

การวิเคราะห์แนวทางการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิ
เข้าใกล้ศูนย์

ANALYSIS OF A NEAR NET ZERO ENERGY (NZE) BUILDING



เอกรัตน์ นภกานต์

ดุชนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การวิเคราะห์แนวทางการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์

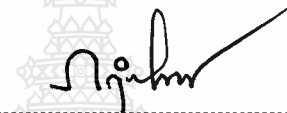
เอกรัตน์ นภกานต์

ดุษฎีนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์แนวทางการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์
Analysis of a Near Net Zero Energy (NZE) Building
ชื่อ - นามสกุล นายเอกรัตน์ นภกานต์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา 2566


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์เวคิน ปิยรัตน์, วศ.ด.)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์กฤษณ์ขมน์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ณัฐภัทร พันธุ์คง, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนตรี นาวงษ์, วศ.ด.)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีย์, Ph.D.)
วันที่ 25 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2567

หัวข้อคุณิพนธ์	การวิเคราะห์แนวทางการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์
ชื่อ - นามสกุล	นายเอกรัตน์ นภกานต์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์บุญยัง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2566

บทคัดย่อ

คุณิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์แนวทางการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ โดยการใช้ข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารมหาวิทยาลัยจำนวน 4 ชั้น ด้วยการใช้ระบบตรวจวัด บันทึกการใช้งานพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำข้อมูลมาบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารร่วมกับพลังงานจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อนำมาวิเคราะห์และสร้างรูปแบบของการบริหารจัดการพลังงานของระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง เพื่อนำไปกำหนดมาตรการในการบริหารพลังงานภายในอาคาร

การวิเคราะห์แนวทางการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ ดำเนินการโดยใช้การทำงานของระบบปรับอากาศแบบควบคุมด้วยระบบศูนย์กลางและนำเซ็นเซอร์มาตรวจวัดค่าของอุณหภูมิภายในและภายนอกให้มีความสัมพันธ์กันด้วยการสร้างอัลกอริทึมควบคุม ส่วนการควบคุมระบบแสงสว่างใช้ระบบการควบคุมและแสดงผลแบบทันเวลา เพื่อนำมาควบคุมระบบแสงสว่างด้วยการติดตั้งเซ็นเซอร์ในการอ่านค่าและทำการสร้างอัลกอริทึมควบคุม แหล่งพลังงานเสริมได้นำระบบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 200 กิโลวัตต์มาเชื่อมต่อเข้ากับระบบอาคาร ส่วนสุดท้ายของการบริหารจัดการพลังงานได้ออกแบบโปรแกรมบริหารจัดการพลังงาน ในการบริหารจัดการพลังงานที่มีความสามารถในการแสดงผลและเก็บบันทึกข้อมูล เพื่อนำมาสร้างเป็นฐานข้อมูลจัดการพลังงานในวันถัดไป

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานหลังจากการควบคุมของอาคารซึ่งมีการใช้พลังงานสุทธิในช่วงเวลาที่ทดสอบสามารถลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศจาก 1,020 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เหลือ 408 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็น ร้อยละ 40 ระบบส่องสว่างจาก 119 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เหลือ 57.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 48 และจากการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารในช่วงเวลาทำการตั้งแต่เวลา 8.30-17.00 น. ได้ 80% ของพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลาดังกล่าวและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 56 เดือน

คำสำคัญ: การใช้พลังงาน พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ อัลกอริทึมควบคุม

Dissertation Title	Analysis of a Near Net Zero Energy (NZE) Building
Name – Surname	Mr. Akeratana Noppakant
Program	Electrical Engineering
Dissertation Advisor	Associate Professor Boonyang Plangklang , Dr.-Ing.
Academic Year	2023

ABSTRACT

This dissertation aims to analyze the energy consumption in a building of Near Net Zero Energy (NZE). The data were collected at a university building with 4 stories using data monitoring and energy measuring for the management of energy in the building. Additionally, a PV-grid connected system was installed in the building. The energy data in the building were collected, analyzed and used to create an energy management algorithm for the air conditioning system and illumination system to determine energy conservation measures for the building.

The analysis of energy consumption in the building using Near Net Zero Energy principles was conducted by utilizing a centralized controller for the air conditioning system and sensors to monitor both inside and outside temperatures, allowing for the development of a control algorithm. The illumination system was controlled and displayed real-time using a system that incorporated sensors to gather energy data and created a control algorithm. A 200 kW renewable energy PV grid-connected system was installed and synchronized with the building's grid power source. Additionally, a building energy management software program was developed to record, analyze, and present energy database information, enabling the planning of energy usage for the next following day.

The analysis of energy consumption following the implementation of the energy management measures revealed significant improvements. The air conditioning system was able to reduce energy consumption from 1,020 to 408 kWh, resulting in a 40% decrease. Similarly, the illumination system achieved a reduction from 119 to 57.4 kWh, representing a 48% decrease. The PV grid-connected system successfully supplied energy during working hours (8:30-17:00) for 80% of the time. Furthermore, the payback period for the investment of the system was calculated to be 56 months.

Keywords: building energy usage, near net zero energy (NZE), energy control algorithm

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง ที่ให้คำแนะนำการวิเคราะห์การใช้พลังงานสำหรับอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ จัดหาอุปกรณ์ประกอบในการทำวิจัย ตลอดจนคำแนะนำและการช่วยเหลือในการเผยแพร่ผลงานงานวิจัยในวารสารระดับชาติและนานาชาติ ขอขอบคุณคณาจารย์และเพื่อนปริญญาเอกทุกท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา คงจิ้น และ ดร.รุ่งเพชร ก่องนอก ตลอดจนบุคคลท่านอื่นที่ไม่ได้เอ่ยนาม ณ ที่นี้ ที่ให้คำแนะนำตลอดจนช่วยเหลือและผลักดัน ซึ่งทำให้การจัดทำทำดุษฎีนิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี ทุกท่านที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือตลอดจนคำแนะนำทุกด้าน รวมถึงให้การสนับสนุนช่วยเหลือให้ดุษฎีนิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลประกอบการวิจัยรวมถึงสถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินการวิจัย การศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากกำลังใจจากทุกคนในครอบครัวตลอดจนเพื่อนร่วมงานทุกท่าน

เอกรัตน์ นภานต์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
สัญลักษณ์และอักษรย่อ	(12)
บทที่ 1 บทนำ 1	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมุติของฐานการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	5
1.5 ขั้นตอนการวิจัย.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.3 ปริมาณและสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร.....	18
2.4 ระบบการบริหารจัดการพลังงาน (Demand Response).....	20
2.5 ขั้นตอนของการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร.....	21
2.6 ระบบปรับอากาศกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้า	36
2.7 การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง	45
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	55
3.1 ขั้นตอนการวิจัย.....	55
3.2 สรุปท้ายบท	80

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดสอบและการวิเคราะห์ผล.....	81
4.1 การวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารที่ทำการวิจัย.....	81
4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงานในอาคาร	91
4.3 ค่าความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานด้านโหลดกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์	96
4.4 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	99
4.5 สรุปท้ายบท	102
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	103
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ การบริหารจัดการพลังงานในอาคารควบคุม	103
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	104
บรรณานุกรม.....	105
ภาคผนวก.....	109
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยตีพิมพ์.....	110
ประวัติผู้เขียน.....	157



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1	จำนวนความต้องการการใช้ไฟฟ้า.....1
ตารางที่ 2.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มการจัดการพลังงานในอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์..... 12
ตารางที่ 2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มการใช้พลังงานในอาคาร 13
ตารางที่ 2.3	สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในอาคารประเภทต่าง ๆ แบ่งตามระบบต่าง ๆ 19
ตารางที่ 2.4	การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์เครื่องจักร ในอาคารสำนักงาน.....20
ตารางที่ 2.5	อัตราค่าเฉลี่ยและปริมาณสัดส่วนพลังงานในอาคารแต่ละประเภท (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ..27
ตารางที่ 2.6	ชนิดของหลอดที่ให้อุณหภูมิสี และสีของแสงต่าง ๆ กัน..... 47
ตารางที่ 2.7	แสดงหลอดไฟฟ้ากลุ่มต่าง ๆ กับประสิทธิภาพทางแสงของการส่องสว่าง..... 47
ตารางที่ 3.1	ข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ในอาคารที่ทำการวิจัย 57
ตารางที่ 4.1	การทำงานและคำอธิบายการตอบสนองในการทดสอบ 85
ตารางที่ 4.2	ช่วงเวลาการทำงานและการควบคุมผ่านระบบ Demand Response 86
ตารางที่ 4.3	ค่าปริมาณการผลิตของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วง 7 วัน 92
ตารางที่ 4.4	ค่าใช้จ่ายที่ลงทุนในการบริหารจัดการพลังงาน 100



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1	โครงสร้างการบริหารจัดการพลังงาน 2
รูปที่ 1.2	ขั้นตอนการบริหารจัดการพลังงานแบบ BEMS..... 4
รูปที่ 2.1	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและสัดส่วนการใช้พลังงานในสำนักงาน..... 8
รูปที่ 2.2	รูปแบบอาคารที่นำมาใช้สำหรับการบริหารจัดการพลังงาน 18
รูปที่ 2.3	ขั้นตอนการทำงานด้วยระบบการคิดภาระการใช้พลังงาน 30
รูปที่ 2.4	แผนภูมิการจำลองอาคารที่บริโภคพลังงานด้วยคอมพิวเตอร์ แบบที่มีการเปรียบเทียบกับข้อมูล 32
รูปที่ 2.5	ชนิดของเครื่องทำความเย็นสำหรับอาคาร 38
รูปที่ 2.6	ระบบแสงสว่างในอาคาร 46
รูปที่ 3.1	ผังการดำเนินงาน 56
รูปที่ 3.2	รูปแบบอาคารที่ใช้ในการวิจัย ยกตัวอย่างชั้นที่ 2 ของอาคาร 58
รูปที่ 3.3	การเชื่อมต่อดิจิทัลโพลีเมอร์ 59
รูปที่ 3.4	การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เพื่อศึกษาการใช้ค่าพลังงาน..... 60
รูปที่ 3.5	แบบจำลองการทำงานการบริหารจัดการอาคาร 61
รูปที่ 3.6	แบบการเดินสายของเครื่องปรับอากาศ 62
รูปที่ 3.7	วงจรใช้ที่ใช้การควบคุมระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวม..... 63
รูปที่ 3.8	วงจรการเชื่อมต่อและการแสดงผลการทำงาน 64
รูปที่ 3.9	ขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิ..... 65
รูปที่ 3.10	ค่าพลังงานของระบบปรับอากาศที่ใช้ในภาพรวมช่วงเวลา 24 ชม. 67
รูปที่ 3.11	วงจรใช้ที่ใช้การควบคุมระบบส่องสว่างแบบศูนย์รวม 68
รูปที่ 3.12	การเชื่อมต่อการทำงานของระบบแสงสว่างแบบศูนย์รวม..... 69
รูปที่ 3.13	อุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งและแสดงผลการทำงาน..... 70
รูปที่ 3.14	Flow Chart ที่ใช้การควบคุมระบบส่องสว่างแบบศูนย์รวม..... 71
รูปที่ 3.15	ค่าพลังงานของระบบส่องสว่างที่ใช้ในภาพรวมช่วงเวลา 24 ชม. 72
รูปที่ 3.16	การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 200 kW บนอาคาร..... 72
รูปที่ 3.17	ค่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม PVsyst 73
รูปที่ 3.18	วงจรการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออนกริด 74

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.19	การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา..... 75
รูปที่ 3.20	ทดสอบการเก็บค่าพลังงานการผลิตจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในรอบ 1 วัน 75
รูปที่ 3.21	การเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าภายในอาคาร 76
รูปที่ 3.22	Flow chart การทำงานสำหรับการบริหารจัดการพลังงาน..... 77
รูปที่ 3.23	โปรแกรม smartEE สำหรับการบริหารจัดการพลังงาน..... 78
รูปที่ 3.24	จุดติดตั้งการอ่านค่าสำหรับโปรแกรม smartEE 79
รูปที่ 3.25	ค่าความต้องการพลังงานในช่วงเวลา 24 ชม. 80
รูปที่ 4.1	ผังระบบสำหรับการติดตั้งเพื่อทดสอบจากอาคารตัวอย่าง..... 81
รูปที่ 4.2	พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคารในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง 82
รูปที่ 4.3	พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเปรียบเทียบกับพลังงานทั้งหมด... 83
รูปที่ 4.4	พฤติกรรมการตอบสนองสำหรับระบบทำความเย็น เมื่อค่า Tout = 28 องศาและ Tin = 25 องศา..... 84
รูปที่ 4.5	พฤติกรรมการตอบสนองสำหรับระบบทำความเย็น เมื่อค่า Tout = 38 องศาและ Tin = 25 องศา..... 84
รูปที่ 4.6	พฤติกรรมการตอบสนองสำหรับระบบทำความเย็นต่อค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลง 86
รูปที่ 4.7	พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างเปรียบเทียบกับพลังงานทั้งหมด..... 87
รูปที่ 4.8	พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงของแต่ละชั้นหลังจากการควบคุม..... 89
รูปที่ 4.9	พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทั่วไปในแต่ละชั้นของอาคาร 90
รูปที่ 4.10	พฤติกรรมการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์..... 91
รูปที่ 4.11	พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทั่วไปในแต่ละชั้นของอาคาร 92
รูปที่ 4.12	พฤติกรรมความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายในชั้น 4 ของอาคาร. 93
รูปที่ 4.13	พฤติกรรมความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายในชั้น 3 ของอาคาร. 94
รูปที่ 4.14	พฤติกรรมความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายในชั้น 2 ของอาคาร. 95
รูปที่ 4.15	พฤติกรรมความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายในชั้น 1 ของอาคาร. 96
รูปที่ 4.16	เปรียบเทียบค่าจากการใช้พลังงานของอาคารชั้นที่ 4 97
รูปที่ 4.17	เปรียบเทียบค่าจากการใช้พลังงานของอาคารชั้นที่ 3 97

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบค่าจากการใช้พลังงานของอาคารชั้นที่ 2	98
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าจากการใช้พลังงานของอาคารชั้นที่ 1	99



สัญลักษณ์และอักษรย่อ

AC	ไฟฟ้ากระแสสลับ
BEMS	การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร
BDR	การตอบสนองความต้องการของอาคาร
DC	ไฟฟ้ากระแสตรง
DG	ระบบจำหน่ายแบบเจนเนอเรเตอร์
DR	การตอบสนองความต้องการด้านพลังงาน
EP	ค่ากำลังไฟฟ้า
HVAC	ระบบปรับอากาศแรงดันสูง
ICT	เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ต
IOT	อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง
KW	กิโลวัตต์
PLC	โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์
PV	ระบบพลังงานแสงอาทิตย์
SCADA	ระบบที่ตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูล
$P_{AC.Red}$	การลดค่าพลังงานของระบบปรับอากาศ
$P_{Light.Red}$	การลดค่าพลังงานของระบบแสงสว่าง
$P_{maxAC.Red}$	การลดค่าพลังงานสูงสุดของระบบปรับอากาศ
$P_{maxLight.Red}$	การลดค่าพลังงานสูงสุดของระบบแสงสว่าง
$P_{minAC.Red}$	การลดค่าพลังงานต่ำสุดของระบบปรับอากาศ
$P_{minLight.Red}$	การลดค่าพลังงานต่ำสุดของระบบแสงสว่าง
W_{AC}	ค่าน้ำหนักของระบบปรับอากาศ
W_{Lighty}	ค่าน้ำหนักของระบบแสงสว่าง
RR_{Total}	ผลรวมค่าความต้องการในการลดพลังงาน
RR_{Light}	ค่าความต้องการที่ต้องการลดระบบแสงสว่าง

บทที่ 1

บทนำ

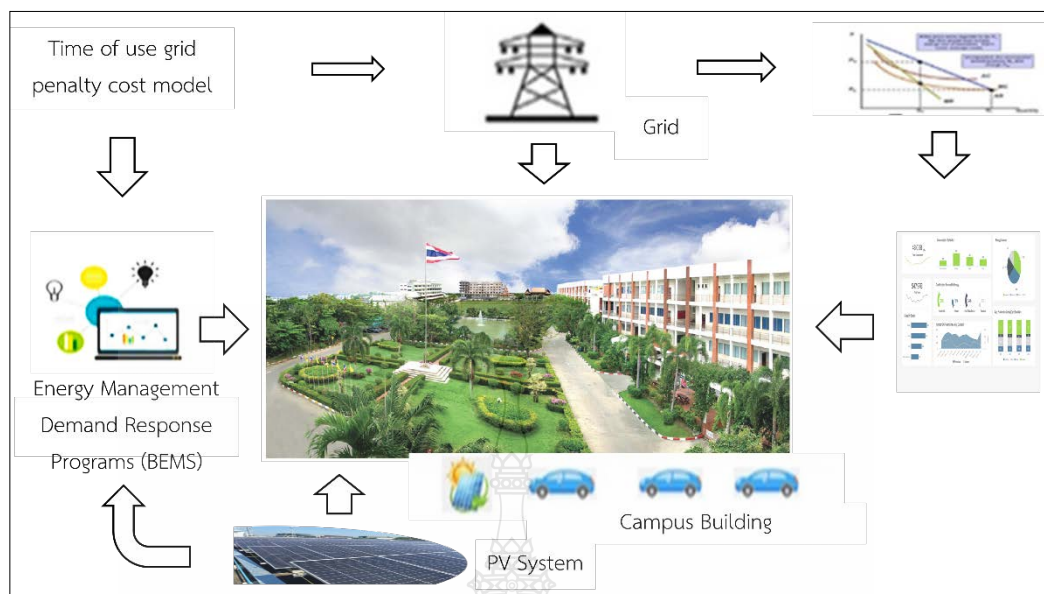
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารในปัจจุบันมีปริมาณที่สูงที่ขึ้นในทุกๆ ปี สามารถหาข้อมูลและตรวจสอบปริมาณความต้องการจากข้อมูลจากการไฟฟ้านครหลวง โดยมีข้อมูลที่น่าสนใจแสดงไว้ในตารางที่ 1.1 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลย้อนหลัง และแบ่งตามปริมาณความต้องการการใช้งานตามจำนวนปริมาณผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้นในทุกๆปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของบ้านอาศัย ผู้ประกอบการขนาดกลางและผู้ประกอบการขนาดใหญ่ แต่มีแค่ผู้ประกอบการขนาดเล็กที่มีการปรับตัวลดลงเนื่องจากหลายปัจจัยในการใช้งาน อาทิเช่น มีการปรับเปลี่ยนขนาดของการดำเนินกิจการ อาจจะมีการขยายกิจการ เป็นต้น

ตารางที่ 1.1 จำนวนความต้องการการใช้ไฟฟ้า

ปี	บ้าน อยู่อาศัย	ผู้ประกอบการ ขนาดเล็ก	ผู้ประกอบการ ขนาดกลาง	ผู้ประกอบการ ขนาดใหญ่
2560	3,149,375	500,229	22,771	2,353
2561	3,240,838	509,477	23,314	2,386
2562	3,341,727	516,535	23,856	2,470
2563	3,654,363	340,605	24,069	2,494
2564	3,702,796	348,349	23,765	2,521
2565	3,772,841	346,242	23,953	2,576
2566(ก.พ.)	3,784,149	346,534	24,010	2,580

ดังนั้นความสำคัญสำหรับการใช้พลังงานก็คือควบคุมการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าและสามารถบริหารจัดการการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า โดยในแต่ละภาคส่วนนั้นเริ่มให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการพลังงาน เฉพาะอย่างยิ่งพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า การควบคุมหรือการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าที่มีความสามารถในการควบคุมดูแลและตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าจะสามารถทำให้อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงหรือมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1.1 โครงสร้างการบริหารจัดการพลังงาน

ระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System: EMS) คือ ระบบอัตโนมัติที่นำเข้ามาใช้ในการควบคุมให้การผลิต การส่งพลังงาน รวมถึงให้การใช้พลังงานนั้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยหลักการของระบบบริหารจัดการพลังงานนั้นค่อนข้างกว้าง อาจจะมีได้หมายถึงพลังงานไฟฟ้าเท่านั้นยังหมายถึงการควบคุมพลังงานในรูปแบบที่แตกต่างกันด้วย เช่น พลังงานความร้อน เป็นต้น ดังนั้นระบบบริหารจัดการพลังงานจะอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่าง อุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) สมาร์ทมิเตอร์ (Smart meter) และระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติ (Actuator หรือ Controller) บนโครงสร้างของระบบเทคโนโลยีและสารสนเทศ (Information technology: IT) โดยมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (เช่น พลังงานแสงอาทิตย์[1]) และระบบกักเก็บพลังงานร่วมด้วยเพื่อให้บริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การดำเนินงานของระบบบริหารจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องมีกระบวนการวางแผนให้เกิดการผลิต การใช้พลังงานและการบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในบางกรณีอาจจะรวมถึงการงดใช้พลังงานหรือการลดการใช้พลังงานให้เหลือน้อยที่สุด ทั้งนี้ จะต้องไม่ทำให้ความสามารถในการทำงานหรือผลิตภาพ (Productivity) ลดลง รวมถึงต้องไม่ก่อให้เกิดผลเสียทางสุขภาพ กับผู้ที่อาศัยหรือทำงานอยู่ในพื้นที่นั้น สำหรับระบบบริหารจัดการพลังงานในบริบทของรายงานเล่มนี้ได้อ้างอิงตามแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าสมาร์ทกริด พ.ศ. 2558 – 2579 ซึ่งจะเน้นระบบบริหารจัดการพลังงานด้านผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นหลัก เนื่องจากเป็นที่ทราบกันชัดเจนว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เกิดผลสัมฤทธิ์มากที่สุด คือ การบริหารจัดการพลังงานในด้านของผู้ใช้ไฟฟ้าเฉพาะระบบบริหารจัดการพลังงานใน

บ้านเรือน ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร และระบบบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นหลัก

จากข้อมูลด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดุษฎีนิพนธ์นี้จะเป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นการจำลองการบริหารจัดการการใช้พลังงานภายในอาคาร ซึ่งเป็นอาคารเก่า โดยทำการจำลองและเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานภายในอาคารและนำพลังงานทดแทนจากภายนอกมาใช้ด้วยหลักการของการชดเชยพลังงานที่มีการใช้งานอยู่จริงสำหรับช่วงเวลาที่กำหนดและวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานเพื่อตอบสนองการใช้กำลังไฟฟ้าด้านโหลด ซึ่งเป็นการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นของอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อประโยชน์สูงสุดและประหยัดพลังงานไฟฟ้าอีกทางหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารในแต่ละช่วงเวลาโดยมีการติดตั้งเครื่องวัดที่สามารถแสดงผลทางหน้าจอของระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สื่อสาร

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานสูงสุดสำหรับช่วงเวลาและจัดการพลังงานทดแทนที่สำรองพลังงานไว้มาเชื่อมต่อระบบ

1.2.3 เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารให้เป็นศูนย์ในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

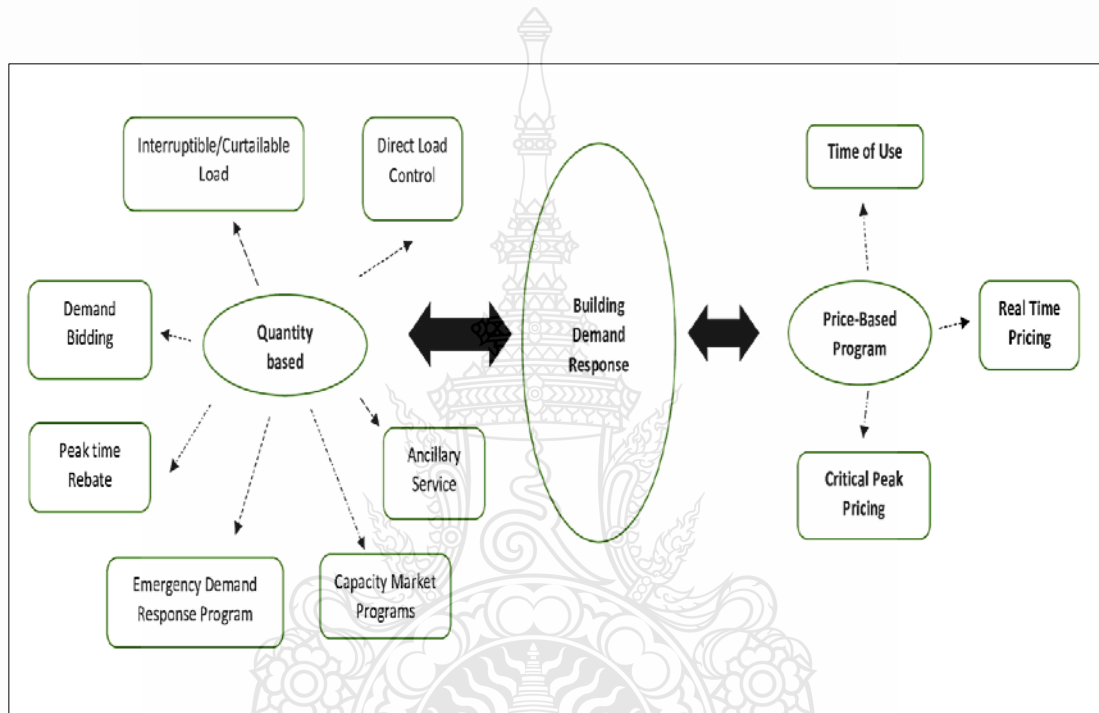
1.3.1 ศึกษาและออกแบบอัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมการใช้พลังงานสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อนำมาลดการใช้พลังงานที่เหมาะสม

1.3.2 เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของอุปกรณ์ไฟฟ้าและสร้างอัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารแล้วทำการบันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่อง

1.3.3 การนำอัลกอริทึมที่สร้างขึ้นและมีประสิทธิภาพสำหรับแนวทางการควบคุมการใช้พลังงานสูงสุดในอาคารสุทธิเข้าใกล้ศูนย์

จากสมมติฐานระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคารเป็นระบบที่ช่วยในการจัดการ ควบคุม และติดตามระบบพลังงานที่ใช้ภายในอาคาร ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟแสงสว่าง เป็นต้น โดยจะรวบรวมข้อมูลที่ตรวจวัดในแต่ละอุปกรณ์ ประมวลผล และส่งข้อมูลที่จำเป็น ให้ผู้ควบคุมระบบของอาคารเข้าใจถึงลักษณะการใช้พลังงานในอาคาร อันจะเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในอาคาร เนื่องจากอาคารประกอบด้วยระบบต่างๆ เพิ่มเติมขึ้นมาจากบ้านเรือน

ทั่วไป ระบบการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management System, BEMS) จึงมีความซับซ้อนมากกว่า การบริหารจัดการพลังงานสำหรับบ้าน (Home Energy Management System, HEMS) โดยทั่วไปแล้ว อาคารพาณิชย์ในประเทศไทยนั้นจะใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนมากไปกับระบบปรับอากาศ BEMS จึงมักจะประกอบด้วยส่วนหลักๆ ดังต่อไปนี้ การควบคุมระบบปรับอากาศ ระบบทำความร้อนและระบายอากาศ ระบบควบคุมแสงสว่างในอาคาร การรวบรวมข้อมูลจากสมาร์ตมิเตอร์ การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่เก็บพลังงานในอาคาร เป็นต้น



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการบริหารจัดการพลังงานแบบ BEMS

กระบวนการตอบสนองด้านโหลดในรูปแบบที่อัตโนมัติ สามารถดำเนินการได้ทันทีโดยไม่ต้องอาศัยการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์หรือระบบต่างๆ แต่อาศัยการสื่อสารระหว่างบุคคลแทน ตัวอย่างเช่น เจ้าหน้าที่จากหน่วยงานด้านการไฟฟ้าติดต่อผู้ดูแลอาคาร เพื่อสั่งให้อาคารที่เข้าร่วมโครงการลดการใช้ไฟฟ้าลง ผู้ดูแลอาคารก็ไปสั่งการต่อให้บุคคลากรในอาคารในพื้นที่สามารถปิดการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การนำ BEMS เข้ามาประยุกต์ใช้ในอาคารจะเพิ่มขีดความสามารถให้การดำเนินการตอบสนองด้านโหลดสามารถเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นผ่านการตอบสนองด้านโหลดแบบกึ่งอัตโนมัติ หรืออัตโนมัติ เช่น หน่วยงานด้านการไฟฟ้าสั่งการให้มีการดำเนินการตอบสนองด้านโหลดผ่านทางระบบควบคุมการตอบสนองด้านโหลดแบบอัตโนมัติ ระบบ

ดังกล่าวจะส่งงานโดยตรงไปยัง BEMS ของอาคาร โดย BEMS จะประเมินความสามารถในการตอบสนองด้านโหลดของอาคารว่ามีมากน้อยเพียงใดและสื่อสารกลับไปยังระบบควบคุมการตอบสนองด้านโหลดของการไฟฟ้า BEMS ซึ่งรวบรวมการสั่งการระบบต่างๆ ในอาคารไว้จะสื่อสารต่อไปยังระบบเพื่อทำการลดหรือปิดการใช้งานต่อไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในระบบ ดังนั้น ระบบ BEMS จะลดความเกี่ยวข้องของบุคคลในกระบวนการตอบสนองด้านโหลดไปได้เป็นอย่างมาก ส่งผลให้การสั่งการการตอบสนองด้านโหลดสามารถทำได้ในกรอบเวลาที่สั้นลง

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 ออกแบบระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร และระบบควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า ด้วยหลักการ Data Mining Real Time พร้อมทั้งเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์

1.4.2 วิเคราะห์พฤติกรรมของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารจากการบันทึกแบบต่อเนื่อง สำหรับเป็นข้อมูลในการบริหารจัดการพลังงานในอาคารเพื่อที่จะลดการใช้พลังงานให้เป็นศูนย์

1.4.3 สร้างอัลกอริทึมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารแล้วทำการบันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่อง วิเคราะห์และจำแนกปัจจัยที่สามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นและลดปริมาณการใช้พลังงานสูงสุดให้เป็นศูนย์

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการบริหารจัดการพลังงานสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์โดยมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

1.5.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล เพื่อออกแบบการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์เป็นการรวบรวมศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ของอุปกรณ์ไฟฟ้า หลักการทำงาน การออกแบบขั้นตอนของการบริหารจัดการพลังงานสำหรับอาคารด้วยการตอบสนองด้านโหลดและเวลา

1.5.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อออกแบบอัลกอริทึมและจัดการพลังงานสำหรับอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์เป็นขั้นตอนการศึกษารวบรวมข้อมูลและออกแบบการเชื่อมต่อระบบบริหารจัดการพลังงานสำหรับอาคารรวมทั้งการวัดและบันทึกผลการทำงานของระบบ

1.5.3 จำลองระบบเพื่อการติดตั้งจริง เป็นขั้นตอนการจำลองการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์

1.5.4 ทดสอบในห้องปฏิบัติการ เป็นขั้นตอนการทดสอบระบบการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์

1.5.5 วิเคราะห์ผลพร้อมทั้งปรับปรุงเพื่อประสิทธิภาพของระบบ

1.5.6 สรุปวิเคราะห์ผลการทดลองและจัดทำรายงานการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

ระบบการวิเคราะห์การใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์จะสามารถบริหารการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบที่มีอยู่เดิม โดยอาศัยการควบคุมการใช้งานให้ตรงตามความต้องการของโหลด รวมถึงการบริหารเวลาในการใช้งาน เพื่อลดการใช้พลังงาน จึงเป็นการพัฒนาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ ที่สำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงาน และส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานจากพลังงานทางเลือกอีกทางหนึ่ง



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างพลังงานของประเทศเชิงลึก และความสามารถในการจัดสรรทรัพยากรที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบเก่า ทำให้การจัดการความต้องการทางไฟฟ้าในการพัฒนาระบบพลังงานที่ทำให้เกิดขึ้นในอนาคตได้ การนำเทคโนโลยีและการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของตลาด สำหรับการดำเนินการตอบสนองความต้องการการใช้พลังงานในอนาคตมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ และการตอบสนองความต้องการที่เหมาะสมของผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สามารถตอบสนองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งไม่สามารถพิจารณาเพียงความต้องการในระบบไฟฟ้าเท่านั้น แต่จำเป็นต้องมีการบูรณาการการตอบสนองความต้องการแบบ (Integrated Demand Response) ซึ่งมีข้อกำหนดทางเทคนิคที่ไม่สามารถทำได้ อาทิเช่นการจัดตารางเวลาและการควบคุมระบบไฟฟ้า ยิ่งไปกว่านั้นกรอบการตลาดและกลไกที่สร้างแรงจูงใจที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่สามารถปรับให้เข้ากับโครงสร้างตลาดที่ซับซ้อนมากขึ้นสำหรับระบบพลังงานทางเลือกที่หลากหลายในปัจจุบัน

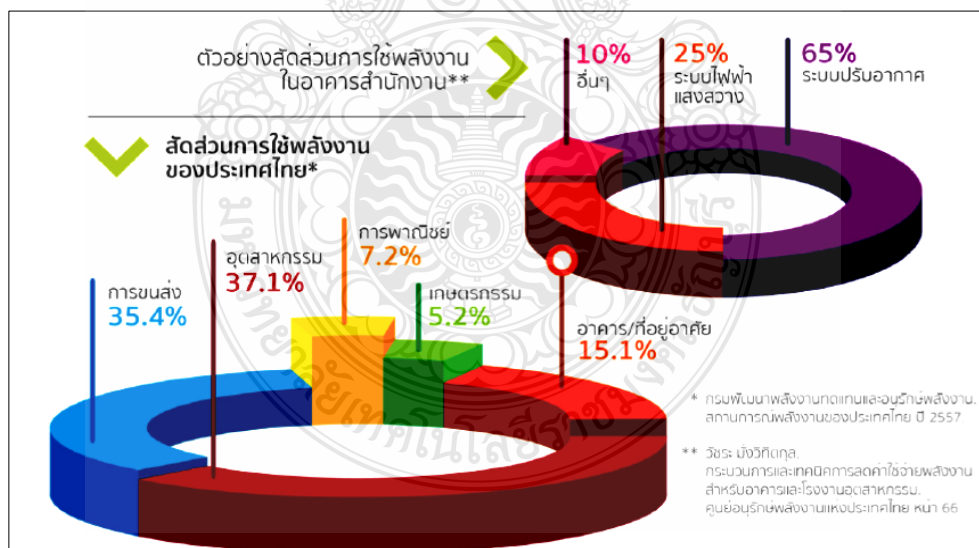
งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นถึงรายละเอียดของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยใช้หลักการการบริหารจัดการพลังงานเพื่อการตอบสนองความต้องการด้านพลังงาน (Demand Response) และทำการตรวจวัดค่าพลังงานด้วยเครื่องวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ค่าพลังงานจากการไฟฟ้า ค่าพลังงานจากระบบพลังงานทดแทน และการใช้พลังงานไฟฟ้าจากโหลดในอาคาร เพื่อนำมาวิเคราะห์และสร้างกลยุทธ์สำหรับการควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องการทำนายการควบคุมการไหลของพลังงานสำหรับอาคารสำหรับการตอบสนองของโหลดและความยืดหยุ่นของโปรแกรม บทความนี้นำเสนอการบริหารจัดการพลังงานด้วยการลดปริมาณความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับที่เป็นเครื่องทำความร้อนและเครื่องทำความเย็นโดยมีการใช้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้มาจากการผลิตเป็นการสำรองไฟฟ้าของระบบจำหน่ายทั้งหมด งานวิจัยนี้มีความต้องการเพื่อจะลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีลักษณะของการใช้งานสูงสุดในช่วงเวลาหนึ่ง จากการศึกษาพบว่าลักษณะการเดินของกราฟเป็นแบบหางเป็ด (Duck Curve) จากนั้นจึงทำการศึกษาการเดินค่าของพลังงานแบบยูนิโคเร็กซ์ขึ้นนอลและไบโคเร็กซ์ขึ้นนอล เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบต่อไป [2]

งานวิจัยเรื่อง การบริหารจัดการความต้องการใช้พลังงานในสมาร์ตกริดในปัจจุบันสำหรับ แหล่งจ่ายที่เป็นพลังงานทางเลือกต่อความต้องการด้านพลังงาน บทความนี้นำเสนอ การบริหารจัดการ ความต้องการใช้พลังงานในสมาร์ตกริดในปัจจุบันสำหรับแหล่งจ่ายที่เป็นพลังงานทางเลือกต่อความ ต้องการด้านพลังงาน เป็นการใชระบบการวัดค่าพลังงานแบบ AMI หรือ Advance Measuring Infrastructure ด้วยการใช้มิเตอร์แบบชาญฉลาดแบบศูนย์กลางข้อมูล โดยรูปแบบการทำงานใช้การ ทำงานของมาตรฐานการตอบสนองการใช้งานด้านโหลดควบคุมการชดเชยพลังงานจากแหล่งเสริม ภายนอก เช่น กังหันลม โซลาร์เซลล์ และใช้การควบคุมทั้งหมดผ่านเทคนิคพีซีซีลอจิกเพื่อให้การทำงานมี ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด [3]

งานวิจัยเรื่องการประเมินการทดลองของการตอบสนองแบบฉับพลันสำหรับอาคารที่มีออฟฟิต ขนาดกลางและขนาดเล็ก บทความนี้นำเสนอการประเมินการทดลองของการตอบสนองแบบฉับพลัน สำหรับอาคารที่มีออฟฟิตขนาดกลางและขนาดเล็ก เป็นระบบที่มีการบริหารจัดการพลังงานสำหรับ ช่วงเวลาที่สำคัญ คือ ช่วงเวลา 1- 3 ชั่วโมงของการทำงานโดยมีการตั้งค่าและเงื่อนไขสำหรับการบริหาร จัดการการใช้พลังงานและสามารถทำนายช่วงเวลาในการจัดการพลังงาน 10 นาทีล่วงหน้าก่อนที่จะทำ การ การสื่อสารในระบบจะควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในสำนักงาน ตั้งแต่ระบบปรับอากาศ ระบบแสง สว่างและทำนายสภาพอากาศล่วงหน้า [4]



รูปที่ 2.1 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและสัดส่วนการใช้พลังงานในสำนักงาน
ที่มา : คู่มือ แนวทางการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน

งานวิจัยเรื่องการใช้ไฟฟ้าในอาคารอุดมศึกษาในประเทศไทยในช่วงการระบาดของ COVID - 19 บทความนี้นำเสนอการระบาดของ COVID - 19 ทำให้สถาบันอุดมศึกษาต้องเปลี่ยนไปเรียนออนไลน์ส่วนใหญ่ในปี 2563 และ 2564 เพื่อความปลอดภัยของนักเรียนและบุคลากรซึ่งส่งผลกระทบต่ออย่างมากการใช้ทรัพยากรของมหาวิทยาลัย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้าในอาคารอุดมศึกษาโดยเปรียบเทียบจาก 3 ปีการศึกษาให้เข้าใจมากขึ้นเกี่ยวกับผลกระทบด้านพลังงานในยุคหลังโควิด - 19 ข้อมูลไฟฟ้ารวบรวมจากตัวอย่างบันทึกมิเตอร์ไฟฟ้าของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประเทศไทย เมื่อเปรียบเทียบถึงปีการศึกษาปกติ 2561 ผลปรากฏว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปี 2562 และ 2563 ลดลง 20.92 % และ 35.50 % ตามลำดับ อาคารวิชาการและห้องสมุดถือเป็น การเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ที่สุดในการลดการใช้ไฟฟ้า พบการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดในการวิจัยพิมพ์ เนื่องจากงานสำคัญยังคงอยู่ในมหาวิทยาลัย เฉพาะการใช้ไฟฟ้าในที่พักอาศัยเท่านั้นประเภทเพิ่มขึ้น เนื่องจากนโยบายการเรียนรู้ออนไลน์ที่มีระยะเวลายาวนาน ในที่สุดผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าว่ากิจกรรมการเรียนการสอนมีอิทธิพลต่อการใช้ไฟฟ้าในระดับสูงอาคารการศึกษา สิ่งอำนวยความสะดวกและวิธีการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมเหล่านี้ควรระมัดระวังอภิปรายเป็นองค์ประกอบของกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าในระดับมหาวิทยาลัย [5]

งานวิจัยเรื่องภาพรวมของการบริหารพลังงานในอาคารแบบใช้โปรแกรมตอบสนองความต้องการด้วยกลยุทธ์อัจฉริยะและสมาร์ทกริด บทความนี้นำเสนอความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากผู้บริโภคในตลาดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วยการเติบโตของเทคโนโลยีอัจฉริยะ เช่น สมาร์ทกริดและระบบการจัดการพลังงานอัจฉริยะ ลูกค้าได้รับโอกาสให้เข้าร่วมในโครงการตอบสนองความต้องการ (Demand Response Program, DRP) อย่างจริงจัง และลดจำนวนค่าไฟฟ้าเป็นผลการศึกษานี้แสดงภาพรวมของ DRP และแนวทางปฏิบัติพร้อมกับพลังงานภายในบ้านระบบการจัดการ (HEMS) และเทคนิคการจัดการ โหลด เกี่ยวกับเทคโนโลยีและความท้าทายของ HEMS ถูกจัดในลักษณะที่จะให้เทคนิคบางอย่างเพื่อให้ ข้อมูลเกี่ยวกับ DRP และ HEMS เพื่อช่วยให้ผู้อ่านเข้าใจแนวคิดต่างๆ เกี่ยวกับสมาร์ทกริดและสามารถเปรียบเทียบข้อสงสัยที่สำคัญเกี่ยวกับสมาร์ทกริดได้ บทความประกอบด้วยบทสรุปเกี่ยวกับ DRPs และ ความสำคัญต่ออนาคตของระบบการจัดการพลังงาน คือสมาร์ทกริดและ HEMS และระบบการจัดการพลังงานในบ้านมีการกล่าวถึงกลยุทธ์ในรายละเอียดด้วย วรรณกรรมแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์จัดเก็บ ข้อมูลมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพและประสิทธิภาพของกลยุทธ์ระบบการจัดการพลังงาน [6]

งานวิจัยเรื่อง การสนับสนุนตัวบ่งชี้ความพร้อมอัจฉริยะและวิธีการบูรณาการการประเมินเชิง ปริมาณและศักยภาพในการเคลื่อนย้ายโหลดของอาคารอัจฉริยะ บทความนี้นำเสนอ เนื่องจากการแก้ไข ครั้งที่สามของ Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) ที่ออกในเดือนกรกฎาคม 2018 การประเมินอาคารในขณะนี้ต้องรวมตัวบ่งชี้ความพร้อมอัจฉริยะ เพื่อพิจารณาความจริงที่ว่าอาคารต้อง

มีบทบาทอย่างแข็งขันภายใต้บริบทของระบบพลังงานอัจฉริยะ เพื่อสนับสนุนการพัฒนา SRI บทความนี้จะอธิบายวิธีการแบบง่าย ๆ ในการประเมินเชิงปริมาณของศักยภาพในการเคลื่อนย้ายน้ำหนักของอาคาร จุดมุ่งหมายของวิธีการคือ เพื่อให้เป็นแนวทางเชิงตัวเลขตามแบบจำลองซึ่งช่วยให้สามารถจัดหมวดหมู่อาคารตามความสามารถในการกักเก็บพลังงาน ศักยภาพในการเปลี่ยนโหลด และการโต้ตอบที่ตามมา กับกริด ประเด็นสำคัญคือการบังคับใช้ภายในใบรับรองประสิทธิภาพพลังงาน เพื่อให้การคำนวณที่ใช้ งานง่ายซึ่งนำไปใช้นอกเหนือจากประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่กำหนดไว้แล้ว การบริการอาคารและการประเมินพลังงานทดแทน มีการนำวิธีการที่พัฒนาขึ้นไปใช้ กรณีใช้ทางทฤษฎีเพื่อตรวจสอบแนวทาง ผลลัพธ์แสดงว่าแบบจำลองอย่างง่ายสามารถให้ได้กรอบที่เพียงพอสำหรับการประเมินเชิงปริมาณ สำหรับตัวบ่งชี้ความพร้อมอัจฉริยะ [7]

งานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์อิทธิพลเชิงอัตวิสัยของมนุษย์ที่มีต่อค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณค่า ทางความร้อนและการใช้พลังงานของอาคาร บทความนี้นำเสนอ การวิเคราะห์อิทธิพลของการเลือก ค่านิยมของการออกแบบดัชนีเมแทบอลิซึมของมนุษย์ และฉนวนที่สามารถเลือกได้ใน ISO 7730 สำหรับการคำนวณความต้องการพลังงานของอาคาร มีวัตถุประสงค์ อันดับแรกเราจะจำลองโดยใช้ โปรแกรม Transient System Simulation Tool (TRNSYS) สำหรับอาคารสองหลังในประเทศต่างๆ และภูมิภาค จากนั้นเราตรวจสอบการจำลองของเราโดยการทำนายอุณหภูมิภายในอาคารและ เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ ข้อมูลหลังจากนั้นจึงได้ค่าความต้องการพลังงานของอาคารทั้งสอง ต่อมา ความแปรปรวนของอุณหภูมิที่ตั้งไว้ที่เกี่ยวข้องกับการเลือกค่า ภายในขีดจำกัดที่กำหนดใน ISO 7730 วิเคราะห์ด้วยวิธีมอนติคาร์โล ความแปรปรวนของเงื่อนไขความเสถียรสบายภายในและถูกนำมาใช้ใน แบบจำลองตัวเลขที่ผ่านการตรวจสอบก่อนหน้านี้ เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความ ต้องการของทั้งสองอาคาร ดังนั้นงานนี้จึงแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่หลากหลาย การนำเสนอโดย ISO 7730 สำหรับตัวเลือกผลลัพธ์ที่ตรงตาม โดยขึ้นอยู่กับค่าที่เลือกโดยนักออกแบบในความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญในสภาพความเสถียรสบายซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงการคำนวณการใช้พลังงาน โดยเฉพาะในกรณีของอาคารขนาดใหญ่ [8]

งานวิจัยเรื่อง ความสัมพันธ์ของศักยภาพการทำความเย็นแบบระบายอากาศและอาคาร ประหยัดพลังงานในเขตภูมิอากาศต่างๆ บทความนี้นำเสนอการนำอากาศเย็นภายนอกเข้ามาช่วยในการ ลดการใช้พลังงานสำหรับการระบายความร้อนในช่วงฤดูร้อน ศักยภาพในการระบายความร้อนด้วย เครื่องช่วยหายใจ (VCPs) ถูกกำหนดในรูปแบบต่างๆ ในวรรณกรรมเพื่อแสดงถึงชั่วโมงการทำความเย็น ที่เป็นไปได้ในช่วงอุณหภูมิภายนอกที่ระบุ อย่างไรก็ตาม, ศักยภาพในการประหยัดพลังงานของการ ระบายความร้อนแบบระบายอากาศอาจแตกต่างกันระหว่างอาคารในสภาพอากาศชื้นเดียวกันขึ้นอยู่กับ ลักษณะความร้อนของอาคารและการทำงานของระบบ ในการศึกษาครั้งนี้ (Volatility Contraction

Pattern System, VCPs) ใหม่ได้รับการแนะนำพร้อมกับดัชนีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามความสบายทางความร้อนที่ปรับได้ ดัชนีนี้สามารถกำหนดได้จากความแตกต่างของอุณหภูมิสมมูลของอาคาร ซึ่งหมายถึง ความร้อนที่ได้รับในอาคารหารด้วยการส่งผ่านความร้อนและการแลกเปลี่ยนอากาศลักษณะของเปลือกอาคารภายใต้สภาวะกึ่งมั่นคง วิธีการที่นำเสนอถูกนำไปเปรียบเทียบกับรายงานในวรรณกรรม รวมถึงเครื่องมือ VCP ที่ใช้คอมพิวเตอร์ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่าง VCPs และพลังงานจริง ประหยัดด้วยการระบายอากาศ มีการจำลองสถานการณ์ในอาคารสำนักงานเป็นเวลา 4 เดือนในช่วงฤดูร้อนเพื่อคำนวณพลังงานที่ประหยัดได้จากการระบายความร้อนแบบระบายอากาศโดยเปรียบเทียบกับระบบระบายความร้อนเชิงกล แบบเมืองที่เป็นตัวแทนของสิ่งภูมิอากาศที่แตกต่างกันมีการพิจารณาเงื่อนไข: เขตร้อน, แห้ง, เขตอบอุ่นและภาคพื้นทวีป ผลลัพธ์ของเราเผยให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างการประหยัดพลังงานกับ VCP ที่เสนอในกรณีของอุณหภูมิที่เหมาะสม การประมาณการเปลี่ยนแปลงในทุกเขตภูมิอากาศ เครื่องมือ VCP ที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ก็แสดงความสัมพันธ์ที่ดีเช่นกันด้วยการคำนวณการประหยัดพลังงานและด้วย VCP [9]

งานวิจัยเรื่อง แนวทางที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพใน Chiller Plants: กรณีศึกษาของโรงพยาบาล บทความนี้นำเสนอ อาคารขนาดใหญ่ก่อให้เกิดการใช้พลังงานขั้นสูงมากกว่า 20% ของโลก. ในอาคารต่างๆ เช่น โรงพยาบาล ภาระการทำความเย็นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่สำคัญของความต้องการพลังงานโดยรวม (สูงถึง 44 %) เนื่องจากการใช้ความร้อน การระบายอากาศ และการปรับอากาศอย่างเข้มข้น ระบบ High Voltage air conditions (HVAC) ท่ามกลางปัจจัยสำคัญอื่นๆ ดังนั้นควรพิจารณาการศึกษาของพวกเขา ในบทความนี้เราเสนอการวิเคราะห์ที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในโรงทำความเย็นหลายเครื่อง ค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพ (Coefficient of Performance, COP) ใช้เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพพลังงาน การวิเคราะห์ข้อมูลตามการรวมการดำเนินงาน การกรอง และการฉายภาพช่วยให้เราได้รับความรู้จากซิลเลอร์และทั้งหมดโรงงานเพื่อกำหนดและปรับแต่งกฎการจัดการ ซอฟต์แวร์จัดการโรงงานนั้นใช้กฎเหล่านั้นที่กำหนดขึ้นเมื่อเครื่องทำความเย็นควรขึ้น/ลง และเครื่องทำความเย็นใดควรเริ่ม/หยุดตามเกณฑ์ประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน แนวทางนี้ถูกนำมาใช้กับโรงทำความเย็นที่โรงพยาบาลเลออน [10]

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกลุ่มการจัดการพลังงานในอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
2020	Shakeri, M. et al. [11]	การบริหารจัดการพลังงานในอาคารเพื่อตอบสนองความต้องการด้านพลังงานโดยใช้กลยุทธ์และการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าที่ชาญฉลาด
2017	Ma, W. et al. [12]	การทำนายการใช้งานทางด้านโหลดในระบบจำหน่ายของระบบไฟฟ้าที่สามารถคำนวณค่าการใช้งานที่ส่งผลต่อการควบคุมการใช้ไฟฟ้า
2018	Twaha, S. et al. [13]	การหาค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดสำหรับระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบไฮบริดที่สามารถนำไปใช้ในระบบ on-grid และ off-grid
2019	Xia, M. et al. [14]	การพยากรณ์การใช้งานโหลดแบบคาดไม่ถึงบนพื้นฐานการใช้งานในแบบการเชื่อมต่อแบบโครงข่าย
2021	Wang, S. et al. [15]	การพยากรณ์การใช้งานด้านโหลดซึ่งจะคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสและค่าแรงดันที่สามารถตรวจจับด้วยการใช้สีของกราฟเป็นตัวถอดรหัสสัญญาณในเชิงลึก
2020	Fathi, S et al. [16]	วิเคราะห์ประสิทธิภาพค่าพลังงานทางไฟฟ้าด้วยการใช้เทคนิค machine learning
2019	Hernandez, Z. et al. [17]	ใช้แอปพลิเคชันสำหรับการทำนายการใช้งานด้านโหลดที่ไม่สร้างผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวัน
2020	Gunay, H.B. et al. [18]	การแบ่งส่วนการควบคุมการใช้พลังงานโดยการนำข้อมูลมาจัดแบ่งแบบอัตโนมัติสำหรับอาคารพาณิชย์
2018	Fan, C. et al. [19]	วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาแบบที่ไม่มีการดูแลเพื่อนำมาหาสัดส่วนและเพื่อทำการจัดการการใช้พลังงานอย่างสมดุลเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกลุ่มการใช้พลังงานในอาคาร

ปี	นักวิจัย	สาระสำคัญ
2010	Xu Chao, Wu et al. [16]	การคาดการณ์พลังงานดำเนินการตามวิธีการที่กำหนดไว้ล่วงหน้าและข้อมูลที่ทันสมัยเพื่อเปิดเผยความคืบหน้าที่สำคัญในภาคการผลิตไฟฟ้า
2011	Chung, William et al. [17]	สัดส่วนการใช้พลังงานของภาคที่อยู่อาศัยในทุกภาคส่วน (เช่น เชิงพาณิชย์ ที่อยู่อาศัย การขนส่ง และอุตสาหกรรม) เพิ่มขึ้นจาก 14.2% ในปี 1990 ถึง 18.1% ในปี 2550
2011	Jiang, Ping et al. [18]	การใช้พลังงานต่อตารางเมตรของอาคารที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัยในประเทศจีนคิดเป็นเป็นสามเท่าของอาคารที่อยู่อาศัย
2012	Xiao, He et al. [19]	ค่าสัมประสิทธิ์ Gini ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในเมืองต่างๆในประเทศจีน
2015	Ang, B. W. et al. [20]	การวิเคราะห์พลังงานเชิงลึกสำหรับอาคารสามารถทำได้โดยใช้วิธีการต่างๆ เช่น วิธีการสลายตัวของดัชนี Divisia เฉลี่ยลอการิทึม (LMDI) และ Hybrid LMDI สำหรับการใช้พลังงานและความเข้ม
2018	Lu, Yujie et al. [21]	อัลกอริธึมพฤติกรรมผู้โดยสารถูกนำมาใช้สำหรับแบบจำลองความร้อน
2013	Aghemo, C. et al. [22]	กฎควบคุมการประหยัดพลังงานจากระบบส่องสว่างและระบบระบายอากาศและความร้อน HVAC ในอาคาร
2016	Hong, Tianzhen et al. [23]	การทำความเข้าใจพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยสร้างโอกาสใหม่ ๆ ที่มีอิทธิพลต่อวิวัฒนาการของเทคโนโลยีอาคารซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและความสะดวกสบายของผู้อยู่อาศัย
2011	Zografakis, Nikolaos et al. [24]	เปรียบเทียบอาคารสาธารณะสามประเภท พบว่าซูเปอร์สโตร์ใช้พลังงานมากที่สุดมากกว่าโรงแรมถึงสองเท่าและประมาณห้าเท่าของอาคารสำนักงานรัฐบาล

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามที่ได้อ้างอิงมาก่อนหน้านั้น พิสูจน์และนำไปให้ทราบถึง ความสำคัญของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานของอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ที่มีความสำคัญอย่างมาก ถึงแม้ว่ามีการนำเพื่อนำมาบริหารจัดการข้อมูลที่มีอยู่ภายในอาคาร การนำเทคโนโลยีการจัดเก็บการใช้เทคนิคด้านการพยากรณ์ มีการนำเสนอ และนำมาวิเคราะห์ อย่างมากมาย เพื่อให้มีเหมาะสมและสอดคล้องกับการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กันทั้งทางด้านการผลิตและการใช้งาน ดุษฎีนิพนธ์นี้จึงมีความสนใจในกลุ่มของการวิเคราะห์อาคารตัวอย่างที่มีการบริหารจัดการด้านพลังงานสำหรับอาคารและนำมาสร้าง เป็นรูปแบบอัลกอริทึม สำหรับการบริหารจัดการ เพื่อให้ง่ายและสามารถนำไปวิเคราะห์ ได้อย่างง่ายวิจัยที่ผ่านมาไม่ได้มีการกล่าวถึงและนำเสนอในหลักการดังกล่าว ดุษฎีนิพนธ์จึงมีความสนใจในการศึกษา เพื่อจะได้นำประโยชน์ที่ได้ไปใช้ในอนาคต

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ประวัติและที่มาของการอนุรักษ์พลังงาน

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 3 ประการ ดังนี้

- 1) เพื่อกำกับดูแล ส่งเสริม และสนับสนุนให้ผู้ที่ต้องการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมายมีการอนุรักษ์พลังงานด้วยการผลิตและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด
- 2) เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดการผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งวัสดุที่ใช้ในการอนุรักษ์พลังงานขึ้นใช้ในประเทศ และให้มีการใช้อย่างแพร่หลาย
- 3) เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการอนุรักษ์พลังงานอย่างเป็นรูปธรรม โดยการจัดตั้ง “กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน” เพื่อใช้เป็นกลไกในการให้ความช่วยเหลือทางการเงินแก่ผู้ที่ต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมาย

2.2.2 ขอบเขตการบังคับใช้พระราชบัญญัติฯ

โดยที่พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) มีวัตถุประสงค์หลังเพื่อกำกับดูแล ส่งเสริม และสนับสนุนให้ “โรงงานควบคุม” และ “อาคารควบคุม” ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานด้วยการผลิตและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดและเพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดการผลิตเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งส่งเสริมการใช้วัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานขึ้นในประเทศและให้มีการใช้อย่างแพร่หลาย ฉะนั้น

กลุ่มเป้าหมายที่รัฐมุ่งเข้าไปกำกับดูแล ส่งเสริม และสนับสนุนเพื่อให้เกิดการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน ตามพระราชบัญญัตินี้จึงประกอบด้วย 3 กลุ่มดังนี้

- 1) โรงงานควบคุม
- 2) อาคารควบคุม
- 3) ผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง รวมถึงวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

ด้วยเหตุนี้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) จึงบังคับใช้กับกลุ่มเป้าหมายเพียง 3 กลุ่มที่กล่าวมาข้างต้นเท่านั้น

ในส่วนของกลุ่มโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมที่อยู่ภายใต้ของพระราชบัญญัติฯ นั้น จะมุ่งเน้นโรงงานและอาคารที่มีการใช้พลังงานในปริมาณมากและมีศักยภาพพร้อมที่จะดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้ทันที ทั้งนี้ โรงงานหรืออาคารใดเข้าข่ายเป็นโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมหรือไม่ ย่อมเป็นไปตามที่พระราชกฤษฎีกากำหนดโรงงานควบคุม พ.ศ. 2540 และพระราชกฤษฎีกากำหนด อาคารควบคุม พ.ศ. 2538 ได้กำหนดไว้ ในส่วนของกลุ่มผู้ผลิตหรือจำหน่ายเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มี ประสิทธิภาพสูง รวมถึงวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานนั้นจะได้รับสิทธิอุดหนุนช่วยเหลือ ทางการเงินเพื่อให้มีการผลิตหรือจำหน่ายเครื่องจักร อุปกรณ์ และวัสดุเหล่านี้จำหน่ายให้แก่ประชาชน อย่างแพร่หลายและมีราคาถูกลง ซึ่งช่วยให้ประชาชนทั่วไปลดการใช้พลังงานลงได้ ทั้งนี้ การกำหนด เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ตามประเภท ขนาด ปริมาณการใช้พลังงาน อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงาน และ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างใด เป็นเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่อยู่ภายใต้บังคับ ของพระราชบัญญัตินี้ ย่อมเป็นไปตามกฎกระทรวงซึ่งได้กำหนดเป็นเรื่องๆ ไป เช่น กฎกระทรวงกำหนด เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง พ.ศ. 2552 กฎกระทรวงกำหนดตู้เย็นที่มีประสิทธิภาพสูง พ.ศ. 2552 หรือกฎกระทรวงกำหนดหม้อหุงข้าวไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง พ.ศ. 2552 เป็นต้น และ เช่นเดียวกัน การกำหนดวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามประเภทคุณภาพและมาตรฐาน อย่างใดเป็นวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานที่อยู่ภายใต้บังคับของพระราชบัญญัตินี้ย่อมเป็นไป ตามกฎกระทรวงซึ่งได้กำหนดเป็นเรื่องๆ ไป เช่น กฎกระทรวงกำหนดกระจกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 เป็นต้น

2.2.3 ลักษณะของโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม

ผู้ที่มีหน้าที่ต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์ พลังงาน พ.ศ. 2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) นั้นจะถูกเรียกว่า “โรงงานควบคุม” หรือ “อาคารควบคุม” แล้วแต่กรณีโดยจะเน้นไปที่โรงงานและอาคารที่มีการใช้พลังงานในปริมาณมากและมีศักยภาพพร้อมที่ จะดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้ทันที ทั้งนี้ ลักษณะของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมย่อมเป็นไป

ตามที่พระราชกฤษฎีกากำหนดโรงงานควบคุม พ.ศ. 2540 และพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 ได้กำหนดไว้ ดังนี้

โรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม หมายถึง โรงงานหรืออาคารที่มีหน้าที่ต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) ซึ่งโรงงานหรืออาคารที่เข้าข่ายเป็นโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมนั้นจะต้องมีลักษณะการใช้พลังงานอย่างหนึ่งอย่างใดดังต่อไปนี้

1) เป็นโรงงานหรืออาคารที่ได้รับอนุมัติจากผู้จำหน่ายพลังงานให้ใช้เครื่องวัดไฟฟ้าหรือให้ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าชุดเดียวหรือหลายชุดรวมกันมีขนาดตั้งแต่ 1,000 kW หรือ 1,175 kVA ขึ้นไป หรือ

2) เป็นโรงงานหรืออาคารที่ใช้ไฟฟ้าจากระบบของผู้จำหน่ายพลังงาน ความร้อนจากไอน้ำจากผู้จำหน่ายพลังงาน หรือพลังงานสิ้นเปลืองอื่นจากผู้จำหน่ายพลังงานหรือของตนเองอย่างใดอย่างหนึ่งหรือรวมกันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคมถึงวันที่ 31 ธันวาคมของปีที่ผ่านมา มีปริมาณพลังงานทั้งหมดเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 20 ล้านเมกะจูลขึ้นไป

อย่างไรก็ตาม สำหรับอาคารบางประเภทแม้มีลักษณะการใช้พลังงานเข้าข่ายเป็นอาคารควบคุมตามที่กล่าวมาข้างต้น แต่พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 ก็ได้กำหนดยกเว้นไว้ไม่ให้อาคารดังต่อไปนี้เป็นอาคารควบคุม ซึ่งได้แก่ อาคารที่ใช้เป็นพระที่นั่งหรือพระราชวัง อาคารที่ทำการสถานทูตหรือสถานกงสุลต่างประเทศ อาคารที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศหรือที่ทำการของหน่วยงานที่ตั้งขึ้นตามความตกลงระหว่างรัฐบาลไทยกับรัฐบาลต่างประเทศ โบราณสถาน วัตถุอาหรามหรืออาคารต่าง ๆ ที่ใช้เพื่อการศาสนา ซึ่งมีกฎหมายควบคุมการก่อสร้างไว้แล้วโดยเฉพาะ

2.2.4 การดำเนินการของอาคารและโรงงานควบคุม

ตามที่พระราชบัญญัติการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) ได้กำหนดให้ผู้ที่เป็นเจ้าของอาคารควบคุมและโรงงานควบคุม มีหน้าที่ต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงานดังต่อไปนี้

1) จัดให้มีผู้รับผิดชอบด้านพลังงานที่มีคุณสมบัติและจำนวนตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ภายในเวลาที่กำหนด

2) ต้องดำเนินการจัดให้มีการอนุรักษ์พลังงานตามมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการการจัดการพลังงานที่กำหนดในกฎกระทรวง

3) ส่งรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานให้ พพ. ภายในเดือนมีนาคมของทุกปี โดยต้องได้รับการตรวจสอบและรับรองจากผู้ตรวจสอบพลังงานที่ได้รับใบอนุญาตจาก พพ.

2.2.5 การลดพลังงานในอาคาร

มาตรา 17 ของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม) ได้กำหนดการดำเนินการเพื่อการลดพลังงานในอาคารควบคุม เช่น การดำเนินการอย่างใดดังต่อไปนี้

- 1) การจำกัดความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้ามาในอาคาร
- 2) การปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการรักษาอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม
- 3) การใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่จะช่วยอนุรักษ์พลังงานตลอดจนการแสดงคุณภาพของวัสดุก่อสร้างนั้นๆ
- 4) การใช้แสงสว่างในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ
- 5) การใช้ และการติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ และวัสดุที่ก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร
- 6) การใช้ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์
- 7) การอนุรักษ์พลังงานโดยวิธีอื่นตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

2.2.6 แนวทางการจัดการพลังงาน

การจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากมีผลต่อหลายด้าน ได้แก่ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโรงงานและอาคาร ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มกำไรและมีประสิทธิภาพในการทำธุรกิจได้มากขึ้น การลดการใช้พลังงานช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ซึ่งเป็นต้นทางของการเป็นสิ่งก่อมลพิษที่สำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ การจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพช่วยลดความขึ้นอยู่กับการผลิตพลังงาน ซึ่งสามารถช่วยให้องค์กรมีความเชื่อมั่นในการดำเนินธุรกิจของตนได้มากขึ้น การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ เช่น น้ำ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิต การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมช่วยสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับองค์กร และเป็นตัวอย่างในการดำเนินงานที่ยั่งยืนและมีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม การดำเนินการสามารถแบ่งได้ออกเป็น 8 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) ตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน
- 2) ประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น
- 3) กำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน
- 4) ประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

5) กำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

6) การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงานนั้นเป็นกระบวนการที่ต้องมีการควบคุมและการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เป็นไปตามเป้าหมาย

7) การติดตามและประเมินผลอย่างสม่ำเสมอจะช่วยให้องค์กรสามารถตรวจสอบความก้าวหน้าและปรับปรุงกิจกรรมในการควบคุมพลังงานให้มีประสิทธิภาพอย่างเหมาะสมต่อความต้องการและเป้าหมายขององค์กร

8) การทบทวน วิเคราะห์ และการแก้ไขข้อผิดพลาดในการควบคุมพลังงานเป็นกระบวนการที่สำคัญเพื่อปรับปรุงและปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ [25]

2.3 ปริมาณและสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร



รูปที่ 2.2 รูปแบบอาคารที่นำมาใช้สำหรับการบริหารจัดการพลังงาน

ปริมาณการใช้พลังงานในอาคารมีจำนวนเท่าใดขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการใช้พลังงาน ตัวแปรเหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทดังนี้

1) ขนาดของอาคารมีผลต่อปริมาณพื้นที่ที่ต้องทำการปรับอากาศ และปริมาณพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายอากาศในอาคาร

2) วัสดุก่อสร้างที่มีความกันสั่นอาจช่วยลดการสูญเสียพลังงาน รวมถึงการออกแบบระบบส่งน้ำหรือส่งลมเย็นที่มีประสิทธิภาพ

3) ปริมาณการใช้พลังงานในการปรับอากาศ (ทำเย็นหรือทำร้อน) ขึ้นอยู่กับขนาดของอาคาร ปริมาณคนที่ใช้งานในอาคาร และระบบที่ใช้ในการปรับอากาศ เช่น ระบบแอร์ หรือเครื่องปรับอากาศ ชนิดอื่น.

4) การใช้พลังงานในระบบไฟฟ้า ระบบประปา และอุปกรณ์อื่น ที่ใช้พลังงาน

5) การใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าสำรอง ระบบกันไฟฟ้าไหม้ ระบบดับเพลิง และการใช้พลังงานในระบบทำความสะอาด

ตารางที่ 2.3 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในอาคารประเภทต่าง ๆ แบ่งตามระบบต่าง ๆ

ประเภทของอาคาร	ระบบปรับอากาศ (%)	ระบบส่องสว่าง (%)	ระบบอื่น ๆ (%)
โรงแรม	65-75	10-18	12-25
สำนักงาน	55-65	25-35	15-25
ศูนย์การค้าทั่วไป	70-75	15-25	15-25
โรงพยาบาลทั่วไป	55-65	25-35	15-30
สถานศึกษาทั่วไป	50-55	20-30	10-50

ในการประเมินปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร จำนวนพลังงานที่ต้องใช้ขึ้นอยู่กับหลายตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการใช้พลังงาน อาคารที่ต้องการใช้พลังงานสำหรับประโยชน์แตกต่างกัน อาจเป็นอาคารที่ใช้เป็นที่พักอาศัย (residential), อาคารพาณิชย์ (commercial), โรงงาน (industrial), หรือสถานที่สาธารณะ (public facilities) เป็นต้น ประเภทของอาคารจะมีผลต่อการใช้พลังงาน เนื่องจากมีความต้องการและการใช้งานที่แตกต่างกันไป หลายอาคารมีการใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การใช้ไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศ, ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง, การใช้พลังงานความร้อน เป็นต้น ปริมาณพลังงานที่ใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้งานเหล่านั้น ขนาดของอาคารมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงาน อาคารที่ใหญ่จะมีการใช้พลังงานมากกว่าอาคารที่เล็ก สภาพแวดล้อมภายนอกอาจมีผลต่อการใช้พลังงาน เช่น อากาศร้อน หรือหนาว อาจทำให้ต้องใช้พลังงานเพิ่มเติมเพื่อปรับความเย็นหรือความร้อน การใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ สามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้ เช่น การใช้ระบบการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ซึ่งแสดงรายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องจักร ในอาคารสำนักงาน ดังนี้

ตารางที่ 2.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์เครื่องจักร ในอาคารสำนักงาน

อาคารสำนักงาน 100 %				
	อุปกรณ์ปรับอากาศ		อุปกรณ์ส่องสว่าง	อุปกรณ์อื่น ๆ
	50 - 60 %		20 - 30 %	10 - 20 %
ชนิดแยกส่วน	ชนิดศูนย์รวม	ชนิดเป็นชุด	หลอดไฟแบบ ต่างๆ	ปั้มน้ำทั่วไป
	เครื่องทำน้ำเย็น	ระบบปั้มน้ำหล่อ เย็น	บัลลาสต์	พัดลมระบาย อากาศ
	ระบบปั้มน้ำเย็น	ระบบหอผึ่งน้ำ		ลิฟท์และบันได เลื่อน
	ระบบปั้มน้ำหล่อ เย็น			ระบบบำบัดน้ำเสีย
	ระบบหอผึ่งน้ำ			อุปกรณ์สำนักงาน
	เครื่องส่งลมเย็น			เครื่องใช้ไฟฟ้า อื่นๆ

2.4 ระบบการบริหารจัดการพลังงาน (Demand Response)

ระบบ Demand Response เป็นกระบวนการที่ใช้ในการจัดการและควบคุมพลังงาน โดยอ้างอิงจากปริมาณความต้องการของผู้ใช้งานตามสัดส่วนของเวลาที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด โดยส่วนใหญ่ใช้ในระบบไฟฟ้า แต่อาจใช้ได้ในระบบอื่น เช่น ระบบที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็นหรือการใช้น้ำร้อน เป็นต้น โดยทั่วไประบบการตอบสนองความต้องการพลังงานจะประกอบด้วยหลักการพื้นฐานต่อไปนี้ ได้แก่

1) ผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานเป็นส่วนสำคัญของระบบการตอบสนองความต้องการพลังงาน เปรียบเสมือนผู้บริโภคทั่วไป รวมถึงภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ทั้งนี้ผู้ใช้งานจะต้องสามารถรับปรุงและปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเองได้เมื่อมีความต้องการ

2) ระบบควบคุม เป็นส่วนที่มีการดำเนินงานด้วยการสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานและผู้ให้บริการด้านพลังงาน ระบบควบคุมจะส่งสัญญาณหรือข้อความไปยังผู้ใช้งานทราบในกรณีที่มีความต้องการให้ปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้พลังงาน

3) วิธีการปรับปรุงรูปแบบการใช้พลังงาน เป็นวิธีการที่ผู้ใช้งานปรับแต่งการใช้พลังงาน เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณความต้องการของระบบเพื่อทำการตอบสนองค่าความต้องการพลังงานโดยการใช้เทคโนโลยีหรือกระบวนการอื่น เช่น การปรับความสมดุลของระบบใช้พลังงาน การเปิด ปิด อุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน

4) การควบคุมความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นวิธีการสำหรับระบบควบคุมทำการลดหรือปรับเปลี่ยนลักษณะความต้องการพลังงานของผู้ใช้งานในช่วงเวลาที่มีค่าความต้องการพลังงานที่สูงสุด เช่นการจัดการการเปิด ปิด ระบบแสงสว่าง การปรับเปลี่ยนระดับความเย็นอุปกรณ์ปรับอากาศ การปรับเปลี่ยนช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

5) การรายงานผล เป็นวิธีการที่ใช้ในการรายงานผลการใช้พลังงานที่ผู้ใช้ปรับปรุงและปรับเปลี่ยน รวมถึงการส่งข้อมูลเกี่ยวกับการปรับใช้พลังงานของผู้ใช้งานกลับไปยังระบบควบคุม ดังนั้นการดำเนินการเพื่อบริหารจัดการการใช้พลังงานภายในอาคาร (Building Energy Management-BEM) เป็นการบริหารและวางแผนการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้มีการใช้งานหรือดำเนินการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ ซึ่งต้องทำให้ไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการใช้งานหรือกิจกรรมที่ทำภายในอาคารให้น้อยที่สุด ดังนั้นประสิทธิภาพของการบริหารจัดการพลังงานในอาคารที่ดีนั้นมีองค์ประกอบดังนี้

1) Efficient Purchasing คือ ความสามารถในการจัดหาแหล่งพลังงานที่ถูกที่สุดตามช่วงเวลาของความต้องการที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด

2) Efficient Equipment คือ การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีโครงสร้างหรือสถาปัตยกรรมสำหรับการดำเนินการเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงและปรับปรุงและพัฒนาได้

3) Efficient Operation คือ ส่วนประกอบที่มีความสำคัญที่ถูกมองข้าม เนื่องจากผู้บริหารอาคารขาดองค์ความรู้รูปแบบในการจัดการ [26]

2.5 ขั้นตอนของการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร

การบริหารจัดการภายในอาคารที่มีการดำเนินการในระดับชั้นนำส่วนใหญ่จะมีการออกแบบระบบการบริหารจัดการพลังงานในห้องปฏิบัติการ (Energy Systems Laboratory) ในลักษณะที่มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน การใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อควบคุมและวิเคราะห์การใช้พลังงาน เช่น ระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบเซ็นเซอร์และโปรแกรมควบคุมเพื่อตรวจสอบและประเมินผลการใช้พลังงาน การติดตั้งเซ็นเซอร์และระบบวัดการใช้พลังงานในห้องปฏิบัติการเพื่อติดตามและตรวจสอบการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการใช้

พลังงาน เพื่อช่วยในการตัดสินใจในการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน การสร้างความตระหนักให้กับผู้ใช้งานในห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับวิธีการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพ และการจัดโปรแกรมอบรมเพื่อเพิ่มความรู้และความเข้าใจในการบริหารจัดการพลังงาน การตรวจสอบและปรับปรุงระบบการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและลดการสูญเสียของพลังงาน มีส่วนประกอบที่สำคัญสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ส่วนได้ดังต่อไปนี้

2.5.1 การสำรวจสภาพของอาคาร (Audits)

ขั้นตอนแรกของการบริหารจัดการพลังงานในอาคารเริ่มต้นด้วยการประเมินและทราบสถานการณ์ปัจจุบันของการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยมุ่งเน้นที่ปริมาณพลังงานที่ใช้งานทั้งหมด รวมถึงสภาพแวดล้อมภายในอาคารด้วย เพื่อให้เข้าใจถึงการทำงานของระบบทั้งหมดและการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งอาจมีการใช้พลังงานในรูปแบบที่หลากหลาย เช่น ระบบปรับอากาศ, ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง, ระบบน้ำร้อน ด้วยการจดบันทึกค่าพลังงานในอาคาร (Energy Audit) [27] การตรวจสอบการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งสามารถใช้วิธีการต่าง ๆ เช่น เดินสำรวจอาคาร, การใช้เครื่องมือวัดและเก็บข้อมูล, หรือการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบ โดยมุ่งหวังที่จะเก็บข้อมูลแบบละเอียดเกี่ยวกับการใช้พลังงานของอาคาร และพฤติกรรมการใช้พลังงานของอุปกรณ์แต่ละชนิด การประเมินนี้ควรทำเป็นระยะเวลาเป็นข้อกำหนดเพื่อให้มีข้อมูลที่เปรียบเทียบได้และสามารถติดตามผลการใช้พลังงานในอาคารได้อย่างต่อเนื่อง จากนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อจัดการพลังงานในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป ซึ่งการประเมินและวิเคราะห์เหล่านี้จะช่วยให้ผู้จัดการพลังงานมีข้อมูลที่เพียงพอในการตัดสินใจในการดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร :ซึ่งขั้นตอนการสำรวจ (Audit) มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1) การเดินสำรวจและตรวจสอบ (Walk-Through Audit) เป็นการตรวจสอบอาคารด้วยความรวดเร็วตามช่วงเวลา เพื่อตรวจสอบและหาสาเหตุของอุปกรณ์ในอาคารที่มีปัญหาและสามารถทำการปรับปรุงแบบง่ายและประหยัดได้ในทันที การตรวจสอบแบบนี้อาจความหมายถึง เทคโนโลยีอินเทลลิเจนซ์ไฟเตอร์ (Intelligent Lighting) เพื่อตรวจวัดและประเมินปริมาณการใช้พลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าส่องสว่างในอาคาร โดยเทคโนโลยีนี้สามารถทำการวัดและตรวจสอบการใช้พลังงานในเวลาจริงได้ และสามารถปรับการใช้งานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งานอย่างเหมาะสมกับความต้องการจริงของผู้ใช้ นอกจากนี้ การใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์และระบบคอมพิวเตอร์เข้าร่วมกันยังช่วยให้สามารถตรวจจับความต้องการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ การตรวจสอบระบบปรับอากาศ

ที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสามารถช่วยลดการสูญเสียพลังงานโดยปรับค่าอุณหภูมิให้เหมาะสมกับความต้องการจริงของผู้ใช้และสภาพแวดล้อม อีกทั้งยังช่วยลดการใช้พลังงานโดยการปรับแต่งระบบการไหลของอากาศและการทำงานของเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การใช้เทคโนโลยีเซ็นเซอร์และระบบคอมพิวเตอร์ในการตรวจสอบและประเมินการใช้พลังงานยังช่วยให้สามารถตรวจจับความสูญเสียของพลังงานที่เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ภายในอาคารและทำการแก้ไขให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น อาจจะเป็นการตรวจสอบเครื่องปรับอากาศที่มีการรั่วไหลหรือมีการทำงานที่ไม่ประสิทธิภาพให้สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ทันที เพื่อลดการสูญเสียพลังงานที่ไม่จำเป็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้การทำ Blink Test ช่วยให้ทราบถึงแนวโน้มการใช้พลังงานของอาคารในช่วงเวลาที่กำหนด และช่วยให้ทราบถึงสภาพการใช้พลังงานในอาคารอย่างรวดเร็วและเป็นระบบ ทำให้สามารถปรับปรุงแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานได้ในเวลาที่เหมาะสม [28] การใช้วิธีการนับจำนวนหลอดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดในอาคารอาจไม่ใช่วิธีที่แม่นยำและเหมาะสมเมื่อต้องการประเมินการใช้พลังงานอย่างละเอียด หนึ่งในเหตุผลที่ทำให้วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมคือความแตกต่างในการใช้งานและการบำรุงรักษา ระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งในอาคาร และสภาพแวดล้อมที่ต่างกันอาจทำให้การประเมินผลของการนับจำนวนหลอดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่เป็นไปตามความเป็นจริงวิธีการที่ดีกว่าสำหรับการประเมินการใช้พลังงานในอาคารคือการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและระบบอัตโนมัติเพื่อตรวจจับและบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานอย่างละเอียด ตัวอย่างเช่น การใช้ระบบจัดการสถานะอุปกรณ์ (EMS) หรือระบบจัดการอาคารอัจฉริยะ (BMS) สามารถตรวจสอบการใช้พลังงานของอุปกรณ์แต่ละชนิดในเวลาจริงและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานได้อย่างอัตโนมัติ นอกจากนี้ เทคโนโลยีดิจิทัลยังช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างรายงานที่ชัดเจนและแสดงผลการใช้พลังงานในรูปแบบที่เข้าใจง่าย ทำให้สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อดำเนินการปรับปรุงให้ระบบการใช้พลังงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้โดยมีความแม่นยำและเป็นระบบมากยิ่งขึ้นในการตรวจสอบและปรับปรุงการใช้พลังงานในอาคาร

2) การวิเคราะห์ต้นทุนสาธารณูปโภค (Utility Cost Analysis) การวิเคราะห์ต้นทุนสาธารณูปโภคเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้ผู้จัดการพลังงานทราบถึงค่าใช้จ่ายของพลังงานที่ต้องใช้ในอาคาร โดยปกติแล้ว การวิเคราะห์นั้นจะมีขั้นตอน เริ่มต้นด้วยการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานทั้งหมดในอาคาร เช่น การใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำ และพลังงานอื่น ๆ ที่ใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ของอาคาร เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนและแท้จริง หลังจากได้รับข้อมูลที่เพียงพอแล้ว จะทำการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายของพลังงานในอาคาร โดยมองที่สภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงาน เช่น

สภาพอากาศภายนอก และการใช้งานของอุปกรณ์ภายในอาคาร การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน: ในขั้นตอนนี้ จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเข้าใจรูปแบบและลักษณะการใช้พลังงานในอาคาร เช่น การใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่าง ๆ หรือการใช้พลังงานในแต่ละส่วนของอาคาร การประเมินค่าใช้จ่าย: จากข้อมูลที่ได้รับ จะทำการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานในอาคาร โดยคำนวณจากอัตราค่าใช้จ่ายที่กำหนดไว้ของผู้ให้บริการพลังงาน การวิเคราะห์และการแสดงผล: ท้ายที่สุด จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับและแสดงผลออกมาให้เป็นรูปแบบที่เข้าใจง่าย เพื่อให้ผู้จัดการพลังงานและผู้บริหารสามารถทำการตัดสินใจเพื่อการดำเนินงานต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ต้นทุนสาธารณูปโภคช่วยให้ผู้จัดการพลังงานทราบถึงค่าใช้จ่ายของพลังงานในอาคารอย่างแม่นยำ และช่วยให้สามารถวางแผนการจัดการพลังงานให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้ข้อมูลที่เป็นรายละเอียดเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของอาคารและผู้ใช้กันอย่างเหมาะสม

3) การตรวจสอบมาตรฐานพลังงาน (Standard Energy Audit) มีวัตถุประสงค์เพื่อการตรวจสอบมาตรฐานพลังงาน เป็นกระบวนการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อทราบระดับปริมาณการใช้พลังงานพื้นฐานของอาคาร โดยการดำเนินการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน เพื่อให้ทราบถึงปริมาณพลังงานที่ใช้ในอาคารเป็นประจำ นอกจากนี้ มาตรฐานพลังงานยังช่วยให้สามารถคาดการณ์การประหยัดพลังงานได้ และเมื่อมีการปรับปรุงในอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน มาตรฐานพลังงานยังช่วยในการประเมินผลของการปรับปรุง วิธีการในการตรวจสอบมาตรฐานพลังงานที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือ การตรวจสอบระดับปริมาณการใช้พลังงานพื้นฐานของอาคาร โดยการวัดและบันทึกปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละระบบในอาคารใช้ เช่น การใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำ และการใช้พลังงานอื่นๆ โดยใช้เครื่องมือวัดและเทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อประเมินปริมาณการใช้พลังงานในอาคารในช่วงเวลาที่กว้างขึ้น เพื่อให้มีข้อมูลที่เพียงพอในการวิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายของพลังงาน หลังจากได้รับข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานในอาคารแล้ว การวิเคราะห์และการประเมินจะถูกดำเนินการ โดยการนำข้อมูลเหล่านี้เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน และทำการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน หากมีการปรับปรุงในอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน การวิเคราะห์จะช่วยในการประเมินผลของการปรับปรุง และสามารถอธิบายได้ด้วย สมการต่อไปนี้

$$\text{Energy Use (kWh/day)} = (a \times \text{CDD}) + \text{Base Energy Use (kWh/day)} \quad (2.1)$$

จากสมการ (2.1)

a = การใช้ความชันของสมการเส้นตรงที่ PRISM จะคำนวณให้

CDD = Cooling Degree-Days/day คืออุณหภูมิอากาศที่สูงกว่า Balance-Point Temperature (อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดที่อาคารยังไม่ต้องเปิดแอร์)

Base Energy Use = ปริมาณพลังงานสำหรับอาคารที่ไม่มีอุปกรณ์ปรับอากาศ แสงสว่าง, เครื่องใช้ไฟฟ้า [28]

4) การตรวจสอบพลังงานโดยละเอียด (Detailed Energy Audit) เป็นการตรวจสอบที่ละเอียดและครอบคลุมทุกด้านของการใช้พลังงานภายในอาคารหรือโรงงาน โดยการใช้อุปกรณ์เครื่องมือวัดและเครื่องมือวิเคราะห์เพื่อทำความเข้าใจกับการใช้พลังงานในทุกๆ ด้าน ซึ่งมุ่งเน้นการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ที่ละเอียด เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์และแม่นยำในการทำกิจกรรมปรับปรุงเพื่อประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานของอาคารหรือโรงงาน รวมถึงประวัติการใช้พลังงานในอดีต โดยใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น อุปกรณ์วัดการใช้พลังงาน และการตรวจวัดปริมาณพลังงานที่ใช้กันอย่างละเอียด วิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมเพื่อให้เข้าใจการใช้พลังงานในอาคารหรือโรงงาน และการหาปัญหาที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน ทดลองปรับเปลี่ยนหรือปรับปรุงระบบเพื่อลดการใช้พลังงาน และประเมินผลการปรับปรุงว่ามีผลเป็นอย่างไรต่อการใช้พลังงาน รายงานผลการตรวจสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล และการเสนอแนะเกี่ยวกับมาตรการแก้ไขหรือการปรับปรุงที่เหมาะสม การใช้งบประมาณสำหรับ Detailed Energy Audit จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการใช้งบประมาณสำหรับ Standard Energy Audit และอาจต้องใช้เวลาในการดำเนินการนานขึ้น เนื่องจากการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ที่ละเอียดมากขึ้น การใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ ในส่วนของอุปกรณ์เครื่องมือตรวจวัดกระแสไฟฟ้าสามารถแยกได้เป็น สองประเภทคือ

4.1) ประเภทแคลมป์ออน (Clamp-on) คือ ประเภทแคลมป์ออน (Clamp-on) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้าโดยไม่ต้องตัดสายไฟฟ้า เครื่องมือประเภทนี้จะมีรูปร่างเป็นทรงกลมหรือทรงแปดเหลี่ยม โดยส่วนสำคัญของอุปกรณ์จะเป็นคัลลิ่งที่สามารถคล้องเข้ากับสายไฟฟ้าได้ และมักจะมีตัววัดที่ต่อมาอยู่ในส่วนของคัลลิ่ง เมื่อคัลลิ่งไปคล้องกับสายไฟฟ้า อุปกรณ์คัลลิ่งจะอ่านข้อมูลเกี่ยวกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายไฟฟ้านั้น และส่งข้อมูลนั้นไปยังตัววัดที่ต่อมาเพื่อทำการแสดงผลหรือบันทึกข้อมูล

4.2) ประเภท การตรวจสอบโหลดแบบไม่รบกวน (Non-Intrusive Load Monitoring - NILM) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์และวัดการใช้พลังงานโดยไม่ต้องมีการตัดสายไฟหรือการติดตั้งเซนเซอร์ในอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งมักจะเป็นอุปกรณ์ประเภทไม่รบกวนเป็นหลัก เช่น อุปกรณ์คัลลิ่งที่วัดกระแสไฟฟ้าโดยไม่ต้องตัดสายไฟฟ้า เรียกว่าคัลลิ่งประเภทแคลมป์ออน (Clamp-on) ที่สามารถคล้องเข้ากับสายไฟฟ้าหลักของอาคารได้ และมีอุปกรณ์ประเภท Circuit Transducer เพื่อรับสัญญาณไฟฟ้าที่ได้มาจากคัลลิ่ง โดยอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ที่จุดเดียวกันจะสามารถรับสัญญาณไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายไฟฟ้า

ได้ทุกจุด ข้อดีของการใช้ NILM คือสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดูแลรักษาได้ เนื่องจากไม่ต้องมีการตัดสายไฟหรือติดตั้งเซนเซอร์ในอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งอาจทำให้กระบวนการทำงานทำได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น อีกทั้งยังสามารถติดตามการใช้พลังงานได้แม่นยำ และสามารถรับรู้และแจ้งเตือนเมื่อมีการใช้พลังงานเกินกำหนดได้ด้วย อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของการใช้ NILM คือไม่สามารถแยกแยะปริมาณการใช้พลังงานได้เป็นโซน หากมีความต้องการที่จะทดสอบโหลดในระยะๆ เพื่อเปรียบเทียบ จะต้องแบ่งการวัดเป็นส่วนๆ และติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมที่จุดต่าง ๆ เพื่อทำการวัด ในกรณีของอุปกรณ์วัดโหลดของการทำความเย็น (Chiller) สำหรับระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ การแบ่งการวัดเป็นส่วนเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน เป็นวิธีที่สามารถทำได้ โดยการวัดกำลังไฟฟ้าที่เครื่องใช้เป็นหน่วยกิโลวัตต์ (kW) และการตรวจวัดปริมาณการไหลของน้ำเย็นด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ข้อมูลนี้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่อง Chiller ในหน่วยกิโลวัตต์ต่อตัน (kW/Ton) และทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่อง Chiller เป็นระยะๆ เป็นสิ่งสำคัญ โดยการตรวจสอบและรายงานนี้จะต้องเป็นส่วนหนึ่งของการดูแลรักษาประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ในอาคาร ซึ่งจะช่วยให้ผู้จัดการพลังงานสามารถตัดสินใจเรื่องการเปลี่ยนเครื่อง Chiller ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [30]

2.5.2 การวิเคราะห์พลังงานอาคาร (Building Energy Analysis)

การวิเคราะห์รูปแบบและปริมาณการใช้พลังงานเบื้องต้น สามารถกระทำได้โดยการทำการตรวจสอบพลังงานที่ใช้ในอาคาร การใช้พลังงานอย่างละเอียดสามารถทำได้โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างจำลองการใช้พลังงานในอาคาร โดยใช้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมไว้ เพื่อจำลองและทดสอบแนวทางการปรับปรุงเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคารในอนาคต โปรแกรมเหล่านี้สามารถประมวลผลข้อมูลและจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และการวางแผนในการปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้จำแนกขั้นตอนของการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานในอาคารเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1) วิธีการตามอัตราส่วน (Ratio-Based Methods) การวิเคราะห์รูปแบบและปริมาณการใช้พลังงานด้วยวิธีการตามอัตราส่วนเป็นวิธีที่เรียบง่ายและมีประสิทธิภาพสำหรับการทำความเข้าใจและเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคาร ดังนั้นมีขั้นตอนการดำเนินการ การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งสามารถเป็นข้อมูลประจำเดือนหรือปีก่อนหน้า เช่น การใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำมัน หรือการใช้พลังงานอื่นที่สำคัญ จากข้อมูลที่ได้รับ เริ่มทำการวิเคราะห์และคำนวณสัดส่วนการใช้พลังงานตามต้องการ เช่น การใช้ไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ของอาคาร การใช้พลังงานต่อจำนวนผู้ใช้อาคาร หรือการใช้พลังงานต่ออุณหภูมิอากาศ นำสัดส่วนการใช้พลังงานที่ได้รับมา เปรียบเทียบกับข้อมูลของอาคารอื่น ๆ หรือเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ และทำการวิเคราะห์ผลเพื่อให้เข้าใจการใช้พลังงานของอาคาร จากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบ สามารถทำการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงในการใช้พลังงาน

ของอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดการใช้พลังงานได้ การวิเคราะห์และคำนวณสัดส่วนการใช้พลังงานสามารถทำได้ในหลายรูปแบบ เช่น การใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ (ตารางเมตรหรือตารางฟุต) การใช้พลังงานต่อจำนวนผู้ใช้ การใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต เป็นต้น การเปรียบเทียบและวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานที่ได้รับ เป็นการทำความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้พลังงานของอาคารและการวางแผนการปรับปรุงในอนาคตให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

ตารางที่ 2.5 อัตราค่าเฉลี่ยและปริมาณสัดส่วนพลังงานในอาคารแต่ละประเภท (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

ประเภทอาคาร ของประเทศฝรั่งเศสและ สหรัฐอเมริกา ต่อพื้นที่อาคาร 1 ตาราง เมตร (kWh/m ²)	ฝรั่งเศส	สหรัฐอเมริกา
ประเภทสำนักงาน	394	335
ประเภทสถานศึกษา	183	255
ประเภทสถานพยาบาล	362	756
ประเภทโรงแรม	308	398
ประเภทภัตตาคาร	596	773
ประเภทศูนย์การค้า	361	246

2) การสร้างแบบจำลองผกผัน (Inverse Modeling Methods) เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยการแยกแยะสัดส่วนของ WDL (Weather-Dependent Load) และ Non WDL (Non Weather-Dependent Load) เป็นกระบวนการที่น่าสนใจและมีประโยชน์ในการบริหารจัดการพลังงานของอาคารโดยเฉพาะ โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างการใช้พลังงานของอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายนอก ที่เรียกว่า Balance-Point Temperature หรือจุดที่อาคารเริ่มมี WDL เพื่อแยกแยะสัดส่วนของ non WDL ออกมาอย่างชัดเจน วิธีการสร้างแบบจำลองผกผันมีขั้นตอนคือ หนึ่ง การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารระยะเวลาหนึ่ง รวมถึงข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอก ในระหว่างเวลาเดียวกัน เพื่อนำมาวิเคราะห์และสร้างแบบจำลอง ใช้ข้อมูลที่เก็บมาเพื่อวิเคราะห์และหาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานของอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองทางสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล ใช้สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างการใช้พลังงานของอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายนอกเพื่อสร้างแบบจำลองผกผัน ที่สามารถแยกแยะสัดส่วนของ Non WDL ออกมาได้อย่างชัดเจน ปรับปรุงแบบจำลองตามผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบและการใช้งานจริง เพื่อให้

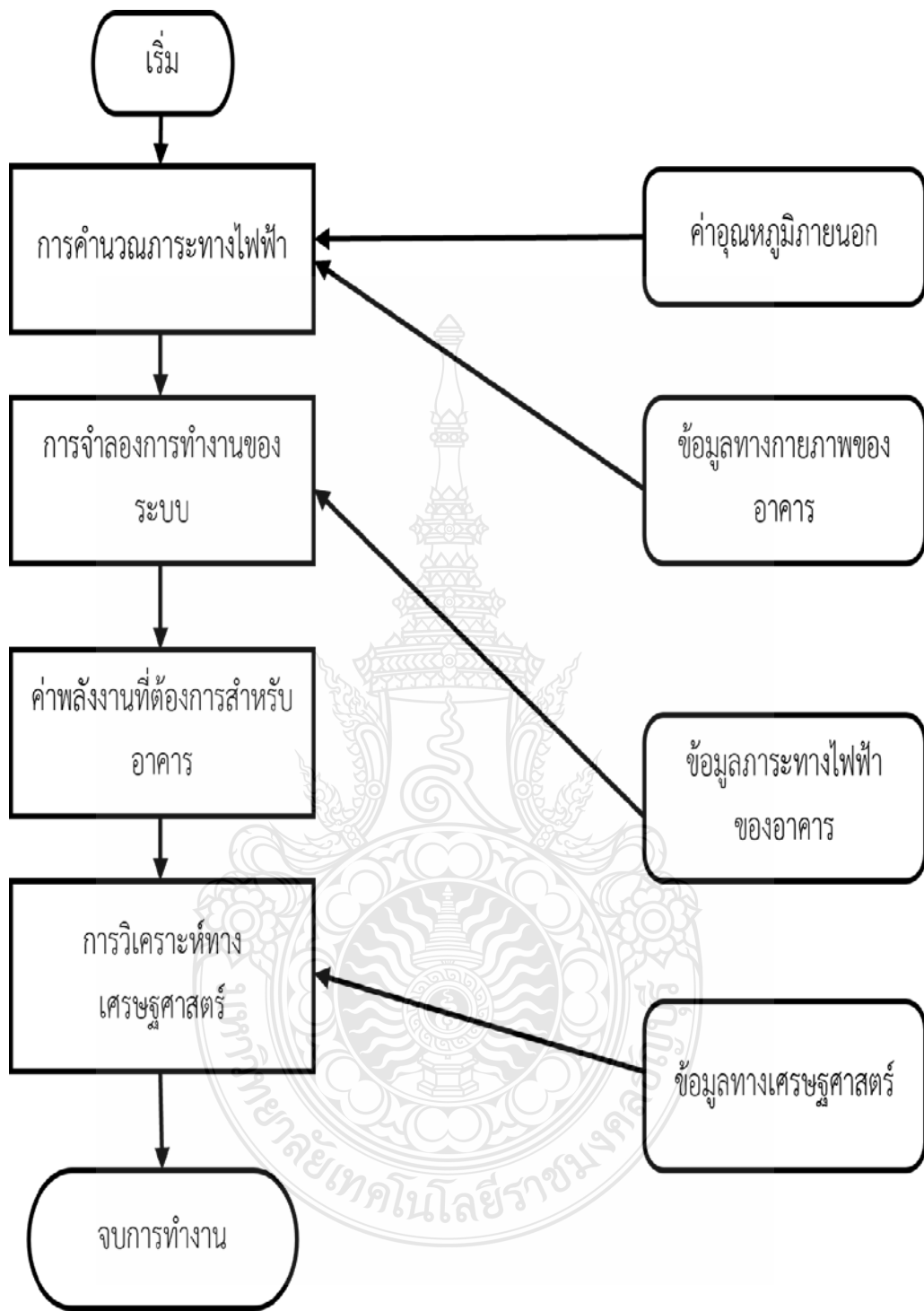
แม่นยำและเชื่อถือได้ในการใช้งาน นำแบบจำลองผกผันที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลการใช้พลังงานของอาคาร โดยการปรับปรุงและประเมินผลเป็นระยะเวลา การสร้างแบบจำลองผกผันเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและต้องใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างถี่ถ้วน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและเชื่อถือได้ในการบริหารจัดการพลังงานของอาคารในปัจจุบันและในอนาคต

3) วิธีการสร้างแบบจำลองไปข้างหน้า (Forward Modeling Methods) เป็นวิธีที่ใช้ในการคาดการณ์ผลลัพธ์ของการปรับปรุงหรือการเปลี่ยนแปลงที่จะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานในอนาคต โดยพิจารณาสิ่งแวดล้อมและเงื่อนไขที่มีอยู่ในปัจจุบัน และสร้างแบบจำลองที่บอกถึงผลกระทบของการปรับปรุงต่างๆ ต่อการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายตามระยะเวลาที่กำหนด ขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองไปข้างหน้าอาจประกอบด้วย การเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอาคารและการใช้พลังงานในปัจจุบัน เช่น ข้อมูลการใช้พลังงานที่ปัจจุบัน โครงสร้างของอาคาร และเงื่อนไขอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน ข้อมูลที่เก็บมาเพื่อสร้างแบบจำลองที่มีการจำลองการใช้พลังงานของอาคารในอนาคต โดยพิจารณาถึงการปรับปรุงหรือการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่สามารถทำได้ เช่น การเปลี่ยนแสงสว่าง การเปลี่ยนแก๊สเฉพา หรือการปรับปรุงระบบปรับอากาศ เพื่อคาดการณ์ผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ประเมินผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง เช่น การประหยัดพลังงานที่คาดว่าจะได้รับ และค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สามารถทำการเปรียบเทียบระหว่างทางเลือกต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากได้ผลการประเมินผลจากแบบจำลอง ต้องทำการคำนวณ Life-Cycle Cost (LCC) และจุดคุ้มทุน (Break-Even Point) เพื่อหาว่าการปรับปรุงหรือการเปลี่ยนแปลงที่เลือกมีความคุ้มค่าหรือไม่ โดยพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายต่างๆ ตลอดระยะเวลาการใช้งาน นำผลลัพธ์จากการคำนวณมาใช้ในการตัดสินใจและบริหารจัดการ โดยพิจารณาถึงการปรับปรุงหรือการเปลี่ยนแปลงที่เลือก ซึ่งจะมีผลต่อการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายทั้งระยะยาวและระยะสั้น การสร้างแบบจำลองไปข้างหน้าเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการบริหารจัดการพลังงานของอาคาร โดยช่วยให้ผู้จัดการพลังงานสามารถทำการวิเคราะห์และตัดสินใจเพื่อปรับปรุงหรือการเปลี่ยนแปลง

การพัฒนาวิธีการสร้างแบบจำลองไปข้างหน้า (Forward Modeling) เพื่อคาดคะเนการใช้พลังงานในอนาคตจากข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับอาคาร ระบบ และสภาพอากาศภายนอก เป็นวิธีที่สำคัญในการวางแผนและประเมินผลของการปรับปรุงหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานของอาคาร โดยที่จุดเด่นของ Forward Modeling คือความสามารถในการคาดคะเนและทดลองวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงที่ยังไม่เกิดขึ้น เพื่อช่วยให้ผู้บริหารทราบถึงผลลัพธ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตหากมีการปรับปรุงหรือการเปลี่ยนแปลงที่ต้องการดำเนินการ ส่วน Inverse Modeling มีลักษณะการทำงานที่ต่างกัน โดยการใช้ข้อมูลของปริมาณการใช้พลังงานที่มีอยู่จริงเพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถแยกแยะ

สัดส่วนของ Weather-Dependent Load (WDL) และ Non Weather-Dependent Load (Non WDL) และคาดคะเนการใช้พลังงานในอนาคต ซึ่งมีความเหมาะสมในการปรับปรุงหรือการเปลี่ยนแปลงที่มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถอ้างอิงผลกระทบจากการปรับปรุงหรือการเปลี่ยนแปลงที่มีการเกิดขึ้นแล้ว โปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อ Computerized Building Energy Simulation (CBES) เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการช่วยในกระบวนการ Forward Modeling โดยช่วยให้ผู้ใช้สามารถทดลองจำลองการใช้พลังงานของอาคารได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยใช้โมเดลและข้อมูลที่มีอยู่ในการคาดคะเนผลลัพธ์ของการปรับปรุงหรือการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานของอาคาร ในทางกลับกัน Inverse Modeling ยังคงใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถแยกแยะการใช้พลังงานและคาดคะเนการใช้พลังงานในอนาคตอย่างแม่นยำและเชื่อถือได้ โดยอ้างอิงจากข้อมูลจริงที่เกิดขึ้นแล้วในอาคารที่สำรวจดูการใช้พลังงานในอดีต ซึ่งจะช่วยให้ผู้บริหารตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับปรุงหรือการเปลี่ยนแปลงในอนาคตที่มีเป้าหมายเป็นการประหยัดพลังงานและเงินลงทุนอย่างมีประสิทธิภาพ



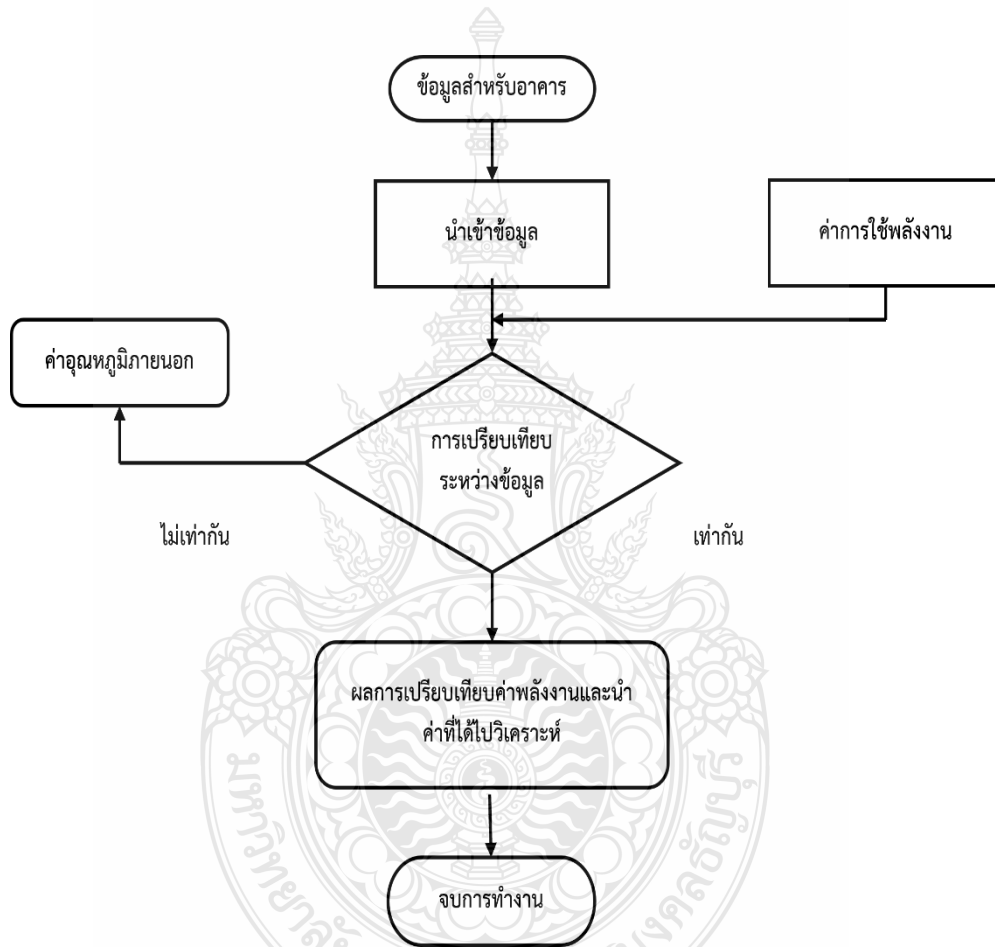


รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการทำงานด้วยระบบการคิดภาระการใช้พลังงาน

การสร้างระบบแผนงานสำหรับอาคารโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณค่าความต้องการพลังงานและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สามารถดำเนินการได้ด้วยขั้นตอนต่อไปนี้ เริ่มต้นด้วยการเก็บข้อมูลทั้งกายภาพและการใช้งานของอาคาร เช่น ข้อมูลสภาพภายในและภายนอกของอาคาร ข้อมูลระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ ระบบปรับอากาศ และระบบอื่น ๆ ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองระบบของอาคาร โดยนำเข้าข้อมูลที่เก็บไว้และการรับประกันอื่น ๆ เช่น ข้อมูลสภาพอากาศภายนอก และข้อมูลงานระบบ เพื่อประมาณการการใช้พลังงานและประสิทธิภาพของระบบ โปรแกรมจะให้ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้เทคนิค Present Value และ Payback เพื่อประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนในอาคาร โดยคำนวณค่าปัจจุบันของรายได้และค่าใช้จ่ายจากการปรับปรุงหรือสร้างอาคารใหม่ การวิเคราะห์ Parametric เป็นขั้นตอนที่ใช้เพื่อเปรียบเทียบตัวเลือกที่แตกต่างกัน โดยการปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ขนาดของระบบหรือวัสดุที่ใช้ และการปรับพารามิเตอร์เหล่านี้จะส่งผลต่อค่าความต้องการพลังงานและค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกัน หากการวิเคราะห์ทั้งหมด ผู้จัดการพลังงานสามารถตัดสินใจเลือกอย่างไรบ้าง เช่น ทำการปรับปรุงทันที หรือเลื่อนการลงทุนไปในอนาคต โดยการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้รับการวิเคราะห์ การสร้างระบบแผนงานสำหรับอาคารโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้สามารถช่วยให้ผู้จัดการพลังงานทำการตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดเพื่อปรับปรุงหรือสร้างอาคารใหม่ที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ได้

การคำนวณการใช้พลังงานด้วยการทำ Calibrated CBES จะมีความแม่นยำขึ้นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ CBES ทั่วไป โดยการคำนวณ (Calibration) นั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการปรับปรุงความถูกต้องของการคำนวณโดยการเทียบผลลัพธ์ที่คำนวณได้จาก CBES กับข้อมูลจริงที่ได้มาจากการใช้งานจริงของอาคาร การปรับปรุงนี้ช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากข้อมูลที่ป้อนเข้ามา (Garbage In) และทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความเชื่อถือได้มากขึ้น (Garbage Out) มักจะใช้ข้อมูลจริงเกี่ยวกับการใช้พลังงานของอาคาร เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน หรือการใช้พลังงานเช่นแก๊ส น้ำมัน หรือน้ำ และมีขั้นตอนการปรับแก้ค่าต่าง ๆ ใน CBES เพื่อให้ผลการคำนวณมีความถูกต้องมากขึ้น อย่างไรก็ตาม CBES ก็ยังมีความซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายสูง ต้องใช้ข้อมูลการใช้พลังงานจริงของอาคาร และต้องมีการสร้างโมเดลที่ถูกต้องเพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าต่าง ๆ ใน CBES ดังนั้นผู้ที่ทำงานด้านนี้จำเป็นต้องมีความรู้และทักษะทางวิศวกรรม สถิติ และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้สามารถปรับแก้ค่าต่าง ๆ ให้ถูกต้องและความถูกต้องที่สุดได้ การใช้ Calibrated CBES นั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการทำให้การคำนวณการใช้พลังงานของอาคารมีความแม่นยำมากขึ้นและเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และวางแผนการปรับปรุงอาคารให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นในการใช้พลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.4

ข้อมูลอาคาร สภาพอากาศ ค่าไฟฟ้า INPUT FILE ปรับตัวแปร INPUT เปรียบเทียบผล การจำลองกับค่าการใช้จริงที่วัดได้ วัดการใช้พลังงาน จริงในอาคาร ค่าที่จำลองเท่ากับค่าจริงเท่ากัน หรือไม่เท่ากัน หาสาเหตุของการไม่เท่ากัน ระหว่าง 2 ค่า ได้ Calibrated Model ของการใช้พลังงาน นำไปทำ Parametric Analysis การวิเคราะห์ผลการทำ Parametric Analysis จะช่วยให้เห็นภาพรวม ของผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ต่อการใช้พลังงานของอาคาร และช่วยในการตัดสินใจในการ ปรับปรุงหรือพัฒนาอาคารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการใช้พลังงาน



รูปที่ 2.4 แผนภูมิการจำลองอาคารที่บริโภคพลังงานด้วยคอมพิวเตอร์ แบบที่มีการเปรียบเทียบกับข้อมูล

จากแผนภูมิในรูปที่ 2.4 เป็นขั้นตอนแรกสำหรับข้อมูลที่ใช้ในการทำ Calibrated CBES จะถูกเก็บรวบรวมอย่างรอบคอบ เพื่อให้โมเดลที่ได้มีความแม่นยำมากที่สุด ข้อมูลที่จำเป็นประกอบด้วย ข้อมูลเกี่ยวกับอาคาร รายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างอาคาร การจัดวางและวัสดุก่อสร้าง ระบบพลังงาน

ที่ใช้ในอาคาร การปรับอากาศและระบบทำความเย็น ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานอื่น ๆ ในอาคาร ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพอากาศ ข้อมูลเรื่องอุณหภูมิและความชื้น ปริมาณการตกน้ำฝนและการเข้าสู่อาคาร ความเร็วของลม ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานจริง รายละเอียดการใช้พลังงานรายเดือนและรายปี ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละระบบ หลังจากได้รวบรวมข้อมูลทั้งหมดแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการป้อนข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม CBES เพื่อทำการจำลองการใช้พลังงานของอาคาร หลังจากที่โปรแกรมทำการจำลองเสร็จสิ้นแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานจริงที่วัดได้จากการทำ Detailed Audit ในอาคาร เพื่อตรวจสอบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำตรงไปตรงมากแค่ไหน หากผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองมีค่าที่ใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าจริงจากการ Audit ภายในของอาคาร แสดงว่าโมเดลที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำ และการทำ Calibrated CBES ก็สำเร็จสิ้นแล้ว แต่หากมีความแตกต่างอย่างมาก จะต้องทำการปรับแก้ค่าต่าง ๆ ในโมเดลและทำการจำลองอีกครั้ง จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าจริง การปรับแก้ค่าในโมเดลสามารถทำได้โดยการปรับแก้ตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในโมเดล เช่น การปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ของระบบพลังงาน การปรับแก้การสร้างแบบของอาคาร หรือการปรับแก้ค่าอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคาร หลังจากที่ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าจริง โดยใช้ Calibrated CBES แล้ว สามารถนำไปทำ Parametric Analysis เพื่อทดสอบผลกระทบของการปรับแปลงต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในอาคาร และการใช้พลังงานในรูปของทั้งโปรแกรมและการใช้จริงในการทำเปรียบเทียบและวิเคราะห์โดยรวมของผลการปรับเปลี่ยนในอาคารได้

2.5.3 มาตรการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation Measures – ECMs)

หลังจากการวิเคราะห์และคาดคะเนพื้นฐานเกี่ยวกับการใช้พลังงานของอาคารด้วยวิธี Standard Audit, Detailed Audit, หรือ Calibrated CBES เมื่อค่า Baseline Model ได้รับการเสร็จสิ้นแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการทำ Parametric Analysis เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกวิธีการปรับปรุงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอาคาร การปรับปรุงนี้สามารถแบ่งเป็นหลาย ๆ ประเภทหรือ Energy Conservation Measures (ECMs) ที่มีผลต่อการปรับปรุงดังนี้ การปรับปรุงระบบเปลือกอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร เช่นการเพิ่มฉนวน, เปลี่ยนกระจกให้มีคุณสมบัติในการรักษาความเย็น, และการลดการรั่วซึมของอากาศ การปรับปรุงหรือการเปลี่ยนแปลงในระบบไฟฟ้าที่มีผลต่อการใช้พลังงาน เช่นการใช้หลอดไฟ LED หรือการจัดการความสว่างในอาคาร การปรับปรุงหรือการเปลี่ยนแปลงในระบบปรับอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน เช่นการใช้เครื่องปรับอากาศที่มีความสามารถในการทำงานที่สูงและประหยัดพลังงาน การใช้ระบบควบคุมอัจฉริยะเพื่อการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เช่นการใช้ระบบ Building Management System (BMS) การใช้อุปกรณ์เทคโนโลยีใหม่ล่าสุดเพื่อประหยัดพลังงาน เช่นการใช้เครื่องปรับอากาศที่มีความสามารถในการทำงานที่เต็มที่มีประสิทธิภาพสูง การเลือกใช้ ECMs แต่ละประเภทจะขึ้นอยู่กับ

กับหลาย ๆ ปัจจัยเช่นเงินลงทุนเริ่มต้น, ระยะเวลาคืนทุน, ความสะดวกในการปรับปรุงอาคาร, ระยะเวลาในการปรับปรุงอาคาร, และอื่น ๆ โดยทั่วไปแล้ว, ECMs ที่เกี่ยวข้องกับเปลือกอาคารเป็นหนึ่งในแง่มุมที่สำคัญที่สุด เนื่องจากมีผลในการลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร และทำให้อาคารต้องใช้พลังงานในการปรับอากาศลดลง ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงระบบไฟฟ้าสามารถทำได้ อย่างง่ายและมีประสิทธิภาพโดยการใช้หลอดไฟ LED หรือการจัดการความสว่างในอาคารในการปรับปรุงระบบเปลือกอาคารเพื่อป้องกันความร้อนจากภายนอก เราสามารถใช้หลายวิธีและเทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ ดังนี้ การเพิ่มฉนวนที่ผนังและหลังคาจะช่วยลดการสะท้อนความร้อนและการส่งเสียง เพิ่มความดันที่ผนัง และลดการสูญเสียความเย็นในช่วงเวลากลางคืน การใช้กระจก 2 ชั้นที่มีความต้านทานความร้อนสูงซึ่งจะช่วยลดการสะท้อนความร้อนและการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระจก Low-Emissivity หรือ Heat Stop จะช่วยลดการสะท้อนความร้อนและการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการลดการสูญเสียความเย็นในช่วงเวลากลางคืน การปรับปรุงประตูและหน้าต่างเพื่อลดการรั่วซึมของอากาศจะช่วยลดการสูญเสียความเย็นและการถ่ายเทความร้อนออกจากอาคารสำหรับอาคารพาณิชย์ที่มีการใช้พลังงานจำนวนมากในระบบไฟฟ้า เราอาจต้องพิจารณาการปรับปรุงในระบบไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน เช่นการใช้หลอดไฟ LED หรือการจัดการความสว่างในอาคาร ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าได้มาก ในทางกลับกัน การปรับปรุงระบบเปลือกอาคารจะมีผลน้อยลงในอาคารพาณิชย์ เนื่องจากภาระการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าจะมากกว่า แต่ยังคงสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าได้ในบางกรณี ดังนั้น การเลือกปรับปรุง ECMs ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละอาคารจะต้องพิจารณาโดยละเอียดโดยใช้ข้อมูลพื้นฐานที่ได้มาจากการวิเคราะห์และการคาดคะเนอย่างเหมาะสม ผลการปรับปรุงระบบเปลือกอาคารและระบบไฟฟ้าจะมีผลต่อการประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายในระยะยาว อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจเลือกใช้ ECMs ใดๆ ต้องพิจารณาโดยละเอียดเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพอาคารและความต้องการของผู้ใช้งาน และที่สำคัญที่สุดคือการประเมินผลของการปรับปรุงนั้นๆ ตลอดจนการคำนวณระยะเวลาคืนทุนเพื่อตัดสินใจอย่างมั่นใจและเหมาะสมที่สุดในการลงทุนการปรับปรุงในอาคาร การปรับปรุงระบบไฟฟ้าแสงสว่างเป็นวิธีที่มีความง่าย ประหยัด และมีประสิทธิภาพที่สูงในการลดการใช้พลังงาน โดยสามารถทำได้โดยการใช้หลอดไฟ LED ที่มีประสิทธิภาพสูงแทนหลอดไฟแบบเดิม การเปลี่ยนใช้หลอด LED จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างลงได้มาก โดยพลังงานที่ใช้ของหลอด LED น้อยกว่าหลอดไฟแบบเดิม และยังมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า การใช้โคมไฟสะท้อนแสงและการใช้แสงธรรมชาติเป็นวิธีที่เพิ่มความเป็นไปได้ในการปรับปรุงระบบไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้โคมไฟที่สามารถสะท้อนแสงได้จะช่วยลดการใช้งานของหลอดไฟและการใช้พลังงานในการเปลี่ยนแสงในห้อง ส่วนการใช้แสงธรรมชาติ เช่น การให้แสงแดดเข้าสู่อาคาร หรือการใช้

หลอดไฟรุ่นที่มีความสว่างน้อยลงในพื้นที่ที่ไม่จำเป็น เป็นวิธีที่ช่วยลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายในระบบไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ การเปลี่ยนแปลงระบบนั้นจะมีความซับซ้อนและต้องการงบประมาณที่สูงกว่า แต่อาจช่วยลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายในระยะยาว การตรวจสอบสภาพการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ จุดเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน ดังนั้น การเลือกใช้ ECMs ที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาโดยละเอียด โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานที่ได้มาจากการวิเคราะห์และการคาดคะเนอย่างเหมาะสม เพื่อให้การปรับปรุงที่เหมาะสมสามารถช่วยลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่าย

2.5.4 การคำนวณการประหยัดพลังงานและเงิน (Calculation of Energy and Money Savings)

ในการคำนวณค่าการประหยัดพลังงานหลังการปรับปรุงอาคาร (Energy Savings) ค่า Energy Savings ที่ได้จะแสดงถึงปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้หลังจากที่มีการปรับปรุงอาคาร โดยค่านี้สามารถนำมาคำนวณเป็นเงินหรือเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายการปรับปรุงอาคารได้เพื่อประเมินผลลัพธ์ทางการเงินของการปรับปรุงอาคารในระยะยาวโดยละเอียดยิ่งขึ้น การตรวจสอบค่าการประหยัดพลังงานหลังการปรับปรุงอาคารเป็นขั้นตอนสำคัญในการปรับปรุงสถานที่ให้เหมาะสมและเพื่อสร้างความสุขสมบูรณ์ให้กับผู้ใช้สิ่งอำนวยความสะดวกในอาคารดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Saving (kWh)} = \text{Pre-Retrofit Baseline Use (kWh)} - \text{Post-Retrofit Consumption (kWh)} \quad (2.2)$$

จากสมการ (2.2) จะเห็นว่าต้องเมื่อต้องการคำนวณค่าการประหยัดพลังงานในหน่วยการใช้ไฟฟ้า (kWh) จริงๆ และต้องพิจารณาค่าไฟฟ้าแบบ Progressive Rate และ Demand Charge ด้วย กระบวนการจะมีความซับซ้อนขึ้นเล็กน้อย ดังนี้ ใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์หาค่าพื้นฐานการใช้พลังงานของอาคารก่อนการปรับปรุง (Pre-Retrofit) โดยแปลงอัตราการใช้ไฟฟ้าให้อยู่ในหน่วย kWh ตามอัตราค่าไฟฟ้าแต่ละเขตหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง นำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าหลังการปรับปรุง (Post-Retrofit) และแปลงให้อยู่ในหน่วย kWh ตามอัตราค่าไฟฟ้าแต่ละเขตหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง นำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าหลังการปรับปรุง (Post-Retrofit) และแปลงให้อยู่ในหน่วย kWh ตามอัตราค่าไฟฟ้าแต่ละเขตหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง ใช้สูตร Energy Savings = Pre-Retrofit Baseline Use - Post-Retrofit Consumption เพื่อหาปริมาณการใช้พลังงานที่ประหยัดได้หลังการปรับปรุง ใช้ข้อมูลของอัตราค่าไฟฟ้าแต่ละช่วงของ Pre-Retrofit Baseline Use และ Post-Retrofit Consumption เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายของแต่ละช่วง และหักกลับกันเพื่อหาค่า Saving ที่แท้จริง ใช้ข้อมูลของอัตราค่าไฟฟ้าแต่ละช่วงของ Pre-Retrofit Baseline Use และ Post-Retrofit Consumption เพื่อ

คำนวณค่าใช้จ่ายของแต่ละช่วง และหักลบกันเพื่อหาค่า Saving ที่แท้จริง หาก Baseline การใช้พลังงานได้มาจาก Calibrated CBES หรือหากต้องการคำนวณค่า Saving ที่แท้จริงโดยการพิจารณาสภาพอากาศภายนอก เราจะต้องใช้อุณหภูมิอากาศของช่วง Post-Retrofit ในการคำนวณ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณค่า Saving ที่แท้จริงจากข้อมูลที่ได้จะช่วยลดความผิดพลาดและเพิ่มความแม่นยำในการประเมินผลลัพธ์ได้มากขึ้น การปรับปรุงข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกและการคำนวณค่า Saving ที่ถูกต้องจะช่วยให้ค่า Energy Savings ที่ได้มีความแม่นยำและใช้ในการตัดสินใจเลือกหรือพัฒนาวิธีการปรับปรุงอาคารในอนาคต

2.5.5 การว่าจ้างอย่างต่อเนื่อง (Continuous Commissioning)

การทำ Commissioning (CC) เป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้อาคารรักษาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเนื่อง โดยทำให้ระบบต่างๆในอาคารทำงานอย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา ซึ่งการทำ CC แบบเต็มรูปแบบจะมีความซับซ้อนมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการทำ Audit แบบ Walk-Through หรือ Utility Cost Analysis ทั่วไป ขั้นตอนที่สำคัญในการทำ Continuous Commissioning (CC) คือ การทำการประเมินสภาพอาคารเพื่อทราบถึงปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน เช่น ระบบทำความเย็น ระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ เป็นต้น ตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบต่างๆในอาคารเพื่อให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา การตรวจสอบ การทำความสะอาด การทดสอบการทำงาน และการปรับปรุงระบบ วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการทำงานของระบบต่างๆ เพื่อจัดการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพปรับปรุงระบบต่างๆ ตามความจำเป็นและข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ จากนั้นทดสอบการทำงานของระบบเพื่อตรวจสอบว่ามีการปรับปรุงที่เหมาะสมหรือไม่ รายงานผลการทำงานและประสิทธิภาพของระบบต่างๆ ในอาคาร เพื่อให้ผู้จัดการทราบถึงผลการปรับปรุงและการใช้พลังงาน การทำ Continuous Commissioning (CC) จะช่วยให้อาคารรักษาสภาพการประหยัดพลังงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องพึ่งพาการ Audit แบบเต็มรูปแบบทุกครั้ง และสามารถช่วยป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการดูแลไม่ทั่วถึงในอนาคต การใช้วิธีนี้อาจช่วยลดการสูญเสียพลังงานได้ถึง 40% เหมือนกับการทำ CC ที่ Texas A&M University ได้พบเอาไว้แล้ว และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งบประมาณและแรงงานในการบริหารการใช้พลังงานในอนาคตได้ด้วย

2.6 ระบบปรับอากาศกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

ในภาคพาณิชย์กรรมในประเทศไทย เราสามารถแยกการใช้ไฟฟ้าได้เป็นสามประเภทหลัก คือ อาคารพาณิชย์เป็นส่วนใหญ่ของการใช้ไฟฟ้าในภาคพาณิชย์กรรม โดยภายในอาคารพาณิชย์เช่น ห้างสรรพสินค้า โรงแรม หรือสำนักงาน มักมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นและปรับอากาศ

เป็นส่วนใหญ่ เพื่อให้ผู้ใช้บริการรู้สึกสะดวกสบายและเพื่อความพอใจของลูกค้า ในอุตสาหกรรม การใช้ไฟฟ้ามักเกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิต โรงงานและโรงงานผลิตจะใช้ไฟฟ้าเป็นหลัก เพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพื่อการผลิตในระดับที่สูง การใช้ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารที่ใช้เพื่อการอยู่อาศัย เช่น บ้าน อพาร์ทเมนต์ หรือคอนโดมิเนียม การใช้ไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยมักเน้นไปที่การใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ และใช้ไฟฟ้าในการใช้งานประจำวัน เช่น ไฟสว่าง ตู้เย็น และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ อย่างไรก็ตาม ในภาคพาณิชย์กรรม การใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศในอาคารพาณิชย์เป็นจุดที่มีศักยภาพในการประหยัดพลังงานอย่างมาก เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นและปรับอากาศมักเป็นส่วนใหญ่ของการใช้พลังงานทั้งหมดในอาคาร ดังนั้น การปรับปรุงระบบปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงและการใช้พลังงานต่ำเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ดูแลอาคารพาณิชย์ควรพิจารณาอย่างสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานในอาคาร การปรับอากาศในอาคารมีจุดประสงค์ที่สำคัญดังนี้ เพื่อให้มีความสบายและประสิทธิภาพในการทำงาน และกิจกรรมอื่นๆ ในอาคาร เพื่อให้มีความสบายและประสิทธิภาพในการทำงาน และกิจกรรมอื่นในอาคาร เพื่อปรับปรุงสภาพอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งานและประสิทธิภาพของการทำงานของอุปกรณ์ภายในอาคาร เพื่อให้มีการกระจายอากาศและการหมุนเวียนที่เหมาะสมในพื้นที่ต่างๆ ของอาคาร เพื่อให้มีอากาศที่สะอาดและปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งานในอาคาร เพื่อลดระดับเสียงที่เกิดขึ้นจากระบบปรับอากาศและเครื่องปรับอากาศในอาคาร เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เงียบสงบและสะดวกสบายในการทำงานและใช้ชีวิตประจำวันในอาคาร

2.6.1 หลักการทำความเย็น

วัฏจักรการทำความเย็นโดยการกดดันไอเป็นกระบวนการที่ใช้กับระบบปรับอากาศหรือระบบทำความเย็นเพื่อเพิ่มความหนาแน่นและความร้อนในไอ ประกอบด้วย

1) เครื่องอัดแรงอัดทำงานบนไอที่ถูกดึงเข้าสู่ระบบอัดอากาศ ซึ่งจะทำให้ความดันและอุณหภูมิของไอเพิ่มขึ้น

2) เครื่องควบแน่น

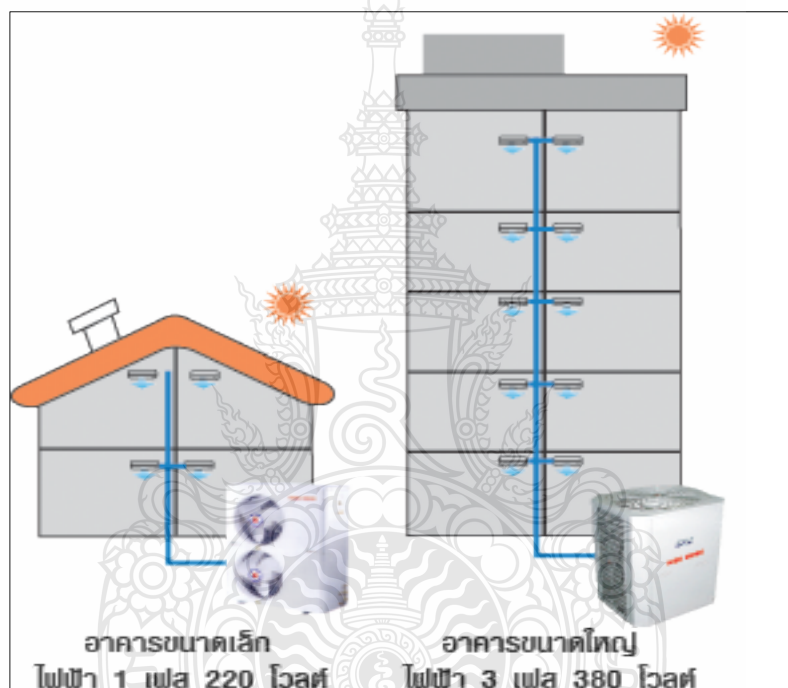
3) วาล์วขยายตัว กระบวนการลดความดันของไอที่มีอุณหภูมิต่ำลงโดยเปิดทางออกให้ไอขยายตัว ทำให้ความดันลดลงตามกฎของบอยล์-ชาร์ลส์

4) เครื่องระเหย (Evaporator)

ขั้นตอนของวัฏจักรการทำความเย็น การทำความเย็นในระบบที่คุ้นเคยเป็นที่นิยมในระบบทำความเย็นที่ใช้ในอุตสาหกรรมและในเครื่องปรับอากาศทั่วไป สารทำความเย็นมีสถานะเป็นไออิ่มตัวและมีความดันต่ำ เมื่อสารทำความเย็นนี้ได้รับความร้อนและความดันของมันเพิ่มขึ้น เริ่มอัดด้วยเครื่องอัดเพื่อเพิ่มความดันและอุณหภูมิของไอที่เป็นผลลัพท์ สารทำความเย็นมีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวด

และมีความดันสูงและอุณหภูมิสูง เมื่อผ่านเครื่องควบแน่น ที่จุดนี้เริ่มมีการเปลี่ยนสภาพเป็นของเหลวที่มีความดันคงที่ สารทำความเย็นมีสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัวที่มีความดันสูงเมื่อผ่านวาล์วขยายตัว ที่จุดนี้ สารทำความเย็นมีความคงที่และอุณหภูมิสูง สารทำความเย็นมีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ และเริ่มกลายสภาพเป็นไอเมื่อผ่านเข้าไปในเครื่องระเหย ที่เครื่องระเหยสารทำความเย็นจะรับความร้อนและกลายเป็นไออิ่มตัวที่จุด 1 วัฏจักรการทำความเย็นดำเนินไปเช่นนี้ซ้ำต่อเนื่องเพื่อสร้างกระบวนการทำความเย็นที่เกิดขึ้นในระบบอากาศคอนเดนเซอร์, ห้องแช่เย็น, หรือเครื่องปรับอากาศอื่น

2.6.2 ชนิดของเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 2.5 ชนิดของเครื่องทำความเย็นสำหรับอาคาร [31]

เครื่องปรับอากาศที่ใช้แพร่หลายในประเทศไทย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่

1) เครื่องปรับอากาศแบบใช้น้ำเย็น (Chilled Water System)

เครื่องปรับอากาศแบบใช้น้ำเย็น (Chilled Water System) เป็นเครื่องปรับอากาศที่ใช้น้ำเย็นเป็นตัวกลาง ในการถ่ายเทความร้อนอีกทอดหนึ่ง ในระบบจะต้องมีเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เพื่อทำน้ำเย็นก่อน แล้วจึงใช้เครื่องสูบน้ำจ่ายน้ำเย็นหมุนเวียนในระบบ เพื่อทำความเย็นให้แก่ส่วนต่างๆ ภายในอาคาร เครื่องปรับอากาศแบบใช้น้ำเย็นยังแบ่งออกได้เป็น

1.1) เครื่องปรับอากาศส่วนกลาง (Central Air Conditioner) เป็นระบบที่ใช้ในการปรับอุณหภูมิและความชื้นในอากาศของอาคารทั้งหมดจากระยะไกลเดียว โดยการรวบรวมอากาศจากหลายจุดในอาคารแล้วส่งผ่านระบบท่อไปยังเครื่องปรับอากาศใหญ่ ซึ่งจะทำการตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ระดับความสะอาด และระบายอากาศที่มีเชื้อเพลิงออกไปนอกอาคารเพื่อทำให้อากาศภายในอาคารมีคุณภาพที่ดี โดยทั่วไปแล้ว เครื่องปรับอากาศส่วนกลางประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศส่วนกลางมีความสามารถในการปรับและควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในอาคารให้มีคุณภาพดี

1.2) เครื่องขดท่อและพัดลม (Fan Coil Unit - FCU) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบปรับอากาศส่วนตัวในอาคารหรือพื้นที่เล็ก ๆ โดยส่วนใหญ่มักใช้ในอาคารที่มีขนาดเล็กถึงกลาง เช่น ห้องพักโรงแรม ห้องออฟฟิศ ห้องประชุม หรือห้องสมุด เครื่องขดท่อและพัดลมสามารถทำหน้าที่เพิ่มหรือลดอุณหภูมิของอากาศในห้องโดยใช้การไหลของน้ำที่มีอุณหภูมิต่าง ๆ ผ่านท่อที่หนึ่งมาเย็นหรือทำความร้อนได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน FCU มักจะถูกติดตั้งบนฝ้าห้อง ซึ่งส่งผลให้มีความคมชัดและสว่างในการใช้งาน และมีขนาดเล็กกระทัดรัด ทำให้เป็นที่นิยมในการใช้ในอาคารที่มีขนาดเล็กถึงกลาง

2) ระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียว (Unitary Air Conditioning System)

ระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียว (Unitary Air Conditioning System) เป็นระบบที่ใช้ในการปรับอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในอาคารโดยใช้อุปกรณ์ที่ติดตั้งในหนึ่งหรือหลายห้องเพียงหนึ่งเคาะที่ ระบบนี้มักจะใช้สำหรับอาคารที่มีขนาดเล็กถึงขนาดกลาง เช่น อพาร์ตเมนต์ บ้านพักอาศัย ห้องโรงแรม ห้องประชุม ห้องสำหรับงานสำนักงาน เป็นต้นแบ่งได้เป็น 4 ประเภท

- 1) เครื่องปรับอากาศแบบชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ
- 2) เครื่องปรับอากาศแบบชุดระบายความร้อนด้วยอากาศ
- 3) เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน
- 4) เครื่องปรับอากาศแบบติดตั้งต่าง

เครื่องทำความเย็นที่ประกอบในเครื่องสามารถมีแบบควบแน่นระบายความร้อนด้วยน้ำหรือด้วยอากาศได้ ตามลักษณะการใช้งานและการติดตั้งของระบบที่ต้องการ การเลือกใช้ระบบการระบายความร้อนด้วยน้ำหรืออากาศขึ้นอยู่กับเงื่อนไขและข้อจำกัดของสถานที่ ความต้องการในการประหยัดพลังงาน และเป้าหมายทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการ

2.6.3 เครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller)

เครื่องทำน้ำเย็น สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ

- 1) เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller)

ในเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนทิ้งจากเครื่องควบแน่น มีอุปกรณ์หลายชนิดที่มีบทบาทสำคัญโดยทั่วไปแล้ว เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศมักมีการติดตั้งที่ตึกหลักหรือสถานที่ที่มีพื้นที่จำกัด และมักมีการติดตั้งที่ตึกขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถใช้น้ำที่มีคุณภาพดีได้หรือไม่มีที่สำหรับห่อหุ้มน้ำอย่างเหมาะสม การใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบนี้จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในสถานที่เหล่านี้โดยเฉพาะในสถานที่ที่อากาศร้อนโดยตลอดทั้งปีที่ไม่ฤดูฝน หรือสำหรับการใช้ในสถานที่ที่มีความต้องการในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในอากาศอย่างสูง เช่น โรงงาน ห้องควบคุมคุณภาพอากาศ หรือห้องควบคุมการผลิตและการเก็บรักษาที่ต้องการอุณหภูมิและความชื้นที่คงที่ ดังนี้

1.1) เครื่องทำความเย็นประกอบด้วยเครื่องอัด ซึ่งมักจะเป็นเครื่องแบบลูกสูบ (Reciprocating Compressor) เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ พัฒลระบายความร้อนจากเครื่องควบแน่นพร้อมมอเตอร์ อุปกรณ์ลดความดันและอุปกรณ์ทำน้ำเย็น (Water Cooler) ซึ่งมักเป็นแบบถังและท่อ (Shell and Tube)

1.2) เครื่องส่งลมเย็นแบบใช้น้ำเย็น (Chilled Water Air Handling Unit หรือ Fan Coil Unit) เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการปรับสภาพอากาศภายในอาคารหรือพื้นที่ปรับอากาศ เพื่อให้ได้สภาพอากาศที่ต้องการในอาคารหรือพื้นที่นั้นๆ โดยระบบน้ำเย็นที่ใช้ในเครื่องนี้จะมีหน้าที่ในการลดอุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านเครื่องนี้ โดยใช้น้ำที่ผ่านการทำความเย็น (chilled water) เป็นสื่อในการลดอุณหภูมิ

1.3) เครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled Water Pump) เป็นส่วนสำคัญของระบบปรับอากาศแบบใช้น้ำเย็น เนื่องจากมีหน้าที่ในการสร้างแรงดันให้น้ำเย็นไหลผ่านท่อไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ เช่น เครื่องปรับอากาศและเครื่องทำความเย็น และนำน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นกลับไปยังเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อให้เกิดกระบวนการทำความเย็นอีกครั้ง การใช้เครื่องสูบน้ำเย็นจึงมีความสำคัญในการรักษาประสิทธิภาพและประสิทธิผลของระบบปรับอากาศแบบใช้น้ำเย็นให้มีประสิทธิภาพในการทำงานได้ดีที่สุด

เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ มีอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นนั้นมีผลต่อความมีประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายในการใช้งาน โดยทั่วไปแล้ว เครื่องทำน้ำเย็นที่มีอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าจะมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีกว่าและมีค่าใช้จ่ายในการใช้งานที่น้อยลงของอุปกรณ์แต่ละตัวดังนี้

- เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงาน โดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 80-85 ของกำลังที่ใช้

- เครื่องสูบน้ำเย็นใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้แรงดันในการส่งน้ำเย็นไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ โดยค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำเย็นจะขึ้นอยู่กับขนาดและประสิทธิภาพของเครื่อง

- พัฒลระบายความร้อนจากเครื่องควบแน่นมีหน้าที่ในการเพิ่มการไหลของอากาศผ่านท่อระบายความร้อนที่อยู่ภายในเครื่องควบแน่น (condenser) เพื่อช่วยในการลดอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการทำความเย็น เครื่องลมนี้อาจจะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก และมักจะใช้เครื่องระบายความร้อนที่มีขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถระบายความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพได้

- เครื่องส่งลมเย็นมักถูกใช้ในอาคารที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เช่น โรงแรม อาคารสำนักงาน ห้องประชุม หรือสถานที่อื่นที่ต้องการสภาพอากาศที่คงที่และสะดวกสบาย

2) เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller)

เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้จะใช้น้ำเป็นตัวกลาง เพื่อถ่ายเทความร้อนทิ้งจากเครื่องควบแน่น ระบบปรับอากาศแบบนี้จะใช้พลังงานโดยรวมต่ำกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ แต่มีค่าลงทุนที่สูงกว่า และต้องมีน้ำเพียงพอ และมีคุณภาพเหมาะสมกับการนำมาเติมที่หอผึ่งน้ำ ในระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็น แบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะประกอบด้วยอุปกรณ์ ดังนี้

2.1) เครื่องทำความเย็นประกอบด้วยเครื่องอัด ซึ่งมักจะเป็นเครื่องแบบลูกสูบ หรือแบบหอยโข่ง (Centrifugal Compressor) เครื่องควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ" (Shell and Tube Condenser) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทำความเย็น เครื่องนี้มักถูกใช้ในระบบทำความเย็นที่ใช้น้ำเย็นเป็นสื่อ การทำงานของเครื่องนี้คือการระบายความร้อนของไอเย็นที่ได้รับจากอุปกรณ์ทำความเย็น (เช่น คอมเพรสเซอร์) ให้ออกมาผ่านการไหลของน้ำที่เย็นลง

2.2) เครื่องส่งลมเย็นแบบใช้น้ำเย็น

2.3) เครื่องสูบน้ำเย็น

2.4) เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น (Condenser Water Pump) หน้าที่สำคัญของเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นคือการสร้างการหมุนเวียนของน้ำหล่อเย็นในระบบ เพื่อให้การระบายความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ น้ำหล่อเย็นที่มีความร้อนถูกส่งเข้าไปที่หอผึ่งน้ำหรือ cooling tower เพื่อทำให้น้ำหล่อเย็นสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศร้อนที่ถูกนำออกจากเครื่องควบแน่นได้ จากนั้นน้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำลงก็จะถูกส่งกลับมาใช้งานใหม่

2.5) หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการลดความร้อนของน้ำหล่อเย็น โดยการใช้การระเหยน้ำไปในอากาศ เพื่อให้น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิต่ำลง ซึ่งจะช่วยให้น้ำหล่อเย็นมีคุณภาพที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำกลับมาใช้ในระบบปรับอากาศ การเลือกใช้ Cooling Tower ในระบบปรับอากาศช่วยลดการสูญเสียน้ำและการใช้พลังงานในการทำ ความเย็นของอาคารได้ในขณะเดียวกัน เพราะน้ำที่เครื่องทำความเย็นได้มีอุณหภูมิต่ำลงจากการผ่าน Cooling Tower และ

สามารถนำกลับมาใช้ได้ อีก การที่อุณหภูมิของอากาศมีค่าต่ำ เช่น ในช่วงเวลาที่มีอากาศเย็น จะช่วยให้การระเหยน้ำใน Cooling Tower เกิดขึ้นได้มากขึ้น เนื่องจากอากาศที่เย็นจะสามารถรับความร้อนจากน้ำได้ดีกว่า ซึ่งจะทำให้น้ำที่ไต่ผ่าน Cooling Tower มีอุณหภูมิที่ต่ำลง และน้ำหล่อเย็นที่ได้จะมีคุณภาพที่ดีมากขึ้น ดังนั้นการติดตั้ง Cooling Tower ในระบบปรับอากาศช่วยลดการใช้พลังงานและการสูญเสีย น้ำในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า

2.6.4 ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น

การแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น สามารถแสดงได้โดย

1) สัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพในการทำงาน (Coefficient of Performance : COP) เป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดความเย็นหรือระบบทำความเย็น โดยการแสดงอัตราส่วนระหว่างความเย็นที่ได้ (หรือความเย็นที่เครื่องสามารถสร้างขึ้น) ต่อพลังงานที่ต้องใช้ (ซึ่งบ่งบอกถึงค่าพลังงานที่เครื่องใช้) ในทางทฤษฎี COP สามารถเป็นค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 โดยมีค่ามากขึ้นเท่ากับประสิทธิภาพของระบบการทำความเย็นที่ดีขึ้น การทำงานเป็นการถ่ายเทความร้อนจากพื้นที่เย็นไปยังพื้นที่ร้อน ทำให้มีความสามารถในการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากกว่า 1 ในบางกรณี COP อาจสูงถึง 5 หรือมากกว่านั้น เช่น COP ของระบบทำความเย็นแบบปรับความดันในระบบ (Vapor Compression Refrigeration System) อาจมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3-5 ทำให้มีประสิทธิภาพสูงในการใช้งานและประหยัดพลังงานมากขึ้น

2) อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio : EER) คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ระบบทำความเย็นสามารถสร้างได้ต่อพลังงานที่ใช้ (ซึ่งในกรณีนี้เป็นพลังงานไฟฟ้า) มีหน่วยเป็น BTU/hr/W (British Thermal Units per hour per Watt) ค่าที่มากขึ้นจะแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นของระบบทำความเย็นในการทำงาน เนื่องจากการสร้างพลังงานความเย็นมากขึ้นต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เป็นตัวบ่งชี้ว่าระบบทำความเย็นมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน สำหรับค่า EER ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 10 จะถือว่าเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง และมีความสามารถในการประหยัดพลังงานมากขึ้น ซึ่งเป็นที่นิยมในระบบทำความเย็นที่ใช้ในอุตสาหกรรมและอาคารชุมชน

2.6.5 การประหยัดพลังงานที่ใช้ในเครื่องทำน้ำเย็น

เครื่องทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดในระบบทำความเย็น ดังนั้นจึงควรพยายามหาวิธีการลดพลังงานในส่วนนี้ ซึ่งจะทำให้สามารถประหยัดได้เป็นปริมาณมาก วิธีการมาตรฐานที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นมี 4 วิธี ดังนี้

1) การปรับตั้งอุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น จะมีผลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก ในบางอาคารที่ปรับตั้งค่าอุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นไว้ต่ำเกินไป

สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเย็นขึ้นได้ โดยไม่กระทบต่อสภาพของห้องต่างๆ ในอาคารมากนัก การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเย็นขึ้น 1 องศาฟาเรนไฮต์ จะทำให้พลังงานที่ใช้ในเครื่องทำน้ำเย็นลดลงร้อยละ 1.5 - 2

2) การลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เข้าสู่ Condenser จาก Cooling Tower สามารถช่วยประหยัดพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้ โดยที่ประสิทธิภาพการทำงานของระบบทำน้ำเย็นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เข้าสู่ Condenser ต่ำลง ซึ่งสามารถปรับให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้ผ่านการปรับความสูงของ Cooling Tower หรือการใช้เทคโนโลยีที่ช่วยลดอุณหภูมิน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ใช้พัดลมหรือการใช้ระบบหัวหินลม (wet bulb) ในการทำน้ำหล่อเย็น การลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เข้าสู่ Condenser จะช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นเนื่องจากทำให้อุณหภูมิที่ Condenser ต่ำลง ซึ่งทำให้ระบบทำน้ำเย็นทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และลดการใช้พลังงานที่เกินจำเป็นในการทำความเย็น

3) การควบคุมความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อไม่ให้เกินไปเป็นเรื่องสำคัญเพื่อป้องกันการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินจำเป็นและลดค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้า ดังนี้

- การตั้งค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Electric Demand): ปรับตั้งค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นให้เหมาะสมกับความต้องการการใช้งาน โดยการกำหนดค่าให้สูงพอเหมาะกับการทำงานปกติของเครื่อง แต่ไม่สูงเกินไปที่จะทำให้เกิดค่า Demand Charge สูงขึ้นในบิลไฟฟ้า

- การควบคุมการทำงาน: ใช้ระบบควบคุมเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นให้ทำงานในระดับที่เหมาะสมตามความต้องการ และปรับความสูงของการทำงานในกรณีที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้น เช่น การควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นในระบบ

4) การจัดตารางเดินเครื่องให้เหมาะสมกับภาระการใช้พลังงานและความต้องการความเย็นของอาคารอาจทำได้โดยการปฏิบัติตามขั้นตอน ศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการความเย็นของอาคารในระยะยาวและระยะสั้น โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อความร้อนภายในอาคาร เช่น ฤดูกาล ระยะเวลา และกิจกรรมภายในอาคาร สร้างตารางเดินเครื่องที่เหมาะสมกับความต้องการความเย็นของอาคาร โดยให้คำนึงถึงฤดูกาลและเวลาที่ภาระการใช้พลังงานสูงที่สุด ในการกำหนดตารางเดินเครื่องควรพิจารณาถึงปัจจัยเช่น อุณหภูมิภายนอก กิจกรรมภายในอาคาร ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติหรือระบบควบคุมด้วยมือเพื่อปรับความต้องการความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งานของอาคาร ตรวจสอบและปรับปรุงตารางเดินเครื่องตามความต้องการและเงื่อนไขใหม่ที่เกิดขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานและความต้องการความเย็นของอาคารในขณะนั้น ดูแลรักษาและบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำเย็นอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต อบรมพนักงานในการดูแลรักษาและการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นอย่าง

ถูกต้อง เพื่อให้พนักงานมีความเข้าใจและมีความสามารถในการจัดการปรับแต่งตารางเดินเครื่องให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งาน [31]

การเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้งานดังแสดงในสมการที่ (2.3) เพื่อทำการลดค่าพลังงานและแสดงปริมาณค่าความเข้มของแสง ปริมาณการใช้งานที่จะแสดงจากค่าที่มีค่าน้อยไปจนถึงค่ามาก เพื่อแสดงระดับความสำคัญของการใช้งาน ในช่วงเวลาที่กำหนด

$$\text{Minimize OF} = \sum_{t=1}^T \sum_{l=1}^L \text{Priority}_{(l,t)} \times P_{(l,t)} \quad (2.3)$$

สมการ (2.4) แสดงการลดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการของ ระบบในแต่ละช่วงเวลาสามารถปรับเปลี่ยนได้หลายลักษณะและการใช้งานให้เหมาะสม เช่น ราคาไฟฟ้า การผลิตไฟฟ้า และผู้ใช้

$$\begin{aligned} \sum_{l=1}^L P_{(l,t)} &= RR_{(t)} \\ \forall t \in \{1, \dots, T\} \end{aligned} \quad (2.4)$$

สมการ (2.5) แสดงการจำกัดการลดกำลังไฟฟ้าของระบบแสงสว่างในแต่ละดวงและที่ละรายการโดย PRR ซึ่งกำหนดไว้เพื่อหลีกเลี่ยงการลดปริมาณทางไฟฟ้ามากเกินไปและสามารถรักษาความสะดวกสบายของผู้ใช้ เพื่อให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของ PRR ได้ ส่วนผลลัพธ์ จากการลดกำลังไฟฟ้าทั้งหมดของระบบแสงสว่างในทุกช่วงเวลาแต่ต้องไม่เกินค่าที่กำหนด โดย PRR สามารถทำการลดกำลังไฟฟ้าให้เกิดความสมดุลได้หลายวิธี เช่น พลังงานของเวลาสามารถจำกัดการลดพลังงานได้ของแสงบางดวงในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น นอกเหนือจากการตั้งค่าไฟแต่ละดวงแล้วแสงสว่างที่จำเป็นสำหรับผู้ใช้สามารถปรับได้เองอีกด้วย

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^T P_{(l,t)} &= PRR_{(l)} \times \sum_{t=1}^T \text{init. } P_{(l,t)} \\ \forall l \in \{1, \dots, L\} \end{aligned} \quad (2.5)$$

สมการ (2.6) แสดงการตั้งค่าแสงสว่างตามที่ต้องการในห้องโดยมีการจำกัดการลดพลังงานพลังงานใน สมการ (2.6) แสดงให้ทราบถึงการใช้งานระบบแสงสว่างอย่างเพียงพอ แม้ว่าจุดประสงค์ของอัลกอริทึมคือ การใช้งานของไฟทุกดวงต้องเป็นไปตามเงื่อนไข และ ควรคำนึงถึงการลดกำลังไฟฟ้าง่ายอย่างต่อเนื่องตามช่วงเวลา แต่อาจจะสร้างความรำคาญให้กับผู้ใช้ได้เพราะผู้ใช้อาจรู้สึกได้ว่า การลดค่าแสงสว่างเป็นระยะเวลาติดต่อกันหลายช่วง

$$\begin{aligned} \sum_l P_{(l,r,t)} &= \text{MaxRed}_- R_{(l,r,t)} \times \sum_l \text{init. } P_{(l,r,t)} \\ \forall r &\in \{1, \dots, R\} \\ \forall t &\in \{1, \dots, T\} \end{aligned} \quad (2.6)$$

สมการ (2.7) เป็นการป้องกันการลดกำลังไฟฟ้าจากไฟบางดวงติดต่อกันและไฟทั้งหมดที่มีส่วนร่วมในอัลกอริทึม หมายความว่าอัลกอริทึมใช้ไฟเพื่อลดการลดพลังงานที่ต้องการช่วงเวลาสั้นๆ จากนั้นจึงสามารถปรับแสงให้เหมาะสมในช่วงเวลาหนึ่งได้ทดแทนไฟดวงอื่นในช่วงเวลาต่างๆ กัน เพื่อป้องกันการลดกำลังของแสงสว่างในบางดวงเป็นเวลาหลายชั่วโมง ข้อจำกัดที่อ้างอิงทั้งหมดถูกกำหนดไว้เพื่อให้เกิดความสมดุลการลดพลังงานของไฟทั้งหมดและความเคารพต่อผู้ใช้

$$\begin{aligned} P_{(l,t)} + P_{(l,t-1)} &\leq \text{MaxRed}_- T \\ \forall l &\in \{1, \dots, L\} \\ \forall t &\in \{2, \dots, T\} \end{aligned} \quad (2.7)$$

2.7 การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง

ในการจัดการประหยัดพลังงานของระบบแสงสว่างในศตวรรษที่ 21 นี้ มีหลายวิธีที่นำมาใช้เพื่อลดการใช้พลังงาน ดังนี้ หลอดไฟ LED มีประสิทธิภาพสูงและใช้พลังงานน้อยกว่าหลอดไฟฟ้าแบบเดิม ทำให้เป็นทางเลือกที่ดีในการลดการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง การใช้ระบบแสงสว่างอัจฉริยะที่สามารถปรับความสว่างตามความเข้มของแสงธรรมชาติและความต้องการการใช้งาน เช่น ระบบเซ็นเซอร์การตรวจจับการเคลื่อนไหวหรือระบบควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ต การใช้ระบบควบคุมแสงที่สามารถปรับความสว่างและการเปิด-ปิดไฟได้อัตโนมัติตามเวลาหรือเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ใช้เซ็นเซอร์แสงหรือตารางเวลา การออกแบบระบบแสงให้เหมาะสมกับการใช้งานและการประหยัดพลังงาน โดยใช้วิธีการเลือกใช้แสงธรรมชาติให้เป็นหลักและออกแบบห้องให้มีการกระจายแสงที่เหมาะสม การรักษาความสะอาดของหลอดไฟและอุปกรณ์ระบบแสงสว่าง เช่น การเปลี่ยนหลอดไฟที่เสื่อมสภาพ สามารถช่วยลดการใช้พลังงานและเพิ่มอายุการใช้งานของระบบได้ การนำเทคโนโลยีแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพมาใช้ให้เหมาะสมสามารถช่วยลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นในภาคอุตสาหกรรมและการพาณิชย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.6 ระบบแสงสว่างในอาคาร [32]

2.7.1 การทำความเข้าใจกับพื้นที่ที่จะให้แสงสว่าง

1) ปริมาณแสง (Luminous Flux) คือปริมาณแสงทั้งหมดที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสง มีหน่วยเป็นลูเมน (lm)

2) ความส่องสว่าง (Illuminance) คือความส่องสว่าง (Illuminance) เป็นปริมาณของแสงที่ตกกระทบพื้นผิวหนึ่งๆ โดยมีหน่วยเป็น lux (ลักซ์) หรือ foot-candle (ฟุต-แคนเดิล) โดยค่าของความส่องสว่างจะถูกวัดตามจำนวนของแสงที่เข้าสู่พื้นที่ตามหน่วยพื้นที่ (ตารางเมตรหรือตารางฟุต) การวัดความส่องสว่างเป็นวิธีหนึ่งในการประเมินระดับความสว่างในพื้นที่ต่างๆ เช่น สำนักงาน โรงงาน หรือ บ้าน ซึ่งช่วยให้เราทราบว่ามีความพอเพียงและเหมาะสมสำหรับการใช้งานแต่ละประเภทหรือไม่

3) ความเข้มแสง (Luminous Intensity) คือเป็นปริมาณของแสงที่ส่งออกมาจากแหล่งกำเนิดในทิศทางหนึ่ง โดยวัดเป็นจำนวนเท่าของความเข้มที่ได้จากเทียนไข 1 เล่ม หน่วยของความเข้มแสงคือ แคนเดลา (candela : cd) โดยหน่วยนี้หมายถึงแสงที่ส่งออกมาจากแหล่งกำเนิดในทิศทางหนึ่ง และมีความสามารถในการส่งแสงออกไปยังทิศทางอื่นด้วย

4) ความสว่าง (Luminance) คือเป็นค่าที่บอกปริมาณแสงที่สะท้อนออกมาจากพื้นผิวใด ๆ ในทิศทางใด ๆ มันบ่งบอกถึงความสว่างที่เรามองเห็นจากแหล่งแสงโดยตรงหรือจากการสะท้อนของแสงจากพื้นผิว

5) ประสิทธิภาพแสง (Light Efficiency) แสดงถึงประสิทธิภาพของหลอดไฟ โดยมีหน่วยเป็น lumen per watt (lm/W) หรือ lm/W ค่าประสิทธิภาพแสงสูงแสดงให้เห็นว่าหลอดไฟ

สามารถสร้างแสงได้มากโดยใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงเล็กน้อย นั่นหมายความว่าหลอดไฟนั้นมีประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นแสงไฟที่สูง

6) อุณหภูมิสีของแสง (Color Temperature) หมายถึงลักษณะทางสีของแสงที่สามารถระบุได้โดยอุณหภูมิ หน่วยของอุณหภูมิสีของแสงเรียกว่าเคลวิน (Kelvin : K) โดยเมื่อมีค่าเคลวินต่ำลง แสงจะมีลักษณะทางสีที่อ่อนโยน และมีโทนสีออกมาในเหลืองหรือแดง ในขณะที่เมื่อมีค่าเคลวินสูงขึ้น แสงจะมีลักษณะทางสีที่เข้มและคล้ายสีขาวมากขึ้น

ตารางที่ 2.6 ชนิดของหลอดที่ให้อุณหภูมิสี และสีของแสงต่างๆ กัน

อุณหภูมิสี (K)	สีของแสง	ตัวอย่าง
น้อยกว่า 3,000 K	วอร์มไวต์ (Warm White)	หลอดอินแคนเดสเซนต์ หลอดฟลูออเรสเซนต์
3,000-4,000 K	ไวท์/คูลไวท์ (White/Cool White)	หลอดฮาโลเจน หลอดฟลูออเรสเซนต์
มากกว่า 4,000 K	เดย์ไลท์ (Daylight)	แสงจากดวงอาทิตย์ หลอดฟลูออเรสเซนต์

ตารางที่ 2.7 แสดงหลอดไฟฟากลุ่มต่าง ๆ กับประสิทธิภาพทางแสงของการส่องสว่าง

ประเภทหลอด	ลูเมนต่อวัตต์	อุณหภูมิสี (K)	ดัชนีการเปล่งสี	อายุการใช้งาน (ชม.)
หลอดไส้ทั้งสแตน ฮาโลเจน	6-23	2,400-3,100	98-100	750-8,000
ฟลูออเรสเซนต์	25-84	2,700-6,500	55-95	5,000-20,000
หลอดไอปรอท	30-63	3,300-5,900	22-52	16,000-24,000
ความดันสูง				
เมทัลฮาไลด์	68-125	3,000-5,000	65-90	1,500-15,000
โซเดียมความดันสูง	77-140	2,000-2,100	20	18,000-24,000
โซเดียมความดันต่ำ	137-183	1,780	0	18,000

7) ความถูกต้องของสี เป็นการวัดความสามารถในการแสดงสีของหลอดไฟหรือแหล่งแสงอื่นๆ โดยเทียบกับแสงแดงจำพวกของแสงอาทิตย์หรือแสงสเปกตรัมครบทุกสี ดังนั้นหลอดไฟที่มี

CRI สูงจะแสดงสีของวัตถุอย่างเหมือนที่มองเห็นในแสงแดง และถือว่ามีค่าความถูกต้องสีสูง ซึ่งหลอดไฟที่ให้แสงที่เหมือนที่สุดก็คือแสงแดงจำพวกของแสงอาทิตย์ซึ่งมี CRI เท่ากับ 100 หากหลอดไฟให้แสงที่ไม่ครบทุกสีหรือเป็นสเปกตรัมแบบสเปกตรัม เช่น หลอดไฟหลายๆ ชนิดที่ใช้แสง LED หรือแสงหลอดความจรัสหรือ Incandescent อาจมีค่า CRI ต่ำกว่า 100 โดยผลกระทบจากการสูญเสียสเปกตรัมในบางสี อาจทำให้สีของวัตถุที่เรามองเห็นผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง แต่ความผิดเพี้ยนนั้นจะขึ้นอยู่กับเฉดสีที่สูญเสียและปริมาณของแสงที่เราใช้ในสภาวะการใช้งานโดยตรง

2.7.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างต่าง ๆ อย่างเหมาะสม

แบบอุปกรณ์ของระบบแสงสว่างมีดังนี้

1) หลอดไฟฟ้าแสงสว่าง (Lamp) มีดังนี้

1.1) หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent Lamps)

- หลอดอินแคนเดสเซนต์ธรรมดา (Standard Incandescent Lamp) เป็นหลอดไฟที่คุ้นเคยและใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยหลอดไฟชนิดนี้มีหลักการทำงานโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าผ่านอลูมิเนียมฟิลาเมนต์ในหลอด ซึ่งทำให้อลูมิเนียมฟิลาเมนต์อุ่นขึ้น และสร้างความร้อน ที่เมื่อความร้อนนี้สูงพอ จะทำให้ไฟฟ้าไหลผ่านฟิลาเมนต์นั้นกระโดดข้ามไปจากฟิลาเมนต์หนึ่งไปยังอีกฟิลาเมนต์หนึ่ง ทำให้ฟิลาเมนต์ถูกเปลี่ยนเป็นสีสว่าง

- หลอดทังสเตน-ฮาโลเจน (Tungsten-Halogen Lamps) ก็คือเป็นหลอดไฟประเภทหนึ่งที่ได้รับการพัฒนามาจากหลอดไส้เดียวกัน โดยใช้โลหะทังสเตนเป็นวัสดุในการทำไส้หลอด หลอดทังสเตน-ฮาโลเจนมีคุณสมบัติที่คล้ายกับหลอดไฟอินแคนเดสเซนต์มาก แต่มีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีกว่า และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นด้วย

1.2) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamps) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “หลอดคายประจุความดันต่ำ” (Low pressure Discharge Lamps)

- หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลอดตรงหรือชนิดหลอดวงกลม (Tubular or Circular Fluorescent Lamps) เป็นหลอดไฟที่มีหลักการทำงานแตกต่างจากหลอดไฟอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent Lamp) โดยไม่ใช้การเผาไส้หลอดให้ร้อนด้วยไฟฟ้า แต่ใช้การกระตุ้นอิเล็กตรอนในก๊าซฟลูออเรสเซนต์ภายในหลอด ทำให้อิเล็กตรอนดังกล่าวกระโดดข้ามระหว่างหลอดโดยมีการกระตุ้นจากความต่างศักย์ที่ปลายขั้วของหลอด เมื่ออิเล็กตรอนกระโดดข้ามระหว่างหลอด จะกระตุ้นก๊าซฟลูออเรสเซนต์ภายในหลอด ทำให้ก๊าซฟลูออเรสเซนต์ประมวลผลพลังงานแสง โดยส่งสัญญาณเป็นแสง UV (แสงยูวี) ออกมา และหน่วยความถี่ของแสง UV นี้จะถูกแปลงให้เป็นแสงสีสว่างที่สามารถมองเห็นได้โดยผนังภายในหลอดฟลูออเรสเซนต์ สารฟอสเฟอร์ที่เคลือบอยู่ภายในผนังหลอดทำหน้าที่แปลงแสง UV เป็นแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ และเมื่อหลอดไฟติดแล้ว บัลลาสต์จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปที่หลอด ให้มีค่าสม่ำเสมอและเหมาะสมต่อการทำงานของหลอดไฟ นั่นคือการทำให้มีค่ากระแสไฟฟ้าที่เข้าไปในหลอดไฟมีค่าคงที่และเหมาะสมต่อความต้องการใช้งานของหลอดไฟได้อย่างเหมาะสม

- คอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent) คือเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ออกแบบมาเพื่อให้มีขนาดเล็กและกะทัดรัดมากขึ้น โดยยังคงรักษาหลักการการให้กำเนิดแสงแบบเดิมเพื่อให้สามารถนำมาใช้แทนหลอดไฟที่ใส่ในตะกอนไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนหรือปรับปรุงโครงสร้างตะกอนไฟฟ้า

1.3) หลอดคายประจุความดันสูงหรือหลอดคายประจุความเข้มสูง (High-pressure Discharge Lamps or High Intensity Discharge Lamps, HID Lamps) เป็นหลอดไฟที่มีหลักการการกำเนิดแสงคล้ายกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamps) หรือหลอดคายประจุความดันต่ำ (Low-pressure Discharge Lamps) แต่มีความแตกต่างในรายละเอียดบางประการ แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

- หลอดไอปรอทความดันสูง (High-pressure Mercury Vapour Lamps) เป็นหลอดไฟในกลุ่มแรกของหลอดในตระกูล HID (High Intensity Discharge) และมักเรียกว่า "หลอดแสงจันทร์" เนื่องจากมีลักษณะการเผาไหม้ของก๊าซในหลอดที่เป็นไอปรอทได้มีลักษณะคล้ายกับการเผาไหม้ของจันทร์ หลอดในกลุ่มนี้สามารถผลิตแสงที่มองเห็นได้รวมถึงแสงยูวีด้วย

- หลอดโซเดียมความดันสูง (High-pressure Sodium Vapour Lamps) เป็นหลอดที่พัฒนามาจากหลอดแสงจันทร์โดยมีวัตถุประสงค์คือโซเดียม โดยหลอดนี้มักถูกใช้ในการให้แสงสำหรับการประจักษ์ หรือในสถานที่ที่ต้องการแสงสีส้มเข้ม เช่น ในถนนหลังเมือง โรงงาน หรือสนามกีฬา

- หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamps) เป็นหลอดที่พัฒนามาจากหลอดแสงจันทร์เช่นเดียวกัน หลอดเมทัลฮาไลด์มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้แสงที่มีความเหมือนจริงของสีที่ดีที่สุดภายในหลอด เพื่อให้หลอดมีสเปกตรัมที่เหมาะสมกับการใช้งานในหลากหลายสถานที่และแอปพลิเคชันต่าง ๆ ที่ต้องการสีที่แท้จริงและคุณภาพสูงของแสง

1.4) Induction Lamp เป็นหลอดไฟที่ไม่มีไส้หลอดและไม่มีส่วนที่เผาไหม้ภายในหลอด เนื่องจากการทำงานของหลอดไฟนี้อาศัยหลักการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้า (Induction) ในการสร้างแสงสว่าง เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ส่งกระแสไฟฟ้าความถี่สูงเข้าไปในแกนส่งของแม่เหล็กไฟฟ้า (Electrodeless Induction Lamp), แม่เหล็กไฟฟ้าจะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงรอบบริเวณแกนของหลอด ซึ่งเป็นผลให้กลุ่มก๊าซภายในหลอดถูกกระตุ้นให้เกิดการแตกตัว และเปล่งแสงอุลตราไวโอเลตออกมา ทำให้เกิดแสงสว่างที่เราสามารถมองเห็นได้ในที่สุด หลอดไฟแบบนี้มักจะมีอายุการ

ใช้งานที่ยาวนานและมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูง แต่มักมีราคาสูงกว่าหลอดไฟประเภทอื่นในตลาด

1.5) Sulfur Lamps เป็นหลอดไฟที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสำหรับการใช้งานในพื้นที่ที่ต้องการปริมาณแสงสว่างมาก เช่น ในสนามกีฬาหรือศูนย์แสดงสินค้า หลอดไฟประเภทนี้ทำงานโดยการใช้ไมโครเวฟเพื่อกระตุ้น Sulfur ในกระเปาะให้กลายเป็นไอ และไอนี้จะถูกกระตุ้นโดยใช้ไมโครเวฟเพื่อเกิดแสงสว่าง สัญญาณไมโครเวฟจะทำให้เกิดการร้อนใน Sulfur ซึ่งเป็นวัสดุหลักที่ใช้ในหลอดไฟชนิดนี้ โดยการกระตุ้นนี้จะทำให้ Sulfur และอะตอมในไอประกอบกันเพื่อสร้างแสงสว่าง

2) โคมไฟ (Luminaire) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมทิศทางและการกระจายแสงสว่างให้เหมาะสมตามการใช้งานและไม่ทำให้เกิดความไม่สบายในการมองเห็น โดยโคมไฟฟ้าที่ใช้แพร่หลายสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ มักจะถูกออกแบบมาให้มีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงและเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายแสงให้มากขึ้น โคมไฟประสิทธิภาพสูงนี้จะไม่ดูดกลืนหรือกักขังแสงไว้ แต่จะช่วยในการสะท้อนแสงสว่างให้กลับไปยังพื้นที่ใช้งานได้เท่ากับหรือมากกว่าแสงที่ส่งออกมาจากหลอดไฟ ซึ่งทำให้มีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการใช้งานตามที่ต้องการและไม่เกิดการสะท้อนเผชิญกับการใช้งานในสถานที่ที่ต้องการแสงสว่างอย่างมาก เช่น โรงงาน โรงพยาบาล หรือสนามกีฬา

3) บัลลาสต์ (Ballast) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้หลอดไฟประเภทฟลูออเรสเซนต์และประเภทหลอดคายประจุความดันสูง หน้าที่หลักของบัลลาสต์คือควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟให้มีค่าเหมาะสม สม่ำเสมอ ตามแต่ละประเภทของหลอด รุ่น และขนาด โดยเฉพาะเมื่อหลอดไฟผ่านขบวนการจุดติดแล้ว ค่าอิมพีแดนซ์หรือค่าความต้านทานการไหลของไฟฟ้าของหลอดจะมีค่าติดลบ ซึ่งหมายถึงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวหลอดจะมากเกินไปเนื่องจากขาดตัวต้านทาน นั่นก็คือโหนดที่ตัวหลอดไฟได้รับจะมากเกินไป (Overload) ซึ่งอาจทำให้ไส้หลอดเสียหายและสิ้นสุดไปที่ท้ายที่สุด ดังนั้น บัลลาสต์จึงมีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร โดยช่วยลดความต้านทานให้ตัวหลอดไฟ และควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟให้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ นอกจากนี้ บัลลาสต์ยังช่วยให้หลอดไฟมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้นด้วย

3.1) บัลลาสต์แกนเหล็ก (Magnatic Ballast) หลักการทำงานของมันเกิดจากการใช้แกนเหล็กเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเข้าเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในหลอดไฟ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระแสไฟฟ้า และใช้พลังงานที่ได้มาเพื่อกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงสถานะของก๊าซภายในหลอดไฟ เช่น ในหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ จะเปลี่ยนแปลงก๊าซฟอสเฟอร์ไปเป็นก๊าซฟลูออรีน ซึ่งทำให้เกิดแสงสว่างออกมา บัลลาสต์แกนเหล็กประเภท

นี้มีความคงทนสูงต่อการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงหรือสภาพแวดล้อมที่เกิดการสั่นสะเทือน และมีราคาที่เป็นส่วนใหญ่ถูกกว่าบัลลาสต์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์ เป็นเหตุผลที่ทำให้เป็นที่นิยมในการใช้งานในท้องตลาดหลอดไฟทั่วไปและการใช้งานในสถานที่ที่มีความต้องการใช้งานที่มีความสูงต่อปริมาณแสงสว่างสูง เช่น ในสนามกีฬา โรงงาน หรือโกดังขนส่งสินค้า ซึ่งต้องการการส่องสว่างที่เพียงพอและเน้นความทนทานในการใช้งานที่ยาวนานอีกด้วย

3.2) บัลลาสต์โลส (Low-loss Ballast) หรือบัลลาสต์ประหยัดไฟ เป็นการพัฒนาของบัลลาสต์แกนเหล็กซึ่งมุ่งเน้นไปที่การลดการสูญเสียของพลังงานภายในตัวบัลลาสต์โดยใช้วัสดุและขดลวดที่มีคุณภาพดีขึ้น เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนที่เกิดขึ้นในขดลวดที่ถูกพันรอบโดยรอบ การลดการสูญเสียพลังงานนี้ไม่ทำให้ความสามารถในการใช้งานลดลง แต่สามารถทำให้ประสิทธิภาพของบัลลาสต์เพิ่มขึ้นโดยไม่เสียสมดุลกับการใช้งานเดิม บัลลาสต์ประหยัดไฟมักจะมีค่าพลังงานที่สูญเสียน้อยกว่าประมาณร้อยละ 6-6.8 ของกำลังไฟที่ใช้ ซึ่งจำนวนนี้อาจมีความแตกต่างกันไปตามคุณภาพและขนาดของบัลลาสต์ อุณหภูมิที่มีขณะการใช้งานอยู่ในช่วงประมาณ 35-50°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของบัลลาสต์ ในช่วงนี้บัลลาสต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเสถียรในระยะยาว

3.3) บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) มีหน้าที่หลักในการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหลอดไฟ โดยอาศัยวงจรอิเล็กทรอนิกส์แทนการใช้แกนเหล็กที่มีการพันขดลวด การใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำให้สามารถสร้างความถี่ในช่วง 20,000 เฮิร์ตซ์ถึง 30,000 เฮิร์ตซ์ เพื่อให้หลอดไฟทำงานอย่างเหมาะสม ความสูญเสียพลังงานในบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์น้อยมากเพียงประมาณ 1W ทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดการสั่นสะเทือนและเสียงดังขณะทำงานลงไปด้วย

2.7.3 การใช้เทคนิคควบคุมระบบส่องสว่าง

การควบคุมระบบส่องสว่างสามารถทำได้หลายวิธีตามความต้องการและสภาพแวดล้อม โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ การใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวเพื่อเปิดหรือปิดแสงสว่างอัตโนมัติเมื่อมีคนเดินผ่านหรืออยู่ในพื้นที่ที่ต้องการส่องสว่าง สามารถปรับค่าอุปกรณ์เพื่อตรวจจับระยะห่างและเวลาที่แสงสว่างต้องการที่จะเปิดหรือปิดได้ตามต้องการ โดยการตรวจจับระดับแสงในสภาพแวดล้อมแล้วควบคุมระบบส่องสว่างเพื่อปรับระดับความสว่างขึ้นหรือลงตามความเข้มของแสงภายนอก. อุปกรณ์ควบคุมที่มีความสามารถในการปรับความสว่างขึ้นหรือลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เช่น เมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมเพิ่มขึ้นเมื่อใกล้เข้าสู่เวลาพระอาทิตย์ตก. การใช้รีโมทคอนโทรลจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถควบคุมระบบส่องสว่างได้จากระยะไกล โดยสามารถเปิดหรือปิดแสง ปรับระดับความสว่างหรือเปลี่ยนโหมดการส่องสว่างได้ตามต้องการผ่านอุปกรณ์รีโมทสามารถแบ่งได้ดังนี้

1) การใช้อุปกรณ์หรี่แสง (Dimmer) เป็นวิธีที่เหมาะสมและปลอดภัยที่สุดใน การลดความสว่างที่เกินความจำเป็น เนื่องจากมันช่วยลดความสว่างอย่างอ่อนโยนและทันที โดยไม่ต้องปลดหลอดไฟ ทำให้คุณสามารถปรับระดับความสว่างให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและความต้องการของผู้ใช้ได้ โดยไม่ต้องเสียพลังงานที่ไม่จำเป็น การใช้อุปกรณ์หรี่แสงยังช่วยลดผลกระทบทางจิตวิทยาต่อคนทำงานในบริเวณที่มีการลดความสว่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมันช่วยลดความสับสนขณะทำงานและสามารถปรับเปลี่ยนระดับความสว่างได้อย่างอ่อนโยนตามความต้องการของผู้ใช้ และลดความเป็นไปได้ที่เกิดอันตรายหรือความไม่สบายในการมองเห็นในระยะยาว ดังนั้น การใช้อุปกรณ์หรี่แสงเป็นทางเลือกที่ดีและปลอดภัยสำหรับการควบคุมความสว่างส่วนเกินที่เหมาะสมในสถานที่ทำงานหรือที่พักอาศัยของคุณได้โดยไม่ต้องเสี่ยงต่อผลกระทบทางสุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่ไม่พึงประสงค์

2) การควบคุมความสว่างโดยใช้ Light Loss Factor (LLF) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการปรับความสว่างให้เหมาะสมและประหยัดพลังงาน การควบคุมความสว่างโดยใช้ Light Loss Factor (LLF) จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการปรับความสว่างให้เหมาะสมตามความจำเป็น และสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะยาวโดยไม่เสื่อมคุณภาพของแสงที่ใช้งานได้

3) การใช้อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวเพื่อเปิด-ปิดแสงสว่างเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานโดยใช้แสงสว่างเมื่อจำเป็นเท่านั้น โดยที่ตัวอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวจะทำหน้าที่ตรวจจับการเคลื่อนไหวในพื้นที่ที่ต้องการควบคุมแสงสว่าง มีสองชนิดของอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวที่มักใช้ในการควบคุมแสงสว่างได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้คลื่นอัลตราโซนิกเพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหว โดยเมื่อมีการเคลื่อนไหวตรงพื้นที่ที่มีอุปกรณ์ติดตั้งอุปกรณ์จะส่งสัญญาณกลับมา และเครื่องควบคุมก็จะทำงานตามที่ได้ตั้งค่าไว้ เช่น เปิดหรือปิดไฟ โดยสามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ในระยะทางและมุมกว้าง อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวชนิดนี้ใช้เซ็นเซอร์ภายในเพื่อตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของความร้อนภายในพื้นที่ที่ต้องการควบคุม โดยจะตรวจจับการเคลื่อนไหวของวัตถุหรือบุคคลที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสภาพแวดล้อม การตรวจจับนี้ไม่ได้มีความไวสูงเท่ากับอุปกรณ์ตรวจจับแบบอัลตราโซนิก แต่ก็มี ความคงทนสูงต่อสภาพแวดล้อมภายนอก

4) การใช้แสงธรรมชาติ (Daylight Utilization) เป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานโดยใช้แสงธรรมชาติเพื่อให้แสงสว่างภายในอาคารใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในบริเวณที่ใช้งานเช่นห้องทำงานหรือห้องประชุม ติดตั้งเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์ตรวจจับแสง (Photo Sensor) เพื่อตรวจวัดระดับแสงธรรมชาติภายนอกและภายในอาคาร เมื่อระดับแสงธรรมชาติภายนอกมีค่าสูงขึ้น ชุดควบคุมระบบจะส่งสัญญาณให้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อลดความสว่างของหลอดไฟ หรือเปิดใช้งานโคมไฟในพื้นที่ที่มีแสงธรรมชาติ ระบบยังสามารถปรับความสว่างภายในอาคารให้เหมาะสมตามความต้องการ และอาจใช้เทคนิคการควบคุมแสงสว่างอื่น ๆ เช่น ใช้

หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหวเพื่อปรับระดับแสงตามเวลาและการใช้งาน การใช้แสงธรรมชาติสามารถลดความต้องการใช้แสงสว่างจากหลอดไฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดการประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาอาคารได้สำคัญ อย่างไรก็ตาม การออกแบบระบบต้องพิจารณาถึงความสมดุลของความสว่าง ความร้อน และความสะอาดสบายของผู้ใช้งานในอาคาร เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่สูง [32]

การดำเนินงานสำหรับการปรับเปลี่ยนค่าการใช้พลังงานซึ่งต้องอาศัยเงื่อนไขในการทำงานของอัลกอริทึมเป็นตัวกำหนดสำหรับระบบปรับอากาศจึงมีความสำคัญมาก เพื่อทำการลดค่าพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นการใช้อัลกอริทึมในการปรับค่าแสงสว่างให้เหมาะสมสำหรับการลดค่าแสงสว่างที่จำเป็น ในความเป็นจริงแล้วมันขึ้นอยู่กับปริมาณการลดค่าแสงสว่างจากอัลกอริทึมที่เราได้กำหนดตามที่ต้องการ ระบบจะทำการลดค่าพลังงานของระบบทำความเย็นจะเท่ากับหรือมากกว่า ค่าที่ต้องการลดตามอัลกอริทึม จะไม่มีการนำมาคิดเพื่อเข้าสู่กระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพ เนื่องจากการลดพลังงานของระบบปรับอากาศจะสามารถตอบสนองความต้องการได้ตามเป้าหมายของอัลกอริทึม อย่างไรก็ตาม ถ้าหากการลดค่าพลังงานที่ต้องการมากกว่าความสามารถในการลดสูงสุดของระบบปรับอากาศแล้วนั้น อัลกอริทึมจะปรับค่าของระบบปรับอากาศให้เหมาะสมที่สุดก่อน และจากนั้นเข้าสู่การปรับแสงให้เหมาะสมเพื่อลดความต้องการที่ยังเหลืออยู่ ตามฟังก์ชันและวัตถุประสงค์ของปัญหาในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแสดงไว้ในสมการ (2.8)

$$\text{Objective Function} = \sum_{t=1}^T \left(\left(\sum_{a=1}^A P_{AC-Red}(a,t) \times W_{AC}(a,t) \right) + \left(\sum_{l=1}^L P_{Light-Red}(l,t) \times W_{Light}(l) \right) \right) \quad (2.8)$$

จากสมการค่าน้ำหนักของลำดับความสำคัญของระบบปรับอากาศ และไฟ (WAC, WLight) ถูกกำหนดโดยผู้ใช้แต่ละรายสำหรับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องผ่านทางหน้าเว็บที่มีให้สำหรับผู้ใช้งาน การลดกำลังไฟถูกกำหนดโดยการควบคุมของอัลกอริทึมและการปรับค่าให้เหมาะสมตามน้ำหนักของไฟส่องสว่างและอุปกรณ์ ปรับอากาศแต่ละชนิด นอกจากนี้ยังกำหนดค่าสูงสุดไว้ด้วย การมีส่วนร่วมของอุปกรณ์แต่ละประเภทและข้อจำกัดต่อไปนี้จะถูกเสนอสำหรับอัลกอริทึมที่นำเสนอ สมการ (2.8) แสดงการลดที่จำเป็นซึ่งควรลดลงจากการบริโภครวมของอาคาร. สมการ (2.9) บ่งชี้ว่าการลดที่จำเป็นสำหรับระบบไฟส่องสว่างขึ้นอยู่กับความสามารถในการลดสูงสุดของระบบปรับอากาศและการลดที่จำเป็นทั้งหมดของระบบนั้นหมายความว่าถ้าการลดรวมของระบบเท่ากันหรือน้อยกว่าและสามารถลดลงสูงสุดของระบบปรับอากาศไม่จำเป็นต้องลดปริมาณการใช้แสงลง [33]

$$\begin{aligned} \sum_{a=1}^A P_{AC \cdot Red}(a,t) + \sum_{l=1}^L P_{Light \cdot Red}(l,t) &= RR_{Total}(t) \quad \forall 1 \leq t \leq T \\ RR_{Light}(t) &= RR_{Total}(t) - P_{AC \cdot Red}^{MAX}(t) \quad \forall 1 \leq t \leq T \end{aligned} \quad (2.9)$$

นอกจากนี้ ความสามารถในการลดสูงสุดของระบบปรับอากาศและระบบไฟส่องสว่างทั้งหมดจะแสดงด้วย สมการที่ (2.10) และ (2.11) ตามลำดับ อีกทั้งข้อจำกัดทางเทคนิคให้สูงสุดที่ทำการลดค่าของแต่ละอุปกรณ์มีการจำลองในสมการ (2.12) สำหรับแต่ละระบบปรับอากาศและสมการ 2.13 สำหรับระบบแสงสว่าง

$$\sum_{a=1}^A P_{AC \cdot Red}(a,t) \leq P_{AC \cdot Red}^{MAX}(t); \quad \forall 1 \leq t \leq T \quad (2.10)$$

$$\sum_{l=1}^L P_{Light \cdot Red}(l,t) \leq P_{L \cdot Light \cdot Red}^{MAX}(t); \quad \forall 1 \leq t \leq T \quad (2.11)$$

$$P_{AC \cdot Red}^{MIN}(a,t) \leq P_{AC \cdot Red}(a,t) \leq P_{AC \cdot Red}^{MAX}(a,t); \quad \forall 1 \leq a \leq A; \quad \forall 1 \leq t \leq T \quad (2.12)$$

$$P_{light \cdot Red}^{MIN}(l,t) \leq P_{light \cdot Red}(l,t) \leq P_{light \cdot Red}^{MAX}(l,t); \quad \forall 1 \leq l \leq A; \quad \forall 1 \leq t \leq T \quad (2.13)$$

สรุปได้ว่าสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการบริโภคพลังงานผ่านมีระบบที่มีการติดตามและแสดงผลสามารถนำมาใช้เพื่อบริหารจัดการพลังงานและประสิทธิภาพของใช้พลังงานของอาคารให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

เพื่อการศึกษาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อจะได้ทราบค่าและพารามิเตอร์ต่างๆ ล่วงหน้าก่อนการออกแบบสร้างจริง ในงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาผลการใช้กำลังไฟฟ้าภายในอาคาร แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างก่อนการบริหารจัดการพลังงานและหลังการบริหารจัดการพลังงาน มีความสอดคล้องกันอย่างไร เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

ในการดำเนินงาน มีขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ตามที่แสดง ดังรูปที่ 3.1 ดังนี้

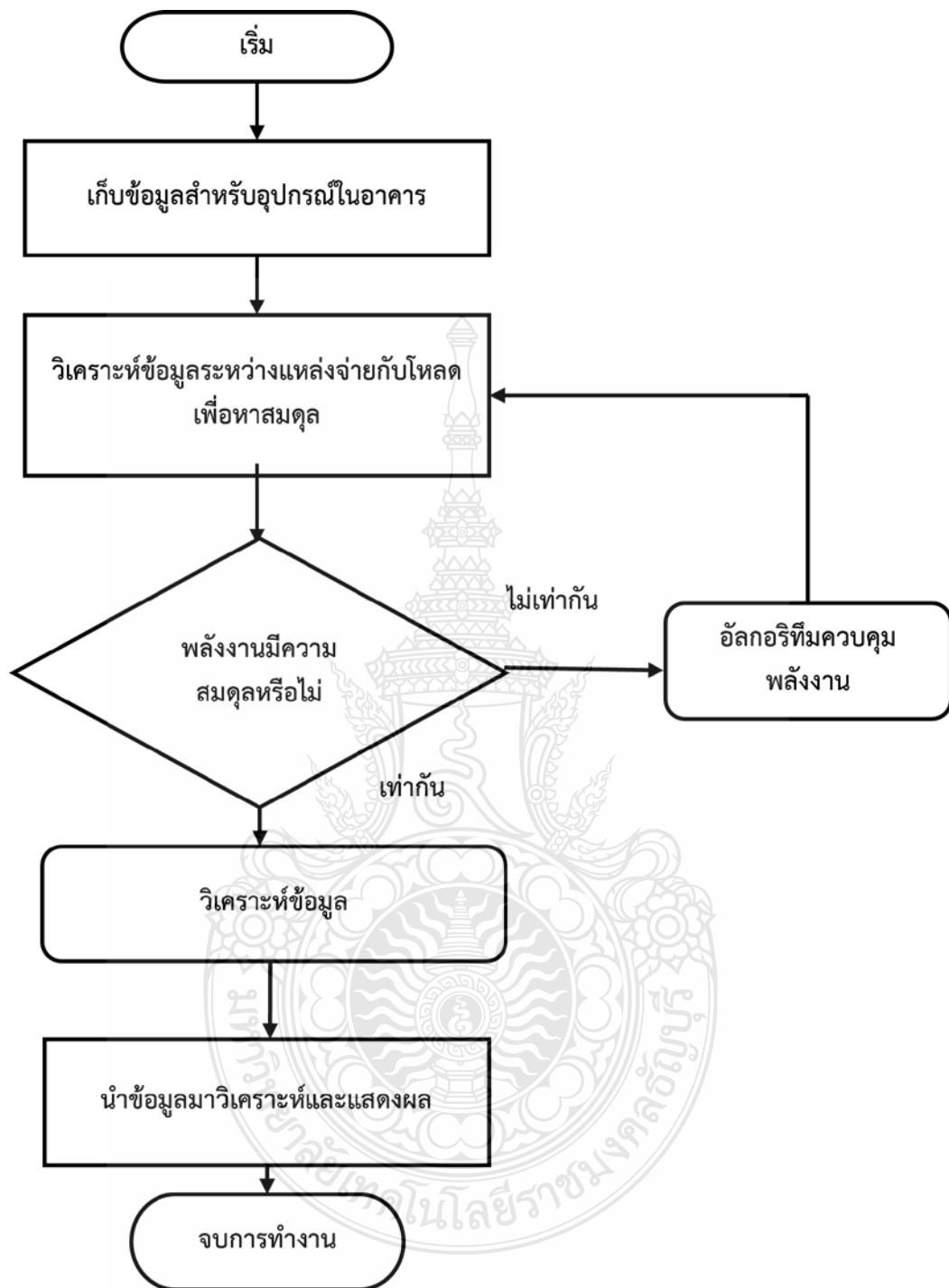
ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูลทางเทคนิคของระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารลิฟต์ที่ทำการศึกษาและทำการสำรวจเพื่อแบ่งแยกตามชนิดของโหลดของอาคาร

ขั้นตอนที่ 2 บันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละประเภท ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยใช้ระบบดาต้าลอจเจอร์

ขั้นตอนที่ 3 หาความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากระบบพลังงานทดแทน

ขั้นตอนที่ 4 ทำการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอาคารจากกลุ่มตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการบันทึกโดยระบบ Digital power meter data-logger เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้ กับกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงาน

ขั้นตอนที่ 5 ศึกษาผลของการใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับลักษณะพฤติกรรมของการใช้ไฟฟ้าของระบบอาคารควบคุมและสรุปผลการดำเนินการ



รูปที่ 3.1 ฟังก์ชันดำเนินงาน

3.1.1 ข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ในอาคารที่ทำการวิจัย

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ในอาคารที่ทำการวิจัย

อุปกรณ์	จำนวน(unit)	เวลาที่ใช้งาน	ค่าพลังงานที่ใช้ งาน	สัดส่วนการใช้ค่า พลังงาน
ระบบเครื่องปรับอากาศ	160	8-10 ชม.	85 kW.	70%
ระบบส่องสว่าง	1200	8-10 ชม.	20 kW.	18%
อุปกรณ์ทั่วไป	40	6-8 ชม.	15 kW.	12%

จากข้อมูลตามตารางที่ 3.1 และพิจารณาจากร้อยละการใช้พลังงานของของอาคารที่ได้ทำการวิจัยพบว่า ปริมาณการใช้งานของระบบเครื่องปรับอากาศซึ่งระบบปรับอากาศที่อาคารได้มีการใช้งานเป็นเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาและมีการใช้พลังงานมากที่สุดเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูง ขนาดที่ใหญ่และมีช่วงการทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน โดยค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของทั้งอาคารอยู่ที่ 85 กิโลวัตต์ และมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารอยู่ที่ 70% รองลงมาคือระบบส่องสว่างสำหรับอาคารที่ได้ทำการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการปรับเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากแบบฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดประหยัดไฟแบบแอลอีดีทั้งหมดทำงานในช่วงเวลาใกล้เคียงกับระบบเครื่องปรับอากาศ มีค่าการใช้งานกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 20 กิโลวัตต์และมีสัดส่วนการใช้พลังงานสำหรับอาคารอยู่ที่ 18% ในส่วนของอุปกรณ์ทั่วไปซึ่งการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าในกลุ่มนี้เป็นอุปกรณ์ทั่วไป มีการใช้งานในช่วงเวลาที่ไม่นานมีค่าการใช้งานกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 15 กิโลวัตต์ โดยคิดเป็นสัดส่วนอยู่ที่ 12% ของการใช้งานในอาคาร

3.1.2 การคัดเลือกอาคารตัวอย่าง การกำหนดกลุ่มตัวอย่างมีความสำคัญเนื่องจากการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ภายในอาคารต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายที่สูงมาก การตัดสินใจภายในเวลาอันจำกัด ดังนั้นการเลือกศึกษาสำหรับการบริหารจัดการพลังงานจึงมีความจำเป็น เพื่อให้การดำเนินงานสำหรับดุขุณินิพนธ์นี้เป็นไปด้วยความเรียบร้อย จึงพิจารณาเลือกตัวอย่างแบบจำเพาะเจาะจงโดยเลือกใช้อาคารที่สามารถเข้าถึงข้อมูลเชิงลึกและเป็นอาคารที่ผู้จัดทำดุขุณินิพนธ์ได้ทำงานอยู่

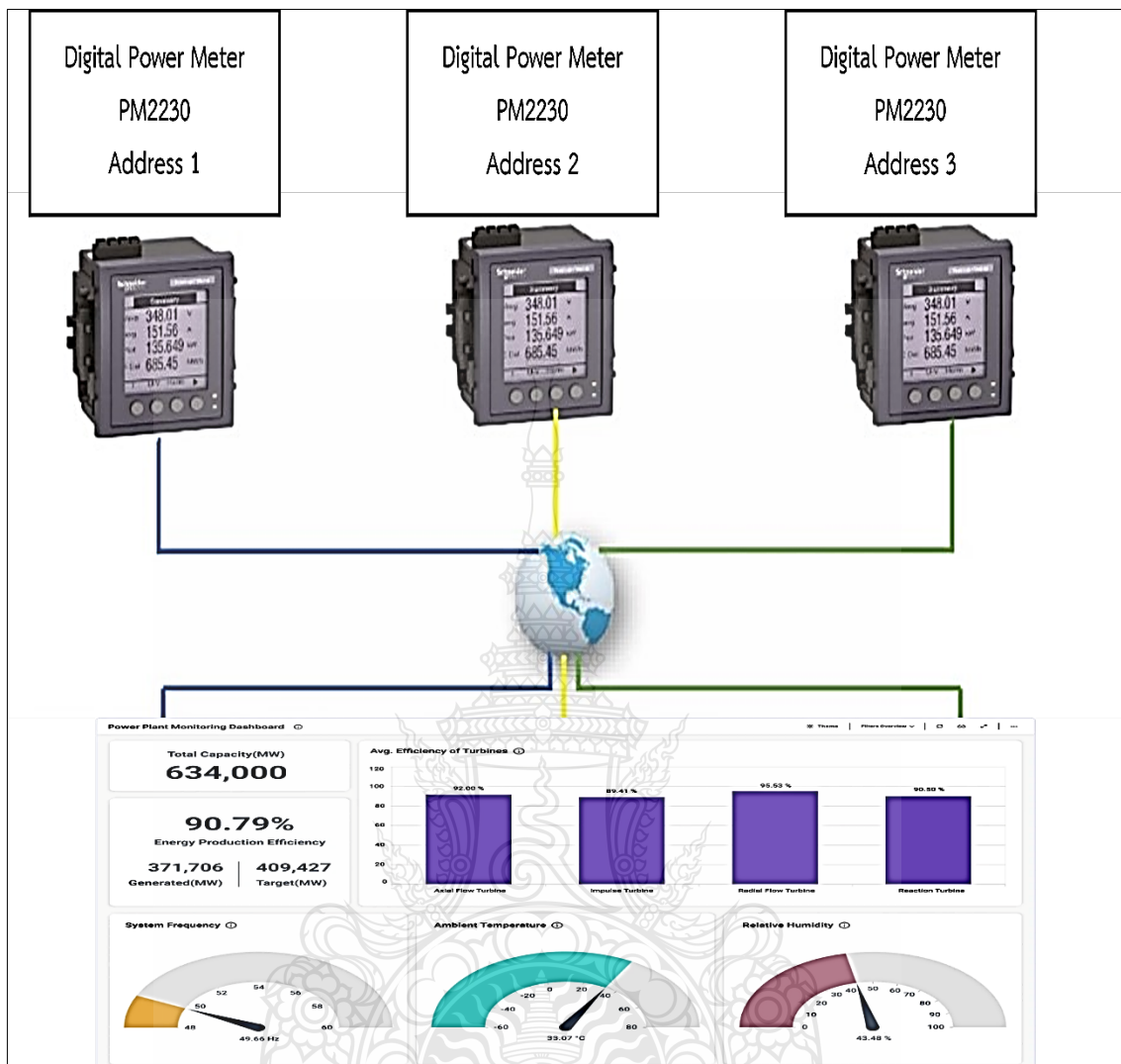
การเลือกอาคารตัวอย่างเป็นแบบจำเพาะเจาะจง (Purposive sampling) นี้เป็นการเลือกอาคารตัวอย่างโดยพิจารณาจาก ลักษณะของอาคารที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย และเป็นอาคารที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง จากรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 รูปแบบอาคารที่ใช้ในการวิจัย ยกตัวอย่างชั้นที่ 2 ของอาคาร

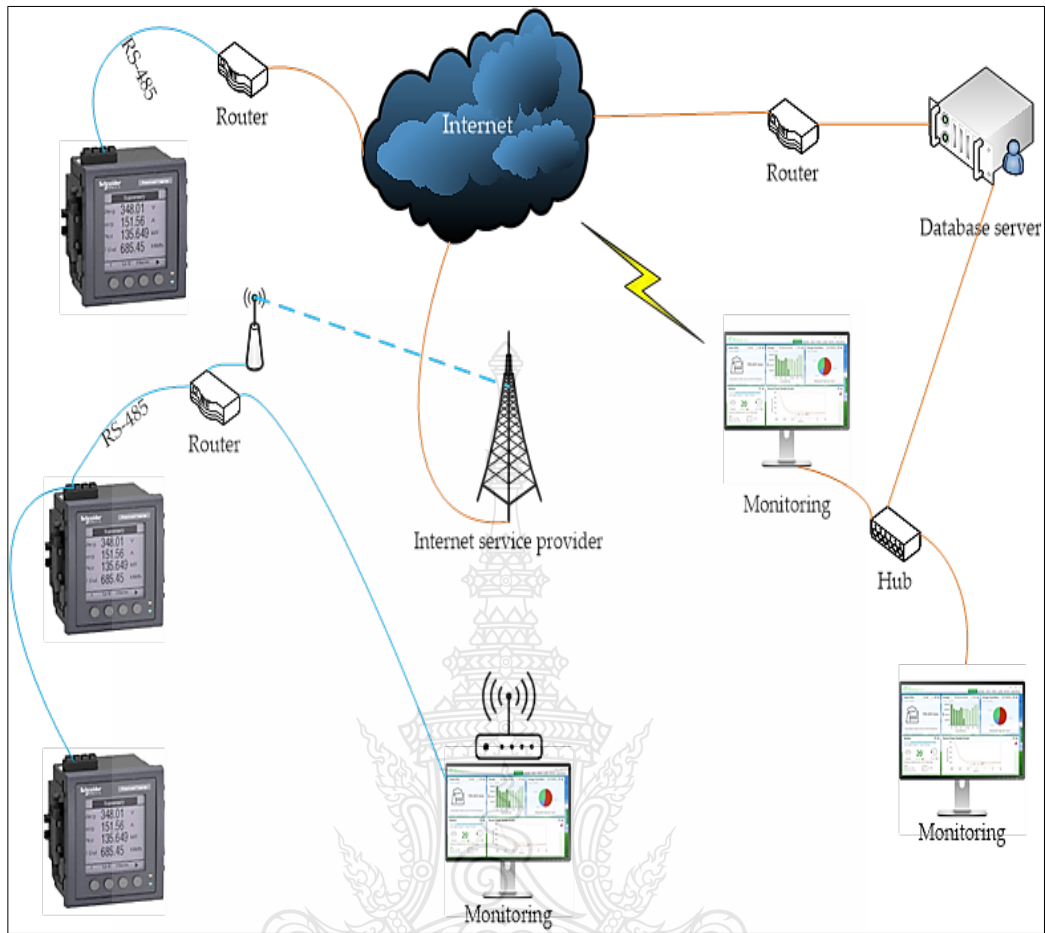
จากอาคารตัวอย่างที่ได้นำมาใช้ในการวิจัยมีขนาด 20,000 ตารางเมตร ของมหาวิทยาลัยธนบุรี โดยระบุเป็นอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยมีลักษณะภูมิอากาศอยู่ในเขตร้อน อาคารแห่งนี้เป็นอาคารเก่าขนาด 4 ชั้น แต่ละชั้นประกอบด้วยห้องเรียน สำนักงาน ห้องปฏิบัติการ ในแต่ละห้องมีอุปกรณ์ไฟฟ้าดังนี้ เครื่องปรับอากาศขนาด 38,000 btu จำนวน 4 ตัว หลอดไฟจำนวน 36 หลอด เครื่องฉายภาพ เครื่องคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์อื่น ดังรูปที่ 3.2

3.1.3 การทดลองเพื่อเก็บค่าพลังงานที่ใช้งานสำหรับอาคารด้วยการใช้ดิจิทัลเทอร์มิเตอร์ เพื่อใช้โปรแกรมบริหารจัดการพลังงานเป็นตัวบันทึกข้อมูล จากนั้นทำการตั้งค่าเพื่อส่งข้อกำหนดสำหรับการชดเชยพลังงานจากแหล่งกำเนิดที่สามารถชดเชยการใช้พลังงาน จากนั้นทำการประมาณการเพื่อลดปริมาณการใช้ในช่วงที่มีการใช้งานสูงสุด ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อดิจิตอลเพาเวอร์มิเตอร์

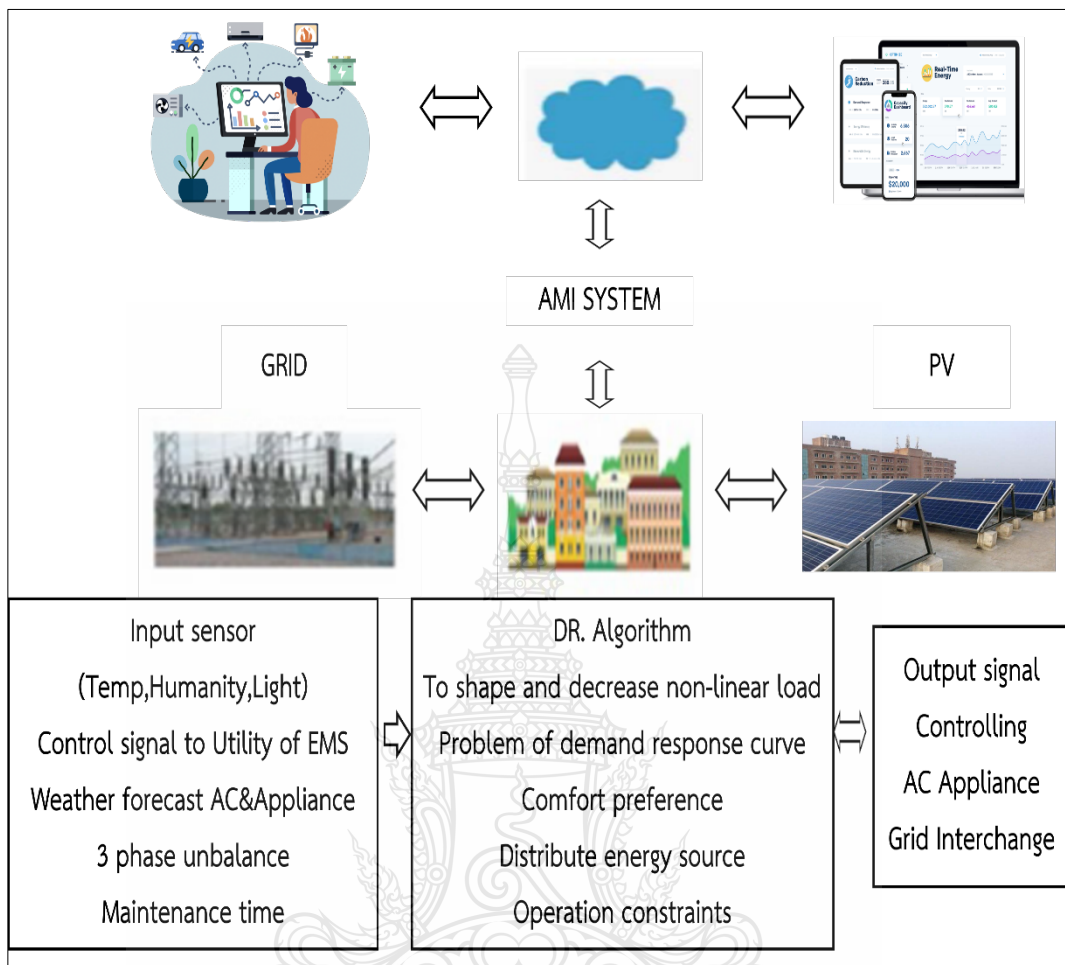
การติดตั้งดิจิตอลเพาเวอร์มิเตอร์ในตู้ MDB แล้วทำการเดินสายส่งสัญญาณไปยัง Converter Device ต่อเข้ากับช่องสัญญาณ RS485 แล้วทำการเชื่อมต่อ RS485 เข้ากับคอมพิวเตอร์ที่เราทำการติดตั้งโปรแกรมบริหารพลังงานไว้แล้ว และทำการลิงค์สัญญาณเชื่อมต่อกับตู้ MDB เพื่อศึกษาดูพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในอาคาร



รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เพื่อศึกษาการใช้ค่าพลังงาน

การเชื่อมต่อสำหรับการแสดงในส่วนของการเก็บค่าการใช้พลังงานซึ่งสามารถบันทึกลงสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต Rs485 แสดงผลเพื่อการเก็บข้อมูลแบบวินาที การใช้ไฟฟ้าเป็นได้ทั้งแบบกราฟและ Excel โดยเราทำการกำหนดค่าที่เราต้องการดู ตัวอย่างเช่น กระแสไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในตู้ MBD กระแสไฟฟ้าของสายไฟ Phase A, Phase B, Phase C ทั้งนี้ถ้าเราต้องการดูค่าที่เราต้องการให้ทำการกำหนดค่ากราฟในโปรแกรม ใน Excel เราจะดูค่าได้ในทุกๆ 15 นาทีที่ Peak สูงสุดในแต่ละช่วง และค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวัน เวลาเท่าใดที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดในหนึ่งวันจะสามารถดูได้ใน Excel รวมทั้งหมดที่เราทำการกำหนดค่าในกราฟที่เราเฝ้าดูจะมาแสดงใน Excel ทั้งหมด ดังรูปที่ 3.4

3.1.4 จากการคาดการณ์การชดเชยพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาจากแหล่งสำรองพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งอื่น ๆ ซึ่งจะนำมาชดเชยค่าพลังงานที่มีการใช้สูงสุดในแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นการควบคุมการชดเชยพลังงานไฟฟ้าได้จากพอร์ต I/O ของ เพาเวอร์ดิจิตอลที่การส่งสัญญาณไปสั่งงาน

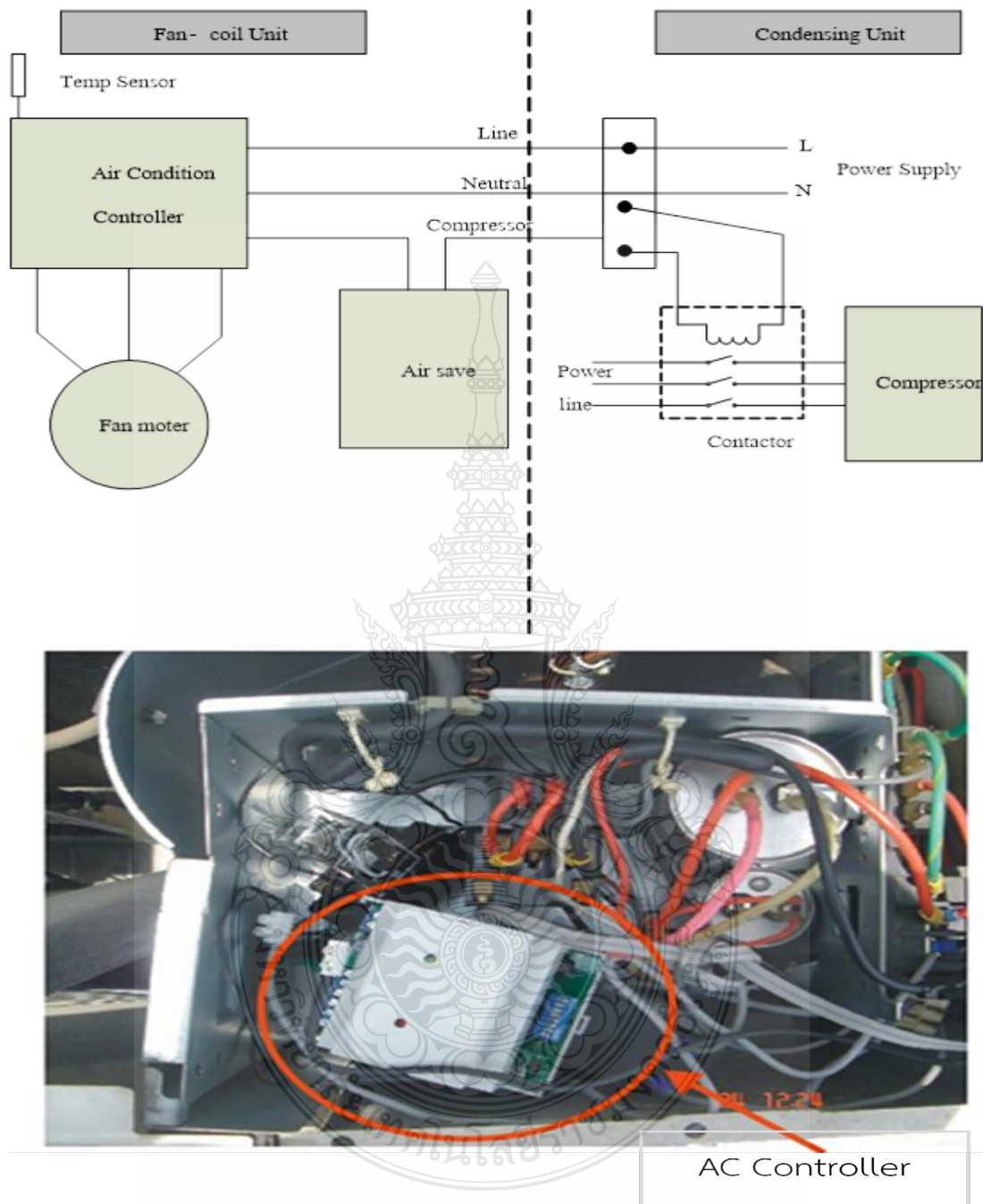


รูปที่ 3.5 แบบจำลองการทำงานการบริหารจัดการอาคาร

การออกแบบสำหรับการบริหารจัดการพลังงานสำหรับอาคารซึ่งเป็นอาคารเก่า โดยเป็นระบบไฟฟ้า 3 เฟสนั้นมีข้อสังเกตและข้อควรระวังบางประการกล่าวคือ เนื่องจากระบบไฟฟ้า 3 เฟสที่นำมาใช้จะถูกแยกให้กลายเป็นระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 3 ชุดเพื่อนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าตามจุดต่างๆ ถ้า ไฟฟ้าแต่ละสายที่แยกไปใช้งานตามจุดต่างๆ นั้น มีปริมาณการใช้งาน (load) ที่สมดุลกันหรือใกล้เคียงก็ย่อมจะเป็นการประหยัดค่าไฟฟ้าได้ ในช่วงเวลาหนึ่ง การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับอาคารนั้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการบริหารการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร

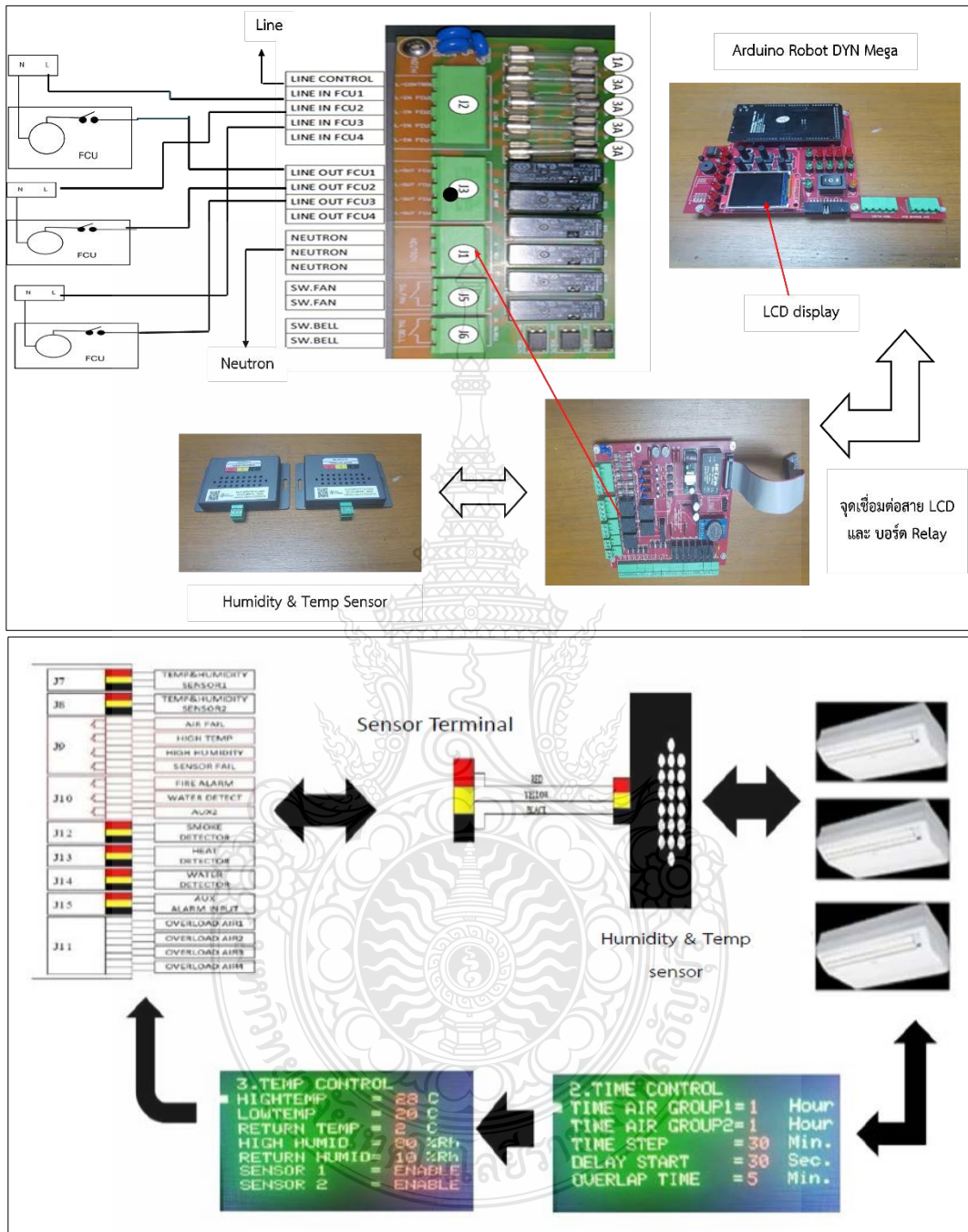
1) ระบบเครื่องปรับอากาศซึ่งระบบเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานนั้นเป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยจะต้องมีการตรวจจับค่าอุณหภูมิทั้งภายในและภายนอกเพื่อให้สัมพันธ์กัน

ระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ โดยทั่วไปทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานตามอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้โดยลักษณะทั่วไปการติดตั้งจะการติดตั้งตามลักษณะดังรูปที่ 3.6, 3.7 และ 3.8

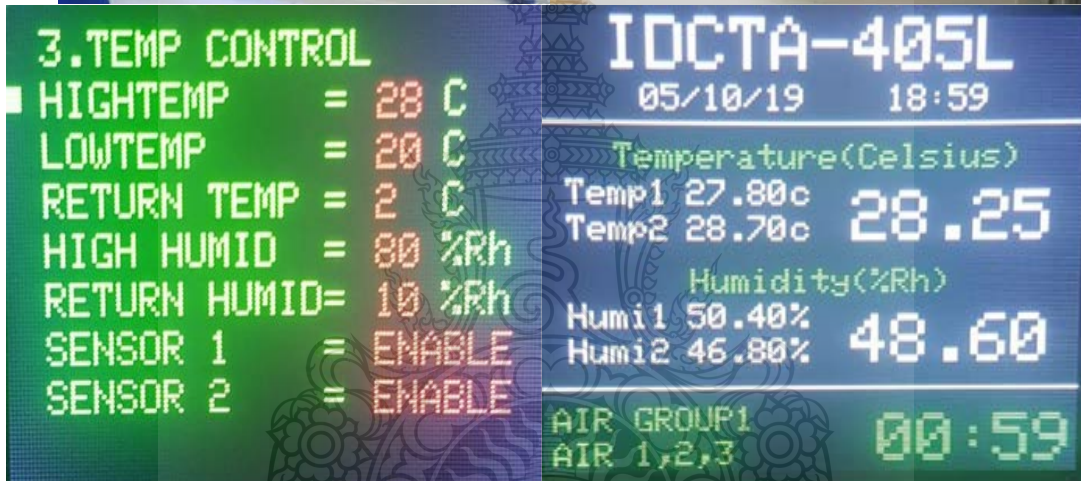


รูปที่ 3.6 แบบการเดินสายของเครื่องปรับอากาศ

จากรูปที่ 3.6 เป็นแผนการติดตั้งระบบเพื่อเข้าไปทำหน้าที่สำหรับการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่สำหรับการ on-off เมื่ออุณหภูมิถึงจุดที่กำหนด



รูปที่ 3.7 วงจรใช้ที่ใช้การควบคุมระบบปรับอากาศแบบศูนย์รวม



รูปที่ 3.8 วงจรการเชื่อมต่อและการแสดงผลการทำงาน

การเชื่อมต่อระบบปรับอากาศแบบศูนย์กลางได้ทำการเพิ่มระบบการทำงานสำหรับการควบคุมอุณหภูมิซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับระบบเดิมได้และสามารถอ่านค่าและทำการตั้งค่าให้มีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิภายในเพื่อให้มีความสัมพันธ์กับภายนอกได้

Terminal Input/Output Power

จุดเชื่อมต่อสายไฟเข้าและออก เพื่อควบคุมเครื่องปรับอากาศพัดลมและกระดิ่งไฟฟ้า Terminal J2 สำหรับต่อ Line In มีทั้งหมด 5 ช่อง

1) ช่องที่ 1 ต่อสาย 220 Vac. สำหรับแหล่งจ่ายวงจรควบคุมเชื่อมต่อจากแหล่งจ่ายหลักหรืออาจจะมาจากแหล่งไฟสำรองแบบชนิดที่ให้แรงดันขาออกเท่ากับแหล่งจ่ายไฟหลักขนาด 220 V

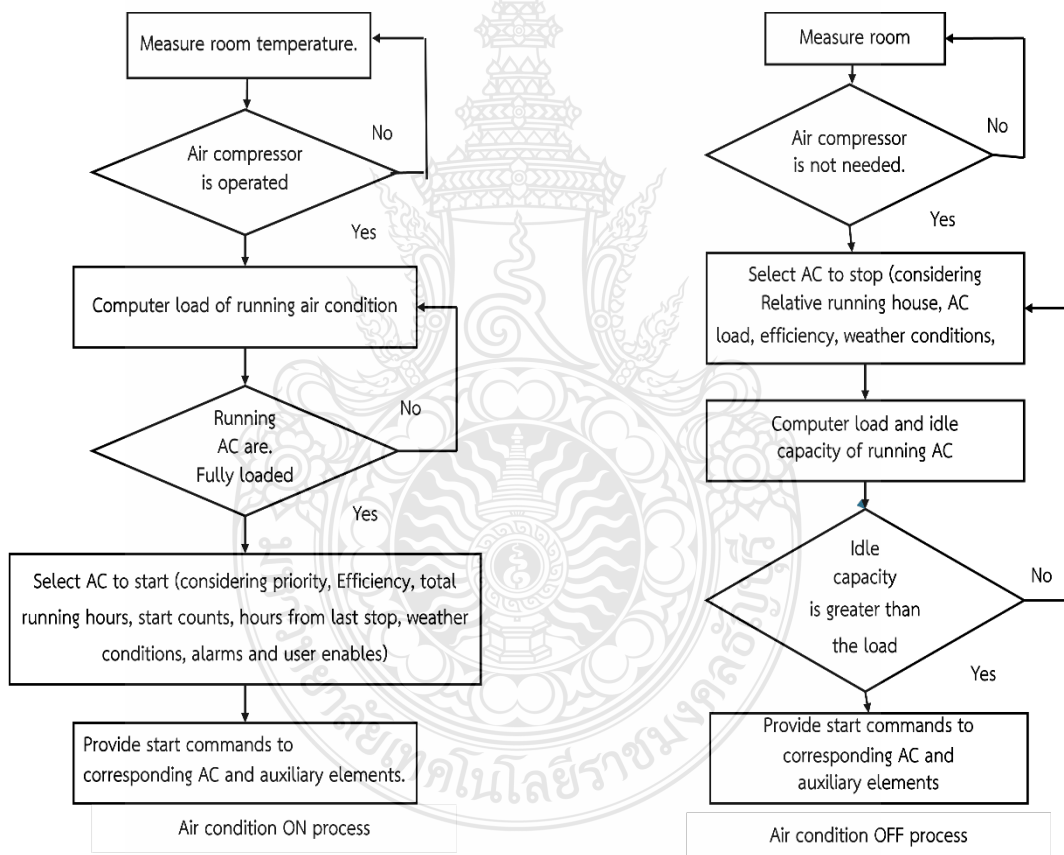
(สามารถนำสาย Neutron ของแหล่งจ่ายไฟสำรองมาต่อร่วมกับ Neutron ของแหล่งจ่ายหลัก 220 VAC ได้และมีฟิวส์ป้องกันกระแสเกินขนาด 1 A

2) ช่องที่ 2 - 4 สำหรับจ่ายให้กับ FCU 1 - 4 ตามลำดับ มีฟิวส์ป้องกันกระแสเกินขนาด

3 A

- Terminal J3 สำหรับต่อ Line Out มีทั้งหมด 4 ช่อง จ่ายออกไปให้ FCU 1 - 4
- Terminal J1 สำหรับต่อ Neutron ของระบบ
- Terminal J5 สำหรับเป็นสวิตช์ตัดต่อพัดลม พัดลมพัดแรงดัน 220 VAC, กระแส 3 A
- Terminal J6 สำหรับเป็นสวิตช์ตัดต่อกระดิ่งไฟฟ้า พัดลมพัดแรงดัน 220 VAC,

กระแส 3 A



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการควบคุมอุณหภูมิ

จากการเปลี่ยนแปลงระบบควบคุมของระบบเครื่องปรับอากาศแบบเดิมที่มีการควบคุมแบบ 1:1 ได้ทำการเปลี่ยนระบบมาใช้ในการควบคุมแบบศูนย์รวมซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าและสามารถ

ควบคุมแบบอัตโนมัติและสามารถแสดงผลการทำงานแบบออนไลน์ดังรูปที่ 3.9 และเงื่อนไขในการทำงานและควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์แอร์ ได้มีรูปแบบการควบคุมดังนี้

3.1.5 การทำงานเมื่อเครื่องปรับอากาศอยู่ในสถานะ ON :

Step 1: วัดอุณหภูมิภายในห้องเพื่อไปคำนวณเวลาในการทำงานของแอร์คอมเพรสเซอร์

Step 2: สถานะของแอร์คอมเพรสเซอร์ ON หรือ OFF

Case 1: สถานะ ON ตั้งค่าการใช้งานของระบบแอร์คอมเพรสเซอร์

Case 2: สถานะ OFF ตั้งค่าการใช้งานของระบบพัดลมให้ทำงานอย่างเดียว

Step 4: ใช้งานระบบแอร์คอนดิชันที่เต็มพิกัด

Case 1: การใช้งาน AC เชิงป้องกันในการเริ่มต้น (โดยคำนึงถึงลำดับความสำคัญประสิทธิภาพ จำนวนชั่วโมงการทำงานทั้งหมด จำนวนการเริ่มต้น ชั่วโมงนับจากจุดหยุดสุดท้าย สภาพอากาศ การเตือน และการเปิดใช้งานของผู้ใช้)

Case 2: พิจารณาอุณหภูมิในการเดินเครื่องปรับอากาศ

Step 6: จัดเตรียมคำสั่งสตาร์ทให้กับ AC และองค์ประกอบเสริมที่เกี่ยวข้อง

3.1.6 การทำงานเมื่อเครื่องปรับอากาศอยู่ในสถานะ OFF:

Step 1: วัดอุณหภูมิภายในห้อง

Step 2: ตรวจสอบว่ายังจำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศหรือไม่

Case 1: ไม่มีกระบวนการ เปิดพัดลมระบายความร้อน ตรวจสอบกระบวนการอุณหภูมิต่อไป

Case 2: ใช้ กระบวนการตรวจสอบสภาพ ตรวจสอบผลการทำงาน of แอร์คอมเพรสเซอร์

Step 3: เลือก AC เพื่อหยุดทำงาน (พิจารณาจากความสัมพัทธ์ โหลด AC ประสิทธิภาพสภาพอากาศ สัญญาณเตือน และการเปิดใช้งานผู้ใช้)

Step 4: ใช้คอมพิวเตอร์พิจารณาโหลดและปริมาณการใช้งาน AC

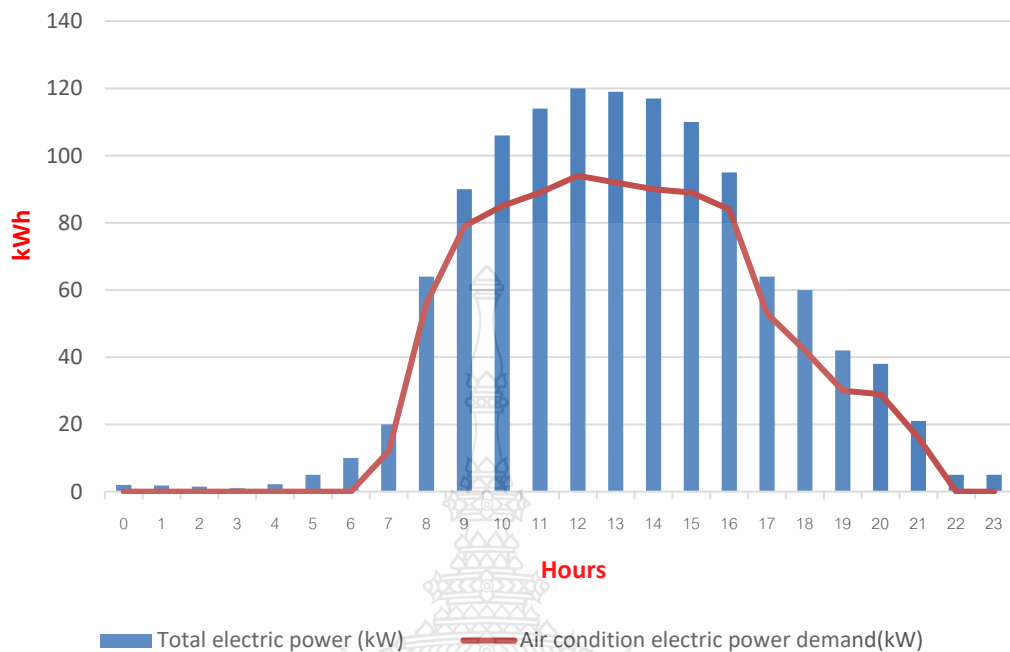
Step 5: จำนวนเครื่องที่ไม่ได้ใช้งานมีความสำคัญมากกว่าโหลดของ AC ที่เลือก.

Case 1: ไม่มีกระบวนการทำงานที่มีเงื่อนไข และดำเนินการตามกระบวนการจากขั้นตอนที่ 3

Case 2: ใช้ ทำการปรับอุณหภูมิและพิจารณาอุณหภูมิในการเดินเครื่องปรับอากาศ

Step 6: จัดเตรียมคำสั่งสตาร์ทให้กับระบบ AC และอุปกรณ์เสริมที่เกี่ยวข้อง

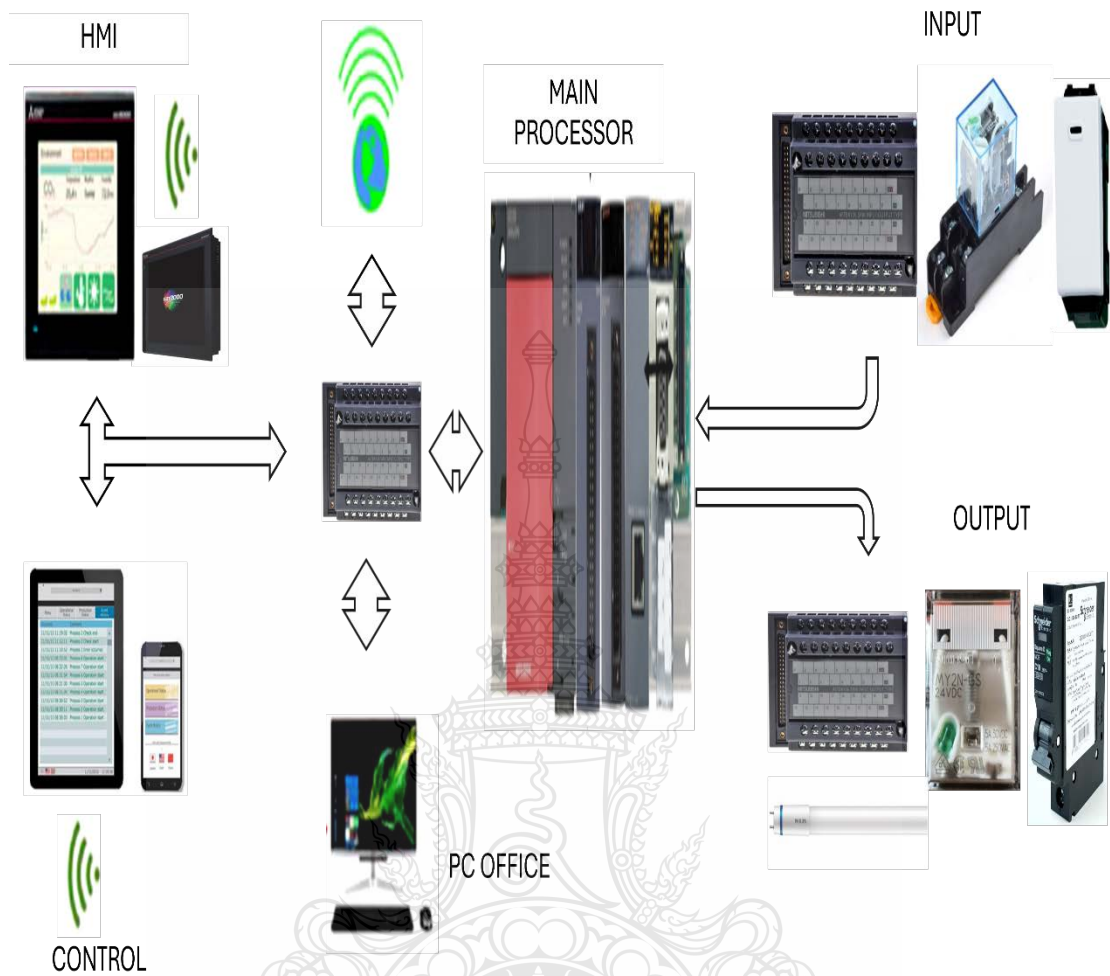
Air condition energy usage



รูปที่ 3.10 ค่าพลังงานของระบบปรับอากาศที่ใช้ในภาพรวมช่วงเวลา 24 ชม.

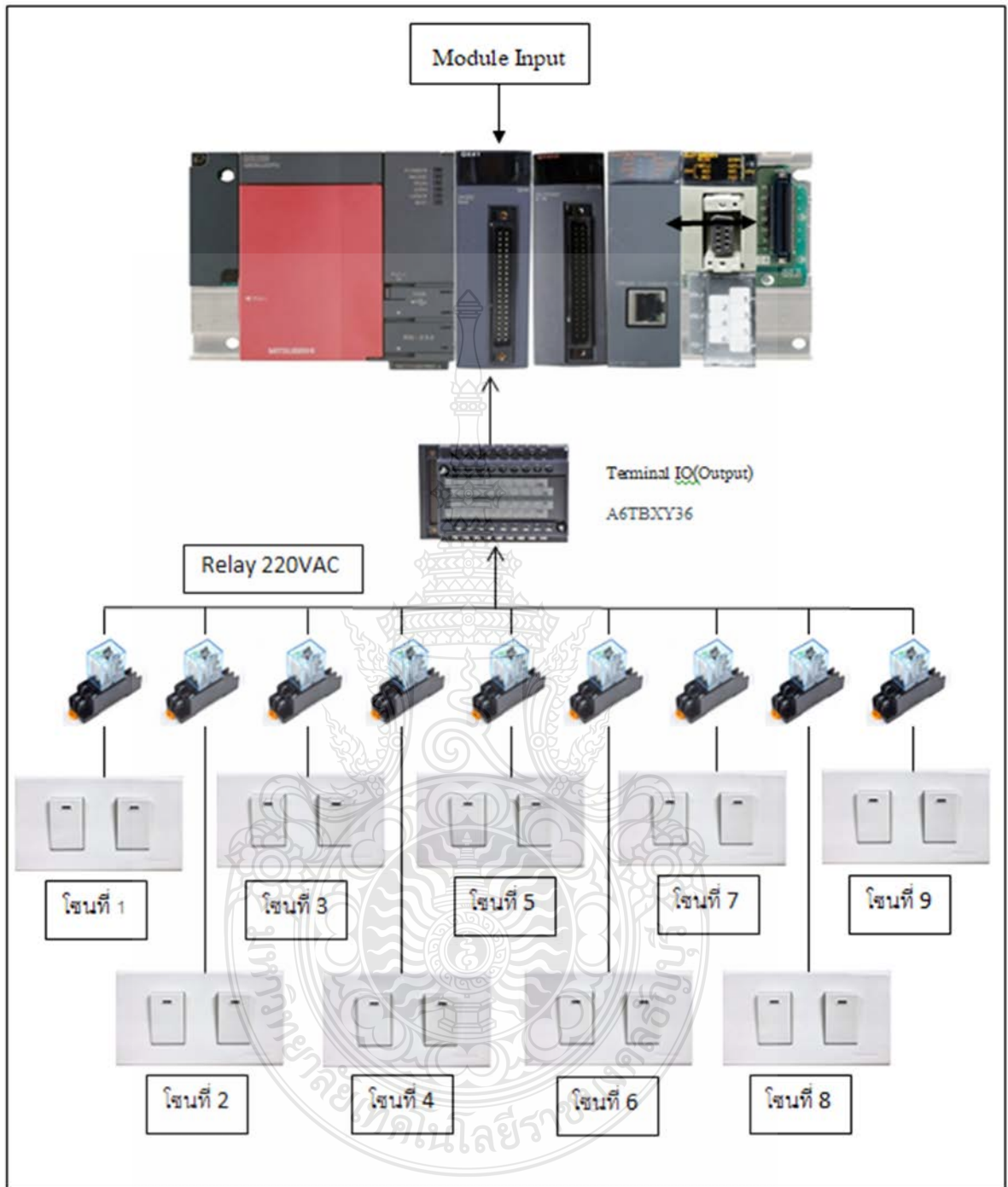
ค่าพลังงานที่ใช้จากการวัดค่าพลังงานในระยะเวลา 24 ชม. จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานที่มีค่าที่ใช้สูงสุดในช่วงเวลา 10.00 – 14.00 น. มีค่าสูงสุดของพลังงานทั้งหมดอยู่ที่ 120 kWh. ของพลังงานทั้งหมดและค่าของการใช้ของระบบเครื่องปรับอากาศมีค่าอยู่ที่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของการใช้งานทั้งหมดอยู่ที่ 90 kWh. ตามรูปที่ 3.10

1) ระบบแสงสว่างจำเป็นต้องมีการตรวจจับแสงสว่างที่ใช้งานและสามารถควบคุมสว่างภายในห้องซึ่งต้องมีการกำหนดช่วงเวลาที่จะใช้งานโดยการควบคุมระบบแสงสว่างที่เกิดขึ้นภายในอาคารทั้งหมด หลอดไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้งานได้ถูกเปลี่ยนเป็นแบบแอลอีดี การควบคุมระบบแสงสว่างนี้ จะมีการแบ่งโซนในการควบคุมเพื่อทำให้เกิดความง่ายต่อการบริหารจัดการ



รูปที่ 3.11 วงจรใช้ที่ใช้การควบคุมระบบส่องสว่างแบบศูนย์รวม

เทคนิคการควบคุมแสงเฉพาะของแต่ละห้อง การควบคุมการประมวลผลหลักใช้ PLC เพื่อควบคุมข้อมูลและสั่งการข้อมูลผ่านโปรแกรมควบคุม เพื่อแสดงผลนำเสนอโดยใช้หน้าจอ ผ่านอุปกรณ์พกพาผ่านการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สาย ระบบแสดงผลสามารถแสดงบนอุปกรณ์ ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ เช่น IE, Google Chrome หรือ Firefox หรือสั่งงานจากหน้าจอสัมผัสก็ได้ PLC สามารถรับคำสั่งจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ GOT และหน้าจอสัมผัสเชื่อมต่อกับอุปกรณ์เอาต์พุต เช่นเพื่อหน่วงเวลาการควบคุมระบบไฟส่องสว่างในอาคาร ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.12 การเชื่อมต่อการทำงานของระบบแสงสว่างแบบศูนย์รวม

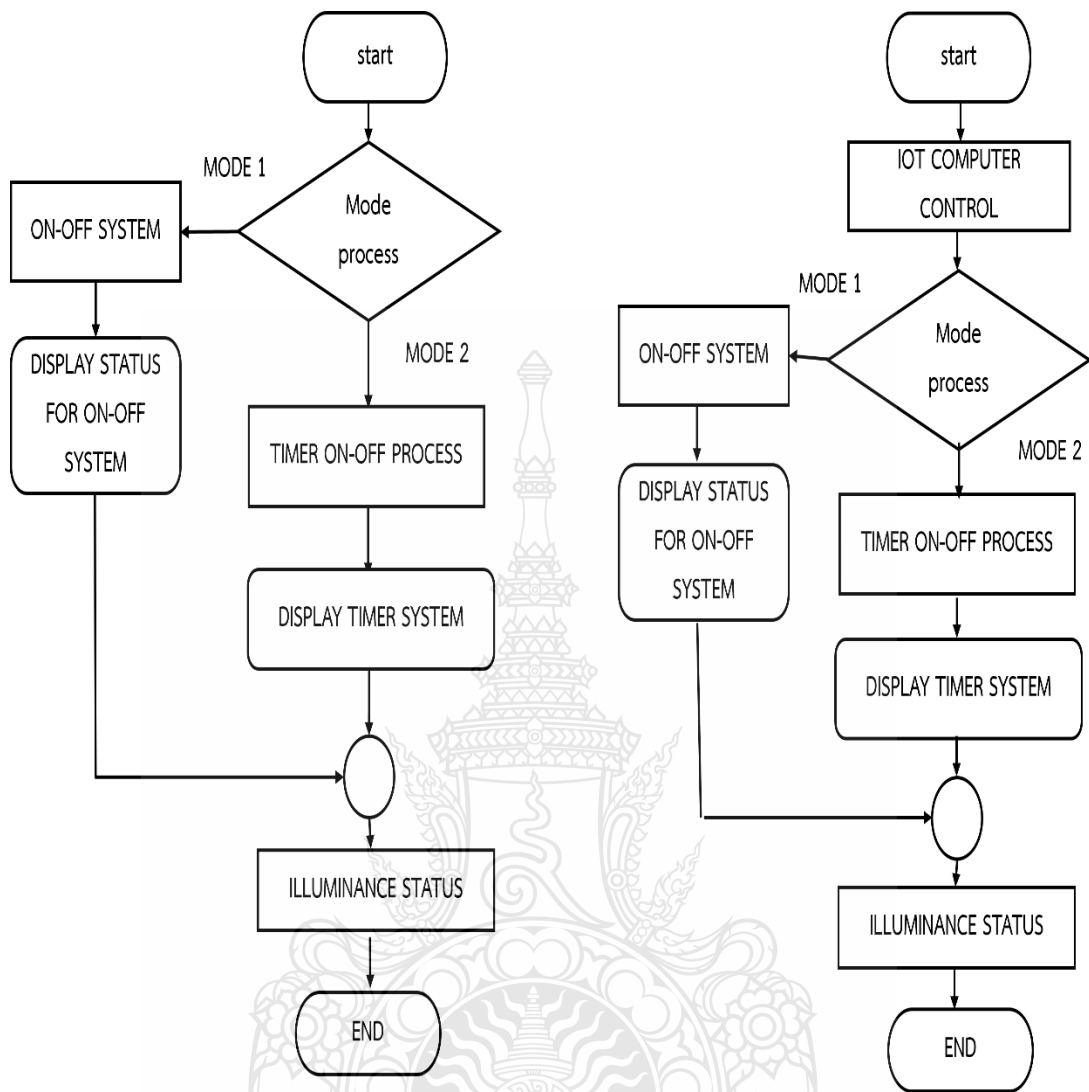
การเชื่อมต่อโดยใช้ระบบพีแอลซีกับอุปกรณ์โมดูลทางด้านเอาต์พุต เมื่อพีแอลซีได้รับข้อมูลคำสั่งมาจากโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม (GOT Mobile) และการแสดงผลส่งไปที่หน้าจอแบบ

สัมผัสและทำการสั่งงานไปยังอุปกรณ์ปลายทางที่ควบคุมโดยใช้ระบบรีเลย์ให้ทำการควบคุมระบบแสงสว่างภายในอาคารตามโซนที่กำหนด



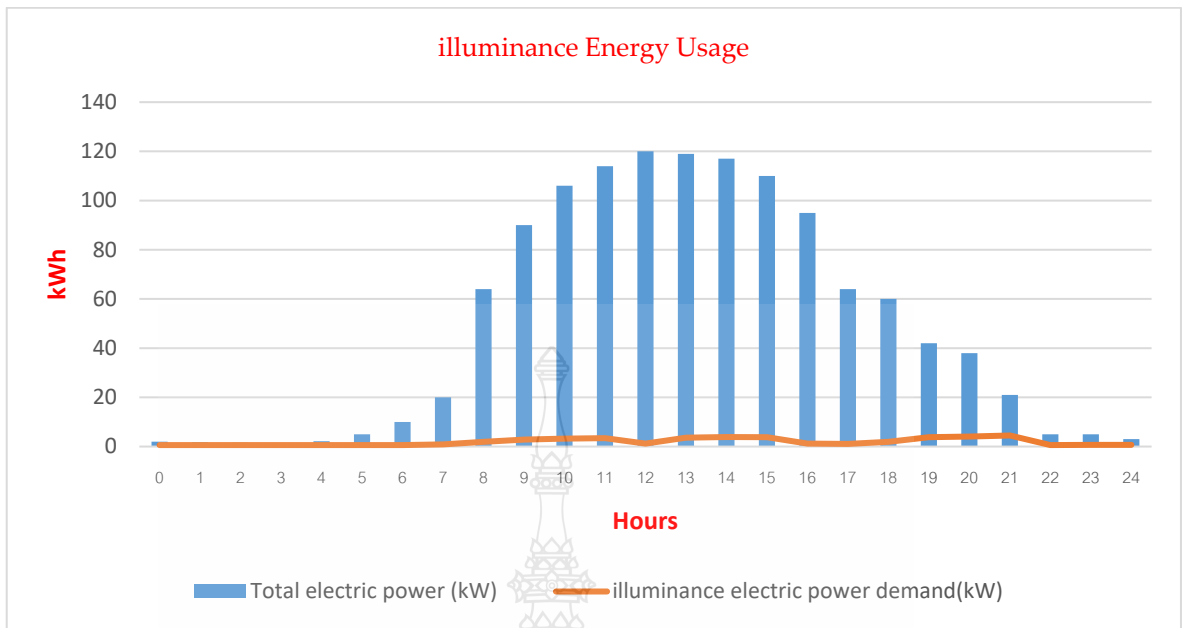
รูปที่ 3.13 อุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งและแสดงผลการทำงาน

การทำงานจากรูปที่ 3.13 เมื่อเลือก กดการ เปิด - ปิด ปุ่ม Lighting Zone ด้วยหน้าจอแบบสัมผัสสั่งงานไปยังอุปกรณ์รีเลย์ให้ทำงานควบคุมระบบแสงสว่าง และสามารถตั้งเวลาเปิด - ปิด ได้จนครบกระบวนการ พร้อมทั้งทำการบันทึกปริมาณทาง ทางไฟฟ้า



รูปที่ 3.14 Flow Chart ที่ใช้การควบคุมระบบส่องสว่างแบบศูนย์รวม

ในรูปที่ 3.14 อัลกอริธึมควบคุมไฟผ่านจอสัมผัสจะควบคุมไฟที่หน้าแผงควบคุม โดยทำงาน 2 แบบ คือ เลือกเปิดหรือปิดระบบไฟเองและตั้งเวลาเปิดหรือปิดไฟได้ แบบที่ 1 จอสัมผัสจะแบ่งปุ่มการทำงานกับโซนไฟทั้งหมดเพื่อใช้งานและควบคุมไฟในแต่ละโซน โดยแต่ละปุ่มกดจะเป็นฟังก์ชัน สามารถกดเปิดหรือปิดได้ และแสดงสถานะของแต่ละโซน แนวคิดการควบคุมระบบไฟจากระยะไกลผ่านโทรศัพท์มือถือสามารถใช้ควบคุมระบบไฟจากเว็บเบราว์เซอร์โดยใช้สัญญาณอินเทอร์เน็ต สัญญาณถูกปล่อยออกมาจากตู้ควบคุม และหน้าจอที่แสดงบนโทรศัพท์จะเหมือนกับหน้าจอสัมผัสและสามารถใช้งานได้ลักษณะเดียวกับหน้าจอสัมผัสทั้งหมด ไม่ว่าจะเปิดหรือปิดด้วยตนเองหรือใช้ตัวจับเวลาเพื่อเปิดหรือปิดระบบ



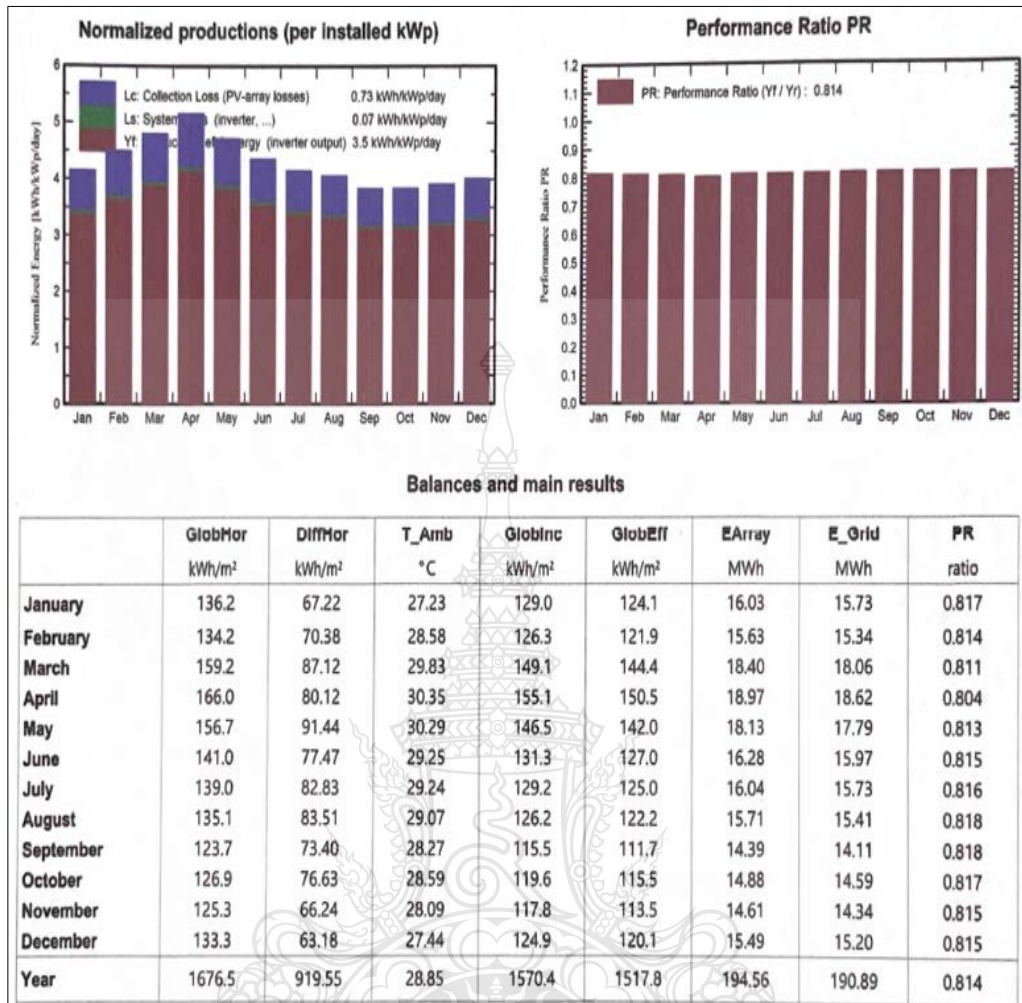
รูปที่ 3.15 ค่าพลังงานของระบบส่องสว่างที่ใช้ในภาพรวมช่วงเวลา 24 ชม.

ค่าพลังงานที่ใช้จากการวัดค่าพลังงานในช่วงเวลา 24 ชม. จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานที่มีค่าที่ใช้สูงสุดในช่วงเวลา 15.00 – 21.00 น. มีค่าของพลังงานทั้งหมดสูงสุดอยู่ที่ 120 kWh. ของพลังงานทั้งหมดและค่าของการใช้ของระบบส่องสว่างมีค่าอยู่ที่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของการใช้งานทั้งหมดอยู่ที่ 5 kWh. ตามรูปที่ 3.15

1) ระบบการผลิตพลังงานเสริมนอกเหนือจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า เพื่อจะลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าปกติ มาใช้พลังงานสำรองที่สามารถทดแทนได้ในช่วงที่เหมาะสม

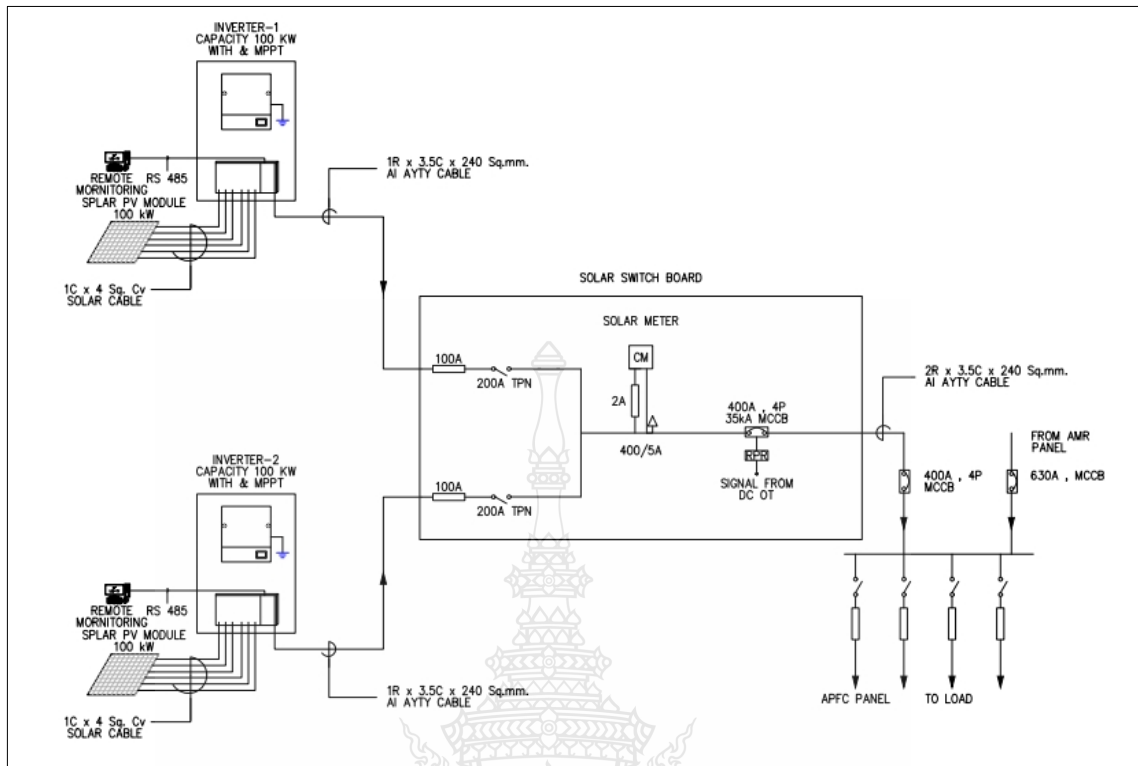


รูปที่ 3.16 การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 200 kW บนอาคาร



รูปที่ 3.17 ค่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม PVsyst

การผลิตกำลังไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้มีการปรับปรุงและมีการพัฒนาโดยได้มีทดสอบและจำลองผลการผลิตพลังงานเพื่อให้สอดคล้องกับพื้นที่ที่มีอยู่ด้วยโปรแกรม PVsyst ตามรูปที่ 3.16 และ 3.17 ซึ่งสามารถผลิตกำลังงานเมื่อรวมค่าที่สูญเสียของระบบแล้ว ค่าปริมาณการผลิตสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 160 kWh ต่อวัน

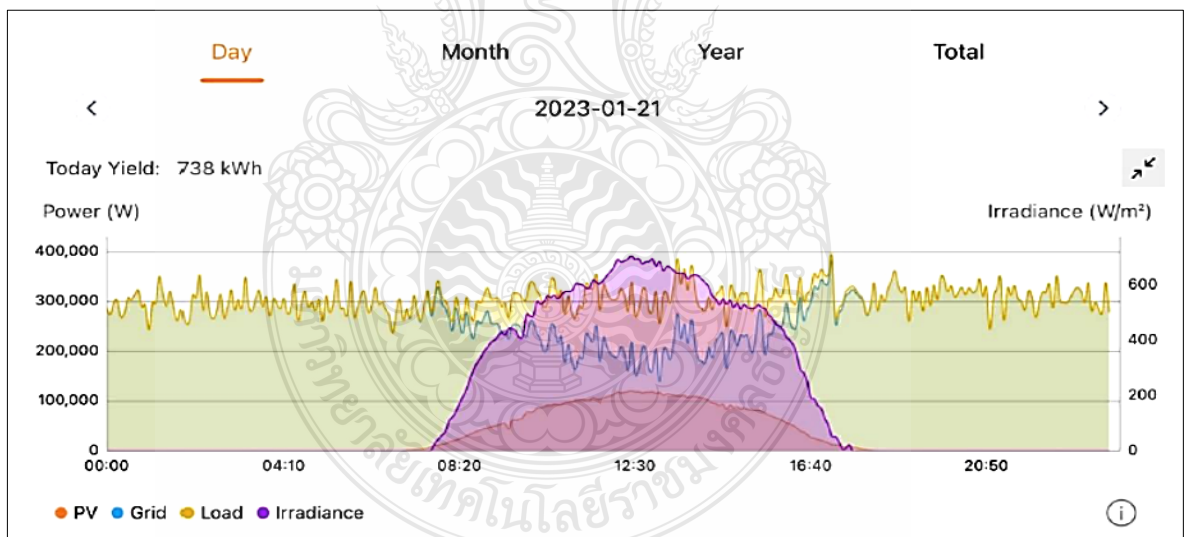


รูปที่ 3.18 วงจรการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออนกริด

การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารควบคุมโดยลักษณะการติดตั้งกับระบบไฟฟ้าที่เป็นชนิดออนกริดโดยมิใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 100 กิโลวัตต์จำนวน 2 ตัวแยกกันทำงาน และเชื่อมต่อกับระบบที่ผู้ควบคุมไฟฟ้าหลัก ดังแสดงตามรูป 3.18 และรูปที่ 3.19

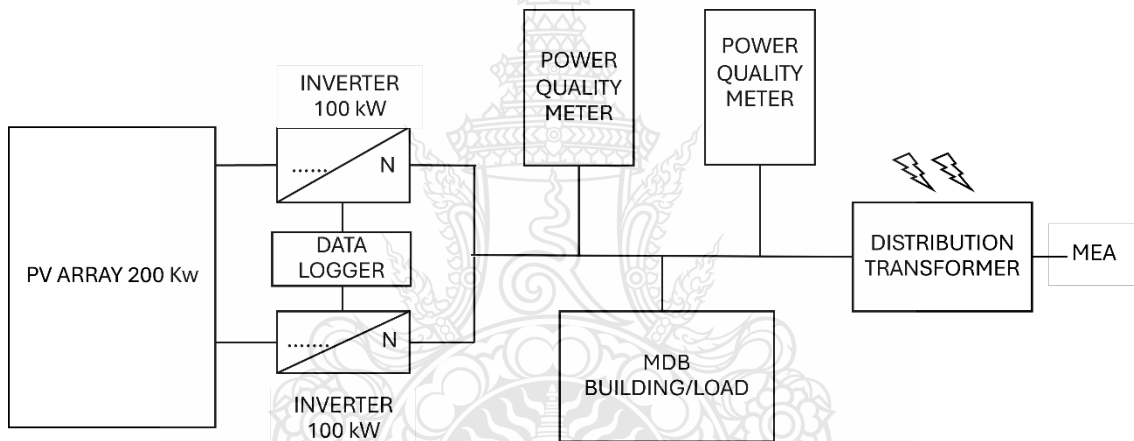


รูปที่ 3.19 การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา



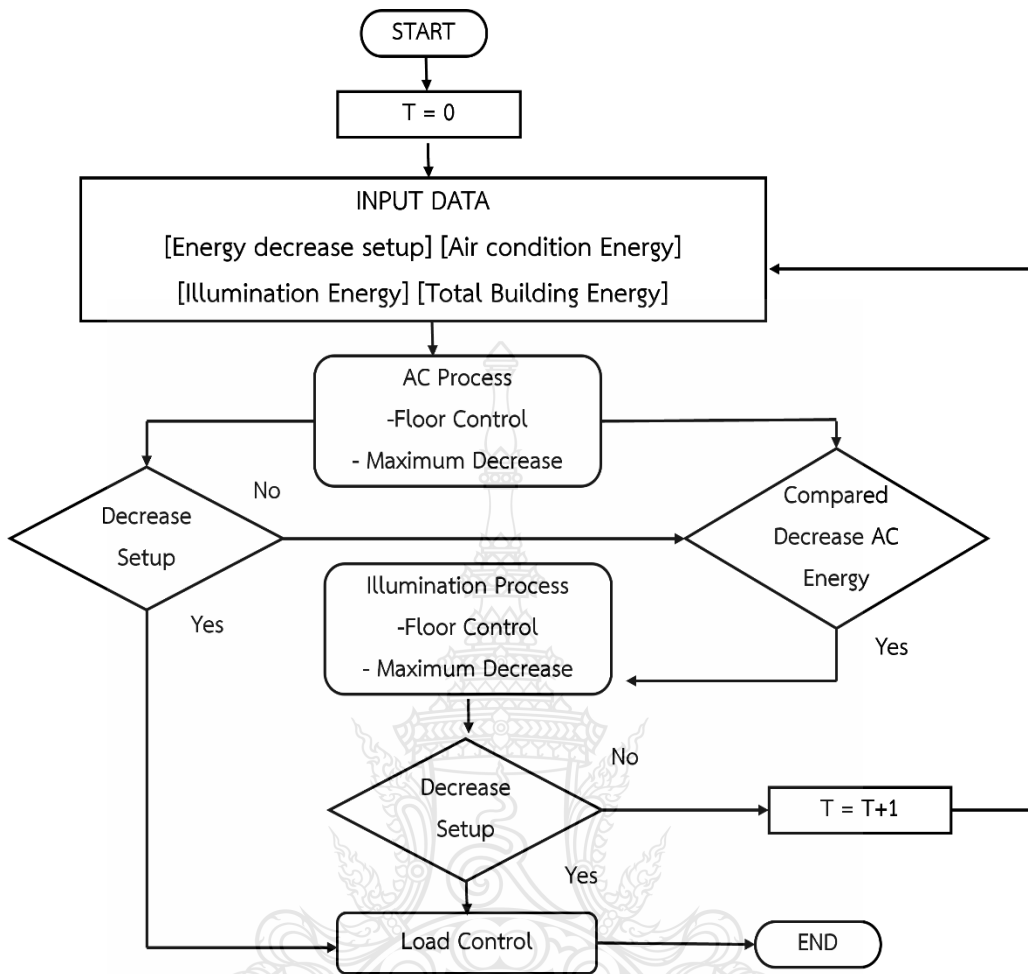
รูปที่ 3.20 ทดสอบการเก็บค่าพลังงานการผลิตจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในรอบ 1 วัน

การเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าเข้ากับอาคารโดยอาศัยการควบคุมการตัดระบบพลังงานแสงอาทิตย์กับตู้ MDB ผ่านตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ควบคุมและเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าอาคารที่บัสบาร์ภายในตู้ที่ได้ติดตั้งระบบป้องกันไว้แล้วดังแสดงในรูป 3.21



รูปที่ 3.21 การเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าภายในอาคาร

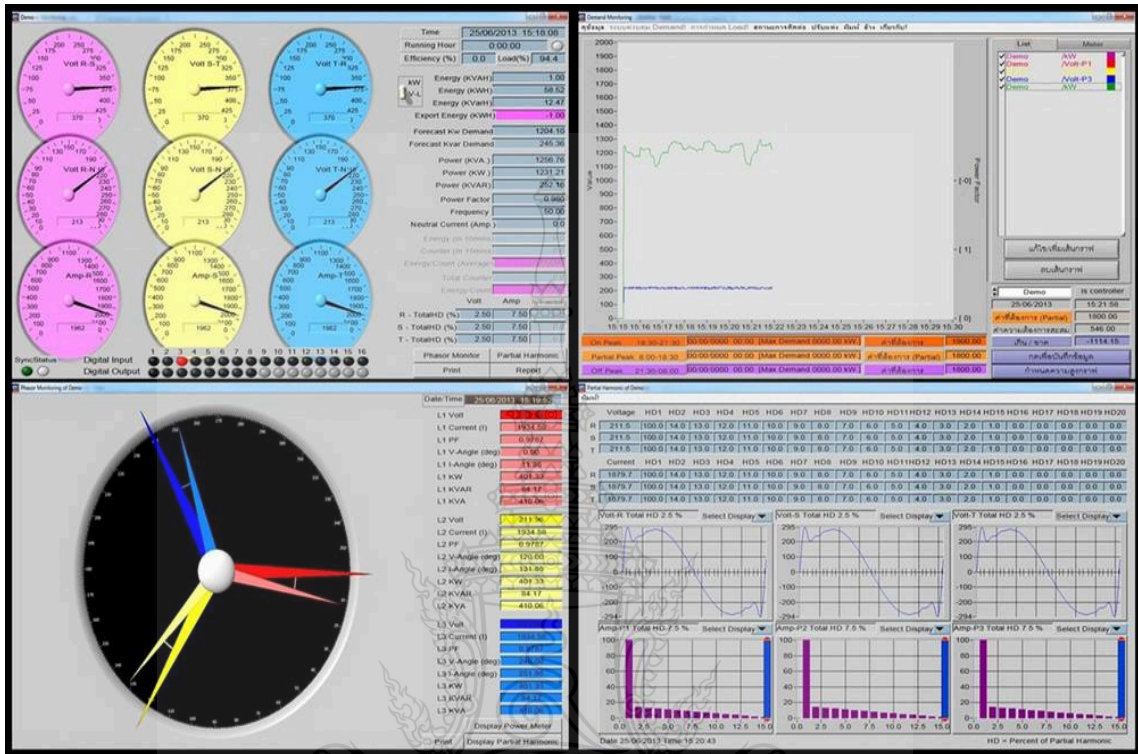
1) การบริหารจัดการพลังงานในภาพรวมแบบศูนย์กลางที่ต้องมีการรายงานผลและสามารถควบคุมการทำงานผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถแสดงผลได้ทั้งในและนอกสถานที่



รูปที่ 3.22 Flow chart การทำงานสำหรับการบริหารจัดการพลังงาน

การทำงานของระบบการควบคุมการทำงานระบบบริหารจัดการพลังงาน โดยเริ่มการทำงานเมื่อมีข้อมูลเข้ามา รวมถึงข้อมูลการใช้ค่าพลังงานของอาคารและอุปกรณ์ที่ใช้ภายในอาคาร เพื่อให้ทราบค่าปริมาณการใช้งานทั้งหมดที่นำข้อมูลเข้ามาในส่วนนี้ หลังจากนั้นเป็นอัลกอริทึมสำหรับการควบคุมพลังงานในระบบปรับอากาศทั้งหมด 4 ชั้น เนื่องจากการควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศจะมีผลของการเปลี่ยนแปลงจากระบบแสงสว่างด้วย ดังนั้นอัลกอริทึมสำหรับระบบแสงสว่างจะต้องมีการตั้งค่าไปพร้อมกัน ถ้าการตั้งค่าความต้องการการลดพลังงานของระบบปรับอากาศมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า จึงไม่จำเป็นต้องมีการตั้งค่าในระบบแสงสว่าง ดังสมการที่ 2.8 .ในส่วนของฟังก์ชันในการควบคุม ค่าปริมาณการใช้งานของระบบปรับอากาศกับระบบแสงสว่าง มีการกำหนดการใช้งานของอุปกรณ์สำหรับการลดค่าพลังงานที่ถูกควบคุมโดยอัลกอริทึมซึ่งจะบังคับให้การทำงานมีค่าสูงสุด ดังสมการที่ 2.9 และจากการทำงานของอัลกอริทึมค่าพลังงานสูงสุดที่สามารถลดได้ทั้งระบบปรับอากาศ

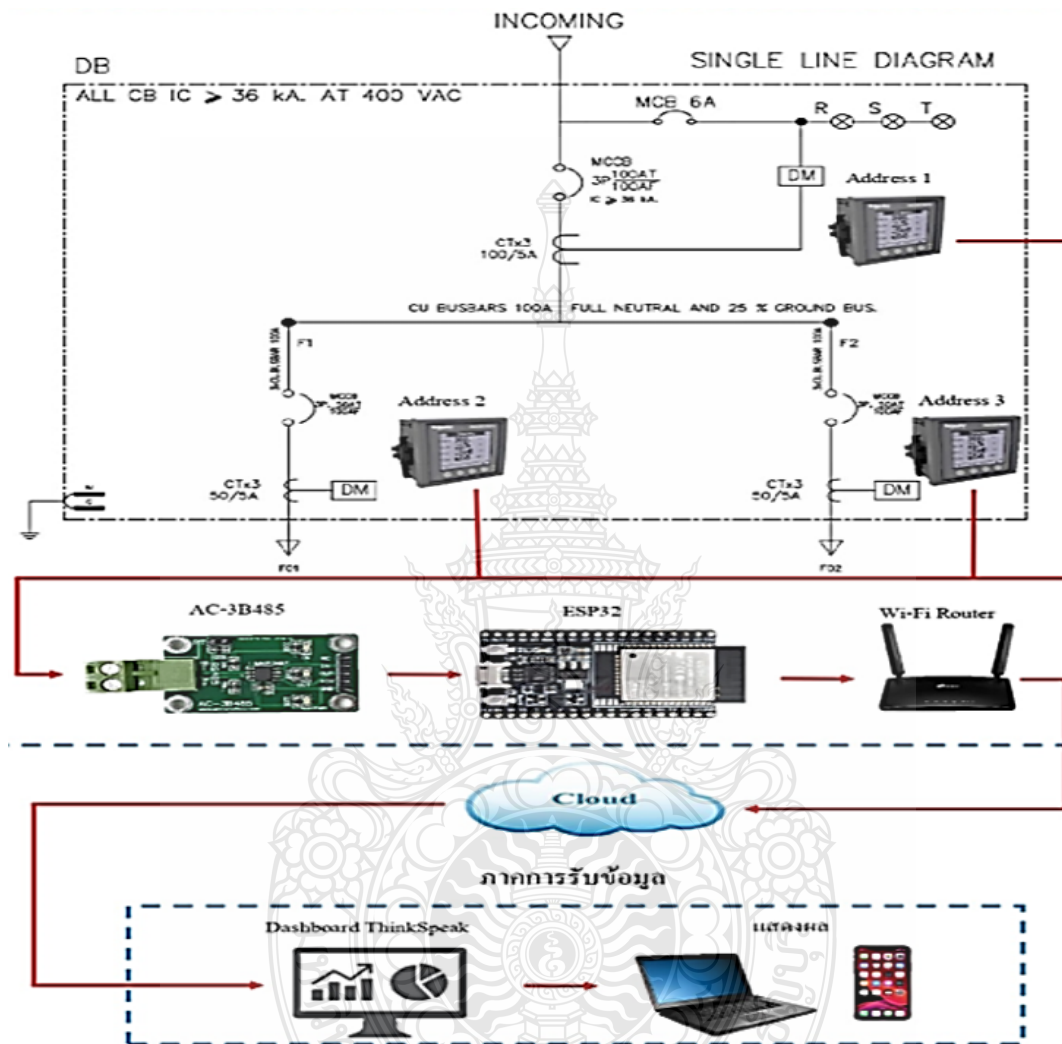
และระบบแสงสว่างโดยใช้สามการที่ 2.10 และ 2.11 และเทคนิคที่ใช้ในการควบคุมจะใช้สมการที่ 2.12 และ 2.13



รูปที่ 3.23 โปรแกรม smartEE สำหรับการบริหารจัดการพลังงาน

โปรแกรมการบริหารจัดการพลังงาน เป็นโปรแกรมที่ช่วยให้สามารถวางแผนการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ได้ทั้งแบบแมนนวลและระบบอัตโนมัติได้หลายอุปกรณ์และสามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรมเพื่อรวบรวมข้อมูลไฟฟ้าภายในอาคารและวางแผนการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยโปรแกรมมีความสามารถในการคำนวณค่าความต้องการพลังงานแบบ Real time เพื่อดูความต้องการแบบล่วงหน้าก่อนครบ 15 นาที และสามารถจัดเก็บข้อมูลและบันทึกค่าทางไฟฟ้าได้ดังนี้ V-Line, V-Phase, V-Average, V-Line, A-Average, A-Neutral, KW, KVA, KVAR, PF, Frequency, Demand, Demand, Demand Control, Running Hour, Total Harmonics-Volt, Total Harmonics Current, Efficiency (%) , Load (%) , Partial Harmonics หรือค่าอื่นๆ ได้ที่เว็บไซต์สามารถอ่านค่าได้ สำหรับการแสดงผลสามารถแสดงกราฟิกแสดงหน้า Volt-Line, Volt-Phase, A-Line, Kw-Line, ค่า Total Harmonics และ Partial Harmonics และเก็บข้อมูล

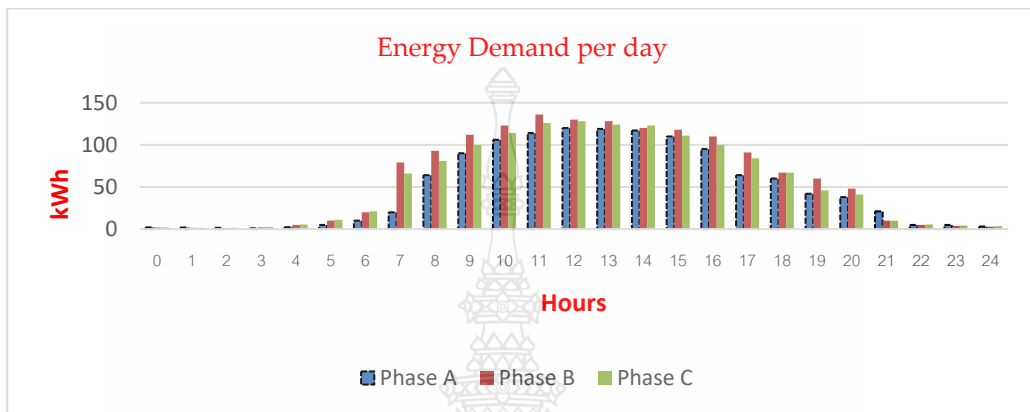
อุปกรณ์ที่ส่งได้ ข้อมูลไฟฟ้าในแบบ Realtime สามารถตรวจสอบได้อย่างแม่นยำ ผ่านตัวโปรแกรมกับ อุปกรณ์ต่างๆ ที่วัดได้



รูปที่ 3.24 จุดติดตั้งการอ่านค่าสำหรับโปรแกรม smartEE

การติดตั้งดิจิตอลเพาเวอร์มิเตอร์ในตัว MDB แล้วทำการเดินสายส่งสัญญาณไปยัง Converter Device ต่อเข้ากับช่องสัญญาณ RS485 แล้วทำการเชื่อมต่อ RS485 เข้ากับคอมพิวเตอร์ที่เราทำการติดตั้งโปรแกรมบริหารพลังงานไว้แล้ว และทำการลิงค์สัญญาณเชื่อมต่อกับตัว MDB เพื่อศึกษาดูพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในอาคารวิศวกรรมศาสตร์ ลักษณะการติดตั้งระบบการจัดการพลังงานโดยใช้

ดิจิตอลเพาเวอร์มิเตอร์โดยการนำดิจิตอลเพาเวอร์มิเตอร์ไปทำการติดตั้งที่ Man Distribution Board (MDB) และนำสายส่งสัญญาณมาต่อเข้ากับดิจิตอลเพาเวอร์มิเตอร์ ทางด้านปลายของสายต่อเข้ากับ Connectors นำสายส่งสัญญาณต่อเข้า Connectors กับคอมพิวเตอร์ ทำการติดตั้งโปรแกรม ตามรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.25 ค่าความต้องการพลังงานในระยะเวลา 24 ชม.

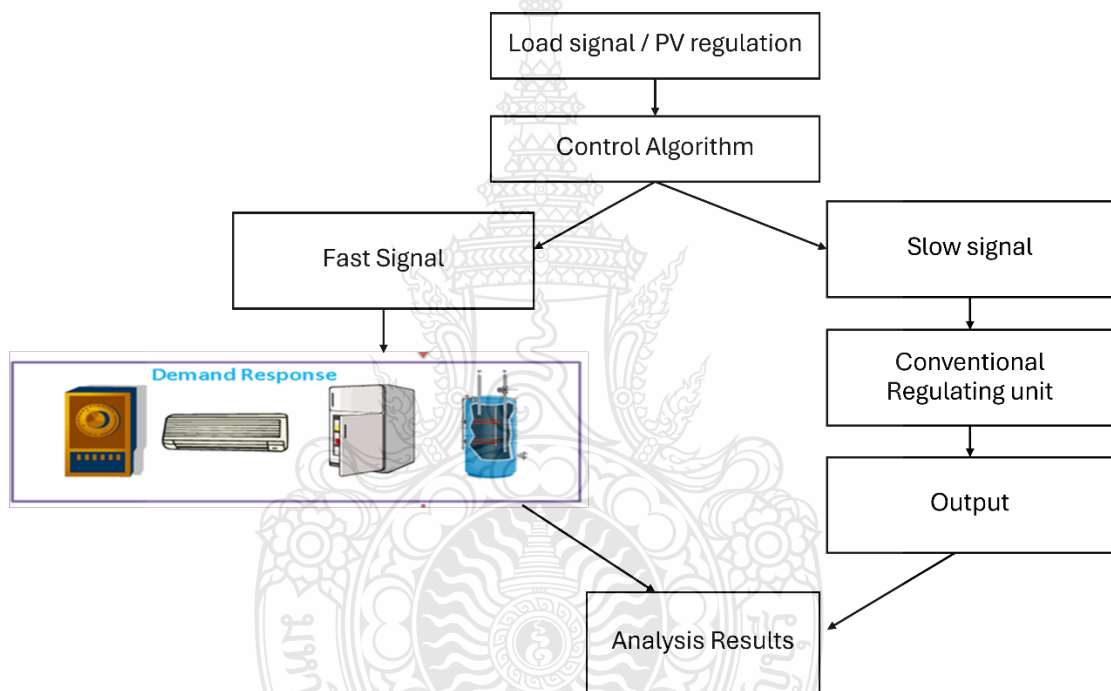
3.2 สรุปท้ายบท

ในบทนี้ ได้เน้นการอธิบายวิธีการตรวจสอบและวัดการใช้พลังงานของอาคารที่มีการควบคุมอย่างเป็นทางการ วัตถุประสงค์หลักของบทนี้คือทำให้ความเข้าใจที่ครอบคลุมเกี่ยวกับกระบวนการเก็บข้อมูลและเทคนิคการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลการใช้งานพลังงานไฟฟ้าในอาคารและการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในอาคารที่มีการใช้พลังงานสูงสุด ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง ข้อมูลที่รวบรวมมานี้ครอบคลุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า จำนวนพลังงานของระบบปรับอากาศ จำนวนพลังงานของระบบแสงสว่าง รวมถึงจำนวนพลังงานของระบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานที่ใช้ภายในอาคารทั้งหมด ผู้วิจัยใช้เครื่องวัดพลังงานในอาคาร สามารถบันทึกค่าพลังงานที่ใช้ในอาคาร ซึ่งจะให้ข้อมูลที่ละเอียดและมีความสำคัญเกี่ยวกับรูปแบบการใช้พลังงาน นอกจากนี้ บทนี้ยังสรุปขั้นตอนการประมวลผล ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในอาคารที่มีการควบคุมและจัดเตรียมข้อมูลที่รวบรวมไว้สำหรับการวิเคราะห์ ขั้นตอนนี้เกี่ยวข้องกับการแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาด รวมถึงการเพิ่มข้อมูลที่บกพร่อง เพื่อปรับแก้ตัวแปรให้เป็นปกติและให้แน่ใจว่าได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและมีความหมาย โดยรวม และจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์และประเมินการใช้พลังงานในบทต่อไป

บทที่ 4

การทดสอบและการวิเคราะห์ผล

บทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์การบริหารจัดการพลังงานสำหรับอาคารที่มีการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์จากอาคารตัวอย่างที่ถูกรอกแบบไว้ในบทที่ 3 ที่ได้ทำการบันทึกข้อมูลค่าพลังงานภายในอาคาร และผลการวัดค่าพลังงานสำหรับอุปกรณ์ภายในอาคารใช้ได้นำไปใช้ตลอดช่วงเวลาในช่วงเวลาทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งการบันทึกลักษณะและรูปแบบการใช้อุปกรณ์ในแต่ละประเภท

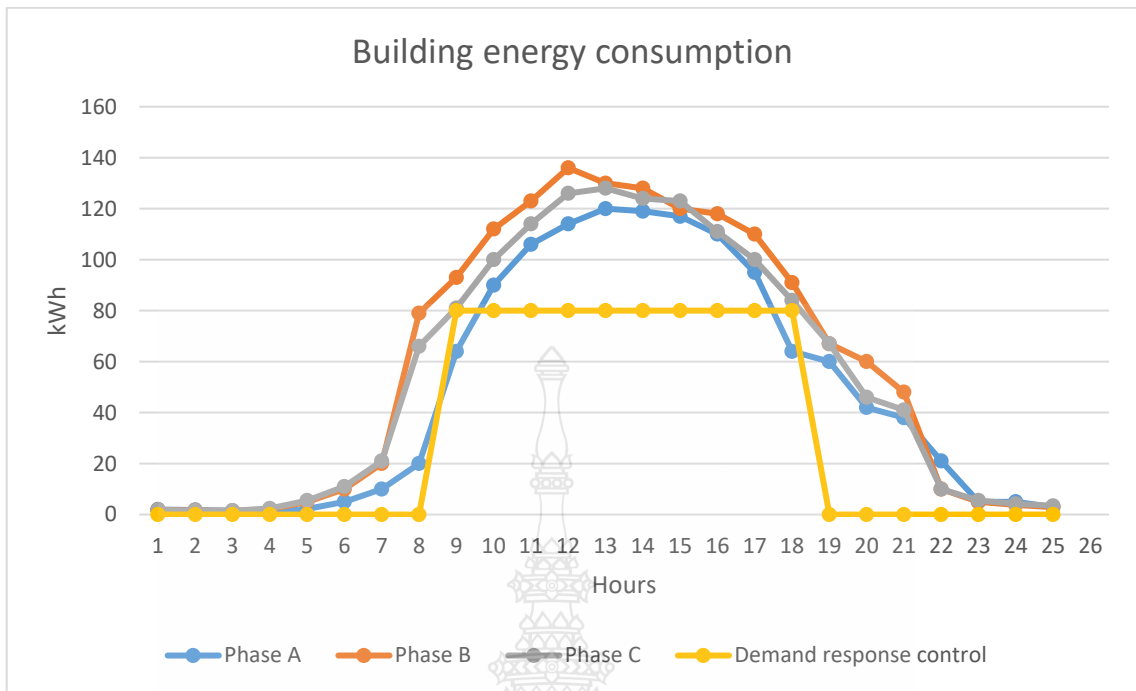


รูปที่ 4.1 ผังระบบสำหรับการติดตั้งเพื่อทดสอบจากอาคารตัวอย่าง

4.1 การวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารที่ทำการวิจัย

4.1.1 กำลังไฟรวมสำหรับอาคารควบคุมในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

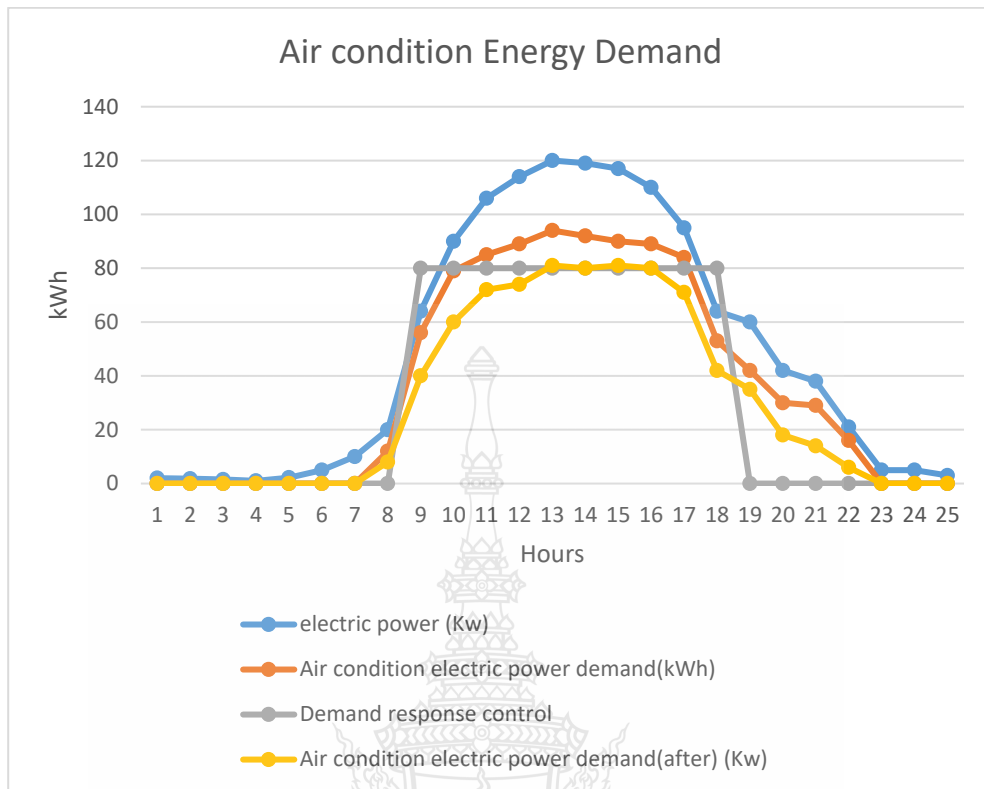
หลังจากทำการตรวจวัดและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารที่ทำการวิจัยโดยพิจารณาจากการใช้พลังงานตามช่วงเวลาที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.2 พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคารในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

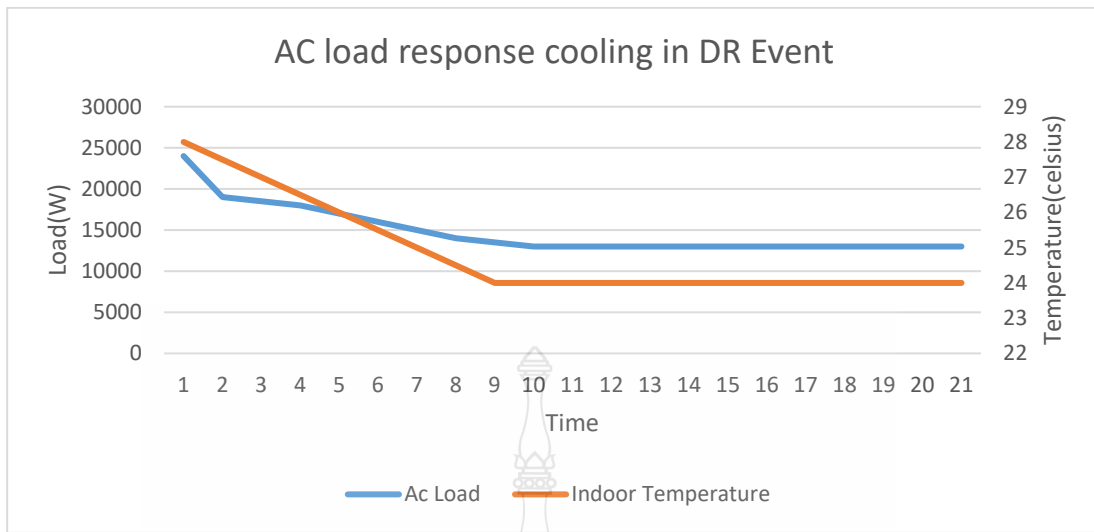
จากข้อมูลของการควบคุมโดยระบบการบริหารจัดการพลังงานที่ได้ทำการควบคุมตามช่วงเวลาที่ได้ทำการบริหารจัดการ โดยมีข้อมูลที่สามารถวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้ ช่วงเวลาการใช้งานพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลา 24.00 – 05.00 น. ไม่มีการใช้งานพลังงานไฟฟ้า โดยการควบคุมพลังงานไฟฟ้าทั้งที่เห็นจากกราฟในระบบทั้งสามเฟส เมื่อถึงเวลา 6.00 – 8.00 น. เริ่มมีการใช้งานพลังงานไฟฟ้าในระดับที่มีโหลดต่ำประมาณ 20 kWh. หลังจากนั้นข้อมูลสำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าเริ่มมีการใช้งานที่มากขึ้นและเพิ่มสูงขึ้น เห็นได้จากการเพิ่มสูงขึ้นจากกราฟและมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาระหว่าง 12.00 – 14.00 น. ประมาณ 80-140 kWh. และได้ลดลงตามลำดับจนถึงช่วงเวลา 21.00 น. ดังแสดงใน รูปที่ 4.2

4.1.2 กำลังไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศและขั้นตอนการควบคุมด้วย Demand Response Event

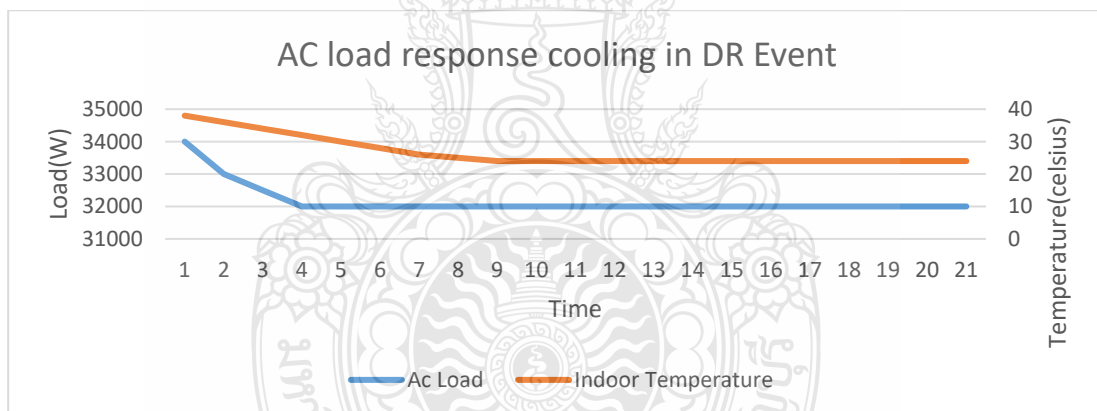


รูปที่ 4.3 พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเปรียบเทียบกับพลังงานทั้งหมด

จากข้อมูลที่แสดงให้เห็นการตรวจวัดข้อมูลของอุปกรณ์ที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานที่สูงที่สุดสำหรับระบบปรับอากาศโดยมีการควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศจากเดิมที่มีการควบคุมแบบเดี่ยวให้กลับมาใช้การควบคุมระบบปรับอากาศแบบศูนย์กลาง จากกราฟแสดงให้เห็นว่าจากค่าพลังงานจากโหลดทั้งหมดมีความต้องการพลังงานสูงสุด 140 kWh. แสดงในกราฟเส้นสีฟ้า ปริมาณการใช้งานของระบบปรับอากาศตามช่วงเวลาที่มีการใช้ค่าพลังงานสูงสุดแบบเดิมสูงสุดที่ 100 kWh. จะเห็นได้ว่าค่าการใช้พลังงานเริ่มต้นในช่วงเวลา 8.00 น. และค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในช่วงเวลา 11.00 – 17.00 น. แสดงในกราฟเส้นสีส้ม หลังจากที่มีการเปลี่ยนระบบการควบคุมแบบศูนย์กลางสามารถลดค่าพลังงานของระบบปรับอากาศให้อยู่ที่ประมาณ 80 kWh. แสดงในกราฟเส้นสีเหลือง และเส้นกราฟสีเทาแสดงจุดการควบคุมความต้องการด้านพลังงาน ดังแสดงใน รูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4 พฤติกรรมการตอบสนองสำหรับระบบทำความเย็น เมื่อค่า T_{out} = 28 องศา และ T_{in} = 25 องศา



รูปที่ 4.5 พฤติกรรมการตอบสนองสำหรับระบบทำความเย็น เมื่อค่า T_{out} = 38 องศา และ T_{in} = 25 องศา

จากการตั้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้นภายในอาคารและภายนอกอาคารค่าที่ตั้งไว้ของระบบปรับอากาศ การคาดการณ์โหลดแบบจำลองจำลองกระบวนการทำความเย็นและส่งออกโปรไฟล์อุณหภูมิภายในอาคารและโหลดของระบบปรับอากาศดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงกระบวนการทำความเย็นเมื่อค่าที่ตั้งไว้คือ 25 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิภายนอกคือ 28 องศาเซลเซียส และ 38 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในช่วงเริ่มต้นนั้นจำเป็นต้องมีความสามารถในการทำความเย็นของระบบทำ

ความเย็นเนื่องจากอุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ ด้วยการสะสมความร้อนอย่างต่อเนื่องจึงทำให้มีความสามารถในการทำความเย็นภายในอาคาร ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารและภาระของระบบปรับอากาศจะค่อยๆ ลดลง ในที่สุด อุณหภูมิภายในจะลดลงจนถึงค่าที่ตั้งไว้และโหลดของระบบปรับอากาศยังคงมีเสถียรภาพ เมื่ออุณหภูมิภายในอาคารแตกต่างกัน และกลางแจ้งคือ 4 - 1 องศาเซลเซียส (Tout คือ 28 - 1 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิภายในจะลดลงสู่ค่าคงที่ในประมาณ 21 นาที เมื่ออุณหภูมิต่างกัน 12 องศาเซลเซียส (ปกติคือ 38 องศาเซลเซียส) ภายในอาคารอุณหภูมิจะลดลงสู่ค่าคงที่ในเวลาประมาณ 40 นาที ผลลัพธ์บ่งชี้ว่าระยะเวลาที่จะไปถึงสมดุลการทำความเย็นอื่น เช่น เวลาตอบสนองของอุณหภูมิการควบคุมเกี่ยวข้องกับความแตกต่างของอุณหภูมิและแปรผันในช่วงระหว่าง 21 ถึง 35 นาที

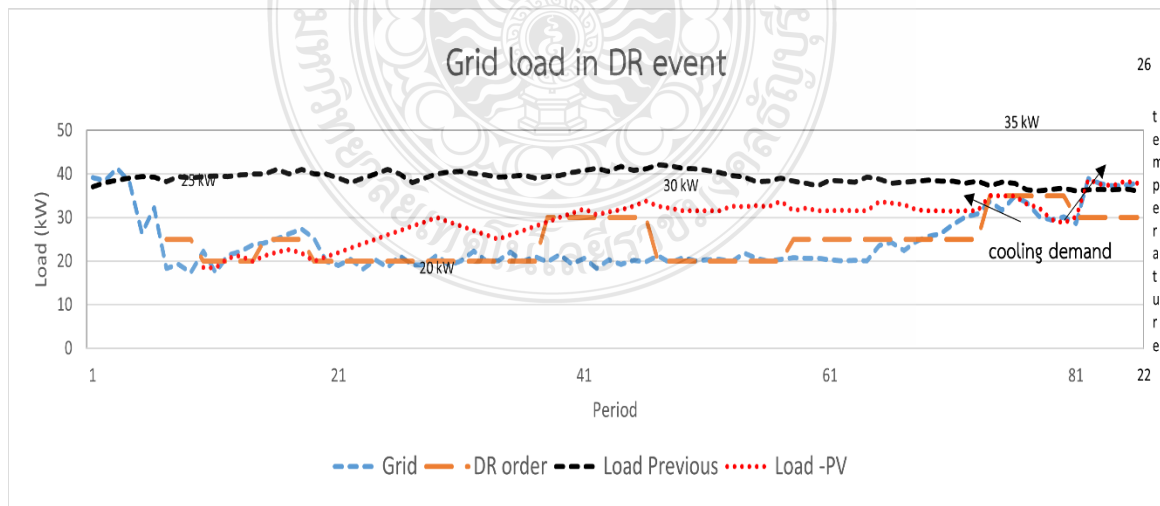
ตารางที่ 4.1 การทำงานและคำอธิบายการตอบสนองในการทดสอบ

รายละเอียด	คำอธิบาย	การดำเนินงาน	ผลกระทบ
ระบบปรับอากาศ	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเย็นกับค่าพลังงานอยู่ที่ระหว่าง 15kW กับ 38 kW	อุณหภูมิภายในอาคารค่าที่ตั้งไว้คือ 22 องศาเซลเซียส ตามสถานการณ์ปกติที่ไม่มีการควบคุมใดๆ	โหลดของระบบปรับอากาศสูงสุดคือ 55 kW ซึ่งมีค่าสูงสุดสามารถตอบสนองของความต้องการของพลังงาน
ผลกระทบจากคน	สัมประสิทธิ์ค่าความร้อนที่เกิดจากคน เมื่อมีการขยับเขยื้อนมากเท่าไรความต้องการค่าความเย็นก็มากขึ้น	การประชุมเชิงปฏิบัติการ หรือ นิทรรศการหรือการศึกษา	ผลของกิจกรรมส่งผลให้เกิดความผันผวนของค่าความเย็นและการดำเนินการของระบบ.
สิ่งแวดล้อม	การทำความเย็นสำหรับสิ่งแวดล้อมในภูมิภาคเขตร้อน	ตั้งอุณหภูมิที่ 25 °C ในขณะที่ระบบโซลาร์เซลล์ทำการผลิตพลังงานเข้ามาเสริม	ความไม่แน่นอนของระบบ PV ซึ่งมีความผันผวนของอาคาร

ตารางที่ 4.2 ช่วงเวลาการทำงานและการควบคุมผ่านระบบ Demand Response

เวลา(period)	10-12	17-18	20-21	24-36
เป้าหมายพลังงาน (kW)	25	20	25	20
เวลา(period)	38 - 45	55 - 70	71 - 74	75 - 82
เป้าหมายพลังงาน (kW)	30	20	35	30

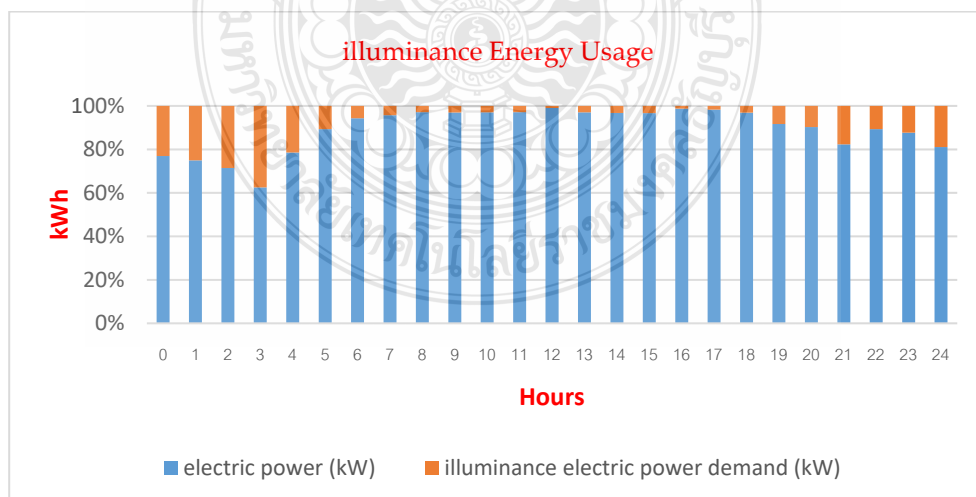
การนำกระบวนการของ Demand Response มาใช้ในระบบปรับอากาศและประสิทธิภาพของการควบคุมค่าพลังงานได้รับการทดสอบและวิเคราะห์กับการทำงานจากอัลกอริทึมที่ตั้งค่าไว้โดยได้รับเป้าหมายจาก Demand Response เช่นกัน โหลดข้อมูลระบบพลังงานอาคารจาก database จะทำการดำเนินการตามค่าที่ตั้งไว้ สำหรับแต่ละระบบปรับอากาศซึ่งจะนำเสนอ สัญญาณควบคุม เช่น ค่าที่ตั้งไว้ จะถูกส่งไปยังระบบควบคุมที่สอดคล้องกันโดยตัวควบคุมแบบกระจายอำนาจผ่านระบบ RS485 การตั้งค่าภายในอาคารจะมีการเปลี่ยนแปลงและปฏิกิริยาของสภาวะภายในอาคาร จะได้รับการตรวจสอบตามประสิทธิภาพ ข้อเสนอแนะ. ลักษณะเฉพาะของระบบปรับอากาศที่ต้องการความเย็น และผลกระทบที่เกี่ยวข้องของอาคารที่ทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 กำหนดการและลำดับของวิธี Demand Response ตามระยะเวลา แสดงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.6 พฤติกรรมการตอบสนองสำหรับระบบทำความเย็นต่อค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลง

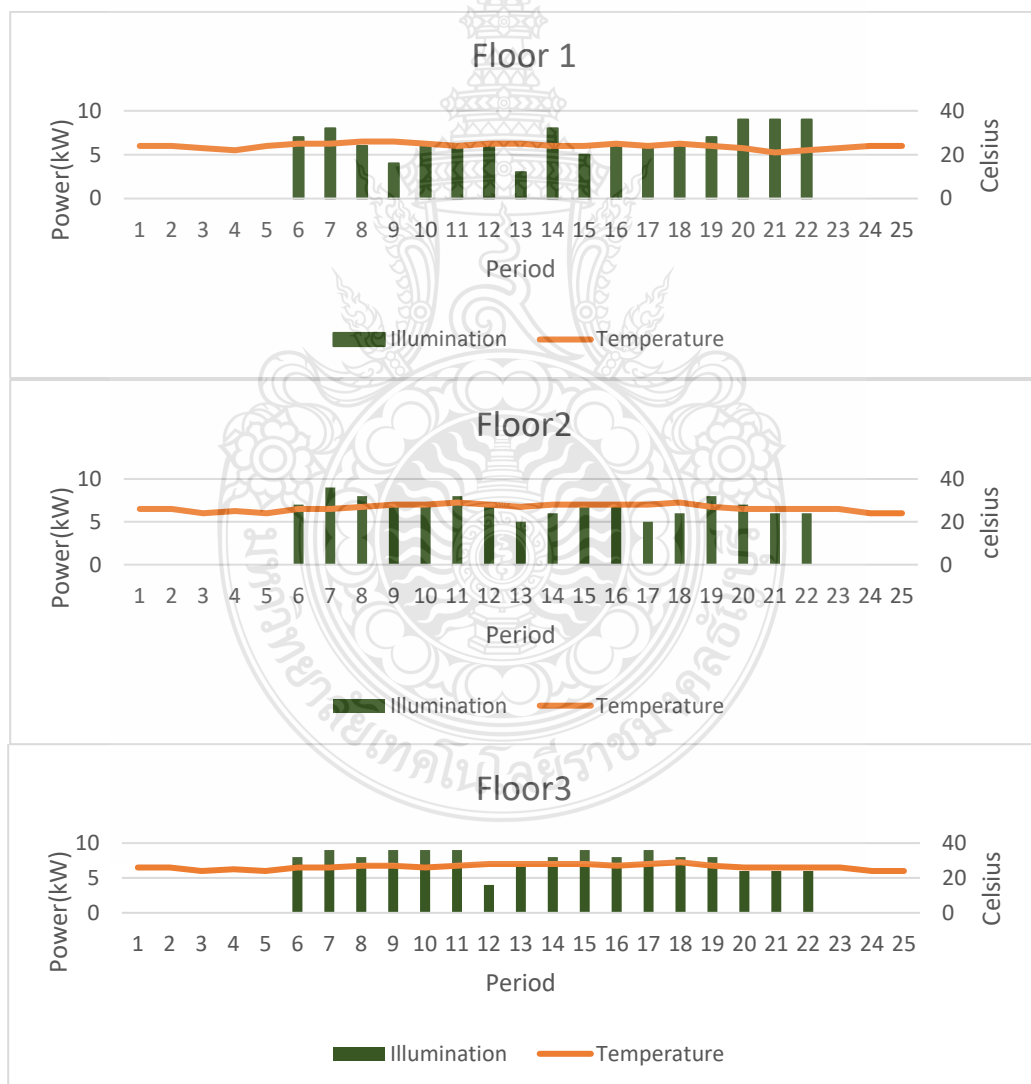
เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารและการควบคุมด้วย Demand Response พบว่าภาระการใช้พลังงานไฟฟ้างดงกล่าวมีค่าลดลงตามเป้าหมาย ในขณะที่ผลการควบคุมเป็นไปตามที่คาดไว้เกือบตลอดเวลาที่จุดเริ่มต้นของการควบคุมแบบ Demand Response เนื่องจากมีการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูง จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าสำหรับการควบคุม โดยเพิ่มการตั้งค่าระบบปรับอากาศ ส่งผลให้ภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารลดลงอย่างมาก อาคารโหลดไฟฟ้าลดลงเหลือ 18 กิโลวัตต์ ซึ่งน้อยกว่าเป้าหมาย 25 กิโลวัตต์ ที่โหลดของระบบปรับอากาศจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่การควบคุม Demand Response ยังคงจำกัดการเปลี่ยนแปลงของโหลด ตามคำสั่ง Demand Response การควบคุม Demand Response ไม่สามารถทำได้ในสองช่วงเวลา ภาระของอาคารเริ่มเพิ่มขึ้นและเกินเป้าหมาย Demand Response แต่หลังจากนั้นก็ได้รับการควบคุมที่ 35 กิโลวัตต์ และเพิ่มเติมที่ 30 กิโลวัตต์ อย่างไรก็ตาม ภาระของอาคารยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นเพราะความต้องการในการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาวะอากาศร้อนในช่วง 2 ช่วงเวลานี้ ขณะที่กลยุทธ์การควบคุมไม่สามารถลดภาระได้เพียงพอ จำเป็นต้องแก้ไขเพิ่มเติมแบบจำลองการคาดการณ์โหลดสำหรับการประมาณค่าที่ตั้งไว้ของระบบปรับอากาศที่แม่นยำยิ่งขึ้นเพื่อให้บรรลุผลตามที่คาดหวัง การควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบภาระของอาคารก่อนและหลังกลยุทธ์การควบคุม DR สามารถรับการลดภาระอันเป็นผลมาจากกลยุทธ์การควบคุมได้ จะเห็นได้ว่าการรับน้ำหนักของอาคารลดลง 15-25 กิโลวัตต์เมื่อเทียบกับก่อนการควบคุม และไฟฟ้า 61.1 กิโลวัตต์ชั่วโมง

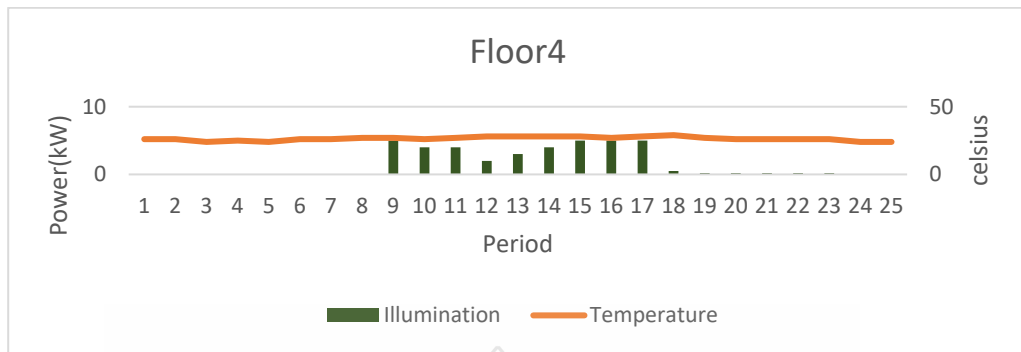
4.1.3 กำลังไฟฟ้าสำหรับระบบแสงสว่างและขั้นตอนการควบคุมด้วย Demand Response Event



รูปที่ 4.7 พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างเปรียบเทียบกับพลังงานทั้งหมด

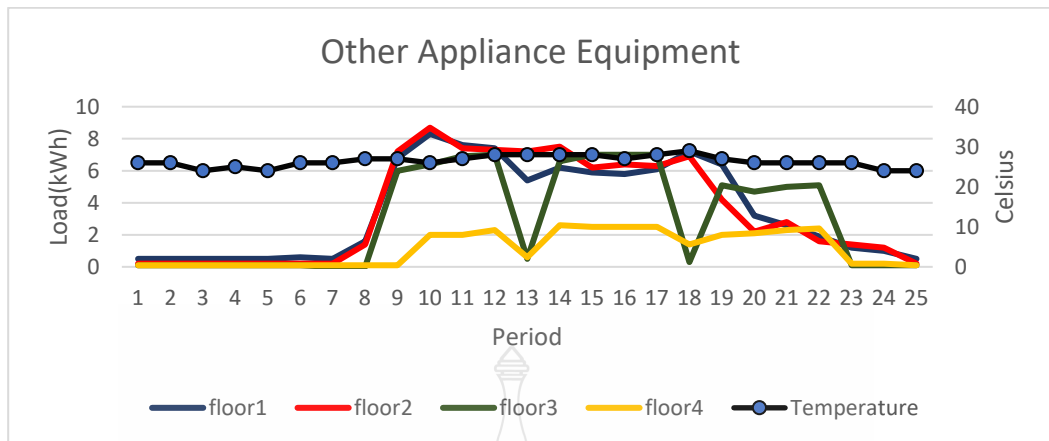
จากข้อมูลที่แสดงให้เห็นการตรวจวัดข้อมูลของอุปกรณ์ที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานที่สูงที่สุดสำหรับระบบปรับอากาศโดยมีการควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศจากเดิมที่มีการควบคุมแบบเดี่ยวให้กลับมาใช้การควบคุมระบบปรับอากาศแบบศูนย์กลาง จากกราฟแสดงให้เห็นว่าจากค่าพลังงานจากโหนดทั้งหมดมีความต้องการพลังงานสูงสุด 140 kWh แสดงในกราฟเส้นสีฟ้า ปริมาณการใช้งานของระบบแสงสว่างตามช่วงเวลาที่มีการใช้ค่าพลังงานสูงสุดแบบเดิมสูงสุดที่ 4 kWh จะเห็นได้ว่าค่าการใช้พลังงานเริ่มต้นในช่วงเวลา 8.00 น. และค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในช่วงเวลา 18.00 – 21.00 น. แสดงในกราฟเส้นสีส้ม หลังจากที่มีการเปลี่ยนระบบการควบคุมแบบศูนย์กลางสามารถลดค่าพลังงานของระบบแสงสว่างให้อยู่ที่ประมาณ 2.4 kWh. แสดงในกราฟเส้นสีเหลือง และเส้นกราฟสีเทาแสดงจุดการควบคุมความต้องการด้านพลังงานในภาพรวมทั้งหมด ดังแสดงใน รูปที่ 4.7





รูปที่ 4.8 พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงของแต่ละชั้นหลังจากการควบคุม

จากข้อมูลแสดงให้เห็นถึงการควบคุมระบบแสงสว่างและอุณหภูมิภายในของแต่ละชั้นด้วยการใช้มาตรการ Demand Response จากชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2, ชั้นที่ 3, และชั้นที่ 4 ตามลำดับ ข้อมูลแสดงในรูปที่ 4.8 เป็นข้อมูลจริงที่วัดและตรวจสอบด้วยระบบ SCADA ซึ่งแสดงช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานในแต่ละชั้นเริ่มทำงาน (ประมาณช่วงที่ 7- 8) และออกจากงาน (ประมาณช่วง #20 - 21) อีกทั้งเนื่องมาจากวันที่เลือกกรณีศึกษาในแต่ละวันผู้ใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อให้ความเย็นในสำนักงานและอุณหภูมิด้วยเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาทำงาน (แสดงเป็นเส้นในรูปที่ 4.8) โดยการลดปริมาณการใช้ไฟในแต่ละชั้น ความเข้มของการส่องสว่างไม่ได้รับผลกระทบมากนัก และผู้ใช้อาจจะไม่รู้สึกลดลงเลย จากข้อมูลในแต่ละชั้นที่ได้ทำการสำรวจ ในชั้นที่ 1 พบว่าในการใช้งานของชั้นนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นสำนักงานมีการใช้งานตลอดเวลาจึงระดับการใช้งานตั้งแต่ ช่วงที่ 6 - 22 และค่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่าชั้นอื่นๆ เนื่องจากอยู่ล่างสุดและสามารถกักเก็บความเย็นได้ดีกว่าชั้นอื่นๆ ในชั้นที่ 2 พบว่าในการใช้งานของชั้นนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นสำนักงานและห้องเรียนบางส่วนจึงมีการใช้งานที่มากกว่าชั้นที่ 1 ในบางช่วงเวลาจึงระดับการใช้งานตั้งแต่ ช่วงที่ 6 - 22 และค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าชั้นที่ 1 ในชั้นที่ 3 พบว่าในการใช้งานของชั้นนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นห้องเรียนหลักที่มีการใช้งานตามเวลาที่กำหนดจึงระดับการใช้งานตั้งแต่ ช่วงที่ 6 - 22 และค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าชั้นอื่นๆ ในบางช่วงเวลา ในชั้นที่ 4 พบว่าในการใช้งานของชั้นนี้ทั้งหมดจะเป็นห้องเรียนที่มีระดับการใช้งานที่น้อยกว่าชั้นที่ 3 มีการใช้งานตามเวลาที่กำหนดจึงระดับการใช้งานตั้งแต่ ช่วงที่ 9 - 23 และค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าชั้นอื่นๆ เนื่องจากเป็นชั้นที่สูงที่สุด มีความสามารถในการระพลังงานความร้อนได้ดีและสามารถรับแสงสว่างจากภายนอกได้ดีจึงมีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างน้อยลง



รูปที่ 4.9 พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทั่วไปในแต่ละชั้นของอาคาร

จากข้อมูลแสดงให้เห็นถึงการควบคุมการใช้งานพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทั่วไปภายในอาคารของแต่ละชั้นจะถูกควบคุมด้วยระบบการใช้อัตราการ Demand Response จากชั้นที่ 1, ชั้นที่ 2, ชั้นที่ 3, และชั้นที่ 4 ตามลำดับ ข้อมูลแสดงในรูปที่ 4.9 เป็นข้อมูลจริงที่วัดและตรวจสอบด้วยระบบ SCADA ซึ่งแสดงช่วงเวลาที่ใช้พลังงานในแต่ละชั้นเริ่มทำงาน (ประมาณช่วงที่ 7-8) และออกจากงาน (ประมาณช่วง #20-21) อีกทั้งเนื่องมาจากวันที่เลือกกรณีศึกษาในแต่ละวัน ค่าปริมาณการใช้งานแสดงเป็นเส้นในรูปที่ 4.10) โดยการลดปริมาณการใช้ไฟในแต่ละชั้น จากข้อมูลในแต่ละชั้นที่ได้ทำการสำรวจ ในชั้นที่ 1 พบว่าในการใช้งานของชั้นนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นสำนักงานจึงมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ค่อนข้างมาก ตลอดเวลารวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์ส่วนใหญ่จะรวมอยู่ที่ชั้นนี้ตั้งแต่ ช่วงที่ 6 - 22 และค่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า เนื่องจากอยู่ล่างสุดและสามารถกักเก็บความเย็นได้ดีกว่า ในชั้นที่ 2 พบว่าในการใช้งานของชั้นนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นสำนักงานและห้องเรียนบางส่วนจึงมีการใช้งานของอุปกรณ์สำนักงานและเป็นห้องปฏิบัติการของนักศึกษาในบางช่วงเวลาจึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากกว่าชั้นที่ 1 ะดับการใช้งานตั้งแต่ ช่วงที่ 6 - 22 และค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าชั้นที่ 1 ในชั้นที่ 3 พบว่าในการใช้งานของชั้นนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นห้องเรียนหลักที่มีการใช้งานของอุปกรณ์สำนักงานค่อนข้างน้อยตามเวลาที่กำหนดจึงระดับการใช้งานตั้งแต่ ช่วงที่ 6 - 22 และค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าชั้นอื่นๆ ในบางช่วงเวลา ในชั้นที่ 4 พบว่าในการใช้งานของชั้นนี้ทั้งหมดจะเป็นห้องเรียนที่มีระดับการใช้งานที่น้อยกว่าชั้นที่ 3 มีการใช้งานตามเวลาที่กำหนดจึงระดับการใช้งานตั้งแต่ ช่วงที่ 9 - 23 และค่าอุณหภูมิที่สูงกว่า เนื่องจากเป็นชั้นที่สูงที่สุด

4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงานในอาคาร

การบริหารจัดการพลังงานในอาคารโดยในอาคารนั้นได้ถูกแบ่งเป็น 4 ชั้น การใช้งานของพลังงานไฟฟ้าในอาคารมีลักษณะของความต้องการการใช้พลังงานในแต่ละชั้นที่แตกต่างกันซึ่งระบบที่ได้ถูกนำมาใช้คือระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขนาด 200 kW เพื่อนำมาชดเชยปริมาณการใช้พลังงานที่ลดลงซึ่งจะมีการเปรียบเทียบตามพฤติกรรมการใช้งานของโหนดเพื่อแสดงให้เห็นสัดส่วนปริมาณการใช้งานของพลังงานที่ผลิตได้จากพลังงานที่ใช้จากระบบไฟฟ้า

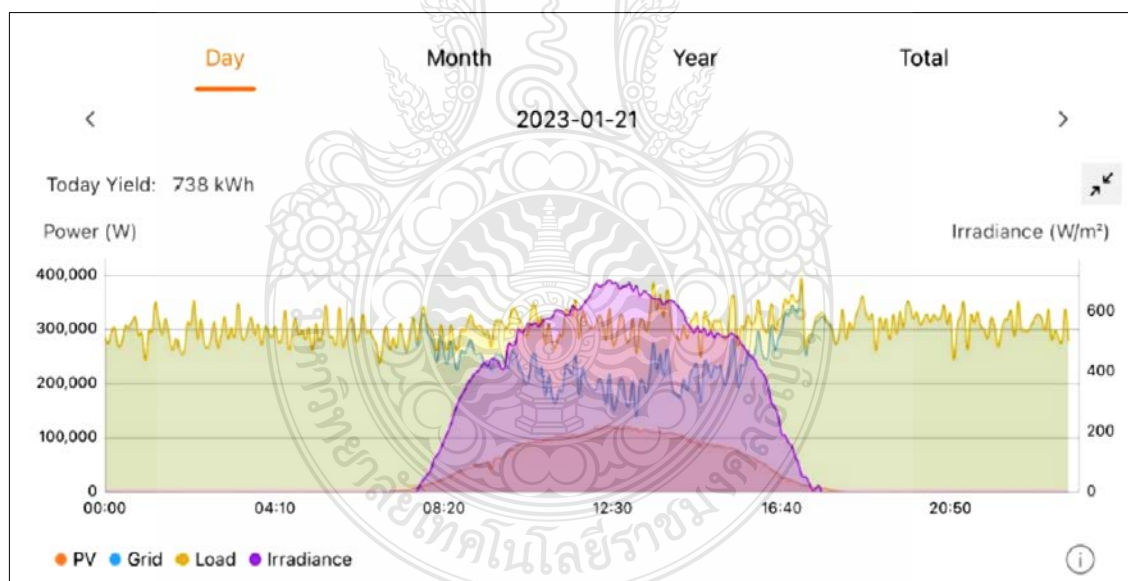


รูปที่ 4.10 พฤติกรรมการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4.11 เป็นการเก็บผลการทำงานของระบบการผลิตของพลังงานแสงอาทิตย์ในรอบ 7 วัน โดยค่าการทำงานและผลการทำงานสำหรับการผลิตนั้นแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบการผลิตในแต่ละวันดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งมีค่าการผลิตและมีประสิทธิภาพการผลิตในช่วง 7 วันตั้งแต่ 82.33 - 87.49 % ซึ่งค่าเฉลี่ยของผลรวมการผลิตในแต่ละวันซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าแสงน้อยและมีอุณหภูมิที่ไม่สูงมาก

ตารางที่ 4.3 ค่าปริมาณการผลิตของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วง 7 วัน

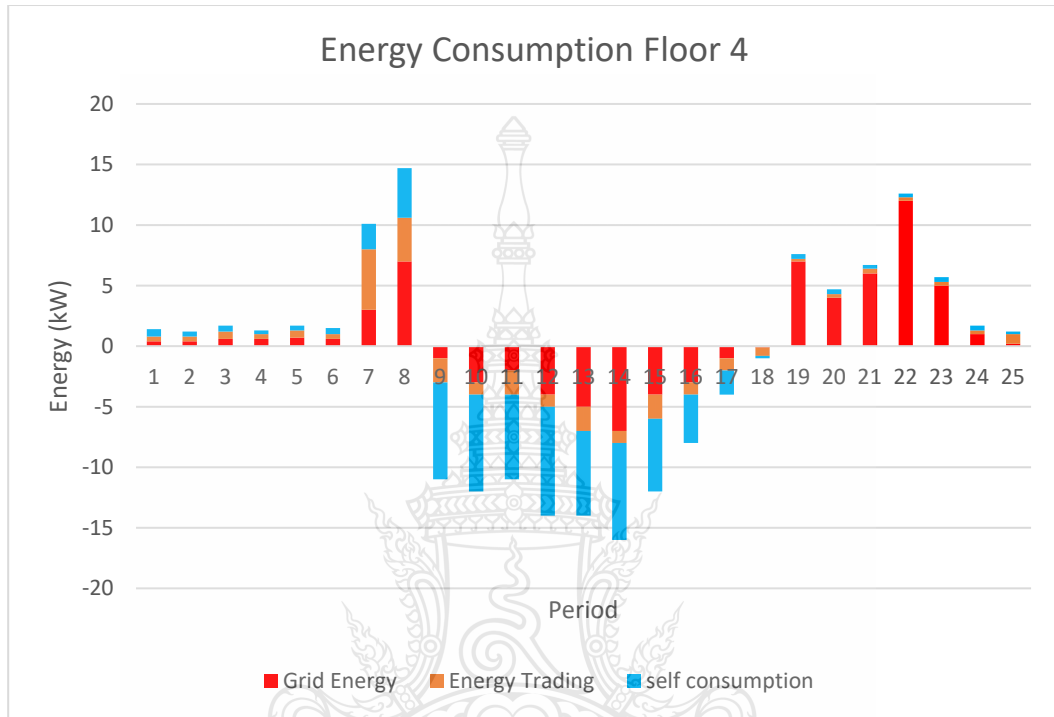
Performance Ratio of Thonburi University. (Installed 194.40 kWp)								
No	Date	power		Irra		Pvsyst		Result
		sum (kWh)	Power Yield	sum (Wh/m2)	Irra Yield	PR	PR	
1	22/1/2023	737.279	3.79259	4,564.00	4.564	83.10%	76.01%	Pass
2	23/1/2023	738.293	3.7978	4,599.00	4.599	82.58%	76.01%	Pass
3	24/1/2023	702.955	3.61602	4,319.00	4.319	83.72%	76.01%	Pass
4	25/1/2023	552.865	2.84396	3,272.00	3.272	86.92%	76.01%	Pass
5	26/1/2023	694.762	3.57388	4,085.00	4.085	87.49%	76.01%	Pass
6	27/1/2023	672.08	3.4572	4,199.00	4.199	82.33%	76.01%	Pass
7	21/1/2023	544.565	2.80126	3,188.00	3.188	87.87%	76.01%	Pass



รูปที่ 4.11 พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ทั่วไปในแต่ละชั้นของอาคาร

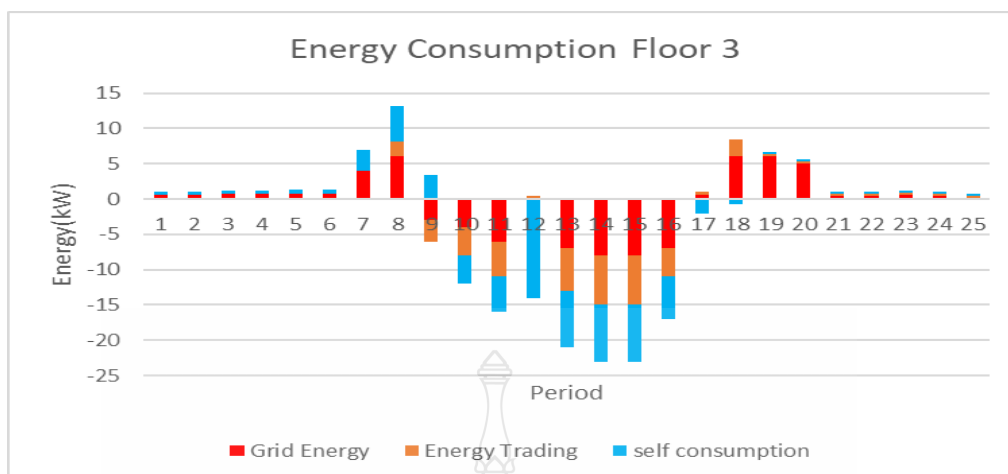
จากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างระบบการผลิตจากระบบโซลาร์เซลล์
 ปล่อยให้กับอาคารโดยแสดงให้เห็นว่าระบบการผลิตสามารถจ่ายค่าพลังงานให้กับอาคารได้ในช่วงเวลา
 8.00 - 17.30 น. ที่มีความสามารถในการจ่ายค่าพลังงานให้กับโหลดได้ในระดับเดียวกันและสามารถ

จ่ายได้ดีตามเวลาที่กำหนดและตามความเข้มแสงที่สามารถผลิตได้และเมื่อเปรียบเทียบกับ การจ่าย ไฟฟ้าระหว่างระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบโครงข่ายของการไฟฟ้า และด้านโหลด ที่มีความสามารถ ของระบบสามารถตอบสนองการใช้งานของโหลดได้ดี



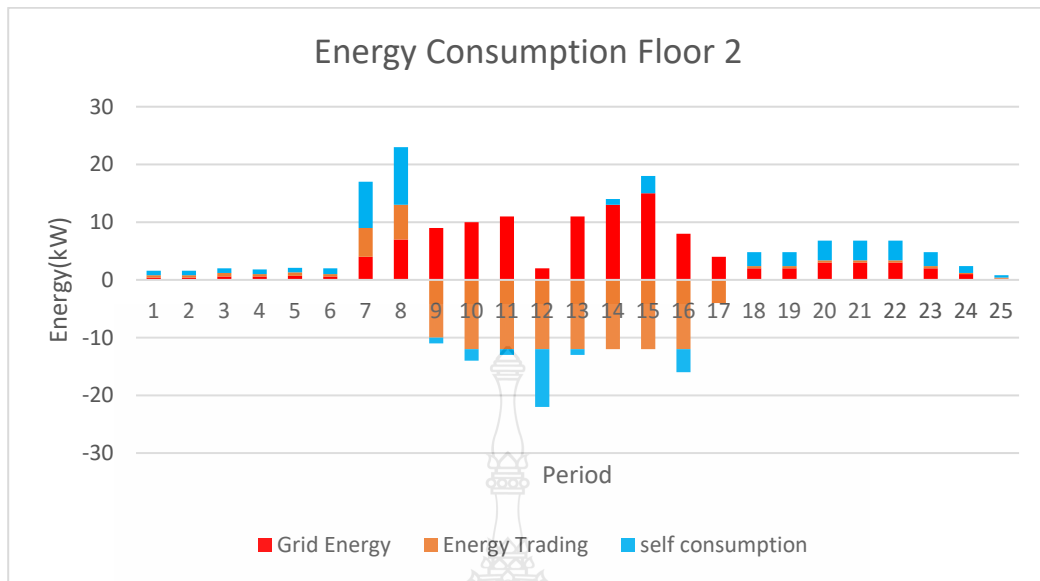
รูปที่ 4.12 พฤติกรรมความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายในชั้น 4 ของอาคาร

จากการใช้งานค่าพลังงานของชั้นที่ 4 สำหรับอาคารที่ทำการวิจัย พบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ในระบบตามช่วงเวลา 1 - 6 ซึ่งไม่มีการทำงานโดยมีการใช้ค่าพลังงานเพียงเล็กน้อยและมีใช้พลังงานตั้งแต่ช่วงเวลาที่ 7 - 17 เนื่องจากเริ่มมีการใช้งานของโหลดโดยค่าความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างอยู่ในระดับเดียวกันและระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เริ่มทำงานและมีความสัมพันธ์กันในระหว่างช่วงเวลา 9 - 17 ที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างแหล่งจ่ายกับผู้ใช้ แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานจากการไฟฟ้ามีค่าน้อยลงหรือไม่มีการใช้งานเลย เนื่องจากใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลักและเริ่มมีการใช้งานจากแหล่งจ่ายของการไฟฟ้าที่มากขึ้น เนื่องจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่น้อยลงทำให้เห็นว่าค่าการใช้พลังงานในช่วงเวลา 9 - 18 จึงทำให้ไม่มีการใช้งานพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าทำให้ค่า Energy มีค่าเป็นศูนย์ในช่วงเวลาดังกล่าว



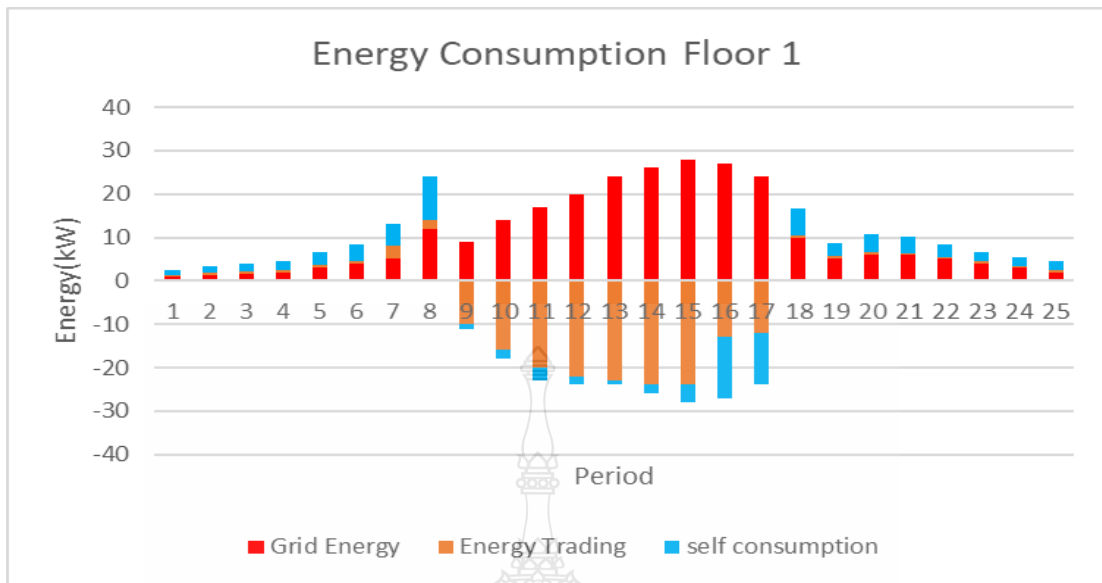
รูปที่ 4.13 พฤติกรรมความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายในชั้น 3 ของอาคาร

จากการใช้งานค่าพลังงานของชั้นที่ 3 สำหรับอาคารที่ทำการวิจัย พบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ในระบบตามช่วงเวลา 1 - 6 ซึ่งไม่มีการทำงานโดยมีการใช้ค่าพลังงานเพียงเล็กน้อยและมีใช้พลังงานตั้งแต่ช่วงเวลาที่ 7 - 17 ที่มากกว่าชั้นที่ 4 เนื่องจากเริ่มมีการใช้งานของโหนดที่เป็นห้องเรียนมากขึ้นโดยค่าความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างอยู่ในระดับเดียวกันและระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เริ่มทำงานและมีความสัมพันธ์กันในระหว่างช่วงเวลา 9 - 17 ที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างแหล่งจ่ายกับผู้ใช้ แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานจากการไฟฟ้ามีค่าน้อยลงหรือไม่มีการใช้งานเลย เนื่องจากใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลักและเริ่มมีการใช้งานจากแหล่งจ่ายของการไฟฟ้าที่มากขึ้น เนื่องจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่น้อยลงทำให้เห็นว่าค่าการใช้พลังงานในช่วงเวลา 9 - 16 จึงทำให้ไม่มีการใช้งานพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าทำให้ค่า Energy มีค่าเป็นศูนย์ในช่วงเวลาดังกล่าว



รูปที่ 4.14 พฤติกรรมความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายในชั้น 2 ของอาคาร

จากการใช้งานค่าพลังงานของชั้นที่ 2 สำหรับอาคารที่ทำการวิจัย พบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ในระบบตามช่วงเวลา 1 - 6 ซึ่งไม่มีการทำงานโดยมีการใช้ค่าพลังงานเพียงเล็กน้อยและมีใช้พลังงานตั้งแต่ช่วงเวลาที่ 7 - 17 มากขึ้นเนื่องจากมีห้องสำนักงานเป็นส่วนใหญ่ทำให้มีค่าการใช้พลังงานที่มากกว่าชั้นที่ 3 และ 4 เนื่องจากเริ่มมีการใช้งานของโหลดโดยค่าความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างอยู่ในระดับเดียวกันและระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เริ่มทำงานและมีความสัมพันธ์กันในช่วงเวลา 9 - 17 ที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างแหล่งจ่ายกับผู้ใช้ แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานจากการไฟฟ้ามีค่าน้อยลงหรือไม่มีการใช้งานเลย เนื่องจากใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลักและเริ่มมีการใช้งานจากแหล่งจ่ายของการไฟฟ้าที่มากขึ้น เนื่องจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่น้อยลงทำให้เห็นว่าค่าการใช้พลังงานในช่วงเวลา 9 - 18 จึงทำให้ไม่มีการใช้งานพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าทำให้ค่า Energy มีค่าเป็นศูนย์ในช่วงเวลาดังกล่าว

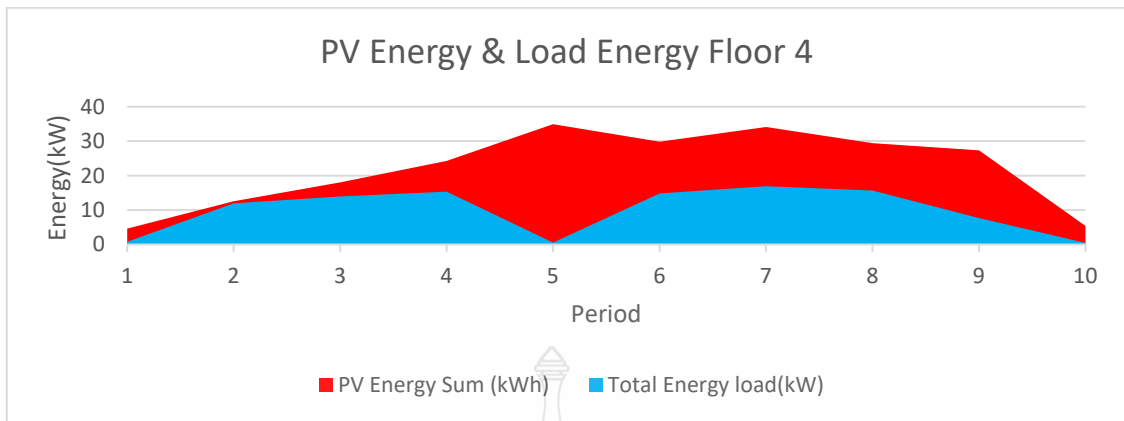


รูปที่ 4.15 พฤติกรรมความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายในชั้น 1 ของอาคาร

จากการใช้งานค่าพลังงานของชั้นที่ 1 สำหรับอาคารที่ทำการวิจัย พบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ในระบบตามช่วงเวลา 1 - 6 ซึ่งไม่มีการทำงานโดยมีการใช้ค่าพลังงานเพียงเล็กน้อยและมีใช้พลังงานตั้งแต่ช่วงเวลาที่ 7 - 17 มีการใช้พลังงานที่มากที่สุดเนื่องจากเริ่มมีการใช้งานของโหลดโดยค่าความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างอยู่ในระดับเดียวกันและระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เริ่มทำงานและมีความสัมพันธ์กันในระหว่างช่วงเวลา 9 - 17 ที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างแหล่งจ่ายกับผู้ใช้งาน แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานจากการไฟฟ้ามีค่าน้อยลงหรือไม่มีการใช้งานเลย เนื่องจากใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลักและเริ่มมีการใช้งานจากแหล่งจ่ายของการไฟฟ้าที่มากขึ้น เนื่องจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่น้อยลงทำให้เห็นว่าค่าการใช้พลังงานในช่วงเวลา 9 - 18 จึงทำให้ไม่มีการใช้งานพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าทำให้ค่า Energy มีค่าเป็นศูนย์ในช่วงเวลาดังกล่าว

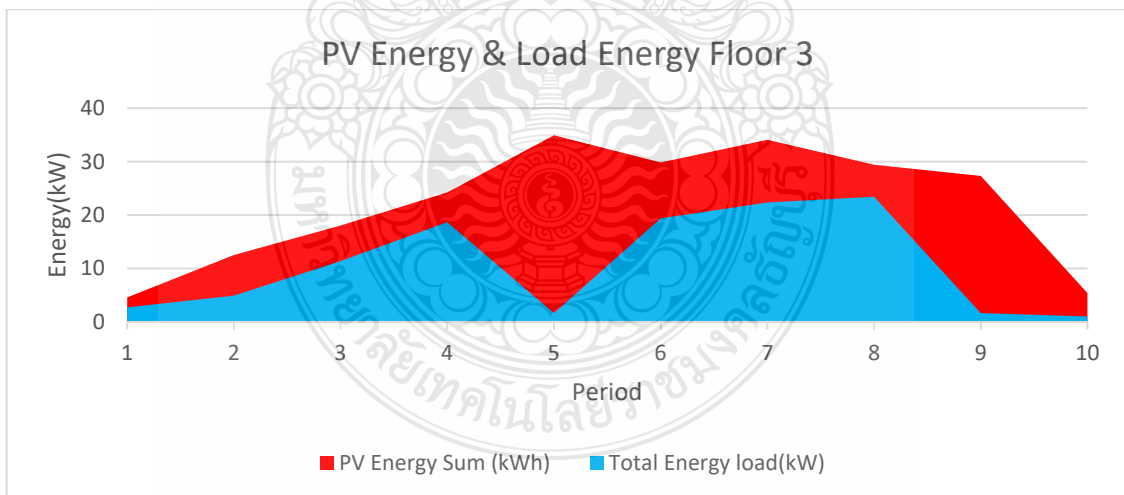
4.3 ค่าความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานด้านโหลดกับระบบพลังงานแสงอาทิตย์

จากข้อมูลที่ได้จากสำรวจแล้วนำไปตรวจสอบค่าความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ค่าพลังงานในแต่ละชั้นซึ่งค่าความสัมพันธ์ที่สามารถบ่งบอกได้ว่าสัดส่วนของการผลิตและพลังงานที่ได้ใช้มีความสามารถในการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าและลดใช้พลังงานให้เป็นศูนย์ได้ในช่วงเวลาตั้งแต่ 8.00 - 17.00 น.



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบค่าจากการใช้พลังงานของอาคารชั้นที่ 4

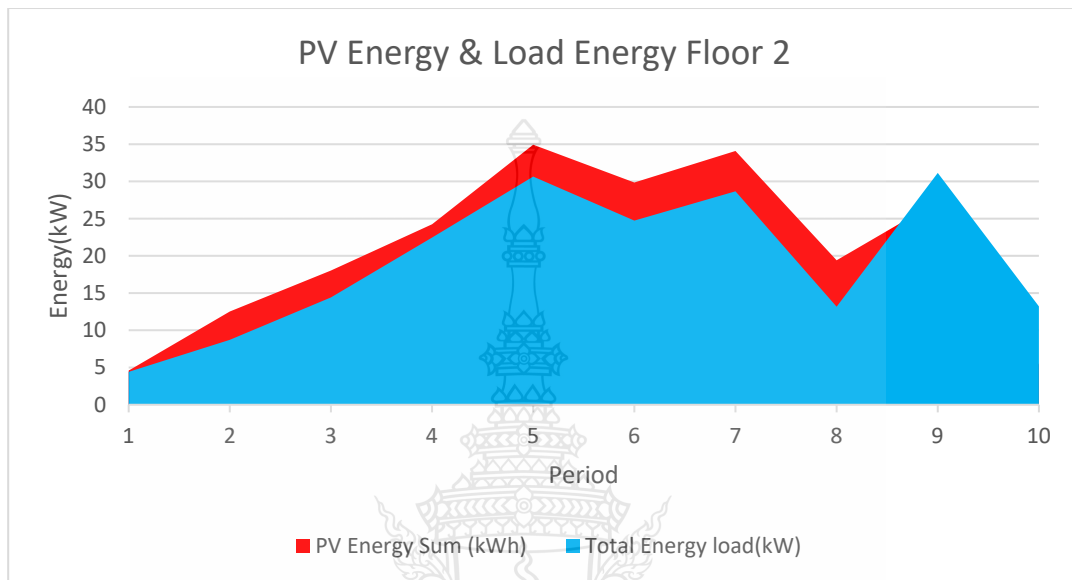
จากรูปที่ 4.16 จากการสำรวจและเก็บผลตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้ พบว่าสัดส่วนระหว่างการใช้พลังงานกับสัดส่วนที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้ ระบบการผลิตนั้นมีสัดส่วนมากกว่าการใช้งานจึงทำให้มีพลังงานเหลือใช้และสามารถไปชดเชยการใช้งานของระบบอื่นๆ ได้ เนื่องจากการใช้งานในชั้นนี้ส่วนใหญ่เป็นห้องเรียน จึงมีการใช้งานตามช่วงเวลาและมีกำหนดตารางที่แน่นอน จึงทำให้มีการควบคุมที่ยากนัก



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบค่าจากการใช้พลังงานของอาคารชั้นที่ 3

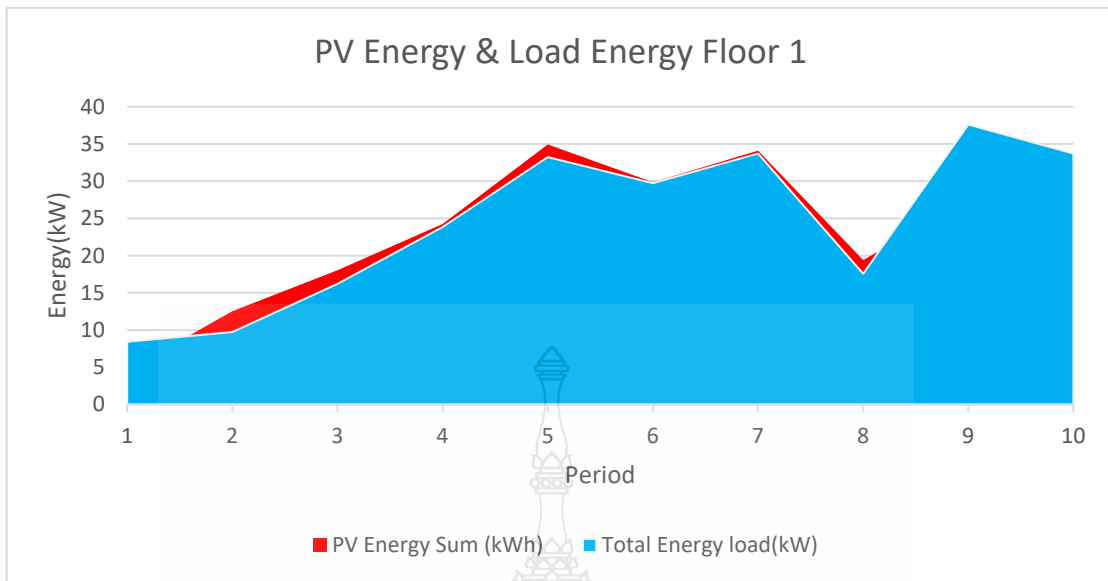
จากรูปที่ 4.17 จากการสำรวจและเก็บผลตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้ในชั้นที่ 3 พบว่าสัดส่วนระหว่างการใช้พลังงานกับสัดส่วนที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้ ระบบการผลิตนั้นมีสัดส่วน

มากกว่าการใช้งานจึงทำให้มีพลังงานเหลือใช้และสามารถไปชดเชยการใช้งานของระบบอื่นๆ ได้ เนื่องจากการใช้งานในชั้นนี้ส่วนใหญ่เป็นห้องเรียน จึงมีการใช้งานตามช่วงเวลาและมีกำหนดตารางที่แน่นอน จึงทำให้มีการควบคุมที่ยากนัก



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าจากการใช้พลังงานของอาคารชั้นที่ 2

จากรูปที่ 4.18 จากการสำรวจและเก็บผลตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้ในชั้นที่ 2 นั้นเป็นการผสมผสานระหว่างสำนักงานเป็นส่วนใหญ่ มีห้องเรียนเพียงเล็กน้อย พบว่าสัดส่วนระหว่างการใช้พลังงานกับสัดส่วนที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้ ระบบการผลิตนั้นมีสัดส่วนมากกว่าการใช้งานเพียงเล็กน้อย ตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00 – 15.30 น. จึงทำให้มีพลังงานเหลือใช้ไม่มากนักและหลังจากช่วงเวลา 15.30 ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบของการไฟฟ้า จึงมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เป็นศูนย์ประมาณ 7 ชั่วโมง



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบค่าจากการใช้พลังงานของอาคารชั้นที่ 1

จากรูปที่ 4.19 จากการสำรวจและเก็บผลตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้ในชั้นที่ 2 นั้นเป็นการผสมผสานระหว่างสำนักงานเป็นส่วนใหญ่ มีห้องเรียนเพียงเล็กน้อย พบว่าสัดส่วนระหว่างการใช้พลังงานกับสัดส่วนที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้ ระบบการผลิตนั้นมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันกับการใช้งาน ตั้งแต่ช่วงเวลา 8.00 – 15.00 น. จึงทำให้ไม่มีพลังงานเหลือในบางช่วงเวลาและหลังจากช่วงเวลา 15.30 ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบของการไฟฟ้า จึงมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เป็นศูนย์ประมาณ 6 ชั่วโมง

4.4 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการหาค่าความคุ้มค่าในการลงทุนพิจารณาช่วงเวลาในคืนที่มีความรวดเร็วและสามารถคาดการณ์ผลกำไรตามอายุการใช้งานของระบบ เราสามารถคำนวณหาจุดคุ้มทุนของระบบบริหารจัดการพลังงานที่สร้างขึ้นร่วมกับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ และค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ได้ทำการวิจัยในครั้งนี้ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าใช้จ่ายที่ลงทุนในการบริหารจัดการพลังงาน

รายการค่าใช้จ่าย	จำนวนเงิน(บาท)
อัตรการลงทุนค่าระบบพลังงานแสงอาทิตย์รวม โครงสร้าง	7,350,000
ค่าระบบการควบคุมระบบปรับอากาศ	400,000
ค่าระบบการควบคุมระบบแสงสว่าง	300,000
โปรแกรมการบริหารจัดการพลังงาน	100,000
รวม	8,150,000

โดย

อัตราค่าไฟฟ้าต่อเดือนสำหรับอาคารที่ทำการวิจัย	268,000	บาทต่อเดือน
หลังจากที่ทำการติดตั้งระบบสามารถลดค่าไฟฟ้าได้	214,400	บาทต่อเดือน
สามารถคำนวณหาจุดคุ้มทุนได้จากสูตร		

$$\begin{aligned}
 \text{จุดคุ้มทุน} &= \frac{\text{ต้นทุนคงการลงทุนทั้งหมด}}{\text{อัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้}} && (4.1) \\
 &= \frac{8,150,000}{145,360} \\
 &= 56.07 \text{ เดือน}
 \end{aligned}$$

จากการบริหารจัดการพลังงานพบว่าหลังจากที่มีการลงทุนเพื่อทำการบริหารจัดการพลังงานสามารถลดค่าพลังงานต่อเดือนได้และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 56.07 เดือน

ข้อมูลพลังงานที่ได้จาก การตรวจวัด การควบคุมสำหรับระบบปรับอากาศที่ได้ทำการวิจัยในครั้งนี้อยู่เป็นระบบปรับอากาศแบบธรรมดาซึ่งถ้าต้องการให้มีการประหยัดพลังงานมากขึ้นต้องทำการปรับเปลี่ยนระบบปรับอากาศให้เป็นแบบอินเวอร์เตอร์ซึ่งถ้าเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ดังนี้

การทำงานของระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 40 นาทีแรกของการทำงานเมื่อระบบปรับอากาศมีการทำงานเต็มพิกัดสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) ระบบปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ จะใช้พลังงาน

$$\frac{1000 \text{ วัตต์} \times 40 \text{ นาที}}{60} \\ = 0.7 \text{ kWh}$$

ระบบปรับอากาศแบบธรรมดาจะใช้พลังงานที่เท่ากัน

2) การทำงานของระบบปรับอากาศหลังจาก 40 นาทีระบบปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์จะให้พลังงานออกมาเท่ากับพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นซึ่งจะมีค่า EER ของไหลต่ำกว่า 50 % หรือ EER = 19 สำหรับระบบปรับอากาศแบบธรรมดามีค่าใกล้เคียงเดิมคือ EER = 11 สามารถคำนวณได้คือ

2.1) การใช้งานระบบปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ จะใช้พลังงาน

$$300 \text{ วัตต์} \times 7.5 \text{ ชั่วโมง} = 2.25 \text{ kWh}$$

และเมื่อมีไหลความร้อนที่เข้ามาในห้องจะมีค่าเท่ากับ

$$\text{BTU} = \text{EER} \times \text{Wh}$$

$$19 \times 2.25 \times 1000 = 42750 \text{ BTU}$$

2.2) ระบบปรับอากาศแบบธรรมดาซึ่งจากการคำนวณด้านบนจะเห็นได้ว่าการทำงานของระบบปรับอากาศแบบเดิมนี้อาจต้องใช้ค่าพลังงานที่เท่ากันคือ 42,750 BTU เพื่อที่จะรักษาอุณหภูมิที่เท่ากัน ดังนั้นจะต้องใช้พลังงานเท่ากับ

$$\text{kWh} = \frac{\text{BTU}}{\text{EER}} \\ \frac{42750}{11} = 3.89 \text{ kWh}$$

ดังนั้นสามารถคิดเป็นผลการประหยัดพลังงานได้

$$\frac{\left((0.7 \times 2.25) - (0.7 \times 3.89) \right)}{4.59 \times 100} \\ = 35.7\%$$

4.5 สรุปท้ายบท

จากการวิเคราะห์การบริหารจัดการพลังงานในรูปแบบการควบคุมระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่างด้วยระบบการตอบสนองความต้องการด้านพลังงานและการบริหารจัดการพลังงานในอาคารที่มีค่าการใช้งานพลังงานที่เป็นศูนย์ โดยรวมแล้วอาคารในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ที่มีสัดส่วนของห้องสำนักงานซึ่งมีการใช้พลังงานรายวันสูงสุดเนื่องจากจำนวนช่วงเวลาที่มีการใช้งานที่มากกว่าส่วนอื่น การควบคุมของระบบปรับอากาศโดยใช้ระบบการควบคุมแบบศูนย์กลางที่มีการควบคุมอุณหภูมิ มีการสร้างอัลกอริทึมใหม่ที่มีความสามารถในการควบคุมซึ่งสามารถสร้างผลกระทบต่อสัดส่วนการใช้ค่าพลังงานรวม ระบบควบคุมแสงสว่างใช้หลักการเดียวกันกับระบบปรับอากาศ ทำให้สามารถลดค่าการใช้งานพลังงานไฟฟ้าและการบริหารจัดการพลังงานในอาคารเมื่อเปรียบเทียบการใช้งาน ข้อสังเกตโดยสรุปเหล่านี้สามารถช่วยกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับใช้ในอาคาร



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

คณะวิทยานิพนธ์นี้ได้ ทำการรวบรวมข้อมูล สํารวจพฤติกรรมการใช้พลังงานสำหรับอาคาร สถานศึกษาการวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศ รวมถึงการวิเคราะห์ค่า พลังงานสำหรับส่องสว่างและอุปกรณ์ทั่วไป โดยการ ติดตั้งเครื่องวิเคราะห์พลังงาน และนำค่าที่ได้ไป วิเคราะห์ หารูปแบบการบริหารจัดการพลังงาน ในอาคาร สามารถนำเสนอ บทสรุปการศึกษา ได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ การบริหารจัดการพลังงานในอาคารควบคุม

การนำระบบบริหารจัดการพลังงานมาใช้กับอาคารร่วมกับการนำระบบควบคุมแบบศูนย์กลาง ของระบบปรับอากาศที่ไม่ใช้ระบบอินเวอร์เตอร์และระบบส่องสว่างที่ใช้หลอดไฟฟ้าแบบแอลอีดีทั้งหมด เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของการใช้พลังงานสุทธิที่เป็นศูนย์และใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาเป็น ตัวเลือกสำหรับแหล่งจ่ายพลังงานนอกเหนือจากระบบของการไฟฟ้าและใช้ตัวเลือกการควบคุมแบบการ ตอบสนองความต้องการด้านพลังงานด้านโหลดและการใช้ลอจิกที่ตั้งโปรแกรมได้ทำให้สามารถจัดการ ปริมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศจาก 1,020 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เหลือ 408 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็น ร้อยละ 40 เป็นผลมาจากการควบคุมและการสร้างอัลกอริธึมและการนำระบบเซนเซอร์อีก หลายชนิดมาใช้งานรวมทั้งพลังงาน มีการใช้มิเตอร์ และควบคุมระบบไฟส่องสว่างผ่านไฟส่องสว่างแบบ ระบุตำแหน่งได้แบบดิจิทัล การสร้างอัลกอริธึมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการการควบคุมสามารถลด การใช้พลังงานสำหรับอาคารจาก 119 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เหลือ 57.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 48 เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร มีการเสนอลำดับความสำคัญขององค์ประกอบ ปัญหา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพนี้โดยมุ่งเน้นไปที่เครื่องปรับอากาศและระบบไฟส่องสว่างของระบบที่นำมาใช้ การ ปรับอัลกอริธึมให้เหมาะสมใช้ข้อมูลจริงหลายข้อมูลและเริ่มดำเนินการจัดการปริมาณการใช้ข้อมูลตาม ข้อมูลจริงเหล่านี้ ถูกนำมาใช้เป็นโมเดลรวบรวมเพื่อจัดทำโปรแกรมตอบสนองความต้องการผลลัพธ์ที่ สำคัญในการดำเนินการโปรแกรมตอบสนองความต้องการ และยังคงแสดงให้เห็นว่ามีการลดลงในระบบ แสงสว่างและเครื่องปรับอากาศ

การเพิ่มประสิทธิภาพการออกแบบระบบควบคุมอาคารและการใช้กลยุทธ์ของการทำงานมี ความสำคัญมากขึ้น ไม่เพียงแต่สำหรับเหตุผลด้านเศรษฐกิจและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังเป็น เพราะผู้ใช้งานด้วย ความสะดวกสบายและปลอดภัย อาคารและระบบควบคุมที่เกี่ยวข้องมีความ ซับซ้อนสูงการเพิ่มประสิทธิภาพมีความยากและซับซ้อน การปรับเปลี่ยนคาบเวลาทำให้การทดสอบกับ อาคารพบว่าการนำแหล่งจ่ายระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาใช้งานสามารถทำให้การใช้พลังงานในชั้น

ที่ 3 และ 4 นั้นมีการใช้พลังงานที่เป็นศูนย์ตามช่วงเวลาการทำงานได้ 7 และ 8 ชั่วโมง ส่วนในชั้นที่มี ส่วนประกอบของสำนักงานสามารถลดการใช้พลังงานให้เป็นศูนย์ได้น้อย 5 ชั่วโมง ค่าโดยเฉลี่ยที่สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารในช่วงเวลาทำงานตั้งแต่ 8.30-17.00 น. หรือคิดเป็น 80% ของการใช้พลังงานทั้งหมดในอาคาร และคำนวณจุดคุ้มทุนได้อยู่ที่ 56 เดือน ซึ่งปัญหาของตัวควบคุมชั้นตอน เวลาได้รับการแก้ไขเพื่อให้สามารถลดชั้นตอนเวลาได้ตามที่ผู้ใช้กำหนด หลักเกณฑ์ระบบควบคุม ตัวควบคุมที่ใช้การวนซ้ำนอกเหนือจากการลดชั้นตอนเวลาคือ การจำกัดภาระทางไฟฟ้าให้กับผู้ใช้เมื่อ เลือกรีฮีทเจอร์และการลดชั้นตอนเวลาที่เหมาะสม

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในระบบการบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารสำหรับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ โดยการใช้เทคนิคการตอบสนองความต้องการด้านพลังงานด้านโหลดมีปัจจัยในการควบคุมและจัดการ กับระบบมากมายหลายรูปแบบ การติดตั้งระบบการวัดค่ากำลังไฟฟ้าแบบ ทันทเวลา ซึ่งจะทำให้การทำงาน ของระบบมีความสัมพันธ์กัน กับภาวะของ โหลดภายในอาคารโดยรวม การ ตรวจสอบการทำงาน ของระบบและการกำหนดอัลกอริทึมให้ทำงานร่วมกับ อุปกรณ์ภายนอก ทำงานร่วมกับ อุปกรณ์ สองตรวจวัดพลังงานและสังเกตการณ์ สำหรับอาคาร แต่ยังคงขาดการปรับปรุงระบบปรับอากาศให้เป็น แบบอินเวอร์เตอร์ พร้อมทั้งพัฒนาระบบเซ็นเซอร์ที่ให้ความละเอียดและแม่นยำมากขึ้น สุดท้ายควรจะ ทำการเพิ่มระบบกักเก็บพลังงานเพื่อให้สามารถใช้งานได้ในตอนกลางคืนและทำให้ประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] บุญยัง ปลั่งกลาง, “ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์” เอกสารการเตรียมและวางแผนการสอน รายวิชา 04-210-440 หัวข้อประยุกต์ทางวิศวกรรมไฟฟ้า.
- [2] Shakeri, M.; Pasupuleti, J.; Amin, N.; Rokonuzzaman, M.; Low, F.W.; Yaw, C.T. 2020. Asim, N.; Samsudin, N.A.; Tiong, S.K.; Hen, C.K.; et al. An Overview of the Building Energy Management System Considering the Demand Response Programs, Smart Strategies and Smart Grid. *Energies* , 13, 3299,doi: <https://doi.org/10.55670/fpll.fuen.2.1.2>.
- [3] Ma, W.; Fang, S.; Liu, G.; Zhou, R. 2017. Modeling of district load forecasting for distributed energy system. *Applied Energy*, 204, 181-205, doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.009>..
- [4] Twaha, S.; Ramli, M.A.M. (2018) A review of optimization approaches for hybrid distributed energy generation systems: Off-grid and grid-connected systems. *Sustainable Cities and Society*, 41, 320-331
- [5] สุรินทร์ จันทสุริยวิช, 2546, “การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่” (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- [6] ปรีชา ศรีประภาคาร, 2546, “การจัดการใช้พลังงานไฟฟ้า ในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่มหาวิทยาลัย เชียงใหม่” (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- [7] เสกสันต์ พันธุ์บุญมี, 2549, การจัดการพลังงานไฟฟ้า : กรณีศึกษา โรงพยาบาลเลิดสิน มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี: กรุงเทพฯ DOI:http://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DoI=10.14457/KMUTT.the.2006.18.
- [8] ชัชชัย จันทะสีลา, 2559, “การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคาร สถานพยาบาล กรณีศึกษาอาคารสิริรทร โรงพยาบาลขอนแก่น. (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)
- [9] วัชนะ จำปาดิษฐ์, 2550, รายงานการวิจัย เรื่องการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการพลังงาน ในอาคารโรงแรมโดยวิธีแผนที่พลังงาน. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต: กรุงเทพฯ.
- [10] สุรเดช แก้วช่วย, 2552, “การจัดการพลังงานในอาคารหอสมุดสุรรัตนโอสถานุเคราะห์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตรังสิต”. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต กรุงเทพฯ.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] Shakeri, M.; Pasupuleti, J.; Amin, N.; Rokonuzzaman, M.; Low, F.W.; Yaw, C.T.; Asim, N.; Samsudin, N.A.; Tiong, S.K.; Hen, C.K.; et al. An Overview of the Building Energy Management System Considering the Demand Response Programs, Smart Strategies and Smart Grid. *Energies* 2020, 13, 3299, doi: <https://doi.org/10.55670/fpll.fuen.2.1.2>.
- [12] Ma, W.; Fang, S.; Liu, G.; Zhou, R. Modeling of district load forecasting for distributed energy system. *Applied Energy* 2017, 204, 181-205, doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.009>
- [13] Twaha, S.; Ramli, M.A.M. A review of optimization approaches for hybrid distributed energy generation systems: Off-grid and grid-connected systems. *Sustainable Cities and Society* 2018, 41, 320-331..
- [14] Xia, M.; Liu, W.a.; Wang, K.; Zhang, X.; Xu, Y. Non-intrusive load disaggregation based on deep dilated residual network. *Electric Power Systems Research* 2019, 170, 277-285, doi:<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.01.034>.
- [15] Wang, S.; Chen, H.; Guo, L.; Xu, D. Non-intrusive load identification based on the improved voltage-current trajectory with discrete color encoding background and deep-forest classifier. *Energy and Buildings* 2021, 244, 111043, doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111043>.
- [16] Fathi, S.; Srinivasan, R.; Fenner, A.; Fathi, S. Machine learning applications in urban building energy performance forecasting: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2020, 133, 110287 doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110287>.
- [17] Hernández, Á.; Ruano, A.; Ureña, J.; Ruano, M.G.; Garcia, J.J. Applications of NILM Techniques to Energy Management and Assisted Living. *IFAC-PapersOnLine* 2019, 52, 164-171, doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.09.135>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [18] Burak Gunay, H.; Shi, Z.; Wilton, I.; Bursill, J. Disaggregation of commercial building end-uses with automation system data. *Energy and Buildings* 2020, 223, 110222, doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110222>.
- [19] Fan, C.; Xiao, F.; Li, Z.; Wang, J. Unsupervised data analytics in mining big building operational data for energy efficiency enhancement: A review. *Energy and Buildings* 2018, 159, 296-308, doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.008>.
- [20] Sun, Y.; Haghighat, F.; Fung, B.C.M. A review of the-state-of-the-art in data-driven approaches for building energy prediction. *Energy and Buildings* 2020, 221, 110022, doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110022>.
- [21] Shi, X.; Ming, H.; Shakkottai, S.; Xie, L.; Yao, J. Nonintrusive load monitoring in residential households with low-resolution data. *Applied Energy* 2019, 252, 113283, doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.086>.
- [22] Zhao, B.; Ye, M.; Stankovic, L.; Stankovic, V. Non-intrusive load disaggregation solutions for very low-rate smart meter data. *Applied Energy* 2020, 268, 114949, doi:<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114949>.
- [23] Asemi, H.; Zahedi, R.; Daneshgar, S. Theoretical analysis of the performance and optimization of indirect flat evaporative coolers. *Future Energy* 2022, 2, 9-14.
- [24] Pai, V.; Elzarka, H. Whole building life cycle assessment for buildings: A case study ON HOW to achieve the LEED credit. *Journal of Cleaner Production* 2021, 297, 126501, doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126501>
- [25] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2535, พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535.
- [26] Herzog, P. 1997. *Energy-Efficient Operation of Commercial Buildings: Redefining the Energy Manager's Job* New York, NY: McGraw-Hill
- [27] Krarti, M. 2000. *Energy Audit of Building Systems: An Engineering Approach*. New York: CRC Press.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [28] Soebarto, V. and Degelman, L.O. 1996. Short-term monitoring for disaggregation of energy use data andst calibration of simulation models in retrofit projects. Proceedings of the 21 National Passive Solar Conference, American Solar Energy Society, Asheville, NC, April 13-18, pp.321-326
- [29] Sreshthaputra, A., Haberl, J., and Claridge, D. 2001a. Detailed Test Results: Development of a toolkit forcalculating linear, change-point linear, and multiple-linear inverse building energy analysis models. Technical Report. ESL-TR-01/05-01. Energy Systems Laboratory, Texas A&M University
- [30] Sreshthaputra, A., Haberl, J., and Andrews, M. 2001b. 3-D studies of heat transfer and airflow in an unconditioned Thai Buddhist temple. Journal of Energy, Heat, and Mass Transfer 22(2001): pp 455-471
- [31] คู่มือการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, การตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน ระบบปรับอากาศ. หน้า 5-6 - 5-19, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน
- [32] คู่มือการตรวจวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน สำหรับวิสาหกิจขนาดกลาง และขนาดย่อม, การตรวจวัดและวิเคราะห์การอนุรักษ์พลังงาน ระบบแสงสว่าง. หน้า 3-7 - 3-13 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- [33] Masha, K., Omid, A., Pedro, F., & Zita, V. (2018). Office building particular in demand response programs supports by intelligent lighting management. Energy Informatics ,1:9. doi:<https://doi.org/10.1186/s42162-018-008-4>







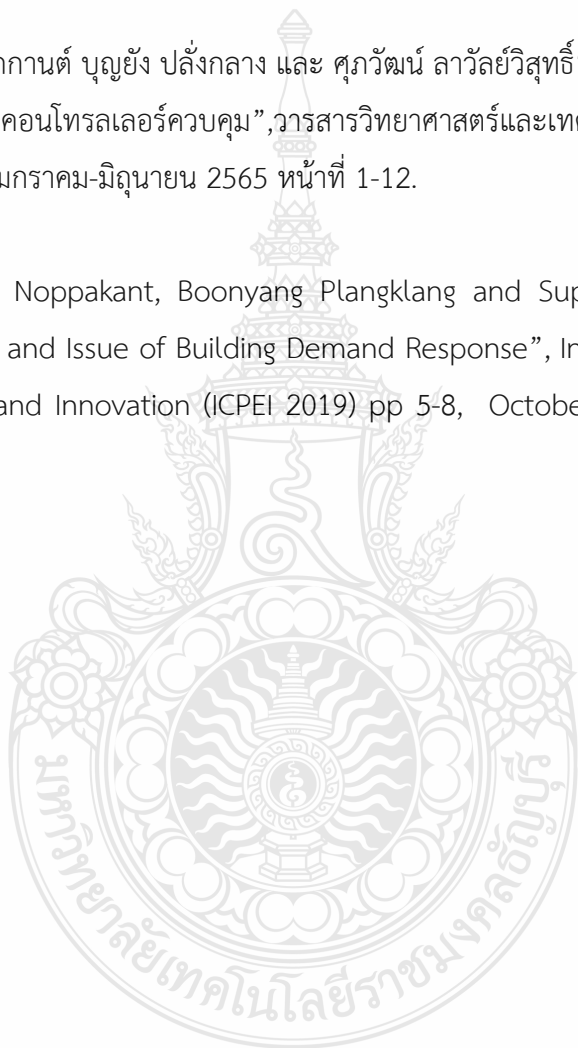
ภาคผนวก ก
ผลงานวิจัยตีพิมพ์

ผลงานวิจัยตีพิมพ์

A. Noppakant, B. Plangklang, “Improving Energy Management Through Demand Response for Low-rise University Building,” Sustainability, vol. 14, no. 21, p. 14233, Oct. 2022, doi:.org 10.3390/su1421144233.

เอกรัตน์ นภกานต์ บุญยัง ปลั่งกลาง และ ศุภวัฒน์ ลาวัลย์วิสุทธิ “การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม”,วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม-มิถุนายน 2565 หน้าที่ 1-12.

Akeratana Noppakant, Boonyang Plangklang and Supapradit Marsong “The Study of Challenge and Issue of Building Demand Response”, International Conference on Power, Energy and Innovation (ICPEI 2019) pp 5-8, October 16-18, 2019, Pattaya, THAILAND.





sustainability

an Open Access Journal by MDPI

IMPACT
FACTOR
3.9

CITESCORE
5.8

Affiliated Societies:

Canadian Urban Transit Research & Innovation
Consortium (CUTRIC)

International Council for Research and
Innovation in Building and Construction (CIB)



Academic Open Access Publishing
since 1996



sustainability

an Open Access Journal by MDPI

Editor-in-Chief

Prof. Dr. Marc A. Rosen









Associate Editor

Prof. Dr. Steve W. Lyon

Message from the Editor-in-Chief

I encourage you to contribute a research or comprehensive review article for consideration for publication in *Sustainability*, an international open access journal which provides an advanced forum for research findings in areas related to sustainability and sustainable development. The journal publishes original research articles, reviews, conference proceedings (peer reviewed full articles) and communications. I am confident you will find the journal contributes to enhancing understanding of sustainability and fostering initiatives and applications of sustainability-based measures and activities.

Author Benefits

-  **Open Access** Unlimited and free access for readers
-  **No Copyright Constraints** Retain copyright of your work and free use of your article
-  **Thorough Peer-Review**
-  **2022 Impact Factor: 3.9 (Journal Citation Reports - Clarivate, 2023)**
-  **Discounts on Article Processing Charges (APC)** If you belong to an institute that participates with the MDPI Institutional Open Access Program
-  **No Space Constraints, No Extra Space or Color Charges** No restriction on the maximum length of the papers, number of figures or colors
-  **Coverage by Leading Indexing Services** Scopus, SCIE and SSCI (Web of Science), GEOBASE, GeoRef, Inspec, AGRIS, RePEc, CAPlus / SciFinder, and other databases
-  **Rapid Publication** A first decision is provided to authors approximately 18.3 days after submission; acceptance to publication is undertaken in 3.5 days (median values for papers published in this journal in the first half of 2023)



Aims and Scope

Our aim is to encourage experts to publish their experimental, computational and theoretical research on sustainability. This encompasses topics related to social sciences, natural and applied science and engineering, in order to enable the application and development of sustainability.

Subject Areas

- Defining, quantifying, measuring, and monitoring sustainability
- Environmental management and conservation
- Resources and sustainable utilization
- Climate change
- Sustainability of energy resources
- Sustainable regional planning and development
- Sustainable economic development and business management
- Sustainable supply chains, logistics, and transportation
- Food consumption and safety
- Sustainable agriculture
- Sustainability, biodiversity and conservation
- Education for sustainability
- Sustainable tourism, culture preservation, and heritage conservation
- Relation of geographical changes and social development to sustainability
- Psychological aspects of sustainability and sustainable development
- Health and sustainability
- Hazards and sustainability
- Sustainable materials

Editorial Office

Sustainability Editorial Office
sustainability@mdpi.com
MDPI, St. Alban-Anlage 66
4052 Basel, Switzerland
Tel: +41 61 683 77 34
www.mdpi.com
mdpi.com/journal/sustainability

MDPI is a member of



Affiliated Societies



Follow

-  facebook.com/MDPIOpenAccessPublishing
-  twitter.com/MDPIOpenAccess
-  linkedin.com/company/mdpi
-  instagram.com/mdpiopenaccess
-  weibo.com/mdpicn
-  Wechat: MDPI-China

Subscribe

blog.mdpi.com




mdpi.com

mdpi.com/journal/sustainability

Visit mdpi.com for a full list of offices and contact information.
MDPI is a company registered in Basel, Switzerland, No. CH-270.3.014.334-3,
whose registered office is at St. Alban-Anlage 66, CH-4052 Basel, Switzerland.

Article

Improving Energy Management through Demand Response Programs for Low-Rise University Buildings

Akeratana Noppakant and Boonyang Plangklang ^{*}

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

^{*} Correspondence: boonyang.p@en.mutt.ac.th; Tel.: +66-86-899-2996

Abstract: Recently, energy costs have increased significantly, and energy savings have become more important, leading to the use of different patterns to align with the characteristics of demand-side load. This paper focused on the energy management of low-rise university buildings, examining the demand response related to air conditioning and lighting by measuring the main parameters and characteristics and collecting and managing the data from these parameters and characteristics. This system seeks to control and communicate with the aim of reducing the amount of peak energy using a digital power meter installed inside the main distribution unit, with an RS-485 communication port connected to a data converter and then displayed on a computer screen. The demand response and time response were managed by power management software and an optimization model control algorithm based on using a split type of air conditioning unit. This unit had the highest energy consumption in the building as it works to provide a comfortable environment based on the temperatures inside and outside the building. There was a renewable energy source that compensated for energy usage to decrease the peak load curve when the demand was highest, mostly during business hours. An external power source providing 20 kWh of solar power was connected to an inverter and feeds power into each phase of the main distribution. This was controlled by an energy power management program using a demand response algorithm. After applying real-time intelligent control demand-side management, the efficient system presented in this research could generate energy savings of 25% based on AC control of the lighting system. A comparison of the key system parameters shows the decrease in power energy due to the use of renewable energy and the room temperature control using a combination of split-type air conditioning.

Keywords: building management system; demand response; energy management system; low-rise university building; real-time intelligent control



Citation: Noppakant, A.; Plangklang, B. Improving Energy Management through Demand Response Programs for Low-Rise University Buildings. *Sustainability* **2022**, *14*, 14233. <https://doi.org/10.3390/su142114233>

Academic Editors: Bin Huang, Zhifeng Xiao and Lida Liao

Received: 4 September 2022

Accepted: 27 October 2022

Published: 31 October 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Today, the issue of energy costs is becoming increasingly important as a result of the global energy crisis. At the same time, the growing use of modern appliances is resulting in ever-increasing energy consumption. Energy consumption management has become increasingly important in all sectors. Therefore, energy savings from existing facilities have become a major priority. However, the traditional approach using fossil fuels and natural gas and energy resources is inappropriate in balancing the energy supply and demand-side management [1]. Inadequate energy consumption control cannot properly respond to the user's energy consumption. The energy usage sector consists of residential, commercial, public, and industrial. The energy consumption of buildings is a crucial factor in energy usage across all sectors. Buildings generate the highest energy consumption and need to be managed through the optimal strategies. Therefore, the demand-side load of buildings is incorporated into many types of equipment such as air conditioning systems, illumination systems, computer systems, transportation systems, plumbing and heating systems, and facilities management equipment [2]. The demand-side management of buildings needs to

be controlled to reduce the energy consumed by users. The choice of renewables now being applied to buildings, generating power by using a photovoltaic system, is presented in [3]. A smart electric power grid and the integration of communications technology can manage the delivery of electricity from a power plant grid to the consumer. The data network enables a two-way flow of information. The energy demand can provide the supply balance in real-time, as it is focused on the demand side and load saving by improving the energy consumption pattern [4,5]. Machine learning is adapted by forecasting data on the energy efficiency of buildings. The results of machine learning are represented in terms of the type and nature of the building and the equipment energy consumed [6]. Therefore, non-intrusive load management (NILM) techniques are combined with a demand response program to reduce the peak demand of the electrical load from the energy demand of the building. This algorithm focuses on minimizing the energy consumption and energy cost [7,8]. The mining of big building operational data for energy efficiency enhancement has been adapted via unsupervised data analysis and can be used to predict the energy data of the modern building, as presented in [9].

For modern energy consumption management systems designed for consumers, an intelligent network system has been developed to communicate and interact with automatic and efficient functioning [10]. Implementing a future smart grid could optimize real-time operation and energy consumption management [11,12]. Sensors installed in the smart grid can detect and display the Internet of Things (IoT) data in real-time for an unlimited period.

The operational effect of these characteristics is to reduce the energy consumption significantly. Representations for commercial buildings include the building type, destination control, and climate zone. This leads to a data-driven analysis of knowledge to analyze base data, adding management strategies and then converting them into rules for management control. The approach adopting the demand response (DR) decreases the electric peak power demand consumption from the load-side demand. The electricity load demand from the peak demand triggers another source of electric energy, where the electric energy efficiency is higher. Energy conservation configurations include systems such as rooftop solar cell electric power, using an electricity storage battery, or others such as power-intensive loads, which use intelligent (smart) equipment technologies. The management of the algorithm to increase the electric power efficiency and decrease the electricity load peak is incorporated into electric power grid distribution networks. To summarize, the demand response using the time response optimization algorithm is the basis of the smart electric power grid. Research papers have been published on the electric power of buildings. These have explored the demand response optimization algorithms for industrial equipment and home appliance load scheduling. These papers are comprehensive, but not adequately focused. The forecasted building electric usage data and patterns were used to set the optimization algorithm objective. Additionally, a technique to prove the methodology's efficiency was included, and the methodology can be used and applied to similar problems.

Most of the research papers in the worldwide database have focused on the utilization of HVAC for energy management systems. According to the behavior of the energy demand in buildings from the analysis of the usage data results, air conditioners consume the most energy, representing 65% of the total energy demand when compared to other building equipment. Typically, the air conditioner characteristics of evaporative coolers in dry areas result in low efficiency [13].

In this paper, the authors focused on the electric grid building demand response and time response optimization algorithm for the split-type air conditioning and lighting systems, analyzing the benefits and challenges regarding the algorithm's design efficiency and its implementation. The electric grid building demand response is needed to present the problem's background, and the different scenarios introduce the time response model to the study problem. A review was conducted to analyze the challenges and relevant results and data for the future demand response and time response optimization algorithms. This work aimed to present the control function of the electric grid for the demand response and to review the methods to obtain different solutions for the electric grid building

demand response. The paper’s methodology is represented by matching a building’s energy demand requirements from all of its electrical appliances and devices such as the air conditioning and lighting system, etc.

In the remainder of this paper, we attempted to present the details of the BEMS system. Section 2 reviews the previous work on the building demand response to improve the energy saving for split-type air conditioners. Section 3 provides the details of the optimization of the demand response in controlling the air conditioning and lighting system. Section 4 explains the purpose, the implementation of the building demand response (BDR), and the challenges. Finally, we present the results and conclusions.

2. Brief Literature Review

Most smart buildings have many characteristics aside from being connected to the electric microgrid including various types of renewable energy systems such as rooftop solar power and others, which can operate with an electricity storage battery. The demand response is one of the new developments in electricity that is intended to engage consumers in improving their electric energy consumption patterns. In Thailand, many types of demand response are already provided through demand response programs.

The building demand response can operate a schedule in real-time via the hours/day; generally, for a building demand response, a time response algorithm is used to optimize the efficiency by decreasing the electricity consumption costs for the consumer, thereby increasing the maximum profit for the end user [14]. A literature review presented real-time data with energy program solutions including the program’s algorithm and design [15]. For the intelligent building (BEMS), most appliances were individually connected, with different mechanisms to control each appliance [16]. The essential data accumulated simultaneously from many appliances are collected into big data. Big data analytics can improve the energy usage of consumer behavior and manage and set up the real-time price design and performance of the demand response program [17].

Regarding the electric grid building demand response, a time response algorithm seeks to set a comfort zone operational level as a priority and create an operational pattern for the control of the air conditioning system and lighting appliances [18,19].

The calculation of the electric load and the algorithm configuration depend on the categories of the electricity load type, the time of electricity use, the equipment or appliance service maintenance schedule, and other technical constraints related to the available renewable energy generation electricity capacity [20].

Figure 1 shows the details of the general demand response; these were separated into two categories, which include quantity-based programs and price-based programs. The quantity-based programs include the option of controlling demand. The price-based programs include an external source option to confirm the buyer decision, choose the electricity cost, and determine the time of use to purchase electricity.

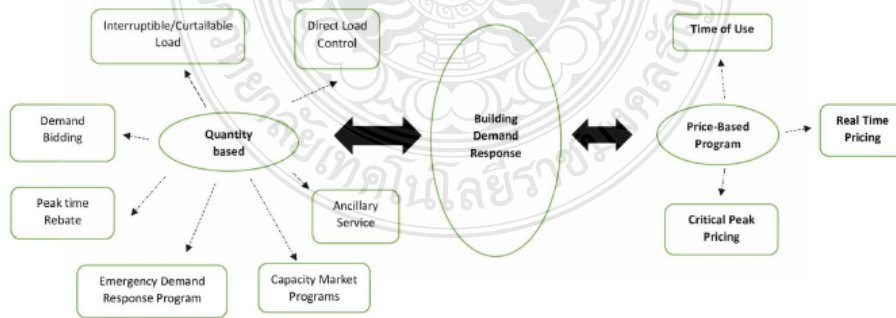


Figure 1. Classification of demand response.

The demand response, based on consumers changing their consumption behavior, is categorized into two groups: one is price-based, and the other is intensive-based. Each one has several sub-groups [21].

The BEMS performance is related to the amount of energy consumed [15]. Companies provide electricity savings by tracking and monitoring the users' electricity usage patterns. However, the demand response control mechanisms have undesirable operational times including those for air conditioning systems, lighting, and others.

3. Optimization of Demand Response

The combination of BEMS includes an integer and non-linear programming model for dynamic characteristics. The building model description, for this case, is related to hours or days ahead of a schedule, monitoring in real-time the system condition. The building model is constrained by the load type, pricing scheme, decision variables involved, and the capacity for time response communication and control in many solutions. Finally, one can determine the minimum requirement in demand response management programming.

3.1. Methodology

The approach to this topic was based on the published demand response papers and journals that identified the challenges of studying the building demand response and time response optimization models.

The first consideration was based on the average hourly electric power demand and the load required to identify the use of a power generator and a renewable electricity power source, alternating with the use of the electric grid over a specific time. The second consideration was based on mathematical models and strategy simulation models; however, some studies have considered more realistic problems and focused on the future scope of research. The third consideration was based on algorithm models and solution factors such as electricity load variations, usage patterns, and other infrastructure involved, in a unified approach to fit most of the building demand response problems.

The objectives of the demand response for the BEMS level were related by including a minimum production cost, maximum comfort, decreased load peak, and self-consumption via renewable energy generation, aggregated with the data of the minimum cost and maximum self-comfort in a social situation. It is constrained by the BEMS level of thermostatic and non-thermostatic control (air conditioning system), lighting and ventilation control, parameters, time usage schedule regarding the collection of data from the air conditioning system control, electricity cost, and the variable electricity load demand. The algorithm setting for process control was determined by the benefits and limitations of the use of multiple choices of renewable energy sources. The data from the electric grid and available renewable energy were used during planning to schedule for the best use between the building and the electric grid. The optimal solution of the problem is needed to ensure that it is suitable for many programs in BEMS systems with wireless, PLC, and SCADA technology, depending on the hierarchical structure of the building and electric grid.

The building demand response types have many factors, creating limitations for each characteristic such as building electrical power control management. The constraints include the limitations of the main appliances consuming electricity and communicating with the electric grid by the demand response and time response algorithm. The benefits include the multiple choices of the available renewable energy to compensate for the main power in peak periods. Finally, it is necessary to consider the communication components using wired and wireless technology such as PLCs and SCADA.

Most research papers have been presented using different techniques to control the demand response with the time response algorithms for BEMS. The BEMS are focused on power generation, using additional free energy from renewable energy generation models. Therefore, the improvement seeks to decrease the energy need; this is one such case affected by the challenges of implementing smart grid technology.

The structured design solution from the data results from the analysis process performed as part of the energy efficiency evaluation must also be considered.

- The renewable energy source is integrated into the building.
- Each floor is evaluated for the determination of the efficiency of the air conditioning system.
- The determination of the air conditioning, lighting, and appliance load can be managed.
- The relevant data on non-renewable energy in the preparation methodology of the performance management system are analyzed.

According to previous researchers, the energy performance does not reflect the significant problem wherein the data are imported from the parameters of the energy performance design, with non-renewable primary energy. In many cases, this presents an important problem in maintaining the energy level as the EP value is significant to the primary process.

The EP value is shown in kWh (year) per unit of temperature from the area of control, and the maximum and limit value can be calculated from the formula below:

$$EP = EP_{H+W} + \Delta EP; (\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{year})) \quad (1)$$

where

$$EP_{H+W} = \text{the value of EP total for split-type air conditioning, lighting, etc., and} \quad (2)$$

$$\Delta EP_c = \text{the EP value for the air conditioning system;} \quad (3)$$

$$\Delta EP_l = \text{the EP value for the lighting system.} \quad (4)$$

The installation of multi-unit split-type air conditioning in each room does not include the lighting system, which is calculated from the formula below:

$$\Delta EP_c = 10A_{f,c}/A_f; (\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{year}) \quad (5)$$

where

A_f = the air temperature inside the room considered in the energy performance regulation problem within the building (m^2);

$A_{f,c}$ = the air temperature controlled inside the room to determine the regulation (m^2) [22] (Figure 2).



Figure 2. Demand response and time response algorithm challenges and issues.

Regarding the involvement of the main electrical circuit control system for the building, it controls the AC and DC power for the loads used and communicates and processes big data using an algorithm between smart sensors and control devices such as smartphones, cloud systems, or tablets. The control electricity from all input units, from all sources such as smart grid operators, passes through an intelligent metering system, or an internal power source (PV, wind turbine, or DG).

The completeness of the power quality system is checked before supplying energy to the main electricity distribution module; then, the request for a current flow load will be fulfilled.

The control function calculates the electric power usage in the building, which is communicated between the control unit and the intelligent sensor, to determine the usage of the power quantity from each device through the Internet gateway module, LAN, Wi-Fi, and a mobile phone (Figure 2).

The smart sensor unit can collect the data and commands from the centralized control unit, measure the electric value, and then send it back to the processor unit. The smart sensor obtains the identification data received through the communication system and commands the equipment to work as a computer. The data are in an encrypted format (Figure 3).

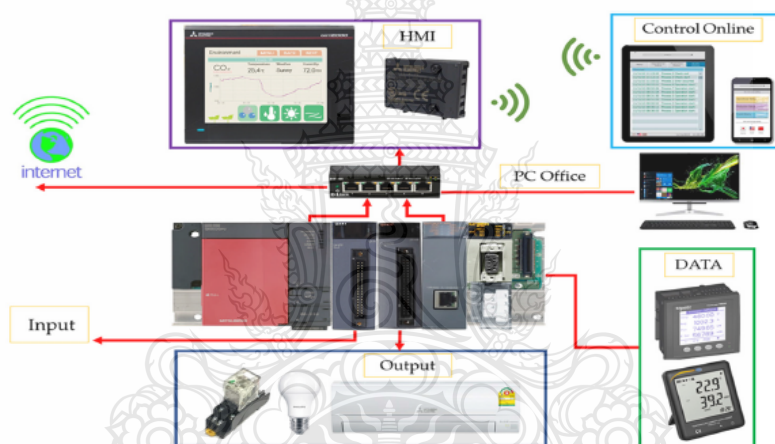


Figure 3. Lighting control system for classrooms.

The control algorithm of the lighting system inside each room has control and sends the data via the Internet to each floor, individually processing the data following the algorithm diagram. This includes the central processing for the lighting system and control of its energy use.

The controller unit needs to be aware of the activated device's status and its functioning. The processing unit contains information on the past electricity consumption and the future demand for electricity usage, which can be used to predict the electricity to be used over the next 10 h. The data can be communicated through the radio wave, PLC, wireless, or SCADA system in the building, which controls the receiving and sending of data to the network (cloud system) and produces the identification code for the destination equipment. It is critical in making the system suitable for the required application while all other electrical devices are running (Figure 3).

The processing unit will control the power consumption and manage the power flow in the BEMS algorithm through data communication by restricting the energy used by load devices inside the building, and monitoring and adjusting the power usage of the communication device.

3.2. Case Study Data Description

This case study examined the electricity demand of the 20,000-square-meter Thonburi University Engineering Department Building, located in Bangkok, Thailand, a region with hot summers and warm weather. This building has four stories; each story has 10 rooms and includes offices, computer laboratories, teaching classrooms, and many other laboratories within different engineering departments. Each room includes four sets of 38,000 Btu air conditioning units, 36 light bulbs, projector, computer, and other miscellaneous plugs for device accessories (Figure 4).

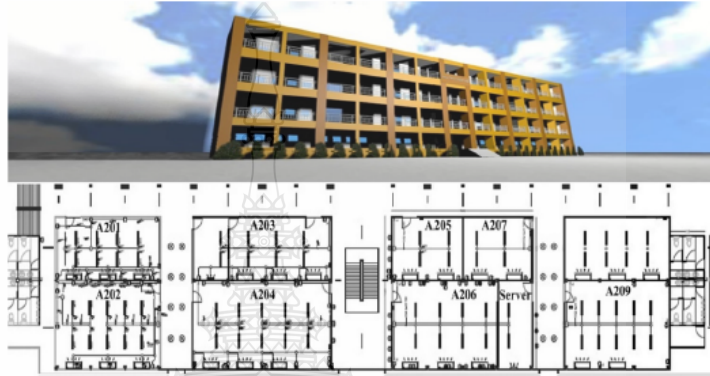


Figure 4. Physical model of the building.

The study focused on the demand response strategies by comparing the electric grid electricity costs and the decreased electricity cost impact using a microgrid building management system.

The real-time data for this study were collected using a digital power meter installed in the MDB panel. The digital power meter measures the data and transmits them to the main processor device. The data are sent through the RS485 channel, connecting to the computer where the power management program is installed to study the patterns of electricity use in the engineering buildings (Figure 5).

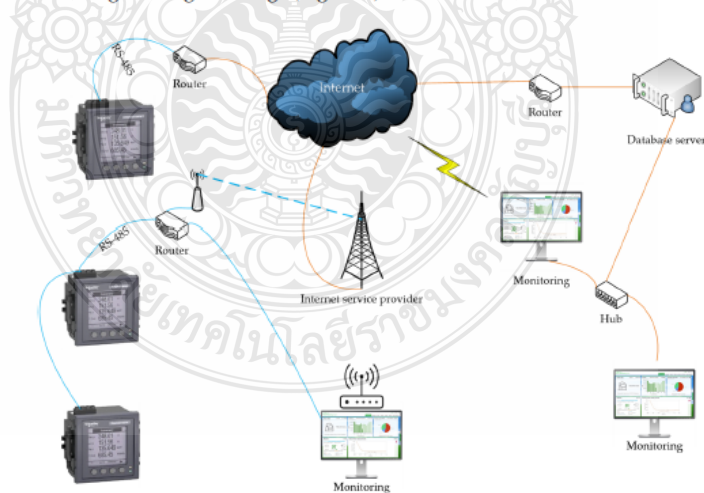


Figure 5. Display of the digital power meter.

The electricity consumption, recorded in the computer through the RS485 port, shows the real-time data storage. The electricity consumption can be displayed as both a graphical datasheet and via Microsoft Excel, which shows the total electricity consumed in the MDB for each phase such as phase A, phase B, and phase C for a sample of 30 days (Figure 5).

Demand response configurations in a microgrid building management system can limit each phase of the peak amount of electricity consumed, showing the maximum data every 15 min. The program also shows the average daily electricity consumption and the total electricity consumption in a day, and the data can be viewed in a Microsoft Excel datasheet.

Figure 6 shows the cyclical trend of the three-phase power system for each electrical phase, for regular use without any control. Based on this information, we can observe and generate some warnings, with other options to set up the power quality.

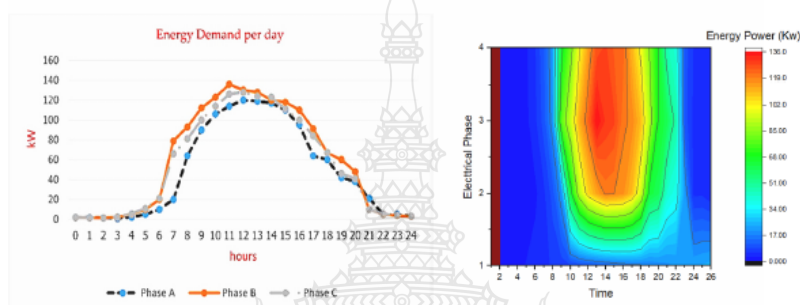


Figure 6. Electric grid power consumption without the building demand response.

The combined use of single-phase appliances in a three-phase power system can be connected to a single-phase power system to use different types of electricity, if each powerline is used with different electricity loads, balancing the single-phase and three-phase systems and reducing the electricity usage.

If the power consumption of each line is unbalanced, or the load is very different, the line with more powerlines increases its electricity consumption. In this case, customers pay higher electricity bills at progressive rates.

Figure 6 shows that the load behavior and total electricity power consumption in each phase in 24 h from the demand side were unbalanced and the peak power was 140 kW. Each day, the peak load is different and mainly depends on the classroom schedule occupancy; for example, the weekend class schedule had the most significant electricity consumption.

3.3. Temperature Air Condition Control

Air conditioning appliances consume large amounts of energy in Thailand; in the past few years, the government has introduced a campaign to decrease the energy consumption in buildings by controlling the temperature and human behavior to meet comfort conditions. In our case study, the older buildings had mostly installed a split-type of air conditioning system, with many units depending on the office size. The traditional temperature control for air conditioning operates individually, and the indoor temperature was the basis of control for the comfort temperature. The microprocessor becomes essential in controlling the room temperature for all split-type air conditioning systems using an on-off AC compressor. The microprocessor reads the indoor temperature and outdoor temperature via sensors installed inside and outside to compare the temperatures and sends the data to be processed. The advantage of an on-off control temperature system is that it can set up a comfort zone inside the room because it uses more than one temperature sensor per AC unit.

The energy usage from the one-day data monitoring system was compared regarding the total energy for the building and the air conditioning energy usage for the building,

as shown in Figure 7. The energy usage for an air conditioner creates the highest demand for the total energy for the building. The demand response curves are presented, which peaked at nearly 120 kW-hour due to the outside temperatures.

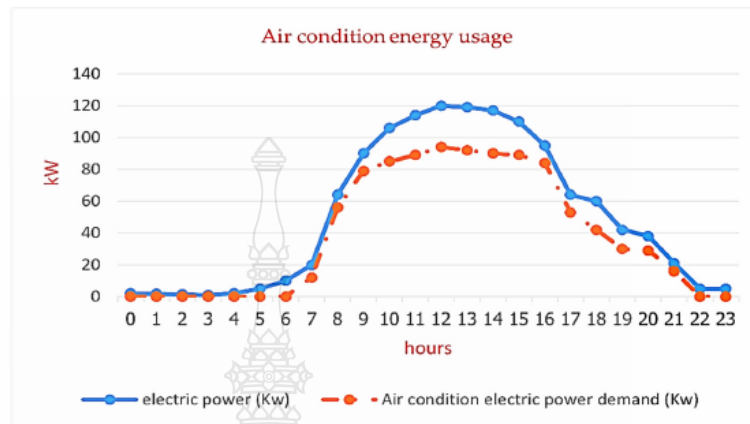


Figure 7. Air condition energy usage demand on average in kilowatts.

The transfer function of air conditioning and the room space, sensor, and controller were organized to sample the response of the indoor temperature and compressor output for the AC control algorithm. A traditional air conditioner uses a temperature sensor for feedback. This causes a different control problem, wherein the control output relies on sensing between the setting point and the actual feedback signal. Here, methodologies are presented that use new control methods to prevent the need for more sensors to sense a signal under additional conditions and implement more algorithms to achieve a comfortable temperature.

The split type of air conditioner for each room included three units for each room. The problem of temperature control for air conditioning is that it does not send real-time temperature data to switch the air compressor on or off, which uses more energy power and increases the energy consumption demand every day. The new controller unit presented in Figure 8 uses three units of temperature sensors, DHT22, combining the data and control more accurately with the data following the algorithm.

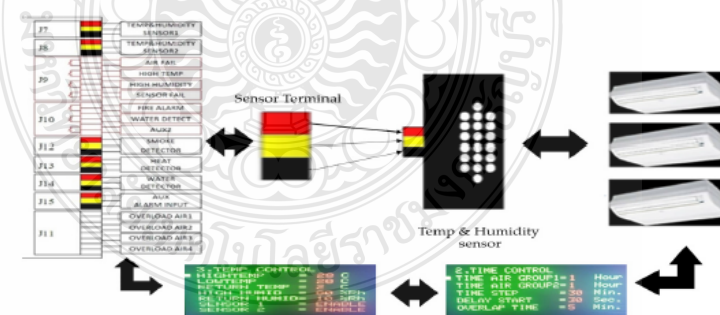


Figure 8. The centralized multi-unit air conditioning temperature and humidity control.

Figure 9 shows the diagram of the split-type of air conditioning control unit. The schematic diagram of the split-type AC system process involves the following steps.

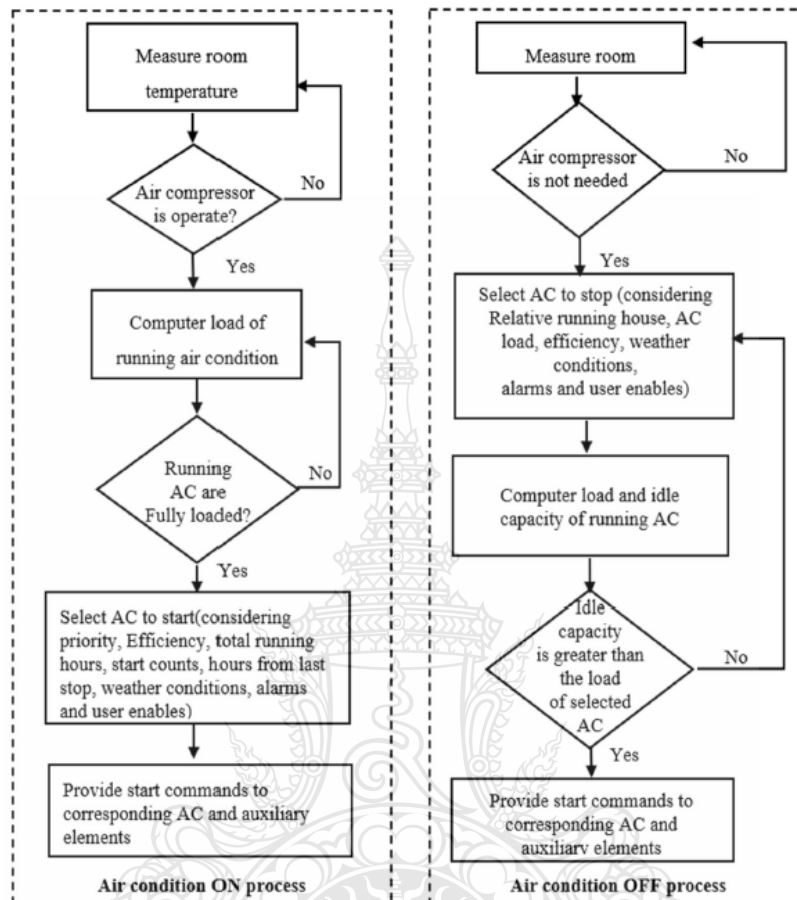


Figure 9. Flow chart of the air conditioning temperature ON–OFF process.

Air conditioning ON process:

Step 1: Measure the room temperature to calculate the time for air compressor setup.

Step 2: Air compressor ON or OFF process.

Case 1: ON process is set up for AC compressor running.

Case 2: OFF process is setup for AC fan running only.

Step 3: Computer load command for running air conditioning.

Step 4: Running AC is fully loaded.

Case 1: Preventive AC to start (considering priority, efficiency, total running hours, start count, hours from last stop, weather conditions, alarms, and user activation).

Case 2: Consideration of temperature for running air conditioning.

Step 6: Provide start commands to corresponding AC and auxiliary elements.

Air conditioning OFF process:

Step 1: Measure room temperature.

Step 2: Determine whether air compressor is still needed.

Case 1: No condition process, cooling fan on, continue checking temperature process.

Case 2: Yes, condition process, process AC compressor condition.

Step 3: Select AC to stop (considering relative running house, AC load, efficiency, weather conditions, alarms, and user activation).

Step 4: Computer load and idle capacity of running AC.

Step 5: Idle capacity is more significant than the load of the selected AC.

Case 1: No condition process, running process from step 3.

Case 2: Yes, condition process, consideration of temperature for running air conditioning.

Step 6: Provide start commands to the corresponding AC and auxiliary elements.

3.4. Illumination Control

Lighting in the building was applied to various surfaces; when considering the effective levels for eye comfort, it is necessary to include the brightness caused by high contrast. The visual impact of eye contrast can induce an area to create low or high brightness. Generally, the reflectance of the workplace is between 70% and 90%, or more than 30 lux; with the uniform level of more than 0.1, the reflection value from the wall is 50–80%, or illumination not less than 50 lux. The use of lighting energy for 24 h data monitoring was compared between the total energy for the building and the energy consumption of the lighting system for the building. The lighting energy consumption creates the aggregate demand of the building. The demand response curves presented a peak of nearly 10 kW because the brightness in the building must be sufficient, as shown in Figure 10.

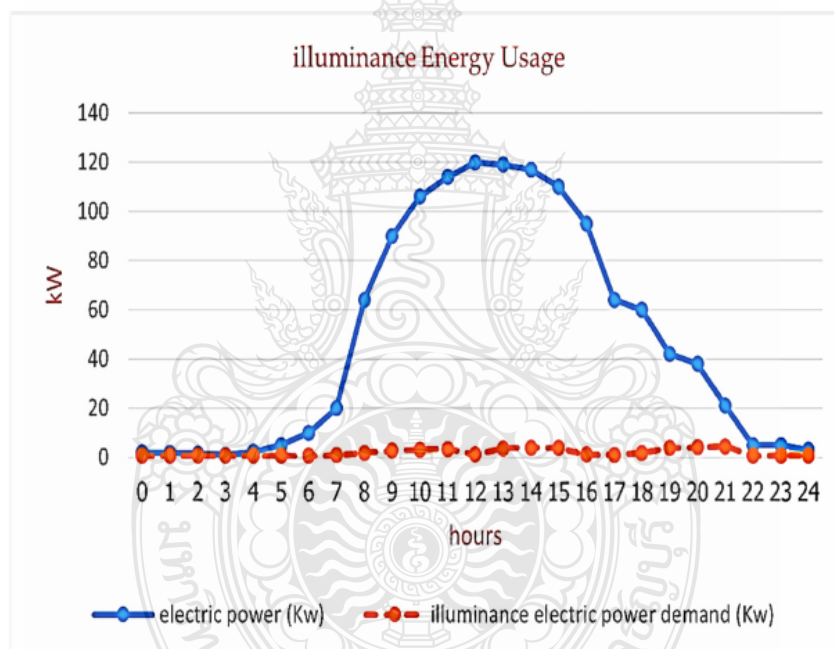


Figure 10. Illumination energy usage demand on average in kilowatts.

The technique of lighting control is specific to each room; the main processing control uses PLC to operate data and command data through a soft GOT program to operate the control program. The display system is presented by using the GOT screen via a mobile device through a wireless network connection. The display system can be displayed on the device via a web browser such as IE, Google Chrome, or Firefox, or it can be operated from the touch screen. The PLC can receive the command from the GOT mobile device and the touch screen connects with the output device such as to delay the control of the lighting system in the building, as shown in Figure 11.

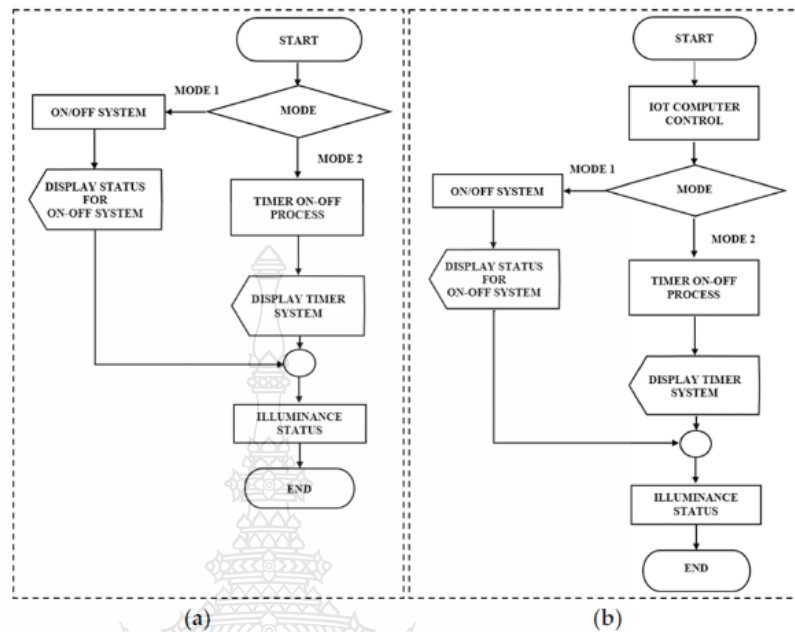


Figure 11. Manual and automatic lighting control system: (a) manual control; (b) automatic control.

In Figure 11, the algorithm for the lighting control via touch screen will control the lighting in front of the control panel, operating to work in two types: it may choose to turn on or off the lighting system manually and set the time to turn on or turn off the light. In type 1, the touch screen will divide the buttons to work with all lighting zones to be used and control the lighting in each zone, where each push button is a function and can be pressed on or pressed off, and it displays the status of each zone.

The concept of remote lighting control via a mobile phone can be used to control the lighting system from a web browser using an Internet signal. The signal is emitted from the control cabinet, and the screen displayed on the phone is the same as the touch screen and can be used in the same way as all touch screens, whether it is manually turned on or off or uses a timer to turn the system on or off.

3.5. Case Study Analysis—Results

It is essential to ensure the optimal use of electricity from the electric grid during the electricity peak demand for selected days by using 20 kW of the renewable electric energy installed in the building electricity system. During the electric load peaks, it can be compensated during the weekend classes that take place from 9:00 a.m. to 21:00 p.m., bringing savings regarding the total electricity cost.

Figure 12 shows that the highest electricity consumption occurred in phase A of the electric powerline. To balance all three phases, the demand response and time response algorithm, chosen to decrease the peak electric power by 15%, was used during the weekend classes.

The renewable energy collected into the battery storage device replaces the electricity supply from the electric grid into the building's electric powerline, as shown in Figure 12.

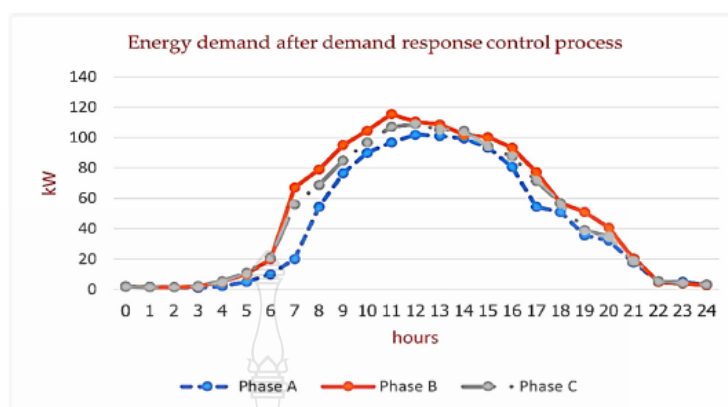


Figure 12. Electric grid power consumption after a decrease of 15% due to the building demand response.

4. The Implementation of the Building Demand Response (BDR): Issues and Challenges

The problems of implementing the building demand response and time response algorithm are based on several key challenges (Table 1).

Table 1. Demonstrates the problems and challenges of the demand response program and requirements to identify limiting problems.

Issue	Algorithm Challenge	Situation
Modeling the electricity demand load	Building demand response and time response algorithm analyzes the changes in the electricity consumption behavior pattern and electricity peak demand. The development of the algorithm characteristics includes the electricity demand load and the aggregate demand load.	Develop the electricity load model based on the HVAC historical load demand data including the weather forecast, which reduces or increases the HVAC electricity load demand.
Coordination strategy	The building energy management coordination with the smart electric grid and the renewable energy stored as electric energy.	The smart electric grid technology in use with programmable control power to switch on/off the power connection.
Hardware and software platform	ICT with different communication types between the sensor devices and the energy management system control.	Building energy management with multiple communication supports a standard base for easy integration.
Renewable energy load demand-based power	The demand response and time response of the building algorithm aims to set a comfort zone operational level with energy control as a priority, and operation pattern control of the split-type AC, lighting, and electric appliances including the electricity load demand, the time of electricity used, and the building behavior	The algorithm needs to explore the electricity required as load demand prediction, considering the weather forecast parameters and other setup variables, for the algorithm to find the best solution to the building demand response and time response
Warning system	BDR algorithm shows the most cost-effective results and its limitations	The marketing strategies, adaptation, and education learning process

Table 1 shows the problems and challenges of demand response and response time requirements to identify limiting problems and situations must be considered in the algorithm. The structure of the load model describes the usage patterns and changes in the building usage from the minimum load to the maximum load.

The development of algorithms and models has focused on the parameters for load models to determine the needs of the comfort demand response, and it also considers weather forecasting in a smart building and grid collaboration strategy to control the electricity from renewable energy.

The software and hardware options of the devices that can be used in the communication system are wired or wireless. The power generation model is a real-time system

and includes building demand load data and alarm systems, which showed the most cost-effective results and constraints.

5. Conclusions

In this article, we present the real-time intelligent data control of a demand response program for a low-rise university building that takes into consideration the centralization of a multi-unit split-type air conditioning control and illumination system. From the testing of this system, the proposed design obtained real-time intelligent data from the datalogging system on an IOT platform, displaying and recording data on the cloud server temperature control, and the inside and outside temperature control for lower energy consumption, resulting in a total decrease of 15%. The lighting control using a smart sensor obtained a total decrease 10% with an additional 15 kW from 8.00 to 21.00, and the external power source of solar power connected to an inverter fed the power into each phase of the main distribution, operating at 10.00–15.00, to achieve the maximum energy consumption at 12–18 kWh or 8% of the total energy consumption. Additionally, techniques to prove the algorithm's efficiency and its methodology are described; however, further studies of other building constraints to be applied on similar problems need further evaluation and model integration.

In summary, the building demand response, time response, and standard operational method need to be cost-effective for the economical operation of the electric grid. The available renewable energy devices and the various electricity network types can be integrated into the building energy management system in the use of renewable energy devices under an optimal schedule.

As future work, new data from each classroom will be analyzed to apply the algorithm and analyze its performance to approach the implementation of an actual platform to achieve sustainable procedure control. The large PV system needs to be upgraded to generate more power during the peak time, combined with multiple choices of renewable energy sources.

Author Contributions: Conceptualization, A.N. and B.P. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Abbreviations

The following abbreviations were used in this manuscript:

AC	Alternating current
BEMS	Building energy management system
BDR	Building demand response
DC	Direct current
DG	Distribution generator
DR	Demand response
EP	Electric power
HVAC	High-voltage air conditioning
ICT	Information and communication technology
IOT	Internet of Things
kW	Kilowatts
PLC	Programable logic control
PV	Photovoltaic
SCADA	Supervisor control and data acquisition

References

1. Shakeri, M.; Pasupuleti, J.; Amin, N.; Rokonzaman, M.; Low, F.W.; Yaw, C.T.; Nilofar, A.; Samsudin, N.A.; Tiong, A.K.; Hen, C.K.; et al. An overview of the building energy management system considering the demand response programs, smart strategies and smart grid. *Energies* **2020**, *13*, 3299. [\[CrossRef\]](#)
2. Ma, W.; Fang, S.; Liu, G.; Zhou, R. Modelling of District Load Forecasting for distributed Energy system. *Appl. Energy* **2017**, *204*, 181–205. [\[CrossRef\]](#)
3. Twaha, S.; Ramli, M.A. A review of optimization approaches for hybrid distributed energy generation systems: Off-grid and grid-connected systems. *Sustain. Cities Soc.* **2018**, *41*, 320–331. [\[CrossRef\]](#)
4. Xia, M.; Liu, W.; Wang, K.; Zhang, X.; Xu, Y. Non-intrusive load disaggregation based on deep dilated residual network. *Electr. Power Syst. Res.* **2019**, *170*, 277–285. [\[CrossRef\]](#)
5. Wang, S.; Chen, H.; Guo, L.; Xu, D. Non-intrusive load identification based on the improved voltage-current trajectory with discrete color encoding background and deep-forest classifier. *Energy Build.* **2021**, *244*, 111043. [\[CrossRef\]](#)
6. Fathi, S.; Srinivasan, R.; Fenner, A.; Fathi, S. Machine learning applications in urban building energy performance forecasting: A systematic review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2020**, *133*, 110287. [\[CrossRef\]](#)
7. Hernández, Á.; Ruano, A.; Ureña, J.; Ruano, M.; Garcia, J. Applications of NILM Techniques to Energy Management and Assisted Living. *IFAC-PapersOnLine* **2019**, *52*, 164–171. [\[CrossRef\]](#)
8. Gunay, H.B.; Shi, Z.; Wilton, L.; Bursill, J. Disaggregation of commercial building end-uses with automation system data. *Energy Build.* **2020**, *223*, 110222. [\[CrossRef\]](#)
9. Fan, C.; Xiao, F.; Li, Z.; Wang, J. Unsupervised data analytics in mining big building operational data for energy efficiency enhancement: A review. *Energy Build.* **2018**, *159*, 296–308. [\[CrossRef\]](#)
10. Sun, Y.; Haghghat, F.; Fung, B.C. A review of the-state-of-the-art in data-driven approaches for building energy prediction. *Energy Build.* **2020**, *221*, 110022. [\[CrossRef\]](#)
11. Shi, X.; Ming, H.; Shakkottai, S.; Xie, L.; Yao, J. Nonintrusive load monitoring in residential households with low-resolution data. *Appl. Energy* **2019**, *252*, 113283. [\[CrossRef\]](#)
12. Zhao, B.; Ye, M.; Stankovic, L.; Stankovic, V. Non-intrusive load disaggregation solutions for very low-rate smart meter data. *Appl. Energy* **2020**, *268*, 114949. [\[CrossRef\]](#)
13. Asemi, H.; Zahedi, R.; Daneshgar, S. Theoretical analysis of the performance and optimization of indirect flat evaporative coolers. *Future Energy* **2023**, *2*, 9–14. [\[CrossRef\]](#)
14. Pai, V.; Elzarka, H. Whole building life cycle assessment for buildings: A case study on how to achieve the LEED credit. *J. Clean. Prod.* **2021**, *297*, 126501. [\[CrossRef\]](#)
15. Zou, P.X.; Alam, M. Closing the building energy performance gap through component level analysis and stakeholder collaborations. *Energy Build.* **2020**, *224*, 110276. [\[CrossRef\]](#)
16. Hamid, O.; Barbarosou, M.; Papageorgas, P.; Prekas, K.; Salame, C.-T. Automatic recognition of electric loads analyzing the characteristic parameters of the consumed electric power through a Non-Intrusive Monitoring methodology. *Energy Procedia* **2017**, *119*, 742–751. [\[CrossRef\]](#)
17. Bonfigli, R.; Principi, E.; Fagiani, M.; Severini, M.; Squartini, S.; Piazza, F. Non-intrusive load monitoring by using active and reactive power in additive Factorial Hidden Markov Models. *Appl. Energy* **2017**, *208*, 1590–1607. [\[CrossRef\]](#)
18. Farrugia, J.; Griffin, S.; Valdramidis, V.P.; Camilleri, K.; Falzon, O. Principal component analysis of hyperspectral data for early detection of mould in cheeselets. *Curr. Res. Food Sci.* **2021**, *4*, 18–27. [\[CrossRef\]](#)
19. Rao, C.; Liu, M.; Goh, M.; Wen, J. 2-stage modified random forest model for credit risk assessment of P2P network lending to “Three Rurals” borrowers. *Appl. Soft Comput.* **2020**, *95*, 106570. [\[CrossRef\]](#)
20. Nadi, A.; Moradi, H. Increasing the views and reducing the depth in random forest. *Expert Syst. Appl.* **2019**, *138*, 112801. [\[CrossRef\]](#)
21. Qu, Z.; Xu, J.; Wang, Z.; Chi, R.; Liu, H. Prediction of electricity generation from a combined cycle power plant based on a stacking ensemble and its hyperparameter optimization with a grid-search method. *Energy* **2021**, *227*, 120309. [\[CrossRef\]](#)
22. Agostinelli, S.; Cumo, F.; Nezhad, M.M.; Orsini, G.; Piras, G. Renewable Energy System Controlled by Open-Source Tools and Digital Twin Model: Zero Energy Port Area in Italy. *Energies* **2022**, *15*, 1817. [\[CrossRef\]](#)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี

ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม-มิถุนายน 2565



กำหนดการพิมพ์เผยแพร่

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี กำหนดพิมพ์เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ

1. ฉบับที่ 1 มกราคม- มิถุนายน
2. ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม

พิมพ์ที่ : มหาวิทยาลัยธนบุรี

วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

1. เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ ในด้านวิศวกรรมศาสตร์ ได้แก่ วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมการผลิต วิศวกรรมวัสดุ วิศวกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม รวมทั้งสาขาอื่นๆที่เกี่ยวข้อง และในด้านวิทยาศาสตร์ได้แก่ สาขาวิชา คณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา วิทยาศาสตร์การอาหาร วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาการสารสนเทศ หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์ และสาขาอื่นๆที่เกี่ยวข้อง
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ความคิดเห็น วิทยาการและเทคโนโลยีใหม่ๆ อันนำไปสู่การพัฒนาทักษะและศักยภาพในการสร้างผลงานทางวิชาการ การค้นคว้า ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือและการนำเสนอบทความทางด้านการวิจัย และการบริการสังคม

เจ้าของ : มหาวิทยาลัยธนบุรี

ผู้ดำเนินการ : ดร.บัญชา เกิดมณี อธิการบดี มหาวิทยาลัยธนบุรี

บรรณาธิการวารสาร : ดร.จตุพร กรัยวิเชียร ผู้อำนวยการสำนักวิจัย มหาวิทยาลัยธนบุรี

2229-1547	-	วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.ธัญบุรี	Science and Technology RMUTT Journal	N/A		https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/past	เปลี่ยน ISSN และชื่อวารสาร (ใหม่) คือ ISSN : 2730-3012 E-ISSN : 2730-3020 Progress in Applied Science and Technology ตั้งแต่ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2563 เป็นต้นไป
2586-8101	2697-6447	วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.สุวรรณภูมิ	Journal of science and technology RMUTSB	2	Physical Sciences	https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JSciTech/	
2539-5688	2672-9873	วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มสย.	YRU Journal of Science and Technology	1	Life Sciences	https://i101.tci-thaijo.org/index.php/yru-jst	
-	2730-3837	วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี	Journal of Science and Technology Thonburi University	2	Physical Sciences	http://trujournals.blogspot.com/	<ul style="list-style-type: none"> เริ่มใช้ E-ISSN และชื่อวารสารใหม่ ตั้งแต่ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2563 เป็นต้นไป ISSN และชื่อวารสาร (เดิม) คือ E-ISSN: 2586-9965 วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) Journal of Thonburi University (Science and Technology)

• เริ่มใช้ ISSN วารสารใหม่ ตั้งแต่ฉบับที่ 1 มกราคม-เมษายน





JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

THONBURI UNIVERSITY

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี

Vol 6 No 1 January – June 2022
ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2565



กองบรรณาธิการ

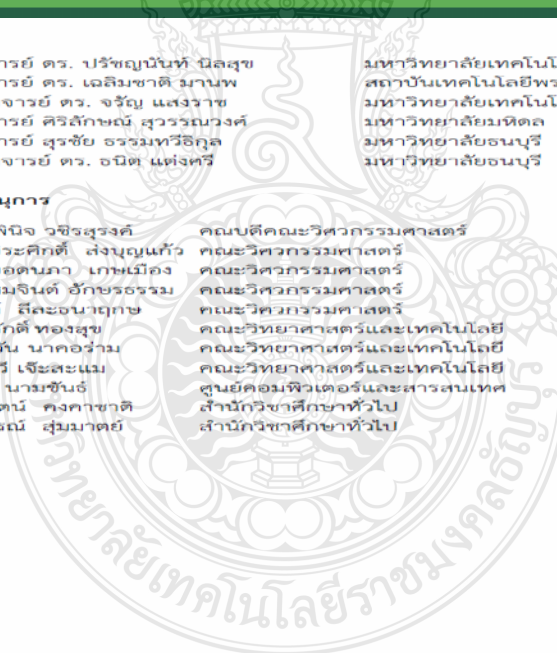
รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีชญนันท์ นิลสุข
รองศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชาติ มานพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จริญญา แสงวราช
รองศาสตราจารย์ ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์
รองศาสตราจารย์ สุรชัย ธรรมทวีอุกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนิต แท่งศรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนครเหนือ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยธนบุรี
มหาวิทยาลัยอนบุรี

ฝ่ายจัดการ และเลขานุการ

อาจารย์ญาณพิณีจ วชิรสุรงค์
อาจารย์ ผศ.จิระศักดิ์ ส่งบุญแก้ว
อาจารย์ ผศ.ยอดานภา เกษณีเมือง
อาจารย์ ผศ.สมจินต์ อักษรธรรม
อาจารย์วัฒน์ สีละอนาฤกษ์
อาจารย์สิทธิศักดิ์ ทองสุข
อาจารย์นันทวัน นาคอร่าม
อาจารย์อรรหาวี เจ๊ะสะแหม
อาจารย์เอนก นามชินธ์
อาจารย์สุดารัตน์ คงคาชาติ
อาจารย์วราภรณ์ สุ่มมาตย์

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ศูนย์คอมพิวเตอร์และสารสนเทศ
สำนักวิชาศึกษาทั่วไป
สำนักวิชาศึกษาทั่วไป



คณะกรรมการกลั่นกรอง (Peer Review)

รศ.ดร.ไพฑูริย์ ศิริโอฬาร	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
รศ.ดร.ชาญวิทย์ ตั้งสิริวรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร	มหาวิทยาลัยศิลปากร
รศ. ดร.เฉลิมชาติ มานพ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.พิสิทธิ วิสุทธิเมธีกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.เรวดี ศักดิ์ดุลยธรรม	มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์
ผศ.ดร. ประสพโชค ให้อ่องคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผศ.ดร.เมธา อึ้งทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ยอดคนภา เกษเมือง	มหาวิทยาลัยธนบุรี
ดร.ภชรดิษฐ์ แปงจิตต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผศ.ดร.กัม พรประเสริฐ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผศ.ดร.ไวรุจน์ อิมโพ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ผศ.ดร.ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.จิระศักดิ์ ส่งบุญแก้ว	มหาวิทยาลัยธนบุรี
ผศ.กิตติพงษ์ พุ่มโกษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผศ.บัญชา ศรีวิโรจน์	มหาวิทยาลัยธนบุรี
ผศ. ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.ปัญญา สำราญหันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ผศ.ดร.พรรษา เอกพรประสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ปัญญา สำราญหันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ดร.อรรถพล เเง่พิทักษ์กุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ดร. ยุทธนา คงจัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผศ. วสันต์ เพชรพิมูล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ดร.น่านน้ำ บัวคล้าย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ได้จัดพิมพ์ขึ้นเป็นปีที่ 6 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย และแลกเปลี่ยนแนวคิด ความรู้ ความก้าวหน้าใหม่ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยบทความทุกเรื่องได้ผ่านการพิจารณากลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจากหลายสถาบันการศึกษา โดยแต่ละบทความจะต้องการพิจารณากลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน และทางกองบรรณาธิการยังคงพัฒนาคุณภาพวารสารอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

กองบรรณาธิการของวารสารหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณที่ท่านผู้อ่านได้ให้ความสนใจวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) สำหรับผู้อ่านที่มีความประสงค์จะเสนอแนะหรือมีคำติชมประการใด โปรดให้ความเห็นหรือหักท้วงตามที่อยู่ของกองบรรณาธิการ ยินดีตอบรับทุกความคิดเห็นเพื่อปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น

ดร.ฐิติพร กรัยวิเชียร

บรรณาธิการวารสาร



สารบัญ

ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม-มิถุนายน 2565

บทความวิจัย

- 1-12 การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม
THE BUILDING ENERGY MANAGEMENT USING MICROCONTROLLER CONTROL
เอกรัตน์ นภกานต์, บุญยัง ปลั่งกลาง, ศุภวัฒน์ ลาวลัยวิสุทธิ
- 13-27 เครื่องกำหนดกำลังงานไฟฟ้าสำหรับการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า
DETERMINE THE ELECTRICAL POWER FOR THE USE OF ELECTRICAL EQUIPMENT
ฉัตรชัย โกสุม, ปานฤทัย โกสุม, เกชา อยู่แก้ว, ประกิจ ธรรมนิตศนา
- 28-40 การลดของเสียจากกระบวนการตรวจสอบเหล็กแผ่นม้วน กรณีศึกษา : โรงงานตัวอย่าง
REDUCING WASTE FROM THE STEEL COILS INSPECTION PROCESS CASE STUDY :
SAMPLE FACTORY
วรเทพ ตริวิจิตร, เถลิง พลเจริญ
- 41-54 การปรับปรุงผังโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมการ
ผลิตภัณฑ์ประตูหน้าต่างอลูมิเนียม
INDUSTRIAL PLANT LAYOUT IMPROVEMENTS TO INCREASE PRODUCTIVITY CASE
STUDY OF ALUMINUM DOOR AND WINDOW PRODUCTS INDUSTRY
นันทพันธ์ กนกศิริรุจิษา
- 55-61 การสังเคราะห์เส้นใยนาโนซิลิกาด้วยเทคนิคการให้ความร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า
A SYNTHESIS OF SILICA NANOFIBERS BY CURRENT HEATING TECHNIQUE
สมอ บุญพันธ์
- 62-72 โมเดลของการตรวจสอบปริมาณและคุณภาพของจุดควบคุมภาพสำหรับดาวเทียมรายละเอียดสูง
ไทยโชต
MODEL OF QUANTITY AND QUALITY OF PHOTO CONTROL POINTS FOR THAICHOTE
SATELLITE IMAGERY
อภิเสฏฐ์ สุวรรณสะอาด
- 73-89 การวิเคราะห์ความเสถียรของระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ที่เชื่อมต่อกับกริดสามเฟส
STABILITY ANALYSIS OF THREE-PHASE GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS
อนุชิต อุไรรัตน์, เฉลิม จินาตุน
- 90-99 การออกแบบและทดสอบสกูเตอร์ไฟฟ้าสำหรับเดินทางระยะสั้นคนเดียว
DESIGN AND TESTING OF ELECTRIC SCOOTER FOR SHORT DISTANCE SOLO TRAVEL
ยุทธชัย เกี้ยวสันเทียะ, พิสิฐพงศ์ แป้นทอง, ลักษณะปรีชา เกี้ยวสันเทียะ
- 100-109 ระบบควบคุมคุณภาพ กรณีศึกษาบริษัทเอชบีซี โปรดักซ์ อินดัสตรีส์ จำกัด
QUALITY CONTROL SYSTEM CASE STUDY HBC PRODUCTS INDUSTRIES CO., LTD
วัฒนา เอกภมิตศิลป์

Received: Oct 28,2021

Revised: Feb 7,2022

Accepted: Feb 15,2022

การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม

THE BUILDING ENERGY MANAGEMENT USING MICROCONTROLLER CONTROL

เอกรัตน์ นกกานต์¹ บุญยัง ปลั่งกลาง^{1*} สุภวัฒน์ ลาวัณวิสุทธิ²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทพสตรี

Akeratana Noppakant¹ Boonyang Plangklang^{1*} Supawat Lawanvisut²

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

² Industrial Technology Thepsatri Rajabhat University

E-mail: akeratana_n@mail.mutt.ac.th, boonyang.p@en.mutt.ac.th*, s.lawanwisut@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ นำเสนอแนวทางการจัดการพลังงานภายในอาคาร เพื่อให้เกิดความเหมาะสมระหว่างการใช้พลังงานกับความต้องการที่จะใช้พลังงานทั้งนี้เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าต่อการใช้พลังงานมากที่สุด โดยนำเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบวงจร โดยวงจรที่ได้ทำการออกแบบนั้นจะเป็นวงจรที่ใช้ควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น เครื่องปรับอากาศ ดวงโคม และคอมพิวเตอร์ โดยใช้เงื่อนไขที่ทำการควบคุมการเปิด-ปิด เครื่องใช้ไฟฟ้ามี 2 เงื่อนไขคือ จำนวนคนเข้า-ออก และอุณหภูมิที่เหมาะสมภายในห้อง แบบจำลองที่ได้จัดทำเพื่อแสดงให้เห็นลักษณะการทำงานที่ใช้ควบคุมการเปิด-ปิด เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ตามความเหมาะสมของสภาพการใช้พลังงาน ซึ่งจะสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้า ได้ประมาณ 76,599 วัตต์-ลิปดาห์

คำสำคัญ: ต้นทุนการสั่งซื้อ วัสดุดิบ ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด จุดสั่งซื้อใหม่ เวลานำ

Abstract

The purpose of this research is to present the energy management for the building. The power energy appropriate between the use of the energy and requirements to power consumption in the order to achieve the maximum demand for using the energy. This research applied the present technology to design the circuits, to control automatic on-off switch for the electric devices, for example, lighting, air conditioning and computer. The conditions of controlling concerned the number of people and appropriate temperature inside the room This model is made for demonstrate the process that are used the on-off of the electrical device in accordance with the condition specified that suited for the used of the energy. This model can help to save electric power in lecturer room A209 about 76,599 watts per week

Keywords: Air condition, Solar cell, Inverter.

บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานภายในประเทศ ได้ขยายตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องท่ามกลางสถานการณ์ราคาน้ำมันใน

ปัญหาด้านพลังงานในปัจจุบัน และในอนาคตได้ดีที่สุด อีกทั้งยังเป็นสิ่งที่ทุกคนในสังคมสามารถมีส่วนร่วมกันช่วยกันได้ง่ายที่สุด หากแต่ต้องอาศัยการสร้างแหล่งความรู้ ช่องทางการถ่ายทอด และที่สำคัญคือการกระตุ้นให้เกิดความร่วมมือจากทุกฝ่ายของสังคมในการอนุรักษ์พลังงานอย่างจริงจัง ดังนั้นโครงการนี้จึงได้ทำการศึกษา และทำแบบควบคุมการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในอาคารแยกเป็นห้องต่าง ๆ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม ซึ่งเราจะทำการศึกษา เพื่อหาแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานโดยการนับจำนวนคนเข้า-ออก การวัดอุณหภูมิภายในห้องเพื่อทำการควบคุม การเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศ หลอดไฟ โดยใช้ระบบอัตโนมัติ ส่งส่งข้อมูลผ่านระบบ IoT และสามารถดูข้อมูลย้อนหลังผ่านระบบคลาวด์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. หลักการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

1.1 การประหยัดพลังงานมีหลักการพื้นฐานมีดังนี้

- 1) การลดภาระของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน
- 2) การลดความสูญเสีย การสูญเสียของพลังงาน
- 3) ingsพลังงานเมื่อจำเป็นต้องทิ้งหรือไม่คุ้มที่จะนำกลับมาใช้ใหม่

1.2 การอนุรักษ์พลังงานในเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่ใช้กันแพร่หลาย และใช้พลังงานมาก ดังนั้นการประหยัดพลังงาน ในเครื่องปรับอากาศจะเป็นการลดค่าไฟฟ้าอย่างมาก และช่วยชาติประหยัดพลังงานได้มากด้วย การเลือกซื้อเครื่องปรับอากาศ เราควรพิจารณาดังนี้

- 1) ห้องปรับอากาศจะใช้งานในลักษณะใด ใช้เป็นห้องสำนักงาน ห้องเรียน หรือ ห้องนอน
- 2) ทิศทางของห้องปรับอากาศจะรับแสงแดดมากหรือไม่ เพราะหากรับแสงแดดมากจะเป็น การเพิ่มภาระของเครื่องปรับอากาศ
- 3) มีผนังโปร่งแสงมากหรือไม่ ยิ่งโปร่งแสงมากก็ยังมีแสงแดดที่นำความร้อนเข้ามามาก
- 4) พิจารณาอุปกรณ์ในห้องว่ามีอุปกรณ์ใดสร้างความร้อนบ้าง แต่วิธีที่ดีที่สุดคือ นำอุปกรณ์สร้างความร้อน เช่น กระจกหน้าต่าง ตู้เย็น เครื่องถ่ายเอกสาร ออกไปไว้นอกห้องปรับอากาศ
- 5) ภาระความร้อนที่จะเข้ามาในห้องจะมีมากเท่าใด เช่น ห้องเรียนที่มีนักศึกษา อาจารย์ เข้ามาใช้ครั้งละหลายๆ ย่อมมีภาระความร้อนมาก ทำให้เครื่องปรับอากาศต้องทำงานหนักขึ้น

โดยทั่วไปการเลือกขนาดอย่างง่ายที่สุดจะคำนวณประมาณ 1,200 บีทียูหรือ 1 ตันความเย็นต่อ 15 ตารางเมตร ทั้งนี้หากเป็นห้องที่รับแสงแดดมากหรือมีผนังโปร่งแสงมาก ควรเลือกให้ขนาดใหญ่ขึ้นเล็กน้อยเพื่อชดเชยภาระที่เกิดขึ้น

1.3 วิธีการใช้เครื่องปรับอากาศให้ประหยัดพลังงาน

เครื่องปรับอากาศในปัจจุบัน ถูกกำหนดให้ต้องติดฉลากประหยัดไฟกำกับ ยิ่งเบอร์สูงยิ่งมีประสิทธิภาพสูง เบอร์ 5 คือ เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด แต่จะมีแค่เครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก ไม่เกิน 25,000 บีทียู หากเกินกว่านั้นจะมีสูงสุดเพียงเบอร์ 4 เนื่องจากเทคโนโลยีในปัจจุบันยังไม่สามารถ ผลิตเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ที่มีประสิทธิภาพสูงได้

การใช้เครื่องปรับอากาศให้ประหยัดพลังงานนั้น เราควรทำความเข้าใจการทำงานของระบบ ปรับอากาศ และปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ก็สามารถประหยัดพลังงานได้

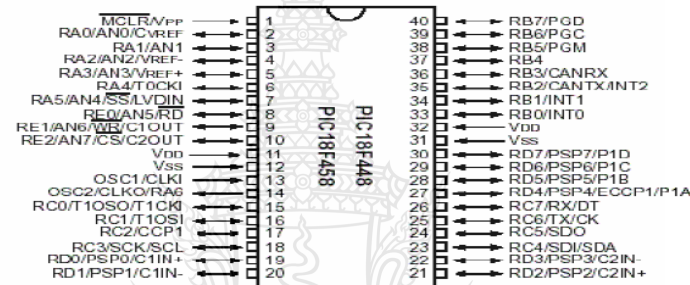
- 1) ควรตั้งอุณหภูมิไม่ให้ต่ำเกินไปโดยปกติควรตั้งที่ 25 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ร่างกายคนปกติ สามารถอยู่ได้อย่างสบาย (เพียงปรับอุณหภูมิที่เทอร์โมสแตท เราก็สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 10 % ต่อ 1 °C)
- 2) การปิดเครื่องปรับอากาศก่อนเลิกงาน เพราะหลังจากปิดเครื่องปรับอากาศแล้ว อากาศในห้องยังมีความเย็นหลงเหลือ อยู่อีกประมาณ 15 นาที
- 3) เปิดพัดลมดูดอากาศเท่าที่จำเป็น พัดลมดูดอากาศจะทำหน้าที่ดูดกลิ่นและควันที่ไม่พึงประสงค์ออกจากห้องปรับอากาศ แต่ถ้าเปิดทิ้งไว้ซึ่งมีทั้งอุณหภูมิและความชื้นที่ไม่เหมาะสมเข้ามาแทนที่ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้น ควรเปิดพัดลมดูดอากาศทิ้งไว้ 15 นาที แล้วค่อยเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ ขณะเปิดเครื่องปรับอากาศก็เปิดพัดลมดูด อากาศเท่าที่จำเป็นเท่านั้น

- 4) ลดความร้อนที่จะเข้ามาในห้องโดยหน้าต่างให้ติดม่าน มู่ลี่ หรือย้ายตู้ไปบังส่วนที่ไม่จำเป็นต้องมีแสงสว่างมาก หรือมีเพียงพอลอยู่แล้วไม่ต้องใช้แสงสว่างภายนอกช่วย
- 5) ป้องกันความเย็นไหลออกจากห้อง โดยตามขอบประตู หน้าต่างควรมีขอบซีลกันความเย็นไหลออก
- 6) ควรปรับปรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ ทำความสะอาดแผ่นกรองอากาศ และแผงระบายความร้อน โดยการ ใช้ลมเป่าทุกๆ 1 เดือนและควรล้างเครื่องปรับอากาศครั้งใหญ่ โดยใช้น้ำหรือน้ำยาฉีดทุกๆ 6 เดือน

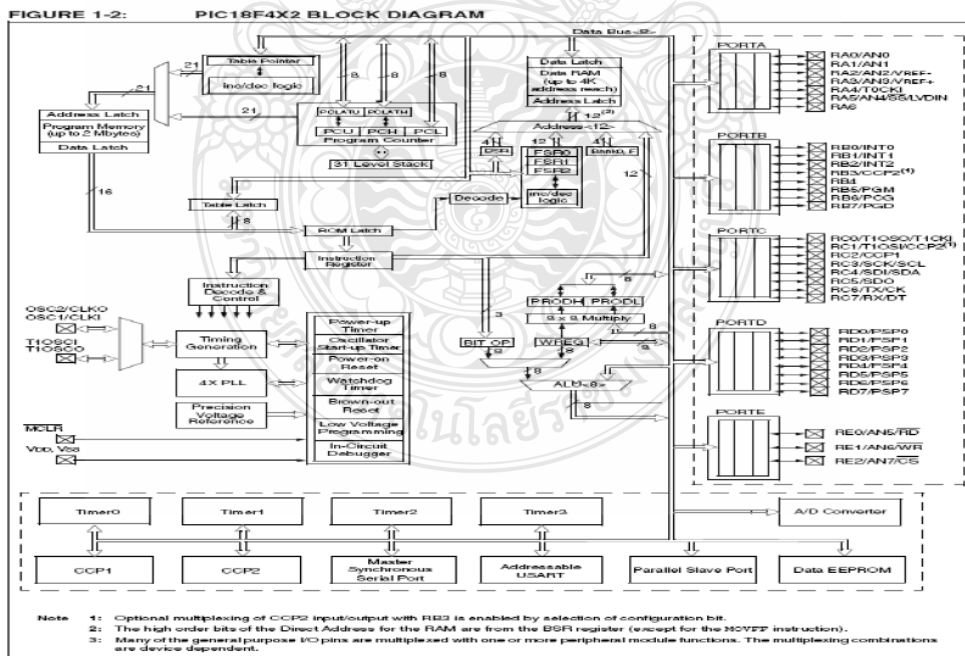
2. โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

[1] โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโครงสร้าง และสถาปัตยกรรมคล้ายกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC18FXXX เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช 8 กิโลไบต์ หน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 368 ไบต์ ขาสัญญาณมี จำนวน 40 ขา แสดงดังภาพที่ 1 และมีโครงสร้างพื้นฐานแสดงดังภาพที่ 2

PDIP



ภาพที่ 1 การจัดขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458



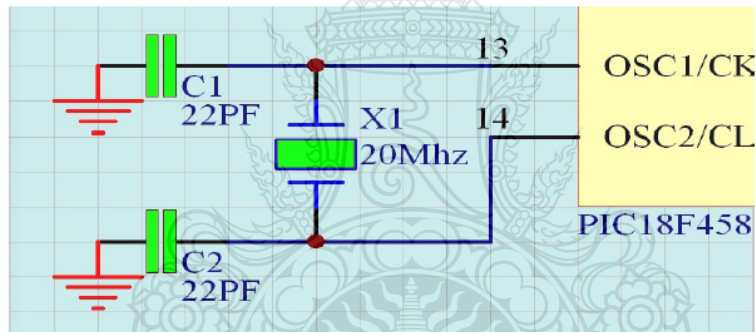
ภาพที่ 2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

2.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC18F458

- 1) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานร่วมกันได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC18FXXX
- 2) มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช 8 กิโลไบต์ สามารถลบ และเขียนได้ถึง 1,000 ครั้ง
- 3) ทำงานในช่วงแรงดัน 2 – 5.5 โวลต์
- 4) สามารถป้องกันการโปรแกรมได้
- 5) มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 368 ไบต์
- 6) มีอินพุตและเอาต์พุตขนาด 64 บิต
- 7) มีวงจรรนับและจับเวลาขนาด 32 บิต 3 วงจร
- 8) สามารถอินเทอร์รัปต์ได้จาก 14 แหล่ง
- 9) สามารถโปรแกรมการทำงานได้โดยผ่านพอร์ตอนุกรม

2.2 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

[2] [3] ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานตามสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนเข้าระบบ เพื่อกำหนดจังหวะในการทำงานให้กับซีพียู และวงจรต่างๆ ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ คริสตัลเป็นตัวกำเนิดความถี่ และต้องใช้ตัวเก็บประจุในโหมด HS ความถี่ 20.0 MHz C1 และ C2 ขนาด 15 – 33 pF แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

2.3 วงจรรีเซ็ต

[4] [5] การรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องป้อนสัญญาณลอจิก “1” เข้าที่ขา Reset นานไม่ต่ำกว่า 2 แมกซ์ซีเคิล โดยที่ 1 แมกซ์ซีเคิลจะใช้เวลา 12 คาบเวลา ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาคาบเวลาของ แมกซ์ซีเคิลได้จาก

1 คาบเวลา = 1 / ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

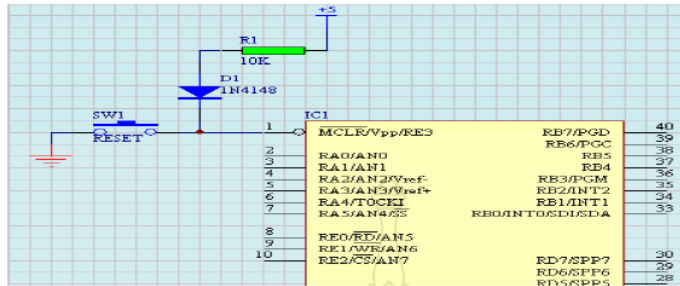
กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาเท่ากับ 12 MHz

ดังนั้น 1 คาบเวลา = $1 / 12 \times 10^6 = 0.08333 \mu\text{sec}$

และ 1 แมกซ์ซีเคิล = 12 x คาบเวลา = $12 \times 0.08333 = 1 \mu\text{sec}$

ดังนั้น 2 แมกซ์ซีเคิล = $2 \times 1 = 2 \mu\text{sec}$

ดังนั้นในการออกแบบวงจรรีเซ็ตจะต้องให้วงจรค้างสถานะ เป็นลอจิก “1” ไม่น้อยกว่า 2 μsec



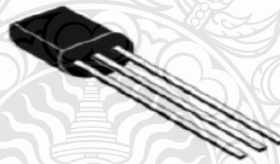
ภาพที่ 4 วงจรรีเซ็ต

2.3 ไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820

DS1820 เป็นไอซีตรวจจับอุณหภูมิที่ใช้การติดต่อแบบระบบบัส 1 สาย มีขาต่อใช้งานเพียง 3 ขา คือ DQ ซึ่งเป็นขาเชื่อมต่อกับระบบบัส ขาต่อไฟเลี้ยงภายนอก ขากราวด์

หัวใจสำคัญของ DS1820 อยู่ที่ตัวตรวจจับอุณหภูมิและหน่วยความจำความเร็วสูงที่เรียกว่า สแครตช์แพด (Scratchpad) ซึ่งมีขนาด 9 ไบต์

เมื่อวัดอุณหภูมิได้ก็จะนำค่าที่วัดได้เก็บไว้ในสแครตช์แพดที่ไบต์ 0 และ 1 ทั้งนี้เนื่องจากไอซี DS1820 สามารถให้ข้อมูลของอุณหภูมิได้ละเอียดถึง 16 บิต เมื่อนำมาแปลงเป็นข้อมูลเลขฐานสิบจึงสามารถแสดงความละเอียดของค่าอุณหภูมิได้ถึง 0.5 °C และ 0.9 °F โดยมีย่านวัดอุณหภูมิ - 55 ถึง + 125 °C หรือ - 67 ถึง + 257 °F โดยค่าของ °F ต้องใช้การแปลงหน่วยเข้ามาช่วยใช้เวลาในการแปลงค่าอุณหภูมิเป็นข้อมูลดิจิทัลประมาณ 200 มิลลิวินาที สามารถกำหนดขอบเขตของอุณหภูมิที่ทำการวัดได้ และแจ้งเตือนเมื่อค่าของอุณหภูมิสูงขึ้นหรือลดต่ำลงถึงค่าที่กำหนด โดยค่า อุณหภูมิที่กำหนดนั้นจะเก็บไว้ในที่ สแครตช์แพดในไบต์ 2 และ 3



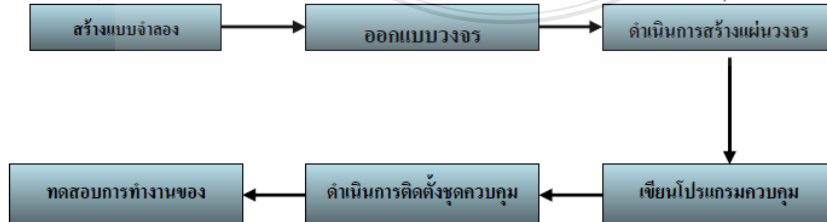
ภาพที่ 5 รูปร่างของไอซีตรวจจับอุณหภูมิ DS1820

3. การดำเนินงาน

โครงสร้างของระบบ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ ดังนี้คือ

3.1 ส่วนของออกแบระบบตรวจวัดค่าพลังงาน ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

การออกแบบในระบบที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าตามห้องต่างๆ การออกแบบจะใช้ Pic Microcontroller เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่ได้นำมาใช้งานสำหรับการตรวจจับค่าอุณหภูมิ จำนวนคนที่อยู่ในห้อง การควบคุมระบบแสงสว่าง ในส่วนของอุปกรณ์ตรวจวัดค่าที่ติดตั้งอยู่กับโพลต์ สำหรับใช้วัดค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้า แล้วแสดงผลออกทางจอ LCD ด้านหน้าให้สามารถอ่านค่าต่างๆ ได้



ภาพที่ 6 โดอะแกรมของวงจรรระบบแบบจำลองการอนุรักษ์พลังงาน โดยใช้ PIC ควบคุม

3.2 ส่วนของระบบการแสดงผลการทำงานผ่าน LoRa Gateway ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

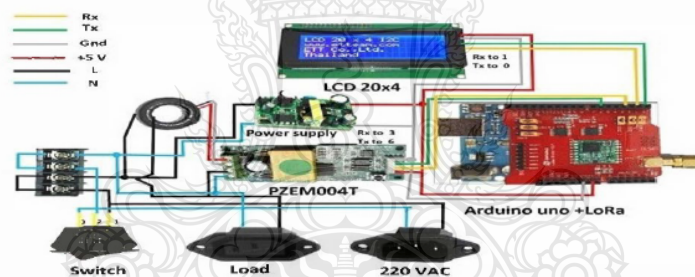
LoRa Gateway จะใช้บอร์ด Arduino MEGA 2560 จำนวน 2 ชุดในการประมวลผลโดยแบ่งบอร์ด Arduino MEGA 2560 ชุดที่ 1 ต่อคัล้อมด้วยบอร์ดของ NB - IoT AIS Shield เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลขึ้นสู่ Cloud ของ AIS Magellan ส่วนบอร์ด Arduino MEGA 2560 ชุดที่ 2 ต่อคัล้อมด้วยบอร์ด LoRa Shield เพื่อใช้เป็นตัวรับข้อมูลระหว่างชุด Lora Meter กับชุด Lora Gateway

3.3 ส่วนการเก็บข้อมูลด้วยระบบ Cloud ของ AIS Magellan

ในส่วนของ AIS Magellan จะให้เก็บข้อมูลผ่าน Cloud โดยให้มาพร้อมกับชุดของ NB - IoT AIS Shield พร้อมทั้งสผ่านและจะเรียกเก็บค่าบริการเป็นรายปีโดยในการนำมาใช้สำหรับทำการรับค่าข้อมูลที่ส่งมาจากส่วนของชุด LoRa Gateway ซึ่งเป็นข้อมูลจากการที่วัดของไหลมาจากชุดของ LoRa Meter ใน Cloud ของ AIS Magellan จะสามารถแสดงผลของค่าที่วัดต่างๆ ทั้งหมดได้ในขณะนั้น (Realtime) ให้ทราบรวมทั้งยังเก็บบันทึกข้อมูลไว้ให้ตรวจย้อนหลังได้

3.4 ส่วน Web Server

เนื่องจาก Cloud ของ AIS Magellan ต้องมีการใช้ร่วมกับผู้ใช้รายอื่นๆ ที่ทาง AIS จำหน่ายชุด NB - IoT AIS Shield ด้วยทางผู้จัดทำโครงการเห็นว่าอาจจะเก็บได้น้อยไม่เพียงพอต่อการต้องบันทึกข้อมูลกับเนื้อที่ที่ให้มีของ Cloud AIS Magellan ดังนั้นจึงได้เพิ่มการส่งข้อมูลเข้าเก็บใน Web Server คู่ขนานไปกับ Cloud AIS Magellan ให้สามารถตรวจสอบข้อมูลการใช้ไฟฟ้าได้ตลอดเวลาและตรวจสอบได้ทุกสถานที่ที่มีเครือข่าย Internet



ภาพที่ 7 การต่อวงจรชุด LoRa Gateway

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ในการทำงานของวงจรได้แบ่งการทำงานของวงจรถูกออกเป็น 3 แบบคือ วงจรวัดอุณหภูมิ วงจรการนับจำนวนคนเข้า-ออก และวงจรรีเลย์โดยทั้ง 3 วงจรจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการทำงานหลักการทำงานของวงจรคือ วงจรวัดอุณหภูมิทำหน้าที่วัดอุณหภูมิแล้วส่งค่าที่วัดได้แสดงผลที่ LCD เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการควบคุม โดยใช้อินฟราเรดทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์จำนวน 2 ชุดติดตั้งไว้ที่หน้าโต๊ะบริเวณทางเข้า ในแต่ละห้อง โดยมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

- ข้อกำหนด ถ้าอุณหภูมิ 25 °C แอร์จะทำงาน 1 ตัว ถ้าอุณหภูมิ 27 °C แอร์จะทำงาน 2 ตัว
- 1-2 คน ไฟติด 15 หลอด แอร์ทำงาน 1 ตัว 1-4 คน ไฟติด 30 หลอด แอร์ทำงาน 1 ตัว
- 1-6 คน ไฟติด 30 หลอด แอร์ทำงาน 2 ตัว 7 คนขึ้นไป ไฟติด 30 หลอด แอร์ทำงาน 2 ตัว

หมายเหตุ : ในแบบจำลองจะควบคุมในการเปิด-ปิด แบบอัตโนมัติเฉพาะแอร์ และหลอดไฟเท่านั้น ส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ จะสามารถเปิด-ปิด การใช้งานตามความต้องการ

การแสดงผลของข้อมูลและสถานะการทำงานที่หน้าจอ แอลซีดี โดยมีการแสดงผลการทำงานในลักษณะและเงื่อนไขที่แตกต่างกันและมีการแสดงข้อความ ดังนี้

- Temp = XX °C ซึ่งเป็นการบอกอุณหภูมิของห้องทำงานขณะนั้น
- People = X เป็นการแสดงจำนวนคนในห้องทำงานขณะนั้น

Air 1 = เครื่องปรับอากาศตัวที่ 1
 Air 2 = เครื่องปรับอากาศตัวที่ 2
 Relay = โหลดอุปกรณ์ไฟฟ้า
 Lamp = ฟลูออเรสเซนต์

เมื่อ 1 = Status Open
 0 = Status Close



ภาพที่ 8 สถานะการแสดงผลของจอแอลซีดี

การเก็บผลค่าพลังงานในแต่ละห้องภายในอาคาร โดยในแต่ละห้องมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าพื้นฐานที่มีอยู่ในห้องซึ่งมีการใช้งานตามจำนวนชั่วโมงและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ในแต่ละวันดังแสดงตาม ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การใช้พลังงานไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์

อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์	ช.ม./วัน	วัตต์-ช.ม./วัน
Notebook	7	50	8	2,800
Com-PC 1	1	150	11	1,650
Com-PC 2	1	150	11	1,650
กาต้มน้ำ	1	2,100	2	4,200
ตู้เย็น 4 Cu	1	210	24	5,040
หลอดไฟ 38 w	10	11	11	1,210
อุปกรณ์	จำนวน	วัตต์	ช.ม./วัน	วัตต์-ช.ม./วัน
แอร์	2	1,500	11	33,000
TV LCD 21	1	60	3	180
			รวม	51,680

ผลการดำเนินการเก็บค่าพลังงานที่นำมาทดสอบและนำมาเปรียบเทียบกับระบบการจัดการ ทั้งหมด 7 ห้อง เพื่อหาค่าปริมาณสูงสุดที่สามารถประหยัดพลังงานได้ มีการสำรวจจำนวนชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์ และความสัมพันธ์ของจำนวนชั่วโมงการใช้งานและจำนวนคนที่อยู่ในห้อง ตามเวลาที่แสดงการทำงานในแต่ละวัน และแสดงจำนวนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในแต่ละวัน ดังแสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แบบสำรวจการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉพาะแอร์ และหลอดไฟในห้องพักอาจารย์

ช่วงเวลา	จำนวนคน	แอร์ 1	วัตต์	แอร์ 2	วัตต์	หลอดไฟ	วัตต์	รวมวัตต์
9.00 - 10.00	1 - 8	ON	1,500 x 1 = 1,500	ON	1,500 x 1 = 1,500	On, 30 หลอด	11 x 1 = 11	3,011

10.00 -13.00	1 - 4	ON	$1,500 \times 3$ = 4,500	ON	$1,500 \times 3$ = 4,500	On, 30 หลอด	$11 \times 3= 33$	9,033
13.00 -18.00	1 - 2	ON	$1,500 \times 5$ = 7,500	ON	$1,500 \times 5$ = 7,500	On, 30 หลอด	$11 \times 5= 55$	15,055
18.00 -21.00	1 - 4	ON	$1,500 \times 3$ = 4,500	ON	$1,500 \times 3$ = 4,500	On, 30 หลอด	$11 \times 3= 33$	9,033
เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ							เท่ากับ	51,680
							รวม	87,812

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉพาะแอร์ และหลอดไฟ ห้องที่ 1

ช่วงเวลา	จำนวน คน	แอร์ 1	วัตต์	แอร์ 2	วัตต์	หลอดไฟ	วัตต์	รวมวัตต์
9.00 - 10.00	1 - 8	ON	$1,500 \times 1$ = 1,500	ON	$1,500 \times 1$ = 1,500	On, 30 หลอด	$11 \times 1= 11$	3,011
10.00 -13.00	1 - 4	ON	$1,500 \times 3$ = 4,500	-	-	On, 30 หลอด	$11 \times 3= 33$	4,533
13.00 -18.00	1 - 2	ON	$1,500 \times 5$ = 7,500	-	-	On, 15 หลอด	$11 \times 2.5=$ 27.5	7,527.5
18.00 -21.00	1 - 4	ON	$1,500 \times 3$ = 4,500	-	-	On, 30 หลอด	$11 \times 3= 33$	4,533
เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ							เท่ากับ	51,680
							รวม	71,284.5

สรุปผลการทดสอบ ห้องที่ 1 พบได้ว่าเมื่อมีการบริหารจัดการพลังงานที่ใช้ระบบไมโครโพรเซสเซอร์เข้ามาจัดการบริหารปริมาณของเครื่องใช้ไฟฟ้า สามารถประหยัดพลังงาน $87,812 - 71,284.5 = 16,527.5$ วัตต์-ชม./วัน

ตารางที่ 4 แบบสำรวจการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉพาะแอร์ และหลอดไฟในห้องพักอาจารย์ ห้องที่ 2

ช่วงเวลา	จำนวน คน	แอร์ 1	วัตต์	แอร์ 2	วัตต์	หลอดไฟ	วัตต์	รวม วัตต์
9.00 - 10.00	1 - 5	ON	$1,500 \times 1$ = 1,500	ON	$1,500 \times 1$ = 1,500	On, 30 หลอด	$11 \times 1= 11$	3,011
10.00 -13.00	1 - 2	ON	$1,500 \times 3$ = 4,500	-	-	On, 15 หลอด	$11 \times 3= 33$	4,533
13.00 -18.00	1 - 9	ON	$1,500 \times 5$ = 7,500	ON	$1,500 \times 1$ = 1,500	On, 30 หลอด	$11 \times 5= 55$	9,055
18.00 -21.00	1 - 3	ON	$1,500 \times 3$ = 4,500	-	-	On, 15 หลอด	$11 \times 3= 33$	4,533
เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ							เท่ากับ	51,680
							รวม	72,812

สรุปผลการทดสอบ ห้องที่ 2 พบได้ว่าเมื่อมีการบริหารจัดการพลังงานที่ใช้ระบบไมโครโพรเซสเซอร์เข้ามาจัดการบริหารปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า สามารถประหยัดพลังงาน $87,812 - 72,812 = 15,000$ วัตต์-ชม./วัน

ตารางที่ 5 แบบสำรวจการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉพาะแอร์ และหลอดไฟในห้องพักอาจารย์ ห้องที่ 3

ช่วงเวลา	จำนวน คน	แอร์ 1	วัตต์	แอร์ 2	วัตต์	หลอดไฟ	วัตต์	รวมวัตต์
9.00 - 10.00	1 - 12	ON	1,500 x 1 = 1,500	ON	1,500 x 1 = 1,500	On, 30 หลอด	11 x 1= 11	3,011
10.00 -13.00	1 - 8	ON	1,500 x 3 = 4,500	ON	1,500 x 3 = 4,500	On, 30 หลอด	11 x 3= 33	9,033
13.00 -18.00	1 - 9	ON	1,500 x 5 = 7,500	ON	1,500 x 5 = 7,500	On, 30 หลอด	11 x 5= 55	15,055
18.00 -21.00	1 - 4	ON	1,500 x 3 = 4,500	-	-	On, 30 หลอด	11 x 3= 33	4,533
เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ							เท่ากับ	51,680
							รวม	83,312

สรุปผลการทดสอบ ห้องที่ 3 พบได้ว่าเมื่อมีการบริหารจัดการพลังงานที่ใช้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์เข้ามาจัดการบริหารปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า สามารถประหยัดพลังงาน 87,812 – 83,312 = 4,500 วัตต์-ชม./วัน

ตารางที่ 6 การทดสอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉพาะแอร์ และหลอดไฟ ห้องที่ 4

ช่วงเวลา	จำนวน คน	แอร์ 1	วัตต์	แอร์ 2	วัตต์	หลอดไฟ	วัตต์	รวม วัตต์
9.00 - 10.00	1 - 7	ON	1,500 x 1 = 1,500	ON	1,500 x 1 = 1,500	On, 30 หลอด	11 x 1= 11	3,011
10.00 -13.00	1 - 10	ON	1,500 x 3 = 4,500	ON	1,500 x 3 = 4,500	On, 30 หลอด	11 x 3= 33	9,033
13.00 -18.00	1 - 5	ON	1,500 x 5 = 7,500	-	-	On, 15 หลอด	11 x 2.5= 27.5	7,527.5
18.00 -21.00	1 - 7	ON	1,500 x 3 = 4,500	ON	1,500 x 3 = 4,500	On, 30 หลอด	11 x 3= 33	9,033
เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ							เท่ากับ	51,680
							รวม	80,284. 5

สรุปผลการทดสอบ ห้องที่ 4 พบได้ว่าเมื่อมีการบริหารจัดการพลังงานที่ใช้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์เข้ามาจัดการบริหารปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า สามารถประหยัดพลังงาน 87,812 – 80,284.5 = 7,527.5 วัตต์-ชม./วัน

ตารางที่ 7 การทดสอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉพาะแอร์ และหลอดไฟ ห้องที่ 5

ช่วงเวลา	จำนวน คน	แอร์ 1	วัตต์	แอร์ 2	วัตต์	หลอดไฟ	วัตต์	รวมวัตต์
9.00 - 10.00	1 - 3	ON	1,500 x 1 = 1,500	ON	1,500 x 1 = 1,500	On, 30 หลอด	11 x 1= 11	3,011
10.00 -13.00	1 - 4	ON	1,500 x 3 = 4,500	-	-	On, 30 หลอด	11 x 3= 33	4,533

13.00 -18.00	1 - 2	ON	$1,500 \times 5$ $= 7,500$	-	-	On, 15 หลอด	$11 \times 2.5 =$ 27.5	7,527.5
18.00 -21.00	1 - 2	ON	$1,500 \times 3$ $= 4,500$	-	-	On, 15 หลอด	$11 \times 1 = 11$	4,511
เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ							เท่ากับ	51,680
							รวม	71,262.5

สรุปผลการทดสอบ ห้องที่ 5 พบได้ว่าเมื่อมีการบริหารจัดการพลังงานที่ใช้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์เข้ามาจัดการบริหารปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า สามารถประหยัดพลังงาน $87,812 - 71,262.5 = 16,549.5$ วัตต์-ชม./วัน

ตารางที่ 8 การทดสอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉพาะแอร์ และหลอดไฟ ห้องที่ 6

ช่วงเวลา	จำนวน คน	แอร์ 1	วัตต์	แอร์ 2	วัตต์	หลอดไฟ	วัตต์	รวมวัตต์
9.00 - 10.00	1 - 2	ON	$1,500 \times 1$ $= 1,500$	-	-	On, 15 หลอด	$11 \times 1 = 11$	3,011
10.00 -13.00	1 - 4	ON	$1,500 \times 3$ $= 4,500$	-	-	On, 30 หลอด	$11 \times 3 = 33$	4,533
13.00 -18.00	1 - 4	ON	$1,500 \times 5$ $= 7,500$	-	-	On, 30 หลอด	$11 \times 5 = 55$	7,555
18.00 -21.00	1 - 2	ON	$1,500 \times 3$ $= 4,500$	-	-	On, 15 หลอด	$11 \times 3 = 33$	4,533
เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ							เท่ากับ	51,680
							รวม	71,312

สรุปผลการทดสอบ ห้องที่ 6 พบได้ว่าเมื่อมีการบริหารจัดการพลังงานที่ใช้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์เข้ามาจัดการบริหารปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า สามารถประหยัดพลังงาน $87,812 - 71,312 = 16,500$ วัตต์-ชม./วัน

ตารางที่ 9 การทดสอบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉพาะแอร์ และหลอดไฟ ห้องที่ 7

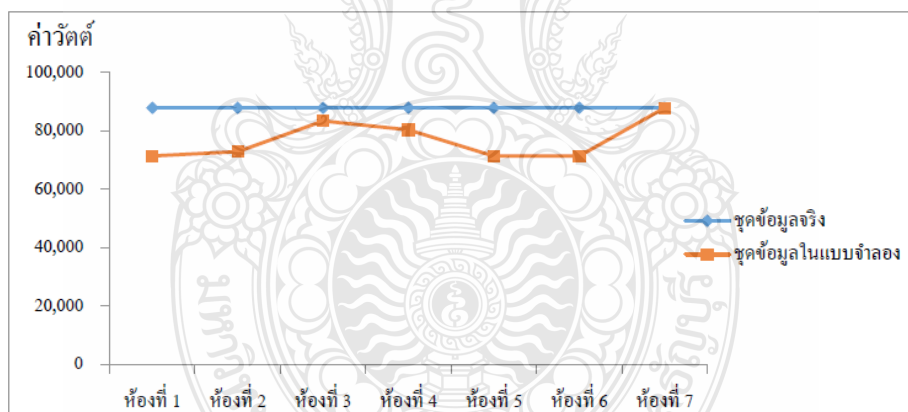
ช่วงเวลา	จำนวน คน	แอร์ 1	วัตต์	แอร์ 2	วัตต์	หลอดไฟ	วัตต์	รวมวัตต์
9.00 - 10.00	1 - 12	ON	$1,500 \times 1$ $= 1,500$	ON	$1,500 \times 1$ $= 1,500$	On, 30 หลอด	$11 \times 1 = 11$	3,011
10.00 -13.00	1 - 14	ON	$1,500 \times 3$ $= 4,500$	ON	$1,500 \times 3$ $= 4,500$	On, 30 หลอด	$11 \times 3 = 33$	9,033
13.00 -18.00	1 - 9	ON	$1,500 \times 5$ $= 7,500$	ON	$1,500 \times 5$ $= 7,500$	On, 30 หลอด	$11 \times 5 = 55$	15,055
18.00 -21.00	1 - 8	ON	$1,500 \times 3$ $= 4,500$	ON	$1,500 \times 3$ $= 4,500$	On, 30 หลอด	$11 \times 3 = 33$	9,033
เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ							เท่ากับ	51,680
							รวม	87,812

สรุปผลการทดสอบ ห้องที่ 7 พบได้ว่าเมื่อมีการบริหารจัดการพลังงานที่ใช้ระบบไมโครโพรเซสเซอร์เข้ามาจัดการบริหารปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า สามารถประหยัดพลังงาน $87,812 - 87,812 = 0$ วัตต์-ชม./วัน

ตารางที่ 10 สรุปผลการทดสอบห้อง 7 ห้อง

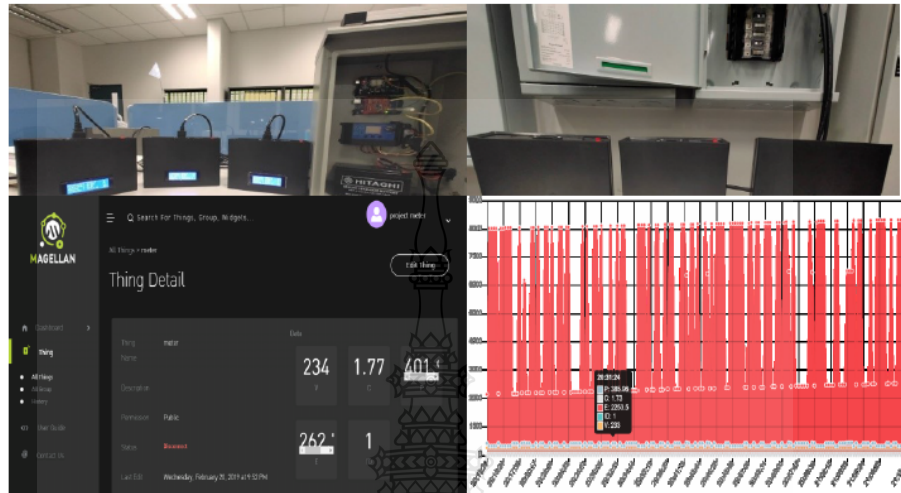
วันที่	ค่าพลังงานที่ใช้งาน (kWh)	ค่าข้อมูลหลังจากการควบคุม (kWh)	ปริมาณพลังงานที่สามารถประหยัดได้ (kWh)
1	87,812	71,284.5	16,527.50
2	87,812	72,812	15,000
3	87,812	83,312	4,500
4	87,812	80,284.5	7,527.5
5	87,812	71,262.5	16,549.5
6	87,812	71,312	16,500
7	87,812	87,812	0
		จะสามารถประหยัดได้	76,604.50 วัตต์/สัปดาห์

จากแบบสำรวจการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องที่ได้ทำการทดสอบจำนวน 7 ห้อง พบว่า สามารถประหยัดไฟฟ้าได้เท่ากับ 76,604.5 วัตต์-สัปดาห์



ภาพที่ 9 กราฟเปรียบเทียบการใช้งานข้อมูลจริงกับในแบบจำลองใน 1 สัปดาห์

ภาพที่ 9 แสดงค่าเปรียบเทียบการใช้งานระหว่างการใช้งานปกติกับการใช้งานแบบมีการควบคุมด้วยระบบไมโครโพรเซสเซอร์ พบว่า ค่าพลังงานเฉลี่ยที่มีการควบคุมนั้น สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 10 การแสดงผลและการเข้าดูผลการตรวจวัด AIS NB-IoT

อภิปรายผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบการบริหารจัดการพลังงานทั้งหมด 7 ห้อง พบว่า การบริหารจัดการพลังงานโดยใช้เงินไขจากการตรวจจับปริมาณคนที่อยู่ในแต่ละห้อง เพื่อกำหนดและตรวจจับอุณหภูมิภายในห้องและตั้งค่าการควบคุมการทำงานของแสงสว่างและอุปกรณ์ทำความเย็น พบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง เมื่อปริมาณคนในห้องมีจำนวนน้อยและสามารถลดเวลาการทำงานของอุปกรณ์ต่างลงได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์

ผลการทำงานสำหรับการอ่านและวัดค่าได้ตามที่ต้องการคือสามารถวัดค่าพร้อมแสดงผลของแรงดันไฟฟ้า, ค่ากระแสไฟฟ้า, ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าและยังสามารถส่งข้อมูลผ่านระบบคลื่นวิทยุเข้าเข้าสู่ LoRa Gateway ที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ AIS NB - IoT ได้เป็นอย่างดีและสามารถรับข้อมูลมาส่งเข้า Cloud ของ AIS Magellan เพื่อนำไปแสดงผลให้สามารถอ่านขณะนั้นได้และรวมทั้งสามารถเก็บบันทึกไว้ใน Cloud ให้สามารถดูผลย้อนหลังได้

เอกสารอ้างอิง

- ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง. 2550. PIC MICROCONTROLLER LEARNING BY DOING. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาร์ตเลิร์นนิ่ง
- ณัฐพล วงศ์สุนทรชัย. 2543. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F628. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : อินโนเวทีฟ เอ็ดดูเคชัน. บจก.
- ดอนสัน ปงผาบ. 2551. ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และการประยุกต์ใช้งาน. ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F458. บริษัท อีเลคทรอนิกส์ ซอร์ท จำกัด. เข้าถึงได้จาก : www.es.co.th/index.asp.
- วงจร PROPICUSBV 1.0. เข้าถึงได้จาก : www.thaimicrotron.com.



**Proceedings of the 2019 International Conference on
Power, Energy and Innovations (ICPEI)
Ambassador City Jomtien, Pattaya, THAILAND
October 16-18, 2019**



Technical co-sponsors



Author Index

A	Page	N	Page
Akeratana Noppakant	5	N G Yamini.	41
Alexandre Cesar Rodrigues da Silva	21	Nannam Nilnimitr	49
Anuchit Narkglom	121	Nanthi Suthikarnnarunai	61
Anurak Loongthaisong	1, 153	Naruethep Ritsuk	1,153
Arkira Sonthitham	125	Natin Janjamraj	97
B	Page	Nattachote Rugthaicharoencheep	65,101
Birasak Varasundharosoth	29	Nidchabendha Chandanachulaka Roekrai	29
Boonlert Suechoey	69,73	Nisit Pukrongta	93
Boonyang Plangklang	5,93	Norasage Pattanadech	33
C	Page	P	Page
Cattareeya Suwanasri	53	Pana Chupun	69,73
Chaiyapon Thongchaisuratkrul	57,125	Panee Noiying	137
Chanchai Prugpadee	65	Papon Ngmaprasert	101
Chisanucha Paorong	1, 153	Pasist Suwanapingkarl	1, 153
Chongrag Boonseng	49,109,105,141,145, 149	Peeraphon Jiranantacharoen	13
E	Page	Phadungrat Prongpimai	129
Ekkamol Boonyapalanant	121	Phop Chararoensook	33
G	Page	Piyadanai Pachanapan	25
Gowtham N.	41	Poolsak Koseeyaporn	121, 137
I	Page	Pracha Khamphakdi	45
Ian Andrew Grout	21	Prajuab Inrawong	9
J	Page	Prasert Phuenmuenwai	9
Jukkrit Kluabwang	85	R	Page
K	Page	Rapeepornpat Boonseng	109, 145
Kaan Kerdchuen	9	Rujaporn Sumon	53
Kamon Jirasereeamornkul	89	Rungnapa Kongsuk	77
Kanatip Rojanaworahiran	81	S	Page
Kanokwan Ruangsiri	125, 129, 133	Santipab Kothale	85
Keerati Chayakulkheeree	81	Sakhon Woothipatanapan	65, 101
Kotchakorn Siriphan	45	Salakhit Pukjaroon	113
Krittidet buayai	9	Samart Taikhao Suntara Fueangfung	37
Kunyanuth Kularbphettong	49,105,109,141,145,149	Sanjan P S	41
Kwanchanok Srivallop	1, 153	Sarawut Janpong	61
M	Page	Sawat Yukhalang	85
Manat Boonthienthong	113	Sirichai Saramanus	117
Manoon Puangpool	61	Sittisak Buasai	1,153
		Somboon Sooksatra	17
		Somchai Hiranvarodom	97

Author Index

S	Page
Somsak Siriporananon	69, 73
Supachai Puengsungwan	89
Supapradit Marson	5
Supawud Nedphokaew	113
Suporn Thaenkaew	133
Supot Srinil	29
Surasak Sawatrukkul	57
T	Page
Taweesak Juntasorn	105
Thanapong Suwanasri	53
Thitisak Boonpramote	77
Tosaporn Narongrit	61
Tritod Nganpitak	33
U	Page
Udomsak Keawmorakote	129, 133, 137
V	Page
Vacharee Svamivastu	29
Varinthorn Boonyaroj	117
Virote Pirajanchai	97
W	Page
Wachiraporn Srisong	37
Watit Benjapolakul	13
Werachet Khan-ngern	29
Willian de Assis Pedrobon Ferreira	21
Woranan Inwanna	109, 145
Y	Page
Yuraporn Padungun	137

Table of Contents

ID-Paper	Title	Page
ID-01	Motor Design for 'epvscooter' an Electric Scooter Integrated with Portable Photovoltaic Charger System <i>Pasist Suwanapingkarl, Anurak Loongthaisong, Naruethep Ritsuk, Sittisak Buasai, Chisanucha Paorong and Kwanchanok Srivallop</i> Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand	1
ID-02	The Study of Challenge and Issue of Building Demand Response <i>Akeratana Noppakant, Boonyang Plangklang and Supapradit Marson</i> Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand	5
ID-03	Conceptual Design of Solar PV Pump for Raw Sand Production in Central Region of Thailand <i>Prasert Phuenmuenwai, Krittidet buayai, Prajuab Inrawong and Kaan Kerdchuen</i> Rajamangala University of Technology Isan, Thailand	9
ID-04	Photovoltaic Power Generation Forecast by using Estimator Model and Kalman Filter <i>Peeraphon Jiranantacharoen and Watit Benjapolakul</i> Chulalongkorn University, Thailand	13
ID-05	Analysis of Asymmetrical Series Resonant Converter Using State-plane Diagram <i>Somboon Sooksatra</i> Rangsit University, Thailand	17
ID-06	On-Line Electrical Supply Generation Fuel Mix Data Analysis using Python and TensorFlow <i>Ian Andrew Grout, Willian de Assis Pedrobon Ferreira and Alexandre Cesar Rodrigues da Silva</i> University of Limerick, Ireland	21
ID-07	The Control of Large Scale Grid-Tied Photovoltaic Rooftop Systems to Avoid the Power Factor Charge <i>Piyadanai Pachanapan</i> Naresuan University, Thailand	25
ID-08	Energy Budget for Zero Energy Consumption Building of Thai Style Mediation based on PV System <i>Nidchabendha Chandanachulaka Roekrai, Werachet Khan-ngern, Birasak Varasundharosoth, Vacharee Svamivastu and Supot Srinil</i> Kasetsart University, Thailand	29
ID-09	Polarization and Depolarization Current Measurement for Foreign Object Detection in Gas-Insulated Transmission Line <i>Tritod Nganpitak, Phop Chanchaensook and Norasage Pattanadech</i> King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand	33
ID-10	High Lipid Content in Unicellular Green Alga <i>Asteracys</i> sp. FFP40 Isolated from Food Industrial Wastewater in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province <i>Samart Taikhao Suntara Fueangfung and Wachiraporn Srisong</i> Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Thailand	37



October 16-18, 2019, Ambassador City Jomtien, Pattaya, THAILAND

The Study of Challenge and Issue of Building Demand Response

Akeratana Noppakant¹ Boonyang Plangklang² Supapradit Marsong³

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110

E-mail: akeratana_n@mail.rmutt.ac.th; boonyang.p@en.rmutt.ac.th; supapradit_m@mail.rmutt.ac.th

Abstract Building Demand response is considered to operate on the feature function of smart grid framework, that can decreased a mount of peak energy by using a masive integration of many choice of many alternative renewable energy generation with or without battery storage section, this paper aims to overview of building demand response and time response to optimazation model of building and floor level section level to presented. Then a description of optimization method of schedules by demand response and time response algorithm base on HVAC and appliances consumption by considering energy cost and comfort parameter inconsistency model based on various HVAC power consumption at building are presented. This significant issues provide the suitability for demand response and imprementation the future research of BEMS algorithm details.

Keywords— Demand Response, Time Response, Building Energy management

I. INTRODUCTION

The smart grid integration and technology of communication that can operate the efficiently deliver electricity from generator to the consumer. The features ubiquitous data network to enable two-way flow of information, the needs of demand will provide to balance the supply in real time. its focuses on load demand and load shaping to modifying the energy consumption pattern. The major study was focus on demand response (DR) approach to decrease electric consumption by shaping, moving of load demand to reserve to peak energy from mainly power utility. The energy efficiency and energy conversation configuration to advancing and forecast of more percuis with penetration of supplementary generation such as PV-solar generation energy power with or without battery storage, power intensive load and other usage intelligent appliance. [1][2]

The algorithm to manage a gain of electric power and to reduce peak load has more concern for the term of distribution network. The summarize of demand response management algorithm and associate in smart grid technics and control to a variable of research literature paper, how ever it is found many recent building remand response algorithms comprehensive and not focused properly.

This paper was focus on Demand Response algorithm for building and the benefits challenges in efficiency of design and implementation, then the rest of this paper shows the background of difference scenario of the problem, provide an optimization of model to describe the problem, then review and glance from mechanisms to identify the challenges and opportunities for future building demand response algorithm.

II. BUILDING DEMAND RESPONSE

The smart building consists of various type of renewable energy such as solar power generation and other which is can operate with or without a battery storage. The demand response mainly is a change of normal electricity usage by consumer in response to external activation, usually a monetary remuneration. In Thailand, demand response is already a fact of provided through demand response programs.

According to Ministry of Energy Thailand, Energy Policy and Planning Office) EPPO (in 2017, Demand Response is an efficient way to provide consumers to play a role as end-users. This policy allows consumers to be part in reducing the demand of electricity, increasing security system of electricity and energy, and delaying the construction of large power plants. This policy will bring benefits to the society and nation. Generally, consumers may respond to price signal, and price incentive which the government can transfer signal to consumer by the channel. An example of complete responsive electrical power structure is the power system operator can send real-time tariff information to consumers through installing smart meter at the user end. When the consumers receive information, they can change their behavior when using electricity.

The operation of demand response program may operate in real-time by hours/day of scheduling ahead in generally Demand Response algorithm is calculate as an increase an efficiency problem to decrease consumption of electricity costs for the consumer else increasing a maximum profit for customer. The idea of DR algorithm is to set a operation of zone comfort level, priority and operation pattern control of HVAC, lighting appliance and etc. The calculation of load control and algorithm configuration tactics depend on the categories of load, time

of used, service maintenance, technical constraints and renewable energy generation. [3][4]

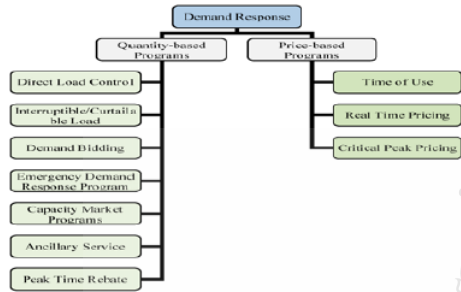


Fig 1. Classification of demand response

Demand response can be categorized based on consumer in changing their consumption behavior into two groups of price-based and intensive- based demand response programs and each of these groups is individual into several sub-groups.

However the demand response control mechanisms will have undesirable, i.e. air-conditioning (HVAC), lighting, ventilation system while also determine of their operating time. The performance of the BEMS is related to amount of energy consumed in the building. There are also companies provided saving consumption electric saving with ICT tracking and monitoring for their client.

III. OPTIMIZATION OF DEMAND RESPONSE

[5][6]The BEMS is a combination-integer of non-linear programming issue with characteristic of dynamics, many objective. The programming depended on choosing of load types, pricing scheme, nature decision variable involved and ability to include communication, optimization technique responsive, and many solutions have been required in demand response management programming. The comprehensive of model description for the building case related to hours or days ahead of schedule provide and extended to real time monitoring for system condition. [5][6]

A. Methodology

To review this topic, the approach was scope on the study from proceeding paper and journal & applied in scope of the demand response issue survey to derived important aspects, identified the issue and the challenge of demand response optimization method in the building and research direction are First, the average hourly power demand for building load needs and the sizing to minimize the difference between the power generator such as renewable source and the requirement of load over period of time. Second, some work only focus on mathematic

model and strategy of simulation model but some research have to consideration of realistic problem and some possible problem and analysis on future scope of work. Third, the algorithm and solution was depend on some factor of load variety amount of user cooperation and other structure involve which is unified approach to fit most of the problem case.

Table. 1 Demand response optimization

	BEMS level	Aggregated Data
Objective	-Min.of production cost -Max comfort -decrease load peak -Self consumption renewable energy generation	-Minimum cost -Maximum self- comfort of social life
Constraints	-Thermostatic and non-thermostatic control (HVAC) -Lighting and ventilation control -Parameter limited -Time of usage limits	HVAC and all appliance controlled, price and unstable load, distribution network operational etc.,
Benefits and limitation	-Multi-choice of renewable energy -Privacy and limitation are peak rebound.	The sharing system network and the used of information for best benefit between internal issue and agent based dependency
Component	-BEMS manager with wireless, PLC, SCADA, IOT communication	Hierarchical structure with agent and centralized agent

Most research paper are available on DR algorithm for BEMS have found focused on power generation by using additional of many choice of renewable energy generation and distributed generation at respectively level. In this case is one of the challenge with smart grid technology implementation.

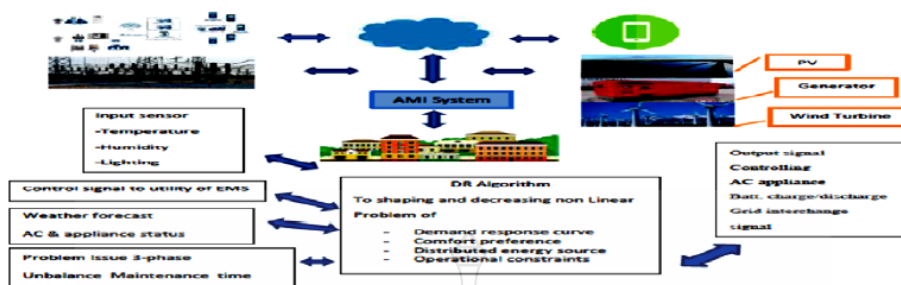


Fig. 2 Overview algorithm of demand response challenge and issue

The electrical circuit control system for building which is control AC and DC power for load used then, communicate as and command between intelligent sensor and export to control device such as smartphone, cloud or tablet. The operation of this system start from using the interface system to control electricity from the input unit from all sources such as smart grid provider via smart metering or from internal power generation source (PV, Wind turbine or DG). The system will check the completeness of the power quality before supply to electricity distribution module then, the load will request a current flow command. The functional from controller decide power usage in the building which is communicate between control unit and intelligent sensor to read the quantity of power usage from each device through internet gateway module, LAN, WiFi, and mobile phone.

The intelligent sensor unit can collect data and command from centralized control unit and measure electric value then, send it back to controller unit. The sensor has identification code to receive through communication system and make the equipment work like computer. The data is encrypted format to recognize the detail of the information.

In the order to activated device status that will know which device is required. This data can communicate through LAN, Wi-Fi, C, wireless or SCADA system in the building that control to receive and sending data to the network and produce notification code for destination equipment. The key factor to make a system suitable application requirement while all critical device running. The processing unit will know the electricity consumption of the past and know the demand for electric usage in the future which can make predictable of electricity used in the next 10 hours.

The processing unit will control the power consumption and power flow management in the algorithm of BEMS, data communication in restricting condition of energy used from load devices inside the building and can monitoring and adjust power usage from communication device.

Case Study Data Description

The data used for this study, was collected using a digital power meter installed in the MDB panel; then the digital power meter data transmitter sent the data to the converter device, and from there to the RS485 channel, connecting the RS485 to the computer, where the power management program is installed to study the electricity usage pattern in the engineering building.

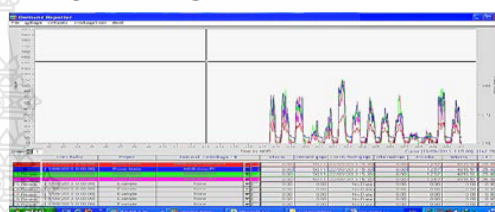


Fig. 3. The display of the digital power meter

The electricity consumption, recorded in the computer via the RS485 port, displays the real-time data storage. The electricity consumption can be displayed as both a graphic and Microsoft excel data sheet, showing the total electricity consumption used in the MBD for each phase, such as Phase A, Phase B, and Phase C.

The configuration of the demand response in the micro-grid building manager system can limit each phase of the peak of electricity used, showing the peak data every 15 minutes. The program also shows the average electricity daily consumption, the total electricity consumed in a day, and the data can be viewed in a Microsoft Excel data sheet.

The used of single phase appliance in a three-phase power system, is split into three units of electricity single-phase systems, to use at different power; if each power line is used at different electricity load; that balance the three single phase system and save electricity usage. If the usage of each line is not balanced, or they are very different in electricity load, the lines with high volume increase the electricity consumption and, therefore, the customer pays a higher electricity bill at progressive rates.

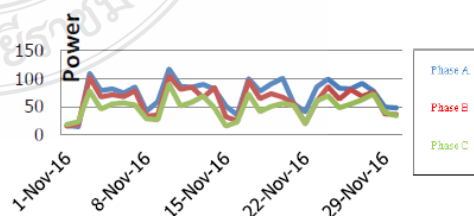


Fig. 4. Electric grid power consumption without building demand response

Figure 4 shows the three-phase electricity power system consumption cycle trend per each electric phase. From this data we can make some observations and assume some warnings. The electricity power consumption in each phase is unbalanced and the peak power is 120 kW. Each day peak load is different and depends mainly on the classroom schedule occupancy; for example, the weekend class schedule has the greatest electricity consumption.

IV. THE ISSUES AND CHALLENGE IMPLEMENTATION

The issue and implement base on above survey to identified key issue and challenge for demand response issue.

Table 2. the issue with key challenge

Issue	Challenge Algorithm	Occasion
Load modelling	DR can reach the problem to analyze the change of consumption with the building status of using power behavior and status.	Development of load model based on historical data and parameter in the comfort of DR signal in the operation of user
Coordination strategies	The coordination between BEM and smart grid inverter with additional of renewable energy	The technology of smart grid with programmable control power, time, duration for on/off power
Hardware and Software platform	The multiple of ICT with difference type of communication between sensor device and EMS control.	BEM with multiple communication support and develop of standard base of easy integration
Based power from renewable generation and load demand	The real time generation model depended on the weather forecast and local weather profile and load demand depend on time of used and building behavior	The model needs to explore the term of generation with consideration of load demand prediction by setup for the machine to learn with model process
Warning system	DR program usually shows the results from the program command	The adaption of marketing strategies and education

Table 2 shows the issue and challenge of building demand response, time response to identify the problem and the constraint situations to be considered in the algorithm. The electricity load model explains the building consumption pattern and changes, from low load to high or peak load. The algorithm and model development are focused on the loading parameters to set a comfort demand response and on the weather forecast. The coordinated strategies work between the building and the smart electric grid to control and use electricity from the renewable energy. The hardware and software choice of devices to use in the communication system are either a wired or wireless system. The power generation model is a real-time system including the weather forecast profile, the building load profile, and the warning system. The model displays the most cost-effective results and its limitations

V. CONCLUSION

This research aims to present the function of demand response and review all methods on difference solution of building demand response management system. From this review, that is consideration on difference modelling to match a building requirement and energy usage of all devices such as HVAC, lighting etc. The forecasting data and user behavior are concern to set an objective, also techniques to prove an efficiency of methodology are offer: however the studied of those method to be further and apply on a similar problem to appropriate of qualification and integration challenges.

The common of time scheduling by a day-ahead and real time demand response need to focus by increasing efficiency strategies based on renewable energy generation and adjust computational complicated.

The summarize of building demand response, common operation method will need more affective on economic operation of grid technology and various type of network for more reliable. The efficiency increasement tools must approve smart solution of management of load concern and effective strategies negotiation between BEMS and total optimization.

REFERENCES

- [1] Vardakas, J.S., Zorba.N., Verikoukis, C.V.: A survey on demand response program I smart grid: pricing methods and optimization algorithm. *IEEE commun. Surv. Tutor.* 17(1), 152-1778 (2014)
 - [2] Jacomino, M., Le, M.H.: Robust energy planning in building with energy and comfort costs. *4OR* 10, 81-103 (2011).
 - [3] Li, D., Jayaweera, S.K., Naseri, A.: Auctioning game based demand response scheduling in smart grid. In: 2011 IEEE online Conference on Green Communication, pp 58-63. *IEEE*(2011)
 - [4] Conejo, A.J., Morales, J.M., Baringo, L.: Real-time demand response model. *IEEE Trans. Smart grid* 1, 236-242 (2010)
 - [5] Samadi, P., Schober, R., Wong, V.W.S.: Optimal energy consumption scheduling using mechanism design for the future smart grid. In: 2011 IEEE International Conference Smart Grid Communication, pp. 369-374 (2011)
- Saeed, A.: Real time demand response using renewable resources and energy storage in smart consumer. In: 22nd International conference on electricity Distribution Stockholm, pp. 10-13 (2013)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	นายเอกรัตน์ นภกานต์
วัน เดือน ปีเกิด	21 มิถุนายน 2515
ที่อยู่	20/9 หมู่ 3 ต.หนองค้างพลู อ.หนองแขม จ.กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยสยาม เมื่อ พ.ศ. 2539 สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญญ บุรี. 2556
ความชำนาญเฉพาะทาง	อิเล็กทรอนิกส์กำลังและพลังงานทดแทน

ผลงานวิจัย

A. Noppakant, B. Plangklang, “Improving Energy Management Through Demand Response for Low-rise University Building,” Sustainability, vol. 14, no. 21, p. 14233, Oct. 2022, doi:org 10.3390/su1421144233.

เอกรัตน์ นภกานต์ บุญยัง ปลั่งกลาง และ ศุภวัฒน์ ลาวัลย์วิสุทธิ “การบริหารจัดการพลังงานในอาคาร โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม”,วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม-มิถุนายน 2565 หน้าที่ 1-12.

Akeratana Noppakant, Boonyang Plangklang and Supapradit Marsong “The Study of Challenge and Issue of Building Demand Response”, International Conference on Power, Energy and Innovation (ICPEI 2019) pp 5-8, October 16-18, 2019, Pattaya, THAILAND.