การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายจากการปรับปรุงระบบเปลือกอาคารบ้านจัดสรร ประเภทบ้านเดี่ยว เพื่อการประหยัดพลังงานและได้คะแนน ในเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงาน

โดย

นางสาวจารุวรรณ สุขสีดา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายจากการปรับปรุงระบบเปลือกอาคารบ้านจัดสรร ประเภทบ้านเดี่ยว เพื่อการประหยัดพลังงานและได้คะแนน ในเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงาน

โดย

นางสาวจารุวรรณ สุขสีดา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศา
ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

A COST ANALYSIS FOR BUILDING ENVELOPE RETROFIT OF DETACHED HOUSE FOR ENERGY SAVING AND ACHIEVING HOME ENERGY RATING SYSTEM

BY

MISS JARUWAN SUKSEEDA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF ARCHITECTURE

ARCHITECTURE
FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING
THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2015

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวจารุวรรณ สุขสีดา

เรื่อง

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายจากการปรับปรุงระบบเปลือกอาคารบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว
เพื่อการประหยัดพลังงานและได้คะแนนในเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงาน

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2559

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนิกานต์ ยิ้มประยูร)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ _____
(อาจารย์ ดร. ดารณี จารีมิตร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(อาจารย์ ดร. ดำรงศักดิ์ รินชุมภู)

คณบดี _____
(รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายจากการปรับปรุงระบบเปลือกอาคารบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว เพื่อการประหยัดพลังงานและได้คะแนนในเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงาน
ชื่อผู้เขียน	นางสาวจารุวรรณ สุขสีดา
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อาจารย์ ดร. ดารณี จารีมิตร
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความสัมพันธ์องค์ประกอบเปลือกอาคารกับสัดส่วนการได้คะแนนในเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ (หมวดเปลือกอาคาร) และค่าการใช้พลังงานภายในบ้านที่มาจากระบบปรับอากาศ เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงเปลือกอาคารบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยเปรียบเทียบต้นทุนที่เพิ่มในการปรับปรุงบ้านและผลประโยชน์ที่ได้รับในด้านค่าการใช้พลังงานและคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินฯ ภายใต้แนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี งานวิจัยนี้สำรวจบ้านเดี่ยวที่พบในปัจจุบัน จำนวน 328 หลังและคัดเลือกแบบบ้านเดี่ยวที่พบมากที่สุด จำนวน 54 หลังในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล (ในช่วงปี พ.ศ. 2557-2558) ทำการจำลองค่าการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม eQUEST 3.64 ผลจากการศึกษาพบว่าสามารถจัดกลุ่มบ้านตามช่วงคะแนนที่ได้ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) ระหว่าง 4-5 คะแนน และ (2) ระหว่าง 9-11 คะแนน จากคะแนนเต็ม 40 คะแนน บ้านเดี่ยวส่วนใหญ่ที่ได้ระดับคะแนนจากเกณฑ์ประเมินสูงจะมีแนวโน้มค่าการใช้พลังงานลดลง แต่บ้านบางส่วนมีค่าการใช้พลังงานไม่สัมพันธ์กับระดับคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน เพื่อให้ค่าคะแนนจากเกณฑ์ประเมินสอดคล้องกับค่าการใช้พลังงาน ในการประเมินฯอาจพิจารณาให้ความสำคัญกับอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ในแต่ละทิศทาง โดย 15 แนวทางการปรับปรุงถูกเลือกนำมาคำนวณค่าการใช้พลังงาน เงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุง และคะแนนที่ได้จากการเกณฑ์ประเมิน ฯ ในการปรับปรุงเปลือกอาคาร โดยแนวทางการปรับปรุงที่ดีที่สุดซึ่งเป็น

การปรับปรุงที่เหมาะสมจากทั้ง 3 เงื่อนไข คือ การใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับการติดตั้งฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้วเหนือฝ้าเพดาน สามารถลดค่าการใช้พลังงานจากการปรับอากาศลดลงเฉลี่ยร้อยละ 29 และได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมิน ฯ 16 คะแนน โดยมีระยะเวลาคืนทุน 13.4 ปี การปรับปรุงชนิดกระจกที่มีค่า SHGC ต่ำมีนัยยะสำคัญในการเพิ่มการประหยัดพลังงาน ตามมาด้วยการติดตั้งฉนวนผนังอาคาร นอกจากนี้การติดตั้งฉนวนฝ้าเพดานมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำที่สุด

คำสำคัญ: เปลือกอาคาร, บ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยว, ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน, คะแนนเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงาน, ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงบ้าน

Thesis Title	A COST ANALYSIS FOR BUILDING ENVELOPE RETROFIT OF DETACHED HOUSE FOR ENERGY SAVING AND ACHIEVING HOME ENERGY RATING SYSTEM
Author	Miss Jaruwan Sukseeda
Degree	Master of Architecture
Department/Faculty/University	Architecture Faculty of architecture and planning Thammasat University
Thesis Advisor	Daranee Jareemit, Ph.D.
Academic Years	2015

ABSTRACT

This research studied a relationship among building envelope characteristic, energy efficiency rating (focused on building envelop), and home energy performance from the air conditioning system of 54 existing detached houses located in Bangkok neighborhoods. The aim of this research is to propose the solutions for building envelope retrofit of detached house for energy saving within 20-year payback period. The simulation of home energy performance used eQUEST 3.64 software and the calculation of energy score followed the TEEAM rating system. The study results that the calculated energy efficiency rating of the studied houses can be separated into two ranges (1) between 4-5 scores and (2) between 9-11 scores from a total of 40 score. Interestingly, energy consumption in some of the houses with the score ranging 9-11 had the same range as those of the house with 4-5 scores since such houses has high wwr on east and west envelopes. The direction of WWR on building envelope should be considered as a significant of criteria in the TEEAM rating system, which makes the score rating system more relevant to home energy performance. Fifthteen

solutions are selected to evaluate energy saving, replacement cost, and energy saving score. The best solution, which compromised all three conditions is the use of heat reflective widow with 6 inch fiberglass insulation for the ceiling. This can save A/C electricity consumption approximately 29 percent and achieve 16 energy rating scores with 13. 4- year payback period. The replacement of glass type with low SHGC significantly increase the energy saving, followed by install the wall insulation. Installing the ceiling insulation has a small impact on home energy performance.

Keywords: Building Envelope, Detached Houses, Energy Performance, Achieving Home Energy Rating System, Retrofitting Cost

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ ดร.ดารณี จารีมิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณที่กรุณาให้คำปรึกษาและข้อแนะนำ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัย ตลอดจนคำแนะนำในการแก้ไขจุดบกพร่องต่าง ๆ และขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ รินชุมภู และรองศาสตราจารย์ ดร. ชนิกานต์ ยิ้มประยูร ที่กรุณาเป็นอาจารย์กรรมการวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำรวมถึงข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย และขอขอบพระคุณอาจารย์ เอนก สุวรรณชัยสกุล ซึ่งให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน และผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ท่านอื่น ๆ ที่ไม่ได้เอ่ยนามในการให้ความช่วยเหลือการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2559 ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ตามสัญญาเลขที่ ทน 13/2559

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคุณพ่อมาลัย สุขสีดา และคุณแม่มาลี หนูศิลา ที่คอยสนับสนุนให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจในการศึกษาวิจัยนี้ รวมถึงนางสาวณัฐฐาอัมพร อินทร์พรหมที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการศึกษาวิจัย

นางสาวจารุวรรณ สุขสีดา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 สมมติฐานการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 ระเบียบวิธีวิจัย	4
1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย	4
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน	6

2.1.1 การนำความร้อน 7
2.1.2 การพาความร้อน 7
2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน 8
2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร 8
2.2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคา 8
2.2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง 10
2.3 การคำนวณระยะเวลาคืนทุน 11
2.3.1 ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง 11
2.3.2 การคิดค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง 11
2.4 เกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานในประเทศไทย 12
2.4.1 ระดับคะแนนในเกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 14
2.4.2 หลักเกณฑ์และสัดส่วนการให้คะแนนของเกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 15
2.4.3 หรายละเอียดการได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 (TEEAM) หมวดเปลือกอาคาร 17
2.5 หลักการออกแบบและการปรับปรุงบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน 21
2.5.1 การปรับปรุงการปกปิดรอยต่อ 21
2.5.2 การป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารในส่วนของผนังทึบแสง 21
2.5.3 การป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารในส่วนของช่องเปิด 22
2.5.4 การป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารในส่วนของหลังคา 23
2.5.4.1 ฉนวนชนิดโฟม 24
2.5.4.2 ฉนวนชนิดร็อควูลหรือฉนวนใยหิน 24
2.5.4.3 ฉนวนชนิดใยแก้ว 24
2.5.4.4 ฉนวนชนิดโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 25
2.5.4.5 ระบบผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร หรือผนัง EIFS (External Insulated Finishing System) 25

บทที่ 3 วิธีการวิจัย 35

3.1 วิธีการดำเนินวิจัย 35
3.2 รูปแบบการวิจัย 38
3.2.1 การวิจัยเชิงสำรวจ 38
3.2.2 การวิจัยเชิงคำนวณทางตัวเลข 39
3.2.2.1 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในบ้านโดย โปรแกรม Beopt 2.4.0.1 Beta 40
3.2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน 42
3.3 ลักษณะของบ้านที่ใช้เป็นกรณีศึกษา 44
3.3.1 การแบ่งกลุ่มประชากร 44
3.2.2 การคัดเลือกบ้านกรณีศึกษา 45
3.4 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย 49
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 53
3.6 การคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงาน 53

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล 56

4.1 อิทธิพลของตัวแปร 56
4.1.1 ผลการประเมินคะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร ของบ้านเดี่ยวที่พบในปัจจุบัน 56
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการใช้พลังงานกับคะแนนที่ได้ จากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (TEEAM) 57
4.2 อิทธิพลขององค์ประกอบเปลือกอาคาร 59
4.2.1 ผลการศึกษาการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคารทีละตัวแปรที่มีผลต่อ ค่าการใช้พลังงานภายในบ้านและคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคาร อนุรักษ์พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 59

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแนวทางการปรับปรุงเปลือกอาคาร แต่ละชนิดวัสดุร่วมกันที่มีผลต่อแนวโน้มค่าการใช้พลังงานและคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารอนุรักษ์พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม 69
4.3 อิทธิพลขององค์ประกอบเปลือกอาคาร 71
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของทางเลือกการปรับปรุงในแต่ละกรณี 71
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเงินลงทุนในการปรับปรุงและคะแนนที่ได้ที่เพิ่มขึ้น และค่าการใช้พลังงานที่ลดลงจากการปรับปรุงเปลือกอาคาร 76

บทที่ 5 สรุปการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ 83

5.1 สรุปผลการวิจัย 84
5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเปลือกอาคารของบ้านเดี่ยวที่พบในปัจจุบันที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานและคะแนนจากเกณฑ์ประเมิน 84
5.1.2 สรุปผลการศึกษาองค์ประกอบเปลือกอาคารที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานภายในบ้านและคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินฯ 85
5.1.3 สรุปผลการการศึกษาคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินฯในการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคารแต่ละชนิดวัสดุร่วมกันและกับแนวโน้มค่าการใช้พลังงานและระยะเวลาคืนทุน 90
5.2 แนวทางการปรับปรุงบ้านให้ได้ฉลากประหยัดพลังงานจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 ภายใต้ระยะคืนทุนไม่เกิน 20 ปี 92
5.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะในการวิจัย 95

รายการอ้างอิง 97

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก 102
ภาคผนวก ข 106
ภาคผนวก ค 107
ภาคผนวก ง 109

ประวัติผู้เขียน 111

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ระดับคะแนนของการประหยัดพลังงานและค่าคะแนนของเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารพักอาศัย รุ่น R49.02	15
2.2 รายละเอียดเกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวด เปลือกอาคาร และรายละเอียดคะแนนการประหยัดพลังงาน	18
2.3 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรที่ใช้ปรับปรุงบ้านประหยัดพลังงานและเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานของการศึกษาวิจัยต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศ	27
2.4 ลักษณะบ้านกรณีศึกษาและแนวทางการปรับปรุงตามเกณฑ์ JNBC และตามแนวทาง Net Zero Energy	29
2.5 ตารางแสดงตัวแปรที่ใช้ในการปรับปรุงบ้านของงานวิจัยต่าง ๆ เปรียบเทียบกับระยะเวลาการคืนทุน	32
	24
3.1 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลทั่วไปของบ้านจัดสรร	38
3.2 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพของบ้านจัดสรร	39
3.3 แสดงรายละอียดตัวอย่างค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านกรอบอาคารจากบ้านกรณีศึกษา	39
3.4 ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนค่าก่อสร้างเปลือกอาคารบ้านจัดสรร	43
3.5 แสดงจำนวนประชากรแบบบ้านที่ศึกษาของแต่ละบริษัทผู้พัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรร	44
3.6 ตารางแสดงตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย	50
3.6 รายการวัสดุที่ใช้สำหรับบ้านกรณีศึกษา	39
3.7 ค่าคุณสมบัติและราคาการก่อสร้างของวัสดุกระจก	51
3.8 ค่าคุณสมบัติและราคาการก่อสร้างของวัสดุผนัง	52
3.9 ค่าคุณสมบัติและราคาการก่อสร้างของวัสดุฉนวนฝ้าเพดาน	52
4.1 อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังในแต่ละทิศของบ้านในแต่กลุ่มคะแนน	59

4.2 คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน TEEAM หมวดเปลือกอาคาร ของวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงเปลือกอาคาร 66
4.3 เปรียบเทียบลำดับความสำคัญของตัวแปรวัสดุเปลือกอาคารในแต่ละด้าน 68
4.4 ช่วงระยะเวลาคืนทุนของแต่ละแนวทางการปรับปรุงทั้ง 60 กรณี 73
4.5 ช่วงระยะเวลาคืนทุนของแนวทางการปรับปรุงที่ศึกษา 75
4.6 ระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ยของแต่ละแนวทางการปรับปรุง 82
5.1 สัดส่วนและค่าการใช้พลังงานจากการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารบ้านกรณีศึกษา 87
5.2 เปรียบเทียบลำดับความสำคัญของตัวแปรในการปรับปรุงเปลือกอาคารในแต่ละด้าน 89
5.2 แนวโน้มการลดค่าการใช้พลังงานในการปรับปรุงบ้าน 85
5.3 แนวทางการปรับปรุงบ้านประหยัดพลังงาน 94

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนคะแนนระหว่างเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 (TEEAM) และเกณฑ์การประเมินเพื่อชุมชนน่าอยู่น่าสบายอย่างยั่งยืน Ecovillage	14
2.2 สัดส่วนคะแนนการประเมินด้านประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน	17
2.3 เงาของแผงบังแดดแบบต่างๆ. จาก การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น	22
2.4 รูปแบบแผงบังแดดแบบผสม	23
2.5 ตำแหน่งที่สามารถติดตั้งฉนวนกันความร้อนของหลังคา	24
2.6 ส่วนประกอบฉนวนใยแก้ว	25
2.7 องค์ประกอบของฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์	25
2.8 ส่วนประกอบระบบผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารทั้ง 2 ระบบ	26
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยขั้นแรก	35
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยขั้นสุดท้าย	37
3.3 ภาพรวมของวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี	41
3.4 จอแสดงผลหุ่นจำลองของโปรแกรม eQUEST 3.64 และผลการคำนวณค่าการใช้พลังงานของโปรแกรม eQUEST 3.64	42
3.5 รูปแบบบ้านแบบเอ ถึง ยู	45
3.6 จำนวนแบบบ้านแบ่งตามพื้นที่ใช้สอยของบ้านชั้น 1	47
3.7 สัดส่วนจำนวนบ้านตามจำนวนห้องนอนและห้องน้ำของบ้านแบบ บี	48
3.8 รูปแบบผังชั้น 2 ของแบบบ้าน บี 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ	48
3.9 จำนวนแบบผังชั้น 2 ของแบบบ้าน บี 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ	49
3.10 การคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมที่สุด	55
4.1 สัดส่วนจำนวนบ้านกรณีศึกษาที่ได้คะแนนในกลุ่ม 4-5 คะแนนและกลุ่ม 9-11 คะแนนจากเกณฑ์ประเมิน TEEAM รุ่น R49.02 ในหมวดเปลือกอาคาร	57
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน TEEAM รุ่น R49.02 ในหมวดเปลือกอาคาร กับค่าการใช้พลังงานต่อตารางเมตร (กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อปี) ของบ้านกรณีศึกษา	58

4.3 ผังอาคารชั้น 1 และชั้น 2 ของบ้านกรณีศึกษาที่ใช้ในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนชนิดวัสดุเปลือกอาคาร 60
4.4 เปรียบเทียบการปรับปรุงวัสดุกระจกของบ้านกรณีศึกษา 01 61
4.5 เปรียบเทียบการปรับปรุงผนังของบ้านกรณีศึกษา 01 62
4.6 เปรียบเทียบการปรับปรุงวัสดุฉนวนฝ้าเพดานและหลังคาของบ้านกรณีศึกษา 01 63
4.7 เปรียบเทียบการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารทั้ง 12 ชนิด 64
4.8 แนวโน้มค่าการใช้พลังงานในการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารทั้ง 60 กรณี 70
4.9 ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงบ้านเปรียบเทียบกับค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 72
4.10 ค่าสูงสุดและค่าต่ำของสุดอัตราร้อยละค่าการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นในการปรับปรุงของบ้านกรณีศึกษา 77
4.11 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของอัตราร้อยละค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการปรับปรุงของบ้านกรณีศึกษา 79
4.12 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของอัตราร้อยละการได้คะแนนที่เพิ่มขึ้นในการปรับปรุงของบ้านกรณีศึกษา 80
5.1 แนวโน้มค่าการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงบ้านและหลังการปรับปรุงบ้าน 90
5.2 คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน TEEAM ในการปรับปรุงเปลือกอาคารที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี 91
5.3 คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงบ้าน 92

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยคาดว่าในปี พ.ศ. 2573 จะมีการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นถึง 2.1 เท่าของปัจจุบัน บ้านอยู่อาศัยเป็นภาคเศรษฐกิจที่สำคัญในการประเมินศักยภาพในการใช้พลังงานเนื่องจากมีการใช้พลังงานร้อยละ 15 มากเป็นอันดับ 3 รองจากภาคขนส่งและภาคอุตสาหกรรม จากการคาดการณ์การใช้พลังงานในภาคที่อยู่อาศัยในปี พ.ศ. 2573 และคาดว่าการใช้พลังงานจะสูงขึ้นถึง 150,000 พันตันน้ำมันดิบ จากในปี พ.ศ.2538 ซึ่งมีการใช้พลังงานเพียง 40,000 พันตันน้ำมันดิบ (กระทรวงพลังงาน, 2554) จากข้อมูลฝ่ายวิชาการธนาคารอาคารสงเคราะห์พบว่าปัจจุบันประเทศไทยมีรูปแบบที่อยู่อาศัยประเภทบ้านเดี่ยวมีจำนวนมากที่สุดในประเทศไทยคิดเป็นร้อยละ 39.5 และคาดว่าจำนวนการก่อสร้างบ้านเดี่ยวจะมีแนวโน้มการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากบ้านเดี่ยวเป็นประเภทที่อยู่อาศัยที่มีความต้องการซื้อสูงสุด (ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย, 2557) จากข้อมูลดังกล่าวบ้านเดี่ยวอาจเป็นประชากรที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดในกลุ่มที่อยู่อาศัย ดังนั้นการปรับปรุงบ้านเดี่ยวที่มีอยู่ในปัจจุบันจำนวนมากให้เป็นบ้านประหยัดพลังงานน่าจะมีส่วนช่วยในการลดใช้พลังงานเป็นอย่างมาก

การใช้พลังงานที่สูงขึ้นทำให้ภาครัฐโดยกระทรวงพลังงานมีมาตรการและนโยบายเพื่อสนับสนุนการลดใช้พลังงานในภาคที่อยู่อาศัย เช่น แผนอนุรักษ์ 20 ปี (พ.ศ.2554 - 2573) ได้กำหนดมาตรการเพื่อลดการใช้พลังงานในภาคที่อยู่อาศัย คือ มาตรการสนับสนุนการติดฉลากแสดงประสิทธิภาพพลังงานของบ้านอยู่อาศัยและมาตรการสนับสนุนบ้านประหยัดพลังงานต้นแบบจากมาตรการติดฉลากของบ้านที่อยู่อาศัย โดยใช้เกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมบ้านพักอาศัย รุ่น R49.02 ในการประเมินประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน มุ่งเน้นประเมินอาคารที่ได้รับการปรับปรุงหรืออาคารสร้างใหม่ด้วยการประเมิน 9 หมวด โดยหมวดที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอย่างหมวดเปลือกอาคารมีคะแนนสูงสุดคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 40 (กระทรวงพลังงาน, 2553) สัดส่วนคะแนนดังกล่าวมีความสอดคล้องกับสัดส่วนการใช้พลังงานภายในบ้านอยู่อาศัยซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่มาจากการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อทำความเย็น คิดเป็นร้อยละ 70 (ธนิต จินดาวณิค, พรรณชลัท สุริโยธิน และ วรภัทร อิงคโรจนฤทธิ์, 2550, น. 4) โดยมีผลมาจากความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคารมากที่สุดร้อยละ 78

การปรับปรุงบ้านอยู่อาศัยให้เป็นบ้านประหยัดพลังงานอาจมีต้นทุนในการปรับเปลี่ยนที่ค่อนข้างสูง ส่งผลให้การปรับปรุงบ้านเพื่อการประหยัดพลังงานอาจจะไม่ได้รับความสนใจจากเจ้าของบ้านมากนัก ภาครัฐจึงมีโครงการสนับสนุนเพื่อกระตุ้นให้เกิดแรงจูงใจแก่เจ้าของบ้านในการสร้างบ้านประหยัดพลังงานมากขึ้นโดยกระทรวงการคลังร่วมกับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) มีโครงการยกเว้นภาษีเงินได้ร้อยละ 25 ของการซื้ออุปกรณ์และวัสดุการก่อสร้างบ้านเพื่อประหยัดพลังงาน เช่น กระจกและฉนวนกันความร้อน ถึงแม้รัฐมีนโยบายสนับสนุนเพื่อการสร้างบ้านประหยัดพลังงาน แต่บ้านประหยัดพลังงานอาจยังไม่เป็นที่นิยมสำหรับเจ้าของบ้าน เนื่องจากไม่สามารถหาข้อสรุปได้ว่าการก่อสร้างบ้านประหยัดพลังงานมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมที่สูงขึ้นเท่าใดและจะได้ผลตอบแทนเท่าใด (รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ, 2558)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางด้านองค์ประกอบเปลือกอาคารบ้านจัดสรรกับสัดส่วนการให้คะแนนในเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ บ้านพักอาศัย รุ่น R49.02 และค่าการใช้พลังงานภายในบ้านเพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงเปลือกอาคารบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยเปรียบเทียบต้นทุนที่เพิ่มขึ้นในการปรับปรุงบ้านและผลประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับปรุงบ้านประหยัดพลังงาน ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์แก่เจ้าของบ้านในการให้ความสำคัญกับการสร้างบ้านประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถเข้าถึงข้อมูลด้านต้นทุนการก่อสร้างเปลือกอาคารที่สอดคล้องกับประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานเพื่อประกอบการตัดสินใจปรับปรุงบ้านเพื่อประหยัดพลังงานภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 สำรวจและเก็บข้อมูลทั่วไปและข้อมูลทางกายภาพของบ้านเดี่ยวประเภทบ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล จำแนกลักษณะทางกายภาพของบ้านเดี่ยวเพื่อเลือกแบบบ้านที่นิยมในปัจจุบัน โดยประเมินคะแนนองค์ประกอบเปลือกอาคารที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 และอิทธิพลต่อค่าการใช้พลังงานภายในบ้าน

1.2.2 ศึกษาอิทธิพลขององค์ประกอบเปลือกอาคารจากการปรับปรุงบ้านที่มีผลต่อการใช้พลังงานและสัดส่วนการได้คะแนนของเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร

1.2.3 วิเคราะห์ผลความคุ้มค่าในการลงทุน เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงบ้านให้ได้ฉลากประหยัดพลังงานจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 ภายใต้ระยะคืนทุนไม่เกิน 20 ปี

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ลักษณะของบ้านที่ทำการศึกษาเป็นบ้านเดี่ยว 2 ชั้น ประเภทบ้านจัดสรร ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลที่พบในท้องตลาดปัจจุบัน โดยนำมาจากเว็บไซต์ของโครงการ

1.3.2 ในการศึกษานี้ศึกษาโดยอาศัยเกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร จัดทำโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน (กระทรวงพลังงาน, 2553) เท่านั้น

1.3.3 ในการศึกษานี้ศึกษาเฉพาะการปรับปรุงเปลือกอาคารที่มีอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ วัสดุฉนวนฝ้าเพดาน วัสดุผนัง และวัสดุกระจก ไม่ได้เน้นด้านความสวยงามและปัจจัยด้านทิศทางการวางอาคาร

1.3.4 ศึกษาการประเมินราคาต้นทุนการปรับปรุงบ้านประหยัดพลังงาน ได้แก่ ค่าแรงงาน และค่าวัสดุก่อสร้าง โดยอ้างอิงราคาจากราคาวัสดุส่วนกลางจากสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ ปี พ.ศ.2558 และจากการสอบถามกับผู้ผลิต

1.3.5 การศึกษานี้ศึกษาค่าการใช้พลังงานและค่าไฟฟ้าที่มีอิทธิพลจากระบบปรับอากาศเท่านั้น

1.4 สมมติฐานการวิจัย

การปรับปรุงเปลือกอาคารบ้านจัดสรรให้ได้คะแนนสูงในการประเมินอาคารประหยัดพลังงานรุ่น R-49.02 (กระทรวงพลังงาน, 2553) สามารถพัฒนาได้ภายใต้ระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ผู้ออกแบบได้ทราบถึงข้อมูลทั่วไป และข้อมูลทางกายภาพของบ้านเดี่ยวประเภทบ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลจำแนกลักษณะทางกายภาพของแบบบ้านที่นิยมในปัจจุบัน

1.5.2 ผู้อยู่อาศัยและผู้ออกแบบทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการได้คะแนนของเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 (กระทรวงพลังงาน, 2553) และตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการได้คะแนนและค่าการใช้พลังงาน

1.5.3 ผู้อยู่อาศัยได้ประโยชน์ในด้านข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการปรับปรุงบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน

1.6 ระเบียบวิธีวิจัย

1.6.1 ศึกษาแนวความคิด หลักเกณฑ์ ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงบ้านประหยัดพลังงานเพื่อกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา รวมทั้งศึกษาเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานสำหรับบ้านในประเทศไทยเพื่อเลือกเกณฑ์ที่เหมาะสมกับโครงการบ้านจัดสรร

1.6.2 สำรวจและเก็บข้อมูลทางกายภาพของกลุ่มประชากรบ้านเดี่ยวประเภทบ้านจัดสรร 2 ชั้นที่พบในปัจุบันในเขตกรุงเทพและปริมณฑล เพื่อสรุปแบบบ้านที่นิยมสร้างในปัจจุบัน

1.6.3 ศึกษาลักษณะการได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 และองค์ประกอบเปลือกอาคารที่มีอิทธิพลต่อค่าการใช้พลังงานของบ้านเดี่ยวที่พบในปัจจุบัน

1.6.4 ศึกษาอิทธิพลองค์ประกอบเปลือกอาคารหลังการปรับปรุงบ้านที่มีผลต่อการใช้พลังงานและสัดส่วนการได้คะแนนของเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02

1.6.5 วิเคราะห์ผลความคุ้มค่าในการลงทุนเพื่อการปรับปรุงบ้านให้ได้ฉลากจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02

1.7 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.7.1 ความคุ้มค่าในการลงทุน หมายถึง ต้นทุนการก่อสร้างเปลือกอาคารบ้านจัดสรรประหยัดพลังงานและระยะเวลาคืนทุนเปรียบเทียบกับค่าไฟฟ้าของบ้านและคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารอนุรักษ์พลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02

1.7.2 ข้อมูลทั่วไปของบ้านเดี่ยว ประเภทบ้านจัดสรร หมายถึง ข้อมูลประกอบทั่วไปของบ้านเดี่ยวประเภทบ้านจัดสรรที่ทำการศึกษา เช่น ชื่อแบบบ้าน ชื่อโครงการ ขนาดพื้นที่ใช้สอย ผังชั้น 1 และผังชั้น 2 เป็นต้น

1.7.3 ข้อมูลทางกายภาพของบ้านเดี่ยว ประเภทบ้านจัดสรร หมายถึง ข้อมูลลักษณะภายนอกของบ้านเดี่ยวประเภทบ้านจัดสรรที่ทำการศึกษา เช่น การใช้วัสดุ สีภายนอก ขนาด พื้นที่ของผนัง หลังคา หน้าต่าง เป็นต้น

1.7.4 องค์ประกอบของเปลือกอาคาร หมายถึง ส่วนประกอบของเปลือกอาคารในส่วนของผนังภายนอก หลังคา กระจก และฉนวนกันความร้อน

1.7.5 บ้านเดี่ยวประเภทบ้านจัดสรร หมายถึง บ้านเดี่ยว 2 ชั้น ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลที่เปิดขายในเว็บไซต์ของโครงการที่พบในปัจจุบัน

1.7.6 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน หมายถึง การเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้านระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงบ้านเพื่อประหยัดพลังงาน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับความคุ้มค่าในการลงทุนพัฒนาบ้านจัดสรรประหยัดพลังงาน ได้อาศัยแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถจำแนกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ได้แก่

2.1.1 การนำความร้อน

2.1.2 การพาความร้อน

2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน

2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

2.2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคา

2.2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง

2.3 การคำนวณระยะเวลาคืนทุน

2.3.1 ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง

2.3.2 การคิดค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

2.4 เกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารพักอาศัย รุ่น R49.02

2.4.1 ระดับคะแนนในการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02

2.4.2 หลักเกณฑ์และสัดส่วนการให้คะแนนของเกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลัง งานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02

2.4.3 รายละเอียดการได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็น มิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร

2.5 หลักการออกแบบและการปรับปรุงบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน

2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนเกิดจากการถ่ายเทพลังงานความร้อนอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ รูปแบบการถ่ายเทความร้อนมี 3 วิธี ดังนี้

2.1.1 การนำความร้อน

การนำความร้อน (Thermal conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิสูงส่งผ่านสสารที่อยู่นิ่งกับที่โดยการแพร่ไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ในวัสดุเปลือกอาคารอัตราการนำความร้อนขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการนำความร้อนหรือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแต่ละวัสดุ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1

$$Q_{cond} = kA\,(\Delta T) \qquad \text{(สมการที่ 2.1)}$$

โดยที่ Q_{cond} = พลังงานจากการนำความร้อน (W)

k = ค่าการนำความร้อนหรือสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m^2{}^\circ C$)

A = พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (m^2)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^\circ C$)

2.1.2 การพาความร้อน

การพาความร้อน (Thermal convection) คือ การถ่ายเทความร้อนซึ่งส่งผ่านตัวกลางที่มีสถานะเป็นแก๊สหรือของเหลว โดยตัวกลางที่ได้รับความร้อนจะเคลื่อนที่พาความร้อนไปด้วย การพาความร้อนแบ่งได้ 2 ลักษณะ ได้แก่

2.1.2.1 การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection) เกิดจากการบังคับให้ของไหล เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น ปั๊ม พัดลม เป็นต้น

2.1.2.2 การพาความร้อนแบบอิสระ (Free convection) การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างของแข็งและของไหลโดยแรงลอยตัวของของไหล เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของของไหลที่แตกต่างกันเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่างกันในชั้นของไหล สามารถแสดงได้สมการที่ 2.2

$$Q_{conv} = hA\,(\Delta T) \qquad \text{(สมการที่ 2.2)}$$

โดยที่ Q_{conv} = พลังงานจากการพาความร้อน (W)

h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2{}^\circ C$)

A = พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ (m^2)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^\circ C$)

2.1.3 การแผ่รังสีความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) คือ การถ่ายเทความร้อนซึ่งเคลื่อนที่ในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยไม่อาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ แตกต่างจากการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบการนำความร้อนและการพาความร้อนซึ่งต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ การแผ่รังสีความร้อนจะเริ่มในช่วงความยาวคลื่น 0.1 μm ถึง 100 μm อัตราการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุขึ้นอยู่กับความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุ (emissivity) ขนาดพื้นที่ผิว และอุณภูมิที่ผิววัสดุ แสดงได้ดังสมการที่ 2.3

$$Q_{rad} = \varepsilon\sigma A T^4 \qquad \text{(สมการที่ 2.3)}$$

โดยที่ Q_{rad} = พลังงานจากการแผ่รังสีความร้อน (W)

ε = ค่าการคายรังสีความร้อน

σ = ค่าคงที่ของสเตฟานและโบลทซ์มันน์ (W/m^2K^4)

A = พื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่หันเข้าหากัน (m^2)

T^4 = อุณหภูมิผิววัสดุที่แตกต่างกัน (K)

2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

ในการศึกษาวิจัยนี้อาศัยวิธีการคำนวณภาระการทำความเย็นโดยวิธี RTS (Radiant time series) โดยเป็นวิธีที่ใช้ในโปรแกรม eQUEST 3.64 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจำลองค่าการใช้พลังงานภายในบ้านของการศึกษาวิจัยนี้ ซึ่งการคำนวณโดยวิธี RTS (Radiant time series) ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นมีที่มาจากความร้อนจาก 2 แหล่งกำเนิด ได้แก่ 1) ความร้อนที่เกิดจากภายนอกอาคาร ได้แก่ การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคา และการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และ 2) ความร้อนที่เกิดจากแหล่งกำเนิดภายใน ได้แก่ ความร้อนที่เกิดจากมนุษย์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์แสงสว่าง โดยตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคา

การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาสามารถคำนวณปริมาณความร้อนจากการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ผนังและจากการนำความร้อน ได้ดังสมการที่ 2.4

$$q_\theta = U\,A\,(t_{e,\,q\text{-}n} - t_{rc}) \qquad \text{(สมการที่ 2.4)}$$

โดยที่ q_θ = ค่าการนำความร้อน (Watt หรือ Btu/h)

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (Watt/ m^2°C หรือ Btu/h.ft^2.°F)

A = พื้นที่ผิวผนัง หรือหลังคา

$t_{e,\,q\text{-}n}$ = อุณหภูมิอากาศที่ผิวภายนอกของอาคาร (Sol-air temperature) (°C หรือ °F)

t_{rc} = อุณหภูมิภายในห้อง (°C หรือ °F)

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผ่านผนัง ได้แก่ 1) ความหนาแน่นของมวลสารผนังภายนอก โดยผนังภายนอกที่มีมวลสารมากส่งผลให้เกิดการหน่วงความร้อนที่ตัววัสดุ ทำให้เกิดการสะสมความร้อน ซึ่งอาคารประเภทบ้านเดี่ยวส่วนใหญ่มีการใช้เครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืนอาจทำให้ผนังที่มีมวลสารผนังภายนอกมากไม่เหมาะสมกับบ้านเดี่ยว 2) สีภายนอกของผนังและหลังคา โดยสีภายนอกหรือสีของหลังคามีอิทธิพลจากค่าการดูดรังสีความร้อน ซึ่งหากผนังหรือหลังคามีสีอ่อนจะมีค่าการดูดรังสีความร้อนต่ำจะส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารที่ลดลง และ 3) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังภายนอก (U-value) วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงจะสามารถลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้มาก

จากสมการข้างต้นในการคำนวณปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังหรือหลังคา ในสมการที่ 2.4 การนำความร้อนของผนังและหลังคาต้องมีการคูณด้วย Conduction time series factors หรือ ตัวประกอบอนุกรมเวลาของการนำความร้อนรายชั่วโมง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวภายในและภายนอกอาคารที่มีค่าไม่คงที่ โดยมีผลมาจากการหน่วงความร้อนของวัสดุผนังและหลังคา ทำให้ความร้อนไม่ได้เข้ามาภายในอาคารในชั่วโมงปัจจุบันในทันที โดยมีความร้อนบางส่วนถูกหน่วงให้เข้าสู่อาคารในชั่วโมงถัดไป ดังนั้นเพื่อให้ทราบปริมาณความร้อนต่อชั่วโมงที่เข้าสู่อาคาร สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.5

$$Q_\theta = r_o q_{\,i,q} + r_1\, q_{\,i,q\text{-}1} + r_2\, q_{\,i,q\text{-}2} + r_3\, q_{\,i,q\text{-}3} + \ldots + r_{23}\, q_{\,i,q\text{-}23} \qquad \text{(สมการที่ 2.5)}$$

โดยที่ Q_θ = ภาระการทำความเย็น

$q_{\,i,q}$ = ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามา ณ ชั่วโมงปัจจุบัน

$q_{i,q-n}$ = ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาในชั่วโมงก่อนหน้า

r_o, r_1, *etc* = ค่าถ่วงน้ำหนักของการนำความร้อน

2.2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง

การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสงสามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารแบ่งตามแหล่งกำเนิดได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) ความร้อนที่ผ่านกระจกเข้าสู่อาคารโดยตรง คำนวณได้ดังสมการที่ 2.6 และความร้อนที่แผ่เข้าสู่กระจก คำนวณได้ดังสมการที่ 2.7 และ 2) การดูดซับความร้อนผ่านกระจกโดยนำความร้อนเข้าสู่อาคาร คำนวณได้ดังสมการที่ 2.8 โดยการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.9

$$q_{SHG},D = E_D * A_{sunlid} * SHGC(\theta) \quad \text{(สมการที่ 2.6)}$$

$$q_{SHG},d = A * (E_d + E_r) * (SHGC)_D \quad \text{(สมการที่ 2.7)}$$

$$q_{SHG} = q_{SHG},D + q_{SHG},d \quad \text{(สมการที่ 2.8)}$$

$$q_c = UA\ (t_{out}-t_{in}) \quad \text{(สมการที่ 2.9)}$$

โดยที่ q_{SHG},D = ปริมาณความร้อนที่ส่องมาจากแสงอาทิตย์โดยตรง

q_{SHG},d = ปริมาณความร้อนที่แพร่มาจากแสงอาทิตย์

q_{SHG} = พลังงานความร้อนรวมจากแสงอาทิตย์ที่ถ่ายเทผ่านผนังโปร่งแสง

q_c = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาจากการนำความร้อน (Watt หรือ Btu/ h)

E_D, E_d, E_r = ค่าการแผ่รังสีความร้อนโดยตรง, ค่าการแผ่รังสีความร้อนกระจายสะท้อนผ่านท้องฟ้าโดยการแพร่, การแผ่รังสีความร้อนกระจายโดยการสะท้อนผ่านพื้นดิน

A_{sunlid} = พื้นที่กระจกที่ไม่มีการกรองแสง โดยมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อไม่มีการติดตั้งแผงบังแดด

A = พื้นที่ผนังโปร่งแสง (m^2 หรือ ft^2)

$SHGC(\theta)$ = ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ณ มุมตกกระทบที่ q

$(SHGC)_D$ = ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์จากรังสีกระจาย

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Watt/m^2°C หรือ Btu/h.ft^2.°F)

t_{out} = อุณหภูมิพื้นที่ผิวภายนอก (°C หรือ °F)

t_{in} = อุณหภูมิพื้นที่ผิวภายใน (°C หรือ °F)

2.3 การคำนวณระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) คือ ระยะเวลาในการได้รับผลตอบแทนของเงินที่ได้รับเท่ากับเงินลงทุนที่จ่ายในการทำโครงการเป็นการคำนวณเพื่อหาจุดคุ้มทุนของโครงการว่าในการทำโครงการต้องใช้ระยะเวลาเท่าใดในการคืนทุน ระยะเวลาคืนทุนเป็นวิธีการหนึ่งในการวัดค่าในการลงทุนซึ่งมีวิธีการในการคำนวณหลายวิธี ในส่วนงานวิจัยนี้เป็นการคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายโดยมีองค์ประกอบหลักในการคำนวณ คือ เงินที่ใช้ในการปรับปรุงบ้านและค่าไฟที่ประหยัดได้ การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนแสดงในสมการที่ 2.4

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง (Total Investment)}}{\text{ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (Annual Energy Cost Saving)}} \quad \text{(สมการที่ 2.4)}$$

2.3.1 ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง

ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุงเปลือกอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยอาศัยการคำนวณด้วยวิธีการบัญชีปริมาณงานและราคา (BOQ) เฉพาะในส่วนของวัสดุที่ทำการปรับปรุงเท่านั้น เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างการปรับปรุงอาคารในแต่ละกรณี

2.3.2 การคิดค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

การคิดอัตราค่าไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยโดยทั่วไปเป็นอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1 โดยการคิดค่าไฟฟ้ามี 3 วิธีได้แก่

1.1) อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

1.2) อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน

1.2) อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff)

บ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวส่วนใหญ่มีการใช้ไฟฟ้ารูปแบบ 1.2 การคิดค่าไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) ค่าไฟฟ้าฐาน 2) ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) และ 3) ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม ซึ่งค่าไฟฟ้าผันแปรเป็นการคำนวณค่าต้นทุนการผลิตที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น อัตราเงินเฟ้อ ราคาเชื้อเพลิง เป็นต้น ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) ที่แตกต่างกันตามแต่ละช่วงเวลาซึ่งจะมีการปรับปรุงทุก ๆ 4 เดือน โดยมีการกำหนดค่าไฟฟ้าผันแปรดังนี้ 1) เดือนกันยายน – ธันวาคม พ.ศ.2558 จำนวน 46.38 สตางค์/หน่วย 2) เดือนพฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 49.61

สตางค์/หน่วย โดยมีตัวอย่างการคิดค่าไฟฟ้า ดังนี้ สมมุติบ้านตัวอย่างเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าแบบบ้านอยู่อาศัยอัตรา 1.2 อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน (อัตรารายเดือน) กำหนดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของบ้านตัวอย่าง 450 หน่วยต่อเดือน (การไฟฟ้านครหลวง, 2559)

2.3.2.1 ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน

(1) ค่าพลังงานไฟฟ้า

- หน่วยที่ 1–150 หน่วยละ 3.2484 = 487.26 บาท
- หน่วยที่ 151 – 400 หน่วยละ 4.2218 = 1,055.45 บาท
- หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป หน่วยละ 4.4217 = 221.08 บาท

(2) ค่าบริการ (บาท/เดือน) : = 38.22 บาท

2.3.2.2 ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) (อัตราเดือนกันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2558)

- จำนวนพลังงานไฟฟ้า x ค่า Ft 450 x -0.048 = -21.60 บาท

2.3.2.3 ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%

- (ค่าไฟฟ้าฐาน+ค่า Ft) x7/100 1,780.41 x 0.07 = 124.63 บาท

รวมเงินค่าไฟฟ้า 1,905.04 บาท

2.4 เกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานในประเทศไทย

เกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานในประเทศไทยที่เป็นที่แพร่หลายและมีสถาบันการรองรับในประเทศไทย คือ เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย Thai rating of energy and environment sustainability, TREES-NC (สถาบันอาคารเขียวไทย, 2555) ประกอบด้วยหลักเกณฑ์การประเมิน 8 หมวด ได้แก่ 1) การบริหารจัดการอาคาร 2) ผังบริเวณและภูมิทัศน์ 3) การประหยัดน้ำ 4) พลังงานและบรรยากาศ 5) วัสดุและทรัพยากรในการกอสราง 6) คุณภาพของสภาวะแวดลอมภายในอาคาร 7) การป้องกันผลกระทบตอสิ่งแวดลอม 8) นวัตกรรม แต่เนื่องจากเกณฑ์ประเมินมีรายละเอียดการประเมินอาคารไม่เหมาะสมกับบ้านพักอาศัย เนื่องจากบ้านพักอาศัยไม่สามารถทำคะแนนได้ในบางข้อ เช่น ข้อ EA P1 การประกันคุณภาพอาคาร ต้องดำเนินการแต่งตั้งผู้ทดสอบและปรับแตงระบบอาคาร (Commissioning Authorities) เป็นข้อบังคับต้องได้รับการประเมินซึ่งสามารถดำเนินการได้ยากสำหรับบ้านพักอาศัย เป็นต้น เพราะว่าเกณฑ์ประเมินไม่ได้ถูกพัฒนาให้เหมาะสมกับบ้านพักอาศัยที่ไม่เกิน 3 ชั้น ซึ่งระบุไว้ในข้อกำหนดเบื้องตนของลักษณะโครงการที่เขารวมประเมิน จากการศึกษาพบว่า เกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานที่เหมาะสมกับบ้านพักอาศัยมีดังต่อไปนี้

(1) เกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 (TEEAM) (กระทรวงพลังงาน, 2553)

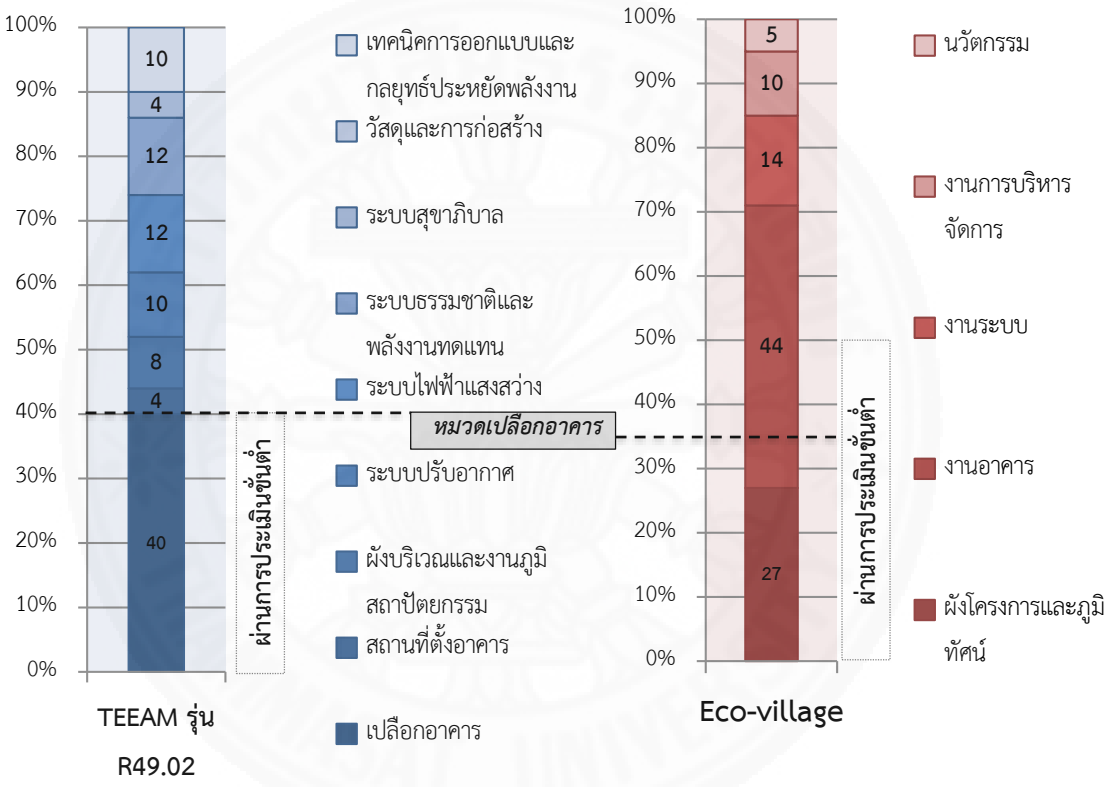
(2) เกณฑ์การประเมินเพื่อชุมชนน่าอยู่น่าสบายอย่างยั่งยืน (Ecovillage) (การเคหะแห่งชาติ, 2556)

(3) คู่มือโครงการประกวดบ้านจัดสรรอนุรักษ์พลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2557)

จากรายละเอียดเกณฑ์ประเมินทั้ง 3 เกณฑ์ พบว่า คู่มือโครงการประกวดบ้านจัดสรรอนุรักษ์พลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2557) มีรายละเอียดการประเมินที่เหมือนกับเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 (TEEAM) คิดเป็นร้อยละ 90 อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของเกณฑ์คู่มือโครงการประกวดบ้านจัดสรรอนุรักษ์พลังงานมุ่งเน้นการประเมินบ้านในโครงการหมู่บ้านจัดสรรและคุณสมบัติผู้สมัครขอรับฉลากต้องเป็นนิติบุคคลเจ้าของโครงการบ้านจัดสรรเท่านั้นซึ่งเจ้าของบ้านไม่สามารถขอรับการประเมินนี้ได้ จากการเปรียบเทียบเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 (TEEAM) กับเกณฑ์การประเมินเพื่อชุมชนน่าอยู่น่าสบายอย่างยั่งยืน (Ecovillage) พบว่า ทั้ง 2 เกณฑ์มีหมวดการประเมินที่คล้ายคลึงแต่มีความแตกต่างกันในด้านสัดส่วนการให้คะแนนในแต่ละหมวดการประเมินและรายละเอียดการประเมินมีหัวข้อประเมินซึ่งมีสัดส่วนมากที่สุดของทั้ง 2 เกณฑ์ ได้แก่ หมวดเปลือกอาคาร สำหรับเกณฑ์ประเมินเพื่อชุมชนน่าอยู่น่าสบายอย่างยั่งยืน (Ecovillage) หากได้คะแนนเต็ม 34 คะแนน เฉพาะในหมวดเปลือกอาคารจะยังไม่ผ่านการประเมินขั้นต่ำที่ต้องได้คะแนนตั้งแต่ 50 คะแนนขึ้นไป เนื่องจากเกณฑ์ประเมินเพื่อชุมชนน่าอยู่น่าสบายอย่างยั่งยืน (Ecovillage) ให้ความสำคัญกับการประเมินหัวข้อเปลือกอาคารควบคู่กับการประเมินหัวข้อผังโครงการและออกแบบผังโครงการที่มีสัดส่วนคะแนนรองลงมาคิดเป็นร้อยละ 22 หากได้คะแนนทั้ง 2 หัวข้อจึงจะทำให้ผ่านเกณฑ์ประเมินขั้นต่ำของเกณฑ์ประเมินเพื่อชุมชนน่าอยู่น่าสบายอย่างยั่งยืน (Ecovillage) สัดส่วนการให้คะแนนในส่วนนี้มีความแตกต่างจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 (TEEAM) โดยคะแนนในหมวดเปลือกอาคาร คิดเป็นร้อยละ 40 หากทำคะแนนในหมวดเปลือกอาคารของเกณฑ์ประเมิน TEEAM ได้คะแนนเต็ม 40 คะแนนจะสามารถผ่านเกณฑ์การประเมินในระดับดี เนื่องจากเกณฑ์ประเมิน TEEAM ให้ความสำคัญในการประเมินหัวข้อเปลือกอาคารมากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อ

สิ่งแวดล้อมอาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 (TEEAM) เป็นเกณฑ์ประเมินในการวิจัย รายละเอียดดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนคะแนนระหว่างเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 (TEEAM) และเกณฑ์การประเมินเพื่อชุมชนน่าอยู่น่าสบายอย่างยั่งยืน (Ecovillage)



2.4.1 ระดับคะแนนในการประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 (TEEAM)

ในการประเมินแต่ละข้อจะมีระดับของการให้คะแนนตามระดับเฉพาะด้านประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานเมื่อนำคะแนนที่ได้จากหมวดต่าง ๆ มารวมกันเพื่อเทียบระดับการประหยัดพลังงาน ระดับของการประหยัดพลังงานแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับดี ระดับดีมาก และระดับดีเด่น โดยการได้รับฉลากอาคารสำหรับการประหยัดพลังงานในระดับต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

ระดับคะแนนของการประหยัดพลังงานและค่าคะแนนของเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคารพักอาศัย *รุ่น R49.02*

ระดับของการประหยัดพลังงาน	สีฉลาก	ค่าคะแนน
ดี	ทองแดง	40-54
ดีมาก	เงิน	55-69
ดีเด่น	ทอง	70 หรือมากกว่า

2.4.2 หลักเกณฑ์และสัดส่วนการให้คะแนนของเกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 (TEEAM)

เกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 มีหลักเกณฑ์การประเมินทั้งสิ้น 9 หมวด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

หมวดที่ 1 สถานที่ตั้งอาคาร สถานที่ตั้งอาคารตั้งอยู่ใกล้แหล่งชุมชน เช่น ร้านค้าย่อย ตลาดสด สาขาธนาคาร โรงพยาบาล เป็นต้น เพื่อการลดปัญหามลภาวะทางอากาศและปัญหาการจราจรจากการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล

หมวดที่ 2 ผังบริเวณและงานภูมิสถาปัตยกรรม การวางผังบริเวณและการจัดการงานภูมิสภาปัตยกรรมที่เหมาะสมโดยการมีสัดส่วนพื้นที่เปิดโล่งมากส่งผลให้มีพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น ช่วยลดรังสีความร้อนที่เข้าสู่ตัวบ้าน รวมถึงรูปทรงอาคารและทิศทางการวางตัวอาคารตามสภาพภูมิอากาศ

หมวดที่ 3 เปลือกอาคาร ควรมีการป้องกันความร้อนจากภายนอกผ่านเปลือกอาคาร เช่น การเลือกใช้วัสดุหลังคาและฉนวนกันความร้อนใต้ฝ้าที่เหมาะสมและการป้องกันการรั่วซึมของอากาศ เพื่อช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่ตัวบ้านซึ่งเป็นภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

หมวดที่ 4 ระบบปรับอากาศ ลดการใช้เครื่องปรับอากาศโดยอาศัยการปรับความเย็น โดยธรรมชาติในกรณที่ต้องใช้เครื่องปรับอากาศควรใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงเพื่อการประหยัดพลังงาน

หมวดที่ 5 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีการคำนึงถึงการ ประหยัดพลังงาน การใช้หลอดไฟประหยัดพลังงานและอุปกรณ์บัลลาสต์ที่มีประสิทธิภาพ รวมทั้งอุปกรณ์ควมคุมการปิดหรือเปิดระบบไฟฟ้าแสงสว่างในยามที่ไม่จำเป็น

หมวดที่ 6 ระบบธรรมชาติและพลังงานทดแทน การออกแบบบ้านโดยคำนึงถึงการ พึ่งพาระบบธรรมชาติ เช่น การระบบายอากาศตามธรรมชาติ พื้นที่ใช้สอยได้รับแสงสว่างจากภาย นอกที่เหมาะสมและการใช้พลังงานพลังงานทดแทนจากระบบผลิตไฟฟ้าหรือระบบทำน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์

หมวดที่ 7 ระบบสุขาภิบาล การใช้สุขภัณฑ์ประหยัดน้ำ การรองน้ำฝนไว้ใช้เพื่อลด การใช้น้ำประปา และระบบจ่ายน้ำภายในบ้านที่ไม่ใช้ปั๊มน้ำหรือเลือกใช้ปั๊มน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อ การประหยัดพลังงาน

หมวดที่ 8 วัสดุและการก่อสร้าง การประเมินการใช้วัสดุและการจัดการระบบการก่อสร้างที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแลดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งหมวดวัสดุและการก่อสร้างได้คะแนนในส่วนความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น

หมวดที่ 9 เทคนิคการออกแบบและกลยุทธ์ประหยัดพลังงาน การออกแบบและเสนอเทคนิคกลยุทธ์ในการประหยัดพลังงานที่นอกเหนือจาก 8 หมวดการประเมินข้างต้น รวมทั้งมีคู่มือ การใช้อาคารเพื่อให้ผู้อยู่อาศัยเข้าใจการและใช้อาคารที่ประหยัดพลังงานอย่างเหมาะสม

เกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับอาคาร พักอาศัยแบ่งรูปแบบการประเมินเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) การประเมินด้านประสิทธิภาพการประหยัด พลังงาน 2) ด้านความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นรูปแบบการได้คะแนนจึงแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้ คะแนนการประเมินประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน 100 คะแนน และการประเมินความรับผิดชอบต่อสังคมเป็นคะแนนเพิ่มเติม 35 คะแนน โดยคะแนนในด้านความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ได้นำรวมในการแบ่งระดับการประหยัดพลังงานในการได้ฉลากอาคารแต่ต้องผ่านการประเมินด้านความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมดังนี้

1) ไม่ใช้สาร CFC เป็นสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ

2) เกณฑ์ค่าความส่องสว่างขั้นต่ำและเกณฑคากำลังไฟฟาสองสวางภายในไมเกิน 25 W/m^2

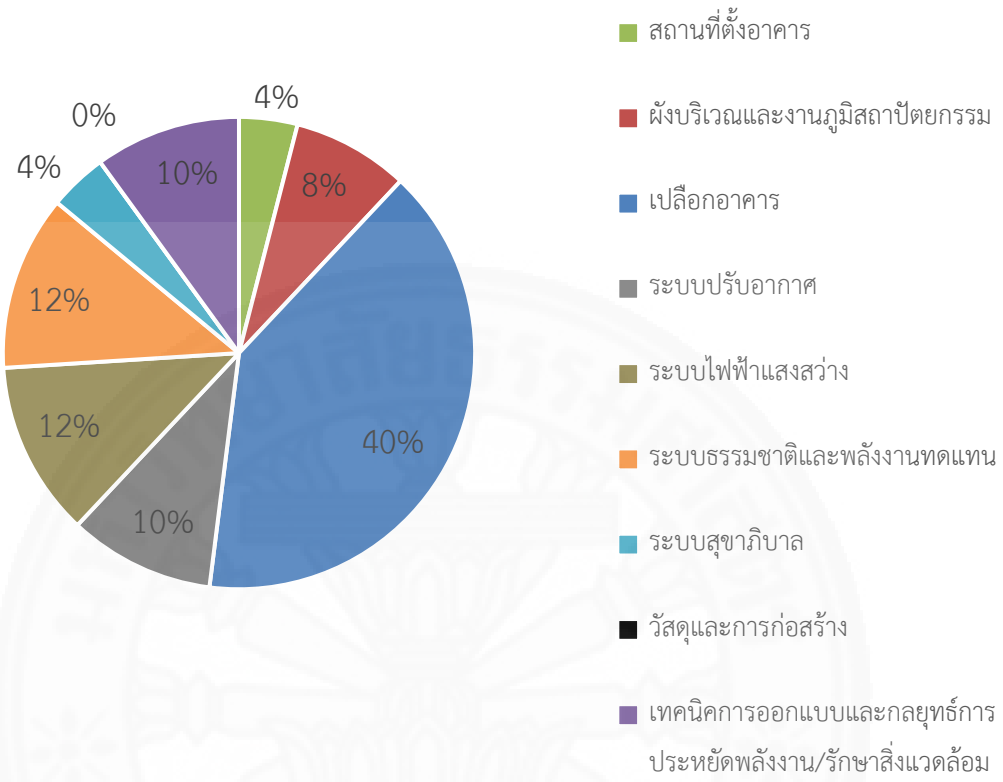
3) มีระบบบำบัดน้ำเสีย บอดักขยะ และบอดักไขมัน

4) มีแผนการดำเนินการปองกันมลภาวะและสิ่งรบกวนจากการกอสราง

5) เลือกใช้สีและหรือสารเคลือบผิวที่สงผลกระทบเชิงลบตอสิ่งแวดลอมนอย

จากภาพที่ 2.2 สัดส่วนค่าคะแนนของหมวดเปลือกอาคารมีค่าเท่ากับ 40 คะแนนจากคะแนนเต็ม 100 คะแนน จากระดับของเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานหากทำคะแนนในหมวดเปลือกอาคารได้คะแนนเต็ม 40 คะแนน จะทำให้บ้านผ่านเกณฑ์ในระดับดี ดังนั้นงานวิจัยนี้เลือกการประเมินเฉพาะในหมวดเปลือกอาคาร เนื่องจากเป็นส่วนที่ส่งผลต่อต้นทุนในการปรับปรุงหรือก่อสร้างอาคารและเปลือกอาคารยังมีผลต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายใน

บ้านมากที่สุด (พงษกานต์ อานนท์วัฒนากร, 2549) ซึ่งส่งผลต่อค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือนของเจ้าของบ้าน



ภาพที่ 2.2 สัดส่วนคะแนนการประเมินด้านประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน ของเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 (TEEAM)

2.4.3 รายละเอียดการได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 (TEEAM) หมวดเปลือกอาคาร

จากการศึกษาเกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 พบว่า หมวดเปลือกอาคารเป็นหมวดการประเมินที่บังคับต้องได้รับคะแนนการประเมินขั้นต่ำของเกณฑ์ หัวข้อที่บังคับในหมวดเปลือกอาคารที่ต้องได้รับคะแนนในการ ประหยัดพลังงาน ได้แก่

ข้อ 3.1 การป้องกันความร้อนจากหลังคา (เลือกระหว่าง ก. และ ข.)

ก1 ขนาดของช่องแสงที่หลังคา

ก2 ค่าความต้านทานความร้อนฉนวนฝ้าเพดาน (R-Value)

ข ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)

ข้อ 3.2 การป้องกันความร้อนจากผนังและหน้าต่างภายนอก (เลือกระหว่าง ก. และ ข.)

ก1 อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง

ก2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผนัง (U-value)

ก5 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดกระจก (SC หรือ SHGC)

ข ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผนัง (OTTV)

รายละเอียดการประเมินและการได้คะแนนในแต่ละหัวข้อในหมวดเปลือกอาคาร แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

รายละเอียดเกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร และรายละเอียดคะแนนการประหยัดพลังงาน

ข้อ	หัวข้อการประเมิน	คะแนน
3.1	**การป้องกันความร้อนจากหลังคา (เลือกระหว่าง ก หรือ ข)**	**7-13**
ก1	ขนาดช่องแสงหลังคา	1
เกณฑ์ในการพิจารณา	- ขนาดช่องแสงระนาบเดียวกับหลังคามีพื้นที่ไม่เกิน 1% - ขนาดช่องแสงหลังคาในระนาบดิ่งมีพื้นที่ไม่เกิน 2% ของพื้นที่ใช้สอยใต้หลังคา	1
ข้อ	หัวข้อการประเมิน	คะแนน
ก2	ค่าความต้านทานความร้อนฉนวนฝ้าเพดาน	6-12
เกณฑ์ในการพิจารณา	- มากกว่า 1.3 m^2 ˚C/W	6
	- มากกว่า 1.9 m^2 ˚C/W	9
	- มากกว่า 3.9 m^2 ˚C/W	12

หมายถึง จะต้องมีคะแนนในหัวข้อดังกล่าว

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

รายละเอียดเกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร และรายละเอียดคะแนนการประหยัดพลังงาน

ข้อ	หัวข้อการประเมิน	คะแนน
ข	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมหลังคา (RTTV)	7-13
เกณฑ์ในการพิจารณา	- ต่ำกว่า 20 W/m^2	7
	- ต่ำกว่า 15 W/m^2	10
	- ต่ำกว่า 10 W/m^2	13
3.2	**การป้องกันความร้อนผนังและหน้าต่างภายนอก (เลือกระหว่าง ก หรือ ข)**	**11-24**
ก1	อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR)	2-7
เกณฑ์ในการพิจารณา	- ไม่เกิน 30%	2
	- ไม่เกิน 20%	7
ก2	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผนัง (U-value)	1-3
เกณฑ์ในการพิจารณา	- ไม่เกิน 1.2 $W/m^2\,^\circ C$	1
	- ไม่เกิน 1.0 $W/m^2\,^\circ C$	2
	- ไม่เกิน 0.6 $W/m^2\,^\circ C$	3
ก3	ใช้หน้าต่างกระจก 2 ชั้น หรือมากกว่า	2
ก4	ใช้กระจก Low-E	1
เกณฑ์ในการพิจารณา	- ใช้กระจกสองชั้นและเป็นประเภท Low-E	1
ก5	สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (SC หรือ SHGC)	3-7
เกณฑ์ในการพิจารณา	- ต่ำกว่า 0.75 (SHGC ต่ำกว่า0.65)	3
	- ต่ำกว่า 0.60 (SHGC ต่ำกว่า0.52)	5
	- ต่ำกว่า 0.40 (SHGC ต่ำกว่า0.35)	7

หมายถึง จะต้องมีคะแนนในหัวข้อดังกล่าว

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

รายละเอียดเกณฑ์การประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร และรายละเอียดคะแนนการประหยัดพลังงาน

ข้อ	หัวข้อการประเมิน	คะแนน
ก6	สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ภายนอกอาคาร (SC)	1-3
เกณฑ์ในการพิจารณา	- ต่ำกว่า 0.90	1
	- ต่ำกว่า 0.80	2
	- ต่ำกว่า 0.70	3
ข้อ	หัวข้อการประเมิน	คะแนน
ก7	สีผิวผนังภายนอกเป็นสีโทนอ่อน	1
เกณฑ์ในการพิจารณา	- พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (แอลฟา) ของสีที่ใช้ทาผิวผนังภายนอกอาคาร หรือประเภทของวัสดุผนัง ไม่เกิน 0.6 โดยคิดเฉลี่ยจากพื้นที่ผิวทั้งอาคาร	1
ข	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังภายนอก (OTTV)	12-24
เกณฑ์ในการพิจารณา	- ต่ำกว่า 45 W/m^2	12
เกณฑ์ในการพิจารณา **3.3**	- ต่ำกว่า 40 W/m^2	15
	- ต่ำกว่า 35 W/m^2	18
	- ต่ำกว่า 30 W/m^2	21
	- ต่ำกว่า 25 W/m^2	24
	ค่าการรั่วซึมอากาศที่บานกรอบหน้าต่างและประตู	**1-3**
เกณฑ์ในการพิจารณา	- น้อยกว่า 0.9 l/s-m of crack	1
เกณฑ์ในการพิจารณา	- น้อยกว่า 0.6 l/s-m of crack	2
	- น้อยกว่า 0.3 l/s-m of crack	3

หมายถึง จะต้องมีคะแนนในหัวข้อดังกล่าว

การเลือกทำคะแนนแต่ละข้อในหมวดเปลือกอาคารสามารถเลือกทำคะแนนระหว่างข้อ ก หรือ ข โดยการวิจัยนี้ศึกษาการทำคะแนนเฉพาะในข้อ ก ในหมวดเปลือกอาคารและหัวข้อค่าการรั่วซึมอากาศที่บานกรอบหน้าต่างและประตู เนื่องจากรายละเอียดการทำคะแนนในข้อ ก มีเกณฑ์การชี้วัดในแต่ละระดับของการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารของแต่ละหัวข้อการประเมินที่ชัดเจนมากกว่าการเลือกทำคะแนนในข้อ ข ที่ใช้การประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) และผนัง (OTTV)

2.5 หลักการออกแบบและวิธีการปรับปรุงบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน

หลักการออกแบบและวิธีการปรับปรุงบ้านสามารถทำได้ในหลากหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ การใช้วิธีธรรมชาติเพื่อให้เกิดความเย็นภายในอาคาร (passive cooling) เช่น การเปิดหน้าต่างเพื่อการระบายอากาศตามธรรมชาติ เป็นต้น หรือการใช้วิธีการทางกล (active cooling) โดยการเลือกวัสดุอาคารที่เหมาะสม เพื่อการลดความร้อนเข้าสู่อาคาร เป็นต้น โดยการศึกษาวิจัยนี้เลือกศึกษาหลักการออกแบบและวิธีการปรับปรุงบ้านที่เกี่ยวข้องกับระบบเปลือกอาคาร ที่มีผลต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในบ้าน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.1 การปรับปรุงการปกปิดรอยต่อ (air tightness)

การปรับปรุงการปกปิดรอยต่อ (air tightness) ของบ้านเป็นวิธีการปรับปรุงบ้านที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน เนื่องจากการปกปิดรอยต่อ (air tightness) มีผลอย่างมากต่ออัตราการรั่วซึมของอากาศภายในบ้าน ซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงานในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Bojan Ivana และ Nina, 2012) และทำให้ประสิทธิภาพของฉนวนบางชนิดลดลงจึงควรพิจารณาการปรับปรุงการปกปิดรอยต่อเป็นอันดับแรกในการปรับปรุงบ้าน โดยการตรวจสอบรอยต่อของอาคารมีหลายตำแหน่งที่ควรตรวจสอบก่อนการปรับปรุงบ้าน เช่น รอยต่อของหน้าต่างและประตู ช่องโคมไฟบนฝ้า เป็นต้น โดยหลักการดังกล่าวอาจไม่ได้รับความนิยมกับบ้านจัดสรรทั่วไปในประเทศไทย เนื่องจากการวัดค่าการรั่วไหลของอากาศจากรอยต่อของวัสดุเปลือกอาคารได้ยากและต้องมีผู้เชี่ยวชาญในการวัดอีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

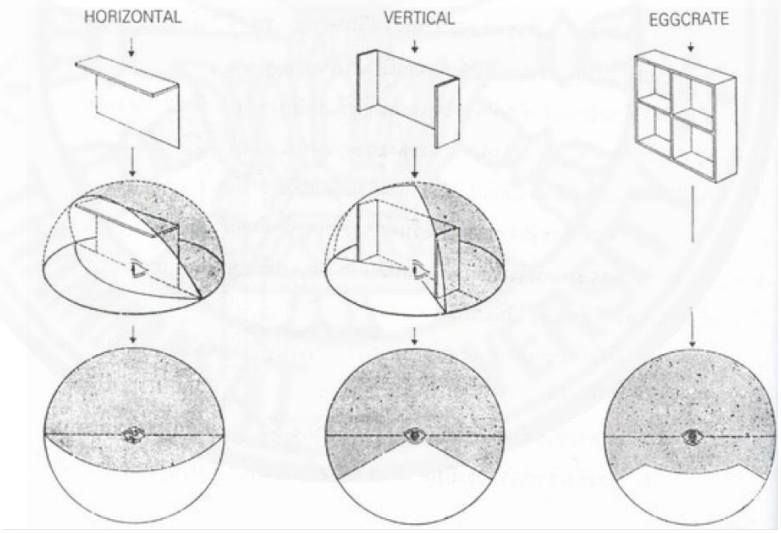
2.5.2 การป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารในส่วนของผนังทึบแสง

ผนังอาคารเป็นส่วนที่ได้รับผลกระทบจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร โดยในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารสามารถทำได้โดยการป้องกันความร้อนจากการแผ่รังสี (Radiation) โดยการใช้สีผนังภายนอกเป็นสีอ่อนที่สามารถสะท้อนแสงได้ดี และใช้การบังเงาภายนอกอาคาร โดยการใช้แผงบังแดด และการป้องกันความร้อนจากการนำความ

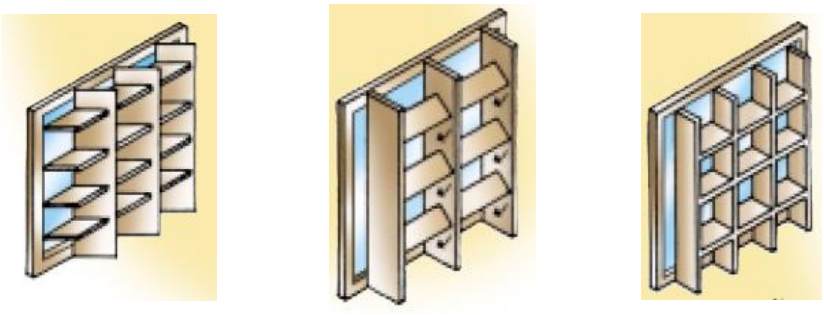
ร้อน (Conduction) สามารถทำได้โดยการเพิ่มความต้านทานความร้อน (R) ให้มีค่าสูง โดยการเพิ่มฉนวนผนังอาคาร หรือใช้วัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ต่ำ โดยวิธีการติดตั้งฉนวนที่ผนังหรือใช้ผนังสองชั้นที่มีช่องว่างอากาศ โดยเฉพาะในด้านทิศตะวันตก จากการศึกษา พบว่าระบบผนังหุ้มฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร (External Insulation Finish System: EIFS) สามารถกันความร้อนได้ดีกว่าการก่อสร้างด้วยระบบผนังทั่วไปร้อยละ 52 (ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2559) นอกจากนี้ผนังระบบนี้ยังมีน้ำหนักเบาทำให้ลดน้ำหนักของผนังทึบแสงลงลงส่งผลให้ก่อสร้างผนังได้รวดเร็ว

2.5.3 การป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารในส่วนของช่องเปิด

สามารถทำได้โดยออกแบบช่องเปิดไม่ให้รับแสงแดดโดยตรงหรือการใช้อุปกรณ์บังแดดเพื่อป้องกันแสงแดดส่องผ่านเข้ามาในอาคาร สำหรับประเทศไทยตำแหน่งของช่องเปิดควรหันไปทางทิศเหนือ การออกแบบอุปกรณ์บังแดดของหน้าต่างทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออกควรใช้อุปกรณ์บังแดดแนวตั้ง สำหรับหน้าต่างทางทิศใต้ควรมีอุปกรณ์บังแดดแบบผสมทั้งแนวตั้งและแนวนอน แสดงดังภาพที่ 2.3 และ 2.4



ภาพที่ 2.3 เงาของแผงบังแดดแบบต่าง ๆ . จาก *การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น* , โดย สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

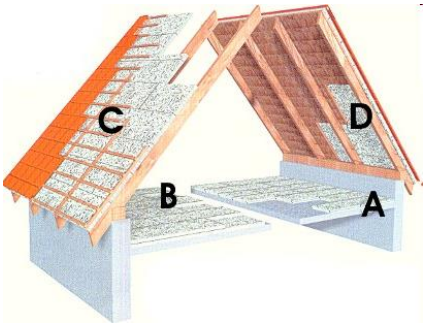


ภาพที่ 2.4 รูปแบบแผงบังแดดแบบผสม. จาก กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, *2546*

การเลือกใช้กระจกเพื่อประหยัดพลังงานควรดูค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading coefficient: SC) และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar heat gain coefficient: SHGC) ต่ำ และมีค่าการส่งผ่านของแสง (Light Transmittance: LT) สูง ในปัจจุบันมีการพัฒนาคุณสมบัติของกระจกที่ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนหลายประเภท กระจกที่เหมาะสมสำหรับห้องปรับอากาศคือกระจก 2 ชั้นและกระจก Low-E ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมต่ำ อย่างไรก็ตามในอาคารบ้านพักอาศัยไม่นิยมใช้กระจกทั้ง 2 ประเภทนี้เนื่องจากต้องใช้บานกรอบเฉพาะสำหรับกระจก 2 ชั้นทำให้มีราคาที่สูงขึ้นกว่าการใช้กระจกชนิดทั่วไป โดยในปัจจุบันบ้านพักอาศัยนิยมใช้กระจกโฟลตสีเขียวตัดแสง นอกจากนี้การป้องกันความร้อนสามารถทำโดยการออกแบบอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ซึ่งอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ควรมีค่าไม่เกินร้อยละ 20-30

2.5.4 การป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารในส่วนของหลังคา

พื้นที่ใต้หลังคาเป็นพื้นที่สะสมความร้อน การป้องกันความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารในส่วนของหลังคา ทำได้โดยการการติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนที่ด้านล่างของหลังคาสามารถช่วยสะท้อนความร้อนไม่ให้เข้ามาภายในอาคาร การติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อนที่ด้านล่างของหลังคามี 2 วิธีได้แก่ 1) บนหลังจันทันใต้แป และ 2) บนแป และการเพิ่มความต้านทานความร้อน (R) ที่มีค่าสูง หรือใช้วัสดุที่มีประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ต่ำ โดยการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนเป็นอีกวิธีหนึ่งในการประหยัดพลังงานภายในอาคาร การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผ่านหลังคาสามารถติดได้ในตำแหน่ง ดังภาพที่ 2.5 โดยสามารถใช้ได้กับอาคารที่สร้างใหม่หรืออาคารที่ต้องการปรับปรุงเพื่อการลดใช้พลังงาน ฉนวนป้องกันความร้อนที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้ดกับอาคารในลักษณะการปรับปรุง มีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2.5 แสดงตำแหน่งที่สามารถติดตั้งฉนวนกันความร้อนของหลังคา. จาก environnet, 2556

2.5.4.1 ฉนวนชนิดโฟม

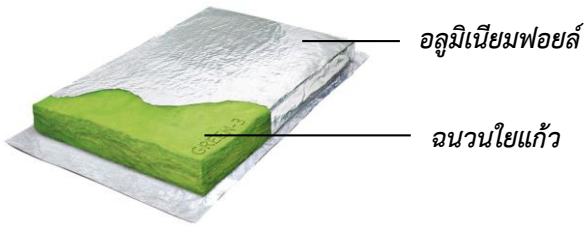
ฉนวนโฟมในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น ฉนวนโพลีเอทิลีน (Polyethylene) ฉนวนโพลียูเทน (Polyurethane Foam) หรือ ฉนวนโพลีสไตรีนโฟม (Polystyrene foam) เป็นต้น สามารถฉีดพ่นที่ผนังอาคารและใต้แผ่นกระเบื้องหลังคา ฉนวนชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมในประเทศไทย เนื่องจากมีราคาค่าก่อสร้างค่อนข้างสูง และยังมีข้อจำกัดในการใช้งานสำหรับฉนวนโพลียูเทนในการห้ามใช้งานภายในอาคารยกเว้นจะมีการหุ้มฉนวนด้วยวัสดุไม่ติดไฟ (ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2559)

2.5.4.2 ฉนวนชนิดร็อควูลหรือฉนวนใยหิน

ฉนวนชนิดร็อควูลหรือฉนวนใยหินผลิตจากหินบะซอลต์ สามารถติดตั้งได้ทั้งกับฝ้าเพดาน หลังคา และผนังอาคาร ความหนาแน่นตั้งแต่ 30-200 kg/m^3 สำหรับการป้องกันความร้อนในบ้านพักอาศัยมีความหนาตั้งแต่ 1-4 นิ้ว ความแน่นของฉนวนที่เหมาะสมสำหรับการป้องกันความร้อนทั่วไป คือ 40 kg/m^3

2.5.4.3 ฉนวนชนิดใยแก้ว

ฉนวนใยแก้วมีลักษณะทั้งแบบม้วนและแบบแผ่น สามารถใช้ได้หลายส่วนของอาคาร เช่น เหนือฝ้าเพดานทั้งแบบฉาบเรียบและฝ้าชนิดแขวน (ฝ้าทีบาร์) ใต้แผ่นกระเบื้องหลังคา หรือผนังอาคาร มีทั้งชนิดไม่มีวัสดุปิดผิวและหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ ในการป้องกันความร้อนมากควรเลือกฉนวนที่มีความหนาแน่นสูงโดยมีความหนาแน่นตั้งแต่ 10 kg/m^3 ถึงมากกว่า 64 kg/m^3 ฉนวนใยแก้วสำหรับบ้านพักอาศัยมีความตั้งแต่ 1-6 นิ้ว โดยที่นิยมสำหรับบ้านพักอาศัยในปัจจุบันคือความหนา 3 นิ้ว และ 6 นิ้ว ส่วนประกอบฉนวนใยแก้ว แสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบฉนวนใยแก้ว. จาก pavit ization, *2558*

2.5.4.4 ฉนวนชนิดโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ (Polyethylene Bubbles Foil)

ฉนวนชนิดโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์เป็นฉนวนกันความร้อนชนิดสะท้อนความร้อน ส่วนประกอบโดยทั่วไปของฉนวน คือ อลูมิเนียมฟอยล์ทั้ง 2 ด้านของฉนวนเพื่อสะท้อนความร้อนที่ด้านบนและป้องกันความร้อนที่เข้าสู่ตัวบ้าน และเส้นใยแก้ว (Reinforced fiber net) เสริมความแข็งแรงให้แก่แผ่นฉนวน โดยอลูมิเนียมฟอยล์และเส้นใยแก้วจะหุ้มส่วนโพลีเอทธีลีนและแอร์บับเบิ้ลอยู่ด้านใน รายละเอียดส่วนประกอบแสดงดังภาพที่ 2.7 สามารถติดตั้งได้ในส่วนใต้แผ่นกระเบื้องหรือปูเหนือฝ้าเพดานสำหรับบ้านที่สร้างเสร็จ การเลือกฉนวนชนิดโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์สามารถเลือกตามค่าการต้านทานความร้อนรวม (R_t) และจำนวนชั้นของฉนวน

ภาพที่ 2.7 องค์ประกอบของฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์. จาก polynumint, 2559 และ Romel, 2010

2.5.4.5 ระบบผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร หรือผนัง EIFS (External Insulated Finishing System)

ระบบผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารหรือผนัง EIFS เป็นระบบฉนวนผนังที่มี 2 ระบบ ได้แก่ 1) ระบบ PU foam และ 2) ระบบ EPS โดยระบบ PU Foam มีราคาค่าก่อสร้างเฉลี่ยตารางเมตรละ 800-1,000 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งสูงกว่าระบบ EPS ซึ่งมีราคาค่าก่อสร้างเฉลี่ย 580-700 บาทต่อตารางเมตร (Twoplus Technologies, 2553) โดยมีส่วนประกอบของโครงสร้างผนังเรียงตามการติดตั้งส่วนที่ติดผนังอาคารเดิมประกอบด้วย 1) ฉนวนโฟมโพลียูเทนหรือ EPS 2) วัสดุปิดผิว 3) ตะแกรงไฟเบอร์ส เพื่อป้องกันความเป็นด่าง และ 4) วัสดุปิดผิว แสดงดังภาพที่ 2.8

ภาพที่ 2.8 ส่วนประกอบระบบผนังฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารทั้ง 2 ระบบ. จาก *Twoplus Technologies*, 2553

จากหลักการออกแบบและวิธีการปรับปรุงบ้านเพื่อการประหยัดพลังงานทั้งต่างประเทศและในประเทศไทยมีแนวทางที่แตกต่างและสอดคล้องกันตามความเหมาะสมของบริบท ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยต่าง ๆ สามารถแสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3

แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรที่ใช้ปรับปรุงบ้านประหยัดพลังงานและเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานของการศึกษาวิจัยต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศ

ชื่อผู้วิจัย (งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง)	ตัวแปรที่ศึกษา										
	เกณฑ์การอนุรักษ์พลังงาน	วัสดุฉนวนหลังคาและฝ้าเพดาน	วัสดุมุงหลังคา	วัสดุผนังทึบ	วัสดุกระจก	อุปกรณ์บังแดด	การระบายอากาศ	สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่หน้าต่าง	ความคุ้มค่าในการลงทุน	ใช้โปรแกรมในการคำนวณผลการใช้	มีอาคารกรณีศึกษา
Shady Attia, Samer Zawaydeh, 2557	✓ JNBC 2009	✓	-	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓
กาญจน์กรอง สุอังคะ, 2557	-	✓	✓	✓	-	-	-	-	✓	-	-
พงษกานต์ อานนท์วัฒนากร, 2549	-	✓	-	✓	✓	-	-	-	✓	✓	✓
วิรัช มณีขาว, 2538	-	✓	-	✓	-	-	-	-	✓	-	-
กฤษณ์ อ่อนงาม, 2554	-	-	-	✓	✓	-	-	-	✓	✓	✓
พรพรรณ เหลืองรุจิวงศ์, 2546	-	-	-	-	✓	-	-	-	✓	✓	✓

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรที่ใช้ปรับปรุงบ้านประหยัดพลังงานและเกณฑ์อนุรักษ์พลังงานของการศึกษาวิจัยต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศ

ชื่อผู้วิจัย (งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง)	ตัวแปรที่ศึกษา										
	เกณฑ์การอนุรักษ์พลังงาน	วัสดุฉนวนหลังคาและฝ้าเพดาน	วัสดุมุงหลังคา	วัสดุผนังทึบ	วัสดุกระจก	อุปกรณ์บังแดด	การระบายอากาศ	สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่หน้าต่าง	ความคุ้มค่าในการลงทุน	ใช้โปรแกรมในการคำนวณผลการใช้พลังงาน	มีอาคารกรณีศึกษา
ปัทมาภร รัตนประดับ, ผศ.ดร. ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2554	✓ TEEAM รุ่น R49.00 (2553)	✓	-	-	-	✓	-	-	-	-	-
พนิดา ศิริบังเกิดผล, 2543	-	✓		✓	-	✓	-	-	✓	✓	✓
กัญญาภัค แต่พิพัฒน์พงษ์, 2553	-	-	-	✓	✓	-	-	✓	-	✓	✓

จากการศึกษางานวิจัยต่างประเทศการศึกษาปรับปรุงบ้านของ Shady Attia และ Samer Zawaydeh, 2557 พบว่า มีแนวทางในการปรับปรุงบ้าน 2 แนวทาง ได้แก่ แนวทางที่ 1 การปรับปรุงอาคารตามเกณฑ์อาคารประหยัดพลังงาน Jordan Thermal Insulation Code ของประเทศจอร์แดน โดยตัวแปรด้านเปลือกอาคารที่มีการปรับปรุง ได้แก่ 1) ฉนวนหลังคา 2) ฉนวนผนังอาคาร และ 3) ชนิดกระจก 2 ชั้น แบบ Low-E พบว่าสามารถลดใช้พลังงานลงร้อยละ 40 มีระยะเวลาการคืนทุน 9 ปี และแนวทางที่ 2 บ้านที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero energy house) มีการปรับปรุงเปลือกอาคารโดยใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าเกณฑ์

Jordan Thermal Insulation Code และมีรายละเอียดการปรับปรุงที่เพิ่มขึ้น ได้แก่ 1) ระบบปรับอากาศ 2) การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ และ 3) การใช้แผงรับรังสีความร้อนเพื่อการผลิตน้ำร้อน ทำให้มีระยะเวลาการคืนทุนรวมสูงถึง 44 ปี รายละเอียดการปรับปรุงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4

ลักษณะบ้านกรณีศึกษาและแนวทางการปรับปรุงตามเกณฑ์ JNBC และตามแนวทาง Net Zero Energy

ลักษณะของวัสดุ	อาคารกรณีศึกษา	JNBC	Net Zero Energy
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคา	1 $W/m^2.K$	0.55 $W/m^2.K$	0.1 $W/m^2.K$
สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง	2 $W/m^2.K$	0.57 $W/m^2.K$	0.2 $W/m^2.K$
ระบบหน้าต่าง	กระจกกรอบอลูมิเนียม 5.8 $W/m^2.K$ SHGC : -	กระจก Low-E 2 ชั้น กรอบอลูมิเนียม 3.1 $W/m^2.K$ SHGC : 0.75	กระจก Low-E 2 ชั้น อาร์กอน กรอบชนิดใยแก้ว 0.5 W/m2.K SHGC : 0.25
หน้าต่างเปิด-ปิด	หน้าต่างเปิด-ปิด ไม่มีการกันแดดจากภายนอก	หน้าต่างเปิด-ปิด ไม่มีการกันแดดจากภายนอก	มู่ลี่ปิดเมื่อมีแสงแดด
แผงกันแดด	ไม่มี	ไม่มี	แผงกันแดดแนวตั้งและแนวนอนยื่น 1 เมตร ที่ทิศตะวันออก,ทิศตะวันตก,ทิศใต้
ฉนวนกันความร้อนเวลากลางคืน	ไม่พิจารณา	ไม่พิจารณา	ลดสื่อกระแสนำไฟฟ้าในกระจกลง 50% โดยชัดเตอร์ลูกกลิ้ง
อัตราการรั่วซึม	0.7 ACH	0.5 ACH	0.35 ACH
ความร้อนจากภายใน	0.19 kW จากแสงสว่าง 0.71 kW จาก เครื่องใช้ไฟฟ้า	0.14 kW จากแสงสว่าง 0.67 kW จาก เครื่องใช้ไฟฟ้า	0.05 kW จากแสงสว่าง 0.50 kW จาก เครื่องใช้ไฟฟ้า

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ลักษณะบ้านกรณีศึกษาและแนวทางการปรับปรุงตามเกณฑ์ JNBC และตามแนวทาง Net Zero Energy

ลักษณะของวัสดุ	อาคารกรณีศึกษา	JNBC	Net Zero Energy
การระบายอากาศโดยธรรมชาติ	ประตูหน้าต่างเปิดเมื่อต้องการระบายความร้อน	ประตูหน้าต่างเปิดเมื่อต้องการระบายความร้อน	ประตูหน้าต่างเปิดเมื่อต้องการระบายความร้อน
พัดลมควบคุมระบบระบายอากาศ	ไม่มีพัดลมระบายอากาศ	ไม่มีพัดลมระบายอากาศ	มีพัดลมระบายอากาศ
Thermostat set point	20°C สำหรับทำความร้อน 25.5°C สำหรับทำความเย็น (RH=60%)	20°C สำหรับทำความร้อน 25.5°C สำหรับทำความเย็น (RH=60%)	20°C สำหรับทำความร้อน 25.5°C สำหรับทำความเย็น (RH=60%), การเติมอากาศ 7.5 cfm/persons
ระบบทำความร้อน	Gas Furnace : AFUE 65%	Gas Furnace : AFUE 65%	Gas Furnace : AFUE 90%
ระบบทำความเย็น	EER 13/7.7	EER 13/7.7	EER 19/8.5 (energy star)
ระบบน้ำร้อน	ไม่มี	เครื่องทำน้ำอุ่น 200 ลิตร, 0.86 energy factor	เครื่องทำน้ำอุ่น 200 ลิตร, 0.86 energy factor
ระบบแผงโซล่าร์เซลล์	ไม่มี	ไม่มี	แผงโซล่าร์เซลล์ 15 ตารางเมตร ชนิดโมโนคริสตัลไลน์, ค่าการใช้พลังงานที่ได้ 3,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

หมายเหตุ. จาก Strategic Decision Making For Zero Energy Buildings in Jordan, p. 5-6, by Shady Attia, Samer Zawaydeh, 2557, Doha (ดัดแปลง)

จากการศึกษาการปรับปรุงบ้านที่ใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero energy house) พบว่า การปรับปรุงอาคารที่นอกเหนือจากระบบเปลือกอาคาร โดยการใช้อุปกรณ์หรือระบบที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน เช่น การใช้แผงโซล่าเซลล์ หรือใช้ระบบปรับอากาศที่มีค่า EER สูงขึ้น จะทำให้

มีงบประมาณที่สูงขึ้นอย่างมากถึงแม้จะประหยัดพลังงานมากขึ้นก็ตาม จากตารางที่ 2.3 การศึกษาวิจัยในประเทศไทยในการปรับปรุงและการออกแบบเปลือกอาคารบ้านประหยัดพลังงานตัวแปรที่นำมาศึกษาส่วนใหญ่ ได้แก่ 1) วัสดุฉนวนหลังคาและฝ้าเพดานของอาคารมากที่สุด 2) วัสดุผนังทึบ 3) วัสดุกระจก และ 4) อุปกรณ์บังแดด ตามลำดับ รายละเอียดงดังตารางที่ 2.5 โดยมีแนวทางการศึกษาการปรับปรุง ดังนี้

(1) การศึกษาการปรับเปลี่ยนค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (U-value) พบว่า การปรับเปลี่ยนค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาจมีแนวทางการปรับปรุงที่ไม่เหมาะสมกับการลงทุน เนื่องจากเมื่อพิจารณาความคุ้มค่าด้านการลงทุนพบว่ามีระยะเวลาการคืนทุนนานและมีค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เป็นลบ (วิรัช มณีขาว, 2538) สอดคล้องกับการศึกษาการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผนังอาคารเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ ในกรณีที่บ้านมีอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) มีค่ามากกว่า 0 (กัญญาภัค แต่พิพัฒน์พงศ์, 2553) โดยจากผลการสำรวจการเลือกใช้วัสดุบ้านเพื่อการปรับปรุง ผู้ใช้อาคารไม่นิยมเลือกใช้วัสดุที่มีค่าการป้องกันความร้อนสูงในส่วนของผนังอาคารในการก่อสร้างบ้าน เนื่องจากการใส่ฉนวนผนังมีราคาค่าก่อสร้างและราคาของวัสดุมีราคาค่อนข้างสูง (ปัทมาภรณ์ รัตนประดับ และ ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2554)

(2) การศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) พบว่า การใช้ฉนวนใยแก้วปูเหนือฝ้าเพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารผ่านหลังคา เป็นแนวทางที่ดีที่สุดในการปรับปรุง เนื่องจากสามารถดำเนินการปรับปรุงได้ง่ายและมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด โดยความหนาของวัสดุฉนวนใยแก้วที่เหมาะสมในการปรับปรุง ได้แก่ 1) ความหนา 1 นิ้ว ระยะเวลาการคืนทุน 0.7 ปี (วิรัช มณีขาว, 2538) และ 2) ความหนา 2 นิ้ว มีความระยะเวลาคืนทุนแตกต่างกันในแต่ละการศึกษาวิจัย โดยมีระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 9.8 ปี (พนิดา ศิริบังเกิดผล, 2543) และระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 2.75 ปี (พงษกานต์ อานนท์วัฒนากร, 2549) ซึ่งพบว่าความหนาของฉนวนใยแก้วที่เหมาะสมต่อการปรับปรุงและระยะเวลาคืนทุนมีความแตกต่างกันในแต่ละการศึกษาวิจัย

(3) การเลือกวัสดุกระจก พบว่า ความสามารถในการลดค่าการใช้พลังงานขึ้นอยู่กับค่า SHGC ของกระจกที่ต่ำลง โดยอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศเฉพาะในเวลากลางคืนการใช้กระจกสะท้อนแสงสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้สูงสุด รองลงมาเป็นการใช้กระจก Low-E 2 ชั้น และกระจกสีเขียว ตามลำดับ (กัญญาภัค แต่พิพัฒน์พงศ์, 2553) ซึ่งแนวโน้มค่าการใช้พลังงานสอดคล้องกับการศึกษาการปรับเปลี่ยนชนิดกระจกสะท้อนแสง กระจก Low-E และกระจกสีเขียวในอาคารที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศทั้งวัน แต่ในอาคาที่มีการใช้พลังงานเฉพาะในเวลากลางคืนกระจกสีเขียวกลับสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้มากกว่าการใช้กระจก Low-E (กฤษณ์ อ่อนงาม, 2554) นอกจากนี้การใช้กระจกสีชาดำมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดเมื่อเปรียเทียบกับการใช้กระจกสีอื่น ๆ (ระยะเวลาคืน

ทุน 3.45 ปี) ส่วนการใช้กระจก 2 ชั้น พบว่าไม่คุ้มค่าในการลงทุนเนื่องจากมีระยะเวลาคืนทุนสูง (พรพรรณ เหลืองรุจิวงศ์, 2546) จากการศึกษาพบว่าชนิดกระจกที่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้สูงสุดมีระยะเวลาคืนทุนเท่าใด ซึ่งไม่สามารถหาข้อสรุปได้ว่าควรเลือกการปรับปรุงกระจกชนิดใดที่เหมาะสมที่สุด

(4) อุปกรณ์บังแดด ในปัจจุบันบ้านจัดสรรส่วนใหญ่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด การปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานโดยการติดตั้งแผงบังแดด มีระยะเวลาคืนทุน 51.3 ปี ซึ่งอาจไม่คุ้มค่าในการลงทุน (พนิดา ศิริบังเกิดผล, 2543)

งานวิจัยนี้เน้นศึกษาการปรับปรุงบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยลดผลกระทบต่อโครงสร้างหรือการรื้อถอนโครงสร้างอาคารให้น้อยที่สุด โดยการปรับปรุงเปลือกอาคารใช้วิธีการ เช่น การติดตั้งฉนวนภายในอาคาร หรือการติดตั้งฉนวนเหรือฝ้าเพดาน และการรื้อถอนเฉพาะกระจกของหน้าต่างอาคารเท่านั้น ส่วนการรื้อทำลายผนังหรือการเปลี่ยนวัสดุผนังหรือหลังคาอยู่นอกเหนือขอบเขตของการศึกษา

ตารางที่ 2.5

ตารางแสดงตัวแปรที่ใช้ในการปรับปรุงบ้านของงานวิจัยต่าง ๆ เปรียบเทียบกับระยะเวลาการคืนทุน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	รูปแบบการปรับปรุง	ตัวแปรที่ใช้ในการปรับปรุงบ้าน	ระยะเวลาคืนทุน
กาญจน์กรอง สุอังคะ, 2557	กรณีที่ 1 กรณีที่ 2	1) ฉนวนโฟมโพลียูริเทน หนา 2.5 ซม. ใต้หลังคา 1) ผนังคอนกรีตมวลเบา 2) ฉนวนโฟมโพลียูริเทน หนา 2.5 ซม. ใต้หลังคา	9 ปี 6 เดือน 8 ปี 6 เดือน
พงษกานต์ อานนท์วัฒนากร, 2549	กรณีที่ 1 กรณีที่ 2	1) ฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว 1) ฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว 2) กระจกตัดแสงสีเขียว หนา 6 มม. 3) ผนัง EIFS ในทิศใต้และทิศตะวันตก	2 ปี 7 เดือน 7 ปี
วิรัช มณีขาว, 2538	กรณีที่ 1 กรณีที่ 2	1) ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว 1) ฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว 2) ติดตั้งแผ่นยิปซั่มบอร์ดบุอลูมิเนียมฟอยล์ด้านในหนา 9 มม. แนบผนังเดิม	คืนทุนทันที 7 เดือน
ปัทมาภรณ์ รัตนประดับ, ผศ.ดร.ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2554	กรณีที่ 1 กรณีที่ 2 กรณีที่ 3	1) กันสาด ระยะยื่น 50 ซม. 1) ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว และ 4 นิ้ว ฉนวนเยื่อกระดาษ 3 นิ้ว 1) โครงหลังคาในทิศใต้และทิศตะวันตก	- - -

ตารางที่ 2.5

ตารางแสดงตัวแปรที่ใช้ในการปรับปรุงบ้านของงานวิจัยต่าง ๆ เปรียบเทียบกับระยะเวลาการคืนทุน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	รูปแบบการปรับปรุง	ตัวแปรที่ใช้ในการปรับปรุงบ้าน	ระยะเวลาคืนทุน
พนิดา ศิริบังเกิดผล, 2543	กรณีที่ 1 กรณีที่ 2	1) ฉนวนใยแก้ว หนา 2 นิ้ว 2) ติดตั้งแผงบังแดด	9.8 ปี 51.3 ปี
กัญญาภัค แต่พิพัฒน์พงศ์, 2553	กรณีที่ 1 กรณีที่ 2 กรณีที่ 3	1) กระจกสะท้อนแสง 6 มม. 1) ติดตั้งฉนวนผนังใยแก้ว 6 นิ้ว ด้านใน 2) กระจก Low-E 2 ชั้น ตัดแสง 1) ติดตั้งฉนวนผนังใยแก้ว 6 นิ้ว ด้านใน 2) กระจกสะท้อนแสง	- - -
พรพรรณ เหลืองรุจิวงศ์, 2546	กรณีที่ 1 กรณีที่ 2 กรณีที่ 3 กรณีที่ 4 กรณีที่ 5 กรณีที่ 6 กรณีที่ 7 กรณีที่ 8 กรณีที่ 9	กระจกสีชาอ่อน กระจกสีชาดำ กระจกสีฟ้า กระจกสีเขียว กระจกสีชาอ่อน กระจกใส+กระจกใส กระจกสีชาดำ+กระจกใส กระจกสีฟ้า+กระจกใส กระจกสีเขียว+กระจกใส	20.94 ปี 3.45 ปี 19.98 ปี 19.98 ปี 362 ปี 145 ปี 102 ปี 136.8 ปี 137 ปี
กฤษณ์ อ่อนงาม, 2554	กรณีที่ 2 กรณีที่ 3 กรณีที่ 4	กระจกสีเขียว กระจกสะท้อนแสง กระจก Low-E 2 ชั้น	- - -

การศึกษาวิจัยที่มีการใช้เกณฑ์อาคารประหยัดพลังงานในการศึกษาวิจัยมีเพียงการศึกษาวิจัยของปัทมาภรณ์ รัตนประดับ และยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล, 2554 ที่ใช้เกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.00 (TEEAM) ในการสำรวจองค์ประกอบของเปลือกอาคารในปัจจุบันที่มีความสอดคล้องกับเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงาน ฯ ในหมวดเปลือกอาคารและงานภูมิสถาปัตยกรรม และเสนอแนวทางในการปรับปรุงเพื่อให้ผ่านเกณฑ์ประเมินขั้นต่ำร่วมกับแนวโน้มในการปรับปรุงเปลือกอาคารของผู้อยู่อาศัย โดยไม่มีการแสดงค่าการใช้พลังงานและต้นทุนในการปรับปรุง ดังนั้นจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การปรับปรุงเปลือกอาคารบ้านประหยัดพลังงานส่วนใหญ่ทำการศึกษาเฉพาะตัวแปรทางด้านฉนวนกันความร้อนของเปลือก

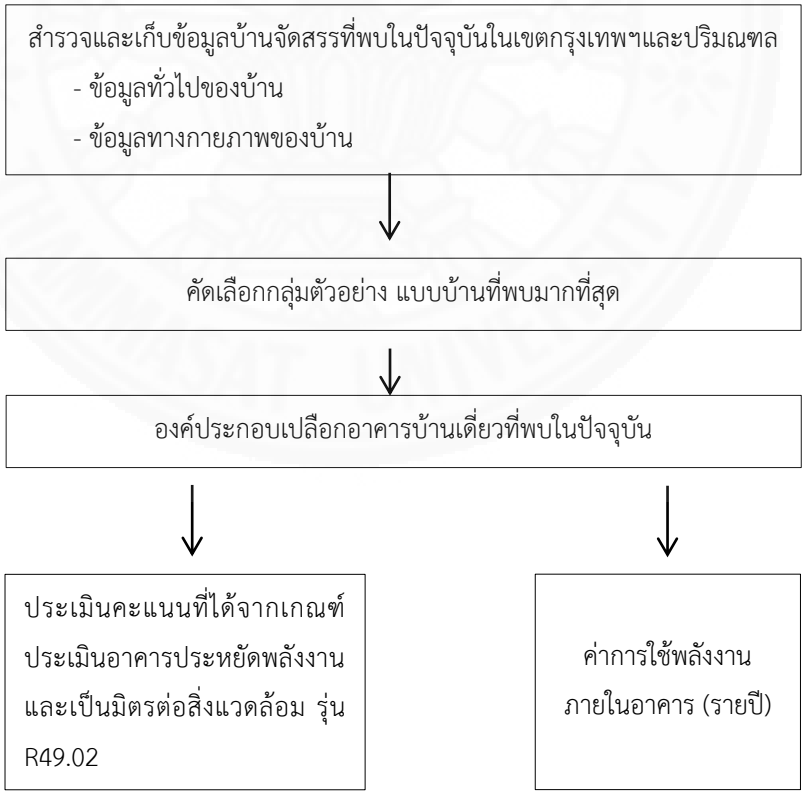
อาคารควบคู่กับระยะเวลาคืนทุน แต่ไม่มีผลการศึกษาการปรับเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคารบ้านเดี่ยวที่ส่งผลต่อค่าการใช้พลังงานที่ลดลงและคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาความสัมพันธ์ในการปรับปรุงเปลือกอาคารบ้านเดี่ยวที่ส่งผลต่อคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน เงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุง และค่าการใช้พลังงานที่ลดลง เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยวประหยัดพลังงานที่เหมาะสมภายใต้ระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี (ไม่เกินอายุการใช้งานของฉนวน) และคุ้มค่าในการลงทุน โดยในการปรับปรุงเปลือกอาคารจะไม่มีการรื้อถอนโครงสร้างหลักของอาคารและเลือกวัสดุที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ง่าย ซึ่งวัสดุเปลือกอาคารที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย 1) ชนิดกระจก ได้แก่ กระจกสีเขียว กระจกสะท้อนแสง และกระจก Low-E 2 ชั้น 2) ฉนวนผนังอาคาร ได้แก่ ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว และ ระบบฉนวนผนัง EIFS 3 นิ้ว เนื่องจากสามารถเพิ่มฉนวนที่ผนังอาคารได้โดยไม่ต้องทุบหรือรื้อถอนผนังอาคารเดิม และ 3) ฉนวนฝ้าเพดาน ชนิดใยแก้ว ความหนา 3 นิ้วและ 6 นิ้ว เนื่องจากเป็นความหนาฉนวนที่ใช้สำหรับบ้านจัดสรรและหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาดปัจจุบัน และฉนวนโพลีเอทธีลีนฟอยล์ R_t 30 และ 43 โดยสามารถติดตั้งเหนือฝ้าเพดานได้ง่ายและมีการใช้งานกับบ้านเดี่ยวในปัจจุบันซึ่งการศึกษาวิจัยอื่น ๆ ยังไม่มีการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าว

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

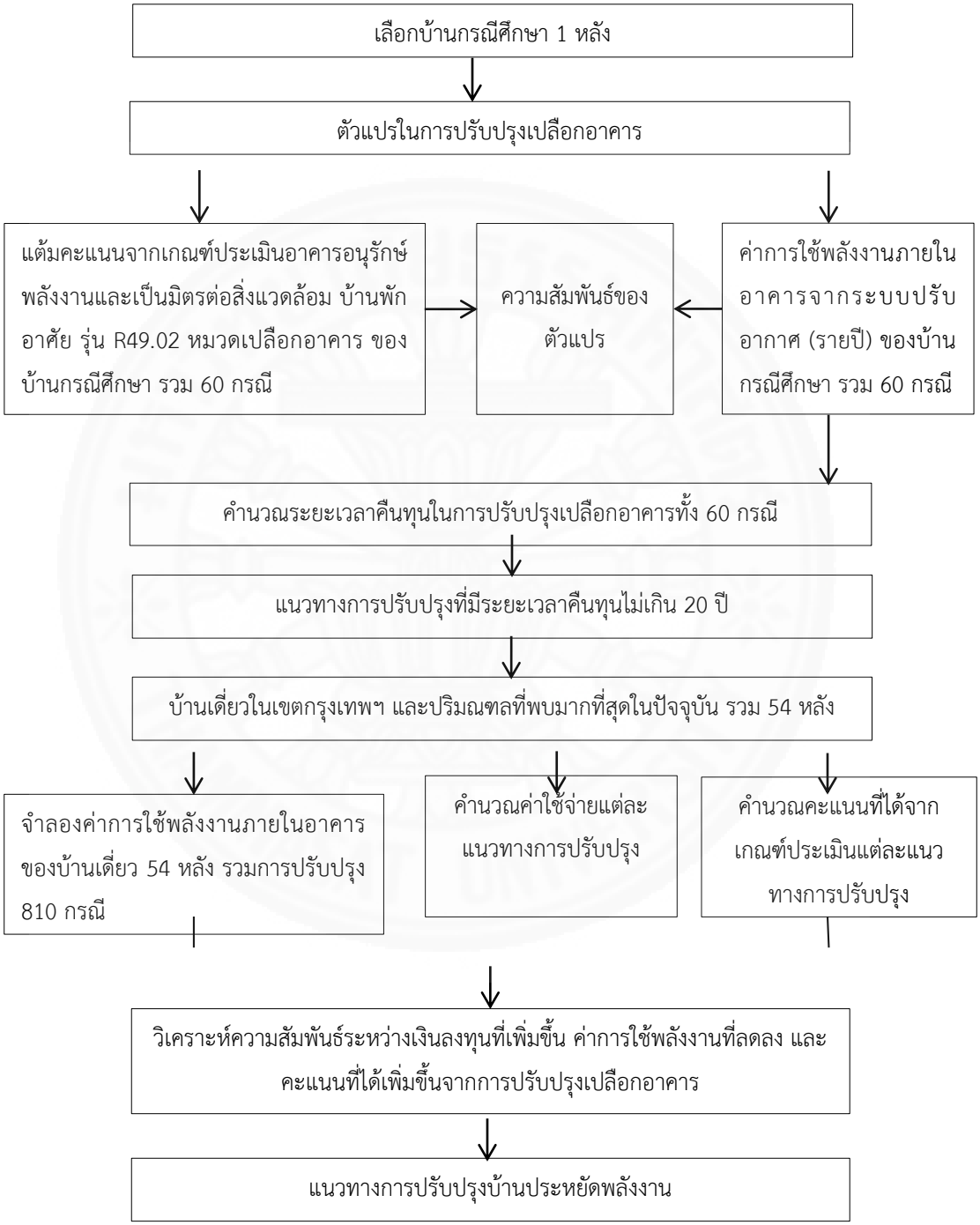
3.1 วิธีการดำเนินวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางการปรับปรุงเปลือกอาคารบ้านจัดสรรประหยัดพลังงานโดยศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของเปลือกอาคารซึ่งเป็นองค์ประกอบของอาคารที่มีผลต่อต้นทุนการก่อสร้างและค่าไฟฟ้าของบ้านจัดสรร ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี แนวทางการปรับปรุงเปลือกอาคารบ้านจัดสรรนี้ได้ใช้เกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R 49.02 หมวดเปลือกอาคาร โดยขั้นตอนแรกศึกษาเปรียบเทียบระหว่างแต้มคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินและค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศของบ้านเดี่ยวที่พบในปัจจุบัน รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 3.1



*ภาพที่ 3.*1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในขั้นแรก

โดยขั้นต่อมาคัดเลือกตัวแปรที่ใช้ในการปรับปรุงอาคารและศึกษาความสัมพันธ์ในการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคารกับค่าการใช้พลังงานจากการปรับอากาศและเงินลงทุนที่ใช้ปรับปรุง และอิทธิพลขององค์ประกอบเปลือกอาคารหลังการปรับปรุงที่มีผลต่อแต้มคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน ฯ โดยทดสอบกับบ้านกรณีศึกษา 1 หลังเพื่อสรุปผลแนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี โดยนำแนวทางการปรับปรุงดังกล่าวมาศึกษาต่อในบ้านกรณีศึกษาทั้งหมด 54 หลัง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากการเปรียบเทียบเงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุง ค่าการใช้พลังงานที่ลดลง และคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน ฯ และทำการคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงที่มีความเหมาะสมในทั้ง 3 ข้อจำกัด โดยเลือกแนวทาวทางการปรับปรุงที่เหมาะสมที่สุด โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วที่สุด เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงบ้านจัดสรรเพื่อการประหยัดพลังงาน ภายใต้ระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยขั้นสุดท้าย

3.2 รูปแบบการวิจัย

การศึกษาวิจัยแนวทางการปรับปรุงระบบเปลือกอาคารบ้านจัดสรรเพื่อการประหยัดพลังงาน ภายใต้ระยะเวลาการคืนทุนไม่เกิน 20 ปี โดยเป็นการปรับปรุงที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างเดิมน้อยที่สุด การศึกษาวิจัยนี้เป็นการผสมผสานระหว่างการวิจัยเชิงสำรวจและการวิจัยเชิงทดลอง โดยจำแนกรูปแบบการวิจัยเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.2.1 การวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research)

1) ดำเนินการสำรวจบ้านจัดสรรที่อยู่ระหว่างขายบนเว็บไซต์ของโครงการ เพื่อเก็บข้อมูลทั่วไปของบ้านและรวบรวมข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพของบ้านจัดสรรที่พบ โดยรายละเอียดข้อมูลทั่วไปของบ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพ ฯ และปริมณฑลที่พบในปัจจุบัน แสดงในตารางที่ 3.1 การเก็บข้อมูลใช้วิธีเก็บจากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) จากการสำรวจข้อมูลองค์ประกอบเปลือกอาคารจากโครงการบ้านจัดสรร และจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) โดยการสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต รวมทั้งศึกษาเอกสารงานวิจัย บทความและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงบ้านประหยัดพลังงานและเกณฑ์การประหยัดพลังงานในประเทศไทย

2) ศึกษาปัจจัยองค์ประกอบของเปลือกอาคารที่มีผลต่อการได้คะแนนของเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 รายละเอียดด้านองค์ประกอบอาคารของบ้านจัดสรรที่เก็บข้อมูล เช่น ขนาดสัดส่วนหลังคา วัสดุเปลือกอาคาร อัตราส่วนพื้นที่ผนังต่อพื้นที่ช่องเปิด สีทาอาคารและระยะอุปกรณ์บังแดด ค่าการรั่วซึมอากาศ เป็นต้น รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.2 และ ตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.1

ตัวอย่างการเก็บข้อมูลทั่วไปของบ้านจัดสรร

ชื่อบ้าน	พื้นที่ใช้สอย (ตร.ม.)	Function			ชื่อโครงการ
		ห้องนอน	ห้องน้ำ	ที่จอดรถ	
คณาภัทร	113	3	2	2	คณาสิริ วงแหวน-พระราม 5
Charlottesville	164	3	3	2	บุราสิริ ปัญญาอินทรา
Pear	113	3	2	1	บุราสิริ วงแหวน - อ่อนนุช

ตารางที่ 3.2

ตัวอย่างการเก็บข้อมูลองค์ประกอบทางกายภาพของบ้านจัดสรร

แบบบ้าน	พื้นที่ผนัง (ด้าน)				พื้นที่หน้าต่าง (ด้าน)			
	หน้า	หลัง	ซ้าย	ขวา	หน้า	หลัง	ซ้าย	ขวา
HTR 3	56.5	45	56.4	45	16.5	10.3	7.9	11.8
FLARES	66.2	48.5	62.2	48	15.2	7.5	8.9	7.7

ตารางที่ 3.3

แสดงรายละเอียดตัวอย่างค่าอัตราการรั่วซึมของอากาศผ่านกรอบอาคารจากบ้านกรณีศึกษา

แบบบ้าน	ชั้น	ด้าน	รูปแบบหน้าต่าง	ปริมาณอากาศรั่วซึม
Charlottesville	1	หน้า	ประตูบานเปิด	1.9
	2	หน้า	ประตูบานเปิด	1.9
	2	หน้า	หน้าต่างบานเปิด	0.73
	2	หลัง	หน้าต่างบานกระทุ้ง	0.72

3.2.2 การวิจัยเชิงคำนวณทางตัวเลข (Numerical Research)

การศึกษาในส่วนนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของเปลือกอาคารที่มีผลต่อคะแนนจากเกณฑ์ประเมินฯ ค่าการใช้พลังงาน และเงินลงทุนที่ใช้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงานที่คุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งต้องใช้กระบวนการเชิงคำนวณทางตัวเลขในการหาผลลัพธ์ของแต่ละส่วนโดยมีกระบวนการศึกษาวิจัย ดังนี้ ด้านคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน ฯ ใช้ค่าคุณสมบัติวัสดุของวัสดุเปลือกอาคารและขนาดของเปลือกอาคารในการประเมินคะแนนที่ได้ในแต่ละข้อจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร โดยศึกษาคะแนนที่ได้ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง ในด้านต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุงคำนวณโดยวิธีบัญชีปริมาณงานและราคา (BOQ) โดยนำค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงที่ได้นำมาคำนวณระยะเวลาคืนทุนของแต่ละแนวทางการปรับปรุงเปลือกอาคาร เพื่อคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่

เกิน 20 ปี นอกจากนี้ด้านค่าการใช้พลังงานใช้การจำลองค่าการใช้พลังงานผ่านโปรแกรม eQUEST 3.64 ดังนั้น เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ เงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุง ค่าการใช้พลังงาน และคะแนนที่ได้จากการปรับปรุงเปลือกอาคาร ในการพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนที่เหมาะสมที่สุด การศึกษาวิจัยนี้ประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยโปรแกรม eQUEST 3.64 และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.2.1 เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในบ้านโดยโปรแกรม eQUEST 3.64

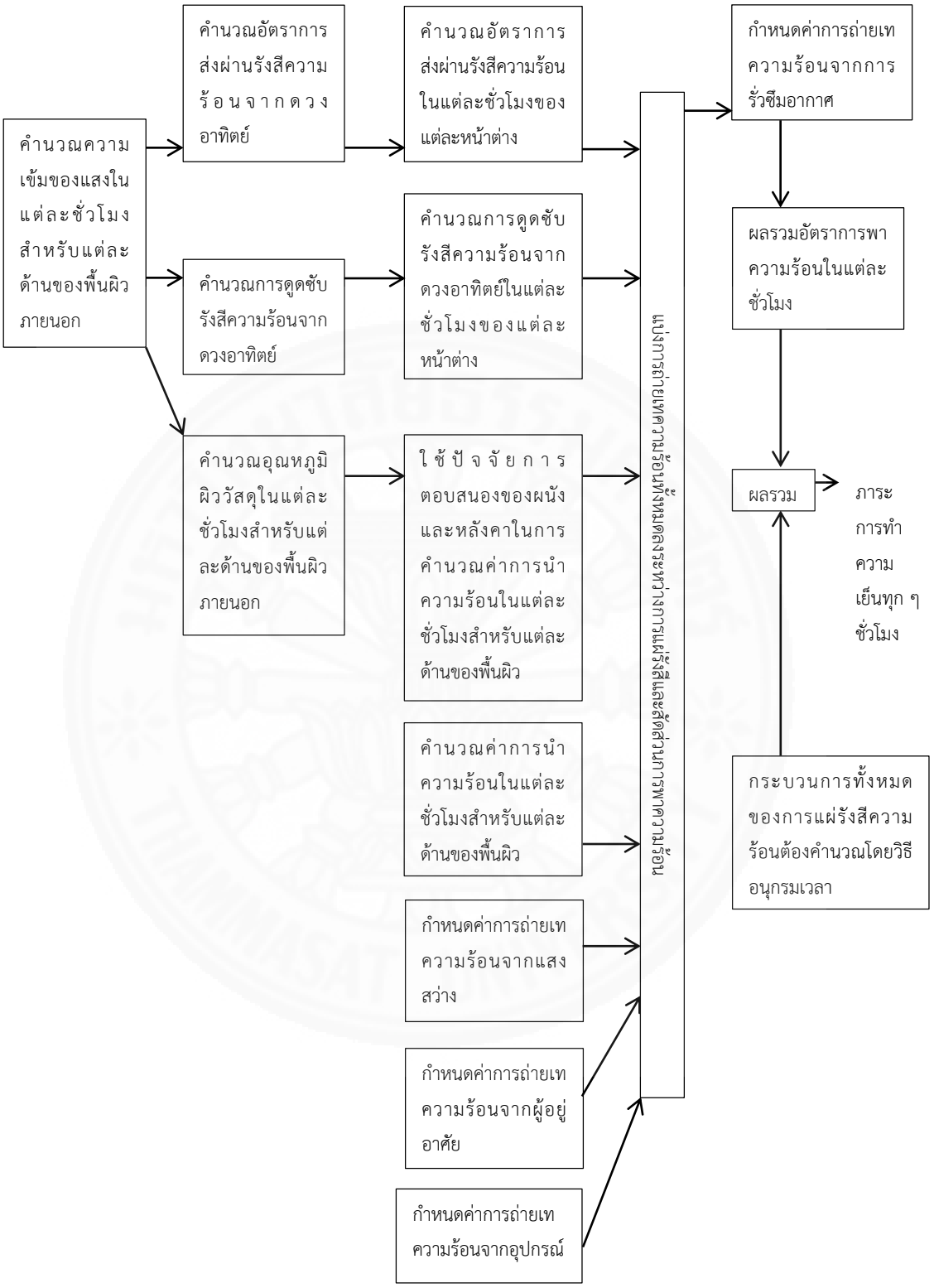
โปรแกรม eQUEST 3.64 ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพใช้พลังงานของอาคาร โดยจำลองพลังงานผ่านโปรแกรม DOE-2 ในการวิเคราะห์ค่าพลังงานโดยมีหลักการคำนวณพลังงาน ดังนี้ ในการคำนวณภาระการทำความเย็นใช้วิธีวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี RTS หรือ RTS (Radiant time series method) ได้รับการพัฒนาโดย ASHRAE โดยอาศัยการคำนวณภาระการทำความเย็นจากวิธี Heat balance การคำนวณภาระการทำความเย็นโดยวิธีการนี้เป็นการคำนวณค่าการใช้พลังงานแบบชั่วโมงต่อชั่วโมง โดยสามารถแบ่งแหล่งกำเนิดความร้อนซึ่งมีผลต่อการคำนวณภาระการทำความเย็นจาก 3 ส่วน ได้แก่

(1) ความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคาร ได้แก่ 1) ความร้อนภายนอกที่ผ่านผนัง 2) ความร้อนภายนอกที่ผ่านหลังคา และ 3) ความร้อนภายนอกที่ผ่านกระจก

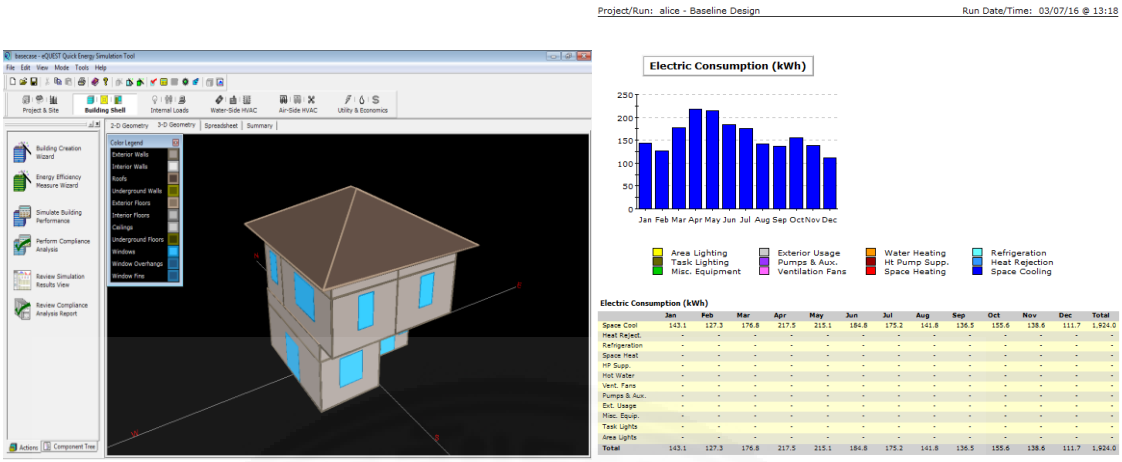
(2) ภาระภายใน (Internal load) ได้แก่ 1) ความร้อนที่เกิดจากจำนวนผู้ใช้อาคาร และ 2) ความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและแสงสว่าง

(3) ความร้อนที่เกิดจากภายนอก โดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนเข้าสู่พื้นที่และความร้อนสัมผัส

โดยใช้ปัจจัยจากทั้ง 3 ส่วนผ่านอนุกรมเวลาของการแผ่รังสีและความร้อนของการระบายอากาศในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น ภาพรวมของอนุกรมเวลาการแผ่รังสี แสดงดังภาพที่ 3.3 โปรแกรม eQUEST 3.64 ต้องการข้อมูลและรายละเอียดองค์ประกอบของบ้าน เช่น ขนาดของบ้าน ลักษณะทางสถาปัตยกรรม การใช้วัสดุก่อสร้าง เป็นต้น โครงสร้างในการคำนวณของโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.3 ภาพรวมของวิธีอนุกรมเวลาของการแผ่รังสี จาก. The Radiant Time Series Cooling Load Calculation Procedure*, by Jeffrey D. Spitler, Daniel E. Fisher, Curtis O. Pedersen,* 1997 (ดัดแปลง)



ภาพที่ 3.4 จอแสดงผลหุ่นจำลองของโปรแกรม eQUEST 3.64 และการคำนวณค่าการใช้พลังงานของโปรแกรม

3.2.2.2 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

งานวิจัยนี้เลือกใช้การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้การคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple Payback Period) โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

(1) การคำนวณต้นทุนในการก่อสร้าง การประมาณราคาค่าก่อสร้างโดยมุ่งเน้นที่เปลือกอาคารเพื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าก่อสร้างทั้งก่อนและหลังปรับปรุงบ้านจัดสรรประหยัดพลังงาน โดยค่าก่อสร้างประกอบด้วยค่าแรงงานและค่าวัสดุ ซึ่งในการคำนวนได้กำหนดราคาค่าวัสดุและค่าแรงงานจากการสอบถามผู้จัดจำหน่ายและบัญชีค่าวัสดุและค่าแรงงานของสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) โดยรายละเอียดการคำนวณต้นทุนในการก่อสร้างใช้ขนาดพื้นที่เปลือกอาคารในส่วนที่ปรับปรุงคูณกับราคาค่าวัสดุและค่าแรง ตัวอย่างการคำนวณแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4

ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนค่าก่อสร้างเปลือกอาคารบ้านจัดสรร

บ้านพักอาศัย 2 ชั้น								
ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาค่าวัสดุ		ราคาค่าแรง		รวม (บาท)
				ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)	ราคาต่อ (บาท) หน่วย	รวม (บาท)	
ค่าใช้จ่ายก่อนการปรับปรุงบ้าน								
1	งานฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ด หนา 9 มม.	48	ตร.ม.	110	5,280	52	2,496	7,776
2	ผนังก่ออิฐมอญ	120	ตร.ม.	245	29,400	89	10,680	40,080
3	กระจกใส	42	ตร.ม.	206	8,652	95	3,990	12,642
							รวมค่าใช้จ่ายก่อนการปรับปรุงบ้าน (บาท)	**60,798**
ค่าใช้จ่ายหลังการปรับปรุงบ้าน								
1	กระจกสะท้อนแสง	20	ตร.ม.	1,025	20,500	95	1,900	22,400
							รวมค่าใช้จ่ายหลังการปรับปรุงบ้าน	**22,400**
							รวมเป็นเงินลงทุนในการปรับปรุงเปลือกอาคาร (บาท)	**82,898**

(2) การคำนวณระยะเวลาการคืนทุน เป็นวิธีการที่ใช้ประเมินความน่าสนใจของโครงการที่กำลังพิจารณาการลงทุน ซึ่งเป็นการคำนวณหาช่วงระยะเวลาที่ใช้การลงทุนที่กระแสเงินสดรายรับเท่ากับกระแสเงินสดของเงินลงทุน โดยในการศึกษาวิจัยนี้ใช้วิธีการคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period) ซึ่งไม่คำนึงถึงมูลค่าของเงินในระยะเวลาต่าง ๆ การวิจัยนี้ต้องการหาระยะเวลาคืนทุนของการปรับปรุงเปลือกอาคารบ้านเดี่ยวซึ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน ได้แก่ ต้นทุนการก่อสร้างที่ใช้ในการปรับปรุง (กระแสเงินสดของเงินลงทุน) และค่าไฟฟ้าจากการปรับอากาศที่สามารถประหยัดได้ (กระแสเงินสดรายรับ)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{ต้นทุนการก่อสร้างที่ใช้ในการปรับปรุง (บาท)}}{\text{ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาทต่อปี)}}$$

3.3 ลักษณะของบ้านที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

3.3.1 การแบ่งกลุ่มประชากร

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้คือบ้านเดี่ยวประเภทบ้านจัดสรร 2 ชั้นในเขตกรุงเทพ ฯ และปริมณฑลที่เปิดขายบนเว็บไซต์ของโครงการอยู่ในปัจจุบัน (ปี พ.ศ. 2557 - 2558) จากโครงการบ้านจัดสรร 167 โครงการของบริษัทผู้พัฒนาโครงการบ้านจัดสรร 13 บริษัท โดยพบแบบ บ้านทั้งหมด 328 แบบ แสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5

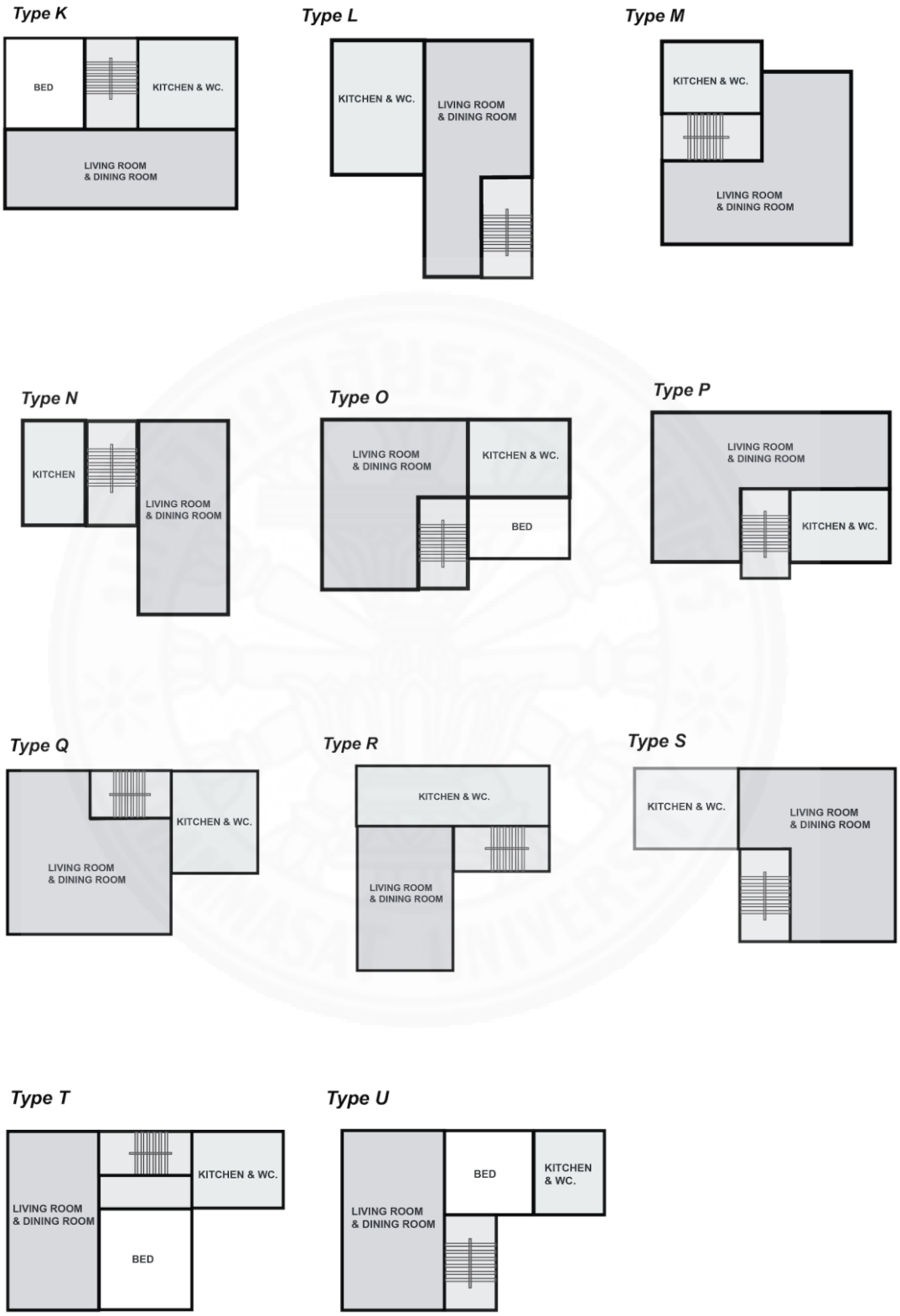
จำนวนประชากรของแบบบ้านที่ศึกษา ของแต่ละบริษัทผู้พัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรร

บริษัทพัฒนาโครงการบ้านจัดสรรร	จำนวนแบบบ้าน
Noble	2
ธารารมณ์	10
กฤษณา	3
Areeya	2
Land and House	21
Sansiri	52
AP	33
Pruksa	62
NC Property	19
Supalai	19
ชวนชื่น	37
Property Perfect	18
Lalil Property	13
Q.house	37
รวม	328 แบบ

3.3.2 การคัดเลือกบ้านกรณีศึกษา

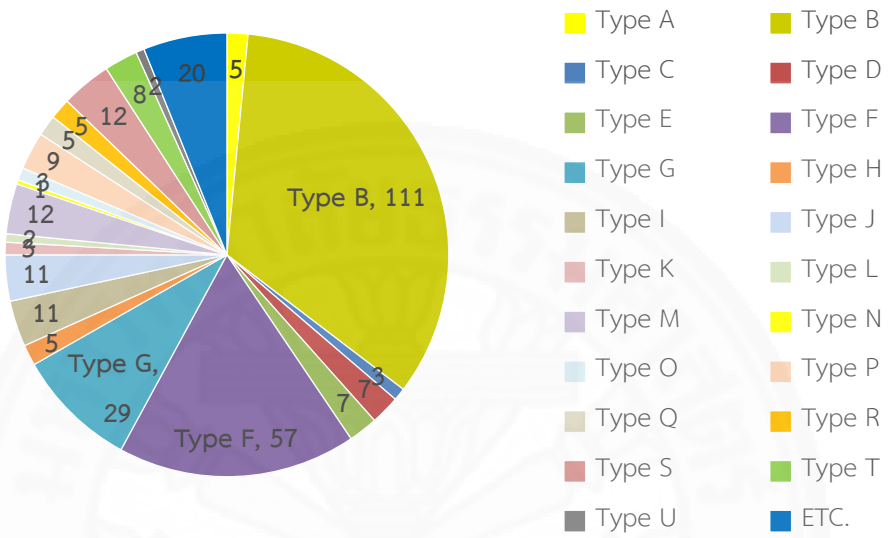
ผู้วิจัยได้ศึกษาลักษณะแบบบ้านทั้งหมด 328 หลัง โดยจำแนกลักษณะการวางผังพื้นที่ใช้สอยที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกัน และแบ่งกลุ่มรูปแบบการวางผังที่ใช้สอยชั้นล่างที่คล้ายคลึงกันที่พบมากที่สุดเพื่อเลือกเป็นบ้านกรณีศึกษา จากการจำแนกรูปแบบการวางผังพื้นที่ใช้สอยชั้นหนึ่งสามารถแบ่งกลุ่มแบบบ้านได้เป็นแบบเอ ถึง ยู ทั้งสิ้น 21 รูปแบบ ดังภาพที่ 3.5

ภาพที่ 3.5 รูปแบบบ้านแบบเอ ถึง ยู



ภาพที่ 3.5 (ต่อ) รูปแบบบ้านแบบเอ ถึง ยู

จากการจัดกลุ่มรูปแบบบ้านแบบเอ ถึง ยู ทั้งหมด 328 แบบ พบว่า รูปแบบบ้านที่พบมากที่สุด 2 อันดับแรก ได้แก่ บ้านรูปแบบบี จำนวน 111 หลัง คิดเป็นร้อยละ 34 และบ้านรูปแบบเอฟ 57 หลัง คิดเป็นร้อยละ 17 ตามลำดับ โดยรวมแบบบ้านทั้งบีและเอฟ คิดเป็นร้อยละ 51 จากจำนวนประชากรบ้านที่ศึกษาทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 3.6

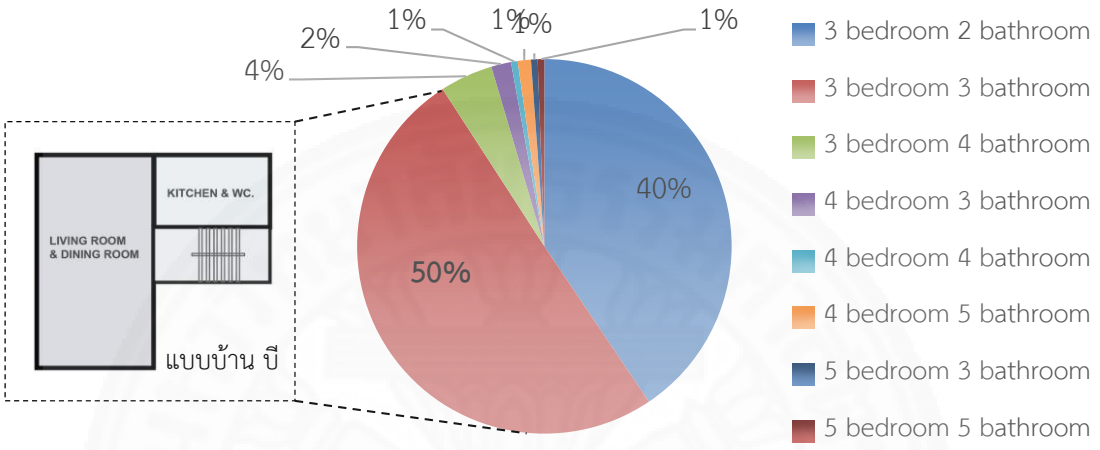


ภาพที่ 3.6 จำนวนแบบบ้านแบ่งตามพื้นที่ใช้สอยของบ้านชั้น 1

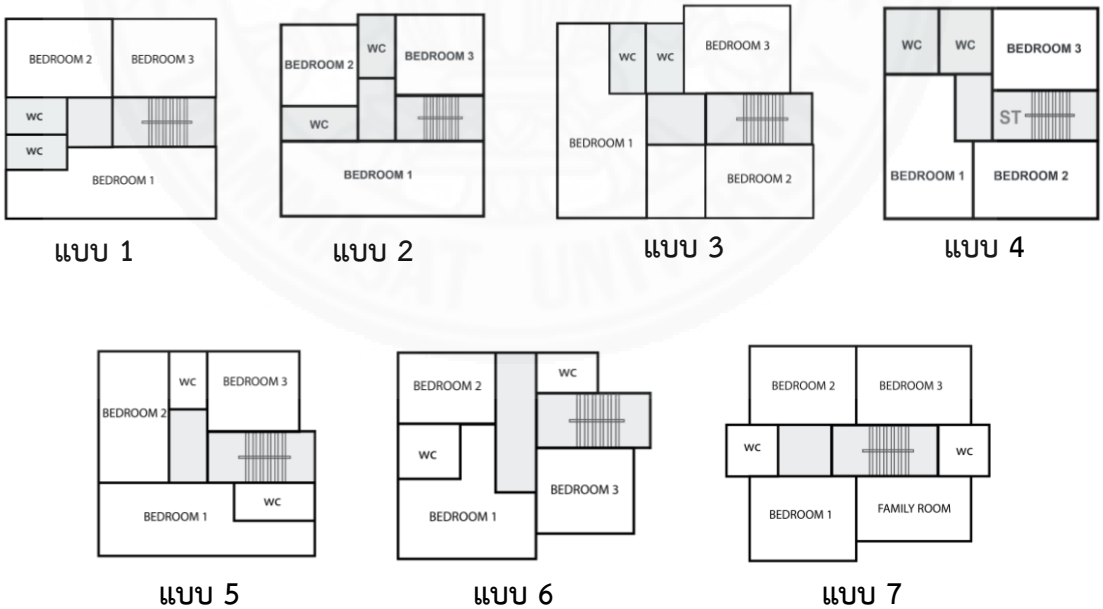
จากการศึกษาลักษณะผังของบ้านรูปแบบบี พบว่า บ้านแต่ละหลังในบ้านรูปแบบบี นั้นมีจำนวนพื้นที่ใช้สอยภายในบ้านและมีผังพื้นที่ใช้สอยของบ้านชั้นสองที่แตกต่างกัน โดยจำนวนห้องนอนและจำนวนห้องน้ำของบ้านแบบ บี มีทั้งหมด 7 แบบ โดยแบบที่พบมากที่สุดคือบ้าน 3 ห้องนอนและ 3 ห้องน้ำของแบบบ้านบี ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 54 หลัง คิดเป็นร้อยละ 50 ของแบบบ้านทั้งหมด แสดงได้ดังภาพที่ 3.7 แบบบ้านบี 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ มีรูปแบบผังชั้น 2 ทั้งสิ้น 7 แบบ แสดงดังภาพที่ 3.8 ผังชั้น 2 พบมากที่สุด 3 อันดับ คือ แบบที่ 4 ร้อยละ 33 แบบที่ 2 ร้อยละ 26 และแบบที่ 1 ร้อยละ 22 ตามลำดับ สัดส่วนจำนวนรูปแบบผังชั้น 2 แสดงดังภาพที่ 3.9 ดังนั้นจึงเลือกบ้านรูปแบบ บี 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ ผังชั้น 2 ทั้ง 7 รูปแบบ จำนวน 54 หลัง เป็นแบบบ้านกรณีศึกษาที่ใช้ในการวิจัย

บ้านกรณีศึกษาทั้ง 54 หลัง มีพื้นที่ใช้สอยภายในบ้าน 127-255 ตารางเมตร และมีขนาดอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังรวม (WWR) ร้อยละ 12.6-23.2 (WWR เฉลี่ยร้อยละ 16.9) ในการศึกษาการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคารบ้านกรณีศึกษามีขนาดสัดส่วนองค์ประกอบเปลือกอาคารทั้ง 3 ส่วน ดังนี้ 1) พื้นที่กระจก ขนาดพื้นที่ 19.7-44.2 ตารางเมตร (พื้นที่เฉลี่ย 29 ตาราง

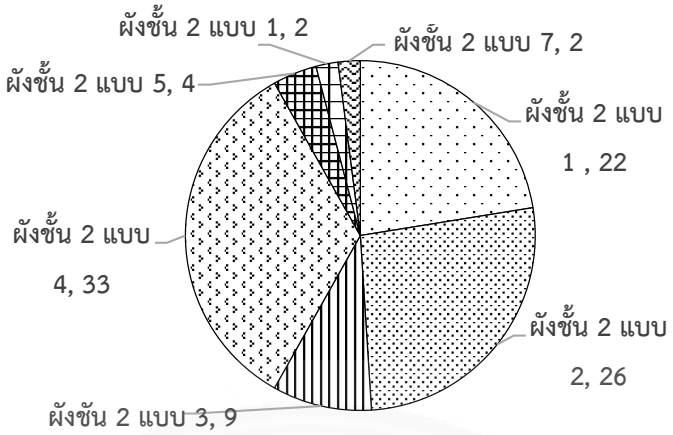
เมตร) 2) พื้นที่ผนังอาคาร มีขนาดพื้นที่ 96.7-163.7 ตารางเมตร (พื้นที่เฉลี่ย 122 ตารางเมตร) ปรับปรุงเฉพาะในส่วนผนังภายนอกของห้องที่มีการปรับอากาศ ได้แก่ ห้องนอน ห้องนั่งเล่น ห้องรับแขกและห้องรับประทานอาหาร 3) พื้นที่ฝ้าเพดานปรับปรุงโดยการเพิ่มฉนวนป้องกันความร้อนเหนือฝ้าเพดานชั้น 2 ของห้องที่มีการปรับอากาศ ได้แก่ ห้องนอนและห้องนั่งเล่น



ภาพที่ 3.7 สัดส่วนจำนวนบ้านตามจำนวนห้องนอนและห้องน้ำของบ้านแบบ บี



ภาพที่ 3.8 รูปแบบผังชั้น 2 ของแบบบ้าน บี 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ



ภาพที่ 3.9 จำนวนแบบผังชั้น 2 ของแบบบ้าน บี 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ

3.4 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย 3 ส่วน โดยตัวแปรต้น ประกอบด้วย 1) ค่าคุณสมบัติการนำความร้อนและขนาดของกระจกอาคาร ผนังภายนอก และฉนวนฝ้าเพดาน และ 2) เกณฑ์การได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร (TEEAM) ในการกำหนดค่าคะแนนของแต่ละชนิดวัสดุอาคาร ในส่วนของตัวแปรตาม ประกอบด้วย 1) ต้นทุนค่าก่อสร้าง 2) ค่าไฟฟ้าภายในบ้านที่มีผลมาจากภาระการทำความเย็น และ 3) คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินในการปรับปรุงเปลือกอาคาร และตัวแปรควบคุม ประกอบด้วย 1) ค่าไฟฟ้าที่มาจากแสงสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยในการศึกษาวิจัยนี้ไม่นำปัจจัยดังกล่าวมาใช้วิเคราะห์ค่าไฟฟ้าภายในบ้าน 2) ราคาค่าวัสดุและค่าแรงในการปรับปรุงเปลือกอาคาร 3) รูปแบบการจัดวางผัง Layout ของบ้านเฉพาะชั้น 1 ซึ่งมีรูปแบบผังชั้น 1 แบบบี ซึ่งมี 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ โดยมีรูปแบบเดียวกัน และ 4) วัสดุเปลือกอาคารบ้านกรณีศึกษา สามารถสรุปตัวแปรที่ใช้ในการวิจัยทั้ง 3 ส่วน แสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6

ตารางแสดงตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย	
ตัวแปรต้น	1. คุณสมบัติการนำความร้อนและขนาดของเปลือกอาคารบ้านจัดสรร ได้แก่ - ผนังภายนอก - กระจก - ฉนวนกันความร้อนฝ้าเพดาน 2. เกณฑ์การได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร (TEEAM)
ตัวแปรตาม	1. ต้นทุนค่าก่อสร้าง 2. ค่าไฟฟ้า เฉพาะการใช้ไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศภายในบ้าน 3. แต้มคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร (TEEAM)
ตัวแปรควบคุม	1. ค่าไฟฟ้าที่ได้จากแสงสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน 2. ราคาวัสดุและค่าแรงในการปรับปรุงเปลือกอาคาร 3. รูปแบบการจัดวาง (Layout) ของบ้านเฉพาะชั้น 1 4. วัสดุเปลือกอาคารที่ใช้ในบ้านกรณีศึกษา

ตัวแปรต้นที่ศึกษาประกอบด้วย 2 ตัวแปร ได้แก่ คุณสมบัติการนำความร้อนและขนาดของเปลือกอาคารบ้านจัดสรร และคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน ฯ ในการปรับปรุงเปลือกอาคาร โดยตัวแปรต้นทางด้านเปลือกอาคารที่ศึกษาวิจัย ได้แก่

1) วัสดุกระจก 4 ชนิด ได้แก่ กระจกใส กระจกสีเขียว กระจกสะท้อนแสง และกระจก 2 ชั้น มีค่าคุณสมบัติและราคาค่าก่อสร้าง แสดงดังตารางที่ 3.7

2) วัสดุฉนวนผนังอาคาร 3 ชนิด ได้แก่ ผนังก่ออิฐมอญ ผนังก่ออิฐมอญติดตั้งระบบผนัง EIFS และผนังก่ออิฐมอญติดตั้งฉนวนใยแก้ว มีค่าคุณสมบัติและราคาค่าก่อสร้าง แสดงดังตารางที่ 3.8

3) การปรับปรุงชนิดวัสดุฉนวนฝ้าเพดาน 5 ชนิด ได้แก่ (1) หลังคากระเบื้องซีเมนต์ไฟเบอร์และฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ด (2) ติดตั้งฉนวนใยแก้วเหนือฝ้าเพดาน ความหนา 3 นิ้ว (3) ติดตั้งฉนวนใยแก้วเหนือฝ้าเพดาน ความหนา 6 นิ้ว (4) ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30 ความ

หนา 0.5 นิ้ว และ (5) ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43 ความหนา 1.2 นิ้ว มีค่าคุณสมบัติและราคาค่าก่อสร้าง แสดงดังตารางที่ 3.9

นอกจากนี้ตัวแปรควบคุมด้านวัสดุที่ใช้ในบ้านกรณีศึกษาเพื่อใช้เป็น Basecase มีรายละเอียดดังนี้ วัสดุผนังอาคารใช้ผนังก่ออิฐมอญหนา 10 เซนติเมตรและใช้สีภายนอกเป็นโทนสีอ่อน (absorption = 0.5) วัสดุกระจกใช้กระจกใส หนา 6 มิลลิเมตรซึ่งใช้บานกรอบอลูมิเนียม และวัสดุหลังคาใช้กระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์และฝ้าเพดานชนิดแผ่นยิปซั่มบอร์ดแบบฉาบเรียบติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน รายละเอียดดังตารางที่ 3.7 3.8 และ 3.9

ตารางที่ 3.7

ค่าคุณสมบัติและราคาการก่อสร้างของวัสดุกระจก

ชนิดกระจก	ความหนา (มิลลิเมตร)	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) BTU/hr-ft^2-F	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC)	ค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (τ_{vis})	ราคาค่าก่อสร้าง (บาท/ตารางเมตร)
กระจกใส (Basecase)	6.00	1.11	0.81	0.88	301
กระจกสีเขียว	6.00	1.09	0.61	0.76	339
กระจกสะท้อนแสง	6.00	0.86	0.19	0.20	1,119
กระจก Low -E 2 ชั้น	24.50	0.23	0.28	0.73	2,896

หมายเหตุ. ราคาค่าก่อสร้างรวมค่าวัสดุและค่าแรง

ตารางที่ 3.8

ค่าคุณสมบัติและราคาการก่อสร้างของวัสดุผนัง

ฉนวนผนัง	ค่าการต้านทานความร้อนรวม (R_t-value) hr-ft^2-F/BTU	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) BTU/hr-ft^2-F	ราคาค่าก่อสร้าง (บาท/ตารางเมตร)
อิฐมอญ (Basecase)	1.45	0.69	334
ผนังอิฐมอญติดตั้งระบบผนัง EIFS หนา 3 นิ้ว	17.54	0.057	700
ผนังอิฐมอญติดฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว	12.53	0.080	451

หมายเหตุ. ราคาค่าก่อสร้างรวมค่าวัสดุและค่าแรง

ตารางที่ 3.9

ค่าคุณสมบัติและราคาการก่อสร้างของวัสดุฉนวนฝ้าเพดาน

ฉนวนฝ้าเพดาน	ความหนา นิ้ว	ค่าการต้านทานความร้อนรวม (R_t-value) hr-ft^2-F/BTU	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) BTU/hr-ft^2-F	ราคาค่าก่อสร้าง (บาท/ตารางเมตร)
ฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ด (Basecase)	-	11.58	0.086	110
ฉนวนใยแก้ว	3	23.12	0.043	185
ฉนวนใยแก้ว	6	34.66	0.029	228
ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30	0.5	19.84	0.050	189
ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43	1.2	35.92	0.028	235

หมายเหตุ. ราคาค่าก่อสร้างรวมค่าวัสดุและค่าแรง

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาวิจัยนี้แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 5 ส่วน ดังนี้

3.5.1 วิเคราะห์รูปแบบการได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร ของบ้านเดี่ยวในปัจจุบัน

3.5.2 วิเคราะห์ผลการประเมินคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร เปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานของบ้านเดี่ยวที่พบส่วนใหญ่ในปัจจุบัน

3.5.3 วิเคราะห์ปัจจัยองค์ประกอบเปลือกอาคารในการปรับปรุงบ้านที่มีผลต่อแต้มคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ รุ่น R49.02 และค่าการใช้พลังงาน

3.5.4 วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนการปรับปรุงบ้านในแต่ละกรณี เพื่อเลือกแนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี

3.5.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ต้นทุนการก่อสร้าง คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน และค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (บาท/ปี) ในการปรับปรุงบ้านประหยัดพลังงานกรณีศึกษาทั้ง 54 หลัง ที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี

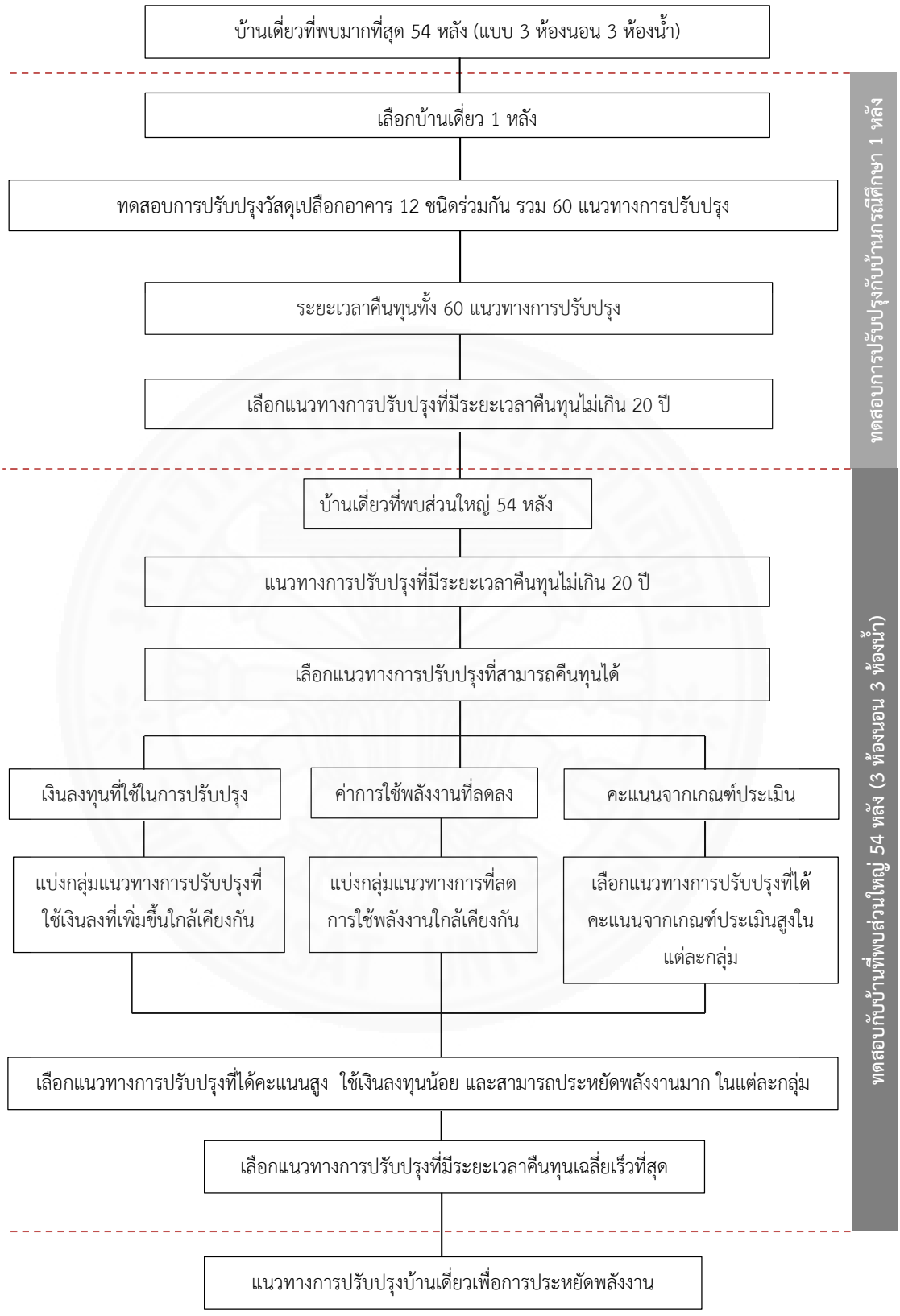
3.5.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแนวทางการปรับปรุงที่ใช้ต้นทุนในการปรับปรุง คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน และค่าการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงที่เหมาะสมที่สุด โดยมีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงาน

3.6 การคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงาน

จากการสำรวจบ้านเดี่ยวที่พบในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑลในปัจจุบัน และทำการคัดเลือกบ้านเดี่ยวที่พบมากที่สุด คือ บ้านเดี่ยวแบบ 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ จำนวน 54 หลัง โดยในขั้นแรกทำการเลือกบ้านเดี่ยว 1 หลังในการวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี และนำแนวทางการปรับปรุงดังกล่าวทดสอบกับบ้านเดี่ยวที่พบในปัจจุบันทั้ง 54 หลังเพื่อตรวจสอบระยะเวลาคืนทุนของแนวทางการปรับปรุงทั้งหมดนั้นสามารถคืนทุนได้ในบ้านเดี่ยวทุกหลัง (ระยะเวลาคืนทุนไม่ติดลบ) และทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านการลงทุนของแนวทางการปรับปรุงที่สามารถคืนทุนได้ไม่เกิน 20 ปี โดยพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ 1) เงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุง 2) ค่าการใช้พลังงานที่ลดลง และ 3) คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินในการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคาร

การวิเคราะห์ปัจจัยทางด้านความคุ้มค่าในการลงทุนพิจารณาโดยเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานระหว่างแต่ละแนวทางการปรับปรุงเป็นลำดับแรก เพื่อจำแนกกลุ่มแนวทางการปรับที่

สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ใกล้เคียงกัน ขั้นตอนต่อมาพิจารณาเงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุงโดยจำแนกกลุ่มการปรับปรุงที่ใช้เงินลงทุนใกล้เคียงกัน และนำกลุ่มการปรับปรุงที่ได้เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มค่าการใช้พลังงานที่ลดลง เพื่อศึกษาแนวโน้มค่าการใช้พลังงานมีลักษณะลดลงตามเงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุงอย่างไร และขั้นตอนที่ 3 พิจารณาเปรียบเทียบคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ ฯ ประเมินของแต่ละแนวทางการปรับปรุงโดยคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงที่ได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินสูง และนำมาเปรียบเทียบกับกลุ่มค่าการใช้พลังงานและเงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุง เพื่อเลือกแนวทางการปรับปรุงที่ได้คะแนนจากเกณฑ์สูง ใช้เงินลงทุนในการปรับปรุงที่ไม่สูงมาก และสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้มากของแต่ละกลุ่ม โดยในขั้นตอนสุดท้ายการคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสมที่สุดเพียง 1 แนวทางการปรับปรุง การศึกษาวิจัยนี้พิจารณาจากแนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงานการ ภายใต้ระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี รายละเอียดการคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงาน แสดงดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 การคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมที่สุด

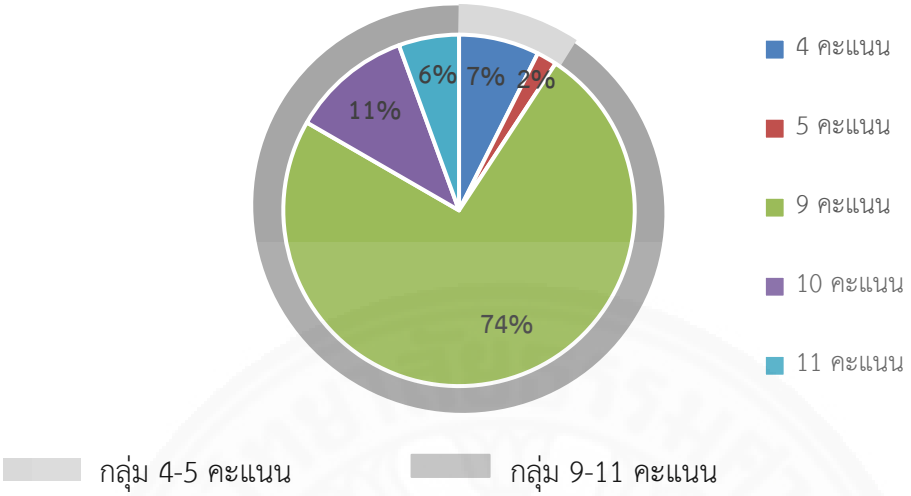
บทที่ 4
ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาในส่วนนี้แบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 มุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของตัวแปรด้านองค์ประกอบเปลือกอาคารที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานและคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินของบ้านเดี่ยวประเภทบ้านจัดสรรที่พบส่วนใหญ่ในปัจจุบัน ส่วนที่ 2 ศึกษาอิทธิพลขององค์ประกอบเปลือกอาคารในด้านของวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงบ้านที่มีผลต่อความสามารถในการลดค่าการใช้พลังงานและแต้มคะแนนที่ได้จากเกณฑ์การประเมินอาคารประพยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร (TEEAM) เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสมโดยอาศัยตัวชี้วัดทางการลงทุนอย่างระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี ในการคัดเลือกแนวทางการปรับปรุงเพื่อนำไปสู่ส่วนที่ 3 การหาความคุ้มค่าในการลงทุนมีปัจจัยชี้วัดแนวทางการลงทุนที่เหมาะสม ได้แก่ เงินลงทุนในการปรับปรุง ค่าการใช้พลังงานที่ลดลง และคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงบ้านจัดสรรประหยัดพลังงาน โดยสามารถแบ่งผลการวิเคราะห์ ดังนี้

4.1 อิทธิพลของตัวแปร

4.1.1 ผลการประเมินคะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร ของบ้านเดี่ยวที่พบในปัจจุบัน

จากการสำรวจองค์ประกอบด้านเปลือกอาคารของบ้านกรณีศึกษารูปแบบ บี ทั้ง 54 หลังและนำมาคำนวณคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 (TEEAM) ในหมวดเปลือกอาคาร พบว่า บ้านกรณีศึกษาที่ยังไม่ได้ปรับปรุงบ้านส่วนใหญ่ได้คะแนนจากการประเมินแบ่งเป็น 2 ช่วงคะแนน ได้แก่ (1) กลุ่ม 4-5 คะแนน และ (2) กลุ่ม 9-11 คะแนน จากคะแนนเต็ม 40 คะแนน โดยบ้านกรณีศึกษาส่วนใหญ่ได้รับคะแนนในกลุ่ม 9-11 คะแนน มีจำนวน 49 หลัง คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 91 และรองลงมาเป็นบ้านที่ได้รับคะแนนกลุ่ม 4-5 คะแนน มีจำนวน 5 หลัง คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 9 ตามลำดับ รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4.1 โดยบ้านเดี่ยวส่วนใหญ่มีอัตราส่วน WWR เฉลี่ย 16.9 ทำให้มีคะแนนเต็ม 7 คะแนนในส่วนหัวข้ออัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) บ้านส่วนใหญ่ทาสีผนังภายนอกเป็นสีโทนอ่อนซึ่งได้คะแนน 1 คะแนนจากคะแนนเต็ม 1 คะแนนที่กำหนดไว้ในเกณฑ์ประเมิน และบ้านส่วนใหญ่มีค่าการรั่วซึมอากาศที่บานกรอบหน้าต่างและประตูเฉลี่ย ซึ่งได้ 1 คะแนนจากคะแนนเต็ม 7 คะแนนในข้อนี้

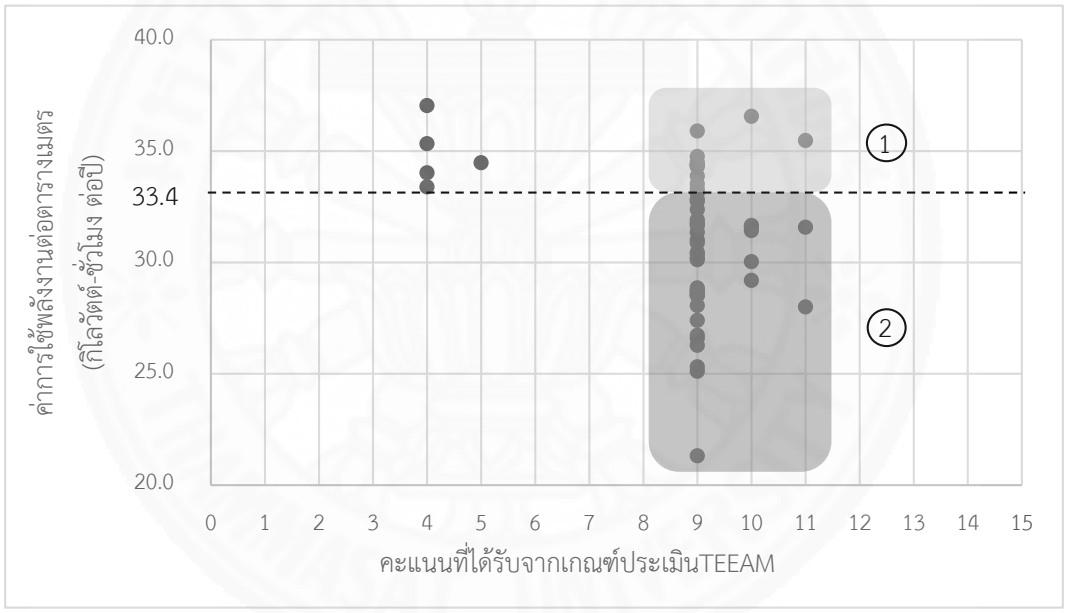


ภาพที่ 4.1 สัดส่วนจำนวนบ้านกรณีศึกษาที่ได้คะแนนในกลุ่ม 4-5 คะแนนและกลุ่ม 9-11 คะแนนจากเกณฑ์ประเมิน TEEAM รุ่น R49.02 ในหมวดเปลือกอาคาร

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการใช้พลังงานกับคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (TEEAM)

การพิจารณาเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานกับคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 (TEEAM) พบว่า สัดส่วนร้อยละ 72 ของบ้านเดี่ยว มีค่าการใช้พลังงานลดลงเมื่อคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 (TEEAM) เพิ่มขึ้น โดยกลุ่ม 4-5 คะแนนมีค่าการใช้พลังงานสูงช่วง 33.4-37.0 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร ต่อปี (ค่าการใช้พลังงานเฉลี่ย 34.85 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร ต่อปี) ซึ่งสูงกว่ากลุ่ม 9-11 คะแนนมีค่าการใช้พลังงานสูงช่วง 21.3-36.6 (ค่าการใช้พลังงานเฉลี่ย 30.79 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร ต่อปี) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานและคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินฯ พบว่า ค่าการใช้พลังงานไม่สัมพันธ์กับคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน TEEAM บ้านกรณีศึกษาในกลุ่ม 9-11 คะแนน พบความแตกต่างกัน 2 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มคะแนนที่มีค่าการใช้พลังงานตั้งแต่ 33.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร ต่อปีขึ้นไป จำนวน 38 แบบบ้าน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 72 และ (2) กลุ่มคะแนนที่มีค่าการใช้พลังงานต่ำกว่า 33.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร ต่อปีขึ้นไป จำนวน 11 แบบบ้าน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 19 โดยบ้านในกลุ่มที่ (1) มีค่าการใช้พลังงานสูงเทียบเท่ากับบ้านในกลุ่ม 4-5 คะแนน ซึ่งได้คะแนนต่ำกว่ารายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4.2 สำหรับค่าการใช้พลังงานของกลุ่ม 9-11 คะแนนที่สูงเทียบเท่ากับกลุ่ม

4-5 คะแนน เนื่องจากบ้านกลุ่ม (1) มีอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ในทิศตะวันออกสูงกว่ากลุ่ม (2) ร้อยละ 10.3 และทิศตะวันตกสูงกว่าร้อยละ 11.4 แสดงดังตารางที่ 4.1 โดยอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ในแต่ละทิศทางส่งผลให้บ้านในกลุ่ม 1 มีค่าการใช้พลังงานสูง โดยระดับคะแนนในหมวดเปลือกอาคารจากเกณฑ์ประเมิน TEEAM อาจไม่สามารถบ่งบอกถึงค่าการใช้พลังงานที่ลดลงตามระดับคะแนนที่สูงขึ้นได้ เนื่องจากไม่ได้นำค่าอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ในทิศแต่ละทิศทางมาใช้เป็นเกณฑ์การให้คะแนน ซึ่งเกณฑ์ประเมิน ฯ มีการประเมินคะแนนเฉพาะจากอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังรวม (WWR) เท่านั้น ดังนั้น เพื่อให้คะแนนของเกณฑ์ประเมินมีความสอดคล้องกับค่าการใช้พลังงาน ควรนำค่า WWR ในแต่ละทิศทางมาประกอบการพิจารณาในเกณฑ์ประเมิน ฯ ด้วย



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน TEEAM รุ่น R49.02 ในหมวดเปลือกอาคาร กับค่าการใช้พลังงานต่อตารางเมตร (กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อปี) ของบ้านกรณีศึกษา

ตารางที่ 4.1

อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อผนังในแต่ละทิศของบ้านในแต่กลุ่มคะแนนจากเกณฑ์ประเมิน (TEEAM)

กลุ่มคะแนน	อัตราส่วนพื้นที่ผนังต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR : %)			
	ทิศเหนือ	ทิศตะวันตก	ทิศใต้ (หน้าบ้าน)	ทิศตะวันออก
4-5 คะแนน	15.8	**16.4**	34.4	**22.2**
9-11 คะแนน (1)	13.7	**12.2**	24.5	**17.6**
9-11 คะแนน (2)	13.4	**10.9**	24.4	**16.0**

4.2 อิทธิพลขององค์ประกอบเปลือกอาคาร

การศึกษาส่วนนี้มุ่งเน้นเพื่อวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานของบ้านกรณีศึกษาหลังจากที่มีการปรับปรุงเปลือกอาคาร โดยใช้ eQUEST 3.64 ในการจำลองการใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษา การกำหนดช่วงเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศในเวลา ดังต่อไปนี้ ห้องนั่งเล่น วันธรรมดา ใช้เครื่องปรับอากาศช่วงเวลา 18:00–22:00 น. วันเสาร์-อาทิตย์ เวลา 8:00–21:00 น. ห้องนอน วันธรรมดา ใช้เครื่องปรับอากาศช่วงเวลา 20:00–6:00 น. วันเสาร์-อาทิตย์ เวลา 21.00-8.00 น. เพื่อหาองค์ประกอบเปลือกอาคารหลังการปรับปรุงที่มีผลต่อการใช้พลังงานรวมต่อปีในบ้านจัดสรร และทำการศึกษาองค์ประกอบหลังการปรับปรุงที่มีผลต่อการได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารอนุรักษ์พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หมวดเปลือกอาคาร เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดค่าการใช้พลังงานและระดับคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน ฯ ของแต่ละแนวทางการปรับปรุง โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ศึกษาการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคารของแต่ละวัสดุทั้ง 12 ชนิดทีละตัวแปร และ ส่วนที่ 2 ศึกษาการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคารแต่ละวัสดุร่วมกัน

4.2.1 ผลการศึกษาการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคารที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานภายในบ้านและคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารอนุรักษ์พลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบโดยเปลี่ยนชนิดวัสดุของตัวแปรส่วนเปลือกอาคารทีละตัวแปรเพื่อการปรับปรุงบ้านจัดสรรประหยัดพลังงาน 3 ส่วนและกำหนดชนิดของวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา ดังนี้

4.2.1.1 การปรับปรุงชนิดวัสดุกระจก 4 ชนิด ได้แก่ 1) กระจกใส 2) กระจกสีเขียว 3) กระจกสะท้อนแสง และ 4) กระจก Low-E 2 ชั้น

4.2.1.2 การปรับปรุงชนิดวัสดุฉนวนผนังอาคาร 3 ชนิด ได้แก่ 1) ผนังก่ออิฐมอญ 2) ผนังก่ออิฐมอญติดตั้งระบบผนัง EIFS และ 3) ผนังก่ออิฐมอญติดตั้งฉนวนใยแก้ว

4.2.1.3 การปรับปรุงชนิดวัสดุฉนวนฝ้าเพดานและหลังคา 5 ชนิด ได้แก่ 1) หลังคากระเบื้องซีเมนต์ไฟเบอร์ 2) ติดตั้งฉนวนใยแก้วเหนือฝ้าเพดาน ความหนา 3 นิ้ว 3) ติดตั้งฉนวนใยแก้วเหนือฝ้าเพดาน ความหนา 6 นิ้ว 4) ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30 ความหนา 0.5 นิ้ว และ 5) ติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43 ความหนา 1.2 นิ้ว

โดยทำการเลือกบ้านกรณีศึกษาเพื่อทำการทดสอบและเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงแต่ละชนิดวัสดุเปลือกอาคาร โดยเลือกบ้านกรณีศึกษา 01 ซึ่งมีอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังรวม (WWR) ร้อยละ 16 ลักษณะผังอาคารชั้น 1 และชั้น 2 ของบ้านกรณีศึกษาแสดงดังภาพที่ 4.3

บ้านกรณีศึกษา 01

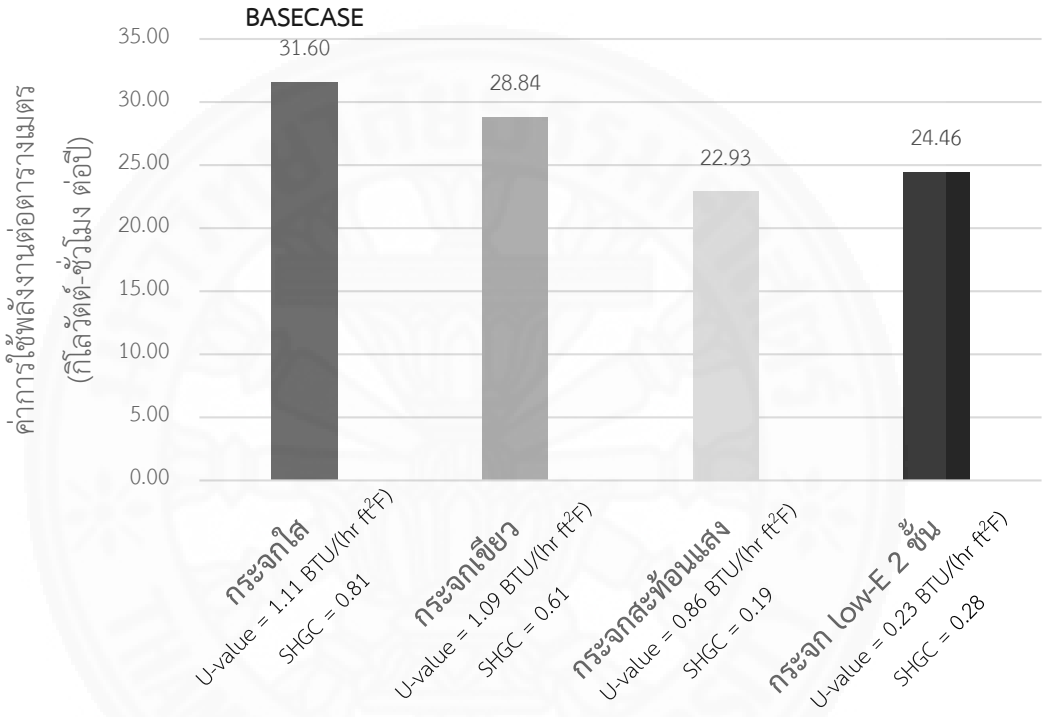
ผังพื้นชั้น1 ผังพื้นชั้น2

ภาพที่ 4.3 ผังอาคารชั้น 1 และชั้น 2 ของบ้านกรณีศึกษาที่ใช้ในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนชนิดวัสดุเปลือกอาคาร

4.2.1.1 การปรับปรุงชนิดวัสดุกระจก 4 ชนิด

การทดสอบการเปลี่ยนแปลงวัสดุกระจกหน้าต่าง 4 ชนิด สำหรับบ้านกรณีศึกษาใช้วัสดุกระจกใส พบว่า ค่าการใช้พลังงานลดลงตามคุณสมบัติทางวัสดุของกระจก การเปลี่ยนจากกระจกใสเป็นกระจกสีเขียว มีค่าการใช้พลังงานลดลง ร้อยละ 8.7 เมื่อเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสงค่าการใช้พลังงานลดลงสูงสุด ร้อยละ 27.4 ตามลำดับ รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4.4 การใช้กระจก Low-E 2 ชั้นแม้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) ที่ต่ำกว่ากระจกชนิด

อื่น ๆ แต่ค่าการใช้พลังงานลดลงเพียงร้อยละ 22.6 เนื่องจากกระจก Low-E 2 ชั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) เท่ากับ 0.28 สูงกว่ากระจกชนิดสะท้อนแสง ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) จึงมีอิทธิพลต่อค่าการใช้พลังงานภายในบ้านมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) ของกระจก โดยกระจกสะท้อนแสงสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้มากที่สุดจากกระจกทั้ง 4 ชนิด

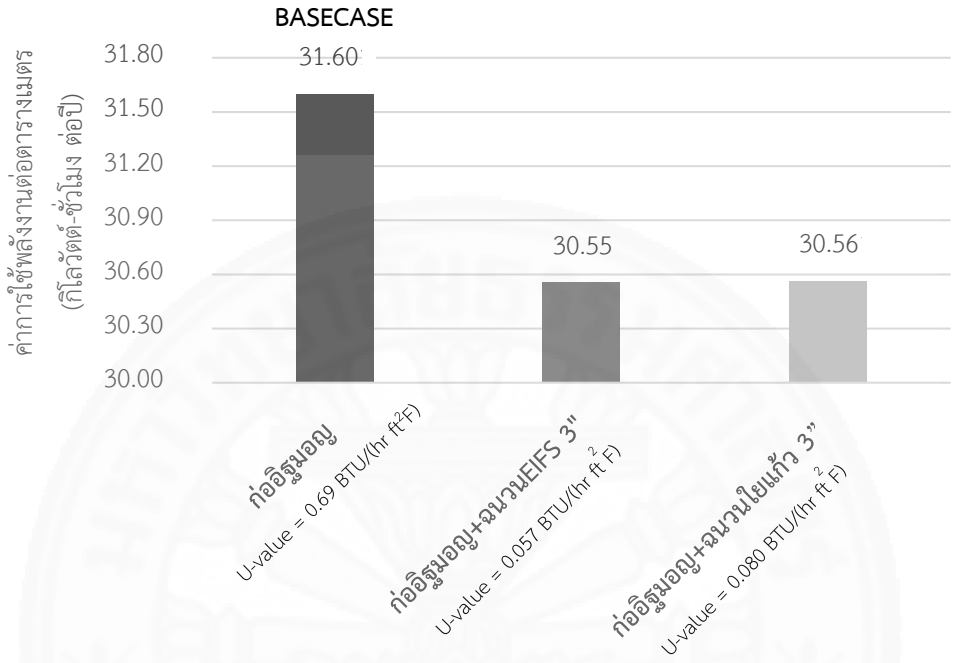


ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบการปรับปรุงวัสดุกระจกของบ้านกรณีศึกษา 01

4.2.1.2 การปรับปรุงชนิดวัสดุฉนวนผนังอาคาร 3 ชนิด

จากผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงวัสดุผนังอาคาร สำหรับบ้านกรณีศึกษาใช้วัสดุผนังก่ออิฐมอญ พบว่า ค่าการใช้พลังงานมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยในการปรับปรุงวัสดุผนัง โดยการติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว (U-value = 0.08) ทำให้มีค่าการใช้พลังงานลดลงร้อยละ 3 ซึ่งลดค่าการใช้พลังงานมีค่าเท่ากับการปรับปรุงผนังบ้านโดยการติดตั้งระบบผนัง EIFS 3 นิ้ว (U-value = 0.057) เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) ที่ใกล้เคียงกัน แสดงดังภาพที่

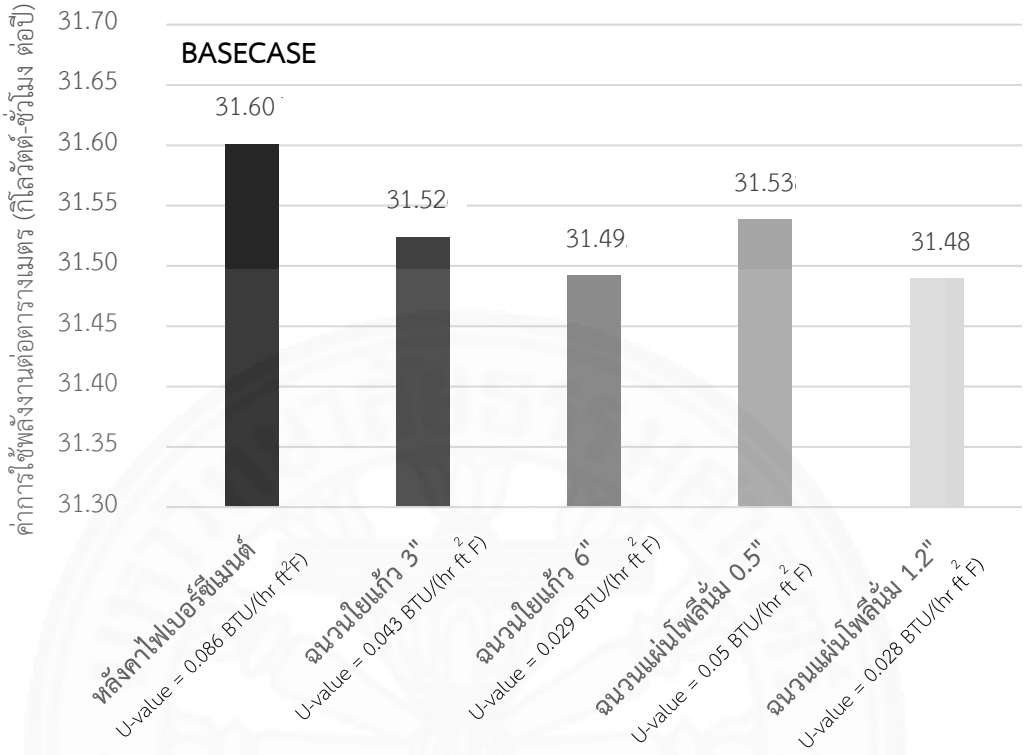
4.5 ดังนั้น วัสดุฉนวนผนังติดฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและผนังติดระบบผนัง EIFS 3 นิ้วสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้เท่ากัน



ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบการปรับปรุงผนังของบ้านกรณีศึกษา 01

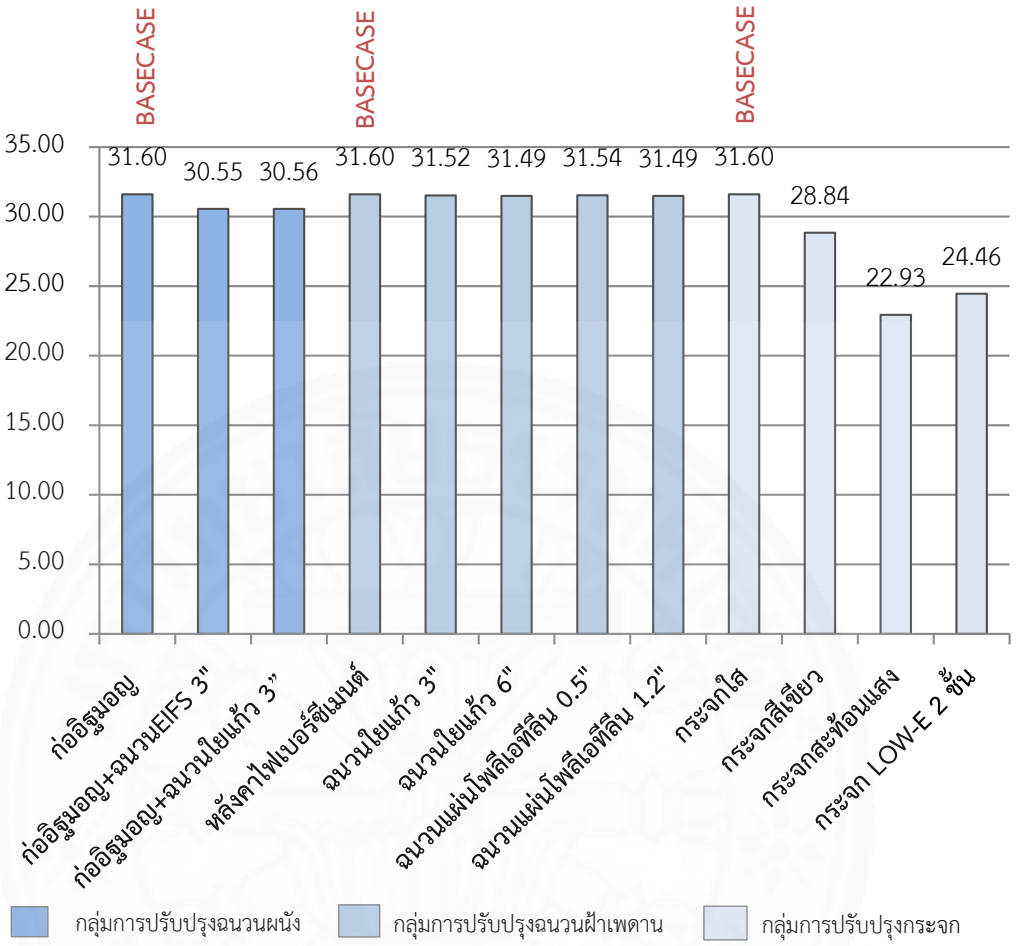
4.2.1.3 การปรับปรุงชนิดวัสดุฉนวนฝ้าเพดาน 5 ชนิด

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงวัสดุฉนวนฝ้าเพดาน โดยการประเมินค่าความร้อนที่ผ่านหลังคาซึ่งมีผลต่อภาระการทำความเย็น สำหรับบ้านกรณีศึกษาใช้ฝ้าเพดานฉาบเรียบไม่ติดตั้งฉนวนกันความร้อน พบว่า การเพิ่มฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30 (U-value =0.05) เหนือฝ้าเพดาน หนา 0.5 นิ้ว มีค่าการใช้พลังงานลดลงร้อยละ 0.2 ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานได้เทียบเท่ากับการติดตั้งฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว (U-value =0.043) เช่นเดียวกับสำหรับการเพิ่มความหนาของฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้ว (U-value =0.029) ทำให้ค่าการใช้พลังงานลดลงร้อยละ 0.3 ใกล้เคียงกับการใช้ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t43 หนา 1.2 นิ้ว (U-value =0.028) ที่สามารถลดการใช้พลังงานมากที่สุดร้อยละ 0.4 ตามลำดับ การปรับปรุงฉนวนฝ้าเพดานที่มีค่าการใช้พลังงานเทียบเท่ากัน เนื่องจากมีค่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) ที่ใกล้เคียงกัน รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบการปรับปรุงวัสดุฉนวนฝ้าเพดานและหลังคาของบ้านกรณีศึกษา 01

จากการวิเคราะห์การปรับปรุงเปลือกอาคารทั้ง 3 ตัวแปรในส่วนของวัสดุกระจก วัสดุฉนวนผนัง และวัสดุฉนวนฝ้าเพดาน ดังภาพที่ 4.7 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าการใช้พลังงานมากที่สุด คือ การปรับปรุงชนิดกระจกโดยกระจกสะท้อนแสงสามารถลดค่าการใช้พลังงานจากภาระการทำความเย็นได้มากที่สุด รองลงมาคือ กระจก Low-E 2 ชั้น และ กระจกสีเขียว ตามลำดับ กลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลรองลงมา คือ การปรับปรุงวัสดุฉนวนผนังอาคารโดยการติดตั้งระบบผนัง EIFS 3 นิ้ว หรือการติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ใกล้เคียงกัน การปรับปรุงวัสดุฉนวนฝ้าเพดานสามารถลดการใช้พลังงานไม่แตกต่างกันในแต่ละชนิดวัสดุ โดยเป็นตัวแปรที่ไม่มีอิทธิพลต่อการลดค่าการใช้พลังงานเนื่องจากค่าใช้พลังงานลดลงเพียงร้อยละ 0.2-0.4 รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 เปรียบเทียบการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารทั้ง 12 ชนิด

4.2.1.4 คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินฯและคะแนนในการปรับปรุงเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงาน

การศึกษาส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์วัสดุเปลือกอาคารที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 12 ชนิดที่มีผลต่อคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน ฯ เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างค่าคะแนนที่ได้กับผลการประหยัดพลังงาน จากการศึกษาคะแนนที่ได้จากการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารแต่ละชนิด พบว่า วัสดุฉนวนฝ้าเพดานเป็นกลุ่มการปรับปรุงที่มีค่าคะแนนสูงสุด (6-12 คะแนน) ได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินในข้อค่าความต้านทานความร้อนฉนวนฝ้าเพดาน (R-value) รองลงมาคือการใช้วัสดุกระจก (3-10 คะแนน) วัสดุที่ศึกษาได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินในข้อสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (3-7 คะแนน) การใช้กระจกสะท้อนแสง (SHGC = 0.19) และกระจก Low-E 2 ชั้น (SHGC = 0.28) แม้ได้คะแนนจากค่า SHGC ของกระจกเท่ากัน 7 คะแนน แต่การใช้กระจก Low-E 2 ชั้นได้

คะแนนรวมจากเกณฑ์ประเมินมากกว่ารวม 10 คะแนน เนื่องจากเกณฑ์ประเมินให้ค่าคะแนนเพิ่มเติม 3 คะแนนกับการใช้กระจกประเภท Low-E และกระจก 2 ชั้น และการใช้วัสดุฉนวนผนังเป็นกลุ่มที่ได้ค่าคะแนนต่ำที่สุด (3 คะแนน) ได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินในข้อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value)

โดยพบการปรับปรุงวัสดุที่มีค่าคะแนนเท่ากัน ดังนี้ ในการปรับปรุงวัสดุฉนวนผนังอาคารโดยติดตั้งระบบผนัง EIFS 3 นิ้ว (U-value = 0.1 $m^{2o}C/W$) หรือใช้ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว (U-value = 0.14 $m^{2o}C/W$) ได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินเท่ากัน 3 คะแนน เนื่องจากมีค่า U-value ไม่เกิน 0.6 $m^{2o}C/W$ นอกจากนี้ในกลุ่มฉนวนฝ้าเพดานการใช้ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (R-value = 4 $m^{2o}C/W$) และฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิ้ลฟอยล์ R_t 43 หนา 1.2 นิ้ว (R-value = 4.5 $m^{2o}C/W$) มีค่าคะแนนจากเกณฑ์ประเมินเท่ากัน 12 คะแนน เนื่องจากมีค่า R-value มากกว่า 3.9 $m^{2o}C/W$ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน TEEAM หมวดเปลือกอาคาร ของวัสดุที่ใช้ศึกษาในการปรับปรุง

ข้อ 3.2 ก2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผนัง		
วัสดุผนัง	คะแนนจากเกณฑ์ประเมิน	คะแนนจากปรับปรุงเปลือกอาคาร
อิฐมอญ	0	0
ผนังอิฐมอญติดตั้งระบบผนัง EIFS หนา 3 นิ้ว	3	3
ผนังอิฐมอญติดฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว	3	3
ข้อ 3.2 ก5 สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก		
วัสดุกระจก	คะแนนจากเกณฑ์ประเมิน	คะแนนจากปรับปรุงเปลือกอาคาร
กระจกใส	0	0
กระจกสีเขียว	3	3
กระจกสะท้อนแสง	7	7
กระจก Low-E 2 ชั้น	7	7
ข้อ 3.2 ก3 ใช้หน้าต่างกระจก 2 ชั้น หรือมากกว่า		
กระจก Low -E 2 ชั้น	1	2
ข้อ 3.2 ก4 ใช้กระจก Low-E		
กระจก Low -E 2 ชั้น	1	1
ข้อ 3.1 ก2 ค่าความต้านทานความร้อนฉนวนฝ้าเพดาน		
วัสดุฉนวนฝ้าเพดาน	คะแนนจากเกณฑ์ประเมิน	คะแนนจากการปรับปรุงเปลือกอาคาร (ปรับปรุงเฉพาะพื้นที่ปรับอากาศ)
ไม่ติดตั้งฉนวน	0	0
ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	9 (R-value = 2 $m^{2o}C/W$)	6 (ค่า R-value ลดลง =1.2-15 $m^{2o}C/W$)
ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว	12 (R-value = 4 $m^{2o}C/W$)	9 (ค่า R-value ลดลง =2.3-3.1 $m^{2o}C/W$)
ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีน บับเบิลฟอยล์ R_t 30	6 (R-value = 1.5 $m^{2o}C/W$)	0 (ค่า R-value ลดลง =0.9-1.1 $m^{2o}C/W$)
ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีน บับเบิลฟอยล์ R_t 43	12 (R-value = 4.5 $m^{2o}C/W$)	9 (ค่า R-value ลดลง =2.6-3.4 $m^{2o}C/W$)

สำหรับงานวิจัยนี้ในการปรับปรุงบ้านทั้งหมดเลือกการเพิ่มฉนวนบางส่วนของฝ้าเพดานเฉพาะห้องที่มีการปรับอากาศยกเว้นในส่วนช่องบันไดและห้องน้ำ จากการปรับปรุงดังกล่าวส่งผลให้ค่าคะแนนของการปรับปรุงฉนวนฝ้าเพดานลดลงเนื่องจากค่า R-value ลดลงจากการถัวเฉลี่ยกับพื้นที่ทั้งหมด ทำให้การติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ หนา 0.5 นิ้ว เหนือฝ้าเพดานเฉพาะบางห้องไม่ได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมิน (จากเดิม 6 คะแนน) เนื่องจากค่าความต้านทานความร้อน (R-value) เฉลี่ยมีค่าลดลงเท่ากับ 1.0 $m^{2o}C/W$ ต่ำกว่าค่าที่กำหนดขั้นต่ำในเกณฑ์ประเมิน ฯ ที่ต้องมีค่ามากกว่า 1.3 $m^{2o}C/W$ ขึ้นไป ส่วนการใช้ฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว (ค่า R-value เฉลี่ย = 1.4 $m^{2o}C/W$) ซึ่งมีค่า R-value มากกว่า 1.3 $m^{2o}C/W$ ได้คะแนนจากการปรับปรุง 6 คะแนน (จากเดิม 9 คะแนน) นอกจากนี้ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (ค่า R-value เฉลี่ย = 2.8 $m^{2o}C/W$) และฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ หนา 1.2 นิ้ว (ค่า R-value เฉลี่ย = 3.1 $m^{2o}C/W$) เกณฑ์ประเมิน ฯ กำหนดหากมีค่า R-value มากกว่า 1.9 $m^{2o}C/W$ จะได้คะแนนจากการปรับปรุง 9 คะแนน (จากเดิม 12 คะแนน) โดยค่า R-value ที่ลดลงทำให้วัสดุทั้ง 3 ชนิดมีค่าคะแนนลดลง 3 คะแนน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.2 ดังนั้นในการปรับปรุงบ้านเพียงบางส่วนของฝ้าเพดานอาจทำให้ไม่ได้คะแนนในข้อ ก 2 ค่าความต้านทานความร้อนฉนวนฝ้าเพดาน โดยการติดตั้งฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30 หนา 0.5 นิ้วในการปรับปรุงเปลือกอาคาร

จากการศึกษาหลักเกณฑ์การได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมหมวดเปลือกอาคาร ผลจากการศึกษาในงานวิจัยนี้ พบว่า สัดส่วนการกำหนดค่าน้ำหนักคะแนนของเกณฑ์ประเมินและคะแนนจากการปรับปรุงอาจไม่สอดคล้องกับผลการศึกษาองค์ประกอบเปลือกอาคารที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงาน เนื่องจากเกณฑ์การประเมิน ฯ ได้ให้ความสำคัญกับค่าคะแนนกับฉนวนฝ้าเพดานมากที่สุด โดยฉนวนชนิดแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43 และฉนวนใยแก้ว 6 นิ้วมีค่าคะแนนสูงสุด (12 คะแนน) จากการทดลองในการศึกษาวิจัยนี้พบว่า การปรับปรุงตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ จากการอ้างอิงที่มาของเกณฑ์ประเมิน ฯ การปรับปรุงฉนวนฝ้าเพดานสามารถลดความร้อนจากหลังคาและสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้อีกทั้งยังมีระยะเวลาคืนทุนเร็วทั้งในอาคารสร้างใหม่และการปรับปรุงอาคาร (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2550) โดยมีสาเหตุจากการศึกษาที่ใช้อ้างอิงในเกณฑ์ประเมิน ฯ ศึกษาการเพิ่มฉนวนฝ้าเพดานในที่อยู่อาศัยประเภททาวน์เฮาส์ โดยฝ้าเพดานอาจเป็นพื้นที่ซึ่งได้รับผลกระทบจากแสงอาทิตย์มาก ซึ่งอาจส่งผลให้ฉนวนฝ้าเพดานอาจเป็นปัจจัยสำคัญในการลดใช้พลังงานมากกว่าในอาคารบ้านเดี่ยวที่ผนังอาคารอาจเป็นปัจจัยซึ่งได้รับผลกระทบจากแสงอาทิตย์มากกว่า แต่ในการศึกษาวิจัยนี้ตัวแปรที่สามารถลดค่าการใช้พลังงานสูงสุด คือ กระจกสะท้อนแสง อย่างไรก็ตามการปรับปรุงกระจกจากเกณฑ์ประเมิน ฯ มีค่าน้ำหนักคะแนนในลำดับที่ 4 และคะแนนจากการปรับปรุง

ในลำดับที่ 3 การใช้กระจกสีเขียวซึ่งสามารถลดค่าการใช้รองลงมา แต่มีความสำคัญในระดับต่ำต่อคะแนนจากเกณฑ์ประเมิน (ลำดับที่ 5) และคะแนนจากการปรับปรุง (ลำดับที่ 6) ดังนั้น หลักเกณฑ์การให้ค่าคะแนนจากเกณฑ์ประเมิน ฯ หมวดเปลือกอาคารในส่วนของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงเปลือกอาคารอาจไม่สอดคล้องกับค่าการใช้พลังงานที่ลดลงในอาคารประเภทบ้านเดี่ยว รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3

เปรียบเทียบลำดับความสำคัญของตัวแปรวัสดุเปลือกอาคารในแต่ละด้าน

ลำดับความสำคัญของตัวแปร	**ลำดับความสำคัญของตัวแปรวัสดุการปรับปรุงเปลือกอาคาร**		
	ด้านคะแนนจากเกณฑ์ประเมิน (คะแนนสูงสุด-ต่ำสุด)	**ด้านคะแนนจากการปรับปรุง** (คะแนนสูงสุด-ต่ำสุด)	**ด้านค่าการใช้พลังงาน** (ลดการใช้พลังงานสูงสุด-ต่ำสุด)
อันดับ 1	- ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43 - ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว	- กระจก Low-E 2 ชั้น	- กระจกสะท้อนแสง
อันดับ 2	- กระจก Low-E 2 ชั้น	- ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว - ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ Rt 43	- กระจก Low-E 2 ชั้น
อันดับ 3	- ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	- กระจกสะท้อนแสง	- กระจกสีเขียว
อันดับ 4	- กระจกสะท้อนแสง	- ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	- ผนังอิฐมอญติดตั้งระบบผนัง EIFS หนา 3 นิ้ว
อันดับ 5	- ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30	- ผนังอิฐมอญติดฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว - ผนังอิฐมอญติดตั้งระบบผนัง EIFS หนา 3 นิ้ว - กระจกสีเขียว	- ผนังอิฐมอญติดฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว
อันดับ 6	- กระจกสีเขียว - ผนังอิฐมอญติดตั้งระบบผนัง EIFS หนา 3 นิ้ว - ผนังอิฐมอญติดฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว	- ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30	- ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30 - ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว - ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว - ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43

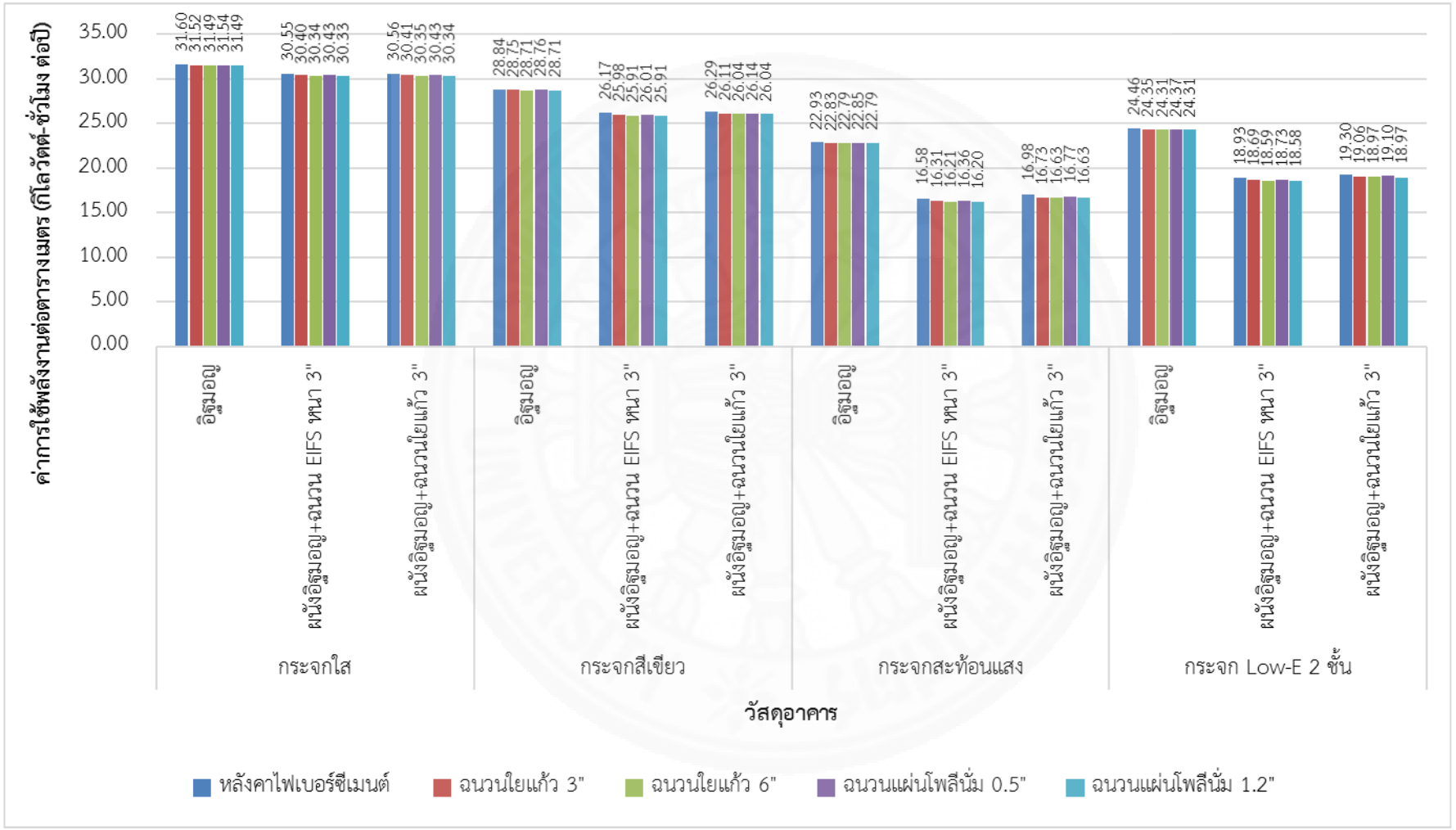
- ชนิดวัสดุฉนวนฝ้าเพดาน
- ชนิดวัสดุกระจก
- ชนิดวัสดุฉนวนผนังอาคาร

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแนวทางการปรับปรุงเปลือกอาคารแต่ละชนิดวัสดุร่วมกันที่มีผลต่อแนวโน้มค่าการใช้พลังงานและคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินฯ

การศึกษาวิจัยในส่วนนี้ เป็นการทดสอบการปรับปรุงเปลือกอาคารแต่ละชนิดวัสดุร่วมกัน เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบแนวทางการปรับปรุงเปลืออกอาคารแนวโน้มค่าการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงบ้านเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยเลือกบ้านกรณีศึกษา 01 ในการเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคารที่ทำการศึกษาจากทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ วัสดุกระจก 5 ชนิด วัสดุผนัง 3 ชนิด วัสดุฉนวนฝ้าเพดานและหลังคา 4 ชนิด (รวม 12 ชนิดวัสดุที่ใช้กับอาคารกรณีศึกษา) ดังนั้นสามารถปรับปรุงบ้านจากวัสดุที่ทำการศึกษาได้ทั้งสิ้น 60 กรณี

4.2.2.1 วิเคราะห์แนวโน้มค่าการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงเปลือกอาคารแต่ละชนิดวัสดุร่วมกันในแต่ละกรณี

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการทดลองการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกทั้งกระจก ผนังอาคาร และฉนวนฝ้าเพดานของบ้านกรณีศึกษา 01 จากวัสดุ 12 ชนิดที่ศึกษา ปรับปรุงโดยใช้วัสดุแต่ละชนิดร่วมกัน ทำให้บ้าน 1 หลังมีแนวทางการปรับปรุงที่แตกต่างกัน 60 กรณี เพื่อเปรียบเทียบแนวการปรับปรุงในแต่ละกรณีที่มีผลต่อการลดค่าการใช้พลังงาน จากการศึกษา พบว่าการปรับปรุงวัสดุฉนวนฝ้าเพดานร่วมกับการปรับปรุงฉนวนกระจกชนิดเดียวกัน สามารถลดค่าการใช้พลังงานไม่แตกต่างกัน เนื่องจากวัสดุฉนวนฝ้าเพดานไม่มีอิทธิพลต่อค่าการใช้พลังงานซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคารทีละตัวแปรที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานภายในบ้าน การทดลองนี้จึงพิจารณาการปรับปรุงเปลือกอาคารจากกลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานมากที่สุด คือ กลุ่มวัสดุกระจก และรองลงมาเป็นการพิจารณาการปรับปรุงร่วมกับวัสดุผนัง กลุ่มการใช้กระจกสะท้อนแสงหรือปรับปรุงร่วมกับการใช้ฉนวนผนังและฝ้าเพดานเป็นกลุ่มตัวแปรที่สามารถลดค่าการใช้พลังงานของบ้านได้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าการใช้พลังงาน การใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับการติดตั้งระบบผนัง EIFS หนา 3 นิ้วหรือติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนังอาคารสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้มากที่สุดเฉลี่ยร้อยละ 47-48 ซึ่งเป็นกลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าการใช้พลังงานมากที่สุดในแต่ละองค์ประกอบเปลือกอาคาร รองลงมาเป็นการใช้กระจก Low-E ร่วมกับการติดตั้งระบบผนัง EIFS หนา 3 นิ้วและการติดตั้งฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้วที่ผนังอาคาร สามารถลดค่าการใช้พลังงานร้อยละ 40-41 ลำดับที่ 3 เป็นการปรับปรุงชนิดกระจกสะท้อนแสงเพียงอย่างเดียวสามารถลดค่าการใช้พลังงานร้อยละ 27.4 การปรับปรุงที่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้น้อยที่สุด คือ การไม่ปรับปรุงวัสดุกระจกแต่เลือกปรับปรุงเฉพาะกลุ่มฉนวนผนังหรือปรับปรุงร่วมกับฉนวนฝ้าเพดาน สามารถลดการใช้พลังงานเฉลี่ยได้เพียง ร้อยละ 3 รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 แนวโน้มค่าการใช้พลังงานในการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารทั้ง 60 กรณี

4.3 ความคุ้มค่าในการลงทุนปรับปรุงเปลือกอาคาร

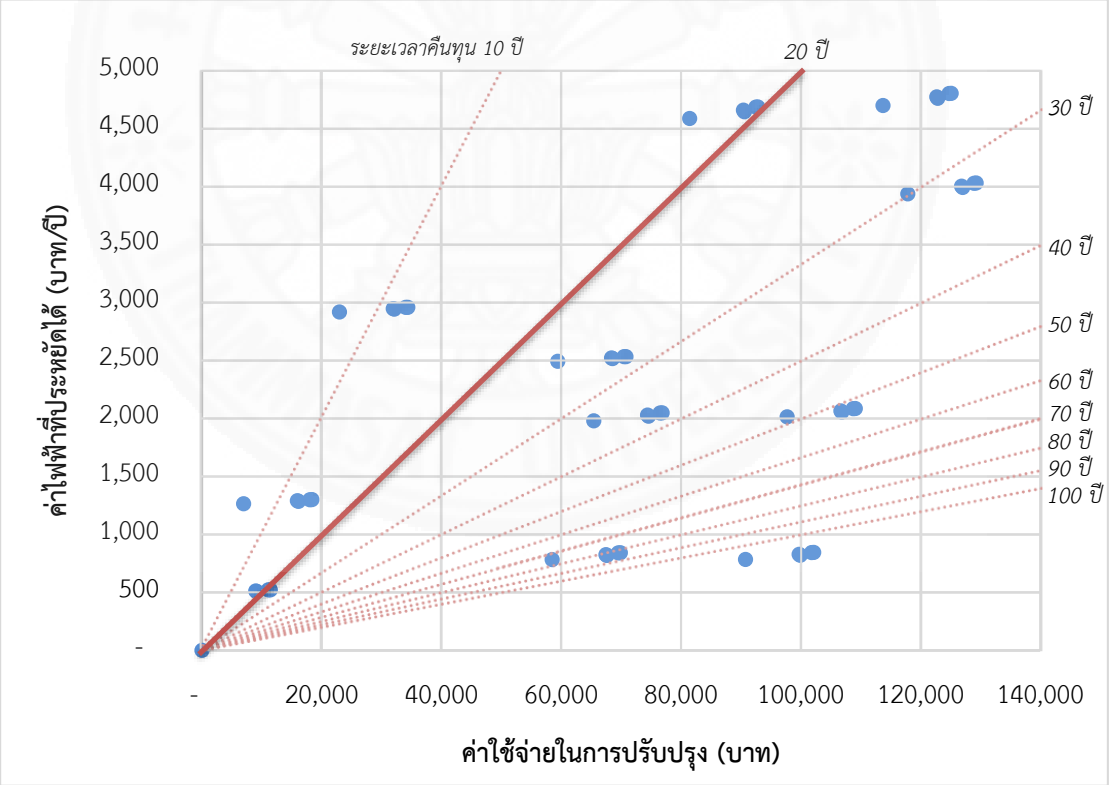
การศึกษาในส่วนนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของการปรับปรุงบ้านกรณีศึกษา 1 หลัง (บ้านกรณีศึกษา 01) เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี และนำแนวทางดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับบ้านกรณีศึกษาทั้งหมด 54 หลัง ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบช่วงระยะเวลคานทุนของบ้านทั้งหมด และศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนโดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุง ค่าการใช้ไฟฟ้า และคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินฯในการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคาร เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงบ้านประหยัดพลังงานที่เหมาะสมที่สุด

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของทางเลือกการปรับปรุงในแต่ละกรณี

การศึกษาส่วนนี้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคาร (บาท) และค่าไฟฟ้าที่ลดลงหลังการปรับปรุงบ้าน (บาท/ปี) ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาการคืนทุนของแนวทางการปรับปรุงบ้านทั้ง 60 กรณี เพื่อวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของแต่ละแนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี โดยจำกัดขอบเขตของระยะเวลาคืนทุนที่ศึกษาเนื่องจากการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานของวัสดุฉนวน (Minnesota Sustainable Housing Initiative, 2559) โดยนำแนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสมไปศึกษาต่อในบ้านเดี่ยวที่พบในปัจจุบันทั้ง 54 หลัง เพื่อการเสนอแนวทางการปรับปรุงที่มีความคุ้มค่าในการลงทุนจากการปรับปรุงจากการคำนวนระยะคืนทุนของบ้านกรณีศึกษา 01 ที่เลือกมาศึกษาเบื้องต้น พบว่า แนวทางการปรับปรุงบ้านทั้ง 60 กรณีมีระยะเวลาคืนทุนตั้งแต่ 5.5-121.8 ปี ใช้เงินลงทุนในการปรับปรุง 6,958-161,614 บาท รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4.10 การปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนน้อยที่สุด คือ การปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 10 ปี ได้แก่ การปรับปรุงเฉพาะชนิดกระจกโดยใช้กระจกสีเขียว (ระยะเวลาคืนทุน 5.5 ปี) และการใช้กระจกสะท้อนแสง (ระยะเวลาคืนทุน 7.9 ปี) แนวทางการปรับปรุงที่มีระยะคืนทุนสูงสุด 100 ปีขึ้นไป คือ การใช้ระบบผนังฉนวน EIFS 3 นิ้วหรือติดตั้งร่วมกับฉนวนฝ้าเพดาน การปรับปรุงดังกล่าวสามารถลดใช้พลังงานได้ต่ำเพียงร้อยละ 3-4 แต่ต้องใช้เงินลงทุนในการปรับปรุงสูงถึง 90,783 - 102,186 บาท ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงบ้านดังกล่าวอาจไม่นำมาใช้เป็นกรณีศึกษา อย่างไรก็ตามเจ้าของบ้านที่ต้องการการปรับปรุงบ้านโดยมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดควรเลือกปรับปรุงโดยใช้กระจกสีเขียวหรือกระจกสะท้อนแสง แนวทางการปรับปรุงที่ได้คะแนนสูงสุดจากเกณฑ์ประเมินฯในการปรับปรุงเปลือกอาคาร 22 คะแนนจาก 40 คะแนน คือ การปรับปรุงกระจก Low-E 2 ชั้นติดตั้งร่วมกับฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว หรือระบบฉนวนผนัง EIFS 3 นิ้ว และฉนวนฝ้าเพดานชนิดใยแก้ว 6 นิ้วหรือฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 1.2 นิ้ว แม้ได้คะแนนจากการ

ปรับปรุงสูงสุดแต่มีระยะเวลาคืนทุนสูง (ระหว่าง 32-39 ปี) ซึ่งมากกว่า 20 ปี รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4.9

แนวทางการปรับปรุงที่เลือกนำไปศึกษาวิจัยต่อกับบ้านกรณีศึกษาทั้งหมดที่มีช่วงระยะคืนทุนระหว่าง 0-20 ปี เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงที่คุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด จากการศึกษา พบแนวทางการปรับปรุงทั้งสิ้น 17 กรณี ซึ่งประกอบไปด้วย 5 กลุ่มการปรับปรุง ได้แก่ 1) กลุ่มการปรับปรุงเฉพาะชนิดกระจกสีเขียวหรือกระจกสะท้อนแสง (ระยะเวลาคืนทุน 5.5-7.9 ปี) 2) กลุ่มการปรับปรุงฉนวนฝ้าเพดานชนิดฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้วและฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43 หนา 0.5 นิ้ว (ระยะเวลาคืนทุน 17.5-18 ปี) 3) กลุ่มการใช้กระจกสีเขียวร่วมกับฉนวนฝ้าเพดาน (ระยะเวลาคืนทุน 12.4-14.1 ปี) 4) กลุ่มการใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับฉนวนฝ้าเพดาน (ระยะเวลาคืนทุน 10.8-11.6 ปี) และ 5) กลุ่มการใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับการติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนังอาคารหรือร่วมกับฉนวนฝ้าเพดาน (ระยะเวลาคืนทุน 17.8-19.8 ปี) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.4



ภาพที่ 4.9 ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงบ้านเปรียบเทียบกับค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้

ตารางที่ 4.4

ช่วงระยะเวลาคืนทุนของแต่ละแนวทางการปรับปรุงทั้ง 60 กรณี

ช่วงระยะเวลาคืนทุน		แนวทางการปรับปรุงที่	ระยะเวลาคืนทุน	แนวทางการปรับปรุง		
				ชนิดกระจก	ผนังอาคาร	ฉนวนฝ้าเพดาน
แนวทางที่เลือกศึกษา	**0-10 ปี**	**1 BASECASE**	0.0	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
		16	5.5	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
		31	7.9	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
แนวทางที่เลือกศึกษา	**10-20 ปี**	**32**	10.8 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
		34	10.9 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30
		33	11.5 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
		35	11.6 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43
		17	12.4 ปี	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
		19	12.5 ปี	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30
		18	13.9 ปี	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
		20	14.1 ปี	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43
		2	17.5 ปี	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
		41	17.8 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
		4	18.0 ปี	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30
		42	19.4 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
		44	19.5 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30
		43	19.7 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
		45	19.8 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43

จากการศึกษาแนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปีของบ้านกรณีศึกษา 1 หลังทั้ง 17 กรณี การศึกษาวิจัยส่วนนี้ศึกษาค่าการใช้พลังงานภายในบ้านด้วยโปรแกรม eQUEST 3.64 และคำนวณเงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุงเปลือกอาคารบ้านเดี่ยว 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำ ทั้ง 54 หลัง รวมการปรับปรุง 918 กรณี เพื่อศึกษาระยะเวลาคืนทุนในการลงทุนปรับปรุงเปลือกอาคารบ้านทั้งหมด โดยอาศัยปัจจัยค่าใช้ไฟฟ้าที่ประหยัดได้กับเงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุงเปลือกอาคาร เพื่อคำนวณระยะเวลาคืนทุนการปรับปรุงบ้านกรณีศึกษาทั้งหมด ผลจากการศึกษาพบว่า ในการปรับปรุงบ้านแนวทางที่ 16-20 ที่ใช้เฉพาะกระจกสีเขียวหรือติดตั้งฉนวนกันความร้อนฝ้าเพดาน (ช่วงระยะเวลาคืน 5.2-19.9 ปี) ปรับปรุงบ้านแนวทางที่ 31-35 การปรับปรุงโดยใช้เฉพาะกระจกสะท้อนแสงหรือติดตั้งฉนวนกันความร้อนฝ้าเพดาน (ช่วงระยะเวลาคืน 7.4-16.8 ปี) และแนวทางการปรับปรุงที่ 41 การใช้กระจกสะท้อนแสงและติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนังบ้าน (ช่วงระยะเวลาคืน 14.6-20 ปี) ช่วงระยะเวลาคืนทุนของบ้านที่ศึกษาทั้งหมดสอดคล้องกับการศึกษาระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้นของบ้านกรณีศึกษา 1 หลัง ซึ่งมีระยะเวลาการคืนทุนทั้งหมดไม่เกิน 20 ปี ในบ้านกรณีศึกษาบางส่วนแนวทางการปรับปรุงที่ 42-45 การปรับปรุงโดยใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับการติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนังอาคารและติดตั้งฉนวนฝ้าเพดาน บ้านเดี่ยวร้อยละ 15-26 มีระยะเวลาคืนทุนที่สูงกว่า 20 ปี รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.5

นอกจากนี้แนวทางการปรับปรุงที่ 2 และ 4 การปรับปรุงฉนวนฝ้าเพดานโดยใช้ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว และการใช้ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43 หนา 0.5 นิ้ว ของบ้านกรณีศึกษาร้อยละ 20 มีค่าการใช้พลังสูงกว่าก่อนการปรับปรุงและไม่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ในบ้านบางหลัง เนื่องจากการติดตั้งฉนวนกันความร้อนทำให้บ้านเกิดความร้อนสะสมมากขึ้น และบ้านกรณีศึกษาอีกร้อยละ 33 สามารถลดค่าไฟฟ้าเฉลี่ยได้น้อยเพียง 511-517 บาท/ปี แต่ต้องใช้เงินลงทุนเฉลี่ยสูงถึง 12,632 บาท ส่งผลให้การปรับปรุงฉนวนฝ้าเพดานชนิดใยแก้ว 3 นิ้วและการใช้ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43 หนา 0.5 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนสูงถึง 30 ปีหรือไม่สามารถคืนทุนได้ในบางกรณี (ระยะเวลาคืนทุนติดลบ) งานวิจัยนี้จึงไม่นำแนวทางการปรับปรุงเฉพาะฉนวนฝ้าเพดานมาศึกษาในขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.5

รายละเอียดช่วงระยะเวลาคืนทุนของแนวทางการปรับปรุงที่ศึกษา

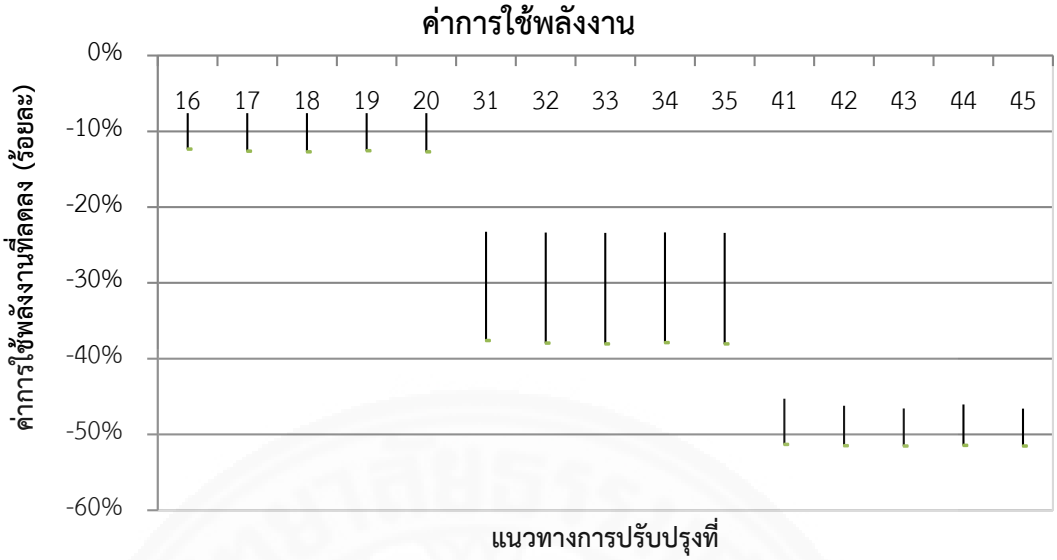
แนวทางการปรับปรุงที่	ช่วงระยะเวลาคืนทุน	แนวทางการปรับปรุง		
		ชนิดกระจก	ฉนวนผนังอาคาร	ฉนวนฝ้าเพดาน
แนวทางที่ 2	(-24.3) -13.1 ปี	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
แนวทางที่ 4	(-24.6) -13.3 ปี	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ Rt 30
แนวทางที่ 16	5.2–8.8 ปี	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
แนวทางที่ 17	10.9-17.3 ปี	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
แนวทางที่ 18	12.3-19.2 ปี	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30
แนวทางที่ 19	11.1-17.6 ปี	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
แนวทางที่ 20	12.5-19.9 ปี	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43
แนวทางที่ 31	7.4-12.7 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
แนวทางที่ 32	9.9-15.9 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
แนวทางที่ 33	10.5-16.7 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ Rt 30
แนวทางที่ 34	9.9-16.0 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
แนวทางที่ 35	10.5-16.8 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ Rt 43
แนวทางที่ 41	14.6-20.0 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
แนวทางที่ 42	16.1-22.1 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
แนวทางที่ 43	16.5-22.6 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ Rt 30
แนวทางที่ 44	16.2-22.1 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
แนวทางที่ 45	16.5-22.7 ปี	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ Rt 43

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยพิจารณาระหว่างเงินลงทุนในการปรับปรุงและคะแนนที่ได้เพิ่มขึ้น และค่าการใช้พลังงานที่ลดลงจากการปรับปรุงเปลือกอาคาร

จากการศึกษาระยะเวลาคืนทุนของแนวทางการปรับปรุงแต่ละชนิดวัสดุร่วมกันของบ้านกรณีศึกษา 1 หลัง เลือกแนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี รวม 15 แนวทางการปรับปรุง ได้แก่ 1) แนวทางที่ 16-20 การปรับปรุงเฉพาะกระจกสีเขียวหรือร่วมกับฉนวนฝ้าเพดาน 2) แนวทางที่ 31-35 การปรับปรุงเฉพาะกระจกสะท้อนแสงหรือร่วมกับฉนวนฝ้าเพดาน และ 3) แนวทางที่ 41-45 การปรับปรุงกระจกสะท้อนแสงร่วมกับระบบผนัง EIFS 3 นิ้วหรือร่วมกับฉนวนฝ้าเพดาน โดยนำทั้ง 15 แนวทางการปรับปรุงไปศึกษาต่อในบ้านกรณีศึกษาทั้งหมด 54 หลัง รวมการปรับปรุงทั้งสิ้น 810 กรณี และนำมาคำนวณค่าการใช้พลังงาน โดยการจำลองค่าการใช้พลังงานผ่านโปรแกรม eQUEST 3.64 เพื่อศึกษาค่าการใช้พลังงานที่ประหยัดได้ และคำนวณเงินลงทุนจากการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร และคะแนนที่ได้เพิ่มขึ้นจากเกณฑ์ประเมินฯ เพื่อสรุปแนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงานที่คุ้มค่าในการลงทุน

4.3.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานที่ลดลงจากการปรับปรุงเปลือกอาคาร

จากการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานที่ลดลงของแนวทางการปรับปรุงทั้ง 15 กรณี ของบ้านทั้ง 54 หลัง (รวมการปรับปรุง 810 กรณี) พบกลุ่มแนวทางการปรับปรุง 3 ส่วนตามระดับค่าการใช้พลังงานที่ลดลง (แสดงดังภาพที่ 4.10) โดยมีรายละเอียดดังนี้ 1) แนวทางการปรับปรุงที่ 16-20 ปรับปรุงโดยใช้เฉพาะกระจกสีเขียวหรือร่วมกับฉนวนฝ้าเพดาน สามารถลดค่าการใช้พลังงานร้อยละ 8-13 (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 10) 2) แนวทางการปรับปรุงที่ 31-35 การปรับปรุงเฉพาะกระจกสะท้อนแสงหรือร่วมกับฉนวนฝ้าเพดาน ลดค่าการใช้พลังงานร้อยละ 23-38 (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 29) และ 3) แนวทางการปรับปรุงที่ 31-35 การปรับปรุงเฉพาะกระจกสะท้อนแสงหรือร่วมกับฉนวนฝ้าเพดาน หรือร่วมกับผนังติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ลดค่าการใช้พลังงานร้อยละ 46-55 (ค่าเฉลี่ยร้อยละ 49)



แนวทางที่	การปรับปรุง	แนวทางที่	การปรับปรุง
16	กระจกสีเขียว	34	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 0.5”
17	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 3”	35	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 1.2”
18	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 6”	41	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3”+ฉนวนใยแก้ว 3”
19	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 0.5”	42	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3” +ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 6”
20	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 1.2”	43	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3” +ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 0.5”
31	กระจกสะท้อนแสง	44	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3” +ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 1.2”
32	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 3”	45	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3”
33	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 6”		

ภาพที่ 4.10 ช่วงค่าการใช้ใช้พลังงานที่ลดลงในการปรับปรุงบ้านกรณีศึกษาของแนวทางการปรับปรุงที่ 16-20 31-35 และ 41-45

เมื่อพิจารณาค่าการใช้พลังงานของแต่ละกลุ่มการปรับปรุงสามารถเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานระหว่างกลุ่มแนวทางการปรับปรุง (รายละเอียดดังภาพที่ 4.9) พบว่าแนวทางที่ 41-45 สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้สูงสุดและลดค่าการใช้พลังงานมากกว่าแนวทางที่ 31-35 อยู่ที่ร้อยละ 19 แนวทางที่ 31-35 ลดค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยมากกว่าแนวทางที่ 16-20 อยู่ร้อยละ 19 การปรับปรุงโดยใช้กระจกชนิดเดียวกันแต่ใช้ฉนวนฝ้าเพดานต่างชนิดกัน มีค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยลดลงเท่ากัน เนื่องจากการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ฝ้าเพดานเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้

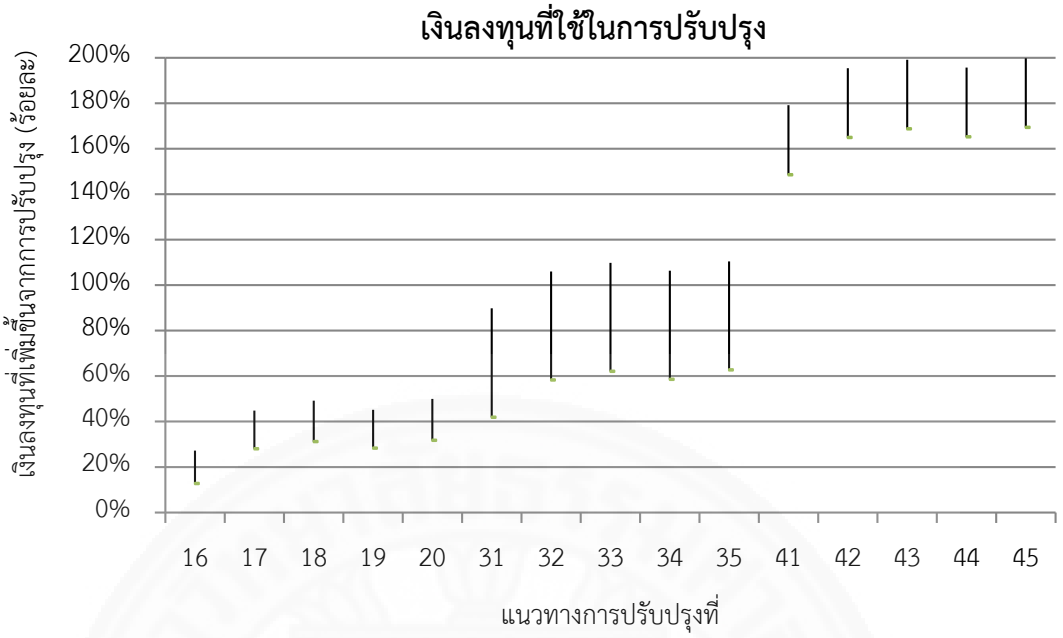
4.3.2.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นจากการปรับปรุงเปลือกอาคาร

งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างเงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นและค่าการใช้พลังงาน เมื่อพิจารณาแนวทางการปรับปรุงบ้านกับเงินลงทุนที่เพิ่มขึ้น (รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4.11) พบว่า การเพิ่มฉนวนที่ฝ้าเพดานเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่คิดคั้งฉนวนฝ้าเพดานจะทำให้เงินลงทุนในการปรับปรุงเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 20 และการเพิ่มฉนวนต่างชนิดวัสดุมีเงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นไม่ต่างกัน สำหรับเจ้าของบ้านที่ให้ความสำคัญในด้านพลังงานและเงินลงทุนในการปรับปรุงกลุ่มแนวทางการปรับปรุงที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดในแต่ละกลุ่มและสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ ไม่ควรเลือกการปรับปรุงฉนวนฝ้าเพดาน โดยมีรายละเอียดความสามารถในการลดค่าการใช้พลังงานและเงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุง ดังนี้

(1) กลุ่มแนวทางการปรับปรุงที่ 16-20 ควรเลือกแนวทางการปรับปรุงที่ 16 การปรับปรุงเฉพาะกระจกสีเขียว โดยลดค่าการใช้พลังงานได้เฉลี่ยร้อยละ 10 และใช้เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 18

(2) กลุ่มแนวทางการปรับปรุงที่ 31-35 ควรเลือกแนวทางการปรับปรุงที่ 31 ปรับปรุงเฉพาะกระจกสะท้อนแสง โดยลดค่าการใช้พลังงานได้เฉลี่ยร้อยละ 30 และใช้เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 59

(3) กลุ่มแนวทางการปรับปรุงที่ 41-45 ควรเลือกแนวทางการปรับปรุงที่ 41 ปรับปรุงเฉพาะกระจกสะท้อนแสงร่วมกับการติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนังอาคาร โดยลดค่าการใช้พลังงานได้เฉลี่ยร้อยละ 48 และใช้เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 158



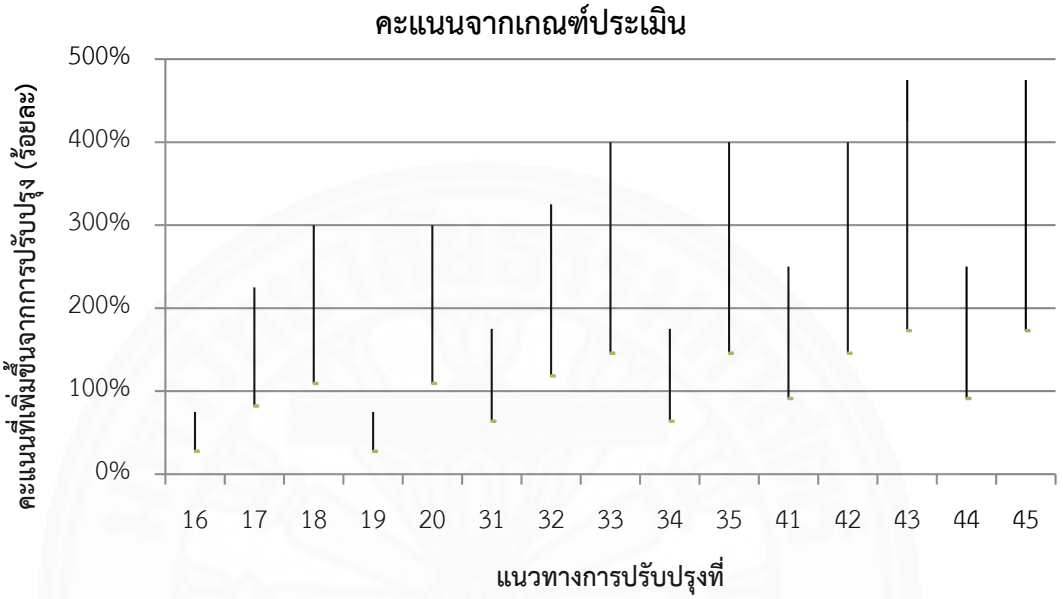
แนวทางที่	การปรับปรุง	แนวทางที่	การปรับปรุง
16	กระจกสีเขียว	34	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 0.5”
17	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 3”	35	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 1.2”
18	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 6”	41	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3”+ฉนวนใยแก้ว 3”
19	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 0.5”	42	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3” +ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 6”
20	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 1.2”	43	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3” +ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 0.5”
31	กระจกสะท้อนแสง	44	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3” +ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 1.2”
32	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 3”	45	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3”
33	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 6”		

ภาพที่ 4.11 ช่วงเงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นในการปรับปรุงบ้านกรณีศึกษาของแนวทางการปรับปรุงที่ 16-20 31-35 และ 41-45

4.3.2.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเงินลงทุนกับคะแนนที่เพิ่มขึ้นและค่าการใช้พลังงานที่ลดลงจากการปรุงปรุงเปลือกอาคาร

การวิเคราะห์เปรียบเทียบคะแนนที่เพิ่มขึ้นจากการปรับปรุงของบ้านกรณีศึกษา พบว่า การปรับปรุงโดยไม่ใช้ฉนวนฝ้าเพดานอย่างแนวทางที่ 16 31 และ 41 ได้คะแนนที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างต่ำ ดังนั้นไม่ควรเลือกแนวทางดังกล่าวหากต้องการคะแนนจากการประเมินฯที่เพิ่มขึ้น โดยการได้คะแนนในกลุ่มนี้เทียบเท่ากับแนวทางที่ 19 34 และ 44 รูปแบบแนวทางการปรับปรุงที่ใช้ฉนวนชนิดโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ ความหนา 0.5 นิ้ว เนื่องจากใช้เงินลงทุนเพิ่มขึ้นแต่ทำให้ไม่ได้

คะแนนเพิ่ม สาเหตุมาจากค่าการต้านทานความร้อน (R-value) ที่ลดลงจากการติดตั้งฉนวนเพียงบางส่วนของฝ้าเพดานเฉพาะห้องที่มีการปรับอากาศ ส่งผลให้การปรับปรุงโดยใช้ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ ความหนา 0.5 นิ้ว ไม่ได้คะแนนจากการประเมิน



แนวทางที่	การปรับปรุง	แนวทางที่	การปรับปรุง
16	กระจกสีเขียว	34	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 0.5”
17	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 3”	35	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 1.2”
18	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 6”	41	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3”+ฉนวนใยแก้ว 3”
19	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 0.5”	42	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3” +ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 6”
20	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 1.2”	43	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3” +ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 0.5”
31	กระจกสะท้อนแสง	44	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3” +ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 1.2”
32	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 3”	45	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3”
33	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 6”		

ภาพที่ 4.12 ช่วงการได้คะแนนที่เพิ่มขึ้นในการปรับปรุงบ้านกรณีศึกษา

แนวทางการปรับปรุงที่ได้คะแนนเท่ากันเรียงลำดับตามระดับคะแนนสูงสุดไปต่ำสุด มีดังนี้ 1) แนวทางที่ 43 และ 45 ได้คะแนนเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 170-480 2) แนวทางที่ 33 35 และ 42 ได้คะแนนเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 140-400 และ 3) แนวทางที่ 18 และ 20 ได้คะแนนเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 100-300 แนวทางที่ 18 33 และ 43 เป็นทางเลือกในการปรับปรุงที่ดีกว่าเนื่องจากใช้เงินลงทุนในการก่อสร้างที่ต่ำกว่า

เมื่อเปรียบเทียบกับการปรับปรุงที่มีเงินลงทุนและค่าการใช้พลังงานเท่ากันอย่างแนวทางที่ 17 18 และ 32 กลุ่มการปรับปรุงด้วยฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วเหนือฝ้าเพดาน เปรียบเทียบกับแนวทางที่ 33 42 และ 43 กลุ่มการปรับปรุงด้วยฉนวนใยแก้ว 6 นิ้วเหนือฝ้าเพดาน แนวทางที่ 18 33 และ 43 กลุ่มการปรับปรุงด้วยฉนวนใยแก้ว 6 นิ้วเหนือฝ้าเพดาน ยังเป็นทางเลือกในการปรับปรุงที่ดีกว่าเนื่องจากได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินสูงกว่า รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 4.12 ได้แก่

1) แนวทางที่ 18 กระจกสีเขียวร่วมกับฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว

2) แนวทางที่ 33 กระจกสะท้อนแสงร่วมกับฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว

3) แนวทางที่ 43 กระจกสะท้อนแสงติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนังอาคารร่วมกับฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว

เมื่อนำแนวทางการปรับปรุงที่ 18 33 และ 43 มาเปรียบเทียบกัน โดยอาศัยดัชนีชี้วัดทางด้านทางเศรษฐกิจอย่างระยะเวลาคืนทุน พบว่า แนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนนานที่สุด คือ แนวทางที่ 43 มีระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ย 19.1 ปี ซึ่งสูงกว่าแนวทางที่ 18 ที่มีระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ย 15.2 ปี นอกจากนี้แนวทางที่ 33 มีระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ย 13.4 ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนน้อยที่สุดจากทั้ง 3 แนวทางการปรับปรุง รายละเอียดระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ยของแต่ละแนวทางการปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 4.6 ดังนั้นแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงเปลือกอาคารบ้านเดี่ยวโดยพิจารณาทั้งเงินลงทุนกับคะแนนที่ได้เพิ่มขึ้นและความสามารถในการลดค่าการใช้พลังงาน คือ การปรับปรุงกระจกสะท้อนแสงร่วมกับการติดตั้งฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้วเหนือฝ้าเพดาน

ตารางที่ 4.6

ระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ยของแต่ละแนวทางการปรับปรุง

ระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ย	แนวทางการปรับปรุงที่	แนวทางการปรับปรุง		
		ชนิดกระจก	ฉนวนผนังอาคาร	ฉนวนฝ้าเพดาน
6.8 ปี	16	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
13.6 ปี	17	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
15.2 ปี	18	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30
13.8 ปี	19	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
15.4 ปี	20	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43
9.7 ปี	31	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
12.7 ปี	32	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
13.4 ปี	33	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30
12.8 ปี	34	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
13.5 ปี	35	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43
17.1 ปี	41	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
18.7 ปี	42	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
19.1	43	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30
18.8	44	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
19.2	45	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43

บทที่ 5
สรุปการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงระบบเปลือกอาคารบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงานและได้คะแนนในเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงาน โดยในส่วนแรกทำการสำรวจบ้านเดี่ยวในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล (ปี พ.ศ.2557-2558) จำนวน 328 หลัง และสรุปแบบบ้านเดี่ยว 3 ห้องนอน 3 ห้องน้ำที่นิยมในปัจจุบันจำนวน 54 หลัง พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลองค์ประกอบเปลือกอาคารที่พบ เพื่อมุ่งเน้นศึกษาองค์ประกอบของเปลือกอาคารที่มีผลต่อสัดส่วนการได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร และค่าการใช้พลังงานทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงเปลือกอาคาร โดยใช้โปรแกรม eQUEST 3.64 ในการจำลองการใช้พลังงานภายในบ้าน โดยผลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างอิทธิพลของค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงที่เพิ่มขึ้นกับค่าการใช้พลังงานที่ลดลง และคะแนนที่ได้จากการปรับปรุง ผลจากการศึกษานี้นำไปสู่การกำหนดแนวทางการปรับปรุงบ้านให้ได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานฯ ภายใต้ระยะคืนทุนไม่เกิน 20 ปี เนื่องมาจากอายุการใช้งานของวัสดุฉนวนอาคาร งานวิจัยนี้ได้สรุปข้อแนวทางการปรับปรุงบ้านโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย

5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเปลือกอาคารของบ้านเดี่ยวที่พบในปัจจุบันที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานและคะแนนจากเกณฑ์ประเมิน ฯ

5.1.2 สรุปผลการศึกษาองค์ประกอบเปลือกอาคารที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานภายในบ้านและคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน ฯ

5.1.3 สรุปผลการศึกษาคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินฯในการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคารและแนวโน้มค่าการใช้พลังงานของแนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี

5.2 แนวทางการปรับปรุงบ้านให้ได้ฉลากประหยัดพลังงานจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 ภายใต้ระยะคืนทุนไม่เกิน 20 ปี

5.3 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย

5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเปลือกอาคารของบ้านเดี่ยวที่พบในปัจจุบันที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานและคะแนนจากเกณฑ์ประเมิน ฯ

บ้านเดี่ยวที่พบในปัจจุบันได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร แบ่งเป็น 2 ช่วง ได้แก่ 1) ระหว่าง 4-5 คะแนน และ 2) ระหว่าง 9-11 คะแนน บ้านเดี่ยวส่วนใหญ่สัดส่วนร้อยละ 74 ได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมิน 9 คะแนนจากคะแนนเต็ม 40 คะแนนในหมวดเปลือกอาคาร เนื่องจากบ้านเดี่ยวในปัจจุบันไม่นิยมเลือกใช้วัสดุหรือองค์ประกอบเปลือกอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน องค์ประกอบเปลือกอาคารบ้านเดี่ยวที่พบในปัจจุบันได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร ในข้อดังต่อไปนี้ 1) บ้านเดี่ยวส่วนใหญ่ร้อยละ 89 มีอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ไม่เกินร้อยละ 20 ได้คะแนนเต็ม 7 คะแนน และบ้านเดี่ยวที่ศึกษาร้อยละ 11 มี WWR ระหว่างร้อยละ 20-30 ได้ 2 คะแนน ตามลำดับ 2) สีผนังภายนอกบ้านเดี่ยวส่วนใหญ่มีสีภายนอกเป็นอ่อน ได้คะแนนเต็ม 1 คะแนน และ 3) บ้านเดี่ยวร้อยละ 94 มีค่าการรั่วซึมน้อยกว่า 0.9 l/s-m of crack ซึ่งได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมิน 1 คะแนน และร้อยละ 2 ของบ้านเดี่ยวที่ทำการศึกษามีค่าการรั่วซึมน้อยกว่า 0.6 l/s-m of crack ได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมิน 2 คะแนน และบ้านเดี่ยวร้อยละ 4 มีค่าการรั่วซึมมากกว่า 0.9 l/s-m of crack ซึ่งไม่ได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมิน

การศึกษาค่าการใช้พลังงานภายในบ้านของบ้านเดี่ยวที่พบส่วนใหญ่มีแนวโน้มลดลงเมื่อได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินมากขึ้น โดยบ้านที่ได้คะแนนจากการประเมินในช่วง 9-11 คะแนน มีค่าการใช้พลังงานเฉลี่ย 30.79 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร/ปี เปรียบเทียบกับบ้านที่ได้ 4-5 คะแนน ซึ่งมีค่าการใช้พลังงานเฉลี่ย 34.85 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตารางเมตร/ปี โดยค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยมีค่าสูงกว่ากลุ่ม 9-11 คะแนน อยู่ร้อยละ 12 อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่า บ้านบางส่วนที่ได้คะแนนอยู่ในกลุ่ม 9-11 คะแนน มีค่าการใช้พลังงานใกล้เคียงกับบ้านที่ได้ 4-5 คะแนนที่มีคะแนนต่ำกว่า ซึ่งคะแนนที่ได้ไม่สัมพันธ์กับค่าการใช้พลังงานที่ลดลงตามระดับคะแนนที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่า บ้านกลุ่ม 9-11 คะแนน ที่มีค่าการใช้พลังงานสูงกว่าบ้านในกลุ่มคะแนนเดียวกัน เนื่องจากมีอัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ในทิศตะวันออกสูงกว่าร้อยละ 10.3 และตะวันตกสูงกว่าร้อยละ 11.4 ดังนั้นเพื่อปรับปรุงให้ระดับคะแนนจากเกณฑ์ประเมินฯ ให้สอดคล้องกับค่าการใช้พลังงาน อาจต้องพิจารณาค่า WWR ในแต่ละทิศทาง แทนวิธีการคิดค่า WWR รวมของบ้านทั้งหลัง

5.1.2 สรุปผลการศึกษาองค์ประกอบเปลือกอาคารที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานภายในบ้านและคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน ฯ

การศึกษาตัวแปรองค์ประกอบเปลือกอาคารที่มีอิทธิพลต่อค่าการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงบ้านมากที่สุด คือ การปรับปรุงชนิดกระจก สามารถลดค่าการใช้พลังงานเฉลี่ย 19.6 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี รองลงมา คือ การปรับปรุงฉนวนผนังอาคาร สามารถลดค่าการใช้พลังงานเฉลี่ย 3.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี และการปรับปรุงฉนวนฝ้าเพดาน สามารถลดค่าการใช้พลังงานเฉลี่ย 0.3 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี ตามลำดับ โดยฉนวนฝ้าเพดานที่ศึกษาทั้ง 4 ชนิด ไม่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ เนื่องจาก ดังนั้นการปรับปรุงเปลือกอาคารบ้านเดี่ยวหากคำนึงถึงการประหยัดพลังงานไม่ควรติดตั้งฉนวนกันความร้อนเหนือฝ้าเพดาน แต่ควรพิจารณาเลือกการปรับปรุงวัสดุกระจกเป็นอันดับแรก ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาวัสดุและอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารเพื่อการลดใช้พลังงานในอาคารพักอาศัย ซึ่งวัสดุกระจกมีอิทธิพลต่อการลดค่าการใช้พลังงานภายในบ้านมากที่สุด ในกรณีที่บ้านมีค่า WWR มากกว่า 0 (กัญญาภัค แต่พิพัฒนพงศ์, 2553) ในการศึกษาอิทธิพลของวัสดุแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อการลดใช้พลังงานในการวิจัยนี้ มีรายละเอียดดังนี้

5.1.2.1 วัสดุชนิดกระจก

กระจกชนิดสะท้อนแสงสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้มากที่สุดร้อยละ 27.4 และรองลงมาเป็นกระจก Low-E 2 ชั้น ลดค่าการใช้พลังงานได้ร้อยละ 22.6 และกระจกสีเขียวลดค่าการใช้พลังงานได้ร้อยละ 8.7 ตามลำดับ ในการเลือกใช้กระจกเพื่อการประหยัดพลังงานในประเทศไทยอาจพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) หรือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC) ที่มีค่าต่ำ มากกว่าการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-value) เนื่องจากกระจก Low-E 2 ชั้น ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-value = 0.23) ต่ำกว่ากระจกสะท้อนแสง (U-value = 0.86) แต่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้น้อยกว่า โดยกระจกสะท้อนแสงมีค่าการถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก (SHGC) และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ที่สูงกว่ากระจกชนิดอื่น แต่ในการปรับปรุงชนิดกระจกอาจต้องพิจารณาควบคู่กับค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (VT) เนื่องจากการใช้กระจกสะท้อนแสงแม้สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้สูงสุดแต่มีค่าการส่งผ่านรังสี (VT = 0.20) ต่ำ ทำให้พื้นที่ภายในบ้านอาจมืดเกินไปสำหรับที่อยู่อาศัยเนื่องจากมีแสงธรรมชาติเข้าสู่ภายในบ้านน้อย

5.1.2.2 วัสดุฉนวนผนังอาคาร

ผนังอิฐมอญติดตั้งระบบผนัง EIFS หนา 3 นิ้ว (U-value = 0.057 BTU/hr-ft^2-F) และผนังอิฐมอญติดฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว (U-value = 0.080 BTU/hr-ft^2-F) สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ใกล้เคียงกัน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 3.3-3.4 ดังนั้น ในการพิจารณาการปรับปรุงฉนวนผนังอาคารอาจเลือกวัสดุที่มีราคาต่ำกว่าอย่างการติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนัง

อาคารซึ่งมีราคาค่าก่อสร้าง 450 บาท/ตารางเมตร ต่ำกว่าการปรับปรุงระบบผนัง EIFS หนา 3 นิ้ว ตารางเมตรละ 250 บาท จะเห็นได้ว่าผลกการศึกษาวิจัยนี้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาวัสดุและอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารเพื่อการลดใช้พลังงานในอาคารพักอาศัย (กัญญาภัค แต่พิพัฒนพงศ์, 2553) ซึ่งพบว่าการติดตั้งฉนวนผนังอาคารในกรณีที่บ้านมีค่า WWR มากกว่า 0 ทำให้ค่าการใช้พลังงานหลังการปรับปรุงสูงกว่าก่อนการปรับปรุง เนื่องมาจากการสะสมความร้อนของฉนวนผนังอาคารที่มีผลต่อภาระการทำความเย็นที่สูงขึ้นในเวลากลางคืนอันเนื่องมาจากการใช้เครื่องปรับอากาศเฉพาะเวลากลางคืน แต่ในการศึกษาวิจัยนี้มีการใช้เครื่องปรับอากาศในห้องนั่งเล่นซึ่งมีการใช้งานในช่วงเวลากลางวัน (วันธรรมดา ใช้เครื่องปรับอากาศ เวลา 18:00-22:00 น. และวันเสาร์-อาทิตย์ เวลา 8:00-21:00 น.) ดังนั้น การติดตั้งฉนวนผนังอาคารอาจสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวัน

5.1.2.3 วัสดุฉนวนฝ้าเพดาน

วัสดุฉนวนฝ้าเพดานทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว ฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้ว ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30 หนา 0.5 นิ้ว และฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t หนา 1.2 นิ้ว สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ต่ำกว่าไม่ถึงร้อยละ 1 ฉนวนฝ้าเพดานจึงอาจไม่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ เนื่องจากการเพิ่มฉนวนกันความร้อนอาจทำให้เกิดความร้อนสะสมภายในอาคารซึ่งมีผลต่อภาระการทำความเย็นในการปรับอากาศทำให้ไม่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ ดังนั้นในการพิจารณาปรับปรุงบ้านโดยการปรับปรุงฉนวนฝ้าเพดานอาจไม่ทำให้บ้านประหยัดพลังงานได้ รายละเอียดค่าการใช้พลังงานที่ลดลงในการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารแสดงดังภาพที่ 5.1

ตารางที่ 5.1

สัดส่วนและค่าการใช้พลังงานจากการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารบ้านกรณีศึกษา

วัสดุอาคาร	ค่าการใช้พลังงาน (Kwh/m^2/y)	ค่าการใช้พลังงานที่ลดลง (Kwh/m^2/y)	ร้อยละของค่าการใช้พลังงานที่ลดลง	ลำดับความสำคัญของตัวแปร
อาคารกรณีศึกษา	31.60	-	-	-
กระจกสีเขียว	28.84	2.76	-8.7%	**อันดับ 3**
กระจกสะท้อนแสง	22.96	8.64	-27.4%	**อันดับ 1**
กระจก Low-E 2 ชั้น	24.46	7.14	-22.6%	**อันดับ 2**
ระบบผนัง EIFS หนา 3 นิ้ว	30.56	1.04	-3.4%	**อันดับ 4**
ผนังอิฐมอญติดฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว	30.65	0.95	-3.3%	**อันดับ 5**
ฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว	31.52	0.08	-0.2%	**ค่าการใช้พลังงานไม่ลด**
ฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้ว	31.49	0.11	-0.3%	
ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ หนา 0.5 นิ้ว	31.54	0.06	-0.2%	
ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ หนา 1.2 นิ้ว	31.49	0.112	-0.4%	

ในการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารบ้านเดี่ยวจากการพิจารณาหลักเกณฑ์การให้คะแนนของเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร ข้อที่ทำการศึกษา ข้อ ก. มีเกณฑ์การให้ระดับคะแนนจากค่าคุณสมบัติของวัสดุองค์ประกอบเปลือกอาคารได้แก่ ผนังอาคาร วัสดุกระจก และความต้านทานความร้อนฉนวนฝ้าเพดาน จากการศึกษาวิจัยนี้อิทธิพลขององค์ประกอบเปลือกอาคารที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานภายในบ้านอาจไม่สอดคล้องกับคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน เนื่องมาจากเกณฑ์ประเมินฯให้ค่าคะแนนจากการปรับปรุงฉนวนฝ้าเพดานมากที่สุด ซึ่งมีค่าน้ำหนักคะแนน 6-12 คะแนน โดยฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43 และฉนวนใยแก้ว 6 นิ้วมีคะแนนมากที่สุด 12 คะแนน โดยเกณฑ์ประเมิน ฯ

ให้ค่าคะแนนสูงสุดในส่วนของฉนวนฝ้าเพดานอาจเนื่องจากฉนวนฝ้าเพดานสามารถลดทั้งค่าการใช้พลังงานและความร้อนจากหลังคาได้ ซึ่งเกณฑ์ประเมิน ฯ อ้างอิงที่มาของเกณฑ์การให้คะแนนจากการศึกษาการเพิ่มฉนวนในอาคารประเภททาวน์เฮาส์ (พันธุดา พุฒิไพโรจน์, 2550) ซึ่งฉนวนฝ้าเพดานอาจเป็นตัวแปรที่ได้รับผลกระทบแสงอาทิตย์มากกว่าอาคารประเภทบ้านเดี่ยวซึ่งผนังอาคารเป็นส่วนที่มีพื้นที่ผิวมากอาจทำให้ผนังอาคาร (ผนังทึบแสงและผนังโปร่งแสง) เป็นตัวแปรที่อิทธิพลต่อการลดใช้พลังงานมากกว่าในอาคารบ้านเดี่ยว โดยผลจากการวิจัยนี้ พบว่า ฉนวนฝ้าเพดานกลับเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้ และที่เกณฑ์ประเมิน ฯ ให้ค่าน้ำหนักระดับคะแนนรองลงมาได้ 3-10 คะแนน คือ การปรับปรุงชนิดกระจก ในงานวิจัยนี้พบว่าการปรับปรุงชนิดกระจกเป็นตัวแปรที่สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้มากที่สุดแต่เกณฑ์ประเมิน ฯ มีค่าคะแนนเป็นอันดับ 2 และฉนวนผนังอาคารมีความสำคัญของระดับคะแนนจากเกณฑ์ประเมิน ฯ น้อยที่สุด ซึ่งมีค่าน้ำหนักคะแนน 3 คะแนน แต่จากการศึกษาวิจัยนี้ พบว่า การใช้ฉนวนผนังอาคารใยแก้ว 3 นิ้ว และการเลือกใช้ระบบผนัง EIFS 3 นิ้ว สามารถลดค่าการใช้พลังงานได้เป็นอันดับ 2 รองจากการปรับปรุงชนิดกระจก

ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาการพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคาร ในอาคารบ้านเดี่ยว ซึ่งถูกใช้เป็นหลักเกณฑ์เรื่องข้อกำหนดและแนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคารขนาดต่ำกว่าอาคารควบคุมขนาดใหญ่พิเศษตาม พ.ร.บ. ควบคุมอาคารและอาคารที่พักอาศัย โดยใช้อ้างอิงในเกณฑ์ประเมิน ฯ ในข้อสัมประสิทธิ์การถ่ายเมความร้อนของผนังและข้อสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (SHGC) จากการศึกษาดังกล่าว กระจกสามารถลดค่าการได้มากที่สุด โดยการเพิ่มความเป็นฉนวนแก่ผนังสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้เล็กน้อย และฉนวนฝ้าเพดานไม่สามารถลดใช้พลังงานได้ในกรณีที่บ้านมีค่า WWR ระหว่าง 30-50 (อรรจน์ เศรษฐบุตร และ ธนิต จินดาวณิค, 2550) โดยในเกณฑ์ประเมินมีการให้ค่าคะแนนของกระจกและผนังอาคารรองลงมาอาจเนื่องจากตัวแปรดังกล่าวสามารถลดได้เฉพาะค่าการใช้พลังงาน แต่ฉนวนฝ้าเพดานอาจสามารถลดค่าการใช้พลังงานและความร้อนที่ผ่านหลังคาได้ ดังนั้น การให้ความสำคัญในระดับคะแนนจากเกณฑ์ประเมิน ฯ ของการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคารเพื่อให้สอดคล้องกับผลการลดใช้พลังงานในบ้านเดี่ยวอาจควรพิจารณาให้วัสดุกระจกมีค่าคะแนนสูงสุด รองลงมา คือ การปรับปรุงฉนวนผนังอาคาร และฉนวนฝ้าเพดาน ตามลำดับ รายละเอียดแสงดังตารางที่ 5.2

สำหรับบ้านที่มีการปรับปรุงฉนวนฝ้าเพดานเฉพาะบางส่วน โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนเหนือฝ้าเพดานชั้น 2 เฉพาะห้องที่มีการปรับอากาศเท่านั้น ส่งผลให้บ้านหลังดังกล่าวได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินในข้อ ก.2 ค่าความต้านทานความร้อนฉนวนฝ้าเพดานมีค่าคะแนนลดลงเนื่องมาจากค่าความต้านทานความร้อน (R-value) ที่ลดลงจากการถัวเฉลี่ยกับพื้นที่ฝ้าเพดานทั้งหมด ทำให้การใช้ฉนวนชนิดใยแก้ว 3 นิ้ว ฉนวนชนิดใยแก้ว 6 นิ้ว และฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43 หนา 1.2 นิ้ว มีค่าคะแนนในการปรับปรุงลดลงจากเดิม 3 คะแนน ส่วนการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวน

โพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30 หนา 0.5 นิ้วเพียงบางส่วนของฝ้าเพดาน มีค่าคะแนนลดลง 6 คะแนน ซึ่งไม่ได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมิน ดังนั้นบ้านที่มีการปรับปรุงโดยเพิ่มฉนวนเฉพาะบางส่วนของฝ้าเพดานหากค่าความต้านทานความร้อน (R-value) มีค่าลดลงต่ำกว่า 1.3 $m^2{}^oC/W$ ที่กำหนดขั้นต่ำจากเกณฑ์ประเมิน ฯ การเลือกใช้ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30 หนา 0.5 นิ้ว อาจเป็นทางเลือกที่ไม่เหมาะสมในการปรับปรุงฝ้าเพดาน

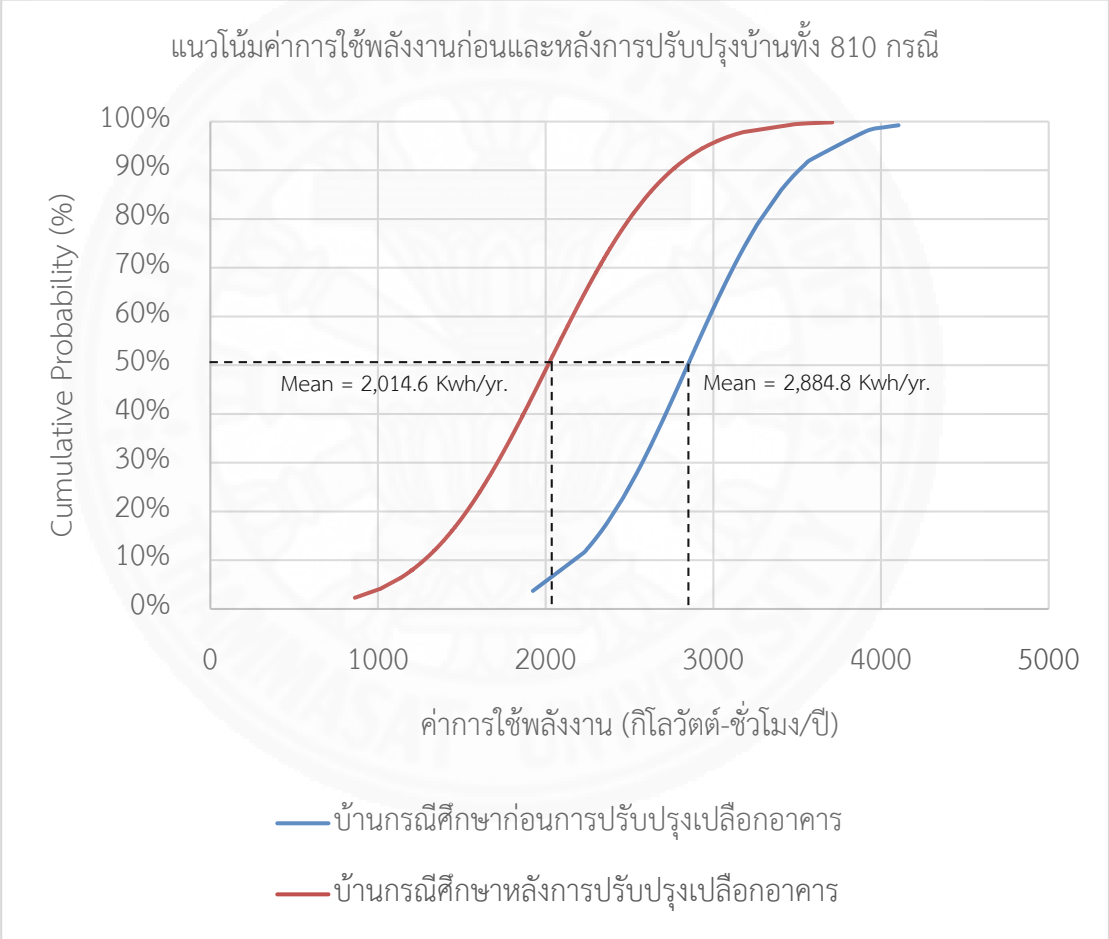
ตารางที่ 5.2

เปรียบเทียบลำดับความสำคัญของตัวแปรในการปรับปรุงเปลือกอาคารในแต่ละด้าน

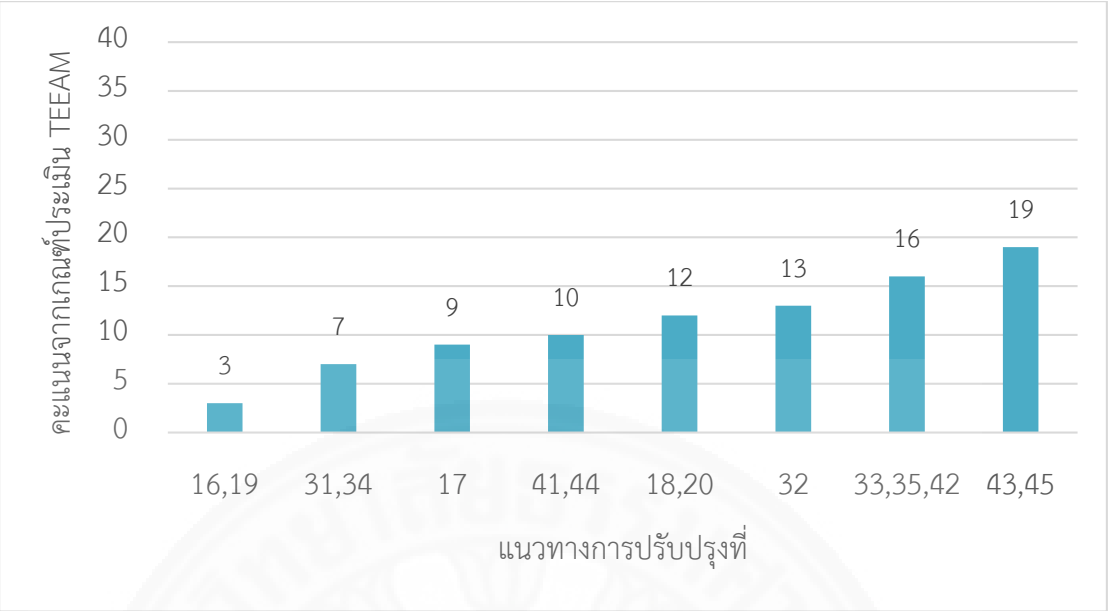
วัสดุอาคาร	ร้อยละของค่าการใช้พลังงานที่ลดลง	ลำดับความสำคัญของตัวแปร	คะแนนจากเกณฑ์ประเมิน	ลำดับความสำคัญของตัวแปร	คะแนนจากการปรับปรุง	ลำดับความสำคัญของตัวแปร
อาคารกรณีศึกษา -กระจกใส, ผนังก่ออิฐมอญ, ฝ้าเพดานฉาบเรียบ	-	-	-	-	-	-
กระจกสีเขียว	-8.7%	อันดับ 3	3 คะแนน	อันดับ 6	3 คะแนน	อันดับ 5
กระจกสะท้อนแสง	-27.4%	อันดับ 1	7 คะแนน	อันดับ 4	7 คะแนน	อันดับ 3
กระจก Low-E 2 ชั้น	-22.6%	อันดับ 2	10 คะแนน	อันดับ 2	10 คะแนน	อันดับ 1
ระบบผนัง EIFS หนา 3 นิ้ว	-3.4%	อันดับ 4	3 คะแนน	อันดับ 6	3 คะแนน	อันดับ 5
ผนังอิฐมอญติดฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว	-3.3%	อันดับ 5	3 คะแนน	อันดับ 6	3 คะแนน	อันดับ 5
ฉนวนใยแก้ว หนา 3 นิ้ว	-0.2%	ไม่สามารถลดค่าการใช้พลังงาน	9 คะแนน	อันดับ 3	9 คะแนน	อันดับ 4
ฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้ว	-0.3%		12 คะแนน	อันดับ 1	12 คะแนน	อันดับ 2
ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ หนา 0.5 นิ้ว	-0.2%		6 คะแนน	อันดับ 5	6 คะแนน	อันดับ 6
ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ หนา 1.2 นิ้ว	-0.4%		12 คะแนน	อันดับ 1	12 คะแนน	อันดับ 2

5.1.3 สรุปผลการศึกษาคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินฯในการปรับปรุงองค์ประกอบเปลือกอาคารและแนวโน้มค่าการใช้พลังงานของแนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี

จากการคำนวณค่าการใช้พลังงานของบ้าน 54 หลัง ที่มีการปรับปรุง 15 กรณี (รวมการปรับปรุงทั้งหมด 810 กรณี) พบว่า ค่าการใช้พลังงานภายหลังการปรับปรุงบ้านที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี มีแนวโน้มค่าการใช้พลังงานลดลงเฉลี่ยร้อยละ 30 (ค่าการใช้พลังงานลดลงเฉลี่ย 870 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี) หรือคิดเป็นค่าไฟฟ้า 3,470 บาท/ปี รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 แนวโน้มค่าการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุงบ้านและหลังการปรับปรุงบ้าน

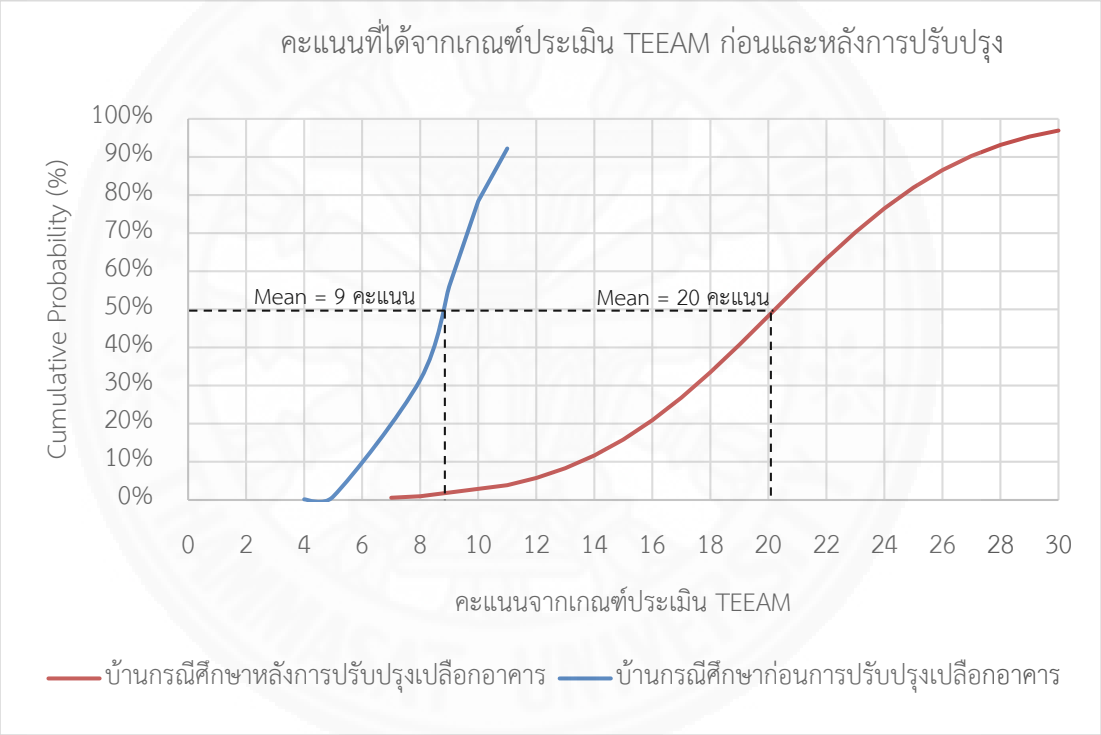


แนวทางที่	การปรับปรุง	แนวทางที่	การปรับปรุง
2	ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 3”	33	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 6”
4	ฉนวนโพลีเอทธิลีน 0.5”	34	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 0.5”
16	กระจกสีเขียว	35	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 1.2”
17	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 3”	41	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3”+ฉนวนใยแก้ว 3”
18	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 6”	42	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3” +ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 6”
19	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 0.5”	43	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3” +ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 0.5”
20	กระจกสีเขียว+ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 1.2”	44	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3” +ฉนวนฝ้าเพดานโพลีเอทธิลีน 1.2”
31	กระจกสะท้อนแสง	45	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนผนังใยแก้ว 3”
32	กระจกสะท้อนแสง+ฉนวนฝ้าเพดานใยแก้ว 3”		

ภาพที่ 5.2 คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน TEEAM ในการปรับปรุงเปลือกอาคารที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี

จากการเปรียบเทียบค่าคะแนนที่ได้จากการปรับปรุงแนวทางการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนไม่เกิน 20 ปี ในภาพที่ 5.2 คะแนนที่ได้จากการปรับปรุงมีค่าคะแนนในระดับต่ำจนถึงสูง (3-19 คะแนน) เนื่องจากมีแนวทางการปรับปรุงที่มีการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารในบางส่วนและการปรับปรุงทั้งเปลือกอาคาร กลุ่มที่มีคะแนนจากการปรับปรุงต่ำ ได้แก่ การปรับปรุงเฉพาะชนิดกระจกสีเขียว (3 คะแนน) หรือการใช้กระจกสีเขียวร่วมกับฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ หนา 0.5 นิ้ว (3 คะแนน) กลุ่มการปรับปรุงที่มีคะแนนสูงสุด 19 คะแนน เป็นกลุ่มการปรับปรุงทั้ง 3 ส่วนของเปลือกอาคารได้แก่ ชนิดกระจก การติดตั้งฉนวนฝ้าเพดาน และการติดตั้งฉนวนผนังอาคาร ซึ่งการปรับปรุงด้วยวิธีการเพิ่มกระจกสะท้อนแสงร่วมกับการติดตั้งฉนวนใยแก้วที่ผนังอาคาร

และเพิ่มฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว หรือฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ หนา 1.2 นิ้วเหนือฝ้าเพดาน โดยคะแนนรวมสูงสุดที่ได้จากการปรับปรุงมีค่าคะแนน 30 คะแนน (ต้องมีคะแนนเดิมก่อนการปรับปรุงบ้าน 11 คะแนน) ซึ่งยังไม่ถึงคะแนนเต็ม 40 คะแนนและไม่ได้ฉลากอาคารที่ต้องได้คะแนนขั้นต่ำรวม 40 คะแนน เนื่องจากในการศึกษาวิจัยนี้ ไม่ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงบางข้อในหมวดเปลือกอาคาร (ข้อ ก.) ได้แก่ การปรับปรุงแผงบังแดด อิทธิพลของช่องแสงหลังคา และการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของค่าการรั่วซึมอากาศที่บานกรอบหน้าต่างและประตู (Infiltration) ซึ่งค่าเฉลี่ยของคะแนนรวมหลังการปรับปรุงบ้านที่มีระยะเวลาคืนไม่เกิน 20 ปี มีค่าคะแนนเฉลี่ย 20 คะแนน รายละเอียดแสดงดังภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงบ้าน

5.2 แนวทางการปรับปรุงบ้านให้ได้ฉลากประหยัดพลังงานจากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 ภายใต้ระยะคืนทุนไม่เกิน 20 ปี

จากการศึกษาการปรับปรุงวัสดุร่วมกันทั้ง 12 ชนิด ภายใต้ระยะเวลาคืนทุน 20 ปี ประกอบด้วยกลุ่มการปรับปรุงดังต่อไปนี้ 1) แนวทางที่ 16-20 การใช้กระจกสีเขียวหรือร่วมกับการติดตั้งฉนวนฝ้าเพดาน 2) แนวทาวที่ 31-35 กลุ่มการใช้กระจกสะท้อนแสงหรือร่วมกับการติดตั้งฉนวน

ฝ้าเพดาน และ 3) แนวทางที่ 41-45 กลุ่มการใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับฉนวนผนังใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนังอาคารหรือติดตั้งร่วมกับฉนวนฝ้าเพดาน โดยการปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนสูงที่สุด คือ การใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับการติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนังอาคารหรือเพิ่มฉนวนฝ้าเพดาน มีระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ย 17.1-19.2 ปี เนื่องจากเป็นกลุ่มการปรับปรุงที่มีค่าก่อสร้างที่ค่อนข้างสูง (ค่าก่อสร้างเฉลี่ย 92,876 บาท/ตารางเมตร) การปรับปรุงที่มีระยะเวลาคืนทุนรองลงมาเป็นกลุ่มการปรับปรุงกระจกสะท้อนแสงหรือร่วมกับฉนวนฝ้าเพดานมีระยะเวลาคืนทุนเร็วเฉลี่ย 9.7-13.5 ปี และการใช้กระจกสีเขียวร่วมกับการติดตั้งฉนวนฝ้าเพดานมีระยะเวลาคืนทุนช้าที่สุดเฉลี่ย 13.6-15.4 ปี แต่หากไม่ปรับปรุงฉนวนฝ้าเพดานจะทำให้มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดเฉลี่ย 6.8 ปี เนื่องจากการใช้กระจกสีเขียวมีค่าก่อสร้างต่ำที่สุดในทุกแนวทางการปรับปรุง (ค่าก่อสร้าง 339 บาท/ตารางเมตร)

จากการคำนวณค่าการใช้พลังงานที่ลดลงจากการปรับปรุง การปรับปรุงชนิดกระจกหรือติดตั้งฉนวนผนังชนิดเดียวกันหากเลือกใช้ฉนวนฝ้าเพดานต่างชนิดกันจะสามารถลดค่าการใช้พลังงานได้เท่ากัน โดยค่าการใช้พลังงานที่ลดลงแบ่งเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 1) กลุ่มการใช้กระจกสีเขียวหรือร่วมกับการติดตั้งฉนวนฝ้าเพดาน สามารถลดค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยร้อยละ 10 2) กลุ่มการใช้กระจกสะท้อนแสงหรือร่วมกับการติดตั้งฉนวนฝ้าเพดาน สามารถลดค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยร้อยละ 29 และ 3) กลุ่มการใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับฉนวนผนังใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนังอาคารหรือติดตั้งร่วมกับฉนวนฝ้าเพดาน สามารถลดค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยร้อยละ 49

โดยเมื่อพิจารณาเงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นในการปรับปรุงบ้าน พบว่า เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นในการปรับปรุงแบ่งเป็น 3 ช่วงเช่นเดียวกับค่าการใช้พลังงานที่ลดลง โดยมีรายละเอียดดังนี้ 1) กลุ่มการใช้กระจกสีเขียวร่วมกับการติดตั้งฉนวนฝ้าเพดาน ใช้เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 40 2) กลุ่มการใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับการติดตั้งฉนวนฝ้าเพดาน ใช้เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 81 และ 3) กลุ่มการใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับฉนวนผนังใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนังอาคารและติดตั้งฉนวนฝ้าเพดาน ใช้เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 180 โดยการเพิ่มฉนวนฝ้าเพดานแต่ละชนิดใช้เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นในการปรับปรุงไม่แตกต่างกัน เนื่องจากฉนวนฝ้าเพดานแต่ละชนิดมีราคาค่าก่อสร้างไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีราคาค่าก่อสร้างระหว่าง 185-235 บาท (รวมค่าวัสดุและค่าแรง) แต่หากไม่ติดตั้งฉนวนฝ้าเพดานจะใช้เงินลงทุนในการปรับปรุงลดลง ร้อยละ 20

การปรับปรุงที่คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินต่ำที่สุดในทุกกลุ่มการปรับปรุง คือ การปรับปรุงโดยไม่เพิ่มฉนวนฝ้าเพดาน ซึ่งมีคะแนนเท่ากับการเพิ่มฉนวนโพลีเอทธีลีน R_t 30 0.5 นิ้ว เนื่องจากการเพิ่มฉนวนชนิดดังกล่าวไม่ได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินเนื่องจากค่า R-value ลดลงต่ำกว่า 1.3 $m^{2\circ}C/W$ ซึ่งกำหนดขั้นต่ำจากเกณฑ์ประเมิน นอกจากนี้การปรับปรุงที่ได้คะแนนเพิ่มขึ้นเท่ากันคือการปรับปรุงโดยใช้ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว และฉนวนโพลีเอทธีลีน R_t 43 1.2 นิ้ว โดยการ

ปรับปรุงที่ได้คะแนนสูงสุดเป็นการใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับการติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนังอาคารและติดตั้งฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว และฉนวนโพลีเอทธีลีน R_t 43 1.2 นิ้ว

โดยเมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางด้านการลงทุนซึ่งประกอบด้วย ค่าการใช้พลังงานที่ลดลง เงินลงทุนที่เพิ่มขึ้นจากการปรับปรุง และคะแนนที่ได้จากการปรับปรุง แนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสมที่สุด 3 อันดับแรก (รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 5.3) มีรายละเอียดดังนี้

1) แนวทางที่ 18 การปรับปรุงโดยใช้กระจกสีเขียวร่วมกับฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้ว ได้คะแนนที่เพิ่มขึ้นจากเกณฑ์ประเมินเฉลี่ยร้อยละ 145 ลดค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยร้อยละ 10 และต้องใช้เงินลงทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 40

2) แนวทางที่ 33 การปรับปรุงโดยใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนังอาคารและฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้ว เหนือฝ้าเพดาน ได้คะแนนที่เพิ่มขึ้นจากเกณฑ์ประเมินเฉลี่ยร้อยละ 230 ลดค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยร้อยละ 49 และต้องใช้เงินลงทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 180

3) แนวทางที่ 43 การปรับปรุงโดยใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้ว ได้คะแนนที่เพิ่มขึ้นจากเกณฑ์ประเมินเฉลี่ยร้อยละ 193 ลดค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยร้อยละ 29 และต้องใช้เงินลงทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 81

ตารางที่ 5.3

แนวทางการปรับปรุงบ้านประหยัดพลังงาน

แนวทางการปรับปรุง		ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยจากการปรับปรุง	ค่าการใช้พลังงานที่ลดลงเฉลี่ย	คะแนนที่ได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย	ระยะเวลาคืนทุน	คะแนนที่ได้จากการปรับปรุง	เงินลงทุนที่ใช้ในการปรับปรุงเฉลี่ย
1.	กระจกสีเขียว ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว เหนือฝ้าเพดาน	40%	10%	145%	15.2 ปี	12 คะแนน	22,079 บาท
2.	กระจกสะท้อนแสง ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว เหนือฝ้าเพดาน	81%	29%	193%	13.4 ปี	16 คะแนน	44,677 บาท
3.	กระจกสะท้อนแสง ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว เหนือฝ้าเพดาน ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ที่ผนังอาคาร	180%	49%	230%	19.1 ปี	19 คะแนน	99,678 บาท

แนวทางการปรับปรุงที่เหมาะสมที่สุด คือ การปรับปรุงโดยใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้ว เนื่องจากมีระยะเวลาคืนทุนน้อยที่สุดเฉลี่ย 13.4 ปี ใช้เงินลงทุนในการปรับปรุง 44,677 บาท ได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินฯในการปรับปรุงเปลือกอาคาร 16 คะแนน อย่างไรก็ตามเจ้าของบ้านที่มีงบประมานน้อย (ไม่เกิน 22,100 บาท) อาจเลือกการปรับปรุงโดยใช้กระจกสีเขียวร่วมกับฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้วเนื่องจากใช้เงินลงทุนต่ำที่สุด โดยได้คะแนนจากการปรับปรุงเปลือกอาคาร 12 คะแนน หรือเจ้าของบ้านที่ต้องการแต้มคะแนนจากเกณฑ์ประเมินสูงและสามารถลดค่าการใช้พลังงานมาก โดยมีงบประมานมากอาจเลือกการปรับปรุงโดยใช้กระจกสะท้อนแสงร่วมกับฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วที่ผนังอาคารและฉนวนใยแก้ว หนา 6 นิ้วเหนือฝ้าเพดาน โดยสามารถลดค่าการใช้พลังงานเฉลี่ยร้อยละ 49 และได้คะแนนจากเกณฑ์ประเมินสูงสุด 19 คะแนน แต่มีระยะเวลาคืนทุนสูงสุด 19.1 ปี

5.3 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะในงานวิจัย

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

5.3.1 สำหรับการศึกษานี้ศึกษาเฉพะวัสดุเปลือกอาคารที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงาน ต้นทุนการก่อสร้าง และคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร โดยในเกณฑ์ประเมินมีการให้คะแนนในข้ออื่น ๆ เช่น แผงบังแดดอาคาร ซึ่งไม่ได้ศึกษาวิจัยเนื่องจากการปรับปรุงโดยการเพิ่มแผงบังแดดเกี่ยวข้องกับกฎหมายอาคารว่าด้วยระยะร่นของอาคารกับแนวเขตที่ดิน ในการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปอาจศึกษาข้อจำกัดของแผงบังแดดอาคารที่ทำให้สามารถปรับปรุงแผงบังแดดได้ เพื่อศึกษาอิทธิพลการลดใช้พลังงานในอาคาร ต้นทุนในการก่อสร้างและคะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน

5.3.2 การศึกษาวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงเปลือกอาคารโดยเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารที่ซื้อได้ง่ายตามท้องตลาดของประเทศไทยในปัจจุบัน ซึ่งในอนาคตวัสดุเพื่อการประหยัดพลังงานอาจมีการพัฒนาให้มีคุณสมบัติวัสดุที่ดียิ่งขึ้นและอาจมีราคาค่าก่อสร้างที่ถูกลง ดังนั้นควรพิจารณาปัจจัยทางด้านวัสดุและราคาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตในการศึกษาครั้งต่อไป

5.3.3 การศึกษาวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะค่าการใช้พลังงานที่มีอิทธิพลมาจากระบบปรับอากาศ ซึ่งมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อค่าการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น อุปกรณ์แสงสว่าง เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน เป็นต้น ในการศึกษาวิจัยเพื่อให้ครอบคลุมค่าการใช้ไฟฟ้าจริงภายในบ้านควรศึกษาร่วมกับค่าไฟฟ้าที่มาจากอุปกรณ์แสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

5.3.4 การศึกษาวิจัยนี้ศึกษาและจำลองค่าการใช้พลังงานของทิศทางการวางอาคารหน้าบ้านหันไปทางทิศใต้ทิศทางเดียว ทิศทางการวางอาคารในทิศทางอื่นอาจส่งผลต่อค่าการใช้พลังงานและความสามารถในการลดใช้พลังงานของการปรับปรุงเปลือกอาคารที่แตกต่างกัน

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2557). *คู่มือการสมัครโครงการประกวดบ้านจัดสรรอนุรักษ์พลังงานดีเด่น ปี2557*, กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2553). *คู่มือแบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาคารพักอาศัย รุ่น R49.02*, กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

สถาบันอาคารเขียวไทย. (2554). *คู่มือสำหรับเกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย สำหรับการก่อสร้างและปรับปรุงโครงการใหม่*. กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.

สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). *การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น Tropical design environment*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรรจน์ เศรษฐบุตร. (2555), *คู่มือเกณฑ์การประเมินชุมชนน่าอยู่น่าสบายอย่างยั่งยืน: Ecovillage*, กรุงเทพฯ: การเคหะแห่งชาติ.

กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (2558), *บัญชีค่าวัสดุและค่าแรงงาน สำหรับปีงบประมาณ 2558/2559,* กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง

บทความวารสาร

กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. (2546). *หน้าต่างและกันสาด*. วารสารสาระน่ารู้เรื่องการอนุรักษ์พลังงาน. ฉ1 (2546): 1-8.

พันธุดา พุฒิไพโรจน์. (2550). การศึกษาประสิทธิผลในการลดความร้อนจากหลังคาโดยวิธีการระบายอากาศและการใช้ฉนวนกันความร้อนไทย. ใน โรงแรมใบหยกสกาย, *การประชุมเชิงวิชาการเครือขายพลังงานแหงประเทศไทยครั้งที่ 3* (น. 1-13). กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.

ธนิต จินดาวณิค, พรรณชลัท สุริโยธิน, และ วรภัทร อิงคโรจนฤทธิ์. (2550). แบบประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเปนมิตรตอสิ่งแวดลอมสำหรับประเทศไทย. ใน โรงแรมใบหยกสกาย, *การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแหงประเทศไทยครั้งที่ 3* (น. 1-13). กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.

ปัทมาภรณ์ รัตนประดับ, ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล. (2554). *แนวทางการปรับปรุงบ้านเดี่ยวสองชั้นโครงการบ้านเอื้ออาทร จังหวัดขอนแก่น เพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม*. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ฉ10 (2554), 37-45

รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ. (2558). *นโยบายด้านการใช้พลังงานภายในบ้านพักอาศัยของประเทศไทยและระดับสากล*, วารสารธนาคารอาคารสงเคราะห์, ฉ81 (2558): 29.

ศูนย์ข้อมูลอสังหาริมทรัพย์ (2557). *สถานการณ์ตลาดที่อยู่อาศัยปี 2557 และแนวโน้มปี 2558,* วารสารธนาคารอาคารสงเคราะห์, ฉ80 (2558): 66.

ส่วนวิทยบริการฝ่ายวิชาการ ธนาคารอาคารสงเคราะห์. (2552). *การเพิ่มขึ้นของที่อยู่อาศัยในเขตกรุงเทพมหานครและ 5 จังหวัดปริมณฑล ในรอบ 20 ปี (พ.ศ. 2533 - 2552),* วารสารธนาคารอาคารสงเคราะห์, ฉ61 (2552): 8.

อรรจน์ เศรษฐบุตร และ ธนิต จินดาวณิค. (2550). การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารบ้านเดี่ยว. ใน โรงแรมใบหยกสกาย, *การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3* (น. 1-13). กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.

Jeffrey D. Spitler, Daniel E. Fisher, *Curtis O. Pedersen. (1997). The Radiant Time Series Cooling Load Calculation Procedure, ASHRAE Transactions*, Vol103 (1997): 50.

วิทยานิพนธ์

กฤษณ์ อ่อนงาม. (2554). *การศึกษาเปรียบเทียบวัสดุเปลือกอาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในเชิงการประหยัดพลังงานและราคา. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต).* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, สาขานวัตกรรมอาคาร

กัญญาภัค แต่พิพัฒน์พงษ์. (2553). *การศึกษาวัสดุและอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังอาคารเพื่อการลดใช้พลังงานในอาคารพักอาศัย.* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาสถาปัตยกรรม

ธนกร ฆ้องชัยฤทธิ์. (2554). *การเลือกใช้กระจกประสิทธิภาพสูงเพื่อการอนุรักษ์พลังงานกระบวนการเชิงลำดับขั้น.* (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, คณะพลังงานและวัสดุ, สาขาจัดการทางวิศวกรรม.

พงษกานต์ อานนท์วัฒนากร. (2549). *แนวทางการปรับปรุงการประหยัดพลังงานสำหรับบ้านเดี่ยวในโครงการจัดสรร*. (วิทยานิพนธ์ริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาสถาปัตยกรรม

พรพรรณ เหลืองรุจิวงศ์. (2543). *การศึกษาประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานของหน้าต่างกระจกสำหรับบ้านพักอาศัย.* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะพลังงานและวัสดุ, สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน.

วิรัช มณีขาว. (2538). *การประเมินสมรรถนะการใช้พลังงานในที่พักอาศัยแบบบ้านจัดสรร.* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะพลังงานและวัสดุ, สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

กรมบัญชีกลาง. (2558). บัญชีค่าแรงงาน/ดำเนินการสำหรับการถอดแบบคำนวณราคากลางงานก่อสร้างฉบับปรับปรุงเดือนตุลาคม2558. สืบค้นจาก https://yotathai.app.box.com/v/w399-update-labor

กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และ Danish International Development Assistance (DANIDA). (2547). โครงการปรับปรุงขอกำหนดการใช้พลังงานในอาคารควบคุม. สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT). สืบค้นจาก http://www2.dede.go.th/handbookbuild/finalreport/FR.pdf

กระทรวงพลังงาน. (2554). แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ.2554-2573). สืบค้นจาก http://www.eppo.go.th/encon/ee-20yrs/ee-20yr-final.pdf

กาญจน์กรอง สุอังคะ. (2557). การประเมินด้านการประหยัดพลังงานของการออกแบบและการใช้วัสดุก่อสร้างเพื่อการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัย. สืบค้นจาก http://203.158.6.11:8080/sutir/bitstream/123456789/4674/2/Fulltext.pdf

บริษัท สยามไฟเบอร์กลาส จำกัด. (2557). ฉนวนกันความร้อน เอสซีจี รุ่น Staycool. สืบค้นจาก http://www.scgbuildingmaterials.com/th/cmsresource/productapplicationmedip/3338/applicationdoc/scg%20stay%20cool_ap18407.pdf

ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. (2558). คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน. สืบค้นจาก http://www.2e-building.com/images/userfiles/files/GuideLine%20BEC57.pdf

ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. (2559). เทคโนโลยีผนังกันความร้อน EIFS. สืบค้นจาก http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:jvuDj8QmTvsJ:www.2e-building.com/article.php%3Fcat%3Dknowledge%26id%3D161+&cd=1&hl=th&ct=clnk&gl=th

ศูนย์ประสานงานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. (2559). ฉนวนโฟม กับ เทคโนโลยีผนัง. สืบค้นจาก http://www.2ebuilding.com/article.php?cat=knowledge&id=160

Attia, Shady, and Samer Zawaydeh. (2014). *Strategic Decision Making For Zero Energy Buildings in Jordan*. Retrieved From http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/164044.

Advance Building. (2558). Building envelope. Retrieved From http://www.advancedbuildings.net/files/advancebuildings/Envelope-General_0.pdf

Bojan, Ivana, Nina. (2012). Quality assurance of an energy performance of building airtightness testing. Retrieved From https://bib.irb.hr/datoteka/573607.zrakopropusnost_zgrade_kvaliteta_izvedbe_energetska_uinkovitost.pdf

Energy Efficiency Building Envelope Retrofits for Your House. CMHC. Retrieved from http://www.cmhc.ca/en/co/grho/grho_011.cfm.

Environnet. (2556). การใช้ไฟฟ้า : บ้านประหยัดพลังงาน (3). สืบค้นจาก http://www.environnet.in.th/2014/?p=3881

James J. Hirsch and Associates. (2009). eQUEST version 3.64. Retrieved From www.doe2.com/equest

Knauf Insulation. (2559). Comparative characteristics of stone and glass mineral wool. Retrieved From http://www.knaufinsulation.rs/en/comparative-characteristics-stone-and-glass-mineral-wool

Laquatech. (2559). ฉนวนสะท้อนความร้อน Polynum. สืบค้นจาก http://www.laquatech.com/Lsmart_2016/index.php/th/polynum-th

Minnesota Sustainable Housing Initiative. (2559). Insulation. Retrieved From http://www.mnshi.umn.edu/kb/scale/insulation.html

Pavit ization. (2558). ฉนวนกันความร้อน ROOF BATT ตราช้าง สำหรับงานหลังคา ขนาด 0.95x0.60 ม. หนา75มม. สืบค้นจาก http://xn--12cajs4fabb5ect4bce6gscu2xib9in.blogspot.com/2015/10/roof-batt-095x060-75.html

Polynumint. (2559). Polynum™ Super. สืบค้นจาก http://www.polynumint.com/super-polynum/

Romel. (2010, Jan 1). Aislando la furgo. Muchas fotos [Online forum comment]. Retrieved from http://www.furgovw.org/index.php?topic=182903.0

Twoplus Technologies. (2553). Twoplus EIFS System. สืบค้นจาก http://www.twoplustechnologies.com/Twoplus+EIFS+System+/index.html

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงเปลือกอาคารของบ้านกรณีศึกษา 1 หลัง

ช่วงระยะเวลาคืนทุน	ระยะเวลาคืนทุน	แนวทางการปรับปรุงที่	แนวทางการปรับปรุง		
			ชนิดกระจก	ผนังอาคาร	ฉนวนฝ้าเพดาน
0-10 ปี	0.0	1	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
	5.5	16	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
	7.9	31	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
10-20 ปี	10.8	32	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
	10.9	34	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์0.5"
	11.5	33	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
	11.6	35	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์1.2"
	12.4	17	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
	12.5	19	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 0.5"
	13.9	18	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
	14.1	20	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 1.2"
	17.5	2	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
	17.8	41	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
	18.0	4	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 0.5"
	19.4	42	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
	19.5	44	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 0.5"
	19.7	43	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
	19.8	45	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 1.2"

ช่วงระยะเวลาคืนทุน	ระยะเวลาคืนทุน	แนวทางการปรับปรุงที่	แนวทางการปรับปรุง		
			ชนิดกระจก	ผนังอาคาร	ฉนวนฝ้าเพดาน
20-30 ปี	21.2	3	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
	21.8	5	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์1.2"
	23.8	46	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
	24.2	36	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
	25.7	37	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
	25.8	39	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 0.5"
	26.0	38	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
	26.0	40	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 1.2"
	27.1	47	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
	27.2	49	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 0.5"
	27.8	48	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
	28.0	50	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 1.2"
	29.9	56	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
30-50 ปี	31.7	57	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
	31.8	59	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์0.5"
	32.0	58	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
	32.1	60	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 1.2"

ช่วงระยะเวลาคืนทุน	ระยะเวลาคืนทุน	แนวทางการปรับปรุงที่	แนวทางการปรับปรุง		
			ชนิดกระจก	ผนังอาคาร	ฉนวนฝ้าเพดาน
30-50 ปี	33.1	26	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
	36.7	27	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
	36.9	29	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์0.5"
	37.2	51	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
	37.4	28	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
	37.5	30	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 1.2"
	38.7	52	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
	38.9	54	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ม 0.5"
	39.0	53	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
	39.0	55	กระจก low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 1.2"
	48.5	21	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
50-100ปี	51.7	22	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
	52.0	24	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 0.5"
	52.2	23	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
	52.3	25	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนแผ่นโพลีนั่ม 1.2"
	74.8	11	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
	81.7	12	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
	82.7	13	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
	82.7	14	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 0.5"
	82.9	15	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ+ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 1.2"

ช่วงระยะเวลาคืนทุน	ระยะเวลาคืนทุน	แนวทางการปรับปรุงที่	แนวทางการปรับปรุง		
			ชนิดกระจก	ผนังอาคาร	ฉนวนฝ้าเพดาน
100 ปีขึ้นไป	115.8	6	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
	120.5	7	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
	120.6	8	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
	120.9	10	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 1.2"
	121.8	9	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ+ฉนวน EIFS หนา 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ 0.5"

ภาคผนวก ข

คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รุ่น R49.02 หมวดเปลือกอาคาร ในการปรับปรุงวัสดุเปลือกคารแต่ละชนิด

วัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงเปลือกอาคาร	**ค่าคุณสมบัติวัสดุ**	**คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน**
1.วัสดุกระจก	**SHGC**	**TEEAM**
กระจกใส	0.81	0 คะแนน
กระจกสีเขียว	0.61	3 คะแนน
กระจกสะท้อนแสง	0.19	7 คะแนน
กระจก Low-E 2 ชั้น	0.28	10 คะแนน
2.วัสดุฉนวนผนังอาคาร	**U-value**	**คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน**
	$W/m^{2o}C$	**TEEAM**
ผนังก่ออิฐมอญ	3.93	0 คะแนน
ผนังก่ออิฐมอญติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	0.32	3 คะแนน
ผนังก่ออิฐมอญติดตั้งระบบฉนวนผนัง EIFS 3 นิ้ว	0.45	3 คะแนน
3.วัสดุฉนวนฝ้าเพดาน	**R_t-value**	**คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมิน**
	$m^{2o}C/W$	**TEEAM**
ฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ดฉาบเรียบ ติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน	0.052	0 คะแนน
ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	2	9 คะแนน
ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว	4	12 คะแนน
ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30	1.5	6 คะแนน
ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43	4.5	12 คะแนน

ภาคผนวก ค

คะแนนที่ได้จากเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หมวดเปลือกอาคาร ในการปรับปรุงวัสดุเปลือกคารแต่ละชนิดร่วมกันทั้ง 60 กรณี

คะแนนที่ได้จากการปรับปรุง	แนวทางการปรับปรุง		
	วัสดุกระจก	วัสดุฉนวนผนังอาคาร	วัสดุฉนวนฝ้าเพดาน
3	กระจกใส	ระบบผนังฉนวน EIFS 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
		ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนโพลีเอทธีลีน 0.5"
	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 0.5"
6	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
	กระจกสีเขียว	ระบบผนังฉนวน EIFS 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 0.5"
		ฉนวนใยแก้ว 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 0.5"
7	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 0.5"
9	กระจกใส	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 1.2"
		ระบบผนังฉนวน EIFS 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
		ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
10	กระจกสะท้อนแสง	ระบบผนังฉนวน EIFS 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 0.5"
	กระจกสะท้อนแสง	ฉนวนใยแก้ว 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 0.5"
	กระจก Low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 0.5"
12	กระจกใส	ระบบผนังฉนวน EIFS 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 1.2"
		ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 1.2"
	กระจกสีเขียว	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 1.2"
		ระบบผนังฉนวน EIFS 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
		ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"

คะแนนที่ได้จากการปรับปรุง	แนวทางการปรับปรุง		
	วัสดุกระจก	วัสดุฉนวนผนังอาคาร	วัสดุฉนวนฝ้าเพดาน
13	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
	กระจก Low-E 2 ชั้น	ระบบผนังฉนวน EIFS 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 0.5"
		ฉนวนใยแก้ว 3"	หลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 0.5"
15	กระจกสีเขียว	ระบบผนังฉนวน EIFS 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 1.2"
		ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 1.2"
16	กระจกสะท้อนแสง	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 1.2"
		ระบบผนังฉนวน EIFS 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
		ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
	กระจก Low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 3"
19	กระจกสะท้อนแสง	ระบบผนังฉนวน EIFS 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 1.2"
		ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 1.2"
	กระจก Low-E 2 ชั้น	ผนังอิฐมอญ	ฉนวนใยแก้ว 6"
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 1.2"
		ระบบผนังฉนวน EIFS 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
		ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 3"
22	กระจก Low-E 2 ชั้น	ระบบผนังฉนวน EIFS 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 1.2"
		ฉนวนใยแก้ว 3"	ฉนวนใยแก้ว 6"
			ฉนวนโพลีเอทธีลีน 1.2"

วัสดุที่ไม่ได้คะแนนจากการเกณฑ์ประเมินฯในการปรับปรุงเปลือกอาคาร

ภาคผนวก ง
ราคาวัสดุและค่าแรงงานที่ใช้ในการปรับปรุงเปลือกอาคาร

วัสดุกระจก	ราคาวัสดุ (บาท/ตารางเมตร)	ราคาค่าแรง (บาท/ตารางเมตร)	ราคาค่ารื้อถอน (บาท/ตารางเมตร)	รวมราคาค่าก่อสร้าง (บาท/ตารางเมตร)	หมายเหตุ
กระจกใส	204	97	-	301	ไม่คิดค่ารื้อถอน เนื่องจาก เป็นวัสดุของบ้าน Basecase
กระจกสีเขียว	202	97	40	339	-
กระจกสะท้อนแสง	982	97	40	1,119	-
กระจก Low-E 2 ชั้น	2,856		40	2,896	ราคาวัสดุรวมค่าบานกรอบหน้าต่าง

หมายเหตุ. ราคาค่าวัสดุสอบถามจากผู้จัดจำหน่าย ราคาค่าแรงงานสืบค้นจากบัญชีค่าวัสดุและค่าแรงงาน สำหรับปี 2558/2559 โดย กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สพฐ. และราคาค่ารื้อถอนสืบค้นจาก บัญชีค่าแรงงาน/ดำเนินการ สำหรับการถอดแบบคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง ฉบับปรับปรุง เดือน ตุลาคม 2558 โดย กรมบัญชีกลาง

วัสดุกระจก	ราคาวัสดุ (บาท/ตารางเมตร)	ราคาค่าแรง (บาท/ตารางเมตร)	รวมราคาค่าก่อสร้าง (บาท/ตารางเมตร)	หมายเหตุ
ผนังก่ออิฐมอญติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	243	208	451	-
ผนังก่ออิฐมอญติดตั้งระบบฉนวนผนัง EIFS 3 นิ้ว	700		700	ระบบฉนวนผนัง EIFS ใช้ฉนวน EPS หนา 3 นิ้ว

หมายเหตุ. ราคาค่าวัสดุและค่าแรงสอบถามจากผู้ให้บริการติดตั้งฉนวนผนัง

วัสดุกระจก	ราคาวัสดุ (บาท/ตารางเมตร)	ราคาค่าแรง (บาท/ตารางเมตร)	รวมราคาค่าก่อสร้าง (บาท/ตารางเมตร)
ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	135	50	185
ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว	178	50	228
ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 30	139	50	189
ฉนวนแผ่นโพลีเอทธีลีนบับเบิลฟอยล์ R_t 43	185	50	235

หมายเหตุ. ราคาค่าวัสดุสอบถามจากผู้จัดจำหน่าย และราคาค่าแรงงานสืบค้นจากบัญชีค่าวัสดุและค่าแรงงาน สำหรับปี 2558/2559 โดย กลุ่มออกแบบและก่อสร้าง สพฐ.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาว จารุวรรณ สุขสีดา
วันเดือนปีเกิด	2 มีนาคม พ.ศ.2535
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2556: วิทยาศาสตรบัณฑิต (สถาปัตยกรรมศาสตร์) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ทุนการศึกษา	ปีงบประมาณ 2558: ทุนสนับสนุนการวิจัยประเภทวิจัยทั่วไปสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา กองทุนวิจัย