

ระบบบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารอนุรักษ์พลังงาน

ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR ENERGY CONSERVATION BUILDING

สันติพันธ์ อนันต์วัฒนาพร

SANTIPONT ANANWATTANAPORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง


พ.ศ.2566

KMITL-2023-EN-D- 018-146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR ENERGY CONSERVATION BUILDING

SANTIPONT ANANWATTANAPORN

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central sunburst with rays emanating from a central point. Below the sunburst are three tiered, pagoda-like structures. The entire emblem is surrounded by a decorative border with Thai script. The text within the seal includes 'สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง' (King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang) and '2023'.

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2023

KMITL-2023-EN-D- 018-146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารอนุรักษ์พลังงาน
นักศึกษา	นายสันติพันธ์ อนันต์วัฒนาพร
รหัสประจำตัว	61601180
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อรรถพล เเง่พิทักษ์กุล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการปรับปรุงอาคารให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน ด้วยกระบวนการปรับปรุงอาคารให้เป็นไปตามเกณฑ์อาคารอนุรักษ์พลังงาน ติดตั้งระบบบริหารจัดการพลังงานรวมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงาน รวมไปถึงการติดตั้งระบบควบคุมการส่องสว่างของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อีกทั้งยังมีการประเมินความเป็นไปได้ในการปรับปรุงอาคารด้วยตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ โดยในการศึกษานี้ได้มีการเลือกอาคารที่อยู่อาศัยเป็นอาคารในกรณีศึกษา และมีการเก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้พลังงานของภาระไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ ในอาคาร เพื่อจำลองการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารที่พักอาศัยในช่วงเวลาหนึ่งวันสำหรับทดสอบระบบบริหารจัดการพลังงานและควบคุมความส่องสว่างเมื่อมีการใช้งานจริงโดยใช้ชุดทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ โดยผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงอาคารตามเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานสามารถการใช้พลังงานได้ประมาณครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับอาคารดั้งเดิม เมื่อมีการติดตั้งระบบบริหารจัดการพลังงานและการควบคุมการส่องสว่างจึงสามารถลดการใช้พลังงานลงได้อีก อีกทั้งผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงที่นำเสนอสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงได้อย่างมีนัยยะสำคัญและมีความน่าสนใจสำหรับเจ้าของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Energy Management System for Energy Conservation Building
Student	Mr. Santipont Ananwattanaporn
Student ID.	61601180
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Atthapol Ngaopitakkul

ABSTRACT

This thesis proposes a building renovation into an energy conservation building by retrofitting the building according to the building energy code, installing an energy management system with a photovoltaic and energy storage system, and installing a lighting control system. In addition, the economic feasibility of building renovation has also been done. The study selected a residential building as a case study. The load profile and electric appliance usage pattern in the building also measured throughout the day were obtained in order to test the proposed energy management and lighting control system on the laboratory level. The result demonstrated that a renovated building according to the building energy code can reduce energy usage by half compared to the original design building. When additional energy management and lighting control systems, energy usage can be reduced further. The economic evaluation also shows the proposed building renovation can significantly reduce energy costs and demonstrate an attractive economic indicator for the project owner.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ดร.สันฐิติ อยู่มาก นายปณพงค์ ส่งสุขสวัสดิ์ และนายณัฐนนท์ พันธนิล รวมไปถึงสมาชิกของห้องปฏิบัติการที่ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่านทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

สันติพนธ์ อนันต์วัฒนาวพร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การทบทวนวรรณกรรม.....	6
2.2 มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน....	10
2.3 ระบบบริหารจัดการพลังงาน.....	18
2.4 ระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้า.....	27
2.5 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์.....	34
บทที่ 3 การปรับปรุงอาคารตามเกณฑ์อนุรักษ์พลังงาน.....	36
3.1 อาคารที่พักอาศัยในกรณีศึกษา.....	36
3.2 การปรับปรุงอาคารตามเกณฑ์อนุรักษ์พลังงาน.....	38
3.3 ผลการประเมินอาคารตามเกณฑ์อนุรักษ์พลังงาน.....	43
3.4 ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์.....	45
บทที่ 4 ระบบบริหารจัดการพลังงาน.....	50
4.1 ภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองภาระไฟฟ้าของอาคาร.....	50
4.2 ระบบบริหารจัดการพลังงาน.....	56
4.3 ผลการทดสอบระบบบริหารจัดการพลังงาน.....	65
4.4 ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้า.....	75
5.1 พฤติกรรมของแสงธรรมชาติ.....	50
5.2 การควบคุมดวงโคมแบบตรวจจับความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งาน.....	81
5.3 การควบคุมดวงโคมแบบตรวจจับความเคลื่อนไหวในพื้นที่ใช้งาน.....	89
5.4 ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์.....	99
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	55
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	103
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	104
เอกสารอ้างอิง.....	105
ภาคผนวก ก.....	111
ประวัติผู้เขียน.....	148

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประเภทของอาคารตามเกณฑ์อนุรักษ์พลังงาน.....	11
2.2 ค่ามาตรฐานของระบบกรอบอาคาร.....	14
2.3 ค่ามาตรฐานของระบบแสงสว่าง.....	14
2.4 ค่ามาตรฐานของระบบปรับอากาศ.....	15
2.5 สัมประสิทธิ์การคำนวณภาระความเย็น.....	17
2.6 พื้นที่ของการใช้งานกับค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม.....	29
3.1 สมบัติทางความร้อนของวัสดุทึบแสงที่ใช้ในเปลือกของอาคารกรณีศึกษา.....	38
3.2 องค์ประกอบของวัสดุทึบแสงที่ใช้ทำผนังอาคารกรณีศึกษา.....	39
3.3 องค์ประกอบของวัสดุทึบแสงที่ใช้ทำหลังคาอาคารกรณีศึกษา.....	40
3.4 องค์ประกอบของวัสดุโปร่งแสงที่ใช้ทำผนังอาคารกรณีศึกษา.....	40
3.5 อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารก่อนและหลังปรับปรุง.....	41
3.6 เครื่องปรับอากาศของอาคารก่อนและหลังปรับปรุง.....	42
3.7 ข้อมูลจำเพาะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง.....	42
3.8 การถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคารเทียบกับเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานของอาคาร.....	43
3.9 ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าเทียบกับเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานของอาคาร.....	43
3.10 ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศเทียบกับเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานของอาคาร.....	44
3.11 การใช้พลังงานรวมของอาคารทั้งในกรณีก่อนและหลังการปรับปรุง.....	45
3.12 ราคาและค่าแรงสำหรับปรับปรุงระบบกรอบอาคาร.....	46
3.13 ราคาและค่าแรงสำหรับปรับปรุงระบบแสงสว่าง.....	46
3.14 ราคาและค่าแรงสำหรับปรับปรุงระบบปรับอากาศ.....	47
3.15 ราคาและค่าแรงสำหรับติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.....	47
3.16 ผลการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อปีหลังปรับปรุงอาคาร.....	47
3.17 กระแสเงินหมุนเวียนต่อปีหลังปรับปรุงอาคาร.....	48
4.1 ภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองภาระไฟฟ้าของอาคาร.....	50
4.2 ลักษณะการใช้ภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยใน 1 วัน สำหรับกรณีที่ 1.....	52
4.3 ลักษณะการใช้ภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยใน 1 วัน สำหรับกรณีที่ 2.....	53
4.4 ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด ($P_{setting}$) ในแต่ละช่วงเวลาภายใน 1 วัน.....	65
4.5 ผลการทดลองระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัยกรณีที่ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด ($P_{setting}$) เป็นค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง.....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 สรุปผลการทดลองระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย กรณีที่ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด ($P_{setting}$) เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน.....	72
4.7 ปริมาณค่าไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระหว่างระบบบริหารจัดการพลังงานสองรูปแบบ.....	73
4.8 สรุปค่าจากการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบบริหารจัดการ พลังงาน.....	74
5.1 ค่าความสว่างที่เกิดจากแสงธรรมชาติและแสงจากหลอดไฟที่ได้จากการวิเคราะห์ จากโปรแกรม Dialux.....	76
5.2 การวัดค่าความสว่างเฉลี่ย และความยาวแสงที่เกิดจากแสงธรรมชาติซึ่งลอดผ่าน หน้าต่างตกระทอบพื้นในเวลาต่างๆ.....	80
5.3 ตารางค่าความเข้มแสงและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่สำคัญในแต่ละชั่วโมง.....	85
5.4 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆ ก่อนและหลังใช้ระบบการจัดการแสงสว่าง.....	88
5.5 วัดค่าทางไฟฟ้าของวงจรต่อหลอดไฟ 1 ดวงโคม (2 หลอด).....	91
5.6 ค่าทางไฟฟ้าของดวงโคมเมื่อทำงานในโหมดปรับตั้งค่าด้วยตนเอง (Manual mode) ของดวงโคมในบริเวณพื้นที่ใช้งานหลัก 1 ดวงโคม.....	92
5.7 กรณีศึกษาที่ใช้ในการทดสอบระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้า.....	96
5.8 ผลการจำลองระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้าแบบตรวจจับความเคลื่อนไหว ในพื้นที่ใช้งาน.....	97
5.9 ค่าที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนที่ประหยัดได้.....	100
5.10 สรุปค่าที่ใช้ในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ.....	100
5.11 สรุปความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งดวงโคมหรือแสงอัตโนมัติ.....	101
5.12 ปริมาณค่าทางไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระหว่างดวงโคมปกติและระบบควบคุมความ สว่างดวงโคมไฟฟ้า.....	102
5.13 สรุปค่าจากการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบควบคุมความสว่าง ดวงโคมไฟฟ้า.....	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแสดงระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้านเรือน.....	19
2.2 อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กับระบบอิสระ.....	20
2.3 อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย	21
2.4 อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กับระบบผสมผสาน.....	21
2.5 โครงสร้างแบตเตอรี่ปฐมภูมิ (Primary Cells).....	22
2.6 โครงสร้างแบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary Cells).....	23
2.7 โครงสร้างแบตเตอรี่สำรอง (Reserve Batteries).....	23
2.8 โครงสร้างเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cells).....	24
2.9 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system).....	24
2.10 เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system).....	25
2.11 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system).....	25
2.12 การทำงานของระบบควบคุมแสงสว่างทำนายช่วงเวลาการปฏิบัติงาน.....	30
2.13 การทำงานของระบบควบคุมแสงสว่างตามความมืด.....	31
2.14 การทำงานของระบบควบคุมแสงสว่างตามช่วงเวลาการปฏิบัติงานจริง.....	32
2.15 การทำงานของระบบควบคุมแสงสว่างแบบควบคุมแสงสว่างคงที่.....	33
2.16 การควบคุมแสงสว่างแบบใช้แสงสว่างภายนอกช่วย.....	33
3.1 แบบโมเดลจำลองอาคารที่พักอาศัยที่ใช้ในกรณีศึกษา.....	37
3.2 แบบอาคารที่พักอาศัยที่ใช้ในกรณีศึกษา.....	38
4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ และเครื่องมือวัดในวัดพฤติกรรมภาระไฟฟ้าในอาคาร.....	51
4.2 กราฟการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของภาระไฟฟ้า.....	54
4.3 แผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย.....	57
4.4 อุปกรณ์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์.....	58
4.5 ระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์.....	60
4.6 ลักษณะการไหลของพลังงานไฟฟ้า.....	61
4.7 รูปแบบการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย.....	63
4.8 แผนผังแสดงรูปแบบการจ่ายพลังงานจากระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์.....	64
4.9 การติดตั้งอุปกรณ์ และเครื่องมือวัดในการทดสอบระบบบริหารจัดการพลังงาน.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ช่วงเวลาของภาระไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยช่วงวันจันทร์ – ศุกร์ เมื่อใช้ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าคงที่.....	67
4.11 ช่วงเวลาของภาระไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยช่วงวันจันทร์ – ศุกร์ เมื่อใช้ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน.....	68
4.12 ช่วงเวลาของภาระไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยช่วงวันเสาร์ – อาทิตย์ เมื่อใช้ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าคงที่.....	69
4.13 ช่วงเวลาของภาระไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยช่วงวันเสาร์ – อาทิตย์ เมื่อใช้ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน.....	70
5.1 ห้องจำลองในโปรแกรมคำนวณค่าความสว่าง DIALux.....	75
5.2 การจำลองห้องในโปรแกรม DIALux.....	78
5.3 ผลการจำลองแสงธรรมชาติ.....	79
5.4 การเชื่อมต่อของสายและตัวอุปกรณ์.....	82
5.5 แผนผังการควบคุมแสงสว่างของวงจรควบคุมแสงสว่าง.....	83
5.6 วงจรวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของหลอดไฟ 1 ดวงโคม (2 หลอด) ภายในตู้ควบคุมแสง.....	84
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และค่าความเข้มแสงภายในระยะเวลา 1 วัน.....	86
5.8 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า.....	87
5.9 วงจรควบคุมการความส่องสว่างแบบพื้นที่ใช้งาน.....	89
5.10 องค์ประกอบของวงจรรีไฟสำหรับ 1 ดวงโคม.....	90
5.11 กราฟความสัมพันธ์ค่าทางไฟฟ้าของดวงโคมในบริเวณพื้นที่ใช้งานหลักเมื่อใช้งานในโหมดปรับตั้งค่าด้วยตนเอง (Manual mode).....	93
5.12 จำลองห้องสำหรับติดตั้งวงจรทดลอง.....	94
5.13 วงจรวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของหลอดไฟ 1 ดวงโคม (2 หลอด) ขณะติดตั้งจริงในห้อง.....	95
5.14 กราฟความสัมพันธ์ค่าทางไฟฟ้าของดวงโคมระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่าความสว่างที่วัดได้.....	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยพื้นฐานของการดำรงชีวิตและการดำเนินเศรษฐกิจในปัจจุบัน เมื่อจำนวนประชากรมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ความต้องการการใช้พลังงานก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม พลังงานในรูปแบบกระแสไฟฟ้าถือเป็นพลังงานที่มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางและยังมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามกระแสของโลกที่หันมาพึ่งพาพลังงานจากพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น เช่น อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เทคโนโลยีอัจฉริยะและการใช้รถยนต์ไฟฟ้า เป็นต้น ทำให้มีการคาดการณ์ว่าในอนาคตสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าอาจเป็นสัดส่วนหลักของการใช้พลังงานบนโลก (สูงกว่าการใช้พลังงานจากน้ำมัน) โดยการใช้พลังงานไฟฟ้ามีสัดส่วนเพิ่มสูงขึ้นตามแนวโน้มของโลกที่หันมาพึ่งพาการใช้งานพลังงานจากพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น [1] ทำให้สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าเทียบกับการใช้พลังงานทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 42 ในปัจจุบันไปอยู่ที่ร้อยละ 47 ในปี 2035

สำหรับประเทศไทย การผลิตไฟฟ้ายังต้องพึ่งพาพลังงานฟอสซิลเป็นสัดส่วนที่สูง จึงมีนโยบายส่งเสริมและสนับสนุนการใช้พลังงานทางเลือกมากขึ้น เพื่อความมั่นคงทางพลังงานในประเทศและลดการพึ่งพาพลังงานจากปิโตรเลียม ส่งผลให้มีการขยายตัวของพลังงานทางเลือกอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะพลังงานจากแสงอาทิตย์ จัดเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่มีการเจริญเติบโตสูงสุดและคาดว่าจะขยายตัวถึงเฉลี่ยร้อยละ 5.8 ต่อปี ในช่วงปี พ.ศ. 2553-2583 เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานเหล่านี้ได้รับความสนใจจากผู้ประกอบการเป็นอย่างมาก ทำให้มีต้นทุนทางเทคโนโลยีลดลง มีประสิทธิภาพดีขึ้น ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงได้และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นนโยบายของประเทศจึงเน้นการพัฒนาพลังงานทางเลือกเหล่านี้เป็นหลัก โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน จึงได้จัดทำแผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 หรือ PDP 2015 โดยที่แผนอนุรักษ์พลังงาน โดยแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (Energy Efficiency Development Plan: EEDP 2015 - 2036) ซึ่งจะปรับลดความเข้มการใช้พลังงานลดร้อยละ 30 เทียบกับปี พ.ศ. 2556 ซึ่งมาตรฐานการใช้พลังงานในอาคาร (Building Code) เป็นหนึ่งในมาตรการในแผนการอนุรักษ์พลังงาน และเพิ่มสัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเป็น 18% ในปี พ.ศ. 2573 จากเดิมที่มีสัดส่วนอยู่ 14% ในปี พ.ศ. 2555

เพื่อลดการใช้พลังงานโดยเฉพาะในส่วนของอาคาร กระทรวงพลังงานจึงได้ ออกกฎกระทรวงว่าด้วยกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ปีพ.ศ. 2552 [2] และประกาศที่เกี่ยวข้อง หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “เกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (Building Energy Code, BEC)” ซึ่งอาคารที่อยู่ในเกณฑ์ที่กฎกระทรวงนี้บังคับใช้จะต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน และผ่านการตรวจประเมินรับรองการออกแบบเพื่ออนุรักษ์พลังงาน เพื่อให้อาคารที่ก่อสร้างใหม่มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและมีการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานสุทธิเข้าใกล้ศูนย์ สำหรับอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิใกล้ศูนย์ (Near Zero-Energy Building : NZEB) คืออาคารที่พิกาศัยหรืออาคารพาณิชย์ที่มีความสามารถในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมากเพื่อตอบสนองความต้องการพลังงานทั้งหมด และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาสมดุลพลังงานด้วยเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่ใช้ต้นทุนสมเหตุสมผล เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยที่พลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนต้องผลิตได้เท่ากับหรือมากกว่าความต้องการพลังงานต่อปีของระบบ ดังนั้นส่วนประกอบสำคัญของระบบประกอบไปด้วยการลดการใช้พลังงานผ่านการเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงานของอาคาร และการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน

งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและนำเสนอการปรับปรุงอาคารให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงาน ติดตั้งระบบบริหารจัดการพลังงานที่มีการทำงานร่วมกันระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบกักเก็บพลังงานที่ควบคุมด้วยเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ รวมไปถึงติดตั้งระบบควบคุมความเข้มแสงของดวงโคมไฟฟ้า เพื่อลดการใช้พลังงานอาคารที่พิกาศัยให้เข้าใกล้ศูนย์ โดยมีการจำลองการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารที่พิกาศัย สำหรับประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบบริหารจัดการพลังงานที่นำเสนอผ่านทดลองระดับห้องปฏิบัติการที่จำลองจากภาระไฟฟ้าที่มีใช้งานในอาคารที่พิกาศัยและประเมินผลทั้งในเชิงพลังงานและเศรษฐศาสตร์ โดยบทความนี้จะถูกจัดเรียงดังต่อไปนี้ บทที่ 2 นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย บทที่ 3 นำเสนอการปรับปรุงอาคารตามเกณฑ์มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงาน บทที่ 4 นำเสนอระบบบริหารจัดการพลังงานและผลการทดสอบประสิทธิภาพ บทที่ 5 นำเสนอระบบควบคุมแสงสว่างในอาคารและผลการทดสอบประสิทธิภาพ และสรุปผลการศึกษาในบทที่ 6

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการใช้พลังงานในอาคารเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
2. เพื่อศึกษา ออกแบบ และจัดสร้างชุดต้นแบบ ระบบบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่มีพลังงานทดแทนและระบบกักเก็บพลังงานเชื่อมต่ออยู่
3. เพื่อออกแบบ และจัดสร้างอุปกรณ์ควบคุมความเข้มแสงสว่างของดวงโคมไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
4. เพื่อทดสอบ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ได้นำเสนอ เมื่อมีการประยุกต์ใช้ในอาคารจริง

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

โครงการวิจัยนี้ต้องการออกแบบอาคารที่มีการใช้พลังงานเข้าใกล้ศูนย์ โดยตั้งสมมุติฐานว่าการปรับปรุงอาคารจะช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารเบื้องต้น จากนั้นจึงเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในส่วนหนึ่งของระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน โดยการใช้ระบบควบคุมการใช้พลังงานที่ทันสมัยร่วมกับเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากธรรมชาติ ซึ่งจะมุ่งเน้นไปที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตไฟฟ้าบนหลังคา กรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยการพัฒนากระบวนการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยมีการออกแบบให้ช่วยจัดสรรพลังงานผ่านตัวควบคุมโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ โดยผสมผสานกันระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะรับแสงอาทิตย์ผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นระบบนี้จะสามารถเพิ่มศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้มากขึ้นในพื้นที่ที่เท่ากันทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละระบบดีขึ้นอีกด้วยและยังช่วยให้อาคารมีการใช้พลังงานที่เข้าใกล้ศูนย์มากยิ่งขึ้น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การปรับปรุงอาคารให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานที่มีการใช้พลังงานเข้าใกล้ศูนย์พลังงาน ด้วยกระบวนการปรับปรุงอาคารให้เป็นไปตามเกณฑ์อาคารอนุรักษ์พลังงาน ติดตั้งระบบบริหารจัดการพลังงานรวมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงาน รวมไปถึงการติดตั้งระบบควบคุมการส่องสว่างของระบบไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อให้การใช้พลังงานเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุด รวมไปถึงใช้ตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ในการประเมินความคุ้มค่าในการปรับปรุงอาคารให้เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน

โดยในด้านการปรับปรุงอาคาร อาคารนั้นจะต้องได้รับการออกแบบและประเมินตามเกณฑ์มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทยใน 6 ประเด็น ได้แก่ เปลือกอาคาร ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบผลิตน้ำร้อน ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน และการใช้พลังงานรวมของอาคาร โดยใช้โปรแกรม Building Energy Code (BEC) ซึ่งจะประเมินการใช้พลังงานในแต่ละระบบ และการใช้พลังงานรวมของทั้งอาคาร

ระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย โดยใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ซึ่งถูกควบคุมโดยตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ โดยมีการจำลองการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารที่พักอาศัย สำหรับประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบบริหารจัดการพลังงานที่นำเสนอผ่านทดลองระดับห้องปฏิบัติการที่จำลองจากภาระไฟฟ้าที่มีใช้งานในอาคารที่พักอาศัย สำหรับระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย เป็นระบบที่ใช้จำกัดหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน เพื่อให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้งาน ได้มีการนำเอาตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ (PLC) มาใช้ควบคุมระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อช่วยจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยในช่วงเวลาที่มีการใช้ภาระไฟฟ้าที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง

ระบบควบคุมความสว่างควบคุมไฟฟ้า ในการควบคุมความสว่างของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง พลังงานที่ระบบสามารถลดลงได้จะขึ้นอยู่กับสองปัจจัยสำคัญ คือ แสงธรรมชาติ และพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้งานอาคาร โดยการควบคุมความสว่างของอาคารจะต้องไม่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพทางแสง โดยมีการติดตั้งระบบควบคุมควบคุมแบบตรวจจับความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งาน และการติดตั้งการควบคุมควบคุมแบบตรวจจับความเคลื่อนไหวในพื้นที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

- 1.ศึกษา ตรวจสอบ และจัดทำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า (Load Profile) โดยใช้อาคารสถานบริการสุขภาพ เป็นอาคารต้นแบบ เพื่อออกแบบระบบบริหารจัดการพลังงานที่มีความเหมาะสม
- 2.จัดสร้างชุดต้นแบบระบบบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าในระดับห้องปฏิบัติการ ที่ประกอบไปด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ เพื่อประยุกต์ใช้งานในอาคารอนุรักษ์พลังงาน
- 3.ระบบบริหารจัดการพลังงานที่นำเสนอจะมีการประยุกต์ใช้งานโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic Control : PLC) ในการควบคุมการทำงาน โดยระบบที่นำเสนอต้องสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารลงได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 ต่อปี เมื่อเทียบกับอาคารอ้างอิง
- 4.งานวิจัยนี้ยังรวมถึงการประเมินความเป็นไปได้ทั้งในเชิงพลังงาน และเศรษฐศาสตร์ สำหรับการติดตั้งระบบบริหารจัดการพลังงานที่นำเสนอ โดยใช้ข้อมูลทางมาตรฐาน และเศรษฐศาสตร์ของประเทศไทย

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.ศึกษา และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรม คุณลักษณะ และภาระไฟฟ้าภายในอาคาร รวมไปถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า การเก็บพลังงานไฟฟ้าในชุดสะสมพลังงาน ระบบบริหารจัดการพลังงานภายในอาคาร และมาตรฐานข้อกำหนดในด้านระบบควบคุมจัดการพลังงาน
- 2.ติดตั้งอุปกรณ์ และทำการวัดค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ในอาคาร ทำการบันทึกค่าและวิเคราะห์แนวโน้มและพฤติกรรมทางไฟฟ้า เพื่อการจัดสร้างข้อมูลการใช้ไฟฟ้า (Load Profile)
- 3.ทำการทดสอบ วัดค่า และประเมินประสิทธิภาพของแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่ ที่เป็นแหล่งจ่าย และกักเก็บพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้าภายในอาคาร เพื่อออกแบบชุดต้นแบบการบริหารจัดการพลังงานที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร
- 4.ทำการออกแบบ จัดสร้าง และติดตั้งชุดบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารอารยสถาปัตยกรรม โดยใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน และระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า
- 5.ทดสอบการใช้โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมจัดการพลังงาน
- 6.ทำการทดลองเพื่อรวบรวมข้อมูลเมื่อมีการประยุกต์ใช้ชุดต้นแบบในอาคาร จากนั้นนำผลที่ได้จากการติดตั้งในแต่ละกรณีศึกษามารวบรวมเพื่อศึกษาถึงข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไขที่เหมาะสมก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป
- 7.นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ และประเมินผล มาปรับปรุงชุดบริหารจัดการพลังงานในอาคารอารยสถาปัตยกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ประเมินความเป็นไปได้การประยุกต์ในการใช้ชุดต้นแบบการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร
อารยสถาปัตย์ ที่ประยุกต์ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน ทั้งในเชิงประสิทธิภาพทางพลังงาน
และเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำเสนอความเป็นไปได้ในการลงทุนติดตั้งระบบบริหารจัดการพลังงาน
ดังกล่าว
9. สรุปผลการศึกษาวิจัยเพื่อจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ และวิทยานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรม

ในการปรับปรุงอาคารชั้นแรกต้องมีการประมาณค่าการใช้พลังงานในอาคารจะต้องดำเนินการอย่างถูกต้องเพื่อประเมินคุณลักษณะในแง่ของการใช้พลังงาน มีการทบทวนแบบจำลอง วิธีการสอบเทียบ และการตรวจสอบผ่านการจำลองพลังงานที่เกี่ยวข้องกับทั้งอาคาร ด้วยเหตุนี้ เราจึงระบุความจำเป็นของการประมาณพลังงานเพื่อใช้มาตรการประหยัดพลังงานที่เหมาะสม [3] ในกรณีของอาคารที่พักอาศัย มีการประเมินและวิเคราะห์แบบจำลองเส้นโค้งโหลดที่แตกต่างกันเพื่อสร้างแบบจำลองพลังงานที่พิจารณาการใช้งานปลายทางนิสัย และพฤติกรรม [4] การประมาณค่าพลังงานที่มีความแม่นยำดีกว่ายังสามารถกำหนดการตอบสนองด้านอุปสงค์ที่เหมาะสมจากข้อมูลที่มีอยู่ โดยทนต่อข้อผิดพลาดในการประมาณค่า [5] วิธีการประมาณค่าเพื่อประเมินการใช้พลังงานในอาคารนี้มีประโยชน์อย่างมากในแง่ของการประเมินประสิทธิภาพพลังงานและการประหยัดพลังงานที่อาจเกิดขึ้น [6]

ในแง่ของการใช้พลังงาน การวิจัยจากสหภาพยุโรปได้ประมาณการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัย [7] และอาคารที่ไม่ใช่ที่พักอาศัย [8] ผลลัพธ์บ่งชี้ประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานและปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานโดยนโยบายสิ่งจูงใจและกฎระเบียบที่เข้มงวด ซึ่งสามารถส่งเสริมให้เจ้าของนำเทคโนโลยีบางอย่างหรือมาตรการประหยัดพลังงานมาใช้ การศึกษาอื่นในประเทศมาเลเซียยืนยันถึงศักยภาพในการลดการใช้พลังงานโดยการใช้มาตรการประหยัดพลังงาน [9] ปัจจัยอื่นๆ มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อรูปแบบและคุณลักษณะการใช้พลังงาน เช่น อาคารประเภทต่างๆ [10] อันเป็นผลมาจากพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัย และสภาพอากาศอันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ [11] การศึกษาเหล่านี้สามารถให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพมาตรการประหยัดพลังงานสำหรับอาคารได้ ผลลัพธ์สามารถใช้เป็นฐานในการออกแบบรหัสอาคารและมาตรฐานได้ [12-13]

กรณีศึกษาของอาคารที่มีอยู่เดิมที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ในบราซิลแสดงให้เห็นว่าแนวทางและกลยุทธ์ที่นำเสนอสามารถทำให้อาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ได้ การปรับปรุงอาคารทำได้ในหลายแง่มุม เช่น เครื่องปรับอากาศ แสงสว่าง อุปกรณ์สำนักงาน และระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งไว้ (PV) ส่งผลให้การใช้พลังงานลดลงถึง 46% [14] ในการปรับปรุงอาคารที่พักอาศัยในระดับเมือง ได้มีการเสนอวิธีการที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลเป็นแนวทางทั่วไป โดยจะแนะนำประเด็นสำคัญของกระบวนการตัดสินใจเพื่อให้บรรลุการดำเนินงานขนาดใหญ่ [15] กรณีศึกษาของอาคารที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ในจอร์แดนบนของอาคารการศึกษาพบว่ากลยุทธ์ในการปรับปรุงที่เรียบง่ายบนของอาคารสามารถบรรลุการลดพลังงานได้ 54% และระยะเวลาคืนทุน 5.5 ปี [16] จากการทบทวนวรรณกรรม จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประหยัดพลังงานใหม่ๆ กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคารที่มีอยู่มีผลกระทบเชิงบวกต่อทั้งด้านพลังงานและเศรษฐกิจ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อเจ้าของโครงการทั้งในด้านการลดต้นทุนด้านพลังงานและสาธารณูปโภคด้านไฟฟ้าในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบไฟฟ้า

สำหรับโปรแกรมจำลองพลังงานถูกนำมาใช้ สนับสนุน และได้รับการอนุมัติสำหรับการประเมินประสิทธิภาพพลังงานในอาคารในประเทศไทยโดยกระทรวงพลังงาน เป็นแบบจำลองการประมาณค่าพลังงานตาม OTTV (ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยรวม) สำหรับอาคารพาณิชย์โดยใช้พารามิเตอร์การคำนวณตามซอฟต์แวร์ DOE-2.1E ร่วมกับฐานข้อมูลที่รวบรวมโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) [17] ฟังก์ชันหลักคือการคำนวณการใช้พลังงานในด้านระบบของจดหมาย ความหนาแน่นของแสง ขนาดและประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ อุปกรณ์อาคารอื่นๆ และการใช้พลังงานทั้งอาคารตามรหัสพลังงานอาคารของประเทศไทย เมื่อเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์ BEC และซอฟต์แวร์อื่นๆ ที่ใช้กันทั่วไป เช่น VisualDOE, eQUEST, TRNSYS, EnergyPlus ฯลฯ จะเห็นได้ว่าซอฟต์แวร์ BEC นั้นง่ายกว่าสำหรับผู้ใช้งาน ในขณะที่ยังคงรักษาการคำนวณทุกด้านไว้ อย่างไรก็ตาม มีข้อจำกัดในแง่ของผลการจำลองของการประหยัดพลังงานที่ซับซ้อนซึ่งวัดได้ ซึ่งต้องใช้ซอฟต์แวร์เพิ่มเติมสำหรับการจำลอง [18]

ระบบบริหารจัดการพลังงานเป็นส่วนสำคัญที่สามารถลดการใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคารลงได้อย่างมีนัยยะสำคัญ โดยงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้โดยระบบการจัดการภาระไฟฟ้าซึ่งสามารถทำได้ 3 วิธี คือ การเปลี่ยนช่วงเวลาการใช้ไฟฟ้า (Load Shifting) การลดความต้องการไฟฟ้าในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak Clipping) และการเพิ่มความต้องการไฟฟ้าในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อย (Valley Filling) [19]-[20] โดยวิธีการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) [21] เสนอคือ "ปิด ปรับ ปลด เปลี่ยน" มีความหมายว่าปิดไฟดวงที่ไม่จำเป็น ปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศขึ้น ปลดปลั๊กเมื่อเลิกใช้ และการเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นวิธีที่ทำได้โดยเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า เหมือนกับงานวิจัยที่ [22] และ [23] ที่ให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนเวลาการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นไปใช้ในช่วงที่ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าต่ำ เมื่อใช้อัตราการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้จะสามารถลดค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือนได้

สำหรับการเพิ่มแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้พลังงานทดแทนและการใช้ระบบสำรองพลังงานแบตเตอรี่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการลดการใช้ไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า ในงานวิจัยที่ [24] จำลองการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่เครื่องปรับอากาศขนาด 1650 วัตต์ ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 3360 วัตต์ งานวิจัย [25] มีการเพิ่มระบบสำรองพลังงานด้วยแบตเตอรี่เพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหลือจากการจ่ายไฟให้ภาระไฟฟ้า และสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่เก็บไว้มาใช้จ่ายภาระไฟฟ้าอื่น ๆ ในช่วงที่ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง ซึ่งการจัดการพลังงานนี้ทำให้การใช้พลังงานลดลงจาก 70% เหลือ 60% เมื่อเทียบกับการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ปกติเพียงอย่างเดียว สำหรับระบบการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ (BESS) สามารถใช้งานกับระบบการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (grid connect mode) และ ระบบการเชื่อมต่อแบบติดตั้งอิสระ (standalone mode) ในงานวิจัยที่ [26] ได้กล่าวถึงความสำคัญของระบบแปลงกำลังไฟฟ้า (The power converter system : PCS) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในระบบการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ (BESS) เมื่อเชื่อมต่อกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบทั้งสองระบบ งานวิจัยที่ [27] จำลองการจัดการพลังงานทั้งระบบการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายและระบบการเชื่อมต่อแบบติดตั้งอิสระ ใช้ข้อมูลการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานลมอ้างอิงจากอุณหภูมิและสภาพอากาศของประเทศอินเดีย ผลการจำลองพบว่าหาภาระไฟฟ้าใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าที่ผลิตได้จากแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานลม การใช้ระบบการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายคุ้มค่ากว่าการใช้ระบบการเชื่อมต่อแบบติดตั้งอิสระ

จากวิธีการลดค่าพลังงานสูงสุดข้างต้น ทั้งการใช้แหล่งผลิตพลังงานทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานและระบบสำรองพลังงานด้วยแบตเตอรี่ จำเป็นต้องมีระบบควบคุม ตรวจสอบการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแต่ละประเภทและการใช้พลังงานของภาระไฟฟ้า งานวิจัยที่ [28]-[30] ใช้การควบคุมด้วยหน่วยประมวลผลกลางขนาดเล็ก (microcontroller) โดยในงานวิจัย [28] ใช้รับค่าจากมิเตอร์ไฟฟ้า และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ตัดต่อสองทาง (two port relay) งานวิจัย [29] ใช้การควบคุมด้วยหน่วยประมวลผลกลางขนาดเล็กเพื่อควบคุมอุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (inverter) ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (Off-Grid Solar Rooftop) โดยโปรแกรมให้ระบบเปรียบเทียบค่าแรงดันที่วัดได้จากภาระไฟฟ้าที่ใช้งานกับค่าแรงดันอ้างอิงของแบตเตอรี่ โดยงานวิจัยที่ โดยงานวิจัยที่ [30] ใช้การควบคุมด้วยหน่วยประมวลผลกลางขนาดเล็ก ระบบนี้มีการตรวจสอบสถานะของแหล่งจ่ายแต่ละประเภทและภาระไฟฟ้าทุก 10 นาที เพื่อทำการสับเปลี่ยนแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้า และเซลล์แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่ สำหรับระบบจัดการพลังงานโดยใช้ระบบควบคุมโดยเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) รับค่าและสั่งการอุปกรณ์ตามที่ได้โปรแกรมไว้ งานวิจัยที่ [31] อ่านค่าพลังงานจากการแหล่งจ่ายและการใช้ไฟฟ้าโดยรับข้อมูลจากอุปกรณ์แปลงข้อมูลไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (AC/DC current transducers) ควบคู่กับเครื่องมือวิเคราะห์พลังงาน (energy analyzers) งานวิจัยที่ [32] จัดการพลังงานภายในอาคารขนาดเล็กที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด 50-70 กิโลวัตต์ ตั้งค่าพลังงานอ้างอิงที่ 42.3 กิโลวัตต์ ระบบควบคุมโดยเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) ทำหน้าที่ตรวจสอบค่าพลังงานไฟฟ้าของภายในอาคารทุก 5 วินาทีเปรียบเทียบกับค่าพลังงานที่ตั้งไว้ ภาระไฟฟ้าที่ควบคุม คือ เครื่องปรับอากาศ ถ้าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มากกว่าค่าที่ตั้งไว้จะแสดงผลทางหน้าจอแสดงผล เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถควบคุมการใช้งานภาระไฟฟ้านั้นได้ เมื่อมีการใช้ระบบควบคุมนี้จะสามารถลดการใช้พลังงานสูงสุดได้ถึง 10-15% หรือมากกว่า ขึ้นกับการใช้งานของผู้ใช้ไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าระบบบริหารจัดการพลังงานสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีนัยยะสำคัญ โดยระบบควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้ได้ตามเป้าหมาย โดยระบบบริหารจัดการพลังงานจะเข้ามาช่วยส่งเสริมการลดการใช้พลังงานของอาคารให้เข้าใกล้ศูนย์มากยิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับอาคารประหยัดพลังงานที่ประเมินจากโปรแกรมประเมินประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร

เทคโนโลยีด้านการส่องสว่างได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป ตั้งแต่หลอดไส้ไปจนถึงหลอดฟลูออเรสเซนต์ และต่อมาเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ที่ใช้ในระบบไฟส่องสว่างสมัยใหม่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ เทคโนโลยีไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์ (OLED) ใหม่เพิ่งกลายเป็นหลอดไฟที่มีความสามารถสำหรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนาคต [33-34] การเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีแสงสว่างภายในรถในด้านต่างๆ เช่น การใช้พลังงานและคุณลักษณะของแสง แสดงให้เห็นว่า LED มีข้อได้เปรียบเหนือเทคโนโลยีแสงสว่างอื่นๆ อย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านความต้องการพลังงานสำหรับโคมไฟ ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน ประสิทธิภาพการส่องสว่างจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และต้นทุนการติดตั้งลดลงสู่ระดับที่ยอมรับได้ในเชิงพาณิชย์ [35-38] ในแง่ของประสิทธิภาพการระบายความร้อน การเปรียบเทียบระหว่างโคมไฟสามประเภท ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8, หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 และหลอด LED แสดงให้เห็นว่าโคมไฟฟลูออเรสเซนต์ทั้ง T8 และ T5 สร้างความร้อนที่ประมาณ 73%–77% ของกำลังไฟพิกัด ในทางตรงกันข้าม โคมไฟ LED สร้างความร้อนประมาณ 87%–90% ของกำลังไฟพิกัด แต่สามารถลดลงได้เมื่อ LED หลับ [39] สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การประเมินวงจรชีวิต (LCA) ระหว่างหลอดฟลูออเรสเซนต์และโคมไฟ LED เผยให้เห็นว่าโคมไฟ LED ช่วยลดศักยภาพภาวะโลกร้อน (GWP) และความต้องการพลังงานสะสม (CED) ได้ประมาณ 41%–50% โคมไฟ LED ยังช่วยลดการใช้สารปรอทในกระบวนการผลิตอีกด้วย [40] ผลจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าโคมไฟ LED มีข้อได้เปรียบเหนือโคมไฟฟลูออเรสเซนต์ทั่วไปอย่างชัดเจน และเหมาะสมที่จะใช้ในระบบแสงสว่างในอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

อีกแง่มุมหนึ่งที่สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างได้ก็คือกลยุทธ์การควบคุมแสงสว่างสำหรับโคมไฟ ใน [41] มีการเสนอตัวควบคุมสำหรับไฟ LED ที่ใช้เซ็นเซอร์และการตอบสนองแบบวงปิดและสามารถประหยัดพลังงานได้ 55% และ 62% ในรูปแบบการใช้งานต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอการควบคุมอัจฉริยะอีกรายการหนึ่งที่ใช้เซ็นเซอร์ต่างๆ พร้อมการตอบสนองแบบวงปิดสำหรับรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกัน [42] แบบจำลองการส่องสว่างที่มีความแม่นยำสูงได้ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบการควบคุมแบบวงรอบเปิดอัจฉริยะที่ลดทั้งการใช้พลังงานและจำนวนเซ็นเซอร์ที่ต้องการให้เหลือน้อยที่สุด และจะมีการหารือใน [43] แนวทางใหม่ในการควบคุมแสงสว่างด้วยโคมไฟ LED โดยใช้อัลกอริธึมการควบคุมแบบรวมศูนย์และแบบกระจายโดยอาศัยการส่องสว่างที่สม่ำเสมอและกลยุทธ์การให้แสงสว่างได้รับการเสนอใน [44] ซึ่งส่งผลให้ประหยัดพลังงานและความพึงพอใจของผู้ใช้ งานวิจัยอื่นโดย Byun และคณะ [45] ยังคำนึงถึงความพึงพอใจของผู้ใช้ด้วยการใช้เซ็นเซอร์หลายตัวและการสื่อสารไร้สายเพื่อควบคุมแสงสว่างตามรูปแบบการใช้งานและสภาพแวดล้อม วิธีการควบคุมการตรวจจับตามโคมไฟที่ใช้ทั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับการใช้งานและเซ็นเซอร์แสงที่ครอบคลุมพื้นที่ทำงานเพื่อให้ระดับความสว่างที่ต้องการได้รับการเสนอใน [46] วิธีการควบคุมและอัลกอริธึมที่ได้พูดคุยกันแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการลดการใช้พลังงานในระบบไฟส่องสว่าง ในขณะที่ยังคงรักษาระดับแสงสว่างบนระนาบการทำงานตามที่ผู้ใช้กำหนด นอกจากนี้ ยังสามารถลดการใช้พลังงานได้อีกโดยการใช้แสงธรรมชาติในเวลากลางวันเพื่อรักษาแสงสว่างเพียงพอในพื้นที่ทำงาน

การเก็บเกี่ยวตามฤดูกาลเพื่อเสริมแสงประดิษฐ์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีศักยภาพในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบไฟส่องสว่างให้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อบูรณาการเข้ากับกลยุทธ์การควบคุมใหม่และเทคโนโลยี LED ผลกระทบของแสงกลางวันต่อแสงสว่างภายในรถในแง่ของการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้พลังงานและปัจจัยต่างๆ เช่น ความพร้อมของแสงแดด โครงร่างระบบไฟส่องสว่าง และระบบควบคุม ได้รับความกล่าวถึงในบทความ [47-49] ใน [50] มีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างกลยุทธ์การควบคุมแสงกลางวันและกลยุทธ์การควบคุมแสงสว่างตามกำหนดเวลาโดยอาศัยทั้งเครื่องช่วยคอมพิวเตอร์และเซ็นเซอร์ตรวจจับการเข้าใช้ การควบคุมแสงแดดมีข้อได้เปรียบในการเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดในช่วงเวลาทำงานหลักประมาณ 7.30 น. ถึง 17.30 น. การลดปริมาณแสงสว่างในช่วงเวลาดังกล่าวสามารถส่งผลให้ประจุพลังงานน้อยลง เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าว ค่าใช้จ่ายความต้องการสูงสุดและอัตราช่วงเวลาของวันที่สูงขึ้นมีผลใช้บังคับ บอสมการิโน และโมอัลเลมได้นำเสนอการจำลองการควบคุมแสงกลางวันสำหรับระบบไฟส่องสว่างแบบ LED การจำลองอีกรูปแบบหนึ่งที่ใช้ซอฟต์แวร์ Daysim เพื่อประเมินประสิทธิภาพแสงกลางวันได้แสดงไว้ใน [51] การควบคุมหลายๆ ด้าน เช่น การวางตำแหน่งเซนเซอร์ภาพ อัลกอริธึมการควบคุม และผลกระทบของอุปกรณ์แรเงา ได้ถูกนำมาพิจารณาในการคำนวณประสิทธิภาพของแสงกลางวัน ผลลัพธ์ที่ได้พิสูจน์ว่าระบบควบคุมแบบรวมแสงกลางวันสามารถประหยัดพลังงานได้มากในขณะที่ยังคงระดับความสว่างที่ต้องการไว้ได้ มีการใช้โปรโตคอลการสื่อสารเครือข่ายพื้นที่ควบคุม (CAN บัส) กับวงจรควบคุมแสงแดด และวิธีการลوجิกได้ถูกนำมาใช้สำหรับการควบคุมมู่ลี่แบบเวนิสตามลำดับเพื่อลดการใช้พลังงานทั่วทั้งอาคาร [52] หลีและคณะ [53] ได้เสนอต้นแบบโคมไฟ LED ที่รวมการตรวจจับแสงกลางวันโดยอาศัยการควบคุมแบบวงรอบเปิด การประยุกต์ใช้ตรรกะคลุมเครือในการควบคุมไฟ LED ได้นำเสนอไว้ใน [54] วิธีการในบทความนี้ได้รวมเอาตรรกะคลุมเครือซึ่งพิจารณาปัจจัยหลักสองประการ ได้แก่ ความสบายของแสงและการมีส่วนร่วมของแสงในเวลากลางวัน ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถตั้งค่าระดับความสว่างที่ต้องการได้ นอกจากนี้ ได้มีการติดตั้งต้นแบบจริงแล้ว และผลลัพธ์ก็แสดงให้เห็นประสิทธิภาพที่น่าพึงพอใจ การควบคุมแสงสว่างที่เสนอโดย Pandharipande และ Caicedo [55] บูรณาการความสามารถในการตรวจจับการมีอยู่เข้ากับการควบคุมเวลากลางวัน เพื่อให้แสงสว่างที่น่าพอใจสำหรับการเข้าพักในขณะที่ลดการใช้พลังงานให้เหลือน้อยที่สุด จากการทบทวนวรรณกรรมที่กล่าวถึงข้างต้น จะเห็นได้ว่าการควบคุมแสงกลางวันในระบบแสงสว่างที่มีโคมไฟ LED สามารถลดการใช้พลังงานและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระดับสูงสุดได้

2.2 มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

เกณฑ์มาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานของอาคารที่จะก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคารจะมุ่งเน้นในเรื่องการออกแบบอาคารให้มีการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ออกกฎกระทรวงกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 โดยอาศัยความตามมาตรา 19 แห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) และออกประกาศกระทรวงฯ เพิ่มเติมเรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ และการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังงานไฟฟ้าต่อต้นความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร เพื่อใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการคำนวณค่าต่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ๆ ตามแต่ละงานระบบ ให้เป็นไปตามกำหนดของกฎกระทรวงฯ โดยใช้กับการก่อสร้างหรือดัดแปลงอาคาร 9 ประเภท ได้แก่ สถานพยาบาล สถานศึกษา สำนักงาน อาคารชุด อาคารชุมนุมคน อาคารโรมมทรสพ อาคารโรงแรม อาคารสถานบริการ และอาคารห้างสรรพสินค้าหรือศูนย์การค้า หากมีขนาดพื้นที่รวมกันทุกชั้นในหลังเดียวกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ต้องมีการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานตามกฎกระทรวงฯ โดยมีมาตรฐานและหลักเกณฑ์ในการออกแบบอาคาร 6 ส่วนได้แก่ระบบกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทยได้รับการพัฒนาโดยกระทรวงพลังงานและนำมาใช้ในปี พ.ศ. 2535 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอาคาร กฎระเบียบกำหนดเกณฑ์สำหรับอาคารที่มีอยู่หรือสร้างขึ้นใหม่หรือปรับปรุงใหม่จำนวน 9 ประเภทซึ่งมีพื้นที่มากกว่า 2,000 ตร.ม. (รวมถึงพื้นที่จอดรถ) ครอบคลุมในรหัสพลังงานอาคารเพื่อการประเมินแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประเภทของอาคารตามเกณฑ์อนุรักษ์พลังงาน

	ระยะเวลาทำงาน	ประเภทอาคาร
กลุ่มที่ 1	8 ชั่วโมง	อาคารสำนักงาน อาคารสถานศึกษา
กลุ่มที่ 2	12 ชั่วโมง	ห้างสรรพสินค้า หอประชุม ศูนย์การประชุม ศูนย์บริการ
กลุ่มที่ 3	24 ชั่วโมง	โรงพยาบาล โรงแรม อพาร์ทเมนต์/คอนโดมิเนียม

เกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานแบ่งประเภทของอาคารตามเวลาทำการและรูปแบบการใช้งานของผู้อยู่อาศัย แต่ละกลุ่มมีชุดค่าเผื่อสำหรับเปลือกอาคาร ระบบแสงสว่าง และการใช้พลังงานทั้งหมดแยกกัน ตามลักษณะเฉพาะของแต่ละประเภท กลุ่มที่ 1 ดำเนินการในช่วงเวลาทำงานโดยเฉลี่ยระหว่างเวลา 8.00 น. ถึง 16.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่แสงแดดในเวลากลางวันมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการถ่ายเทความร้อนและความต้องการแสงสว่างตาม เครื่องบินทำงาน กลุ่มที่ 2 เน้นอาคารบันเทิงและอาคารพาณิชย์ โดยเปิดให้บริการตั้งแต่เวลา 10.00 น. ถึง 22.00 น. โดยเฉลี่ย การจัดหมวดหมู่นี้จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยที่ว่าจำนวนผู้เข้าพักในอาคารอาจสูงและมีการเคลื่อนย้ายอย่างต่อเนื่องทั่วทั้งอาคาร พร้อมด้วยแสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่หลากหลายสำหรับการตกแต่งและภาระความเย็นเพื่อความสะดวกสบายของผู้อยู่อาศัย สูดทำยนี้อาคารในกลุ่มที่ 3 จัดประเภทตามสมมติฐานว่ามีคนอยู่ในอาคารเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เพื่อตรวจสอบว่าอาคารที่ได้รับการประเมินเป็นไปตามเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานหรือไม่ ต้องพิจารณาหกแง่มุมของอาคาร ได้แก่ โครงสร้างอาคาร ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบทำน้ำร้อน ระบบพลังงานหมุนเวียน และการใช้พลังงานทั้งหมด

2.2.1 กรอบอาคาร

เกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานจะประเมินเปลือกอาคารโดยการประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนโดยรวม (Overall Thermal Transfer Value, OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา (Roof Thermal Transfer Value, RTTV) ของพื้นที่ที่ห่อหุ้มในอาคารที่มีเครื่องปรับอากาศ [22] ค่านี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุและองค์ประกอบของวัสดุกรอบอาคาร ทั้งแบบทึบและโปร่งใส มาตราฐานกำหนดวิธีการคำนวณตามปัจจัยต่างๆ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน อัตราส่วนหน้าต่างต่อผนัง และอุณหภูมิที่เท่ากัน นอกจากนี้ สำหรับวัสดุโปร่งใส ยังพิจารณาการรับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ค่าสัมประสิทธิ์การแรงงา และการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ด้วย OTTV สำหรับแต่ละด้านของผนังสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ (2-1) ในส่วนของมูลค่าโดยรวม เลขคณิตถ่วงน้ำหนักระหว่างพื้นที่และ OTTV สำหรับแต่ละด้านของอาคารจะคำนวณโดยใช้สมการ (2-2)

$$OTTV_i = (U_w)(1 - WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)\Delta T + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (2-1)$$

$$OTTV = \frac{(A_{w1})(OTTV_1) + (A_{w2})(OTTV_2) + \dots + (A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + A_{wi}} \quad (2-2)$$

เมื่อ

$OTTV$ = การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของอาคาร (W/m^2)

$OTTV_i$ = การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของผนัง (W/m^2)

U_w = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบแสง ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

WWR = อัตราส่วนหน้าต่างต่อผนังของด้านที่พิจารณา

TD_{eq} = ค่าผลต่างของอุณหภูมิเทียบเท่า ($^\circ C$)

U_f = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังโปร่งใสหรือหน้าต่าง ($W/ m^2 \cdot ^\circ C$)

ΔT = อุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร ($^\circ C$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$SHGC$ = ค่าสัมประสิทธิ์การรับความร้อนจากแสงอาทิตย์

SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

ESR = ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบ (W/m^2)

A_{wi} = พื้นที่ผนังด้านที่พิจารณา (m^2)

สำหรับหลังคา RTTV สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่คล้ายกัน แต่ใช้อัตราส่วนหน้าต่างต่อผนังแทน อัตราส่วนช่องรับแสงต่อหลังคาและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสำหรับองค์ประกอบของหลังคา ดังแสดงในสมการ (2-3) สำหรับอาคารที่มีหลังคาหลายประเภทโดยใช้วัสดุและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน สามารถคำนวณ RTTV ทั้งหมดได้โดยใช้สมการน้ำหนักที่คล้ายกับ OTTV ดังแสดงในสมการ (2-4)

$$RTTV_i = (U_r)(1 - SRR)(TD_{eq}) + (U_f)(SSR)\Delta T + (SSR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (2-3)$$

$$RTTV = \frac{(A_{w1})(RTTV_1) + (A_{w2})(RTTV_2) + \dots + (A_{wi})(RTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + A_{wi}} \quad (2-4)$$

เมื่อ

$RTTV$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนหลังคาของอาคาร (W/m^2)

$RTTV_i$ = การถ่ายเทความร้อนโดยรวมของหลังคา (W/m^2)

U_r = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาที่บังแสง ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

SRR = อัตราส่วนช่องรับแสงต่อหลังคา

U_f = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาโปร่งใสหรือช่องรับแสง ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A_{ri} = พื้นที่หลังคาด้านที่พิจารณา (m^2)

OTTV และ RTTV ที่คำนวณได้จากส่วนของกรอบอาคารจะถูกนำมาใช้เป็นดัชนีเพื่อบ่งชี้ประสิทธิภาพตามเกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยเกณฑ์จะตั้งค่าเผื่อที่แตกต่างกันสำหรับ OTTV และ RTTV สำหรับแต่ละประเภทอาคาร ดังแสดงในตาราง 2.2 ค่านี้ได้รับการปรับให้เหมาะสมตามลักษณะเฉพาะของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานของระบบปรับอากาศ

ประเภทอาคาร	OTTV (W/m ²)	RTTV (W/m ²)
กลุ่มที่ 1	OTTV ≤ 50	RTTV ≤ 10
กลุ่มที่ 2	OTTV ≤ 40	RTTV ≤ 8
กลุ่มที่ 3	OTTV ≤ 30	RTTV ≤ 6

2.2.2 ระบบแสงสว่าง

ในส่วน of ระบบแสงสว่างในอาคาร เกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานจะประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยใช้ความหนาแน่นของพลังงานแสงสว่าง (Lighting Power Density, LPD) ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ดัชนีนี้สามารถคำนวณได้โดยการหารการใช้พลังงานทั้งหมดของคอมไฟด้วยพื้นที่การใช้งานทั้งหมดของอาคาร . อย่างไรก็ตาม มีข้อยกเว้นในกรณีของไฟตู้โชว์หรือไฟส่องสว่างที่ไม่ได้ติดตั้งถาวรในอาคาร นอกจากนี้พื้นที่ลานจอดรถยังไม่รวมอยู่ในการคำนวณ LPD เกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานไม่ได้ระบุปริมาณความสว่างที่ต้องการบนระนาบการทำงาน เนื่องจากมีมาตรฐานเกี่ยวกับข้อกำหนดความสว่างขั้นต่ำสำหรับการใช้งานประเภทต่างๆ เกณฑ์ดังกล่าวอนุญาตให้อาคารของกลุ่มที่ 3 มี LPD สูงสุดตามการออกแบบอาคาร โดยสามารถแบ่งพื้นที่ได้ เช่น พื้นที่ส่วนบุคคลในกรณีอาคารที่พักอาศัย โดยมีความต้องการความสว่างสูงในกรณีโรงพยาบาล

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานของระบบแสงสว่าง

ประเภทอาคาร	LPD (W/m ²)
กลุ่มที่ 1	10
กลุ่มที่ 2	11
กลุ่มที่ 3	12

2.2.3 ระบบปรับอากาศ

เกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ระบบปรับอากาศได้รับการประเมินผ่านประสิทธิภาพพลังงานของแต่ละยูนิตสำหรับเครื่องปรับอากาศทั้งแบบแยกส่วนและแบบแพ็คเกจโดยใช้อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Seasonal Energy Efficiency Ratio, SEER) เป็นดัชนี ดังแสดงในตารางที่ 4 ในกรณีของระบบส่วนกลาง การประเมินจะแยกเป็นเครื่องทำความเย็นและส่วนประกอบอื่นๆ เครื่องทำความเย็นจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การทำงานตามมาตรฐาน ในขณะที่อุปกรณ์อื่นๆ ในระบบต้องมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้พลังงานรวมต่ำกว่า 0.5 kW ต่อตันตู้เย็น อย่างไรก็ตาม กรณีศึกษาคืออาคารอพาร์ทเมนต์ที่ไม่มีระบบทำความเย็นและทำความร้อนจากส่วนกลาง ดังนั้นจะมีการหารือเกี่ยวกับมาตรฐานแบบแยกส่วน

มาตรฐานการประเมินได้มาจากมาตรฐานฉลาก กฟผ. 5 ซึ่งกำหนดมาตรฐานระดับที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดของประเทศไทย ในกรณีเครื่องปรับอากาศ มาตรฐานจะให้ค่า SEER อ้างอิงสำหรับเครื่องปรับอากาศทั้งแบบความเร็วคงที่และแบบปรับความเร็วได้ (อินเวอร์เตอร์) โดยแบ่งตามป้ายกำกับฉลากเบอร์ 5 ปกติ และฉลากเบอร์ 5 ตั้งแต่ 1 ดาวถึง 3 ดาว โดยฉลากเบอร์ 5 ระดับ 3 ดาวคือเครื่องที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงสุด

ตารางที่ 2.4 ค่ามาตรฐานของระบบปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศแบบความเร็วคงที่				
ขนาด	ฉลากเบอร์ 5	ฉลากเบอร์ 5 (1 ดาว)	ฉลากเบอร์ 5 (2 ดาว)	ฉลากเบอร์ 5 (3 ดาว)
8000 w (27,296 BTU/hr)	12.85 - 13.84	13.85 - 14.84	14.85 - 15.84	≥15.85
8000-12000 w (27,296 – 40,944 BTU/hr)	12.40 - 13.39	13.40 - 14.39	14.40 - 15.39	≥15.40
เครื่องปรับอากาศแบบปรับความเร็วได้				
ขนาด	ฉลากเบอร์ 5	ฉลากเบอร์ 5 (1 ดาว)	ฉลากเบอร์ 5 (2 ดาว)	ฉลากเบอร์ 5 (3 ดาว)
8000 w (27,296 BTU/hr)	15.00 - 17.49	17.50 - 19.99	20.00 - 22.49	≥22.50
8000-12000 w (27,296 – 40,944 BTU/hr)	14.00 - 16.49	16.50 - 18.99	19.00 - 21.49	≥21.50

จากตารางที่ 2.4 เครื่องปรับอากาศแบบปรับความเร็วได้ (แบบอินเวอร์เตอร์) มีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องปรับอากาศแบบปรับความเร็วคงที่ทั่วไป สำหรับยูนิตแบบแยก รหัสพลังงานของอาคารจะประเมินได้ไม่เกิน 12,000 วัตต์หรือ 40,944 บีทียู/ชม. เนื่องจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่สูงเกินขีดจำกัดนี้ไม่ค่อยมีการใช้กันทั่วไปและไม่ค่อยพบในท้องตลาด ดังนั้นตัวรหัสเองจึงเป็นข้อยกเว้นสำหรับเครื่องปรับอากาศประเภทนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ระบบพลังงานทดแทน

เกณฑ์ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานยังประเมินความสามารถในการผลิตพลังงานทดแทนและช่วยลดการใช้พลังงานทั้งหมดโดยตรง เพื่ออุดหนุนเจ้าของโครงการโดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียนในอาคารที่สร้างใหม่หรือปรับปรุงใหม่ การผลิตพลังงานหมุนเวียนในอาคารส่วนใหญ่มาจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะที่พลังงานหมุนเวียนรูปแบบอื่นๆ สามารถคำนวณได้โดยการแปลงการใช้ความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า ความสามารถในการสร้างระบบ PV สามารถประมาณได้โดยใช้พื้นที่ติดตั้งประสิทธิภาพของทั้งระบบ (คำนวณจากสมการที่ 2-5) และการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพ (ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของอาคารและมุมของการติดตั้งแผง) มาตรฐานนี้ประมาณเวลาเฉลี่ยที่ระบบ PV มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าเป็นเวลา 9 ชั่วโมง ดังนั้น สามารถคำนวณค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีที่ผลิตโดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (PVE) ได้โดยใช้สมการ (2-6)

$$\eta_{sys} = \eta_{module} \times \eta_{BOS} \quad (2-5)$$

$$PVE = \frac{(9)(365)A_{sys}PV_{mod}}{1000} \quad (2-6)$$

เมื่อ

A_{mod} = พื้นที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด (m^2)

η_{sys} = ประสิทธิภาพของทั้งระบบ

η_{module} = ประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

η_{BOS} = ประสิทธิภาพของระบบสมมูล

ESR_{PV} = ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบ (W/m^2)

2.2.5 การใช้พลังงานรวมของอาคาร

การใช้พลังงานทั้งหมดของอาคารประเมินโดยผลรวมของการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้า และการลบพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน ในกรณีของระบบปรับอากาศ ปริมาณการทำความเย็นจะมาจากแหล่งความร้อนจำนวนมากที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ ดังนั้นการใช้พลังงานทั้งหมดจึงรวมถึงผลกระทบของแหล่งความร้อนจากแสงสว่าง การรั่วไหลของอากาศ ผู้โดยสาร และอุปกรณ์ไฟฟ้า การคำนวณการใช้พลังงานทั้งหมดสามารถทำได้โดยใช้สมการ (2-7) ซึ่งรวมค่าสัมประสิทธิ์ของแหล่งความร้อนที่ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นสำหรับอาคารประเภทต่างๆ ดังสรุปไว้ในตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{pa} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{A_{wi}(OTTV_i)}{COP_i} + \frac{A_{ri}(RTTV_i)}{COP_i} + A_i \left\{ \frac{C_l(LPD_i) + C_e(EQD_i) + 130C_o(OCCU_i) + 24C_v(VENT_i)}{COP_i} \right\} \right] \eta_h \quad (2-7)$$

$$+ \sum_{i=1}^n A_i(LPD_i + EQD_i)\eta_h - (PVE + HEE + ORE)$$

เมื่อ

EQD = การใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่ (W/m^2)

$OCCU$ = จำนวนผู้พักอาศัยเฉลี่ยต่อพื้นที่ ($1/m^2$)

$VENT$ = การไหลเวียนของอากาศและการรั่วไหล ($l/s/m^2$)

COP = ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ

HEE = การแปลงพลังงานความร้อนเป็นไฟฟ้า

ORE = ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีที่ผลิตโดยแหล่งพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ

C_l = สัมประสิทธิ์การระคายเคืองจากระบบไฟส่องสว่าง

C_e = ค่าสัมประสิทธิ์การระคายเคืองจากอุปกรณ์ไฟฟ้า

C_o = ค่าสัมประสิทธิ์การระคายเคืองจากผู้โดยสาร

C_v = สัมประสิทธิ์การระคายเคืองจากการระบายอากาศ

η_h = จำนวนชั่วโมงการใช้งานอาคาร

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์การคำนวณภาระความเย็น

ประเภทอาคาร	C_l	C_e	C_o	C_v	η_h
กลุ่มที่ 1	0.84	0.85	0.90	0.90	2,340
กลุ่มที่ 2	0.84	0.85	0.90	0.90	4,380
กลุ่มที่ 3	1.0	1.0	1.0	1.0	8,760

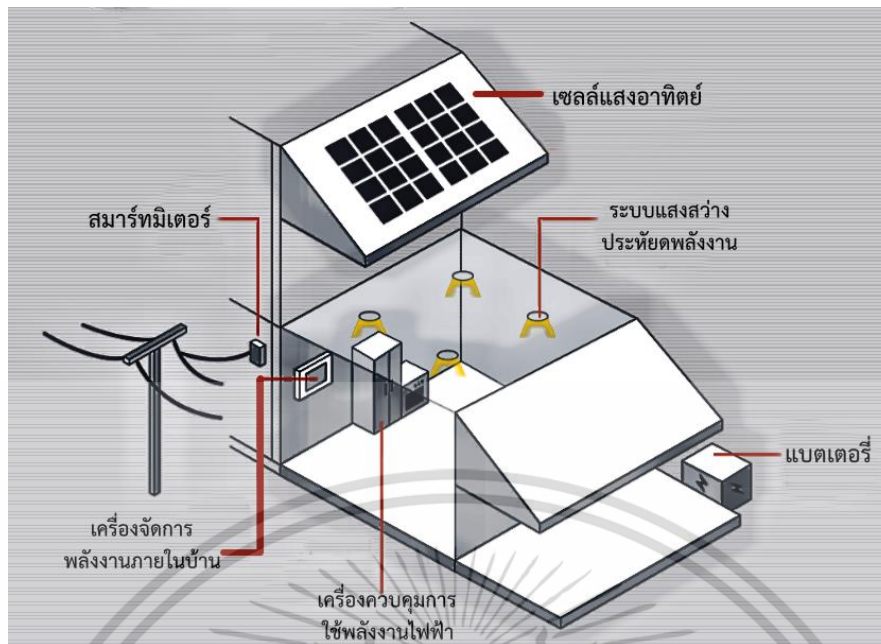
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ระบบบริหารจัดการพลังงาน

โดยทั่วไปแล้วระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System: EMS) หมายถึง ระบบอัตโนมัติที่นำเข้ามาใช้ในการควบคุมให้การผลิต การส่งพลังงาน รวมถึงให้การใช้พลังงานนั้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ความหมายของระบบบริหารจัดการพลังงานนั้นค่อนข้างกว้างโดยมิได้หมายถึงเฉพาะเพียงพลังงานไฟฟ้าเท่านั้นแต่ยังครอบคลุมถึงพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ด้วย เช่น พลังงานความร้อน เป็นต้น ระบบบริหารจัดการพลังงานอาศัยการทำงานประสานกันระหว่าง อุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) สมาร์ทมิเตอร์ (Smart meter) และระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติ (Actuator หรือ Controller) บนโครงสร้างของระบบเทคโนโลยีและสารสนเทศ (Information technology: IT) โดยอาจมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (เช่น พลังงานแสงอาทิตย์) และระบบกักเก็บพลังงานร่วมด้วยเพื่อให้บริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าเป็นไปอย่างเกิดประโยชน์สูงสุด ระบบบริหารจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพมีกระบวนการวางแผนให้เกิดการผลิต การใช้พลังงานและการบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งในบางกรณีอาจรวมถึงการงดใช้พลังงานหรือการลดการใช้พลังงานให้เหลือน้อยที่สุด ทั้งนี้ ต้องไม่ทำให้ความสามารถในการทำงานหรือผลิตภาพ (Productivity) ลดลง รวมถึงต้องไม่ก่อให้เกิดผลเสียทางสุขภาพใด ๆ กับผู้ที่อาศัยหรือทำงานอยู่ในพื้นที่นั้น ๆ

สำหรับที่พักอาศัยระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้าน (Home Energy Management System, HEMS) เป็นระบบที่เชื่อมโยงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเข้าด้วยกัน โดยสามารถแสดงสถานการณ์ใช้ไฟฟ้า เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือบริเวณต่าง ๆ ในบ้านในช่วงเวลานั้น เป็นต้น นอกจากนี้ระบบบริหารจัดการพลังงานที่มีขีดความสามารถในระดับที่สูงขึ้นสามารถนำข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น สภาพอากาศ ราคาค่าไฟฟ้าในช่วงนั้น ๆ เป็นต้น มาประมวลผล พร้อมทั้งเสนอแนะต่อผู้ใช้ไฟฟ้าถึงวิธีการใช้พลังงาน หรือควบคุมการใช้พลังงานอย่างอัตโนมัติให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดพร้อมทั้งสามารถติดตั้งอุปกรณ์ด้านพลังงานใหม่ ๆ เพิ่มเติมในบ้านเรือน เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา แบตเตอรี่ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความสามารถในการดำเนินการตอบสนองด้านโหลด เป็นต้น ระบบบริหารจัดการพลังงานสามารถเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านั้นเข้าด้วยกัน เพื่อให้การบริหารการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ตัวอย่างเช่น ในช่วงเวลาเพียงวันเมื่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ณ ขณะนั้นระบบบริหารจัดการพลังงานสามารถสั่งให้แบตเตอรี่ชาร์จเพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ ซึ่งหากมีการนำกลไกค่าไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลามาใช้ งานเมื่อระบบบริหารจัดการพลังงานทราบว่าช่วงเวลานั้นมีราคาค่าไฟฟ้าสูงสามารถสั่งให้แบตเตอรี่จ่ายไฟฟ้าง่ายกลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้าในบ้าน เพื่อลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายหลักซึ่งมีราคาสูง เป็นการช่วยให้เกิดการประหยัดค่าไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 รูปแสดงระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้านเรือน [56]

นอกจากนั้นระบบบริหารจัดการพลังงานยังสามารถทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าได้โดยตรงจากนอกบ้าน รวมถึงสามารถกำหนดการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าล่วงหน้าผ่านทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ หากไม่มีระบบบริหารจัดการพลังงานผู้ใช้ไฟฟ้าจำเป็นต้องควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ แยกกัน เช่น การเปิดปิดไฟที่สวิตช์แต่ละจุดในบ้านโดยตรง เป็นต้น เมื่อมีการติดตั้ง ระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้าน ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ผ่านทางอุปกรณ์เคลื่อนที่ เช่น สมาร์ทโฟน หรือแท็บเล็ต เป็นต้น นอกจากนี้ อุปกรณ์อัตโนมัติบางส่วนสามารถติดตั้งเพิ่มเติมเข้าไปเพื่อให้ทำงานร่วมกับระบบบริหารจัดการพลังงานได้ เช่น เซ็นเซอร์จับการเคลื่อนไหว เพื่อปิดไฟส่องสว่างในบริเวณบ้านที่ไม่มีคนอยู่ เป็นต้น การที่ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในส่วนต่าง ๆ โดยละเอียด รวมถึงสามารถควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกมากขึ้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับเปลี่ยนพฤติกรรมตนเองลงโดยลดการใช้ไฟฟ้าในส่วนที่ไม่จำเป็นลง ส่งผลให้การใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนลดลง รวมถึงลดค่าไฟฟ้าลงได้

โดยทั่วไปแล้วระบบบริหารจัดการพลังงานประกอบไปด้วย สมาร์ทมิเตอร์ อุปกรณ์กักเก็บพลังงาน รวมถึงระบบควบคุมและสั่งการระบบบริหารจัดการพลังงาน

ระบบบริหารจัดการพลังงานสามารถทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ว่าในภาคบ้านเรือน อาคาร หรือโรงงานอุตสาหกรรมสามารถทราบลักษณะการใช้ไฟฟ้าของตนเองได้ในแต่ละช่วงเวลาโดยละเอียด และสามารถรับรู้ได้ว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าไปกับอุปกรณ์ต่าง ๆ มากน้อยเพียงใด ในอดีตผู้ใช้ไฟฟ้าโดยเฉพาะในภาคบ้านเรือนทราบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของตนเองย้อนหลังในภาพรวมเท่านั้น โดยดูจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าในเดือนนั้น ๆ หรือดูจากมิเตอร์ไฟฟ้าแบบตั้งเดิมประเภทจานหมุนทั่วไป การนำเทคโนโลยีระบบบริหารจัดการพลังงานเข้ามาประยุกต์ใช้งานสามารถเพิ่มการรับรู้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของตนเองมากขึ้น เช่น ทราบว่าการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

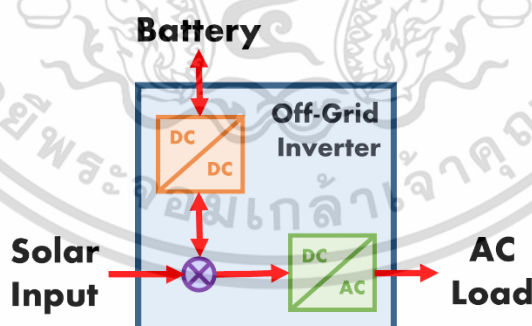
ช่วงเวลาใด มีการใช้งานอุปกรณ์ตัวไหนหรือในระบบใดมากที่สุด เป็นต้น การตระหนักรู้ดังกล่าวสามารถนำมาสู่การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ รวมถึงอาจกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

นอกจากนี้ ระบบบริหารจัดการพลังงานสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งเพิ่มเข้ามาในฝั่งของผู้ใช้งานในอนาคต เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar rooftop) หรือระบบกักเก็บพลังงาน เป็นต้น ให้สามารถทำงานประสานงานกันได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ระบบบริหารจัดการพลังงานสามารถใช้งานร่วมกับระบบอำนวยความสะดวกอื่น ๆ ซึ่งอาจไม่เกี่ยวข้องทางด้านพลังงานโดยตรง เช่น ระบบอัตโนมัติในบ้าน ระบบอัตโนมัติในอาคาร หรือระบบอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

2.3.1 อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและใช้กันแพร่หลายมากยิ่งขึ้น ซึ่งอินเวอร์เตอร์นี้ถือเป็นส่วนสำคัญอย่างมากในการแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อนำไปจ่ายภาระไฟฟ้า

อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กับระบบอิสระเป็นอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ร่วมกับระบบอิสระที่ไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า (Stand Alone System) โดยรับพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่มาจากเซลล์แสงอาทิตย์หรือจากแบตเตอรี่แล้วแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับภาระไฟฟ้า

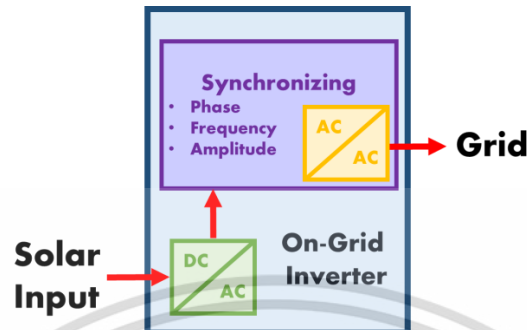


รูปที่ 2.2 อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กับระบบอิสระ

อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายเป็นอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า โดยการเชื่อมต่อได้นั้นต้องมี ขนาดแรงดัน ความถี่ และลำดับเฟสที่ตรงกัน จึงต้องมีระบบการไฟฟ้าอยู่ก่อนแล้ว

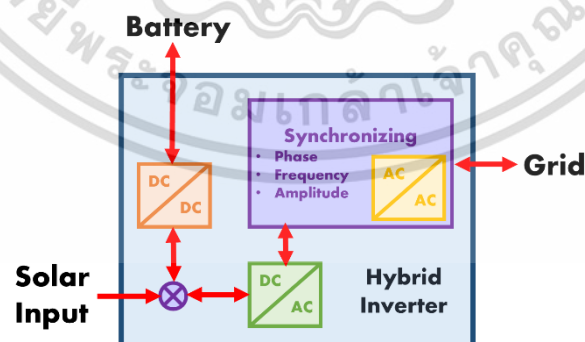
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ผลิตไฟฟ้าที่มี ลักษณะเหมือนกับไฟฟ้าของการไฟฟ้า การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ นั้นเป็นผลิตและใช้ทันที ไม่ต้องสำรองในแบตเตอรี่ แล้วจ่ายให้กับภาระไฟฟ้า



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กับระบบผสมผสานเป็นอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ร่วมกับระบบที่รวมกันระหว่างระบบอิสระ กับระบบผสมผสาน มีลักษณะเป็นการรวมกันของอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาแล้วใน 2 ข้อข้างต้น กล่าวคือ ตัวอินเวอร์เตอร์ต้องมีการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าเพื่อเป็นแรงดันอ้างอิงและในขณะที่ทำงาน พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ถูกจ่ายให้กับภาระไฟฟ้า แต่หากผู้ใช้ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าที่ผลิตได้ในส่วนของพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหลือจากการจ่ายภาระไฟฟ้าถูกชาร์จลงแบตเตอรี่หรือขายให้กับการไฟฟ้า และถ้าผู้ใช้ใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าที่ผลิตได้ อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับดึงไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายการไฟฟ้าหรือจากแบตเตอรี่เข้ามาจ่ายชดเชย



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กับระบบผสมผสาน

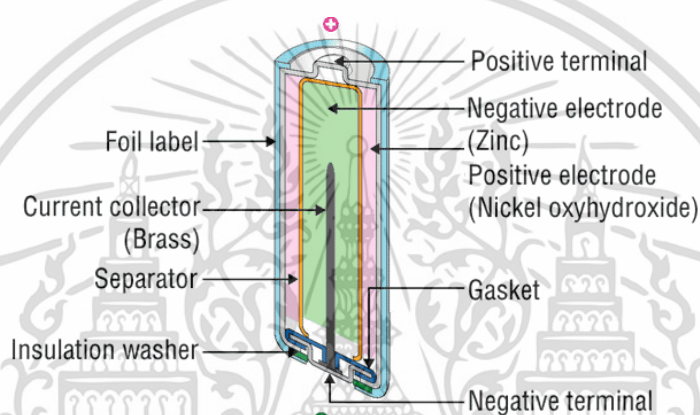
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ระบบสะสมพลังงานไฟฟ้า

เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้ามา จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับนำมาใช้สะสมพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำพลังงานมาใช้ในช่วงเวลาที่ต้องการได้ สำหรับการสะสมพลังงานในระบบพลังงานทดแทนจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นใช้แบตเตอรี่เป็นหลัก โดยแบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 4 ประเภท

1. แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (Primary Cells)

เป็นแบตเตอรี่ที่ไม่สามารถชาร์จไฟใหม่ได้ เมื่อใช้แบตเตอรี่หมดจึงจำเป็นต้องทิ้ง โดยแบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่ได้ใช้ของเหลวเป็นอิเล็กโทรไลต์ จึงเรียกว่าเซลล์แห้ง แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาไม่แพงและมีน้ำหนักเบา ทำให้เหมาะกับอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบพกพา โดยข้อดีของแบตเตอรี่ปฐมภูมิคือสามารถเก็บไว้ได้นาน



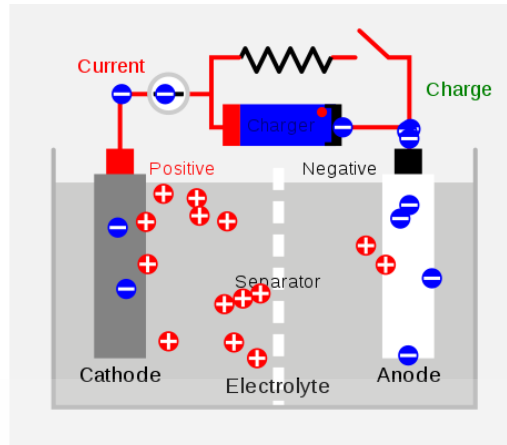
รูปที่ 2.5 โครงสร้างแบตเตอรี่ปฐมภูมิ (Primary Cells) [57]

2 แบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary Cells)

เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จไฟใหม่ได้เมื่อใช้หมด โดยการนำไปประยุกต์ใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้หลัก ๆ มีอยู่ 2 ประเภท

- นำไปใช้เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานให้กับอุปกรณ์ โดยทั่วไปแบตเตอรี่ชนิดนี้ต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าและจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าเมื่อต้องการ
- นำไปใช้แทนที่แบตเตอรี่ปฐมภูมิ โดยสามารถชาร์จไฟได้เมื่อแบตเตอรี่หมด การใช้งานในลักษณะนี้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้

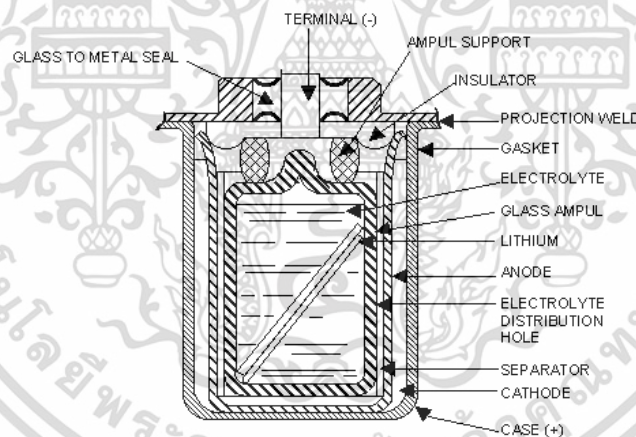
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างแบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary Cells) [58]

3 แบตเตอรี่สำรอง (Reserve Batteries)

แบตเตอรี่ชนิดนี้มีลักษณะเหมือนแบตเตอรี่ปฐมภูมิ แต่แยกอิเล็กโทรไลต์ออกมาในขณะที่ไม่ได้ใช้งาน การทำงานในลักษณะนี้ทำให้ไม่เกิดการเสื่อมสภาพทางเคมี หรือการดีสชาร์จเอง ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถเก็บไว้ได้นาน โดยแบตเตอรี่ชนิดนี้พบได้ในชิปนาฬิกาควอตซ์ปิโด และระบบอาวุธอื่น ๆ

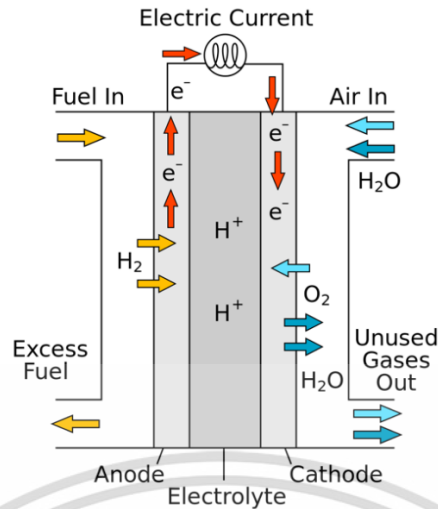


รูปที่ 2.7 โครงสร้างแบตเตอรี่สำรอง (Reserve Batteries) [59]

4 เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cells)

เซลล์เชื้อเพลิงสามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้โดยการเปลี่ยนพลังงานเคมีจากการทำปฏิกิริยาเคมีของไอออนของไฮโดรเจนประจุบวกกับออกซิเจน โดยเซลล์เชื้อเพลิงต่างจากแบตเตอรี่อื่น ๆ ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องนานเท่าที่เชื้อเพลิง และออกซิเจนยังคงถูกใส่เข้าไป ไม่เหมือนกับแบตเตอรี่ที่หยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าถ้าสารเคมีหมดอายุการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



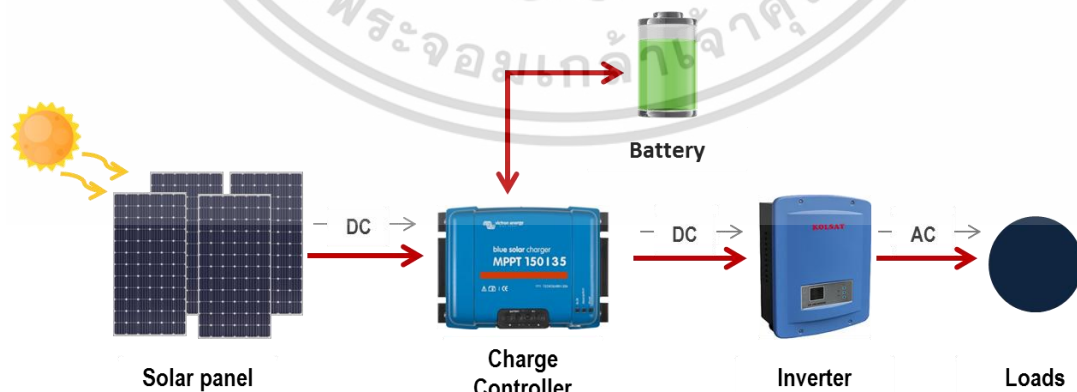
รูปที่ 2.8 โครงสร้างเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cells) [60]

2.3.3 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์

ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถ จำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน ในปฏิญญาพนธ์นี้ขอพูดในส่วนของ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว โดยเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 3 ระบบ

1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้าอุปกรณ์ระบบที่สำคัญ ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ

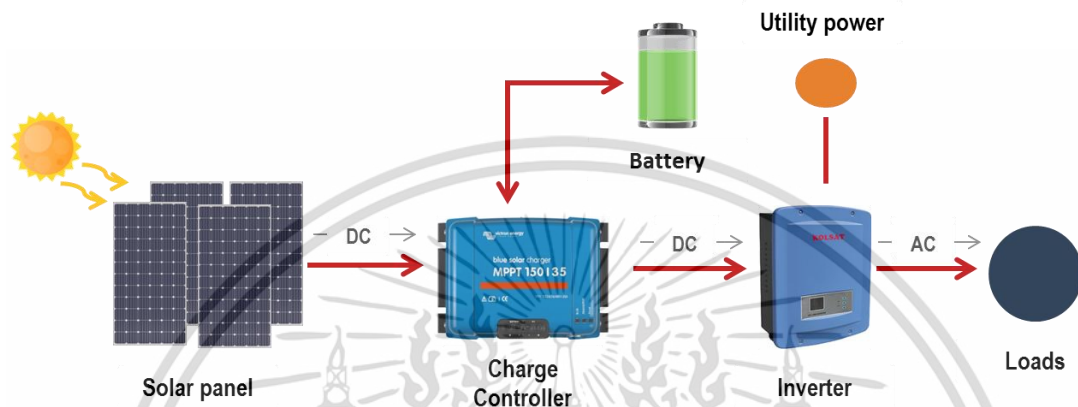


รูปที่ 2.9 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)

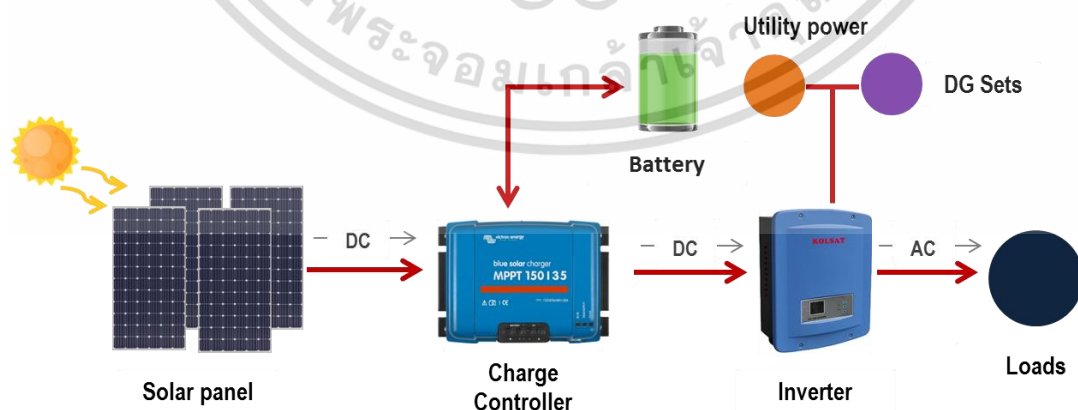
เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า



รูปที่ 2.10 เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)

3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบ สำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบของระบบขึ้นอยู่กับกรอกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ



รูปที่ 2.11 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ (Programmable Logic Controller: PLC)

ตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) เป็นอุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นมา เพื่อการควบคุมเครื่องจักร เครื่องใช้ไฟฟ้า หรือ ระบบไฟฟ้าต่าง ๆ แทนการใช้งานวงจรรีเลย์แบบเก่า ซึ่งวงจรรีเลย์แบบเก่ามีข้อเสียคือ การเดินสายไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก ทำให้เปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการควบคุม และซ่อมบำรุงได้ยาก เมื่อใช้งานไปนาน ๆ หน้าสัมผัสของรีเลย์เสื่อม เนื่องด้วยผลของคราบเขม่า และการสึกหรอจากการตัดต่อวงจร ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) มาใช้แทนวงจรรีเลย์แบบเก่า เพราะตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) ใช้งานได้ง่ายกว่า มีความน่าเชื่อถือ สามารถต่อกับอุปกรณ์อินพุต และเอาต์พุตได้โดยตรง จากนั้นจึงทำการควบคุมระบบไฟฟ้าโดยการเขียนโปรแกรมเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการควบคุมจึงทำได้ง่าย เพียงเขียนโปรแกรมใหม่ และเขียนลงบนตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) นอกจากนี้ตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) ทำงานแบบเดี่ยวได้ด้วยตัวเดียว ยังสามารถต่อตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) ได้อีกหลาย ๆ ตัวเข้าด้วยกัน กลายเป็นเครือข่าย (Network) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น [51] ชนิดของตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ตามการจำแนกตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ตามโครงสร้างภายนอกแบ่งได้เป็น 2 ชนิดดังนี้

1. ตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ชนิดบล็อก ทำการรวมส่วนประกอบทั้งหมด ของตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) ได้แก่ ตัวประมวลผล หน่วยความจำ ส่วนอินพุต ส่วนเอาต์พุต และแหล่งจ่ายไฟฟ้า ให้อยู่ในบล็อกเดียวกัน
2. ตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ชนิดโมดูล คือส่วนประกอบแต่ละส่วนสามารถแยกออกจากกัน เป็นโมดูล (Modules) เช่น หน่วยประมวลผล แหล่งจ่ายไฟฟ้า อินพุต และเอาต์พุต สามารถเลือกใช้ งานได้ว่าใช้โมดูลขนาดกี่อินพุตหรือกี่เอาต์พุต โดยมีให้เลือกใช้งานหลายรูปแบบ อาจเป็นอินพุตอย่าง เดียว หรือ เอาต์พุตอย่างเดียว

การสั่งงานให้ตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) ให้ทำงานต้องป้อนโปรแกรมให้กับตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

การเขียนโปรแกรมให้กับตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) โดยการใช้เครื่องเขียนโปรแกรมแบบพกพา (Hand Held Programmer) ป้อนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Statement List เช่นคำสั่ง LD, AND, OR ซึ่งเป็นคำสั่งพื้นฐาน เรียกใช้งานได้ด้วยปุ่มที่อยู่บนตัวเครื่องเขียนโปรแกรมแบบพกพา แต่เมื่อต้องการใช้งานฟังก์ชันอื่น ๆ ที่มีอยู่ในตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ สามารถเรียกใช้งานได้โดยการกดปุ่มเรียกใช้คำสั่งพิเศษ การใช้งาน เครื่องเขียนโปรแกรมแบบพกพามีข้อดีที่พกพาได้สะดวก สะดวกในการเคลื่อนย้าย แต่มีข้อเสียคือผู้ใช้ต้องมีความเชี่ยวชาญ

การเขียนโปรแกรมให้กับตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) โดยการใช้คอมพิวเตอร์ (Computer) ใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ (Software) เฉพาะของตัวประมวลผลที่สามารถโปรแกรมได้ และขึ้นอยู่กับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับยี่ห้อที่ใช้งาน ข้อดีของการใช้คอมพิวเตอร์ในการป้อนโปรแกรมคือใช้งานง่าย เนื่องด้วยโปรแกรมที่ใช้ในคอมพิวเตอร์เพื่อป้อนโปรแกรมส่วนใหญ่ใช้ภาษา เลดเดอร์ไดอะแกรม (Ladder Diagram) เข้ามาใช้ในการเขียนคำสั่ง ทำให้เข้าใจได้ง่าย และยังมีเครื่องมือในการโปรแกรมให้เลือกใช้งานได้มากกว่าเครื่องเขียนโปรแกรมแบบพกพา (Hand Held Programmer)

2.4 ระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้า

การส่องสว่างด้วยไฟฟ้า นอกจากจะเป็นภาระไฟฟ้าที่สูงในอาคารหนึ่งๆ แล้ว ยังส่งผลกระทบต่อภาระไฟฟ้ารวมของอาคาร โดยไปเพิ่มภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศอีกด้วย ดังนั้นจึงควรออกแบบและเลือกระบบไฟฟ้าส่องสว่างที่ให้ประสิทธิผลในการส่องสว่าง ก่อให้เกิดความสบายแก่สายตา มีความยืดหยุ่น และสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายในการใช้พื้นที่ ในขณะที่เดียวกันก็ต้องมีประสิทธิภาพดีในเชิงพลังงาน โดยนิยามและศัพท์เกี่ยวกับแสงที่สำคัญประกอบไปด้วย

1. แคนเดลา (Candela; I) แหล่งกำเนิดแสงสามารถวัดค่าได้ ค่าที่วัดได้ซึ่งอาจจะมีค่ามากหรือน้อยจะอยู่ในรูปของความเข้มแห่งการส่องสว่าง มีหน่วยแคนเดลา ความเข้มของการส่องสว่างจะมีค่าเท่ากับ ความเข้มของการส่องสว่างของวัตถุดำ (black body) ที่อุณหภูมิเยือกแข็งของแพลทินัม (platinum) โดยทั่วไปความเข้มของการส่องสว่างของแหล่งกำเนิดแสงหนึ่งๆ มักมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามมุมที่ทำกับแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสงนั้นๆ แต่อย่างไรก็ตาม ความเข้มแสงก็มักจะมีค่าเท่ากัน และสมมาตรกันระหว่างแนวแกนของแหล่งกำเนิดแสงนั้น
2. ความเข้มแสง (Illuminance; E) คืออัตราส่วนระหว่างฟลักซ์การส่องสว่างที่ตกกระทบยังส่วนย่อยส่วนหนึ่งของพื้นผิวนั้น หากด้วยพื้นที่ของส่วนย่อยที่แสงตกกระทบนั้น โดยที่ค่าฟลักซ์การส่องสว่างจะมีหน่วยเป็นลูเมนและถ้าพิจารณาพื้นที่เป็นหน่วยตารางเมตร ความเข้มแสงจะมีหน่วยเป็นลักซ์ (lux) ถ้าพิจารณาพื้นที่เป็นหน่วยตารางฟุต ความเข้มแสงจะมีหน่วยเป็นฟุต-แคนเดิล (foot-candle) โดยที่ 1 ฟุต-แคนเดิล=10.764 ลักซ์
3. ฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous Flux) คือปริมาณของแสงสว่างที่แพร่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดแสง หรือปริมาณของแสงที่ได้รับบนพื้นผิวหนึ่งมีหน่วยเป็นลูเมน (lumen; m)
4. สัมประสิทธิ์ของการใช้งาน (CU) สัมประสิทธิ์ของการใช้งาน (coefficient of utilization) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างค่าฟลักซ์การส่องสว่าง (ลูเมน) ที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวด้านต่อค่าลูเมนทั้งหมดที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสง โดยค่านี้อาจจะขึ้นอยู่กับ

4.1 ประสิทธิภาพและการกระจายแสงของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะดวงโคมที่ใช้งาน เช่น แสงที่เปล่งออกมาจะถูกดูดกลืนโดยดวงโคมเป็นจำนวนกี่เปอร์เซ็นต์จากที่เปล่งออกมาทั้งหมด

4.2 ระยะความสูง ความสูงของดวงโคมที่ติดตั้งอยู่เหนือพื้นผิวด้านจะเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในการพิจารณาการออกแบบแสงสว่าง ทั้งนี้เพราะว่าความส่องสว่างจะเป็นสัดส่วนผกผันกับค่ากำลัง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองของระยะทางจากดวงโคมไปยังพื้นผิวงาน เช่น ถ้าระยะทางเพิ่มขึ้น 2 เท่า จะทำให้ความสว่างลดลงไปถึง 4 เท่า

4.3 ขนาดและรูปร่างความกว้าง ความยาวของห้อง และระยะความสูงของดวงโคมสิ่งที่สำคัญต่อความเข้มแสงที่จะปรากฏบนพื้นผิวใช้งานอย่างยิ่ง เช่น ถ้าลักษณะของห้องเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ฝาผนังและเพดานเป็นแบบชนิดที่ไม่สะท้อนแสง ถ้านำดวงโคมมาติดตั้งในตำแหน่งจุดศูนย์กลางของห้องแล้ว จะพบว่าบริเวณพื้นที่จะได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอ แต่ถ้าขนาดความยาวของห้องเพิ่มขึ้นอีก 50% ในส่วนที่เพิ่มขึ้นของพื้นที่ก็จะได้รับแสงน้อยกว่าพื้นผิวเดิม เพราะวาลำแสงจะมีการลาดลงสู่พื้นที่ย่างมาก ดังนั้นค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงที่ปรากฏบนห้องที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าจึงมีค่าน้อยกว่าค่าความเข้มแสงในห้องที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

4.4 การสะท้อนของแสงที่มาจากเพดานและฝาผนัง การสะท้อนของแสงที่มาจากเพดานและฝาผนังจะมีผลต่อการใช้งาน โดยถ้าฝาผนังหรือเพดานที่ใช้มีคุณภาพที่ใช้มีคุณสมบัติสะท้อนแสงได้ดี ก็จะมีค่าการใช้งานแตกต่างจากฝาผนังที่มีคุณสมบัติไม่ช่วยสะท้อนแสงเป็นอย่างมาก

2.4.1 การออกแบบแสงสว่าง

ทุกองค์ประกอบเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องนำไปพิจารณาในการคำนวณเกี่ยวกับแสง โดย ระดับความเข้มแสงตามมาตรฐานของ IES ได้ทำการกำหนดค่าต่ำสุดของระดับความเข้มแสงสำหรับงานต่างๆไว้ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.6 พื้นที่ของการใช้งานกับค่าความเข้มแสงที่เหมาะสม

พื้นที่ของการใช้งาน	ค่าความเข้มแสง(ลักซ์)
Working Interiors	
Offices and Schools	
<i>Offices:</i>	
Conference Rooms	300
<i>General Offices:</i>	
Normal	500
Deep-plan	1000
Drawing Boards	1000
<i>School:</i>	
Classrooms, Lecture Theatres	300
Laboratories, Libraries, Reading Rooms, Art Rooms	500

การส่องสว่างภายในอาคารสำนักงาน บ้านอยู่อาศัย โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน สามารถประหยัดพลังงานแสงสว่างได้มากเมื่อเทียบกับการส่องสว่างภายในอย่างอื่น การส่องสว่างภายในคือการให้แสงสว่างเพื่อใช้งานได้สะดวกสบาย และการให้แสงเพื่อให้เกิดความสวยงาม ไม่ว่าจะเป็นการส่องสว่างแบบใดก็ตามก็ต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงานแสงสว่างด้วย การส่องสว่างภายในเพื่อให้ใช้งานได้นั้น หมายถึง ต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างอยู่ในเกณฑ์ที่ทำงานได้โดยไม่ต้องทำให้เพ่งสายตามากเกินไป ส่วนการส่องสว่างให้เกิดความสวยงามนั้นก็ต้องอาศัยความมีศิลป์ในตัวเพื่อพิจารณาในแง่การให้แสงแบบเอฟเฟค (Effect Lighting) หรือการให้แสงแบบส่องเน้น (Accent Lighting) ระบบการให้แสงสว่างนั้นขึ้นอยู่กับการใช้งานของห้องผู้อยู่ในห้อง การมองเห็นและสไตล์การตกแต่ง ระบบการให้แสงสว่างโดยพื้นฐานประกอบด้วย ระบบการให้แสงหลัก (Primary Lighting System) และระบบการให้แสงรอง (Secondary Lighting System) ระบบการให้แสงหลักซึ่งหมายถึงแสงสว่างพื้นฐานที่ต้องใช้เพื่อการใช้งานซึ่งแยกออกได้เป็นระบบต่าง ๆ ดังนี้

1. แสงสว่างทั่วไป (General Lighting) คือ การให้แสงกระจายทั่วไปเท่ากันทั้งบริเวณพื้นที่ใช้งาน ซึ่งใช้กับการให้แสงสว่างไม่มากเกินไป แสงสว่างดังกล่าวไม่ได้เน้นเรื่องความสวยงามมากนัก ดังนั้นการประหยัดพลังงานสามารถทำได้ในแสงสว่างทั่วไปนี้
2. แสงสว่างเฉพาะที่ (Localized Lighting) คือ การให้แสงสว่างเป็นบางบริเวณเฉพาะที่ทำงานเท่านั้น เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยไม่ต้องให้สม่ำเสมอเหมือนแบบแรก เช่น การให้แสงสว่างจากฝ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

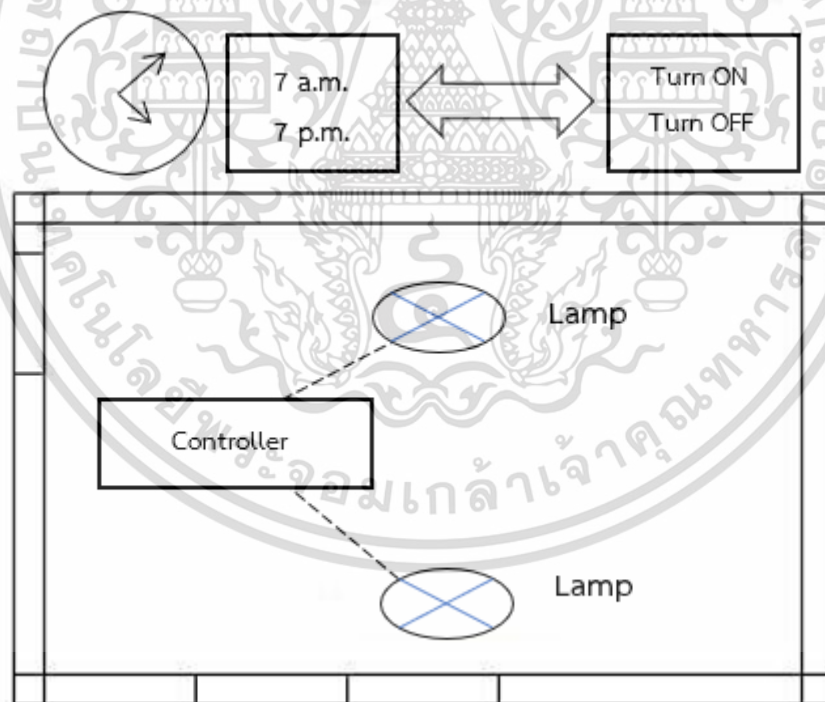
เพดานโดยติดตั้งเฉพาะเหนือโต๊ะหรือบริเวณใช้งานให้ได้ความส่องสว่างตามต้องการ การให้แสงสว่างลักษณะนี้ประหยัดกว่าแบบข้างต้น

3. แสงสว่างเฉพาะที่และทั่วไป (Local Lighting+General Lighting) คือ การให้แสงสว่างทั้งแบบทั่วไปทั้งบริเวณ และเฉพาะที่ที่ทำงาน ซึ่งมักใช้กับงานที่ต้องการความส่องสว่างสูงซึ่งไม่สามารถให้แสงแบบแสงสว่างทั่วไปได้เพราะเปลืองค่าไฟฟ้ามาก เช่น การให้แสงสว่างจากฝ้าเพดานเพื่อส่องบริเวณทั่วไป และที่โต๊ะทำงานติดโคมตั้งโต๊ะส่องเฉพาะต่างหากเพื่อให้ได้ความส่องสว่างสูงมากตามความต้องการของงาน

2.4.2 การควบคุมแสงสว่าง

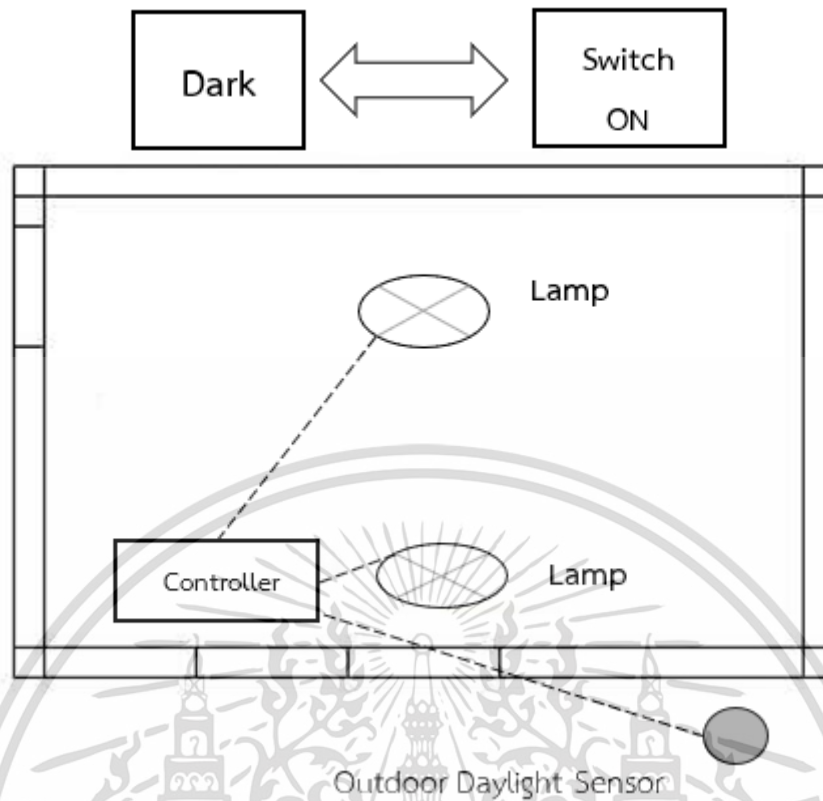
2.4.2.1 การควบคุมแสงสว่างแบบทำนายตามช่วงเวลาปฏิบัติงาน

การควบคุมแสงสว่างแบบทำนายตามช่วงเวลาช่วยลดชั่วโมงการทำงานของระบบแสงสว่างทำให้ประหยัดพลังงานโดยการเปิดปิดหลอดไฟตามตารางเวลาที่กำหนดไว้ในแต่ละวันโดยใช้การเปิดปิดแบบอัตโนมัติตามเวลาที่กำหนดไว้ผู้ใช้งานในอาคารสำนักงานไม่จำเป็นต้องใช้แสงสว่าง ในช่วงกลางคืนและช่วงวันหยุดแต่ในขณะเดียวกันสามารถกำหนดเวลาเปิดปิดในพื้นที่อื่นๆได้ตามความต้องการของผู้ใช้ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การทำงานของระบบควบคุมแสงสว่างทำนายช่วงเวลาการปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



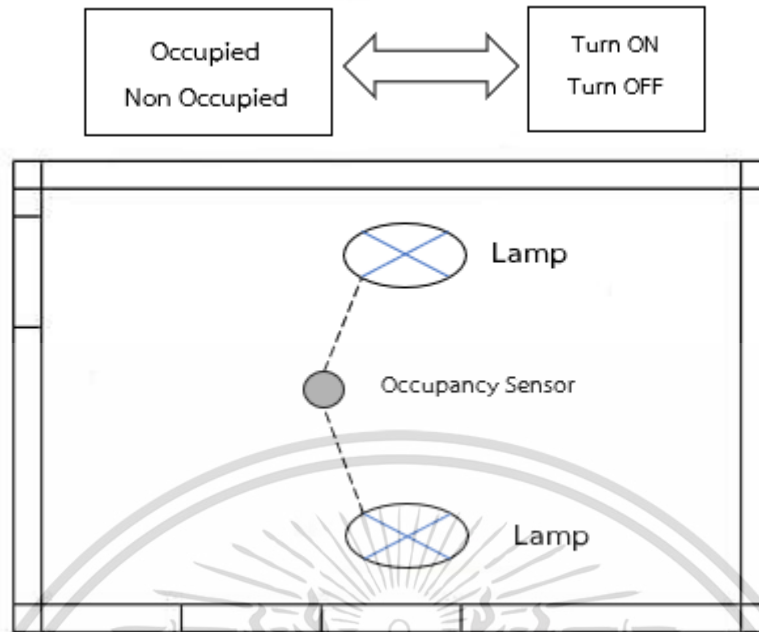
รูปที่ 2.13 การทำงานของระบบควบคุมแสงสว่างตามความมืด

การควบคุมแสงสว่างตามความมืด ดังแสดงในรูปที่ 2.13 จัดเป็นรูปแบบหนึ่งของการควบคุมแสงสว่างแบบทำนายตามช่วงเวลา โดยขึ้นอยู่กับ การขึ้นลงของพระอาทิตย์ ที่สามารถคำนวณได้ตามพื้นที่ตั้งของสถานที่นั้น ๆ ระบบแสงสว่างจะเปิดโดยอัตโนมัติเมื่อแสงสว่างจากภายนอกน้อยลง และจะปิดเมื่อมีแสงสว่างจากภายนอกเพียงพอ การควบคุมแบบนี้ไม่นิยมใช้ในอาคารที่ปิดทึบ แต่นิยมใช้กับอาคารที่มีการตกแต่งด้วยกระจก และมีแสงสว่างส่องถึง การควบคุมแสงสว่างด้วยวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องใช้เซนเซอร์ โดยการเปิดปิดสามารถทำได้จากการตั้งตารางเวลา

2.4.2.2 การควบคุมแสงสว่างตามช่วงเวลาการปฏิบัติงานจริง

การควบคุมแสงสว่างตามช่วงเวลาการปฏิบัติงานจริง กำหนดเวลาทำงานของระบบแสงสว่าง โดยขึ้นอยู่กับเวลาปฏิบัติงานบนพื้นที่ที่กำหนด ต่างจากการควบคุมแสงแบบทำนายช่วงเวลาปฏิบัติงาน การควบคุมแสงสว่างลักษณะนี้ไม่ได้ทำงานโดยการตั้งเวลาตามตารางเวลา ระบบจะตรวจจับบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน หากมีการปฏิบัติงานระบบจะเปิดไฟ หากระบบไม่สามารถตรวจจับกิจกรรมหรือการปฏิบัติงานได้ ระบบจะปิดไฟ เพื่อป้องกันระบบปิดไฟในช่วงที่มีการปฏิบัติงาน สามารถทำการหน่วงเวลา โดยตั้งดีเลย์ใหม่ ตั้งแต่ 10-15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การทำงานของระบบควบคุมแสงสว่างตามช่วงเวลาการปฏิบัติงานจริง

การควบคุมแสงสว่างตามช่วงเวลาการปฏิบัติงานจริงเหมาะสมกับพื้นที่ที่มีการปฏิบัติงานไม่เป็นไปตามตารางเวลา หรือไม่สามารถคาดเดาได้ เช่น สำนักงานส่วนตัว ทางเดิน ห้องประชุม พื้นที่ตามชั้นหนังสือของห้องสมุด ห้องเก็บของ โดยสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 20-50 เปอร์เซ็นต์ การควบคุมแสงสว่างในลักษณะนี้จำเป็นต้องมีเซนเซอร์ตรวจจับ ดังแสดงในรูปที่ 2.14

2.4.2.3 การควบคุมแสงสว่างแบบความสว่างคงที่

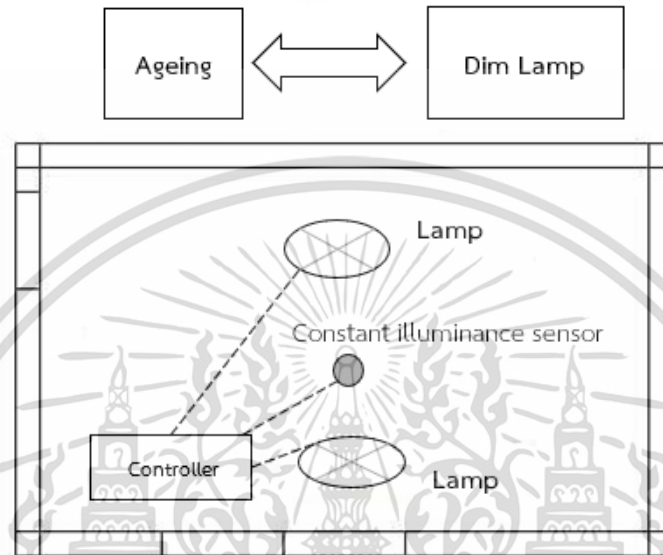
การควบคุมแสงสว่างแบบความสว่างคงที่ ใช้โฟโตเซลล์เพื่อวัดระดับแสงสว่าง ในบริเวณที่กำหนด ถ้าระดับแสงสว่างสูงเกินไป ตัวควบคุมแสงสว่างจะลดความเข้มแสงที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดแสง ถ้าระดับแสงสว่างน้อยเกินไป ตัวควบคุมจะเพิ่มความเข้มแสง ระบบจะใช้พลังงานน้อยลงในการรักษาระดับความสว่าง มีการควบคุมอุปกรณ์ในระบบดังแสดงในรูปที่ 2.15

2.4.2.4 การควบคุมแสงสว่างแบบใช้แสงสว่างภายนอก

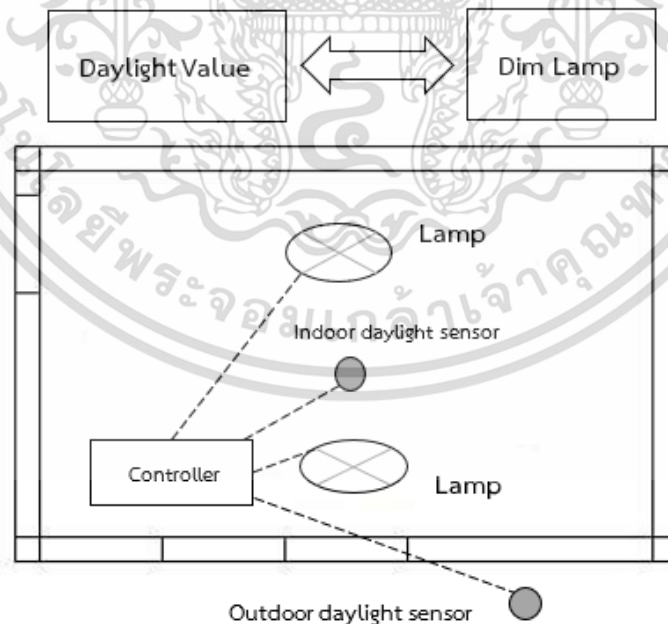
ระบบควบคุมแสงสว่างแบบใช้แสงสว่างภายนอก จะลดการใช้พลังงานของระบบแสงสว่างโดยใช้แสงสว่างจากภายนอกร่วมกับแสงจากหลอดไฟในระบบ โดยระบบควบคุมนี้จะรักษาความสว่างตามที่กำหนด ระบบควบคุมแสงสว่างแบบใช้แสงสว่างภายนอก ใช้โฟโตเซลล์ในการวัดระดับแสงสว่าง ภายในพื้นที่หรือจุดที่กำหนด ถ้าระดับแสงสว่างสูงเกินไป ตัวควบคุมแสงสว่างจะลดความเข้มแสงที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสง ถ้าระดับแสงสว่างน้อยเกินไป ตัวควบคุมจะเพิ่มความเข้มแสง นิยมเซนเซอร์ในพื้นที่กว้าง แยกการควบคุมหลอดไฟเป็นกลุ่ม ระบบจะใช้พลังงานน้อยลงในการรักษาระดับความสว่าง มีการควบคุมอุปกรณ์ในระบบดังแสดงในรูปที่ 2.16 ระบบควบคุมแสงสว่างแบบใช้แสงสว่างภายนอกใช้กันอย่างแพร่หลายในบริเวณที่มีหน้าต่าง และเป็นพื้นที่กว้าง ห้องเรียน ชั้นสำนักงานบนตึกสูง สามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 20-50 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.15 การทำงานของระบบควบคุมแสงสว่างแบบควบคุมแสงสว่างคงที่



รูปที่ 2.16 การควบคุมแสงสว่างแบบใช้แสงสว่างภายนอกร่วมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

เนื่องจากการลงทุนโครงการประหยัดพลังงานต่าง ๆ อาจให้ผลลัพธ์ทางด้านประสิทธิภาพทางพลังงานสูง แต่ต้องใช้อุปกรณ์หรือเทคโนโลยีที่มีต้นทุนสูง ทำให้โครงการมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูง ดังนั้นการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจเลือกโครงการที่เหมาะสมต่อการลงทุน โดยใช้ผลตอบแทนเป็นตัวเงิน เปอร์เซ็นต์หรือช่วงเวลา ในการชีวิตความเหมาะสมในการลงทุน ตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้แก่

2.5.1 ระยะเวลาคืนทุนคิดลด

ระยะเวลาคืนทุน (Discounted Payback Period, DPP) คือระยะเวลาที่โครงการใช้ในการจ่ายคืนเงินลงทุนเริ่มต้นของโครงการที่พิจารณา ค่าของเงินเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งคำนวณได้จาก

$$DPP = \frac{\ln\left(\frac{1}{1 - \frac{I_0 \times i}{A}}\right)}{\ln(1 + i)} \quad (2-8)$$

เมื่อ

I_0 คือ ต้นทุนการลงทุนของโครงการ (บาท)

A คือ ค่าใช้จ่ายประหยัดได้แบบคงที่ต่อปีที่ (บาท)

i คือ อัตราคิดลด (%)

ระยะเวลาคืนทุนคิดลดสำหรับโครงการประหยัดพลังงานที่ยอมรับได้โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 5 ปี อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับขนาดของโครงการถ้าโครงการมีขนาดใหญ่ เงินลงทุนสูง อายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี ระยะเวลาคืนทุนคิดลดที่ยอมรับได้อาจจะมากกว่า 5 ปี

2.5.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) คือมูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดสุทธิที่เจ้าของได้รับตลอดอายุของโครงการ ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินลงทุนของโครงการ

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1 + i/100)^t} \quad (2-9)$$

เมื่อ

A_t คือ กระแสเงินสดสุทธิที่ได้รับในปีที่ t (บาท/ปี)

i คือ อัตราคิดลด (%)

n คือ อายุโครงการ (ปี)

t คือ ดัชนีชี้เลขปีในช่วงเวลาของโครงการ (ปี)

โครงการประหยัดพลังงานที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นลบ (ต่ำกว่าศูนย์) จะไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ในขณะที่โครงการที่มีมูลค่าสุทธิบวกยิ่งมาก ยิ่งคุ้มค่าต่อการลงทุน ในทางปฏิบัติโครงการส่วนใหญ่จะมีค่าใช้จ่ายต่อปีไม่คงที่ ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากค่าพลังงานที่เพิ่มขึ้น หรืออัตราเงินเฟ้อของค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและการบำรุงรักษาเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเขียนแผนผังกระแสเงินหมุนเวียนจะทำให้วิเคราะห์ NPV ได้ง่ายขึ้น

2.5.3 อัตราผลตอบแทนภายใน

ผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) คืออัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิที่ได้รับตลอดอายุโครงการมีค่าเท่ากับศูนย์ ผลตอบแทนภายในแสดงอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยของโครงการในรูปของร้อยละ ทำให้สามารถเปรียบเทียบกับผลตอบแทนจากการลงทุนรูปแบบอื่นได้ง่าย

อัตราผลตอบแทนภายในสามารถแทนได้ด้วย i ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ โครงการที่มีค่าอัตราผลตอบแทนภายในมากกว่าค่า i ที่กำหนดจะคุ้มค่าต่อการลงทุน ส่วนต่างก็คือกำไรจากการลงทุนโครงการ

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1 + IRR/100)^t} \quad (2-10)$$

เมื่อ

A_t คือ กระแสเงินสดสุทธิที่ได้รับในปีที่ t (บาท/ปี)

n คือ อายุโครงการ (ปี)

t คือ ดัชนีชี้เลขปีในช่วงเวลาของโครงการ (ปี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การปรับปรุงอาคารตามเกณฑ์อนุรักษ์พลังงาน

เพื่อให้อาคารมีการใช้พลังงานเข้าใกล้ศูนย์ อาคารนั้นจะต้องได้รับการออกแบบและประเมินตามเกณฑ์มาตรฐานอาคารอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทยใน 6 ประเด็น ได้แก่ เปลือกอาคาร ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบผลิตน้ำร้อน ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน และ การใช้พลังงานรวมของอาคาร โดยใช้โปรแกรม Building Energy Code (BEC) ซึ่งจะประเมินการใช้พลังงานในแต่ละระบบ และการใช้พลังงานรวมของทั้งอาคาร โดยคำนวณจากพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบพลังงานหมุนเวียน และอุปกรณ์อื่นๆ สำหรับวิธีการคำนวณการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จะประกอบด้วย พารามิเตอร์การถ่ายเทความร้อนคำนวณโดยใช้คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้ในกรอบอาคาร ความร้อนจากระบบแสงสว่างคำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ประเภอาคารจากรางที่ 2.5 และกำลังไฟฟ้ารวมของโคมไฟ การรั่วซึมของอากาศ และจำนวนผู้ใช้งาน โดยเป็นค่าเฉลี่ยจากอาคารประเภทใดประเภทหนึ่งและคำนวณจากข้อมูลจาก พพ. สุดท้ายคือประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งในอาคารที่จะนำมาคำนวณ สำหรับระบบแสงสว่างโปรแกรมสามารถคำนวณได้โดยตรงจากกำลังไฟฟ้ที่หลอดหรือชุดโคมไฟใช้ สุดท้ายพลังงานทดแทนจะถูกคำนวณโดยตำแหน่งอ้างอิงของอาคารสำหรับข้อมูลอุณหภูมิตามมาตรฐานและขนาดอินพุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การใช้พลังงานทั้งอาคารนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์พลังงานอาคารของประเทศไทยเพื่อประเมินผลลัพธ์ นอกจากนี้โปรแกรม BEC ยังประเมินประสิทธิภาพพลังงานในแต่ละหมวดหมู่และกำหนดสถานะของอาคารให้สอดคล้องกับเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานของอาคาร

3.1 อาคารที่พักอาศัยในกรณีศึกษา

อาคารที่เลือกใช้เป็นกรณีศึกษาเป็นอาคารที่พักอาศัยประเภทอพาร์ทเมนต์ 8 ชั้นที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย โดยอาคารแห่งนี้ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบเขตร้อนซึ่งไม่ต้องใช้ระบบทำความร้อน และมีรังสีแสงอาทิตย์สำหรับระบบพลังงานหมุนเวียนสูง อย่างไรก็ตามสภาพภูมิอากาศนี้มีอุณหภูมิสูงในสิ่งแวดล้อมซึ่งส่งผลให้การใช้พลังงานส่วนใหญ่มาจากเครื่องปรับอากาศ ดังนั้นการปรับปรุงอาคารจะสามารถลดการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ

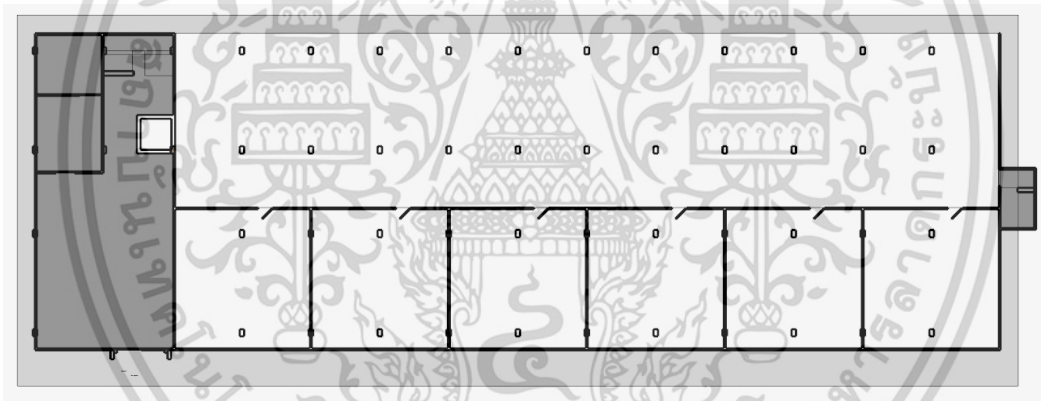
โครงสร้างโดยรวมในแผนภาพ Sketchup แสดงในรูปที่ 3.1 แผนผังชั้นของอาคารแสดงในรูปที่ 3.2 โปรดทราบว่าประกอบด้วยพื้นที่เชิงพาณิชย์บนชั้น 1 พร้อมพื้นที่สำหรับจอดรถ ดังแสดงในรูปที่ 3.2(ก) ตั้งแต่ชั้น 2 ถึงชั้น 8 แผนผังชั้นจะคล้ายกัน โดยยูนิตพักอาศัยคั่นด้วยโถงกลางและส่วนเล็กๆ ทางด้านทิศเหนือสำหรับลิฟต์และบันได ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ข) หลังคาเป็นคอนกรีตเรียบที่มีหลังคาเปิดเมทัลชีทและส่วนเล็กๆ สำหรับห้องเครื่องลิฟต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ค) อาคารที่พักอาศัยนี้มีเครื่องทำความร้อนไฟฟ้าแต่ละตัวแทนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

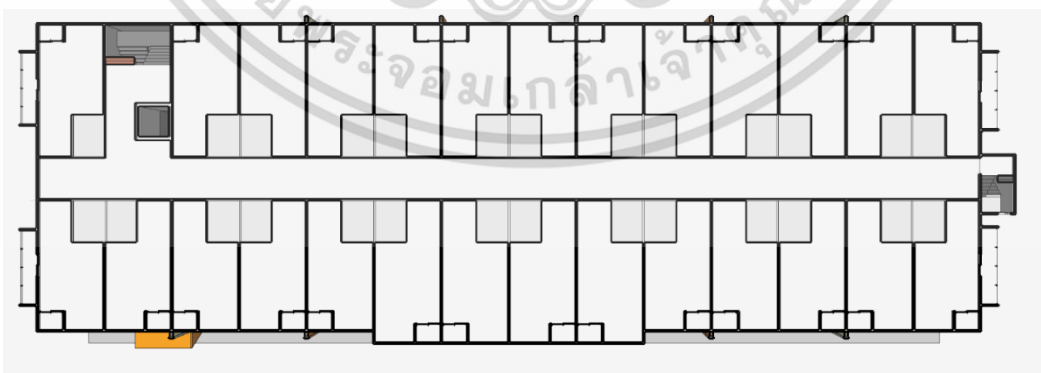
จะเป็นหม้อต้มน้ำกลางเป็นระบบทำน้ำร้อน ดังนั้นกรณีศึกษาจึงไม่ได้กล่าวถึงการประเมินการให้ความร้อนด้วยน้ำร้อน



รูปที่ 3.1 แบบโมเดลจำลองอาคารที่พักอาศัยที่ใช้ในกรณีศึกษา

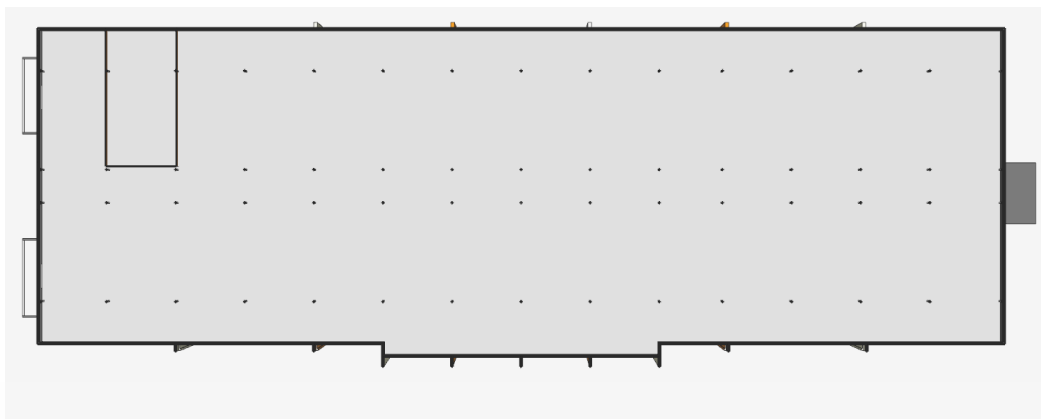


(ก) ชั้นที่ 1



(ก) ชั้นที่ 2 ถึง 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ชั้นดาดฟ้า

รูปที่ 3.2 แบบอาคารที่พักอาศัยที่ใช้ในกรณีศึกษา

3.2 การปรับปรุงอาคารตามเกณฑ์อนุรักษ์พลังงาน

อาคารกรณีศึกษาได้รับการปรับปรุงและประเมินผลตามเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานใน 5 ประเด็น ได้แก่ เปลือกอาคาร ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ พลังงานทดแทน และการใช้พลังงานทั้งหมด ไม่รวมระบบน้ำร้อน เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารพักอาศัยที่ไม่มีหม้อต้มน้ำส่วนกลางทำหน้าที่เป็นระบบน้ำร้อน

สำหรับระบบกรอบอาคารโครงสร้างปัจจุบันของอาคารกรณีศึกษาประกอบด้วยปูนปลาสเตอร์คอนกรีตและคอนกรีตมวลเบาซึ่งสร้างได้ง่ายในช่วงระยะเวลาการก่อสร้าง ต้นทุนต่ำ อย่างไรก็ตามคุณสมบัติทางความร้อนไม่เหมาะสมและอาจส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ ดังนั้น ฉนวนจะถูกเพิ่มเข้าไปในส่วนประกอบนี้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อนในส่วนกรอบอาคาร โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ สมบัติทางความร้อนของวัสดุทั้งหมดที่ใช้ในเปลือกอาคารปัจจุบันสรุปไว้ในตารางที่ 3.1

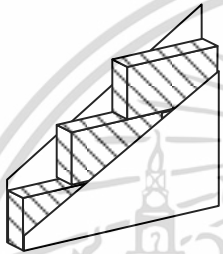
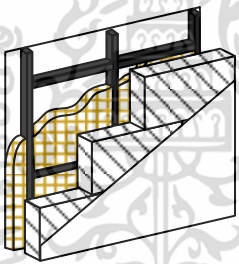
ตารางที่ 3.1 สมบัติทางความร้อนของวัสดุที่บ่งชี้ที่ใช้ในเปลือกของอาคารกรณีศึกษา

วัสดุ	การนำความร้อน (W/mK)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.K)
คอนกรีตมวลเบา	0.72	1,860	0.84
ปูนฉาบ	0.476	1,280	0.84
แผ่นยิปซัม	0.282	800	1.09
ฉนวนใยแก้ว	0.033	32	0.96
คอนกรีต	1.442	2,400	0.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

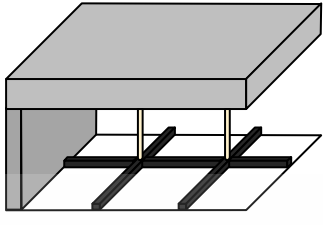
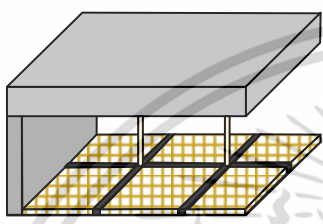
องค์ประกอบของผนังอาคารประกอบด้วยคอนกรีตมวลเบาและซีเมนต์ที่มีสีเข้มสำหรับภายนอก การปรับปรุงใหม่ทำได้โดยการติดตั้งฉนวนและแผ่นยิปซัมโดยมีช่องว่างอากาศเล็กน้อยเพื่อเพิ่มความต้านทานความร้อนของส่วนผนัง ซึ่งสามารถทำได้ง่ายและไม่ต้องรื้อผิวอาคารเก่าออก วัสดุและองค์ประกอบของวัสดุกรอบอาคารทั้งในปัจจุบันและที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ รวมถึงการส่งผ่านความร้อน (U-Value) มีรายงานอยู่ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของวัสดุที่บ่งชี้แสงที่ใช้ทำผนังอาคารกรณีศึกษา

	องค์ประกอบ	รายละเอียด	ความหนา (m)	U-Value (W/m ² .K)
ก่อนปรับปรุง		ปูนฉาบ	0.010	1.634
		คอนกรีตมวลเบา	0.200	
		ปูนฉาบ	0.010	
หลังปรับปรุง		แผ่นยิปซัม	0.015	0.396
		ฉนวนใยแก้ว	0.100	
		ช่องว่างอากาศ	0.100	
		คอนกรีตมวลเบา	0.200	
		ปูนฉาบ	0.010	

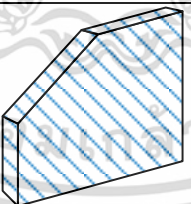
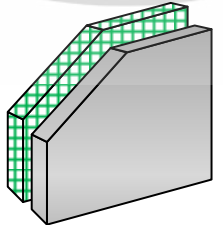
วัสดุและองค์ประกอบของหลังคาปัจจุบันประกอบด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กโดยมีช่องว่างอากาศเป็นฉนวนและแผ่นยิปซัม ในกรณีต่อเติมจะมีการติดตั้งฉนวนความร้อนขนาด 1 นิ้วบนแผ่นยิปซัมบอร์ด เพื่อหลีกเลี่ยงการระเหยน้ำหนักบนตัวยึดเพดาน แผนภาพอย่างง่ายของส่วนประกอบของวัสดุหลังคา รายละเอียดของวัสดุในส่วนประกอบ และคุณสมบัติทางความร้อนแสดงอยู่ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของวัสดุทึบแสงที่ใช้ทำหลังคาอาคารกรณีศึกษา

	องค์ประกอบ	รายละเอียด	ความหนา (m.)	U-Value (W/m ² .K)
ก่อนปรับปรุง		คอนกรีตเสริมเหล็ก	0.15	1.368
		ช่องว่างอากาศ	0.1	
		แผ่นยิปซัม	0.015	
หลังปรับปรุง		คอนกรีตเสริมเหล็ก	0.15	0.445
		ช่องว่างอากาศ	0.1	
		ฉนวนใยแก้ว	0.05	
		แผ่นยิปซัม	0.015	

ส่วนโปร่งใสของอาคารประกอบด้วยหน้าต่างกระจกใสหนา 6 มม. เท่านั้น หน้าต่างที่ปรับปรุงใหม่ใช้กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e สีเขียว โดยด้านในทำจากกระจกโพลีคาร์บอเนตสีเขียวมรกต และด้านนอกทำจากกระจกใสพร้อมการเคลือบแบบ low-e องค์ประกอบของหน้าต่างทั้งสองประเภทนี้และคุณสมบัติทางความร้อนสรุปไว้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 องค์ประกอบของวัสดุโปร่งแสงที่ใช้ทำผนังอาคารกรณีศึกษา

	รายละเอียด	องค์ประกอบ	ความหนา (m)	U-Value (W/m ² .K)	SHGC
ก่อนปรับปรุง	กระจกใส		0.06	5.74	0.82
หลังปรับปรุง	กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e สีเขียว		0.06-0.06-0.06*	2.73	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคารกรณีศึกษาในปัจจุบันมีโคมไฟที่ติดตั้งเป็นระบบไฟส่องสว่าง 2 ประเภท ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์บริเวณโซนกลาง และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent Lamp, CFL) ในแต่ละห้อง หลอดไฟทดแทนสำหรับระบบไฟส่องสว่างคือหลอดไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode, LED) ที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างมากกว่าหลอดไฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ข้อมูลจำเพาะของหลอดไฟที่ใช้ทำงานอยู่ปัจจุบันและหลอดที่นำมาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานสามารถสรุปไว้ดังตารางที่ 3.5 ความส่องสว่างบนระนาบการทำงานของทั้งโคมไฟที่ใช้ในปัจจุบันและโคมไฟทดแทนให้แสงสว่างที่ใกล้เคียงกัน นั่นคือ 200–300 lux ในห้องและ 100 lux บนทางเดิน อ้างอิงจากคณะกรรมการวิชาการระหว่างประเทศด้านการส่องสว่าง (International Commission on Illumination, CIE)

ตารางที่ 3.5 อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารก่อนและหลังปรับปรุง

หลอดไฟเดิม				
หลอดไฟ	กำลังไฟฟ้า (W)	ความสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)	จำนวน
CFL bulbs	20 W	1,200	60.00	1227
CFL bulbs	40 W	2,500	62.5.0	8
CFL bulbs	60 W	3,800	63.33	189
Fluorescent T8	18 W	1,050	58.00	235
Fluorescent T8	32 W	1,780	55.625	403
หลอดไฟหลังปรับปรุง				
LED Blub	9W	950	105.55	1227
LED Blub	14 W	1,450	103.57	8
LED Blub	27 W	3,000	111.11	189
LED Tube	9 W	1,050	116.67	235
LED Tube	18 W	1,800	100.00	403

จากตารางที่ 3.5 หลอดไฟ LED ทดแทนให้แสงสว่างที่ใกล้เคียงกันในแง่ของลูเมน เมื่อเปรียบเทียบกับโคมไฟฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม การใช้พลังงานต่ำกว่าอุปกรณ์ฟลูออเรสเซนต์ทั่วไปอย่างมาก จึงทำให้ได้รับประสิทธิภาพการส่องสว่างที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลให้การใช้พลังงานในระบบแสงสว่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และปรับปรุงด้านแสงสว่างตามเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานของอาคารในแง่ของการใช้พลังงาน เมื่อเทียบกับโคมไฟที่ติดตั้งก่อนหน้านี้

เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในอาคารกรณีศึกษาในปัจจุบันเป็นเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาแบบแยกส่วนที่ใช้มานานตั้งแต่การก่อสร้างอาคาร อย่างไรก็ตามตัวเครื่องมีอายุมากขึ้นและมีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยี ณ เวลาที่ติดตั้ง ดังนั้นยูนิททดแทนจึงเป็นแบบความเร็วแปรผัน (อินเวอร์เตอร์) ซึ่งมี SEER สูงกว่าเครื่องปัจจุบันอย่างมาก หน่วยเหล่านี้ต้องการการใช้พลังงานน้อยลงในขณะที่ยังคงความสามารถในการทำ ความเย็นและให้ความเย็นสบายในปริมาณเท่ากันกับหน่วยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การเปรียบเทียบระหว่างคุณลักษณะของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในปัจจุบันและเครื่องปรับอากาศทดแทนแสดงไว้ในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 เครื่องปรับอากาศของอาคารก่อนและหลังปรับปรุง

เครื่องปรับอากาศเดิม				
ชนิด	การทำความเย็น (BTU/hrs)	กำลังไฟฟ้า (kW)	SEER (BTU/hrs./W)	จำนวน
ความเร็วคงที่	9,000	0.700	12.850	38
	12,000	1.065	11.267	36
	18,000	1.570	11.460	42
เครื่องปรับอากาศปรับปรุง				
ปรับความเร็วได้	9,000	0.600	24.00	38
	12,000	0.930	22.50	36
	18,000	1.470	20.81	42

ในส่วนของระบบพลังงานหมุนเวียนในอาคารมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนชั้นดาดฟ้าของอาคารเพื่อผลิตไฟฟ้าและลดการใช้พลังงานทั้งหมด โดยหลังคาอาคารมีพื้นที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 630 ตร.ม. เนื่องจากพื้นที่ที่จำเป็นสำหรับการบำรุงรักษาและการหลีกเลี่ยงเงาบนแผง ดังนั้นกำลังการผลิตรวมของระบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งคือ 70 kWp เลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง นอกจากนี้ แผงยังได้รับการติดตั้งโดยทำมุมเอียง 15 องศา และหันหน้าไปทางทิศใต้ เนื่องจากมีศักยภาพในการรับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดและผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในปริมาณสูงสุดที่เป็นไปได้ ข้อมูลจำเพาะของระบบ PV ที่ติดตั้งสรุปไว้ในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลจำเพาะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง

	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน	ประสิทธิภาพ
แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์	370	220	18%
อินเวอร์เตอร์	25,000	3	98%
ประสิทธิภาพระบบโดยรวม			18%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ผลการประเมินอาคารตามเกณฑ์อนุรักษ์พลังงาน

ผลจากการประเมินอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรม BEC ที่สรุปไว้ในตารางที่ 3.8 แสดงให้เห็นว่าอาคารดังกล่าวมี OTTV สูงกว่าค่าเป้าหมายมาตรฐาน เนื่องจากปูนฉาบคอนกรีตและคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ในผนังมีการถ่ายเทความร้อนสูงกว่า นอกจากนี้ กระจกโพลีไสตไยยังมีการส่งผ่านความร้อนสูง ซึ่งส่งผลให้มาตรฐาน OTTV ล้มเหลว อย่างไรก็ตาม หลังคาของอาคารมีช่องว่างอากาศขนาดใหญ่ระหว่างคอนกรีตเสริมเหล็กและยิปซัม บริเวณนี้สามารถทำหน้าที่ต้านทานการแลกเปลี่ยนความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ภายในอาคารได้ จึงส่งผลต่อการปฏิบัติตามค่าเป้าหมายมาตรฐานของ RTTV หลังจากปรับปรุงอาคารใหม่ โปรดทราบว่า OTTV ที่ส่งรหัสพลังงานของอาคารจะลดลงอย่างมากเมื่อมีฉนวนและช่องว่างอากาศ สามารถลด RTTV ได้อีกโดยการติดตั้งฉนวนเหนือแผ่นยิปซัม ดัชนีทั้งสองนี้ได้รับการปรับปรุงในกรณีที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ ซึ่งสามารถลดผลกระทบของพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อมที่มีต่อภาระการทำความเย็นและการใช้พลังงานในเครื่องปรับอากาศได้

ตารางที่ 3.8 การถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคารเทียบกับเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานของอาคาร

	เกณฑ์มาตรฐาน	ก่อนปรับปรุง	สถานะ	หลังปรับปรุง	สถานะ
OTTV	30.00	45.490	ไม่ผ่าน	20.242	ผ่าน
RTTV	10.00	9.961	ผ่าน	3.679	ผ่าน

ในส่วนของระบบไฟส่องสว่างนั้น โคมไฟถูกแทนที่ด้วยอุปกรณ์ฟลูออเรสเซนต์ที่มีไฟ LED เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สำหรับกรณีดัดแปลง สถานที่และปริมาณจะคล้ายคลึงกับกรณีพื้นฐาน ผลจากการประเมินซอฟต์แวร์ BEC (ตารางที่ 3.9) เผยให้เห็นว่าระบบไฟส่องสว่างแบบฐานมี LPD ที่เป็นไปตามรหัสพลังงาน อย่างไรก็ตาม ค่าเข้าใกล้ขีดจำกัดด้านบนของระดับเมื่อ ซึ่งอาจส่งผลให้รหัสพลังงานไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในอนาคต หากรัฐบาลตัดสินใจลด LPD ลงอีกเพื่อกดดันให้เจ้าของอาคารนำเทคโนโลยีใหม่ๆ มาใช้ ดังนั้นในกรณีที่ติดตั้งเพิ่ม โคมไฟจะถูกแทนที่ด้วย LED เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ผลลัพธ์จากกรณีที่ได้รับการปรับปรุงใหม่แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานทั้งหมดและ LPD ลดลงอย่างมาก ในขณะที่กำลังส่องสว่างให้ปริมาณความสว่างเท่ากันบนระนาบการทำงานและให้แสงสว่างที่สบายตาเหมือนกับโคมไฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 3.9 ประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าเทียบกับเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานของอาคาร

	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
กำลังไฟรวม (W)	71,132	25,411
ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (W/m ²)	9.530	3.405
เกณฑ์มาตรฐาน (W/m ²)	12.000	12.000
สถานะ	ผ่าน	ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนองระบบปรับอากาศนั้นได้รับการประเมินเป็นรายเครื่องโดยใช้โปรแกรม BEC ดังแสดงในตารางที่ 3.10 ผลในกรณีฐานพบว่าเครื่องปรับอากาศแบบความเร็วคงที่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีค่า SEER เท่ากับค่ามาตรฐานใน กรณีเครื่องปรับอากาศขนาด 9000 บีทียู ทั้งหน่วยขนาด 12,000 บีทียูและ 18,000 บีทียูไม่ปฏิบัติตามรหัสพลังงาน ส่งผลให้ค่า SEER ต่ำกว่าค่าเมื่อมาตรฐาน ซึ่งเป็นผลมาจากอายุของเครื่องปรับอากาศและข้อจำกัดทางเทคโนโลยีในการติดตั้ง ดังนั้นกรณีดัดแปลงจึงดำเนินการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศทั้งหมดเป็นเครื่องปรับอากาศเร็วได้ นี่เป็นเทคโนโลยีล่าสุดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศทั้งหมดในกรณีดัดแปลงมี SEER สูงกว่าระดับมาตรฐานอย่างมาก จึงทำให้อาคารที่ดัดแปลงมีระยะขอบบางส่วนเมื่ออายุเครื่องเพิ่มขึ้นและมาตรฐานถูกปรับให้เข้มงวดขึ้นได้ในอนาคต

ตารางที่ 3.10 ประสิทธิภาพระบบปรับอากาศเทียบกับเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานของอาคาร

ชนิดเครื่องปรับอากาศ	การทำความเย็น (BTU/hrs)	SEER (BTU/hrs./W)	เกณฑ์อนุรักษ์พลังงาน (BTU/hrs./W)	สถานะ
ความเร็วคงที่ (ก่อนปรับปรุง)	9,000	12.850	12.85	ผ่าน
	12,000	11.267		ไม่ผ่าน
	18,000	11.460		ไม่ผ่าน
ปรับความเร็วได้ (หลังปรับปรุง)	9,000	24.00	15.00	ผ่าน
	12,000	22.50		ผ่าน
	18,000	20.81		ผ่าน

การใช้พลังงานทั้งหมดที่ได้รับจากซอฟต์แวร์ BEC ในตารางที่ 3.11 พบว่าในกรณีพื้นฐาน การใช้พลังงานสุทธิต่ำกว่าอาคารอ้างอิงตามมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม ช่องว่างระหว่างค่าเมื่อมาตรฐานและการใช้พลังงานสุทธิจะถือว่าน้อยเมื่อมีการแก้ไขรหัสพลังงานของอาคารในแง่ที่เข้มงวดยิ่งขึ้น ในกรณีที่มีการติดตั้งเพิ่มเติม การใช้พลังงานในอาคารลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกรณีพื้นฐานประมาณ 41% สำหรับระบบวัสดุกรอบอาคาร ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ ในส่วนของพลังงานหมุนเวียน ซอฟต์แวร์ของ BEC ระบุว่าติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 70 กิโลวัตต์สามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในอาคารได้สูงถึง 87,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี กำลังการผลิตนี้สามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้โดยตรง ส่งผลให้ปริมาณการใช้ที่ประเมินลดลงอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.11 การใช้พลังงานรวมของอาคารทั้งในกรณีก่อนและหลังการปรับปรุง

	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	การประหยัดพลังงาน
การใช้พลังงานรวมของอาคาร (kWh/yrs.)	1,109,565.065	648,991.600	41.51%
พลังงานจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	-	87,043.30	-
การใช้พลังงานรวมของอาคารทั้งหมด (kWh/yrs.)	1,109,565.065	561,948.30	49.36%
การใช้พลังงานรวมของอาคารอ้างอิง (kWh/yrs.)	1,531,587.941	1,531,551.704	-
สถานะ	ผ่าน	ผ่าน	-

3.4 ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจโดยใช้ดัชนีเศรษฐศาสตร์ในการปรับปรุงโครงการอาคารที่มีอยู่สามารถทำได้โดยการคำนวณต้นทุนการลงทุนเปรียบเทียบกับการประหยัดต้นทุนพลังงานที่สามารถทำได้หลังการปรับปรุงใหม่ ดังนั้นต้นทุนการลงทุนสำหรับอาคารที่มีอยู่ที่ได้รับการปรับปรุงใหม่จึงสะท้อนถึงต้นทุนวัสดุและแรงงาน การลงทุนจากโครงการภาครัฐทั้งด้านค่าวัสดุและค่าแรงต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์ของกรมบัญชีกลาง กระทรวงการคลัง ต้องพิจารณาวัสดุที่ได้มาตรฐานและค่าแรง จึงถือเป็นข้อมูลอ้างอิงในการคำนวณต้นทุนการลงทุน ต้นทุนการลงทุนสำหรับเปลือกอาคารที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ รวมถึงวัสดุ แรงงาน และอุปกรณ์ไฟฟ้า สรุปไว้ในตารางที่ 3.12 จากตารางต้นทุนวัสดุและค่าแรงสำหรับฉนวนนั้นไม่แพง อย่างไรก็ตาม กระจกที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่สูงขึ้นสำหรับหน้าต่างอาจส่งผลให้ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นสำหรับการปรับปรุงระบบกอบอาคารของอาคาร

ตารางที่ 3.12 ราคาและค่าแรงสำหรับปรับปรุงระบบกรอบอาคาร

วัสดุ	ราคาต่อหน่วย (บาท/m ²)	ค่าแรงต่อหน่วย (บาท/m ²)	ราคารวม (บาท/m ²)
คอนกรีตมวลเบา	436.45	91	527.45
ปูนฉาบ	140	93.45	233.45
คอนกรีตเสริมเหล็ก	11,419.45	2,348.5	13,767.95
แผ่นยิปซัม	372.05	87.5	459.55
ฉนวนใยแก้วขนาด 5 มม.	291.55	29.05	320.6
ฉนวนใยแก้วขนาด 10 มม.	583.45	29.05	612.5
กระจกใส	225.75	12.95	238.7
กระจกฉนวนกันความร้อนเคลือบ low-e สีเขียว	56.00	4.00	60.00

อุปกรณ์และต้นทุนการติดตั้งระบบแสงสว่างสรุปไว้ในตารางที่ 3.13 ระบบปรับอากาศสรุปได้ในตารางที่ 3.14 และระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แสดงในตารางที่ 3.15 ในกรณีระบบแสงสว่างต้นทุนอุปกรณ์ในการเปลี่ยนหลอดไฟเป็นหลอดไดโอดเปล่งแสงต่ำ เนื่องจากต้นทุนค่าโคมไฟซึ่งลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งได้รับการแก้ไขแล้ว สำหรับโคมไฟประเภทต่างๆ ในส่วนของระบบปรับอากาศนั้น ค่าติดตั้งจะรวมอยู่ในค่าเครื่องปรับอากาศแล้ว สุดท้ายนี้ ในส่วนของพลังงานหมุนเวียน ต้นทุนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ลดลงอย่างมาก ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ในทางตรงกันข้าม ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ประกอบด้วยการรื้อหลังคาเมทัลชีทบนหลังคา และการก่อสร้างโครงสร้างระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 3.13 ราคาและค่าแรงสำหรับปรับปรุงระบบแสงสว่าง

หลอดไฟ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ค่าติดตั้งต่อโคม (บาท)	ราคารวม (บาท)
LED Bulb 9 W	1227	89.95	140	282,005.50
LED Blub 14 W	8	752.5	140	7,140.00
LED Blub 27 W	189	1093.05	140	233,068.50
LED Tube 9 W	235	173.95	140	73,750.95
LED Tube 18 W	403	193.55	140	134,467.55
รวม				730,432.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.14 ราคาและค่าแรงสำหรับปรับปรุงระบบปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศ	ขนาด (BTU/hrs)	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
แบบอินเวอร์เตอร์	9000	38	20,066.55	762,533.45
	12,000	36	22,516.55	810,600.00
	18,000	42	30,216.55	1,269,100.00
รวม				2,842,233.45

ตารางที่ 3.15 ราคาและค่าแรงสำหรับติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ค่าติดตั้ง (บาท)	ราคารวม (บาท)
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 370 W	220	4,375.00	-	9,625,000.00
อินเวอร์เตอร์ขนาด 25 kW	3	227,500.00	-	682,500.00
โครงสร้างและอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ	-	-	350,000.00	350,000.00
ค่าแรงติดตั้ง	-	-	933,333.45	933,333.45
รวม				2,928,333.45

ผลลัพธ์ทางเศรษฐกิจสามารถประเมินได้โดยการคำนวณต้นทุนการลงทุนและการลดต้นทุนค่าไฟฟ้า ค่าไฟฟ้าตามระยะเวลาการใช้งาน สำหรับอาคารกรณีศึกษา อยู่ที่ 4.3297 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง อัตราดอกเบี้ยที่ใช้ในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันในการศึกษานี้คือ 1.75% ตามการคาดการณ์ของธนาคารแห่งประเทศไทย ปัจจัยการบำรุงรักษาสำหรับเปลือกอาคาร ซึ่งรวมถึงอัตราการเสื่อมสภาพของวัสดุก่อสร้าง ถูกตั้งไว้ที่ประมาณ 0.8% ต่อปีในการศึกษานี้ ผลการประหยัดพลังงานสุทธิจากซอฟต์แวร์ BEC ในกรณีอาคารดัดแปลงมาคำนวณการประหยัดพลังงานในรูปค่าไฟฟ้าสรุปได้ในตารางที่ 3.16 กระแสเงินสดประจำปีจากโครงการปรับปรุง 10 ปี และผลลัพธ์ในแง่ตัวชี้วัดทางเศรษฐกิจแสดงไว้ในตารางที่ 3.17

ตารางที่ 3.16 ผลการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อปีหลังปรับปรุงอาคาร

	การใช้พลังงาน (หน่วยต่อปี)	ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อปี)
ก่อนปรับปรุง	1,109,565.07	155,339.11
หลังปรับปรุง	561,948.30	78,672.76
ผลการประหยัด	547,616.77	76,666.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.17 กระแสเงินหมุนเวียนต่อปีหลังปรับปรุงอาคาร

ปี	ต้นทุน	อัตราการเสื่อม	พลังงานที่ลดลง (kWh/yrs.)	ค่าใช้จ่ายพลังงานที่ ลดลง (บาท)	กระแสเงิน (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน (บาท)	รวม (บาท)
0	11,167,835.00	-	547,616.77	-	(11,167,835.00)	(11,167,835.00)	(11,167,835.00)
1		0.80	543,235.83	2,661,855.70	2,661,855.70	2,609,662.30	(8,558,172.70)
2	-	1.60	538,854.90	2,640,389.15	2,640,389.15	2,537,859.45	(6,020,313.25)
3	-	2.40	534,473.96	2,618,922.25	2,618,922.25	2,467,869.25	(3,552,444.35)
4	-	3.20	530,093.03	2,597,455.70	2,597,455.70	2,399,647.60	(1,152,796.40)
5	-	4.00	525,712.09	2,575,989.15	2,575,989.15	2,333,152.85	1,180,356.10
6	-	4.80	521,331.16	2,554,522.60	2,554,522.60	2,268,343.00	3,448,699.45
7	-	5.60	516,950.23	2,533,056.05	2,533,056.05	2,205,177.80	5,653,877.25
8	-	6.40	512,569.29	2,511,589.50	2,511,589.50	2,143,617.35	7,797,494.60
9	-	7.20	508,188.36	2,490,122.95	2,490,122.95	2,083,623.50	9,881,118.10
10	-	8.00	503,807.42	2,468,656.40	2,468,656.40	2,025,158.10	11,906,276.20
IRR (%)							19.32
DPP (ปี)							4.36

ตารางแสดงว่าต้นทุนเริ่มแรกสูง อย่างไรก็ตาม รายได้ในแง่ของการประหยัดต้นทุนพลังงานสามารถชดเชยต้นทุนการลงทุนในแต่ละปีได้ ปริมาณการประหยัดพลังงานจะลดลงในแต่ละปีเนื่องจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์และข้อกำหนดในการบำรุงรักษาบางประการ ซึ่งรวมอยู่ในปัจจัยการบำรุงรักษา ในด้านตัวชี้วัดทางเศรษฐกิจ การประหยัดพลังงานจากอาคารที่มีอยู่เดิมที่ได้รับการปรับปรุงใหม่สามารถบรรลุ DPP ได้ภายในระยะเวลา 4.36 ปี และมีค่า IRR อยู่ที่ 19.23% ซึ่งสามารถคืนทุนได้อย่างรวดเร็วและถือเป็นตัวชี้วัดการลงทุนที่น่าสนใจมาก การประเมินตามตัวชี้วัดทางเศรษฐกิจพบว่าโครงการดัดแปลงมีความเป็นไปได้และมีศักยภาพในการคืนเงินลงทุนให้กับเจ้าของโครงการ ซึ่งหมายความว่าราคาที่ลดลงเป็นผลมาจากวัสดุและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ระบบบริหารจัดการพลังงาน

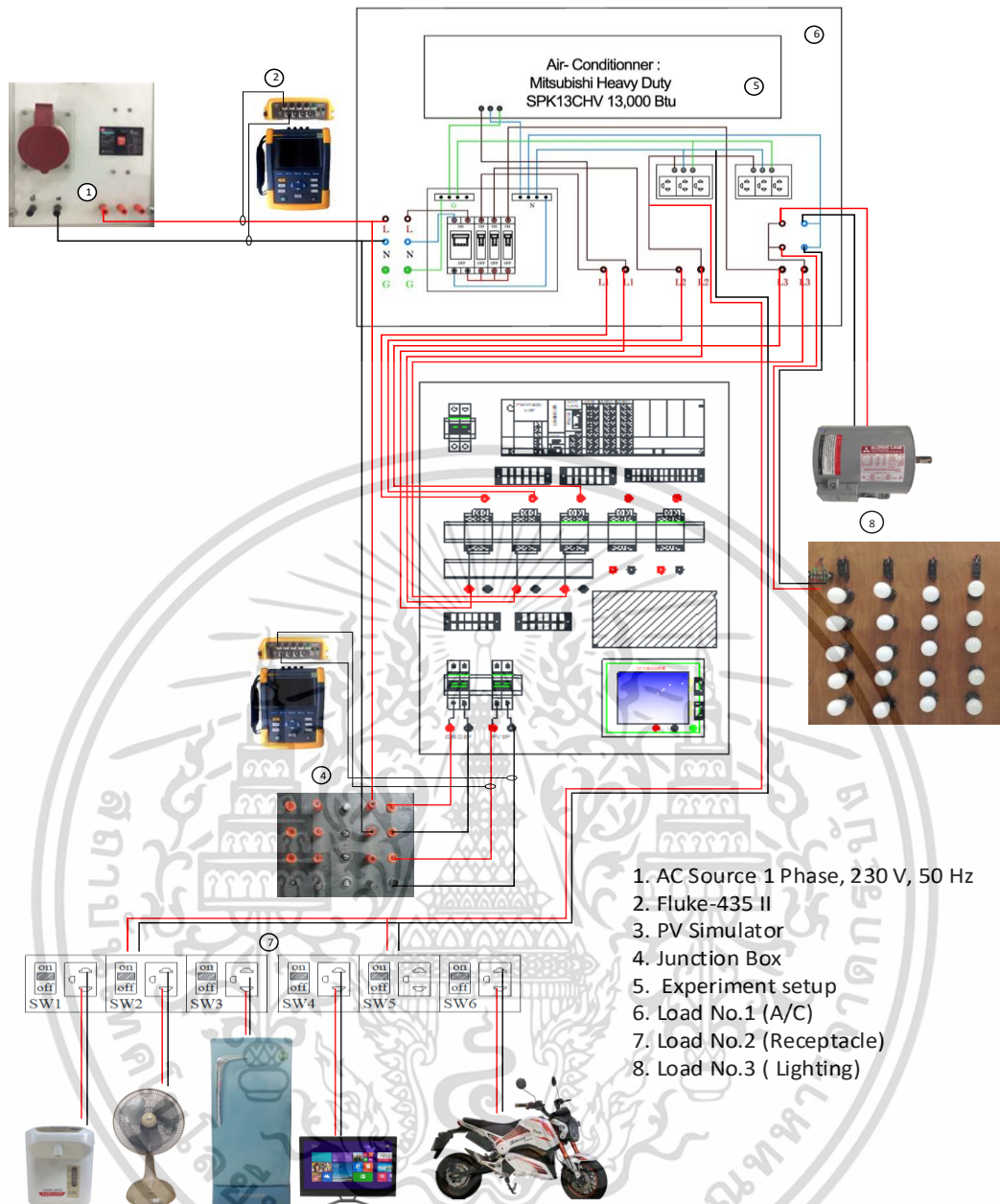
4.1 พฤติกรรมทางไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าภายในอาคารที่พักอาศัย

พฤติกรรมทางไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทนั้นลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน ซึ่งการทำงานร่วมกันของเครื่องใช้ไฟฟ้าในที่พักอาศัยนั้นสามารถส่งผลกระทบต่อความต้องการไฟฟ้าของระบบได้ ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาพฤติกรรมทางไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าแต่ละประเภท โดยใช้เครื่องมือวัดคุณภาพไฟฟ้ามาเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าเมื่อมีการทำงานในสภาวะต่าง ๆ ซึ่งภาระไฟฟ้าในอาคารที่พักอาศัยที่ได้นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองภาระไฟฟ้าของอาคาร

วงจรไฟฟ้าย่อย	อุปกรณ์ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	จำนวน
1.เครื่องปรับอากาศ	เครื่องปรับอากาศ ขนาด 13,000 BTU	1,500	1 เครื่อง
2.ภาระไฟฟ้าเตารีด	พัดลม ขนาด 21 นิ้ว	80	1 เครื่อง
	กาต้มน้ำไฟฟ้า	700	1 เครื่อง
	มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 1/4 แรงม้า	200	1 เครื่อง
	มอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า	2,000	1 คัน
	โทรทัศน์ ขนาด 24 นิ้ว	30	1 เครื่อง
	ตู้เย็น ขนาด 6.1 คิว	100	1 เครื่อง
3.ภาระไฟฟ้าแสงสว่าง	หลอด LED ขั้ว E27	10.5	10 หลอด
	หลอดฟลูออเรสเซนต์ LED ขั้ว T8	8	10 หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ และเครื่องมือวัดในวัดพฤติกรรมภาระไฟฟ้าในอาคาร

ตารางการใช้พลังงานไฟฟ้าใน 2 กรณี ดังต่อไปนี้ กรณีที่ 1 การใช้ภาระไฟฟ้าในช่วงวันจันทร์ – ศุกร์ ซึ่งเป็นวันทำการ มีลักษณะการใช้ไฟฟ้าต่ำในช่วงเวลากลางวัน และใช้ไฟฟ้าสูงในช่วงเย็นหลังเลิกงาน และกรณีที่ 2 การใช้ภาระไฟฟ้าในช่วงวันเสาร์ – อาทิตย์ ซึ่งเป็นวันหยุด มีลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวัน โดยตารางช่วงเวลาการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคารที่พักอาศัยทั้งในกรณีที่เป็วันธรรมดา (กรณีที่ 1) และวันหยุด (กรณีที่ 2) สำหรับการทดลองสามารถจำลองพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในที่อยู่อาศัยในช่วงวันจันทร์ – ศุกร์ ซึ่งลักษณะการใช้ภาระไฟฟ้าเป็นไปตามตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ลักษณะการใช้ภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยใน 1 วัน สำหรับกรณีที่ 1

เวลา	กรณี 1							
	LT	FN	HP	PC	MT	MB	RF	AC
06.00 - 07.00	√	√	√		√		√	
07.00 - 08.00							√	
08.00 - 09.00							√	
09.00 - 10.00							√	
10.00 - 11.00							√	
11.00 - 12.00							√	
12.00 - 13.00							√	
13.00 - 14.00							√	
14.00 - 15.00							√	
15.00 - 16.00							√	
16.00 - 17.00							√	
17.00 - 18.00	√	√	√		√		√	
18.00 - 19.00	√	√		√			√	
19.00 - 20.00	√	√		√		√	√	
20.00 - 21.00	√	√		√		√	√	
21.00 - 22.00	√					√	√	√
22.00 - 23.00	√					√	√	√
23.00 - 00.00							√	√
00.00 - 01.00							√	√
01.00 - 02.00							√	√
02.00 - 03.00							√	√
03.00 - 04.00							√	√
04.00 - 05.00							√	√
05.00 - 06.00	√						√	√

LT = โหลดแสงสว่าง FN = พัดลม HP = กาดัมน้ำ MT = มอเตอร์ไฟฟ้า
 MB = มอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า PC = คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ RF = ตู้เย็น AC = เครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองพฤติกรรมการใช้พลังงานภายในที่อยู่อาศัยในช่วงวันเสาร์ – อาทิตย์ จะมีลักษณะการใช้ภาระไฟฟ้าเป็นไปตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ลักษณะการใช้ภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยใน 1 วัน สำหรับกรณีที่ 2

เวลา	กรณี 2							
	LT	FN	HP	PC	MT	MB	RF	AC
06.00 - 07.00			✓				✓	
07.00 - 08.00							✓	
08.00 - 09.00					✓		✓	
09.00 - 10.00		✓		✓			✓	
10.00 - 11.00		✓		✓			✓	
11.00 - 12.00		✓		✓			✓	✓
12.00 - 13.00		✓	✓	✓	✓		✓	✓
13.00 - 14.00		✓		✓			✓	✓
14.00 - 15.00		✓		✓			✓	✓
15.00 - 16.00		✓					✓	✓
16.00 - 17.00		✓					✓	
17.00 - 18.00	✓	✓	✓		✓		✓	
18.00 - 19.00	✓	✓					✓	
19.00 - 20.00	✓	✓				✓	✓	
20.00 - 21.00	✓	✓				✓	✓	
21.00 - 22.00	✓					✓	✓	✓
22.00 - 23.00	✓					✓	✓	✓
23.00 - 00.00							✓	✓
00.00 - 01.00							✓	✓
01.00 - 02.00							✓	✓
02.00 - 03.00							✓	✓
03.00 - 04.00							✓	✓
04.00 - 05.00							✓	✓
05.00 - 06.00							✓	✓

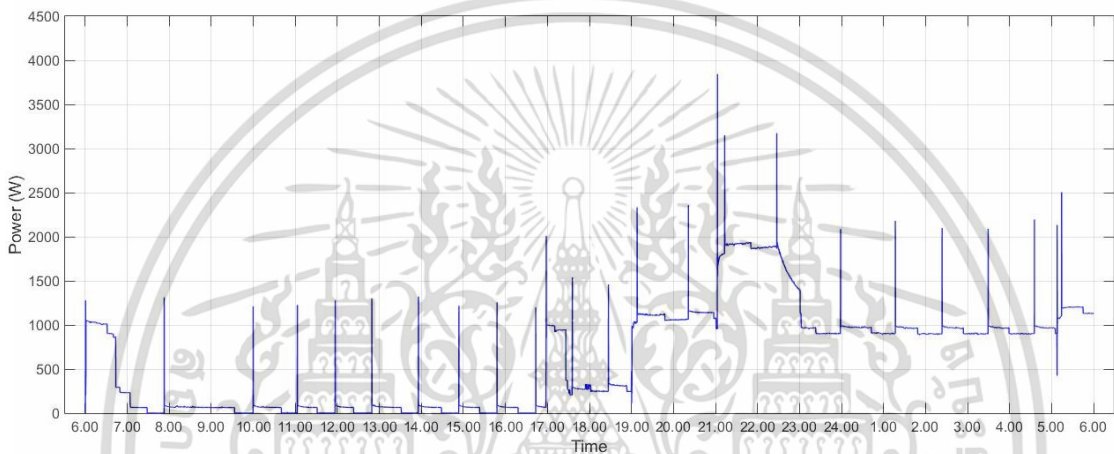
LT = โหลดแสงสว่าง FN = พัดลม HP = กาดัมน้ำ MT = มอเตอร์ไฟฟ้า

MB = มอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า PC = คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ RF = ตู้เย็น AC = เครื่องปรับอากาศ

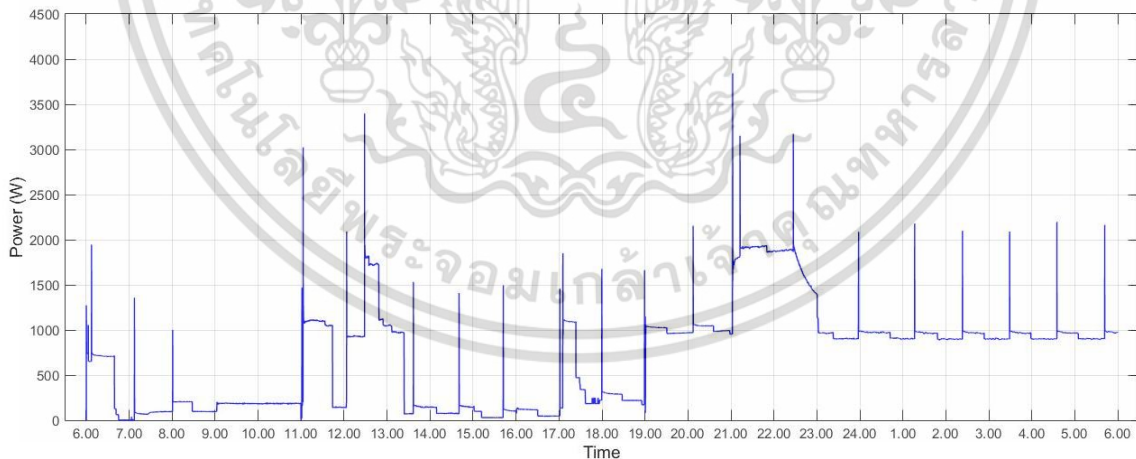
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางแสดงลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยใน 1 วัน โดยใช้ภาระไฟฟ้า ได้แก่ ภาระไฟฟ้าแสงสว่าง, พัดลม, กาดัมน้ำไฟฟ้า, มอเตอร์ไฟฟ้า, คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ, ตู้เย็น, เครื่องปรับอากาศ และมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า มาต่อเข้ากับชุดทดลองตามเวลาที่ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า โดยใช้เครื่องมือวัดค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าของชุดทดลอง เมื่อทำการต่อภาระไฟฟ้าแล้ว ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า เพื่อนำค่าที่ได้จากการวัดมาสร้างเป็นกราฟช่วงเวลาของภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย ซึ่งทำการสร้างกราฟภาพรวมใน 24 ชั่วโมงหรือ 1 วัน โดยแสดงกราฟช่วงเวลาของภาระไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยของกรณีในวันจันทร์ – ศุกร์ ได้ดังรูปที่ 4.2 (ก) และกรณีวันเสาร์-อาทิตย์ได้ดังรูปที่ 4.2 (ข)



(ก) กรณีใช้ภาระไฟฟ้าในวันธรรมดา (กรณีที่ 1)



(ข) กรณีใช้ภาระไฟฟ้าในวันหยุด (กรณีที่ 2)

รูปที่ 4.2 กราฟการใช้งำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ 1 จากกราฟช่วงเวลาของภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยในช่วงพบว่าช่วงเวลา 06.00 - 07.00 น. มีใช้ภาระไฟฟ้า คือ หลอดไฟ พัดลม กาดม้มน้ำไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า และตู้เย็นในช่วงแรกมีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงประมาณ 1,037 วัตต์ เนื่องจากการทำงานของกาดม้มน้ำไฟฟ้า ที่อยู่ในช่วงดม้มน้ำ และเนื่องจากมีหลอดที่มีมอเตอร์เป็นส่วนประกอบ ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้า และตู้เย็นทำให้ในช่วงแรกมีกำลังไฟฟ้าสูง ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้กระแสมากในช่วงสตาร์ท ช่วงเวลา 07.00 - 17.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ ตู้เย็น ใช้กำลังไฟฟ้า 84 วัตต์ในช่วงที่ทำงาน ช่วงเวลา 17.00 - 18.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ หลอดไฟ พัดลม กาดม้มน้ำไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า และตู้เย็นโดยจะมีลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าคล้ายกับช่วง 06.00 - 07.00 น. ช่วงเวลา 18.00 - 19.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ หลอดไฟ พัดลม คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ และตู้เย็น ในช่วงนี้มีการลดการใช้กำลังไฟฟ้าง เนื่องจากไม่มีกาดม้มน้ำไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้าทำให้มีการใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นลดลงเหลือประมาณ 360 วัตต์ ช่วงเวลา 19.00 - 21.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ หลอดไฟ พัดลม มอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ และตู้เย็น ในช่วงนี้มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นเนื่องจากมีการชาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ของมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในโหมดชาร์จเร็ว โดยใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 1,192 วัตต์ ช่วงเวลา 21.00 - 23.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ หลอดไฟ มอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ และตู้เย็น โดยใช้กำลังไฟฟ้าจาก 1,984 วัตต์ ลดลงเหลือประมาณ 1,000 วัตต์เป็นผลมาจากการเปลี่ยนโหมดการชาร์จแบตเตอรี่ของมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้าจากโหมดชาร์จเร็ว เป็นโหมดชาร์จแบบปกติ โดยค่ากำลังไฟฟ้ามีค่าลดต่ำลงตามเวลาที่ระดับแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งแบตเตอรี่เต็ม ช่วงเวลา 23.00 - 05.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ เครื่องปรับอากาศ และตู้เย็น มีการใช้กำลังไฟฟ้าเป็นช่วงๆ คือช่วงใช้ไฟฟ้าเกิดค่าไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 2,100 วัตต์ไม่ถึง 1 นาทีเนื่องจากคอมเพรสเซอร์ทำงานคล้ายกับมอเตอร์ จึงมีการกระชากของกระแสไฟฟ้า และลดกำลังไฟฟ้าเหลือประมาณ 980 วัตต์ โดยแต่ละช่วงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในห้องสลับกันเพื่อทำการรักษาอุณหภูมิและสุดท้ายช่วงเวลา 05.00 - 06.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ หลอดไฟ เครื่องปรับอากาศ และตู้เย็น มีการใช้กำลังไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ประมาณ 1,150 วัตต์

ในกรณีที่ 2 จากกราฟช่วงเวลาของภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยในช่วงพบว่าช่วงเวลา 06.00 - 07.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ กาดม้มน้ำไฟฟ้า และตู้เย็นในช่วงแรกมีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงประมาณ 710 วัตต์ เนื่องจากการทำงานของกาดม้มน้ำไฟฟ้า ที่อยู่ในช่วงดม้มน้ำ และเนื่องจากมีหลอดที่มีมอเตอร์เป็นส่วนประกอบ ได้แก่ ตู้เย็นทำให้ในช่วงแรกมีกำลังไฟฟ้าสูง ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้กระแสมากในช่วงสตาร์ท ช่วงเวลา 07.00 - 08.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ ตู้เย็น ใช้กำลังไฟฟ้า 84 วัตต์ในช่วงที่ทำงาน ช่วงเวลา 08.00 - 09.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ มอเตอร์ไฟฟ้า และตู้เย็น ใช้กำลังไฟฟ้า 180 วัตต์ ช่วงเวลา 09.00 - 11.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ พัดลม คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ และตู้เย็น ใช้กำลังไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ประมาณ 190 วัตต์ ช่วงเวลา 11.00 - 12.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ พัดลม คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ เครื่องปรับอากาศ และตู้เย็น ในช่วงนี้มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นเป็นผลมาจากการใช้เครื่องปรับอากาศ โดยมีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงประมาณ 1,100 วัตต์ ช่วงเวลา 12.00 - 13.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ พัดลม คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ กาดม้มน้ำ มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ และตู้เย็น มีการใช้กำลังไฟฟ้า 1,700 วัตต์ในช่วง 20 นาทีแรก เนื่องจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

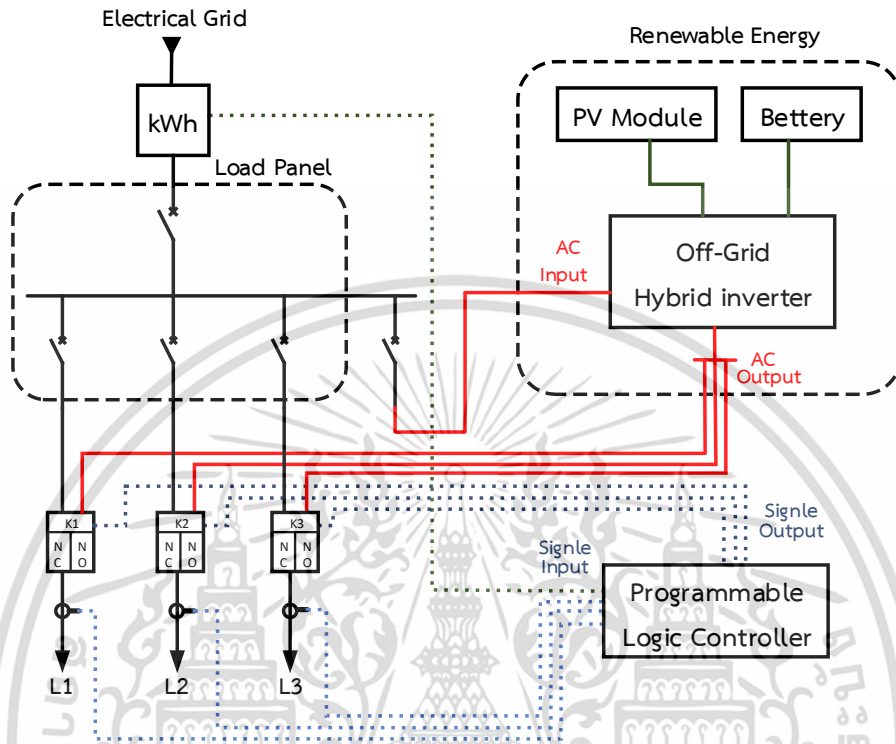
การทำงานของกาดม่น้ำ และหลังจากน้ำเดือด หรืออยู่ในช่วงรักษาอุณหภูมิกำลังไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 1,145 วัตต์ ช่วงเวลา 13.00 - 15.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ พัดลม คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ เครื่องปรับอากาศ และตู้เย็น ใช้กำลังไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ประมาณ 1,090 วัตต์ ช่วงเวลา 15.00 - 16.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ พัดลม เครื่องปรับอากาศ และตู้เย็น ใช้กำลังไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ประมาณ 1,030 วัตต์ ช่วงเวลา 16.00 - 17.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ ตู้เย็น และพัดลม ใช้กำลังไฟฟ้า 135 วัตต์ในช่วงที่ทำงาน ช่วงเวลา 17.00 - 18.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ หลอดไฟ พัดลม กาดม่น้ำไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า และตู้เย็นมีการใช้กำลังไฟฟ้า 1,040 วัตต์ในช่วง 20 นาทีแรก เนื่องจากการทำงานของกาดม่น้ำ และหลังจากน้ำเดือด หรืออยู่ในช่วงรักษาอุณหภูมิกำลังไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 465 วัตต์ ช่วงเวลา 18.00 - 19.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ หลอดไฟ พัดลม และตู้เย็น ในช่วงนี้มีการลดการใช้กำลังไฟฟ้าลง เนื่องจากไม่มีกาดม่น้ำไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้าทำให้มีการใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงเริ่มต้นลดลงเหลือประมาณ 308 วัตต์ ช่วงเวลา 19.00 - 21.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ หลอดไฟ พัดลม มอเตอร์ไซค์ และตู้เย็น ในช่วงนี้มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นเนื่องจากมีการชาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ของมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในโหมดชาร์จเร็ว โดยใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 1,140 วัตต์ ช่วงเวลา 21.00 - 23.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ หลอดไฟ มอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ และตู้เย็น โดยใช้กำลังไฟฟ้าจาก 1,984 วัตต์ ลดลงเหลือประมาณ 1,000 วัตต์เป็นผลมาจากการเปลี่ยนโหมดการชาร์จแบตเตอรี่ของมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้าจากโหมดชาร์จเร็ว เป็นโหมดชาร์จแบบปกติ โดยค่ากำลังไฟฟ้ามีค่าลดต่ำลงตามเวลาที่ระดับแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งแบตเตอรี่เต็ม ช่วงเวลา 23.00 - 06.00 น. มีการใช้ภาระไฟฟ้า คือ เครื่องปรับอากาศ และตู้เย็น มีการใช้กำลังไฟฟ้าเป็นช่วง คือช่วงใช้ไฟฟ้าเกิดค่าไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 2,100 วัตต์ ไม่ถึง 1 นาทีเนื่องจากคอมพิวเตอร์ทำงานคล้ายกับมอเตอร์ จึงมีการกระชากของกระแสไฟฟ้า และลดกำลังไฟฟ้าเหลือประมาณ 980 วัตต์ โดยแต่ละช่วงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในห้องสลับกันเพื่อทำการรักษาอุณหภูมิ

4.2 ระบบบริหารจัดการพลังงาน

สำหรับระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย เป็นระบบที่ใช้จำกัดหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน เพื่อให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้า และลดค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้งาน ได้มีการนำเอาตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ (PLC) มาใช้ควบคุมระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อช่วยจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยในช่วงเวลาที่มีการใช้ภาระไฟฟ้าที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง

ระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย โดยใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ซึ่งถูกควบคุมโดยตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ สามารถแสดงแผนภาพเส้นเดี่ยวได้ดัง รูปที่ 4.3 โดยตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ทำการรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้จากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า เมื่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้จากการไฟฟ้ามีค่าสูงเกินกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวควบคุมโปรแกรมได้วิเคราะห์ (หลักการวิเคราะห์ในส่วนของรูปแบบการทำงานกล่าวในหัวข้อถัดไป) ตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ทำการส่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นาไปเซประยเชขนดานการคา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไปตัดต่อแมกเนติกคอนแทคเตอร์ เพื่อเปลี่ยนแหล่งจ่ายจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า เป็นระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเลือกจ่ายให้วงจรที่มีการใช้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด จากการตรวจวัดขนาดกระแสในแต่ละวงจรด้วย CT1 CT2 และ CT3



รูปที่ 4.3 แผนภาพเส้นเดียวของระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย

โดยระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัยสามารถแบ่งระบบย่อยออกมาได้ประกอบไปด้วย ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์นี้จะนำมาเพื่อช่วยจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย เพื่อเป็นการช่วยลดค่าหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้า สำหรับระบบดังกล่าวประกอบด้วยอุปกรณ์ทั้งหมด 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 4.4

1. เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Simulator) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่สามารถจำลองพฤติกรรมไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถจำลองลักษณะไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์รองรับการทำงานร่วมกับอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (inverter) อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในรูปแบบระบบอิสระ (Off grid) และระบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (On grid) โดยมีพิกัดทางไฟฟ้าดังนี้ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 75 โวลต์, กระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์ และกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์

2. แบตเตอรี่ (Battery) เป็นแหล่งสะสมพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำหน้าที่ประจุไฟฟ้า

ส่วนที่เกินระหว่างไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ กับไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งการปริิณญาณิพจน์นี้เลือกใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ชนิดคายประจุลึก (Deep cycle) มีพิกัดทางไฟฟ้า คือ กระแสไฟฟ้า 60 แอมแปร์-ชั่วโมง, แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ใช้ทั้งหมดจำนวน 8 ก้อนเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้า 48 โวลต์ทำการต่ออนุกรม 4 ก้อน 2 ชุดแล้วนำมาต่อขนานกัน ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter)

3. อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter) เป็นอุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากเครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อจ่ายชุดทดลองภาระไฟฟ้ากระแสสลับ และประจุลงแบตเตอรี่ในกรณีที่ไม่มีภาระจ่ายให้กับชุดทดลอง สำหรับในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ขัดข้อง เช่น กรณีที่พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่ไม่เพียงพอต่อการจ่ายภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย จะทำการดึงพลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้ามาจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าแทน พิกัดแรงดันไฟฟ้าเชื่อมแบตเตอรี่ 48 โวลต์, พิกัดเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อม 48-90 โวลต์, พิกัดกำลังไฟฟ้าขาออก 2,000 วัตต์



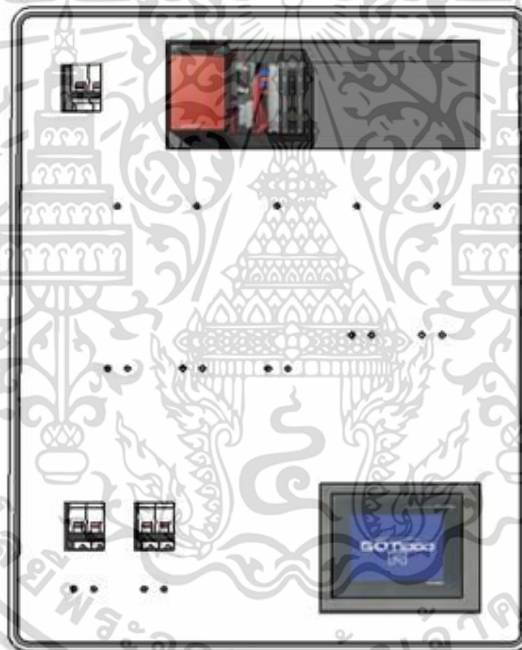
(ก) เครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (ข) แบตเตอรี่ (ค) อุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ

รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาประมวลผลค่าพลังงานไฟฟ้า และตัดต่อแหล่งจ่าย ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 6 ส่วนสามารถแสดงอุปกรณ์ภายในระบบควบคุมได้ดังรูปที่ 4.5 ได้แก่

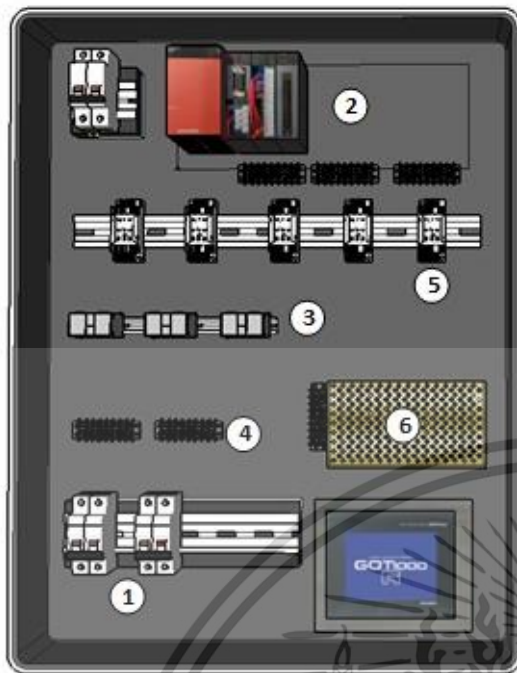
1. อุปกรณ์ตัดวงจร (Circuit Breaker) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตัดต่อกระแสไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์ภายในชุดควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตัดวงจร 3 ตัว ตัวแรกเป็นตัวที่ตัดวงจรของทั้งชุดควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ตัวที่สองเป็นตัวตัดวงจรการทำงานของตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ และตัวสุดท้ายเป็นตัวตัดวงจรของแหล่งจ่ายเซลล์แสงอาทิตย์ พิกัดทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง คือ 20 AT, 400 V
 2. ตัวควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) ตัวควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่รับเข้ามาและสั่งการอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ทำหน้าที่ตามที่กำหนดไว้
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current transformer) หม้อแปลงกระแสเป็นอุปกรณ์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าในแต่ละวงจรไฟฟ้า ภายในชุดควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าติดตั้งหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าทั้งหมด 3 ตัว เนื่องจากมี 3 วงจร พิกัดทางไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง คือ 0-50 A
4. แผงขั้วต่อสายไฟ (Terminal) แผงขั้วต่อสายไฟเป็นอุปกรณ์สำหรับเชื่อมสายไฟ
5. แมกเนติกคอนแทกเตอร์ (Magnetic contactor) อุปกรณ์สวิตช์ตัดต่อวงจรไฟฟ้า เพื่อการเปิด-ปิดของหน้าสัมผัส (Contact) ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยในการเปิด-ปิดหน้าสัมผัส ในการตัดต่อวงจรไฟฟ้า ภายในชุดควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าติดตั้งแมกเนติกคอนแทกเตอร์ทั้งหมด 3 ตัว
6. หน้าจอแสดงผล เป็นอุปกรณ์สำหรับแสดงข้อมูลต่าง ๆ ของระบบ โดยในระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้ามีการรับข้อมูลมาจากตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้
- 7.



(ก) ด้านหน้าของระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

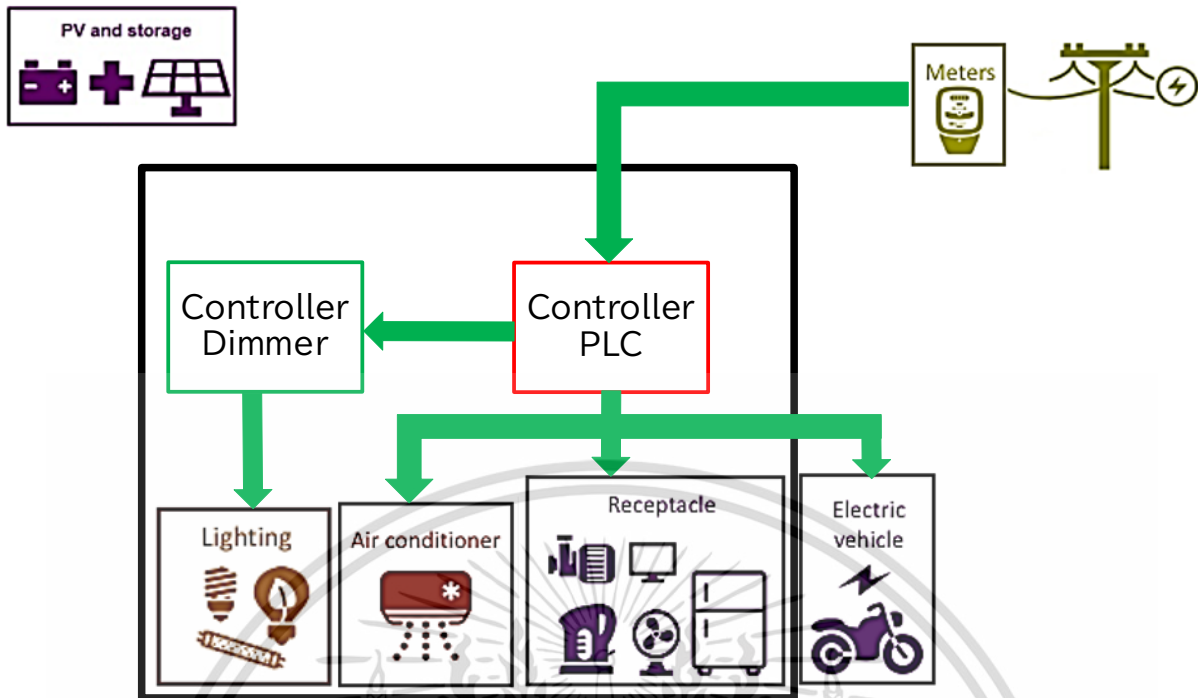


1. Circuit Breaker
2. PLC (CPU, QJ71C24N ,Q68AD-G)
3. CT
4. Terminal
5. Magnetic contactor
6. Got 1000

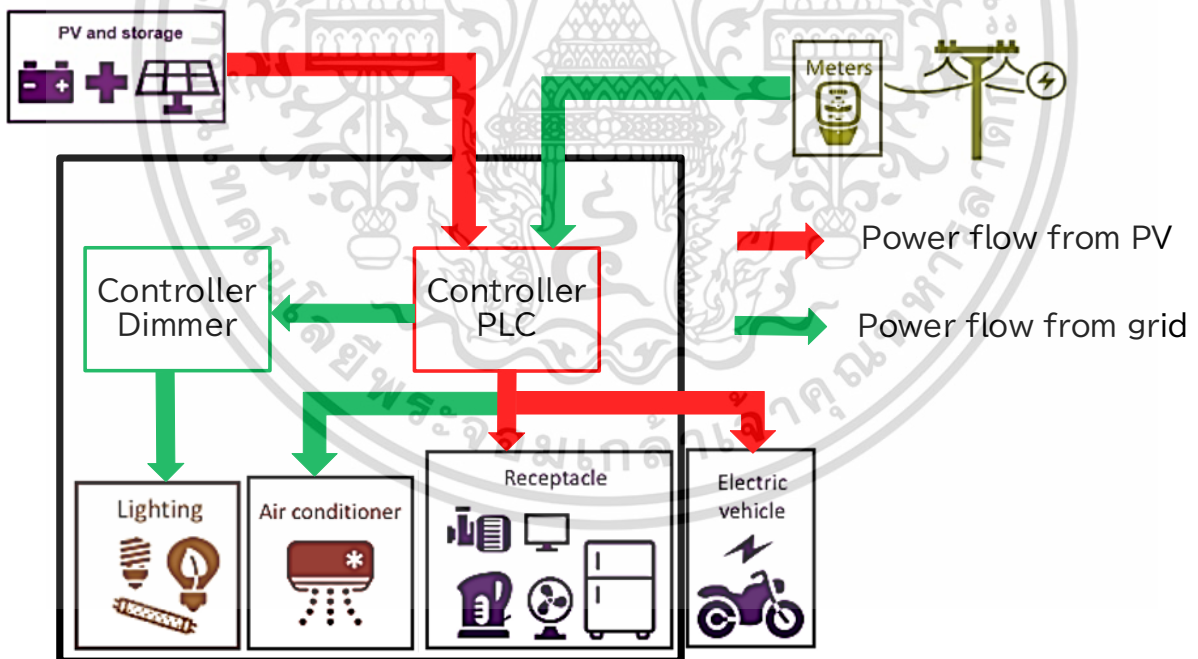
(ข) อุปกรณ์ภายในระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 4.5 ระบบควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับระบบการจัดการพลังงานในภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย เป็นการนำเอาพลังงานจากระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์มาช่วยจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าในขณะที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง โดยลักษณะการไหลของพลังงานไฟฟ้าในสถานะที่ไม่มีการใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ และสถานะที่มีการใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นดังรูปที่ 4.6 สำหรับการควบคุมการจ่ายพลังงานจากระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ สั่งจ่ายเมื่อมีการใช้ค่ากำลังไฟฟ้าเกินค่าที่กำหนดไว้



ก) สถานะที่ไม่มีการใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์



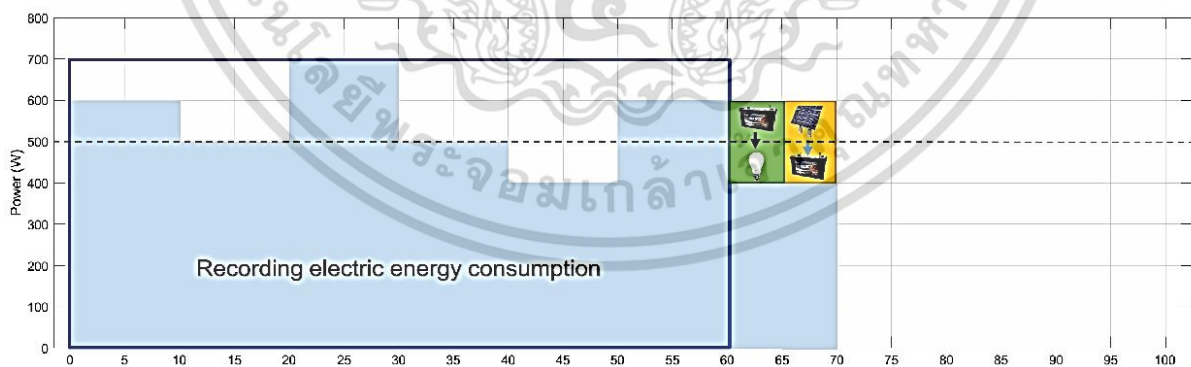
ข) สถานะที่มีการใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 4.6 ลักษณะการไหลของพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

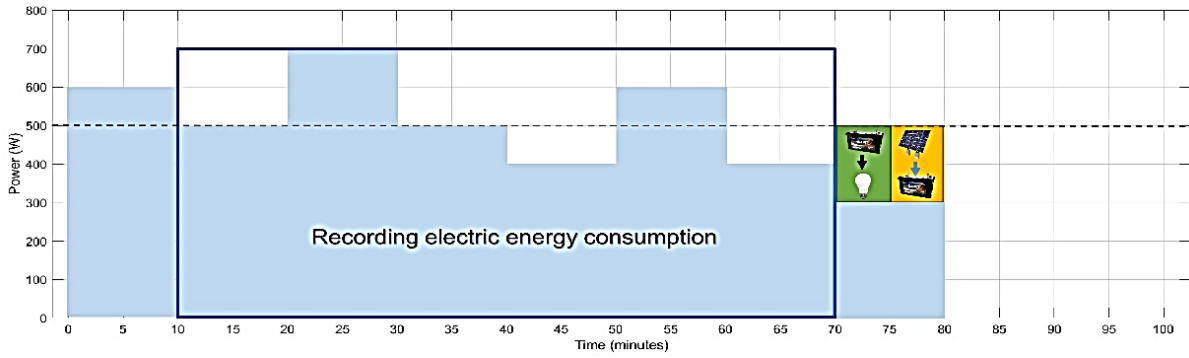
การทำงานของระบบทำการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 ชั่วโมงก่อนหน้า โดยเริ่มจากการเก็บค่ากำลังไฟฟ้าทุก ๆ 1 นาที ซึ่งเมื่อครบ 10 นาทีจะทำการรวมเก็บไว้เป็น 1 ชุดข้อมูล และทำอย่างนี้เป็นจำนวน 6 ชุดข้อมูล รวม 60 นาที จากนั้นนำข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าทั้ง 6 ชุดข้อมูลมาหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยภายใน 1 ชั่วโมง (P_{sum}) หากค่าดังกล่าวเกินกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดไว้ ($P_{setting}$) ระบบทำการวัดค่ากระแสในแต่ละวงจรสำหรับในกรณีที่ CT1 มากกว่า CT2 และ CT3 ตัวควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) ทำการสั่งการให้แมคเนติกคอนแทคเตอร์ตัวที่ 1 เชื่อมเข้าสู่วงจร แสดงว่า ณ ขณะนั้นมีพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายเข้ามาในวงจรเครื่องปรับอากาศ แต่ในกรณีที่ CT2 มากกว่า CT1 และ CT3 ตัวควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) ทำการสั่งการให้แมคเนติกคอนแทคเตอร์ตัวที่ 2 เชื่อมเข้าสู่วงจร แสดงว่า ณ ขณะนั้นมีพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายเข้ามาในวงจรเตารีด นอกเหนือจากกรณีที่กล่าวมาจะทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่วงจรแสงสว่าง ระบบพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำการจ่ายพลังงานเป็นระยะเวลา 5 นาที และทำการประจุพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้นระบบทำการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยภายใน 1 ชั่วโมงใหม่อีกครั้งในอีก 10 นาทีถัดมา อาจกล่าวได้ว่า ระบบคำนวณค่าใหม่ทุก ๆ 10 นาที โดยค่าที่นำมาคำนวณเป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในหนึ่งชั่วโมงย้อนหลัง

จากรูปที่ 4.7 (ก) ค่ากำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 0 – 60 นาที มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยภายใน 1 ชั่วโมง เกินกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดไว้ ($P_{setting}$) ดังนั้นจึงมีการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้า โดยมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้กับภาระไฟฟ้า 5 นาที และมีการประจุพลังงานไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ 5 นาที ซึ่งรูปที่ 4.7 (ข) มีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกัน ในรูปที่ 4.7 (ค) และ 4.7 (ง) ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยภายใน 1 ชั่วโมงมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดไว้ ($P_{setting}$) จึงไม่มีการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้า มีเพียงแต่การประจุพลังงานไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ โดยแผนผังการทำงานสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.8

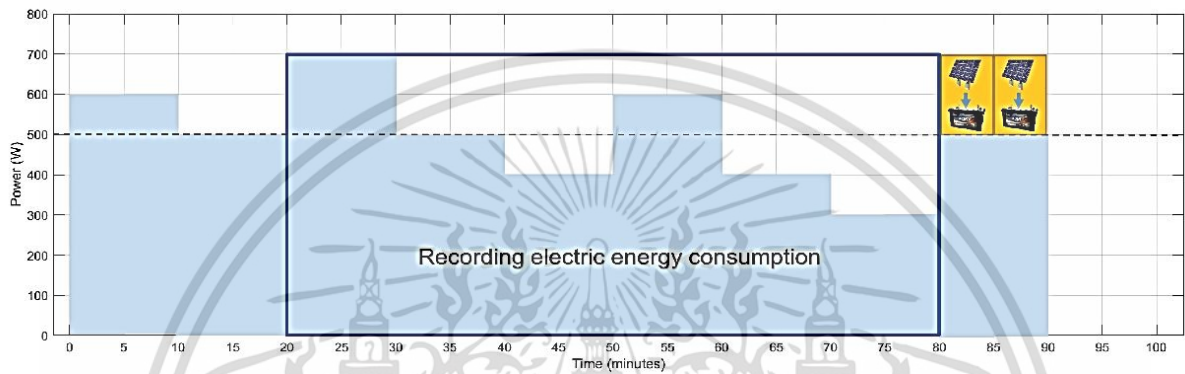


(ก) ช่วงเวลาที่ 0 – 70 นาที (มีการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้า)

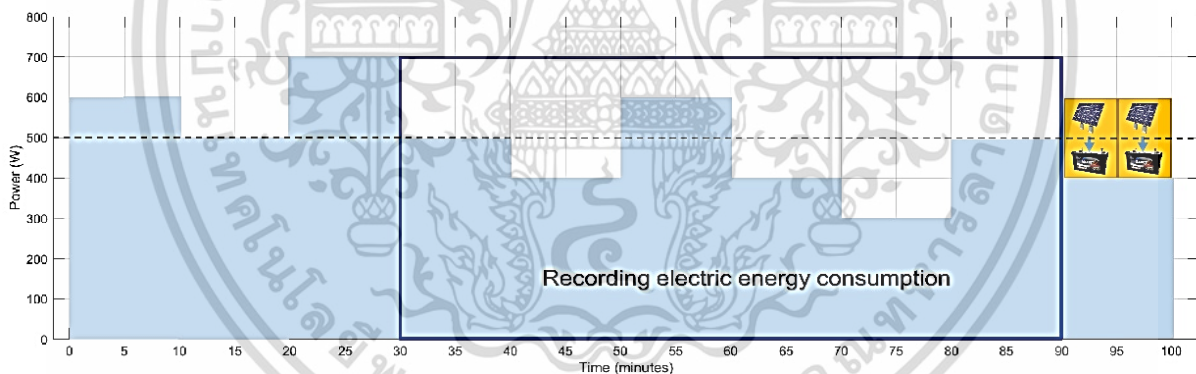
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ช่วงเวลาที่ 10 – 80 นาที (มีการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้า)



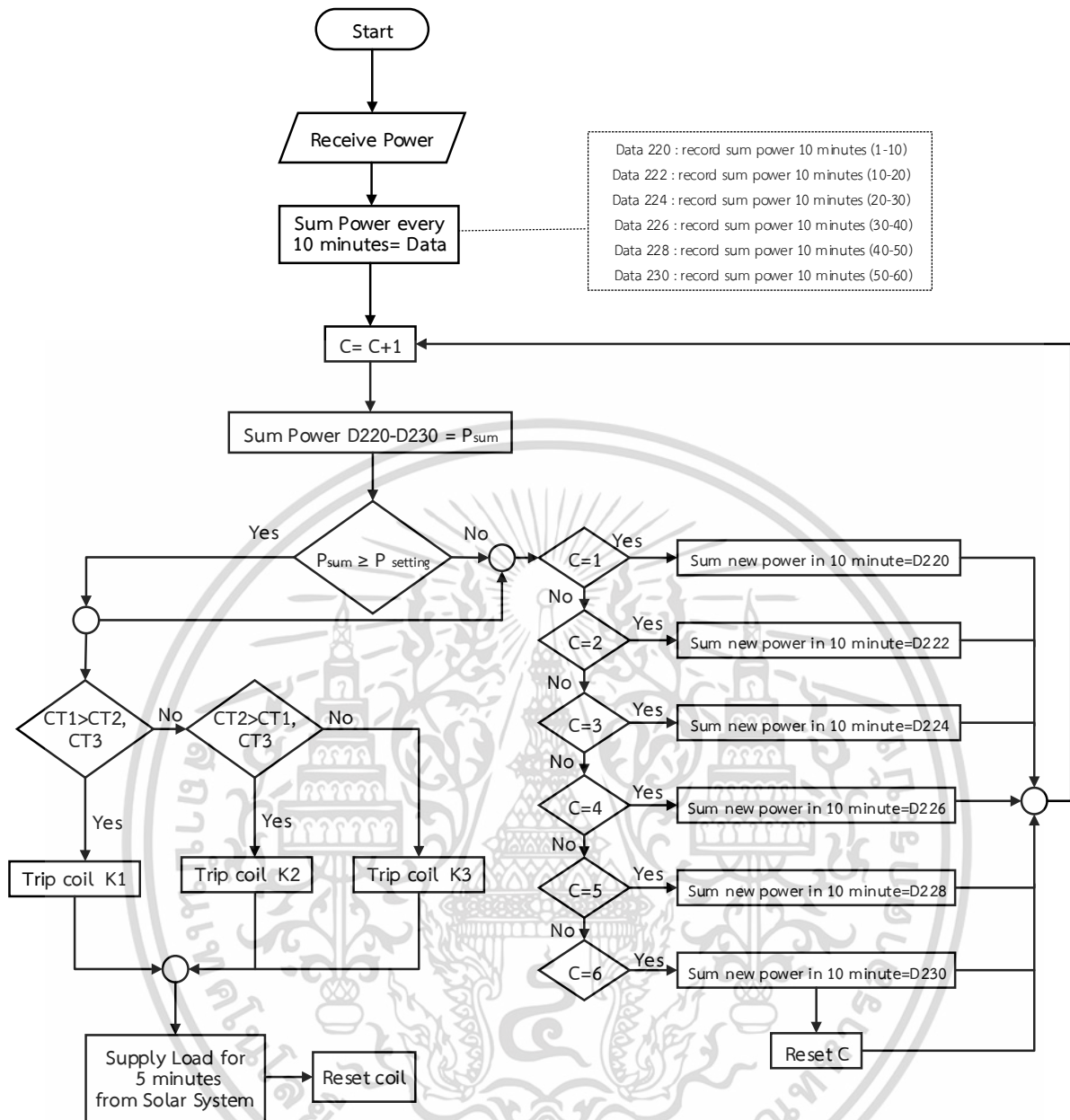
(ค) ช่วงเวลาที่ 20 – 90 นาที (ไม่มีการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้า)



(ง) ช่วงเวลาที่ 30 – 100 นาที (ไม่มีการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้า)

รูปที่ 4.7 รูปแบบการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แผนผังแสดงรูปแบบการจ่ายพลังงานจากระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) ในออกมา 2 รูปแบบ ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดเป็นค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง และค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน

1. ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง สำหรับกรณีที่ 1 (การใช้พลังงานภายในที่อยู่อาศัย สำหรับวันจันทร์ – ศุกร์) และกรณีที่ 2 (การใช้พลังงานภายในที่อยู่อาศัย สำหรับวันเสาร์ – อาทิตย์) มีค่าเท่ากับ 585 วัตต์ และ 715 วัตต์ ตามลำดับ โดยค่าดังกล่าวเกิดจากความต้องการลดหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าร้อยละ 10 ของหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายใน 1 วัน ซึ่งได้จากการดูพฤติกรรมของการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน เพื่อให้เข้าใกล้ความต้องการในการลดหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มากขึ้น ดังนั้นจึงมีการปรับค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) ให้มีค่าใกล้เคียงกับการใช้ภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยในแต่ละช่วงเวลาให้มากขึ้น แสดงการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) ของกรณีที่ 1 และ 2 ได้ดังตารางที่ 4.4

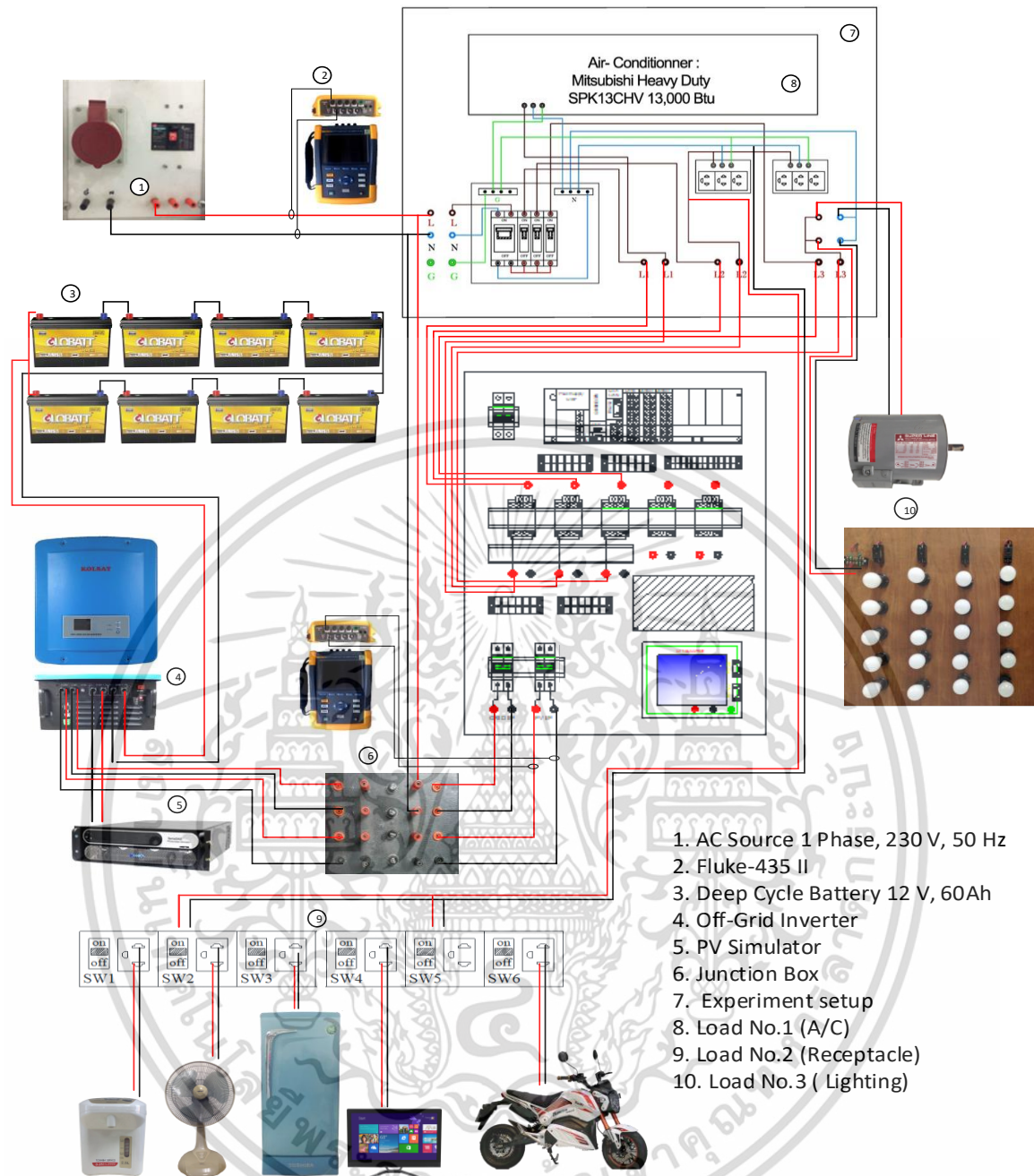
ตารางที่ 4.4 ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) ในแต่ละช่วงเวลาภายใน 1 วัน

ช่วงระยะเวลา	ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (W)		ช่วงระยะเวลา	ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (W)	
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
06.00-07.00 น.	700	800	18.00-19.00 น.	250	250
07.00-08.00 น.	20	20	19.00-20.00 น.	1,100	1,200
08.00-09.00 น.	20	20	20.00-21.00 น.	1,100	1,200
09.00-10.00 น.	20	20	21.00-22.00 น.	1,900	1,900
10.00-11.00 น.	20	20	22.00-23.00 น.	1,700	1,900
11.00-12.00 น.	20	600	23.00-00.00 น.	950	950
12.00-13.00 น.	20	600	00.00-01.00 น.	950	950
13.00-14.00 น.	20	600	01.00-02.00 น.	950	950
14.00-15.00 น.	20	600	02.00-03.00 น.	950	950
15.00-16.00 น.	20	600	03.00-04.00 น.	950	950
16.00-17.00 น.	20	20	04.00-05.00 น.	950	950
17.00-18.00 น.	250	250	05.00-06.00 น.	1,200	1,200

4.3 ผลการทดสอบระบบบริหารจัดการพลังงาน

ระบบบริหารจัดการพลังงานที่ได้นำเสนอจะถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพโดยใช้ชุดภาระไฟฟ้าที่จำลองมาจากคุณลักษณะการใช้ไฟฟ้าของอาคารที่พักอาศัยดังแสดงในรูปที่ 4.9 เพื่อเปรียบเทียบกับลักษณะการใช้งานภาระไฟฟ้าแบบปกติ และลักษณะการใช้งานภาระไฟฟ้าเมื่อใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การติดตั้งอุปกรณ์ และเครื่องมือวัดในการทดสอบระบบบริหารจัดการพลังงาน

เมื่อมีการนำระบบควบคุมเข้ามาใช้งานแบบค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด ($P_{setting}$) เป็นค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง ผลการทดลองสามารถสรุปเป็นเหตุการณ์ในแต่ละช่วงเวลาได้ดังรูปที่ 4.10 ในช่วงที่ 1 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ จึงมีการทำงานของระบบควบคุม แต่ไม่มีพลังงานจ่ายออกมาจากชุดกักเก็บพลังงานและเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากไม่มีพลังงานเหลือภายในชุดกักเก็บพลังงาน และเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่สามารถผลิตพลังงานได้ ในเวลานี้จึงไม่มีการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

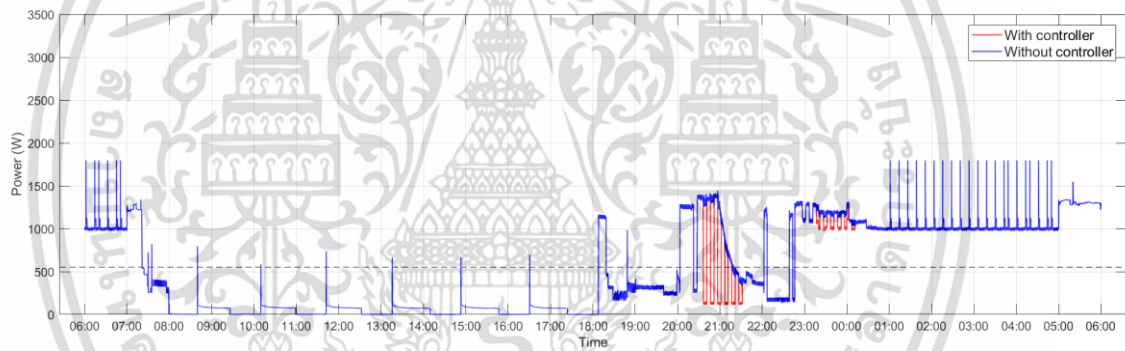
ในช่วงที่ 2 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ จึงไม่มีการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้า

ในช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ จึงมีการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากช่วงเวลานี้เป็นช่วงเวลากลางวัน ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จึงสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบได้ ในช่วงเวลานี้จึงมีการลดการใช้พลังงาน

ในช่วงที่ 4 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงไม่มีการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้า

ในช่วงที่ 5 มีการกลับมาใช้พลังงานไฟฟ้าสูงอีกครั้ง ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าจึงมีการทำงาน ถึงแม้ในช่วงเวลานี้เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้ แต่ยังคงมีพลังงานในชุดกักเก็บพลังงานอยู่

ในช่วงที่ 6 ซึ่งเป็นช่วงเวลาสุดท้ายของวัน มีการใช้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังเกินกว่าค่าที่กำหนด ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าจึงมีการทำงาน แต่ในช่วงเวลานี้ไม่มีพลังงานเหลือภายในชุดกักเก็บพลังงาน ส่งผลให้ช่วงเวลานี้ไม่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้



รูปที่ 4.10 ช่วงเวลาของภาระไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยช่วงวันจันทร์ – ศุกร์ เมื่อใช้ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าคงที่

เมื่อมีการนำระบบควบคุมเข้ามาใช้งาน และค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน ผลการทดลองสามารถสรุปเป็นเหตุการณ์ในแต่ละช่วงเวลาได้ดังรูปที่ 4.11

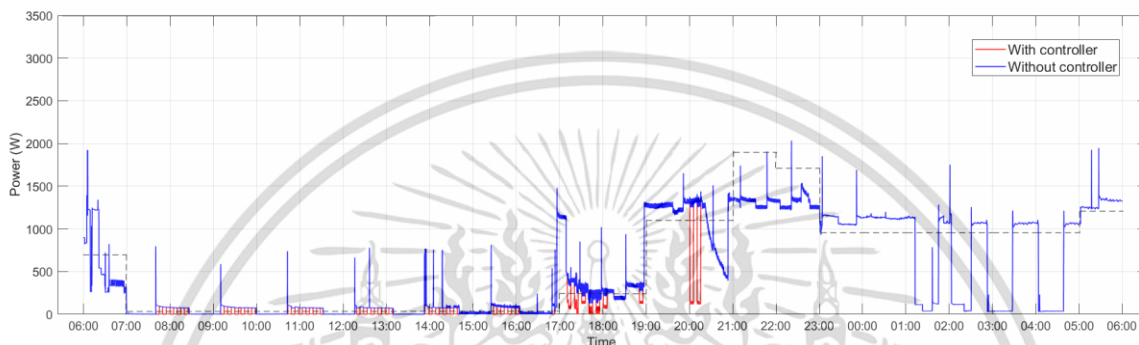
ในช่วงที่ 1 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนด ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าจึงทำงาน แต่เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวได้มีการใช้พลังงานจากชุดกักเก็บพลังงานไปหมดแล้ว และเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ดังนั้นช่วงเวลานี้จึงไม่มีการลดการใช้พลังงานลง

ในช่วงที่ 2 มีการใช้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนด ทำให้มีการทำงานของระบบควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า และมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากชุดกักเก็บพลังงานและเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นเวลากลางวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงที่ 3 มีการใช้พลังงานสูงและค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนด ดังนั้นระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าจึงทำงาน ถึงแม้ว่าช่วงเวลานี้เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้ แต่ยังคงมีพลังงานเหลือในชุดกักเก็บพลังงาน ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้

ในช่วงที่ 4 มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังเกินกว่าค่าที่กำหนดและน้อยกว่าค่าที่กำหนดสลับกันไป ซึ่งในช่วงเวลาที่มีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนด ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้ามีการทำงาน แต่ไม่มีการลดการใช้พลังงานเนื่องจากไม่มีพลังงานไฟฟ้าในชุดกักเก็บพลังงาน และในช่วงเวลากลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้



รูปที่ 4.11 ช่วงเวลาของภาระไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยช่วงวันจันทร์ – ศุกร์ เมื่อใช้ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน

เมื่อมีการนำระบบควบคุมเข้ามาใช้งานแบบค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง ผลการทดลองสามารถสรุปเป็นเหตุการณ์ในแต่ละช่วงเวลาได้ดังรูปที่ 4.12

ในช่วงที่ 1 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ จึงมีการทำงานของระบบควบคุม แต่ไม่มีพลังงานจ่ายออกมาจากชุดกักเก็บพลังงานและเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากไม่มีพลังงานเหลือภายในชุดกักเก็บพลังงาน และเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่สามารถผลิตพลังงานได้ ในช่วงเวลานี้จึงไม่มีการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

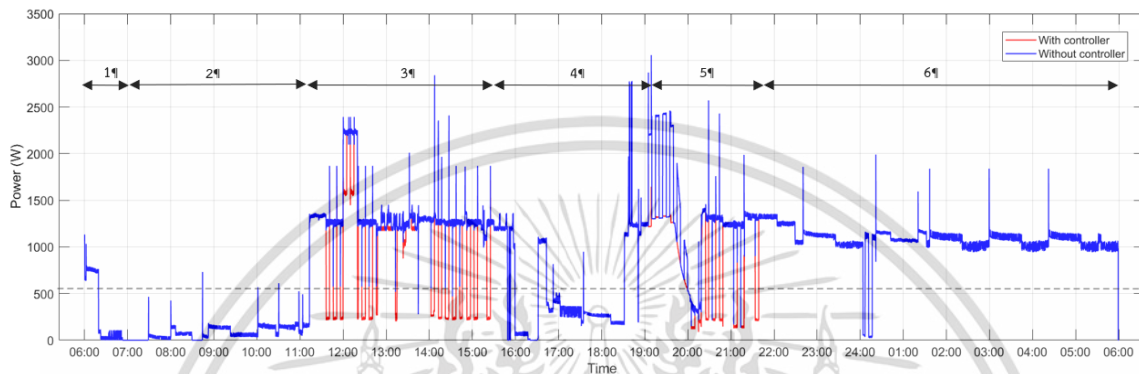
ในช่วงที่ 2 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ จึงไม่มีการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้า

ในช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ จึงมีการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากช่วงเวลานี้เป็นช่วงเวลากลางวัน ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จึงสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบได้ ในช่วงเวลานี้จึงมีการลดการใช้พลังงาน

ในช่วงที่ 4 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงไม่มีการทำงานของระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้า

ในช่วงที่ 5 มีการกลับมาใช้พลังงานไฟฟ้าสูงอีกครั้ง ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าจึงมีการทำงาน ถึงแม้ในช่วงเวลานี้เซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้ แต่ยังคงมีพลังงานในชุดกักเก็บพลังงานอยู่

ในช่วงที่ 6 ซึ่งเป็นช่วงเวลาสุดท้ายของวัน มีการใช้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังเกินค่าที่กำหนด ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าจึงมีการทำงาน แต่ในช่วงเวลานี้ไม่มีพลังงานเหลือภายในชุดกักเก็บพลังงาน ส่งผลให้ช่วงเวลานี้ไม่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้



รูปที่ 4.12 ช่วงเวลาของภาระไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยช่วงวันเสาร์ – อาทิตย์ เมื่อใช้ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าคงที่

เมื่อมีการนำระบบควบคุมเข้ามาใช้งาน และค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน ผลการทดลองสามารถสรุปเป็นเหตุการณ์ในแต่ละช่วงเวลาได้ดังรูปที่ 4.13

ในช่วงที่ 1 มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้ามีการทำงาน แต่ชุดกักเก็บพลังงานไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากได้มีการใช้พลังงานไปหมดแล้ว และเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่สามารถผลิตพลังงานได้

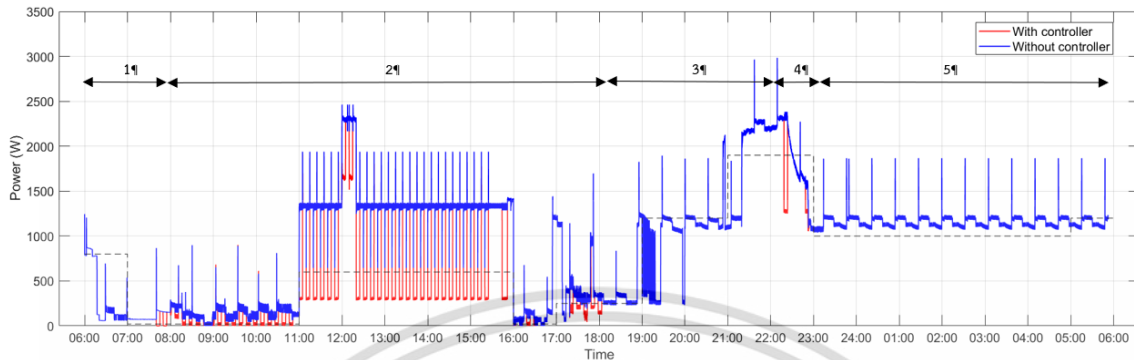
ในช่วงที่ 2 มีการใช้งานเกินกว่าที่กำหนดไว้ ส่งผลให้ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าทำงาน และเนื่องจากในช่วงเวลานี้เป็นช่วงเวลากลางวัน ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้ ทำให้มีการลดการใช้พลังงานในช่วงเวลานี้

ในช่วงที่ 3 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ จึงไม่มีการทำงานของชุดควบคุมพลังงานไฟฟ้า

ในช่วงเวลาที่ 4 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ส่งผลให้ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าทำงาน และเนื่องจากในช่วงเวลากลางวันมีการกักเก็บพลังงานภายในชุดกักเก็บพลังงาน จึงมีการจ่ายพลังงานจากชุดกักเก็บพลังงาน จึงมีการลดการใช้พลังงานในช่วงเวลานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วงสุดท้าย ช่วงที่ 5 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูง ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงย้อนหลังมีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ ดังนั้นระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าจึงมีการทำงาน แต่เนื่องจากเป็นช่วงเวลากลางคืน และไม่มีพลังงานภายในชุดกักเก็บพลังงาน ทำให้ไม่มีการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงนี้



รูปที่ 4.13 ช่วงเวลาของภาระไฟฟ้าในที่อยู่อาศัยช่วงวันเสาร์ – อาทิตย์ เมื่อใช้ระบบควบคุมพลังงานไฟฟ้าซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด ($P_{setting}$) เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน

สำหรับระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย เป็นระบบที่ใช้จำกัดหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน เพื่อให้มีการใช้พลังงานลดลง การออกแบบระบบดังกล่าวได้มีการนำตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ทำการรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้จากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า เมื่อค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้จากการไฟฟ้ามามีค่าสูงเกินกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวควบคุมโปรแกรมได้วิเคราะห์ ตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ทำการส่งสัญญาณไปตัดต่อแมกเนติกคอนแทคเตอร์ เพื่อเปลี่ยนแหล่งจ่ายจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำจากการไฟฟ้า เป็นระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเลือกจ่ายให้วงจรที่มีการใช้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากการตรวจวัดขนาดกระแสในแต่ละวงจรด้วย CT1 CT2 และ CT3 ซึ่งระบบพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำการจ่ายพลังงานเป็นระยะเวลา 5 นาที และทำการประจุพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่เป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้นระบบทำการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยภายใน 1 ชั่วโมงใหม่อีกครั้งในอีก 10 นาทีถัดมา อาจกล่าวได้ว่า ระบบคำนวณค่าใหม่ทุก ๆ 10 นาที โดยค่าที่นำมาคำนวณเป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในหนึ่งชั่วโมงย้อนหลัง สำหรับการทดลองนี้ได้ทำการทดลอง 2 รูปแบบ ได้แก่ กรณีที่ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด ($P_{setting}$) เป็นค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง และกรณีที่ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด ($P_{setting}$) เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัยได้ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย กรณีที่ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง

รายละเอียด		มีระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดเป็นค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง		
		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	
ปริมาณกำลังไฟฟ้า ใน 1 วัน	ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่รับมาจากการไฟฟ้า (Wh)	12,232.60	18,373.92	
	ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าต้องการ (Wh)	12,709.60	20,656.40	
	ปริมาณการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (Wh)	477.00	2,282.48	
	ปริมาณหน่วยที่ลดลง (kWh)	0.48	2.28	
ปริมาณกำลังไฟฟ้า ใน 1 เดือน	ปริมาณไฟฟ้าที่ได้รับจากการไฟฟ้า (kWh)	416.02		
	ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าต้องการ (kWh)	444.9		
	ปริมาณการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)	28.88		
ค่าไฟฟ้าต่อเดือน (บาท)	มีระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า	1,767.39		
	ไม่มีระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า	1,828.33		
	ค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น/ลดลง	รวม	-60.94	
		ร้อยละ	-5.4	

จากตารางที่ 5 พบว่าขณะที่ยังไม่มีการใช้ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย ในกรณีที่ 1 (วันจันทร์ – ศุกร์) และกรณีที่ 2 (วันเสาร์ – อาทิตย์) มีการใช้ปริมาณกำลังไฟฟ้าภายในหนึ่งวันเป็น 12,709.60 และ 20,656.40 วัตต์-ชั่วโมง (Wh) ตามลำดับ หากมีการใช้ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า ในกรณีที่ 1 มีการใช้กำลังไฟฟ้าใน 1 วัน เท่ากับ 12,232.60 วัตต์-ชั่วโมง (Wh) สำหรับกรณีที่ 2 เท่ากับ 18,373.92 วัตต์-ชั่วโมง (Wh) ซึ่งลดกำลังไฟฟ้าลงได้ 477.00 และ 2,282.48 วัตต์-ชั่วโมง (Wh)

เมื่อคำนวณการใช้กำลังไฟฟ้าภายใน 1 เดือน โดยกำหนดให้มี 30 วัน เป็นวันจันทร์ – ศุกร์ 22 วัน และวันเสาร์ – อาทิตย์ 8 วัน ค่ากำลังไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยที่ยังไม่มีระบบควบคุม เท่ากับ 444.9 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) และค่ากำลังไฟฟ้าของระบบที่มีการควบคุม เท่ากับ 416.02 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ลดลง 28.88 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ลดลง 60.94 บาท หรือร้อยละ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 สรุปผลการทดลองระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย กรณีที่ค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (P_{setting}) เป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน

รายละเอียด		มีระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน		
		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	
ปริมาณกำลังไฟฟ้า ใน 1 วัน	ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่รับจากการไฟฟ้า (Wh)	11,884.83	19,902.00	
	ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าต้องการ (Wh)	12,409.31	22,678.68	
	ปริมาณการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (Wh)	524.48	2,776.68	
	ปริมาณหน่วยที่ลดลง (kWh)	0.52	2.78	
ปริมาณกำลังไฟฟ้า ใน 1 เดือน	ปริมาณไฟฟ้าที่ได้รับจากการไฟฟ้า (kWh)	420.56		
	ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ภาระไฟฟ้าต้องการ (kWh)	454.46		
	ปริมาณการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบพลังงานไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)	33.9		
ค่าไฟฟ้าต่อเดือน (บาท)	มีระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า	1,788.87		
	ไม่มีระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า	1,949.26		
	ค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น/ลดลง	รวม	-160.39	
		ร้อยละ	-8.2	

จากตารางที่ 6 สำหรับที่อยู่อาศัยที่ไม่มีระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน ในกรณีที่ 1 (วันจันทร์ – ศุกร์) และกรณีที่ 2 (วันเสาร์ – อาทิตย์) มีการใช้กำลังไฟฟ้าภายใน 1 วันเท่ากับ 12,409.31 และ 22,678.68 วัตต์-ชั่วโมง (Wh) ตามลำดับ เมื่อใช้ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้ามีการใช้กำลังไฟฟ้าลดเหลือเท่ากับ 11,884.83 และ 19,902.00 วัตต์-ชั่วโมง (Wh) ลดลง 524.48 และ 2,776.68 วัตต์-ชั่วโมง (Wh) ในกรณีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

เมื่อคำนวณการใช้กำลังไฟฟ้าภายใน 1 เดือน โดยกำหนดให้มี 30 วัน เป็นวันจันทร์ – ศุกร์ 22 วัน และวันเสาร์ – อาทิตย์ 8 วัน ที่อยู่อาศัยที่ยังไม่มีการควบคุมใช้กำลังไฟฟ้า 454.46 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) และที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่อาศัยที่ยังมีการควบคุมใช้กำลังไฟฟ้า 420.56 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ลดลง 33.9 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ลดลงเท่ากับ 160.39 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 8.2

4.4 ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจโดยใช้ดัชนีเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งสำหรับระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าโดยการคำนวณต้นทุนการลงทุนเปรียบเทียบกับการประหยัดต้นทุนพลังงานที่สามารถทำได้หลังติดตั้งสำหรับระบบบริหารจัดการพลังงาน โดยค่าพลังงานที่สามารถลดได้จากการบริหารจัดการสรุปไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณค่าไฟฟ้าเปรียบเทียบกันระหว่างระบบบริหารจัดการพลังงานสองรูปแบบ

	ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า ภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย โดยค่า กำลังไฟฟ้าที่กำหนดเป็นค่าคงที่ ตลอด 24 ชั่วโมง	ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้า ภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย โดยค่า กำลังไฟฟ้าที่กำหนดเป็นค่าที่ เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้	786.37 หน่วย	807.26 หน่วย
ค่าใช้จ่ายที่ลดได้	3,251.63 บาท	3,338.01 บาท
ต้นทุนการติดตั้ง	25,100.00 บาทต่อ 600 วัตต์	

จากตารางแสดงให้เห็นว่าระบบบริหารจัดการพลังงานที่ติดตั้งนั้นเมื่อคำนวณตามคุณลักษณะของพิกัดของอุปกรณ์ที่ติดตั้ง สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ประมาณ 800 หน่วยโดยขึ้นอยู่กับวิธีการควบคุมการทำงาน ซึ่งคิดเป็นลดค่าใช้จ่ายทางพลังงานต่อปีได้ประมาณ 3300 บาท โดยตัวเลขดังกล่าวเมื่อนำมาคำนวณรวมกับต้นทุนที่คิดในพิกัดที่ห้องปฏิบัติการสามารถติดตั้งได้จะสามารถสรุปค่าความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้ดังตารางที่ 4.8 โดยจากข้อมูลจะเห็นได้ว่าระบบบริหารจัดการพลังงานที่นำเสนอรวมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่มีอัตราผลตอบแทนภายในประมาณ 12% และระยะเวลาคืนทุนคิดลดประมาณ 8 ปี ซึ่งถ้าเพิ่มพิกัดของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบกักเก็บพลังงานตัวเลขการคืนทุนก็อาจจะสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 สรุปค่าจากการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบบริหารจัดการพลังงาน

	ระยะเวลาคืนทุนแบบคิดลด (ปี)	อัตราผลตอบแทนภายใน (%)
ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภาพรวม ภายในที่อยู่อาศัย โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่ กำหนดเป็นค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง	8.46	12.23
ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภาพรวม ภายในที่อยู่อาศัย โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่ กำหนดเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตาม ช่วงเวลาของวัน	8.23	12.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ระบบควบคุมความสว่างคอมพิวเตอร์ไฟฟ้

ในการควบคุมความสว่างของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง พลังงานที่ระบบสามารถลดลงได้จะขึ้นอยู่กับสองปัจจัยสำคัญ คือ แสงธรรมชาติ และพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้งานอาคาร โดยการควบคุมความสว่างของอาคารจะต้องไม่ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพทางแสง

5.1 พฤติกรรมของแสงธรรมชาติ

การวิเคราะห์โดยโปรแกรมคำนวณค่าความสว่าง (DIALux) เพื่ออธิบายผลของการกระจายแสง แสดงให้เห็นว่าค่าความสว่างเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา โดยอ่านค่าความสว่างในหน่วยลักซ์ (lux) แสดงให้เห็นเป็นกราฟการกระจายของแสง ทำให้ทราบพฤติกรรมของแสงในเวลาต่างๆ ตั้งแต่เวลา 06.00 น. จนถึงเวลา 18.00 น. จากรูปที่ 5.1 เป็นการจำลองห้องต้นแบบจากห้อง ECC404 หน้าต่างอยู่ทางทิศตะวันตก กว้าง 8 เมตร ยาว 10 เมตร มีหน้าต่างบานคู่ 3 บาน มีคอมพิวเตอร์ 20 คอมพิวเตอร์ แต่ละคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยหลอดไฟ 2 หลอด ค่าความสว่างที่เกิดขึ้นในพื้นที่ใช้งาน (work plane) จะเป็นค่าความสว่างที่เกิดจากแสงจากหลอดไฟและแสงจากดวงอาทิตย์



รูปที่ 5.1 ห้องจำลองในโปรแกรมคำนวณค่าความสว่าง DIALux

ค่าความสว่างที่ได้จากการวิเคราะห์จากโปรแกรม Dialux ซึ่งแสดงค่าความสว่างต่ำสุด สูงที่สุด และค่าเฉลี่ย เป็นการเปิดหลอดไฟทั้งหมด และมีแสงที่ลอดผ่านหน้าต่างเข้ามา โดยการกำหนดค่าจากโปรแกรมจะกำหนดให้ค่าความสว่างเฉลี่ยมากกว่า 500 ลักซ์ จากผลการวิเคราะห์ แต่ละเวลาค่าความสว่างต่ำสุด สูงสุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมายและไม่ควรเผยแพร่ให้ผู้อื่นได้ หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าเฉลี่ยมีค่าไม่เท่ากัน โดยแยกเป็นแต่ละช่วงเวลาตามตารางที่ 5.1 พบว่าเวลา 06.00 น. ถึงเวลา 18.00 น. มีค่าเฉลี่ยของแสงมากเกิน 500 ลักซ์ โดยการจำลองความสว่างจากโปรแกรม Dialux หากกำหนดทิศหน้าต่างในทิศอื่น พบว่า ค่าความสว่างต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ย ในแต่ละทิศมีค่าไม่เท่ากัน แต่มีแนวโน้มเดียวกันคือ ค่าความสว่างเฉลี่ยในเวลากลางวันเวลา 06.00 น. ถึงเวลา 18.00 น. ทั้งหมดมีค่าความสว่างเกิน 500 ลักซ์ เนื่องจากผลของดวงอาทิตย์ ทำให้ต้องมีการพัฒนาการหรือแสงของหลอดไฟให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อลดความสว่างส่วนเกินที่ไม่ต้องการ

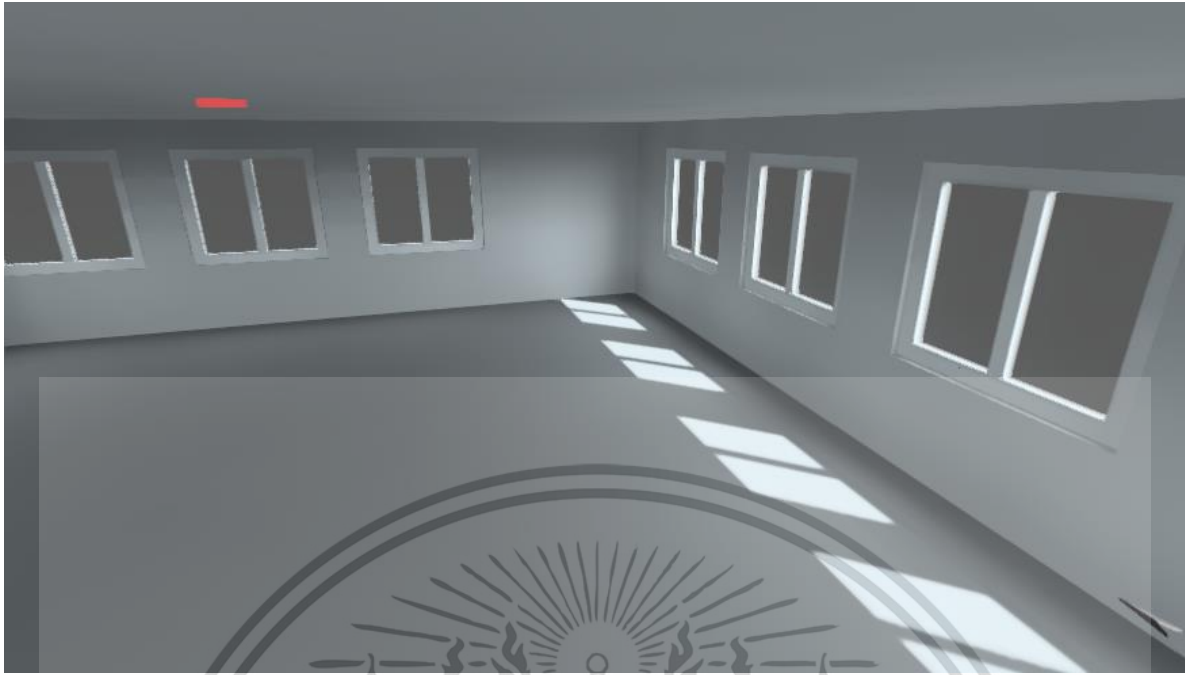
ตาราง 5.1 ค่าความสว่างที่เกิดจากแสงธรรมชาติและแสงจากหลอดไฟที่ได้จากการวิเคราะห์จากโปรแกรม Dialux

เวลา	ค่าความสว่าง (ลักซ์)											
	ทิศเหนือ			ทิศใต้			ทิศตะวันออก			ทิศตะวันตก		
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
6.00	263	742	570	253	743	570	226	716	556	227	716	557
8.00	277	1754	691	340	17748	1470	316	10114	1578	241	1599	661
10.00	287	3055	788	360	26247	1783	333	28111	1740	258	3088	780
12.00	289	2818	754	374	33155	1993	276	4728	863	270	4688	865
14.00	297	3061	792	358	26976	1781	262	3120	778	333	28370	1729
16.00	286	1873	705	319	9919	1048	244	1656	664	310	10636	1636
18.00	263	742	570	253	743	570	226	716	556	227	716	557

แสงจากดวงอาทิตย์ที่ลอดผ่านหน้าต่างเข้ามา จากค่าทฤษฎีจะมีผลต่อค่าความสว่างในบริเวณระยะที่ 2.5 เท่าของความสูงหน้าต่างเท่านั้น จากรูปที่ 5.2 เป็นการจำลองห้องในโปรแกรมเพื่อแสดงให้เห็นว่าความสูงของระยะหน้าต่างมีผลต่อระยะของแสงที่เข้ามา

จากรูปที่ 5.2 ระยะความสูงของหน้าต่างคือ 2.150 เมตร เมื่อคูณกับค่า 2.5 จะได้ 5.375 เมตร แต่ค่าที่ได้คือ 5.406 เมตร เกินค่าคูณ 2.5 แสดงว่าผลของแสงมีเรื่องทิศทางของแสง ช่วงเวลา ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และแสงในแต่ละฤดูกาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

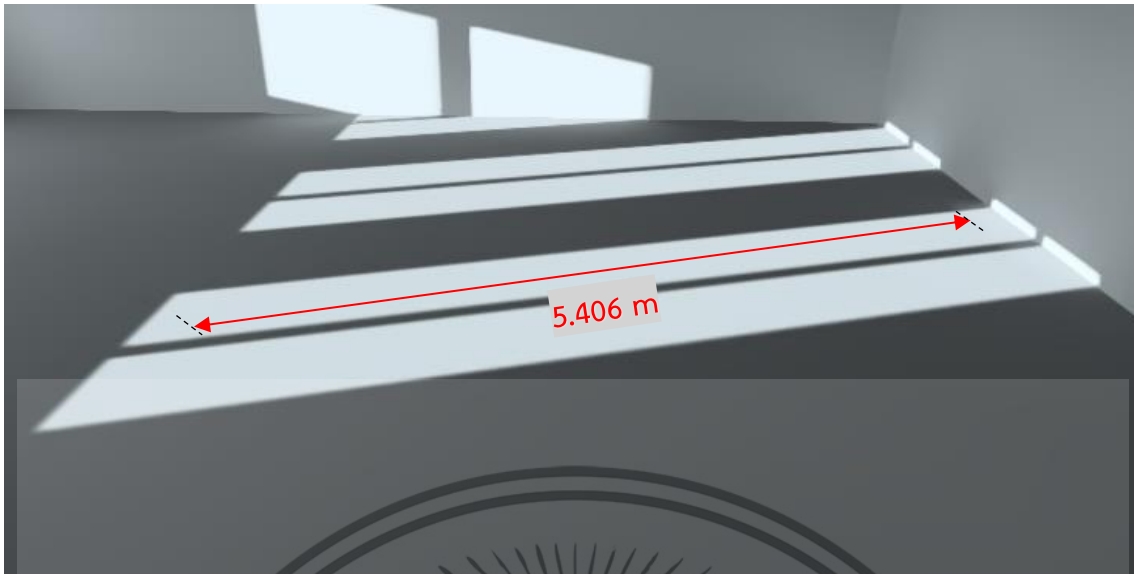


(ก) ภาพรวมของห้องที่ใช้ในการจำลอง



(ข) ระยะความสูงของหน้าต่าง

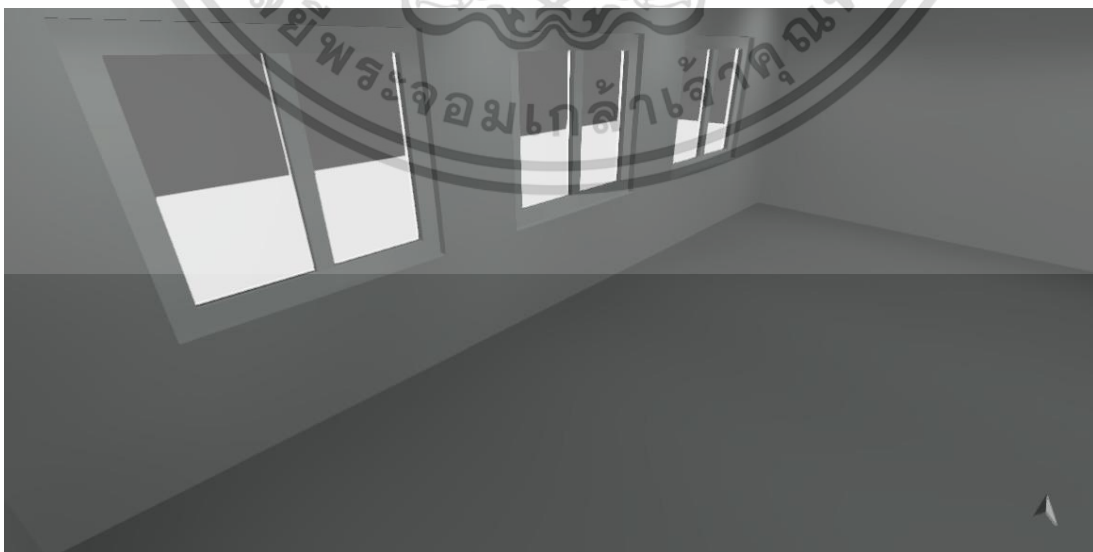
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) แสดงระยะของแสงที่ส่องเข้ามา

รูปที่ 5.2 การจำลองห้องในโปรแกรม DIALux

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาจะมีผลเรื่องการกระจายของแสง ถ้าหากหน้าต่างอยู่ทางทิศตะวันตก โดยแสงในช่วงเช้า เวลา 06.00-12.00 น. แสงจะมีลักษณะพุ่งกระจาย ทำให้ไม่สามารถวัดเงาของแสงที่ส่องลงมาที่พื้นได้ ดังรูปที่ 5.3 แต่ในเวลา 13.00-17.00 น. แสงที่ลอดเข้ามาจะมีลักษณะเป็นบล็อก ดังรูปที่ 3.4 (ข) สามารถวัดความยาวของแสงได้ และบล็อกของแสงจะยาวมากขึ้น โดยบล็อกของแสงนี้หากหน้าต่างอยู่ทางทิศตะวันออก จะเกิดบล็อกขึ้นในช่วงเวลา 07.00-12.00 น. และความยาวของบล็อกจะแตกต่างกันไปในแต่ละทิศ ค่าความสว่างที่วัดได้ และความยาวแสงในแต่ละช่วงเวลา แสดงดังตารางที่ 5.2

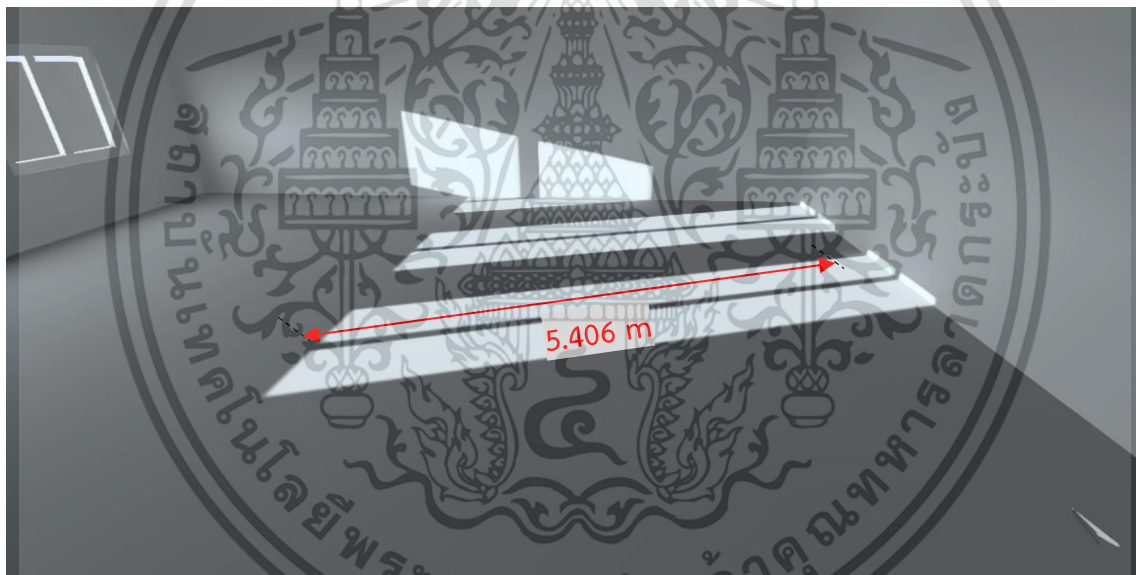


(ก) ลักษณะของแสงในเวลา 11.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) ลักษณะของแสงในเวลา 14.00 น.



(ค) ลักษณะของแสงในเวลา 17.00 น.

รูปที่ 5.3 ผลการจำลองแสงธรรมชาติ

แต่นอกเหนือจากบริเวณ ระยะ 5.406 เมตร เมื่อนำหน้าต่างอยู่ที่ตะวันตกแสงอาทิตย์จะไม่มีผลต่อค่าของความสว่าง เพราะฉะนั้นคอมพิวเตอร์ที่ไม่ได้อยู่ในบริเวณหน้าต่างไม่จำเป็นต้องหรี่แสงในเวลากลางวัน และอาจจะไม่ต้องติดตั้งคอมพิวเตอร์ที่สามารถหรี่แสงได้ หากอิงจากผลจากการกระจายของแสงเพียงอย่างเดียว ไม่รวมเงื่อนไขการประหยัดพลังงานเมื่อไม่มีคนอยู่ในพื้นที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.2 การวัดค่าความสว่างเฉลี่ย และความยาวแสงที่เกิดจากแสงธรรมชาติซึ่งลอดผ่าน หน้าต่างตึก
กระทบพื้นในเวลาต่างๆ

เวลา	ทิศเหนือ		ทิศใต้		ทิศตะวันออก		ทิศตะวันตก	
	ความยาว ของแสง (m)	ค่าความ สว่าง เฉลี่ย (lux)	ความยาว ของแสง (m)	ค่าความ สว่าง เฉลี่ย (lux)	ความยาว ของแสง (m)	ค่าความ สว่าง เฉลี่ย (lux)	ความยาว ของแสง (m)	ค่าความ สว่าง เฉลี่ย (lux))
06.00	N/A	0	N/A	0	N/A	0	N/A	0
07.00	N/A	44.1	3.994	95.7	5.03	304	N/A	31.8
08.00	N/A	145	2.34	453	2.46	1051	N/A	105
09.00	N/A	224	1.342	843	1.411	1377	N/A	178
10.00	N/A	232	0.907	1104	0.932	1197	N/A	224
11.00	N/A	198	0.641	1204	4.98	663	N/A	251
12.00	N/A	178	0.562	1250	N/A	313	N/A	309
13.00	N/A	198	0.662	1200	N/A	253	0.46	632
14.00	N/A	237	0.895	1094	N/A	225	0.89	1173
15.00	N/A	233	1.334	832	N/A	181	1.387	1379
16.00	N/A	155	2.307	443	N/A	109	2.381	1080
17.00	N/A	49.7	1.716	97.9	N/A	35	5.406	347
18.00	N/A	0	N/A	0	N/A	0	N/A	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

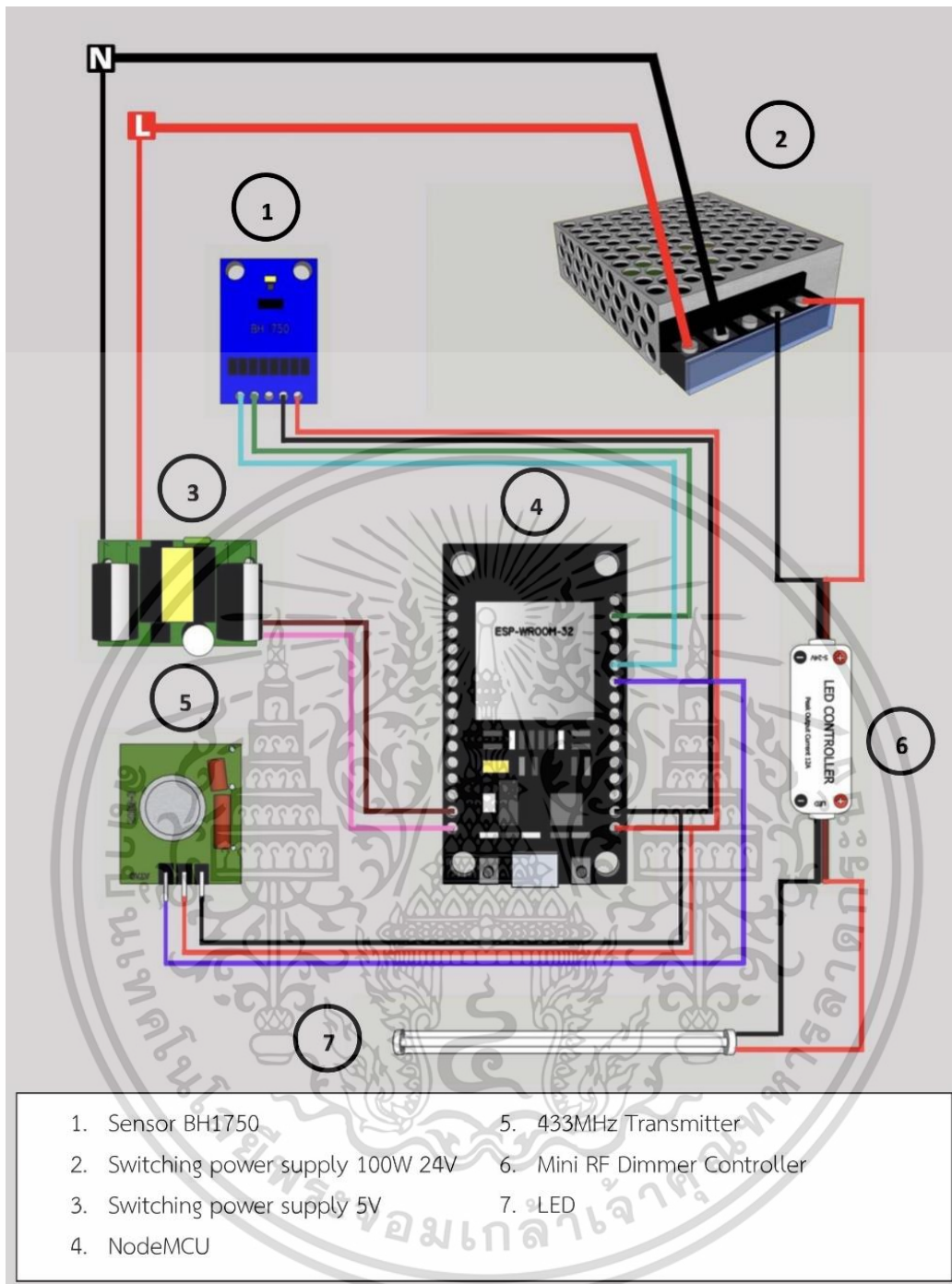
5.2 การควบคุมวงโคจรแบบตรวจจับความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งาน

การควบคุมวงโคจรแบบตรวจจับความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งาน จะใช้การตรวจจับแสงบนพื้นที่ใช้งานเพื่อควบคุมความส่องสว่างของวงโคจรแบบอัตโนมัติ การออกแบบชุดควบคุมแสงสว่างสำหรับหลอดไดโอดเปล่งแสง ประกอบด้วยวงจรตรวจจับความเข้มแสงสว่าง วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรขับ มอสเฟตแบบแยกกราวด์ วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง และหลอดไดโอดเปล่งแสงตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 5.4

5.2.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ควบคุมวงโคจรแบบตรวจจับความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งาน

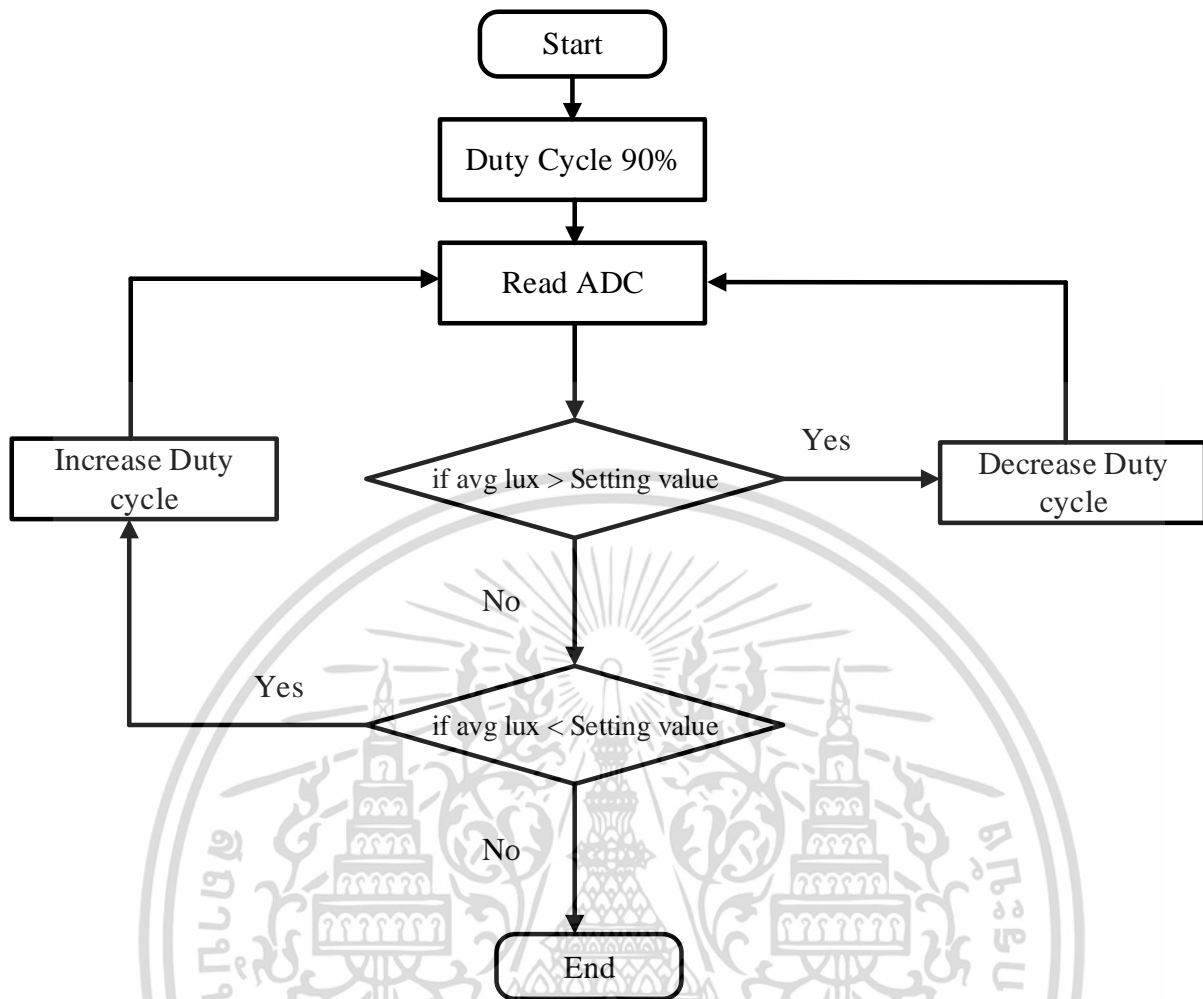
การทำงานของวงจรหรือแสง เริ่มต้นโดย เซนเซอร์รับค่าความสว่างของแสงในหน่วยลักซ์ คือหมายเลข 1 ส่งค่าไปให้อิซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สาย (Node MCU) โดยไฟเลี้ยงที่จ่ายให้เซนเซอร์มาจากอิซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สาย คือหมายเลข 4 และไฟเลี้ยงที่จ่ายให้อิซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สาย มาจากแหล่งจ่ายไฟแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (Switching power supply module AC-DC) คือหมายเลข 3 ซึ่งแปลงไฟจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ เมื่ออิซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สายได้รับค่าและประมวลผลค่า ส่งค่าไปให้ชุดรีโมทคอนโทรลสัญญาณคลื่นวิทยุ (Mini RF Dimmer Controller 12-24V 12A) คือหมายเลข 6 โดยส่งค่าผ่านตัวส่งสัญญาณไร้สายความถี่ 433 เมกะเฮิร์ต (433MHz RF Transmitter) คือหมายเลข 5 เมื่อชุดรีโมทคอนโทรลสัญญาณคลื่นวิทยุได้รับค่า จะสั่งการหรือแสงของหลอดไฟ คือหมายเลข 7 ให้ลดลงหรือเพิ่มขึ้นตามคำสั่งของโค้ดที่ได้จากอิซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สาย ซึ่งไฟเลี้ยงชุดรีโมทคอนโทรลสัญญาณคลื่นวิทยุมาจากแหล่งจ่ายไฟแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง 100 วัตต์ 24 โวลต์ (Switching power supply module 100 Watt 24 Volt) คือหมายเลข 2 แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 การเชื่อมต่อของสายและตัวอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

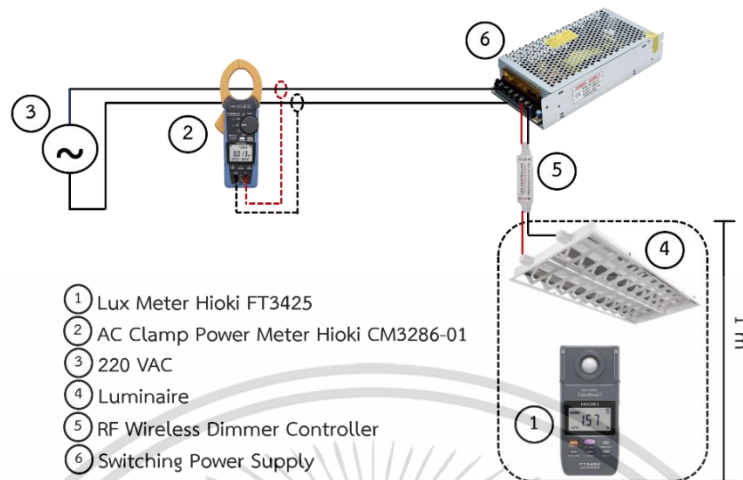


รูปที่ 5.5 แผนผังการควบคุมแสงสว่างของวงจรควบคุมแสงสว่าง

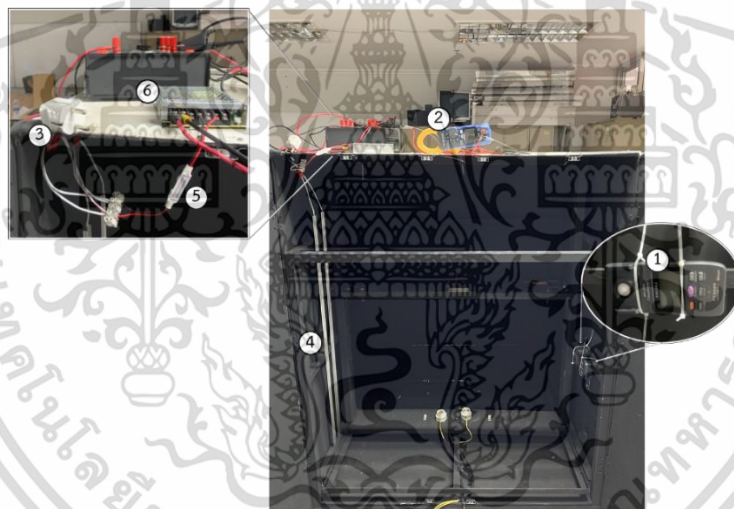
จากรูปที่ 5.5 แสดงแผนผังการทำงานชุดควบคุมหลอดไดโอดเปล่งแสง โดยกำหนดค่าตัวที่ใช้เคลิเริ่มต้นเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าความเข้มแสงจากเซนเซอร์ พิจารณาค่าความเข้มแสงเฉลี่ย โดยพิจารณาทั้งหมด 3 ช่วง คือ ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยน้อยกว่าหรือมากกว่า 0.3 ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยมากกว่า 0.305 และค่าความเข้มแสงเฉลี่ยน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.305 และมากกว่าหรือเท่ากับ 0.3

5.2.2 ผลการทดสอบอุปกรณ์ควบคุมวงจรโคมแบบตรวจจับความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งาน

ทำการทดลองต่อวงจรการทำงานของหลอดไดโอดเปล่งแสงเพื่อเก็บค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลัง และค่าความสว่างของหลอดไฟโดยจะทำการเก็บค่าทางไฟฟ้าที่ระดับความสว่างต่างกัน 20 ระดับ เพื่อเปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าที่ระดับความสว่างแต่ละระดับของหลอดไดโอดเปล่งแสงโดยใช้อุปกรณ์ AC Clamp Power Meter Hioki CM3286-01 ต่อคร่อมกับหลอดหลอดไฟ 2 หลอดต่อขนานกัน และใช้เครื่องลักซ์มิเตอร์ในการวัดค่าความสว่างของหลอดไฟทั้ง 2 หลอด โดยเป็นการทดลองวัดค่าความสว่างภายใต้ตู้ควบคุมแสง มีระยะห่างระหว่างหลอดไฟกับลักซ์มิเตอร์ 1 เมตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ไดอะแกรมเส้นเดียว (One line diagram)



(ข) ชุดการทดลองวัดค่าพารามิเตอร์

รูปที่ 5.6 วงจรวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของหลอดไฟ 1 ดวงโคม (2 หลอด) ภายในตู้ควบคุมแสง

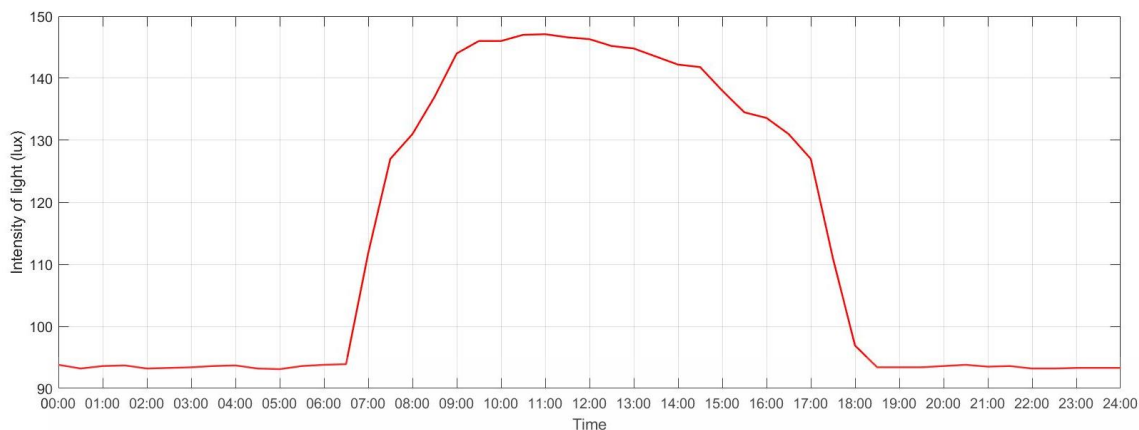
การศึกษาค่าความเข้มแสงภายในบ้านสามารถทำได้โดยการเปิดหน้าต่างของตู้การทดลองเพื่อให้แสงจากภายนอกสามารถลอดผ่านได้ ทิศทางของหน้าต่างตู้ทดลองนั้นหันไปทางทิศเหนือ โดยในการทดลองนั้นวัดค่าความเข้มแสงในทุก ๆ ชั่วโมง ตลอดระยะเวลา 1 วัน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.7 สำหรับหลอดไฟที่ติดตั้งภายในตู้ทดลองนั้น สามารถวัดความเข้มแสงได้ 95 ลักซ์ โดยที่ตู้ทดลองปิดสนิท ไม่มีแสงจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ตารางค่าความเข้มแสงและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่สำคัญในแต่ละชั่วโมง

เวลา	ค่าความเข้มแสง (Lux)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	ตัวประกอบกำลัง (p.f)
01.00	93.6	224.6	0.097	20.5	0.94
02.00	93.2	224.6	0.097	20.5	0.94
03.00	93.4	224.6	0.097	20.5	0.94
04.00	93.7	224.6	0.097	20.5	0.94
05.00	93.1	224.6	0.097	20.5	0.94
06.00	93.8	224.6	0.097	20.5	0.94
07.00	118	224.6	0.097	20.5	0.94
08.00	131	224.6	0.097	20.5	0.94
09.00	144	224.6	0.097	20.5	0.94
10.00	146	224.6	0.097	20.5	0.94
11.00	147.1	224.6	0.097	20.5	0.94
12.00	146.3	224.6	0.097	20.5	0.94
13.00	144.8	224.6	0.097	20.5	0.94
14.00	141.9	224.6	0.097	20.5	0.94
15.00	137	224.6	0.097	20.5	0.94
16.00	133.6	224.6	0.097	20.5	0.94
17.00	127	224.6	0.097	20.5	0.94
18.00	96.9	224.6	0.097	20.5	0.94
19.00	93	224.6	0.097	20.5	0.94
20.00	93	224.6	0.097	20.5	0.94
21.00	93.4	224.6	0.097	20.5	0.94
22.00	93.2	224.6	0.097	20.5	0.94
23.00	93.7	224.6	0.097	20.5	0.94
00.00	93.7	224.6	0.097	20.5	0.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และค่าความเข้มแสงภายในระยะเวลา 1 วัน

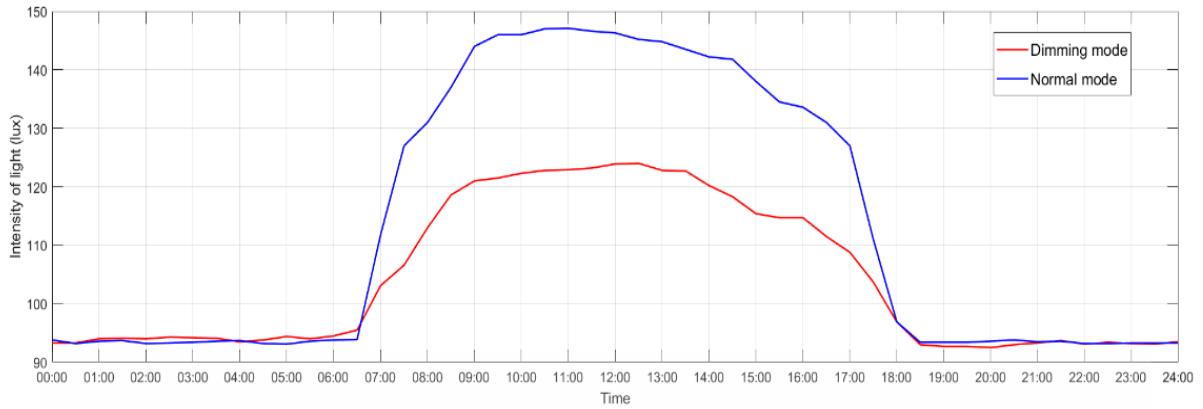
จากตารางที่ 5.4 พบว่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าอื่นที่นอกเหนือจากค่าความเข้มแสงมีค่าเท่ากันทุกค่า เนื่องจากในการทดลองนี้ยังไม่มีการใช้ชุดควบคุมในการหรี่แสงสว่างส่งผลให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า สำหรับค่าความเข้มแสงมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความสว่างภายนอก โดยช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงที่สูง อยู่ในช่วงเวลา 09.00 - 14.00 น.

ทำการทดลองโดยการติดตั้งชุดควบคุมแสงสว่างพร้อมทั้งตั้งค่าให้ความเข้มแสงมีค่า 95 ลักซ์ โดยเปิดหน้าต่างผู้ทดลองเพื่อให้แสงจากภายนอกลอดเข้ามาได้ นำเครื่องมือวัดความเข้มแสง (Lux meter) เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า (Power Meter) เพื่อวัดค่าความเข้มแสงภายในผู้ทดลองและวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 00.00 - 24.00 น. หลังจากนำข้อมูลที่ได้อธิบายกราฟดังรูปที่ 5.8 (ก)

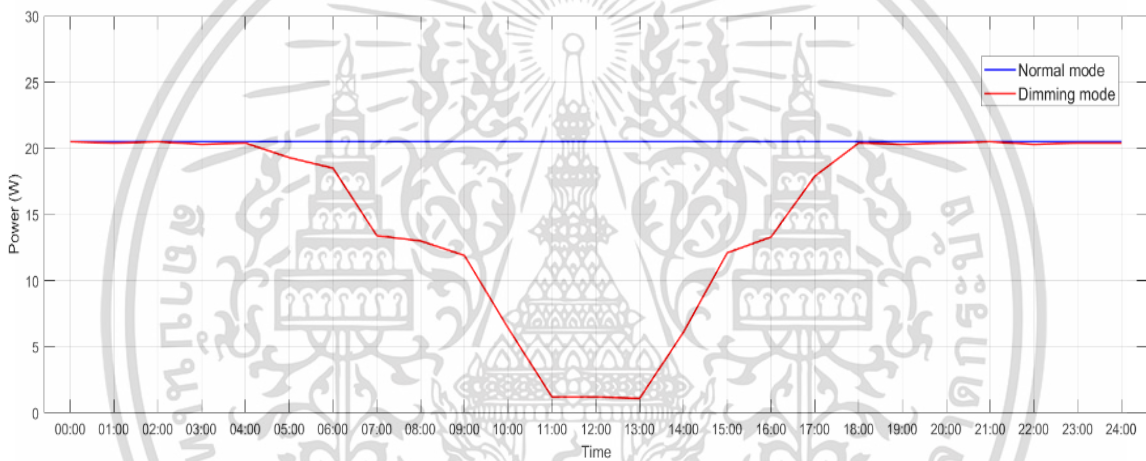
จากรูปที่แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงของระบบที่ไม่มีชุดควบคุมแสงสว่างและระบบที่มีชุดควบคุมแสงสว่างจะสังเกตได้ว่าช่วงเวลาตั้งแต่ 0.00 - 6.30 น. ค่าความเข้มแสงทั้ง 2 กรณี มีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากเป็นช่วงที่ไม่มีแสงจากภายนอกเข้ามาภายในผู้ทดลอง เมื่อภายนอกเริ่มมีแสง ค่าความเข้มแสงภายในผู้ทดลองจะมีค่าสูงขึ้น โดยระบบที่มีชุดควบคุมแสงสว่างปรับระดับความสว่างของหลอดไฟฟาลงมาเพื่อให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตั้งไว้คือ 95 ลักซ์ เนื่องจากแสงที่ส่องเข้ามาจากภายนอกมีค่าความเข้มแสงที่สูงมาก ถึงแม้ว่าชุดควบคุมแสงสว่างจะหรี่แสงสว่างมากที่สุด ค่ายังเกิน 95 ลักซ์ แต่หากเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีชุดควบคุมแสงสว่างพบว่าค่าความเข้มแสงนั้นมีค่าลดลง หลังจากช่วงเวลา 18.30 น. เนื่องจากแสงภายนอกหมดลง ทำให้ค่าความเข้มแสงภายในผู้ทดลองที่และใกล้เคียงกันทั้ง 2 ระบบ

จากรูปที่ 5.8 (ข) เป็นกราฟที่แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบที่ไม่มีชุดควบคุมแสงสว่างและระบบที่มีชุดควบคุมแสงสว่าง พบว่าช่วงเวลาที่ไม่ได้มีแสงจากภายนอก ได้แก่ 0.00 - 6.00 น. และ 18.00 - 24.00 น. ค่าพลังงานไฟฟ้าทั้ง 2 กรณีมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากชุดควบคุมไม่มีการปรับระดับความสว่างของหลอดไฟฟาลง ในช่วงเวลาตั้งแต่ 6.00-18.00 น. เป็นช่วงเวลาที่แสงภายนอกส่องเข้ามาภายในผู้ทดลอง ทำให้ชุดควบคุมแสงสว่างมีการหรี่แสงสว่างลง ส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วงนั้นมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีชุดควบคุมแสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กราฟเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงของระบบที่ไม่มีชุดควบคุมแสงสว่าง และระบบที่มีชุดควบคุมแสงสว่าง



(ข) กราฟเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบที่ไม่มีชุดควบคุมแสงสว่าง และระบบที่มีชุดควบคุมแสงสว่าง

รูปที่ 5.8 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆ ก่อนและหลังใช้ระบบการจัดการแสงสว่าง

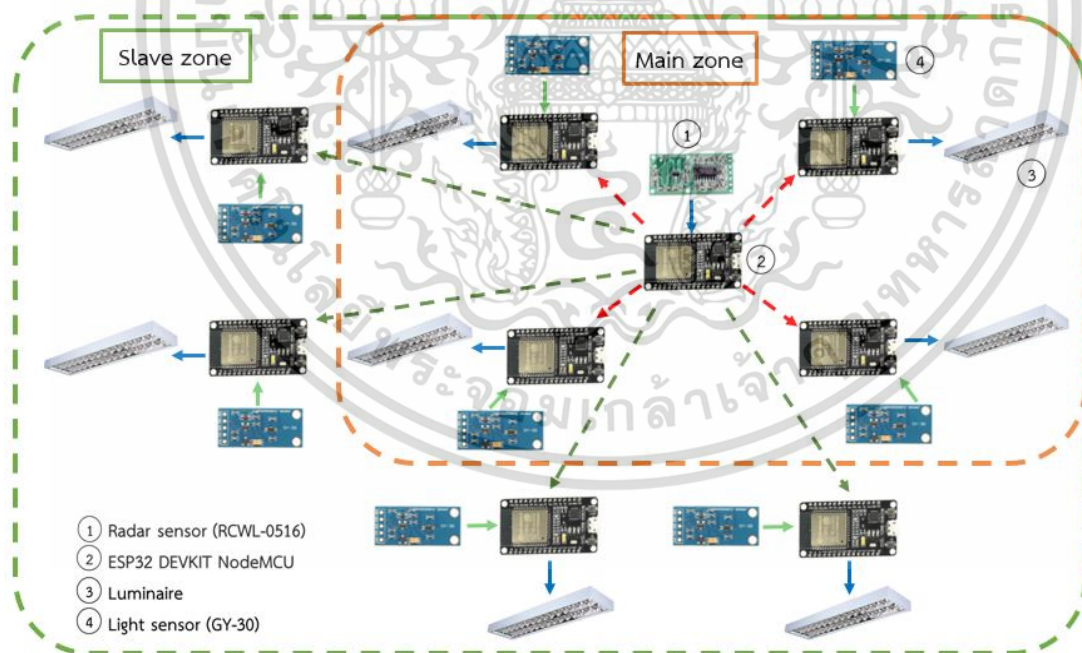
เวลา	ค่าความเข้มแสง (Lux)		แรงดันไฟฟ้า (V)		กระแสไฟฟ้า (A)		กำลังไฟฟ้า (W)		ตัวประกอบกำลัง (p.f)	
	ไม่มีระบบควบคุม	มีระบบควบคุม	ไม่มีระบบควบคุม	มีระบบควบคุม	ไม่มีระบบควบคุม	มีระบบควบคุม	ไม่มีระบบควบคุม	มีระบบควบคุม	ไม่มีระบบควบคุม	มีระบบควบคุม
01.00	93.6	93.3	224.6	224.6	0.097	0.097	20.5	20.5	0.94	0.94
02.00	93.2	94.0	224.6	224.6	0.097	0.096	20.5	20.4	0.94	0.94
03.00	93.4	94.2	224.5	224.6	0.097	0.097	20.5	20.5	0.94	0.94
04.00	93.7	93.5	224.6	224.6	0.097	0.096	20.5	20.3	0.94	0.94
05.00	93.1	94.4	224.6	224.6	0.097	0.096	20.5	20.4	0.94	0.94
06.00	93.8	94.5	224.6	224.5	0.097	0.096	20.5	19.3	0.94	0.89
07.00	11.8	103.1	224.6	224.6	0.097	0.093	20.5	18.5	0.94	0.88
08.00	131	113	224.6	224.6	0.097	0.091	20.5	13.4	0.94	0.66
09.00	144	121	224.6	224.6	0.097	0.090	20.5	13.0	0.94	0.64
10.00	146	122.3	224.6	224.6	0.097	0.089	20.5	11.9	0.94	0.6
11.00	147.1	122.9	224.7	224.6	0.097	0.067	20.5	6.4	0.94	0.42
12.00	146.3	123.9	224.6	224.5	0.097	0.022	20.5	1.2	0.94	0.24
13.00	144.8	122.8	224.6	224.6	0.097	0.022	20.5	1.2	0.94	0.24
14.00	141.9	120.2	224.6	224.6	0.097	0.022	20.5	1.1	0.94	0.24
15.00	137	115.4	224.6	224.5	0.097	0.066	20.5	6.1	0.94	0.41
16.00	133.6	114.7	224.6	224.6	0.097	0.088	20.5	12.1	0.94	0.61
17.00	127	108.8	224.5	224.6	0.097	0.091	20.5	13.3	0.94	0.65
18.00	96.9	96.9	224.6	224.6	0.097	0.093	20.5	17.9	0.94	0.86
19.00	93	92.7	224.6	224.6	0.097	0.097	20.5	20.4	0.94	0.93
20.00	93	92.5	224.6	224.6	0.097	0.096	20.5	20.3	0.94	0.93
21.00	93.4	93.6	224.6	224.6	0.097	0.097	20.5	20.4	0.94	0.94
22.00	93.2	93.1	224.6	224.6	0.097	0.097	20.5	20.5	0.94	0.94
23.00	93.7	93.2	0.097	224.6	0.097	0.096	20.5	20.3	0.94	0.93
00.00	93.7	93.9	0.097	224.6	0.097	0.097	20.5	20.4	0.94	0.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การควบคุมวงโคจรแบบตรวจจับความเคลื่อนไหวในพื้นที่ใช้งาน

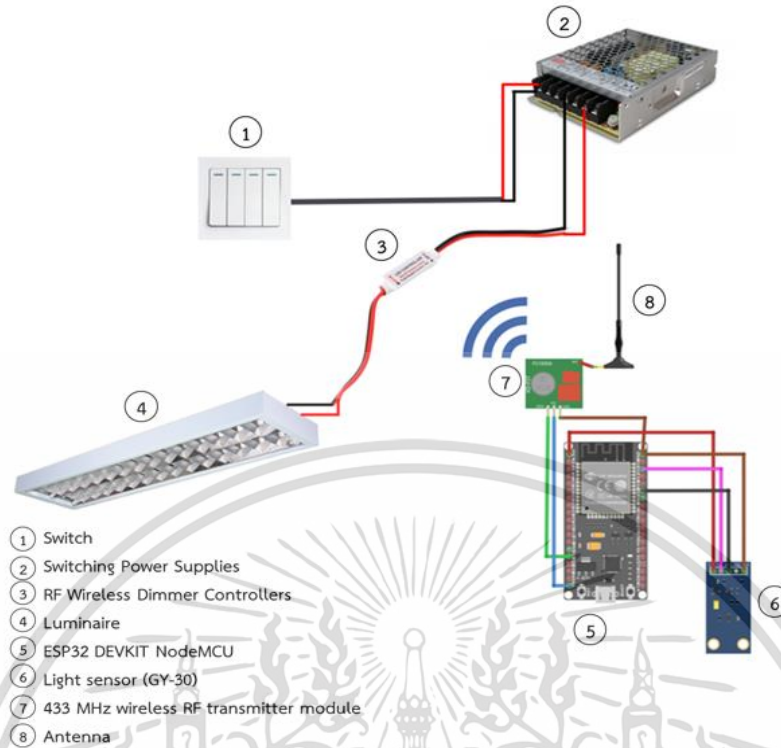
5.3.1 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ควบคุมวงโคจรแบบตรวจจับความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งาน

การควบคุมวงโคจรแบบตรวจจับความเคลื่อนไหวในพื้นที่ใช้งานประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเซ็นเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.9 ซึ่งมีเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวบุคคลในพื้นที่ใช้งานเพื่อส่งข้อมูลไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนควบคุมของกลุ่มดวงโคจร เพื่อกำหนดให้กลุ่มดวงโคจรที่อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงเป็นกลุ่มดวงโคจรหลัก และกลุ่มดวงโคจรที่อยู่ข้างเคียงเป็นกลุ่มดวงโคจรรอง เมื่อมีคำสั่งทำงานจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เซ็นเซอร์ของกลุ่มดวงโคจรจะตรวจวัดความส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานปัจจุบันเปรียบเทียบกับค่าที่เกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ เมื่อค่าความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งานมากกว่าหรือน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการผ่านระบบสื่อสารแบบไร้สายให้ชุดควบคุมความเข้มแสงของดวงโคจรลดหรือเพิ่มกระแสที่ไหลเข้าหลอดไดโอดเปล่งแสง เพื่อปรับให้ความเข้มแสงที่ออกจากดวงโคจรมีค่าตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อีกทั้งยังมีการสื่อสารกับผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนเกณฑ์ตามความเหมาะสมได้



รูปที่ 5.9 วงจรควบคุมการความส่องสว่างแบบพื้นที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 องค์ประกอบของวงจรหรี่ไฟสำหรับ 1 ดวงโคม

จากรูปที่ 5.10 เมื่อโหนดตัวย่อยรับค่าลอจิกมาจากโหนดตัวหลักผ่านคำสั่งแล้วตัวส่งสัญญาณ (transmitter) ที่ต่ออยู่กับโหนดตัวย่อยก็จะส่งข้อมูลโดยใช้หลักการของคลื่นวิทยุไปสั่งการไดรฟ์เวอร์ที่ต่ออยู่กับตัวดวงโคมให้ทำการเปิดปิดไฟตามค่าลอจิกที่ได้รับและเซ็นเซอร์แสงที่ต่อเข้ากับโหนดตัวย่อยจะทำหน้าที่ในการตรวจวัดค่าความสว่างของพื้นที่บริเวณนั้นๆ หากค่าความสว่างที่วัดได้ไม่เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด กล่าวคือหากมีค่าความสว่างน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ โหนดตัวย่อยจะสั่งการผ่านตัวส่งสัญญาณให้ตัวไดรฟ์เวอร์ปรับให้ดวงโคมทำงานให้มีความสว่างมากขึ้น หรือเมื่อเซ็นเซอร์แสงวัดค่าได้ค่าความสว่างได้มากกว่าค่าที่กำหนดไว้ โหนดตัวย่อยจะสั่งการผ่านตัวส่งสัญญาณให้ตัวไดรฟ์เวอร์ปรับให้ดวงโคมทำงานแบบหรี่ความสว่างลงเพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานที่เกินความจำเป็น

5.3.2 ผลการทดสอบอุปกรณ์ควบคุมดวงโคมแบบตรวจจับความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งาน

จากตารางที่ 5.5 ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจริงของหลอดไฟขึ้นอยู่กับระดับความสว่างของหลอดไฟ เมื่อลดระดับความสว่างของดวงโคมลง ค่ากระแสไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าจริงของหลอดไฟก็ลดลงเช่นกัน และจากรูปที่ 4.2 เป็นกราฟการยกตัวอย่างเมื่อลดระดับความสว่างของดวงโคมจากลำดับความสว่างที่ 4 ลงมาที่ลำดับความสว่างที่ 1 จะเห็นได้ว่า ค่าของ %THDi มีค่าลดลงเมื่อสั่งเปลี่ยนลำดับความสว่างและมีแนวโน้มเริ่มคงที่มากขึ้นในเวลาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 วัดค่าทางไฟฟ้าของวงจรต่อหลอดไฟ 1 ดวง/คอม (2 หลอด)

ลำดับความสว่าง	ความต่างศักย์ (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้าจริง (W)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	ความสว่าง (lux)	%THD _i
20	223.3	0.459	55.7	0.542	1328	143.92
19	223.2	0.439	52.8	0.537	1255	146.99
18	222.6	0.416	50	0.533	1187	147.24
17	223.0	0.393	47.2	0.531	1121	147.78
16	222.9	0.373	44.4	0.527	1055	151.67
15	222.9	0.349	41.5	0.526	990	150.23
14	223	0.326	38.7	0.522	925	150.99
13	222.9	0.303	35.5	0.520	860	151.60
12	223.0	0.281	32.7	0.515	795	152.12
11	223.0	0.258	29	0.512	730	152.36
10	223.1	0.237	27.1	0.503	665	152.25
9	223.1	0.215	24.2	0.498	599	152.52
8	223.1	0.194	21.6	0.489	534	154.94
7	223.1	0.173	18.8	0.480	469	151.41
6	222.5	0.151	16.1	0.467	403	153.69
5	222.6	0.131	13.1	0.453	336	146.34
4	222.9	0.111	11.7	0.432	270	138.2
3	222.9	0.091	8.1	0.397	203	128.07
2	222.7	0.071	5.5	0.347	135.2	105.73
1	222.5	0.055	3	0.251	67.8	68.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

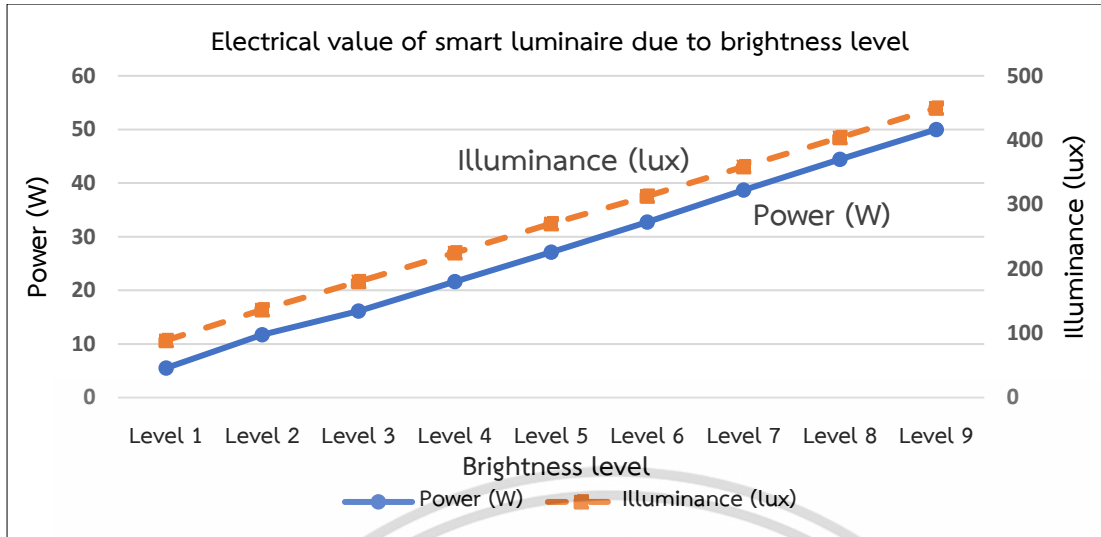
การทำงานของดวงโคมในโหมดการทำงานแบบปรับตั้งค่าด้วยตนเอง (Manual mode) ผู้ใช้งานสามารถเลือกปรับระดับของความสว่างได้ทั้งหมด 9 ระดับ ขึ้นอยู่กับความต้องการและความเหมาะสมของประเภทการใช้งาน ซึ่งแต่ละดวงโคมสามารถวัดค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ ค่าของความต่างศักย์, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าจริง, ตัวประกอบกำลัง, %THDi และค่าของความสว่างได้ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ค่าทางไฟฟ้าของดวงโคมเมื่อทำงานในโหมดปรับตั้งค่าด้วยตนเอง (Manual mode) ของดวงโคมในบริเวณพื้นที่ใช้งานหลัก 1 ดวงโคม

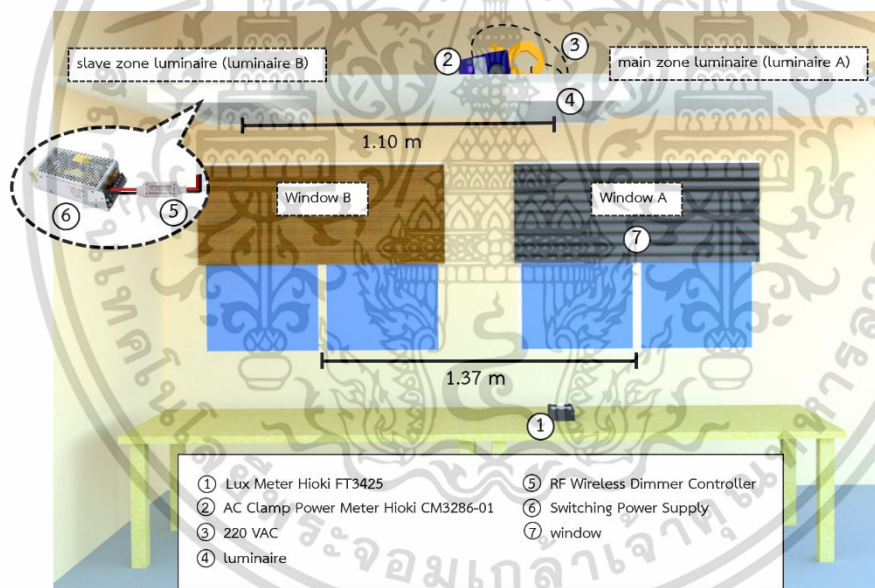
ค่าทางไฟฟ้า ลำดับความสว่าง	ดวงโคมในพื้นที่ใช้งานหลัก					
	ความต่างศักย์ (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้าจริง (W)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	%THDi	ความสว่าง (lux)
1	222.7	0.071	5.5	0.347	135.2	88.8
2	222.9	0.111	11.7	0.432	138.2	136.2
3	222.5	0.151	16.1	0.467	153.69	180
4	223.1	0.194	21.6	0.489	154.94	225
5	223.1	0.237	27.1	0.503	152.25	270
6	223.0	0.281	32.7	0.515	152.12	313
7	223	0.326	38.7	0.522	150.99	359
8	222.9	0.373	44.4	0.527	151.67	404
9	222.6	0.416	50	0.533	147.24	450

จากตารางที่ 4.2 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ เพื่อแสดงแนวโน้มของทั้งค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่าความสว่าง พบว่าแนวโน้มของค่ากำลังไฟฟ้าจริงแปรผันตรงกับค่าของความสว่างที่วัดได้ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ในแต่ละระดับความสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

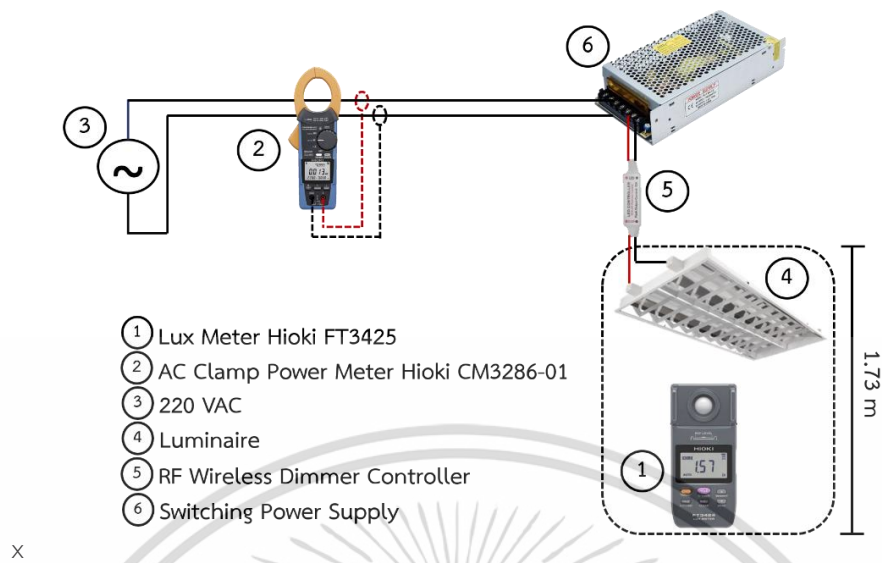


รูปที่ 5.11 กราฟความสัมพันธ์ค่าทางไฟฟ้าของดวงโคมในบริเวณพื้นที่ใช้งานหลัก เมื่อใช้งานในโหมดปรับตั้งค่าด้วยตนเอง (Manual mode)



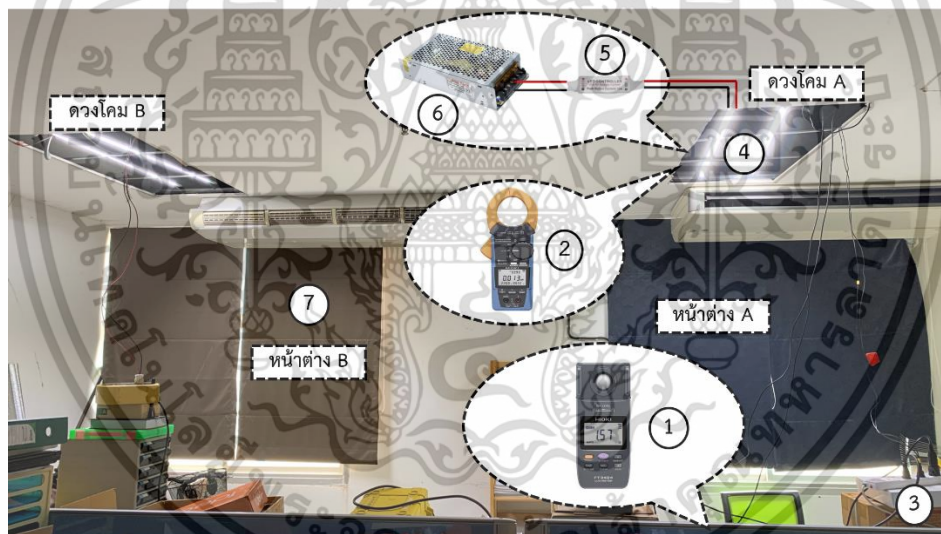
(ก) จำลองตำแหน่งของอุปกรณ์ในการทดลอง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



x

(ก) ไดอะแกรมเส้นเดียว (One line diagram)



(ข) ชุดทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ขณะติดตั้งจริงในห้อง

รูปที่ 5.13 วงจรวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของหลอดไฟ 1 ดวงโคม (2 หลอด) ขณะติดตั้งจริงในห้อง

การวัดค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากดวงโคมที่ทำงานอยู่ในโหมดการทำงานอัตโนมัติ (Automatic mode) การทดลองวัดค่าความสว่างและค่าทางไฟฟ้าของดวงโคม ทั้งดวงโคมที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ใช้งานหลักและดวงโคมที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ใช้งานโดยรอบโดยดวงโคมทำงานอยู่ในโหมดอัตโนมัติ เทียบกับปัจจัยภายนอก ตามเงื่อนไขของกรณีต่างๆ ที่มีค่าความสว่างจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบแตกต่างกัน จะส่งผลต่อการทำงานของดวงโคมให้มีความแตกต่างกันไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 กรณีศึกษาที่ใช้ในการทดสอบระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้า

กรณี	สถานะของไฟภายนอก	สถานะของหน้าต่าง	
		หน้าต่าง A	หน้าต่าง B
1	ปิด	ปิด	ปิด
2	เปิด	ปิด	ปิด
3	ปิด	ปิด	เปิดครึ่งบาน
4	ปิด	ปิด	เปิดเต็มบาน
5	ปิด	เปิดครึ่งบาน	ปิด
6	ปิด	เปิดเต็มบาน	ปิด
7	ปิด	เปิดครึ่งบาน	เปิดครึ่งบาน
8	ปิด	เปิดเต็มบาน	เปิดเต็มบาน
9	เปิด	เปิดเต็มบาน	เปิดเต็มบาน

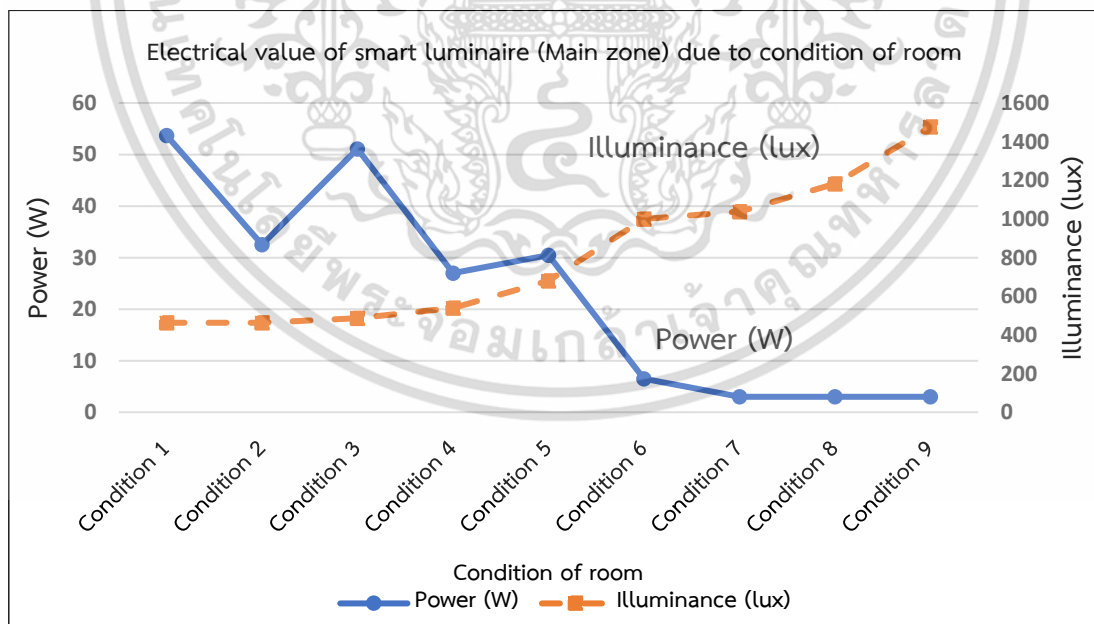
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.8 ผลการจำลองระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้าแบบตรวจจับความเคลื่อนไหวในพื้นที่ใช้งาน

ค่าทางไฟฟ้า กรณี	ดวงโคมในพื้นที่ใช้งานหลัก (ดวงโคม A)						ดวงโคมในพื้นที่ใช้งานโดยรอบ (ดวงโคม B)					
	ความต่าง ศักย์ (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า จริง (W)	ตัว ประกอบ กำลังไฟฟ้า	%THD _i	ความสว่าง (lux)	ความต่าง ศักย์ (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า จริง (W)	ตัว ประกอบ กำลังไฟฟ้า	%THD _i	ความสว่าง (lux)
1	222.9	0.429	53.7	0.557	143.84	463	222.6	0.262	31.7	0.531	152.09	374
2	221.7	0.281	32.5	0.515	152.12	463	222.9	0.248	29.4	0.524	153.71	376
3	221.3	0.423	51.1	0.546	147.2	486	223.4	0.056	3	0.248	69.54	446
4	220.9	0.238	27	0.504	152.36	539	223.1	0.055	3	0.242	67.22	492
5	221.2	0.267	30.5	0.510	152.24	680	223.4	0.189	21.6	0.429	153.97	370
6	221.9	0.075	6.5	0.341	106.54	1000	223.3	0.088	8.1	0.403	125.26	396
7	222.6	0.057	3	0.254	78.45	1038	223.4	0.221	26.2	0.524	152.74	423
8	222.4	0.058	3	0.249	68.68	1182	223.0	0.056	3	0.254	65.43	510
9	222.3	0.058	3	0.248	65.36	1476	223.4	0.056	3	0.257	66.41	750

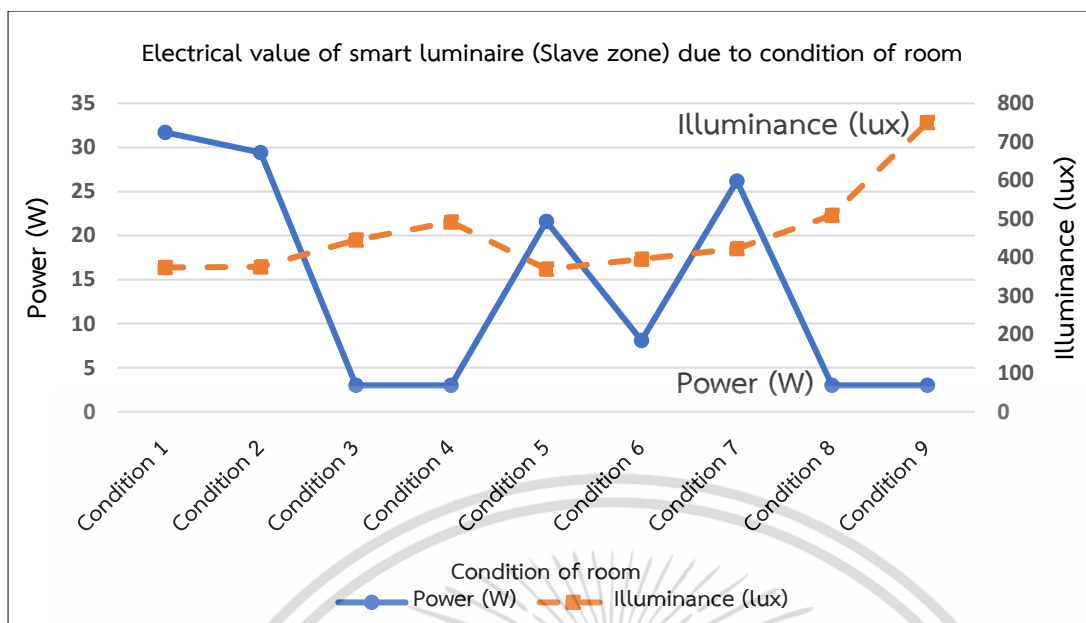
จากรูปที่ 5.14 (ก) และ (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางไฟฟ้าของดวงโคมในพื้นที่ใช้งานหลัก(ดวงโคม A) และดวงโคมในพื้นที่ใช้งานโดยรอบ (ดวงโคม B) ที่เปลี่ยนแปลงตามปัจจัยที่แตกต่างกัน 9 กรณี ภายในระยะเวลา 3 นาทีโดยทุกๆ กรณีจะเริ่มทำการทดลองจากกรณีที่ 1 ซึ่งคือ ปิดไฟและม่านหน้าต่างภายในห้องเป็นระยะเวลา 1 นาที แล้วจึงกระทำตามกรณีอื่นๆ ต่อไปจนครบ 3 นาที (ก) จะแสดงพฤติกรรมของดวงโคมในพื้นที่ใช้งานหลัก (ดวงโคม A) ซึ่งควบคุมความสว่างภายในบริเวณให้มีค่าที่ประมาณ 500 ลักซ์ ในขณะที่ (ข) จะแสดงพฤติกรรมของดวงโคมในพื้นที่ใช้งานโดยรอบ (ดวงโคม B) ซึ่งจะควบคุมความสว่างภายในบริเวณให้มีค่าที่ประมาณ 300 ลักซ์จึงมีค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ค่อนข้างต่ำกว่า (ก) ในกรณีส่วนใหญ่เนื่องจากต้องการความสว่างที่น้อยกว่า โดยในแต่ละกรณีจะแสดงให้เห็นถึงค่าทางไฟฟ้าที่ลดลงเมื่อมีแสงสว่างจากปัจจัยภายนอกเพิ่มขึ้น กล่าวคือหากมีความสว่างจากภายนอกมากเท่าไร ดวงโคมจะควบคุมความสว่างให้มีค่าเพียงพอตามมาตรฐานโดยลดความสว่างจากดวงโคมเองจนกระทั่งความสว่างในบริเวณมีค่าตามที่กำหนดไว้หรือจนกระทั่งเป็นการทำงานต่ำสุดของดวงโคมซึ่งส่งผลให้ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ลดลงด้วยเช่นกัน

จากการทดลองทั้ง 9 กรณีสามารถนำมาเขียนกราฟเพื่อแสดงแนวโน้มของทั้งค่ากำลังไฟฟ้าจริงและความสว่าง พบว่าแนวโน้มของค่ากำลังไฟฟ้าจริงแปรผกผันกันกับค่าของความสว่างที่วัดได้ ซึ่งเมื่อค่าความสว่างของบริเวณภายในห้องมากกว่าค่ามาตรฐานกำหนดไว้ ดวงโคมจะทำการหรี่ไฟลง จนกระทั่งถึงจุดที่ยังคงให้ความสว่างเพียงพอ กำลังไฟฟ้าจริงที่ใช้ก็จะลดลงไปด้วย



(ก) กราฟความสัมพันธ์ค่าทางไฟฟ้าของดวงโคมในบริเวณพื้นที่ใช้งานหลัก (ดวงโคม A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) กราฟความสัมพันธ์ค่าทางไฟฟ้าของดวงโคมในบริเวณพื้นที่ใช้งานโดยรอบ (ดวงโคม B)

รูปที่ 5.14 กราฟความสัมพันธ์ค่าทางไฟฟ้าของดวงโคมระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่าความสว่างที่วัดได้

5.4 ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้าในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์ได้ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีการประเมินผลทั้งกรณีที่ใช้การควบคุมดวงโคมแบบตรวจจับความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งาน และการติดตั้งการควบคุมดวงโคมแบบตรวจจับความเคลื่อนไหวในพื้นที่ใช้งาน

5.4.1 ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการติดตั้งการควบคุมดวงโคมแบบตรวจจับความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งาน

ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการติดตั้งการควบคุมดวงโคมแบบตรวจจับความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งาน โดยคำนวณค่าต่าง ๆ โดยอายุของโครงการจะกำหนดจากอายุการใช้งานของหลอดไฟฟ้า จากข้อมูลของหลอดไฟไดโอดเปล่งแสงขนาด 24 วัตต์ มีอายุการใช้งาน 50,000 ชั่วโมง โดยให้เปิดในเวลา 09.00 น. ถึงเวลา 18.00 น. จะมีอายุการใช้งานประมาณ 6 ปี ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ คำนวณจากข้อมูลจากตารางที่ 4.5 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของดวงโคมหรือแสงอัตโนมัติและดวงโคมปกติ ได้ค่าดังตารางที่ 5.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.9 ค่าที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนที่ประหยัดได้

ค่าต่างๆ	ดวงโคมปกติ	ดวงโคมทรีแสงอัตโนมัติ
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อ 1 วัน	624.62 วัตต์	152.1 วัตต์
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อ 1 ปี	227.98 หน่วย	55.52 หน่วย
ค่าไฟฟ้าต่อ 1 วัน	2.37 บาท	0.58 บาท
ค่าไฟฟ้าต่อ 1 ปี	866.32 บาท	210.98 บาท

เพราะฉะนั้น ต้นทุนที่ประหยัดได้รายปีคือ $866.32 - 210.98$ เท่ากับ 655.34 ดังนั้น ES_t เท่ากับ 655.34 เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ รวมค่าอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งหมดสุทธิ 3,000 บาท ต่อ 1 ดวงโคมไฟฟ้า ดังนั้น IO เท่ากับ 3,000 ค่าอัตราดอกเบี้ยที่แท้จริงนิยมใช้ อัตราผลตอบแทนของตัวเงินคลัง 1 ปี เป็นค่าอ้างอิง เพราะเป็นอัตราดอกเบี้ยไร้ความเสี่ยง (Risk-free rate) ประเทศไทยมีค่าอยู่ที่ 1.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี และค่า inflation rate คือค่าอัตราเงินเฟ้อ ประเทศไทยมีค่าอัตราเงินเฟ้อเฉลี่ยย้อนหลังประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ทำให้สามารถคำนวณค่าอัตราลดค่าได้ 3.53 เปอร์เซ็นต์ เพราะฉะนั้น ค่า i เท่ากับ 0.0353

ตารางที่ 5.10 สรุปค่าที่ใช้ในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

ตัวแปร		ค่าที่คำนวณได้
อายุของโครงการ (ปี)	n	6
ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้รายปี (energy cost savings)	ES_t	655.34
เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (total investment)	IO	3,000
อัตราลดค่า (discount rate)	i	0.0353

เมื่อแทนค่าตัวแปรทั้ง 4 ค่าจากตารางที่ 5.10 จะได้ค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 507.362 บาท ซึ่งถ้าหากมูลค่าปัจจุบันสุทธิน้อยกว่าศูนย์ โครงการนั้นไม่สมควรลงทุน เพราะได้เงินสุทธิน้อยกว่าที่คาดหวังจากอัตราลดค่า ถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์ จะลงทุน เพราะได้เงินสุทธิตามที่คาดหวังจากอัตราลดค่า และถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธินอกจากศูนย์ จะลงทุน เพราะได้เงินสุทธินอกจากที่คาดหวังจากอัตราลด ค่าอายุของโครงการ ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ เป็นค่าเดียวกันกับที่ใช้คำนวณค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) ซึ่ง n เท่ากับ 6, ES_t เท่ากับ 655.34 และ IO เท่ากับ 3,000 จากตารางที่ 5.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคำนวณค่าอัตราผลตอบแทนภายในได้ 0.0870 หรือ 8.70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าหากอัตราผลตอบแทนภายในน้อยกว่าอัตราลดค่า จะไม่ลงทุน เพราะผลตอบแทนน้อยกว่าที่คาดหวังจากอัตราลดค่า ถ้าอัตราผลตอบแทนภายในเท่ากับอัตราลดค่า จะลงทุน เพราะให้ผลตอบแทนตามที่คาดหวังจากอัตราลดค่า และถ้าอัตราผลตอบแทนภายในมากกว่าอัตราลดค่า จะลงทุน เพราะให้ผลตอบแทนมากกว่าที่คาดหวังจากอัตราลดค่า จากการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวกและอัตราผลตอบแทนภายในมากกว่าอัตราลดค่า แสดงว่าการติดตั้งดวงโคมหรือแสงอัตโนมัติ มีความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งแทนดวงโคมปกติ เพราะผลตอบแทนได้มากกว่าที่คาดหวังจากอัตราลดค่า เนื่องจากการหรือแสงของดวงโคมไฟฟ้า ทำให้ใช้กำลังไฟฟ้าลดลงจากดวงโคมปกติ 172.46 หน่วยต่อปี ประหยัดค่าไฟฟ้า 655.34 บาทต่อปี

ตาราง 5.11 สรุปความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งดวงโคมหรือแสงอัตโนมัติ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	507.362 บาท
อัตราผลตอบแทนภายใน	8.70 เปอร์เซ็นต์
กำลังไฟฟ้าลดลง	172.46 หน่วยต่อปี
ประหยัดค่าไฟฟ้า	655.34 บาทต่อปี

5.4.2 ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการติดตั้งการควบคุมดวงโคมแบบตรวจจับความเคลื่อนไหวในพื้นที่ใช้งาน

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นเกณฑ์ประกอบการตัดสินใจของผู้ใช้งานในการเลือกติดตั้งการควบคุมดวงโคมแบบตรวจจับความเคลื่อนไหวในพื้นที่ใช้งาน โดยพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิและค่าอัตราผลตอบแทนภายใน

จากการทดลองติดตั้งดวงโคมอัจฉริยะโดยพิจารณาปริมาณการใช้ไฟฟ้า กำหนดให้มีการใช้งานทุกพื้นที่ภายในห้องและสภาพแวดล้อมในห้องทำงานเป็นไปตามเงื่อนไขที่ 7 คือมีการเปิดหน้าต่างต่างทุกบานเพียงครั้งเดียว พบว่าจากสภาพแวดล้อมที่กล่าวไปข้างต้นทำให้ดวงโคมในพื้นที่หมายเลข 1 มีการใช้กำลังไฟฟ้าไปทั้งหมด 24 วัตต์ และในพื้นที่หมายเลข 2 เนื่องจากแสงสว่างจากหน้าต่างเข้ามาไม่ถึง ดวงโคมมีการเปิดใช้งานเต็มพิกัด มีการใช้ไฟฟ้าไปทั้งหมด 260 วัตต์ ดังนั้นภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมงมีการใช้กำลังไฟฟ้าทั้งสิ้น 284 วัตต์ และภายในระยะเวลา 1 วัน ห้องทำงานถูกใช้งานตั้งแต่เวลา 08.00-17.00 น. รวมเป็นเวลาทั้งสิ้น 9 ชั่วโมง ใช้กำลังไฟฟ้า 2,556 วัตต์ ในส่วนของกรณีเปรียบเทียบการใช้ดวงโคมปกติ ไม่มีการติดตั้งเซ็นเซอร์เข้าไประยะเวลา 1 วัน ใช้กำลังไฟฟ้าทั้งสิ้น 7,732.8 วัตต์ โดยค่าสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.12 ปริมาณค่าทางไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระหว่างดวงโคมปกติและระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้า

ปริมาณทางไฟฟ้า	ดวงโคมปกติ		ระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้า	
	ระยะเวลา 1 วัน	ระยะเวลา 1 ปี	ระยะเวลา 1 วัน	ระยะเวลา 1 ปี
ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้	7732.8 วัตต์	2,822.47 หน่วย	2556 วัตต์	932.94 หน่วย
ค่าไฟฟ้า	29.38 บาท	10,725.3 บาท	9.17 บาท	3,545.14 บาท

จากที่กล่าวมาข้างต้นค่าอายุของโครงการ (n) มีค่าเท่ากับ 6 ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้รายปี (Est) มีค่าเท่ากับ 7,180.16 และ เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (I_0) มีค่าเท่ากับ 35,200 บาท โดยมีผลตอบแทนภายใน (IRR) เท่ากับ 0.061 สามารถสรุปค่าความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้ดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 สรุปค่าจากการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้า

	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	อัตราลด	อัตราผลตอบแทนภายใน
ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	3,022.1895	0.0353	0.061

มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก และอัตราผลตอบแทนภายในมากกว่าอัตราลด กล่าวคือการติดตั้งระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้ามีความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งแทนการติดตั้งดวงโคมแบบปกติ และสามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าในห้องทำงานลงได้ถึง 1,889.53 หน่วยต่อปี หรือร้อยละ 66.95% คิดเป็นมูลค่า 7,180.16 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

เพื่อให้อาคารเป็นอาคารอนุรักษ์พลังงานจึงจำเป็นต้องการตรวจสอบและปรับปรุงอาคารที่มีอยู่ให้สอดคล้องกับประมวลกฎหมายพลังงานอาคารของประเทศไทย การประเมินอาคารห้าด้านโดยใช้โปรแกรม BEC ได้แก่ โครงสร้างอาคาร แสงสว่าง เครื่องปรับอากาศ พลังงานทดแทน และการใช้พลังงานทั้งหมด ผลการประเมินกรณีฐานพบว่าอาคารไม่ผ่านมาตรฐานในส่วนของการอบอาคารและระบบปรับอากาศ ขณะที่ระบบแสงสว่างและการใช้พลังงานทั้งหมดยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับขีดจำกัดมาตรฐาน จึงมีโอกาสที่จะไม่เป็นไปตามมาตรฐานได้ในอนาคต ในกรณีที่อุปกรณ์ วัสดุเสื่อมสภาพ และการแก้ไขเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานของอาคาร

การปรับปรุงกรณีศึกษาเพิ่มเติมได้ดำเนินการและประเมินตามรหัสพลังงานของอาคารโดยใช้ซอฟต์แวร์ BEC จากผลการวิจัยพบว่ากรอบอาคารได้รับการพิสูจน์โดยการติดตั้งฉนวนในผนังและหลังคา และหน้าต่างก็เปลี่ยนเป็นกระจกประหยัดพลังงานสูง ซึ่งช่วยให้อาคารสามารถปฏิบัติตามส่วนกรอบอาคารของได้ นอกจากนี้ระบบไฟส่องสว่างยังได้รับการปรับปรุงใหม่โดยการแทนที่หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดเล็กด้วยหลอด LED ประสิทธิภาพสูงที่ประหยัดพลังงาน ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานลงได้อย่างมาก และรักษาปริมาณความสว่างเท่าเดิมพื้นที่การทำงาน ในส่วนของระบบปรับอากาศนั้น เครื่องปรับอากาศแบบปรับความเร็ววงที่ได้ถูกแทนที่ด้วยเครื่องปรับอากาศแบบปรับความเร็วได้ (อินเวอร์เตอร์) หน่วยทดแทนมีค่า SEER สองเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยกรณีพื้นฐาน ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการทำความเย็นเท่าเดิมและลดการใช้พลังงาน ในกรณีที่ติดตั้งเพิ่มเติม มีการติดตั้งระบบ PV และหลังคาแผ่นโลหะถูกถอดออกเพื่อให้พลังงานที่สร้างขึ้นช่วยลดการใช้พลังงานทั้งหมดได้อย่างมากโดยคำนึงถึงอาคารอ้างอิงและอาคารฐาน ดังนั้นอาคารที่ได้รับการปรับปรุงใหม่จึงสามารถลดการใช้พลังงานได้ประมาณ 48% เมื่อเทียบกับกรณีพื้นฐาน

สำหรับระบบการควบคุมค่าพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย เป็นระบบที่ใช้จำกัดหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน เพื่อให้มีการใช้พลังงานลดลง การออกแบบระบบดังกล่าวได้มีการนำตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ทำการรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้จากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า เมื่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้จากการไฟฟ้ามียูค่าสูงเกินกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวควบคุมโปรแกรมได้วิเคราะห์ ตัวควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ทำการส่งสัญญาณไปตัดต่อแมกเนติกคอนแทคเตอร์ เพื่อเปลี่ยนแหล่งจ่ายจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำจากการไฟฟ้า เป็นระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเลือกจ่ายให้วงจรที่มีการใช้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากการตรวจวัดขนาดกระแสในแต่ละวงจรด้วย ซึ่งผลการทดสอบกรณีระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดเป็นค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 5.4 ต่อเดือน ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภาพรวมภายในที่อยู่อาศัย โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวัน สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 8.2 ต่อเดือน จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบบริหารจัดการพลังงานที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการทำงานทั้งในด้านการบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูง และลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นกับเจ้าของโครงการได้ ซึ่งระบบที่นำเสนอสามารถปรับปรุงความสามารถของเครื่องควบคุมเชิงตรรกที่สามารถโปรแกรมได้ให้มีประสิทธิภาพและการตอบสนองที่ดีขึ้น และนำไปประยุกต์ติดตั้งใช้งานกับอาคารจริงในอนาคตได้

สำหรับการติดตั้งระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้า โดยมีการประเมินผลทั้งกรณีที่ใช้การควบคุมดวงโคมแบบตรวจจับความเข้มแสงบนพื้นที่ใช้งาน และการติดตั้งการควบคุมดวงโคมแบบตรวจจับความเคลื่อนไหวในพื้นที่ใช้งานสามารถลดการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างลง ได้ประมาณร้อยละ 26.87 ดังนั้นเมื่อมีการการปรับปรุง ติดตั้งระบบบริหารจัดการในอาคาร อุปกรณ์ควบคุมความสว่างของดวงโคม อาคารจะมีการใช้พลังงานเข้าใกล้ศูนย์มากยิ่งขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะ

พิจารณาการวัสดุปรับปรุงอาคารประสิทธิภาพสูงเพื่อรองรับมาตรฐานเกณฑ์อาคารอนุรักษ์พลังงานที่จะมีการปรับเปลี่ยนทุก 5 ปี โดยเพิ่มความเข้มข้นของเกณฑ์ตามการพัฒนาของเทคโนโลยี ดังนั้นวัสดุรอบอาคาร อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และระบบประบอากาศที่เลือกในปัจจุบันอาจจะไม่ได้ผลลัพธ์ตามที่นำเสนอในอนาคต

ระบบบริหารจัดการพลังงานมีข้อจำกัดในการทำงานเนื่องจากขนาดพิกัดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอุปกรณ์กักเก็บพลังงาน ดังนั้นถ้ามีการเพิ่มพิกัดของอุปกรณ์ประกอบในระบบอาจสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานของอาคารลงได้แต่ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมเพื่อให้การลงทุนเป็นไปอย่างคุ้มค่า เลือกใช้อินเวอร์เตอร์แบบผสมที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าและซาร์จพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ได้ เพื่อลดปัญหาการเปลี่ยนแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ส่งผลให้ภาระไฟฟ้ากระตุกเนื่องจากการขาดพลังงานไฟฟ้าในช่วงขณะหนึ่ง อีกทั้งการทดลองระบบบริหารจัดการพลังงานควรมีการพิจารณาเรื่องสภาพอากาศเนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิต

ระบบควบคุมความสว่างดวงโคมไฟฟ้า ควรเลือกใช้ตัวตรวจจับแสงสว่างที่มีความละเอียดมากขึ้น เพื่อให้ค่าความเข้มแสงที่ปรับในโหมดอัตโนมัติมีค่าเที่ยงตรงและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสงได้อย่างรวดเร็ว การทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการอาจไม่สามารถนำผลมาคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้โดยตรงเนื่องจากปัจจัยพฤติกรรมการใช้งาน และแสงธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, รายงานสถิติพลังงานรายปี 2560
- [2] กฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552. 20 กุมภาพันธ์ 2552 ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 126 ตอนที่.12ก หน้า 9-15.
- [3] Fumo, N. A review on the basics of building energy estimation. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014, 31, 53–60.
- [4] Grandjean, A.; Adnot, J.; Binet, G. A review and an analysis of the residential electric load curve models. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2012, 16, 6539–6565.
- [5] Curtis, M.; Torriti, J.; Smith, S.T. A comparative analysis of building energy estimation methods in the context of demand response. *Energy Build.* 2018, 174, 13–25.
- [6] Belussi, L.; Danza, L.; Ghellere, M.; Guazzi, G.; Meroni, I.; Salamone, F. Estimation of building energy performance for local energy policy at urban scale. *Energy Procedia* 2017, 122, 98–103.
- [7] Thonipara, A.; Runst, P.; Ochsner, C.; Bizer, K. Energy efficiency of residential buildings in the European Union—An exploratory analysis of cross-country consumption patterns. *Energy Policy* 2019, 129, 1156–1167.
- [8] D’Agostino, D.; Cuniberti, B.; Bertoldi, P. Energy consumption and efficiency technology measures in European non-residential buildings. *Energy Build.* 2017, 153, 72–86.
- [9] Ali, S.B.M.; Hasanuzzaman, M.; Rahim, N.A.; Mamun, M.A.A.; Obaidellah, U.H. Analysis of energy consumption and potential energy savings of an institutional building in Malaysia. *Alex. Eng. J.* 2021.
- [10] Zhan, S.; Chong, A. Building occupancy and energy consumption: Case studies across building types. *Energy Built Environ.* 2021.
- [11] Fonseca, J.A.; Nevat, I.; Peters, G.W. Quantifying the uncertain effects of climate change on building energy consumption across the United States. *Appl. Energy* 2020, 277.
- [12] O’Brien, W.; Tahmasebi, F.; Andersen, R.K.; Azar, E.; Barthelmes, V.; Belafi, Z.D.; Berger, C.; Chen, D.; Simone, M.D.; d’Oca, S.; Hong, T.; et al. An international review of occupant-related aspects of building energy codes and standards. *Build. Environ.* 2020, 179, 106906.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13]Arjunan, P.; Poola, K.; Miller, C. EnergyStar++: Towards more accurate and explanatory building energy benchmarking. *Appl. Energy* 2020, 276, 11541.
- [14]Costa, J.F.W.; Amorim, C.N.D.; Silva, J.C.R. Retrofit guidelines towards the achievement of net zero energy buildings for office buildings in Brasilia. *J. Build. Eng.* 2020, 32.
- [15]Ali, U.; Shamsi, M.H.; Bohacek, M.; Hoare, C.; Purcell, K.; Mangina, E.; O'Donnell, J. A data-driven approach to optimize urban scale energy retrofit decisions for residential buildings. *Appl. Energy* 2020, 267, 114861.
- [16]Ali, H.; Hashlamun, R. Envelope retrofitting strategies for public school buildings in Jordan. *J. Build. Eng.* 2019, 25, 1008–1019.
- [17]Chirarattananon, S.; Taveekun, J. An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand. *Energy Build.* 2004, 36, 680–689.
- [18]Bright Management Consulting Co., Ltd. Promoting Energy Efficiency in Commercial Buildings (PEECB) Progress Report # 2 , Department of Alternative Energy Development and Efficiency: Bangkok, Thailand, 2013.
- [19]C. W. Gellings and K. E. Parmenter, “Demand-Side Management,” *Energy Management and Conservation Handbook*, ed. by F. Kreith and D. Y Goswami (CRC Press, 2008).
- [20]Kai Ma, Ting Yao, Jie Yang, Xinping Guan “Residential power scheduling for demand response in smart grid,” available at ScienceDirect, *Electrical Power and Energy Systems* 78 (2016), pp.320–325, 19 Dec. 2015.
- [21]A. Khodaei, M. Shahidehpour, and J. Choi, “Optimal hourly scheduling of community-aggregated electricity consumption,” *J. Electr. Eng. Technol.*, vol.8, pp.724–733, 2013.
- [22]A. G. Paetz, T. Kaschub, P. Jochem, and W. Fichtner, “Load-shifting potentials in households including electric mobility—A comparison of user behaviour with modeling results,” in *Proc. 10th IEEE Int. Conf. Eur. Energy Markets*, Stockholm, Sweden, pp.1–7, 2013.
- [23]Q. Zhu; Z. Han and T. Basar, “A differential game approach to distributed demand side management in smart grid,” in *Proc. ICC IEEE Int. Conf. Commun.*, pp.3345–3350, 2012

- [24]Kim, S.; Choi, J.; Park, G.; Yoo Jiyoon, "Photovoltaic power generation for air-conditioning system based on predictive control," Proceedings of the 1996 International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth, 1996., vol.1, pp.94-100, 8-11 Jan 1996
- [25]Braam, F.; Hollinger, R.; Llerena Engesser, M.; Muller, S.; Kohrs, R.; Wittwer, C., "Peak shaving with photovoltaic-battery systems," 2014 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), pp.1-5, 12-15 Oct. 2014
- [26]Zheng Tianwen; Chen Lajun; Mei Shengwei, "Control strategy and application of power converter system in battery energy storage system," in 2014 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), pp.1-6, 12-15 Oct. 2014
- [27]C. P. Vineetha and C. A. Babu "Economic Analysis of Off Grid and On Grid Hybrid Power System," 2014 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), pp.473-478, 2014
- [28]S. Praveen; K. Gopal and N. Suthanthira Vanitha, "Microcontroller based power demand control and energy management system using ZigBee," Elixir International Journal, pp.4038-4040, 25 Aug. 2011
- [29]R. Akkaya and A.A Kulaksiz, "A microcontroller-based stand-alone photovoltaic power system for residential Appliances," Applied Energy, vol.78, no.4, pp.419-431, 2004.
- [30]K. Neupane; T. M. Undeland; A. Rouniyar, "Smart Controller Design for Solar-Grid Hybrid System," 2014 International Conference on Intelligent Green Building and Smart Grid (IGBSG), pp. 1-4, 2014
- [31]Joao M. G. Figueiredo, "PLC based Structure for Management and Control of Distributed Energy Production Units", Programmable Logic Controller, Luiz Affonso Guedes (Ed.), 2010
- [32]Tipsuwanporn, V.; Srisuwan, K.; Kulpanich, S.; Suesut T.; Numsomran, A., "Development of Load Control and Management System," in IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, Yokohama, Japan, 2002, vol.3, pp. 2139-2142

- [33]Montoya, F.G.; García, A.P.; Juaidi, A.; Agugliaro, F.M. Indoor lighting techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving. *Energy Build.* 2017, 140, 50–60.
- [34]Chitnis, D.; Kalyani, N.T.; Swart, H.C.; Dhoble, S.J. Escalating opportunities in the field of lighting. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 64, 727–748.
- [35]Parise, G.; Martirano, L. Energy Performance of Interior Lighting Systems. *IEEE Sens. J.* 2011, 9, 880–885.
- [36]Aman, M.M.; Jasmon, G.B.; Mokhlis, H.; Bakar, A.H.A. Analysis of the performance of domestic lighting lamps. *Energy Policy* 2013, 52, 482–500.
- [37]Khan, N.; Abas, N. Comparative study of energy saving light sources. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2011, 15, 296–309.
- [38]Ryckaert, W.R.; Smet, K.A.G.; Roelandts, I.A.A.; Gils, M.V.; Hanselaer, P. Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. *Energy Build.* 2012, 49, 429–436.
- [39]Qin, Y.; Lin, D.; Hui, S.Y. A Simple Method for Comparative Study on the Thermal Performance of LEDs and Fluorescent Lamps. *IEEE Trans. Power Electron.* 2009, 24, 1811–1818.
- [40]Principi, P.; Fioretti, R. A comparative life cycle assessment of luminaires for general lighting for the office – compact fluorescent (CFL) vs Light Emitting Diode (LED) – a case study. *J. Clean. Prod.* 2014, 83, 96–107.
- [41]Chew, I.; Kalavally, V.; Oo, N.W.; Parkkinen, J. Design of an energy-saving controller for an intelligent LED lighting system. *Energy Build.* 2016, 120, 1–9 .
- [42]Caicedo, D.; Pandharipande, A. Distributed Illumination Control with Local Sensing and Actuation in Networked Lighting Systems. *IEEE Sens. J.* 2012, 13, 1092–1104.
- [43]Fischer, M.; Wuand, K.; Agathoklis, P. Intelligent Illumination Model-Based Lighting Control. In *Proceedings of the 2012 32nd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, Macau, China, 18–21 June 2012.*
- [44]Pandharipande, A.; Caicedo, D. Adaptive Illumination Rendering in LED Lighting Systems. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst.* 2013, 43, 1052–1062.
- [45]Byun, J.; Hong, I.; Lee, B.; Park, S. Intelligent household LED lighting system considering energy efficiency and user satisfaction. *IEEE Trans. Consum. Electron.* 2013, 59, 70–76.

- [46]Pandharipande, A.; Caicedo, D. Smart indoor lighting systems with luminaire-based sensing: A review of lighting control approaches. *Energy Build.* 2015, 104, 369–377.
- [47]Parise, G.; Martirano, L. Daylight Impact on Energy Performance of Internal Lighting. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2013, 49, 242–249.
- [48]Parise, G.; Martirano, L. Combined Electric Light and Daylight Systems Ecodesign. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2011, 49, 1062–1070.
- [49]Ribinstein, F.M.; Karayel, M. The Measured Energy Savings from Two Lighting Control Strategies. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 1984, IA-20, 1189–1197.
- [50]Boscarino, G.; Moallem, M. Daylighting Control and Simulation for LED-Based Energy-Efficient Lighting Systems. *IEEE Trans. Ind. Inform.* 2016, 12, 301–309.
- [51]Mistrick, R.G.; Casey, C.A. Performance modeling of daylight integrated photosensor-controlled lighting systems. In *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC)*, Phoenix, AZ, USA, 11–14 December 2011; pp. 903–914.
- [52]Matta, S.; Mahmud, S.M. An Intelligent Light Control System for Power Saving. In *Proceedings of the IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, Glendale, AZ, USA, 7–10 November 2010; pp. 3316–3321.
- [53]Li, S.; Pandharipande, A.; Willems, F.M.J. Daylight Sensing LED Lighting System. *IEEE Sens. J.* 2016, 16, 3216–3223.
- [54]Liu, J.; Zhang, W.; Chu, X.; Liu, Y. Fuzzy logic controller for energy savings in a smart LED lighting system considering lighting comfort and daylight. *Energy Build.* 2016, 127, 95–104.
- [55]Pandharipande, A.; Caicedo, D. Daylight integrated illumination control of LED systems based on enhanced presence sensing. *Energy Build.* 2011, 43, 944–950.
- [56]สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) (2023) ระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System: EMS) [Online] เข้าถึงได้จาก: <https://thai-smartgrid.com/เกี่ยวกับสมาร์ตกริด/tech-basic-related-smartgrid/ems/>
- [57]Freitas, T.K.F.S., Geraldino, H.C.L., Figueiredo, F.F., Martins, D.C.C., Garcia, J.C., Tavares, C.R.G. (2020) **Production of Reduced Graphene Oxide (rGO) from Battery Waste: Green and Sustainable Synthesis and Reduction** In: Inamuddin, Asiri, A. (eds) *Applications of Nanotechnology for Green Synthesis. Nanotechnology in the Life Sciences.* Springer, Cham.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [58]Barrie Lawson (2005) Cell Chemistries - How Batteries Work [Online] เข้าถึงได้จาก:
<https://www.mpoweruk.com/chemistries.htm>
- [59]David L. Chua, Benjamin M. Meyer, William J. Epply, Linden's Handbook of Batteries,
Fourth Edition, McGraw-Hill Education: New York 2011
- [60]Wikipedia (2023) Membraneless Fuel Cells [Online] เข้าถึงได้จาก:
https://en.m.wikipedia.org/wiki/Membraneless_Fuel_Cells



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
ผลงานวารสารวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Article

Design and Application of Daylight-Based Lighting Controller on LED Luminaire

Sulee Bunjongjit ¹, Santipont Ananwattanaporn ², Atthapol Ngaopitakkul ^{2,*},
Chaivan Jettanasen ² and Theerasak Patcharoen ³

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170, Thailand; kbsulee@yahoo.com

² Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand; san_ti_ton@hotmail.com (S.A.); chaivan.je@kmitl.ac.th (C.J.)

³ Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University, Chachoengsao 24000, Thailand; Theerasak.p@hotmail.com

* Correspondence: atthapol.ng@kmitl.ac.th

Received: 10 April 2020; Accepted: 13 May 2020; Published: 15 May 2020



Abstract: This paper proposes a control circuit for Light Emitting Diode (LED) luminaire based on the amount of daylight. This system uses both natural daylight and artificial light from a luminaire to reach the desired illuminance on a working plane. The control circuit operates by receiving an illuminance value from a light sensor and comparing it with a set value in the microcontroller before limiting the light intensity of LED by sending a control Pulse Width Modulation (PWM) signal to the LED driver. In the experimental setup, the controller and a physical model of a working space were built in order to field test the LED daylight control circuit. Electrical characteristics such as voltage, current, and power were measured with a power meter. Illumination characteristics in terms of illuminance on a working plane were determined using a lux meter. The results from actual field tests revealed that this LED control circuit was able to reduce the power consumption of the lighting system while keeping the illuminance on the working plane at the standard value. Both simulation results and the actual experiment of the control circuit proved that it could be used to improve the energy efficiency of both newly installed and retrofitted lighting systems.

Keywords: daylight; illumination control; light emitting diode

1. Introduction

Artificial lighting from luminaire has been an essential part of modern society due to the expansion of urban areas with high-rise building that block the natural lighting, working space that less likely to receive daylight, and night-time activity that required lighting. Thus, the quality of lighting has become directly correlated to the quality of life. This result in large amounts of power consumption in residential, commercial, and industrial sectors delicate to lighting systems. In the case of Thailand, the 2019 energy statistics from the Energy Policy and Planning Office (EPPO) under Thailand's Ministry of Energy [1] show that Thailand's residential and commercial section has power consumption growth at 10.1% and 6.0%, respectively, due to rising consumption in high-rise buildings such as apartments, department stores, hotels, and office buildings.

From these statistics, it can be seen that electricity demand has become a challenging issue in Thailand. In addition, power generation from coal power plant could not proceed as scheduled by a power development plan (PDP2015) due to environmental concern from communities around the designated construction project. Therefore, Thailand's heavy reliance on import energy combined with depleted fossil fuel may cause a severe problem in the future in terms of energy security. Hence,

the Thai government has formulated a long-term strategic policy to improve energy efficiency and reduce energy consumption entitled “Energy Efficiency Plan (EEP 2015)” [2] in order to reduce Energy Intensity (EI) by 30% or around 56,142 ktoe in the next 30 years. This plan includes improving energy efficiency in residential, business, industrial, and other sectors to achieve the designated goal of the master plan.

One of the objectives to achieve a reduction in energy intensity is to reduce energy consumption in the building and improve energy efficiency. Energy usage in a building can be divided into a different category according to engineering end-use models. According to the 2012 Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS) [3], energy consumption in the heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems is the largest share of total electricity consumption at 32%, followed by miscellaneous electric loads (MELs) at 18%. The lighting system consumes up to 17% share of energy consumption in a building, while the heat generated from the luminaire can affect the cooling load of HVAC. Evaluation methodologies and mathematical models have obtained the energy profile and forecast of energy consumption on the lighting system by taken many parameters into consideration for accurate assessment, such as daylight [4], the controller [5], and occupant behavior [6]. Thus, it shows that the implementation of energy-saving measured in the lighting system has the potential to reduce a considerable amount of energy consumption and improve the overall energy efficiency of a building.

The technology in the illumination have continuously been developed over time from incandescent lamp to fluorescent and then to light-emitting diode (LED) lamp that is currently used in a modern lighting system. In addition, new organic light-emitting diodes (OLEDs) technology has recently emerged as a competent lamp for the future [7,8]. A comparison between various interior lighting technologies in various aspects such as energy consumption and light characteristics shows that LED has significant advantages over other lighting technologies, especially in the energy requirement for a luminaire. With current technology, luminous efficacy is steadily increased, and installation cost is reduced to a commercially acceptable level [9–12]. In terms of thermal performance, a comparison between three types of luminaires—fluorescent T8, fluorescent T5, and LED luminaire—shows that fluorescent luminaire both T8 and T5 generated heat at about 73–77% of its rated power. In contrast, LED luminaire generated heat around 87–90% of rated power but could be reduced when LED was dimmed [13]. For the environmental impact, the life cycle assessment (LCA) between fluorescent and LED luminaire reveals that LED luminaire provides approximately 41–50% reduction in Global Warming Potential (GWP) and Cumulative Energy Demand (CED). The LED luminaire can also contribute to less use of mercury in the manufacturing process [14]. The result from the literature review reveals that LED luminaire has a definite advantage over conventional fluorescent luminaires and is suitable to be used in building lighting systems to reduce energy consumption and improve energy efficiency.

Another aspect that can improve energy efficiency in a lighting system is lighting control strategies for luminaire. In [15], a controller for LED lighting that used sensors and closed-loop feedback was proposed and could achieve 55% and 62% energy saving in continuous and discrete usage patterns, respectively. Another intelligent control that utilized various sensors with closed-loop feedback for different usage patterns has also been proposed [16]. A highly accurate illuminance model has been used in order to validate the intelligent open-loop control that minimized both energy consumption and the number of required sensors and is discussed in [17]. A new approach in lighting control with LED luminaire using a centralized and distributed control algorithm based on uniform illuminance and an illumination rendering strategy has been proposed in [18] that resulted in energy-saving and user satisfaction. Another research by Byun et al. [19] has also taken user satisfaction into consideration by employing multi-sensor and wireless communication to control light output according to occupancy pattern and environment. A luminaire-based sensing control methodology that utilized both occupancy and light sensors covering working space in order to give the required illuminance level has been proposed in [20]. The control methodologies and algorithms that have been discussed showed the ability to reduce energy consumption in a lighting system, while maintaining the light output on

the working plane according to the user. Moreover, energy consumption can be reduced further by utilizing natural light in the daytime to maintain adequate illuminance in a workspace.

Daylight harvesting to supplement artificial lights has been constantly developed due to its potential to improve further the energy efficiency of a lighting system, especially integrated with new control strategy and LED technologies. The impact of daylight on interior lighting in terms of energy consumption and various factors such as daylight availability, lighting system layout, and control system has been discussed in articles [21,22]. In [23], a comparative study between daylight control strategy and scheduling lighting control strategy based on both computer aid and occupancy sensor was conducted. Daylight control had an advantage of maximizing the efficiency during main operating times around 7:30 A.M. to 5:30 P.M. Lighting load reduction in those periods of time can contribute to less energy charge because at those periods, a peak demand charge and higher time-of-day rate were in effect. A simulation of daylight control for an LED-based lighting system has been presented by Boscarino and Moallem [24]. Another simulation that used the Daysim software for evaluating daylight performance has been shown in [25]. Many aspects of control, such as photo-sensor placement, control algorithms, and impact of shading device, have been taken into consideration in the calculation of daylight performance. The result proved that a daylight integrated control system could achieve significant energy savings while maintaining desired illuminance levels. A Controller Area Network (CAN bus) communication protocol has been applied to a daylight control circuit, and a logic method has been used for a venetian blind control in order to reduce energy consumption in an entire building [26]. Li et al. [27] have proposed LED luminaire prototypes that integrated daylight sensing based on open-loop control. An application of fuzzy logic in LED lighting control has been presented in [28]. The methodology in this paper integrated fuzzy logic that considered two primary factors—lighting comfort and daylight contribution—that allowed a user to set the desired illuminance level. In addition, an actual prototype was installed, and the results showed satisfactory performance. A lighting control proposed by Pandharipande and Caicedo [29] integrated presence detection capability with daylight control in order to provide a satisfactory illuminance for occupancy while minimizing power consumption. From the literature review discussed above, it can be seen that daylight control in a lighting system with LED luminaire can further reduce energy consumption and improve energy efficiency to the highest degree.

This research proposed a lighting control circuit in a lighting system integrated in LED luminaire based on a daylight control. The aim is to reduce energy consumption in lighting system while maintain the lighting quality on the working plane on the level that does not impact health and working efficiency of occupant. This research was divided into two parts: simulation and experiment on a prototype. The simulation with DIALux software aimed to show the advantages of the LED luminaire as compared to conventional T5 fluorescent that widely used in Thailand's building. The experiment on a prototype was an actual physical test for evaluating the daylight control circuit performance in LED luminaire in terms of electrical parameters and lighting quality. Electrical parameters—voltage, current and power—were measured with a power meter. Illuminance on a working plane was measured with a lux meter. This paper is organized as follows. Section 2 presents the DIALux software simulation of both LED and T5 fluorescent luminaire. The lighting control circuit, its operation sequence and experimental setup are discussed in Section 3. Results from the actual field test are presented in Section 4. Finally, the conclusion of this research is provided in Section 5.

2. Simulation

The simulation of light distribution profile using DIALux software has been done in two aspect. First part is the simulation on the on the case study room and the second part is the simulation on the experimental setup. The case study room has dimension of 8 m × 12 m × 3 m (width × length × height). The room consists of 9 windows with a size (not include frame) of 1 m × 1.1 m. The overall layout of the case study room is shown in Figure 1.

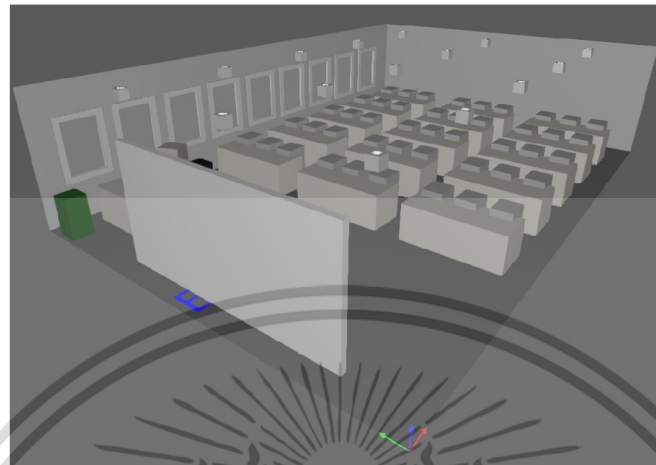
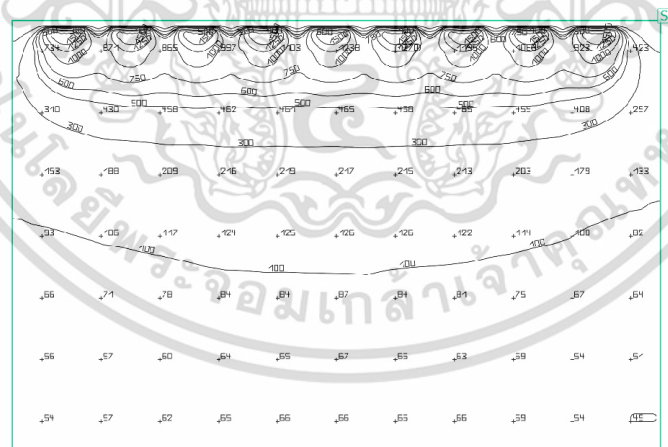


Figure 1. The overall layout of case study room modelling in DIALux software.

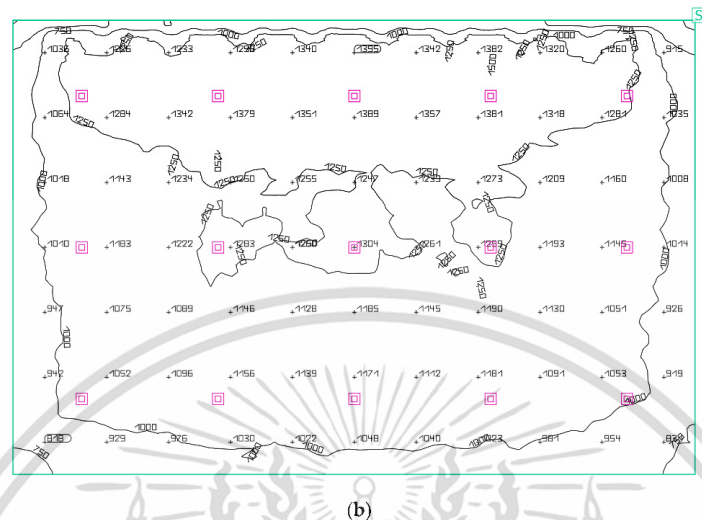
The result of daylighting on the case study room with only daylighting and with both daylighting and artificial lighting is shown in Figure 2a,b respectively and the summarizing result is shown in Table 1. The figure shown an example in case study room located in Bangkok, Thailand simulated at 10:00 AM. With clear sky on the 20 January 2020 in order to replicate the experimental setup case. The result in case of daylighting only shown that the illuminance value are high only in the area near the window and the daylighting cannot pass through the inner part of the room, thus reduce the uniformity of the lighting and the lighting quality cannot maintain at the commission on illumination (CIE) standard. However, the case study with both daylighting and artificial lighting has shown that the average illuminance on working plane is higher compare to previous case with high uniformity. In this case, it can be seen there has been excessive illuminance on the working plane. Thus, the daylight control can reduce light output of the luminaire and reduce energy consumption on lighting system.



(a)

Figure 2. Cont.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b)

Figure 2. Light distribution profile of the room modeled by DIALux software: (a) In case of only daylighting, (b) In case of both daylighting and artificial lighting.

Table 1. The lighting characteristic from simulation on experimental setup.

Simulation Case	Average Light Intensity (lux)	Minimum Light Intensity (lux)	Maximum Light Intensity (lux)	Uniformity of Light
Daylighting	253	31.6	1657	0.12
Daylighting and artificial lighting	1140	591	1507	0.52

The illuminance of daylighting on working plane in case of window-side of the room facing different direction can be summarized as shown in Table 2. From the table, it can be seen that buildings facing in the east and west directions will have a higher illuminance value compared to buildings facing in the north direction due to the pathway of sun movement. For the buildings facing the south direction, they have overall higher illuminance due to the location of simulate building (Bangkok, Thailand) alignment to the south of sun pathway. The illuminance value of the building facing east direction is higher in the morning and the building facing west direction has higher illuminance value on the evening. The result in terms of average illuminance has shown that during peak period daylighting can provide significant illuminance on working plane. However, the artificial lighting is still required in order to maintain the illuminance on working plane during the period that has low sunlight. To maintain illuminance within the international commission on illumination (CIE) standard at 300–350 lux, the artificial lighting does not necessary operate at maximum light output. Thus, the daylight control can be implemented to reduce energy consumption, while maintain lighting quality on the working plane.

The simulation in second part is to evaluate the performance of an LED luminaire and a T5 fluorescent luminaire and their light distribution profiles on a working plane. The dimensions of the simulated room were 1 m in width, 2 m in length, and 3 m in height. Figure 3a illustrated the LED luminaire (two sets of 3×3 W High power LEDs) location and its light distribution profile on a working plane 80 cm above the floor. Figure 3b illustrated the T5 luminaire (36 W T5 fluorescent) location and its light distribution profile on the same working plane. A comparison between the light distribution profile of the LED luminaire and that of the T5 fluorescent luminaire revealed that the light distribution profile of the LED luminaire was better because of the higher light output from the LEDs.

However, both types of luminaire could provide an illuminance that was within the international commission on illumination (CIE) standard at 300–350 lux.

Table 2. Average illuminance (lux) on working plane in case of buildings facing different directions.

Time	North	South	East	West
06:00	0	0	0	0
07:00	44.1	95.7	304	31.8
08:00	145	453	1051	105
09:00	224	843	1377	178
10:00	232	1104	1197	224
11:00	198	1204	663	251
12:00	178	1250	313	309
13:00	198	1200	253	632
14:00	237	1094	225	1173
15:00	233	832	181	1379
16:00	155	443	109	1080
17:00	49.7	97.9	35	347
18:00	0	0	0	0

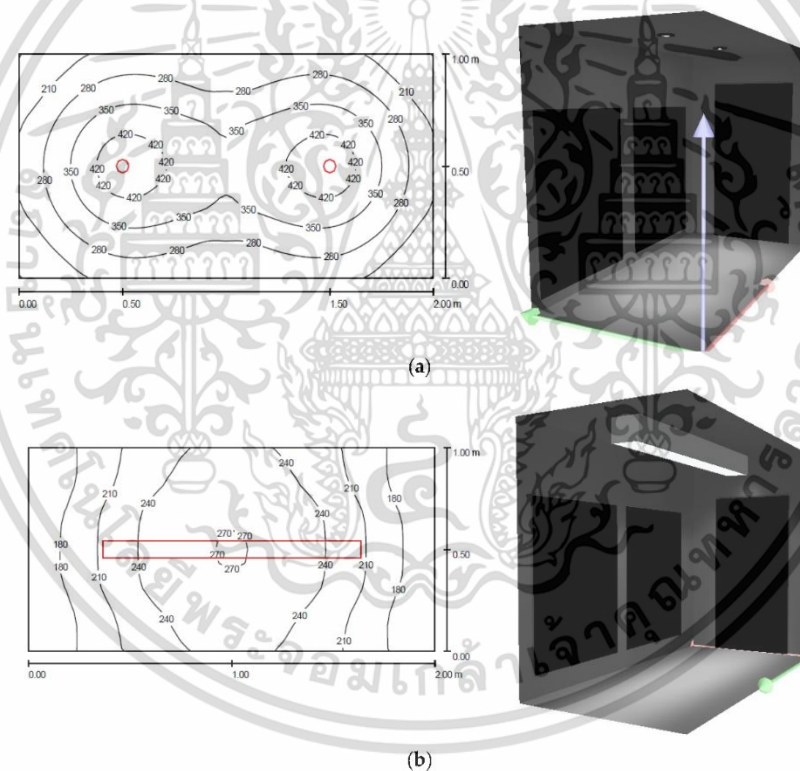


Figure 3. Light distribution profile of the test setup modelled by DIALux software: (a) Two sets of 3×3 W light emitting diode (LED) luminaire in the test setup; (b) Fluorescent T5 luminaire in the test setup.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Simulation results in terms of light intensity uniformity of LED luminaire and T5 luminaire are shown in Table 3. In the case of the LED luminaire, the light distribution was a point. It could be seen that the light intensity at the ceiling and walls were low at 42 and 85 lux, respectively. However, in the case of T5 fluorescent, the light distribution was scattered in all directions. The luminaire's light intensity at the ceiling and walls were 216 and 254 lux, respectively. For the light intensity on the working plane, the results were that the LED luminaire contributed higher illuminance at 294 lux compared to 202 lux contributed by the T5 fluorescent luminaire. Hence, it can be concluded that LED luminaire gave a better performance at the working plane and with less power consumption. Thus, it was the best choice to use with the daylighting control circuit to achieve even further efficiency and less power consumption.

Table 3. The lighting characteristic from simulation on experimental setup.

Luminaire Type	Surface	Average Light Intensity (lux)	Minimum Light Intensity (lux)	Maximum Light Intensity (lux)	Uniformity of Light
LED	Floor	294	139	473	0.453
	Ceiling	42	33	48	0.785
	Wall	85	24	149	/
Fluorescent T5	Floor	202	152	245	0.749
	Ceiling	216	88	390	0.406
	Wall	254	103	724	/

3. The Control Circuit and Test Setup

3.1. Test Setup

A test setup was built to evaluate the performance of the LED daylight control circuit in place of an actual field test as shown in Figure 4a. The test setup was a wooden room designed with dimensions of a typical office room: 2 m in width, 1 m in length, and 1.7 m in height. The reason for 1.7 m height is that the floor of the experimental setup represents the working plane. The height of the actual floor in the building that was modelled for the experimental setup is 3 m with working plane height measure from floor is 0.8 m and the mounting height of the luminaire is 2.5 m. This results in the distance from the luminaire to the working plane being 1.7 m using the experimental setup. The height of the LED luminaire from the working plane was 1.5 m. The front panel of the test setup, shown in Figure 4b, consisted of control switches for two sets of the LED luminaire, power meter, and two lux meters for illuminance measurement. The interior of the test setup, shown in Figure 4c, consisted of two sets of LED luminaire indicated by 1, a louver for letting daylight shining in indicated by 2, and a light sensor for illuminance data feedback to the control circuit indicated by 3. Layouts show the exact locations of the LED luminaire and the photosensor is shown in Figure 5a,b respectively. The testing of daylight control circuit prototypes using experimental setup on a laboratory level has been divided into two parts. The first part is the effect of louver angles on daylight control circuit performance with louver in the experimental setup can be adjusted by 9 levels as follows 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, and 80 degrees. The second part is the performance of the daylight control circuit for one day by obtaining data from 9.30 A.M. to 4.00 P.M. with a 10-min interval.

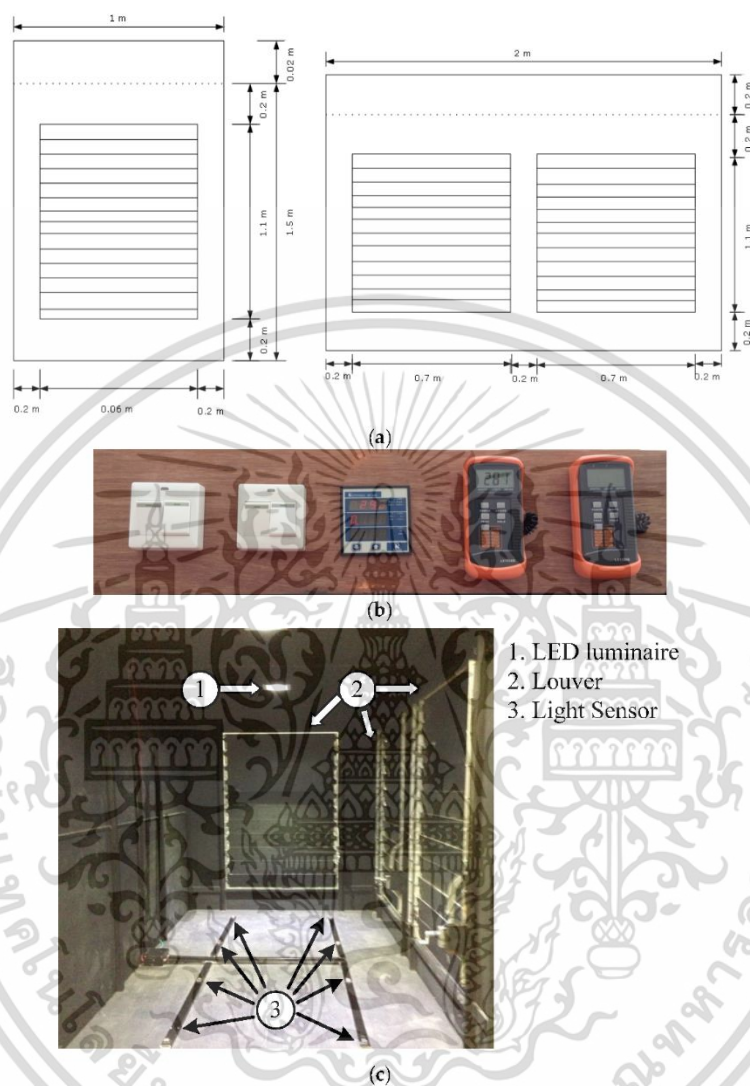


Figure 4. The field test experimental unit: (a) layout of exterior; (b) Front panel; (c) Interior.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

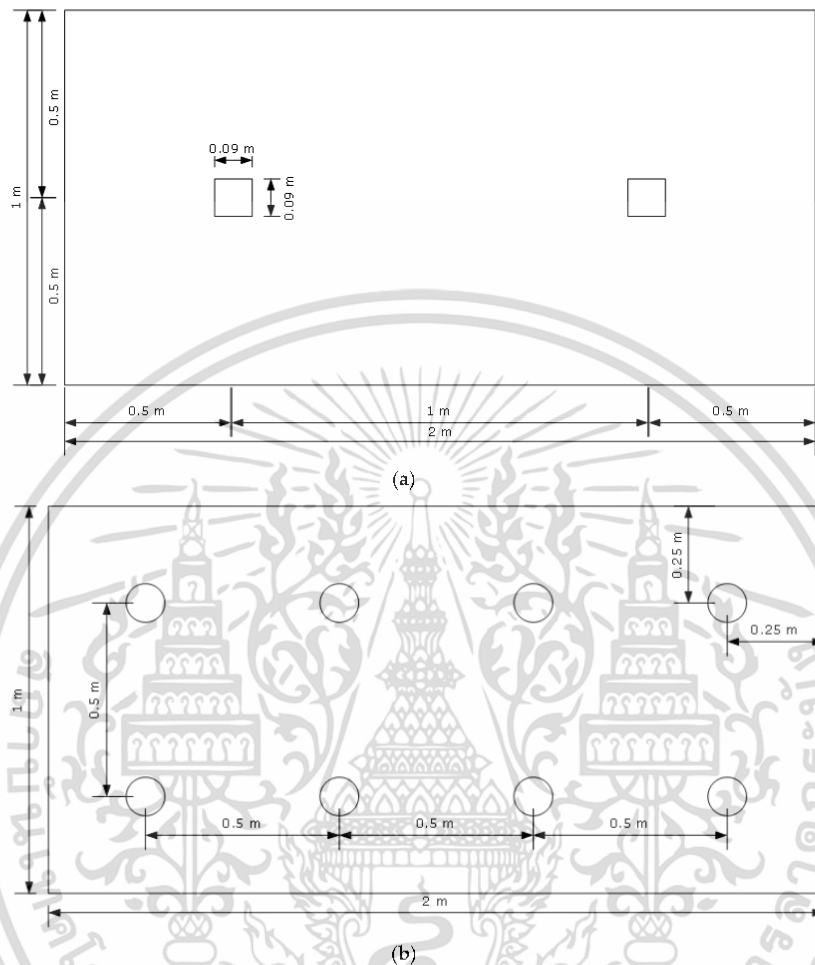


Figure 5. Layout of experimental unit: (a) LED luminaire layout; (b) Photo sensor layout.

3.2. Lighting Control Circuit

The proposed daylight control circuit for LED luminaire was based on a concept that illuminance on a working plane must always be maintained at the desired value. The proposed algorithm must control the light output from LED luminaire according to the illuminance value obtained from photosensors. A diagram of the proposed daylight control circuit and LED luminaire is shown in Figure 6. The system is composed of the following components: a power supply unit that supplied +5 V, +12 V, and +18 V for the microcontroller, gate drive and LED luminaire, respectively. The microcontroller received illuminance data from the photosensors installed on the working plane and converted the analog data to digital data with an analog to digital converter (ADC). The microcontroller then set a duty cycle of Pulse Width Modulation (PWM) signal which was sent to a MOSFET to control the power and light output from the LED luminaire. Since the microcontroller only supplied the PWM signal at a voltage of 5 V, it needed a gate drive to boost the voltage to 12 V in order to successfully operate the MOSFET. The flowchart of the daylight control circuit operation is illustrated in Figure 7. The operation sequence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

can be described as followed. First, the microcontroller set the duty cycle of the PWM signal at 90% and then received illuminance values from photosensors through ADC. These values were then compared with the set value in the microcontroller, which, in this case, was 300 lux. If the illuminance values were higher than the set value, the microcontroller reduced the duty cycle value by 5% before checking the illuminance values at the working plane again. If the illuminance values were lower than the set value, the microcontroller increased the duty cycle value by 5% then rechecked the illuminance values. The duty cycle directly affected the power supplied to the LED luminaire through MOSFET operation.

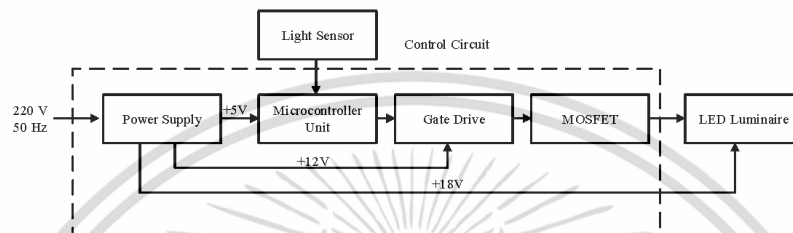


Figure 6. Diagram of the daylight control circuit for LED luminaire.

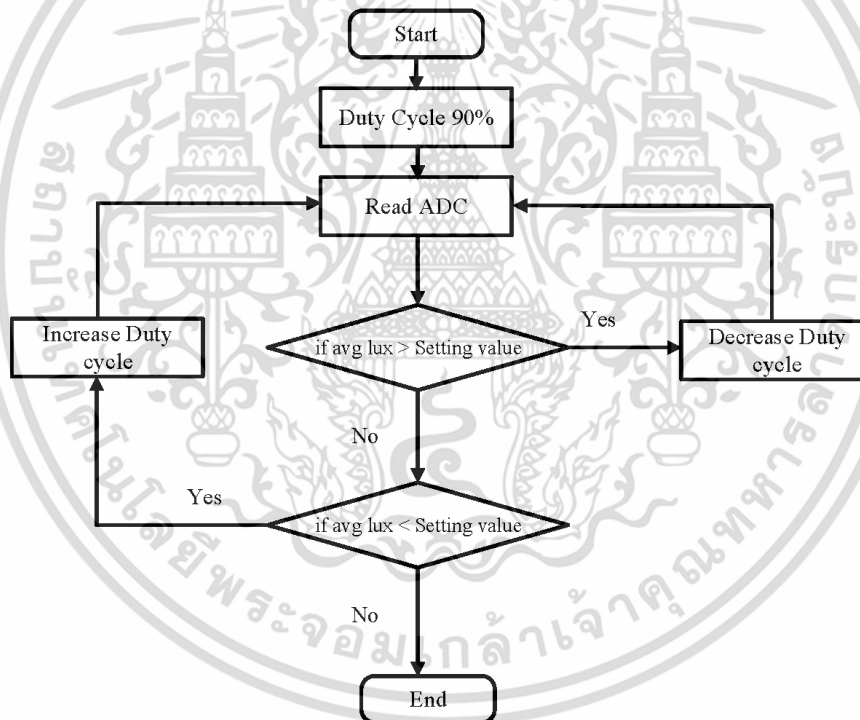


Figure 7. Flowchart of the operation of the proposed LED daylight control circuit.

4. Results

The experiment has been done at the Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang located in Bangkok, Thailand (latitude 13°43'45.5" North and longitude

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100°46'32.0'' East) with the window-side of the experimental setup (with louver) facing the east direction. The experiment has been replicated three times under the same sky condition (clear sky) on the date of 19–21 January 2020 in order to verify the accuracy of the data.

The result from the experimental setup in terms of the effect of louver angles on electrical parameters and illuminance at 9.30 A.M. has been obtained from the experimental setup. The relation between the louver angle and various parameters can be illustrated in Figure 8. The electrical parameters consist of voltage, current and power as shown in Figure 8a–c, respectively. When louver angle increases, illuminance from the workplace also rises due to daylight through experimental test room. This result in the control unit tried to maintaining illuminance value at 300 lux as setting value by steady reduced current and power to LED luminaire. The voltage level is steadily rising, but it does not have any effect on control circuit operation. This value has been further decreased as louver opens more than 40 degrees due to high daylight intensity in the workplace. The illuminance characteristics of two luminaire at various louver degrees are illustrated in Figure 9d. From the figure, the value of luminaire 1 came from the luminaire located at the left-side of experimental setup and the value of luminaire 2 was located at the right-side of experimental setup according to Figure 5a. The result shows that illuminance in the case without daylight control circuit has been steadily increased as louver angle increases, and it immediately rises when the louver opens more than 80 degrees. When installing a daylight control circuit, it can be seen that illuminance has been reduced compared to the previous case without the control circuit due to the setting in algorithms that specified illuminance value at 300 lux.

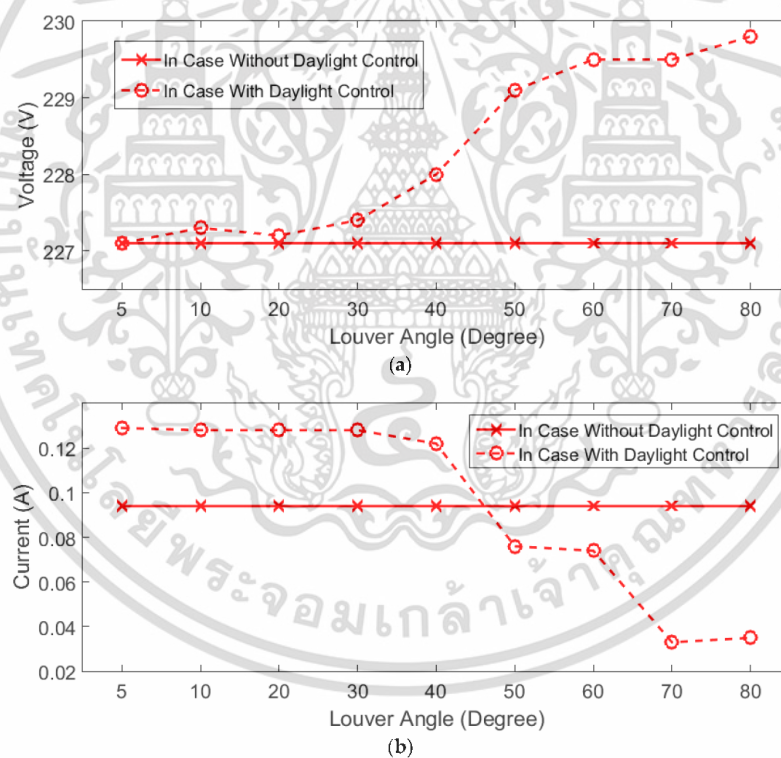


Figure 8. Cont.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

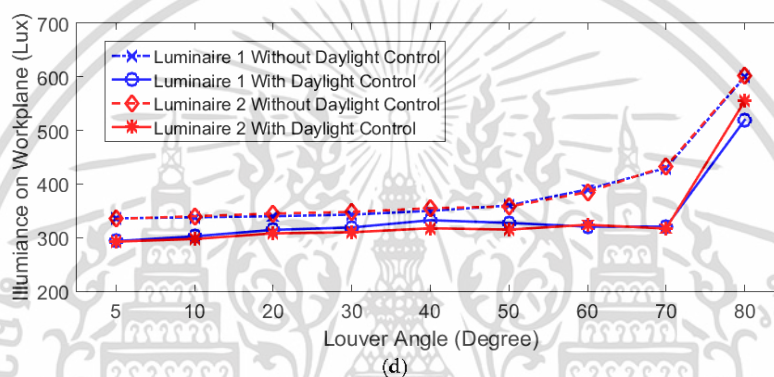
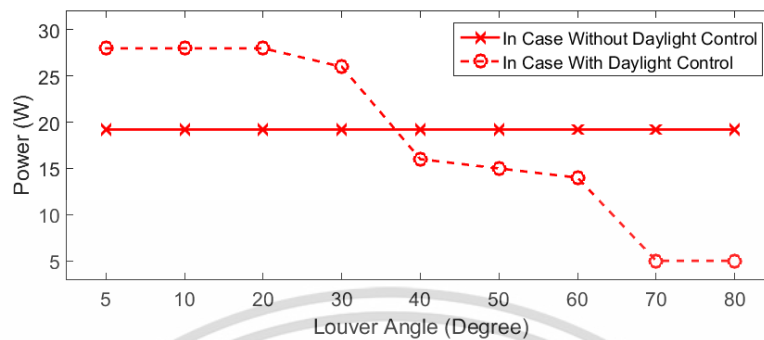


Figure 8. Effect of Louver angle on electrical and illuminance data obtained from experimental setup at 09.30 A.M.: (a) Voltage; (b) Current; (c) Power; (d) illuminance on working plane.

For the actual field test at 1.00 P.M., the experiment data in terms of electrical parameters and illuminance are shown in Figure 10 with the relation between louver angle and various parameters. The electrical parameters are voltage, current, and power as depicted in Figure 9a–c, respectively. When the louver angle increases, the voltage, current, and power have been steadily reduced, and it is immediately reduced significantly when louver opens more than 80 degrees due to increasing illuminance on the workplace from daylight, thus the control circuit reduces power for LED luminaire in order to regulate the light output from artificial lighting. Illuminance characteristics described in Figure 9d show that illuminance in the case without daylight control circuit has been a steady increase as louver angle increases and it immediately rises as louver opens more than 70 degrees. When installing a daylight control circuit, the illuminance is also reduced similarly to the 9.30 A.M. period. This result reveals that louver angles have a significant effect on daylighting control circuit performance over a period of a day.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

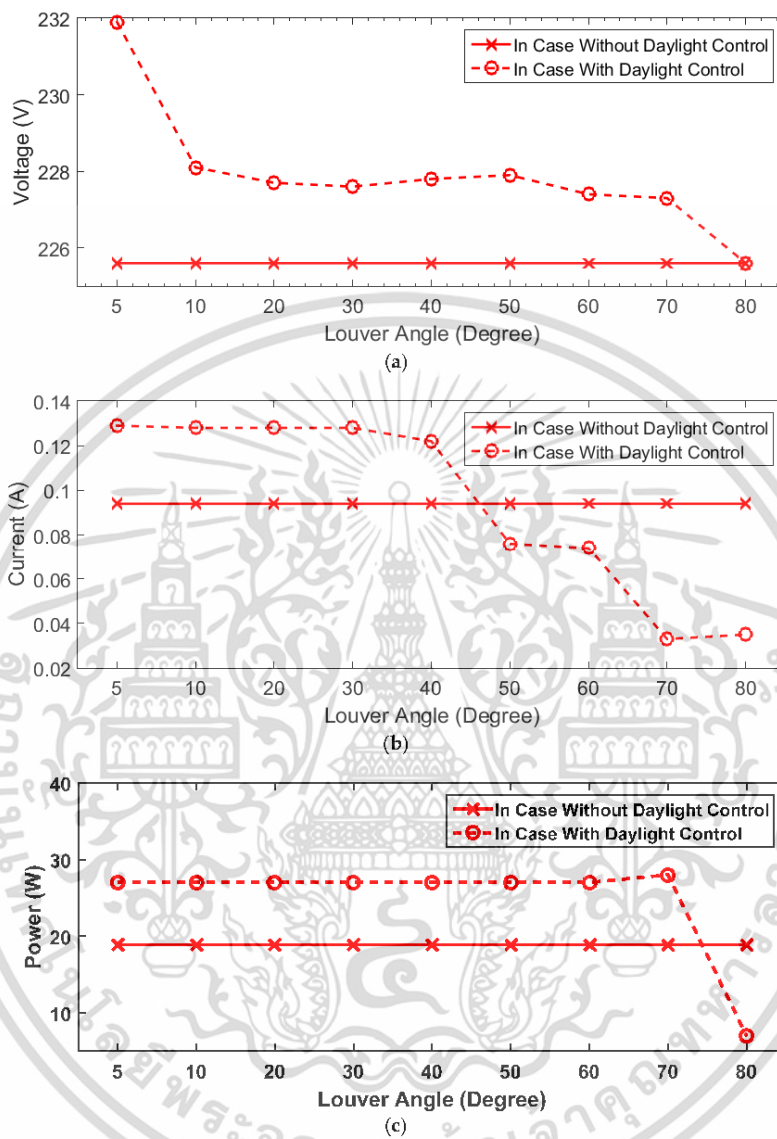


Figure 9. Cont.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

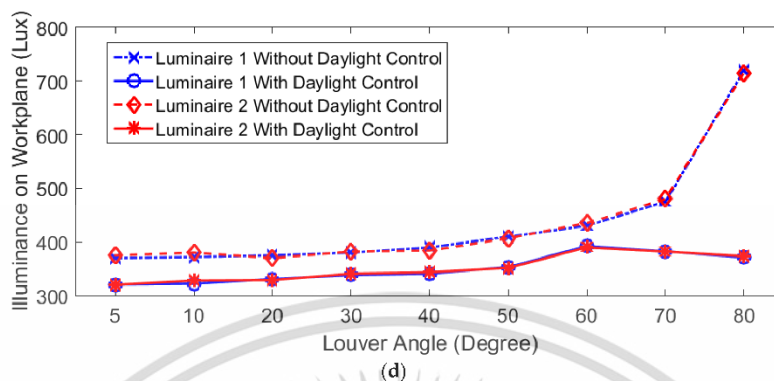


Figure 9. Effect of Louver angle on electrical and illuminance data obtained from experimental setup at 01.00 P.M.: (a) Voltage; (b) Current; (c) Power; (d) illuminance on working plane.

The effect of time on daylight control circuit performance is evaluated by obtaining power consumption and illuminance from LED luminaire every 10 min from 9.00 A.M. to 4.00 P.M. The experimental setup is with louver facing east direction. The characteristics of an LED luminaire in terms of both illuminance and power consumption in the experiment setup with a daylight control circuit over a period of one day is illustrated in Figure 10a,b, respectively. It can be seen that the daylight control circuit can operate at the full capacity from 9.00 A.M. to 1.00 P.M., while at the period 1.00 P.M. to 4.00 P.M. the daylight control circuit cannot operate. The reason is in the afternoon, sun moves toward the western direction and the experimental setup does not consist of louver in that direction, leading to low daylight through louver, hence LED luminaire operates at maximum power in order to achieve setting illuminance around 300 lux. The proposed daylight control circuit can reduce power consumption in an experimental setup to 8W with both LED luminaires in some periods of time and is able to regulate illuminance within CIE standard value.

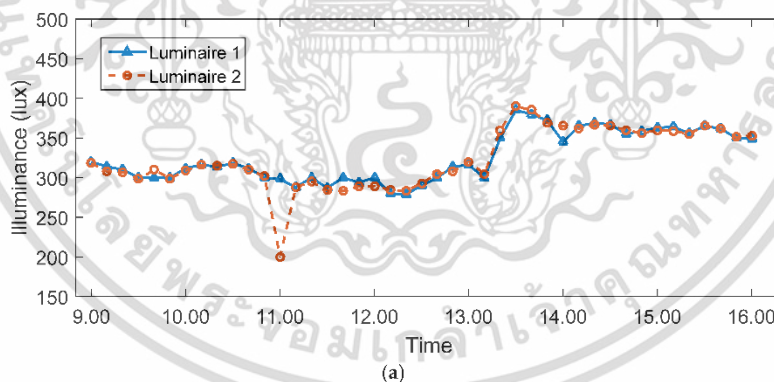


Figure 10. Cont.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

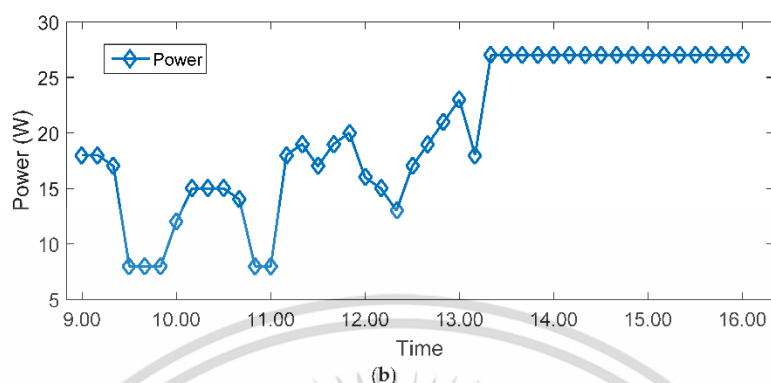


Figure 10. Data from experimental setup over the period of one day with daylight control circuit: (a) Illuminance on working plane; (b) Power consumption.

5. Conclusions

This paper proposed a daylight control circuit in LED luminaire and evaluated its performance in terms of power consumption reduction and maintaining illuminance value on the working plane using both simulation and experimental setup. The simulation of luminaire performance and effect of daylighting on working plane has been done using DIALux software in the aspects of both actual room and experimental setup that replicate parts of the actual room. The simulation results have shown the effectiveness of daylight in providing sufficient illuminance on working planes in areas near the window, thus reducing the power consumption of the artificial lighting by limiting the light output from the luminaire while maintaining the uniformity on the working plane.

In the case of the experimental setup, the proposed daylight control circuit prototypes and experimental setup for an actual field test have been built. The research has been divided into two parts: the effect of louver and effect of the time period on daylight control circuit performance in terms of both electrical and illuminance characteristics. The louver has a significant effect on control circuit performance. As a result, it reveals that with a higher louver angle, it results in high illuminance due to more daylight inlet. Thus, the control circuit reduces power to LED luminaires to maintain desired illuminance on a working plane. The effect of the time period showed that in the morning period, the control circuit reduces light output from LED luminaire. However, in the afternoon period, daylight inlet is less due to the direction of sunlight. This results in the control circuit having to operate at full capacity in order to maintain illuminance at the required value.

Results obtained from the actual field test using experimental setup have showed the effectiveness of the proposed daylight control circuit for LED luminaire under differential conditions. It can maintain the required amount of illuminance on the working plane during the daylight condition, while significantly reducing power consumption. This has illustrated the potential of using daylighting on lighting systems to improve building efficiency while maintain lighting quality on for the occupant. So, future work can implement the proposed daylight control circuit in actual buildings to demonstrate the improvement of energy efficiency in a lighting system.

Author Contributions: Conceptualization, S.B. and A.N.; Methodology, A.N.; software, T.P.; Validation, C.J., and A.N.; Formal analysis, S.A.; Investigation, T.P.; Resources, A.N., and C.J.; Writing—original draft preparation, S.A. and T.P.; Writing—review and editing, A.N.; Supervision, A.N.; Project administration, S.B.; Funding acquisition, C.J. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: The work presented in this paper is part of a research project (No. A118-59-003) sponsored by the Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research Fund. The author would like to thank them for the financial support.

Acknowledgments: The authors wish to gratefully acknowledge the financial support for this research from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research fund.

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

References

1. Energy Policy and Planning Office (EPPO); Ministry of Energy. *Energy Statistics of Thailand 2014*; EPPO: Bangkok, Thailand, 2014.
2. Energy Policy and Planning Office (EPPO); Ministry of Energy. *Energy Efficiency Plan 2015*; EPPO: Bangkok, Thailand, 2015.
3. Trends in Lighting in Commercial Buildings. Available online: <https://www.eia.gov/consumption/commercial/reports/2012/lighting/> (accessed on 11 February 2020).
4. Parise, G.; Martirano, L.; Parise, L. A Procedure to Estimate the Energy Requirements for Lighting. *IEEE Trans. Ind. Appl.* **2016**, *52*, 34–41. [\[CrossRef\]](#)
5. Amasyali, K.; Gohary, N.E. Building Lighting Energy Consumption Prediction for Supporting Energy Data Analytics. *Procedia Eng.* **2016**, *145*, 511–517. [\[CrossRef\]](#)
6. Yun, G.Y.; Kim, H.; Kim, J.T. Effects of occupancy and lighting use patterns on lighting energy consumption. *Energy Build.* **2012**, *46*, 152–158. [\[CrossRef\]](#)
7. Montoya, F.G.; García, A.P.; Juaidi, A.; Agugliaro, F.M. Indoor lighting techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving. *Energy Build.* **2017**, *140*, 50–60. [\[CrossRef\]](#)
8. Chitnis, D.; Kalyani, N.T.; Swart, H.C.; Dhoble, S.J. Escalating opportunities in the field of lighting. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2016**, *64*, 727–748. [\[CrossRef\]](#)
9. Parise, G.; Martirano, L. Energy Performance of Interior Lighting Systems. *IEEE Sens. J.* **2011**, *9*, 880–885.
10. Aman, M.M.; Jasmon, G.B.; Mokhlis, H.; Bakar, A.H.A. Analysis of the performance of domestic lighting lamps. *Energy Policy* **2013**, *52*, 482–500. [\[CrossRef\]](#)
11. Khan, N.; Abas, N. Comparative study of energy saving light sources. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2011**, *15*, 296–309. [\[CrossRef\]](#)
12. Ryckaert, W.R.; Smet, K.A.G.; Roelandts, I.A.A.; Gils, M.V.; Hanselaer, P. Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. *Energy Build.* **2012**, *49*, 429–436. [\[CrossRef\]](#)
13. Qin, Y.; Lin, D.; Hui, S.Y. A Simple Method for Comparative Study on the Thermal Performance of LEDs and Fluorescent Lamps. *IEEE Trans. Power Electron.* **2009**, *24*, 1811–1818.
14. Principi, P.; Fioretti, R. A comparative life cycle assessment of luminaires for general lighting for the office—Compact fluorescent (CFL) vs. Light Emitting Diode (LED)—A case study. *J. Clean. Prod.* **2014**, *83*, 96–107. [\[CrossRef\]](#)
15. Chew, I.; Kalavally, V.; Oo, N.W.; Parkkinen, J. Design of an energy-saving controller for an intelligent LED lighting system. *Energy Build.* **2016**, *120*, 1–9. [\[CrossRef\]](#)
16. Caicedo, D.; Pandharipande, A. Distributed Illumination Control with Local Sensing and Actuation in Networked Lighting Systems. *IEEE Sens. J.* **2012**, *13*, 1092–1104. [\[CrossRef\]](#)
17. Fischer, M.; Wuand, K.; Agathoklis, P. Intelligent Illumination Model-Based Lighting Control. In Proceedings of the 2012 32nd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, Macau, China, 18–21 June 2012.
18. Pandharipande, A.; Caicedo, D. Adaptive Illumination Rendering in LED Lighting Systems. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Syst.* **2013**, *43*, 1052–1062. [\[CrossRef\]](#)
19. Byun, J.; Hong, I.; Lee, B.; Park, S. Intelligent household LED lighting system considering energy efficiency and user satisfaction. *IEEE Trans. Consum. Electron.* **2013**, *59*, 70–76. [\[CrossRef\]](#)
20. Pandharipande, A.; Caicedo, D. Smart indoor lighting systems with luminaire-based sensing: A review of lighting control approaches. *Energy Build.* **2015**, *104*, 369–377. [\[CrossRef\]](#)
21. Parise, G.; Martirano, L. Daylight Impact on Energy Performance of Internal Lighting. *IEEE Trans. Ind. Appl.* **2013**, *49*, 242–249. [\[CrossRef\]](#)
22. Parise, G.; Martirano, L. Combined Electric Light and Daylight Systems Ecodesign. *IEEE Trans. Ind. Appl.* **2011**, *49*, 1062–1070. [\[CrossRef\]](#)
23. Ribinstein, F.M.; Karayel, M. The Measured Energy Savings from Two Lighting Control Strategies. *IEEE Trans. Ind. Appl.* **1984**, *IA-20*, 1189–1197. [\[CrossRef\]](#)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. Boscarino, G.; Moallem, M. Daylighting Control and Simulation for LED-Based Energy-Efficient Lighting Systems. *IEEE Trans. Ind. Inform.* **2016**, *12*, 301–309. [[CrossRef](#)]
25. Mistrick, R.G.; Casey, C.A. Performance modeling of daylight integrated photosensor-controlled lighting systems. In Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC), Phoenix, AZ, USA, 11–14 December 2011; pp. 903–914.
26. Matta, S.; Mahmud, S.M. An Intelligent Light Control System for Power Saving. In Proceedings of the IECON 2010—36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, Glendale, AZ, USA, 7–10 November 2010; pp. 3316–3321.
27. Li, S.; Pandharipande, A.; Willems, F.M.J. Daylight Sensing LED Lighting System. *IEEE Sens. J.* **2016**, *16*, 3216–3223. [[CrossRef](#)]
28. Liu, J.; Zhang, W.; Chu, X.; Liu, Y. Fuzzy logic controller for energy savings in a smart LED lighting system considering lighting comfort and daylight. *Energy Build.* **2016**, *127*, 95–104. [[CrossRef](#)]
29. Pandharipande, A.; Caicedo, D. Daylight integrated illumination control of LED systems based on enhanced presence sensing. *Energy Build.* **2011**, *43*, 944–950. [[CrossRef](#)]



© 2020 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 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Article

Retrofitted Existing Residential Building Design in Energy and Economic Aspect According to Thailand Building Energy Code

Santipont Ananwatanaporn¹, Theerasak Patcharoen², Sulee Bunjongjit³ and Atthapol Ngaopitakkul^{1,*}

¹ School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand; san_ti_ton@hotmail.com

² Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology, Bangkok 10530, Thailand; theerasak@mutaeth.com

³ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom 73170, Thailand; kbsulee@yahoo.com

* Correspondence: atthapol.ng@kmitl.ac.th

Abstract: Electrical energy usage in buildings is a challenging issue because many old buildings were not originally built to achieve energy efficiency. Thus, retrofitting old buildings to net-zero buildings can benefit both the owner and electric utilities. In this study, the BEC (building energy code) software was used to evaluate energy aspects of retrofitted buildings in compliance with Thailand's building energy code to achieve a net-zero energy building. In addition, economic aspects were also studied to verify the feasibility for a project's owner to invest in a retrofitted existing building. An existing residential building in Thailand was used as a case study. The results in terms of energy after retrofitting existing buildings into net-zero energy buildings show that the total energy consumption can be reduced by 49.36%. From an economic perspective, the investment cost for a retrofitted building can be compensated by energy saving in terms of discounted payback period (DPP) for approximately 4.36 years and has an IRR (internal rate of return) value of 19.23%. This result evidences the potential in both energy and economy for a project's owner to invest in a retrofitted existing building in compliance with the building code, with potential for implementation with benefits on both electrical utilities and the project's owner.

Keywords: retrofitted building; building energy code; energy consumption; economic analysis



Citation: Ananwatanaporn, S.; Patcharoen, T.; Bunjongjit, S.; Ngaopitakkul, A. Retrofitted Existing Residential Building Design in Energy and Economic Aspect According to Thailand Building Energy Code. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 1398. <https://doi.org/10.3390/app11041398>

Academic Editors:

Massimiliano Scarpa,

Mirco Rampazzo and Angelo Zarrella

Received: 26 December 2020

Accepted: 29 January 2021

Published: 4 February 2021

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



Copyright: © 2021 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

In the last decade, electrical energy usage has significantly increased owing to the rapid increase in global population and economic activity, which have caused a rapid increase in electricity consumption in residential, commercial, and industrial sectors. To support the growing economy, electricity providers need to raise the power generation from power plants, thereby supplying the constantly increasing demand. However, a large proportion of the current global power generation still relies on energy extracted from fossil fuels, both oil and gas, which add greenhouse gases to the atmosphere and accelerate global warming.

This trend also occurs in Thailand, which shifted from being an agricultural nation with a population distributed across the country to an industrialized country. A large percentage of the population is moving into cities or industrial areas for work opportunities. This increases the electrical energy demand, especially in residential and commercial buildings [1,2]. According to the Energy Policy and Planning Office, belonging to the Ministry of Energy, in 2019 the electrical consumption for the whole country was 189,551 GWh, which implies an increase from the previous year of approximately 4974 GWh (2.62%). In the residential sector, the consumption was approximately 49,202 GWh, which means an increase with respect to the previous year of approximately 3997 GWh (8.12%). When classifying electricity consumption for the whole country by tariff, the apartment type

or residential building with large individuals fall under a specific business category [3]. In 2019, electricity consumption in this sector was approximately 6794 GWh or 3.5% of whole country consumption. It also showed the upward trend with 310.62 GWh, or a 3.3% increase compared to 2018. Thus, there is a challenge in terms of energy demand for the country [4].

To combat energy and environmental issues, Thailand's government issued and implemented the Energy Conservation Promotion Act [5]. This act promotes and enforces both newly built and retrofitted buildings to implement newer technologies and take energy aspects into consideration. Thus, it is important to evaluate the compliance of buildings with building energy codes to ensure that the buildings meet the energy standards and are economically feasible for the project's owners to invest in high-efficiency materials, technologies, and equipment.

An estimation of energy consumption in a building needs to be correctly performed to assess its characteristics in terms of energy consumption. Models, calibration methods, and verification through simulation of the energy associated with the entire building were reviewed. As a result, we identified a necessity of energy estimation to implement suitable energy-saving measures [6]. In the case of residential buildings, different load curve models were evaluated and analyzed to provide energy models that consider end uses, habits, and behaviors [7]. Energy estimation with better accuracy can also determine the suitable demand side response from the available information with tolerance to estimation error [8]. This estimation methodology to assess the energy consumption in a building has significant benefits in terms of energy efficiency evaluation and potential energy savings [9].

In terms of energy consumption, research from the European Union estimated the energy consumption in residential [10] and non-residential buildings [11]. The results indicate the effectiveness in reducing energy consumption and improving energy efficiency by incentive policies and strict regulations, which can encourage owners to adopt certain technologies or energy-saving measures. Another study in Malaysia confirmed the potential to reduce energy consumption by applying energy-saving measures [12]. Other factors have a significant impact on energy usage patterns and characteristics, such as different types of buildings [13] resulting from the behavior of their occupants and weather conditions resulting from climate change [14]. These studies can provide insight into optimizing energy-saving measures for buildings. The results can be used as a base for designing building codes and standards [15,16].

A case study of a retrofitted existing building in Brazil showed that the proposed guidelines and strategies can achieve net-zero energy buildings. Retrofitting was performed in many aspects of the building, such as air conditioning, lighting, office equipment, and installed photovoltaic (PV) systems, resulting in a reduction of energy consumption by up to 46% [17]. To retrofit residential buildings on an urban scale, a data-driven methodology was proposed as a generalized approach. It suggests key aspects of the retrofitted process to achieve large-scale operation [18]. Case studies of retrofitted buildings in Jordan on education building envelopes revealed that simple retrofitted strategies on building envelopes can achieve energy reduction by 54% and 5.5-year payback periods [19]. From a literature review, it can be seen that the application of newer energy-efficient technologies to existing buildings has a positive impact on both energy and economic aspects. This provides benefits to the project's owner in terms of reducing the energy cost and the electric utility in terms of increasing the efficiency in the electrical system.

For the energy simulation software, BEC (building energy code) software has been used, support and approved for evaluating building energy performance in Thailand by the Ministry of Energy. It is an OTTV (overall thermal transfer value)-based energy estimation model for commercial buildings using a calculating parameter based on DOE-2.1E software combined with a database collected by the Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE) [20]. The main functionality is to calculate energy usage in aspect of envelope systems, lighting density, air conditioning system size and efficiency, other building equipment and whole building energy consumption in accordance with Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

building energy codes. When BEC software and other commonly used software such as VisualDOE, eQUEST, TRNSYS, EnergyPlus, etc., are compared, it can be seen that BEC software is easier for the user, while it maintains all aspects of calculation. However, there is a limitation in terms of the simulated effect of complex energy saving measured, which requires additional software for simulation [21].

In this study, we comprehensively analyzed retrofitting of existing buildings according to Thailand's building energy code using BEC software. Residential buildings located in Thailand were studied. Five aspects of the building were evaluated according to the building energy code: envelopes, lighting systems, air conditioning systems, renewable energy systems, and total energy consumption. The evaluation was conducted in terms of both energy and economic aspects to determine the feasibility of retrofitting existing buildings into energy-efficient buildings. Many studies focus on implementing energy savings measured in office building or household type in case of buildings in residential sectors into the zero-energy building. This research aims to focus on apartment-type residential buildings, which is the common type building stock that has been widely constructed in urban areas for low to middle income families in the region. Thus, the retrofitted result from case study buildings can be used as a guideline and can widely be applied to a large portion of existing residential buildings. Another reason for selecting residential buildings is the increase in working from home that has become common practice in various business sectors, which result in a significant rise in energy usage in residential sectors. However, many government and private sectors do not support employees in terms of energy costs that arise from working at home. Thus, the retrofitted process of this type of residential building, especially an apartment type with many units, into zero energy building can benefit building owners in terms of energy cost reduction.

The paper is organized into five sections: the load characteristics of applicants in residential buildings and the load profile used as a case study are discussed in Section 2. Section 3 presents the energy management system and the experimental setup in the laboratory to test the proposed methodology. The results and conclusions drawn from this study are presented in Sections 4 and 5, respectively.

2. Building Energy Code

Thailand's building energy code was developed by the Ministry of Energy and adopted in 1992 to improve the energy efficiency in the building sector. The regulation set the criteria for nine types of newly built or retrofitted existing buildings with areas greater than 2000 m² (including parking area). The categories in the building energy code for evaluation are presented in Table 1.

Table 1. Types of building in building energy code.

	Operating Hour	Type of Building
Group 1	8 h	Office Building Education Building
Group 2	12 h	Department Store Auditorium Convention Centre Service Centre
Group 3	24 h	Hospital Hotel Apartment/Condominium

The energy building code categorized the types of buildings according to their operating hours and occupant usage patterns. Each group has a separate set of allowance values for the building envelope, lighting system, and total energy consumption according to the unique characteristics of each category. Group 1 is operated during the working hours, that is, from 8 AM to 4 PM on average, which is the period during which sunlight

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

in the daytime has a significant impact on the thermal transfer in the envelope and the light output demand according to the working plane. Group 2 focuses on entertainment and commercial buildings with operating hours from 10 AM to 10 PM on average. This categorization needs to consider the fact that the number of occupants in the building can be high and constantly moving throughout the building, with a variety of lighting for decoration and cooling loads for the sake of the occupants' comfort. Finally, the building in group 3 is categorized on the assumption that there are occupants in the building for 24 h.

To determine whether the evaluated building is compliant with the building energy code, six aspects of the building must be considered: building envelope, lighting system, air conditioning system, water heating system, renewable energy system, and total energy consumption.

2.1. Building Envelope

The building energy code evaluates the building envelope by assessing the overall thermal transfer value (OTTV) and roof thermal transfer value (RTTV) of the enveloped area in a building with air conditioning [22]. This value depends on the thermal properties of the material and the envelope composition, both opaque and transparent. The standard sets the calculation methodology based on factors such as the heat transfer coefficient value, window-to-wall ratio, and equivalent temperature. In addition, for transparent materials, the solar heat gain, shading coefficient, and solar radiation are also considered. The OTTV for each side of the wall can be calculated using Equation (1). Concerning the overall value, the weighted arithmetic between the area and OTTV for each side of the building is calculated using Equation (2).

$$OTTV_i = (U_w)(1 - WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)\Delta T + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (1)$$

$$OTTV = \frac{(A_{w1})(OTTV_1) + (A_{w2})(OTTV_2) + \dots + (A_{wi})(OTTV_i)}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + A_{wi}} \quad (2)$$

where

- OTTV = Overall thermal transfer value of the building (W/m^2)
- OTTV_i = Overall thermal transfer value of the considered side (W/m^2)
- U_w = Heat transfer coefficient of opaque wall ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
- WWR = Window-to-wall ratio of considered side
- TD_{eq} = Differential value of the equivalent temperature ($^\circ C$)
- U_f = Heat transfer coefficient of transparent wall or window ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
- ΔT = Differential temperature between the interior and exterior of the building ($^\circ C$)
- SHGC = Solar heat gain coefficient
- SC = Shading coefficient
- ESR = Effective solar radiation (W/m^2)
- A_{wi} = Area in each section of the wall section (m^2)

For the roof, the RTTV can also be calculated using a similar equation but substituting the window-to-wall ratio for a skylight-to-roof ratio and the heat transfer coefficient for the roof composition, as expressed in Equation (3). For a building with various roof types using different materials and compositions, the total RTTV can be calculated using a weight equation similar to the OTTV, as expressed in Equation (4).

$$RTTV_i = (U_r)(1 - SRR)(TD_{eq}) + (U_f)(SSR)\Delta T + (SSR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (3)$$

$$RTTV = \frac{(A_{r1})(RTTV_1) + (A_{r2})(RTTV_2) + \dots + (A_{ri})(RTTV_i)}{A_{r1} + A_{r2} + \dots + A_{ri}} \quad (4)$$

where

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$RTTV$ = Roof thermal transfer value of the building (W/m^2)
 $RTTV_i$ = Roof thermal transfer value of the considered side (W/m^2)
 U_r = Heat transfer coefficient of opaque roof ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
 SRR = Skylight-to-roof ratio
 U_f = Heat transfer coefficient of transparent roof or skylight ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)
 A_{ri} = Area of roof on the considered side (m^2)

The calculated OTTV and RTTV from the envelope section of the building will be used as an index to indicate the efficiency in compliance with the building energy code. The code sets a different allowance value for the OTTV and RTTV for each building category, as shown in Table 2. This value was optimized according to the unique characteristics of the building.

Table 2. Allowance overall thermal transfer value (OTTV) and roof thermal transfer value (RTTV) in building energy code.

Type of the Building	OTTV (W/m^2)	RTTV (W/m^2)
Group 1 (Office, Education building)	OTTV \leq 50	RTTV \leq 10
Group 2 (Department store, Conventional Hall, Auditorium)	OTTV \leq 40	RTTV \leq 8
Group 3 (Hotel, Hospital, Residential building)	OTTV \leq 30	RTTV \leq 6

2.2. Lighting System

Concerning lighting systems in buildings, the energy code evaluates the energy efficiency using the lighting power density (LPD), as shown in Table 3. This index can be calculated by dividing the total power consumption of the luminaire by the total usage area of the building. However, there is an exception in the case of showcase lighting or lighting that is not permanently installed in a building. Besides, the parking lot area is not included in the calculation of LPD. The building code does not specify the required amount of illuminance on the working plane because there is also a standard regarding the minimum illuminance requirement for different types of usage [23]. The code allows group 3's buildings to have the highest LPD according to the design of buildings such that the space can be divided, for instance, into individual areas in the case of residential buildings, with high illuminance requirement in the case of hospitals.

Table 3. Allowance LPD (lighting power density) values in building energy code.

Type of the Building	LPD (W/m^2)
Group 1 (Office, Education building)	10
Group 2 (Department store, Conventional Hall, Auditorium)	11
Group 3 (Hotel, Hospital, Residential building)	12

2.3. Air Conditioning System

In the building energy code, the air conditioning system is evaluated through the energy performance for each individual unit for both split types and packaged air conditioning units using the seasonal energy efficiency ratio (SEER) as an index, as shown in Table 4. In the case of central systems, the evaluation is separated into the chiller and other components. The chiller needs to have a coefficient of performance according to the standard, while other equipment in the system needs to have a total power consumption below 0.5 kW per refrigerator tons. However, the case study was an apartment complex without central cooling and heating; thus, the split-type standard will be discussed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 4. Allowance SEER (seasonal energy efficiency ratio) value for split type air conditioning unit.

Fixed Speed Air Condition				
Size of air condition	Label 5	Label 5 (1 stars)	Label 5 (2 star)	Label 5 (3 star)
8000 w (27,296 BTU/h)	12.85–13.84	13.85–14.84	14.85–15.84	≥15.85
8000–12,000 w (27,296–40,944 BTU/h)	12.40–13.39	13.40–14.39	14.40–15.39	≥15.40
Variable Speed Air Condition				
Size of air condition	Label 5	Label 5 (1 stars)	Label 5 (2 stars)	Label 5 (3 stars)
8000 w (27,296 BTU/h)	15.00–17.49	17.50–19.99	20.00–22.49	≥22.50
8000–12,000 w (27,296–40,944 BTU/h)	14.00–16.49	16.50–18.99	19.00–21.49	≥21.50

The evaluation standard was derived from the EGAT (Electricity Generating Authority of Thailand) label 5 standard [24], which sets different tier standards depending on the energy efficiency of the product that is commercially available in Thailand's market. In the case of air conditioning units, the standard provides a reference SEER value for both fixed-speed and variable-speed (inverter) types of air conditioning units, which can be categorized by normal label 5 and label 5 with 1 star through 3 stars; the unit with the highest energy efficiency can receive a total of five 3-star labels.

According to Table 4, variable-speed air conditioning (inverter type) has a higher efficiency than the conventional fixed-speed air conditioning. For split-type units, the building energy code only evaluates up to 12,000 W or 40,944 BTU/h. This is because split-type air conditioning units higher than this limit are not commonly used and rarely found in the market; thus, the code itself makes an exception for those types of air conditioning units.

2.4. Renewable Energy

The building energy code also assesses the power-generation capability of renewable energy and provides a direct reduction of the total energy consumption to provide a subsidy for project owners aiming at increasing the usage of renewable energy in newly constructed or retrofitted buildings. A large proportion of renewable power generation in a building comes from PV systems, while other forms of renewable energy can be calculated by converting the thermal usage to electrical energy. The PV-system generation capacity can be estimated by using the area of installation, the efficiency of the entire system (calculated from Equation (5)), and the effective solar radiation (depending on the location of the building and the angle of panel installation). The standard approximates the average time that the PV system has the potential to generate electricity for 9 h. Therefore, the yearly average electricity produced by a PV system (PVE) can be calculated using Equation (6).

$$\eta_{sys} = \eta_{module} \times \eta_{BOS} \quad (5)$$

$$PVE = \frac{(9)(365)A_{mod}\eta_{sys}ESR_{PV}}{1000} \quad (6)$$

where

- A_{mod} = Total area of the PV installation (m²)
- η_{sys} = Efficiency of the entire system
- η_{module} = Efficiency of the solar cell module
- η_{BOS} = Efficiency of the system balance
- ESR_{PV} = Effective solar radiation (W/m²)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5. Total Energy

The total energy consumption of a building is evaluated by the summation of energy usage in air conditioning systems, lighting systems, and electrical equipment, and the subtraction of the electrical energy generated from renewable sources. In the case of air conditioning systems, the cooling load comes from many heat sources that influence the air conditioning systems' energy consumption. Thus, the total energy consumption includes the effect of the heat source from the lighting, air leakage, occupants, and electrical equipment. The calculation of the total energy consumption can be performed using Equation (7), which incorporates the coefficient of heat source that affects the cooling load for different building categories, as summarized in Table 5.

$$E_{pa} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{A_{wi}(OTTV_i)}{COP_i} + \frac{A_{ri}(RTTV_i)}{COP_i} + A_i \left\{ \frac{C_l(LPD_i) + C_e(EQD_i) + 13C_o(OCCU_i) + 24C_v(VENT_i)}{COP_i} \right\} \right] \eta_h + \sum_{i=1}^n A(LPD_i + EQD_i)\eta_h - (PVE + HEE + ORE) \quad (7)$$

where

- EQD = Power consumption of electrical equipment per unit area (W/m^2)
- OCCU = Average number of occupants per area ($1/m^2$)
- VENT = Air circulation and leakage ($l/s/m^2$)
- COP = Coefficient of performance
- HEE = Annual heat-to-electrical energy conversion
- ORE = Annual average electricity produced by other renewable energy sources
- C_l = Coefficient of cooling load from lighting system
- C_e = Coefficient of cooling load from electrical equipment
- C_o = Coefficient of cooling load from occupants
- C_v = Coefficient of cooling load from air ventilation
- η_h = Number of hours of building usage

Table 5. Efficiency coefficient of cooling load in building energy code.

Type of the Building	C_l	C_e	C_o	C_v	η_h
Group 1 (Office, Education building)	0.84	0.85	0.90	0.90	2340
Group 2 (Department store, Conventional Hall, Auditorium)	0.84	0.85	0.90	0.90	4380
Group 3 (Hotel, Hospital, Residential building)	1.0	1.0	1.0	1.0	8760

3. Case-Study Building and Retrofit

The building analyzed as a case study is an eight-story apartment type residential building located in Bangkok, Thailand. The case study building located tropical climate, which requires no heating system and has a high solar radiation for renewable energy systems. However, this climate has a high temperature in the environment, which results in a significant portion of energy consumption coming from air conditioning unit. Thus, the retrofitted study may provide a benefit to the building owner in terms of significant energy usage reduction.

The overall structure in the Sketchup diagram is illustrated in Figure 1. The floor plan of the building is shown in Figure 2. Note that it consists of a commercial area on the first floor with an area for parking lots, as shown in Figure 2a. From the 2nd to the 8th floor, the floor plan is similar, with residential units separated by the central hallway and small sections on the north side for the elevator and stairs, as shown in Figure 2b. The rooftop is a flat concrete with a metal-sheet open roof and a small section for the elevator mechanical room, as shown in Figure 2c. This residential building includes individual electric heaters instead of a central boiler as a hot-water heating system; thus, the case study does not address the evaluation of hot-water heating.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Figure 1. SketchUp diagram of an eight-story residential building analyzed as a case study.

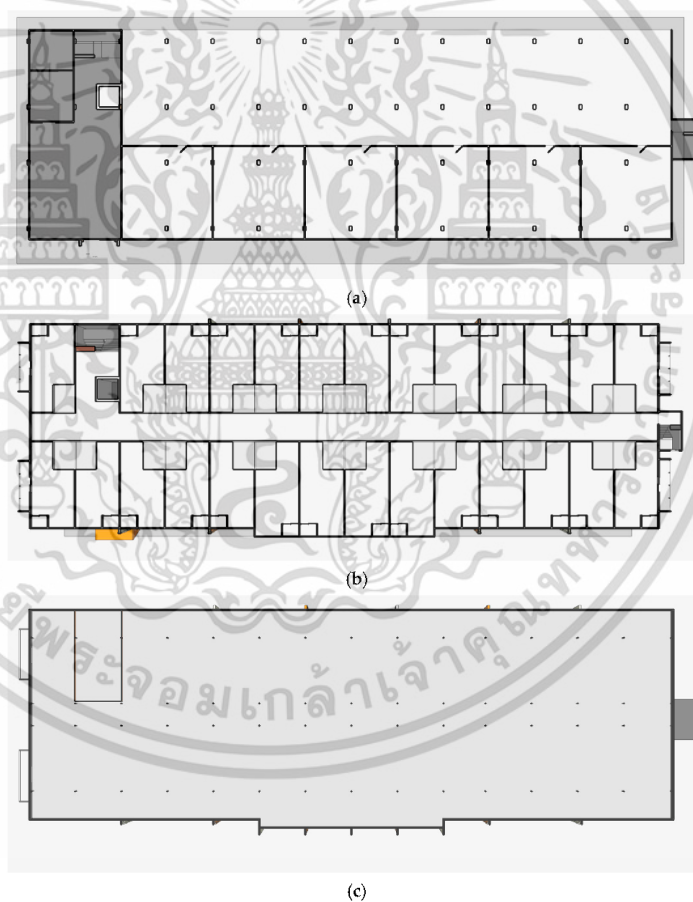


Figure 2. Floor plan of the case-study building: (a) First floor; (b) 2nd to 8th floor; (c) Rooftop.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1. Building Envelope


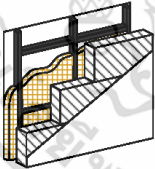
The current envelope of the case-study building consists of a concrete plaster and autoclaved aerated concrete, which is easier to build during the construction period. Its cost is lower than that of new materials. However, its thermal properties are not suitable and can cause a thermal impact on energy usage in air conditioning systems. Thus, an insulator will be added to this component to improve the thermal properties in the envelope section without significant changes to the base component. The thermal properties of all materials used in the current building envelope are summarized in Table 6.

Table 6. Thermal properties of opaque materials employed in the envelope of the case-study building.

Material	Thermal Conductivity (W/mK)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (kJ/kgK)
Concrete plaster	0.72	1860	0.84
Autoclaved Aerated Concrete	0.476	1280	0.84
Gypsum plates	0.282	800	1.09
Fiberglass insulation	0.033	32	0.96
Reinforced concrete	1.442	2400	0.92

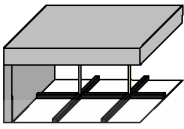
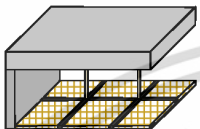
The composition of the building wall consists of autoclaved aerated concrete and cement with a dark color for the exterior. The retrofit was performed by installing an insulator and gypsum board with a small air gap to increase the heat resistance of the wall section. This can be easily done and does not require removing the old building skin. The material and composition of both the current and newly retrofitted envelopes, including thermal transmittance (U-Value), are reported in Table 7.

Table 7. Composition of opaque materials employed for the wall of the case-study building. U-value: thermal transmittance.

Composition	Detail	Thickness (m)	U-Value (W/m ² K)
 Base case	Concrete plaster	0.010	1.634
	Autoclaved Aerated Concrete	0.200	
	Concrete plaster	0.010	
 Retrofitted case	Gypsum plates	0.015	0.396
	Fiberglass insulation	0.100	
	Air Gap	0.100	
	Autoclaved Aerated Concrete	0.200	
	Concrete plaster	0.010	

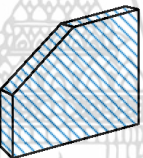
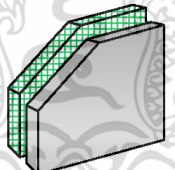
The material and composition of the current rooftop consist of steel-reinforced concrete with an air gap as an insulator and gypsum board. In the case of retrofitting, only a one-inch thermal insulator was installed over the gypsum board to avoid weight burden on the ceiling holder. A simplified diagram of the components of the roof material, details of the material in the component, and thermal properties are listed in Table 8.

Table 8. Composition of material and thermal transmittance of the roof in the case-study building.

	Composition	Detail	Thickness (m)	U-Value (W/m ² K)
Base case		Reinforced concrete	0.15	1.368
		Air Gap	0.1	
		Gypsum plates	0.015	
Retrofitted case		Reinforced concrete	0.15	0.445
		Air Gap	0.1	
		Fiberglass insulation	0.05	
		Gypsum plates	0.015	

The transparent section of the building is only composed of windows with 6 mm clear glass. The retrofitted window is a double-pane type with the inner side made of ocean-green float glass and the outer side made of clear float glass with a low-e coating. The composition of these two types of windows and their thermal properties are summarized in Table 9.

Table 9. Thermal properties of transparent materials employed in the envelope of the case-study building. SHGC: Solar heat gain coefficient.

	Material	Composition	Thickness (m)	U-Value (W/m ² K)	SHGC
Base case	Clear float glass		0.06	5.74	0.82
Retrofitted case	Clear colour single silver low-e coat on ocean green		0.06-0.06-0.06 *	2.73	0.4

* Thickness value of double paned glass consists of outer glass-air gap-inner glass.

3.2. Lighting System

The case-study building currently has two types of luminaires installed as lighting systems: fluorescent devices on the central zone, and compact fluorescent (CFL) devices in each individual room. The replacement luminaire for these lighting systems is an LED luminaire of both tube and bulb types with more luminous efficiency than the currently used luminaire. The specifications of the current luminaires and their replacement for the sake of energy efficiency are summarized in Table 10. The illuminance on the working plane of both the currently used and replacement luminaire provides a similar light output, that is, 200–300 lx in rooms and 100 lx on corridors, according to CIE (International Commission on Illumination).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 10. Specifications of luminaires employed in the lighting systems of the case-study building. CFL: compact fluorescent.

Currently Used Luminaire				
Luminaire	Power consumption (W)	Lumen (lm)	Luminous Efficacy (lm/W)	Number
CFL bulbs	20 W	1200	60.00	1227
CFL bulbs	40 W	2500	62.5.0	8
CFL bulbs	60 W	3800	63.33	189
Fluorescent T8	18 W	1050	58.00	235
Fluorescent T8	32 W	1780	55.625	403
Replacement Luminaire				
Luminaire	Power consumption (W)	Lumen (lm)	Luminous Efficacy (lm/W)	Number
LED Blub	9 W	950	105.55	1227
LED Blub	14 W	1450	103.57	8
LED Blub	27 W	3000	111.11	189
LED Tube	9 W	1050	116.67	235
LED Tube	18 W	1800	100.00	403

Note from Table 10 that the replacement LED luminaires provide similar light output in terms of lumen compared to the currently used fluorescent luminaires. However, the energy consumption is significantly lower than that of conventional fluorescent devices, thereby achieving a higher luminous efficacy. This also results in a significant reduction in power consumption in lighting systems and improved lighting aspects of the building energy code in terms of LPD compared to previously installed luminaires.

3.3. Air Conditioning System

The air conditioning unit currently used in the case-study building is a split-type conventional air conditioning unit that has been employed since the construction of the building. However, the unit is aging and has low efficiency because of the technology at the time of installation. Thus, the replacement unit is a variable-speed type (inverter) that has a significantly higher SEER than the current one. These units require lower power consumption while maintaining the cooling capacity and providing the same amount of thermal comfort as the currently used unit. A comparison between the specifications of the currently used and replacement air conditioning units is shown in Table 11.

Table 11. Specifications of air conditioning employed in the case-study building. SEER: seasonal energy efficiency ratio.

Currently Used Air Condition				
Type of Air Conditioning Unit	Cooling Capacity (BTU/h)	Power Consumption (kW)	SEER (BTU/h/W)	Quantity
Fixed speed	9000	0.700	12.850	38
	12,000	1.065	11.267	36
	18,000	1.570	11.460	42
Replacement Luminaire				
Type of Air Conditioning Unit	BTU/h	Power Consumption (kW)	SEER (BTU/h/W)	Quantity
Variable speed	9000	0.600	24.00	38
	12,000	0.930	22.50	36
	18,000	1.470	20.81	42

3.4. Renewable Energy

Renewable energy in the retrofitted building comes from solar power generation installed on the rooftop of the building to generate electricity and provide a reduction in total energy consumption. Concerning the renewable energy system in the retrofitted case, a PV was installed on the rooftop to compensate for the total energy consumption. The building rooftop has an installation area for the PV of approximately 630 m² because of the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

space required for maintenance and the avoidance of shadows on the panel itself. Thus, the total generating capacity of the installed PV system was 70 kWp. A monocrystalline PV panel was selected because of its high efficiency. In addition, the panel was installed with a 15-degree tilt angle and faced the south owing to its potential to receive the highest solar radiation and generate electricity at the highest possible capacity [25]. The specifications of the installed PV system are summarized in Table 12.

Table 12. Specifications of the installed PV.

	Capacity (W)	Quantity	Efficiency
Monocrystalline Photovoltaic panel	370	220	18%
Inverter	25,000	3	98%
Total System Efficiency			18%

4. Retrofitted Results

The evaluation of existing buildings retrofitted into net-zero energy buildings in accordance with Thailand's building energy code was performed using the BEC software. The assessment was conducted from the perspective of the energy performance of a retrofitted building and its economic feasibility. This can provide the project's owner with sufficient information to determine the possibility of implementing energy-saving technologies in a retrofitted building.

4.1. Energy Results

The case-study building was evaluated according to Thailand's building energy code in terms of five aspects: building envelope, lighting system, air conditioning system, renewable energy, and total energy consumption; the hot-water system was excluded. As previously mentioned, the case-study building is a residential building without a central boiler acting as a hot-water system. The software evaluated the whole building energy consumption by using Equation (7) to combine the energy used in the air conditioning system, the lighting system, the renewable energy system and other equipment. The BEC software calculated energy usage in the air conditioning system as follows: the thermal transfer parameter was calculated by using thermal properties of materials used in the envelope. The thermal from the lighting system was calculated by using the building type coefficient from Table 5 and total wattage of luminaire. The occupant and air leakage are the average values from the specific type of building and has been calculated from data from DEDE. Finally, the efficiency of the air conditioning unit installed in the building that will be input for calculation. For the lighting, the software can be calculated directly from the input wattage into software. The renewable energy will be calculated by reference location of the building for meteorological data and input sizing of photovoltaic panel. This whole building energy consumption will be compared with the Thailand's building energy code to evaluate the result. In addition, the BEC software also assesses the energy performance in each category and determines the status of the building in compliance with the building energy code.

4.1.1. Building Envelope Section

The results from the evaluated case study building with the BEC software summarized in Table 13 shows that such a building has an OTTV higher than the standard allowance. This is because concrete plaster and autoclaved aerated concrete used in walls have a higher thermal transmittance. In addition, the clear float glass also has high thermal transmittance, which results in the failure of the OTTV standard. However, the roof of the building has a large air gap between the reinforced concrete and gypsum. This area can act as a resistance to heat exchange from the environment into the interior of the building, thereby affecting the fulfilment of the standard allowance of the RTTV. After retrofitting the building, note that the OTTV passing the building energy code is significantly reduced in the presence of an insulator and air gap. The RTTV can be further reduced by installing an insulator

above the gypsum board. These two indices were improved in the retrofitted case. This can decrease the effect of thermal energy from the environment on the cooling load and energy usage in the air conditioning unit.

Table 13. Thermal transfer values (W/m^2) in comparison with building energy code.

	Building Energy Code	Base Case	Status	Retrofitted Case	Status
OTTV	30.00	45.490	Failed	20.242	Passed
RTTV	10.00	9.961	Passed	3.679	Passed

4.1.2. Lighting System

Concerning the lighting system, the luminaire was replaced by fluorescent devices with LEDs to improve the energy efficiency. For the retrofitted case, the location and quantity were similar to the base case. The results from the BEC software evaluation (Table 14) reveal that the base-case lighting system has an LPD fulfilling the energy code. However, the value approaches the upper limit of the allowance level. This can result in unfulfillment of the energy code in the future, if the government decides to lower the LPD further to pressure building owners to adopt newer technologies. Thus, in the retrofitted case, the luminaires were replaced with LEDs to increase the energy efficiency. The results from the retrofitted case show that the total power consumption and LPD were reduced significantly, while the light output provides the same amount of illuminance on the working plane and light comfort as the currently used luminaire.

Table 14. Evaluated results of the lighting system in comparison with building energy code.

	Base Case	Retrofitted
Total Power (W)	71,132	25,411
Power density (W/m^2)	9.530	3.405
Power density of energy code (W/m^2)	12.000	12.000
Status	Passed	Passed

4.1.3. Air Conditioning System

Concerning the air conditioning system, the unit was individually evaluated using the BEC software, as shown in Table 15. The results in the base case show that the currently used fixed-speed air conditioning unit has a SEER equal to the standard value in the case of a 9000-BTU air conditioning unit. Both the 12,000-BTU and 18,000-BTU units failed in meeting the energy code, presenting a SEER lower than the standard allowance. This results were from the aging of the air conditioning unit and the technological limitations when it was installed. Thus, the retrofitted case proceeded by substituting all of the air conditioning units for variable-speed units. This is a recent technology with a higher efficiency. As a result, all of the air conditioning units in the retrofitted case have a significantly higher SEER than the standard level, thereby allowing the retrofitted building to have some margin when the units age and the standard is to be adjusted to stricter levels in the future.

Table 15. Evaluated results of the air conditioning units in comparison with the building energy code.

Type of Air Conditioning Unit	Cooling Capacity (BTU/h)	SEER (BTU/h/W)	Building Energy Code (BTU/h/W)	Status
Fixed speed (Base case)	9000	12.850	12.85	Passed
	12,000	11.267		Failed
	18,000	11.460		Failed
Variable speed (Retrofitted case)	9000	24.00	15.00	Passed
	12,000	22.50		Passed
	18,000	20.81		Passed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4. Renewable Energy and Total Energy Consumption

The total energy consumption provided by the BEC software in Table 16 reveals that in the base case, the net energy consumption is lower than that of the reference building according to the standard. However, the gap between the standard allowance and net power consumption is considered to be small when the building energy code is revised in stricter terms. In the retrofitted case, the building energy consumption was reduced significantly with respect to the base case by approximately 41% for the envelope, lighting, and air conditioning systems. Concerning renewable energy, the BEC software outputted that the installation of a 70-kWp PV system can generate electricity for usage in buildings up to 87,000 kWh/year. This generating capacity can directly reduce the building energy consumption, resulting in further reduction in the evaluated consumption.

Table 16. Total energy consumption provided by the BEC software.

	Base Case	Retrofitted	Energy Saving
Building energy consumption (kWh/year)	1,109,565.065	648,991.600	41.51%
Energy from renewable energy system (kWh/year)	-	87,043.30	-
Evaluated building net energy consumption (kWh/year)	1,109,565.065	561,948.30	49.36%
Reference building net energy consumption (kWh/year)	1,531,587.941	1,531,551.704	-
Status	Passed	Passed	-

4.2. Economic Indicator

From an economic perspective, two economic indicators, namely the internal rate of return (IRR) and DPP, were used to determine the feasibility of the retrofitted existing building in compliance with the building energy code. The investment cost in terms of material and labor costs in the retrofitted case was referenced using the Comptroller General's Department (CGD) database. The energy cost in terms of electricity fees is referenced to in the Metropolitan Electricity Authority.

4.2.1. Discounted Payback Period (DPP)

Economic indicators were used to evaluate the feasibility of the retrofitted building envelope to determine the optimal material and composition in terms of both energy and economics. The simple payback period (PP) can be used as a simple indicator for the project; however, it does not consider the time value of the money; besides, it may not reflect the project's actual cash flow and may lead to a false conclusion. Thus, the DPP, which is the period required by the cumulative discounted cash flows to return the initial investment, was used.

4.2.2. Net Present Value (NPV)

The NPV is the value of a future cash flow over the projected lifespan, assuming that money in the present has more value than money in the future owing to factors such as inflation. This indicator can be used to express the project's profitability. A positive NPV means that the project in the present state exceeds the cost, which indicates that it is feasible to invest with a return exceeding the anticipated amount [26].

4.2.3. Internal Rate of Return (IRR)

The IRR is an economic indicator used to assess investment feasibility. The discount rate makes the present value of all expected future cash flows equal to zero. This is the discounted rate that causes the NPV to be zero [27].

The DPP, NPV, and IRR are commonly used indicators to assess a projects' feasibility. Thus, they were used in this study to provide projected owners with economic information to invest correctly in retrofitted buildings in compliance with the energy code.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. Investment Cost

The evaluation of the economic feasibility using economic indexes for the retrofitting of existing building projects can be done by calculating the investment cost in comparison with the energy cost savings that can be achieved after retrofitting. Thus, the investment cost for retrofitted existing buildings reflects the cost of material and labour. An investment from government projects in term of material and labour cost must comply with the CGD, belonging to the Ministry of Finance [28]. Standardisation materials and labour cost must be considered; thus, it constitutes a reference for investment cost calculation. The investment cost for retrofitted building envelopes, including the material, labour, and electric equipment, is summarised in Table 17. Note that the material and labour costs for insulators are not expensive. However, the higher thermal efficiency glass for windows can result in an increased cost in the retrofitted building envelope.

Table 17. Material and labor cost for retrofitted projects in the envelope section.

Material Name	Cost Per Unit (USD/m ²) *	Labour Cost Per Unit (USD/m ²) *	Total Cost (USD/m ²) *
Autoclaved aerated concrete (20 cm.)	12.47	2.60	15.07
Concrete plaster	4.00	2.67	6.67
Reinforced concrete	326.27	67.10	393.37
Gypsum plates	10.63	2.50	13.13
Fiberglass insulator (5 mm.)	8.33	0.83	9.16
Fiberglass insulator (10 mm.)	16.67	0.83	17.50
Clear float glass	6.45	0.37	6.82
Clear color single silver low-e coat on ocean green	56.00	4.00	60.00

* The exchange rate is 30 THB (Thai bath) per 1 USD.

The equipment and installation costs for the lighting system is summarized in Table 18. The air condition system is summarized in Table 19, and the PV system is shown in Table 20. In the case of lighting systems, the equipment cost for LED replacement is low because of the cost of luminaires, which continuously decreases thanks to the constant development of technology. However, the installation cost is fixed, even for different types of luminaires. Concerning the air conditioning system, the installation cost is included in the cost of the air conditioning unit. Finally, regarding the renewable energy, the cost of PV panels and inverters was significantly reduced over the past decade. By contrast, the cost mainly includes the removal of the metal sheet roof on the roof top and the construction of the PV system structure.

Table 18. Equipment and installation cost of lighting systems.

Luminaire	Quantity	Price Per Unit (USD)	Installation Cost Per Luminaire (USD)	Total Cost (USD)
LED Bulb 9 W	1227	2.57	4.00	8057.30
LED Blub 14 W	8	21.5	4.00	204.00
LED Blub 27 W	189	31.23	4.00	6659.10
LED Tube 9 W	235	4.97	4.00	2107.17
LED Tube 18 W	403	5.53	4.00	3841.93
		Total		20,869.50

Table 19. Equipment and installation cost of air conditioning system.

Type of Air Conditioning Unit	BTU/h	Quantity	Price Per Unit (USD)	Total Cost (USD)
Variable speed (Inverter)	9000	38	573.33	21,786.67
	12,000	36	643.33	23,160.00
	18,000	42	863.33	36,260.00
	Total			81,206.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 20. Equipment and installation cost of renewable energy system.

	Quantity	Price Per Unit (USD)	Installation (USD)	Total
Monocrystalline panel 370 W	220	125.00	-	27,500.00
Inverter 25 kW	3	6500.00	-	19,500.00
Structure and miscellaneous electric equipment	-	-	10,000.00	10,000.00
Installation cost	-	-	26,666.67	26,666.67
Total				83,666.67

4.4. Economic Results

An economic result can be evaluated by calculating investment cost and electricity cost reduction. The electricity cost in terms of time of use tariff (TOU tariff) for the case-study building is 4.3297 baht per kWh or 0.14 USD per kWh [29]. The interest rate used to calculate the present value in this study was 1.75% according to the forecast of the Bank of Thailand [30]. The maintenance factor for the building envelope, which includes the deterioration rate of the building material, was set to approximately 0.8% per year in this study. The results in terms of net energy saving from the BEC software in the case of a retrofitted building were used to calculate the energy cost savings in terms of electricity fee, as summarized in Table 21. The annual cash flow from the retrofitting project for 10 years is comprehensively shown in Table 22, and the results in terms of economic indicators are shown in Table 23.

Table 21. Energy cost saving after retrofitting a building.

	Energy Consumption (Unit/year)	Electricity Cost (USD/year)
Base case	1,109,565.07	155,339.11
Retrofitted case	561,948.30	78,672.76
Total saving	547,616.77	76,666.35

Table 22. Annual cash flow of the retrofitting project.

Year	Initial Cost	Maintenance Factor	Energy Unit Saving (kWh/year)	Energy Cost Saving (USD)	Cash Flow (USD)	Future Value (USD)	Balance (USD)
0	319,081.00	-	547,616.77	-	(319,081.00)	(319,081.00)	(319,081.00)
1	-	0.80	543,235.83	76,053.02	76,053.02	74,561.78	(244,519.22)
2	-	1.60	538,854.90	75,439.69	75,439.69	72,510.27	(172,008.95)
3	-	2.40	534,473.96	74,826.35	74,826.35	70,510.55	(101,498.41)
4	-	3.20	530,093.03	74,213.02	74,213.02	68,561.36	(32,937.04)
5	-	4.00	525,712.09	73,599.69	73,599.69	66,661.51	33,724.46
6	-	4.80	521,331.16	72,986.36	72,986.36	64,809.80	98,534.27
7	-	5.60	516,950.23	72,373.03	72,373.03	63,005.08	161,539.35
8	-	6.40	512,569.29	71,759.70	71,759.70	61,246.21	222,785.56
9	-	7.20	508,188.36	71,146.37	71,146.37	59,532.10	282,317.66
10	-	8.00	503,807.42	70,533.04	70,533.04	57,861.66	340,179.32

Table 23. Economic results for the retrofitted case.

	NPV (USD)	DPP (years)	IRR (%)
Retrofitted case	340,179.32	4.36	19.32

The tables show that the initial costs are high. However, the income in terms of energy cost savings can compensate for the investment cost each year. The amount of energy saving is decreasing each year from the aging of equipment and some maintenance requirements, which are included in the maintaining factor. Concerning economic indicators, the energy savings from retrofitted existing buildings can achieve a DPP within a period of 4.36 years and has an IRR value of 19.23%, which can quickly pay back an investment and constitutes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a very attractive investment indicator. An assessment based on economic indicators reveals that the retrofitted project is feasible and has the potential to return an investment to the project's owner. This means a lower price resulting from high-efficiency materials and equipment.

5. Conclusions

We presented a feasibility study on the retrofitting of existing buildings in compliance with Thailand's building energy code. Five aspects of the building were evaluated using the BEC software: the building envelope, lighting, air conditioning, renewable energy and total energy consumption. The assessment results for the base case reveal that the building does not meet the standard in the envelope section and air conditioning system, while the lighting system and total energy consumption are still within the standard allowance. However, the values are close to the standard limit. Therefore, they can stop fulfilling the standard in the future in cases of aging equipment, materials and revision of building energy codes.

The retrofitting of the case study was performed and assessed in compliance with the building energy code using BEC software. According to the results, the envelope was improved by installing an insulator in the wall and roof, and the window was changed into high-energy-efficiency glass, which allowed the building to fulfil the envelope section of the building code. The lighting system was also retrofitted by substituting fluorescent luminaires with high-energy efficiency LED luminaires, which can provide a significant reduction in energy consumption and maintain the same amount of illuminance on the working plane. Concerning the air conditioning system, the fixed-speed air conditioning units were replaced with variable-speed (inverter) air conditioning units. The replacement unit has a double SEER value compared to the base-case unit, which results in the same cooling capacity and decreased energy consumption. In the retrofitted case, a PV system was installed, and the metal sheet roof was removed such that the generated power significantly reduces the total energy consumption with respect to the reference and base-case building. Thus, the retrofitted building can reduce the energy consumption by approximately 48% compared to the base case. The result has shown that a reduction of energy consumption, by completely retrofitting the building to be of an energy efficiency similar to the case study building, has the potential for an energy saving estimate of around 3000 GWh.

From an economic perspective, the economic indicators show that retrofitted existing buildings have potential in terms of feasibility and investment attractiveness, with an IRR value of 19.32% and a DPP of approximately 4.36 years. From both energy and economic perspectives, retrofitted existing buildings in compliance with Thailand's building energy code can benefit project owners with a fast payback and the possibility of generating profit in the long term. In addition, electric utilities can also benefit from a reduction in investment in utility upgrading and provide energy efficiency for electrical networks. However, there must be policy, support and incentive from both private and government entities to initiate the energy savings measured by retrofitted existing buildings in order to achieve energy saving targets.

Author Contributions: Conceptualization, S.A. and A.N.; methodology, S.B.; software, T.P.; validation, S.A., A.N. and S.B.; formal analysis, S.A.; investigation, S.A.; resources, A.N.; data curation, T.P.; writing—original draft preparation, S.A.; writing—review and editing, A.N.; visualization, S.A.; supervision, S.B.; project administration, S.B.; funding acquisition, A.N. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, grant number KDS 2019/005.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Availability Statement: No new data were created or analyzed in this study. Data sharing is not applicable to this article.

Acknowledgments: This work was supported by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (No. KDS 2019/005), Thailand.

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

References

1. Ministry of Energy. *20-Year Energy Efficiency Development Plan (2011–2030)*; Ministry of Energy: Bangkok, Thailand, 2011.
2. Energy Policy and Planning Office (EPPO). *Energy Efficiency Plan 2015–2036 (EEP 2015)*; Ministry of Energy: Bangkok, Thailand, 2015.
3. Energy Policy and Planning Office (EPPO). *Energy Statistics of Thailand 2019*; Ministry of Energy: Bangkok, Thailand, 2020.
4. Traivivatana, S.; Wangjiraniran, W. Thailand Integrated Energy Blueprint (TIEB): One Step towards Sustainable Energy Sector. *Energy Procedia* **2019**, *157*, 492–497. [CrossRef]
5. Government Gazette. Energy Conservation Promotion Act, B.E. 2535. 1992. Volume 1, Part 33; 2 April 1992. Available online: <https://www.eppo.go.th/images/law/ENG/nation2> (accessed on 11 November 2020).
6. Fumo, N. A review on the basics of building energy estimation. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2014**, *31*, 53–60. [CrossRef]
7. Grandjean, A.; Adnot, J.; Binet, G. A review and an analysis of the residential electric load curve models. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2012**, *16*, 6539–6565. [CrossRef]
8. Curtis, M.; Torriti, J.; Smith, S.T. A comparative analysis of building energy estimation methods in the context of demand response. *Energy Build.* **2018**, *174*, 13–25. [CrossRef]
9. Belussi, L.; Danza, L.; Ghellere, M.; Guazzi, G.; Meroni, I.; Salamone, F. Estimation of building energy performance for local energy policy at urban scale. *Energy Procedia* **2017**, *122*, 98–103. [CrossRef]
10. Thonipara, A.; Runst, P.; Ochsner, C.; Bizer, K. Energy efficiency of residential buildings in the European Union—An exploratory analysis of cross-country consumption patterns. *Energy Policy* **2019**, *129*, 1156–1167. [CrossRef]
11. D'Agostino, D.; Cuniberti, B.; Bertoldi, P. Energy consumption and efficiency technology measures in European non-residential buildings. *Energy Build.* **2017**, *153*, 72–86. [CrossRef]
12. Ali, S.B.M.; Hasanuzzaman, M.; Rahim, N.A.; Mamun, M.A.A.; Obaidallah, U.H. Analysis of energy consumption and potential energy savings of an institutional building in Malaysia. *Alex. Eng. J.* **2021**, in press.
13. Zhan, S.; Chong, A. Building occupancy and energy consumption: Case studies across building types. *Energy Built Environ.* **2021**, in press. [CrossRef]
14. Fonseca, J.A.; Nevat, I.; Peters, G.W. Quantifying the uncertain effects of climate change on building energy consumption across the United States. *Appl. Energy* **2020**, *277*, 115556. [CrossRef]
15. O'Brien, W.; Tahmasebi, F.; Andersen, R.K.; Azar, E.; Barthelmes, V.; Belafi, Z.D.; Berger, C.; Chen, D.; Simone, M.D.; d'Oca, S.; et al. An international review of occupant-related aspects of building energy codes and standards. *Build. Environ.* **2020**, *179*, 106906. [CrossRef]
16. Arjunan, P.; Poolla, K.; Miller, C. EnergyStar++: Towards more accurate and explanatory building energy benchmarking. *Appl. Energy* **2020**, *276*, 11541. [CrossRef]
17. Costa, J.F.W.; Amorim, C.N.D.; Silva, J.C.R. Retrofit guidelines towards the achievement of net zero energy buildings for office buildings in Brasilia. *J. Build. Eng.* **2020**, *32*, 101680. [CrossRef]
18. Ali, U.; Shamsi, M.H.; Bohacek, M.; Hoare, C.; Purcell, K.; Mangina, E.; O'Donnell, J. A data-driven approach to optimize urban scale energy retrofit decisions for residential buildings. *Appl. Energy* **2020**, *267*, 114861. [CrossRef]
19. Ali, H.; Hashlamun, R. Envelope retrofitting strategies for public school buildings in Jordan. *J. Build. Eng.* **2019**, *25*, 1008–1019. [CrossRef]
20. Chirarattananon, S.; Taveekun, J. An OTTV-based energy estimation model for commercial buildings in Thailand. *Energy Build.* **2004**, *36*, 680–689. [CrossRef]
21. Bright Management Consulting Co., Ltd. *Promoting Energy Efficiency in Commercial Buildings (PEECB) Progress Report #2*; Department of Alternative Energy Development and Efficiency: Bangkok, Thailand, 2013.
22. Tummu, P.; Chirarattananon, S.; Hien, V.D.; Chaiwiwatworakul, P.; Rakkwamsuk, P. Formulation of an OTTV for walls of bedroom in Thailand. *Appl. Therm. Eng.* **2017**, *113*, 334–344. [CrossRef]
23. British Standard Institution. *Light and Lighting—Lighting of Work Places—Part 1: Indoor Work Places*; EN 12464-1:2011; BSI: London, UK, 2011.
24. International Energy Agency. Energy Efficiency Label No.5 Air Conditioner. Available online: <https://www.iea.org/policies/1583-energy-efficiency-label-no5-air-conditioner> (accessed on 11 November 2020).
25. Peerapong, P.; Limmeechokchai, B. Optimal Photovoltaic Resources Harvesting in Grid-connected Residential Rooftop and in Commercial Buildings: Cases of Thailand. *Energy Procedia* **2015**, *79*, 39–46. [CrossRef]
26. Goel, S. Capital Budgeting Appraisal Methods. In *Capital Budgeting*, 1st ed.; Business Expert Press, LLC.: New York, NY, USA, 2015; pp. 63–88.
27. Khatib, H. Chapter 3—Time value of money (discounting). In *Economic Evaluation of Projects in the Electricity Supply Industry*; The Institution of Engineering and Technology: London, UK, 2003; pp. 31–41.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

28. Comptroller General's Department. *Material and Labour Cost for Fiscal Year 2562 B.E.*; Comptroller General's Department: Bangkok, Thailand, 2018.
29. Metropolitan Electricity Authority. Electricity Tariffs Large General Service. Available online: <https://www.meo.or.th/en/profile/109/114> (accessed on 11 November 2020).
30. Bank of Thailand. Interest Rates in Financial Market. (2005- present). Available online: https://www.bot.or.th/App/BTWS_STAT/statistics/BOTWEBSTAT.aspx?reportID=223&language=ENG (accessed on 11 November 2020).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสันติพันธ์ อนันต์วัฒนาพร
วัน เดือน ปีเกิด	5 มิถุนายน 2535 ที่กรุงเทพฯ
ที่อยู่	99/93 ถนน เสรีไทย แขวงคั่นนายาว เขตคั่นนายาว กรุงเทพฯ 10230
ประวัติการศึกษา	2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2561 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิจัย	1. S. Ananwattanaporn, T. Patcharoen, S. Bunjongjit, and A. Ngaopitakkul, “Retrofitted existing residential building design in energy and economic aspect according to Thailand building energy code,” Applied Sciences, Vol. 11, No. 4, Article No. 1398, 2021. 2. S. Bunjongjit, S. Ananwattanaporn, A. Ngaopitakkul, C. Jettanasen, and T. Patcharoen, “Design and Application of Daylight-Based Lighting Controller on LED Luminaire,” Applied Sciences, Vol. 10, No. 10, Article No. 3415, 2020.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้