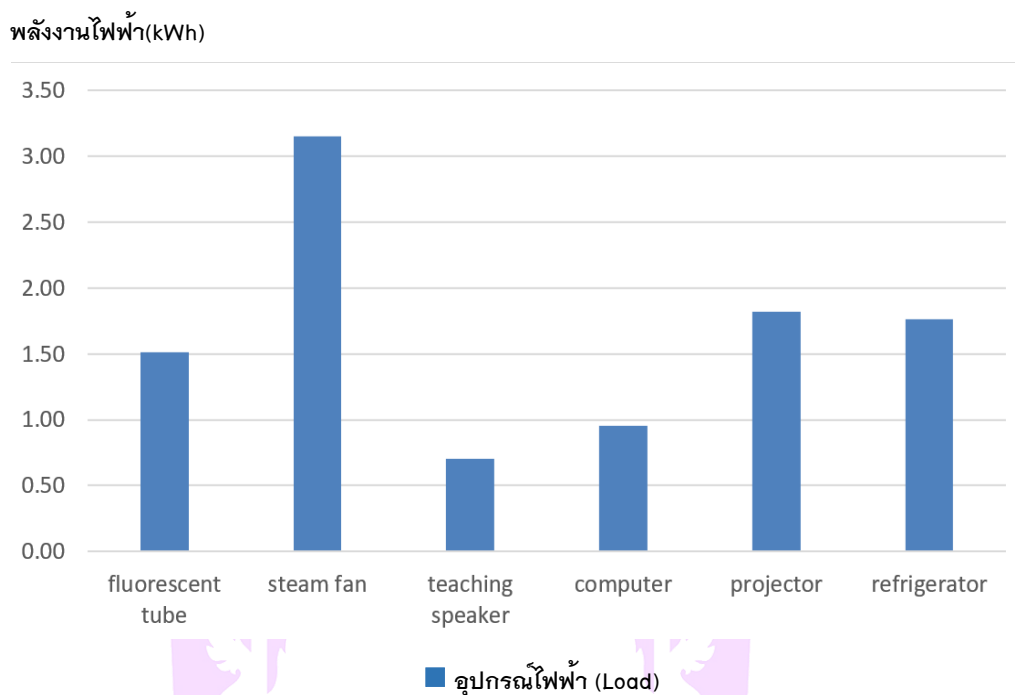
ตอนที่ 5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของพลังงานทางเลือกในไอแลนด์ใหม่

ตอนที่ 6 วิเคราะห์การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์ใหม่จากพลังงานทางเลือกด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree)

ตอนที่ 1 การเก็บข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าของโหลดภายในอาคารปฏิบัติการ และแนวทางการจัดการใช้พลังงานของอาคารปฏิบัติการ

การใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดภายในอาคารปฏิบัติการ ในระยะเวลาหนึ่งวัน ประกอบด้วย หลอดฟลูออเรสเซนต์ พัดลมไอน้ำ ลำโพงช่วยสอน เครื่องคอมพิวเตอร์แบบ

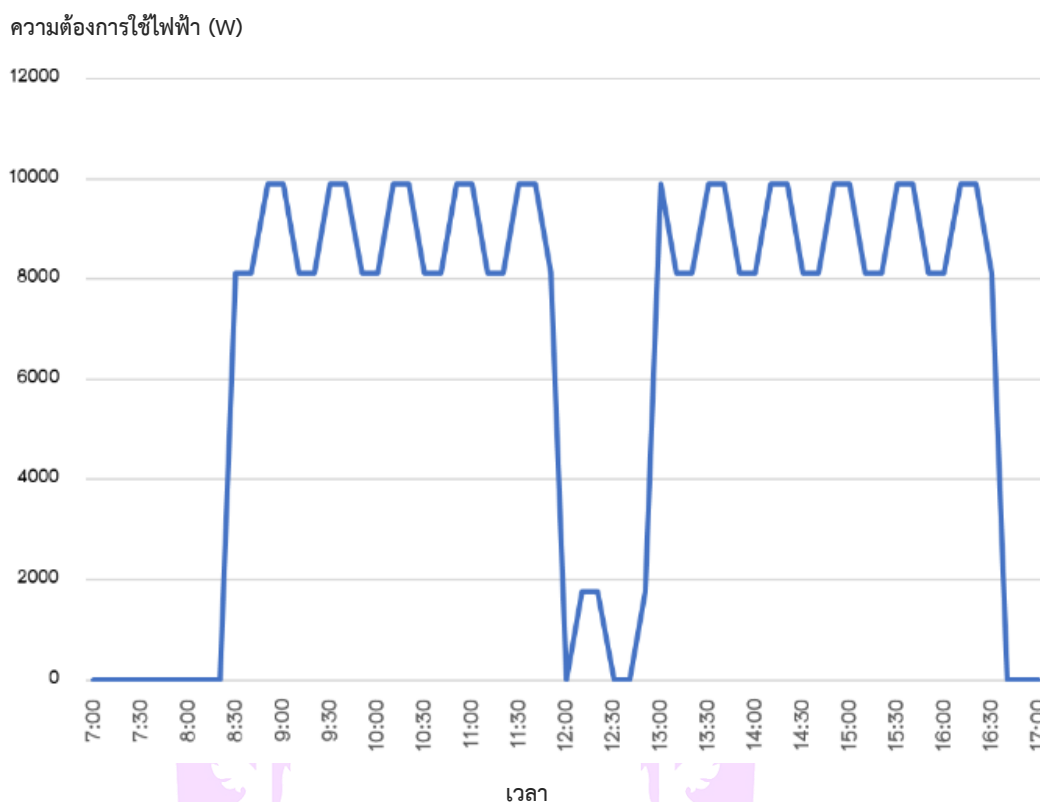
พกพา โปรเจคเตอร์ และตู้เย็น ซึ่งอุปกรณ์แต่ละชนิดมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกัน
ดังภาพ 22



ภาพ 25 แสดงพลังงานไฟฟ้าของโหลดแต่ละชนิดภายในอาคารปฏิบัติการ

จากภาพ 21 จะเห็นว่าพัดลมไอน้ำมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดมีค่าเท่ากับ 3.15 kWh ถัดมาจะเป็นโปรเจคเตอร์ ตู้เย็น หลอดฟลูออเรสเซนต์ เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา ตามลำดับ และลำโพงช่วยสอนมีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.70 kWh

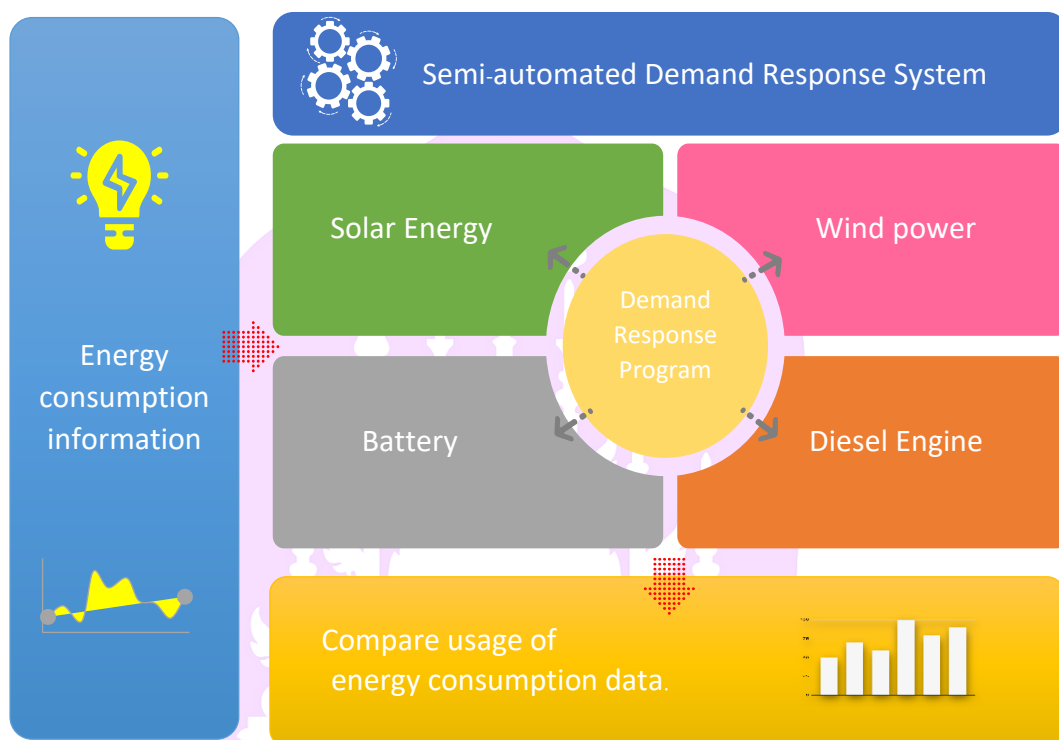
เพื่อตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าระหว่างโหลดกับแหล่งจ่ายให้เหมาะสม ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของอาคารปฏิบัติการในช่วงเวลาหนึ่งวัน มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 9.89 kWh และมีค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโหลดเฉลี่ยตลอดวันเท่ากับ 0.41 kWh มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของวัน 7 ชั่วโมง เกิดขึ้นเวลาประมาณ 08.30–12.00 น. และเวลาประมาณ 13.00–16.30 น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.24 kWh และมีความต้องการไฟฟ้าต่ำสุดของวัน 1 ชั่วโมง เกิดขึ้นเวลาประมาณ 12.00–13.00 น มีค่าเท่ากับ 0.22 kWh แสดงดังภาพ 22



ภาพ 26 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าประจำวัน (Daily load curve)

ทั้งนี้หากมีการใช้งานโหลดพร้อมกันทั้งหมดในช่วงเวลา 7 ชั่วโมงต่อเนื่อง เมื่อเทียบกับแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ของสวนพลังงาน ไม่เพียงพอต่อการตอบสนองทางด้านโหลด ทั้งนี้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอ การนำรูปแบบการจัดการไฟฟ้าร่วมกับพลังงานทางเลือกที่มีอยู่อย่างจำกัดมาใช้ในการบริหารจัดการพลังงานในโอแลนด์ใหม่ เพื่อตอบสนองความต้องการใช้พลังงานของโหลดให้เพียงพอและเกิดประสิทธิภาพสูงสุดลดการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลให้มากที่สุด โดยอาศัยระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System: EMS) เพื่อโน้มน้าวให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนหรือลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ราคาไฟฟ้าสูงสุด หรือในขณะที่มีความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาวะผิดปกติ โดยมีระบบสั่งการแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automated Demand Response System) ทั้งนี้ในการดำเนินการ ผู้ดูแลระบบจะอาศัยเทคโนโลยีระบบบริหารจัดการพลังงานหรือการเชื่อมต่อข้อมูลต่าง ๆ ในการส่งคำสั่งหรือแจ้งการสั่งการไปยังหน้ามิเตอร์ของผู้ใช้ไฟฟ้า เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้า

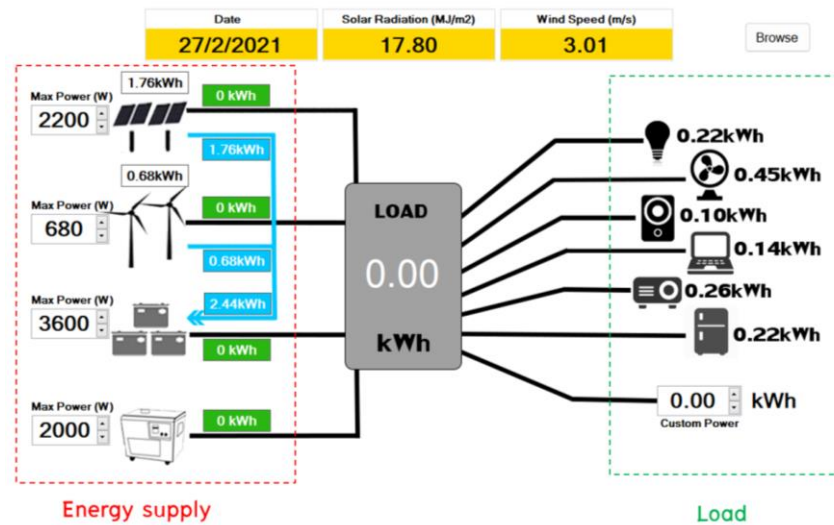
ได้รับคำสั่งหรือการร้องขอแล้ว จะพิจารณาตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมตอบสนองด้านโหลดต่อไป
 ดังภาพ 23



ภาพ 27 รูปแบบการบริหารจัดการพลังงานแบบกึ่งอัตโนมัติ

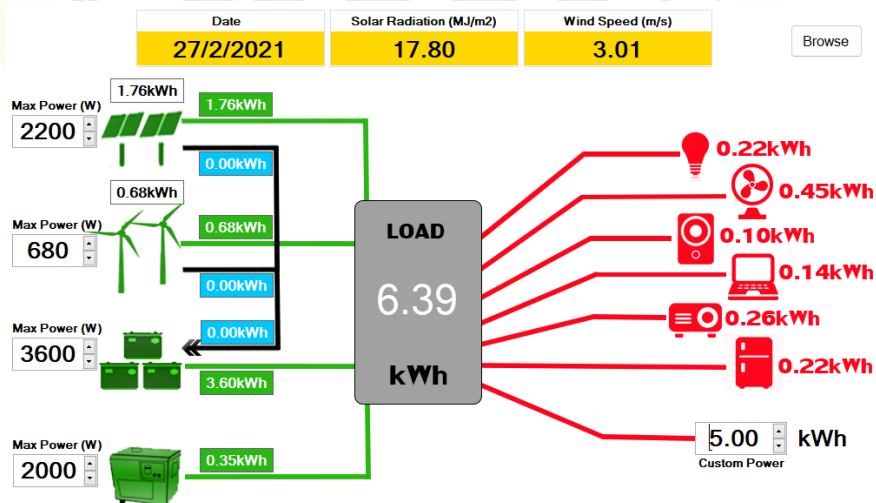
ตอนที่ 2 แบบจำลองสำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด

เมื่อออกแบบระบบด้วยอัลกอริทึมเสร็จแล้วนั้น ผู้วิจัยทำการสร้างแบบจำลองโดยใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ เวอร์ชัน 10 และใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio version 2010 ในการเขียนโปรแกรม โดยนำข้อมูลทดสอบกับแบบจำลองจากฐานข้อมูลของงานพัฒนาฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์และระบบเชื่อมโยงฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [54] และข้อมูลค่าความเร็วลมของสถานีตำบลท่าไม้ อำเภอพรานกระต่าย จังหวัดกำแพงเพชร จากคลังข้อมูลน้ำและภูมิอากาศแห่งชาติ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) [55] โดยออกแบบหน้าจอหลักของโปรแกรม ดังภาพ 245



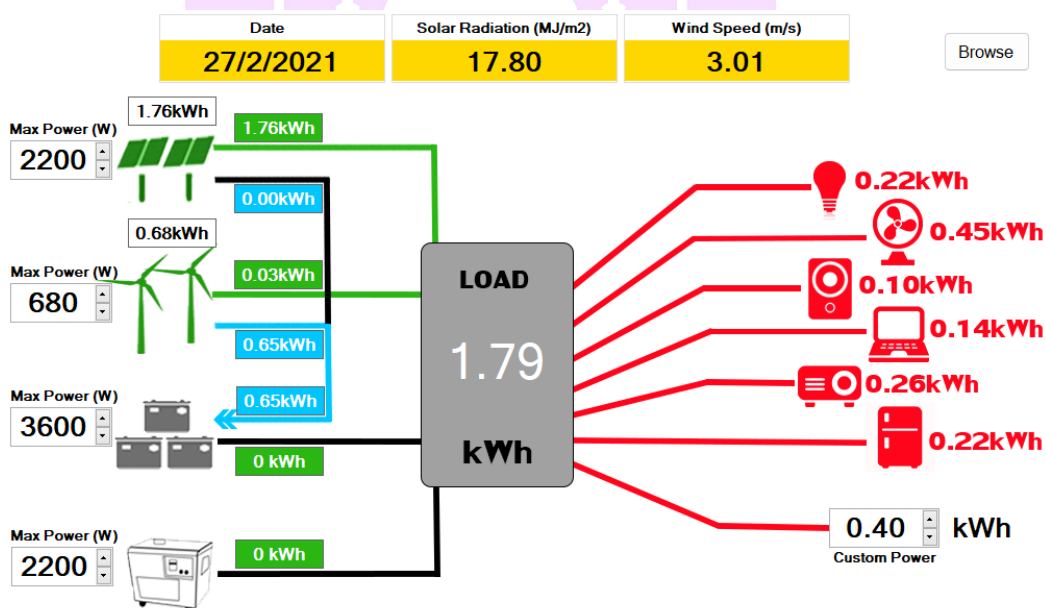
ภาพ 28 แสดงหน้าจอหลักของแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการ

จากภาพ จะเห็นว่าแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจะอยู่ทางด้านซ้าย และการใช้งานโหลดจะอยู่ทางด้านขวา ในส่วนปุ่มตรงกลางคือ การกำหนดค่าความเข้มของแสงและการกำหนดค่าความเร็วลม ณ ขณะนั้น เพื่อใช้คำนวณการผลิตไฟฟ้า ซึ่งขณะนี้ไม่มีการใช้งานโหลด พลังงานทดแทนที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมจะถูกชาร์ตไว้ในแบตเตอรี่สำรอง และเมื่อมีการใช้งานของโหลดระบบจะมีการทำงาน ดังภาพ 25



ภาพ 29 แสดงหน้าจอหลักของแบบจำลองการใช้พลังงานในอาคารปฏิบัติการ
ขณะมีโหลด

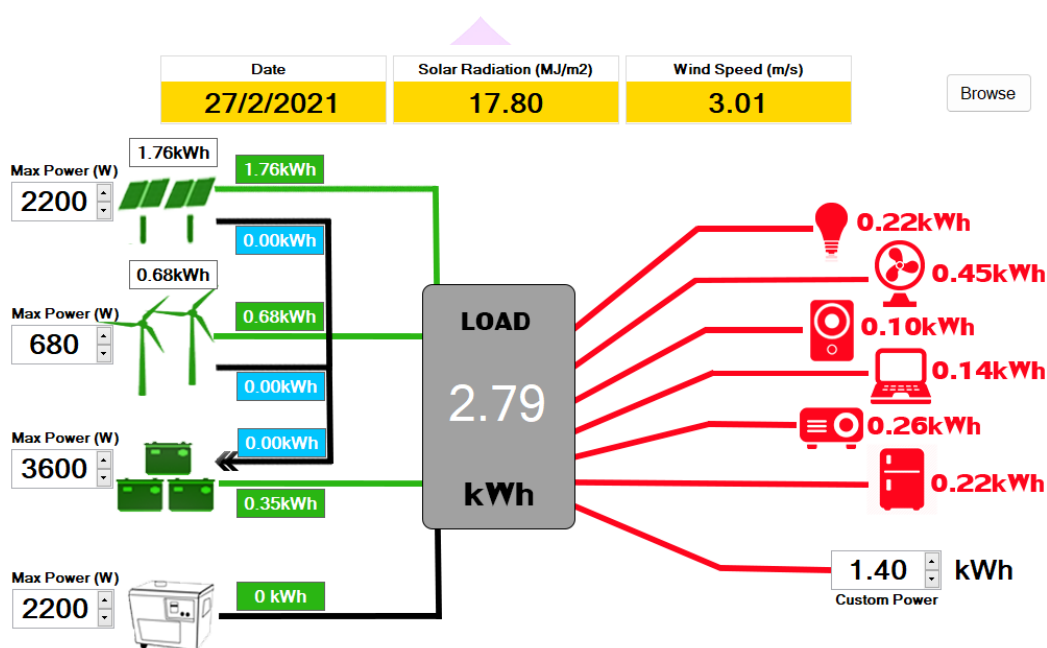
จากภาพ 25 เมื่อเปิดใช้งานโปรแกรม ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตรวจสอบไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ 1-4 ตามลำดับ ได้แก่ (1) พลังงานแสงอาทิตย์ (2) พลังงานลม (3) แบตเตอรี่สำรอง และ (4) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ตามลำดับ จากนั้นระบบจะทำการสำรวจความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด หากพบว่าโหลดมีความต้องการใช้ไฟฟ้า ระบบจะตรวจสอบไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ 1 คือ พลังงานแสงอาทิตย์ เทียบกับความต้องการใช้งานไฟฟ้าของโหลด หากเพียงพอระบบจะทำการจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลด และพลังงานไฟฟ้าที่เหลือจากการผลิตจะถูกชาร์จไว้ในแบตเตอรี่สำรอง หากโหลดมีความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากเดิม ซึ่งเกินกำลังของแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ปริมาณไฟฟ้าที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ระบบจะทำการสำรวจแหล่งจ่ายที่ 1 และแหล่งจ่ายที่ 2 คือ พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานลม เทียบกับความต้องการใช้งานไฟฟ้าของโหลด ณ ขณะนั้น หากแหล่งจ่ายทั้งสองมีปริมาณไฟฟ้าที่เพียงพอต่อความต้องการของโหลด ระบบจะทำการจ่ายไฟฟ้าให้โหลด ดังภาพที่ 27



ภาพ 30 แสดงการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานลม ขณะมีการใช้งานโหลด

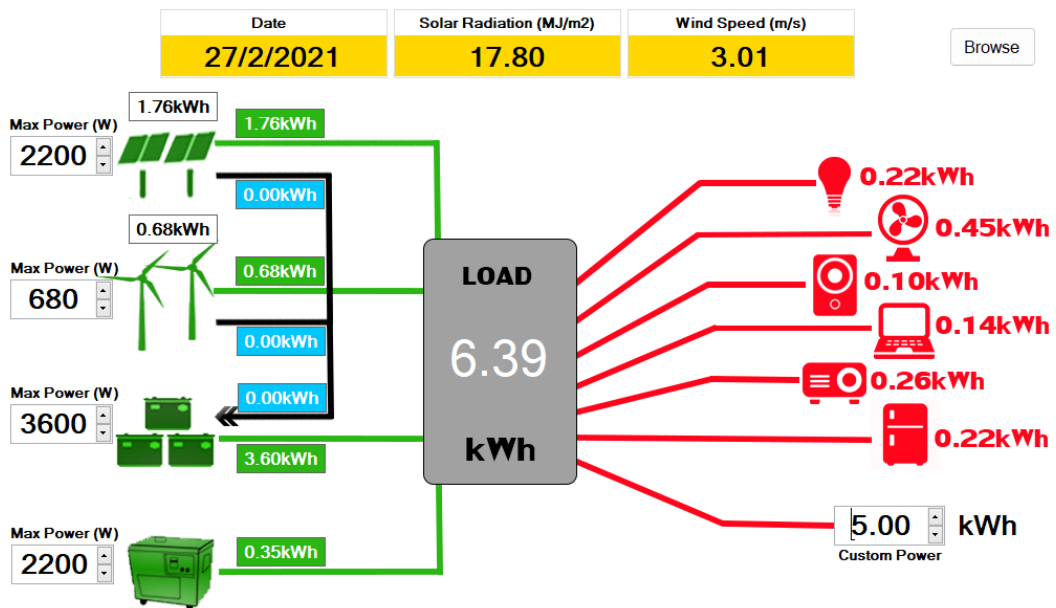
จากภาพ แสดงการจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลด จากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานลม พบว่า ความต้องการใช้ไฟฟ้าของโหลดมีค่าเท่ากับ 1.79 kWh ซึ่งแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมรวมกันยังคงเพียงพอต่อความต้องการของโหลด ทั้งนี้พลังงานทดแทนที่ผลิตได้จากพลังงานลมจะถูกชาร์จไว้ในแบตเตอรี่สำรอง หากโหลดมีความต้องการใช้

ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งเกินกำลังของแหล่งจ่ายที่ 1 และแหล่งจ่ายที่ 2 ระบบจะทำการสำรวจไปยังแหล่งจ่ายที่ 3 คือ แบตเตอรี่สำรองร่วมกับแหล่งจ่ายที่กล่าวมา เทียบกับความต้องการใช้งานไฟฟ้าของโหลด ณ ขณะนั้น หากพบว่า ปริมาณไฟฟ้าของแหล่งจ่ายเพียงพอต่อความต้องการของโหลดจะทำการจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดทันที ดังภาพ 27



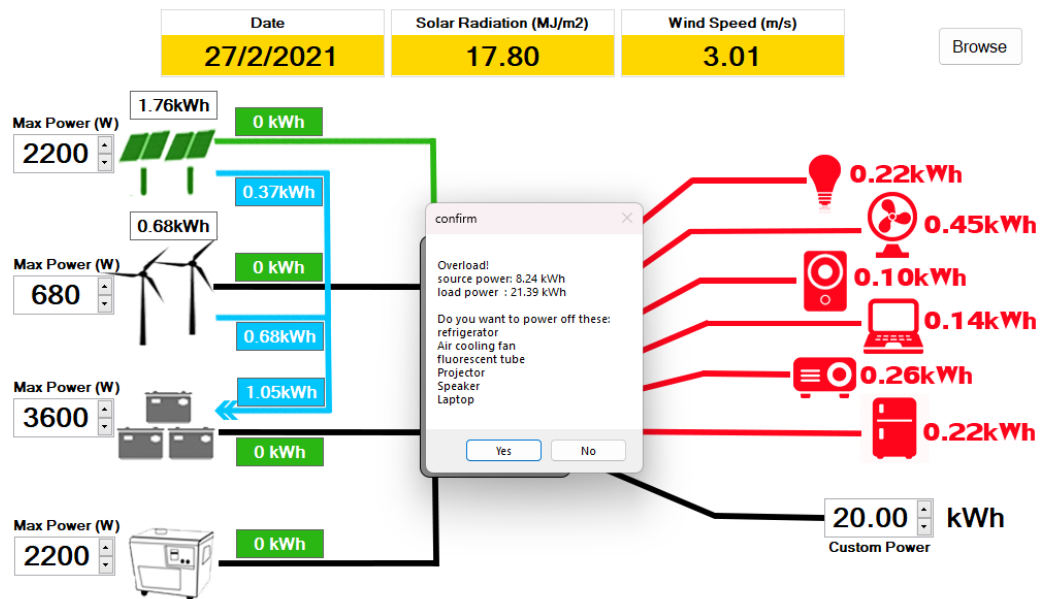
ภาพ 31 แสดงการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานลมและแบตเตอรี่สำรองขณะมีการใช้งานโหลด

จากภาพ แสดงการจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลด จากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานลมและแบตเตอรี่สำรอง พบว่า ความต้องการใช้ไฟฟ้าของโหลดมีค่าเท่ากับ 2.79 kWh ซึ่งแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานลมและแบตเตอรี่สำรองรวมกัน ยังคงเพียงพอต่อความต้องการของโหลด ทั้งนี้พลังงานทดแทนที่ผลิตได้จากแหล่งจ่ายที่ 1 กับแหล่งจ่ายที่ 2 ไม่เพียงพอสำหรับชาร์จในแบตเตอรี่สำรอง หากโหลดมีความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งเกินกำลังของแหล่งจ่ายที่ 1 แหล่งจ่ายที่ 2 และแหล่งจ่ายที่ 3 ระบบจะทำการสำรวจไปยังแหล่งจ่ายที่ 4 คือ เครื่องผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซล ร่วมกับแหล่งจ่ายที่กล่าวมา เทียบกับความต้องการไฟฟ้าใช้งานของโหลด หากพบว่า ปริมาณไฟฟ้าของแหล่งจ่ายเพียงพอต่อความต้องการใช้งานไฟฟ้าของโหลด ระบบจะทำการจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดทันที ดังภาพ 28



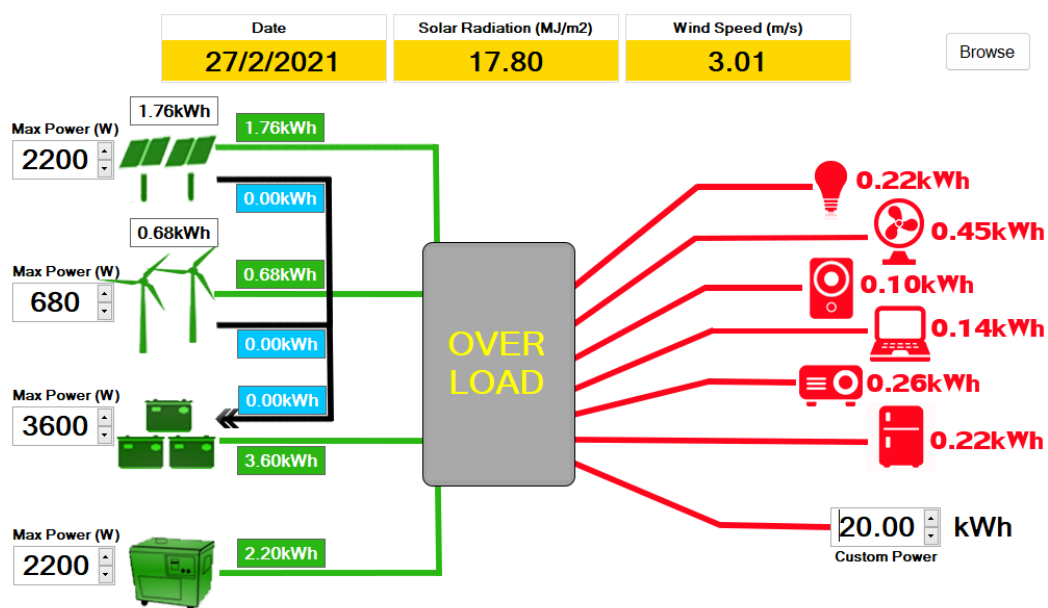
ภาพ 32 แสดงการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานลมแบตเตอรี่
สำรองและเครื่องผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซลขณะมีการใช้งานโหลด

จากภาพ แสดงการจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานทางเลือก ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่สำรองและเครื่องผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซล พบว่า ความต้องการใช้ไฟฟ้าของโหลดมีค่าเท่ากับ 6.39 kWh ซึ่งแหล่งจ่ายทั้งหมด ยังคงเพียงพอต่อความต้องการของโหลด หากมีการใช้งานโหลดเพิ่มขึ้นเกินกำลังของแหล่งจ่ายทั้งหมด ณ ขณะนั้น ระบบจะมีความแจ้งเตือน ดังภาพ 29



ภาพ 33 ข้อความแจ้งเตือนการใช้ไฟฟ้าของโหลดมากกว่าแหล่งจ่ายทั้งหมด

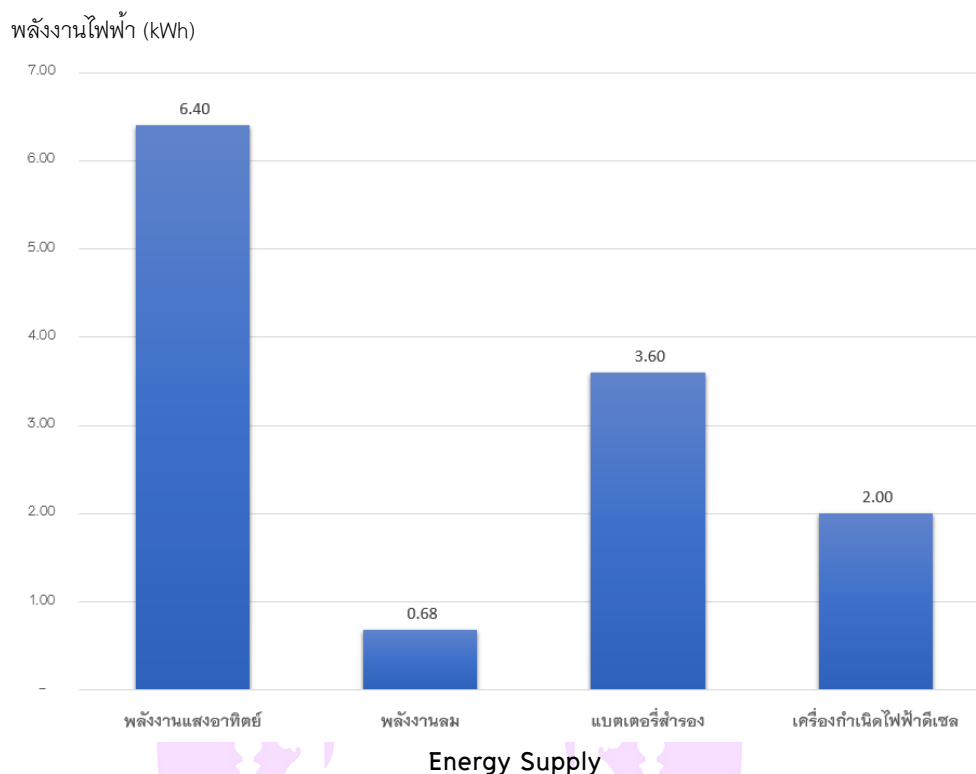
จากภาพ หากมีความต้องการใช้ไฟฟ้าของโหลดมากกว่าแหล่งจ่ายทั้งหมด ระบบจะแสดงการแจ้งเตือนในรูปแบบป๊อปอัพ เพื่อให้ผู้ใช้งานยืนยันความต้องการอีกครั้ง โดยระบบจะแจ้งปริมาณของไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 8.24 kWh และโหลดมีความต้องการใช้งานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 21.39 kWh จากนั้นระบบจะถามผู้ใช้งาน “ต้องการปิดการใช้งานโหลดหรือไม่” ระบบจะแจ้งให้ปิดโหลดโดยมีการกำหนดเงื่อนไขให้ลดโหลดที่ไม่จำเป็นต้องใช้งานออกเป็นอันดับแรก ได้แก่ 1) ตู้เย็น 2) พัดลมไอน้ำ 3) หลอดฟลูออเรสเซนต์ 4) โปรเจคเตอร์ 5) ลำโพงช่วยสอน และ 6) เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา ตามลำดับ ทั้งนี้ หากตอบ Yes ระบบจะปิดการใช้งานโหลดแต่ละชนิดตามลำดับ แต่ถ้าตอบ No ระบบจะแจ้งเตือนโอเวอร์โหลด ดังภาพ 30



ภาพ 34 ระบบจะแจ้งเตือนโอเวอร์โหลด

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือกด้วยแบบจำลอง

เมื่อนำหลักการของดีมานต์เรสปอนส์สำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือกมาใช้ในการพัฒนาระบบ เพื่อตอบสนองการใช้งานโหลดให้เพียงพอต่อการเรียนสอนในอาคารปฏิบัติการ จำนวน 7 ชั่วโมง/วัน ซึ่งแหล่งจ่ายที่ใช้ในการทดสอบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสดงดังภาพ 31



ภาพ 35 แสดงพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานทางเลือก

จากภาพ 31 แหล่งจ่ายจากพลังงานทางเลือกสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าดังนี้
 1) พลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 6.40 kWh 2) พลังงานลมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.68 kWh 3) พลังงานแบตเตอรี่สำรองสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 3.60 kWh และ 4) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 2.0 kWh เมื่อนำข้อมูลวันที่ 11 พฤษภาคม 2564 ทดสอบกับแบบจำลองทุกโหมด ดังต่อไปนี้

1. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งกำหนดให้เป็นพลังงานหลักและนำพลังงานทางเลือกอื่น ๆ มาเพิ่มศักยภาพ ประกอบด้วย

- 1.1 พลังงานแสงอาทิตย์หลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.2 พลังงานแสงอาทิตย์หลักร่วมกับพลังงานลม
- 1.3 พลังงานแสงอาทิตย์หลักร่วมกับแบตเตอรี่สำรอง
- 1.4 พลังงานแสงอาทิตย์หลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

2. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยพลังงานลม ซึ่งกำหนดให้เป็นพลังงานหลักและนำพลังงานทางเลือกอื่น ๆ มาเพิ่มศักยภาพ ประกอบด้วย

- 2.1 พลังงานลมหลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์
- 2.2 พลังงานลมหลักร่วมกับพลังงานลม
- 2.3 พลังงานลมหลักร่วมกับแบตเตอรี่สำรอง
- 2.4 พลังงานลมหลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

3. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยแบตเตอรี่สำรอง ซึ่งกำหนดให้เป็นพลังงานหลักและนำพลังงานทางเลือกอื่น ๆ มาเพิ่มศักยภาพ ประกอบด้วย

- 3.1 แบตเตอรี่สำรองหลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์
- 3.2 แบตเตอรี่สำรองหลักร่วมกับพลังงานลม
- 3.3 แบตเตอรี่สำรองหลักร่วมกับแบตเตอรี่สำรอง
- 3.4 แบตเตอรี่สำรองหลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

4. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ซึ่งกำหนดให้เป็นพลังงานหลักและนำพลังงานทางเลือกอื่น ๆ มาเพิ่มศักยภาพ ประกอบด้วย

- 4.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์
- 4.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหลักร่วมกับพลังงานลม
- 4.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหลักร่วมกับแบตเตอรี่สำรอง
- 4.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

5. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยพลังงานไฮบริด ซึ่งกำหนดให้เป็นพลังงานหลักและนำพลังงานทางเลือกอื่น ๆ มาเพิ่มศักยภาพ ประกอบด้วย

- 5.1 พลังงานไฮบริดหลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์
- 5.2 พลังงานไฮบริดหลักร่วมกับพลังงานลม
- 5.3 พลังงานไฮบริดหลักร่วมกับแบตเตอรี่สำรอง
- 5.4 พลังงานไฮบริดหลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

1. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหลัก

การทดลองนี้เป็นการนำแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหลักในการจ่ายไฟฟ้าเพื่อตอบสนองด้านโหลด พบว่า แหล่งจ่ายสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าตอบสนองโหลดทุกอุปกรณ์ต่อเนื่องจำนวน 5 ชั่วโมง และจ่ายไฟฟ้าตอบสนองโหลดได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ลำโพงช่วยสอน โปรเจคเตอร์ และ เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา สามารถใช้งานต่อเนื่องในชั่วโมงที่ 6 แหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า ณ ขณะนั้นมี

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.40 kWh ซึ่งต้องนำพลังงานจากแหล่งจ่ายอื่น ๆ มาเพิ่มศักยภาพ มีค่าเท่ากับ 3.49 kWh เพื่อตอบสนองการใช้งานด้านโหลดต่อเนื่องครบ 7 ชั่วโมง ดังต่อไปนี้

1.1 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย พลังงานแสงอาทิตย์หลัก ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเพิ่มศักยภาพให้เพียงพอต่อการใช้งานสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ขนาดแบตเตอรี่ (Battery)

พลังงานที่ใช้ต่อวัน = 3,490 Wh

การใช้งานแบตเตอรี่ 80% (DOD) = 3,490 / 0.8

= 4,362.5 Wh

เลือกใช้แบตเตอรี่ระบบ 24 V จะได้ = 4,362.5 Wh / 24 V

= 181.77 Ah

ฉะนั้น เลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 100 Ah 24V ต่อแบบขนาน จำนวน 2 ใบ มีค่าเท่ากับ 200 Ah

2. แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Panel)

ความจุแบตเตอรี่ = 4,362.5 Wh

ระยะเวลาที่มีแสงอาทิตย์ = 4 ชั่วโมง/วัน

กำลังการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ = 4,362.5 Wh / 4 ชั่วโมง/วัน

= 1,090.63 W

ฉะนั้น เลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 450W จำนวน 3 แผง จะได้กำลังการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์รวม มีค่าเท่ากับ 1,350 W หรือ 1.35 Kw

3. เครื่องควบคุมการประจุพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Charge Controller)

กำลังการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ = 1,350 W

เลือกแรงดันไฟฟ้า (voltage) ระบบ 24 V = 1,350 W / 24 V

= 56.25 A

ฉะนั้น เลือกใช้อุปกรณ์ Solar Charge Controller ขนาด 24 V 80 A

4. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

กำลังไฟฟ้าสูงสุดของโหลดที่ใช้งาน = 1,381 W

ฉะนั้น เลือกใช้อินเวอร์เตอร์ขนาดที่มีอยู่ในท้องตลาด 2,000 W

ต้นทุนเริ่มแรกในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
ขนาด 1.35 kW แสดงดังตาราง 5

ตาราง 5 ต้นทุนเริ่มแรกในการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
ขนาด 1.35 kW และค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life-Cycle Cost)

รายการ	จำนวนเงิน	Replacement	LCC (20 years) (หน่วย : บาท)
(1) แบตเตอรี่ ขนาด 100 Ah 24V จำนวน 2 ใบ	33,000.00	66,000.00	99,000.00
(2) แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 450 W จำนวน 3 แผง	16,500.00		16,500.00
(3) เครื่องควบคุมการประจุพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 24 V 80 A จำนวน 1 เครื่อง	8,000.00	8,000.00	16,000.00
(4) อินเวอร์เตอร์ ขนาด 2,000 W จำนวน 1 เครื่อง	9,500.00	9,500.00	19,000.00
(5) ค่าติดตั้งระบบ	13,500.00		13,500.00
รวมเป็นเงิน	80,500.00	83,500.00	164,000.00
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	86,135.00		175,480.00
			kWh/20 year 18,900.00
			LCOE (THB/kWh) 9.28

หมายเหตุ: * เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องตลอดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ใน
ระยะเวลา 20 ปี จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ ดังนี้ (1) แบตเตอรี่มีการเปลี่ยน
จำนวน 2 รอบ (2) เครื่องควบคุมการประจุพลังงานแสงอาทิตย์ และ
อินเวอร์เตอร์ การเปลี่ยนจำนวน 1 รอบ

การคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง และจุดคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้าจาก
พลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 1.35 kW สามารถคำนวณได้ดังสมการนี้ [58]

$$\begin{aligned}
 \text{กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง (kW)} &= (\text{ขนาดแผงโซลาร์เซลล์ (วัตต์)} / 1,000) \quad (7) \\
 &\times \text{Energy yield derating factor (0.7)} \\
 &= (450 \text{ (วัตต์)} / 1,000) \times 0.7 \\
 &= 0.32 \text{ kW} \\
 \text{กำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม (kW)} &= 0.32 \text{ (kW)} \times 3 \text{ (แผง)} \\
 &= 0.95 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (บาท)}}{\text{กำลังติดตั้ง (kW) x ระยะเวลาที่มีแสงอาทิตย์ (ชั่วโมง/วัน) x ประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์ลดลง 0.9 (\%/ปี) x บิลค่าไฟฟ้า (บาท/kWh) x จำนวนวันที่ใช้งาน (วัน/ปี)}} \quad (8)$$

$$= \frac{86,135 \text{ (บาท)}}{1.35 \text{ (kW)} \times 4 \text{ (ชั่วโมง/วัน)} \times 0.9 \text{ (\%/ปี)} \times 4.5 \text{ (บาท/kWh)} \times 250 \text{ (วัน/ปี)}} \\ \text{ระยะเวลาคืนทุน} = 15.75 \text{ ปี}$$

$$\text{Leverized Cost of Electricity (LCOE)} = \frac{\text{ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าตลอดอายุของโรงไฟฟ้า}}{\text{ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้}} \quad (9)$$

$$\text{Leverized Cost of Electricity (LCOE)} = \frac{175,480}{18,900} = 9.28 \text{ บาท/ kWh}$$

จากการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเพิ่มศักยภาพให้เพียงพอต่อการใช้งาน พบว่าต้องเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1.35 kW ใช้งบประมาณทั้งสิ้น 86,135 บาท สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม 0.95 kW ระยะเวลาการคืนทุนระบบจำนวน 15.75 ปี มีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ย (Levelized Cost of Energy : LCOE) มีค่าเท่ากับ 9.28 บาท/kWh คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้เฉลี่ย 4,252.5 บาท/ปี

1.2. การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย พลังงานแสงอาทิตย์หลัก ร่วมกับพลังงานลมที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำพลังงานลมมาเพิ่มศักยภาพเพื่อให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลดต้องใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวันมีค่าเท่ากับ 3.49 kWh พบว่า ระบบมีความต้องการตอบสนองการใช้งานด้านโหลดต่อเนื่องครบ 7 ชั่วโมง ดังตาราง 6

ตาราง 6 ต้นทุนเริ่มแรกในการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ขนาด 1.5 kW

รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย	เป็นเงิน
(1) แบตเตอรี่ (Battery) ขนาด 100 Ah 24V	2	16,500	33,000
(2) กังหันลม (Wind Turbine) พร้อม Charge Controller ขนาด 500 W 24 V	3	18,500	55,500
(3) อินเวอร์เตอร์ (Inverter)ขนาด 2,000 W	1	9,500	9,500
(4) เสาเหล็กขนาดความสูง 6 เมตร	3	8,500	25,500
(5) ค่าแรงติดตั้งพร้อมฐานราก	3	5,000	15,000
		รวมเป็นเงิน	138,500
		ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	148,195

การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย พลังงานแสงอาทิตย์หลักร่วมกับแบตเตอรี่สำรองที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำแบตเตอรี่สำรองมาเพิ่มศักยภาพเพื่อให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวันมีค่าเท่ากับ 3,490 Wh พบว่า ระบบมีความต้องการใช้แบตเตอรี่เพื่อสำรองกำลังไฟฟ้าสำหรับจ่ายให้กับโหลดใช้งานเท่ากับ 181.77 Ah ทั้งนี้ควรเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 100 Ah 24V ชนิดลิเทียมฟอสเฟตต่อแบบขนาน จำนวน 2 ใบ มีค่าเท่ากับ 200 Ah เป็นเงินทั้งสิ้น 33,000 บาท และเมื่อใช้งานในระยะเวลา 20 ปี มีค่าใช้จ่ายเพิ่มรวมเป็นเงินทั้งสิ้น 99,000 บาท

1.3 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย พลังงานแสงอาทิตย์หลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเพิ่มศักยภาพเพื่อให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด พบว่า ต้องเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซลที่สามารถผลิตกำลังไฟสูงสุด 5.5 kW มีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 22 A กำลังเครื่องยนต์ขนาด 10 แรงม้า (hp) เป็นเงิน 35,000 บาท มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1.38 ลิตรต่อชั่วโมง นำมาใช้งานต่อเนื่อง 2 ชั่วโมง ต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 2.75 ลิตร ราคาน้ำมันลิตรละ 32.94 บาท ณ วันที่ 17 เมษายน 2566 คิดเป็นเงินทั้งสิ้น 90.59 บาท ถ้าใช้งาน 250 (วัน/ปี) คิดเป็นเงิน 22,646.25 บาท/ปี มีค่าใช้จ่ายเพิ่มรวมเป็นเงินทั้งสิ้น 57,646.25 บาท การคำนวณอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมีดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 KVA} &= 800 \text{ W} \\
 \text{เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 5.5 kW} &= 5,500 \text{ W} / 800 \text{ W} \\
 &= 6.88 \text{ KVA} \\
 \text{อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง} &= (\text{KVA}/10) \times 2 \text{ ลิตรต่อชั่วโมง} \\
 &= (6.88/10) \times 2 \\
 &= 1.38 \text{ ลิตร/ชั่วโมง [56]}
 \end{aligned}$$

2. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์ใหม่ด้วยพลังงานลมเป็นพลังงานหลัก

การทดลองนี้เป็นการนำแหล่งจ่ายจากพลังงานลมเป็นพลังงานหลักในการจ่ายไฟฟ้าเพื่อตอบสนองด้านโหลด พบว่า แหล่งจ่ายสามารถตอบสนองโหลดตามความจำเป็นที่ระบุในเงื่อนไข ได้แก่ โพรเจคเตอร์ ลำโพงช่วยสอน และเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา ในช่วงชั่วโมงแรก แหล่งจ่ายพลังงานลมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า ณ ขณะนั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.68 kWh ซึ่งต้องนำพลังงานจากแหล่งจ่ายอื่น ๆ มาเพิ่มศักยภาพ มีค่าเท่ากับ 9.21 kWh เพื่อตอบสนองการใช้งานด้านโหลดต่อเนื่องครบ 7 ชั่วโมง ดังต่อไปนี้

2.1 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย พลังงานลมหลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเพิ่มศักยภาพให้เพียงพอต่อการใช้งาน มีต้นทุนเริ่มแรกในการผลิตไฟฟ้า แสดงดังตาราง 7

ตาราง 7 ต้นทุนเริ่มแรกในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
ขนาด 3.15 kW

รายการ	จำนวนเงิน	Replacement	LCC (20 years) (หน่วย : บาท)
(1) แบตเตอรี่ ขนาด 100 Ah 24V จำนวน 5 ใบ	82,500.00	165,000.00	247,500.00
(2) แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 450 W จำนวน 7 แผง	38,500.00		38,500.00
(3) เครื่องควบคุมการประจุพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 24 V 150 Ah จำนวน 1 เครื่อง	16,200.00	16,200.00	32,400.00
(4) อินเวอร์เตอร์ ขนาด 2,000 W จำนวน 1 เครื่อง	9,500.00	9,500.00	19,000.00
(5) ค่าติดตั้ง	31,500.00		31,500.00
รวมเป็นเงิน	178,200.00	190,700.00	368,900.00
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	190,674.00		394,723.00
kWh/20 year			44,100.00
LCOE (THB/kWh)			8.95

หมายเหตุ: * เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องตลอดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในระยะเวลา 20 ปี จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ ดังนี้ (1) แบตเตอรี่มีการเปลี่ยนจำนวน 2 รอบ (2) เครื่องควบคุมการประจุพลังงานแสงอาทิตย์ และอินเวอร์เตอร์ การเปลี่ยนจำนวน 1 รอบ

การคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง และจุดคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3.15 kW สามารถสรุปได้ดังนี้

กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง (kW)	= 0.32 Kw
กำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม (kW)	= 2.21 Kw
ระยะเวลาคืนทุน	= 14.95 ปี
Leverized Cost of Electricity (LCOE)	= 8.95 BTH/kWh
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	= 9,922.5 บาท/ปี

จากการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเพิ่มศักยภาพให้เพียงพอต่อการใช้งาน พบว่า ต้องเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 3.15 kW ใช้งบประมาณทั้งสิ้น 190,674 บาท สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม 2.21 kW ระยะเวลาคืนทุนระบบจำนวน 14.95 ปี มีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ย (Levelized Cost of Energy : LCOE) มีค่าเท่ากับ 8.95 BTH/kWh คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 9,922.5 บาท/ปี

2.2 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย พลังงานลมหลักร่วมกับพลังงานลมที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำพลังงานลมมาเพิ่มศักยภาพเพื่อให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวันมีค่าเท่ากับ 9.21 kWh พบว่า ระบบมีความต้องการตอบสนองการใช้งานด้านโหลดต่อเนื่องครบ 7 ชั่วโมง ดังตาราง 8

ตาราง 8 ต้นทุนเริ่มแรกในการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ขนาด 3.5 kW

รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย	เป็นเงิน
(1) แบตเตอรี่ (Battery) ขนาด 100 Ah 24V	5	16,500	82,500
(2) กังหันลม (Wind Turbine) พร้อม Charge Controller ขนาด 500 W 24 V	7	18,500	129,500
(3) อินเวอร์เตอร์ (Inverter)ขนาด 2,000 W	1	9,500	9,500
(4) เสาเหล็กขนาดความสูง 6 เมตร	7	8,500	59,500
(5) ค่าแรงติดตั้งพร้อมฐานราก	7	5,000	35,000
		รวมเป็นเงิน	316,000
		ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	338,120

2.3 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย พลังงานลมหลักร่วมกับแบตเตอรี่สำรองที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำแบตเตอรี่สำรองมาเพิ่มศักยภาพให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวันมีค่าเท่ากับ 9,210 kWh พบว่า ระบบมีความต้องการใช้แบตเตอรี่เพื่อสำรองพลังงานไฟฟ้าสำหรับจ่ายให้กับโหลดใช้งานเท่ากับ 479.69 Ah ทั้งนี้ควรเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 100 Ah 24V ชนิดลิเธียมฟอสเฟตต่อแบบขนาน จำนวน 5 ใบ มีค่าเท่ากับ 500 Ah เป็นเงินทั้งสิ้น 82,500 บาท และเมื่อใช้งานในระยะเวลา 20 ปี มีค่าใช้จ่ายเพิ่มรวมเป็นเงินทั้งสิ้น 247,500 บาท

2.4 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย พลังงานลมหลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเพิ่มศักยภาพให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด พบว่า ต้องเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซลที่สามารถผลิตกำลังไฟสูงสุด 5.5 kW มีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 22 A กำลังเครื่องยนต์ขนาด 10 แรงม้า (hp) เป็นเงิน 35,000 บาท มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1.38 ลิตรต่อชั่วโมง นำมาใช้งานต่อเนื่อง 7 ชั่วโมง ต้องใช้

น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 9.63 ลิตร ราคาน้ำมันลิตรละ 32.94 บาท ณ วันที่ 17 เมษายน 2566 คิดเป็นเงิน 317.05 บาท ถ้าใช้งาน 250 (วัน/ปี) คิดเป็นเงินทั้งสิ้น 79,261.88 บาท/ปี มีค่าใช้จ่ายเพิ่มรวมเป็นเงินทั้งสิ้น 114,261.88 บาท

3. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยแบตเตอรี่สำรองเป็นพลังงานหลัก

การทดลองนี้เป็นการนำแหล่งจ่ายจากแบตเตอรี่สำรองเป็นพลังงานหลักในการจ่ายไฟฟ้าเพื่อตอบสนองด้านโหลด พบว่า แหล่งจ่ายสามารถตอบสนองโหลดสามารถจ่ายไฟให้กับโหลดได้ครบทุกอุปกรณ์ใช้งานได้ต่อเนื่อง 2 ชั่วโมง และในชั่วโมงที่สาม สามารถจ่ายไฟให้กับโหลดตามความจำเป็นที่ระบุในเงื่อนไข ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ลำโพงช่วยสอน เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา และโปรเจคเตอร์ แหล่งจ่ายแบตเตอรี่สำรองสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า ณ ขณะนั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.48 kWh ต้องเพิ่มศักยภาพแหล่งจ่ายอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 6.41 kWh เพื่อตอบสนองการใช้งานด้านโหลดต่อเนื่องครบ 7 ชั่วโมง ดังต่อไปนี้

3.1 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย แบตเตอรี่สำรองหลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเพิ่มศักยภาพให้เพียงพอต่อการใช้งานด้านโหลดมีต้นทุนเริ่มแรกในการผลิตไฟฟ้า ขนาด 2.25 kW แสดงดังตาราง 9

ตาราง 9 ต้นทุนเริ่มแรกในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 2.25 kW

รายการ	จำนวนเงิน	Replacement	LCC (20 years) (หน่วย : บาท)
(1) แบตเตอรี่ ขนาด 100 Ah 24V จำนวน 4 ใบ	66,000.00	132,000.00	198,000.00
(2) แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 450 W จำนวน 5 แผง	27,500.00		27,500.00
(3) เครื่องควบคุมการประจุพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 24 V 100 Ah จำนวน 1 เครื่อง	9,600.00	9,600.00	19,200.00
(4) อินเวอร์เตอร์ ขนาด 2,000 W จำนวน 1 เครื่อง	9,500.00	9,500.00	19,000.00
(5) ค่าติดตั้ง	22,500.00		22,500.00
รวมเป็นเงิน	135,100.00	151,100	286,200.00
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	144,557.00		306,234.00
	kWh/20 year		31,500.00
	LCOE (THB/kWh)		9.72

หมายเหตุ: * เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องตลอดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในระยะเวลา 20 ปี จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ ดังนี้ (1) แบตเตอรี่มีการเปลี่ยนจำนวน 2 รอบ (2) เครื่องควบคุมการประจุพลังงานแสงอาทิตย์ และ อินเวอร์เตอร์ การเปลี่ยนจำนวน 1 รอบ

การคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง และจุดคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3.15 kW สามารถสรุปได้ดังนี้

กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง (kW)	= 0.32 Kw
กำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม (kW)	= 1.58 Kw
ระยะเวลาคืนทุน	= 15.86 ปี
Leverized Cost of Electricity (LCOE)	= 9.72 บาท/kWh
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	= 7,087.5 บาท/ปี

จากการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเพิ่มศักยภาพให้เพียงพอต่อการใช้งานด้านโหลดพบว่า ต้องเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 2.25 kW ใช้งบประมาณทั้งสิ้น 144,557 บาท สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม 1.58 kW ระยะเวลาคืนทุนระบบจำนวน 15.86 ปี มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ย 9.72 บาท/kWh คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 7,087.5 บาท/ปี

3.2 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย แบตเตอรี่สำรองหลักร่วมกับพลังงานลมที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำพลังงานลมมาเพิ่มศักยภาพเพื่อให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลดต้องใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวันมีค่าเท่ากับ 6.41 kWh พบว่า ระบบมีความต้องการตอบสนองการใช้งานด้านโหลดต่อเนื่องครบ 7 ชั่วโมง ดังตาราง 10

ตาราง 10 ต้นทุนเริ่มแรกในการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ขนาด 2.5 kW

รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย	เป็นเงิน
(1) แบตเตอรี่ (Battery) ขนาด 100 Ah 24V	4	16,500	66,000
(2) กังหันลม (Wind Turbine) พร้อม Charge Controller ขนาด 500 W 24 V	5	18,500	92,500
(3) อินเวอร์เตอร์ (Inverter)ขนาด 2,000 W	1	9,500	9,500
(4) เสาเหล็กขนาดความสูง 6 เมตร	5	8,500	42,500
(5) ค่าแรงติดตั้งพร้อมฐานราก	5	5,000	25,000
		รวมเป็นเงิน	235,500
		ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	251,985

3.3 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย แบตเตอรี่สำรองหลักร่วมกับ แบตเตอรี่สำรองที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำแบตเตอรี่สำรองมาเพิ่มศักยภาพเพื่อให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้าน โหลด ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวันมีค่าเท่ากับ 6,410 Wh พบว่า ระบบมีความต้องการใช้ แบตเตอรี่เพื่อสำรองกำลังไฟฟ้าสำหรับจ่ายให้กับโหลดใช้งานเท่ากับ 333.85 Ah ทั้งนี้ควร เลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 100 Ah 24V ชนิดลิเทียมฟอสเฟตต่อแบบขนาน จำนวน 4 ใบ มีค่า เท่ากับ 400 Ah เป็นเงินทั้งสิ้น 66,000 บาท และเมื่อใช้งานในระยะเวลา 20 ปี มีค่าใช้จ่ายเพิ่ม รวมเป็นเงินทั้งสิ้น 198,000 บาท

3.4 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย แบตเตอรี่สำรองหลักร่วมกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำแหล่งจ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเพิ่มศักยภาพ เพื่อให้เพียงพอต่อ การตอบสนองด้านโหลด พบว่า ต้องเลือกใช้เครื่องผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซลที่สามารถผลิต กำลังไฟสูงสุด 5.5 kW มีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 22 A กำลังเครื่องยนต์ขนาด 10 แรงม้า (hp) เป็น เงิน 35,000 บาท มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1.38 ลิตรต่อชั่วโมง นำมาใช้งานต่อเนื่อง 5 ชั่วโมง ต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 6.87 ลิตร ราคาน้ำมันลิตรละ 32.94 บาท ณ วันที่ 17 เมษายน 2566 คิดเป็นเงินทั้งสิ้น 226.46 บาท ถ้าใช้งาน 250 (วัน/ปี) คิดเป็นเงิน 56,615.63 บาท/ปี มีค่าใช้จ่ายเพิ่มรวมเป็นเงินทั้งสิ้น 91,615.63 บาท

4. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์ใหม่ด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

การทดลองนี้เป็นกรนำแหล่งจ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเป็นพลังงานหลัก ในการจ่ายไฟฟ้าเพื่อตอบสนองด้านโหลด พบว่า สามารถจ่ายไฟให้กับโหลดได้ครบทุกอุปกรณ์

ใช้งานได้ต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง และในชั่วโมงที่สอง สามารถจ่ายไฟให้กับโหลดตามความจำเป็นที่ระบุในเงื่อนไข ได้แก่ ลำโพงช่วยสอน เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา และโปรเจคเตอร์ แหล่งจ่ายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า ณ ขณะนั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.88 kWh ต้องเพิ่มศักยภาพแหล่งจ่ายอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 8.01 kWh เพื่อตอบสนองการใช้งานด้านโหลดต่อเนื่องครบ 7 ชั่วโมง ดังต่อไปนี้

4.1 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหลัก ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเพิ่มศักยภาพให้เพียงพอต่อการใช้งาน มีต้นทุนเริ่มแรกในการผลิตไฟฟ้า ขนาด 2.7 kW แสดงดังตาราง 11

ตาราง 11 ต้นทุนเริ่มแรกในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 2.7 kW

รายการ	จำนวนเงิน	Replacement	LCC (20 years) (หน่วย : บาท)
(1) แบตเตอรี่ ขนาด 100 Ah 24V จำนวน 5 ใบ	82,500.00	165,000.00	247,500.00
(2) แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 450 W จำนวน 6 แผง	33,000.00		33,000.00
(3) เครื่องควบคุมการประจุพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 24 V 120 Ah จำนวน 1 เครื่อง	12,000.00	12,000.00	24,000.00
(4) อินเวอร์เตอร์ ขนาด 2,000 W จำนวน 1 เครื่อง	9,500.00	9,500.00	19,000.00
(5) ค่าติดตั้ง	27,000.00		27,000.00
รวมเป็นเงิน	164,000.00	186,500.00	350,500.00
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	175,480.00		375,035.00
			kWh/20 year 37,800.00
			LCOE (THB/kWh) 9.92

หมายเหตุ: * เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องตลอดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในระยะเวลา 20 ปี จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ ดังนี้ (1) แบตเตอรี่มีการเปลี่ยนจำนวน 2 รอบ (2) เครื่องควบคุมการประจุพลังงานแสงอาทิตย์ และอินเวอร์เตอร์ การเปลี่ยนจำนวน 1 รอบ

การคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง และจุดคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3.15 kW สามารถสรุปได้ดังนี้

กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง (kW)	= 0.32 Kw
กำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม (kW)	= 1.89 Kw
ระยะเวลาคืนทุน	= 16.05 ปี
Leverized Cost of Electricity (LCOE)	= 9.92 BTH/kWh
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	= 8,505 บาท/ปี

จากการนำแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์มาเพิ่มศักยภาพให้เพียงพอต่อการใช้งาน พบว่า ต้องเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 2.7 kW ใช้งบประมาณทั้งสิ้น 175,480 บาท สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม 1.89 kW ระยะเวลาคืนทุนระบบจำนวน 16.05 ปี มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ย 9.92 BTH/kWh คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 8,505 บาท/ปี

4.2 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหลัก ร่วมกับพลังงานลมที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำพลังงานลมมาเพิ่มศักยภาพเพื่อให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลดต้องใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวันมีค่าเท่ากับ 8.01 kWh พบว่า ระบบมีความต้องการตอบสนองการใช้งานด้านโหลดต่อเนื่องครบ 7 ชั่วโมง ดังตาราง 12

ตาราง 12 ต้นทุนเริ่มแรกในการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ขนาด 3 kW

รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย	เป็นเงิน
(1) แบตเตอรี่ (Battery) ขนาด 100 Ah 24V	5	16,500	82,500
(2) กังหันลม (Wind Turbine) พร้อม Charge Controller ขนาด 500 W 24 V	6	18,500	111,000
(3) อินเวอร์เตอร์ (Inverter)ขนาด 2,000 W	1	9,500	9,500
(4) เสาเหล็กขนาดความสูง 6 เมตร	6	8,500	51,000
(5) ค่าแรงติดตั้งพร้อมฐานราก	6	5,000	30,000
		รวมเป็นเงิน	284,000
		ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	303,880

4.3 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหลัก ร่วมกับแบตเตอรี่สำรองที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำแบตเตอรี่สำรองมาเพิ่มศักยภาพเพื่อให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวันมีค่าเท่ากับ 8,010 Wh พบว่า ระบบมีความต้องการใช้แบตเตอรี่เพื่อสำรองพลังงานไฟฟ้าสำหรับจ่ายให้กับโหลดใช้งานเท่ากับ 417.19 Ah ทั้งนี้ควรเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 100 Ah 24V ชนิดลิเทียมฟอสเฟตต่อแบบขนาน จำนวน 5 ใบ มีค่าเท่ากับ 500 Ah เป็นเงินทั้งสิ้น 82,500 บาท บาท และเมื่อใช้งานในระยะเวลา 20 ปี มีค่าใช้จ่ายเพิ่มรวมเป็นเงินทั้งสิ้น 247,500 บาท

4.4 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหลัก ร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเพิ่มศักยภาพ เพื่อให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด พบว่า ต้องเลือกใช้เครื่องผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซลที่สามารถผลิตกำลังไฟสูงสุด 5.5 kW มีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 22 A กำลังเครื่องยนต์ขนาด 10 แรงม้า (hp) เป็นเงิน 35,000 บาท มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1.38 ลิตรต่อชั่วโมง นำมาใช้งานต่อเนื่อง 6 ชั่วโมง ต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 8.25 ลิตร ราคาน้ำมันลิตรละ 32.94 บาท ณ วันที่ 17 เมษายน 2566 คิดเป็นเงินทั้งสิ้น 271.75 บาท ถ้าใช้งาน 250 (วัน/ปี) คิดเป็นเงิน 67,938.75 บาท/ปี มีค่าใช้จ่ายเพิ่มรวมเป็นเงินทั้งสิ้น 102,938.75 บาท

5. การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยพลังงานไฮบริดเป็นพลังงานหลัก

การทดลองนี้เป็นการนำแหล่งจ่ายจากพลังงานไฮบริดเป็นพลังงานหลักในการจ่ายไฟฟ้าเพื่อตอบสนองด้านโหลด พลังงานไฮบริดประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่สำรอง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล พบว่า สามารถจ่ายไฟให้กับโหลดได้ครบทุกอุปกรณ์ ใช้งานได้ต่อเนื่อง 5 ชั่วโมง และในชั่วโมงที่หก สามารถจ่ายไฟให้กับโหลดตามความจำเป็นที่ระบุในเงื่อนไข ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ลำโพงช่วยสอน เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา และโปรเจคเตอร์ แหล่งจ่ายจากพลังงานไฮบริดสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า ณ ขณะนั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.63 kWh ต้องเพิ่มศักยภาพแหล่งจ่ายอื่น ๆ มีค่าเท่ากับ 2.26 kWh เพื่อตอบสนองการใช้งานด้านโหลดต่อเนื่องครบ 7 ชั่วโมง ดังต่อไปนี้

5.1 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานไฮบริดหลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเพิ่มศักยภาพให้เพียงพอการใช้งาน มีต้นทุนเริ่มแรกในการผลิตไฟฟ้า ขนาด 0.9 kW แสดงดังตาราง 13

ตาราง 13 ต้นทุนเริ่มแรกในการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์
ขนาด 0.9 kW

รายการ	จำนวนเงิน	Replacement	LCC (20 years) (หน่วย : บาท)
(1) แบตเตอรี่ ขนาด 100 Ah 24V จำนวน 2 ใบ	33,000.00	66,000.00	99,000.00
(2) แผงโซลาร์เซลล์ ขนาด 450 W จำนวน 2 แผง	11,000.00		11,000.00
(3) เครื่องควบคุมการประจุพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 24 V 60 A จำนวน 1 เครื่อง	6,500.00	6,500.00	13,000.00
(4) อินเวอร์เตอร์ ขนาด 2,000 W จำนวน 1 เครื่อง	9,500.00	9,500.00	19,000.00
(5) ค่าติดตั้ง	9,000.00		9,000.00
รวมเป็นเงิน	69,000.00	82,000.00	151,000.00
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	73,830.00		161,570.00
			kWh/20 year 12,600.00
			LCOE (THB/kWh) 12.82

หมายเหตุ: * เพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้ต่อเนื่องตลอดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในระยะเวลา 20 ปี จำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ ดังนี้ (1) แบตเตอรี่มีการเปลี่ยนจำนวน 2 รอบ (2) เครื่องควบคุมการประจุพลังงานแสงอาทิตย์ และอินเวอร์เตอร์ การเปลี่ยนจำนวน 1 รอบ

การคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง และจุดคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 3.15 kW สามารถสรุปได้ดังนี้

กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อแผง (kW)	= 0.32 Kw
กำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม (kW)	= 0.63 Kw
ระยะเวลาคืนทุน	= 20.26.05 ปี
Leverized Cost of Electricity (LCOE)	= 12.82 บาท/kWh
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	= 2,835 บาท/ปี

จากการนำแหล่งจ่ายพลังงานไฮบริดมาเพิ่มศักยภาพให้เพียงพอต่อการใช้งานพบว่า ต้องเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 0.9 kW ใช้งบประมาณทั้งสิ้น 73,830 บาท สามารถผลิตไฟฟ้าสูงสุดรวม 0.63 kW ระยะเวลาคืนทุนระบบจำนวน 20.26 ปี มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ย 12.82 BTH/kWh คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 2,835 บาท/ปี

5.2 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานไฮบริดหลักร่วมกับพลังงานลมที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำพลังงานลมมาเพิ่มศักยภาพเพื่อให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวันมีค่าเท่ากับ 2.26 kWh พบว่า ระบบมีความต้องการตอบสนองการใช้งานด้านโหลดต่อเนื่องครบ 7 ชั่วโมง ดังตาราง 14

ตาราง 14 ต้นทุนเริ่มแรกในการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ขนาด 1 kW

รายการ	จำนวน	ราคา/หน่วย	เป็นเงิน
(1) แบตเตอรี่ (Battery) ขนาด 100 Ah 24V	2	16,500	33,000
(2) กังหันลม (Wind Turbine) พร้อม Charge Controller ขนาด 500 W 24 V	2	18,500	37,000
(3) อินเวอร์เตอร์ (Inverter)ขนาด 2,000 W	1	9,500	9,500
(4) เสาเหล็กขนาดความสูง 6 เมตร	2	8,500	17,000
(5) ค่าแรงติดตั้งพร้อมฐานราก	2	5,000	10,000
		รวมเป็นเงิน	106,500
		ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	113,955

5.3 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานไฮบริดหลักร่วมกับแบตเตอรี่สำรองที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำแหล่งจ่ายแบตเตอรี่สำรองมาเพิ่มศักยภาพเพื่อให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวันมีค่าเท่ากับ 2,260 Wh พบว่า ระบบมีความต้องการใช้แบตเตอรี่เพื่อสำรองกำลังไฟฟ้าสำหรับจ่ายให้กับโหลดใช้งานเท่ากับ 117.7 Ah ทั้งนี้ ควรเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 100 Ah 24V ชนิดลิเทียมฟอสเฟต จำนวน 2 ใบ มีค่าเท่ากับ 200 Ah เป็นเงินทั้งสิ้น 33,000 บาท และเมื่อใช้งานในระยะเวลา 20 ปี มีค่าใช้จ่ายเพิ่มรวมเป็นเงินทั้งสิ้น 99,000 บาท

5.4 การเพิ่มศักยภาพพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานไฮบริดหลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่นำมาเพิ่มศักยภาพ

เมื่อนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเพิ่มศักยภาพ เพื่อให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด พบว่า ต้องเลือกใช้เครื่องผลิตไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซลที่สามารถผลิตกำลังไฟสูงสุด 5.5 kW มีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 22 A กำลังเครื่องยนต์ขนาด 10 แรงม้า (hp) เป็นเงิน 35,000 บาท มีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1.38 ลิตรต่อชั่วโมง นำมาใช้งานต่อเนื่อง 2 ชั่วโมง

ต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 2.75 ลิตร ราคาน้ำมันลิตรละ 32.94 บาท ณ วันที่ 17 เมษายน 2566 คิดเป็นเงินทั้งสิ้น 90.58 บาท ถ้าใช้งาน 250 (วัน/ปี) คิดเป็นเงินทั้งสิ้น 22,646.25 บาท/ปี มีค่าใช้จ่ายเพิ่มรวมเป็นเงินทั้งสิ้น 57,646.25 บาท

จากการทดลองด้วยแบบจำลองทั้ง 5 โหมด ในการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าเพื่อตอบสนองทางด้านโหลด สามารถสรุปดังตาราง 15

ตาราง 15 ต้นทุนในการเพิ่มศักยภาพพลังงานแต่ละประเภทให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลดสำหรับแบบจำลองทั้ง 5 โหมด

การเพิ่มศักยภาพจากแหล่งพลังงานแต่ละประเภทให้เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด	ต้นทุนในการเพิ่มศักยภาพพลังงานด้านอื่น ๆ สำหรับแบบจำลองทั้ง 5 โหมด				
	โหมดที่ 1 พลังงานแสงอาทิตย์	โหมดที่ 2 พลังงานลม	โหมดที่ 3 แบตเตอรี่สำรอง	โหมดที่ 4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	โหมดที่ 5 พลังงานไฮบริด
พลังงานแสงอาทิตย์	86,135.00	190,674.00	144,557.00	175,480.00	73,830.00
พลังงานลม	148,195.00	338,120.00	251,985.00	303,880.00	113,955.00
แบตเตอรี่สำรอง	99,000.00	247,500.00	198,000.00	247,500.00	99,000.00
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล	57,646.25	114,261.88	91,615.63	102,938.75	57,646.25

จากตาราง 15 การบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าในไอแลนด์โหมดเพื่อตอบสนองด้านโหลดของอาคารปฏิบัติการ พบว่า การบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือกให้เพียงพอต่อความต้องการด้านโหลดครบ 7 ชั่วโมง โดยไม่พึ่งพาพลังงานจากฟอสซิล การทดลองชี้ให้เห็นว่า เมื่อทำการเพิ่มพลังงานจากโซลาร์เซลล์ให้กับทุกโหมดหลัก โหมดที่ 1 ใช้ต้นทุนในการติดตั้งน้อยที่สุด ตามด้วยโหมดที่ 3 และโหมดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 86,135 บาท, 144,557 บาท, 190,674 บาท ตามลำดับ โดยมีกำลังติดตั้ง 1.35, 2.25, 3.15 กิโลวัตต์ ตามลำดับ มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 15.75, 15.86, 14.95 ปีตามลำดับ และเมื่อเพิ่มพลังงานลมให้กับทุกโหมดหลัก ในโหมดที่ 1 ใช้ต้นทุนในการติดตั้งน้อยที่สุด ตามด้วยโหมดที่ 3 และโหมดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 148,195 บาท, 251,985 บาท, 338,120 บาท ตามลำดับ มีผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 945, 1,575, 2,205 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ตามลำดับ

ตอนที่ 4 อุปกรณ์ควบคุมสำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก

เมื่อได้ทำการออกแบบอัลกอริทึมของดีมานต์เรสปอนส์สำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือกเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบจำลองและนำข้อมูลทดสอบตามวัตถุประสงค์ จากนั้นทำการสร้างอุปกรณ์ควบคุมจริงประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังนี้ (1)บอร์ด Arduino MEGA 2360 (2) Voltage Sensor ZMPT101B (3)Relay (4)Voltage Sensor และ(5)LCD monitor ดังภาพ 32



(ก) ภายในอุปกรณ์ควบคุม

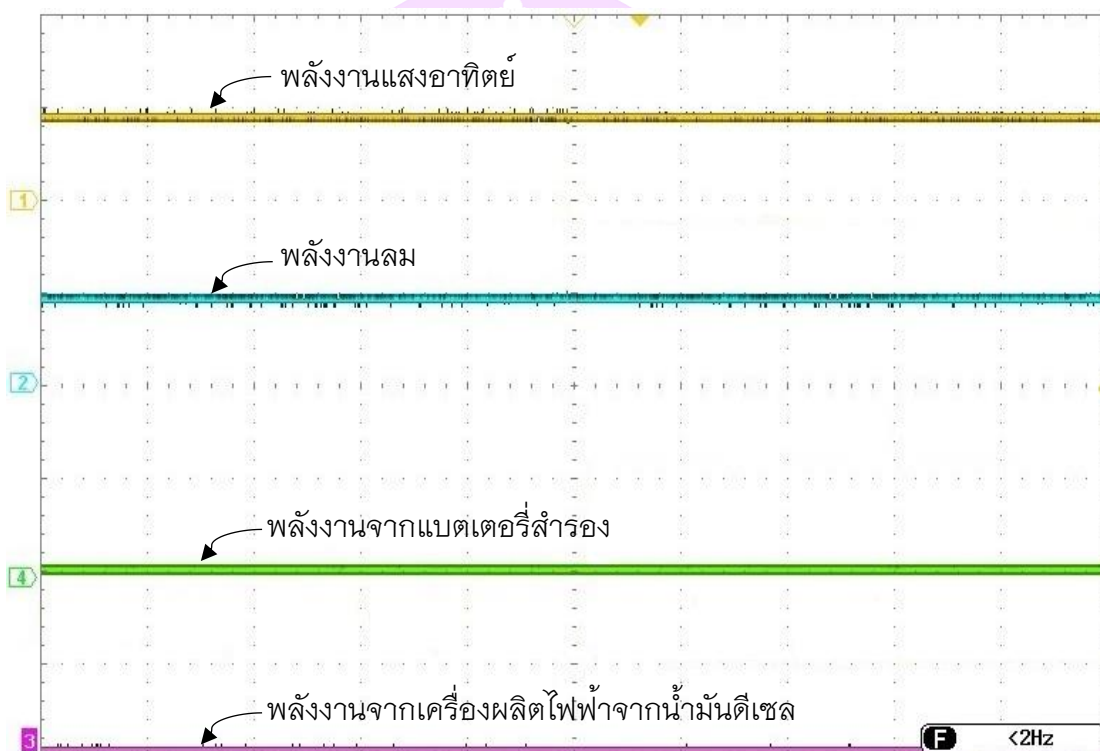


(ข) หน้าจอแสดงผล

ภาพ 36 อุปกรณ์ควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก

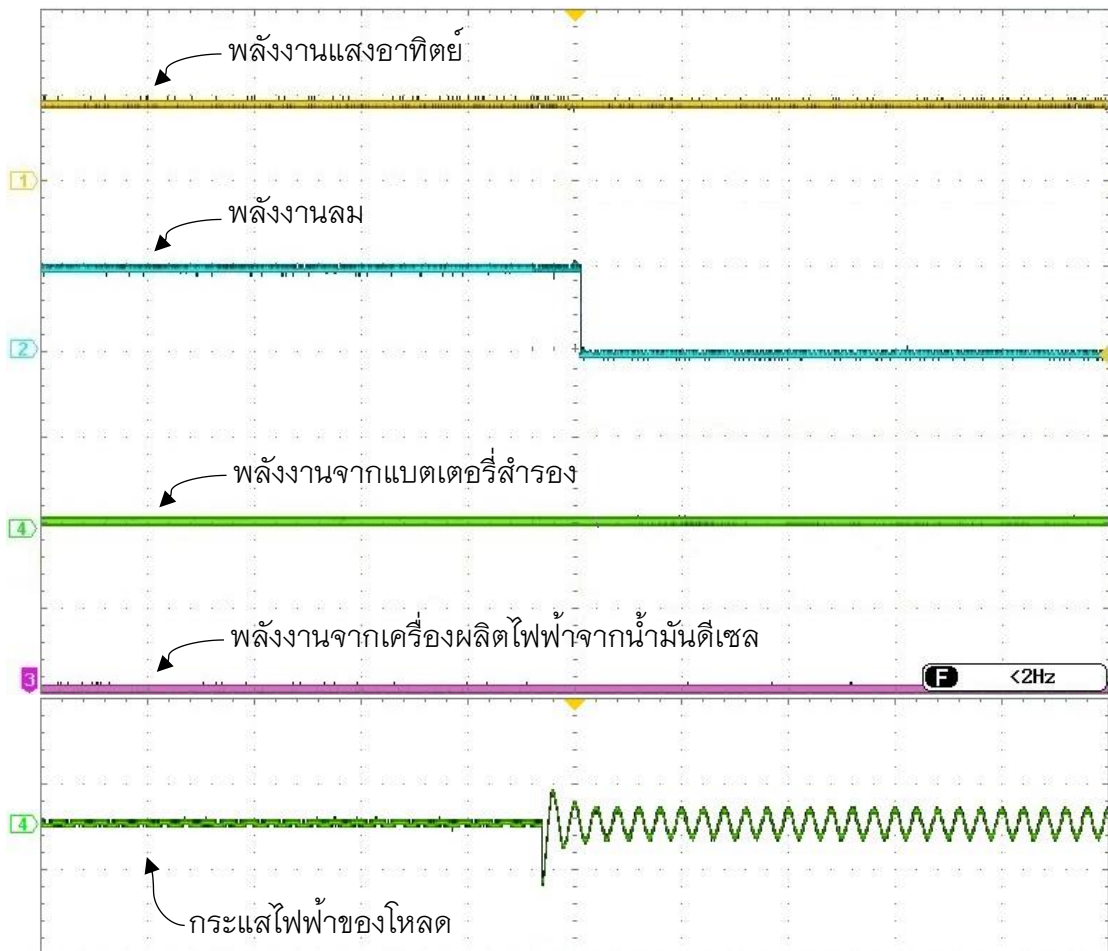
เมื่อทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ชุดควบคุมจริง เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานโดยใช้เครื่องวัด Digital storage oscilloscope GW Instek GDS 3154 Series 150MHz 4 input channel มีผลการทดลองดังต่อไปนี้

เมื่อเปิดใช้งานอุปกรณ์ควบคุมจริง ระบบตรวจสอบสถานะการทำงานของแหล่งจ่าย ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่สำรอง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล จากนั้นทำการตรวจสอบสถานะการใช้งานของโหนด เมื่อไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากโหนด แหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม ที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จะถูกใช้สำหรับ ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่สำรอง ดังภาพ 33



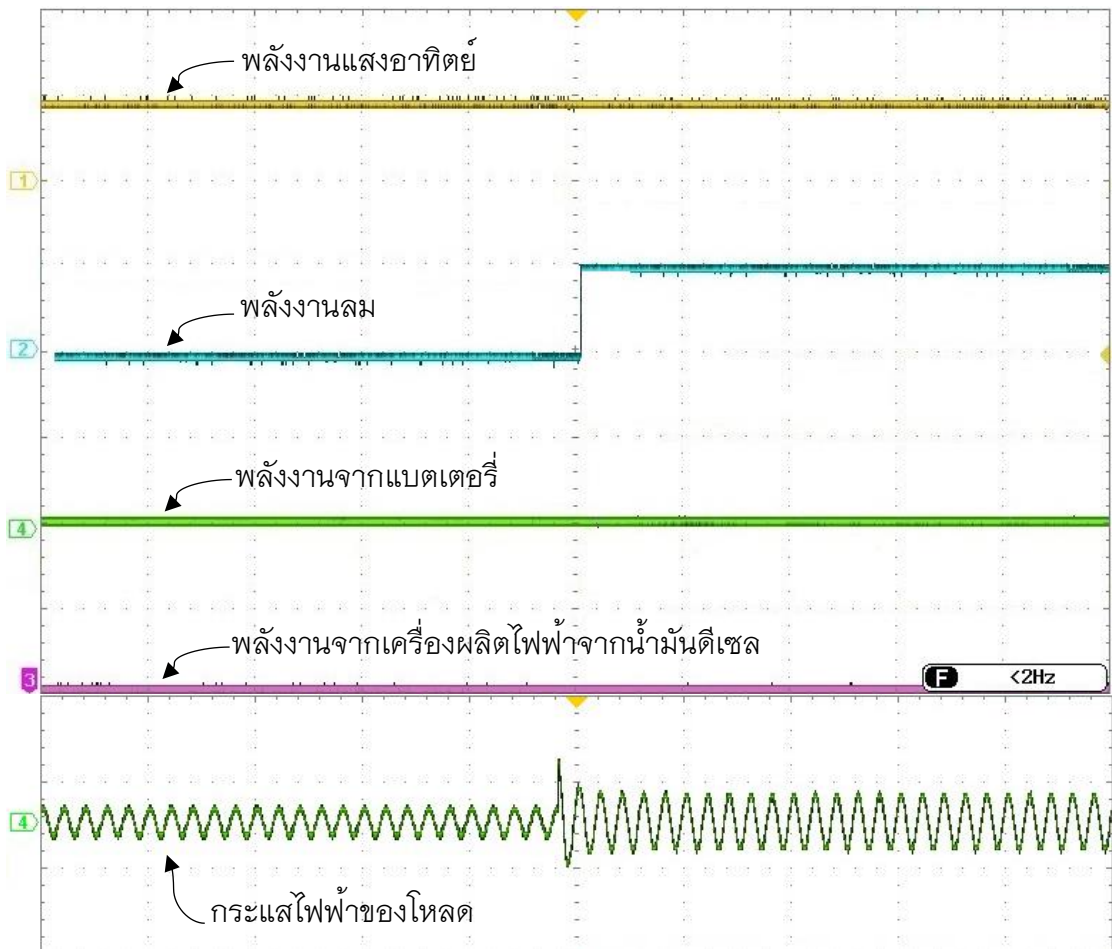
ภาพ 37 แสดงสถานะการตอบสนองการทำงานของระบบ เมื่อไม่มีการใช้งานโหนด

เมื่อเปิดการใช้งานโหนด ระบบจะทำการตรวจสอบความต้องการใช้พลังงานของ โหนด จากนั้นระบบทำการตรวจสอบสถานะของแหล่งจ่ายจากพลังงานแสงอาทิตย์เทียบกับ ความต้องการของโหนด และทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อตอบสนองการใช้งานโหนด ทั้งนี้ แหล่งจ่ายจากพลังงานลมยังคงใช้สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่สำรอง ดังภาพ 34



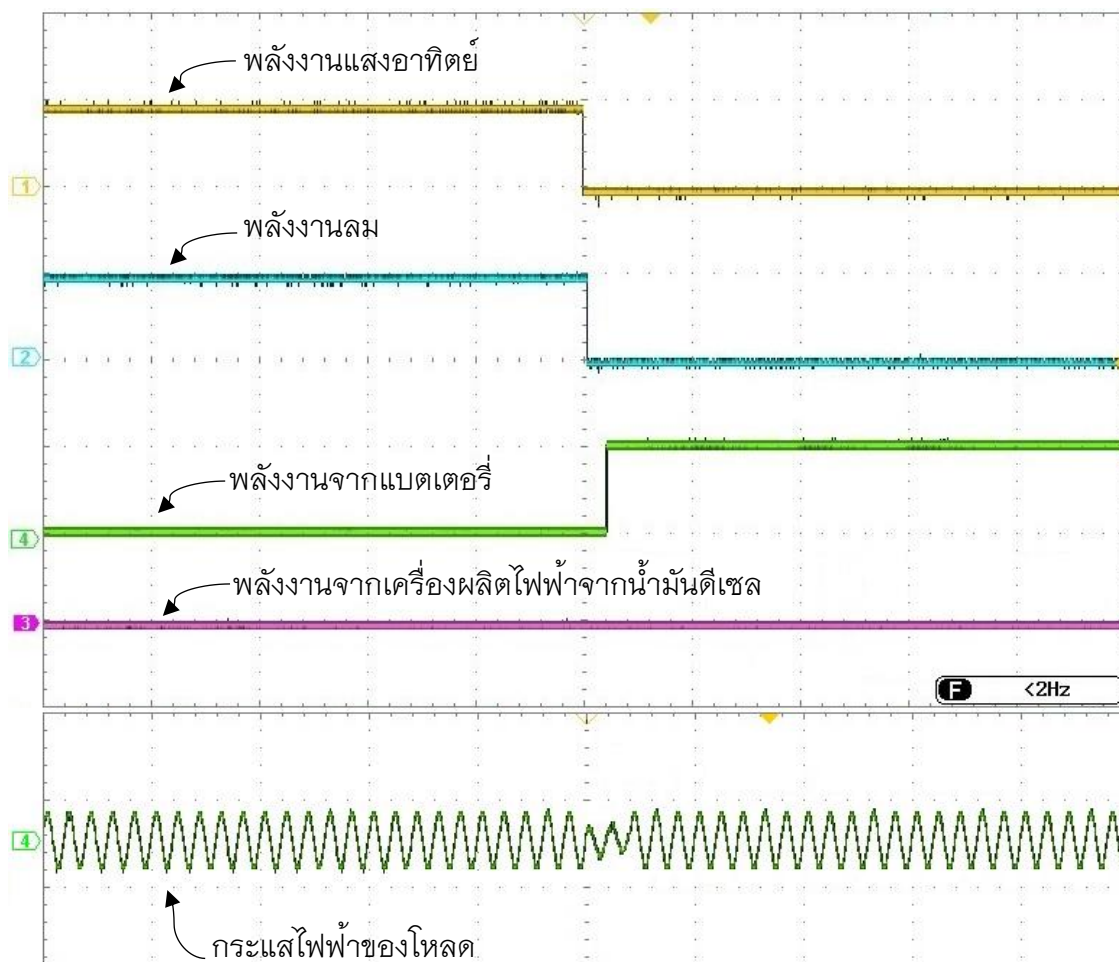
ภาพ 38 แสดงสถานะแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์มีพลังงานไฟฟ้าเพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด

เมื่อมีการเปิดใช้งานโหลดเพิ่มขึ้นเกินพิกัดของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบ จะทำการตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าของแหล่งจ่ายพลังงานลม เพื่อทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าตอบสนองด้านโหลดร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ ดังภาพ 35



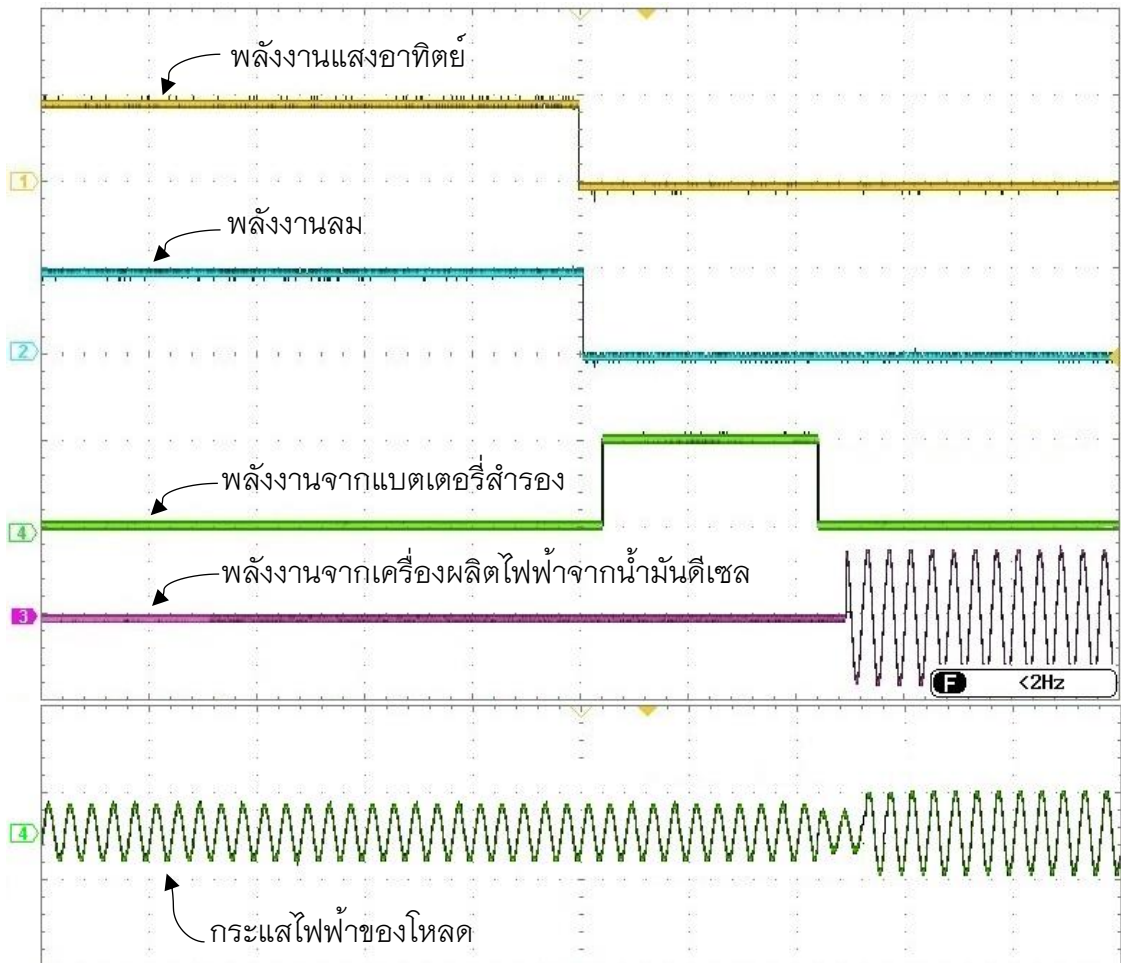
ภาพ 39 แสดงสถานะแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์กับพลังงานลมตอบสนองด้านโหลด

เมื่อมีการใช้งานโหลดเกินพิกัดกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์และแหล่งจ่ายพลังงานลม ระบบจะทำการตรวจสอบสถานะของแหล่งจ่ายถัดไปคือแบตเตอรี่สำรองและทำการเทียบกับความต้องการใช้งานของโหลด กับแหล่งจ่ายแบตเตอรี่สำรอง เมื่อพบว่ามีความต้องการใช้งานเพียงพอดต่อการใช้งาน ระบบจะทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อตอบสนองโหลด ขณะนั้นแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมมีพลังงานไฟฟ้าเป็นศูนย์ ดังภาพ 36



ภาพ 40 แสดงสถานะแหล่งจ่ายแบตเตอรี่สำรองจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลด
ขณะที่พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไม่สามารถผลิตไฟฟ้า

ทั้งนี้ หากโหลดมีการร้องขอการใช้พลังงานเกินพิกัดของแหล่งจ่ายทั้งสามที่ได้กล่าวมา
ข้างต้นระบบจะทำการตรวจสอบแหล่งจ่ายถัดไป คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และทำการ
เทียบกับความต้องการใช้งานของโหลด และจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลด ดังภาพ 37



ภาพ 41 แสดงสถานะการตอบสนองของโหนดจากพลังงานทางเลือก

ตอนที่ 5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของพลังงานทางเลือกในไอแลนด์โฮมด

เมื่อทดสอบแบบจำลองทั้ง 5 โฮมดแล้ว ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ ของพลังงานทางเลือกในไอแลนด์โฮมด โดยมีข้อกำหนดที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามตารางที่ 3 ในบทที่ 3 และข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ แสดงดังตาราง 16

ตาราง 16 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยพลังงานเลือก 5 โหมด

รายการ	ผล ประหยัด พลังงาน ไฟฟ้า (kWh/ปี)	เทียบเท่า ตัน น้ำมันดิบ (ktoe/ปี)	พลังงานที่ ประหยัดได้ (MJ/ปี)	ปริมาณ CO ₂ (ตัน/ ปี) จาก พลังงาน ไฟฟ้า	ปริมาณ CO ₂ (ตัน/ปี) จาก พลังงาน เชื้อเพลิง ดีเซล
โหมดที่ 1 พลังงาน แสงอาทิตย์	945	0.000081	3,402	0.53	2.06
โหมดที่ 2 พลังงานลม	2,205	0.000188	7,938	1.24	7.22
โหมดที่ 3 แบตเตอรี่ สำรอง	1,575	0.000134	5,670	0.88	5.16
โหมดที่ 4 เครื่องกำเนิด ไฟฟ้าดีเซล	1,890	0.000161	6,804	1.06	6.19
โหมดที่ 5 พลังงาน ทางเลือก	630	0.000054	2,268	0.35	2.06

จากตาราง 16 แสดงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยพลังงานเลือกทั้ง 5 โหมด พบว่า ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ย 1,449 (kWh/ปี) เทียบเท่าตันน้ำมันดิบมีค่าเฉลี่ย 0.00012 (ktoe/ปี) พลังงานที่ประหยัดได้ค่าเฉลี่ย 5,216 (MJ/ปี) ช่วยลดปริมาณการปลดปล่อย CO₂ จากพลังงานไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ย 813 (ตัน/ปี) และช่วยลดปริมาณการปลดปล่อย CO₂ จากพลังงานเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าเฉลี่ย 4,538 (ตัน/ปี) ทั้งนี้ โหมดที่ 2 พลังงานลมมีผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2,205 kWh/ปี เทียบเท่าตันน้ำมันดิบมีค่า 0.000188 (ktoe/ปี) พลังงานที่ประหยัดได้ค่าเฉลี่ย 7,938 (MJ/ปี) ช่วยลดปริมาณการปลดปล่อย CO₂ จากพลังงานไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ย 1.24 (ตัน/ปี) ช่วยลดปริมาณการปลดปล่อย CO₂ จากพลังงานเชื้อเพลิงดีเซลมีค่าเฉลี่ย 7.22 (ตัน/ปี)

ตอนที่ 6 วิเคราะห์การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์ใหม่จากพลังงานทางเลือก ด้วยโมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree

ผลการวิเคราะห์โมเดล DR-Island model ด้วยต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) ผู้วิจัยได้นำตัวแปรนำเข้าโปรแกรม WEKA เพื่อตรวจสอบรูปแบบของ DR-Island model ซึ่งตัวแปรนำเข้าและความหมาย แสดงดังตาราง 17

ตาราง 17 กำหนดตัวแปร พลังงานนำเข้าของ DR-Island model

ลำดับที่	ตัวแปร	ความหมาย
1	X1	ค่าความเข้มของแสง
2	X2	ค่าความเร็วลม
3	X3	พลังงานแสงอาทิตย์หลัก
4	X4	พลังงานแสงอาทิตย์เสริม
5	X5	พลังงานลมหลัก
6	X6	พลังงานลมเสริม
7	X7	แบตเตอรี่หลัก
8	X8	แบตเตอรี่เสริม
9	X9	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหลัก
10	X10	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเสริม
11	X11	ชั่วโมงการใช้งาน
12	X12	พลังงานที่จ่ายให้โหลด

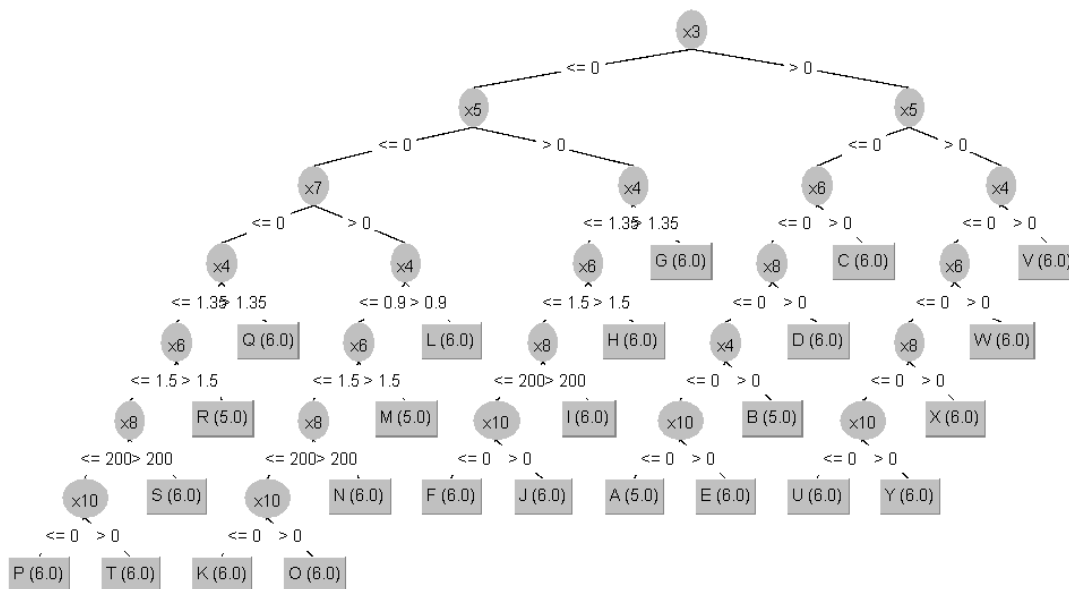
และทำการ Training ให้กับโปรแกรม WEKA เมื่อมีการ Input ค่าตัวแปรจากตาราง 5 โปรแกรมจะเลือกรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดจากหนึ่งใน 25 รูปแบบ แสดงดังตาราง 18

ตาราง 18 กำหนดตัวแปร ผลลัพธ์ ของ DR-Island model เพื่อ Training โปรแกรม

WEKA		
ลำดับ	รูปแบบ	ความหมาย
1	A	พลังงานแสงอาทิตย์
2	B	พลังงานแสงอาทิตย์หลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เสริม
3	C	พลังงานแสงอาทิตย์หลักร่วมกับพลังงานลมเสริม
4	D	พลังงานแสงอาทิตย์หลักร่วมกับแบตเตอรี่สำรองเสริม
5	E	พลังงานแสงอาทิตย์หลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเสริม
6	F	พลังงานลม
7	G	พลังงานลมหลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เสริม
8	H	พลังงานลมหลักร่วมกับพลังงานลมเสริม
9	I	พลังงานลมหลักร่วมกับแบตเตอรี่สำรองเสริม
10	J	พลังงานลมหลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเสริม
11	K	แบตเตอรี่สำรอง
12	L	แบตเตอรี่สำรองหลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เสริม
13	M	แบตเตอรี่สำรองหลักร่วมกับพลังงานลมเสริม
14	N	แบตเตอรี่สำรองหลักร่วมกับแบตเตอรี่สำรองเสริม
15	O	แบตเตอรี่สำรองหลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเสริม
16	P	กำเนิดไฟฟ้าดีเซล
17	Q	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เสริม
18	R	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหลักร่วมกับพลังงานลมเสริม
19	S	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหลักร่วมกับแบตเตอรี่สำรองเสริม
20	T	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลหลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเสริม
21	U	พลังงานไฮบริด
22	V	พลังงานไฮบริดหลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เสริม
23	W	พลังงานไฮบริดหลักร่วมกับพลังงานลมเสริม
24	X	พลังงานไฮบริดหลักร่วมกับแบตเตอรี่สำรองเสริม
25	Y	พลังงานไฮบริดหลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเสริม

จากนั้นใส่ค่าตัวแปรพลังงานต่างๆ ของสวนพลังงานใน DR-Island model ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 2.2 kW พลังงานลมขนาด 0.68 kW ความเข้มของแสงค่าเฉลี่ย 14 MJ/m² ค่าความเร็วลมเฉลี่ย 3.4 m/s เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาด 2 kW ค่าความต้องการไฟฟ้าด้านโหลดเฉลี่ยเท่ากับ 9.89 kWh นำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ Decision

tree เป็นเครื่องมือ ช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบที่เหมาะสม ดังวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 นำไปสู่ข้อสรุปสำหรับการตัดสินใจ แสดงดังภาพ 42



ภาพ 42 โมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree ของ DR-Island model

จากภาพ แสดงต้นไม้ตัดสินใจจากข้อมูลการ Training ระบบต้นไม้ตัดสินใจที่ได้ root node คือ พลังงานแสงอาทิตย์หลัก (x3) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุด จากนั้นข้อมูลที่เป็นกิ่งก้านของต้นไม้ตัดสินใจจะลดหลั่นตามลำดับความสำคัญและความสัมพันธ์ของข้อมูล สุดท้าย leaf node แสดงชื่อตัวแปรผลลัพธ์ของ DR-Island model (25 รูปแบบ) ตัวอย่างเช่น ถ้ามีพลังงานแสงอาทิตย์หลัก มากกว่าหรือเท่ากับ 0 จะมีความสัมพันธ์กับพลังงานลมหลัก (x5) จากนั้นเมื่อพลังงานลมหลักมากกว่า 0 จะมีความสัมพันธ์กับพลังงานแสงอาทิตย์เสริม (x4) และเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์เสริมมากกว่า 0 จะทำการเลือก พลังงานไฮบริดหลักร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์เสริม (V)

เมื่อทำการทดสอบความแม่นยำของโมเดลผลการทดสอบแสดงดังภาพ 43

```

Classifier output
| | x4 <= 0
| | | x6 <= 0
| | | | x8 <= 0
| | | | | x10 <= 0: U (6.0)
| | | | | x10 > 0: Y (6.0)
| | | | | x8 > 0: X (6.0)
| | | | x6 > 0: W (6.0)
| | | x4 > 0: V (6.0)

Number of Leaves : 25

Size of the tree : 49

=== Re-evaluation on test set ===

User supplied test set
Relation: energy_predict
Instances: unknown (yet). Reading incrementally
Attributes: 13

=== Predictions on user test set ===

inst#  actual  predicted error prediction
  1     1:?    1:A      1         1
  2     1:?    2:B      1         1
  3     1:?    3:C      1         1
  4     1:?    4:D      1         1
  5     1:?   13:M     1         1
  6     1:?   18:R     1         1

=== Summary ===

Total Number of Instances 0
Ignored Class Unknown Instances 6

```

ภาพ 43 แสดงผลการทำนายด้วย DR-Island model

จากภาพ 43 แสดงผลการทำนายด้วย DR-Island model พบว่า ผลการทำนาย มีความแม่นยำถูกต้องร้อยละ 100 ดูจากค่าการทำนาย (Prediction) เท่ากับ 1 เนื่องจากโมเดล Decision Tree ยังมีค่ามากผลการทำนายยิ่งมีความแม่นยำสูง การทำนายตัวแบบ Decision Tree อาศัยหลักการทำงานเชิงสถิติค่าที่ได้อยู่ในช่วง 0-1 ถ้าผลการทำนายเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีค่าความแม่นยำสูง

เมื่อนำ DR-Island model ไปทดสอบกับสถานีพัฒนาการเกษตรที่สูงในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์พระบรมราชินีนาถ บ้านป่าคา ซึ่งมีค่า ตัวแปรนำเข้า พลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 10 kW พลังงานลมขนาด 0 kW ความเข้มของแสงค่าเฉลี่ย 18 MJ/m² ค่าความเร็วลมเฉลี่ย 6 m/s เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ขนาด 3 kW ค่าความต้องการไฟฟ้าด้านโหลดค่าเฉลี่ย เท่ากับ 45 kWh จากนั้นนำค่าไปใส่ใน DR-Island model ผลลัพธ์ที่ได้คือ พลังงานแสงอาทิตย์หลักร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเสริม (E) ถึงแม้การประมวลผลของระบบในสถานีพัฒนาการเกษตรที่สูงในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์พระบรมราชินีนาถ บ้านป่าคา เลือกลงพลังงานแสงอาทิตย์แต่ยังคงพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิล จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลด้วย

ศักยภาพของพื้นที่สถานี มีความเร็วลมที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งพลังงานลมเป็นการเพิ่มศักยภาพด้านพลังงานเป็นการจัดการการใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่าและเพื่อให้เกิดความมั่นคงด้านพลังงานควรมีการกักเก็บพลังงาน (Energy storage) ด้วยแบตเตอรี่ซึ่งในอนาคตมีแนวโน้มราคาที่ถูกลง ทั้งนี้ DR-Island model สามารถนำไปใช้กับพื้นที่อื่นๆ ที่มีบริบทคล้ายคลึงกันที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้าเข้าถึง

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า DR-Island model สามารถตอบโจทย์ความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy Security) และเป็นการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าผู้ใช้ (Demand Response Management : DRM) ซึ่งเป็นไปตามหลักของแผนแม่บทการพัฒนาสมาร์ตของประเทศไทย ระยะปานกลาง พ.ศ. 2565-2574



บทที่ 5

บทสรุป

การวิจัยเรื่องดีมานต์เรสปอนส์และอัลกอริทึมสำหรับระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือก มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) สร้างและทดสอบอัลกอริทึมของดีมานต์เรสปอนส์สำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือก (2) เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของพลังงานทางเลือกในไอแลนด์โหนด

สรุปผลการวิจัย

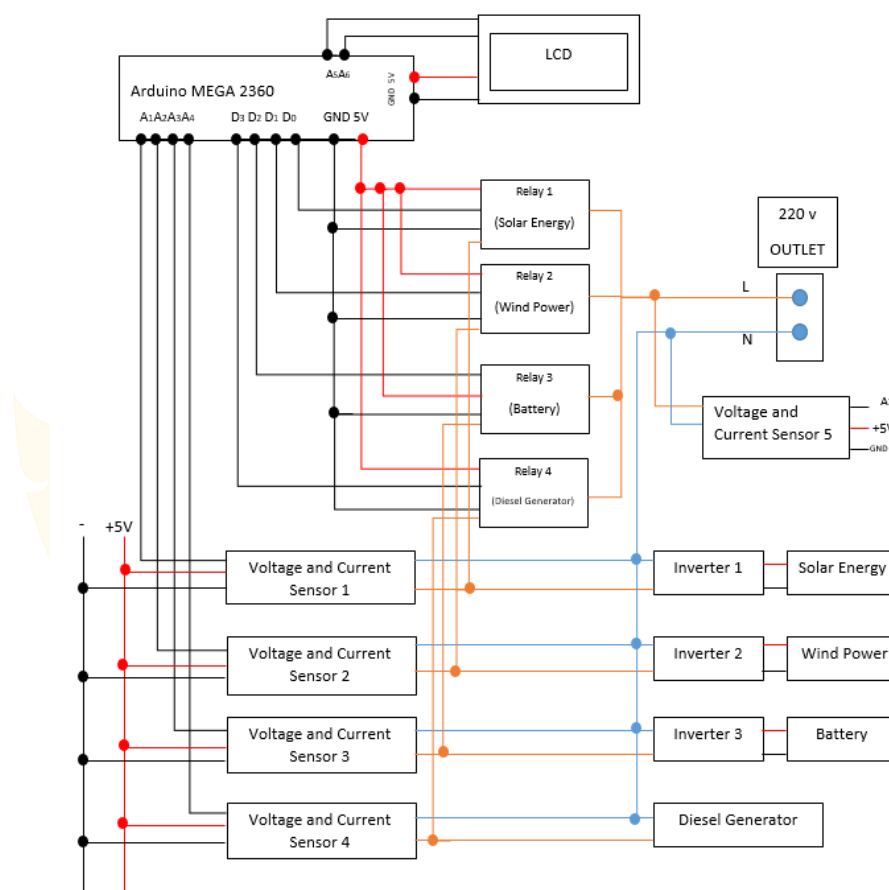
ผลการวิจัยเรื่อง ดีมานต์เรสปอนส์และอัลกอริทึมสำหรับระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือก สามารถสรุปผลตามวัตถุประสงค์ได้ ดังนี้

1. แนวทางบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดจากพลังงานทางเลือก

การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารปฏิบัติการเพื่อตอบสนองทางด้านโหลด ในช่วงเวลาหนึ่งวัน มีความต้องการใช้งานพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 08.30–12.00 น. และเวลา 13.00–16.30 น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.89 kWh ซึ่งแหล่งจ่ายจากพลังงานทางเลือกสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด 8.04 kWh ซึ่งไม่เพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด เนื่องด้วยแหล่งจ่ายจากพลังงานทางเลือกมีอายุการใช้งานไม่ต่ำกว่า 10 ปีและมีการเสื่อมประสิทธิภาพตามการใช้งาน เมื่อนำรูปแบบการจัดการไฟฟ้าวร่วมกับพลังงานทางเลือกที่มีอยู่อย่างจำกัดมาใช้ในการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหนดเพื่อตอบสนองความต้องการใช้พลังงานของโหลดให้เพียงพอและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ลดการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลให้มากที่สุด โดยอาศัยระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System: EMS) เพื่อโน้มน้าวให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนหรือลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้งานของโหลดสูงสุด โดยนำหลักการระบบสั่งการแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automated Demand Response System) มาใช้ในการออกแบบวงจรควบคุม ซึ่งผู้ดูแลระบบจะอาศัยเทคโนโลยีระบบบริหารจัดการพลังงานหรือการเชื่อมต่อข้อมูลต่าง ๆ ส่งข้อความแจ้งเตือนผู้ใช้ไฟฟ้า เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับข้อความแล้วจะพิจารณาตัดสินใจจะเข้าร่วมการตอบสนองด้านโหลดต่อไป

2. อุปกรณ์และลักษณะวงจรควบคุมการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก

อุปกรณ์ชุดควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด ได้นำหลักการบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System: EMS) ในการออกแบบลักษณะของวงจร เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดไม่พึ่งพาไฟฟ้าจากสายส่งและเพียงพอต่อการตอบสนองด้านโหลด โดยมีแหล่งจ่ายจากพลังงานทางเลือกที่มีข้อจำกัด ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 2.2 kW พลังงานลมขนาด 0.68 kW แบตเตอรี่สำรองขนาด 300 Ah 24 V และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาด 2 kW อุปกรณ์หลักที่นำมาใช้ในวงจร ได้แก่ 1)บอร์ด Arduino MEGA 2360 2) Voltage and Current Sensor 3) Relay และ 4) LCD monitor ดังภาพ 38



ภาพ 44 การออกแบบอุปกรณ์ชุดควบคุมการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมด

จากภาพ 38 จะเห็นว่ามีแหล่งจ่ายพลังงานทางเลือก 4 แหล่งจ่าย คือ 1) พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) 2) พลังงานลม (Wind Power) 3) แบตเตอรี่ (Battery) และ 4) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel Generator) ซึ่งแหล่งจ่ายแต่ละชนิดจะวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Voltage and Current Sensor ซึ่งต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ จ่ายให้กับบอร์ด Voltage and Current Sensor และส่งค่าที่ได้ไปที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2360 ซึ่งตัวบอร์ดจะใช้สัญญาณอนาล็อก ขา A1 ถึง A4 และ A7 เพื่อจะอ่านค่าของ Voltage and Current Sensor แต่ละตัวแล้วเทียบค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบแรงดันและกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายแต่ละชนิด จากนั้นจะนำค่าแรงดัน ณ เวลานั้น ๆ แสดงที่หน้าจอ LCD และใช้การคำนวณ Voltage and Current Sensor ตัวที่ 5 เมื่อพบว่า มีการใช้กำลังไฟฟ้า (watt) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งงานรีเลย์ ตัวที่ 1 คือ พลังงานแสงอาทิตย์จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดทางไฟฟ้าผ่านปลั๊ก 220V OUTLET หาก Voltage and Current Sensor ตัวที่ 5 ตรวจสอบแล้วพบว่า กำลังไฟฟ้า (watt) ของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งงานรีเลย์ ตัวที่ 2 คือ พลังงานลมให้จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดทางไฟฟ้าผ่านปลั๊ก 220V OUTLET ทำงานร่วมกันกับพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ถ้า Voltage and Current Sensor ตัวที่ 5 ตรวจสอบแล้วพบว่า กำลังไฟฟ้า (watt) ของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของโหลด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งงานรีเลย์ ตัวที่ 3 คือ พลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ ให้จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดทางไฟฟ้าผ่านปลั๊ก 220V OUTLET ทำงานร่วมกันกับพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม ถ้าหาก Voltage and Current Sensor ตัวที่ 5 ตรวจสอบแล้วพบว่า กำลังไฟฟ้า (watt) ของแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ยังไม่เพียงพอที่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งงานรีเลย์ ตัวที่ 4 คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดผ่านปลั๊ก 220V OUTLET ทำงานร่วมกันกับพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ ตามลำดับ และเมื่อ Voltage and Current Sensor ตัวที่ 5 ตรวจสอบแล้วพบว่า การใช้กำลังไฟฟ้า (watt) เกินความต้องการของโหลด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งตัดการทำงานของรีเลย์ ตัวที่ 4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ตัวที่ 3 พลังงานสำรอง จากแบตเตอรี่ และตัวที่ 2 พลังงานลม หยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าตามลำดับ กระบวนการทั้งหมดนี้เป็นรูปแบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก

3. อัลกอริทึมและดีมานต์เรสปอนส์สำหรับบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก

การทำงานของระบบบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมตจากพลังงานทางเลือก ได้นำหลักการของอัลกอริทึมและดีมานต์เรสปอนส์มาใช้ในการพัฒนาระบบ ซึ่งแบ่งการทำงานของอัลกอริทึมออกเป็น 2 ระบบ คือ 1) อัลกอริทึมของแหล่งจ่ายจากพลังงานทางเลือก 2) อัลกอริทึมของการตอบสนองการใช้งานด้านโหลด เมื่อระบบเริ่มทำงานจะทำการตรวจสอบสถานะความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลด จากนั้นตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายส่งค่าที่ได้ไปที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการคำนวณพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับความต้องการใช้ไฟฟ้าของโหลด จากนั้นระบบส่งจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ อันดับแรกพลังงานลม แบตเตอรี่สำรอง ตามลำดับ เมื่อเริ่มใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ระบบจะทำการบริหารจัดการฝั่งโหลด โดยมีเงื่อนไขการใช้งานโหลดตามความจำเป็น ระบุค่าความสำคัญของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา เป็นลำดับแรก โปรเจคเตอร์ ลำโพงช่วยสอน หลอดฟลูออเรสเซนต์ พัดลมไอน้ำ และตู้เย็นตามลำดับ ถ้าฝั่งโหลดมีการร้องขอใช้กำลังไฟฟ้าเกินพิกัดของแหล่งจ่าย ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนผู้ใช้ไฟฟ้า เพื่อพิจารณาตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมการตอบสนองด้านโหลดต่อไป

4. การเปรียบเทียบการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมตจากพลังงานทางเลือกด้วยแบบจำลอง

จากการทดสอบระบบการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมตจากพลังงานทางเลือกด้วยแบบจำลอง ทั้งหมด 5 โหมต พบว่า การบริหารจัดการพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการด้านโหลดให้สามารถใช้งานได้ครบ 7 ชั่วโมงนั้น โดยไม่พึ่งพาพลังงานจากฟอสซิลเมื่อทำการเพิ่มพลังงานจากโซลาร์เซลล์ให้กับทุกโหมตหลัก โหมตที่ 1 ใช้ต้นทุนในการติดตั้งน้อยที่สุด ตามด้วยโหมตที่ 3 และโหมตที่ 2 มีค่าเท่ากับ 86,135 บาท, 144,557 บาท, 190,674 บาท ตามลำดับ โดยมีกำลังติดตั้ง 1.35, 2.25, 3.15 กิโลวัตต์ ตามลำดับ มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 15.75, 15.86, 14.95 ปีตามลำดับ และเมื่อเพิ่มพลังงานลมให้กับทุกโหมตหลักในโหมตที่ 1 ใช้ต้นทุนในการติดตั้งน้อยที่สุด ตามด้วยโหมตที่ 3 และโหมตที่ 2 มีค่าเท่ากับ 148,195 บาท, 251,985 บาท, 338,120 บาท ตามลำดับ มีผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 945, 1,575, 2,205 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ตามลำดับ

5. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของพลังงานทางเลือกในไอแลนด์โหมต

เมื่อทดสอบแบบจำลองทั้ง 5 โหมต ในการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมต โดยไม่พึ่งพาพลังงานจากฟอสซิล และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ของพลังงานทางเลือกในไอแลนด์โหมต พบว่า โหมตที่ 2 สามารถลดการ

ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากที่สุด ตามด้วยโหมดที่ 3 และโหมดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1.24, 0.88, 0.53 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปีจากพลังงานไฟฟ้า และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 7.22, 5.16, 2.06 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปีจากพลังงานเชื้อเพลิงดีเซล

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปเพิ่มศักยภาพให้กับแหล่งจ่ายทุกโหมดหลัก โดยไม่พึ่งพาพลังงานจากฟอสซิล พบว่า โหมดที่ 1 ใช้ต้นทุนในการติดตั้งน้อยที่สุด ตามด้วยโหมดที่ 3 และโหมดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 86,135 บาท, 144,557 บาท, 190,674 บาท ตามลำดับ โดยมีกำลังติดตั้ง 1.35, 2.25, 3.15 กิโลวัตต์ ตามลำดับ มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 15.75, 15.86, 14.95 ปีตามลำดับ และเมื่อเพิ่มพลังงานลมให้กับทุกโหมดหลัก ในโหมดที่ 1 ใช้ต้นทุนในการติดตั้งน้อยที่สุด ตามด้วยโหมดที่ 3 และโหมดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 148,195 บาท, 251,985 บาท, 338,120 บาท ตามลำดับ มีผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 945, 1,575, 2,205 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

6. วิเคราะห์การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก

การบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือก พบว่า รูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารปฏิบัติการของสวนพลังงาน มีทั้งหมด 16 รูปแบบ ซึ่งพิจารณาจาก ค่าพลังงานไฟฟ้าสูง สิ่งแวดล้อม ความคุ้มค่าต่อการลงทุน การประหยัดพลังงาน และความมั่นคงด้านพลังงาน รูปแบบ PV+PV ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลักเสริมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นรูปแบบที่ดีที่สุด เมื่อนำรูปแบบไปทดลองใช้กับโรงเรียนคลองมดแดง สาขาป่าคา ตั้งอยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้าไม่มีไฟฟ้าจากสายส่ง พบว่า รูปแบบ PV+PV ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลักเสริมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นรูปแบบที่ดีที่สุด ทั้งนี้รูปแบบดังกล่าวยังสอดคล้องกับแผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมรรถกิริยาของประเทศไทย ระยะเวลาปานกลาง พ.ศ. 2565 – 2574 มีวิสัยทัศน์และเป้าหมาย “ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ และการจัดการทรัพยากรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จำเป็นรองรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ายุคใหม่อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทางเลือกตรงตาม เสาหลักที่ 1 การตอบสนองด้านโหลดและระบบบริหารจัดการพลังงาน (DR & EMS) และเสาหลักที่ 3 เกิดการใช้งานพลังงานหมุนเวียนสำหรับไมโครกริดช่วยในการบริหารจัดการโครงข่ายไฟฟ้าที่มีสัดส่วนพลังงานหมุนเวียนสูง [60]

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. สามารถนำการบริหารจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยพลังงานทางเลือกไปประยุกต์ใช้ร่วมกับหน่วยงานที่อยู่ห่างไกลจากสายส่ง ชุมชนหรือครัวเรือนที่อยู่บนคอย หรืออยู่ตามเกาะ เพื่อตอบสนองต่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในทุกภาคส่วน และสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานให้ยั่งยืน

2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแหล่งจ่ายอื่น ๆ ไม่จำเป็นต้องมีแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนเป็นส่วนประกอบเสมอไป แต่หากมีการผลิตไฟฟ้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. จากการวิจัยควรพัฒนาระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในไอแลนด์โหมดเพื่อกักเก็บไฟฟ้าสำรองไว้ และช่วยในการรักษาสถิตของระบบให้มีความมั่นคง และยั่งยืนทางด้านพลังงาน

2. พัฒนาต่อขอยอดวงจรอุปกรณ์ควบคุมและแบบจำลองให้เป็นแบบเรียลไทม์เพื่อให้สามารถตรวจสอบพฤติกรรมการใช้งานของแหล่งจ่ายและงการใช้งานโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้สามารถบริหารจัดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

3. พัฒนารูปแบบระบบสั่งการให้เป็นแบบอัตโนมัติ (Automated Demand Response System) เพื่อสั่งการแบบอัตโนมัติในทุกขั้นตอน โดยระบบคอมพิวเตอร์ส่วนกลางสามารถติดตาม สถานะของระบบโครงข่ายไฟฟ้า สถานการณ์ผลิตไฟฟ้าและสถานะการใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โดยเมื่อระบบประเมินแล้วเห็นความเสี่ยงที่ระดับความเชื่อมั่นของระบบไฟฟ้าต่ำกว่าเกณฑ์ หรือประเมินเห็นความจำเป็นในการบริหารจัดการโหลด เพื่อลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้า ระบบก็จะออกคำสั่งร้องขอการตอบสนองด้านโหลด ผ่านระบบสื่อสารไปยังระบบควบคุมของผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อปิดหรือปรับการทำงานของกระบวนการผลิตหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ โดยอัตโนมัติ

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2565). **สถานการณ์พลังงาน**. สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2566, จาก [https://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/energy-status/month?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch](https://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/energy-status/month?orders[publishUp]=publishUp&issearch).
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2566). **รายงานภาพรวมพลังงานราย เดือน**. สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2566, จาก [https://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/energy-status/month?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](https://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/energy-status/month?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1).
- [3] กระทรวงพลังงาน. (2558). **แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2566, จาก [https://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/energy-status/month?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](https://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/energy-status/month?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1).
- [4] จรัญ คนแรง. (2561). **ดีมานต์ เรสปอนส์ อัลกอริทึม สำหรับระบบการจัดการพลังงานในอาคาร**. วิทยานิพนธ์ ปร.ด., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.
- [5] EGAT TODAY. (2566). **เรียนรู้ DSM กับอุตสาหกรรมไฟฟ้าอย่างสั้น ๆ**. สืบค้นเมื่อ 8 เมษายน 2566, จาก <https://www.egat.co.th/egattoday/index.php>.
- [6] สุวรรณิ ลิงห์ฤาเดช. (2564). **การจัดการพลังงานไฟฟ้าอัจฉริยะช่วยสร้างความยั่งยืนแก่ธุรกิจและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม**. สืบค้นเมื่อ 8 เมษายน 2566, จาก <https://mgronline.com/greeninnovation/detail/9640000090040>.
- [7] สมาร์ทกริด ไทยแลนด์. (2566). **ระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System:EMS)**. สืบค้นเมื่อ 8 เมษายน 2566, จาก <https://thai-smartgrid.com/94/tech-basic-related-smartgrid/ems/>.
- [8] Energy catalogue. (2566). **ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร. Building Energy Management System. EMS** สืบค้นเมื่อ 8 เมษายน 2566, จาก <https://www.energy-catalogue.com/building-energy-management-system-bems>.
- [9] Energy Catalogue. (2566). **ระบบผลิตไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา I Solar PV rooftop**. สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566, จาก <https://tgcpenergycatalogue.wordpress.com/2020/10/29/solar-pv-rooftop-prosumer/>.

- [10] senenergytech. (2566). **หลักการทํางานของโซลาร์เจอร์. สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566**, จาก <https://www.sunenergytech.com/b/274>.
- [11] Energy vision Co.,Ltd. (2566). **พลังงานลม. สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566**, จาก <http://www.energyvision.co.th/>.
- [12] รัชพล ธานนวงศ์ และปริดา พัชรมณีปกรณ์. (2565). **แบตเตอรี่อุปกรณ์พลังงานแห่งอนาคต. สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566**. จาก <https://www.scimath.org/article-physics/item/12582-1-2>
- [13] GPSC. (2564). **ระบบกักเก็บพลังงาน. สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566**. จาก <https://www.gpscgroup.com/th/news/985/energy-storage-system-1>.
- [14] BANFKOKGEN. (2566). **เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีที่รูปแบบควรมานำมาใช้กับสถานที่ใดบ้าง. สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566**, จาก <https://bangkokgen.co.th/>.
- [15] THEKEYNEWS. (2564). **ไมโครกริดระบบพลังงานรูปแบบพอเพียง. สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2566**, จาก <https://thekey.news/columnists/energykey/28996/>.
- [16] โอบาส เอี่ยมสิริวงศ์. (2549). **โครงสร้างข้อมูล Data Structures เพื่อการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์**. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- [17] Patiphan Phengpro. (2560). **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอัลกอริทึม. สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566**, จาก <https://milerdev.medium.com/-algorithm-d536731a7f02>.
- [18] วัชรพัฒน์ ศรีคำเวียง. (2563). **อัลกอริทึมและผังงานเบื้องต้น**. จาก <https://www.scimath.org/lesson-technology/item/8809-2018-09-21-02-51-34>.
- [19] CYBERTICE. (2566). **การเขียนโปรแกรมเบื้องต้นกับ Arduino C++ โครงสร้างโปรแกรมของ Arduino. สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566**, จาก <https://www.cybertice.com/article/5>.
- [20] ทันพงษ์ ภูริรักษ์. (ม.ป.ป.). **โครงสร้างโปรแกรมของ ARDUINO**. เอกสารประกอบการสอน สืบค้นเมื่อ 8 เมษายน 2566, จาก http://www.pattayatech.ac.th/files/1305292020243060_19051513131336.pdf
- [21] อภิรักษ์ ธิตินฤมิต. (2561). **การออกแบบชุดทดลองสั่งการระบบส่องสว่างที่ถูกควบคุมด้วยเสียงผ่านเทคโนโลยีไร้สาย**. รายงานการวิจัย กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

- [22] ALLNEWSTEP. (2566). **วิธีใช้งานเซนเซอร์วัดโวลต์ ZMPT101B Voltage Sensor Arduino code library.** สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566, จาก <https://www.allnewstep.com/article/424>.
- [23] ThaiEasyElec. (2566). **ตัวอย่างการใช้งาน Arduino + Relay Module ควบคุมการปิดเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า.** สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566, จาก <https://blog.thaieasyelec.com/example-project-for-control-electrical-device-using-arduino-and-relay-module/>.
- [24] ARTHONSHOP. (2556). **การใช้งานจอ Character LCD กับ Arduino แบบละเอียด.** สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566, จาก <https://www.artronshop.co.th/article/29/>.
- [25] สุตดาว เลิศวิสุทธิไพบูลย์. (2565). **เศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม.** สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566, จาก <https://www.stou.ac.th/Schools/Shs/upload/59711-14.pdf>.
- [26] AEC Aircraft Engineering and Consultant Co.,Ltd. (2564). **วิธียืดอายุแบตเตอรี่ลิเทียม.** สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566, จาก <https://th.aec-engineer.com/post>.
- [27] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2565). **การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์การถ่ายทอดและการเผยแพร่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์.** สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566, จาก <https://webkc.dede.go.th/testmax/node/4535>
- [28] Energy Catalogue. (2565). **กักเก็บลมผลิตไฟฟ้า | Wind Power.** สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566, จาก <https://www.energy-catalogue.com/wind-power>.
- [29] กรมพลังงานทดแทน. (2565). **คู่มือการพัฒนาการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 1 ไฟฟ้าพลังงานลม.** สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566, จาก https://www.dede.go.th/article_attach/hwind.pdf.
- [30] GREENINTERPART. (2565). **วิธีคำนวณราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.** สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566, จาก <http://www.greeninterpart.com/article/10001/>.
- [31] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2561). **โครงการส่งเสริมการใช้พลังงานในหน่วยงานภาครัฐ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.** สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2566, จาก <https://greenoffice.oou.cmu.ac.th/assets/files/document/c780696e8f19db568a425b2849119906.pdf>
- [32] สมพล ไคศรี. (2554). **ระบบควบคุมและการจัดการสมาร์ตกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมนต์คณบุรี, กรุงเทพฯ.

- [33] D.Stimoniarisa. T., Kollatoua. D., Tsiमितrosa. M.A., Zehirb. A., Batmanb. M., Bagriyanikb. A. et.al., (2015). Demand-side management by integrating bus communication technologies into smart grids. **Electric Power Systems Research**, 136(1), 251–261.
- [34] Zvonimir Klaić. Kresimir Fekete & Damir Slijivac. (2015). Demand Side Load Management in The Distribution System With Photovoltaic Generation. **Tehnicki vjesnik**, 22(4), 989–995.
- [35] รุ่งโรจน์ สงวนวัฒนา และพินิจ กาหอม. (2558). **ระบบตรวจนับและตรวจสอบเครื่องมือด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- [36] ประทีป บุญวงศ. จรัญ คนแรง. มิ่งขวัญ สมพฤกษ์. กมล บุญลอม และอติคม ศิริ. (2565) การออกแบบอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริดสำหรับแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าทางเสือกส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งระยะทางไกลด้วยเทคโนโลยี LoRa. **วารสารวิชาการเทพสตรี I-TECH**, 17(1), 8–15.
- [37] ศุภวัชร นิยมพันธุ์. (2557). **อัลกอริทึมสำหรับการประสานสัมพันธ์รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบมีทิศทางในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.
- [38] วริศรา อาสน์สถิต, ชัยเชษฐ สายวิจิตร และแนบบุญ หุนเจริญ. (2558). **การศึกษเปรียบเทียบเชิงความเชื่อถือได้และความสามารถในการเชื่อมต่อของโครงข่ายสื่อสารสำหรับการทำงานของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก: กรณีศึกษาอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [39] เกริก กตติคุณ, กฤษฎา วิลาศรี, ณัฐเขต มณีกร, นคร ไชยวงศ์ศักดิ์, วิลาสินี ศรีสุวรรณ, ใจแข็ง วิภพ และคณะ. (2555). **การสร้างต้นแบบจำลองที่อยู่อาศัยของชุมชน โดยใช้พลังงานทดแทนตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียงบ้านหนองหลวง อำเภอเวียงชัย จังหวัดเชียงราย**. รายงานวิจัย เชียงราย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.
- [40] นาดยา คล้ายเรือง. (ผู้บรรยาย). (3–6 กุมภาพันธ์ 2558). ศักยภาพในการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยมาตรการ Demand Response ในอุตสาหกรรมประเภท

- อาหารและเครื่องดื่ม. ใน **การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 53** (หน้า 821-828).
กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [41] นทีธินนท พงษ์พานิช และบุญวัฒน์ วิจารณ์พล. (2560). **ศักยภาพของการใช้สมาร์ทกริดเทคโนโลยีเพื่อการจัดการพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศภายในอาคารในช่วงฤดูร้อน**. วิทยานิพนธ์ ปร.ด., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.
- [42] กวีพจน์ วรเนตรสุทธิกุล, อิศรี ศรีคุณ, ศักดิ์ศรี แก่นสม และพรหมพัทธ์ ดาว์ลต์ (ผู้บรรยาย). (28 เมษายน 2562). การเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยอัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมมออปติไมเซชัน. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7** (หน้า 158-165). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี.
- [43] จิรพันธ์ ทาแก และวันไชย คำเสน. (2559). การแก้ปัญหาจ่ายโหลดอย่างประหยัดของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ด้วยเทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง. *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, 9(2), 1-10.
- [44] ชิตชัย ศรีธภาพ. (2564). **ระบบบริหารจัดการพลังงานอัจฉริยะสำหรับไมโครกริดระดับหมู่บ้านที่มีโซลาร์ PV และรถยนต์ไฟฟ้า**. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [45] ไพโรนรงค์ ศรีทอง, ปริญญา บุญคง, รัฐพล บัวคลี่ และอนุกุล ทองแสน. (ผู้บรรยาย). (23 มกราคม 2561). **เครื่องปรับอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ควบคุมโดย Arduino. การประชุมวิชาการสำหรับนักศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 1** (หน้า 32-39). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- [46] กิตติคุปต์ คุณโท และดุลพิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์. (2561). **วิธีการกำหนดขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของระบบกักเก็บพลังงานในไมโครกริด**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [47] มานพ ยิงรัมย์. (2558). เทคนิคการตรวจจับการแยกตัวอิสระแบบแรงดันเกิน/แรงดันต่ำในการต่อต้านการเกิดการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เชื่อมต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วย. *วิศวกรรม ลาดกระบัง*, 32(1), 67-72.
- [48] วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี. (2562). **นวัตกรรมบनวิถีพอเพียงเพื่อชุมชนแห่งอนาคต**. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [49] วิรัตน์ พิชิตบุญชู และกীরติ ชยะกุลศิริ. (2561). การออกแบบและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคาร กองบัญชาการกรมยุทธโยธาทหารบก. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*. 29(1), 25 - 36.

- [50] สมาร์ทกริดไทยแลนด์. (2560). **ระบบไมโครกริด (Microgrid)**. สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2566, จาก <https://thai-smartgrid.com/tech-basic-related-smartgrid/microgrid/>.
- [51] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2562). **ฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2566, จาก <http://103.95.228.113/data-past>.
- [52] สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน). (2559). **คลังข้อมูลน้ำและสภาพภูมิอากาศแห่งชาติ**. สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2566, https://tiwrm.hii.or.th/v3/weather_daily/tmd?fbclid=IwAR1WT4kYI89uPHN7mLvu0osTXjuaSQKtnLnkM_Os1BEdAwmFWZ52e-6yWQ.
- [53] กรีนอินเตอร์พาร์ท. (2565). **วิธีคำนวณหาค่าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า**. สืบค้นเมื่อ 12 เมษายน 2566, จาก <http://www.greeninterpart.com/article/>.
- [54] สมาร์ทกริดไทยแลนด์สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2565). **สมาร์ทกริดคืออะไร. คู่มือโครงการพัฒนาแผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมรรถกิริ** ดของประเทศไทย ระยะปานกลาง พ.ศ. 2565-2574, 27-36.



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	เสาวลักษณ์ ยอดวิญญวงค์
วัน เดือน ปี เกิด	7 พฤษภาคม 2520
สถานที่เกิด	นครสวรรค์
วุฒิการศึกษา	2549 วท.ม., (เทคโนโลยีสารสนเทศ) มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก. 2544 วท.บ., (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม) (แขนงการผลิต)., มหาวิทยาลัย ราชภัฏพิบูลสงคราม, พิษณุโลก.
ที่อยู่ปัจจุบัน	130 หมู่ 3 ตำบลทรงธรรม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร
ผลงานตีพิมพ์	[1] เสาวลักษณ์ ยอดวิญญวงค์, บุญวัฒน์ วิจารย์ผล และวัชระ วงศ์ ปัญญา. (2566). การจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดด้วยระบบ power control demand respond. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและ วิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, 5(2), 84-101. [2] เสาวลักษณ์ ยอดวิญญวงค์, บุญวัฒน์ วิจารย์ผล, วัฒนพงษ์ รัช วิเชียร และวัชระ วงศ์ปัญญา. (2563). DR และ Algorithm สำหรับ ระบบการจัดการพลังงานในไอแลนด์โหมดจากพลังงานทดแทน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 7(1), 81-95.