การประเมินผลประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

THE EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY OF BASE CASE RESIDENTIAL BUILDINGD

กัญญาณัฐ คงพรปรารถนา

KANYANUT KONGPORNPRATTANA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2564

KMITL-2021-AR-M-002-021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY OF BASE CASE RESIDENTIAL BUILDINGD

KANYANUT KONGPORNPRATTANA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ARCHITECTURE PROGRAM IN TROPICAL ARCHITECTURE
FACULTY OF ARCHITECTURE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2021

KMITL-2021-AR-M-002-021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2021
FACULTY OF ARCHITECTURE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินผลประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน
นักศึกษา	นางสาว กัญญาณัฐ คงพรปรารถนา
รหัสประจำตัว	63602051
ปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ.	2564
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ศ.สุพัฒน์ บุณยฤทธิกิจ

บทคัดย่อ

การสำรวจของกระทรวงพลังงานพบว่าส่วนครัวเรือนมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 26 ซึ่งเป็นอันดับสองของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย การวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาเรื่องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมของบ้านพักอาศัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อศึกษาและประเมินแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน การศึกษานี้ได้นำรูปแบบแบบจำลองในการศึกษา หรือ บ้านพักอาศัยพื้นฐานซึ่งเป็นรูปแบบบ้านพักอาศัยโดยทั่วไปในประเทศไทยมาจากโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัย และสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงาน จัดทำโดยกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ซึ่งได้มีการสำรวจและเก็บข้อมูลลักษณะของบ้านพักอาศัยพื้นฐานส่วนใหญ่ในประเทศไทย

วิธีการศึกษาคือเสนอแนะแนวทาง 2 แนวทางได้แก่ แนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร และแนวทางการออกแบบอาคาร โดยสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ผลผ่านโปรแกรม DOE2.1E ver.121

ผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารได้ผลว่า 1.แนวทางการปรับปรุงผนังทึบที่เหมาะสมคือการเปลี่ยนชนิดของผนังจากอิฐมวลเบาเป็นคอนกรีตมวลเบา ซึ่งไม่มีระยะเวลาคืนทุน เพราะมีต้นทุนก่อสร้างน้อยต่ำบ้านพักอาศัยพื้นฐาน 2.แนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสงที่เหมาะสมคือการเปลี่ยนกระจกใสเป็นกระจกโฟลต์สีเขียวเข้ม ระยะคืนทุน 10.8 ปี 3. แนวทางการปรับปรุงหลังคาที่เหมาะสมคือการเปลี่ยนสีกระเบื้องหลังคาเป็นสีขาวหรือสีสะท้อนความร้อนมีระยะคืนทุน 2.4 ปี และผลการศึกษาแนวทางปรับปรุงการออกแบบอาคารได้ผลว่า 1.อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังที่เหมาะสมคือมีอัตราส่วนร้อยละ 17 มีระยะเวลาคืนทุน 6.8 ปี 2.การเพิ่มระยะชายคาที่เหมาะสมคือชายคายาว 1.9 เมตร มีระยะเวลาคืนทุน 68.3 ปี สรุปได้ว่าทุกแนวทางสามารถประหยัดพลังงานได้ แต่เมื่อคำนึงถึงความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ แนวทางที่ประหยัดพลังงานมากที่สุดอาจไม่ใช่แนวทางที่เหมาะสมด้านการลงทุน เพราะอาจมีราคาในการปรับปรุงสูงและผลประหยัดไม่เพียงพอให้คืนทุน โดยการปรับปรุงการออกแบบสามารถดำเนินการได้ตั้งแต่แรกเริ่ม หากลักษณะของบ้านมีความเหมาะสม จะไม่มีความจำเป็นในการปรับปรุงในภายหลัง อย่างไรก็ตามผลการศึกษาของแนวทางปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารยังคงให้ประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างชัดเจน และสามารถนำผลการศึกษานี้มาประยุกต์ใช้ร่วมกันตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	The Evaluation of Energy Efficiency of Base Case Residential Building
Student	Miss Kanyanut Kongpornprattana
Student ID	63602051
Degree	Master of Architecture
Program	Tropical Architecture
Year	2021
Thesis Advisor	Prof. Suphat Bunyarittikit

ABSTRACT

According to the survey by the Ministry of Energy, The residences sector account for 26% of electricity demand, which come in the second of Thailand electricity demand. This research focuses on the architectural elements of buildings which affect the use of electricity. The objective is to study and evaluate the energy conservation for basic house. This research takes the base case residential building which is typical residential style in Thailand from the research project to study the criteria of energy consumption in residential building and create energy- saving home prototypes by the Department of Alternative Energy and Energy Efficiency (DEDE), which has surveyed and collected data on the common characteristics and form of basic houses in Thailand.

Methodology is modeling and analysis an energy calculation through DOE2.1E version 121 to construct the suggestion in two approaches. First, The guidelines to improving building envelope materials. Second, The guidelines to building design.

The results shown the suitable improvement of building envelope materials in three main topics: 1. The improvement of solid wall by replacing the plastered masonry wall with the lightweight concrete block which has no payback period. 2. The improvement of translucent wall by replacing the non-tinted float glass with the dark green float glass which has a payback period for 10.8 year. 3.The improvement of roof by changing the roof tile color to white color or another heat reflective color has a payback period for 2.4 year. Next, The results of the study on The Suitable Guidelines to building design have shown that 1. The wall-window area ratio with 17 percent has a payback period for 6.8 year. 2. The increasing in eaves length to 1.9 m. long has a payback period for 68.3 year. The results conclude that all approaches contributed the electricity saving. But in term of Economic efficiency, the best

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

energy-efficient approach may not suitable in investment because the high improvement cost and the saving result may not cover the investment. Therefore, the conclusion of the research is the improvements of design can be made from the start. If the style of the house is appropriate, there will be no need for renovation later. However, the results of the study on the improvement of building envelope materials clearly shown the efficiency of energy conservation. Both results can be apply to the building design process.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วย ความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศ.สุพัฒน์ บุณยฤทธิกิจ และ รศ.รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ ที่ได้สละเวลาเพื่อให้คำปรึกษา ถ่ายทอดความรู้ และประสบการณ์ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.วิวัฒน์ เตมียพันธ์, รศ.ศุทธา ศรีเผด็จ, ที่ได้ให้คำแนะนำ ชี้ข้อบกพร่องเพื่อแก้ไขและปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณครอบครัว นายประสิทธิ์ คงพรปรารถนา, นางวีณา คงพรปรารถนา , นางสาววณิสรา คงพรปรารถนา, นางสาวละอองดาว วงเวิน และนางสาวณัฐนิช จันทร์สิงห์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่หรือผู้ที่เกี่ยวข้องที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และให้คำปรึกษา จนทำให้การศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเกิดประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ ทั้งในด้านการศึกษาหรือการนำไปประยุกต์ใช้ในแง่ใดก็ตามอย่างสูงสุด

สำหรับคุณประโยชน์และคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดา มารดา ตลอดจนครูอาจารย์ที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตลอดจนถึงทุกวันนี้

นางสาว กัญญาณัฐ คงพรปรารถนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

กิตติกรรมประกาศ IV

สารบัญ V

สารบัญรูป VII

สารบัญตาราง X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 5

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

1.4 ขอบเขตงานวิจัย 5

1.5 แผนการดำเนินการ 6

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม และกรอบแนวคิด 7

2.1 อาคารกรณีศึกษา 7

2.2 ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน 8

2.3 แนวทางการออกแบบกรอบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน 9

2.4 แนวคิดการปรับปรุงกรอบอาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐาน 15

2.5 ตัวชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า 18

2.6 การคำนวณค่าไฟฟ้ารวมของอาคารที่อยู่อาศัย 20

2.7 การคำนวณอัตราค่าไฟฟ้ารายเดือน 24

2.8 การพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน 25

2.9 การประเมินคุ้มค่าทางการลงทุน 26

2.10 กรอบแนวคิดของงานวิจัย 28

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย วัตถุดิบ และการสร้างเครื่องมือ 29

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย 29

3.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย 30

3.3 การสร้างเครื่องมือ 36

บทที่ 4 การดำเนินงานวิจัย 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 การรวบรวมข้อมูลเพื่อกำหนดแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน และศึกษาการใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยพื้นฐาน 42
4.2 การศึกษารวบรวมข้อมูลวัสดุเพื่อกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร 50
4.3 การประเมินแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน 63
4.4 การอภิปรายผล 104
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 108
5.1 สรุปผลการวิจัย 108
5.2 ข้อเสนอแนะของงานวิจัย 109
บรรณานุกรม 110
ประวัติผู้เขียน 112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงแผนภูมิความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2550-2562	2
1.2	แสดงสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า รายสาขาปี 2563	2
1.3	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมในอาคารที่อยู่อาศัย	3
1.4	แสดงปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน	3
1.5	แสดงปัจจัยภายในที่ส่งผลต่อการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน	4
1.6	แสดงแผนการดำเนินการวิจัย	6
2.1	แสดงที่มาของอาคารกรณีศึกษา	7
2.2	แสดงหมวดการพิจารณา 6 หมวดของ BEC	9
2.3	แสดงผลการศึกษาข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานรูปแบบ 1	11
2.4	แสดงผลการศึกษาข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานรูปแบบ 2	12
2.5	แสดงผลการศึกษาข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน	12
2.6	แสดงความสัมพันธ์ของการศึกษาข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับและบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	13
2.7	แสดงตัวอย่างอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	13
2.8	แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด	14
2.9	แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของสีทาผนัง	14
2.10	แสดงแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน	14
2.11	แสดงประเด็นที่ต้องพิจารณาก่อนการปรับปรุงอาคาร	15
2.12	แสดงการวิเคราะห์แนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน	17
2.13	แสดงความสัมพันธ์ของแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน	17
2.14	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมในอาคาร	18
2.15	แสดงการคำนวณพลังงานโดยรวมของอาคารตามกฎหมายของประเทศไทย	18
2.16	แสดงความสัมพันธ์ของตัวชี้วัดพลังงานกับหมวดหมู่การใช้พลังงานรวมของอาคาร	19
2.17	แสดงตัวชี้วัดของใช้พลังงานไฟฟ้า	19
2.18	แสดงความสัมพันธ์ของรายละเอียดตัวชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า	20
2.19	แสดงการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ	21
2.20	แสดงการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ	21
2.21	แสดงการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์อื่น ๆ	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.22	แสดงการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารต่อ 1 วัน	22
2.23	แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารต่อ 1 วัน	23
2.24	แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารต่อ 1 ปี	23
2.25	แสดงความสัมพันธ์ตัวชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า	25
2.26	แสดงความสัมพันธ์ของค่าไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยพื้นฐานและค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุง	25
2.27	แสดงการคำนวณความคุ้มค่าทางการลงทุน	26
2.28	แสดงความสัมพันธ์ของแนวทางการปรับปรุงบ้านพักอาศัยพื้นฐานและระยะคืนทุน	27
2.29	แสดงที่มาแนวทางอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	27
2.30	แสดงแนวทางอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	28
3.1	แสดงวิธีการดำเนินการวิจัย	29
3.2	แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกราม DOE2.1E	31
4.1	แสดงผังพื้นโดยคร่าวของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	42
4.2	แสดงรูปด้านทิศเหนือของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	43
4.3	แสดงรูปด้านทิศตะวันออกของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	43
4.4	แสดงรูปด้านทิศใต้ของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	43
4.5	แสดงรูปด้านทิศตะวันตกของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	43
4.6	แสดงลักษณะโดยรวมของแบบจำลองอาคารต้นแบบที่ใช้ในการศึกษา	44
4.7	แสดงสัดส่วนของปริมาณพลังงานความร้อนที่เข้าสู่อาคาร	46
4.8	แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดรายเดือนของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	47
4.9	แสดงแผนภูมิการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	48
4.10	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	50
4.11	แสดงการกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร	62
4.12	แสดงค่าความต้านทานความร้อนของผนังทึบแต่ละแนวทาง (A1-A5)	63
4.13	แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแนวทางปรับปรุงผนังทึบในพื้นที่ปรับอากาศ	66
4.14	แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแนวทางการปรับปรุงผนังทึบในพื้นที่ไม่ปรับอากาศ	67
4.15	แสดงประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยแนวทางการปรับปรุงผนังทึบ	68
4.16	แสดงความสัมพันธ์การใช้พลังงานรายปีและต้นทุนในการปรับปรุงผนังทึบ	68
4.17	แสดงค่า U ของผนังโปร่งแสงตามแนวทางการปรับปรุง (B1-B2)	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.18	แสดงค่า SHGC ของผนังโปร่งแสงตามแนวทางการปรับปรุง (B1-B2).....	73
4.19	แสดงค่า LSG ของผนังโปร่งแสงตามแนวทางการปรับปรุง (B1-B2).....	73
4.20	แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสงในพื้นที่ปรับอากาศ.....	75
4.21	แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสงในพื้นที่ไม่ปรับอากาศ.....	75
4.22	แสดงประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานโดยแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสง.....	76
4.23	แสดงความสัมพันธ์การใช้พลังงานรายปีและต้นทุนในการปรับปรุงผนังโปร่งแสง.....	77
4.24	แสดงค่าความต้านทานความร้อนของหลังคาแต่ละแนวทาง (C1-C2).....	80
4.25	แสดงแผนภูมิอุณหภูมิรายชั่วโมงของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน.....	83
4.26	แสดงแผนภูมิอุณหภูมิรายชั่วโมงของแนวทาง C1.....	84
4.27	แสดงแผนภูมิอุณหภูมิรายชั่วโมงของแนวทาง C2-1.....	84
4.28	แสดงแผนภูมิอุณหภูมิรายชั่วโมงของ C2-2.....	85
4.29	แสดงแผนภูมิอุณหภูมิรายชั่วโมงของ C2-3.....	86
4.30	แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแนวทางปรับปรุงวัสดุหลังคาห้องปรับอากาศ.....	87
4.31	แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแนวทางปรับปรุงวัสดุหลังคาห้องไม่ปรับอากาศ.....	87
4.32	แสดงประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยแนวทางการปรับปรุงหลังคา.....	88
4.33	แสดงความสัมพันธ์การใช้พลังงานรายปีและต้นทุนในการปรับปรุงหลังคา (C1-C2).....	89
4.34	แสดงประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานโดยแนวทางการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด.....	95
4.36	แสดงประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานโดยแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา.....	100
4.37	แสดงความสัมพันธ์การใช้พลังงานรายปีและต้นทุนในแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา...	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปีพ.ศ.2550-2562	1
2.1	แสดงการศึกษาเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร	9
2.2	แสดงการหมวดหมู่พิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับบ้านพักอาศัย	10
2.3	แสดงอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยที่มีการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน	24
2.4	แสดงอัตราค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย ที่มีการใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน.	24
3.1	แสดงมีข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน จังหวัดกาญจนบุรี	32
3.2	แสดงรายละเอียดของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	33
3.3	แสดงรายละเอียดวัสดุกรอบอาคารของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	33
3.4	แสดงรายละเอียดการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าและระยะเวลาการใช้งาน	34
3.5	แสดงรายละเอียดระยะเวลาการใช้งานของไฟฟ้าแสงสว่าง ในวันจันทร์-วันศุกร์	34
3.6	แสดงรายละเอียดระยะเวลาการใช้งานของไฟฟ้าแสงสว่างในวันเสาร์-วันอาทิตย์	34
3.7	แสดงรายละเอียดระยะเวลาการใช้งานของไฟฟ้าอุปกรณ์ ในวันจันทร์-วันศุกร์	35
3.8	แสดงรายละเอียดระยะเวลาการใช้งานของไฟฟ้าอุปกรณ์ ในวันเสาร์-วันอาทิตย์	35
3.9	แสดงรายละเอียดระยะเวลาการใช้งานของระบบปรับอากาศ	35
3.10	แสดงตารางศึกษาความร้อนที่ส่งผ่านส่วนประกอบอาคาร	36
3.11	แสดงตารางเก็บข้อมูลอุณหภูมิรายเดือน	37
3.12	แสดงตารางเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร	38
3.13	แสดงตารางเก็บข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานภายในอาคาร	39
3.14	แสดงตารางสำหรับกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร	40
3.15	แสดงตารางสำหรับเปรียบเทียบกำหนดชนิดวัสดุที่แก้ไข	40
3.16	แสดงตารางเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยพื้นฐานก่อนและหลังปรับปรุง	40
3.17	แสดงตารางสำหรับเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการลงทุน	41
3.18	แสดงตารางสรุปผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการลงทุน	41
4.1	แสดงค่าพลังงานความร้อนที่เข้ามาสู่อาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	45
4.2	แสดงข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน	47
4.3	แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.4	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยพื้นฐาน	49
4.5	แสดงแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน	51
4.6	แสดงแนวทางการปรับปรุงการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน	51
4.7	แสดงการพิจารณาชนิดของผนังทึบ	52
4.8	แสดงการพิจารณาชนิดของฉนวนกันความร้อนสำหรับงานผนังทึบ	53
4.9	แสดงค่าการต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้างต่าง ๆ	54
4.10	แสดงรายละเอียดของแผ่นผนังสำเร็จรูป	54
4.11	แสดงรายละเอียดของฉนวน EPS ชนิดแผ่นสำเร็จรูป	55
4.12	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของสีภายนอกของผนังทึบ	56
4.13	แสดงรายละเอียดของสีสะท้อนความร้อน	56
4.14	แสดงการพิจารณาชนิดของกระจก	57
4.15	แสดงการพิจารณาชนิดของฟิล์มลดความร้อน	58
4.16	แสดงรายละเอียดกระเบื้องหลังคา	58
4.17	แสดงการพิจารณาชนิดฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคา	59
4.18	แสดงรายละเอียดการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	60
4.19	แสดงรายละเอียดการศึกษาการเพิ่มระยะชายคา	60
4.20	แสดงแนวทางการปรับปรุงอาคาร	61
4.21	แสดงแนวทางการปรับปรุงผนังทึบ	63
4.22	แสดงอุณหภูมิรายชั่วโมงภายในห้องปรับอากาศ ห้องไม่ปรับอากาศ ของแนวทางการปรับปรุงผนังทึบ	65
4.23	แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน โดยแนวทางการปรับปรุงผนังทึบ (A1-A5)	67
4.24	แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางปรับปรุงผนังทึบ	70
4.25	แสดงการสรุปผลการเลือกแนวทางปรับปรุงผนังทึบที่เหมาะสมด้านการลงทุน	71
4.26	แสดงแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสง	72
4.27	แสดงรายละเอียดวัสดุของแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสง	72
4.29	แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน โดยแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสง	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.30	แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางปรับปรุงผนังโปร่งแสง	78
4.31	แสดงการสรุปผลการเลือกแนวทางปรับปรุงผนังทึบที่เหมาะสมด้านการลงทุน	79
4.32	แสดงแนวทางการปรับปรุงหลังคา	80
4.33	แสดงอุณหภูมิรายชั่วโมงภายในห้องปรับอากาศ ห้องไม่ปรับอากาศ และหลังคาของแนวทางปรับปรุงหลังคา	82
4.34	แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนโดยแนวทางการปรับปรุงหลังคา(C1-C2)	88
4.35	แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางปรับปรุงหลังคา	90
4.36	แสดงการสรุปผลการเลือกแนวทางปรับปรุงผนังทึบที่เหมาะสมด้านการลงทุน	91
4.37	แสดงสรุปผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร	92
4.38	แสดงสรุปผลแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารที่มีความเหมาะสมด้านการลงทุน	93
4.39	แสดงการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	94
4.40	แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน โดยแนวทางการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)	95
4.41	แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด	97
4.42	แสดงการสรุปผลการเลือกแนวทางการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่เหมาะสมด้านการลงทุน	98
4.43	แสดงรายละเอียดแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา	99
4.44	แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน โดยแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา	100
4.45	แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา	102
4.46	แสดงการสรุปผลการเลือกแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา	103
4.48	แสดงสรุปผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงทั้งหมด	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

วิกฤตการณ์โลกร้อนเป็นปัญหาใหญ่ที่สังคมโลกกำลังเผชิญอยู่ในปัจจุบัน อันสืบเนื่องมาจากการขาดความยั้งคิดในการใช้พลังงานและการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือย ส่งผลให้เกิดวิบัติภัยทางธรรมชาติที่สร้างความเสียหายให้กับมนุษยชาติทั้งในปัจจุบันและในอนาคตอันใกล้ นอกจากผลพวงที่กำลังเกิดขึ้นจากวิกฤตการณ์โลกร้อนแล้ว วิกฤตการณ์พลังงาน ปัญหาสิ่งแวดล้อม ปัญหาสุขภาพอนามัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสภาวะแวดล้อมของโลก รวมทั้งปัญหาความมั่นคงทางเศรษฐกิจและพลังงาน โดยปัญหาการใช้พลังงานมีแนวโน้มที่มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อทั้งภาครัฐและเอกชน เนื่องจากต้นทุนทรัพยากรในการผลิตไฟฟ้ามีราคาสูง จากตารางที่ 1.1 กล่าวได้ว่าสถานการณ์การใช้พลังงานของประเทศไทยมีอัตราเพิ่มขึ้นทุกปีและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นต่อไปอย่างชัดเจน

ตารางที่ 1.1 แสดงความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ปีพ.ศ.2550-2562

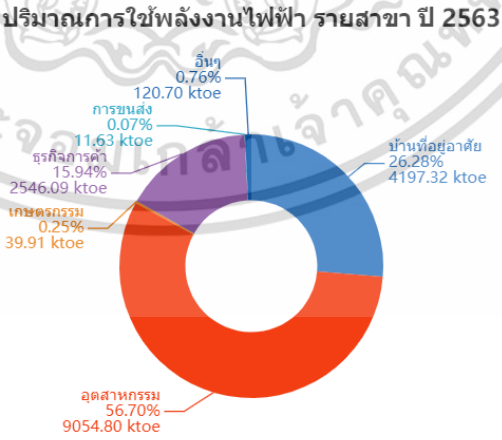
ปี พ.ศ.	ความต้องการใช้พลังงานฟ้า	
	เมกะวัตต์	ค่าเพิ่มขึ้น/ลดลง
2550	22,586.10	+7.23
2551	22,568.20	-0.08
2552	22,044.90	-2.32
2553	24,009.90	+8.91
2554	23,900.21	-0.46
2555	26,121.10	+9.29
2556	26,598.14	+1.83
2557	26,942.10	+1.29
2558	27,345.80	+1.50
2559	29,618.80	+8.31
2560	28,578.40	-3.51
2561	28,338.10	-0.84
2562	30,853.20	+8.88

ที่มา: กองสื่อสารภายนอก ฝ่ายสื่อสารและประชาสัมพันธ์องค์การ กฟผ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.1 แสดงแผนภูมิความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2550-2562
ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

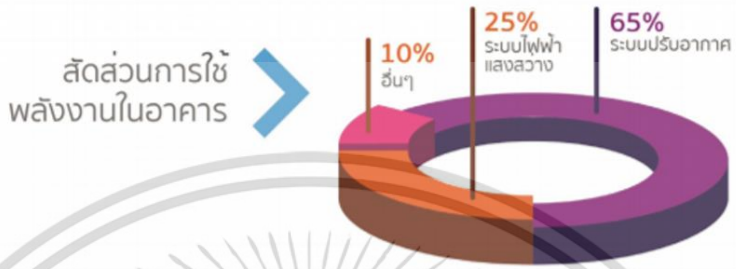
จากปัญหาด้านพลังงานที่เกิดขึ้นทั่วโลกในปัจจุบัน ทำให้เกิดนโยบายและมาตรการต่าง ๆ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานขึ้นมากมาย ในส่วนของประเทศไทย สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้กำหนดนโยบาย แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2558 – 2579 (Energy Efficiency Plan ; Eep 2015) โดยมีเป้าหมายที่จะลดการใช้พลังงานในขั้นสุดท้ายซึ่งเป็นพลังงานเชิงพาณิชย์ เช่น น้ำมันสำเร็จรูป ไฟฟ้า และพลังงานทดแทน ให้ได้ 56,142 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) ร่วมกับจากการสำรวจโดยกระทรวงพลังงานพบว่าอาคารที่อยู่อาศัยมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึงร้อยละ 26 นับเป็นอันดับสองของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของประเทศไทย จึงทำให้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงานในภาคครัวเรือนหรืออาคารที่อยู่อาศัยในประเทศไทย



รูปที่ 1.2 แสดงสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า รายสาขาปี 2563
ที่มา : สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารที่อยู่อาศัยพบว่าสามารถแบ่งสัดส่วนการใช้พลังงานได้เป็น 3 ส่วนดังนี้ การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศร้อยละ 65 การใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างร้อยละ 25 และหารใช้พลังงานในอุปกรณ์อื่น ๆ ร้อยละ 10 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าหากศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทั้ง 3 ระบบ จะสามารถศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารที่อยู่อาศัยได้



รูปที่ 1.3 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมในอาคารที่อยู่อาศัย

ที่มา: ศูนย์ประสานงานออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน(2561) สืบค้นเมื่อ : 30 มีนาคม 2564

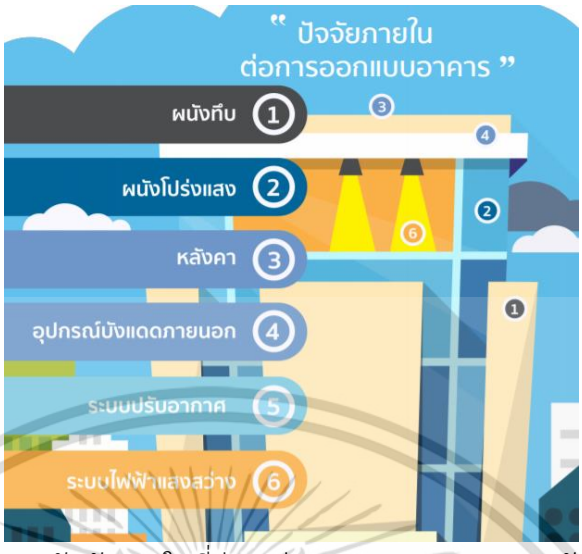
จากการศึกษาแนวทางการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน จัดทำโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงานแบ่งเป็น ปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน โดยปัจจัยภายนอก ได้แก่ ทิศทางแสงแดด พืชพันธุ์ธรรมชาติ สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ

รูปที่ 1.4 แสดงปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน

ที่มา: ศูนย์ประสานงานออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (2560) สืบค้นเมื่อ : 30 มีนาคม 2564

และปัจจัยภายใน คือ องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมของอาคาร ได้แก่ ผนังทึบ ผนังโปร่งแสง หลังคา อุปกรณ์บังแดด ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.5 แสดงปัจจัยภายในที่ส่งผลต่อการออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน
ที่มา: ศูนย์ประสานงานออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (2560) สืบค้นเมื่อ : 30 มีนาคม 2564

ดังนั้นรูปแบบลักษณะและองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ซึ่งสามารถเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงแก้ไขให้เกิดความเหมาะสม งานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาเรื่ององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมของบ้านพักอาศัยที่เป็นปัจจัยส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านพักอาศัย

โดยการศึกษานี้ได้นำรูปแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐานซึ่งเป็นรูปแบบบ้านพักอาศัยโดยทั่วไปในประเทศไทยจากงานวิจัยโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัย และสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงานประจำปี พ.ศ. 2561 โดยกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ซึ่งได้มีการสำรวจและเก็บข้อมูลลักษณะรูปทรงของบ้านพักอาศัยพื้นฐานที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในประเทศไทย และสามารถใช้เป็นอาคารตัวแทนแบบจำลองในการศึกษาต่อไป

ในขั้นตอนการดำเนินการงานวิจัย การสร้างแบบจำลองบ้านพักอาศัยพื้นฐานและจำลองสภาพการใช้พลังงานภายในอาคาร ด้วยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121 ซึ่งเป็นระบบโปรแกรมประสิทธิภาพสูง ใช้สำหรับการศึกษา ออกแบบ วิเคราะห์ และการทดสอบมาตรฐานพลังงานของอาคารในสหรัฐอเมริกาและทั่วโลก และได้รับการยอมรับในการคำนวณตามมาตรฐานในระดับสากล เช่น ASHRAE LEED เป็นต้น เพื่อนำผลที่ได้มาจัดทำเป็นฐานการใช้พลังงาน (Baseline) และวิเคราะห์หาแนวทางการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุที่สามารถอนุรักษ์พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ยังคงมีความคุ้มค่าทางการลงทุนในระยะยาว เพื่อเสนอแนะแนวทางการออกแบบบ้านพักอาศัยที่สามารถอนุรักษ์พลังงานและมีความเหมาะสมกับประเทศไทย จึงเป็นที่มาของการศึกษาหัวข้อ “การประเมินผลประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาและประเมินแนวทางการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมสำหรับอาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทราบผลแนวทางการปรับปรุงอาคารที่เหมาะสมในการอนุรักษ์พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของอาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

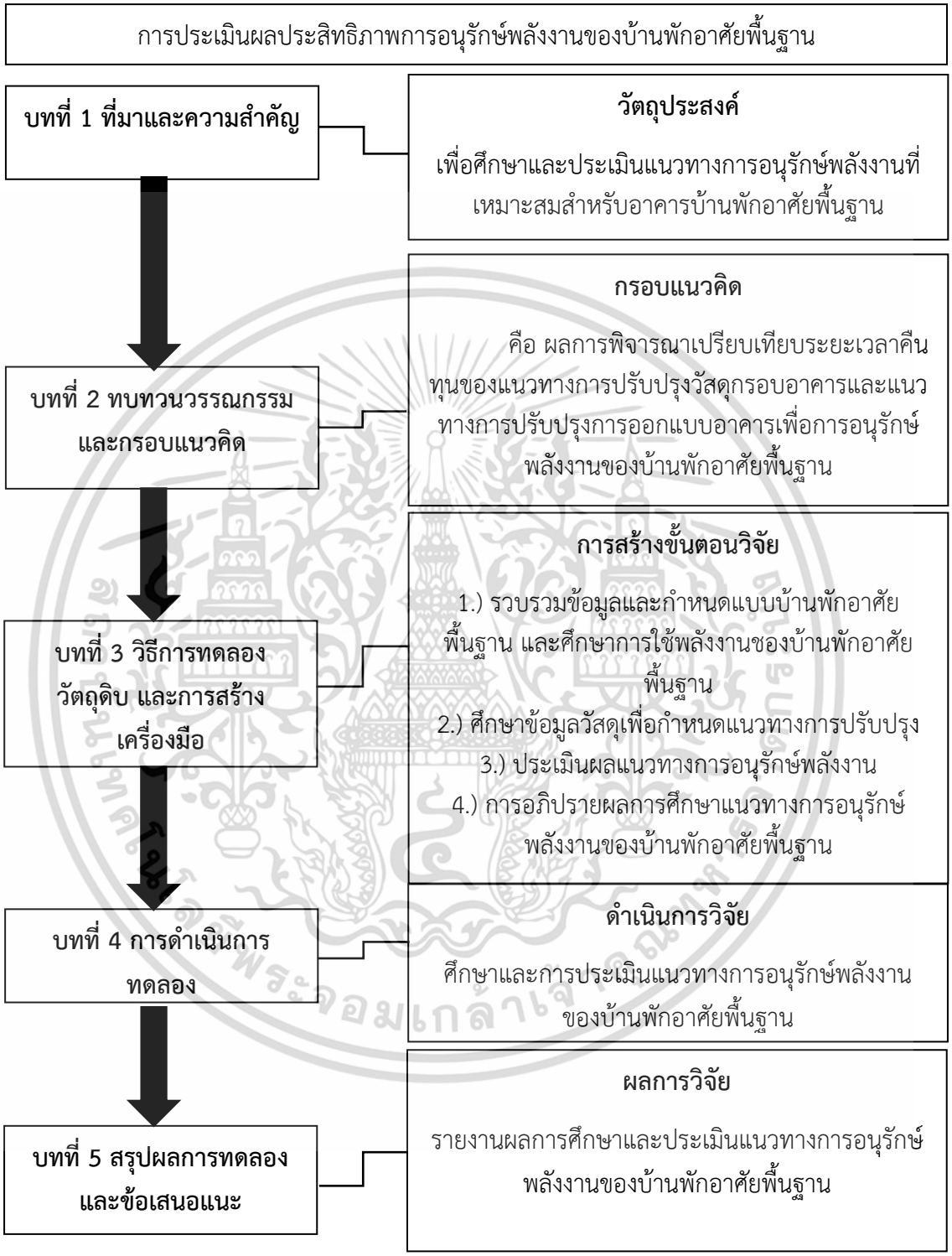
1.4 ขอบเขตงานวิจัย

การศึกษานี้มุ่งเน้นศึกษาที่องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมของบ้านพักอาศัย ไม่รวมถึงการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า เนื่องจากเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถกำหนดได้ จึงถือให้อุปกรณ์เหล่านี้เป็นตัวแปรคงที่ โดยใช้ข้อมูลจากโครงการสำรวจของกระทรวงพลังงาน

1. ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษา ได้แก่ รายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้า และรูปแบบอาคารต้นแบบ นำข้อมูลมาจากโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 โดยกระทรวงพลังงานและคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. การศึกษานี้กำหนดให้เป็นการจำลองทดสอบภายในสภาพภูมิอากาศ จังหวัดกาญจนบุรีประเทศไทยเท่านั้น
3. ข้อมูลทั้งหมดนำมาใช้สร้างแบบจำลองอาคารต้นแบบ และจำลองสภาวะการใช้พลังงาน โดยระบบโปรแกรม DOE2.1E ver.121.
4. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ราคาวัสดุ ราคาค่าแรง และข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุ มาจากกฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือ ขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552, บัญชีราคาค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงานสำหรับปีงบประมาณ พ.ศ.2563 และการสอบถามจากบริษัทผู้ผลิต ซึ่งอาจมีการปรับเปลี่ยนทั้งราคาและคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 แผนการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 1.6 แสดงแผนการดำเนินการวิจัย
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

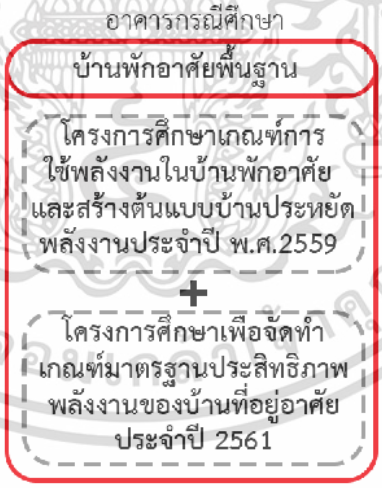
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและกรอบแนวคิด

2.1. อาคารกรณีศึกษา

กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน ร่วมกับคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ.2561 ได้ทำการวิจัยโครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย โดยมีเนื้อหาและวัตถุประสงค์มุ่งเน้นศักยภาพในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานในส่วนของบ้านพักอาศัย พบว่าได้มีการสำรวจและเก็บข้อมูลลักษณะรูปทรงของบ้านพักอาศัยพื้นฐานที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ในประเทศไทย โดยเก็บข้อมูลลักษณะและรูปทรงของบ้านพักอาศัยทั่วทุกภูมิภาคประเทศไทย จำนวน 1,200 หลัง ร่วมกับข้อมูลจากการสำรวจในโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัย และสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงานประจำปี พ.ศ. 2559 อีกจำนวน 1,554 หลัง รวมเป็นข้อมูลจากบ้านพักอาศัยประมาณ 2,500 ตัวอย่าง จากการศึกษาทำให้ได้รายละเอียดลักษณะของบ้านพักอาศัยที่เป็นส่วนใหญ่ในประเทศไทย และสามารถใช้เป็นอาคารกรณีศึกษา หรืออาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐาน



รูปที่ 2.1 แสดงที่มาของอาคารกรณีศึกษา
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน

2.2.1. กฎหมายพลังงานของอาคารที่อยู่อาศัยในประเทศไทย

ประเทศไทยในปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานที่บังคับใช้กับอาคารที่อยู่อาศัย แต่มีการกำหนดกฎเกณฑ์ในการออกแบบเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานขึ้นในลักษณะของ Building Energy Code (BEC) หรือ เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร โดยกระทรวงพลังงานได้ออกกฎกระทรวง กำหนดเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคารขึ้น ซึ่งมีผลบังคับใช้กับอาคารที่ขออนุญาตก่อสร้างใหม่ หรืออาคารดัดแปลงที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป โดยประกอบด้วยการพิจารณาทั้งหมด 6 หมวด

1.ระบบเปลือกอาคาร (Envelope system)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาด้านนอกของอาคารในส่วนที่มีการปรับอากาศ ในแต่ละประเภทอาคารต้องมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาไม่เกินที่กำหนดไว้

2.ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Electric lighting system)

อุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับใช้ส่องสว่างภายในอาคารต้องมีค่าการใช้กำลังไฟฟ้าในพื้นที่แต่ละประเภทของอาคารไม่เกินค่าที่กำหนดไว้

3.ระบบปรับอากาศ (Air-Conditioning system)

ประเภทและขนาดของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งภายในอาคารต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็น และค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น ต้องเป็นไปตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด

4.ระบบอุปกรณ์ผลิตน้ำร้อน (Water heating appliance)

อุปกรณ์ผลิตน้ำร้อนที่ติดตั้งภายในอาคาร ต้องมีค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำ และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำตามที่กำหนด

5.ระบบพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy system)

การใช้พลังงานทางเลือก และพลังงานหมุนเวียนเพื่อลดภาระของการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารตลอดทั้งปี

6.การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร (Whole building energy)

ใช้งานในกรณีที่ประสิทธิภาพของอุปกรณ์หรือระบบใดระบบหนึ่งหรือมากกว่า ของอาคารที่พิจารณาไม่ผ่านเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานของระบบที่กำหนดไว้ ซึ่งการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารที่ออกแบบคิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์ จะต้องต่ำกว่าค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารอ้างอิง จึงถือว่าแบบของอาคารดังกล่าวผ่านเกณฑ์ตามกฎกระทรวงฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 แสดงหมวดการพิจารณา 6 หมวดของ BEC
ที่มา: ingreen.co.th(2018) สืบค้นเมื่อ : 21 มีนาคม 2564

ดังนั้นแล้วหากนำหมวดหมู่ที่ได้จากการศึกษากฎหมายพลังงานในประเทศไทย มาสร้างเป็นตารางเพื่อศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้ตารางดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงการศึกษาเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร

กฎหมายและข้อกำหนดพลังงาน	หมวด					
	ระบบกรอบอาคาร	**ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง**	**ระบบปรับอากาศ**	**ระบบอุปกรณ์น้ำร้อน**	**ระบบพลังงานหมุนเวียน**	**การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร**
Building Energy Code (BEC)	●	●	●	●	●	●

แต่เนื่องจาก Building Energy Code (BEC) หรือ เกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของอาคาร มีผลบังคับใช้กับอาคารที่มีขนาดรวมกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป โดยครอบคลุม 9 ประเภทอาคารได้แก่ โรงแรม, อาคารชุด, สถานพยาบาล, โรงมหรสพ, อาคารชุมนุมคน, สถานบริการ, ห้างสรรพสินค้า, สำนักงาน, สถานศึกษา ซึ่งยังไม่มีกำหนดเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานที่กล่าวถึงอาคารบ้านพักอาศัย ต่อมาในปี พ.ศ. 2561 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน ได้ประกาศเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับบ้านพักอาศัย

2.2.2. เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับบ้านพักอาศัย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ดำเนินศึกษาและเก็บข้อมูลสถิติครัวเรือนของประเทศไทยประมาณ 20 ล้านครัวเรือน ในปี พ.ศ.2561 ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อตอบสนองแผนนโยบายอนุรักษ์ 20 ปี โดยได้ดำเนินการส่งเสริมเรื่องบ้านประหยัดพลังงาน และแนวทางการส่งเสริมบ้านประหยัดพลังงาน และเพื่อการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับบ้านอยู่อาศัย ซึ่งในปัจจุบันยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีกำหนดไว้ในประเทศไทย โดยรูปแบบเกณฑการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยที่เหมาะสมกับประเทศไทยสามารถแบ่งเป็น 2 ทางเลือก ได้แก่

1.การกำหนดมาตรฐานค่าเดียว (Standard Option)

โดยใช้การคำนวณ หรือจำลองสภาพจากวัสดุและอุปกรณของอาคารศึกษาให้ผ่านเกณฑขั้นต่ำ มีหน่วยเป็นคาพลังงานที่กำหนดตอตารางเมตรตอป หรือค่าการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

2.การกำหนดวัสดุในการออกแบบก่อสร้าง (Material Option)

เป็นการกำหนดรายละเอียดการเลือกใช้วัสดุประกอบอาคาร ที่มีมาตรฐานด้านพลังงานขั้นต่ำที่การกำหนดไว้

ดังนั้นแล้วหากนำหมวดหมู่ที่ได้จากการศึกษาเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับบ้านพักอาศัย มาบันทึกลงในตารางเปรียบเทียบเพื่อศึกษาและจัดระเบียบข้อมูล จะได้ตารางดังนี้

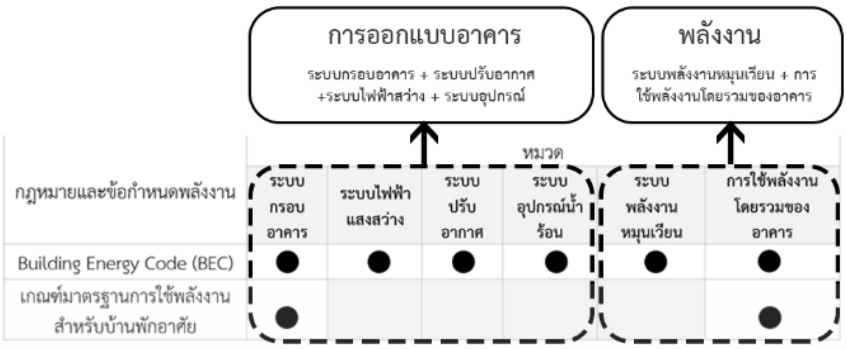
ตารางที่ 2.2 แสดงการหมวดหมู่พิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับบ้านพักอาศัย

กฎหมายและข้อกำหนดพลังงาน	หมวด					
	ระบบกรอบอาคาร	**ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง**	**ระบบปรับอากาศ**	**ระบบอุปกรณ์น้ำร้อน**	**ระบบพลังงานหมุนเวียน**	**การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร**
Building Energy Code (BEC)	●	●	●	●	●	●
เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับบ้านพักอาศัย	●					●

ดังนั้นแล้วหากนำหมวดหมู่ที่ได้จากการศึกษาเกณฑ์มาตรฐานพลังงานในประเทศไทยมาเปรียบเทียบหมวดหมู่ที่ได้จากการศึกษาในข้างต้นดังตารางที่ 2.2 และจากการศึกษาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าหมวดหมู่ข้อพิจารณาที่เกี่ยวข้องกับการการอนุรักษ์พลังงานของอาคารมีอยู่ 2 รูปแบบ ได้แก่

1. <u>การออกแบบอาคาร</u>
   -ระบบกรอบอาคาร
   -ระบบปรับอากาศ
   -ระบบไฟฟ้าสว่าง
   -ระบบอุปกรณ์น้ำร้อน
2. <u>พลังงาน</u>
   -ระบบพลังงานหมุนเวียน
   -การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงผลการศึกษาข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานรูปแบบ 1
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

เมื่อพิจารณาข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานร่วมกับวิธีการศึกษางานวิจัยนี้ โดยพบว่ารูปที่ 2.3 ในหัวข้อการออกแบบอาคาร ได้รวมถึง ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ และระบบอุปกรณ์น้ำร้อน แต่เนื่องจากอาคารกรณีศึกษามาจากการเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการศึกษางานวิจัยโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 และโครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 โดยกระทรวงพลังงาน และคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยได้มีการเก็บข้อมูลเครื่องใช้ไฟฟ้าร่วมด้วย อันได้แก่

- ข้อมูลพลังงานของระบบปรับอากาศ ประกอบด้วย ชนิด จำนวน ประสิทธิภาพและตารางเวลาเปิด-ปิดของเครื่องปรับอากาศ
- ข้อมูลพลังงานของระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ประกอบด้วย ชนิด จำนวน กำลังไฟฟ้า และตารางเวลาเปิด-ปิดของหลอดไฟ
- ข้อมูลพลังงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ประกอบด้วย ชนิด จำนวน กำลังไฟฟ้า และตารางเวลาเปิด-ปิดของเครื่องใช้ไฟฟ้า

จึงจำแนกหมวดหมู่ที่ได้จากการศึกษาได้อีกรูปแบบหนึ่ง ได้แก่

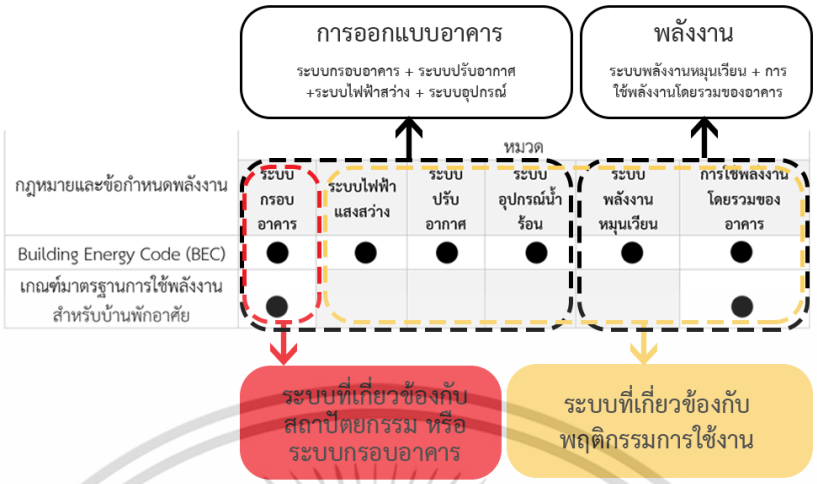
<u>1.ระบบที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรม</u>

-ระบบกรอบอาคาร

<u>2.ระบบที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้งาน</u>

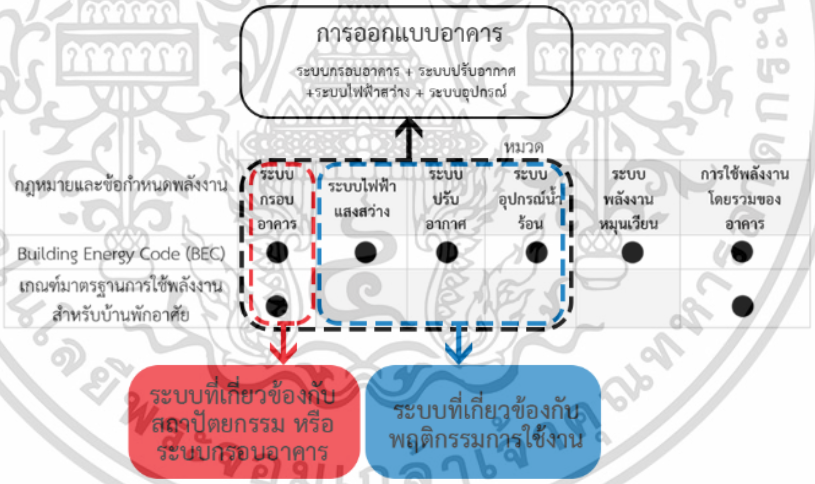
-ระบบปรับอากาศ
-ระบบไฟฟ้าสว่าง
-ระบบอุปกรณ์น้ำร้อน
-ระบบพลังงานหมุนเวียน
-การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



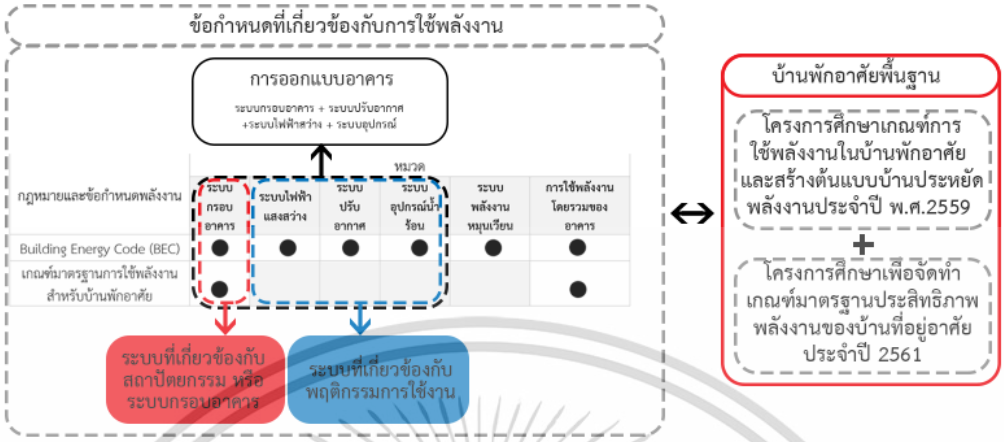
รูปที่ 2.4 แสดงผลการศึกษาข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานรูปแบบ 2
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

เมื่อพิจารณาหัวข้อระบบพลังงานหมุนเวียน และการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร จำแนกตามรูปแบบที่ 1 จัดอยู่ในหมวดหมู่พลังงาน และเมื่อจำแนกตามรูปแบบที่ 2 จัดอยู่ในหมวดหมู่ระบบที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการใช้งาน ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัยชิ้นนี้จึงสรุปการจำแนกดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงผลการศึกษาข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

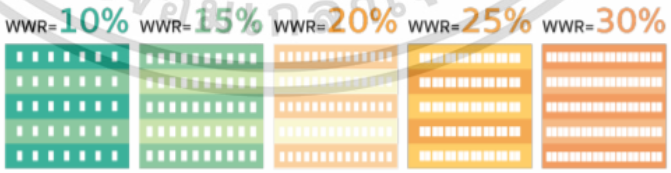


รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ของการศึกษาข้อกำหนดการอนุรักษ์พลังงานและบ้านพักอาศัยพื้นฐาน
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

2.3. แนวทางการออกแบบกรอบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

จากการศึกษา จึงได้สรุปว่างานวิจัยนี้ต้องการศึกษาแนวทางการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน โดยมุ่งเน้นศึกษาที่กรอบอาคารเพื่อให้มีค่าความต้านทานความร้อนมากขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานภายในบ้านพักอาศัยพื้นฐาน โดยได้ศึกษาแนวทางการออกแบบกรอบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน[1] พบว่าระบบกรอบอาคาร ประกอบด้วยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (Overall thermal transfer value, OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (Roof thermal transfer value, RTTV) มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ดังนี้

1. **สมบัติความร้อนของวัสดุ** ได้แก่ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ความหนาแน่นน (p) ความจุความร้อนจำเพาะ (Cp) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient, SHGC) เป็นต้น
2. **อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to wall ratio, WWR)**



รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างอัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด
ที่มา: คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานสืบค้นเมื่อ : 30 มีนาคม 2564

[1] คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน (หน้าที่ 16) เรื่อง แนวทางการออกแบบกรอบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading coefficient, SC) มีค่าตั้งแต่ 0-1 โดยที่ค่า SC=1 หมายถึงผนังที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด

รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด
ที่มา: คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานสืบค้นเมื่อ : 30 มีนาคม 2564

4. ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของสีทาผนัง อ้างอิงตามสีอ่อน-สีเข้ม โดยมีค่าตั้งแต่ 0.3-0.9 ดังนี้

รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของสีทาผนัง
ที่มา: คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานสืบค้นเมื่อ : 30 มีนาคม 2564

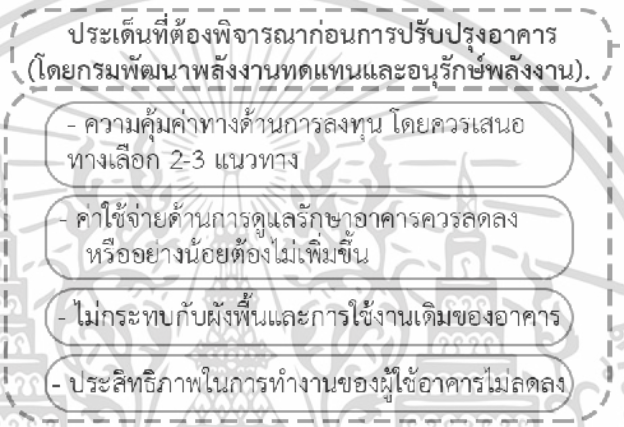
รูปที่ 2.10 แสดงแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แนวคิดการปรับปรุงกรอบอาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

จากการศึกษาแนวคิดในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้กล่าวถึงประเด็นที่ต้องพิจารณาก่อนการปรับปรุงอาคารได้แก่

- ความคุ้มค่าทางด้านการลงทุน โดยควรเสนอทางเลือก 2-3 แนวทาง
- ค่าใช้จ่ายด้านการดูแลรักษาอาคารควรลดลง หรืออย่างน้อยต้องไม่เพิ่มขึ้น
- ประสิทธิภาพในการทำงานของผู้ใช้อาคารไม่ลดลง
- ไม่กระทบกับผังพื้นและการใช้งานเดิมของอาคาร



รูปที่ 2.11 แสดงประเด็นที่ต้องพิจารณาก่อนการปรับปรุงอาคาร
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

โดยแนวคิดในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน ที่กล่าวถึงต่อไปนี้ มาจากการเลือกศึกษาเฉพาะแนวคิดที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงอาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐาน จึงจำแนกแนวทางการออกแบบกรอบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานเป็น 2 แนวทาง ได้แก่

1.) <u>การปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร</u>

เป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องและส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารเป็นอย่างมาก เพราะความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นสาเหตุของภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศ หากสามารถลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ จะส่งผลให้ลดการใช้พลังงานลงได้มากเพราะเป็นระบบที่มีสัดส่วนในการใช้พลังงานมากที่สุด ซึ่งความร้อนที่ผ่านทางกรอบอาคารเป็นส่วนหนึ่งของภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

1.1) การลดความร้อนผ่านผนังทึบ โดยวิธีการเพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อนให้กับผนัง (เพิ่มค่า R ของผนังให้สูงขึ้น) โดยการติดตั้งหรือบุฉนวนกันความร้อนที่ผนังกรอบอาคาร หรือใช้ผนังสองชั้นที่มีช่องว่างอากาศ (Air Gap) อยู่ระหว่างชั้นของผนัง ทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เข้ามาในอาคารลดลง นอกจากนี้การออกแบบสีของผนังภายนอกที่ส่งผลเช่นกัน หากผนังเป็นสีขาวหรือสีอ่อนจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ เนื่องจากสีขาวหรือสีอ่อนมีค่าการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ของผนังทึบที่เข้าสู่ตัวอาคารต่ำ

1.2) การลดความร้อนผ่านช่องเปิดของอาคาร โดยพิจารณาให้มีสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ให้น้อยที่สุด มีชายคา กันแดด หรือปลูกต้นไม้ เพื่อบังแดดให้กับช่องเปิด

1.2.1) การเลือกชนิดกระจกหน้าต่าง โดยเลือกใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient, SHGC) ต่ำ และค่าการส่งผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Light to solar gain, LSG) สูง

1.2.2) การติดตั้งฟิล์มลดความร้อนที่กระจก เป็นการควบคุมปริมาณแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกเข้าสู่ตัวอาคาร สามารถติดตั้งได้สะดวกแต่มีอายุใช้งานต่ำเมื่อเทียบกับราคา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์ม เช่น ฟิล์มย้อมสี (Dred Film) อายุการใช้งานไม่เกิน 3 ปี ฟิล์มเคลือบละอองโลหะ (Metal Reflective Film) อายุการใช้งานไม่เกิน 5 ปี ฟิล์มเคลือบอนุภาคโลหะ (Metal Sputtering Film) มีราคาสูง อายุการใช้งานไม่เกิน 10 ปี

1.3) การลดความร้อนผ่านหลังคา เป็นส่วนที่ได้รับความร้อนตลอดวันและมีผลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอาคารที่มีสัดส่วนพื้นที่หลังคาต่อพื้นผิวอาคารมาก แนวทางในการลดความร้อนที่ผ่านหลังคา เช่น การติดตั้งหรือบุฉนวนกันความร้อนที่ใต้หลังคาหรือระหว่างชั้นฝ้าเพดานกับหลังคา การเลือกหลังคาสีอ่อนเพื่อสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ และหลีกเลี่ยงการทำช่องแสงบนหลังคา นอกจากนี้การเลือกใช้ฉนวนควรพิจารณาเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากฉนวนจะมีมวลสารเป็นตัวสะสมความร้อน ซึ่งอาจส่งผลต่อภาระการทำความเย็นหากใช้งานเครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืน จึงควรเลือกใช้ฉนวนกับพื้นที่อาคารที่ใช้งานในเวลากลางวัน

1.4) การเลือกใช้ฉนวนป้องกันความร้อน โดยควรพิจารณาเลือกฉนวนที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูง ให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานและตำแหน่งติดตั้ง สำหรับข้อพิจารณาอื่น ๆ ในการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อน เช่น ลักษณะทางกายภาพ ความหนาแน่น น้ำหนัก การยืดหดตัวเมื่อได้รับความร้อน การกันน้ำและความชื้น การกันเสียง ปลอดกลิ่น

1.5) การควบคุมการรั่วซึมของอากาศ เนื่องจากการรั่วซึมอากาศที่ผ่านทางช่องเปิดสามารถก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานมาก การควบคุมการรั่วซึมของอากาศโดยการติดตั้งวัสดุป้องกันความชื้นร่วมกับฉนวนสำหรับผนังอาคาร โดยสามารถใช้ซีเมนต์หรือซิลิโคนอุดหรือปิดรอยในส่วนต่าง ๆ ของอาคารเพื่อลดการรั่วซึมของอากาศ เช่น บริเวณวงกบหน้าต่างและประตู และรอยต่อระหว่างผนัง

<u>2.) การปรับปรุงการออกแบบอาคาร</u>

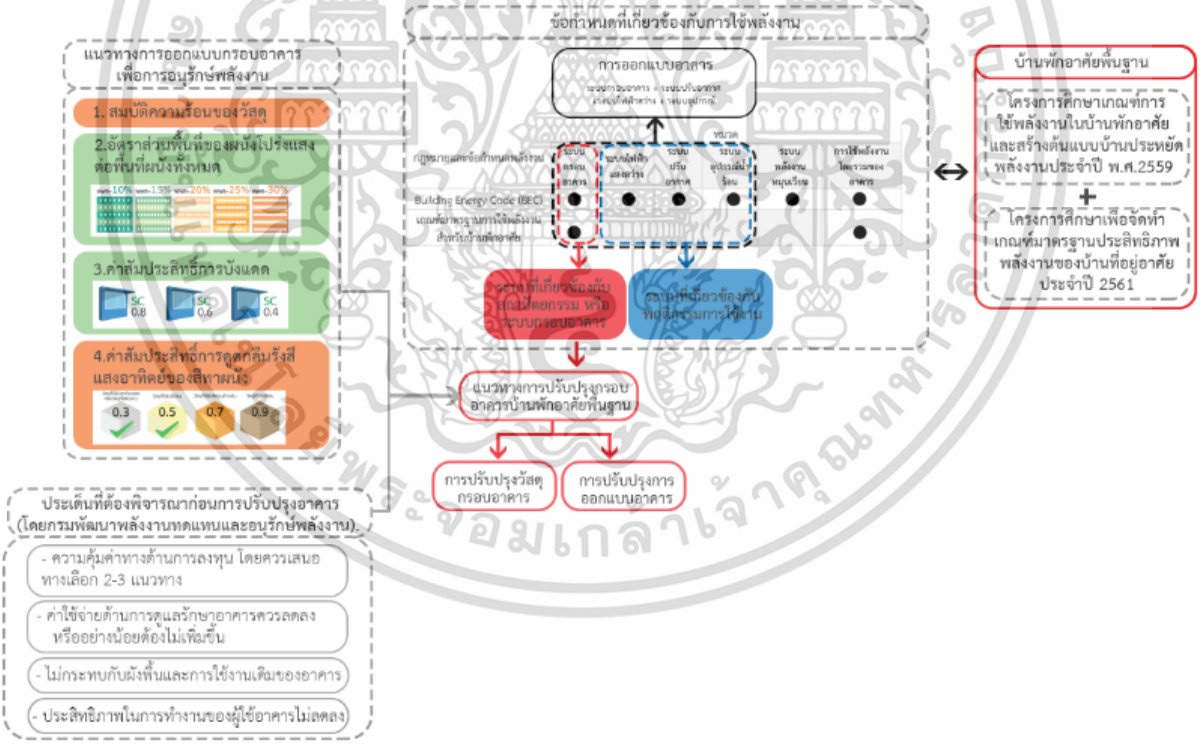
2.1) การลดพื้นที่กระจกหน้าต่างหรือช่องเปิด เนื่องจากอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) มีผลต่อค่าการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร

2.2) การเพิ่มระยะชายคา เพื่อเพิ่มพื้นที่ร่มเงาให้กับผนัง โดยหมายถึงทั้งผนังทึบและผนังโปร่งแสง เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ร่มเงาให้กับกรอบอาคารมีผลต่อค่าการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 แสดงการวิเคราะห์แนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

ที่มา: ผู้วิจัย (2564)



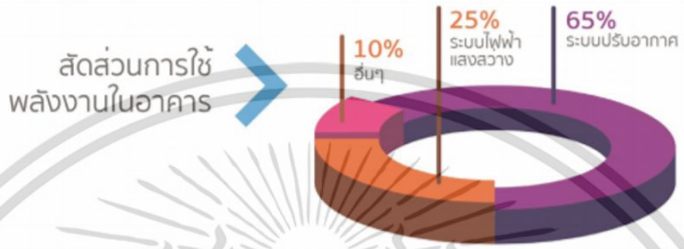
รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ของแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

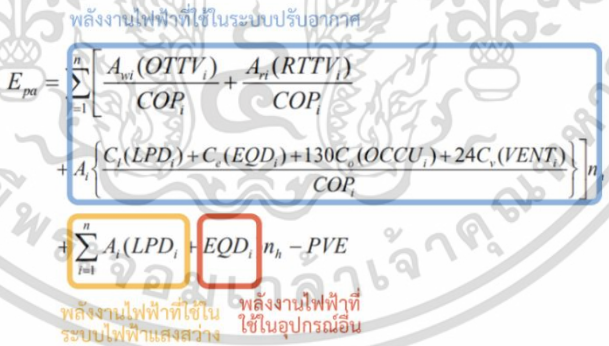
2.5. ตัวชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า

ในการศึกษาครั้งนี้ต้องการประเมินแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัย จึงต้องศึกษาถึงตัวแปรและตัวชี้วัดที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยจากการสำรวจของกระทรวงพลังงาน พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารที่อยู่อาศัยแบ่งเป็น 3 สัดส่วนได้แก่ การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ การใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และการใช้พลังงานในอุปกรณ์อื่น ๆ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมในอาคาร
ที่มา: ศูนย์ประสานงานออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน(2561) สืบค้นเมื่อ : 30 มีนาคม 2564

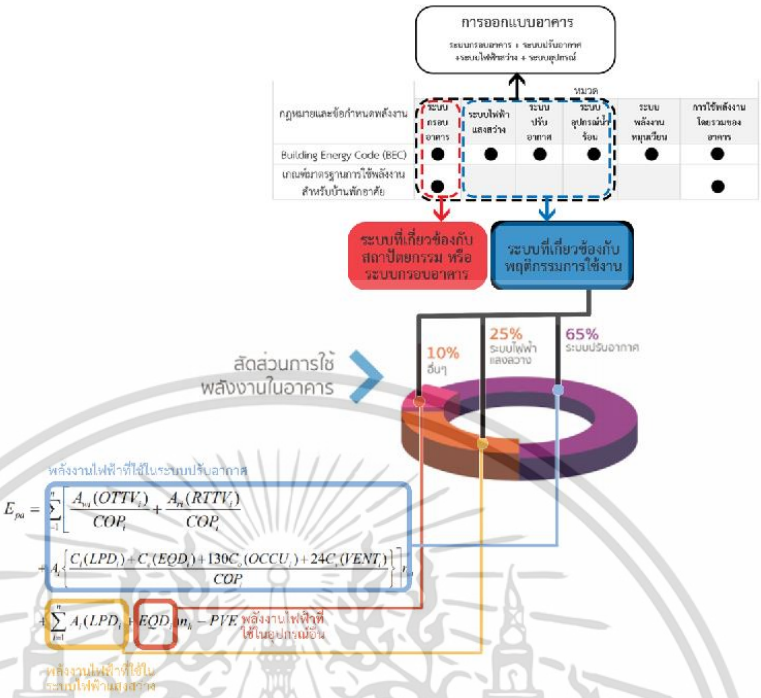
ต่อมาได้ทำการศึกษาการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารตามกฎหมายประเทศไทย จากประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ.2552 เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณพลังงานโดยรวมของอาคาร พบว่าการประเมินความต้องการใช้พลังงานของอาคารควบคุมต้องประเมินจาก 3 ส่วน ได้แก่ การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ การใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และการใช้พลังงานในอุปกรณ์อื่น ๆ เช่นกัน ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงการคำนวณพลังงานโดยรวมของอาคารตามกฎหมายของประเทศไทย
ที่มา: หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณพลังงานโดยรวมของอาคาร สืบค้นเมื่อ : 30 มีนาคม 2564

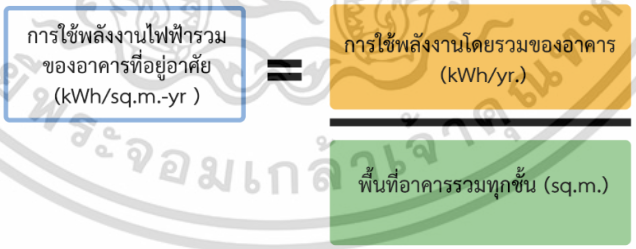
ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การชี้วัดพลังงานไฟฟ้าตามกฎหมาย คือ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร (Whole building energy) ซึ่งมีการคิดค่าการใช้พลังงานจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศ พลังงานที่ใช้ในระบบฟ้าแสงสว่าง และรวมถึงพลังงานที่ใช้ในอุปกรณ์ต่าง ๆ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (kWh/yr.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ของตัวชี้วัดพลังงานไฟฟ้ากับหมวดหมู่การใช้พลังงานรวมของอาคาร
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

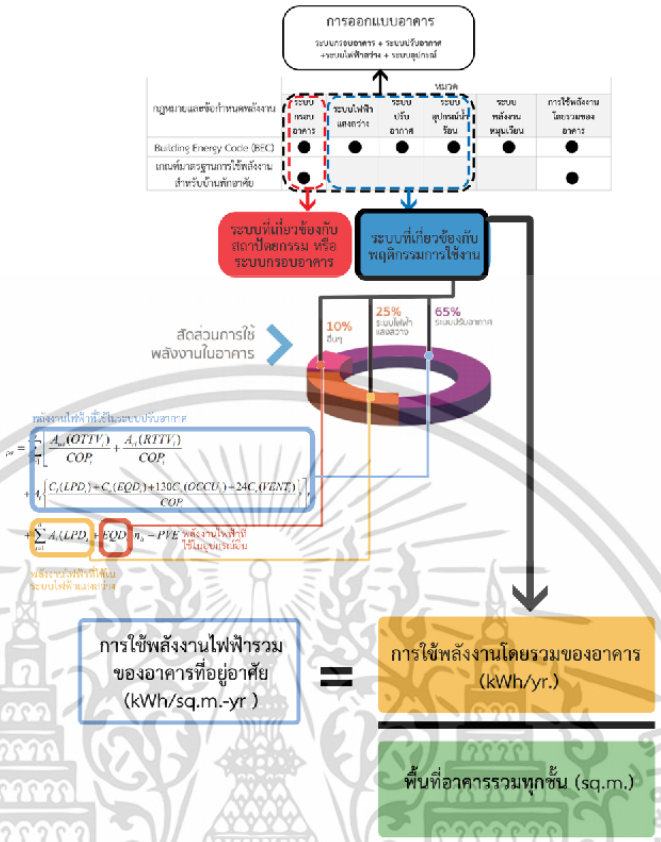
จากการศึกษางานวิจัยโครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัยของกระทรวงพลังงาน พบว่าการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัยมีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตร.ม.-ปี (kWh/sq.m.-yr) เพื่อให้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารแต่ละหลังอยู่ในฐานเดียวกันคือต่อ 1 หน่วยพื้นที่ และใช้เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการศึกษาต่อไป



รูปที่ 2.17 แสดงตัวชี้วัดของใช้พลังงานไฟฟ้า
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบต่าง ๆ ได้แก่ การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ การใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และการใช้พลังงานในอุปกรณ์อื่น ๆ พบว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลและแปรผันตรงกับการใช้พลังงานไฟฟ้าฟ้ารวมของอาคารที่อยู่อาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ของรายละเอียดตัวชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

2.6.การคำนวณค่าไฟฟ้ารวมของอาคารที่อยู่อาศัย

2.6.1. การคำนวณการใช้ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

การใช้ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง กล่าวถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ประเภทหลอดไฟต่าง ๆ ซึ่งการคำนวณค่าไฟฟ้าอ้างอิงจากการไฟฟ้านครหลวง ระบุว่าการคำนวณค่าไฟฟ้าต่อวัน ต้องทราบกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละเครื่อง จำนวนของเครื่องใช้ไฟฟ้า และเวลาการใช้งาน จึงจะสามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$U = \frac{P \; x \; n}{1000} \; x \; t$$

โดยที่

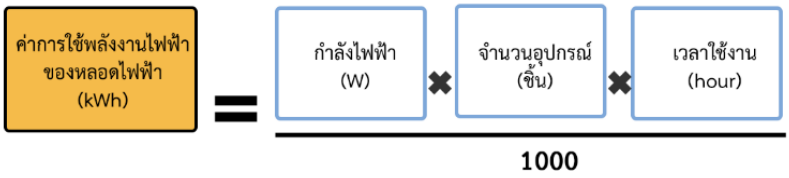
U = การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ หน่วยคือ กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) หรือ Unit

P = กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ หน่วยคือวัตต์ (W)

n = จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้า

t = เวลาที่อุปกรณ์ใช้งาน หน่วยคือชั่วโมง (h)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

2.6.2. การคำนวณการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ

การใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ กล่าวถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศ ซึ่งการคำนวณค่าไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง แต่ค่ากำลังไฟฟ้าในหน่วยวัตต์ (W) นั้นจะสัมพันธ์กับขนาดของเครื่องปรับอากาศในหน่วย บีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h.) ที่เป็นสัดส่วนกับค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน ในหน่วย บีทียู/ชั่วโมง/วัตต์ (Btu/h/W) สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

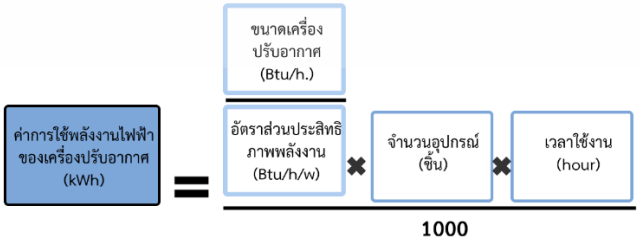
$$P = \frac{S}{EER}$$

โดยที่
P = กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ หน่วยคือวัตต์ (W)
S = ขนาดเครื่องปรับอากาศ หน่วยคือ บีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h.)
EER = อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน หน่วยคือ บีทียู/ชั่วโมง/วัตต์ (Btu/h/W)

ดังนั้นแล้วการคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศจึงเป็นดังสมการนี้

$$U = \frac{\frac{S}{EER} x\, n}{1000}\, x\, t$$

โดยที่
U = การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ หน่วยคือ กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) หรือ Unit
n = จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้า
t = เวลาที่อุปกรณ์ใช้งาน หน่วยคือชั่วโมง (h)



รูปที่ 2.20 แสดงการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3. การคำนวณการใช้ไฟฟ้าในระบบอื่น ๆ

การใช้ไฟฟ้าในระบบอื่น ๆ กล่าวถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ หลายประเภท ส่วนมากเป็นอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในอาคารที่อยู่อาศัยเช่น ตู้เย็น เครื่องซักผ้า เตารีด โทรทัศน์ เป็นต้น ซึ่งการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามีลักษณะเดียวกับการหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ แต่เนื่องจากอุปกรณ์ในส่วนอื่นนี้ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลายชนิด ในการหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจึงต้องคิดผลรวมการใช้พลังงานฟ้าของอุปกรณ์แต่ละชนิดที่มีอยู่ในอาคาร สามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$U_{รวม} = U_1 + U_2 + \cdots + U_n$$

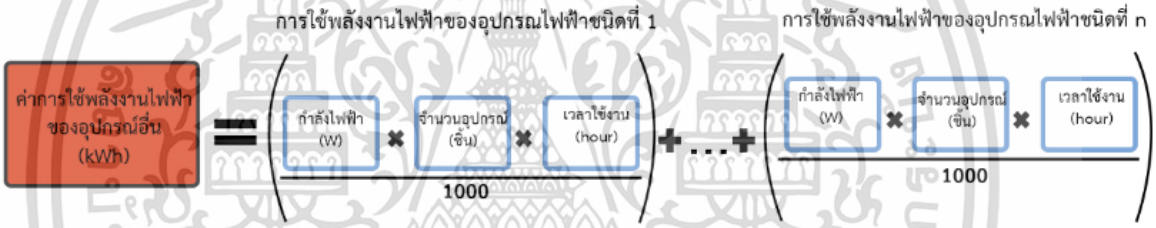
โดยที่

$U_{รวม}$ = การใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนอื่น ๆ หน่วยคือ กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) หรือ Unit

U_1 = การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ชนิดที่ 1 หน่วยคือ กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh)

U_2 = การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ชนิดที่ 2 หน่วยคือ กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh)

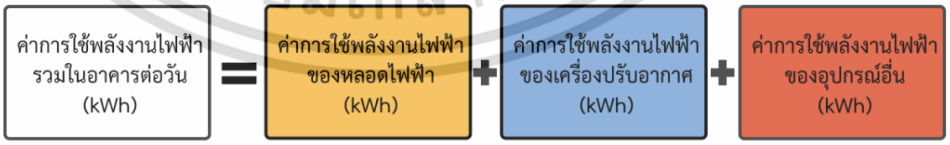
U_n = การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ชนิดที่ n หน่วยคือ กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh)



รูปที่ 2.21 แสดงการคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์อื่น ๆ
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

2.6.4. สรุปการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม

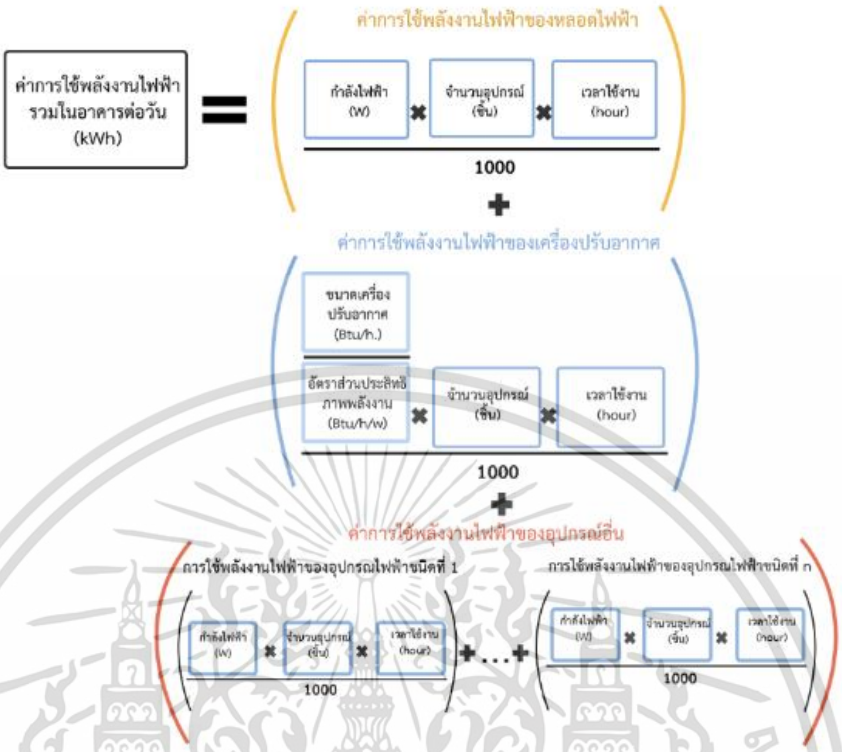
การใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอาคารพักอาศัยเกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 3 ส่วนที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นการใช้พลังงานไฟฟ้าใน 1 วันของอาคารพักอาศัยสรุปได้ดังรูป



รูปที่ 2.22 แสดงการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารต่อ 1 วัน
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

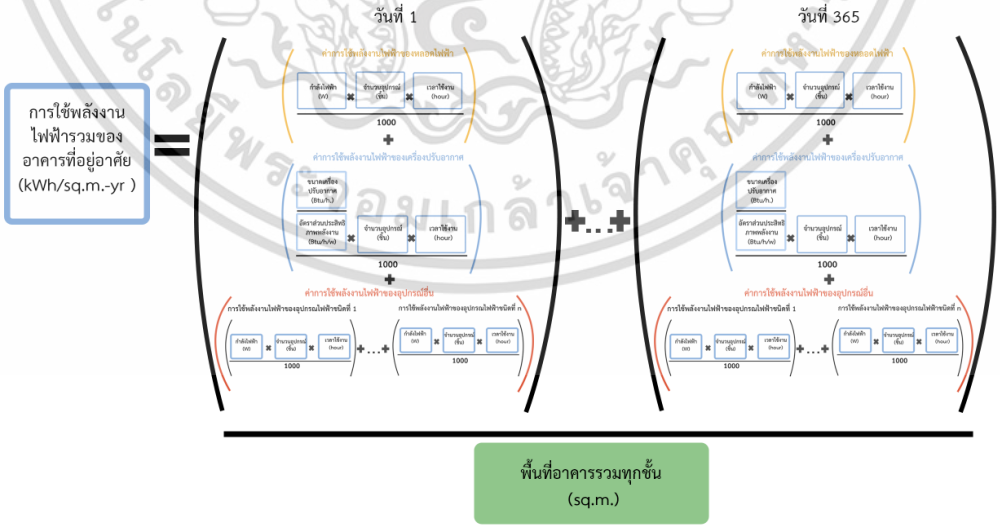
และจากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้ง 3 ส่วน เกิดขึ้นจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องแต่ละสัดส่วน ดังรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารต่อ 1 วัน
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

จากนั้นการหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของอาคาร 1 หลัง ใช้ผลรวมของระยะเวลา 1 ปี หรือ 365 วัน สรุปได้ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในอาคารต่อ 1 ปี
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.การคำนวณอัตราค่าไฟฟ้ารายเดือน

อาคารกรณีศึกษาหรือบ้านพักอาศัยพื้นฐาน เป็นอาคารประเภทที่อยู่อาศัย จึงมีการคำนวณอัตราค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย สำหรับการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย รวมทั้งวัด สำนักสงฆ์ และสถานประกอบศาสนกิจของทุกศาสนา โดยมีอัตราค่าไฟฟ้าดังนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยที่มีการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

การใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน	**ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/เดือน)**	**ค่าบริการ (บาท/เดือน)**
15 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0-15)	1.8632	8.19
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16-25)	2.5026	
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26-35)	2.7549	
65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36-100)	3.181	
50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101-150)	3.2315	
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151-400)	3.7362	
เกิน 400 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	3.9361	

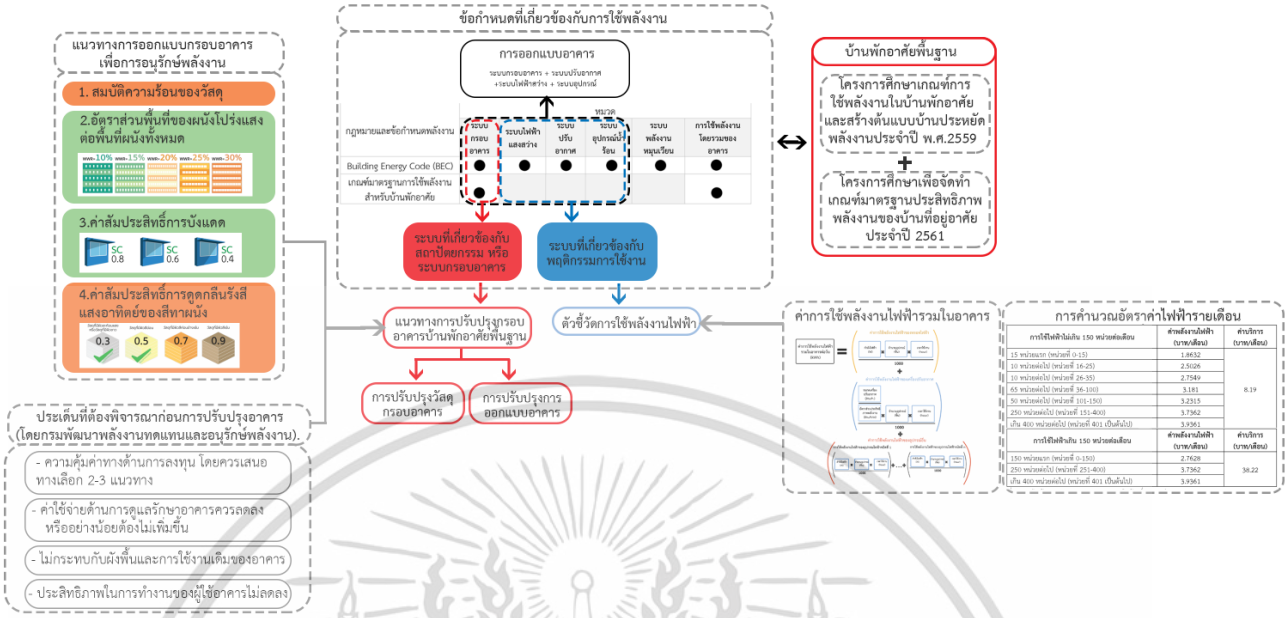
ที่มา: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) (2558) สืบค้นเมื่อ : 30 มีนาคม 2564

ตารางที่ 2.4 แสดงอัตราค่าไฟฟ้า ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย ที่มีการใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน

การใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน	**ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/เดือน)**	**ค่าบริการ (บาท/เดือน)**
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0-150)	2.7628	38.22
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 251-400)	3.7362	
เกิน 400 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	3.9361	

ที่มา: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) (2558) สืบค้นเมื่อ : 30 มีนาคม 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 แสดงความสัมพันธ์ตัวชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

2.8. การพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน

การตรวจวัดและพิสูจน์ผลการประหยัดพลังงาน (Measurement and Verification; M&V) คือ การตรวจสอบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการอยู่ว่ายังคงทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน โดยการตรวจวัดและพิสูจน์ทราบผลในไทยได้อ้างอิงระเบียบวิธีการของ IPMVP Volume I (International Performance and Verification Organization) โดยเป็นการคำนวณหาปริมาณพลังงานหรือพลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ สามารถหาได้จากการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนและหลังการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งสรุปเป็นความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{พลังงานที่ประหยัดได้} = \text{พลังงานที่ใช้}_{\text{(ก่อนการปรับปรุง)}} - \text{พลังงานที่ใช้}_{\text{(หลังการปรับปรุง)}}$$

รูปที่ 2.26 แสดงความสัมพันธ์ของค่าไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยพื้นฐานและค่าฟ้าของอาคารหลังปรับปรุง
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9. การประเมินคุ้มค่าทางการลงทุน

การศึกษาครั้งนี้มีการประเมินความคุ้มค่าทางการลงทุน โดยการคิดราคาลงทุนการก่อสร้างอาคารใหม่ทั้งหมด เนื่องจากการศึกษาเรื่องแนวทางการออกแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐานนั้นต้องการเปรียบเทียบผลการอนุรักษ์พลังงานและราคาลงทุนของแต่ละแนวทางการปรับปรุงอย่างเห็นผลชัดเจน และเนื่องจากการลงทุนใช้เงินทุนจำนวนมาก ผลของการตัดสินใจจะส่งผลต่อการดำเนินงานเป็นเวลาหลายปี ผลการวิเคราะห์เป็นการพิจารณาว่า ผลประโยชน์มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าใช้จ่าย และแนวทางเสนอแนะนั้นคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่โดยมีเครื่องมือในการประเมินความคุ้มค่าทางการลงทุนดังนี้

1.วิธีระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period: PB)

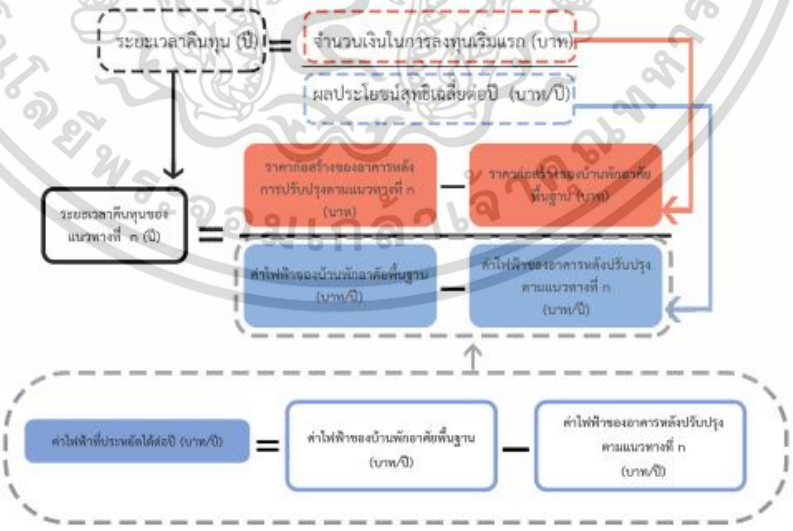
2.วิธีค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present Value: NPV)

3.วิธีอัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้การคำนวณแบบวิธีระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period: PB) สำหรับเลือกแนวทางการปรับปรุงว่าเหมาะสมที่จะลงทุนเพียงใด เนื่องจากเป็นวิธีการที่ทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน เหมาะสมกับระยะเวลาในการศึกษา โดยมีสมการดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{จำนวนเงินในการลงทุนเริ่มแรก (บาท)}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยต่อปี (บาท/ปี)}}$$

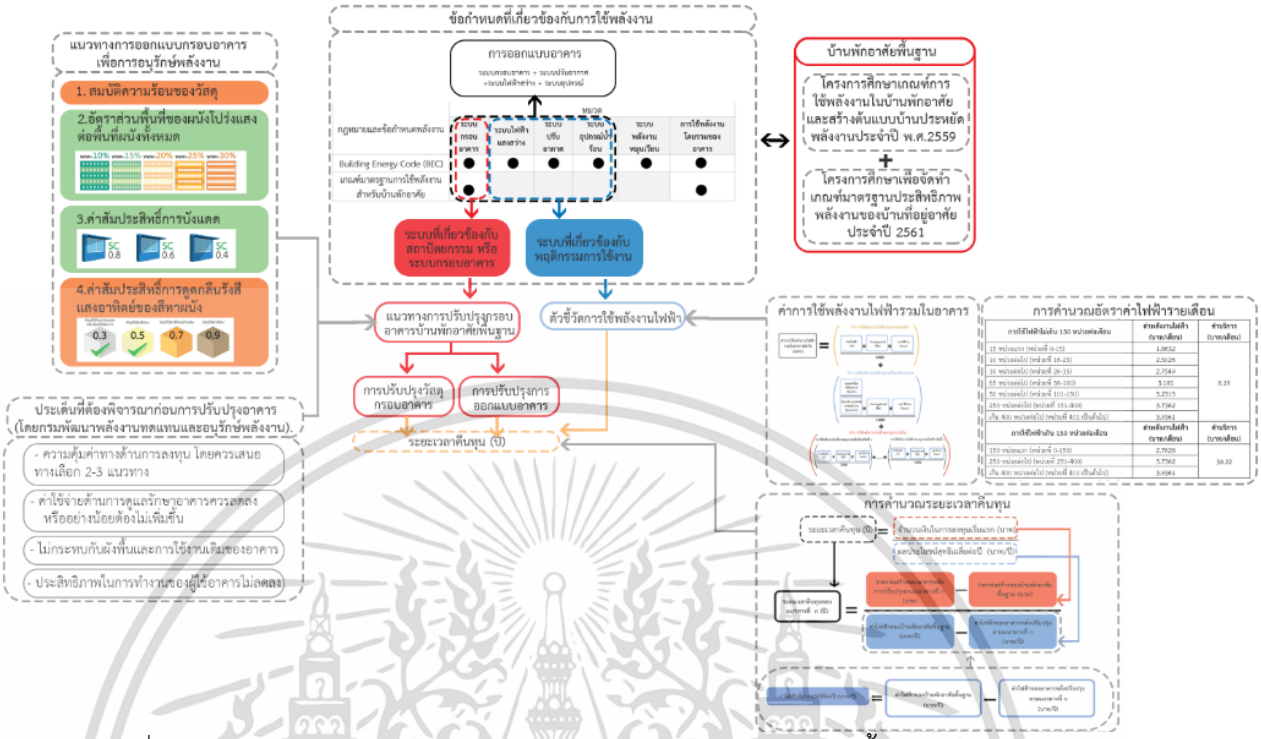
จากสมการดังกล่าว เมื่อพิจารณาว่าการศึกษาครั้งนี้เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงอาคาร จึงสรุปวิธีการคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้ดังรูปที่ 2.27



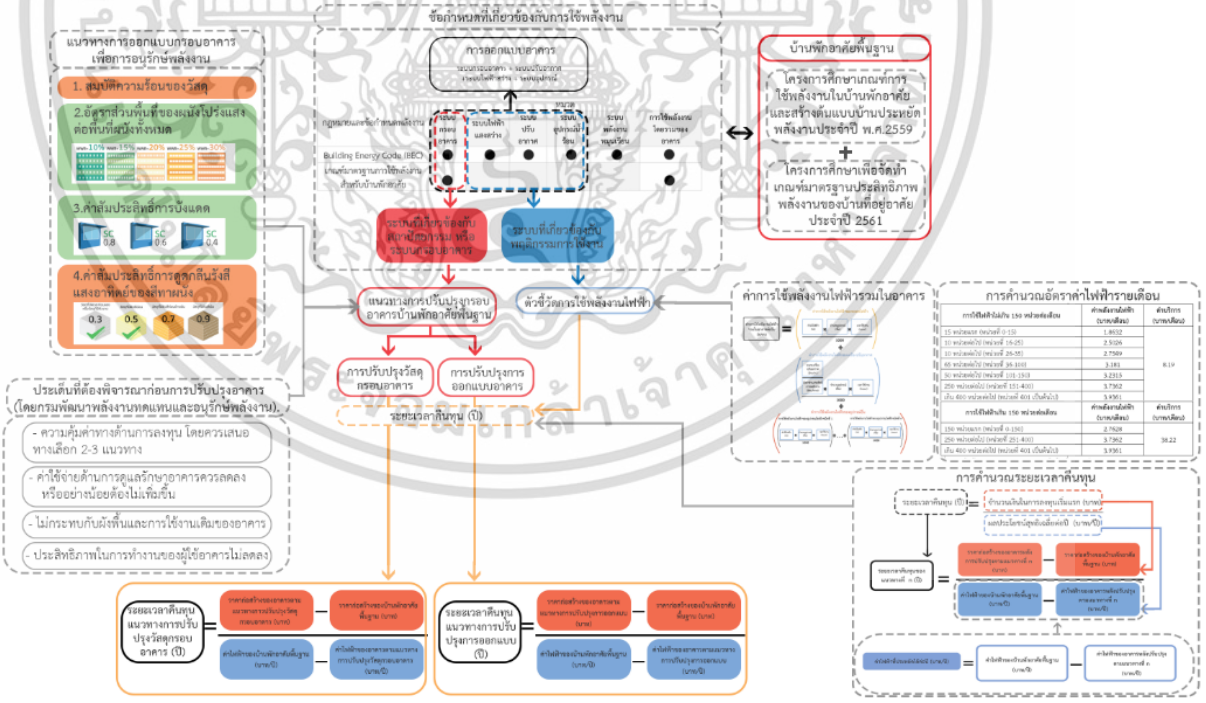
รูปที่ 2.27 แสดงการคำนวณความคุ้มค่าทางการลงทุน

ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 แสดงความสัมพันธ์ของแนวทางการปรับปรุงบ้านพักอาศัยพื้นฐานและระยะเวลาคืนทุน
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

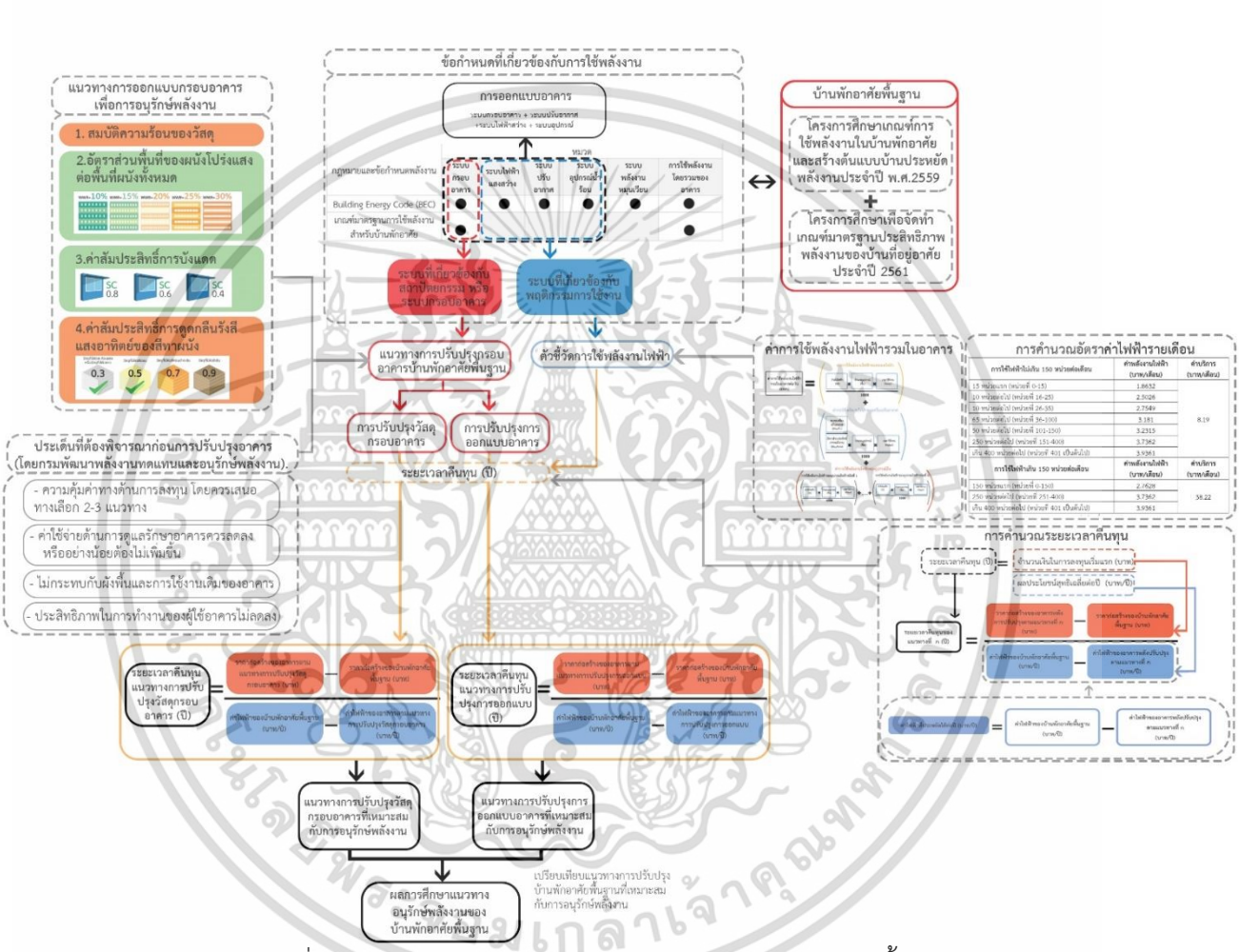


รูปที่ 2.29 แสดงที่มาแนวทางอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10. กรอบแนวคิดของงานวิจัย

คือ ผลการพิจารณาเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารและแนวทางการปรับปรุงการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน โดยนำผลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการจำลองสภาพการใช้พลังงานผ่านโปรแกรม DOE 2.1E



รูปที่ 2.30 แสดงแนวทางอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน
ที่มา: ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย วัตถุดิบ และการสร้างเครื่องมือ

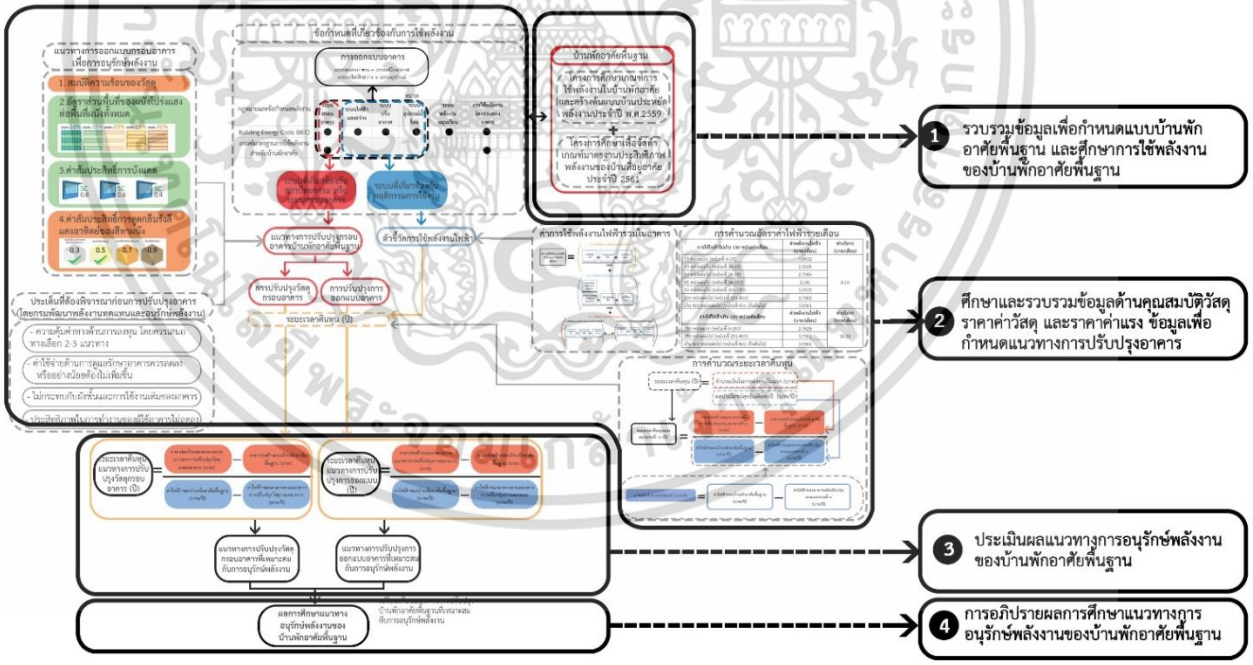
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.) รวบรวมข้อมูลและกำหนดแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน จากการศึกษางานวิจัยโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 และโครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560 เพื่อกำหนดแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน และศึกษาการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

2.) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลด้านคุณสมบัติวัสดุ ราคาค่าวัสดุ และราคาค่าแรง เพื่อกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร

3.) ประเมินผลแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

4.) การอภิปรายผลการศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน



รูปที่ 3.1 แสดงวิธีการดำเนินการวิจัย

ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1. โปรแกรม DOE2.1E ver. 121

โปรแกรม DOE2.1E เป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดย Lawrence Berkeley Laboratory University of California เพื่อใช้สำหรับการจำลองและตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารได้อย่างละเอียด สามารถคำนวณการใช้พลังงานในอาคารเป็นรายชั่วโมงตลอดปี โดยอาศัยฐานข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อหาข้อบกพร่องและแก้ไขปัญหาด้านพลังงานของอาคารได้อย่างตรงเป้าหมาย องค์ประกอบของ DOE 2.1E มีทั้งสิ้น 4 ส่วน ได้แก่ LOADS , SYSTEM , PLANT และ ECONOMIC ซึ่งจะทำหน้าที่ตั้งแต่การคำนวณภาระทำความเย็น (cooling load) จนถึงคำนวณการใช้พลังงานในส่วนประกอบต่าง ๆ ในอาคารทั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่างและไฟฟ้าอุปกรณ์

โปรแกรม DOE 2.1E สามารถคำนวณภาระทำความเย็นจากปัจจัยภายนอกอาคาร ซึ่งได้แก่ การนำความร้อนจากผนังภายนอก การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านช่องหน้าตา และการรั่วซึมของอากาศภายนอกนำมารวมกับภาระทำความเย็นภายในอาคาร ซึ่งได้แก่ ความร้อนจากผู้ใช้อาคาร ความร้อนจากหลอดไฟ และความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

การป้อนข้อมูลในโปรแกรม DOE2.1E จะเป็นการป้อนข้อมูลไปในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการแปลรูปแบบของข้อมูลที่ใส่เข้าไป เรียกว่า BLD (Building Description Language) เพื่อให้โปรแกรมสามารถอ่านข้อมูลได้โดยการผ่านส่วนที่เรียกว่า BLD Processor โดยข้อมูลแต่ละชุด จะประกอบไปด้วย

1.ส่วนเริ่มข้อมูล (Command or Instruction)
2.ส่วนข้อมูล (Data)
3.ส่วนการหยุดข้อมูล (Stop)

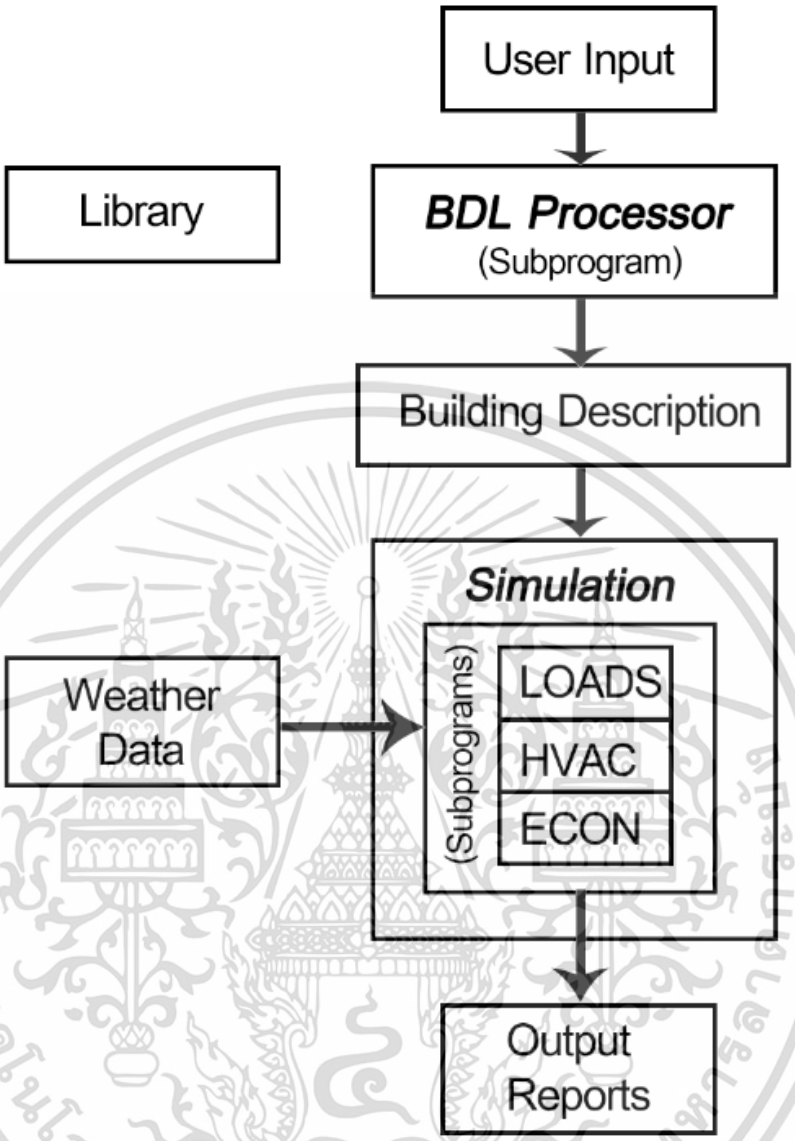
3.2.1.1. BLD Processor

กระบวนการเป็นการอ่านข้อมูลที่ใส่เข้าไปในโปรแกรมและทำหน้าที่แปลข้อมูลนั้น ๆ เป็นรูปแบบภาษาที่โปรแกรม DOE2.1E สามารถเข้าใจได้ ทั้งยังสามารถคำนวณปัจจัยต่าง ๆ ที่มีการตอบสนองเมื่อมีการไหลเวียนของความร้อนในผนังขณะหนึ่ง เพื่อชี้ให้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความร้อนภายในอาคาร

3.2.1.2. Loads

เป็นการจำลองการคำนวณพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารและภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเป็นรายชั่วโมง โดยการคำนวณนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาพอากาศและแสงอาทิตย์ ตารางเวลาการใช้งาน ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์ไฟฟ้า การรั่วซึมของอากาศ และความร้อนที่ส่งผ่านทางผนัง หลังคา และหน้าต่าง รวมไปถึงการบังแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกราม DOE2.1E
ที่มา : The U.S. Department of Energy

3.2.2. ฐานข้อมูลสภาพอากาศเพื่อการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม DOE 2.1E

ในการจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม DOE 2.1E นี้ได้ใช้ฐานข้อมูลสภาพอากาศของจังหวัดกาญจนบุรีจากกรมอุตุนิยมวิทยา โดยประกอบไปด้วยข้อมูลอากาศรายชั่วโมงของจังหวัดกาญจนบุรีโดยเฉลี่ยตั้งแต่ปีพ.ศ. 2553-2558 ประกอบด้วย อุณหภูมิกระเปราะแห้ง อุณหภูมิหยดน้ำค้าง ความเร็วลม ทิศทางลม ความกดอากาศ ค่าการแผ่รังสีดวงอาทิตย์

จังหวัดกาญจนบุรี มีตำแหน่งที่ละติจูด 14° 37' 60" N และ ลองจิจูด 99° 6' 0" E เขตเวลา : UTC+7 ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของประเทศไทย พื้นที่จังหวัดอยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครเป็นระยะทาง 129 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามเส้นทางสายนครปฐม-บ้านโป่ง ซึ่งมีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดอื่นอีก 5 จังหวัด ได้แก่ ทางทิศเหนือติดกับจังหวัดตากและอุทัยธานี ทางทิศใต้ติดกับจังหวัดราชบุรี ทางทิศตะวันออกติดกับจังหวัดสุพรรณบุรีและนครปฐม และทางทิศตะวันตกติดกับสาธารณรัฐแห่งสหภาพพม่า

โดยจังหวัดกาญจนบุรีเป็นจังหวัดที่มีการเปลี่ยนแปลงและความแตกต่างของสภาพอากาศค่อนข้างสูง โดยมีอุณหภูมิตลอดปีอยู่ที่อุณหภูมิระหว่าง 25 -40 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำสุดโดยเฉลี่ย 22.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดโดยเฉลี่ย 36.0 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.1 แสดงมีข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน จังหวัดกาญจนบุรี

เดือน	**อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)**
มกราคม	24.21
กุมภาพันธ์	29.06
มีนาคม	29.76
เมษายน	30.86
พฤษภาคม	28.89
มิถุนายน	28.49
กรกฎาคม	28.46
สิงหาคม	29.15
กันยายน	28.75
ตุลาคม	28.23
พฤศจิกายน	26.85
ธันวาคม	26.53
เฉลี่ย	**28.27**

3.2.3. บ้านพักอาศัยพื้นฐาน

รวบรวมข้อมูลบ้านพักอาศัยพื้นฐานเพื่อกำหนดแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน จากการศึกษางานวิจัยโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 และโครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 โดยกระทรวงพลังงานและคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งรายละเอียดดังต่อไปนี้เกิดจากค่าเฉลี่ยของบ้านพักอาศัยโดยทั่วไปในทุกภูมิภาคประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

บ้านเดี่ยว 2 ชั้น	**รายละเอียด**	
จำนวนสมาชิก	3-4 คน	
พื้นที่ใช้สอยรวม	154 ตารางเมตร	
จำนวนห้องนอน	2 ห้องนอน	
ค่าองศาหลังคา	30 องศา	
ความสูงผนังแต่ละชั้น	2.89 เมตร	
พื้นที่ปรับอากาศรวม	35.42 ตารางเมตร	ประมาณ 23 % ของพื้นที่ใช้สอย
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	118.58 ตารางเมตร	ประมาณ 77 % ของพื้นที่ใช้สอย
ความยาวชายคา	1.13 เมตร	
รูปแบบของหลังคา	จั่ว	
ช่องเปิด	49.6 ตารางเมตร	ประมาณ 23 % ของพื้นที่ใช้สอย
ความสูงวงกบบนจากระดับพื้นเฉลี่ย	1.8 เมตร	
ความสูงวงกบล่างจากระดับพื้นเฉลี่ย	0.8 เมตร	

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย (2561)

ตารางที่ 3.3. แสดงรายละเอียดวัสดุกรอบอาคารของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

ผนังทึบ	**ความหนา (ม.)**	**Thermal Conductivity (W/(m.°C))**	**Density (kg/m3)**	**Specific Heat (kJ/kg- C))**
ปูนฉาบ	0.015	0.72	1860	0.84
อิฐมอญ	0.070	0.473	1600	0.79
ปูนฉาบ	0.015	0.72	1860	0.84
ประตูไม้	0.025	0.22	800	1.30
หลังคา	**ความหนา (ม.)**	**Thermal Conductivity (W/(m.°C))**	**Density (kg/m3)**	**Specific Heat (kJ/kg- C))**
กระเบื้องลอนคู่สีอ่อน	0.006	0.394	2000	1.00
ยิปซั่มบอร์ด	0.009	0.281	800	1.08
ผนังโปร่งแสง	**ความหนา (ม.)**	**Glass-Conductance ($W/(m^2.°C)$)**	**SHGC**	**VT**
กระจกโฟลตใส ความหนา 5 มิลลิเมตร	0.005	5.83	0.83	91

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย (2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าและระยะเวลาการใช้งาน

ชั้น	ห้อง	พื้นที่ (sq.m.)	ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง		ระบบไฟฟ้าอุปกรณ์		ระบบปรับอากาศ	
			W/sq.m.	เวลา (hour)	W/sq.m.	เวลา (hour)	BTU	เวลา (hour)
1	LIV	44.52	0.26	2.35	1.40	1.48	12,300 BTU/ 1 BEDROOM	-
	DIN	13.47		2.35		1.48		-
	KIT	13.47		2.35		1.48		-
	WC	5.46		2.35		-		-
2	LIV	25.07		2.35		1.48		-
	WC	4.42		2.35		-		-
	WC	5.00		2.35		-		-
	BED1	17.30		4.42		0.36		11.00
	BED2	20.51		4.42		0.36		11.00

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย (2561)

1). ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ตารางที่ 3.5 แสดงรายละเอียดระยะเวลาการใช้งานของไฟฟ้าแสงสว่าง ในวันจันทร์-วันศุกร์

พื้นที่	ชั่วโมงที่																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ปรับอากาศ (AC)	30 นาที						60 นาที		-									192 นาที					60 นาที	
ไม่ปรับอากาศ (NAC)	5 นาที						-		-									192 นาที					18 นาที	

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย (2561)

ตารางที่ 3.6 แสดงรายละเอียดระยะเวลาการใช้งานของไฟฟ้าแสงสว่าง ในวันเสาร์-วันอาทิตย์

พื้นที่	ชั่วโมงที่																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ปรับอากาศ (AC)	42 นาที								-		-							192 นาที					18 นาที	
ไม่ปรับอากาศ (NAC)	42 นาที								-		-							192 นาที					18 นาที	

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย (2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2). ระบบไฟฟ้าอุปกรณ์

ตารางที่ 3.7 แสดงรายละเอียดระยะเวลาการใช้งานของไฟฟ้าอุปกรณ์ ในวันจันทร์-วันศุกร์

พื้นที่	ชั่วโมงที่																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ปรับอากาศ (AC)	-						24 นาที		-									12 นาที					-	
ไม่ปรับอากาศ (NAC)	-						24 นาที		24 นาที									60 นาที					-	

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย (2561)

ตารางที่ 3.8 แสดงรายละเอียดระยะเวลาการใช้งานของไฟฟ้าอุปกรณ์ ในวันเสาร์-วันอาทิตย์

พื้นที่	ชั่วโมงที่																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ปรับอากาศ (AC)	-								24 นาที		-							12 นาที					-	
ไม่ปรับอากาศ (NAC)	-								24 นาที		18 นาที							60 นาที					-	

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย (2561)

3). ระบบปรับอากาศ

ประกอบด้วยเครื่องปรับอากาศ ขนาด 12,300 BTU จำนวน 2 เครื่อง

ตารางที่ 3.9 แสดงรายละเอียดระยะเวลาการใช้งานของระบบปรับอากาศ

พื้นที่	ชั่วโมงที่																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ปรับอากาศ (AC)	25.5 ℃						37.2 ℃ (อุณหภูมิปกติ)													25.5 ℃				

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย (2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างเครื่องมือ

3.3.1 การสร้างตารางสำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลโดยโปรแกรม DOE2.1

1).ค่าพลังงานความร้อนที่เข้ามาสู่อาคาร

การสร้างเครื่องมือเพื่อบันทึกข้อมูลค่าพลังงานความร้อนที่เข้ามาสู่อาคารดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.10 แสดงตารางศึกษาความร้อนที่ส่งผ่านส่วนประกอบอาคาร

ส่วนประกอบอาคาร	พลังงานความร้อน (KBTU/H)	พลังงานความร้อน(KW)
ความร้อนจากผนัง		
ความร้อนจากหลังคา		
ความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านกระจก		
ความร้อนจากการแผ่รังสีผ่านกระจก		
ความร้อนจากประตู		
ความร้อนจากพื้นผิวด้านใน		
ความร้อนจากพื้นผิวด้านล่าง		
ความร้อนจาร่างกายผู้ใช้อาคาร		
ความร้อนจากระบบแสงสว่าง		
ความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า		
ความร้อนจากการรั่วซึมอากาศ		
รวม		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2). อุณหภูมิ

การศึกษาอุณหภูมิรายเดือนตลอดทั้งปี เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยสภาพอากาศที่ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิภายในอาคาร

ตารางที่ 3.11 แสดงตารางเก็บข้อมูลอุณหภูมิรายเดือน

เดือน	**อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด** (°C)	**อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด** (°C)	**อุณหภูมิเฉลี่ย** (°C)
มกราคม			
กุมภาพันธ์			
มีนาคม			
เมษายน			
พฤษภาคม			
มิถุนายน			
กรกฎาคม			
สิงหาคม			
กันยายน			
ตุลาคม			
พฤศจิกายน			
ธันวาคม			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3). พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร

การศึกษาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารรายเดือนตลอดทั้งปี ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยสภาพอากาศที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารและค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่าย

ตารางที่ 3.12 แสดงตารางเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร

เดือน	**พลังงานไฟฟ้าที่ใช้** TOTAL ENERGY USER (kWh)	**พลังงานไฟฟ้าที่ใช้** TOTAL ENERGY USER (kWh/sq.m.-yr)	**ค่าไฟฟ้า(บาท)**
มกราคม			
กุมภาพันธ์			
มีนาคม			
เมษายน			
พฤษภาคม			
มิถุนายน			
กรกฎาคม			
สิงหาคม			
กันยายน			
ตุลาคม			
พฤศจิกายน			
ธันวาคม			
รวม			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4). สัดส่วนการใช้พลังงานภายในอาคาร

การศึกษาสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร เพื่อจำแนกสัดส่วนของการใช้พลังงานในระบบต่าง ๆ และเสนอแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.13 แสดงตารางเก็บข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานภายในอาคาร

เดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh)		
	อุปกรณ์ไฟฟ้า/ไฟฟ้าสว่าง	เครื่องปรับอากาศ	การใช้พลังงานรวม
มกราคม			
กุมภาพันธ์			
มีนาคม			
เมษายน			
พฤษภาคม			
มิถุนายน			
กรกฎาคม			
สิงหาคม			
กันยายน			
ตุลาคม			
พฤศจิกายน			
ธันวาคม			
รวม			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การสร้างตารางสำหรับกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร

การสร้างตารางสำหรับกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร เพื่อคัดเลือกและประเมินแนวทางการปรับปรุงอาคารที่เหมาะสมกับบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

ตารางที่ 3.14 แสดงตารางสำหรับกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร

กรอบอาคาร	วิธีการปรับปรุง	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม

ตารางที่ 3.15 แสดงตารางสำหรับเปรียบเทียบกำหนดชนิดวัสดุปรับปรุง

ชนิดวัสดุ	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความหนา (ม.)	K-Value (W/(m.°C))	R-Value (m2°C/W)	ราคาวัสดุ/ตร.ม. (บาท)

3.3.3 การสร้างตารางสำหรับเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงาน

ตารางที่ 3.16 แสดงตารางเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยพื้นฐานก่อนและหลังปรับปรุง

แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานรายเดือน (kWh)												
กรอบอาคาร	ชื่อ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	รวม
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน														
แนวทางปรับปรุง														

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การสร้างตารางสำหรับเปรียบเทียบความเหมาะสมด้านการลงทุน

ตารางที่ 3.17 แสดงตารางสำหรับเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการลงทุน

แนวทางปรับปรุง		**การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)**		**พลังงานที่ประหยัดได้ (%)**	**ค่าไฟฟ้า (บาท)**	**ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)**	**ราคาลงทุนปรับปรุง (บาท)**	**ระยะเวลาคืนทุน (ปี)**
วัสดุกรอบอาคาร	**ชื่อ**	**การใช้พลังงานรวม**	**พลังงานที่ประหยัดได้**					
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน								
แนวทางปรับปรุงที่ 1								
แนวทางปรับปรุงที่ 2								

ตารางที่ 3.18 แสดงตารางสรุปผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการลงทุน

แนวทางที่เหมาะสม	**ชื่อ**	**พลังงานที่ประหยัดได้ (%)**	**ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)**	**ราคาลงทุนปรับปรุง (บาท)**	**ระยะคืนทุน (ปี)**
คืนทุนเร็วที่สุด					
ลงทุนต่ำที่สุด					
ลดอุณหูมิดีที่สุด					
ลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

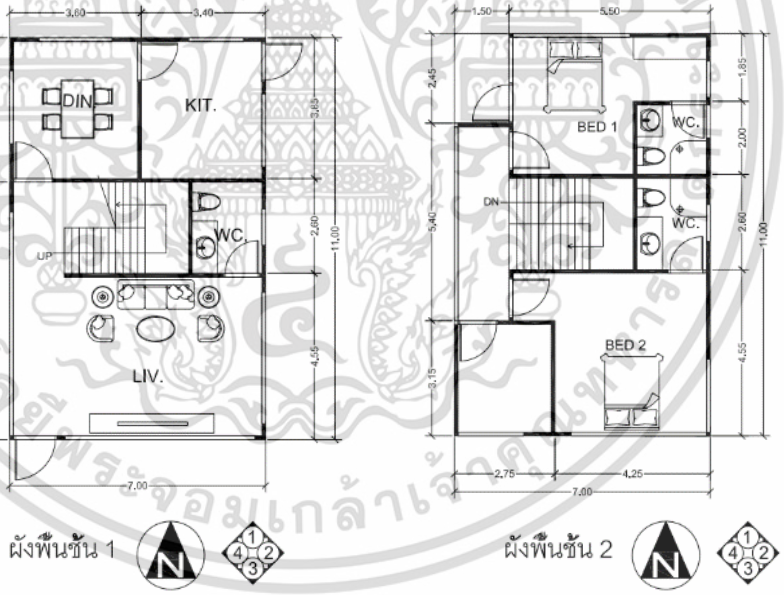
บทที่ 4

การดำเนินการและผลการวิจัย

4.1 การรวบรวมข้อมูลเพื่อกำหนดแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน และศึกษาการใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

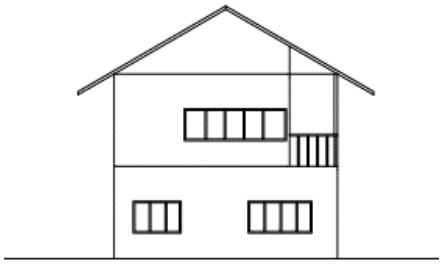
4.1.1 การกำหนดแบบบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

กำหนดแบบบ้านมาตรฐาน (บ้านพักอาศัยพื้นฐาน) หรืออาคารกรณีศึกษา จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงาน พ.ศ.2559-2560 และโครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานบ้านที่อยู่อาศัย พ.ศ.2560-2561 จัดทำโดยโดยกระทรวงพลังงานและคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

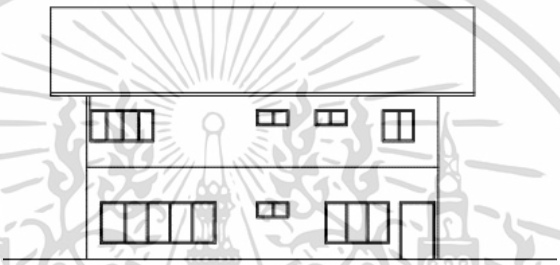


รูปที่ 4.1 แสดงผังพื้นโดยคร่าวของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน
ที่มา : ผู้วิจัย(2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

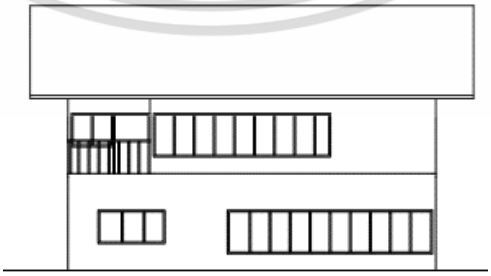


รูปที่ 4.2 แสดงรูปด้านทิศเหนือของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน
ที่มา : ผู้วิจัย(2564)



รูปที่ 4.3 แสดงรูปด้านทิศตะวันออกของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน
ที่มา : ผู้วิจัย(2564)

รูปที่ 4.4 แสดงรูปด้านทิศใต้ของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน
ที่มา : ผู้วิจัย(2564)



รูปที่ 4.5 แสดงรูปด้านทิศตะวันตกของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน
ที่มา : ผู้วิจัย(2564)

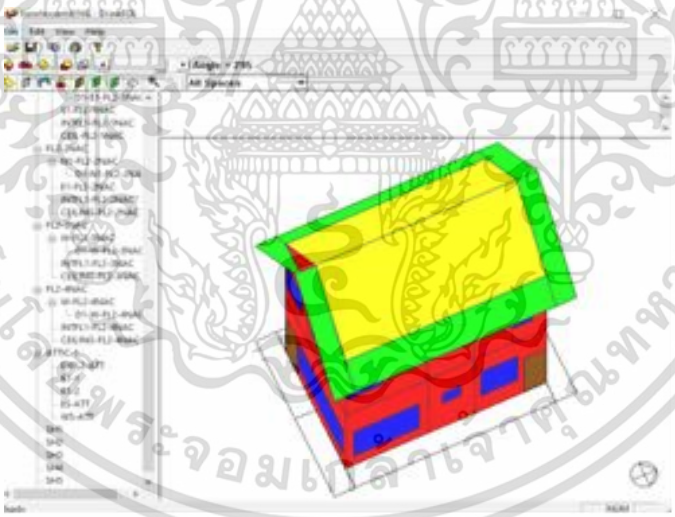
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การจำลองสภาพอาคารในโปรแกรม DOE 2.1

การจำลองสภาพอาคารในโปรแกรม DOE 2.1 สามารถใช้สำหรับการจำลองและตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารได้อย่างละเอียด เพื่อหาข้อบกพร่องและแก้ไขปัญหาด้านพลังงานของอาคารได้อย่างตรงเป้าหมาย โดยการสร้างแบบจำลองอาคารจะสมมติภาพทั่วไปของอาคารดังต่อไปนี้

- อาคารเป็นอาคารสร้างขึ้นเดี่ยว ๆ ไม่มีการบังแดดจากอาคารข้างเคียง
- ไม่มีการใช้ม่านบังแดดที่ประตูและหน้าต่าง
- วัสดุประกอบอาคาร ระบบวิศวกรรมอาคาร และโครงสร้างอาคาร มีลักษณะตามข้อมูลที่ได้รวบรวมมา

ซึ่งการกำหนดสภาพอ้างอิงดังกล่าวนั้นอาจจะไม่เหมือนสภาพความเป็นจริงของบ้านพักอาศัยทั่วไป ทั้งนี้เพื่อตัดตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ลักษณะอาคารข้างเคียงที่ส่งผลต่อการบังแดด และการใช้ม่านบังแดดภายในอาคาร ซึ่งมีความหลากหลายอย่างมากและจะส่งผลให้ค่าจำลองการใช้พลังงานแตกต่างไปด้วยปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องกับการศึกษาครั้งนี้ นอกจากนี้ การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นเรื่องผลความแตกต่างระหว่างวัสดุกรอบอาคารชนิดต่าง ๆ และแนวทางการปรับปรุงแต่ละแนวทาง ภายใต้สถานการ์ณจำลองที่เหมือนกัน



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะโดยรวมของแบบจำลองอาคารต้นแบบที่ใช้ในการศึกษา
ที่มา : ผู้วิจัย(2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

4.1.3.1 ค่าพลังงานความร้อนที่เข้ามาสู่อาคาร

จากการใช้โปรแกรม Doe2 ในการคำนวณสภาพการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศจังหวัดกาญจนบุรี

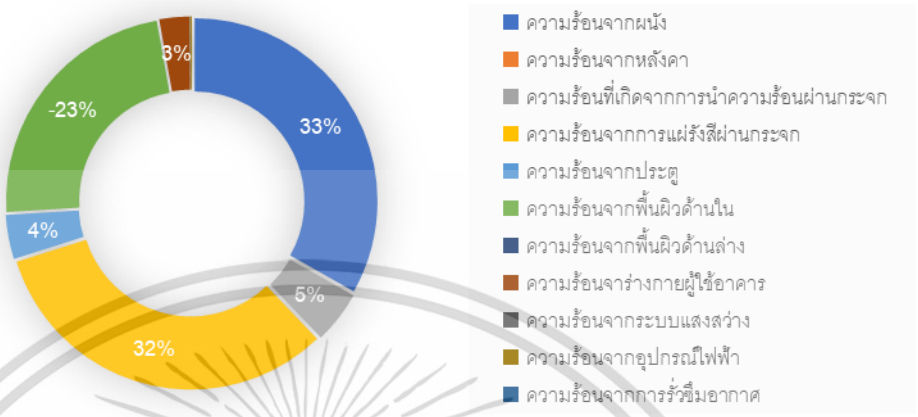
พื้นที่ที่ทำการศึกษา/ชั้น 77 ตารางเมตร
พื้นที่อาคารรวม 154 ตารางเมตร
ปริมาตร 445.06 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพลังงานความร้อนที่เข้ามาสู่อาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

ส่วนประกอบอาคาร	พลังงานความร้อน (KBTU/H)	พลังงานความร้อน (KW/H)
ความร้อนจากผนัง	7.077	2.074
ความร้อนจากหลังคา	0	**0**
ความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านกระจก	0.991	0.29
ความร้อนจากการแผ่รังสีผ่านกระจก	6.883	2.017
ความร้อนจากประตู	0.831	0.243
ความร้อนจากพื้นผิวด้านใน	-4.938	-1.447
ความร้อนจากพื้นผิวด้านล่าง	0	0
ความร้อนจากร่างกายผู้ใช้อาคาร	0.562	0.165
ความร้อนจากระบบแสงสว่าง	0.01	0.003
ความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า	0.028	0.008
ความร้อนจากการรั่วซึมอากาศ	0	0
รวม	**11.444**	**3.353**

TOTAL LOAD = 11.704 KBTU/H = 3.429 KW
TOTAL LOAD / AREA = 28.75 BTU/H.SQFT = 90.670 W/M2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงสัดส่วนของปริมาณพลังงานความร้อนที่เข้าสู่อาคาร

ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

จากการวิเคราะห์ผลพลังงานความร้อนที่เข้ามาสู่อาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐานพบว่าสามารถเรียงลำดับส่วนประกอบที่มีปริมาณค่าพลังงานความร้อนที่ไหลผ่าน จากมากที่สุดไปน้อยที่สุด ดังนี้

1.ความร้อนจากผนัง ร้อยละ 33

2.ความร้อนจากการแผ่รังสีผ่านกระจก ร้อยละ 32

3.ความร้อนจากพื้นผิวด้านใน ร้อยละ -23

4.ความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านกระจก ร้อยละ 5

5.ความร้อนจากประตู ร้อยละ 4

6.ความร้อนจากร่างกายผู้ใช้อาคาร ร้อยละ 3

7.ความร้อนจากหลังคา ร้อยละ 0

8.ความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้า ร้อยละ 0

9.ความร้อนจากระบบแสงสว่าง ร้อยละ 0

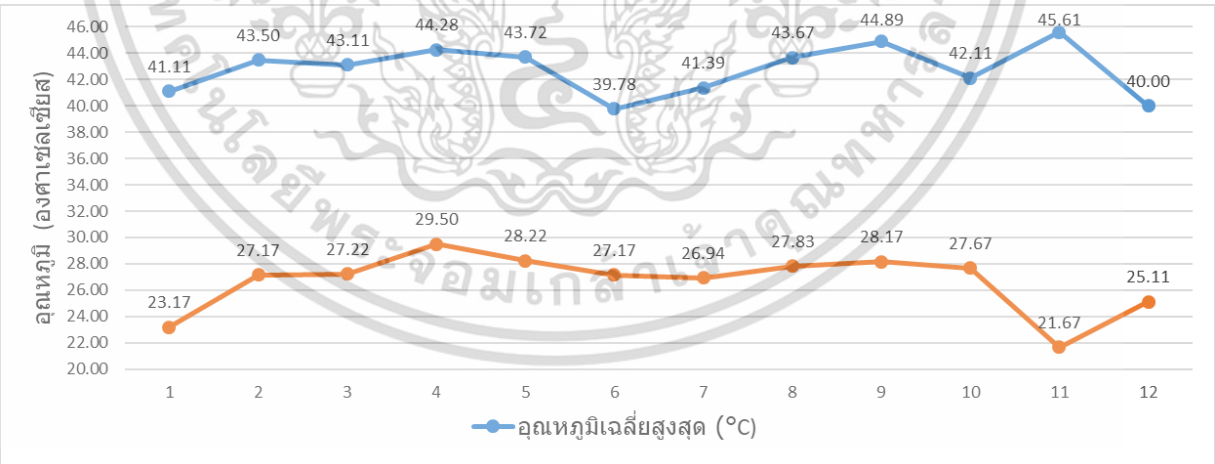
ดังนั้น การลดพลังงานความร้อนที่เหมาะสมที่สุด คือการป้องกันความร้อนที่ไหลผ่านจากส่วนผนังและความร้อนจากการแผ่รังสีของกระจก และความร้อนจากพื้นผิวด้านใน อันหมายถึงความร้อนที่ผ่านส่วนหลังคาและผ่านลงสู่ฝ้าเพดานภายในอาคาร เนื่องจากโปรแกรม Doe2.1E คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาแล้วถ่ายเทความร้อนต่อไปสู่ฝ้าเพดาน ทำให้ค่าความร้อนผ่านหลังคาเป็น 0 และนับค่าความร้อนของหลังคารวมไว้ที่หัวข้อความร้อนจากพื้นผิวด้านใน จึงสรุปได้ว่าการปรับปรุงบ้านพักอาศัยพื้นฐานควรปรับปรุงกรอบอาคาร อันได้แก่ 1.ผนังทึบ 2.ผนังโปร่งแสง 3.หลังคา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 อุณหภูมิ

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน

เดือน	อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุด (°C)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)
มกราคม	41.11	23.17	31.28
กุมภาพันธ์	43.50	27.17	33.78
มีนาคม	43.11	27.22	35.78
เมษายน	44.28	29.50	35.61
พฤษภาคม	43.72	28.22	33.67
มิถุนายน	39.78	27.17	32.11
กรกฎาคม	41.39	26.94	32.11
สิงหาคม	43.67	27.83	33.78
กันยายน	44.89	28.17	33.28
ตุลาคม	42.11	27.67	33.44
พฤศจิกายน	45.61	21.67	31.67
ธันวาคม	40.00	25.11	31.89



รูปที่ 4.8 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดรายเดือนของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

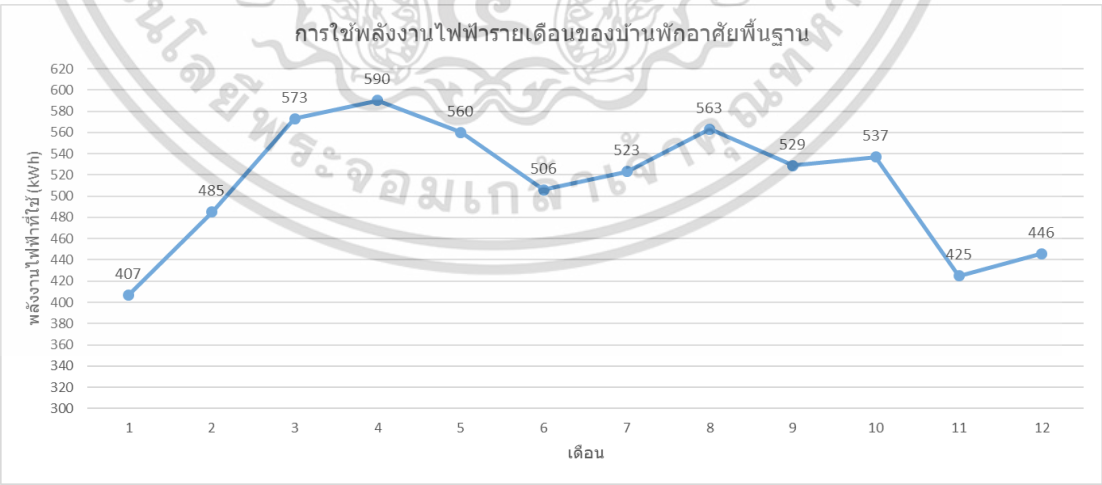
ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.3 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคาร

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

เดือน	การใช้พลังงานไฟฟ้า TOTAL ENERGY USE (kWh)	การใช้พลังงานไฟฟ้า TOTAL ENERGY USE (kWh/sq.m.)	ค่าไฟฟ้า(บาท)
มกราคม	407	2.64	1,608.76
กุมภาพันธ์	485	3.15	1,937.92
มีนาคม	573	3.72	2,309.28
เมษายน	590	3.83	2,381.02
พฤษภาคม	560	3.64	2,254.42
มิถุนายน	506	3.29	2,026.54
กรกฎาคม	523	3.40	2,098.28
สิงหาคม	563	3.66	2,267.08
กันยายน	529	3.44	2,123.60
ตุลาคม	537	3.49	2,157.36
พฤศจิกายน	425	2.76	1,684.72
ธันวาคม	446	2.90	1,773.34
รวม	**6144**	**39.90**	**24,622.32**



รูปที่ 4.9 แสดงแผนภูมิการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

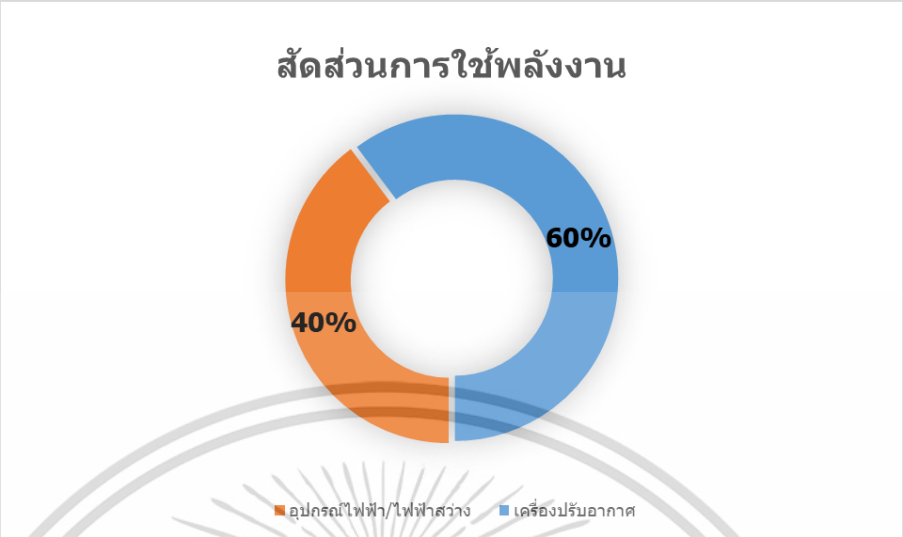
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.4 สัดส่วนการใช้พลังงานภายในอาคาร

ตารางที่ 4.4 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

เดือน	การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)		
	อุปกรณ์ไฟฟ้า/ไฟฟ้าสว่าง	เครื่องปรับอากาศ	การใช้พลังงานรวม
มกราคม	208	200	408
กุมภาพันธ์	187	298	485
มีนาคม	207	365	572
เมษายน	201	389	590
พฤษภาคม	208	352	560
มิถุนายน	201	305	506
กรกฎาคม	207	316	523
สิงหาคม	208	356	564
กันยายน	200	328	528
ตุลาคม	208	329	537
พฤศจิกายน	201	224	425
ธันวาคม	207	239	446
รวม	**2,443**	**3,701**	**6,144**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

จากการคำนวณผลค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านพักอาศัยพื้นฐาน จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศมีสัดส่วนที่มากกว่าระบบไฟฟ้าสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ระบบไฟฟ้าสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นตัวแปรที่ส่งผลด้านความร้อนที่กระทำต่อพื้นที่เท่านั้น การศึกษาจึงมุ่งเน้นไปที่การลดความร้อนจากตัวแปรในด้านอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง

4.2 การศึกษารวบรวมข้อมูลวัสดุเพื่อกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร

4.2.1 แนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐานที่เกิดขึ้นในระบบต่าง ๆ พบว่าอาคารมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากที่สุด และจากรูปที่ 4.8 พบว่าสัดส่วนของปริมาณพลังงานความร้อนที่เข้าสู่อาคารเกิดจากส่วนผนัง ความร้อนจากการแผ่รังสีผ่านกระจก และความร้อนที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านกระจกมากที่สุด จึงสรุปได้ว่ากรอบอาคารมีค่าต้านทานความร้อนต่ำ ส่งผลให้ความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารและเป็นภาระของระบบปรับอากาศ การปรับปรุงจึงมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงกรอบอาคารให้มีค่าต้านทานความร้อนมากขึ้น โดยแบ่งแนวทางการปรับปรุงอาคารเป็น 2 แนวทางได้แก่

1.) การปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร (ตารางที่ 4.5)

2.) การปรับปรุงการออกแบบอาคาร (ตารางที่ 4.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

กรอบอาคาร	วิธีการปรับปรุง	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
ผนังทึบ (A)	1.เปลี่ยนชนิดของผนัง	1.ค่า R ของผนัง	1.ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ 2.ความคุ้มค่าทางการลงทุน	1.พื้นที่ของผนังทึบ 2.ค่า WWR ของผนัง 3.ทิศของอาคาร
	2.ติดตั้งฉนวนกันความร้อน	1.ค่า R ของผนัง		
	3.ทาสีขาว/สีสะท้อนความร้อน	1.ค่าSolar absorptance		
ผนังโปร่งแสงภายนอก (B)	1.เปลี่ยนชนิดกระจก	1.ค่า U ของกระจก 2.ค่า SHGC ของกระจก	1.ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ 2.ความคุ้มค่าทางการลงทุน	1.พื้นที่ของกระจก 2.ค่า WWR ของผนัง 3.ค่า SC ของแผงบังแดด 4.ทิศของอาคาร
	2.ติดตั้งฟิล์มลดความร้อน	1.ค่า U ของกระจก 2.ค่า SHGC ของกระจก		
หลังคา (C)	1.เปลี่ยนชนิดกระเบื้องหลังคา	1.ค่า R ของหลังคา	1.ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ 2.ความคุ้มค่าทางการลงทุน	1.พื้นที่ของหลังคา 2.ทิศของอาคาร
	2.ติดตั้งฉนวนกันความร้อน	1.ค่า R ของหลังคา		

ตารางที่ 4.6 แสดงแนวทางการปรับปรุงการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

	วิธีการปรับปรุง	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม	ตัวแปรควบคุม
การออกแบบอาคาร (D)	1.ลดพื้นที่กระจกหน้าต่าง	1.ค่า WWR ของผนัง	1.ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ 2.ความคุ้มค่าทางการลงทุน	1.ค่า SC ของแผงบังแดด 2.ทิศของอาคาร
	2.เพิ่มระยะชายคา	1.พื้นที่ของหลังคา	1.ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ 2.ความคุ้มค่าทางการลงทุน	1.พื้นที่ของหลังคา 2.ทิศของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การศึกษาข้อมูลคุณสมบัติและราคาของวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง

การเลือกวัสดุที่นำมาปรับปรุงกรอบอาคาร เป็นวัสดุที่มีขายในท้องตลาด และพิจารณาเลือกใช้จากค่าความต้านทานความร้อนที่เป็นไปตามกฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือ ขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 และประกาศอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เรื่อง กำหนดคุณสมบัติ หลักเกณฑ์ วิธีการ เงื่อนไข วัสดุ อุปกรณ์ หรือเครื่องจักรที่มีผลต่อการประหยัดพลังงาน พ.ศ. 2555

1.) ผนังทึบ

1.1) ชนิดของผนังทึบ

โดยการปรับปรุงชนิดของผนังทึบคือการเลือกใช้ผนังที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูง (R-Value) จากการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผนังทึบประเภทต่าง ๆ พบว่าคอนกรีตมวลเบา ความหนาแน่น 1280 กก./ลบ.ม. เป็นวัสดุผนังทึบที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงที่สุด (R-Value)

ตารางที่ 4.7 แสดงการพิจารณาชนิดของผนังทึบ

ชนิดผนังทึบ	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความหนา (ม.)	K-Value (W/(m.°C))	R-Value (m2°C/W)	ราคาวัสดุ/ตร.ม. (บาท)
อิฐมอญไม่ฉาบ	1600	0.070	0.473	0.158	285
อิฐมอญฉาบปูนสองด้าน	1700	0.100	1.102	0.0907	363
คอนกรีตบล็อกกลวง 80 มม. ไม่ฉาบ	2210	0.080	0.546	0.146	122
ปูนฉาบ (ซีเมนต์ผสมทราย)	1860	0.015	0.72	0.0208	78
คอนกรีตมวลเบา ความหนาแน่น 1280 กก./ลบ.ม.	1280	0.075	0.476	0.157	220
ปูนฉาบสำหรับคอนกรีตมวลเบา	1200	0.015	0.326	0.046	120

ที่มา: กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือ ขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 และบัญชีราคาค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงานสำหรับปีงบประมาณ พ.ศ.2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2) ฉนวนกันความร้อนสำหรับผนังทึบ

ฉนวนกันความร้อนสำหรับผนังทึบที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ มีข้อมูลคุณสมบัติวัสดุจากบริษัท เอสซีจี ซิเมนต์–ผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง จำกัด และบริษัท ท็อป อินซูเลชั่น แอนด์ เทรดดิ้ง จำกัด โดยพบว่าฉนวนใยแก้วแบบแผ่นเปลือยสำหรับงานผนัง เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับผนังทึบที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงที่สุด (R-Value) ซึ่งฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. และ 48 กก./ลบ.ม. มีความหนา 0.050 ม. และ K-Value 0.033 W/(m.°C) เท่ากันส่งผลให้ค่าความต้านทานความร้อนเท่ากัน การศึกษานี้จึงเลือกฉนวนใยแก้วแบบแผ่น เปลือยสำหรับงานผนัง ความหนาแน่น 32 กก. /ลบ.ม. เนื่องจากมีค่าราคาวัสดุต่ำกว่า ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงการพิจารณาชนิดของฉนวนกันความร้อนสำหรับงานผนังทึบ

ชนิดฉนวนกันความร้อนสำหรับผนังทึบ	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความหนา (ม.)	K-Value (W/(m.°C))	R-Value (m2°C/W)	ราคาวัสดุ/ตร.ม. (บาท)
ฉนวนใยแก้ว แบบแผ่น เปลือยสำหรับงานผนัง	16	0.025	0.038	0.657	90
	16	0.050	0.035	1.428	140
	24	0.025	0.035	0.714	110
	24	0.050	0.035	1.428	150
	32	0.025	0.033	0.757	120
	32	0.050	0.033	1.515	150
	48	0.025	0.033	0.757	150
	48	0.050	0.033	1.515	180
ฉนวนชนิดโฟมโพลีสไตรีน หรือโฟม PS หรือ EPS ความหนาแน่น 16 กก./ลบ.ม.	16	0.025	0.037	0.675	65
ฉนวนชนิดโฟมโพลีสไตรีน หรือโฟม PS หรือ EPS ความหนาแน่น 20 กก./ลบ.ม.	20	0.025	0.036	0.694	75
โฟมโพลีเอทิลีน (Polyethylene : PE)	45	0.005	0.042	0.119	250
โฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane Foam, PU Foam)	24-40	0.025	0.026	0.961	280

ที่มา: ข้อมูลวัสดุจากบริษัท เอสซีจี ซิเมนต์–ผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง จำกัด และบริษัท ท็อป อินซูเลชั่น แอนด์ เทรดดิ้ง จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.) ความต้านทานความร้อนของช่องอากาศที่ผนัง

ความต้านทานความร้อนในช่องผนัง ขึ้นอยู่กับค่าการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวผนังด้านในช่องว่างอากาศ แบ่งเป็น พื้นที่ผิวที่มีการแผ่รังสีสูง ได้แก่ ผนังทั่วไป และพื้นที่ผิวที่มีการแผ่รังสีต่ำ ในกรณีที่ผิวด้านใดด้านหนึ่ง หรือสองด้านเป็นผิวสะท้อนแสง โดยจากกฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือ ขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 กำหนดให้ช่องอากาศขนาดกว้าง 10 ซม. มีค่าต้านทานความร้อนสูงสุด เนื่องจากเป็นระยะที่อากาศยังคงมีความนิ่ง และเมื่อพิจารณาความกว้างของโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี พบว่าโครงคร่าวรูปตัวซี (C) หรือตัวยู (U) มีขนาดกว้างไม่เกิน 10 ซม. คือขนาด 9 ซม. จึงศึกษาความกว้างของช่องว่างอากาศขนาด 9 ซม. โดยมีค่าความต้านทานความร้อนดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าการต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้างต่าง ๆ

ผิววัสดุที่ผนังด้านในของช่องว่างอากาศ	ค่าความต้านทานความร้อน R-Value (m2°C/W)		
	30 มม.	90 มม.	100 มม.
ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.150	0.158	0.160
ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.582	0.588	0.606

ที่มา: กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือ ขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552

1.4.) แผ่นผนังสำเร็จรูป

แผ่นผนังสำเร็จรูปที่นิยมใช้ทั่วไปและหาได้ง่ายในท้องตลาด คือแผ่นยิปซัม ขนาด 1.20 x 2.40 ม. โดยติดตั้งร่วมกับโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี โดยในการศึกษานี้ใช้แผ่นผนังสำเร็จรูปกรุที่ผนังภายในด้านเดียว สำหรับติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนัง และการเว้นช่องว่างอากาศ แผ่นผนังสำเร็จรูปที่ใช้ในการศึกษาคือแผ่นยิปซัมชนิดมาตรฐาน 12 มม. ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงรายละเอียดของแผ่นผนังสำเร็จรูป

ประเภท	ความหนา (ม.)	K-Value (W/(m.°C))	R-Value (m2°C/W)	ราคาวัสดุ/ตร.ม. (บาท)
แผ่นยิปซั่มชนิดมาตรฐาน 9 มม.	0.009	0.318	0.0283	82.63
แผ่นยิปซั่มชนิดมาตรฐาน 12 มม.	0.012	0.318	0.0377	100

ที่มา: บริษัท สยามอุตสาหกรรมยิปซั่ม จำกัด และบัญชีราคาค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงานสำหรับปีงบประมาณ พ.ศ.2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นยิปซัมชนิดบุด้วยฉนวนโพลีสไตรีนแบบขยายตัว หรือแผ่นยิปซัมชนิดบุฉนวน EPS แบบแผ่น (Expanded Polystyrene High Density: EPS) คือแผ่นยิปซัมชนิดมาตรฐาน 9 มม. ที่มีการเสริมฉนวน EPS ความหนาต่าง ๆ ติดมาในตัว โดยในการศึกษานี้เลือกใช้แผ่นยิปซัมที่มีฉนวน EPS ความหนา 35 มม. และ 50 มม. จะได้แผ่นผนังที่มีความหนารวม 44 มม.และ 59 มม.ตามลำดับ โดยติดตั้งทับกับโครงคร่าวชุบสังกะสีขนาดกว้าง 3 ซม. และการคำนวณต้องพิจารณาถึงค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ 3 ซม.ด้วย ซึ่งค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุเป็นดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงรายละเอียดของฉนวน EPS ชนิดแผ่นสำเร็จรูป

ประเภท	ความหนา (ม.)	K-Value (W/(m.°C))	R-Value (m2°C/W)	ราคาวัสดุ/ตร.ม. (บาท)
ฉนวน EPS ชนิดแผ่นสำเร็จรูป ความหนาแน่น 25 กก./ลบ.ม.	0.044	0.033	1.33	345
ฉนวน EPS ชนิดแผ่นสำเร็จรูป ความหนาแน่น 25 กก./ลบ.ม.	0.059	0.0322	1.83	390

ที่มา: บริษัท ไทยผลิตภัณฑ์ยิปซัม จำกัด

1.5.) ทาสีขาว หรือ สีสะท้อนความร้อน

สีทาสะท้อนความร้อน สามารถลดความร้อนที่เข้าสู่กรอบอาคารได้ โดยการลดค่าดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านกรอบอาคาร มีผลต่อค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TD_{eq}) โดยกฎกระทรวงฯ แบ่งสีภายนอกของพื้นผิวออกเป็น 4 กลุ่ม โดยผนังของอาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐานเดิมมีผนังทาสีอ่อนมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน คือ 0.5 จึงปรับปรุงโดยการทาสีที่สามารถลดค่าการดูดกลืนได้มากที่สุด คือ สีขาว สีเงิน และสีสะท้อนแสง มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนคือ 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของสีภายนอกของผนังทึบ

พื้นผิว	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	หมายเหตุ
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือ ปิดผิว -แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียม -หินอ่อนสีขาว -กรวดล้างสีขาว -สีทาภายนอก สีขาว / สีเงิน / สีสะท้อนแสง	0.3	วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง และวัสดุที่มีสีขาว
วัสดุที่ใช้ฉาบหรือ ปิดผิว -หินอ่อนสีครีม/สีอ่อน-กรวดล้างสีครีม/สีอ่อน -วัสดุปิดผิวสีอ่อน -สีทาภายนอก สีครีม / สีฟ้าอ่อน / สีเขียวอ่อน / สีส้มอ่อน	0.5	วัสดุที่มีผิวสีอ่อน

ที่มา: กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือ ขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552

ตารางที่ 4.13 แสดงรายละเอียดของสีสะท้อนความร้อน

ค่าการสะท้อน	ค่าการดูดกลืน	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ราคา (บาท/ถัง 20 ลิตร)	ราคา (บาท/ตร.ม.)
95%	5%	1.06	3,550 / ถัง	106.5

ที่มา: บริษัท ทีโอเอเพ้นท์ (ประเทศไทย) จำกัด

2.) ผนังโปร่งแสงภายนอก

2.1) เปลี่ยนชนิดกระจก

ผนังโปร่งแสงหรือกระจกหน้าต่างของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน คือกระจกโฟลต์ใส หนา 5 มม. ซึ่งมีค่า SHGC 0.73 การปรับปรุงเพื่อการประหยัดพลังงาน จึงเลือกศึกษาชนิดกระจกชนิดแผ่นเดี่ยว ที่มีค่า SHGC ที่ต่ำลง เพื่อลดค่าการนำความร้อนที่ผ่านกระจกเข้าสู่อาคาร โดยเลือกกระจกที่มีค่า SHGC ไม่เกิน 0.55 และ ค่า LSG ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1.20 ซึ่งจะส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน ตามประกาศของอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนฯ พิจารณาร่วมกับราคาที่เหมาะสมสำหรับอาคารบ้านพักอาศัย โดยกระจกที่เลือกศึกษามีรายละเอียดดังนี้

กระจกโฟลต์สี สามารถลดแสงจากดวงอาทิตย์และความร้อนที่ส่องกระทบผิวกระจก โดยออกไซด์ในกระจกทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานความร้อนไว้ โดยมีตัวแปรขึ้นอยู่กับความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาและสีของกระจก เมื่อพิจารณาค่า VT พบว่ากระจกสีอ่อนสามารถนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารได้มาก แต่ก็มีค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงเช่นกัน

กระจกสะท้อนแสง คือ กระจกที่เคลือบสารเป็นผิวกระจกเพื่อให้สามารถสะท้อนแสงและความร้อนบางส่วนออกได้ โดยสีและความใสของกระจกขึ้นอยู่กับสารที่ใช้ในการเคลือบ

กระจกที่เลือกใช้คือ กระจกประหยัดพลังงานตามประกาศของอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนฯ ได้แก่ กระจกโฟลต์ สีเขียวเข้ม และกระจกสะท้อนแสงสีเขียว และเนื่องจากมีกระจกทั้ง 2 ชนิด มีราคาวัสดุที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อความคุ้มค่าทางการลงทุน

ตารางที่ 4.14 แสดงการพิจารณาชนิดของกระจก

ชนิดกระจก	U-Value (W/m^2 °C)	SHGC	SC	LSG	VT	ราคาวัสดุ/ตร.ฟุต (บาท)
กระจกโฟลต์ ใส 5 มม.	5.83	0.83	0.96	1.06	91	20
กระจกโฟลต์ Ocean green 5 มม.	5.73	0.62	0.71	1.21	75	44
กระจกโฟลต์ Energy green 5 มม.	5.73	0.52	0.57	1.24	64.5	52
กระจกสะท้อนแสง สีเขียว 6 มม.	4.09	0.42	0.47	1.34	56	132

ที่มา: บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด

2.2) ติดตั้งฟิล์มลดความร้อน

ฟิล์มลดความร้อน คือ ฟิล์มพลาสติกที่ทำมาจากโพลีเอสเตอร์ชนิด P.E.T (Polyethylene terephthalate) ซึ่งสามารถกรองแสงและลดความร้อนได้ ความหนาประมาณ 2-4 มม. การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ฟิล์มลดความร้อนชิดเคลือบละอองโลหะ (Metal reflective film) เนื่องจากมีราคาไม่สูง เหมาะสมกับอาคารบ้านพักอาศัย โดยเลือกฟิล์มลดความร้อนที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ที่ประกาศในรายการและคุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน โดยกระทรวงพลังงาน ดังนี้

- มีค่าการส่องผ่านแสง (T_{VIS}) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30
- มีค่าการส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ (T_{SOL}) ไม่เกินกว่าร้อยละ 40
- มีค่าการส่งผ่านรังสีอัตราไวโอเลต (T_{UV}) ไม่เกินกว่าร้อยละ 5
- มีค่าการสะท้อนแสงภายนอก ($R_{VIS-OUT}$) ไม่เกินกว่าร้อยละ 25
- มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของฟิล์ม (SC) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.20 และไม่เกินร้อยละ 0.60 (SHGC ไม่น้อยกว่า 0.174 และไม่เกิน 0.522)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสำรวจวัสดุ พบว่าฟิล์มลดความร้อนสีอ่อนที่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวมีเพียงชนิดเดียว ได้แก่ ฟิล์มสีเทาอ่อนเท่านั้น ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงการพิจารณาชนิดของฟิล์มลดความร้อน

ชนิดฟิล์มลดความร้อน	**Δx (m.)**	**U-Value (W/m2 °C)**	**SC**	**SHGC**	**T_{UV}**	**T_{SOL}**	**T_{VIS}**	**$R_{VIS-OUT}$**	**LSG**	**ราคาวัสดุ/ตร.ฟุต (บาท)**
ฟิล์มไร้สี	0.002	5.62	0.55	0.48	1%	48%	61%	8%	1.11	170
ฟิล์มสีฟ้าอ่อน	0.004	5.62	0.53	0.46	1%	37%	47%	27%	0.89	150
ฟิล์มสีเทาอ่อน	0.003	5.62	0.58	0.50	1%	38%	60%	7%	1.03	100

ที่มา: บริษัท กระจกไทยอาซาฮี จำกัด และ บริษัท สมาร์ทเทค เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด

3.) หลังคา

3.1) เปลี่ยนชนิดกระเบื้องหลังคา

กระเบื้องหลังคาของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน คือกระเบื้องลอนคู่สีอ่อน ซึ่งมีค่าการนำความร้อน 0.394 W/(m.°C) จากการศึกษากฎกระทรวงฯพบว่าเป็นชนิดกระเบื้องที่เหมาะสมกับการประหยัดพลังงานแล้ว จึงปรับปรุงวัสดุกระเบื้องหลังคา โดยเปลี่ยนสีของกระเบื้องหลังคาเป็นสีขาว ดังตารางที่ 4.12 และ ตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงรายละเอียดกระเบื้องหลังคา

กระเบื้องหลังคา	**ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)**	**ความหนา (ม.)**	**K-Value (W/(m.°C))**	**R-Value (m2°C/W)**	**ราคาวัสดุ/ตร.ม. (บาท)**
กระเบื้องลอนคู่ สีขาว	2000	0.006	0.394	0.0152	120

ที่มา: กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือ ขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2552 และบัญชีราคาค่าวัสดุก่อสร้างและค่าแรงงานสำหรับปีงบประมาณ พ.ศ.2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2) ติดตั้งฉนวนเหนือฝ้าเพดาน

ฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคามีหลากหลายชนิด ได้แก่ ฉนวนแบบฉีดพ่นใต้หลังคา ฉีดพ่นเหนือหลังคา ฉนวนแบบแผ่นปูใต้แปหลังคาและปูเหนือฝ้าเพดาน สำหรบการศึกษาครั้งนี้ เสนอแนวทางปรับปรุงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารบ้านพักอาศัยทั่วไป จึงเลือกฉนวนที่เหมาะสมกับการติดตั้งในอาคารที่เปิดใช้แล้ว ได้แก่ ฉนวนสำหรับปูเหนือฝ้าเพดานและฉนวนสำหรับติดตั้งใต้แปหลังคา และเนื่องจากฉนวนมีมวลสารที่อาจเป็นตัวสะสมความร้อน ซึ่งส่งผลต่อภาระการทำความเย็นหากติดตั้งในพื้นที่ปรับอากาศ จึงเลือกศึกษาฉนวนกันความร้อนที่มีวิธีการติดตั้งและความหนาที่ต่างกัน โดยศึกษาข้อมูลคุณสมบัติวัสดุจากบริษัท เอสซีจี ซิเมนต์–ผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง จำกัด ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 แสดงการพิจารณาชนิดฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคา

ชนิดฉนวนกันความร้อนสำหรับหลังคา	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ความหนา (ม.)	K-Value (W/(m.°C))	R-Value (m2°C/W)	ราคาวัสดุ/ตร.ม. (บาท)
ฉนวนใยแก้ว สำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น	12	0.075	0.043	1.78	146
STAYCOOL	12	0.150	0.042	3.57	188
ฉนวนใยแก้ว รุ่นอัลตราคูล ที่ติดตั้งบนแป	12	0.075	0.042	1.78	210

ที่มา: บริษัท เอสซีจี ซิเมนต์–ผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง จำกัด

4.2.3 การศึกษาแนวทางการปรับปรุงการออกแบบอาคาร

1) การลดอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)

อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) มีผลต่อค่าการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคาร โดยบ้านพักอาศัยพื้นฐานมีอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดทั้งหมด (WWR) 23 % มีรายละเอียดดังนี้

พื้นที่ผนังทั้งหมด 212.39 ตร.ม.

พื้นที่ผนังทึบ 163.54 ตร.ม.

พื้นที่กระจก 48.85 ตร.ม.

การศึกษานี้จึงเลือกศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ที่ 20%, 17%, 14% และ 11% เพื่อเสนอแนวทางการออกแบบอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด(WWR) อย่างเหมาะสมกับบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ดังตารางที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 แสดงรายละเอียดการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด

อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)		พื้นที่ (ตร.ม.)	
		ผนังทึบ	กระจก
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน	23 %	163.54	48.85
D1-1	20 %	169.92	42.47
D1-2	17 %	176.29	36.10
D1-3	14 %	182.66	29.73
D1-4	11%	189.03	23.36

2.) การเพิ่มระยะชายคา

ระยะยื่นชายคาของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน 1.13 เมตร ซึ่งระยะยื่นของชายคานั้นส่งผลต่อการถ่ายเพลังงานความร้อนที่เข้าสู่อาคาร การศึกษานี้จึงเลือกศึกษาระยะยื่นชายคา ที่ 1.30 เมตร, 1.50 เมตร, 1.70 เมตร และ 1.90 เมตร เพื่อเสนอแนวทางการออกแบบระยะชายคาอย่างเหมาะสมกับบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

ตารางที่ 4.19 แสดงรายละเอียดการศึกษาการเพิ่มระยะชายคา

การออกแบบอาคาร (D)		วิธีการศึกษา
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		ระยะยื่นชายคา 1.13 เมตร
การเพิ่มระยะชายคา (D2)	**D2-1**	ระยะยื่นชายคา 1.30 เมตร
	D2-2	ระยะยื่นชายคา 1.50 เมตร
	D2-3	ระยะยื่นชายคา 1.70 เมตร
	D2-4	ระยะยื่นชายคา 1.90 เมตร

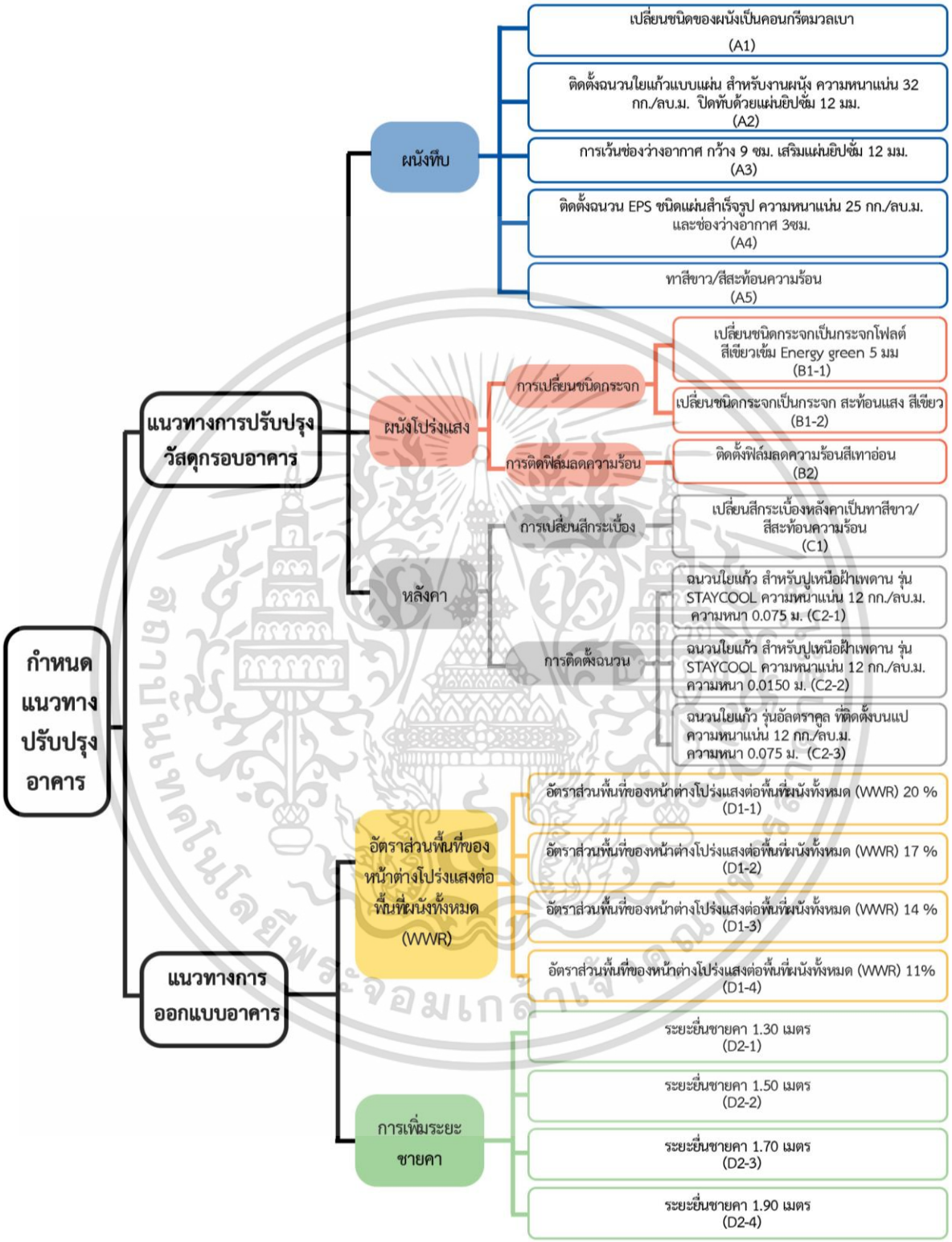
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 กำหนดแนวทางปรับปรุงอาคาร

ตารางที่ 4.20 แสดงแนวทางการปรับปรุงอาคาร

วัสดุกรอบอาคาร	ชื่อ	วิธีการปรับปรุง
ผนังทึบ (A)	A1	เปลี่ยนชนิดของผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา
	A2	ติดตั้งฉนวนใยแก้วแบบแผ่น สำหรับงานผนัง ความหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซัม 12 มม.
	A3	การเว้นช่องว่างอากาศ กว้าง 9 ซม. เสริมแผ่นยิปซัม 12 มม.
	A4	ติดตั้งฉนวน EPS ชนิดแผ่นสำเร็จรูป ความหนาแน่น 25 กก./ลบ.ม. และช่องว่างอากาศ 3ซม.
	A5	ทาสีขาว/สีสะท้อนความร้อน
ผนังโปร่งแสงภายนอก (B)	B1-1	เปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกโฟลต สีเขียวเข้ม Energy green 5 มม.
	B1-2	เปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสง สีเขียว
	B2	ติดตั้งฟิล์มลดความร้อนสีเทาอ่อน
หลังคา (C)	C1	เปลี่ยนสีกระเบื้องหลังคาเป็นทาสีขาว/สีสะท้อนความร้อน
	C2-1	ฉนวนใยแก้ว สำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม.
	C2-2	ฉนวนใยแก้ว สำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.0150 ม.
	C2-3	ฉนวนใยแก้ว รุ่นอัลตราคูล ที่ติดตั้งบนแป ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม.
การออกแบบอาคาร (D)	**ชื่อ**	**วิธีการปรับปรุง**
อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) (D1)	D1-1	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) 20 %
	D1-2	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) 17 %
	D1-3	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) 14 %
	D1-4	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) 11 %
การเพิ่มระยะชายคา (D2)	D2-1	ระยะยื่นชายคา 1.30 เมตร
	D2-2	ระยะยื่นชายคา 1.50 เมตร
	D2-3	ระยะยื่นชายคา 1.70 เมตร
	D2-4	ระยะยื่นชายคา 1.90 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงแนวทางการปรับปรุงอาคาร

ที่มา : ผู้วิจัย(2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การประเมินผลแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

4.3.1.) การประเมินผลการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร

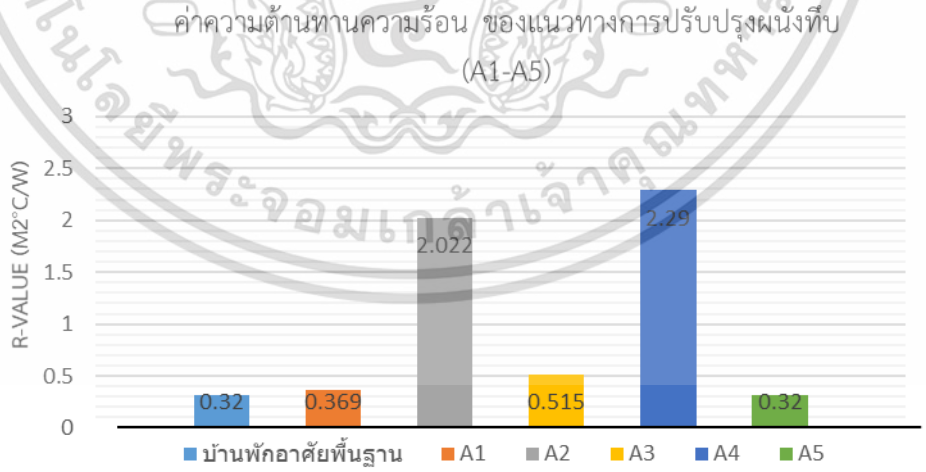
1.) ผนังทึบ (A)

การปรับปรุงวัสดุผนังทึบแบ่งแนวทางการปรับปรุงเป็น 5 แนวทาง (A1-A5) และมีค่าความต้านทานความร้อน (R-Value) ของผนังทึบตามแนวทางการปรับปรุง ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงแนวทางการปรับปรุงผนังทึบ

กรอบอาคาร	ชื่อ	วิธีการปรับปรุง	R-Value (m2°C/W)
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		ผนังอิฐมอญ ฉาบปูนเรียบ หนา 10ซม.	0.320
ผนังทึบ (A)	A1	เปลี่ยนชนิดของผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา	0.369
	A2	ติดตั้งฉนวนใยแก้วแบบแผ่น สำหรับงานผนัง ความหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซัม 12 มม.	2.022
	A3	การเว้นช่องว่างอากาศ กว้าง 9 ซม. เสริมแผ่นยิปซัม 12 มม.	0.515
	A4	ติดตั้งฉนวน EPS ชนิดแผ่นสำเร็จรูป ความหนาแน่น 25 กก./ลบ.ม. และช่องว่างอากาศ 3ซม.	2.29
	A5	ทาสีขาว/สีสะท้อนความร้อน	0.320

หมายเหตุ: ค่า R-Value ของผนังทึบหลังปรับปรุงแล้ว (ผนังทึบ+ฉนวน+ช่องว่างอากาศ+ฟิล์มอากาศ)



รูปที่ 4.12 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของผนังทึบแต่ละแนวทาง

ที่มา : ผู้วิจัย(2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนของผนังทึบแต่ละแนวทาง (A1-A5) พบว่า

การเปลี่ยนชนิดของผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา (A1) สามารถเพิ่มค่า R ของผนังให้สูงกว่าผนังเดิมได้เล็กน้อย โดยมีค่า R 0.369 m2°C/W

การติดตั้งฉนวนใยแก้วแบบแผ่นสำหรับงานผนัง ความหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซัม 12 มม. (A2) มีค่า R สูงขึ้นจากผนังเดิมมากเป็นอันดับสองจากผลการศึกษาทั้งหมด โดยมีค่า R สูงถึง 2.022 m2°C/W

การเว้นช่องว่างอากาศ กว้าง 9 ซม. เสริมแผ่นยิปซัม 12 มม. (A3) สามารถเพิ่มค่า R ได้สูงขึ้นจากผนังเดิม แต่ไม่มากเท่าแนวทางที่มีการใส่ฉนวน โดยมีค่า R 0.515 m2°C/W

การติดตั้งฉนวน EPS ชนิดแผ่นสำเร็จรูป ความหนาแน่น 25 กก./ลบ.ม. และช่องว่างอากาศ 3 ซม. (A4) มีค่า R สูงขึ้นจากผนังเดิมมากที่สุดจากผลการศึกษาทั้งหมด โดยมีค่า R สูงถึง 2.29 m2°C/W

การทาสีขาว หรือสีสะท้อนความร้อน (A5) มีค่า R ของผนังเท่ากับผนังเดิม เนื่องจากการทาสีขาวหรือสีสะท้อนแสงภายนอกอาคาร เป็นการลดการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของผนังทึบเท่านั้น ไม่สามารถเพิ่มค่า R ของผนังให้สูงขึ้นจากเดิมได้

จากผลการศึกษาที่ได้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศและห้องไม่ปรับอากาศของแนวทางการปรับปรุงวัสดุผนังทึบที่ได้จากโปรแกรม DOE2.1E ได้ดังตารางที่ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

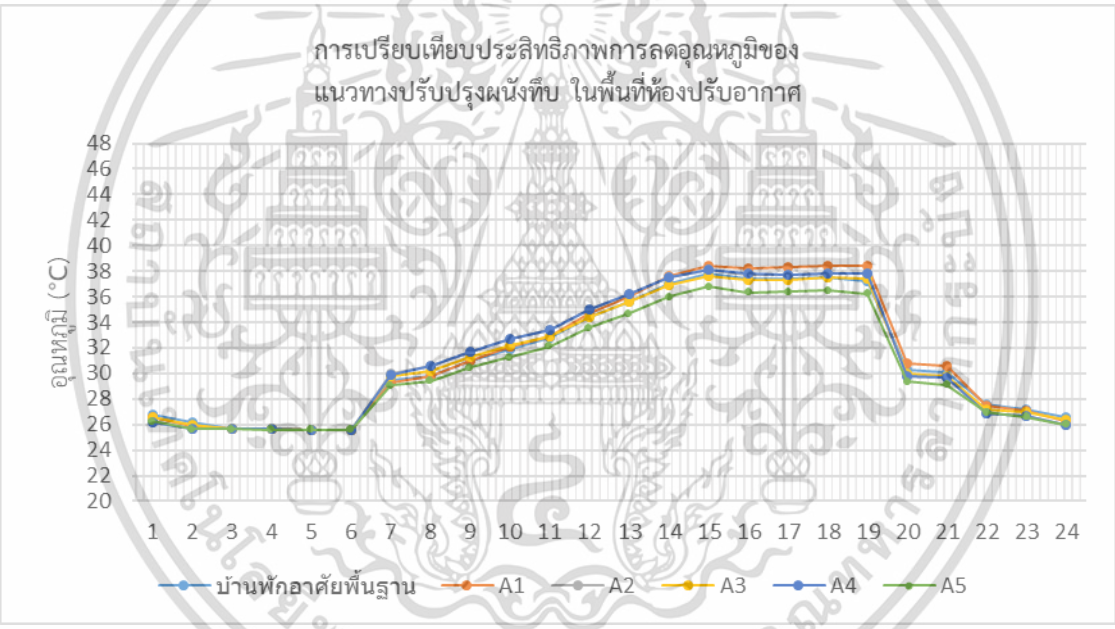
ตารางที่ 4.22 แสดงอุณหภูมิรายชั่วโมงภายในห้องปรับอากาศ ห้องไม่ปรับอากาศ ของแนวทางการปรับปรุงผนังทึบ

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน (°C)		อุณหภูมิของ A1 (°C)		อุณหภูมิของ A2 (°C)		อุณหภูมิของ A3 (°C)		อุณหภูมิของ A4 (°C)		อุณหภูมิของ A5(°C)	
	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ
1	26.78	34.11	26.56	36.89	26.22	38.44	26.56	35.72	26.17	38.44	26.22	33.39
2	26.17	33.33	25.83	36.00	25.67	37.78	26.00	35.06	25.67	37.83	25.67	32.67
3	25.67	32.67	25.67	35.17	25.67	37.17	25.67	34.39	25.67	37.22	25.67	32.06
4	25.67	31.89	25.67	34.33	25.67	36.56	25.67	33.72	25.67	36.61	25.61	31.39
5	25.61	31.50	25.61	33.78	25.61	36.11	25.61	33.28	25.61	36.11	25.61	31.06
6	25.61	31.11	25.61	33.17	25.61	35.61	25.61	32.83	25.61	35.67	25.61	30.67
7	29.44	30.72	29.28	32.67	29.94	35.22	29.78	32.44	29.89	35.28	29.06	30.33
8	29.83	31.39	29.83	32.89	30.56	35.33	30.22	32.89	30.56	35.39	29.39	30.94
9	30.94	32.11	31.00	33.61	31.72	36.17	31.28	33.56	31.72	36.17	30.44	31.67
10	31.89	32.78	32.06	34.28	32.72	36.67	32.17	34.11	32.72	36.72	31.28	32.28
11	32.83	33.72	32.94	35.06	33.44	37.33	32.94	34.83	33.44	37.39	32.11	33.06
12	34.44	35.06	34.67	36.50	35.00	38.67	34.44	36.11	35.00	38.67	33.56	34.33
13	35.56	36.11	36.06	37.67	36.22	39.61	35.61	37.11	36.22	39.67	34.67	35.33
14	37.00	37.33	37.61	38.83	37.56	40.50	36.94	38.11	37.56	40.56	36.00	36.39
15	37.78	38.28	38.39	39.72	38.11	41.17	37.61	38.89	38.11	41.17	36.78	37.28
16	37.39	37.72	38.22	39.44	37.72	40.56	37.33	38.50	37.78	40.61	36.33	36.78
17	37.44	37.94	38.28	39.44	37.67	40.39	37.33	38.50	37.67	40.44	36.39	37.00
18	37.50	37.94	38.44	39.50	37.83	40.39	37.50	38.50	37.83	40.44	36.50	37.00
19	37.22	37.72	38.44	39.56	37.83	40.44	37.44	38.56	37.83	40.44	36.22	36.83
20	30.28	37.39	30.78	39.06	29.83	39.89	29.94	38.11	29.83	39.89	29.33	36.56
21	30.11	35.61	30.56	37.78	29.72	39.06	29.83	36.72	29.72	39.06	29.11	34.72
22	27.56	34.94	27.44	37.11	26.89	38.44	27.22	36.17	26.89	38.50	26.94	34.11
23	27.22	33.78	27.06	36.00	26.67	37.67	26.94	35.22	26.67	37.67	26.61	33.11
24	26.56	33.17	26.22	35.33	26.00	37.11	26.33	34.61	26.00	37.17	26.00	32.50

หมายเหตุ: อุณหภูมิห้องปรับอากาศและห้องไม่ปรับอากาศ คือ อุณหภูมิในพื้นที่ BED2 (รูปที่ 1)

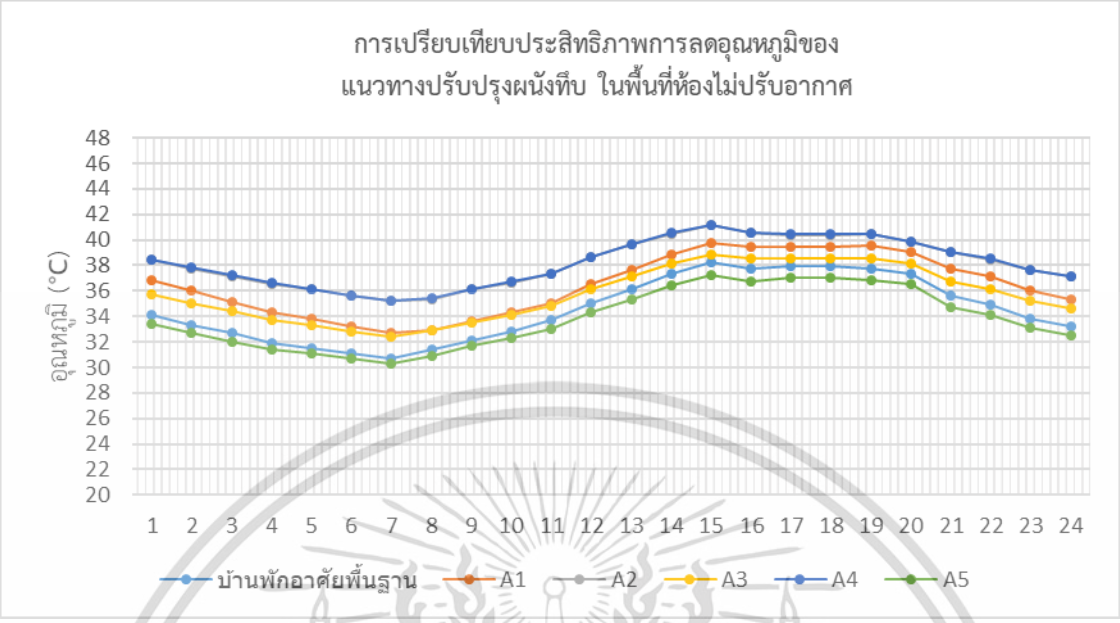
จากการเปรียบเทียบอุณหภูมิรายชั่วโมงภายในห้องปรับอากาศและห้องไม่ปรับอากาศของแนวทางการปรับปรุงผนังทึบ โดยการศึกษาในพื้นที่ห้องปรับอากาศพบว่า แนวทาง A1, A2, A3 และ A4 สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องในช่วงเวลากลางคืนลงได้ แต่ในช่วงเวลากลางวันกลับมีอุณหภูมิสูงมากกว่าบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ในขณะที่แนวทาง A5 สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องลงได้ตลอดทั้งวัน โดยแนวทาง A5 สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องได้มากที่สุด ดังรูปที่ 4.13

และการศึกษาในพื้นที่ห้องไม่ปรับอากาศ พบว่าโดยแนวทาง A5 เป็นเพียงแนวทางเดียวที่สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องได้ ในขณะที่แนวทาง A1, A2, A3 และ A4 ทำให้ค่าอุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้นมากกว่าบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแนวทางการปรับปรุงผนังทึบในพื้นที่ปรับอากาศ
ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



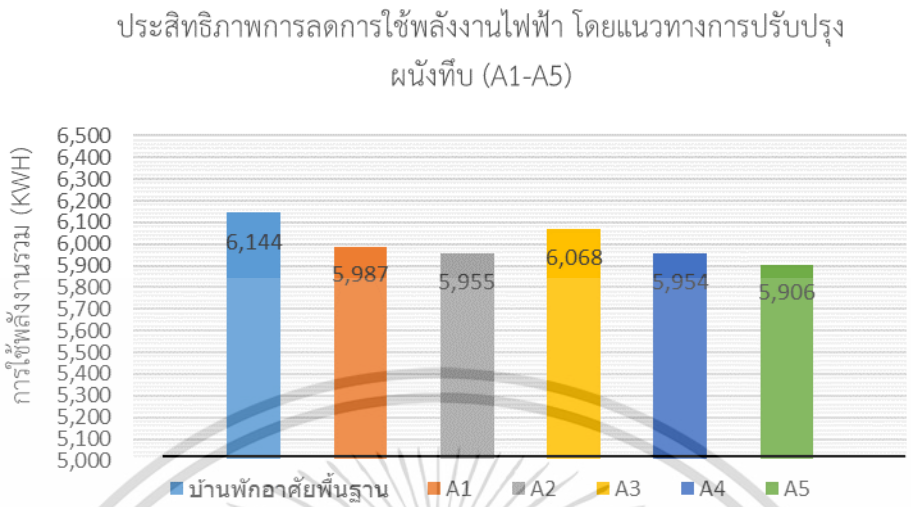
รูปที่ 4.14 แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแนวทางการปรับปรุงผนังทึบในพื้นที่ไม่ปรับอากาศ
ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

และเมื่อจำลองการใช้พลังงานภายในอาคารตามแนวทางการปรับปรุงผนังทึบด้วยโปรแกรม DOE-2.1E ได้ผล ดังตารางที่ 4.23

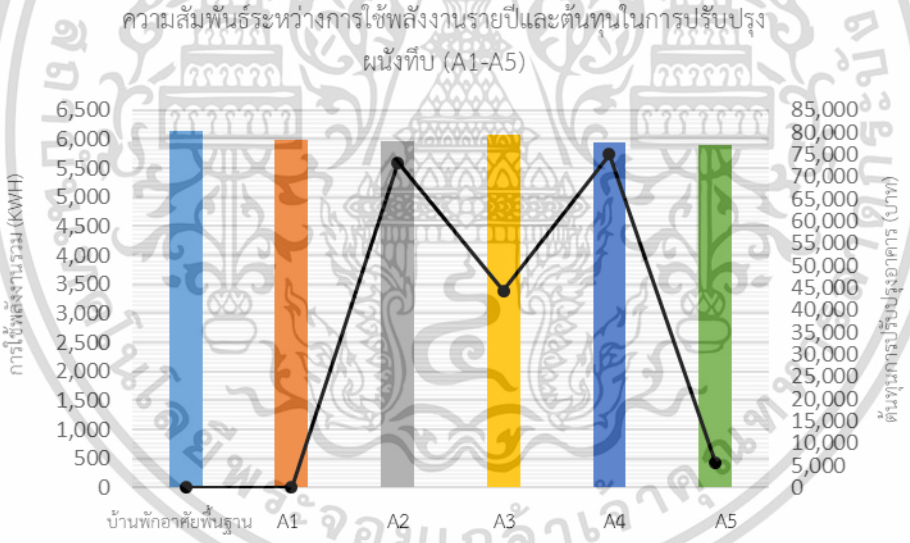
ตารางที่ 4.23 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน โดยแนวทางการปรับปรุงผนังทึบ (A1-A5)

แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานรายเดือน (kWh)												
กรอบอาคาร	**ชื่อ**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	**รวม**
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		408	485	572	590	560	506	523	564	528	537	425	446	**6,144**
ผนังทึบ (A)	**A1**	418	470	552	571	543	488	505	545	512	523	420	440	**5,987**
	A2	423	464	550	567	541	483	500	539	509	520	420	439	**5,955**
	A3	417	477	564	582	552	487	514	554	521	531	424	445	**6,068**
	A4	423	464	550	566	541	483	500	539	509	520	420	439	**5,954**
	A5	382	465	554	574	540	487	504	545	510	517	407	421	**5,906**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยแนวทางการปรับปรุงผนังทึบ
ที่มา : ผู้วิจัย(2564)



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์การใช้พลังงานรายปีและต้นทุนในการปรับปรุงผนังทึบ
ที่มา : ผู้วิจัย(2564)

จากรูปที่ 4.16 เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยและราคาต้นทุนในการปรับปรุงผนังทึบ (A1-A5) พบว่า

การเปลี่ยนชนิดของผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา (A1) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 2.56 แต่ราคาต้นทุนในการปรับปรุงเป็น 0 บาท เนื่องจากราคาการก่อสร้างตามแนวทาง A1 มีราคาถูกกว่าราคาก่อสร้างของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งฉนวนใยแก้วแบบแผ่นสำหรับงานผนัง ความหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซัม 12 มม. (A2) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 3.08 ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อฉนวนใยแก้วแบบแผ่นหนา 50 มม. และแผ่นยิปซัมหนา 12 มม. และช่องว่างอากาศ 3 ซม. ซึ่งมีราคาต้นทุนในการปรับปรุงค่อนข้างสูง

การเว้นช่องว่างอากาศ กว้าง 9 ซม. เสริมแผ่นยิปซัม 12 มม. (A3) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 1.24 โดยมีราคาต้นทุนในการปรับปรุงต่ำกว่าแนวทางการติดตั้งฉนวน เนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายค่าฉนวน แต่ก็ส่งผลให้แนวทางการเว้นช่องว่างอากาศมีค่าต้านทานความร้อนต่ำกว่าเช่นกัน

การติดตั้งฉนวน EPS ชนิดแผ่นสำเร็จรูป ความหนาแน่น 25 กก./ลบ.ม. และช่องว่างอากาศ 3 ซม. (A4) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 3.09 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับแนวทางการติดตั้งฉนวนใยแก้วแบบแผ่นสำหรับงานผนัง ความหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซัม 12 มม. (A2) ซึ่งฉนวน EPS ชนิดแผ่นสำเร็จรูปนั้นประกอบด้วยเนื้อฉนวนหนา 50 มม.กับแผ่นยิปซัม หนา 9 มม. และช่องว่างอากาศ 3 ซม. ซึ่งมีค่าต้านทานความร้อนสูงที่สุดในศึกษา แต่วัสดุฉนวนมีความหนา ความหนาแน่น ค่าการนำความร้อน และราคาวัสดุแตกต่างกัน จึงต้องพิจารณาความเหมาะสมจากระยะเวลาคืนทุน

การทาสีขาว หรือสีสะท้อนความร้อน (A5) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 3.87 ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถลดการใช้พลงงานได้มากที่สุด และมีราคาต้นทุนในการปรับปรุงต่ำกว่าแนวทางการเพิ่มฉนวนกันความร้อน

เมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางการลงทุนของแนวทางการปรับปรุงผนังทึบ โดยมีวิธีคำนวณแบบระยะระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) หรือระยะเวลาในการได้รับผลตอบแทนเท่ากับเงินลงทุนของแต่ละแนวทาง โดยคำนวณดังสมการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (Total Investment)}}{\text{ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (Annual Energy Cost Saving)}}$$

การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง โดยคิดตามอัตราค่าไฟฟ้ารายเดือน ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย ได้ผลดังตารางที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.24 แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางปรับปรุงผนังทึบ

แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)		พลังงานที่ประหยัดได้ (%)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)	ราคาลงทุน		ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
วัสดุกรอบอาคาร	ชื่อ	การใช้พลังงานรวม	พลังงานที่ประหยัดได้				ราคาก่อสร้าง (แรกเริ่ม) (บาท)	จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)	
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		6,144	-	-	24,622	-	1,976,680	-	-
ผนังทึบ (A)	A1	5,987	157	2.56 %	23,960	663	1,972,766	-3,914	0
	A2	5,955	189	3.08 %	23,825	798	2,049,825	73,144	91.7
	A3	6,068	76	1.24 %	24,302	321	2,020,952	44,271	138
	A4	5,954	190	3.09 %	23,821	802	2,051,750	75,070	93.6
	A5	5,906	238	3.87 %	23,618	1,004	1,982,166	5,486	5.5

จากตารางที่ 4.24 แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางปรับปรุงผนังทึบ พบว่า

การเปลี่ยนชนิดของผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา (A1) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 2.56 และประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 663 บาท/ปี โดยมีราคาก่อสร้างต่ำกว่าบ้านพักอาศัยพื้นฐาน 3,913 บาท แนวทางนี้จึงไม่สามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุน

การติดตั้งฉนวนใยแก้วแบบแผ่นสำหรับงานผนัง ความหนาแน่น 32 กก./ลบ.ม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซัม 12 มม. (A2) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 3.08 และประหยัดค่าไฟฟ้า 798 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 73,144 บาท ระยะเวลาคืนทุน 91.7 ปี

การเว้นช่องว่างอากาศ กว้าง 9 ซม. เสริมแผ่นยิปซัม 12 มม. (A3) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 1.24 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 321 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 44,271 บาท ระยะเวลาคืนทุน 138 ปี

การติดตั้งฉนวน EPS ชนิดแผ่นสำเร็จรูป ความหนาแน่น 25 กก./ลบ.ม. และช่องว่างอากาศ 3 ซม. (A4) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 3.09 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 802 บาท/ปี ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานได้เป็นอันดับที่สองของแนวทางการปรับปรุงผนังทึบ โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 75,070 บาท ระยะเวลาคืนทุน 93.6 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทาสีขาว หรือสีสะท้อนความร้อน (A5) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 3.87 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 1004 บาท/ปี ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดในแนวทางการปรับปรุงผนังทึบทั้งหมด โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 5,486 บาท ระยะเวลาคืนทุน 5.5 ปี

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมด้านการลงทุน โดยแบ่งออกเป็น 4 แนวทางที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีการลดอุณหภูมิดีที่สุด วิธีการปรับปรุงที่คืนทุนเร็วที่สุด วิธีการปรับปรุงที่ลงทุนต่ำที่สุด และวิธีการปรับปรุงที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.25 แสดงการสรุปผลการเลือกแนวทางปรับปรุงผนังทึบที่เหมาะสมด้านการลงทุน

แนวทางที่เหมาะสม	ชื่อ	พลังงานที่ประหยัดได้ (%)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)	จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ลงทุนต่ำที่สุด	A1	2.56 %	663	-3,913	0
คืนทุนเร็วที่สุด					
ลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด	A5	3.87 %	1,004	5,486	5.4
ลดอุณหภูมิดีที่สุด					

จากตารางที่ 4.25 แนวทางการปรับปรุงที่มีระยะคืนทุนเร็วที่สุด และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงต่ำที่สุดคือ การเปลี่ยนชนิดของผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา (A1) ซึ่งมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง -3,913.91 บาท เนื่องจากราคาก่อสร้างของแนวทาง A1 มีราคาถูกกว่าราคาก่อสร้างของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน และสามารถลดพลังงานลงได้ร้อยละ 2.56 จึงไม่มีระยะเวลาคืนทุน และสำหรับแนวทางที่สามารถลดอุณหภูมิและลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ การทาสีขาวหรือสีสะท้อนความร้อน (A5) สามารถลดพลังงานได้ร้อยละ 3.87 ลดค่าไฟฟ้า 1,004 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 5.4 ปี ซึ่งทั้ง 2 แนวทางนี้สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกันได้

2) ผนังโปร่งแสง (B)

การปรับปรุงวัสดุผนังโปร่งแสง แบ่งแนวทางการปรับปรุงเป็น 3 แนวทาง (B1-B2) โดยแนวทาง B1.1-B1.2 คือการเปลี่ยนชนิดของกระจกหน้าต่าง และแนวทาง B2 คือการติดฟิล์มลดความร้อนที่กระจกใสเดิม ดังตารางที่ 4.25 และมีรายละเอียดของวัสดุดังตารางที่ 4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.26 แสดงแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสง

กรอบอาคาร	ชื่อ	วิธีการปรับปรุง
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		กระจกโฟลต์ใส 5 มม.
ผนังโปร่งแสงภายนอก (B)	**B1-1**	เปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกโฟลต์ สีเขียวเข้ม Energy green 5 มม.
	B1-2	เปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสง สีเขียว 6 มม.
	B2	ติดตั้งฟิล์มลดความร้อนสีเทาอ่อน

ตารางที่ 4.27 แสดงรายละเอียดวัสดุของแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสง

ชื่อ	วิธีการปรับปรุง	U-Value (W/m2 °C)	SHGC	VT	$R_{VIS-OUT}$	LSG	ราคาวัสดุ/ตร.ฟุต (บาท)
กระจกเดิม	กระจกโฟลต์ใส 5 มม.	5.83	0.83	91	8	1.06	-
B1-1	กระจกโฟลต์สีเขียวเข้ม Energy green 5 มม.	5.73	0.57	64.5	8	1.24	52
B1-2	กระจกสะท้อนแสง สีเขียว 6 มม.	4.09	0.42	56	7	1.34	132
B2	ฟิล์มลดความร้อนสีเทาอ่อน	5.62	0.50	60	7	1.03	100

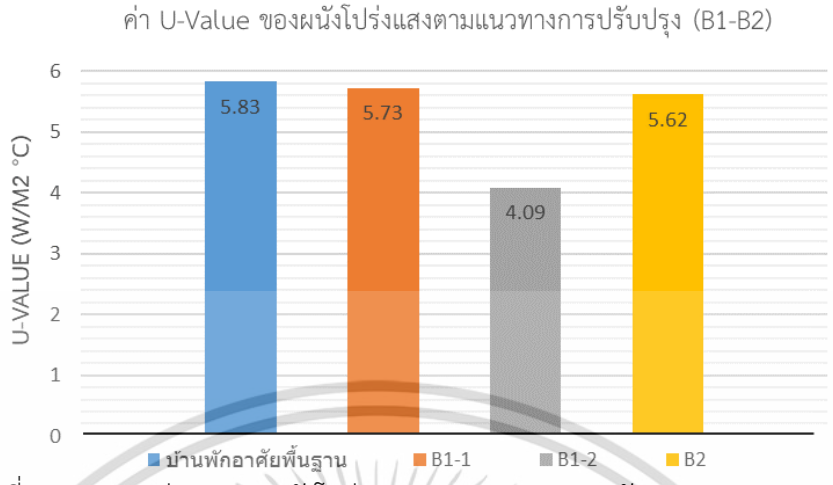
หมายเหตุ: คุณสมบัติของแนวทาง B2 เป็นค่าเมื่อติดฟิล์มลดความร้อนลงบนกระจกใสเดิม

จากตารางที่ 4.27 การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient, U value) พบว่ากระจกสะท้อนแสงสีเขียว (B1-2) มีค่า U ต่ำที่สุดในแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสงทั้งหมด โดยกระจกโฟลต์สีเขียวเข้ม Energy green (B1-1) มีค่า U ใกล้เคียงกับฟิล์มลดความร้อนสีเทาอ่อน (B2) ซึ่งลดลงจากกระจกเดิมเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.17

การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient, SHGC) พบว่ากระจกสะท้อนแสงสีเขียว (B1-2) มีค่า SHGC ต่ำที่สุดเช่นกัน ดังรูปที่ 4.18

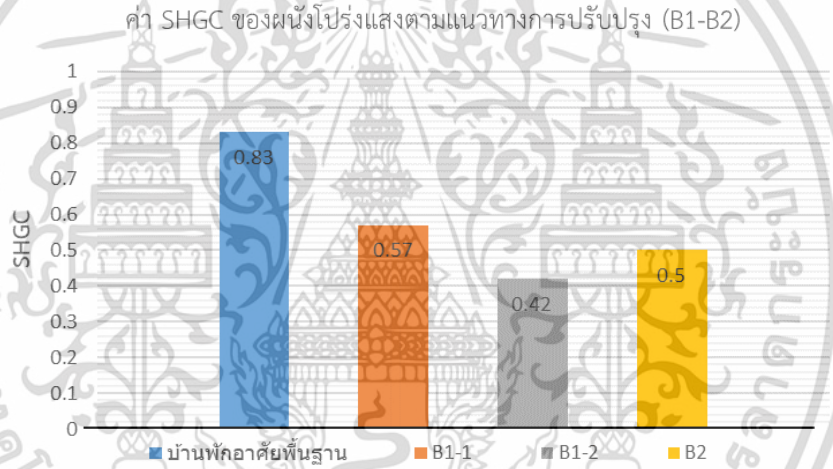
การศึกษาค่าการส่งผ่านของแสงธรรมชาติต่อค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Light to solar gain, LSG) พบว่ากระจกสะท้อนแสงสีเขียว (B1-2) มีค่า LSG สูงที่สุดในแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสงทั้งหมด และพบว่าการติดฟิล์มลดความร้อนสีเทาอ่อน (B2) มีค่า SHGC ต่ำกว่าการเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกโฟลต์สีเขียวเข้ม Energy green (B1-1) เล็กน้อย แต่มีค่า LSG ต่ำที่สุด ดังรูปที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



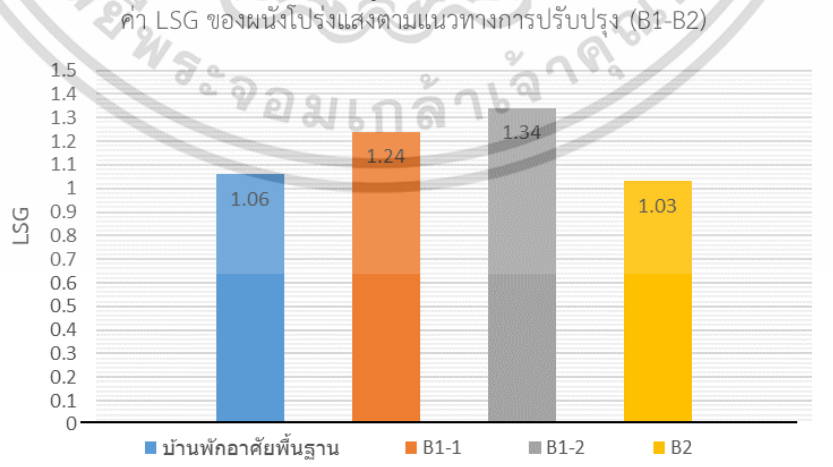
รูปที่ 4.17 แสดงค่า U ของผนังโปร่งแสงตามแนวทางการปรับปรุง (B1-B2)

ที่มา : ผู้วิจัย(2564)



รูปที่ 4.18 แสดงค่า SHGC ของผนังโปร่งแสงตามแนวทางการปรับปรุง (B1-B2)

ที่มา : ผู้วิจัย(2564)



รูปที่ 4.19 แสดงค่า LSG ของผนังโปร่งแสงตามแนวทางการปรับปรุง (B1-B2)

ที่มา : ผู้วิจัย(2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษาที่ได้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศและห้องไม่ปรับอากาศของแนวทางการปรับปรุงวัสดุโปร่งแสงที่ได้จากโปรแกรม DOE 2.1E ได้ดังตารางที่ 4.28

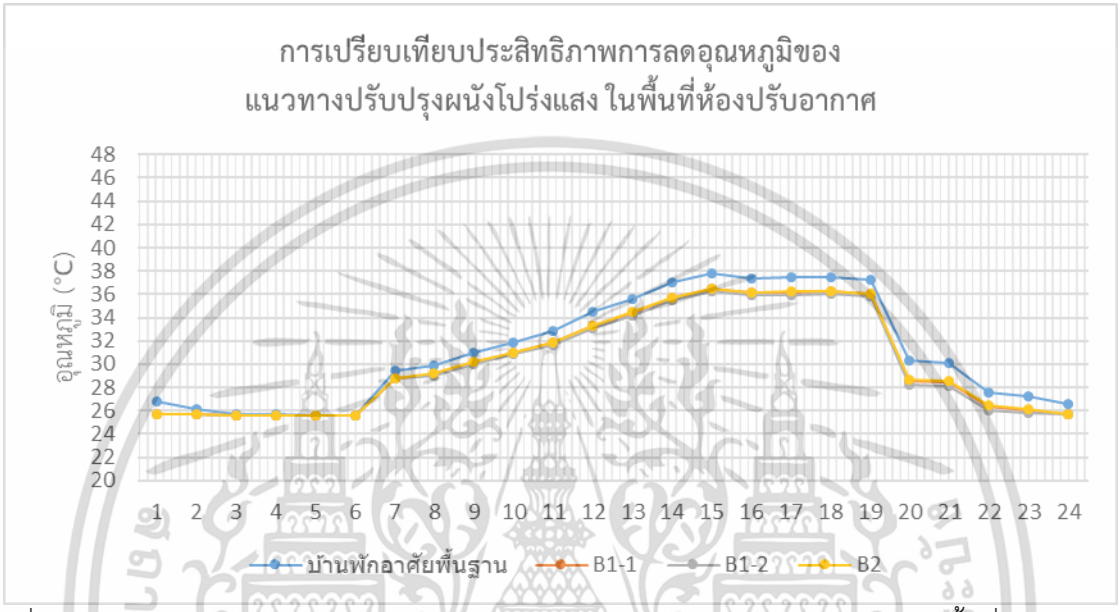
ตารางที่ 4.28 แสดงอุณหภูมิรายชั่วโมงภายในห้องปรับอากาศ ห้องไม่ปรับอากาศ ของแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสง

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน (°C)		อุณหภูมิของ B1-1 (°C)		อุณหภูมิของ B1-2(°C)		อุณหภูมิของ B2 (°C)	
	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ
1	26.78	34.11	25.67	32.89	25.67	32.72	25.67	32.94
2	26.17	33.33	25.67	32.22	25.67	32.11	25.67	32.22
3	25.67	32.67	25.61	31.67	25.61	31.61	25.61	31.72
4	25.67	31.89	25.61	31.11	25.61	31.06	25.61	31.11
5	25.61	31.50	25.61	30.78	25.56	30.72	25.61	30.78
6	25.61	31.11	25.56	30.39	25.56	30.33	25.56	30.44
7	29.44	30.72	28.83	30.11	28.78	30.06	28.83	30.11
8	29.83	31.39	29.11	30.61	29.00	30.50	29.17	30.61
9	30.94	32.11	30.11	31.22	30.00	31.11	30.17	31.28
10	31.89	32.78	30.94	31.83	30.83	31.67	31.00	31.83
11	32.83	33.72	31.83	32.61	31.67	32.44	31.89	32.67
12	34.44	35.06	33.33	33.89	33.11	33.72	33.33	33.94
13	35.56	36.11	34.39	34.89	34.22	34.67	34.44	34.94
14	37.00	37.33	35.72	36.00	35.44	35.78	35.72	36.06
15	37.78	38.28	36.44	36.89	36.22	36.67	36.50	36.94
16	37.39	37.72	36.11	36.39	35.89	36.17	36.17	36.44
17	37.44	37.94	36.17	36.61	35.94	36.39	36.22	36.61
18	37.50	37.94	36.22	36.61	36.06	36.44	36.28	36.67
19	37.22	37.72	36.00	36.33	35.78	36.17	36.00	36.39
20	30.28	37.39	28.61	36.11	28.22	35.94	28.67	36.17
21	30.11	35.61	28.50	34.44	28.11	34.28	28.56	34.44
22	27.56	34.94	26.39	33.78	26.06	33.61	26.44	33.78
23	27.22	33.78	26.06	32.78	25.78	32.67	26.11	32.83
24	26.56	33.17	25.67	32.22	25.67	32.11	25.67	32.22

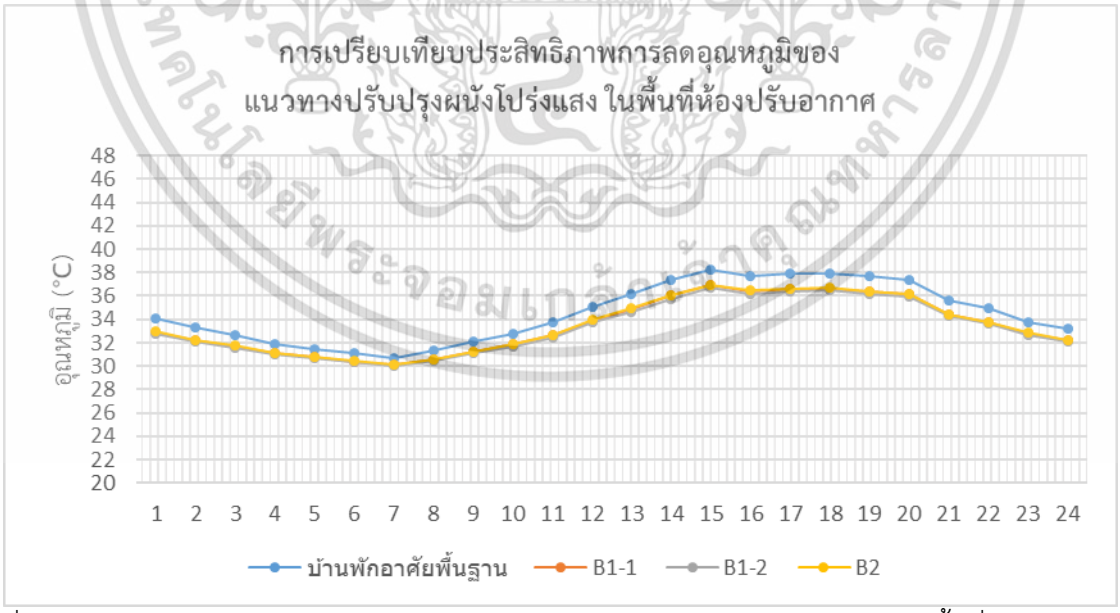
หมายเหตุ: อุณหภูมิห้องปรับอากาศและห้องไม่ปรับอากาศ คือ อุณหภูมิในพื้นที่ BED2 (รูปที่ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาการเปรียบเทียบอุณหภูมิรายชั่วโมงภายในห้องปรับอากาศและห้องไม่ปรับอากาศ ของแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสง โดยจากการศึกษาพบว่า การปรับปรุงวัสดุผนังโปร่งแสงทั้ง 3 แนวทางสามารถลดอุณหภูมิภายในห้องลงได้ใกล้เคียงกัน โดยแนวทาง B1-2 สามารถลดอุณภูมิภายในห้องปรับอากาศและพื้นที่ห้องไม่ปรับอากาศได้มากที่สุด ดังรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.20 แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสงในพื้นที่ปรับอากาศ
ที่มา : ผู้วิจัย (2564)



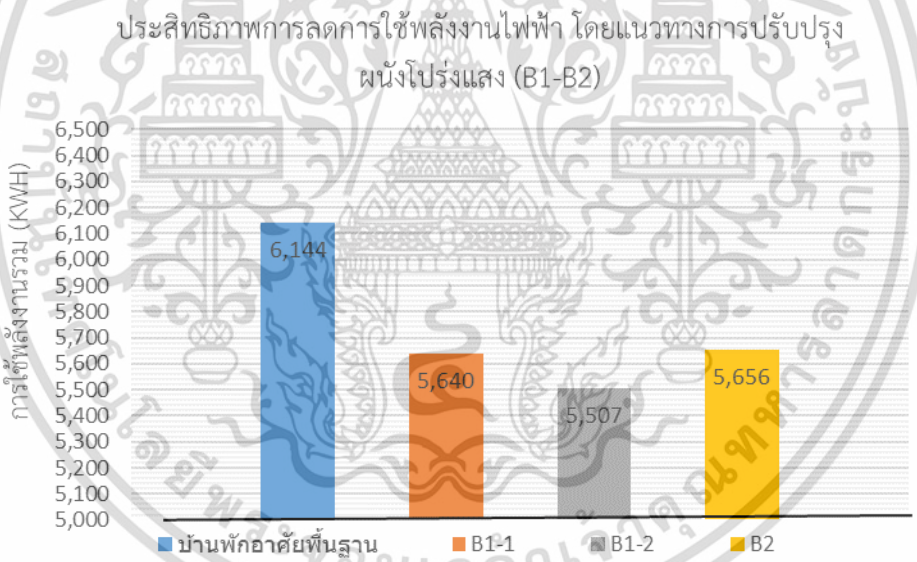
รูปที่ 4.21 แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสงในพื้นที่ไม่ปรับอากาศ
ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อจำลองการใช้พลังงานภายในอาคารตามแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสง ด้วยโปรแกรม DOE-2.1E ได้ผล ดังตารางที่ 4.29

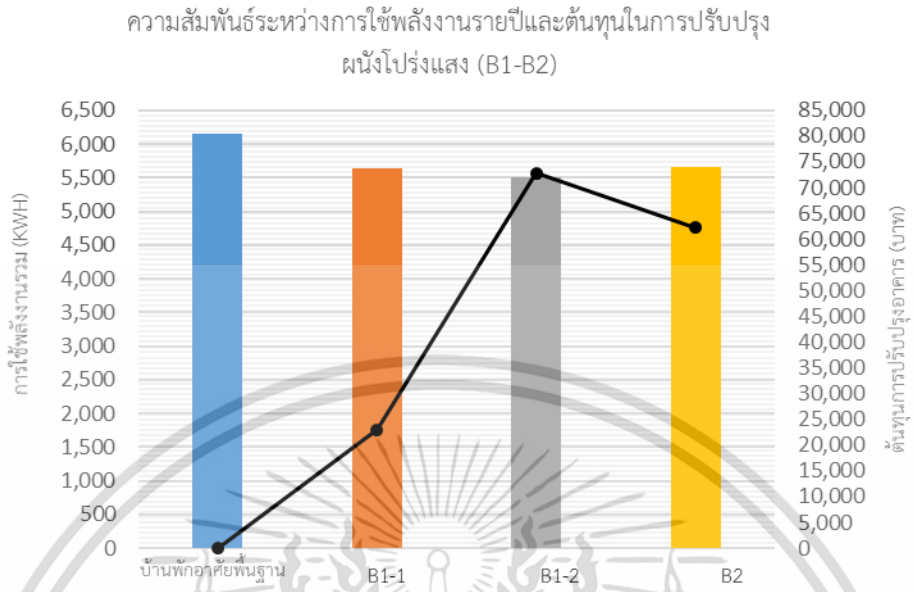
ตารางที่ 4.29 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน โดยแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสง (B1-B2)

แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานรายเดือน (kWh)												
กรอบอาคาร	**ชื่อ**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	**รวม**
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		408	485	572	590	560	506	523	564	528	537	425	446	**6,144**
ผนังโปร่งแสง (B)	**B1-1**	359	445	531	553	518	465	482	522	487	493	387	398	**5,640**
	B1-2	350	434	519	541	506	455	470	510	475	481	379	387	**5,507**
	B2	361	446	532	554	519	467	483	524	488	494	389	399	**5,656**



รูปที่ 4.22 แสดงประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานโดยแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสง
ที่มา : ผู้วิจัย(2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์การใช้พลังงานรายปีและต้นทุนในการปรับปรุงผนังโปร่งแสง

ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

จากรูปที่ 4.23 เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าและราคาต้นทุนในการปรับปรุงผนังโปร่งแสง (B1-B2) พบว่า

การเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกโฟลต์สีเขียวเข้ม Energy green (B1-1) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 8.2 และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงต่ำที่สุดในแนวทางการปรับปรุงวัสดุผนังโปร่งแสงทั้งหมด

การเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสงสีเขียว (B1-2) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 10.37 ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงสูงที่สุดในแนวทางการปรับปรุงวัสดุผนังโปร่งแสงทั้งหมดเช่นกัน

การติดตั้งฟิล์มลดความร้อนสีเทาอ่อน (B2) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 7.94 ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับแนวทางการเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกโฟลต์สีเขียวเข้ม Energy green (B1-1) แต่มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงที่สูงกว่า

เมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางการลงทุนของแนวทางการปรับปรุงผนังโปร่งแสง โดยมีวิธีคำนวณแบบระยะระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) หรือระยะเวลาในการได้รับผลตอบแทนเท่ากับเงินลงทุนของแต่ละแนวทาง โดยคำนวณดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (Total Investment)}}{\text{ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (Annual Energy Cost Saving)}}$$

การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง โดยคิดตามอัตราค่าไฟฟ้ารายเดือน ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย ได้ผลดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางปรับปรุงผนังโปร่งแสง

แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)		พลังงานที่ประหยัดได้ (%)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)	ราคาลงทุน		ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
วัสดุกรอบอาคาร	ชื่อ	การใช้พลังงานรวม	พลังงานที่ประหยัดได้				ราคาก่อสร้าง (แรกเริ่ม) (บาท)	จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)	
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		6,144	-	-	24,622	-	1,976,680	-	-
ผนังโปร่งแสงภายนอก (B)	B1-1	5,640	504	8.20 %	22,495	2,127	1,999,709	23,029	10.8
	B1-2	5,507	637	10.37 %	21,934	2,688	2,049,502	72,822	27.1
	B2	5,656	488	7.94 %	22,563	2,059	2,038,921	62,241	30.2

จากตารางที่ 4.30 แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางปรับปรุงผนังโปร่งแสง โดยพื้นที่กระจกหรือผนังโปร่งแสงทั้งหมด 48.85 ตร.ม. หรือ 525.81 ตร.ฟุต พบว่า

การเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกโฟลต์สีเขียวเข้ม Energy green (B1-1) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 8.2 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2,127 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 23,029 บาท ระยะเวลาคืนทุน 10.8 ปี ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

การเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสงสีเขียว (B1-2) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 10.37 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2,688 บาท/ปี ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 72,822 บาท ระยะเวลาคืนทุน 27.1 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดฟิล์มลดความร้อนที่กระจกใสเดิม (B2) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 7.94 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2,059 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 62,241 บาท ระยะเวลาคืนทุน 30.2 ปี ซึ่งเป็นแนวทางที่ลดการใช้พลังงานได้น้อยกว่าแนวทางการเปลี่ยนชนิดกระจก และเมื่อพิจารณาร่วมกับอายุการใช้งานของฟิล์มที่เลือกใช้ คือ ฟิล์มเคลือบละอองโลหะ (Metal reflective film) ซึ่งมีอายุการใช้งานโดยประมาณไม่เกิน 5 ปี สรุปได้ว่า แนวทางการปรับปรุงด้วยการติดฟิล์มลดความร้อนชนิดนี้ไม่มีความคุ้มค่าการลงทุนมากเพียงพอ

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมด้านการลงทุน โดยแบ่งออกเป็น 4 แนวทางที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีการลดอุณหภูมิดีที่สุด วิธีการปรับปรุงที่คืนทุนเร็วที่สุด วิธีการปรับปรุงที่ลงทุนต่ำที่สุด และวิธีการปรับปรุงที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.31 แสดงการสรุปผลการเลือกแนวทางปรับปรุงผนังทึบที่เหมาะสมด้านการลงทุน

แนวทางที่เหมาะสม	ชื่อ	พลังงานที่ประหยัดได้ (%)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)	จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
คืนทุนเร็วที่สุด	B1-1	8.20 %	2,127	23,029	10.8
ลงทุนต่ำที่สุด					
ลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด	B1-2	10.37 %	2,688	72,822	27.1
วิธีการลดอุณหภูมิดีที่สุด					

จากตารางที่ 4.31 แนวทางที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดและค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงต่ำที่สุดคือ การเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกโฟลต์สีเขียวเข้ม Energy green (B1-1) มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 23,029 บาท ระยะคืนทุน 10.8 ปี และสำหรับแนวทางที่สามารถลดลดอุณหภูมิ และลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ การเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสงสีเขียว (B1-2) สามารถลดพลังงานลงได้ร้อยละ 10.37 สามารถประหยัดค่าไฟฟ้า 2,688 บาทต่อปี ระยะคืนทุน 27.1 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

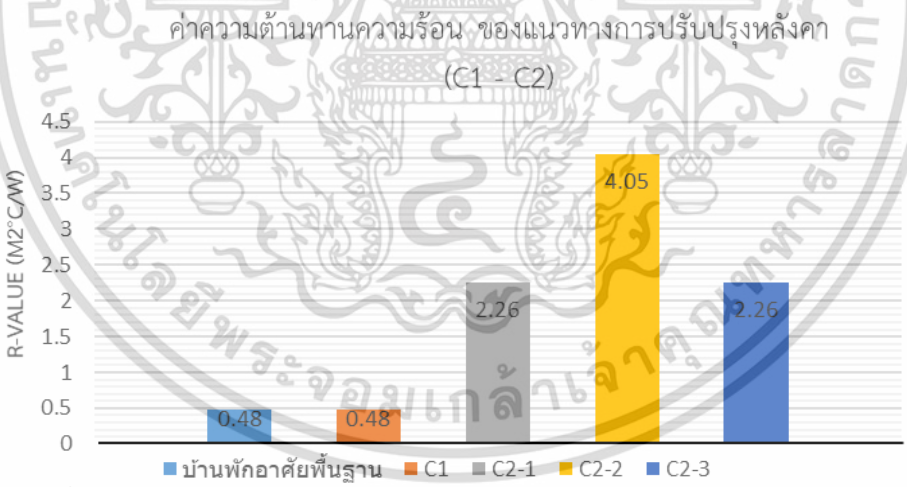
3) หลังคา (C)

แนวทางการปรับปรุงวัสดุหลังคา ได้แก่ แนวทาง C1 คือการเปลี่ยนสีกระเบื้องหลังคา และแนวทาง C2 คือการติดฉนวนกันความร้อนใยแก้ว โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 แสดงแนวทางการปรับปรุงหลังคา

กรอบอาคาร	ชื่อ	วิธีการปรับปรุง	R-Value (m^2°C/W)
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		กระเบื้องลอนคู่สีอ่อน + ฝ้ายิปซัมบอร์ดหนา 9 มม.	0.480
หลังคา (C)	C1	เปลี่ยนสีกระเบื้องหลังคาเป็นสีขาว/สีสะท้อนความร้อน	0.480
	C2-1	ฉนวนใยแก้ว สำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม.	2.26
	C2-2	ฉนวนใยแก้ว สำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.0150 ม.	4.05
	C2-3	ฉนวนใยแก้ว รุ่นอัลตราคูล ที่ติดตั้งบนแป ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม.	2.26

หมายเหตุ: ค่า R-Value ของหลังคาหลังปรับปรุงแล้ว (หลังคา+ช่องว่างอากาศ+ฉนวน+ฟิล์มอากาศ)



รูปที่ 4.24 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของหลังคาแต่ละแนวทาง (C1-C2)

ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

จากรูปที่ 4.24 เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อนของหลังคาแต่ละแนวทาง (C1-C2) พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนสีกระเบื้องหลังคาเป็นสีขาว หรือสีสะท้อนความร้อน (C1) มีค่า R ของหลังคาเท่ากับหลังคาเดิม เนื่องจากการทาสีขาวหรือสีสะท้อนแสง เป็นการลดการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์เท่านั้น ไม่สามารถเพิ่มค่า R ของหลังคาให้สูงขึ้นจากเดิมได้

การติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม. (C2-1) สามารถเพิ่มค่า R สูงขึ้นจากหลังคาเดิมมากเป็นอันดับสองจากผลการศึกษาทั้งหมด โดยมีค่า R สูงถึง 2.26 m2°C/W

การติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.0150 ม. (C2-2) สามารถเพิ่มค่า R สูงขึ้นจากหลังคาเดิมมากที่สุดจากผลการศึกษาทั้งหมด โดยมีค่า R สูงถึง 4.05 m2°C/W ซึ่งฉนวนใยแก้วที่นำมาเป็นกรณีศึกษาทั้งหมดมีค่าการนำความร้อน (K-Value) อยู่ที่ประมาณ 0.042-0.043 W/(m.°C) ดังนั้นค่า R ที่แตกต่างกันจึงขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุ

การติดตั้งฉนวนใยแก้วรุ่นอัลตราคูล ติดตั้งบนแป ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม. (C2-3) สามารถเพิ่มค่า R สูงขึ้นจากหลังคาเดิมมากเป็นอันดับสองจากผลการศึกษาทั้งหมด เท่ากับแนวทางการติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL หนา 75 มม. ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม. (C2-1) โดยมีค่า R สูงถึง 2.26 m2°C/W

จากผลการศึกษาที่ได้ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศและห้องไม่ปรับอากาศ และโถงหลังคา ของแนวทางการปรับปรุงวัสดุหลังคาที่ได้จากโปรแกรม DOE 2.1E ได้ดังตารางที่ 4.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

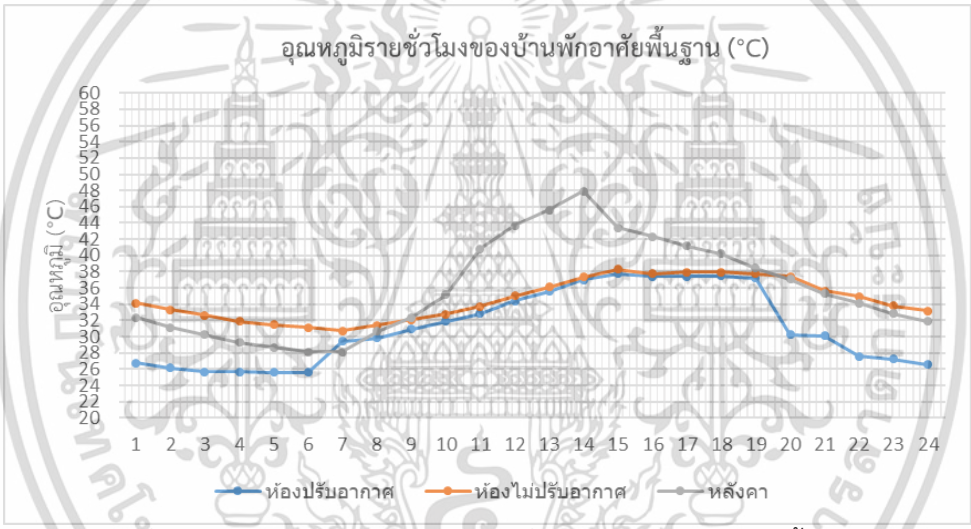
ตารางที่ 4.33 แสดงอุณหภูมิรายชั่วโมงภายในห้องปรับอากาศ ห้องไม่ปรับอากาศ และหลังคาของแนวทางปรับปรุงหลังคา

ชั่วโมงที่	อุณหภูมิของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน (°C)			อุณหภูมิของ C1 (°C)			อุณหภูมิของ C2-1 (°C)			อุณหภูมิของ C2-2 (°C)			อุณหภูมิของ C2-3 (°C)		
	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ	หลังคา	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ	หลังคา	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ	หลังคา	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ	หลังคา	ห้องปรับอากาศ	ห้องไม่ปรับอากาศ	หลังคา
1	26.78	34.11	32.33	26.22	33.28	30.50	25.67	34.06	33.72	25.67	32.50	33.89	27.00	35.28	31.89
2	26.17	33.33	31.17	25.67	32.56	29.56	25.67	33.44	32.39	25.67	32.11	32.56	26.33	34.44	30.44
3	25.67	32.67	30.28	25.67	31.89	28.83	25.61	32.94	31.39	25.61	31.78	31.56	25.78	33.67	29.44
4	25.67	31.89	29.28	25.67	31.28	28.06	25.61	32.33	30.22	25.61	31.44	30.33	25.67	32.83	28.11
5	25.61	31.50	28.67	25.61	30.94	27.61	25.61	32.06	29.56	25.61	31.11	29.67	25.67	32.33	27.67
6	25.61	31.11	28.11	25.61	30.56	27.22	25.56	31.67	28.89	25.56	30.83	28.94	25.61	31.89	27.11
7	29.44	30.72	28.11	29.00	30.22	27.17	29.33	31.39	28.78	29.33	30.83	28.89	29.67	31.44	27.28
8	29.83	31.39	30.67	29.39	30.83	28.78	29.83	32.06	31.39	29.78	31.61	31.50	30.06	32.06	30.83
9	30.94	32.11	32.39	30.39	31.50	30.17	30.78	32.56	33.22	30.72	31.83	33.33	31.22	32.89	33.44
10	31.89	32.78	35.17	31.28	32.11	32.00	31.61	33.06	36.28	31.56	32.22	36.39	32.28	33.61	37.50
11	32.83	33.72	40.83	32.11	32.89	36.28	32.22	33.67	42.72	32.11	33.11	42.89	33.28	34.61	46.94
12	34.44	35.06	43.72	33.50	34.00	38.22	33.22	34.44	46.00	33.11	33.83	46.22	35.39	36.44	52.50
13	35.56	36.11	45.61	34.50	34.94	39.67	34.11	35.11	48.11	33.94	34.33	48.39	37.00	37.94	53.94
14	37.00	37.33	47.89	35.78	36.00	41.39	35.22	36.00	50.72	35.06	35.33	51.06	38.50	39.22	58.61
15	37.78	38.28	43.39	36.44	36.83	38.61	35.72	36.56	45.61	35.50	36.33	45.83	39.61	40.44	50.17
16	37.39	37.72	42.33	36.22	36.44	37.89	35.83	36.50	44.22	35.67	37.56	44.44	38.94	39.67	45.61
17	37.44	37.94	41.17	36.28	36.67	37.28	36.00	36.72	43.06	35.83	39.17	43.28	38.56	39.33	44.61
18	37.50	37.94	40.22	36.39	36.78	36.44	36.22	36.94	41.89	36.06	39.06	42.11	38.61	39.28	42.67
19	37.22	37.72	38.44	36.17	36.56	35.22	36.17	36.94	39.78	36.00	39.11	39.94	38.28	39.06	39.67
20	30.28	37.39	37.06	29.28	36.28	34.33	28.50	36.78	38.22	28.33	38.89	38.39	30.94	38.50	37.94
21	30.11	35.61	35.28	29.11	34.61	32.89	28.44	35.06	36.61	28.28	37.17	36.78	30.78	36.78	35.67
22	27.56	34.94	34.11	27.00	33.94	32.00	26.28	34.56	35.33	26.17	36.33	35.50	27.78	36.06	34.17
23	27.22	33.78	32.83	26.67	32.94	31.00	26.00	33.56	34.06	25.89	35.44	34.22	27.44	34.83	32.61
24	26.56	33.17	31.89	26.06	32.39	30.22	25.67	33.06	33.00	25.67	34.83	33.17	26.72	34.17	31.39

หมายเหตุ: อุณหภูมิห้องปรับอากาศและห้องไม่ปรับอากาศ คือ อุณหภูมิในพื้นที่ BED2 (รูปที่ 1)

จากตารางที่ 4.33 การเปรียบเทียบอุณหภูมิของห้องปรับอากาศ ห้องไม่ปรับอากาศ และใต้หลังคา ตามแนวทางการปรับปรุงหลังคา พบว่า

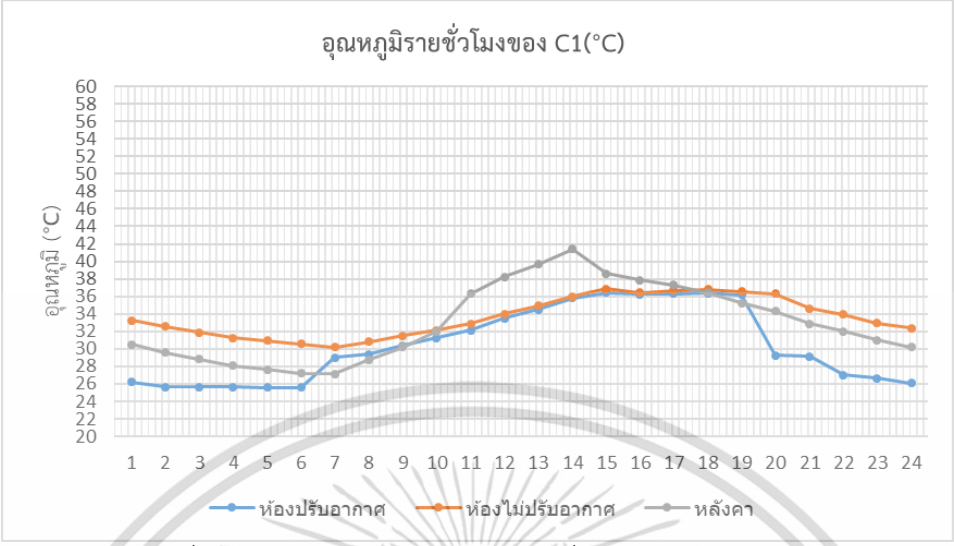
บ้านพักอาศัยอาศัยพื้นฐาน ไม่มีฉนวนกันความร้อนที่ใต้หลังคา มีอุณหภูมิในพื้นที่ช่องว่างอากาศระหว่างหลังคาและฝ้าเพดานอยู่ที่ 28.11-47.89 °C และมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 47.89 °C เวลาประมาณ 14.00 น. และจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงเวลา 7.00 น. และในส่วนของห้องไม่ปรับอากาศ อุณหภูมิจะอยู่ที่ 30.72-38.28 °C หมายถึงโถงหลังคาจะสะสมความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และถ่ายเทความร้อนลงสู่ห้องด้านล่าง ทำให้ช่วงเวลากลางคืนเมื่ออุณหภูมิหลังคาลดลง แต่อุณหภูมิภายในห้องยังคงสูง และสำหรับห้องปรับอากาศมีอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ปิดเครื่องเครื่องปรับอากาศที่ 29.44-37.50 ซึ่งใกล้เคียงกับห้องไม่ปรับอากาศ แต่เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศเวลา 19.00-6.00 น. อุณหภูมิจึงลดลงเรื่อย ๆ จนถึง 25.61 °C ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิรายชั่วโมงของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน
ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

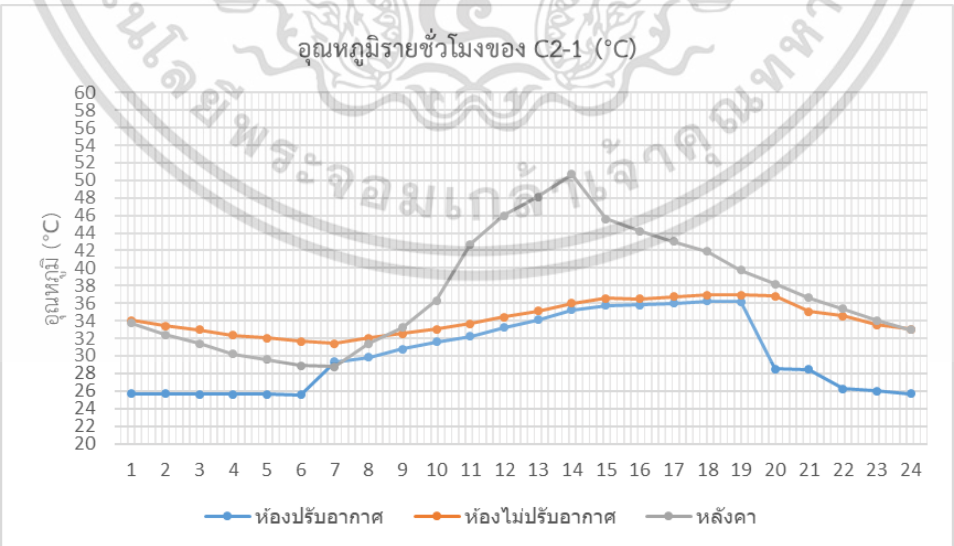
การเปลี่ยนสีกระเบื้องหลังคาเป็นสีขาว หรือสีสะท้อนความร้อน (C1) อุณหภูมิในพื้นที่ช่องว่างอากาศระหว่างหลังคาและฝ้าเพดานอยู่ที่ 27.17-41.39 °C มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 41.39 °C เวลาประมาณ 14.00 น. จะลดลงเรื่อย ๆ จนเวลา 7.00 น. และในส่วนของห้องไม่ปรับอากาศ อุณหภูมิจะอยู่ที่ 30.22-36.83 °C และสำหรับห้องปรับอากาศมีอุณหภูมิในช่วงเวลาปิดเครื่องเครื่องปรับอากาศที่ 29.00-36.39 แต่เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศเวลา 19.00-6.00 น. ลดลงจนถึง 29.00 °C ดังรูปที่ 4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิรายชั่วโมงของแนวทาง C1
ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

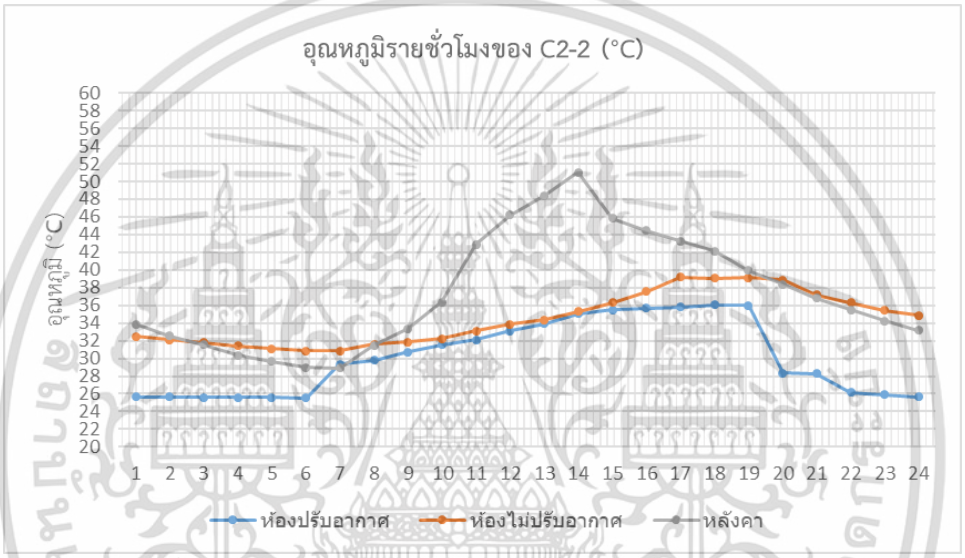
การติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม. (C2-1) อุณหภูมิในพื้นที่ช่องว่างอากาศระหว่างหลังคาและฝ้าเพดานอยู่ที่ 28.78-50.72 °C และมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 50.72 °C เวลาประมาณ 14.00 น. จะลดลงเรื่อย ๆ จนเวลา 7.00 น. และในส่วนของห้องไม่ปรับอากาศ อุณหภูมิจะอยู่ที่ 31.39-36.94 °C และสำหรับห้องปรับอากาศมีอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ปิดเครื่องเครื่องปรับอากาศ 29.33-36.22 แต่เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศเวลา 19.00-6.00 น. อุณหภูมิจะลดลงจนถึง 25.61 °C ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิรายชั่วโมงของแนวทาง C2-1
ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.0150 ม. (C2-2) ซึ่งอุณหภูมิในพื้นที่ช่องว่างอากาศระหว่างหลังคาและฝ้าเพดานอยู่ที่ 28.89-51.06 ℃ และมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 51.06 ℃ เวลาประมาณ 14.00 น. และในส่วนของห้องไม่ปรับอากาศ อุณหภูมิจะอยู่ที่ 30.83-39.17 ℃ และสำหรับห้องปรับอากาศมีอุณหภูมิช่วงเวลาที่ปิดเครื่องเครื่องปรับอากาศที่ 29.33-36.06 ℃ เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศเวลา 19.00-6.00 น. อุณหภูมิลดลงจนถึง 25.67 ℃ ดังรูปที่ 4.28

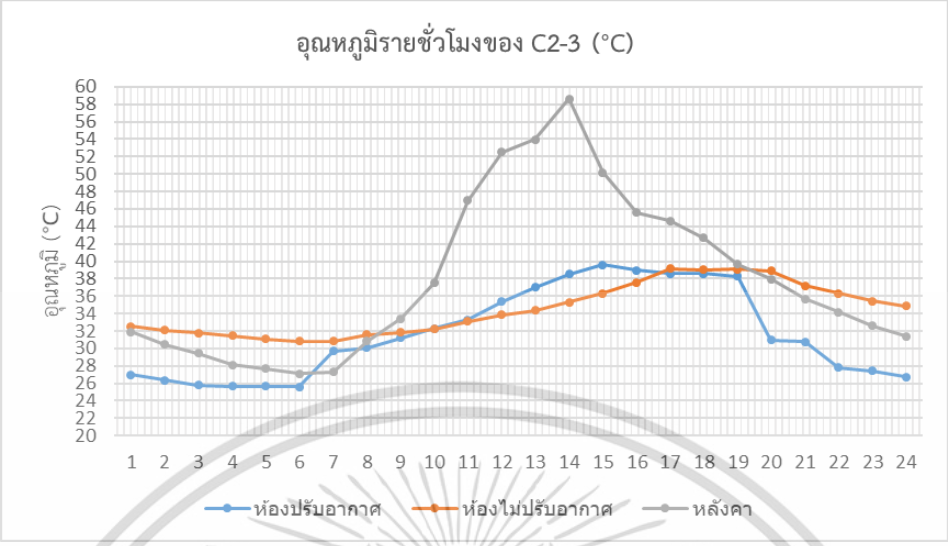


รูปที่ 4.28 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิรายชั่วโมงของ C2-2

ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

การติดตั้งฉนวนใยแก้วรุ่นอัลตราคูล ติดตั้งบนแป ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม. (C2-3) ซึ่งอุณหภูมิในพื้นที่ช่องว่างอากาศระหว่างหลังคาและฝ้าเพดานอยู่ที่ 27.11-58.61 ℃ และมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 58.61 ℃ เวลาประมาณ 14.00 น. ซึ่งมีค่าอุณหภูมิสูงมากกว่าแนวทางศึกษาอื่นมาก ในพื้นที่ห้องไม่ปรับอากาศ อุณหภูมิจะอยู่ที่ 31.44-40.44 ℃ และสำหรับห้องปรับอากาศมีอุณหภูมิในช่วงเวลาปิดเครื่องเครื่องปรับอากาศที่ 29.67-39.61℃ เมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศเวลา 19.00-6.00 น. อุณหภูมิลดลงจนถึง 25.67 ℃ ดังรูปที่ 4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 แสดงแผนภูมิอุณหภูมิรายชั่วโมงของ C2-3

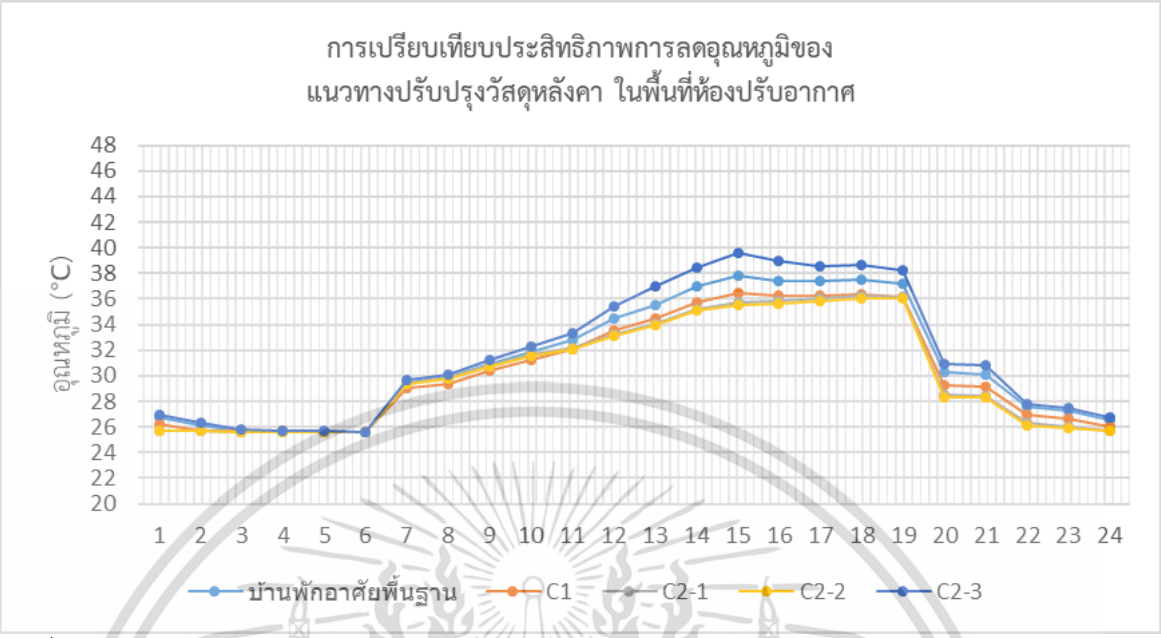
ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิรายชั่วโมงของแนวทางการปรับปรุงวัสดุหลังคาในพื้นที่ห้องปรับอากาศ พบว่าแนวทาง C1, C2-1 และ C2-2 สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศในช่วงเวลากลางวันที่ไม่เปิดเครื่องปรับอากาศลงได้ และในช่วงเวลาที่เปิดปรับอากาศ 19.00-6.00 น. ก็สามารถช่วยลดอุณหภูมิให้ต่ำลงได้เช่นกัน โดยแนวทางที่สามารถลดอุณหภูมิได้มากที่สุดคือแนวทาง C2-2 ซึ่งค่าอุณหภูมิที่ลดลงนั้นแตกต่างจากแนวทาง C2-1 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงสมควรต้องพิจารณาถึงราคาวัสดุและจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงซึ่งจะส่งผลต่อระยะเวลาคืนทุนร่วมด้วย ในขณะที่แนวทาง C2-3 ไม่สามารถลดอุณหภูมิลงได้และทำให้ค่าอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวันสูงมากขึ้น ดังรูปที่ 4.30

สำหรับการศึกษาในพื้นที่ห้องไม่ปรับอากาศ พบว่าแนวทาง C1 และ C2-1 สามารถลดอุณหภูมิภายในห้องไม่ปรับอากาศลงได้ โดยแนวทางที่สามารถลดอุณหภูมิได้มากที่สุดคือแนวทาง C1 ในขณะที่แนวทาง C2-2 สามารถลดอุณหภูมิลงได้จนกระทั่งเวลา 15.00 น.อุณหภูมิภายในห้องพุ่งสูงขึ้นมากกว่าบ้านพักอาศัยพื้นฐาน โดยสรุปได้ว่าฉนวนใยแก้วกันความร้อนในแนวทาง C2-2 มีความหนาของเนื้อฉนวนมากและติดตั้งที่ใต้หลังคาชั้นสองซึ่งเป็นแหล่งสะสมความร้อนหลัก ๆ ฉนวนใยแก้วนั้นทำหน้าที่ดูดซับความร้อนในตอนกลางวันเพื่อลดอุณหภูมิภายในห้องและเมื่อถึงเวลากลางคืนอุณหภูมิหลังคาลดลง แต่เนื้อฉนวนยังคงสะสมความร้อนและถ่ายเทความร้อนลงมาในช่วงเวลานั้นทำให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้น ในขณะที่แนวทาง C2-3 ไม่สามารถลดอุณหภูมิลงได้และทำให้ค่าอุณหภูมิภายในห้องสูงมากขึ้น ดังรูปที่ 4.31

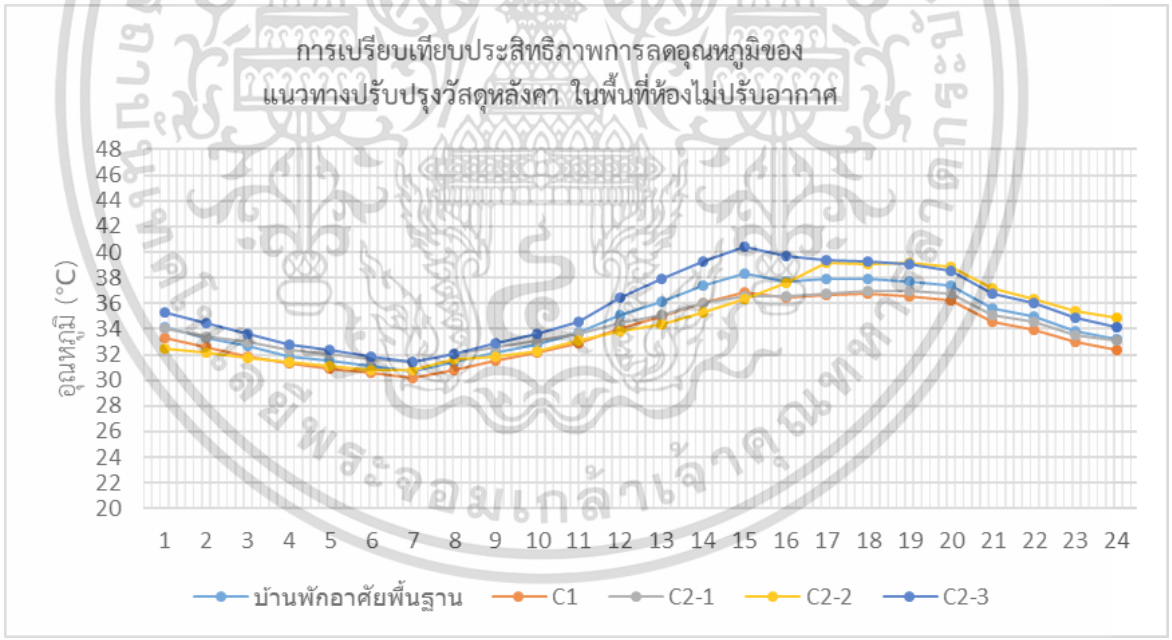
จากการศึกษาสรุปได้ว่า การติดตั้งฉนวนใยแก้วกันความร้อนควรติดตั้งที่ตำแหน่งระหว่างห้องปรับอากาศและช่องว่างอากาศระหว่างหลังคาและฝ้าเพดาน เพื่อลดการรั่วซึมของอากาศในห้องปรับอากาศทำให้อุณหภูมิภายในห้องลดต่ำได้มากขึ้น แนวทาง C2-1 และ C2-2 ซึ่งติดตั้งฉนวนใยแก้วที่เหนือฝ้าเพดานจึงสามารถลดอุณหภูมิในห้องปรับอากาศลงได้ ในขณะที่แนวทาง C2-3 กลับไม่สามารถลดอุณหภูมิลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแนวทางปรับปรุงวัสดุหลังคา ในห้องปรับอากาศ

ที่มา : ผู้วิจัย (2564)



รูปที่ 4.31 แสดงประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิของแนวทางปรับปรุงวัสดุหลังคา ในห้องไม่ปรับอากาศ

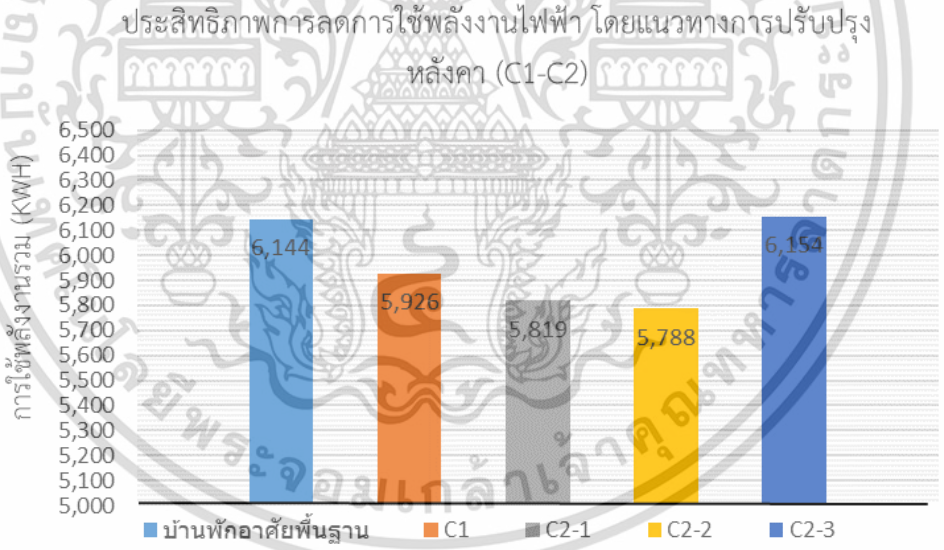
ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อจำลองการใช้พลังงานภายในอาคารตามแนวทางการปรับปรุงวัสดุหลังคาด้วยโปรแกรม DOE-2.1E ได้ผล ดังตารางที่ 4.34

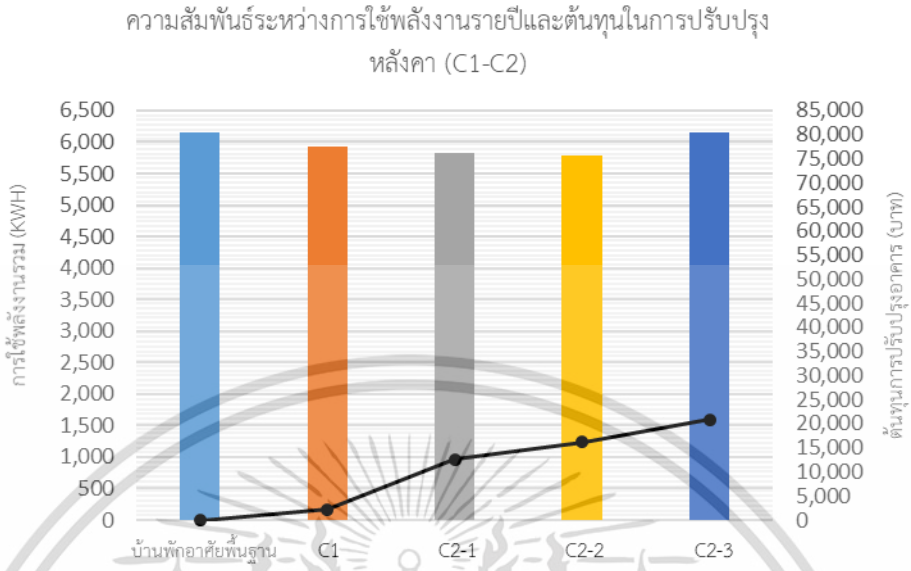
ตารางที่ 4.34 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน โดยแนวทางการปรับปรุงวัสดุหลังคา (C1-C2)

แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานรายเดือน (kWh)												
กรอบอาคาร	**ชื่อ**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	**รวม**
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		408	485	572	590	560	506	523	564	528	537	425	446	**6,144**
หลังคา (C)	**C1**	383	467	554	575	541	490	508	547	511	518	409	423	**5,926**
	C2-1	404	461	539	556	523	475	490	525	493	502	417	434	**5,819**
	C2-2	404	459	536	552	519	472	488	522	488	499	416	433	**5,788**
	C2-3	415	483	572	590	563	504	521	564	529	541	425	447	**6,154**



รูปที่ 4.32 แสดงประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยแนวทางการปรับปรุงหลังคา (C1-C2)
ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์การใช้พลังงานรายปีและต้นทุนในการปรับปรุงหลังคา (C1-C2)
ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

จากตารางที่ 4.34 และรูปที่ 4.33 เมื่อเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของแนวทางการปรับปรุงวัสดุหลังคาพบว่า แนวทางการปรับปรุงวัสดุหลังคาทั้งหมดมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงต่ำกว่าแนวทางการปรับปรุงวัสดุผนังทึบและผนังโปร่งแสงอย่างเห็นได้ชัด โดยมีรายละเอียดดังนี้

การเปลี่ยนสีกระเบื้องหลังคาเป็นสีขาว หรือสีสะท้อนความร้อน (C1) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 3.55 และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงต่ำที่สุดในแนวทางการปรับปรุงวัสดุหลังคาทั้งหมด

การติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม. (C2-1) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 5.29

การติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.0150 ม. (C2-2) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 5.79 ซึ่งเป็นค่าใกล้เคียงกับแนวทาง C2-1 จึงต้องพิจารณาถึงราคาของวัสดุ จำนวนเงินที่ใช้ในการลงทุน ซึ่งจะส่งผลต่อระยะเวลาคืนทุน

การติดตั้งฉนวนใยแก้วรุ่นอัลตราคูล ติดตั้งบนแป ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม. (C2-3) จากตารางที่ 4.31 ในช่องพื้นที่แรเงาคือการใช้พลังงานโดยรวมของแนวทาง C2-3 ซึ่งมีค่าการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางการลงทุนของแนวทางการปรับปรุงหลังคา โดยมีวิธีคำนวณแบบระยะระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) หรือระยะเวลาในการได้รับผลตอบแทนเท่ากับเงินลงทุนของแต่ละแนวทาง โดยคำนวณดังสมการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (Total Investment)}}{\text{ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (Annual Energy Cost Saving)}}$$

การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง โดยคิดตามอัตราค่าไฟฟ้ารายเดือน ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย ได้ผลดังตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.35 แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางปรับปรุงหลังคา

แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)		พลังงานที่ประหยัดได้ (%)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)	ราคาลงทุน		ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
วัสดุกรอบอาคาร	ชื่อ	การใช้พลังงานรวม	พลังงานที่ประหยัดได้				ราคาก่อสร้าง (แรกเริ่ม) (บาท)	จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)	
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		6,144	-	-	24,622	-	1,976,680	-	-
หลังคา (C)	**C1**	5,926	218	3.55 %	23,702	920	1,978,905	2,225	2.4
	C2-1	5,819	325	5.29 %	23,251	1,372	1,989,224	12,544	9.1
	C2-2	5,788	356	5.79 %	23,120	1,502	1,992,833	16,153	10.8
	C2-3	6,154	-10	-0.16 %	24,665	-42	1,997,556	20,875	0

จากตารางที่ 4.35 แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางปรับปรุงวัสดุหลังคา พบว่า

การเปลี่ยนสีกระเบื้องหลังคาเป็นสีขาว หรือสีสะท้อนความร้อน (C1) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 3.55 และประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 920 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 2,225 บาท ระยะเวลาคืนทุน 2.4 ปี ซึ่งเป็นแนวทางที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม. (C2-1) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 5.29 และประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 1,372 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 12,544 บาท ระยะเวลาคืนทุน 9.1 ปี

การติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.0150 ม. (C2-2) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 5.79 ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด และประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 1,502 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 16,153 บาท ระยะเวลาคืนทุน 10.8 ปี

การติดตั้งฉนวนใยแก้วรุ่นอัลตราคูล ติดตั้งบนแป ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม. (C2-3) ไม่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ โดยมีค่าการใช้พลังงานเพิ่มร้อยละ 0.16

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมด้านการลงทุน โดยแบ่งเป็น 4 แนวทางที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีการลดอุณหภูมิดีที่สุด วิธีการปรับปรุงที่คืนทุนเร็วที่สุด วิธีการปรับปรุงที่สามารถลดการใช้พลังงานต่อปีได้มากที่สุด และวิธีการลงทุนที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.36 แสดงการสรุปผลการเลือกแนวทางปรับปรุงผนังทึบที่เหมาะสมด้านการลงทุน

แนวทางที่เหมาะสม	ชื่อ	พลังงานที่ประหยัดได้ (%)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)	จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
คืนทุนเร็วที่สุด	C1	3.55 %	920	2,225	2.4
ลงทุนต่ำที่สุด					
ลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด	C2-2	5.79 %	1,502	16,153	10.8
ลดอุณหภูมิดีที่สุด	C2-1	5.29 %	1,372	12,544	9.1

จากตารางที่ 4.36 แนวทางที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงต่ำที่สุด คือ การเปลี่ยนสีกระเบื้องหลังคาเป็นสีขาว หรือสีสะท้อนความร้อน (C1) โดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุน 2,225 บาท ระยะเวลาคืนทุน 2.4 ปี และสำหรับแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ การติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.0150 ม. (C2-2) สามารถลดพลังงานลงได้ร้อยละ 5.79 สามารถประหยัดค่าไฟฟ้า 1,502 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 10.8 ปี และสำหรับแนวทางที่สามารถลดอุณหภูมิดีที่สุดคือ แนวทางการติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม. (C2-1) ซึ่งแนวทาง C2-1 และ C2-2 เป็นการติดตั้งฉนวนใยแก้วที่มีวัสดุและความหนาแน่นเหมือนกัน แตกต่างกันที่ความหนาของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่านั้น ซึ่งหากพิจารณาความคุ้มค่าทางการลงทุนของการติดตั้งฉนวนใยแก้วแล้วพบว่าแนวทาง C2-1 มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 12,544 บาท ระยะเวลาคืนทุน 9.1 ปี ซึ่งสามารถคืนทุนได้เร็วกว่าแนวทาง C2-2 และสามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ดีกว่าด้วยเช่นกัน แม้ว่าแนวทาง C2-2 จะสามารถลดการใช้พลังงานได้มากกว่าก็ตาม ซึ่งแนวทาง C1 และแนวทาง C2-1 ทั้ง 2 แนวทางนี้สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกันได้

4) สรุปแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร

สรุปผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ดังตารางที่ 4.37 และสรุปผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารที่มีความเหมาะสมด้านการลงทุน ดังตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.37 แสดงสรุปผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร

แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)		พลังงานที่ประหยัดได้ (%)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)	ราคาลงทุน		ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
วัสดุกรอบอาคาร	ชื่อ	การใช้พลังงานรวม	พลังงานที่ประหยัดได้				ราคาก่อสร้าง (แรกเริ่ม) (บาท)	จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)	
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		6,144	-	-	24,622	-	1,976,680	-	-
ผนังทึบ (A)	A1	5,987	157	2.56 %	23,960	663	1,972,766	-3,914	0
	A2	5,955	189	3.08 %	23,825	798	2,049,825	73,144	91.7
	A3	6,068	76	1.24 %	24,302	321	2,020,952	44,271	138
	A4	5,954	190	3.09 %	23,821	802	2,051,750	75,070	93.6
	A5	5,906	238	3.87 %	23,618	1,004	1,982,166	5,486	5.5
ผนังโปร่งแสง (B)	B1-1	5,640	504	8.20 %	22,495	2,127	1,999,709	23,029	10.8
	B1-2	5,507	637	10.37 %	21,934	2,688	2,049,502	72,822	27.1
	B2	5,656	488	7.94 %	22,563	2,059	2,038,921	62,241	30.2
หลังคา (C)	C1	5,926	218	3.55 %	23,702	920	1,978,905	2,225	2.4
	C2-1	5,819	325	5.29 %	23,251	1,372	1,989,224	12,544	9.1
	C2-2	5,788	356	5.79 %	23,120	1,502	1,992,833	16,153	10.8
	C2-3	6,154	-10	-0.16 %	24,665	-42	1,997,556	20,875	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.38 แสดงสรุปผลแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารที่มีความเหมาะสมด้านการลงทุน

แนวทางปรับปรุง			พลังงานที่ประหยัดได้ (%)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้(บาท)	ราคาลงทุนปรับปรุง (บาท)	ระยะคืนทุน (ปี)	ความเหมาะสมทางการลงทุน
วัสดุกรอบอาคาร	ชื่อ	วิธีการปรับปรุง					
ผนังทึบ (A)	A1	การเปลี่ยนชนิดของผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา	2.56 %	662	-3,913	0	คืนทุนเร็วที่สุด+ลงทุนต่ำที่สุด
	A5	การทาสีขาว หรือสีสะท้อนความร้อน	3.87 %	1,004	5,486	5.4	ลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด+ลดอุณหภูมิได้มากที่สุด
ผนังโปร่งแสงภายนอก (B)	B1-1	การเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกโฟลต์สีเขียวเข้ม Energy green	8.20 %	2,127	23,029	10.8	คืนทุนเร็วที่สุด+ลงทุนต่ำที่สุด
	B1-2	การเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสงสีเขียว	10.37 %	2,688	72,822	27.1	ลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด+ลดอุณหภูมิได้มากที่สุด
หลังคา (C)	C1	การเปลี่ยนสีกระเบื้องหลังคาเป็นสีขาว หรือสีสะท้อนความร้อน	3.55 %	920	2,225	2.4	คืนทุนเร็วที่สุด+ลงทุนต่ำที่สุด
	C2-1	การติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม.	5.79 %	1,502	16,153	10.8	ลดอุณหภูมิได้มากที่สุด
	C2-2	การติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.0150 ม.	5.29 %	1,372	12,544	9.1	ลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด

4.3.2.) การประเมินผลการปรับปรุงการออกแบบอาคาร

1) อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)

การศึกษาเรื่องอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) แบ่งเป็น 4 แนวทาง (D1) โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.39

ตารางที่ 4.39 แสดงรายละเอียดการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด

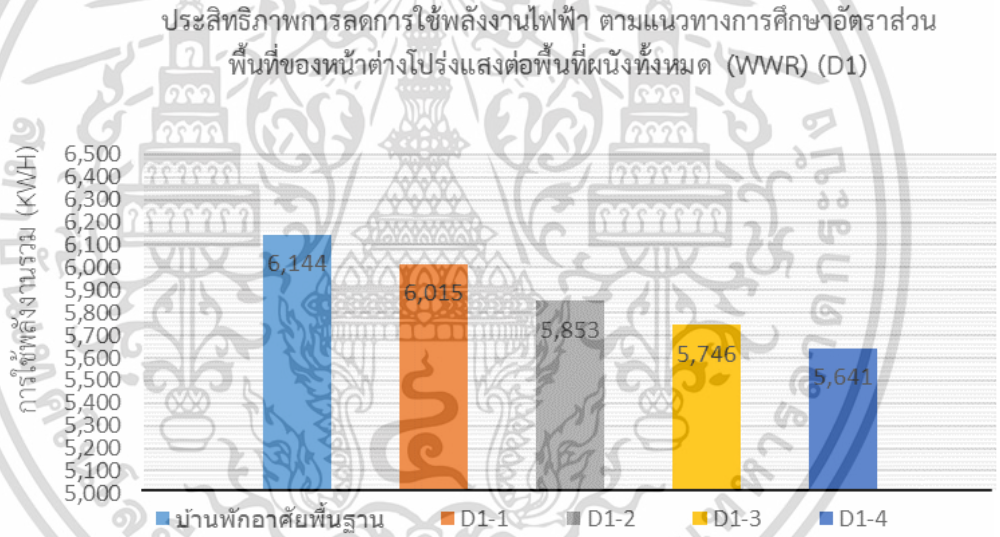
การออกแบบอาคาร (D)	ชื่อ	วิธีการศึกษา	พื้นที่ (ตร.ม.)	
			ผนังทึบ	ผนังกระจก
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) 23 %	163.54	48.85
WWR (D1)	D1-1	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) 20 %	169.92	42.47
	D1-2	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) 17 %	176.29	36.10
	D1-3	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) 14 %	182.66	29.73
	D1-4	อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) 11 %	189.03	23.36

และเมื่อจำลองการใช้พลังงานภายในอาคารตามแนวทางการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ด้วยโปรแกรม DOE-2.1E ได้ผลดังตารางที่ 4.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.40 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน โดยแนวทางการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR)

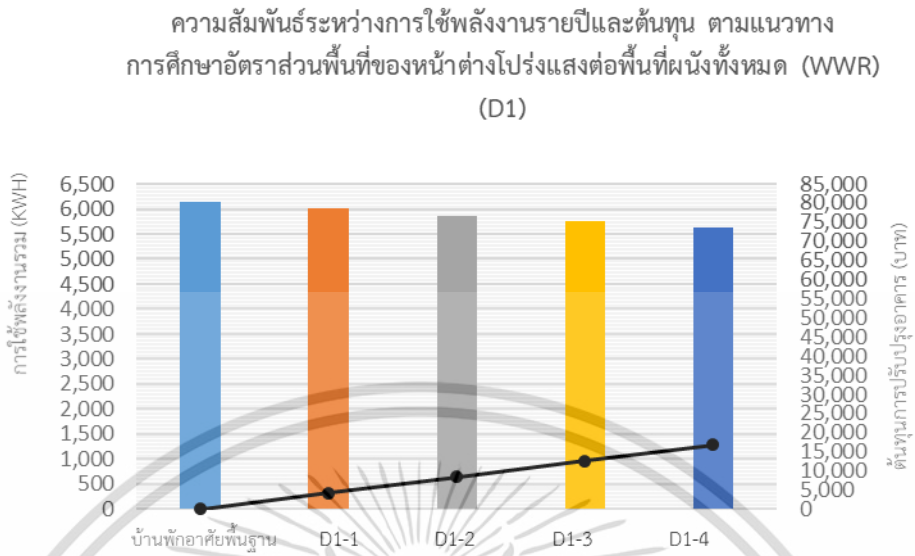
แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานรายเดือน (kWh)												
การออกแบบอาคาร	**ชื่อ**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	**รวม**
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		408	485	572	590	560	506	523	564	528	537	425	446	**6,144**
WWR (D1)	**D1-1**	396	474	562	581	549	496	512	553	517	526	415	434	**6,015**
	D1-2	383	461	548	568	535	482	498	539	503	512	403	421	**5,853**
	D1-3	371	452	539	561	526	474	490	531	495	502	395	410	**5,746**
	D1-4	365	445	530	551	517	464	480	521	486	492	387	403	**5,641**



รูปที่ 4.34 แสดงประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานโดยแนวทางการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด

ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 แสดงประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานโดยแนวทางการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด

ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

จากตารางที่ 4.40 และรูปที่ 4.35 เมื่อเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของแนวทางการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) พบว่ามีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงต่ำกว่าแนวทางการปรับปรุงวัสดุอย่างเห็นได้ชัด โดยมีรายละเอียดดังนี้

อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 20 % (D1-1) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 2.10 และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงต่ำที่สุดในแนวทางการปรับปรุงวัสดุหลังคาทั้งหมด

อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 17 % (D1-2) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 4.74 และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงเพิ่มขึ้น**จาก**แนวทาง D1-1 เล็กน้อย

อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 14 % (D1-3) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 6.48 และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงเพิ่มขึ้น**จาก**แนวทาง D1-2 เล็กน้อย

อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 11 % (D1-4) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 8.40 และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงเพิ่มขึ้นจากแนวทาง D1-3 เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางการลงทุนของแนวทางการออกแบบอาคารโดยการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) มีวิธีคำนวณแบบระยะระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) หรือระยะเวลาในการได้รับผลตอบแทนเท่ากับเงินลงทุนของแต่ละแนวทาง โดยคำนวณดังสมการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (Total Investment)}}{\text{ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (Annual Energy Cost Saving)}}$$

การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง โดยคิดตามอัตราค่าไฟฟ้ารายเดือน ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย ได้ผลดังตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.41 แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด

แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)		พลังงานที่ประหยัดได้ (%)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)	ราคาลงทุน		ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
วัสดุกรอบอาคาร	ชื่อ	การใช้พลังงานรวม	พลังงานที่ประหยัดได้				ราคาก่อสร้าง (แรกเริ่ม) (บาท)	จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)	
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		6,144	-	-	24,622	-	1,976,680	-	-
WWR (D1)	D1-1	6,015	129	2.10 %	24,078	544	1,980,841	4,161	7.6
	D1-2	5,853	291	4.74 %	23,394	1,228	1,985,085	8,404	6.8
	D1-3	5,746	398	6.48 %	22,943	1,680	1,989,327	12,647	7.5
	D1-4	5,641	503	8.40 %	22,500	2,123	1,993,570	16,890	8.0

จากตารางที่ 4.41 แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางปรับปรุงวัสดุหลังคาพบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารลดลงตามสัดส่วนของพื้นที่กระจกหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่ลดลง เมื่อพิจารณาข้อมูลจากผลการจำลองทั้งหมดนั้นได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 20 % (D1-1) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 2.10 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 544 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 4,161 บาท ระยะเวลาคืนทุน 7.6 ปี ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 17 % (D1-2) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 4.74 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 1,228 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 8,404 บาท ระยะเวลาคืนทุน 6.8 ปี

อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 14 % (D1-3) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 6.48 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 1,680 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 12,647 บาท ระยะเวลาคืนทุน 7.5 ปี

อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 11 % (D1-4) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 8.40 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2,123บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 16,890 บาท ระยะเวลาคืนทุน 8.0 ปี

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมด้านการลงทุน โดยแบ่งออกเป็น แนวทางที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีการปรับปรุงที่คืนทุนเร็วที่สุด วิธีการปรับปรุงที่ลงทุนต่ำที่สุด และวิธีการปรับปรุงที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.42 แสดงการสรุปผลการเลือกแนวทางการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดที่เหมาะสมด้านการลงทุน

แนวทางที่เหมาะสม	ชื่อ	พลังงานที่ประหยัดได้ (%)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)	จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
คืนทุนเร็วที่สุด	D1-2	4.74 %	1,228	8,404	6.8
ลงทุนต่ำที่สุด	D1-1	2.10 %	544	4,161	7.6
ลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด	D1-4	8.40 %	2,123	16,890	8.0

จากตารางที่ 4.42 แนวทางที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ แนวทาง D1-2 สามารถลดการพลังงานลงได้ร้อยละ 4.74 ประหยัดค่าไฟฟ้า 1,228 บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 8,404 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 6.8 ปี และแนวทางที่มีจำนวนเงินที่ใช้ในการลงทุนต่ำที่สุดคือ แนวทาง D1-1 สามารถลดการพลังงานลงได้ร้อยละ 2.10 ประหยัดค่าไฟฟ้า 544 บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 4,161 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 7.6 ปี และสำหรับแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ แนวทาง D1-4 สามารถลดการพลังงานลงได้ร้อยละ 8.40 ประหยัดค่าไฟฟ้า 2,123 บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 16,890 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 8 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปแนวทางออกแบบอาคารโดยการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด ได้ว่าในแต่ละแนวทางที่มีค่า WWR ที่แตกต่างกัน จะมีการใช้พลังงานที่ต่างกันในระบบปรับอากาศเท่านั้น จึงกล่าวได้ว่าหากสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารของห้องปรับอากาศลดลง ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารจะลดลงเช่นกัน ทำให้สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากขึ้น ในขณะที่ในการศึกษาโดยการลดพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสงลง เป็นการศึกษาโดยคิดพื้นที่หน้าต่างของบ้านพักอาศัยพื้นฐานทั้งหลัง มิได้กำหนดสัดส่วนการลดพื้นที่หน้าต่างให้อยู่ภายในพื้นที่ห้องปรับอากาศเท่านั้น ทำให้ค่าการใช้พลังงานที่ลดลงไม่มีอัตราส่วนร่วมที่ชัดเจน ซึ่งในการปรับปรุงการออกแบบทำให้จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงสูงมากขึ้น ทำให้การคำนวณระยะเวลาคืนทุนเป็นค่าที่มีความผันผวน

2) การเพิ่มระยะชายคา (D2)

การศึกษาเรื่องการเพิ่มระยะชายคา แบ่งเป็น 4 แนวทาง (D2) โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.43

ตารางที่ 4.43 แสดงรายละเอียดแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา

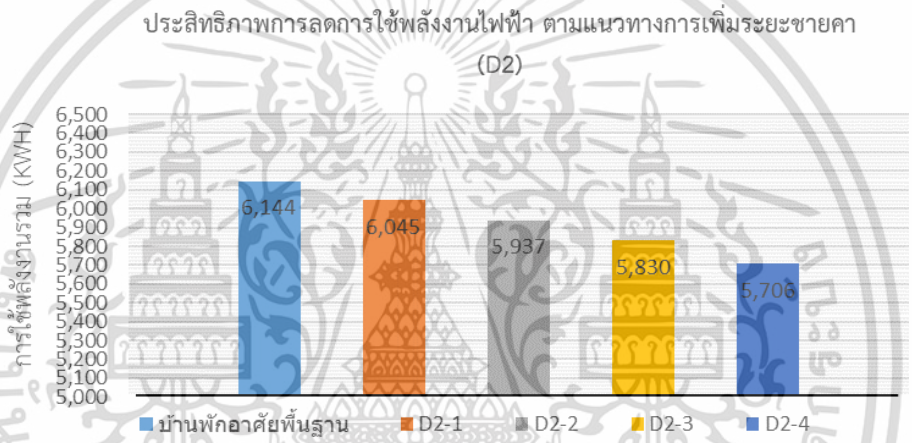
การออกแบบอาคาร (D)	ชื่อ	วิธีการศึกษา
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		ระยะยื่นชายคา 1.13 เมตร
การเพิ่มระยะชายคา (D2)	**D2-1**	ระยะยื่นชายคา 1.30 เมตร
	D2-2	ระยะยื่นชายคา 1.50 เมตร
	D2-3	ระยะยื่นชายคา 1.70 เมตร
	D2-4	ระยะยื่นชายคา 1.90 เมตร

และเมื่อจำลองการใช้พลังงานภายในอาคารตามแนวทางการเพิ่มระยะชายคาด้วยโปรแกรม DOE-2.1E ได้ผล ดังตารางที่ 4..44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

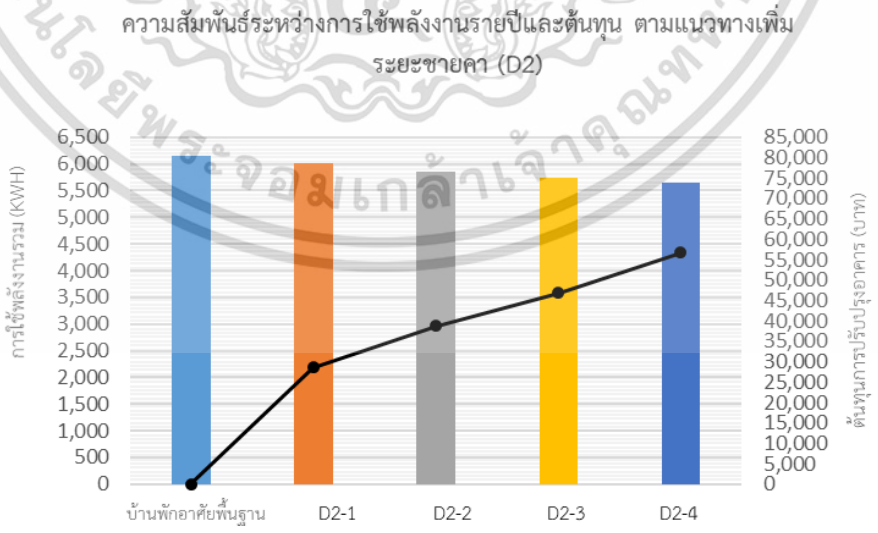
ตารางที่ 4.44 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน โดยแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา

แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานรายเดือน (kWh)												
การออกแบบอาคาร	ชื่อ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	รวม
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		408	485	572	590	560	506	523	564	528	537	425	446	**6,144**
การเพิ่มระยะชายคา (D2)	D2-1	399	477	564	583	551	498	515	555	520	528	418	437	**6,045**
	D2-2	389	469	555	575	542	489	505	546	511	518	411	427	**5,937**
	D2-3	381	460	547	567	533	480	495	536	501	508	403	419	**5,830**
	D2-4	371	451	536	557	521	470	484	525	491	496	395	409	**5,706**



รูปที่ 4.36 แสดงประสิทธิภาพการลดการใช้พลังงานโดยแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา

ที่มา : ผู้วิจัย (2564)



รูปที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์การใช้พลังงานรายปีและต้นทุนในแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา

ที่มา : ผู้วิจัย (2564)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.41 และรูปที่ 4.37 เมื่อเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา พบว่ามีจำนวนเงินใช้ในการปรับปรุงต่ำกว่าแนวทางการปรับปรุงวัสดุอย่างเห็นได้ชัด โดยมีรายละเอียดดังนี้

ระยะยื่นชายคา 1.30 เมตร (D2-1) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 1.61 และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงต่ำที่สุดในแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา

ระยะยื่นชายคา 1.50 เมตร (D2-2) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 3.37 และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงเพิ่มขึ้น**จาก**แนวทาง D2-1 เล็กน้อย

ระยะยื่นชายคา 1.70 เมตร (D2-3) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 5.11 และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงเพิ่มขึ้น**จาก**แนวทาง D2-2 เล็กน้อย

ระยะยื่นชายคา 1.90 เมตร (D2-4) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 7.13 และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงเพิ่มขึ้นจากแนวทาง D2-3 เล็กน้อย

เมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางการลงทุนของแนวทางการออกแบบอาคารโดยการศึกษาการเพิ่มระยะชายคามีวิธีคำนวณแบบระยะระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) หรือระยะเวลาในการได้รับผลตอบแทนเท่ากับเงินลงทุนของแต่ละแนวทาง โดยคำนวณดังสมการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (Total Investment)}}{\text{ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (Annual Energy Cost Saving)}}$$

การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง โดยคิดตามอัตราค่าไฟฟ้ารายเดือน ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย ได้ผลดังตารางที่ 4.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.45 แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา

แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)		พลังงานที่ประหยัดได้ (%)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)	ราคาลงทุน		ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
วัสดุกรอบอาคาร	ชื่อ	การใช้พลังงานรวม	พลังงานที่ประหยัดได้				ราคาก่อสร้าง (แรกเริ่ม) (บาท)	จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)	
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		6,144	-	-	24,622	-	1,976,680	-	-
การเพิ่มระยะชายคา (D2)	D2-1	6,045	99	1.61 %	24,205	418	2,005,235	28,555	68.3
	D2-2	5,937	207	3.37 %	23,749	874	2,015,390	38,710	44.3
	D2-3	5,830	314	5.11 %	23,297	1,325	2,023,587	46,907	35.4
	D2-4	5,706	438	7.13 %	22,774	1,848	2,033,399	56,719	30.7

จากตารางที่ 4.45 แสดงค่าไฟฟ้า จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุนของแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคาพบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารลดลงตามระยะความยาวของชายคาที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาข้อมูลจากผลการจำลองทั้งหมดได้ดังนี้

ระยะยื่นชายคา 1.30 เมตร (D2-1) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 1.61 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 418 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 28,555 บาท ระยะเวลาคืนทุน 68.3 ปี

ระยะยื่นชายคา 1.50 เมตร (D2-2) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 3.37 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 874 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 38,710 บาท ระยะเวลาคืนทุน 44.3 ปี

ระยะยื่นชายคา 1.70 เมตร (D2-3) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 5.11 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 1,325 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 46,907 บาท ระยะเวลาคืนทุน 35.4 ปี

ระยะยื่นชายคา 1.90 เมตร (D2-4) สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 7.13 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 1,848 บาท/ปี โดยมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงคือ 56,719 บาท ระยะเวลาคืนทุน 30.7 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมด้านการลงทุน โดยแบ่งออกเป็น แนวทางที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีการปรับปรุงที่คืนทุนเร็วที่สุด วิธีการปรับปรุงที่ลงทุนต่ำที่สุด และวิธีการปรับปรุงที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.46 แสดงการสรุปผลการเลือกแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคา

แนวทางที่เหมาะสม	**ชื่อ**	**พลังงานที่ประหยัดได้ (%)**	**ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)**	**จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)**	**ระยะเวลาคืนทุน (ปี)**
ลงทุนต่ำที่สุด	D2-1	1.61 %	418	28,555	68.3
คืนทุนเร็วที่สุด	D2-4	7.13 %	1,848	56,719	30.7
ลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด					

จากตารางที่ 4.46 แนวทางที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดและมีจำนวนเงินที่ใช้ในการลงทุนต่ำที่สุดคือ แนวทาง D2-1 สามารถลดการพลังงานลงได้ร้อยละ 1.61 ประหยัดค่าไฟฟ้า 418 บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 28,555 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 68.3 ปี และสำหรับแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ แนวทาง D2-4 สามารถลดการพลังงานลงได้ร้อยละ 7.13 ประหยัดค่าไฟฟ้า 1,848 บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 56,719 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 30.7 ปี

สรุปแนวทางศึกษาการเพิ่มระยะชายคาได้ว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารลดลง แปรผันกับระยะความยาวของชายคาที่เพิ่มขึ้น และพลังงานที่ลดลงเป็นพลังงานจากระบบปรับอากาศ จึงกล่าวได้ว่าการเพิ่มระยะยื่นของชายคา เป็นการเพิ่มการบังแดดและลดพื้นที่ผิวของผนังทึบและหน้าต่างโปร่งแสงที่โดนรังสีดวงอาทิตย์ เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.45 พบว่ายิ่งระยะชายคาที่เพิ่มขึ้นทำให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้ายิ่งขึ้น และจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงก็เพิ่มขึ้นตามระยะความยาวของชายคาเช่นกัน แต่เมื่อคำนวณระยะเวลาคืนทุนพบว่า ยิ่งระยะชายคาเพิ่มขึ้นทำให้มีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วขึ้นเนื่องจากสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากขึ้น ทำให้คาดการณ์ได้ว่าหากออกแบบอาคารโดยการเพิ่มระยะยื่นของชายคามากกว่า 1.90 เมตร (D2-4) ระยะเวลาคืนทุนจะเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สรุปแนวทางการออกแบบอาคาร

สรุปผลการศึกษาแนวทางการออกแบบอาคารของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ดังตารางที่ 4.47

ตารางที่ 4.47 แสดงสรุปผลการศึกษาแนวทางการออกแบบอาคาร

แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)		พลังงานที่ประหยัดได้ (%)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)	ราคาลงทุน		ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
วัสดุกรอบอาคาร	ชื่อ	การใช้พลังงานรวม	พลังงานที่ประหยัดได้				ราคาก่อสร้าง (แรกเริ่ม) (บาท)	จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)	
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		6,144	-	-	24,622	-	1,976,680	-	-
WWR (D1)	D1-1	6,015	129	2.10 %	24,078	544	1,980,841	4,161	7.6
	D1-2	5,853	291	4.74 %	23,394	1,228	1,985,085	8,404	6.8
	D1-3	5,746	398	6.48 %	22,943	1,680	1,989,327	12,647	7.5
	D1-4	5,641	503	8.40 %	22,500	2,123	1,993,570	16,890	8.0
การเพิ่มระยะชายคา (D2)	D2-1	6,045	99	1.61 %	24,205	418	2,005,235	28,555	68.3
	D2-2	5,937	207	3.37 %	23,749	874	2,015,390	38,710	44.3
	D2-3	5,830	314	5.11 %	23,297	1,325	2,023,587	46,907	35.4
	D2-4	5,706	438	7.13 %	22,774	1,848	2,033,399	56,719	30.7

4.4 การอภิปรายผลการศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาของแนวทางการศึกษาทั้งหมดที่กำหนดไว้ ได้ผลดังตารางที่ 4.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.48 แสดงสรุปผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงทั้งหมด

แนวทางปรับปรุง		การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)		พลังงานที่ประหยัดได้ (%)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท)	ราคาลงทุน		ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
วัสดุกรอบอาคาร	ชื่อ	การใช้พลังงานรวม	พลังงานที่ประหยัดได้				ราคาก่อสร้าง (แรกเริ่ม) (บาท)	จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)	
บ้านพักอาศัยพื้นฐาน		6,144	-	-	24,622	-	1,976,680	-	-
ผนังทึบ (A)	A1	5,987	157	2.56 %	23,960	663	1,972,766	-3,914	0
	A2	5,955	189	3.08 %	23,825	798	2,049,825	73,144	91.7
	A3	6,068	76	1.24 %	24,302	321	2,020,952	44,271	138
	A4	5,954	190	3.09 %	23,821	802	2,051,750	75,070	93.6
	A5	5,906	238	3.87 %	23,618	1,004	1,982,166	5,486	5.5
ผนังโปร่งแสง (B)	B1-1	5,640	504	8.20 %	22,495	2,127	1,999,709	23,029	10.8
	B1-2	5,507	637	10.37 %	21,934	2,688	2,049,502	72,822	27.1
	B2	5,656	488	7.94 %	22,563	2,059	2,038,921	62,241	30.2
หลังคา (C)	C1	5,926	218	3.55 %	23,702	920	1,978,905	2,225	2.4
	C2-1	5,819	325	5.29 %	23,251	1,372	1,989,224	12,544	9.1
	C2-2	5,788	356	5.79 %	23,120	1,502	1,992,833	16,153	10.8
	C2-3	6,154	-10	-0.16 %	24,665	-42	1,997,556	20,875	0
WWR (D1)	D1-1	6,015	129	2.10 %	24,078	544	1,980,841	4,161	7.6
	D1-2	5,853	291	4.74 %	23,394	1,228	1,985,085	8,404	6.8
	D1-3	5,746	398	6.48 %	22,943	1,680	1,989,327	12,647	7.5
	D1-4	5,641	503	8.40 %	22,500	2,123	1,993,570	16,890	8.0
การเพิ่มระยะชายคา (D2)	D2-1	6,045	99	1.61 %	24,205	418	2,005,235	28,555	68.3
	D2-2	5,937	207	3.37 %	23,749	874	2,015,390	38,710	44.3
	D2-3	5,830	314	5.11 %	23,297	1,325	2,023,587	46,907	35.4
	D2-4	5,706	438	7.13 %	22,774	1,848	2,033,399	56,719	30.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผลการประเมินแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร พบว่า

1.1 แนวทางการปรับปรุงวัสดุผนังทึบที่มีระยะคืนทุนเร็วที่สุด และมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุงต่ำที่สุดคือ การเปลี่ยนชนิดของผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา (A1) ซึ่งมีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง -3,913.91 บาท เนื่องจากราคาก่อสร้างของแนวทาง A1 มีราคาถูกกว่าราคาก่อสร้างของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน และสามารถลดพลังงานลงได้ร้อยละ 2.56 จึงไม่มีระยะเวลาคืนทุน และสำหรับแนวทางที่สามารถลดอุณหภูมิและลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ การทาสีขาวหรือสีสะท้อนความร้อน (A5) สามารถลดพลังงานได้ร้อยละ 3.87 ลดค่าไฟฟ้า 1,004 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 5.4 ปี ซึ่งทั้ง 2 แนวทางนี้สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกันได้

1.2. แนวทางการปรับปรุงวัสดุผนังโปร่งแสง ที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดและค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงต่ำที่สุดคือ การเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกโฟลต์สีเขียวเข้ม Energy green (B1-1) มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 23,029 บาท ระยะคืนทุน 10.8 ปี และสำหรับแนวทางที่สามารถลดลดอุณหภูมิ และลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ การเปลี่ยนชนิดกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสงสีเขียว (B1-2) สามารถลดพลังงานลงได้ร้อยละ 10.37 สามารถประหยัดค่าไฟฟ้า 2,688 บาทต่อปี ระยะคืนทุน 27.1 ปี

1.3. แนวทางการปรับปรุงวัสดุหลังคา ที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดและมีจำนวนเงินในการปรับปรุงต่ำที่สุด คือ การเปลี่ยนสีกระเบื้องหลังคาเป็นสีขาวหรือสีสะท้อนความร้อน (C1) มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 2,225 บาท ระยะเวลาคืนทุน 2.4 ปี และสำหรับแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ การติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.0150 ม. (C2-2) สามารถลดพลังงานลงได้ร้อยละ 5.79 สามารถประหยัดค่าไฟฟ้า 1,502 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 10.8 ปี และแนวทางที่สามารถลดอุณหภูมิดีที่สุดคือ แนวทางการติดตั้งฉนวนใยแก้วสำหรับปูเหนือฝ้าเพดาน รุ่น STAYCOOL ความหนาแน่น 12 กก./ลบ.ม. ความหนา 0.075 ม. (C2-1) ซึ่งแนวทาง C1 และแนวทาง C2-1 สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกันได้

2. ผลการประเมินแนวทางการออกแบบอาคาร พบว่า

2.2. แนวทางการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ แนวทาง D1-2 สามารถลดการพลังงานลงได้ร้อยละ 4.74 ประหยัดค่าไฟฟ้า 1,228 บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 8,404 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 6.8 ปี และแนวทางที่มีจำนวนเงินที่ใช้ในการลงทุนต่ำที่สุดคือ แนวทาง D1-1 สามารถลดการพลังงานลงได้ร้อยละ 2.10 ประหยัดค่าไฟฟ้า 544 บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 4,161 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 7.6 ปี และสำหรับแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ แนวทาง D1-4 สามารถลดการพลังงานลงได้ร้อยละ 8.40 ประหยัดค่าไฟฟ้า 2,123 บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 16,890 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 8 ปี

2.3. แนวทางการเพิ่มระยะชายคา ที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดและมีจำนวนเงินที่ใช้ในการลงทุนต่ำที่สุดคือ แนวทาง D2-1 สามารถลดการพลังงานลงได้ร้อยละ 1.61 ประหยัดค่าไฟฟ้า 418

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 28,555 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 68.3 ปี และสำหรับแนวทางที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือ แนวทาง D2-4 สามารถลดการพลังงานลงได้ร้อยละ 7.13 ประหยัดค่าไฟฟ้า 1,848 บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 56,719 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 30.7 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลวัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อศึกษาและประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานของอาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐาน สามารถสรุปผลการวิจัยได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. ผลการศึกษาการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

1.1.) ผลการศึกษาการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน พบว่าลักษณะทางสถาปัตยกรรมของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน หรือบ้านทั่วไปโดยส่วนใหญ่ในประเทศไทยไม่เหมาะสมกับภูมิอากาศของประเทศไทย เนื่องจากมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านพักอาศัยพื้นฐานสูงมากกว่าที่เกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานสำหรับบ้านพักอาศัยกำหนดไว้ จึงสมควรต้องมีการศึกษาและดำเนินการเพื่อการประหยัดพลังงานภายในบ้านพักอาศัยพื้นฐานและเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคครัวเรือน

1.2.) ผลการศึกษาสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านพักอาศัยพื้นฐาน ด้วยโปรแกรม DOE2.1E พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์ เป็นร้อยละ 60 และ 40 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ามีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากที่สุด

2. ผลการประเมินแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน

2.1) ผลการศึกษาได้จากการศึกษาแนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร ดังนี้

1. แนวทางการปรับปรุงวัสดุผนังทึบที่มีระยะคืนทุนเร็วที่สุด คือ การเปลี่ยนชนิดของผนังเป็นคอนกรีตมวลเบา (A1) มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง -3,913.91 บาท เนื่องจากราคาก่อสร้างของแนวทาง A1 มีราคาถูกกว่าราคาก่อสร้างของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน และสามารถลดพลังงานลงได้ร้อยละ 2.56 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 663 บาท/ปี จึงไม่มีระยะเวลาคืนทุน

2.แนวทางการปรับปรุงวัสดุผนังโปร่งแสงที่มีระยะคืนทุนเร็วที่สุดคือ การเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกโฟลต์สีเขียวเข้ม Energy green (B1-1) ซึ่งลดการใช้พลังงานได้ร้อยละ 8.20 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 2,127 บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 23,029 บาท ระยะคืนทุน 10.8 ปี

3. แนวทางการปรับปรุงวัสดุหลังคาที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด คือ การเปลี่ยนสีกระเบื้องหลังคาเป็นสีขาว หรือสีสะท้อนความร้อน (C1) ซึ่งลดการใช้พลังงานได้ร้อยละ 3.55 ประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 920 บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 2,225 บาท มีระยะคืนทุน 2.4 ปี

2.2) ผลการศึกษาได้จากการศึกษาแนวทางปรับปรุงการออกแบบอาคาร ดังนี้

1.แนวทางการศึกษาอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างโปร่งแสงต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ แนวทาง D1-2 สามารถลดการพลังงานลงได้ร้อยละ 4.74 ประหยัดค่าไฟฟ้า 1,228 บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 8,404 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 6.8 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.แนวทางการเพิ่มระยะชายคาที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดคือ แนวทาง D2-1 สามารถลดการพลังงานลงได้ร้อยละ 1.61 ประหยัดค่าไฟฟ้า 418 บาท/ปี มีจำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง 28,555 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 68.3 ปี

ผลการศึกษาแนวทางการปรับปรุงที่มีความเหมาะสมด้านการลงทุนโดยพิจารณาที่ระยะคืนทุน พบว่าแนวทางที่ประหยัดพลังงานมากที่สุดอาจไม่ใช่แนวทางที่เหมาะสมด้านการลงทุน เนื่องจากอาจมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงสูง และผลประหยัดที่ได้ไม่เพียงพอให้คืนทุนซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ โสพิศ ชัยชนะ (2558 : 90) ; สุรพล เดชพล (2552 : 73) ที่พบว่าแนวทางที่ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดไม่ใช่แนวทางที่ดีที่สุด หากพิจารณาในด้านความคุ้มค่าทางการลงทุน

สรุปผลได้ว่าการปรับปรุงการออกแบบสามารถดำเนินการได้ตั้งแต่ขั้นตอนการก่อสร้าง รูปแบบและลักษณะของสถาปัตยกรรมเป็นปัจจัยที่สำคัญเป็นอันดับแรก ที่ควรคำนึงถึงก่อนเลือกใช้วัสดุประกอบอาคารอาคาร หากลักษณะบ้านพักอาศัยพื้นฐานมีความเหมาะสม จะไม่มีความจำเป็นในการปรับปรุงอาคารในภายหลัง อย่างไรก็ตามผลการศึกษาของแนวทางปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารยังคงให้ประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างชัดเจน และสามารถนำผลการศึกษานี้มาประยุกต์ใช้ร่วมกันตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบอาคาร

5.2 **ข้อเสนอแนะของงานวิจัย**

1. การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประเมินแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของอาคารบ้านพักอาศัยพื้นฐานโดยทุ่นเน้นศึกษาที่ระบบกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเท่านั้น ทั้งนี้แนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่นเกี่ยวข้อง เช่น การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานมากขึ้น การแยกอุปกรณ์ที่มีความร้อนออกจากพื้นที่ปรับอากาศ ลดการรั่วซึมของอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ หรือการใช้พลังงานทดแทน ก็สามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ จึงควรมีการศึกษาแนวทางเหล่านี้ร่วมด้วยเพื่อให้สามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. การเลือกอาคารกรณีศึกษาเพื่อจำลองสภาพการใช้พลังงานภายในอาคารผ่านโปรแกรม DOE2.1E หากเลือกศึกษาอาคารจริงที่ก่อสร้างและใช้งานแล้ว ควรมีการนำค่าพลังงานที่ได้จากโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานจริงภายในอาคาร และกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใส่เข้าไปในโปรแกรม เช่น วัสดุประกอบอาคาร จำนวนและตารางช่วงเวลาการใช้งานอาคารทั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า ไฟฟ้าสว่าง และเครื่องปรับอากาศ ให้มีค่าเท่ากับอาคารจริงที่ต้องการศึกษาเพื่อยืนยันผลการจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3. จากผลการศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของบ้านพักอาศัยพื้นฐาน พบว่าแนวทางที่มีความเหมาะสมด้านการลงทุน และแนวทางที่สามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุด อาจไม่ใช่แนวทางเดียวกัน แต่สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกันได้ในบางกรณี ซึ่งคาดการณ์ว่าจะส่งผลให้สามารถประหยัดพลังงานได้เพิ่มมากขึ้น และอาจมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วมากขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือ ขนาดของอาคารและมาตรฐาน. 2552. (2552, 28 สิงหาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 126. ตอนพิเศษ 122 ง. หน้า 21-36.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ***โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยและสร้างต้นแบบบ้านประหยัดพลังงาน.*** กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2559.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ***โครงการศึกษาเพื่อจัดทำเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของบ้านที่อยู่อาศัย.*** กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2561.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ***แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับอาคารพักอาศัย : บ้านเดี่ยว บ้านแถว อาคารอยู่อาศัยรวม รุ่น R 49.00***. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2549.

กระทรวงพลังงาน.สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. (ม.ป.ป.). ***หลักเกณฑ์การวิเคราะห์ค่าผลตอบแทนทางการเงินและทางเศรษฐศาสตร์.***กรุงเทพฯ :สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน.2556

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน. 2558. ***แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2558–2579 (Energy Efficiency Plan; EEP 2015).*** กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน. 2558.

สำนักงานอำนวยการสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. 2563. ***บัญชีราคาค่าวัสดุและก่อสร้างและค่าแรงงาน.*** กรุงเทพฯ: กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สำนักงานอำนวยการสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. 2563

กุลวิชญ์ นุ้ยเพชร. ***ความคุ้มค่าในการลงทุนปรับปรุงอาคารพาณิชย์เก่าเขตพื้นที่ย่านธุรกิจ (CBD) ให้เป็นโฮมออฟฟิศเชิงอนุรักษ์พลังงาน***. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2558.

ฉกาจ เชื่อดี. ***การจัดการประสิทธิภาพด้านความร้อนของเปลือกอาคารของอาคารในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ***.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. 2552.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

ใบตอง ศรีสวัสดิ์. ***ค่ามาตรฐานการใช้พลังงานของอาคารที่อยู่อาศัยในประเทศไทยเพื่อให้เกิดมาตรการอนุรักษ์พลังงาน.*** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมและการวางแผน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2563

ปวเรศ ถาวรประเสริฐ. ***การศึกษาความเป็นไปได้การลงทุนอาคารเขียวตามเกณฑ์ประเมินคสามยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย***. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2558.

ปัทมาภรณ์ รัตนประดับ. ***แนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยวสองชั้น โครงการบ้านเอื้ออาทร จังหวัดขอนแก่น เพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม***. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2554.

วงศิยา อนุศุกดากุล. ***แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐในประเทศไทยให้เป็นอาคารที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์***. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2559.

โสพิศ ชัยชนะ. ***แนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเพื่อประหยัดพลังงาน***. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2558.

อรรจน์ เศรษฐบุตร. ***การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารทาวน์เฮ้าส์.*** วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรมการผังเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2550

อรรจน์ เศรษฐบุตร, อมรรัตน์ พงศ์พิศิษฎ์สกุล และ ธนิต จินดาวณิค. ***การออกแบบบ้านพักอาศัยเพื่อการประหยัดพลังงานด้วยแนวคิดสถาปัตยกรรมยั่งยืน.*** วารสารวิจัยพลังงาน. 2549.

อภิชญา อธิคมบัณฑิตกุล. ***การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวัสดุหลังคาที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำและฉนวนกันความร้อนทั่วไป.*** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2555.

กระทรวงพลังงาน. ***"คู่มือการออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงาน"***. สืบค้น 31 มกราคม 2564. http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=78&filename=index.

The U.S. Department of Energy. 1980. ***"DOE-2 Reference Manual Part1 Version2.1"***. [online] Available: https://doe2.com/Download/DOE-21E/DOE-2ReferenceManualVersion2.1A.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาว กัญญาณัฐ คงพรปรารถนา

วัน เดือน ปีเกิด 1 พฤศจิกายน พ.ศ.2539

ที่อยู่ 1669/144 ซ.สรนคมณ์ 25 แยก2-1 ถนนสรนคมน์ แขวงสีกัน เขตดอนเมือง กรุงเทพ 10210

E-mail Mint19135@gmail.com

ประวัติการศึกษา

2546-2552	โรงเรียนไผทอุดมศึกษา
2552-2558	โรงเรียนสารวิทยา
2558-2563	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมและการวางแผน สาขาวิชาสถาปัตยกรรมหลัก สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2563-2564	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ภาควิชาสถาปัตยกรรมและการวางแผน สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้