

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดวัฏจักรวงจรชีวิตของการปรับปรุงกรอบอาคาร

นิรุทธิ์ อมรณรัตน์

การศึกษารายบุคคลนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยี  
และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2562

# **Life Cycle Cost Assessment of Building Envelope Improvements**

**Nirutt Amonkanarat**

**A Individual Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements**

**for the Degree of Master of Engineering**

**College of Innovative Technology and Engineering**

**Dhurakij Pundit University**

**2019**



## ใบรับรองการศึกษารายบุคคล

วิทยาลัยนวัตกรรมการศึกษาด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อการศึกษารายบุคคล การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดวัฏจักรวงจรชีวิตของการปรับปรุงกรอบอาคาร

เสนอโดย

นิรุทธิ์ อมรคณรัตน์

สาขาวิชา

การจัดการทางวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์

ได้พิจารณาเห็นชอบ โดยคณะกรรมการสอบการศึกษารายบุคคลแล้ว

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรเดช วุฒิไพโรจน์)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรณรัตน์)

วิทยาลัยนวัตกรรมการศึกษาด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กิรติพรานนท์)

คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมการศึกษาด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 20 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2562

หัวข้อการศึกษารายบุคคล	การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดวัฏจักรวงจรชีวิตของการปรับปรุง กรอบอาคาร
ชื่อผู้เขียน	นิรุทธิ์ อมรคณารัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์
สาขาวิชา	การจัดการทรัพยากรอาคารและพลังงาน
ปีการศึกษา	2561

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะทางด้านพลังงานของการปรับปรุง  
กรอบอาคาร โดยทำการสำรวจอาคารสถานพยาบาลสูงสี่ชั้น ศึกษารูปแบบกรอบอาคารส่วนของ  
ผนัง กระจก ฝ้าเพดาน และหลังคา เพื่อนำมาสร้างเป็นต้นแบบอาคารอ้างอิงและคำนวณการใช้  
พลังงานในอาคาร โดยใช้โปรแกรม BEC เวอร์ชัน 1.0.6 แล้วเปรียบเทียบทางเลือกในการปรับปรุง  
กรอบอาคาร 4 แบบ คือ (1) เพิ่มฉนวนใยแก้วใต้หลังคาและเปลี่ยนสีอาคารจากสีเข้มเป็นสีขาว (2)  
เพิ่มการเปลี่ยนฉนวนใต้หลังคาเป็นโพลีเอทธิลีน หนา 1.2 นิ้ว (3 ซม) และเปลี่ยนผนังเป็นผนัง  
คอนกรีตมวลเบาหนา 10 ซม ฉาบปูน (ความหนาแน่น 620 กก/ลบม) (3) ติดตั้ง Solar PV พื้นที่  
370.98 ตารางเมตรและเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสง (Solar Tag 6 mm Insulating Glass)  
และ (4) เปลี่ยนกระจกเป็นกระจกใส Low E (Insulating Glass) จากนั้นทำการเปรียบเทียบต้นทุน  
การก่อสร้าง การบำรุงรักษา การซ่อมและเปลี่ยนวัสดุและอุปกรณ์ในอาคาร แล้ววิเคราะห์ค่าใช้จ่าย  
ตลอดอายุการใช้อาคาร 50 ปี ผลการศึกษาพบว่า กรณีทางเลือกที่ 3 คำนวณค่า OTTV ได้ 27.234  
W/m<sup>2</sup> และ RTTV 3.274 W/m<sup>2</sup> ซึ่งค่า OTTV ลดลง และค่าใช้จ่ายทางเลือกที่ 3 เป็นเงิน  
3,113,186.48 บาท ค่าใช้จ่ายเพิ่มจากอาคารต้นแบบ 2,415,434.65 บาท พลังงานไฟฟ้าในอาคาร  
203,119.41 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟ 731,229.88 บาท / ปี ลดลงเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ  
451,875.96 บาท/ปี จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 5.35 ปี เมื่อคิดค่าใช้จ่ายต้นทุน LIFE CYCLE COST ของ  
ทางเลือกที่ 3 มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุอาคาร 50 ปี เป็นเงิน 17,730,589 บาท ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายตลอดวัฏ  
จักรวงจรชีวิตของการปรับปรุงกรอบอาคารที่น้อยที่สุด

Individual Study Title	Life Cycle Cost Assessment of Building Envelope Improvements
Author	Nirutt Amonkanarat
Individual Study Advisor	Assistant Professor Aumnad Phdungsilp, Ph.D., Tekn. Dr
Department	Engineering Management
Academic Year	2018

### ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the energy efficiency of building envelope improvement. By surveying the four-story hospital building. Study of the building envelope, glass wall, ceiling and roof to be used as a reference building model. And calculate the energy consumption in the building By using the BEC version 1.0.6 and comparing the alternative ways to improve the 4 building models (1) Polyethylene, 1.2 inches thick (3 cm) and change the wall to a 10 cm thick concrete wall with plaster (density 620 kg / cubic meter) (3). Install Solar PV, area 370.98 square meters and change the glass is a reflection glass (Solar Tag 6 mm insulating glass) and (4). Glass Replacement glass low E (Insulating Glass) and then comparing the construction costs. Maintenance Repair and replacement of building materials and equipment Analyze the cost over the life of the building for 50 years. The results showed that In case of alternative 3, measure OTTV can be  $27.234 \text{ W / m}^2$  and RTTV  $3.274 \text{ W / m}^2$ , which OTTV value decreases and alternative cost 3 is 3,113,186.48 baht, additional cost from the prototype building 2,415,434.65 baht, energy Electricity in buildings 203,119.41 kWh / year, equivalent to electricity cost 731,229.88 baht / year, decreased compared to the prototype building 451,875.96 baht / year. There will be a break-even point of 5.35 years when the cost of life cycle cost of choice 3 is Costs throughout the building age 50 years to 17,730,589 baht the costs throughout the life cycle of the building improvements is the least cost

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษารายบุคคลฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำแนวทางการศึกษาต่างๆ ตลอดจนช่วยกรุณาตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องและชี้แนะเกี่ยวกับการศึกษาวิจัย อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และขอขอบคุณ คุณปฐมพงศ์ ตรีบันพฤกษ์ เพื่อนร่วมชั้นเรียน ที่สละเวลาให้คำแนะนำในเนื้อหาการวิจัย ทางผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบการศึกษารายบุคคล ที่ให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงให้มีความถูกต้องและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อการศึกษา ทางผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณท่านคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การส่งเสริม และเป็นกำลังใจในการเข้าศึกษาต่อจนสำเร็จการศึกษา รวมถึงคณาจารย์ทุกท่าน เจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตฯ ประโยชน์อันใดที่เกิดจากการศึกษารายบุคคลเล่มนี้เป็นผลมาจากความกรุณาของท่านที่กล่าวมาข้างต้น

นิรุทธิ์ อมรณารัตน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ฅ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ฎ
<b>บทที่</b>	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการประหยัดพลังงานในอาคาร (ชานิกานต์ ยิ้มประยูร, 2558, น. 3-11).....	3
2.2 ระบบกรอบอาคาร (Building Envelope System) (คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) พ.ศ. 2553).....	9
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	65
3. ระเบียบวิธีวิจัย.....	67
3.1 ศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นและกำหนดวัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	68
3.2 กำหนดขอบเขตของการศึกษา.....	68
3.3 ศึกษาผลงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	68
3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	69
3.5 ศึกษารูปแบบของข้อมูล และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ.....	86
4. ผลการศึกษา.....	89
4.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร.....	90
5. สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	92
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	92

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5.2 การอภิปรายผล.....	92
5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป.....	93
บรรณานุกรม.....	94
ภาคผนวก.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	110





สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สัดส่วนการใช้ผนังทึบชนิดต่างๆ.....	10
2.2 ค่าสมบัติของวัสดุประกอบเปลือกอาคารบางชนิด.....	11
2.3 ค่าสมบัติของวัสดุฉนวนบางชนิด.....	13
2.4 ค่าคุณสมบัติของกระจก.....	19
2.5 ค่าสมบัติของกระจกบางชนิด.....	22
2.6 แสดงค่า OTTV และ RTTV ของอาคารประเภทต่างๆ ตามเกณฑ์ ที่ได้ปรับปรุงใหม่.....	26
2.7 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร.....	29
2.8 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร.....	30
2.9 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะ ของวัสดุต่างๆ.....	31
2.10 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิด ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า.....	34
2.11 ส่วนหนึ่งของตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) ของผนังทึบสำหรับอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา.....	36
2.12 ส่วนหนึ่งของตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) ของผนังทึบสำหรับอาคารประเภทห้างสรรพสินค้าหรือซูเปอร์มาร์เก็ต.....	39
2.13 ส่วนหนึ่งของตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) ของผนังทึบ สำหรับอาคารประเภทโรงแรมและโรงพยาบาล.....	40
2.14 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือ ผนังโปร่งแสง.....	44
2.15 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับ อาคารแต่ละประเภท.....	45
2.16 ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ ตามองเห็น (Visible transmittance) ของกระจกชนิดต่างๆ.....	45

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
2.17 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารสำนักงาน หรือสถานศึกษา(W/m2).....	47
2.18 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภท ห้างสรรพสินค้า (W/m2).....	48
2.19 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภท โรงแรม โรงพยาบาล(W/m2).....	49
2.20 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับหลังคาอาคาร.....	50
2.21 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในหลังคาอาคาร.....	51
2.22 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของเพดานใต้หลังคา.....	52
2.23 แสดงค่า OTTV และ RTTV ของอาคารประเภทต่างๆ ตามเกณฑ์ที่ได้ ปรับปรุงใหม่.....	63
2.24 ปัจจัยที่มีผลต่อค่า OTTV และ RTTV.....	64
2.25 มาตรการการดำเนินการให้กรอบอาคารมีประสิทธิภาพสูง.....	64
3.1 การแบ่งโซนอาคารชั้น 1.....	70
3.2 การแบ่งโซนอาคารชั้น 2.....	71
3.3 การแบ่งโซนอาคารชั้น 3.....	72
3.4 การแบ่งโซนอาคารชั้น 4.....	73
3.5 การกำหนดกรอบอาคาร.....	74
3.6 การแบ่งส่วนผนังอาคาร.....	76
3.7 การกำหนดอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารต้นแบบ .....	78
3.8 กำหนดโซนไฟฟ้าและแสงสว่าง .....	78
3.9 แสดงประเภทเครื่องปรับอากาศในอาคารต้นแบบ.....	82
3.10 กำหนดโซนเครื่องปรับอากาศ.....	82
3.11 แสดงค่าก่อสร้างส่วนเปลือกอาคารของอาคารต้นแบบ และ ทางเลือกแต่ละแนวทาง.....	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.12 แสดงค่า OTTV RTTV อาคารต้นแบบ และ ทางเลือก.....	87
3.13 แสดงค่าใช้จ่ายในการลงทุนเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคาร ค่าพลังงานในแต่ละ ทางเลือก.....	88
4.1 Life Cycle Cost การปรับปรุงกรอบอาคารแต่ละทางเลือก.....	91



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 Investment cost VS operating cost analysis.....	6
2.2 Incremental cost (Marginal cost analysis).....	6
2.3 Net saving analysis.....	7
2.4 แหล่งความร้อนต่างๆ ของอาคารปรับอากาศ.....	9
2.5 ตัวอย่างวัสดุประกอบผนังทึบ.....	12
2.6 ประเภทของกระจกอาคาร.....	15
2.7 ตัวอย่างของกระจกใส.....	16
2.8 ตัวอย่างของกระจกสี.....	16
2.9 กระจกกันความร้อน.....	18
2.10 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ.....	24
2.11 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก.....	24
2.12 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุ แตกต่างกัน n ชนิด.....	28
2.13 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุ แตกต่างกัน n ชนิด และมี ช่องว่างอากาศภายใน.....	29
2.14 วัสดุที่มีมวลอุณหภาพ (Thermal Mass) สูง.....	54
2.15 วัสดุที่มีค่ามวลความร้อน (Thermal Mass) ต่ำ.....	55
2.16 ผนังที่บุฉนวน.....	56
2.17 การติดตั้งอุปกรณ์บังแดด.....	58
2.18 ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ผ่านทางกระจกชนิดต่างๆ.....	59
2.19 การบุฉนวนที่ได้หลังคาแผ่นโลหะ.....	60
2.20 การบุฉนวนใต้พื้นช่องส่งลมเย็นของห้องคอมพิวเตอร์.....	62
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	67
3.2 การแบ่งโซนอาคารชั้น 1.....	70
3.3 การแบ่งโซนอาคารชั้น 2.....	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.4 การแบ่งโซนอาคารชั้น 3.....	72
3.5 การแบ่งโซนอาคารชั้น 4.....	74



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการของการใช้อาคารมีแนวโน้มสูงขึ้น ทำให้เกิดการก่อสร้างอาคารที่เพิ่มขึ้นทั้งอาคารพักอาศัย อาคารพาณิชย์ รวมถึงอาคารประเภทต่างๆ ด้วยการแข่งขันทางเศรษฐกิจที่สูง เจ้าของอาคาร และผู้ก่อสร้างอาคารจึงต้องบริหารต้นทุนให้มีค่าใช้จ่ายในช่วงการก่อสร้างอาคารที่ต่ำที่สุด มุ่งเน้นการลดค่าใช้จ่ายโดยเฉพาะในช่วงการดำเนินการก่อสร้างช่วงแรก ทั้งการออกแบบ การลดต้นทุนวัสดุก่อสร้าง การขนส่ง แต่มักไม่ได้คำนึงถึงช่วงของการใช้อาคาร การบำรุงรักษาอาคาร ซึ่งส่งผลถึงการใช้งบประมาณของอาคารตลอดวัฏจักรวงจรชีวิตของอาคาร การเลือกใช้วัสดุกรอบอาคารจึงมีผลต่อการใช้งบประมาณในอาคาร และ ค่าใช้จ่ายต่างๆที่จะเกิดขึ้น เช่น การเลือกใช้วัสดุกระจกแบบต่างๆ กระจก Low-E กระจกสะท้อนแสง หรือกระจกเขียว ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (SHGC) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U-value) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ที่ต่างกัน และราคาค่าวัสดุที่ต่างกันมีผลต่อการใช้งบประมาณในอาคาร และค่าใช้จ่ายตลอดวัฏจักรวงจรชีวิตที่ต่างกันออกไป (จารุวรรณ สุขสีดา, 2558:85) การออกแบบการเลือกใช้วัสดุอาคาร การลดการเลือกใช้วัสดุอาคารที่ไม่ได้คำนึงถึงการใช้งบประมาณ ทำให้อาคารลดประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนจึงมีผลกระทบต่อการใช้งานในอาคารในระยะสั้น และระยะยาว

วัฏจักรวงจรชีวิตของอาคารแบ่งเป็น 4 ช่วงคือ 1) ช่วง Product Stage เป็นช่วงของการออกแบบ การจัดเตรียมวางแผนการก่อสร้าง การเตรียมเครื่องมือเครื่องจักรในการก่อสร้าง และการวางแผนการขนส่งในการก่อสร้าง 2) ช่วง Construction Stage เป็นช่วงการก่อสร้างอาคารตามการออกแบบ การขนส่ง การติดตั้งเครื่องมือเครื่องจักรตามที่ออกแบบ 3) ช่วง Use Stage เป็นช่วงที่ยาวนานที่สุดของวัฏจักรวงจรชีวิตของอาคาร มีการใช้งานอาคาร การบำรุงรักษาอาคาร การซ่อม การเปลี่ยน การทดแทนวัสดุ อุปกรณ์ในอาคาร และ 4) ช่วง End of Life Stage เป็นช่วงหมดอายุขัยของอาคาร มีการรื้อถอน การทำลาย การขนย้ายซากจากการทำลาย ซึ่งแต่ละช่วงของวัฏจักรวงจรชีวิตของอาคารมีการใช้งบประมาณ และค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกันออกไป จึงได้มีการนำข้อมูลของการก่อสร้างอาคาร มาทำการศึกษาวิจัย การจำลองการใช้ และการเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคาร คำนวณการใช้งบประมาณในอาคาร ตลอดช่วงวัฏจักรวงจรชีวิตของอาคาร โดยใช้โปรแกรม BEC (Building Energy Code) เวอร์ชัน 1.0.6 ในการจำลองการใช้งบประมาณในอาคาร ซึ่งเมื่อได้ผลการประเมินการ

ใช้วัสดุกรอบอาคารที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร และ เกิดสมรรถนะสูงสุด จะเป็นต้นแบบในการประเมิน การพิจารณา วางแผนการก่อสร้าง พัฒนาอาคาร โครงการอื่นๆ ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประเมินสมรรถนะทางด้านพลังงานของการปรับปรุงกรอบอาคารและทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดวัฏจักรวงจรชีวิตของการปรับปรุงกรอบอาคาร

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลการก่อสร้างอาคาร การใช้วัสดุกรอบอาคารการใช้พลังงานในอาคารของอาคารสถานพยาบาลสูง 4 ชั้น
2. เปรียบเทียบการใช้วัสดุอาคาร เพื่อคำนวณการใช้พลังงานในอาคาร และประเมินสมรรถนะของวัสดุอาคาร ในด้านการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม
3. การประเมินการใช้พลังงานในอาคารโดยใช้โปรแกรม BEC (Building Energy Code) เวอร์ชัน 1.0.6

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อการประหยัดพลังงานในอาคาร (ชนิกานต์ ยิ้มประยูร, 2558, น. 3-11)

##### 2.1.1 การวิเคราะห์การลงทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของอาคาร หรือที่เรียกว่า Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) คือ วิธีการทางเศรษฐศาสตร์ที่พิจารณาค่าใช้จ่ายตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ การใช้งาน การบำรุงรักษา ตลอดจนการทำลายเพื่อให้สามารถตัดสินใจในทางเลือกต่างๆ ในการออกแบบอาคารหรือปรับปรุงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานซึ่งหากพิจารณาเพียงมูลค่าในการลงทุนเริ่มแรกจะทำให้ไม่เห็นภาพของค่าใช้จ่ายรวมที่มักจะมากกว่าการลงทุน ซึ่งในทางเลือกต่าง ๆ นั้น อาจมีค่าใช้จ่ายในแต่ละขั้นตอนแตกต่างกัน หากแต่อยู่ที่มุมมองในภาพรวมในระยะยาวตลอดอายุของอาคารว่าทางเลือกใดจะให้ผลที่ตอบสนองต่อความต้องการของเจ้าของ หรือผู้บริหารอาคารในด้านต่างๆ มากน้อยเพียงใด เช่น ผลในด้านการประหยัดพลังงาน ผลในด้านคุณภาพการใช้อาคาร ผลในด้านความปลอดภัย ฯลฯ

โครงการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร เป็นตัวอย่างที่ดีสำหรับการวิเคราะห์ Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) เนื่องจากการออกแบบอาคารใหม่ (New Building) หรือการปรับปรุงอาคารเก่า (Retrofitted Existing Building) ให้มีประสิทธิภาพพลังงานมากขึ้นนั้น มักมีการลงทุน หรือค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในทางเลือกต่างๆ ดังนั้นการพิจารณาตัดสินใจว่าโครงการที่เป็นทางเลือกต่างๆ จะสามารถดำเนินการได้คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์หรือไม่นั้น มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาในระยะยาวตลอดอายุโครงการ ซึ่งทำให้การจัดลำดับความสำคัญในการดำเนินโครงการ โดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ LCCA ในด้านต่างๆ มาช่วยให้นักลงทุน หรือผู้ให้แหล่งเงินกู้ในโครงการมีข้อมูลประกอบการตัดสินใจได้ง่ายยิ่งขึ้น รวมถึงเจ้าของหรือผู้บริหารโครงการสามารถเลือกการดำเนินงานที่มีค่าใช้จ่ายโดยรวมที่ต่ำสุด (Lowest overall cost) โดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างในขั้นตอนการออกแบบอาคาร การวิเคราะห์การลงทุน และการสามารถนำเสนอผลการลงทุนเปรียบเทียบกันได้อย่างน่าเชื่อถือ มีความจำเป็นมากในการตัดสินใจเพื่อปรับปรุงอาคาร หรือเลือกทางเลือกในการออกแบบอาคารที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงาน

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ LCCA ที่ผ่านมา มักประสบกับอุปสรรคจากความไม่เข้าใจที่เพียงพอ ดังนี้



- มีการวิเคราะห์ LCCA ที่ชำรุดเกินไป (ไม่ได้ทำในช่วงออกแบบ) เนื่องจากถูกมองว่าเป็นเพียงเครื่องมือในการยืนยันผลการออกแบบ ซึ่งแท้จริงแล้วมีวัตถุประสงค์หลักคือ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อตัดสินใจในทางเลือกการลงทุนที่ดีที่สุด

- เอกสาร Owner Project Requirement (OPR's) เสร็จล่าช้ากว่ากระบวนการออกแบบและก่อสร้าง ทำให้ขาดความชัดเจนของงานจากฝ่ายต่างๆ

- การเติบโตขยายส่วนต่างๆของอาคาร ทำให้ยากต่อการใช้งานและบำรุงรักษา และส่งผลกระทบต่อการใช้วิเคราะห์ LCCA ที่คลาดเคลื่อน

2.1.2 แนวความคิดและวิธีการคำนวณการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของโครงการ

ค่าใช้จ่ายตลอดทั้งวัฏจักรชีวิต (Life-Cycle Cost, LCC) ถูกนำมาใช้ประกอบการวิเคราะห์และกำหนดค่าดัชนีประสิทธิภาพพลังงานของระบบอาคาร โดยจะเป็นตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์สำหรับประเมินความเหมาะสมของโครงการ ค่าใช้จ่ายตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตประกอบด้วย ค่าลงทุน ค่าดำเนินการ ค่าพลังงาน ค่าซ่อมบำรุง รวมถึงมูลค่าซากของระบบ ในกระบวนการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่แตกต่างกันจะถูกแปลงเป็นมูลค่าปัจจุบัน (Present value) โดยคำนึงถึงมูลค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา สามารถแสดงได้ด้วยสมการการคำนวณต่อไปนี้

$$LCC = (I_0 + Repl - Res) + (E + OM\&R)$$

เมื่อ

$$LCC = \text{Total Life Cycle Cost in Present Value of given alternative}$$

$$I_0 = \text{Initial Investment Cost}$$

$$Repl = \text{Present Value Capital replacement cost}$$

$$Res = \text{Present Value Residual (resale value, scrap value, salvage value) less disposal costs}$$

$$E = \text{Present Value Energy Cost}$$

$$OM\&R = \text{Present Value non-fuel operating, maintenance, and repair costs}$$

โดยสรุป การคำนวณ LCC นั้นจะทำให้สามารถเปรียบเทียบเงินที่ได้รับหรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่างช่วงเวลาได้ โดยการแปลงเงินในอนาคตทั้งหมดให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยช่วงเวลาที่เกิดค่าใช้จ่ายขึ้นของทุกมาตรการต้องเท่ากัน จึงต้องพิจารณาเลือกช่วงเวลาในการวิเคราะห์ให้เหมาะสม

ค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาของมาตรการมี 3 ประเภทคือ

- ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นครั้งเดียว เช่น ค่าลงทุนครั้งแรก ค่าซ่อม ค่ากำจัดซาก

สูตรการหามูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นครั้งเดียว

$$PV = F_t / (1+d)^t$$

เมื่อ

PV = Present Value คือ เงินต้น หรือ มูลค่าปัจจุบัน

$F_t$  = Future value @ year t คือเงินรวม หรือมูลค่าในอนาคต ณ ปี t

d = Discount rate อัตราส่วนลด

t = Time เวลา (ปีในอนาคต)

- ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นประจำปีด้วยปริมาณที่ใกล้เคียงกันในแต่ละปี เช่น ค่าใช้งาน ค่า

บำรุงรักษา

สูตรการหามูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นประจำปี

$$PV = A_0 / (1+d)^1 + A_0 / (1+d)^2 + \dots + A_0 / (1+d)^n$$

หรือ

$$PV = A_0 \left[ \frac{1 - (1+d)^{-n}}{d} \right]$$

เมื่อ

PV = Present Value คือ เงินต้น หรือ มูลค่าปัจจุบัน

$A_0$  = Annual recurring cost คือค่าใช้จ่ายในแต่ละปี

d = Discount rate อัตราส่วนลด

n = Time เวลา (ปีในอนาคต)

- ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นประจำปีด้วยปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี เช่น ค่าไฟฟ้าที่มี

การปรับราคาขึ้นทุกปี

สูตรการหามูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นประจำปีแต่มีปริมาณที่เปลี่ยนแปลงใน

แต่ละปี

$$PV = A_0 (1+e)^1 / (1+d)^1 + A_0 (1+e)^2 / (1+d)^2 + \dots + A_0 (1+e)^n / (1+d)^n$$

หรือ

$$PV = A_0 \left[ \frac{1+e}{1+d} \right] \left[ \frac{1 - (1+e/1+d)^n}{1 - (1+e/1+d)} \right]$$

เมื่อ

PV = Present Value คือ เงินต้น หรือ มูลค่าปัจจุบัน

$A_0$  = Annual recurring cost คือค่าใช้จ่ายในแต่ละปี

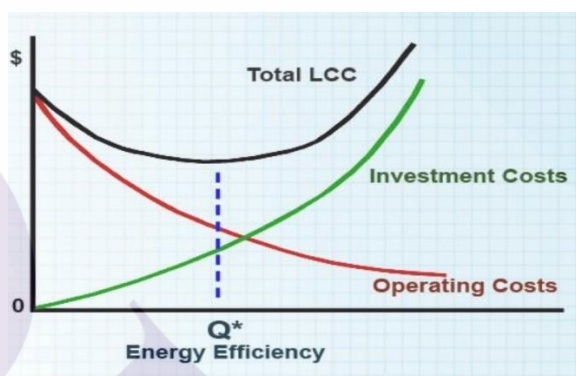
d = Discount rate อัตราส่วนลด

n = Time เวลา (ปีในอนาคต)

e = Escalation cost อัตราการขึ้นราคา

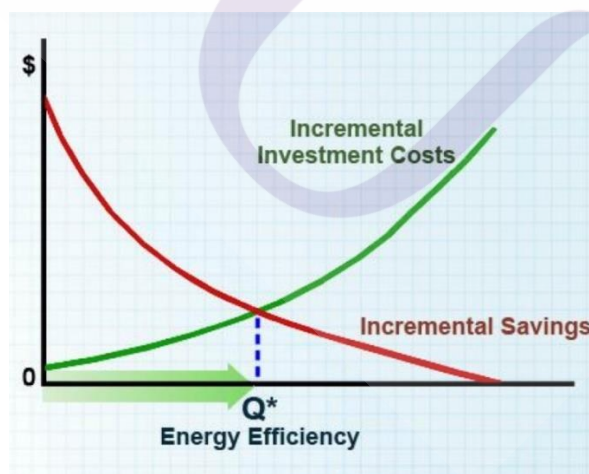
หลักของแนวทางการเลือกแนวทางการประหยัดพลังงานคือต้องเลือกมาตรการที่มีมูลค่าปัจจุบันของการประหยัดที่มากกว่ามูลค่าปัจจุบันของการลงทุน (Saving must exceed cost) โดยทั่วไปการประเมินการลงทุนที่เหมาะสมในการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ด้วย LCCA มี 3 วิธีคือ

- Investment cost VS operating cost analysis เป็นการคำนวณเพื่อหาจุดที่ค่า LCC ของการลงทุนรวมกับค่าดำเนินการ (Investment cost + operating cost) ต่ำที่สุด



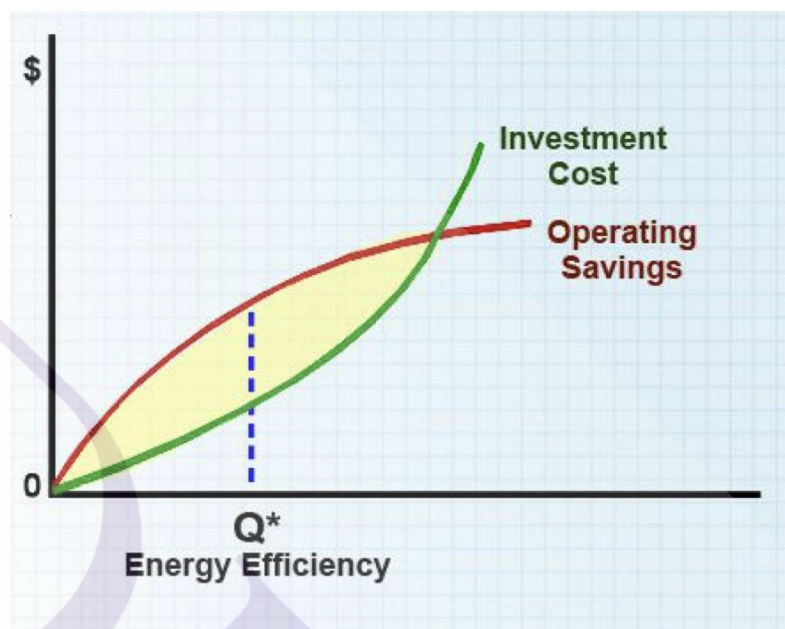
ภาพที่ 2.1 Investment cost VS operating cost analysis

- Incremental cost (Marginal cost analysis) เป็นการคำนวณเพื่อหาจุดที่ค่า LCC ของการลงทุนเท่ากับค่าประหยัดที่ได้ (Investment cost = Operating saving) โดยจุดนี้เป็นจุดที่มีค่า LCC ต่ำที่สุด



ภาพที่ 2.2 Incremental cost (Marginal cost analysis)

- Net saving analysis เป็นการคำนวณเพื่อหาจุดที่ค่าประหยัดที่ได้ (Operating saving – Investment cost) สูงที่สุด



ภาพที่ 2.3 Net saving analysis

#### Life Cycle Cost Analysis (LCCA)

การเตรียมข้อมูลเบื้องต้น : การคำนวณ LCCA นั้นจะต้องทราบข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ก่อนดังนี้

1. ปัญหาและวัตถุประสงค์ ต้องการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพต่ำ หรือต้องการใช้เงินสนับสนุน

2. ความละเอียด และเวลาที่ใช้

3. วิธีการในการเก็บข้อมูลเพื่อการนำเสนอ ควรจะต้องเช็คกลับได้ หรือทำซ้ำได้ โดยข้อมูลที่ต้องการได้แก่

- ลักษณะโครงการและจุดมุ่งหมาย
- มาตรการทางเลือก
- ค่าพื้นฐานต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ
- ค่าใช้จ่ายต่างๆ และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
- วิธีการคำนวณ
- วิธีการวิเคราะห์

- ผลประโยชน์ด้านอื่นๆที่ไม่สามารถคำนวณเป็นมูลค่าได้ของแต่ละมาตรการ
- ข้อเสนอแนะ

4. ทางเลือกของมาตรการ โดยเบื้องต้นควรเลือกมาตรการที่ดี อยู่ในงบประมาณ ข้อจำกัดด้านเวลาและข้อจำกัดด้านความสามารถที่ต้องทำได้ ควรพิจารณาถึงประโยชน์อื่นๆที่อาจจะไม่สามารถแปลเป็นปริมาณได้โดยง่าย เช่น ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ผลกระทบสุขภาพ โดยควรต้องแสดงให้เห็นตั้งแต่ต้น โครงการ

5. ข้อมูลที่ต้องการในการคำนวณ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายต่างๆ ควรเลือกค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกันในแต่ละมาตรการ ค่าใช้จ่ายที่ไม่แตกต่างกัน หรือแตกต่างกันน้อยมากในแต่ละมาตรการ หรือมีปริมาณน้อยมาก ไม่ต้องนำมาคำนวณ และไม่ต้องรวมค่าใช้จ่ายที่ใช้ไปแล้วก่อนการคำนวณ ค่าใช้จ่ายต่างๆ ประกอบด้วย

- Investment cost ได้แก่ มูลค่าการลงทุน (initial investment cost (Acquisition or First cost), ค่าซ่อมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ (replacement cost) และ มูลค่าซากเมื่อหมดอายุโครงการ residual value of the project

- Operating cost มูลค่าในการดำเนินการ ได้แก่ ค่าดำเนินการ (operating cost) ค่าบำรุงรักษา (maintenance cost) และ ค่าซ่อมแซม (repair) ทั้งสามค่าสามารถเรียกรวมกันได้ว่า ค่า OM&R และ ค่าพลังงาน energy cost

- อื่นๆเช่น ค่าไร เงินช่วยเหลือ การคืนภาษี

6 แหล่งที่มาของข้อมูลที่เชื่อถือได้

ข้อมูลของโครงการก่อนการปรับปรุง (base case)

- Initial investment cost จาก supplier/ catalogue / database

- Maintenance and repair cost จาก database/ professional experiences/ historical facility data

ข้อมูลของมาตรการที่จะปรับปรุง (Project alternative cost for study period)

- จำนวนและประมาณการค่าใช้จ่าย อาจต้องใช้ energy modeling program

- ค่าพลังงานในปัจจุบัน ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าและโครงสร้างค่าไฟฟ้า

- ราคาไฟฟ้าในอนาคต โดยมีมูลค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 2% ต่อปี

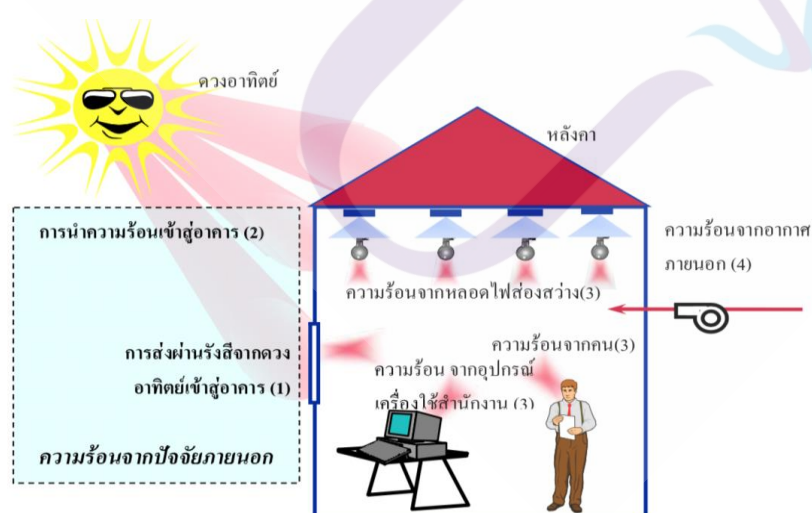
การเลือกช่วงเวลาในการศึกษาหรืออายุของโครงการต้องเท่ากัน ดังนั้นต้องเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมตามที่เจ้าของโครงการหรือผู้ลงทุนเห็นสมควร อาจจะสั้น 5-10 ปี หรือยาวแต่ไม่ควรเกิน 40 ปี ระยะเวลาที่เลือกนี้ อาจมีผลอย่างมากต่อการวิเคราะห์

7. การทำ cash-flow diagram ควรทำเบื้องต้นสำหรับทุกทางเลือก จะทำให้เห็นภาพรวม โดยการนำ cash-flow diagram มี 2 แบบคือ แบบ Turn-key และแบบ Phrase-in project

## 2.2 ระบบกรอบอาคาร (Building Envelope System) (คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) พ.ศ. 2553)

สำหรับอาคารหนึ่งๆ ภาระการปรับอากาศเป็นผลจากปัจจัยภายนอก อันได้แก่ ความร้อนที่การถ่ายเทจากภายนอกอาคารเข้าสู่ตัวอาคาร และจากปัจจัยภายใน อันได้แก่ ความร้อนที่เกิดจากภายในตัวอาคารเองโดยปกติแล้ว ความร้อนจากที่ถ่ายเทจากภายนอกจะมีสัดส่วนสูงกว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายใน คือคิดเป็นร้อยละ 60 ของภาระการปรับอากาศ ภาพที่ 2.4 แสดงแหล่งความร้อนต่างๆ ของภาระการปรับอากาศ ซึ่งประกอบด้วย

- การส่งผ่านรังสีจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคารโดยตรงผ่านพื้นผิวที่โปร่งแสง เช่น หน้าต่าง, หลังคาโปร่งแสง (Skylight)
- การนำความร้อนเข้าสู่อาคารโดยผ่านทางผนังภายนอก (ผนังทึบและผนังกระจก) พื้น และหลังคา
- ความร้อนที่เกิดขึ้นจากตัวคน, หลอดไฟส่องสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่อยู่ในอาคาร
- ความร้อนที่เกิดจากอากาศภายนอกที่นำเข้ามาเพื่อการระบายอากาศภายในหรือที่แทรกซึมเข้าสู่อาคาร (เช่น อากาศที่ผ่านเข้าทางประตูหรือหน้าต่างในส่วนที่เปิดไว้)



ภาพที่ 2.4 แหล่งความร้อนต่างๆ ของภาระการปรับอากาศ

### 2.2.1 วัสดุผนังทึบ

ผนังอาคารสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ ผนังทึบและผนังกระจก ผนังทั้งสองนี้มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนทั้งในด้านกายภาพและกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากการศึกษารายงานการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารกว่า 273 แห่ง ซึ่งมากพอที่จะใช้เป็นตัวแทนของอาคารควบคุม เราจะพบว่าวัสดุที่ใช้สำหรับประกอบเปลือกอาคารมีหลากหลายชนิด อย่างไรก็ตามอาจสามารถจัดกลุ่มของวัสดุเปลือกอาคารตามวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของวัสดุเปลือกอาคารที่ใช้ในอาคารควบคุมดังกล่าว เมื่อพิจารณาข้อมูลจากตารางจะพบว่าวัสดุเปลือกอาคารที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ ผนังก่ออิฐฉาบปูน

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนการใช้ผนังทึบชนิดต่างๆ

ลักษณะของผนังทึบ	จำนวนอาคาร [จากทั้งหมด 273 อาคาร] <sup>1</sup>	สัดส่วนการใช้ ผนัง <sup>2</sup> [%]	ช่วงของค่า U- value [W/m <sup>2</sup> ]
ผนังชั้นเดียวก่อสร้างด้วยอิฐ	143	20.5 – 98.7	1.5 – 4.7
ผนังชั้นเดียวก่อสร้างด้วยคอนกรีต	66	20.5 – 98.7	1.0 – 4.1
ผนังชั้นเดียว ก่อสร้างด้วยคอนกรีตบล็อก	28	21.5 – 86.9	1.3 – 3.1
ผนังสองชั้น ก่อสร้างด้วยอิฐ	9	20.1 – 79.2	1.2 – 1.9
ผนังสองชั้น ก่อสร้างด้วยคอนกรีต	22	21.6 – 90.2	1.0 – 1.9
ผนังสองชั้น ก่อสร้างด้วยคอนกรีตบล็อก	17	21.6 – 79.0	0.9 – 1.8
ผนังกระจก	6	29.8 – 87.1	1.4 – 1.6

<sup>1</sup> ค่าซึ่งแสดงจำนวนของอาคารตามข้อมูลอาคารที่มีอยู่

<sup>2</sup> ค่านี้แสดงช่วงของอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบที่พิจารณาเทียบกับพื้นที่ผนังทึบทั้งหมดของอาคาร

แม้ว่าวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นผนังทึบจะมีความหลากหลาย แต่หากพิจารณาโดยอาศัยเกณฑ์ในการถ่ายเทความร้อนแล้ว วัสดุก่อสร้างในส่วนผนังทึบอาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

- วัสดุที่ไม่มีความเป็นฉนวนและ

- วัสดุที่มีความเป็นฉนวน

ตารางที่ 2.2 และ 2.3 แสดงค่าสมบัติต่างๆ ของวัสดุก่อสร้างบางชนิดที่ไม่มีความเป็นฉนวนและมีความเป็นฉนวน ตามลำดับ เราจะสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าค่าสภาพนำความร้อนระหว่างวัสดุทั้ง 2 ประเภทมีความแตกต่างกันอย่างมาก

ตารางที่ 2.2 ค่าสมบัติของวัสดุประกอบเปลือกอาคารบางชนิด

รายการวัสดุ	อิฐมอญ ครึ่งแผ่น	อิฐมอญ เต็มแผ่น	คอนกรีต บล็อก	คอนกรีต มวลเบา	ยิปซัมบอร์ด	ไฟเบอร์ บอร์ด
รูปแบบกายภาพ	(ก้อน)	(ก้อน)	(ก้อน)	(ก้อน)	(แผ่น)	(แผ่น)
ขนาด (cm <sup>3</sup> )	7x16x3.5	(2) 7x16x3.5	7x19x39	7.5x20x60	0.12x120x240	0.2x120x240
ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	1615-1650	1650	765	550-640	800	1250-1350
สภาพนำความร้อน(W/m. K)	0.473	0.473	0.519	0.089-0.132	0.14-0.19	0.210
การบำรุงรักษา	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย
อายุการใช้งาน	มากกว่า 50 ปี	มากกว่า 50 ปี	มากกว่า 50 ปี	ยังไม่คงที่	-	-
ข้อดี	- เป็นที่ ยอมรับ - ช่าง ชำนาญ - แข็งแรง ทน	- เป็นที่ ยอมรับ - ช่าง ชำนาญ - แข็งแรง ทน - กันความ ร้อนเข้า อาคารได้ มากกว่า	- แข็งแรง - ราคาถูก - มีช่อง อากาศ ที่ช่วยกัน ความร้อน ได้	- คุณภาพ คงที่ - น้ำหนัก น้อย - กันความ ร้อนดี	- กันความ ร้อน - ดูแลรักษา ง่าย - ไม่ลามไฟ - กันเสียง - ติดตั้งง่าย	- ทำงานเร็ว - นน.เบา - ไม่ลามไฟ - ป้องกัน เสียง - ติดตั้งง่าย

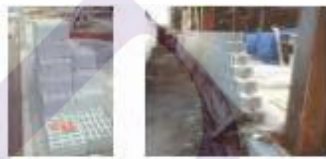


ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

รายการวัสดุ	อิฐมอญ ครึ่งแผ่น	อิฐมอญ เต็มแผ่น	คอนกรีต บล็อก	คอนกรีต มวลเบา	ยิปซัมบอร์ด	ไฟเบอร์ บอร์ด
ข้อเสีย	- คุณภาพ และ ขนาดไม่ แน่นอน - ใช้ เวลานาน - น้ำหนัก มาก	- ดูดซึมน้ำ และ เก็บ ความชื้น	- อายุใช้งาน ยังไม่มีการ ยืนยัน - ต้องใช้ปูน ฉาบเฉพาะ	- ไม่ค่อย แข็งแรง - ไม่ทนน้ำ - ราคาสูง	- หากชื้นมาก จะบิดงอ เปลี่ยนรูป - อาจมีรา หาก ไม่ดูแล	- เก็บ ความชื้น



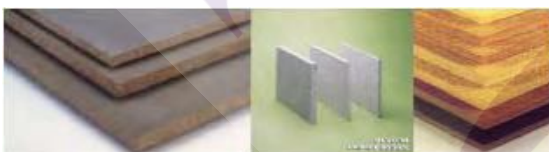
อิฐมอญ



อิฐบล็อก



อิฐมวลเบา



ยิปซัมบอร์ด



ฉนวนใยแก้ว

ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างวัสดุประกอบผนังทึบ

ตารางที่ 2.3 ค่าสมบัติของวัสดุฉนวนบางชนิด

รายการวัสดุ	ฉนวนใยแก้ว 2"	ฉนวนเยื่อกระดาษ	แผ่นสะท้อนความร้อน Aluminium	ยิบซัมบอร์ด+แผ่นสะท้อนความร้อน	ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน	เซรามิกโคตติ้ง
รูปแบบกายภาพ	หุ้มปิด, บุได้ หลังคา ,ปูบนฝ้า (แผ่น)	หุ้มปิด, บุได้ หลังคา ,ปูบนฝ้า (แผ่น)	ม้วน ติดตั้ง	แผ่น ติดตั้ง	หุ้ม ปิด บุ	พ่นเหนือ หลังคา
ขนาด (cm <sup>3</sup> )	5x60x400 >50 มม.(หุ้ม) >50 มม. (บุ) >75 มม. (บุ) >50 มม.(แผ่น)	7.5x60x400	หนา 150 ไมครอน x125x6,000	1.2x60x120	10x60x120	หนา x122x1,650 50 มม. 75 มม.
ค่าความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	16 >64 มม. (หุ้ม) >24 มม. (บุ) >16 มม. (บุ) >32 มม.(แผ่น)	45-80	0.17	800+Fail	1 ปอนด์/ลบ.ฟ. 16	-
สภาพนำความร้อน (W/m.K)	0.035 (บุ) 0.0365 (บุ) 0.033 (แผ่น)	0.029-0.045	-	0.19+Fail	0.035	-
การบำรุงรักษา		เปลี่ยนใหม่เมื่อหมดอายุการใช้งาน	ทำไม่ได้	ทำความสะอาดได้	-	-
อายุใช้งาน (ปี)	5-10	5-10	-	-	5-15	-

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

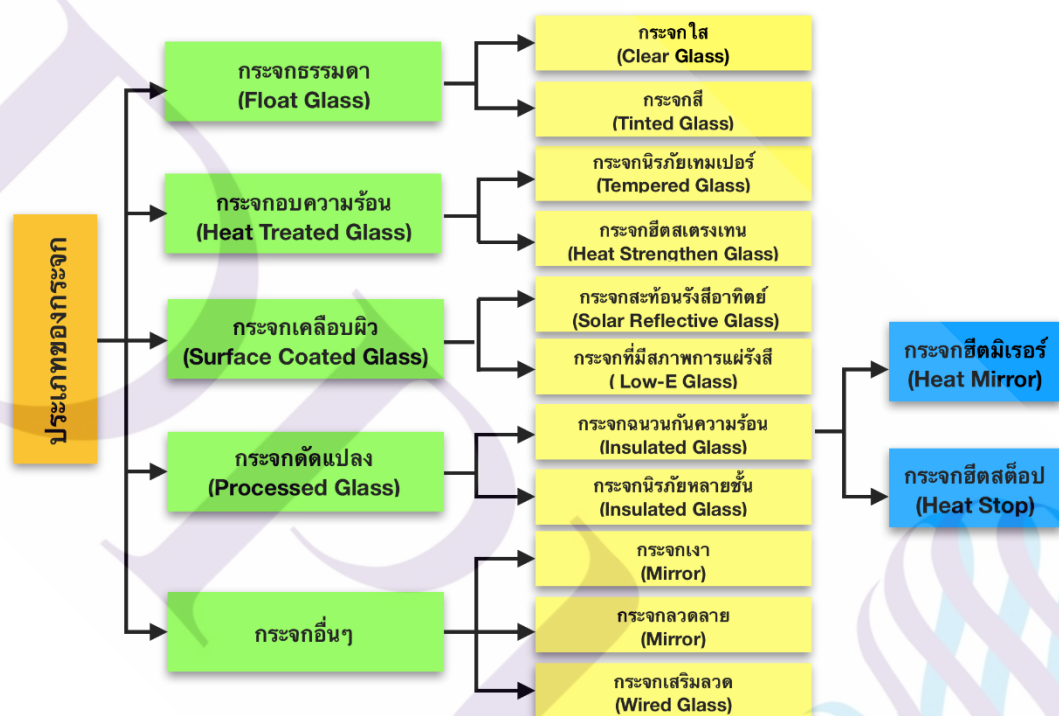
รายการวัสดุ	ฉนวนใยแก้ว 2"	ฉนวนเยื่อกระดาษ	แผ่นสะท้อนความร้อน Aluminium	ยิบซัมบอร์ด+แผ่นสะท้อนความร้อน	ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน	เซรามิกโคตติ้ง
ข้อดี	- หาง่าย - ติดตั้งง่าย	- หาง่าย - ติดตั้งง่าย	- ไม่มีสารพิษ - ลดเสียงสะท้อน - น้ำหนักเบา - ไม่มีกลิ่น - ไม่มีช่องว่างระหว่างฉนวนกับส่วนที่ฉลุดพัน	- ทน UV, ไม่คิดไฟ - ป้องกันการกัดกร่อนของสนิม - น้ำหนักเบา	- ใช้เป็นตัวฉลิดหรือกันซึม - การแทรกซึมไอน้ำ หรือการดูดซึมความร้อนต่ำ - น้ำหนักเบา - ผสมสีต่างๆ ได้	- ไม่เปื้อนอันตราย - ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ - ทน UV - ไม่ขึ้นรา
ข้อเสีย	- น้ำหนักมาก - เป็นสารก่ออันตราย - ช่ยสลายไม่ได้ - มีกลิ่น เมื่อขึ้น - คุณสมบัติจะลดลง - สัตว์เล็กทำรังภายใน - ตัวประสานลูกใหม่ได้	- น้ำหนักมาก - เป็นสารก่ออันตราย - ช่ยสลายไม่ได้ - มีกลิ่น - สัตว์เล็กทำรังภายใน - เมื่อขึ้นคุณสมบัติจะลดลง	- ถ้ามีฝุ่นเกาะคุณสมบัติจะลดลง	- ถ้ามีฝุ่นเกาะคุณสมบัติจะลดลง	- ติดไฟได้ - ขณะลุกไหม้เกิดควันที่เป็นพิษแก่ตัวการเดินสารกันไฟ - ไม่ทนน้ำมันเบนซิน ทินเนอร์ น้ำมันสน - ไม่ทนแสงแดด	- เป็นที่อยู่อาศัยของแมลงต่างๆ หากไม่มีการป้องกันที่ดีพอ

### 2.2.2 กระจก

กระจกเป็นวัสดุกรอบอาคารที่ปัจจุบันได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย กระจกมีด้วยกันหลายประเภท นอกจากนี้ในแต่ละประเภทยังมีความหนาและค่าสมบัติทางความร้อนที่แตกต่างกัน กระจกที่ใช้ประกอบอาคารโดยทั่วไปได้แก่ กระจกชั้นเดียวที่มีความหนาระหว่าง 3-6 มิลลิเมตรกระจกมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อภาวะความร้อนของอาคาร ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังกระจกอาจมีค่าสูง 5-10 เท่า เมื่อเทียบกับผนังทึบ การเลือกใช้กระจกที่มีความสามารถในการ

ป้องกันความร้อนจะสามารถลดภาวะความร้อนของอาคารลงได้อย่างมาก สำหรับกระจกแล้ว เรายังต้องพิจารณาถึงการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติของแสงธรรมชาติ ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันเราสามารถผลิตกระจกที่มีความเหมาะสมมากขึ้น กล่าวคือ มีความสามารถในการป้องกันความร้อนได้ดี และในขณะเดียวกันก็สามารถนำเอาแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานภายในอาคารได้อย่างเหมาะสมด้วย

สำหรับแผนภาพที่ 2.6 แสดงการจัดแบ่งประเภทของกระจกที่มีใช้ในอาคาร



ภาพที่ 2.6 ประเภทของกระจกอาคาร

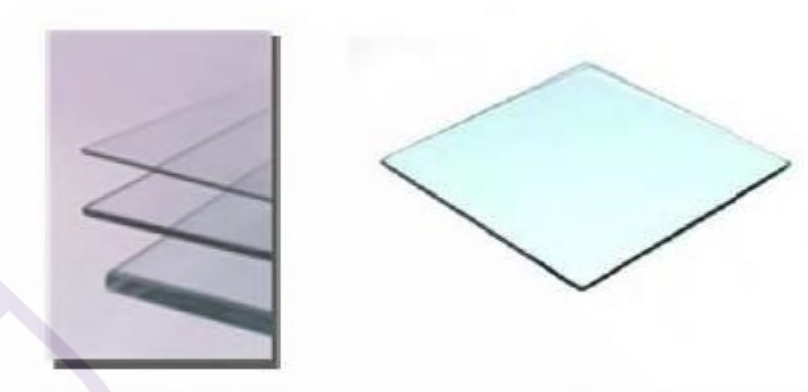
#### กระจกธรรมดา (Float glass)

กระจกธรรมดาเป็นกระจกพื้นฐานที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตโดยตรง ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ กระจกใส และกระจกสี

#### ก) กระจกใส (Float glass)

กระจกใสเป็นกระจกโปร่งใสที่มีผิวทั้งสองด้านเรียบสนิท ให้ภาพในการมองเห็นชัดเจน และมีราคาถูกที่สุด กระจกชนิดนี้ยอมให้แสงผ่านเข้ามาสูง (ร้อยละ 88) จึงมีแสงสว่างกระจายเข้ามาภายในห้องเป็นจำนวนมากแต่ในขณะเดียวกันก็จะมีปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามามากด้วยเช่นกัน (ร้อยละ 83) ดังนั้น ใ้การใช้งานจึงมักมีการติดฟิล์มกรองแสง หรือการใช้ร่วมกับ

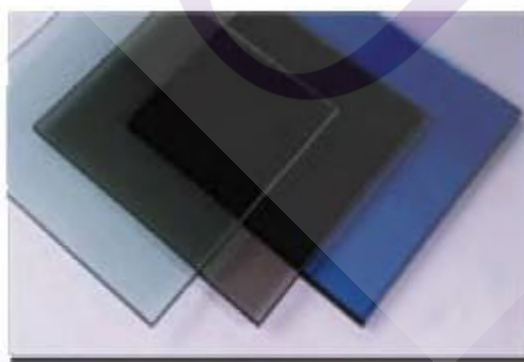
อุปกรณ์บังแดด เป็นต้น กระจกใสยังเป็นกระจกพื้นฐานเพื่อนำไปผลิตกระจกประเภทอื่นๆ ภาพ 2.7 แสดงตัวอย่างของกระจกใส



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างของกระจกใส

#### ข) กระจกสี (Color glass)

กระจกสีหรือกระจกดูดกลืนความร้อน (Heat absorbing glass) ผลิตขึ้นโดยการผสมโลหะออกไซด์เข้าไปในส่วนผสมในขั้นตอนการผลิตกระจกทำให้กระจกมีสีสีน้ำตาล ความเข้มของสีจะเพิ่มมากขึ้นตามความหนาของกระจก ซึ่งจะส่งผลทำให้การดูดกลืนความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่สะสมอยู่ในเนื้อกระจกมีมากขึ้นด้วย ฉะนั้น การนำไปใช้งานจึงควรให้ความสนใจและระมัดระวังคุณสมบัติเหล่านี้ด้วย อีกทั้งกระจกชนิดนี้เมื่อมองภายนอกจะมีความคล้ายกับกระจกตัดแสงที่มีสี แต่คุณสมบัติในการป้องกันความร้อนจะต่างกัน จึงควรสอบถามให้แน่ชัดก่อนว่าเป็นชนิดใดก่อนการเลือกซื้อ



ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างของกระจกสี

### กระจกอบความร้อน (Heat treated glass)

กระจกอบความร้อนเป็นกระจกใสหรือกระจกสีที่นำไปผ่านกระบวนการปรับแต่งคุณภาพของเนื้อกระจกเพื่อให้มีความแข็งแรงมากขึ้น หรือรับแรงกระทำภายนอกได้มากขึ้น ซึ่งแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

#### ก) กระจกนิรภัยเทมเปอร์ (Tempered glass)

กระจกนิรภัยเทมเปอร์เป็นการนำกระจกไปผ่านกระบวนการเทมเปอร์ริง (Tempering) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง โดยการสร้างให้เกิดชั้นของแรงอัดขึ้นที่ผิวแก้วเพื่อต้านแรงจากภายนอก ซึ่งทำได้โดยการให้ความร้อนกับกระจกที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัวของแก้วเล็กน้อยที่ประมาณ 650-700°C และทำให้ผิวกระจกเย็นตัวอย่างรวดเร็ว

#### ข) กระจกฮีตสเตรงเทน (Heat strengthen glass)

กระจกฮีตสเตรงเทนเป็นกระจกที่ได้จากกระบวนการผลิตที่คล้ายกับกระจกนิรภัยเทมเปอร์ คือ ให้ความร้อนกับกระจกแล้วปล่อยให้เย็นตัวลง แต่ต่างจากกระจกนิรภัยเทมเปอร์ตรงที่การผลิตกระจกฮีตสเตรงเทนจะปล่อยให้กระจกเย็นตัวลงอย่างช้าๆ จึงทำให้ความแข็งแรงน้อยกว่ากระจกนิรภัย

### กระจกเคลือบผิว (Surface coated glass)

กระจกเคลือบผิวเป็นกระจกธรรมดาที่นำไปผ่านกระบวนการเคลือบโลหะบนผิวกระจก เพื่อให้เกิดการสะท้อนแสงและความร้อนจากแสงอาทิตย์สำหรับนำไปใช้งานในด้านการประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนมีความสวยงามมากขึ้น

#### ก) กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์ (Solar reflective glass)

กระจกสะท้อนรังสีอาทิตย์เป็นกระจกธรรมดาที่เคลือบผิวด้วยโลหะออกไซด์ซึ่งมีคุณสมบัติด้านการสะท้อนแสงทำให้สามารถสะท้อนพลังงานจากรังสีอาทิตย์ได้บางส่วน กระจกมีค่าการสะท้อนแสงค่อนข้างสูงความโปร่งแสงค่อนข้างน้อย มีสีสนสวยงามหลายสีที่แตกต่างกัน ขึ้นกับรูปแบบการเคลือบและสีของกระจกที่เป็นวัตถุดิบที่นำมาเคลือบ

#### ข) กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Low-e glass)

กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำเป็นกระจกที่เคลือบสารโลหะโดยมีโลหะเงินบริสุทธิ์เป็นองค์ประกอบสำคัญเพื่อให้ได้ผิวเคลือบที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำมาก ทั้งนี้เพื่อให้เกิดลักษณะเด่นในการเพิ่มประสิทธิภาพและคุณสมบัติในการประหยัดพลังงาน โดยที่กระจกยังคงมีลักษณะใส ไม่ทึบแสง ให้ค่าแสงส่งผ่านมากและมีค่าการสะท้อนแสงน้อย ค่าการแผ่รังสีเป็นคุณสมบัติจำเพาะของผิววัตถุมดๆ ที่บ่งบอกถึงความสามารถในการสะท้อนความร้อนที่ตกกระทบบนผิววัตถุนั้นๆ หรือความสามารถในการแผ่รังสีความร้อนออกจากผิววัตถุนั้นๆ ดังนั้นกระจกแผ่นใดที่เคลือบด้วยสารที่

มีค่าการแผ่รังสีต่ำมากๆ จึงหมายความว่า กระจกนั้นมีความสามารถในการแผ่รังสีต่ำ ด้วยเหตุนี้เอง ทำให้กระจกชนิดนี้ถูกนำไปใช้ทำเป็นกระจกฉนวนกันความร้อนได้เป็นอย่างดี

กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำจะสะท้อนคลื่นความร้อนและยอมให้แสงผ่านกระจกได้ในปริมาณใกล้เคียงกับกระจกธรรมดา ในขณะที่เดียวกันก็สามารถสะท้อนคลื่นความร้อนและป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกได้ดี และมีการสะท้อนแสงน้อย กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำช่วยในการประหยัดพลังงานได้สูงโดยยอมให้รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาในอาคาร ขณะที่สะท้อนรังสีคลื่นยาวหรือรังสีความร้อนออกพอสมควร ในประเทศที่มีอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย กระจกประเภทนี้มีความเหมาะสม

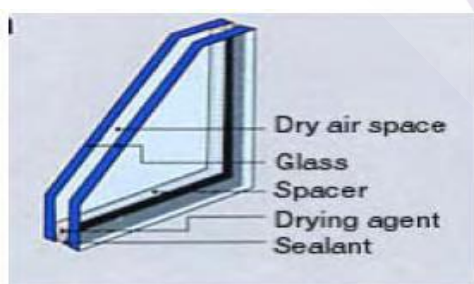
#### กระจกตัดแปลง (Processed glass)

กระจกตัดแปลงเป็นกระจกที่นำมาตัดแปลงด้วยกระบวนการต่างๆ เพื่อตอบสนองการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป กระจกในกลุ่มนี้ ได้แก่ กระจกฉนวนกันความร้อน และกระจกนิรภัยหลายชั้น

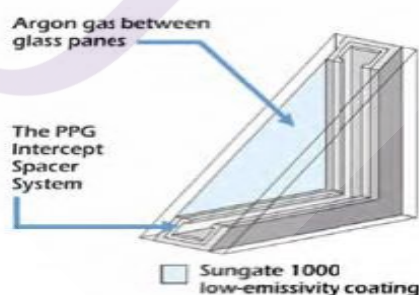
#### ก) กระจกฉนวนกันความร้อน (Insulated glass)

มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กระจก 2 ชั้น (Doubled Glazing) มีคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อนต่ำสามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคารได้ดี สามารถแบ่งตามชนิดของฉนวนกันความร้อนได้ ดังนี้

- กระจกกันความร้อนชนิดใช้อากาศแห้งเป็นฉนวน ได้จากการนำกระจกแผ่นเรียบธรรมดา 2 แผ่น มาประกบกันโดยมีเฟรมอลูมิเนียมที่บรรจุสารดูดความชื้นกั้นกลาง จากนั้นปิดขอบกระจกให้สนิทดังรูป ผลที่ได้ก็คือ อากาศภายในช่องว่างระหว่างกระจกทั้ง 2 แผ่นจะเป็นอากาศแห้ง ซึ่งอากาศแห้งมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ติดนอกจากนี้ยังช่วยลดเสียงรบกวนจากภายนอกได้มากกว่ากระจกธรรมดาอีกด้วย



ใช้อากาศแห้งเป็นฉนวนตรงกลาง



ใช้ก๊าซเป็นฉนวนตรงกลาง

ภาพที่ 2.9 กระจกกันความร้อน

- กระจกกันความร้อนชนิดใช้ก๊าซเป็นฉนวน คล้ายกับแบบใช้อากาศแห้งคือ การใช้กระจกแผ่นเรียบ 2 แผ่นประกบกับเฟรมอลูมิเนียมแต่ชนิดนี้จะบรรจุก๊าซเฉื่อยลงไปแทนดังรูป ซึ่งมีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบใช้อากาศแห้ง และในกรณีที่น่ากระจกนิรภัยมาประกอบเป็นกระจกฉนวนกันความร้อน (Airless Laminated Insulating Glass) ก็จะทำให้ความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น แต่จะมีราคาสูงขึ้นไปจากเดิมที่มีราคาสูงอยู่แล้ว การใช้กระจก 2 ชั้นโดยที่มีช่องว่างอากาศและก๊าซป้องกันความร้อนคั่นอยู่ตรงกลางนี้ สามารถช่วยลดความร้อนได้ประมาณ 70-80% ในขณะที่ยอมให้แสงธรรมชาติผ่านได้ในปริมาณสูง จึงให้ความสว่างที่ปลอดภัย และในกรณีที่ติดฟิล์มด้านในของกระจกทั้ง 2 แผ่น ก็จะช่วยป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) เข้ามาทำลายวัสดุต่างๆ ภายในอาคารได้อีกด้วย

#### คำศัพท์และคำนิยามสมบัติของกระจก

ในการเลือกใช้กระจกได้อย่างถูกต้องเหมาะสม เราจำเป็นต้องรู้จักคำศัพท์และคำนิยามที่ใช้ในการอ่านค่าคุณสมบัติของกระจก ซึ่งเกี่ยวข้องกับการประหยัดพลังงาน โดยพิจารณาจากตารางที่ 2.4 ซึ่งเป็นรูปแบบที่บริษัทผู้ผลิตกระจกส่วนใหญ่ใช้ในปัจจุบัน ตารางดังกล่าวเป็นตัวอย่างที่แสดงค่าคุณสมบัติของกระจก ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของวิธีการอ่านค่าคุณสมบัติได้ดังนี้

ตารางที่ 2.4 ค่าคุณสมบัติของกระจก

Visible Light			UV Tran s. (%)	Solar Energy					U-Value		RHG (W/m <sup>2</sup> )
Trans. (%)	Refl.			Trans (%)	Refl. (%)	Abs.	Solar factor	SC.	U-Summer (W/m <sup>2</sup> K)	U-Winter (W/m <sup>2</sup> K)	
	Out (%)	In (%)									
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]

Visible Light Transmission หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของปริมาณแสงที่มองเห็นได้ที่สามารถส่งผ่านกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด



Visible Light Reflection (Out) หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของปริมาณแสงที่มองเห็นได้ที่สะท้อนออกจากกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด เมื่อแสงที่ตกกระทบมาจากด้านนอกอาคาร (มุมตกกระทบน้อยกว่า 10 องศา)

Visible Light Reflection (In) หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของปริมาณแสงที่มองเห็นได้ที่สะท้อนออกจากกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด เมื่อแสงที่ตกกระทบมาจากด้านในอาคาร (มุมตกกระทบน้อยกว่า 10 องศา)

Ultra-Violet Transmission หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สามารถส่งผ่านกระจก ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด

Solar-Energy Transmission or Direct Energy Transmission หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกโดยตรง โดยที่ความยาวคลื่นไม่เปลี่ยนแปลงต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด

Solar Energy Reflection หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่สะท้อนออกจากกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด (มุมตกกระทบน้อยกว่า 10 องศา)

Solar Energy Absorption หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้โดยกระจกต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด

Solar Factor or Total Energy Transmission หน่วยเป็น %

เป็นอัตราส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ผ่านกระจกเข้ามาในอาคารต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบกระจกทั้งหมด โดยที่พลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดเป็นผลรวมของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกเข้ามาโดยตรงกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากการแผ่รังสีของพลังงานที่สะสมอยู่ในกระจกทั้งหมดเข้ามาด้านในอาคาร (Reradiation (In)) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 1/3 เท่าของพลังงานที่สะสมอยู่ในกระจกทั้งหมด

Shading Coefficient ; SC

เป็นค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกเข้ามาในอาคาร เมื่อเปรียบเทียบกับกระจกใส หนา 3 มิลลิเมตร กล่าวคือ Shading Coefficient เป็น

อัตราส่วนของ Solar Factor ของกระจกที่ต้องการวัดกับค่า Solar Factor ของกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร โดยคำนวณได้จากสูตร

$$\text{Shading Coefficient} = \frac{\text{Solar Factor ของกระจกที่ต้องการวัด}}{\text{Solar Factor ของกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร}}$$

หมายเหตุ. Solar Factor ของกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร มีค่าประมาณ 0.87

#### U-Summer-W/m<sup>2</sup>K

เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (U-Value) โดยคำนวณตามสภาพอากาศในฤดูร้อนของประเทศอเมริกาและใช้เงื่อนไขการคำนวณของ ASHRAE ดังต่อไปนี้

อุณหภูมิภายนอกอาคาร	= 89 °F (≈ 32°C)
อุณหภูมิภายในอาคาร	= 75 °F (≈ 24°C)
ความเร็วลม	= 7.5 ไมล์ต่อชั่วโมง (≈ 12 km/h)
ความเข้มรังสีอาทิตย์	= 248.2 Btu/ft <sup>2</sup> -h (≈ 782 W/m <sup>2</sup> )

#### U-Winter-W/m<sup>2</sup>K

เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกอาคาร (U-Value) โดยคำนวณตามสภาพอากาศในฤดูหนาวของประเทศอเมริกาและใช้เงื่อนไขการ

คำนวณของ ASHRAE ดังต่อไปนี้

อุณหภูมิภายนอกอาคาร	= 0 °F (≈ -18°C)
อุณหภูมิภายในอาคาร	= 75 °F (≈ 20°C)
ความเร็วลม	= 15 ไมล์ต่อชั่วโมง (≈ 24 km/h)

#### RHG (Relative Heat Gain) -W/m<sup>2</sup>K

เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่ผ่านกระจกเข้าสู่ภายในอาคารทั้งหมด ซึ่งรวมพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีอาทิตย์โดยตรง และพลังงานความร้อนจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารเข้าด้วยกัน ซึ่งการพิจารณาค่าของพลังงานดังกล่าวทำได้ดังนี้

12.1 พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ พิจารณาได้จากค่า Shading Coefficient

12.2 พลังงานความร้อนจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร พิจารณาได้จาก ค่า U-Value Summer โดยค่า RHG สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$RHG = (630 \text{ W/m}^2 \times \text{Shading Coefficient}) + (8 \text{ }^\circ\text{C} \times \text{U-Value (Summer)})$$

ตารางที่ 2.5 ค่าสมบัติของกระจกบางชนิด

รายการวัสดุ	กระจกใส	กระจกสี			กระจกตัดแสง			กระจกสะท้อนแสง			กระจกกันความร้อน			ฟิล์มลดความร้อน
		Cool Gray	Sky blue	Ocean Green	Cool gray	Sky blue	Ocean Green	Yellow	Blue	Green	Clear G.-Dry Air-Clear G.	CG.+Low E-DryAir-Clear G.	CG.+Low E-DryAir-Clear G.	
ความหนา (mm.)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6-12-6	6-12	6-12-6	
ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา (SC)	0.96	0.64	0.68	0.65	0.32	0.51	0.67	0.24	0.32	0.28	0.82	0.65	0.27	0.20-0.60
ค่าการนำความร้อน (W/m.K)	0.779	0.904								0.909	0.751			
ค่าสะท้อนแสง (%)	7	5	6	7			7	19	21	29	14	147	38	<25
ค่าส่องผ่านแสง (%)	88	38	58	72			74	10	21	14	78	72	7	>30
ค่าสะท้อนรังสีอาทิตย์ (%)	7	6	6	7			5	21	19	24	11	12	33	
ค่าส่องผ่านรังสีอาทิตย์ (%)	80	43	45	42			43	6	13	10	61	46	5	<40
ค่าการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (%)	13	51	49	51	45	48	52	73	68	66	28	42	62	

### 2.2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร

การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะ คือ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) โดยอาจเกิด

จากวิธีใดวิธีหนึ่ง หรือหลายๆ วิธีพร้อมๆ กัน อย่างไรก็ตามกระบวนการถ่ายเทความร้อนจะดำเนินไปจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลทางความร้อน

#### การนำความร้อน (Conduction)

การนำความร้อน คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่งๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยที่ทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

#### การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อนเป็นกระบวนการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล เช่น อากาศ เมื่อของไหลสัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุใดๆ ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้น ในสภาพธรรมชาติเมื่อของไหลถูกทำให้ร้อนจะสามารถเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ทำให้เกิดการไหลเวียนพาความร้อน โมเลกุลที่เย็นกว่าและหนักจะตกลงข้างล่าง ส่วนที่ร้อนกว่าจะเบาและลอยขึ้นด้านบน การพาความร้อนเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ การพาความร้อนโดยธรรมชาติ และการพาความร้อนโดยการบังคับ

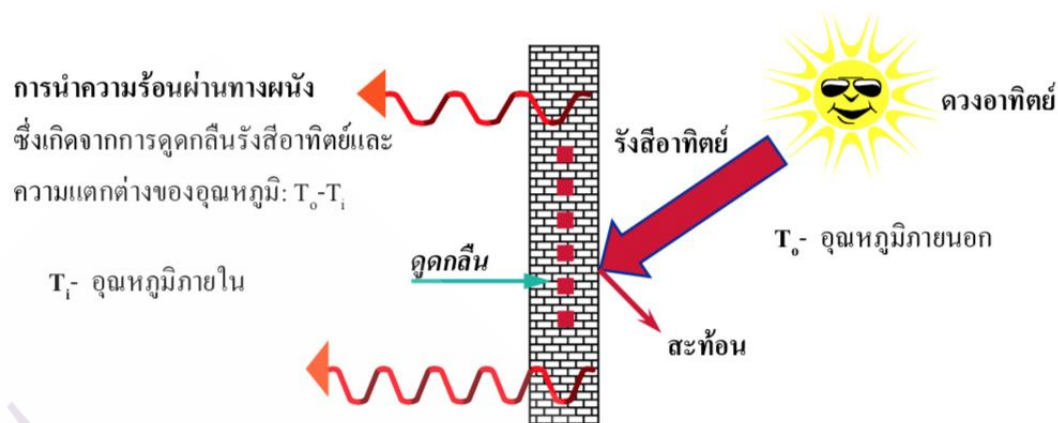
#### การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องว่างใดๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงไปยังพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในทุกทิศทาง ภาพที่ 2.10 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกเมื่อได้รับรังสีอาทิตย์

ภาพที่ 2.10 แสดงภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ จากรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผนังทึบ ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและสะสมไว้ และทำให้ผิวผนังด้านนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในกรณีของผนังก่ออิฐฉาบปูน อุณหภูมิที่ผิวด้านนอกอาจสูงได้ถึง  $45^{\circ}\text{C}$  ในวันที่แดดจัดและอุณหภูมิอากาศแวดล้อมอยู่ในช่วง  $38-40^{\circ}\text{C}$  ในกรณีของหลังคากระเบื้องอุณหภูมิผิวสามารถสูงได้ถึง  $60^{\circ}\text{C}$  การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของผนังเป็นผลจากทั้ง

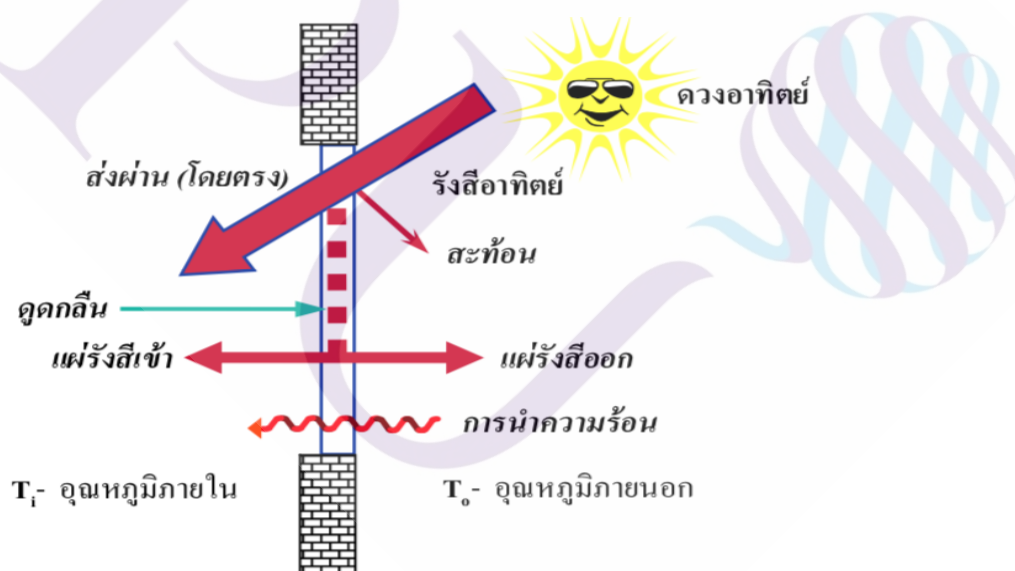
- พลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผนังดูดกลืนไว้ และ
- ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร

ในช่วงเวลากลางคืน เมื่ออุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงผนังทึบจะมีการถ่ายเทความร้อนจากตัวผนังสู่สิ่งแวดล้อม การถ่ายเทความร้อนเหล่านี้ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิผนัง อุณหภูมิอากาศภายนอก ค่าสมบัติสภาพนำความร้อน (Conductivity) สภาพการแผ่รังสี (Emissivity) ฯลฯ



ภาพที่ 2.10 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ

ภาพที่ 2.11 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับกระจก เมื่อรังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนผิว กระจก รังสีอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะสามารถส่งผ่านชั้นกระจกไปได้โดยตรง โดยส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป และ อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไว้



ภาพที่ 2.11 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก

รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้จะทำให้อุณหภูมิของกระจกสูงขึ้นและเกิดการถ่ายเทความร้อน โดยส่วนหนึ่งเข้าสู่อาคารและอีกส่วนที่เหลือสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

นอกจากพลังงานความร้อนที่เกิดจากการส่งผ่านรังสีอาทิตย์โดยตรงผ่านกระจก และความร้อนที่ถูกดูดกลืนไว้และถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ยังมีความร้อนอีกส่วนหนึ่งถ่ายเทผ่านกระจก ซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคารในช่วงเวลากลางคืน ความร้อนสามารถถ่ายเทผ่านกระจกไปยังสิ่งแวดล้อมได้ เช่นเดียวกับกรณีของผนังทึบ

#### 2.2.4 การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

กรอบอาคารมีลักษณะที่หลากหลายขึ้นกับการออกแบบ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารยังขึ้นกับปัจจัยอื่นอีกจำนวนมาก (ดังจะได้กล่าวต่อไป) ดังนั้น การที่จะตรวจวัดเพื่อให้ทราบปริมาณความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารเหมือนระบบอื่นๆ เช่น ระบบไอน้ำ เตาอุตสาหกรรม ฯลฯ จึงเป็นสิ่งที่แทบจะเป็นไปไม่ได้ ดังนั้น ปกติเราจึงเลือกใช้วิธีการคำนวณเพื่อประเมินปริมาณความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคาร รวมถึงวิเคราะห์ สมรรถนะของกรอบอาคารทดแทน วิธีการหนึ่งซึ่งเป็นที่ใช้กันมานานอย่างต่อเนื่องและเป็นที่ยอมรับกันดี คือ การคำนวณค่า OTTV และ RTTV ของกรอบอาคาร

สำหรับประเทศไทยได้มีการบังคับให้อาคารควบคุมต้องมีค่า OTTV และ RTTV เป็นไปตามข้อกำหนดทางกฎหมาย เพื่อให้มั่นใจได้ว่าอาคารควบคุมนั้นๆ เป็นอาคารที่กรอบอาคารมีสมรรถนะดีเพียงพอในการป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร เกณฑ์ดังกล่าวนี้บังคับใช้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 และในปี พ.ศ. 2544 กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้ปรับปรุงวิธีการคำนวณค่า OTTV และ RTTV ให้มีความแม่นยำและมีความเหมาะสมสำหรับประเทศไทยมากยิ่งขึ้น ในที่นี้ซึ่งจะได้กล่าวถึงโดยเบื้องต้น

ตารางที่ 2.6 แสดงค่า OTTV และ RTTV ของอาคารประเภทต่างๆ ตามเกณฑ์ที่ได้ปรับปรุงใหม่

ประเภทอาคาร/ลักษณะการใช้งานอาคาร	<i>OTTV</i> ( $Wm^{-2}$ ของผนังด้านนอกอาคาร)	<i>RTTV</i> ( $Wm^{-2}$ ของหลังคาอาคาร)
สำนักงาน สถานศึกษา	$O-OTTV \leq 50$	$O-RTTV \leq 15$
ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้า หรือซูเปอร์สโตร์	$S-OTTV \leq 40$	$S-RTTV \leq 12$
โรงแรม โรงพยาบาล/สถานพักฟื้น	$H-OTTV \leq 30$	$H-RTTV \leq 10$

หมายเหตุ. *O*, *S* และ *H* ที่นำหน้า *OTTV* และ *RTTV* เพื่อแสดงว่าเป็นการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมโดยใช้สูตรการคำนวณใหม่ ซึ่งแตกต่างกันไปตามประเภทการใช้งานของอาคาร โดย *O* หมายถึง สำนักงาน และสถานศึกษา

*S* หมายถึง ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้า หรือ ซูเปอร์สโตร์

*H* หมายถึง โรงแรม โรงพยาบาล หรือสถานพักฟื้น

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร (*OTTV*) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารแต่ละด้าน (*OTTV<sub>i</sub>*) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

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

เมื่อ

*OTTV<sub>i</sub>* คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา,  $W/m^2$

*U<sub>w</sub>* คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$

*WWR* คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง และหรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

*T<sub>Deq</sub>* คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ,  $^\circ C$

*U<sub>f</sub>* คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง หรือกระจก,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$

$\Delta T$  คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

$SHGC$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่าน ผนัง โปร่งแสงหรือกระจก

$SC$  คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

$ESR$  คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง โปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบแสง,  $W/m^2$

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร ( $OTTV$ ) คือ ค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ( $OTTV_i$ ) รวมกัน ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

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

เมื่อ  $A_{wi}$  คือ พื้นที่ของผนังซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง,  $m^2$

$OTTV_i$  คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ซึ่งคำนวณได้จาก

สมการ (1)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value) ของผนังด้านนอกอาคารแต่ละด้าน ให้คำนวณจาก วิธีการในส่วนต่อไปนี้

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value) ของกรอบอาคาร คือ ส่วนกลับของควา ความต้านทานความร้อนรวม ซึ่งคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

เมื่อ  $R_T$  คือ ความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุ

ค่าความต้านทานความร้อน ของวัสดุใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad (4)$$

$R$  คือ ความต้านทานความร้อน,  $m^2 \cdot K/W$

$\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ,  $m$

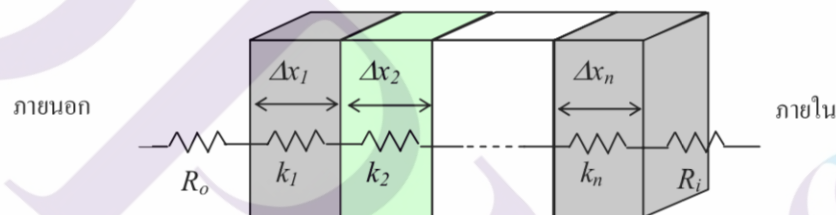


$k$  คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ,  $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$

- ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารแต่ละด้านที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุหลายชนิดสำหรับผนังอาคารที่ประกอบขึ้นด้วยวัสดุแตกต่างกันหลายชนิด ค่าความต้านทานความร้อนของผนังอาคารจะเท่ากับผลรวมของค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอาคารจะถูกส่งผ่านมายังผนังอาคารโดยผ่านฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกของผนังอาคาร เช่นเดียวกับที่พื้นผิวด้านในของผนังอาคาร ความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังอาคารจะถูกส่งผ่านจากพื้นผิวด้านในของผนังอาคารไปยังสิ่งแวดล้อมภายในอาคารโดยผ่านฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านในของผนังอาคาร ดังนั้นฟิล์มอากาศที่พื้นผิวด้านนอกและด้านในของผนังอาคาร จึงถือว่ามีค่าความต้านทานความร้อน

- กรณีที่ผนังอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total thermal resistance) หรือค่า  $RT$  ของส่วนใดๆ ของกรอบอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ  $n$  ชนิดที่แตกต่างกันแสดงได้ดังรูปที่ 8 และสามารถคำนวณได้จากสมการ



ภาพที่ 2.12 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน  $n$  ชนิด

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \quad (5)$$

เมื่อ

$\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \dots, \Delta x_n$  คือ ความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นกรอบอาคาร

$k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$  คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบ

เป็นกรอบอาคาร

$R_o$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร

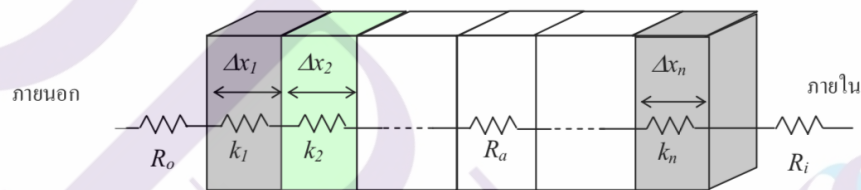
$R_i$  คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร

- กรณีที่ผนังอาคารมีช่องว่างอากาศ

ช่องว่างอากาศ [Air gap (s) or air space (s)] ระหว่างชั้นของกรอบอาคารจะมีค่าความต้านทานความร้อนค่าหนึ่ง กลไกของการถ่ายเทความร้อน ทั้งการนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) ที่เกิดขึ้นภายในช่องว่างอากาศจะมีค่าแตกต่างกันออกไป ในรูปที่ 9 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคารส่วนนี้สามารถคำนวณได้จาก

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + R_a + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \quad (6)$$

โดยมีนิยามของค่าต่างๆ เช่นเดียวกับสมการที่ (5)



**ภาพที่ 2.13** การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน  $n$  ชนิด และมี ช่องว่างอากาศภายใน

- ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศ

ความสามารถในการต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศบนพื้นผิวของผนังอาคาร ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวของอากาศที่บริเวณ โดยรอบพื้นผิวของผนังอาคารและค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Thermal emittance) ของผนังอาคาร

**ตารางที่ 2.7** แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร

	ผนังภายใน ( $R_i$ )	ผนังภายนอก ( $R_o$ )
ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ( $m^2 \cdot K/W$ )	0.12	0.044

พื้นผิวของวัสดุที่ถูกใช้เป็นผนังอาคาร โดยส่วนใหญ่ จะถือว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในผนังที่บของอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของผนังด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ปรากฏใน ตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผนังด้านนอก	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ( $m^2 \cdot K/W$ )		
	ความหนาของช่องว่างอากาศ		
	5 mm	20 mm	100 mm
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.11	0.148	0.16
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.25	0.578	0.606

สำหรับกรณีพื้นผิวผนังทั่วไป ให้ถือว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำให้ใช้เฉพาะกรณีที่พื้นผิวของผนังด้านติดช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนรังสี เช่น ผนังที่มีการติดแผ่นฟอยล์สะท้อนรังสี เป็นต้น

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศภายในผนังมีค่าอยู่ระหว่าง 5 mm ถึง 20 mm หรือมีค่าอยู่ระหว่าง 20 mm ถึง 100 mm ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศกว้างกว่า 100 mm ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 100 mm

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ( $k$ ) และคุณสมบัติอื่นๆ ของวัสดุ

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างต่างๆ ไป ให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.9

นอกเหนือจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (thermal conductivity;  $k$ ) ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวิน จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) ของวัสดุแล้ว ความหนาแน่นของวัสดุ(density;  $\rho$ ) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความร้อนจำเพาะ (specific heat;  $cp$ ) ของวัสดุ ยังมีผลต่อปริมาณความร้อนที่ผนังดูดกลืนไว้ (heat absorption) และระยะเวลาที่ผนังอาคารสามารถหน่วงการส่งผ่านความร้อน (thermal time lag) จากภายนอกเข้า

สู่ภายในอาคาร สำหรับวัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิวของผนังภายนอกอาคาร ซึ่งจะต้องสัมพันธ์กับรังสีอาทิตย์และท้องฟ้าโดยตรง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Solar absorptance) และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Thermal emittance) ของวัสดุ ก็จะมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (heat gain) และการสูญเสียความร้อน (heat loss) ของผนังอาคารด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 2.9 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาแน่น และความร้อนจำเพาะของวัสดุต่างๆ

ลำดับ	วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m-K)	ความหนาแน่น (Kg/m <sup>3</sup> )	ความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.K))
1	แผ่นซีเมนต์แอสเบสตอส	0.398	1860	1.00
2	แผ่นฉนวนกันความร้อนแอสเบสตอส	0.108	720	1.00
3	วัสดุฉนวนหลังคาแอสฟัลท์	1.226	1100	1.51
4	บิตูเม้น (bitumen)	1.298	1100	1.26
5	อิฐ			
	(ก) แท่งและฉาบปูนหรือปิดด้วยแผ่น โมเสค หรือกระเบื้อง	0.807	1760	0.837
	(ข) ผนังไม่ฉาบปูน	1.154	1600	0.79
6	คอนกรีต	1.442	2400	0.92
7	คอนกรีตชนิดเบา ขนาดความ หนาแน่นต่างๆ			
	(ก) 620 ก.ก. ต่อ ลบ.ม.	0.160	620	0.84
	(ข) 960 ก.ก. ต่อ ลบ.ม.	0.303	960	0.84
	(ค) 1120 ก.ก. ต่อ ลบ.ม.	0.346	1120	0.84

ตารางที่ 2.9 (ต่อ)

ลำดับ	วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m-K)	ความหนาแน่น (Kg/m <sup>3</sup> )	ความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.K))
	(ง) 1280 ก.ก. ต่อ ลบ.ม.	0.476	1280	0.84
8	บล็อกคอนกรีต	1.02	1370	0.92
9	แผ่นไม้ก๊อก	0.042	144	2.01
10	แผ่นไฟเบอร์ (fibre board)	0.052	264	0.59
11	ไฟเบอร์กลาส			
	(ก) แบบม้วน (blanket)	0.038	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	0.96
	(ข) แบบแผ่น (rigid board)	0.033	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	0.96
	(ค) แบบท่อสำเร็จ (rigid pipe section)	0.038	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	0.96
12	แผ่นกระจก	0.191	880	1.09
13	แผ่นยิปซัม	0.191	880	1.09
14	แผ่นไม้อัดฮาร์ดบอร์ด			
	(ก) มาตรฐาน	0.216	1024	1.34
	(ข) ปานกลาง	0.123	640	1.30
15	โลหะ			
	(ก) โลหะผสมของอลูมิเนียม แบบ ธรรมดา	211	2672	0.896
	(ข) ทองแดง	388	8784	0.390
	(ค) เหล็กกล้า	47.6	7840	0.500
16	ใยแร่ อัดแน่นเป็นแผ่น	0.05	290	0.80
17	วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว			
	(ก) ยิปซัม	0.235	720	1.09

ตารางที่ 2.9 (ต่อ)

ลำดับ	วัสดุ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m-K)	ความหนาแน่น (Kg/m <sup>3</sup> )	ความร้อนจำเพาะ (kJ/(kg.K))
	(ข) เพอร์ไลต์	0.115	616	1.34
	(ค) ปูนผสมทราย	0.553	1568	0.84
18	โพลีสไตรีน แบบขยายตัว	0.035	16	1.21
19	โฟมโพลียูรีเทน	0.024	24	1.59
20	โฟมโพลีเอทิลีน	0.029	45	1.21
21	พื้นพีวีซี	0.713	1360	1.26
22	หิน			
	(ก) หินทราย	1.298	2000	0.79
	(ข) หินแกรนิต	2.927	2640	0.79
	(ค) หินอ่อน	1.298	2640	0.80
23	กระเบื้องหลังคา	0.836	1890	1.00
24	ไม้			
	(ก) ไม้เนื้ออ่อน	0.125	608	1.30
	(ข) ไม้เนื้อแข็ง	0.138	702	1.30
	(ค) ไม้อัด	0.138	528	1.21
25	เวอร์มิคูไลท์ แบบเม็ดหยาบอัดหลวม (ความ หนาแน่นต่ำ)	0.065	ใช้ค่าจากผู้ผลิต	1.34
26	ไม้อัดซีพบอร์ด	0.144	800	1.30
27	แผ่นกระดาษอัด	0.086	400	1.38

หมายเหตุ. ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าความร้อนจำเพาะ จาก 2001 ASHREA Fundamentals Handbook (SI)

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ( $T_{Deq}$ )

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารเป็นค่าที่รวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ ค่านี้จะขึ้นกับช่วงระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และมวลสารของวัสดุผนัง รวมถึงทิศทางและมุมเอียงของผนัง

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของผนังทึบมีผลต่อปริมาณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์บนผนังอาคารและใช้ในการคำนวณค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ค่าดังกล่าวแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุผนังและสีภายนอกของผนังชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์	พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร		หมายเหตุ
	วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว	สีทาภายนอก	
0.3	แผ่นสะท้อนแสงอลูมิเนียม หินอ่อนสีขาว กรวดล้างสีขาว	สีขาว สีเงิน สีเงิน/สีบรอนซ์สะท้อนแสง	วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง และวัสดุที่มีผิวสีขาว
0.5	หินอ่อนสีครีมหรือสีอ่อน หินแกรนิต สีครีมหรือสีอ่อน กรวดล้างสีครีมหรือสีอ่อน วัสดุปิดผิวสีอ่อน	สีครีม สีฟ้าอ่อน สีเขียวอ่อน สีเหลืองอ่อน สีส้มอ่อน	วัสดุที่มีผิวสีอ่อน

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

สัมประสิทธิ์การ ดูดกลืนรังสีอาทิตย์	พื้นผิวของผนังภายนอกอาคาร		หมายเหตุ
	วัสดุที่ใช้ฉาบหรือปิดผิว	สีทาภายนอก	
0.7	คอนกรีตไม่ทาสี อิฐไม่ทาสี แผ่นไฟเบอร์ไม่ทาสี กรวดล้างสีเทา ซีเมนต์เอสเบสทอสไม่ทาสี	สีแดง สีฟ้า สีเขียว สีส้ม สีสนิม (rustic)	วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้าง เข้ม
0.9	อิฐสีแดง แอสฟัลต์ คอนกรีตสีเทาเข้มและสีดำ วัสดุ มุงหลังคาสีเขียวเข้ม และสีแดงเข้ม	สีน้ำเงินหรือสีเขียวเข้ม สีเทาเข้ม สีน้ำตาลเข้ม สีดำ	วัสดุที่มีผิวสีเข้ม

ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ (Density-Specific Heat product; *DSH*)

ความสามารถในการดูดกลืน สะสม และหน่วงความร้อนของผนังทึบ มีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุผนังอาคาร

สำหรับผนังทึบที่ประกอบด้วยวัสดุเพียงชนิดเดียวที่มีความหนาแน่นเท่ากับ  $\rho_i$  ความร้อนจำเพาะเท่ากับ  $C_{pi}$  และมีความหนาเท่ากับ  $\Delta x_i$  ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง คำนวณได้ดังนี้

$$DSH_i = (\rho_i)(C_{pi})(\Delta x_i), \quad \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (7)$$

สำหรับผนังทึบที่ประกอบด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน  $n$  ชนิด ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง คำนวณได้ดังนี้

$$DSH = DSH_1 + DSH_2 + \dots + DSH_n, \quad \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (8)$$

เมื่อ  $DSH_i$  คือ ค่าผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง

$\rho_i$  คือ ความหนาแน่นของวัสดุ  $i$

$C_{pi}$  คือ ความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ  $i$

$\Delta x_i$  คือ ความหนาของวัสดุ  $i$



กรณีที่มีช่องว่างอากาศตรงกลาง ช่องว่างอากาศดังกล่าวไม่ทำให้ค่า ผลคูณของค่า ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนังเปลี่ยนแปลงไป

#### ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ ) ของผนังทึบ

ตารางที่ 2.11 แสดงชุดของค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบสำหรับอาคาร ประเภทสำนักงานและสถานศึกษา ค่าในตารางประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ของพื้นผิวของผนังค่า ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง ทิศทางและมุมเอียงของผนังมุมเอียงของผนัง คือ มุมที่ผนังกระทำกับพื้นผิวโลก ผนังแนวตั้งจะมีค่ามุมเอียงของ ผนังเท่ากับ 90 องศา ส่วนหลังคาในแนวระนาบ จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา

สำหรับตารางที่ 2.12 และตารางที่ 2.13 แสดงตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ของผนังทึบสำหรับอาคารประเภทห้างสรรพสินค้าหรือซูเปอร์มาร์เก็ต และสำหรับอาคารประเภท โรงแรมและโรงพยาบาลตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อมูลที่มีปริมาณมาก ตารางค่าความ ต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบที่แสดงนี้ เป็นตารางที่คัดลอกมาเพียงบางส่วนเท่านั้น สำหรับ ผู้สนใจสามารถสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเอกสารฉบับเต็มไม่ยากนักเมื่อทราบชนิดวัสดุ ความ หนาของวัสดุแต่ละชั้นที่ประกอบเป็นผนังอาคาร ให้ใช้ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะใน ตารางที่ 2.8 และสมการ คำนวณหาค่า ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง กรณีที่ใช้วัสดุผนังแตกต่างไปจากวัสดุในตารางที่ 2.8 ให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับการ รับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

**ตารางที่ 2.11** ส่วนหนึ่งของตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ ) ของผนังทึบสำหรับ อาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา

มุมเอียงของผนัง, องศา	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความ ร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
0	ทุกทิศทาง	15	16.5	25.0	33.6	42.1
		30	16.2	24.6	33.0	41.5
		50	15.7	24.0	32.3	40.6
		100	14.4	22.3	30.3	38.2
		200	12.1	19.1	26.1	33.1

ตารางที่ 2.11 (ต่อ)

มุมเอียงของผนัง, องศา	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความ ร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
		300	10.5	16.8	23.0	29.2
		400	10.2	16.2	22.2	28.3
90	ทิศเหนือ	15	10.8	14.1	17.4	20.7
		30	10.4	13.7	16.9	20.1
		50	10.0	13.2	16.3	19.5
		100	9.1	12.1	15.1	18.1
		200	7.9	10.6	13.4	16.1
		300	7.3	9.9	12.5	15.1
		400	7.1	9.6	12.2	14.7
		ทิศ ตะวันออก	15	12.6	17.2	21.9
	30		12.3	16.9	21.5	26.1
	50		11.9	16.5	21.1	25.6
	100		11.1	15.5	20.0	24.4
	200		9.8	13.9	18.0	22.2
	300		9.0	12.8	16.6	20.4
	400		8.6	12.2	15.8	19.4
	ทิศใต้		15	13.0	18.0	22.9
		30	12.7	17.5	22.3	27.1
		50	12.2	16.9	21.6	26.3
		100	11.1	15.6	20.1	24.6

ตารางที่ 2.11 (ต่อ)

มุมเอียงของผนัง, องศา	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความ ร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
		200	9.7	13.7	17.8	21.9
		300	8.9	12.7	16.5	20.3
		400	8.6	12.2	15.9	19.5
	ทิศ ตะวันตก	15	12.3	16.7	21.1	25.5
		30	11.9	16.2	20.4	24.7
		50	11.3	15.5	19.6	23.7
		100	10.2	14.0	17.8	21.6
		200	8.7	12.1	15.5	18.9
		300	8.1	11.2	14.4	17.6
		400	7.9	11.0	14.1	17.2

ตารางที่ 2.12 ส่วนหนึ่งของตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) ของผนังทึบสำหรับอาคารประเภทห้างสรรพสินค้าหรือซูเปอร์มาร์เก็ต

มุมเอียงของผนัง, องศา	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความ ร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
0	ทุกทิศทาง	15	12.1	17.8	23.4	29.0
		30	12.4	18.3	24.2	30.0
		50	12.7	18.8	24.9	31.0
		100	13.1	19.6	26.0	32.5

ตารางที่ 2.12 (ต่อ)

มุมเอียงของผนัง, องศา	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความ ร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
90		200	12.6	19.0	25.5	31.9
		300	11.5	17.5	23.5	29.5
		400	11.0	16.9	22.7	28.5
	ทิศเหนือ	15	8.3	10.6	12.9	15.2
		30	8.4	10.7	13.1	15.4
		50	8.4	10.8	13.2	15.5
		100	8.4	10.9	13.3	15.7
		200	8.1	10.5	12.9	15.2
		300	7.5	9.8	12.1	14.4
		400	7.0	9.2	11.4	13.6
	ทิศ ตะวันออก	15	9.2	12.1	15.0	17.9
		30	9.3	12.3	15.3	18.3
		50	9.5	12.6	15.7	18.7
		100	9.7	12.9	16.2	19.4
		200	9.5	12.8	16.1	19.5
		300	8.9	12.1	15.3	18.5
		400	8.3	11.4	14.5	17.6
	ทิศใต้	15	9.8	13.1	16.4	19.7
		30	9.9	13.3	16.6	20.0
		50	10.0	13.4	16.9	20.3

ตารางที่ 2.12 (ต่อ)

มุมเอียงของผนัง, องศา	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความ ร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
		100	10.1	13.7	17.2	20.8
		200	9.8	13.3	16.9	20.4
		300	9.1	12.5	15.9	19.3
		400	8.5	11.8	15.0	18.3
	ทิศ ตะวันตก	15	9.7	12.8	16.0	19.2
		30	9.7	12.9	16.2	19.4
		50	9.7	13.0	16.3	19.5
		100	9.7	13.0	16.3	19.6
		200	9.2	12.4	15.7	18.9
		300	8.5	11.6	14.6	17.6
		400	8.0	10.9	13.7	16.6

ตารางที่ 2.13 ส่วนหนึ่งของตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (TDeq) ของผนังทึบสำหรับอาคารประเภทโรงแรมและโรงพยาบาล

มุมเอียงของผนัง, องศา	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความ ร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
0	ทุกทิศทาง	15	7.3	10.7	14.1	17.5
		30	7.3	10.7	14.2	17.6
		50	7.3	10.8	14.3	17.7

ตารางที่ 2.13 (ต่อ)

มุมเอียงของผนัง, องศา	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความ ร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
90		100	7.4	10.9	14.5	18.0
		200	7.5	11.2	14.9	18.6
		300	7.6	11.4	15.2	19.1
		400	7.7	11.5	15.4	19.3
	ทิศเหนือ	15	4.7	6.1	7.5	8.9
		30	4.7	6.1	7.5	8.9
		50	4.7	6.1	7.5	8.9
		100	4.8	6.2	7.6	9.0
		200	4.8	6.3	7.7	9.2
		300	4.9	6.3	7.8	9.3
		400	4.9	6.4	7.9	9.4
	ทิศ ตะวันออก	15	5.5	7.4	9.4	11.3
		30	5.5	7.4	9.4	11.4
		50	5.5	7.4	9.4	11.4
100		5.5	7.5	9.5	11.5	
200		5.6	7.7	9.7	11.7	
300		5.7	7.8	9.8	11.9	
400		5.7	7.8	9.9	12.0	

ตารางที่ 2.13 (ต่อ)

มุมเอียงของผนัง, องศา	ทิศทาง	ผลคูณของค่าความหนาแน่นและความ ร้อนจำเพาะของผนัง $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์			
			0.3	0.5	0.7	0.9
	ทิศใต้	15	5.6	7.7	9.7	11.8
		30	5.6	7.7	9.8	11.8
		50	5.7	7.7	9.8	11.9
		100	5.7	7.8	9.9	12.0
		200	5.8	8.0	10.1	12.3
		300	5.9	8.1	10.3	12.5
		400	5.9	8.2	10.4	12.6
	ทิศ ตะวันตก	15	5.3	7.1	9.0	10.8
		30	5.3	7.2	9.0	10.9
		50	5.4	7.2	9.1	10.9
		100	5.4	7.3	9.2	11.1
		200	5.5	7.5	9.4	11.3
		300	5.6	7.6	9.5	11.5
		400	5.6	7.6	9.6	11.6

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง (Uf)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสงให้คำนวณโดยใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ โดยเลือกใช้สมการที่ (5) หรือ (6) ขึ้นอยู่กับชนิดของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมนี้ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตได้ โดยจะต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้วิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

- กระจกชั้นเดียว

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ( $U_f$ ) ของกระจกกระจกหรือผนังโปร่งแสงชั้นเดียว ให้คำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$U_f = \frac{1}{R_f}, \quad (9a)$$

$$R_f = R_i + \frac{\Delta x}{k_g} + R_o, \quad (9b)$$

เมื่อ $R_f$	คือ ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกหรือผนังโปร่งแสง
$R_i$ และ $R_o$	คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของผนังภายในและภายนอกอาคาร ให้ใช้ค่าจากตารางที่ 2.5
$\Delta x$	คือ ความหนาของกระจกหรือผนังโปร่งแสง
$K_g$	คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุกระจกหรือผนังโปร่งแสง

- กระจกลามิเนต

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกลามิเนต ให้คำนวณโดยใช้สมการที่ (5)

- ระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้น และมีช่องว่างอากาศภายในให้ใช้สมการที่ (6) ในการคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของระบบหน้าต่างที่ประกอบด้วยกระจกหรือผนังโปร่งแสงหลายชั้น ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศจากตารางที่ 2.14



ตารางที่ 2.14 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปรงแสง

ความกว้างของช่องว่างอากาศ (มิลลิเมตร)	ความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ( $m^2 \cdot K/W$ )	
	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี สูง	พื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี ต่ำ
13	0.119	0.345
10	0.110	0.278
7	0.097	0.208
6	0.091	0.196
5	0.084	0.167

ให้ใช้ค่าพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงสำหรับช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุกระจกหรือผนังโปรงแสงทั่วไป นอกเหนือจากการกำหนดว่ากระจกหรือผนังโปรงแสงด้านที่ติดช่องว่างอากาศนั้นถูกเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ (Low emissivity coating) จึงใช้ค่าพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศมีค่าอยู่ระหว่างค่าที่กำหนดไว้ในตาราง (5-13 mm.) ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศในกรณีที่ช่องว่างอากาศกว้างกว่า 13 mm. ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 13 mm.

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ( $\Delta T$ )

ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายนอกอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายในบริเวณปรับอากาศของอาคาร ใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านกระจกหรือผนังโปรงแสง ในสมการคำนวณค่า OTTV ตามสมการที่ (1) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท แสดงในตารางที่ 2.15

**ตารางที่ 2.15** ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภท

ประเภทของอาคาร	สำนักงานและสถานศึกษา	โรงพยาบาลและโรงแรม	ห้างสรรพสินค้าและซูเปอร์มาร์เก็ต
ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (°C)	5	3	5

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC)

ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ คือค่าอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุผนังและหลังคาส่วน โปร่งแสงหรือโปร่งใสของช่องแสง และก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าภายในอาคาร ค่าดังกล่าวรวมผลของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากรังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในตัวกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงเข้ามายังภายในอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตกระจกหรือวัสดุโปร่งแสงที่มีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าในตารางที่ 2.16

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading coefficient; SC)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบยังส่วน โปร่งแสงหรือกระจก ของหน้าต่าง

**ตารางที่ 2.16** ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (Visible transmittance) ของกระจกชนิดต่างๆ

ความหนาของกระจก (มิลลิเมตร)	ชนิดของกระจก	Visible transmittance	SHGC
กระจกชั้นเดียว ไม่เคลือบผิว (Uncoated single glazing)			
6	กระจกใส	0.88	0.73

ตารางที่ 2.16 (ต่อ)

ความหนาของกระจก (มิลลิเมตร)	ชนิดของกระจก	Visible transmittance	SHGC
6	กระจกสีบรอนซ์	0.54	0.54
6	กระจกสีเขียว	0.76	0.54
6	กระจกสีเทา	0.46	0.52
6	กระจกสีฟ้าอมเขียว	0.75	0.55
กระจกสะท้อนแสงชั้นเดียว (Reflective single glazing)			
6	กระจกใสเคลือบโลหะสแตนเลส	0.20	0.28
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 20%	0.20	0.27
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 30%	0.30	0.35
กระจกสองชั้น ไม่เคลือบผิว (Uncoated double glazing)			
6	กระจกใส-กระจกใส	0.78	0.60
6	กระจกสีบรอนซ์-กระจกใส	0.47	0.41
6	กระจกสีเขียว-กระจกใส	0.68	0.41
6	กระจกสีเทา-กระจกใส	0.41	0.39
6	กระจกสีฟ้าอมเขียว-กระจกใส	0.67	0.43
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง-กระจกใส	0.59	0.33
กระจกสะท้อนแสงสองชั้น (Reflective double glazing)			
6	กระจกใสเคลือบไทเทเนียม 30% และกระจกใส	0.27	0.25
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (Low-e double glazing, e = 0.2 on surface 2)			
6	กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ และกระจกใส	0.73	0.53

ตารางที่ 2.16 (ต่อ)

ความหนาของกระจก (มิลลิเมตร)	ชนิดของกระจก	Visible transmittance	SHGC
กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำสองชั้น (Low-e double glazing), e = 0.1 on surface 2)			
6	กระจกเคลือบสารที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ และกระจกใส	0.72	0.44
6	กระจกสีเขียวคุณภาพสูง-กระจกเคลือบสารที่มี สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.57	0.27

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective Solar Radiation; ESR)

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน คือ รังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนผนังที่มีมุมเอียงแตกต่างกันในแต่ละทิศทาง การวัดค่ามุมเอียงของผนังของอาคาร วัดจากมุมที่ผนังอาคารกระทำกับพื้นผิวโลก(หรือพื้นดิน) โดยผนังในแนวตั้ง จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 90 องศา ขณะที่ผนังในแนวระนาบนอน (หรือหลังคาแบบเรียบ) จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา สำหรับตารางค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนสำหรับมุมเอียงและทิศทางผนังต่างๆ ของอาคารประเภทสำนักงาน/สถานศึกษา ห้างสรรพสินค้า และประเภทโรงแรม โรงพยาบาล ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.17 ถึง 2.18 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.17 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารสำนักงานหรือสถานศึกษา(W/m<sup>2</sup>)

มุมเอียง (องศา)	ทิศทางของผนัง							
	เหนือ	ตะวันออก เอียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เอียงใต้	ใต้	ตะวันตก เอียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เอียงเหนือ
0	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38	437.38
15	405.00	421.74	433.61	440.00	441.62	438.90	431.51	419.53

ตารางที่ 2.17 (ต่อ)

มุมเอียง (องศา)	ทิศทางของผนัง							
	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เฉียงใต้	ใต้	ตะวันตก เฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เฉียงเหนือ
30	358.99	390.20	412.96	425.48	428.59	422.98	408.39	385.65
45	306.68	348.31	379.58	397.17	401.47	393.20	372.57	341.61
60	255.37	301.60	337.61	358.44	363.45	353.18	328.62	293.33
75	212.39	255.60	337.61	312.65	317.70	306.52	281.11	246.70
90	185.06	215.84	244.53	263.14	267.41	256.82	234.58	207.62

ตารางที่ 2.18 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภท  
ห้างสรรพสินค้า ( $W/m^2$ )

มุมเอียง (องศา)	ทิศทางของผนัง							
	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เฉียงใต้	ใต้	ตะวันตก เฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เฉียงเหนือ
0	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55	326.55
15	303.15	307.90	315.66	323.63	330.14	333.80	331.91	321.31
30	268.08	278.60	293.82	308.44	319.42	324.35	319.10	299.32
45	227.46	243.07	264.27	283.71	297.18	301.59	292.50	266.04
60	187.41	205.70	230.29	252.20	266.21	268.90	256.53	226.97
75	154.06	170.92	195.12	216.63	229.31	229.66	215.55	187.56
90	133.52	143.11	162.01	179.75	189.27	187.26	173.98	153.31

ตารางที่ 2.19 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทโรงแรม  
โรงพยาบาล( $W/m^2$ )

มุมเอียง (องศา)	ทิศทางของผนัง							
	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออก เฉียงใต้	ใต้	ตะวันตก เฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตก เฉียงเหนือ
0	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44
15	177.49	185.24	190.45	193.01	193.33	191.76	188.38	183.39
30	157.51	171.84	181.79	186.87	187.63	184.64	178.12	168.59
45	134.67	153.68	167.29	174.48	175.71	171.59	162.54	149.52
60	112.13	133.17	148.76	157.33	158.93	154.12	143.54	128.65
75	93.08	112.74	128.05	136.87	138.66	133.74	123.01	108.45
90	80.68	94.81	106.98	114.57	116.26	111.96	102.86	91.40

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV)

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน (RTTV<sub>ni</sub>) ให้คำนวณจาก  
สมการดังต่อไปนี้

$$RTTV_{ni} = (U_r)(1-SRR)(T_{Deq}) + (U_s)(SRR)(\Delta T) + (SRR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (10)$$

เมื่อ

$RTTV_{ni}$  คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่พิจารณา,  $W/m^2$

$U_r$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$

$SRR$  คือ อัตราส่วนพื้นที่ของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่  
พิจารณา

$T_{Deq}$  คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent)  
ระหว่างภายนอก และภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของ  
ผนังทึบ,  $^\circ C$

$U_s$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$

$\Delta T$  คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร

$SHGC$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสง

$SC$  คือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

$ESR$  คือ รังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน หรือปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ ผนังโปร่งแสง และ/หรือ ผนังทึบแสง,  $W/m^2$

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) คือค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน (RTTV<sub>ni</sub>) ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV_n = \frac{(A_{n1})(RTTV_{n1}) + (A_{n2})(RTTV_{n2}) + \dots + (A_{ni})(RTTV_{ni})}{A_{w1} + A_{w2} + \dots + A_{wi}}$$

เมื่อ

$A_{wi}$  คือ พื้นที่ของหลังคาส่วนที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่หลังคาทึบและพื้นที่หลังคาโปร่งแสง,  $m^2$

$RTTV_{ni}$  คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (10)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value) ของหลังคาอาคาร ให้คำนวณโดยใช้วิธีการเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.2.4.1 และใช้คุณสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ ในตารางที่ 2.8 อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศสำหรับกรณีที่เป็นหลังคาอาคารให้ใช้ค่าจากตารางที่ 2.20, 2.21 และ 2.22

ตารางที่ 2.20 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับหลังคาอาคาร

ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์)	พื้นผิวหลังคาภายใน (R <sub>i</sub> ) ที่มุมเอียง ต่างๆกันจากแนวระนาบ			พื้นผิวหลังคาภายนอก (R <sub>o</sub> ) ที่มุมเอียงใดๆ
	0	22.5	45	
	0.162	0.148	0.133	0.055

ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในหลังคาของอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิวของหลังคาด้านที่อยู่ติดกับช่องว่างอากาศ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ แสดงในตารางที่ 2.21

ตารางที่ 2.21 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในหลังคาอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผิวหลังคาด้านนอก		ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )		
		ความหนาของช่องว่างอากาศ		
		5 mm	20 mm	100 mm
กรณี que พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง				
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	0°	0.11	0.148	0.174
	22.5°	0.11	0.148	0.165
	45°	0.11	0.148	0.158
กรณี que พื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ				
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	0°	0.25	0.572	1.423
	22.5°	0.25	0.571	1.095
	45°	0.25	0.570	0.768

สำหรับกรณีทั่วไปให้ถือเป็นพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำให้ใช้เฉพาะกรณีที่พื้นผิวของหลังคาด้านติดช่องว่างอากาศเป็นผิวสะท้อนรังสี เช่น หลังคาที่มีการติดแผ่นพอลิสะท้อนรังสี เป็นต้น

สำหรับกรณีความกว้างของช่องว่างอากาศภายในผนังมีค่าอยู่ระหว่าง 5-20 mm. หรือมีค่าอยู่ระหว่าง 20-100 mm. ให้ใช้วิธีเชิงเส้นประมาณค่าในช่วงเพื่อหาค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ในกรณีที่ช่องว่างอากาศกว้างเกินกว่า 100 mm. ให้ใช้ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่ความกว้าง 100 mm. ดังตารางที่ 2.22 แสดงค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของเพดานใต้หลังคา



ตารางที่ 2.22 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่พื้นผิวของเพดานใต้หลังคา

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเพดาน	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.458
กรณีพื้นผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	1.356

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ )

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคา ค่านี้จะขึ้นกับช่วงระยะเวลาในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ และมวลสารของวัสดุหลังคา รวมถึงทิศทางและมุมเอียงของหลังคา

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของพื้นผิวด้านนอกของหลังคามีผลต่อปริมาณการดูดกลืนรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคารและใช้ในการคำนวณค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ดังกล่าวแสดงในตารางที่ 2.10

ค่าผลคูณของค่าความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของผนัง (Density-Specific Heat product; DSH)

ความสามารถในการดูดกลืน สะสม และหน่วงความร้อนของหลังคา มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุหลังคาอาคาร ค่าความร้อนจากผลของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุ ของหลังคา ให้คำนวณโดยใช้วิธีการในหัวข้อที่ 2.2.4.1

ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ ) ของหลังคา

ตารางที่ 2.11 แสดงชุดของค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ที่ประยุกต์ใช้สำหรับหลังคาอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษา เมื่อทราบชนิดวัสดุ ความหนาของวัสดุแต่ละชั้นที่ประกอบเป็นหลังคาอาคารให้ใช้ความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะในตารางที่ 2.9 และสมการที่ (7) และ (8) คำนวณหาค่า ความร้อนที่เกิดจากผลของความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะของวัสดุ กรณีที่ใช้วัสดุผนังแตกต่างไปจากวัสดุในตารางที่ 9 ให้ใช้ผลจากการทดสอบหรือค่าที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง ( $U_s$ )

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสงให้คำนวณโดยใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกและผนังโปร่งแสง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนนี้ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตได้ โดยจะต้องมีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ( $U$ ) สำหรับค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายในหลังคา ให้ใช้ค่าจากตารางที่ 2.21

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ( $\Delta T$ )

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร คือ ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศภายนอกอาคารกับอุณหภูมิอากาศภายในบริเวณปรับอากาศของอาคาร ใช้ในการคำนวณการนำความร้อนผ่านหลังคาโปร่งแสง ในสมการคำนวณค่า RTTV ตามสมการที่ 10 ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารสำหรับอาคารแต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 2.15

ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Solar Heat Gain Coefficient; SHGC)

ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ คือค่าอัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านวัสดุหลังคาส่วนโปร่งแสงและก่อให้เกิดความร้อนขึ้นภายในอาคาร ค่าดังกล่าวเป็นผลรวมของรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านหลังคาโปร่งแสงโดยตรง กับ การแผ่รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้ในวัสดุหลังคาโปร่งแสงทั้งหมดเข้ามายังภายในอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ให้ใช้ค่าจากผู้ผลิตที่มีผลการทดสอบและวิธีการคำนวณที่ได้รับการรับรองจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ ในกรณีที่ไม่มีค่าดังกล่าว ให้ใช้ค่าในตารางที่ 2.16

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading coefficient; SC)

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคารสำหรับหลังคา ให้ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับวิธีการในหัวข้อการหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective Solar Radiation; ESR)

คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตกกระทบที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่าน ผนังโปร่งแสงและ/หรือ ผนังทึบแสง มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนสำหรับหลังคาอาคารประเภทสำนักงานและสถานศึกษาให้ใช้ค่าในตารางที่ 2.17

#### 2.2.5 การปรับปรุงสมรรถนะกรอบอาคาร

เราสามารถปรับปรุงสมรรถนะของกรอบอาคารได้ทั้งในส่วนของผนังทึบ ผนังกระจก หลังคา และพื้น โดยมาตรการต่างๆ ไปที่สามารถดำเนินการได้รวบรวมได้ดังนี้

#### ผนังทึบ

การเลือกใช้วัสดุที่มีมวลอุณหภาพที่เหมาะสมกับอาคาร

มวลอุณหภาพ (Thermal Mass) เป็นค่าสมบัติของวัสดุในการดูดกลืนและสะสมความร้อน วัสดุที่หนักและมีความหนาแน่นสูงจะเก็บความร้อนไว้ได้มากและใช้เวลานานกว่าความร้อนเหล่านั้นจะถูกถ่ายเทเข้าไปยังภายในอาคาร ในกรณีที่ภาวะอากาศมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนสูง และอาคารมีการใช้งานเฉพาะในช่วงเวลากลางวัน วัสดุที่มีมวลมากจะช่วยหน่วงเวลาในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ทำให้ภาระความร้อนของเครื่องปรับอากาศต่ำ และในช่วงเย็นเมื่อเลิกใช้อาคารและเครื่องปรับอากาศ ความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังจะไม่มีผลต่อการใช้พลังงาน เนื่องจากไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศแล้ว และความร้อนส่วนหนึ่งที่สะสมอยู่ในตัวผนังจะถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมในช่วงค่ำ



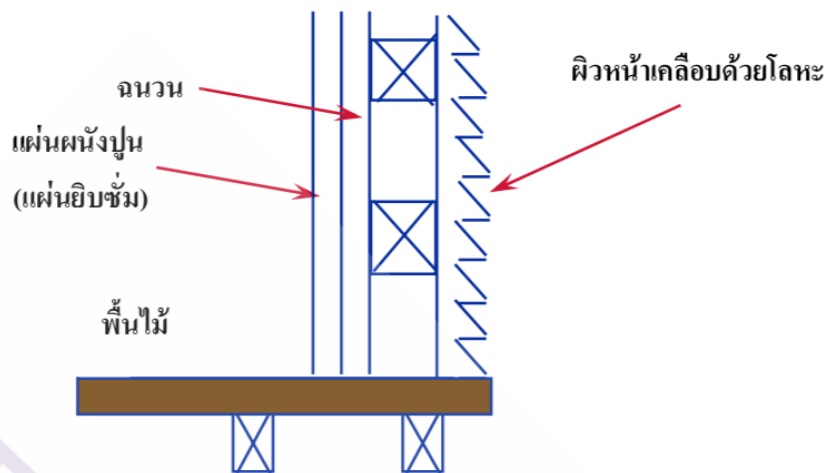
อิฐ



คอนกรีตบล็อก

ภาพที่ 2.14 วัสดุที่มีมวลอุณหภาพ (Thermal Mass) สูง

วัสดุที่มีค่ามวลความร้อนต่ำจะสะสมความร้อนน้อย ในกรณีที่อุณหภูมิภายนอกไม่ต่ำมากในเวลากลางคืน วัสดุที่มีมวลมากจะสะสมความร้อนไว้ตลอดเวลา ขณะที่วัสดุที่มีมวลน้อย จะไม่สะสมความร้อนไว้ วัสดุที่มีมวลน้อยสามารถถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน แม้ว่าการแผ่รังสีไม่ใช่วิธีถ่ายเทความร้อนที่ดีนัก แต่ก็ดีกว่าการเก็บความร้อนในวัสดุที่มีมวลมากซึ่งไม่สามารถเย็นลงอย่างรวดเร็วโดยการแผ่รังสีได้ สำหรับประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อนและความชื้นสูง การใช้วัสดุที่มีค่ามวลความร้อนต่ำและใช้ควบคู่กับฉนวนด้วยจะสามารถลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารได้อย่างเหมาะสม ในขณะที่ภายนอกมีอุณหภูมิสูง



ภาพที่ 2.15 วัสดุที่มีค่ามวลความร้อน (Thermal Mass) ต่ำ

จากที่กล่าวข้างต้น มวลอุณหภาพสามารถช่วยลดภาระความร้อนของเครื่องปรับอากาศได้ อย่างไรก็ตามการใช้งานต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น ช่วงเวลาการใช้อาคารหรือเครื่องปรับอากาศ การใช้มวลอุณหภาพอย่างผิดวิธีจะส่งผลในทางตรงกันข้ามกล่าวคือ ภาระการปรับอากาศสูงขึ้น และเครื่องปรับอากาศใช้พลังงานสูง ตัวอย่างหนึ่งได้แก่ การใช้ผนังที่มีมวลอุณหภาพสูงกับบ้าน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้งานในเวลาเย็นและกลางคืนผนังที่มีมวลมากจะกักเก็บความร้อนในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งไม่มีผู้อาศัยในบ้าน และถ่ายเทให้กับบ้านในเวลาเย็นและค่ำ เมื่อผู้อาศัยกลับบ้านภายหลังจากการทำงาน และเปิดใช้เครื่องปรับอากาศ

#### ผนังคอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตตั้งเคราะห์จากวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ทราย ปูนขาวปูนซีเมนต์ ยิปซั่ม และสารกระจายฟองอากาศ ไม่มีส่วนประกอบที่ทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม มีน้ำหนักเบากว่าอิฐธรรมดา 2-3 เท่า เนื่องจากเนื้อวัสดุประกอบด้วยฟองอากาศเล็กๆ กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอประมาณ 75 % ของเนื้อวัสดุ น้ำหนักประมาณ  $50 \text{ kg/m}^2$  (ความหนา 10 cm.) แต่มีความแข็งแรงสามารถรับแรงกดได้ประมาณ  $30 - 80 \text{ kg/m}^2$  ดังนั้น จึงสามารถใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร สามารถใช้ก่อได้ทั้งผนังรับแรง (Load Bearing Wall) และผนังก่อดีที่ไม่ได้รับแรง (Non-Load Bearing Wall) สามารถผลิตได้หลายรูปแบบ เช่น แบบบล็อก แบบแผ่น แบบคานเสริมเล็ก ฯลฯ มีคุณสมบัติความเป็นฉนวน มีค่าความต้านทานความร้อนประมาณ  $0.6 - 0.8 \text{ m}^2/\text{W.K}$  ทั้งนี้ในการก่อสร้างผนังคอนกรีตมวลเบาจะมีการฉาบปูนเช่นเดียวกับผนังก่ออิฐฉาบปูน

การใช้วัสดุแผรังสีความร้อนต่ำ

วัสดุโดยทั่วไป เป็นวัสดุที่มีค่าสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ต่ำ เพื่อที่จะลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารให้เหลือน้อยที่สุด

สภาพเปล่งรังสี (Emissivity) คือ ความสามารถของพื้นผิวในการดูดกลืนความร้อน และสะท้อนความร้อนกลับ

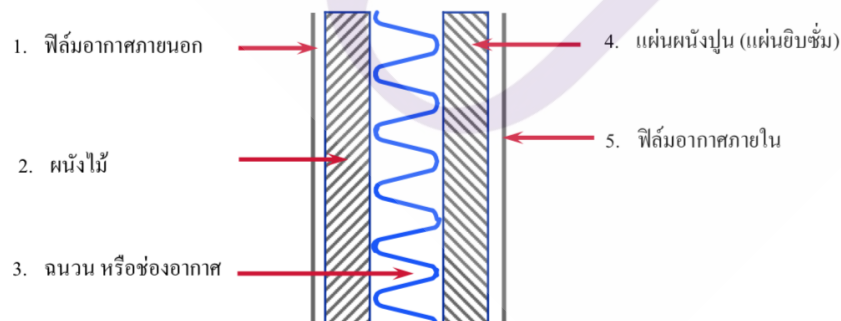
ตัวอย่างเช่น : พื้นผิวที่มีสีเข้มจะดูดกลืนความร้อนได้มากกว่า และสะท้อนรังสีได้น้อยกว่าพื้นผิวที่มีสีอ่อนและมีความแวววาว

ค่าสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ของวัสดุทั่วไป เช่น

พอลิเอทิลีน	0.05
กระจกที่มีค่า "E" ต่ำ	0.15 - 0.3
กระจกใส	0.85
อิฐ	0.90
ไม้	0.91
พื้นลงน้ำมันชักเงาสีดำ	0.96

ค่าสภาพเปล่งรังสียิ่งต่ำก็จะดูดกลืนความร้อนได้น้อยกว่า และสะท้อนกลับได้มากกว่า ทาผนังด้วยสีอ่อน ซึ่งสามารถสะท้อนความร้อนและรังสีจากดวงอาทิตย์ได้ดีกว่า การบุฉนวนผนังเพื่อลดความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่อาคาร

การบุฉนวนกับผนังอาคารสามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารได้ และหากการบุฉนวนสามารถทำควบคู่ไปกับการติดแผ่นสะท้อนรังสี (Reflective Foil) โดยผนังมีช่องอากาศก็จะลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้อย่างมากทีเดียว



ภาพที่ 2.16 ผนังที่บุฉนวน

ส่วนประกอบ	R 1 (มีฉนวน)*	R 2 (มีเฉพาะช่องอากาศ)*
1	0.03	0.03
2	0.14	0.14
3	1.94 (มีฉนวน)	0.15 (มีช่องอากาศ)
4	0.08	0.08
5	0.12	0.12

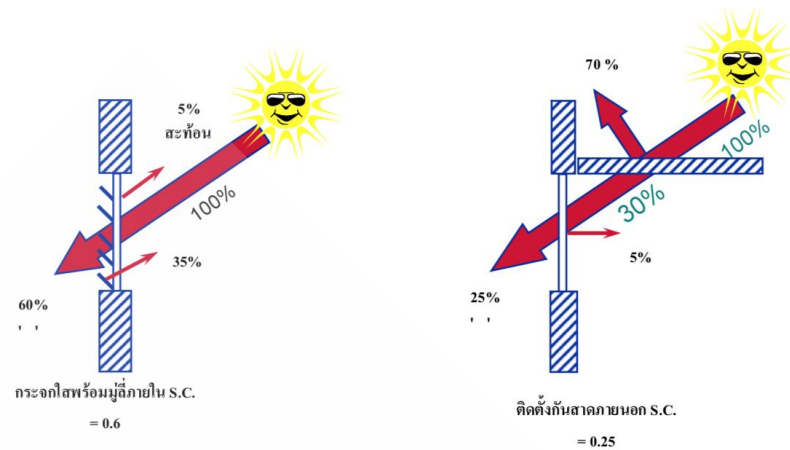
$$R1 = 2.3 \text{ (} m^2 \text{ K/W)} \quad R2 = 0.52 \text{ (} m^2 \text{ K/W)}$$

หมายเหตุ. ค่า R ยิ่งสูง หมายถึง ได้รับความร้อนน้อย ค่า U ต่ำ หมายถึง ได้รับความร้อนน้อย

#### กระจกหน้าต่าง

##### การใช้อุปกรณ์บังแดด

- อุปกรณ์บังแดดภายนอก
  - ชายคา (Overhangs) เหนืออาคาร
  - บานเกล็ด (Louvers) ภายนอกของหน้าต่าง
  - กันสาดหรือผ้าใบบังแดด (Awnings) เหนือหน้าต่าง
  - ม่านบังตาหรือมู่ลี่ (Shutters or Blinds) แบบใช้ภายนอกม้วนได้ หรือมู่ลี่
  - ร่มเงาจากต้นไม้
- อุปกรณ์บังแดดภายใน
  - ม่านบังตา หรือมู่ลี่ที่ม้วนหรือรูดขึ้นลงได้ (Curtain or Roller Blinds)
  - ม่าน (Curtains)



ภาพที่ 2.17 การติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

การบังแดดจากภายนอกจะให้ผลดีกว่า เนื่องจากสามารถป้องกันความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์ไม่ให้เข้ามาภายในอาคารได้วิธีแบบนี้ เรียกว่า การบังแดดแบบ Passive Solar Shading การบังแดดภายใน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ส่วนมากจะเป็นมู่ลี่หรือม่าน จะสะท้อนการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้ามาทางหน้าต่างกลับออกไปภายนอกได้บางส่วน และจะดูดกลืนความร้อนบางส่วนไว้ถ่ายเทเข้าสู่ภายในห้อง ดังนั้นจึงเป็นการดียิ่ง หากสามารถป้องกันไม่ให้รังสีจากดวงอาทิตย์ส่องกระทบกระจกของหน้าต่างได้ แต่เนื่องจากว่าการติดตั้งการบังแดดด้านนอกจะเป็นแบบติดตายตัว ซึ่งจะไม่สามารถให้การบังแดดได้เต็มที่ตลอดเวลา เพราะการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ดังนั้นการใช้วิธีการบังแดดทั้งด้านนอกและด้านในของอาคารจึงมักจะใช้ควบคู่กัน

การใช้กระจกหน้าต่างชนิดพิเศษ ซึ่งสามารถสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ได้และช่วยลดปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่ภายในอาคาร

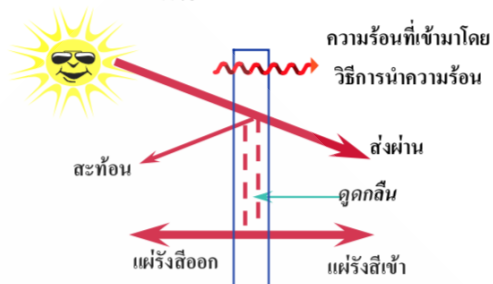
- กระจกที่มีค่าสภาพเปล่งรังสี (Emissivity) ต่ำ จะมีการฉาบสารที่ผิวกระจก เพื่อที่จะลดความร้อนที่จะดูดกลืนไว้มิให้แผ่รังสีเข้าสู่ภายในห้องซึ่งจะมีประโยชน์มากในฤดูร้อน ขณะที่ช่วยลดการสูญเสียความร้อนออกสู่ภายนอก ซึ่งจะมีประโยชน์ในฤดูหนาว กระจกชนิดนี้ส่วนมากจะเป็นกระจกแบบ 2 ชั้น

- กระจก 2 ชั้นระบบกระจก 2 ชั้นจะมีค่า U ประมาณ 50% ของกระจกชั้นเดียว ดังนั้นสามารถลดปริมาณความร้อนรับได้มากที่สุดทีเดียว

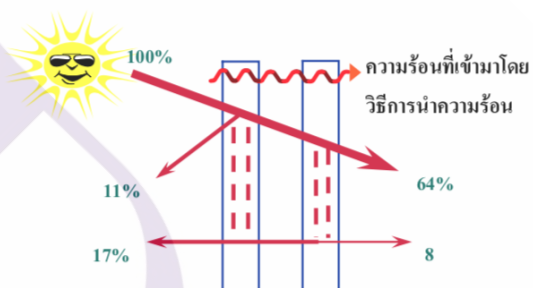
- กระจก 2 ชั้น พร้อมทั้งมู่ลี่ระหว่างแผ่นกระจก

- กระจกชนิด “สมาร์ททกลาส” (Smart Glass) คือ กระจกชนิดใหม่ซึ่งเพิ่งได้พัฒนาขึ้นมาใช้ โดยคุณสมบัติของกระจก สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป

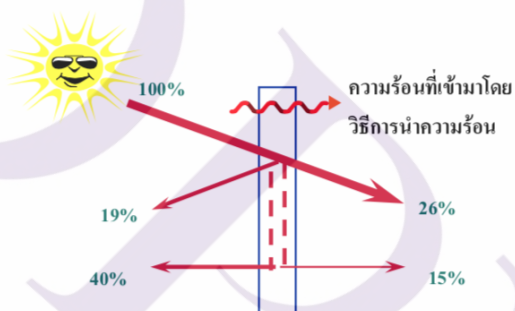
ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์  
ที่ตกกระทบหน้าต่าง 100%



ก) หน้าต่างทั่วไป (กระจกชั้นเดียว)



ข) กระจก 2 ชั้น 6 มม. + 6 มม.



ค) กระจกใสเคลือบฟิล์มสะท้อนแสงสีฟ้า

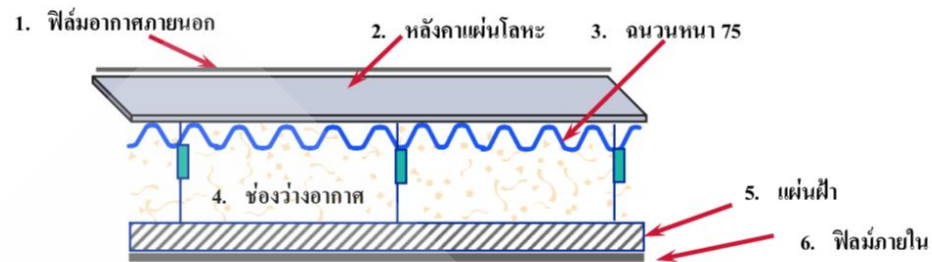
ภาพที่ 2.18 ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ผ่านทางกระจกชนิดต่างๆ

หลังคา

ก) บูลนวนพร้อมทั้งแผ่นสะท้อนรังสีใต้หลังคา เพื่อลดปริมาณความร้อนรับที่เข้าสู่อาคารจากภายนอกผ่านทางหลังคา

ข) ใช้หลังคาที่มีสีอ่อน เพื่อสะท้อนความร้อนจากรังสีของอาทิตย์





ภาพที่ 2.19 การบูรณนวนที่ได้หลังคาแผ่นโลหะ

ส่วนประกอบ	$R_1$ (มีฉนวน)*	$R_2$ (ไม่มีฉนวน)*
1. फिल्मอากาศภายนอก	0.04	0.040
2. หลังคาแผ่นโลหะ	0	0
3. ฉนวนหนา 75	1.8(ฉนวน)	(ไม่มีฉนวน)
4. ช่องว่างอากาศ	0.6	0.6
5. แผ่นผ้า	0.07	0.07
6. फिल्मภายใน	0.15	0.15

$$R_1 = 2.66 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

$$R_2 = 0.86 \text{ (m}^2\text{K/W)}$$

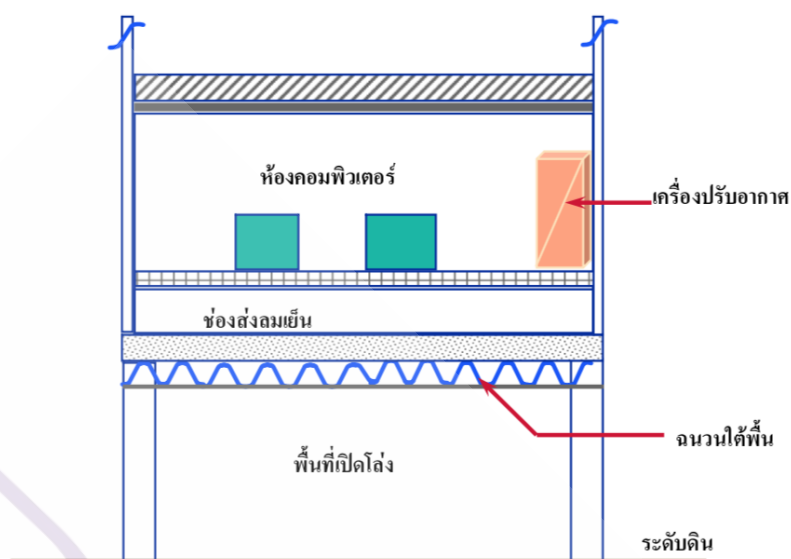
$$U_1 = 0.38 \text{ (W/m}^2\text{ K)}$$

$$U_2 = 1.16 \text{ (W/m}^2\text{ K)}$$

หมายเหตุ. ค่า R สูง หมายถึง ได้รับความร้อนน้อย ค่า U ต่ำ หมายถึง ได้รับความร้อนน้อย

พื้น

ความร้อนที่เข้าสู่อาคารผ่านขึ้นมาจากทางพื้น โดยทั่วไปจะน้อยมาก ไม่มีผล ถ้าพื้นตั้งอยู่บนดินโดยตรง เนื่องจากอุณหภูมิของดินในภูมิภาคเขตร้อนอุ่นค่อนข้างคงที่สำหรับพื้นที่ซึ่งระดับเหนือดินจะมีช่องว่างอากาศใต้พื้น ซึ่งจะมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิโดยรอบ (Ambient Temperature) การบูรณนวนพื้น โดยปกติก็ไม่จำเป็น ยกเว้นว่า ส่วนบนของพื้นตรงนั้นเป็นห้องปรับอากาศ เช่น ห้องคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 2.20 การบุฉนวนใต้พื้นช่องส่งลมเย็นของห้องคอมพิวเตอร์

#### การรั่วซึม (Infiltration)

การรั่วซึม เป็นลักษณะของการที่อากาศไหลจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารผ่านช่องเปิดหรือรอยแตกต่างๆ หรือการเปิด หรือแง้มประตูหรือหน้าต่างทิ้งไว้ อากาศที่รั่วซึมเข้ามานี้ไม่สามารถควบคุมได้และจะนำความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารเพิ่มขึ้น และจะต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อนความร้อนนี้ออกไปโดยการใช้ระบบปรับอากาศ

แนวทางปฏิบัติต่อไปนี้จะสามารถลดการรั่วซึม (Infiltration) อากาศได้

- ระหว่างการก่อสร้าง ให้แน่ใจว่าช่องเปิดที่ไม่จำเป็นและรอยแตกต่างๆ ของเปลือกอาคารจะต้องมีน้อยที่สุด หรือได้ทำการอุดปิด (Seal) ไว้ทั้งหมด และหมั่นดูแลรักษารอยอุดตลอดอายุของอาคาร
- แน่ใจว่าประตูที่เปิดสู่ภายนอกอาคารอยู่ในสภาพปิดอยู่เสมอ โดยการติดตั้งอุปกรณ์ดึงประตูปิด (Door Closer) และมีการอุดปิดขอบประตูไว้เป็นอย่างดี
- จัดให้มีระบบป้องกันอากาศไหลเข้าออก (Air Lock) หรือประตูแบบหมุนรอบ (Revolving Door) ที่ประตูทางเข้าที่มีการเปิด-ปิดเป็นประจำ
- แน่ใจว่าประตูที่เปิดเข้าสู่บันไดอยู่ในสภาพปิดเสมอ เนื่องจากบริเวณบันไดส่วนมากจะติดตั้งระบบระบายอากาศเอาไว้
- แน่ใจว่าหน้าต่างที่สามารถเปิดได้ปิดสนิทอยู่เสมอ

## 2.2.6 ข้อเสนอแนะสำหรับอาคารเก่าในการป้องกันความร้อนผ่านเข้าสู่กรอบอาคาร

เนื้อหานี้มีจุดมุ่งหมายอยู่ที่การก่อสร้างอาคารใหม่ สำหรับอาคารที่มีอยู่เดิม โอกาสในการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้อาคารสามารถประหยัดพลังงานในโครงสร้างของตัวอาคารเองมีน้อยมาก อย่างไรก็ตามวิธีการทางเทคนิคดังต่อไปนี้ สามารถนำไปใช้กับอาคารเก่า เพื่อที่จะลดการใช้พลังงานและเพิ่มความสะดวกสบายในการอาศัยได้ดังนี้

- ติดตั้งฉนวนที่หลังคา หรือบริเวณช่องว่างเหนือฝ้าเพดาน
- ติดตั้งอุปกรณ์ในการบังแดดภายนอกอาคาร ที่หน้าต่างที่แดดสามารถส่องได้
- ติดตั้งอุปกรณ์ในการบังแดดภายใน เช่น ม่านหรือมู่ลี่ที่หน้าต่างที่มีแดดส่องถึง
- ติดตั้งฟอล์ยสะท้อนแสงบริเวณหน้าต่างที่แดดส่องถึง
- เคลือบผิวของหลังคาให้มีการสะท้อนความร้อนได้
- ลดการแทรกซึมของอากาศจากภายนอกโดยการปิดอุดช่องว่างที่ประตู และหน้าต่างทั้งหมดและเพิ่มระบบป้องกันอากาศไหลเข้า-ออก (Air Lock) ที่ประตูทางเข้า

- ทาสีตัวอาคารใหม่โดยให้เป็นสีอ่อน

- ปลุกต้นไม้เพื่อให้ร่มเงาแก่ผนัง (และหลังคาในกรณีของอาคารที่ไม่สูง)

### บทสรุป

กรอบอาคารมีส่วนสำคัญยิ่งต่อการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านกรอบอาคารคิดเป็นร้อยละ 60 ของภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

กรอบอาคารประกอบด้วยส่วนที่เป็นผนังทึบและผนังกระจก การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบและผนังกระจกมีลักษณะที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 2.10 และ 2.11 สำหรับผนังทึบรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผนังทึบส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป อีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนและสะสมไว้ และทำให้ผิวผนังด้านนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังทึบเป็นผลจาก

- ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ผนังดูดกลืนไว้
- ผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร

สำหรับผนังกระจก เมื่อรังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ตกกระทบบนผิวกระจก รังสีอาทิตย์ส่วนหนึ่งจะสามารถส่งผ่านชั้นกระจกไปได้โดยตรง โดยส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนออกไป และอีกส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนไว้ รังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้จะทำให้อุณหภูมิของกระจกสูงขึ้นและเกิดการถ่ายเทความร้อน โดยส่วนหนึ่งเข้าสู่อาคารและอีกส่วนที่เหลือสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก

นอกจากพลังงานความร้อนที่เกิดจากการส่งผ่านรังสีอาทิตย์โดยตรงผ่านกระจก และความร้อนที่ถูกดูดกลืนไว้และถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ยังมีความร้อนอีกส่วนหนึ่งถ่ายเทผ่านกระจก ซึ่ง

เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร

เพื่อให้อาคารที่ก่อสร้างใหม่เป็นอาคารอนุรักษ์พลังงาน ประเทศไทยได้กำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร ซึ่งเป็นการบังคับโดยกฎหมาย ประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคารกำหนดด้วยค่าดัชนีการถ่ายเทความร้อนรวม OTTV และ RTTV (จากตารางที่ 2.6) อาคารที่ผ่านเกณฑ์ประสิทธิภาพของกรอบอาคารดังมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.23 แสดงค่า OTTV และ RTTV ของอาคารประเภทต่างๆ ตามเกณฑ์ที่ได้ปรับปรุงใหม่

ประเภทอาคาร/ลักษณะการใช้งานอาคาร	OTTV ( $Wm^{-2}$ ของผนังด้านนอกอาคาร)	RTTV ( $Wm^{-2}$ ของหลังคาอาคาร)
สำนักงาน สถานศึกษา	$O-OTTV \leq 50$	$O-RTTV \leq 15$
ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้าหรือซูเปอร์สโตร์	$S-OTTV \leq 40$	$S-RTTV \leq 12$
โรงแรม โรงพยาบาล/สถานพักฟื้น	$H-OTTV \leq 30$	$H-RTTV \leq 10$

ค่าประสิทธิภาพพลังงานของกรอบอาคาร OTTV และ RTTV ขึ้นกับค่าสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นกรอบอาคาร และสัดส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to wall ratio: WWR) อาคารที่มีพื้นที่กระจกมากจะมีค่า OTTV สูง ดังตารางที่ 2.23 ปัจจัยที่มีผลต่อค่า OTTV และ RTTV มีดังนี้

ตารางที่ 2.24 ปัจจัยที่มีผลต่อค่า OTTV และ RTTV

ประเภทกรอบอาคาร	ปัจจัยที่มีผลต่อค่า OTTV และ RTTV
ผนังทึบ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สัมประสิทธิ์ความต้านทานความร้อนของวัสดุ</li> <li>- มวลของผนัง</li> <li>- ทิศทางการหันของผนัง</li> <li>- มุมเอียงของผนัง</li> <li>- สีทาภายนอกผนัง</li> </ul>
ผนังโปร่งแสง ผนังกระจก	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง</li> <li>- สัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่าน ผนังโปร่งแสง(SHGC)</li> <li>- อุปกรณ์บังแดดร่วม</li> <li>- ทิศทางการหันของกระจก</li> <li>- มุมเอียงของกระจก</li> </ul>

การดำเนินการมาตรการเพื่อให้กรอบอาคารมีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทผ่านกรอบอาคารมากเกินไปจนเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 2.24 มาตรการการดำเนินการให้กรอบอาคารมีประสิทธิภาพสูง สามารถทำได้ดังนี้

ตารางที่ 2.25 มาตรการการดำเนินการให้กรอบอาคารมีประสิทธิภาพสูง

กรอบอาคาร	มาตรการ
ผนังทึบ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เลือกใช้วัสดุที่มีมวลอุณหภูมิที่เหมาะสมกับอาคาร</li> <li>- ใช้วัสดุแผ่รังสีความร้อนต่ำ</li> <li>- ทาผนังด้วยสีอ่อน</li> <li>- บูลนวนผนังเพื่อลดความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่อาคาร</li> </ul>
กระจกหน้าต่าง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้อุปกรณ์บังแดดทั้งชนิดติดตั้งภายในและภายนอก</li> <li>- ใช้กระจกหน้าต่างชนิดพิเศษที่มีค่า SHGC ต่ำและมีค่าการส่งผ่านแสงสูง</li> <li>- ไม่ใช่พื้นที่หน้าต่างมากเกินไป</li> </ul>

ตารางที่ 2.24 (ต่อ)

กรอบอาคาร	มาตรการ
หลังคา	- บุลนวนพร้อมทั้งแผ่นสะท้อนรังสีใต้หลังคา - ใช้หลังคาที่มีสีอ่อน

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พัชรี ตรีวรภัก (2559) การปรับปรุงอาคารอนุรักษ์เพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมตามแนวทางเกณฑ์ Ecovillage และ Home Quality Mark โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนะแนวทางปรับปรุงอาคารอนุรักษ์เพื่อการประหยัดพลังงานและสร้างภavn่าสบายแก่ผู้ใช้อาคารทั้งด้านการอนุรักษ์อาคารและด้านเศรษฐศาสตร์ โดยเลือกศึกษาบ้านหัวลำโพงซึ่งเป็นอาคาร 2 ชั้น ขนาด 583.3 ตารางเมตร อายุ 113 ปี ในกรุงเทพมหานคร โดยใช้การประเมินตามเกณฑ์ชุมชนน่าอยู่ที่น่าสบายอย่างยั่งยืน Ecovillage ของประเทศไทย และเกณฑ์ Home Quality Mark ของประเทศอังกฤษ โดยจำลองผลการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 การระบายอากาศในอาคารด้วยโปรแกรม Dialux Evo 6.1 รวมทั้งศึกษาวิธีการลดการใช้พลังงานอื่นตามเกณฑ์ที่กำหนด ผลการศึกษาพบว่าอาคารอนุรักษ์เดิมมีการออกแบบที่เอื้ออำนวยกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย เช่น ผนังคอนกรีตหนารับน้ำหนักที่ช่วยหน่วงความร้อน หน้าต่างบานเปิดไม้แบบผลึกและกระทุงที่ช่วยเป็นทั้งแผงบังแดด เปิดรับลมและแสงสว่างได้ตามต้องการ สำหรับเกณฑ์ Ecovillage และ Home Quality Mark (HQM) พบว่าการใช้วัสดุที่มีสารพิษต่ำและการประหยัดน้ำช่วยด้านสุขภาพแก่ผู้อยู่อาศัยและลดการใช้พลังงานในอาคาร ด้านผลจำลองการใช้พลังงานพบว่าการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 4 นิ้ว กับกระเบื้องหลังคาคอนกรีตเดิม และใช้หลอดไฟ LED จะช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ประมาณ 9,000-10,000 บาทต่อปี การใช้สุขภัณฑ์ประหยัดน้ำช่วยประหยัดน้ำได้ 4,884 บาทต่อปี การปรับใช้วัสดุประหยัดพลังงานจะมีมูลค่าการลงทุนเพิ่มขึ้น 1.45% จากงบประมาณการบูรณะ ในภาพรวมการปรับปรุงใช้วัสดุ Eco จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 15,000 บาท ต่อปี และสามารถคืนทุนภายใน 6 ปี

ณัฐกานต์ สมตัว (2553) การประเมินสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมของอาคารที่พักอาศัยโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรตั้งแต่เริ่มต้นการผลิตจนถึงสิ้นสุดการใช้งานหรือการทำลาย เพื่อประเมินผลกระทบของพลังงานและวัสดุที่ใช้ต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลจากบัญชีแสดงปริมาณงานและวัสดุก่อสร้าง (BOQ) ในขั้นตอนการก่อสร้าง การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของบ้านพักอาศัย การใช้พลังงานในการซ่อมแซมบำรุงรักษา ตลอดจน

พลังงานที่ใช้และปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการรีดร้อน โดยทำการประเมินสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมของบ้านไทยอนุรักษ์ไทย 4 ภาค ด้วยวิธี Eco-indicator99 เปรียบเทียบกับ BEES 4.0 เพื่อศึกษาความพร้อมของวิธีการและฐานข้อมูลในการประเมินโครงสร้างและวัสดุทางสถาปัตยกรรม จากการประเมินพบว่าบ้านภาคกลางกรณีศึกษามีแนวโน้มความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าบ้านภาคอื่นๆ กล่าวคือ มีสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมดีที่สุด

อรุณ ศรีษฐบุตร (2550) การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารทาวน์เฮาส์ จัดทำหลักเกณฑ์และแนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำในการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารเพื่อป้องกันความร้อน ในส่วนของอาคารพักอาศัยประเภททาวน์เฮาส์ 2 ชั้น งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจอาคารในท้องตลาดทางด้านลักษณะการออกแบบ อาคารรูปแบบสถาปัตยกรรม การเจาะช่องเปิดประตูหน้าต่าง รวมทั้งการใช้วัสดุเปลือกอาคาร (ผนังทึบและกระจก) เพื่อนำมาสร้างเป็นต้นแบบอาคารอ้างอิง สำหรับการจำลองลักษณะการถ่ายเทความร้อน และการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE-2.1E ผลการจำลองอาคารอ้างอิงได้ถูกนำมากำหนดเป็นฐานการใช้พลังงานเฉลี่ย ในรูปแบบดัชนีการใช้พลังงานในหน่วย กิโลวัตต์ ชม./ตร.ม./ปี เพื่อที่จะปรับปรุงการออกแบบอาคารให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 10% จากฐานการใช้พลังงานเฉลี่ยของทาวน์เฮาส์ในปัจจุบัน โดยยังคงมีความเป็นไปได้ทางการลงทุนวัสดุเปลือกอาคารชนิดต่างๆ ได้ถูกเลือกนำมาใช้ทดสอบเพื่อหาค่าการประหยัดพลังงาน และค่าการลงทุนก่อสร้าง โดยทำการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน และมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี ผลจากการศึกษานี้ได้นำมาใช้เป็นเกณฑ์ขั้นต่ำของค่าความต้านทานความร้อนของเปลือกอาคาร รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก ในรูปแบบของตารางการเลือกใช้งานเพื่อสะดวกแก่การนำมาใช้เป็นกฎหมายควบคุมอาคารต่อไป

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้นำมาเป็นแนวทางในการศึกษาการนำเสนอทางเลือกการใช้วัสดุกรอบอาคาร การออกแบบอาคาร เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้พลังงานในอาคาร รวมถึงเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆตลอดวัฏจักรวงจรชีวิตของกรอบอาคารมีความเหมาะสมและคุ้มค่าที่สุด

### บทที่ 3

#### ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

- 3.1) ศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น และ กำหนดวัตถุประสงค์ในการวิจัย
- 3.2) กำหนดขอบเขตของการศึกษา
- 3.3) ศึกษาผลงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 3.4) การเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.5) ศึกษารูปแบบของข้อมูลและทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ
- 3.6) สรุปผล และนำเสนองานวิจัย

จากขั้นตอนต่างๆที่ได้กล่าวมานั้น สามารถอธิบายเป็นแผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยได้ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดสามารถอธิบายเป็นขั้นตอนการดำเนินการการวิจัยอย่างละเอียด เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยบรรลุผลสำเร็จได้ดังนี้

### 3.1 ศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นและกำหนดวัตถุประสงค์ในการวิจัย

การดำเนินการเริ่มการก่อสร้างของอาคาร โดยทั่วไปนั้น ให้ความสำคัญในช่วงระยะของการออกแบบ ค่าใช้จ่ายในช่วงการดำเนินการก่อสร้าง โดยมักจะบริหารต้นทุนให้ถูกที่สุดในช่วงระยะเวลาการก่อสร้าง แต่ไม่ได้คำนึงถึงช่วงระยะเวลาของการใช้อาคาร การบำรุงรักษาอาคาร การใช้พลังงานของอาคารตลอดช่วงอายุอาคาร รวมถึงช่วงระยะเวลาสุดท้ายของวงจรชีวิตของอาคาร

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จะประเมินสมรรถนะของอาคาร ในด้านการใช้พลังงานในอาคาร สภาพแวดล้อมในอาคาร และค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมของอาคารให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

### 3.2 กำหนดขอบเขตของการศึกษา

3.2.1 ศึกษาข้อมูลการก่อสร้าง การใช้วัสดุอาคาร การใช้พลังงานในอาคาร ของอาคารสถานพยาบาลที่เป็นต้นแบบ

3.2.2 เปรียบเทียบการใช้วัสดุอาคาร เพื่อคำนวณการใช้พลังงานในอาคาร และประเมินสมรรถนะของวัสดุอาคาร ในด้านการใช้พลังงาน และเปรียบเทียบเป็นค่าใช้จ่าย

3.2.3 การประเมินการใช้พลังงานของอาคาร โดยใช้โปรแกรม BEC (Building Energy Code) เวอร์ชัน 1.0.6

### 3.3 ศึกษาผลงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ การใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร โดยศึกษารูปแบบของอาคาร วัสดุอาคาร และค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแปลงวัสดุกรอบอาคาร ตลอดจนจนถึงการบำรุงรักษาซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้ เกี่ยวข้องกับทฤษฎีต่างๆดังนี้

1. ระบบกรอบอาคาร
2. Building performance evaluation
3. Life Cycle Cost Assessment

### 3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลอาคารจากอาคารต้นแบบของอาคารประกอบด้วย พื้นที่ใช้สอยอาคาร/พื้นที่ปรับอากาศ, วัสดุผนัง, วัสดุกระจก, วัสดุหลังคา, ระบบไฟฟ้าและแสงสว่าง, ระบบปรับอากาศ, การพลังงานหมุนเวียน โดยใช้โปรแกรม BEC (Building Energy Code) เวอร์ชัน 1.0.6 เพื่อหาค่าพื้นฐานของการใช้พลังงานในอาคาร และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอาคารส่วนที่พิจารณา

รวบรวมข้อมูลจากการเปลี่ยนแปลงวัสดุอาคาร การปรับปรุงอาคาร ผลของการใช้พลังงานอาคาร ค่าใช้จ่ายจากการเปลี่ยนแปลง ปรับปรุงวัสดุอาคารแต่ละตัวอย่าง

ลักษณะโดยรวมของอาคารตัวอย่าง เป็นอาคารสถานพยาบาลสูง 4 ชั้น พื้นที่ใช้สอย 2,140.5 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 1,493.42 ตารางเมตร พื้นที่ไม่ปรับอากาศ 647.08 ตารางเมตร

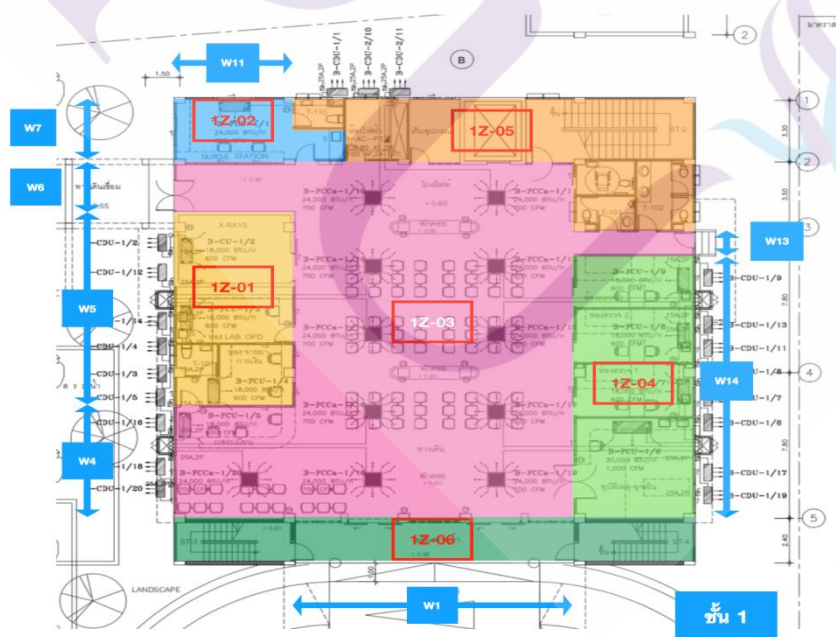
3.4.1 การแบ่งโซนอาคาร ทำการกำหนดโซนของอาคาร ทั้งส่วนที่ปรับอากาศ และไม่ปรับอากาศ ระบบการใช้งาน และพื้นที่ใช้สอยของแต่ละโซน ดังตารางที่ 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 และ 3.5 และแสดงการแบ่งโซนในแบบแปลน ดังภาพที่ 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 และ 3.5

ตารางที่ 3.1 การแบ่งโซนอาคารชั้น 1

โซน	ชั้น	ปรับ/ไม่ปรับอากาศ	การใช้งาน	พื้นที่ใช้สอย(ตรม)
1z-01	1	A/C	ห้องx-ray ,ห้องแล็บ, ห้องจ่าย ยาการเงิน	51.5
1z-02	1	A/C	nurse station	20.4
1z-03	1	A/C	ห้องเวชระเบียน, โถงพักคอย โถงลิฟท์	282.84
1z-04	1	A/C	ห้องฉุกเฉิน,ห้องตรวจ 1 2 3	71.68
1z-05	1	No A/C	ห้องไฟฟ้า,ห้องเก็บอุปกรณ์ ลิฟท์,บันไดหลัก,ห้องน้ำ ,ห้องน้ำ nurse station	67.56
1z-06	1	No A/C	เฉลียงทางเข้า,บันไดหนีไฟ	47.96
			รวม	541.94

A/C : โซนปรับอากาศ

No A/C : โซนไม่ปรับอากาศ



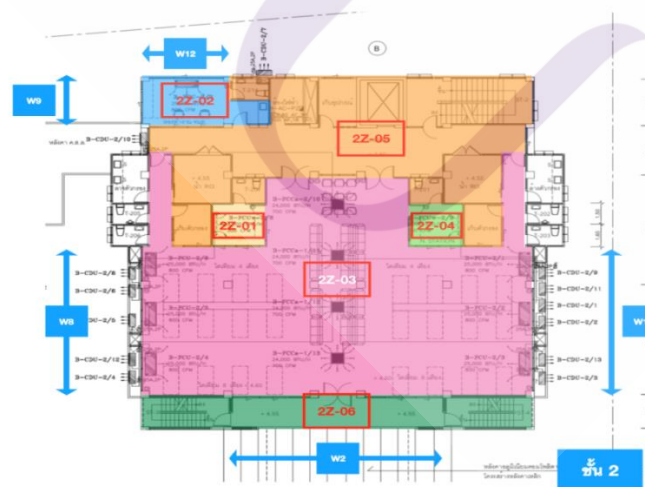
ภาพที่ 3.2 การแบ่งโซนอาคารชั้น 1

ตารางที่ 3.2 การแบ่งโซนอาคารชั้น 2

โซน	ชั้น	ปรับ/ไม่ปรับอากาศ	การใช้งาน	พื้นที่ใช้สอย(ตรม)
2z-01	2	A/C	nurse station	9
2z-02	2	A/C	ห้องทำงานเจ้าหน้าที่	20.4
2z-03	2	A/C	โซนไต่เทียม	286.64
2z-04	2	A/C	nurse station	9
2z-05	2	No A/C	ห้องน้ำห้องทำงานเจ้าหน้าที่ , ห้องน้ำ nurse station 2 ห้อง ,ห้องน้ำ RO 2 ห้อง,ห้องล้าง ตัวกรอง2ห้อง,บันไดหลัก ,ลิฟท์,ห้องเก็บอุปกรณ์,ห้อง ไฟฟ้า,โถงทางเดิน	152.92
2z-06	2	No A/C	เฉลียงทางเข้า,บันไดหนีไฟ	47.96
2z-07	2	No A/C	ห้องน้ำผู้รับบริการ2ห้อง,ห้อง เก็บตัวกรอง	13.1
2z-08	2	No A/C	ห้องน้ำผู้รับบริการ2ห้อง,ห้อง เก็บตัวกรอง	13.1
			รวม	552.12

A/C : โซนปรับอากาศ

No A/C : โซนไม่ปรับอากาศ



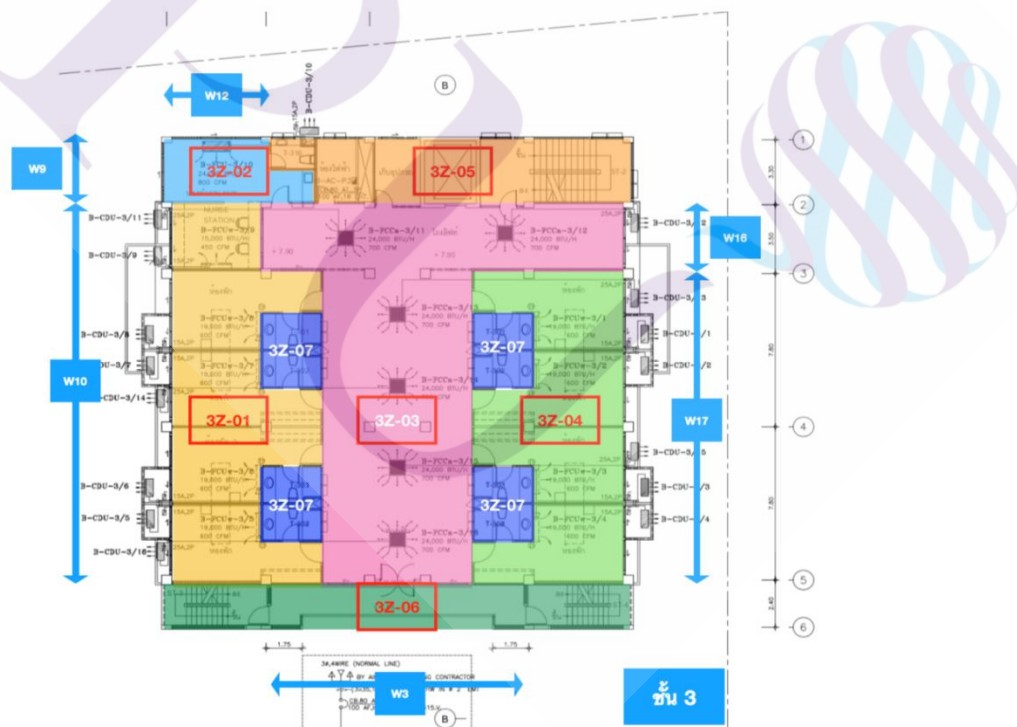
ภาพที่ 3.3 การแบ่งโซนอาคารชั้น 2

ตารางที่ 3.3 การแบ่งโซนอาคารชั้น 3

โซน	ชั้น	ปรับ/ไม่ปรับอากาศ	การใช้งาน	พื้นที่ใช้สอย(ตรม)
3z-01	3	A/C	ห้องพัก 4 ห้องฝั่งซ้าย	84.64
3z-02	3	A/C	ห้องทำงานเจ้าหน้าที่,nurse station	33
3z-03	3	A/C	โถงลิฟท์,โถงทางเดิน	168.7
3z-04	3	A/C	ห้องพัก 4 ห้องฝั่งขวา	84.64
3z-05	3	No A/C	ห้องน้ำห้องทำงานเจ้าหน้าที่, ห้องไฟฟ้า,ห้องเก็บอุปกรณ์ ,ลิฟท์,บันไดหลัก	49.56
3z-06	3	No A/C	เฉลียงทางเข้า,บันไดหนีไฟ	47.96
3z-07	3	No A/C	ห้องน้ำห้องพัก 8 ห้อง	54.72
			รวม	523.22

A/C : โซนปรับอากาศ

No A/C : โซน ไม่ปรับอากาศ



ภาพที่ 3.4 การแบ่งโซนอาคารชั้น 3

ตารางที่ 3.4 การแบ่งโซนอาคารชั้น 4

โซน	ชั้น		ปรับ/ไม่ปรับอากาศ	การใช้งาน	พื้นที่ใช้สอย (ตรม)
4z-01	4		A/C	ห้องพัก 4 ห้องฝั่งซ้าย	84.64
4z-01	4		A/C	ห้องพัก 4 ห้องฝั่งซ้าย	84.64
4z-02	4		A/C	ห้องทำงานเจ้าหน้าที่ ,nurse station	33
4z-03	4		A/C	โถงลิฟท์,โถงทางเดิน	168.7
4z-04	4		A/C	ห้องพัก 4 ห้องฝั่งขวา	84.64
4z-05	4		No A/C	ห้องน้ำห้องทำงาน เจ้าหน้าที่,ห้องไฟฟ้า, ห้องเก็บอุปกรณ์,ลิฟท์, บันไดหลัก	49.56
4z-06	4		No A/C	เฉลียงทางเข้า,บันได หนีไฟ	47.96
4z-07	4	No A/C	ห้องน้ำห้องพัก 8 ห้อง	54.72	
			รวม	523.22	

A/C : โซนปรับอากาศ

No A/C : โซนไม่ปรับอากาศ



ภาพที่ 3.5 การแบ่งโซนอาคารชั้น 4

### 3.4.2 กรอบอาคาร

ส่วนของผนัง (section) อาคาร จากแบบอาคารสามารถกำหนดส่วนผนังที่ปได้ 9 ลักษณะ ส่วนผนังโปร่งแสงได้ 1 ลักษณะ ระบุลงในโปรแกรม BEC เวอร์ชัน 1.0.6 ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การกำหนดกรอบอาคาร

รหัสผนัง	องค์ประกอบ	ความหนา(เมตร)					หมายเหตุ
		base case	model 1	model 2	model 3	model 4	
01	-ปูนฉาบ	0.01	0.01	0.01			ผนัง ทั่วไป
	-คอนกรีตมวลเบา	0.075	0.075	0.10			
	-ปูนฉาบ	0.01	0.01	0.01			
02	-ปูนฉาบ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	เสา
	-คอนกรีต	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	-ปูนฉาบ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
03	-ปูนฉาบ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	ชาร์ป
	-อิฐมวลเบาค้างแผ่น	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
	-ช่องอากาศ	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	-อิฐมวลเบาค้างแผ่น	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
	-ปูนฉาบ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	

ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

รหัส ผนัง	องค์ประกอบ	ความหนา(เมตร)					หมายเหตุ
		base case	model 1	model 2	model 3	model 4	
04	-ปูนฉาบ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	ผนังห้อง เอ็กเรย์
	-คอนกรีต	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	
	-ปูนฉาบ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
05	-ปูนฉาบ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	ผนังหน้า ลิฟท์
	-คอนกรีต	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	
	-หินแกรนิต	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
06	-ปูนฉาบ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	พื้น
	-คอนกรีต	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	
07	-ปูนฉาบ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	ผนัง บันได หนีไฟ
	-อิฐมวลเบาเต็มแผ่น	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	
	-กระเบื้อง	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
T1	กระจกใส	0.006	0.006	0.006	0.006 (solar tag)	0.006 (low E)	
T2	กระจกเขียวตัดแสง	0.006	0.006	0.006	0.006 (solar tag)	0.006 (low E)	
R1	-คอนกรีต	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
	-กระเบื้องซีเมนต์ ใยหินลอนใหญ่	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
	-air gap roof	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
	-ฝ้ายิปซัม	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	
	-ฉนวนใยแก้ว		0.15	0.03 (โพลี เอทธีลีน)	0.03 (โพลี เอทธีลีน)	0.03(โพลี เอทธีลีน)	
R2	-คอนกรีตสแลบ	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	
	-air gap roof	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
	-ฝ้ายิปซัม	0.012	-0.012	-0.012	-0.012	-0.012	
	-ฉนวนใยแก้ว	-	0.15	0.03(โพลี เอทธีลีน)	0.03(โพลีเอทธี ลีน)	0.03(โพลี เอทธีลีน)	

3.4.2 ส่วนผนังอาคาร ทำการกำหนดส่วนผนังตามโซน และผนังส่วนปรับอากาศในแต่ละทิศ  
ของอาคาร ดังตารางที่ 3.6



ตารางที่ 3.6 การแบ่งส่วนผนังอาคาร

รหัสผนัง	รายละเอียด			
	ส่วนประกอบผนัง	พื้นที่ (ตารางเมตร)	รวมพื้นที่ (ตารางเมตร)	หมายเหตุ
W1	01	15.3	50.8	ทิศตะวันออก(E) ด้านหน้าชั้น 1
	02	6.24		
	06	1.9		
	T1	27.36		
W2	01	21.19	41.91	ทิศตะวันออก(E) ด้านหน้าชั้น 2
	02	3.43		
	06	1.9		
	T1	15.39		
W3	01	8.82	23.1	ทิศตะวันออก(E) ด้านหน้าชั้น 3,4
	02	3.43		
	06	1.05		
	T1	9.8		
W4	01	16.81	28	ทิศใต้(S) ด้านข้างชั้น 1
	02	2.08		
	06	1.05		
	T1	8.06		
W5	01	12.09	40	ทิศใต้(S) ด้านข้างชั้น 1
	02	4.16		
	04	16		
	06	1.5		
	T1	6.25		
W6	01	2.22	9.6	ทิศใต้(S) ด้านข้างชั้น 1
	06	0.36		
	T1	7.02		
W7	01	9.9	15.2	ทิศใต้(S) ด้านข้างชั้น 1
	02	2.08		
	06	0.5		
	T1	2.72		
W8	01	17.12	34.98	ทิศใต้(S) ด้านข้างชั้น 2
	02	3.43		
	06	1.59		
	T1	12.84		

ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

รหัสผนัง	รายละเอียด			
	ส่วนประกอบผนัง	พื้นที่ (ตารางเมตร)	รวมพื้นที่ (ตารางเมตร)	หมายเหตุ
W9	01	5.95	10.89	ทึสใต้(S) ด้านข้างชั้น 3,4
	02	1.72		
	06	0.5		
	T1	2.72		
W10	01	40.05	63.05	ทึสใต้(S) ด้านข้างชั้น 3,4
	02	5.15		
	06	2.89		
	T1	14.96		
W11	01	11.05	19.2	ทึสตะวันตก(W) ด้านข้างชั้น 1
	02	2.08		
	06	0.72		
	T1	5.35		
W12	01	8.04	15.83	ทึสตะวันตก(W) ด้านข้างชั้น 1,2,3,4
	02	1.72		
	06	0.72		
	T1	5.35		
W13	01	4.14	4.8	ทึสเหนือ(N) ด้านข้างชั้น 1
	02	0.18		
	06	0.48		
	T1	4.14		
W14	01	27.27	62.4	ทึสเหนือ(N) ด้านข้างชั้น 1
	02	4.16		
	06	15.42		
	T1	15.55		
W15	01	16.46	34.32	ทึสเหนือ(N) ด้านข้างชั้น 2
	02	3.43		
	06	1.59		
	T1	12.84		

### ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

รหัสผนัง	รายละเอียด			หมายเหตุ
	ส่วนประกอบผนัง	พื้นที่ (ตารางเมตร)	รวมพื้นที่ (ตารางเมตร)	
W16	01	4.58	11.55	ทิศเหนือ(N) ด้านข้างชั้น 3,4
	06	0.53		
	T1	6.44		
W17	01	24.95	51.48	ทิศเหนือ(N) ด้านข้างชั้น 3,4
	02	5.15		
	06	2.34		
	T1	19.04		
R1	R1	396	396	หลังคา
R2	R2	162	162	หลังคา

#### 3.4.3 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ระบุอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารต้นแบบลงในโปรแกรม BEC เวอร์ชัน 1.0.6 เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการคำนวณการใช้พลังงานในอาคารที่ทำการศึกษาดังตารางที่ 3.7 และ 3.8

#### ตารางที่ 3.7 การกำหนดอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารต้นแบบ

ชนิดโคมแสงสว่าง		การติดตั้ง	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
B120	โคมกล่องเหล็ก 1*20w ชนิดหลอด MAS LED tube	ติดฝ้า	20
DL114	โคม Downlight 1*14w ชนิดหลอด LED bulb	ฝังฝ้า	14
DL109	โคม Downlight 1*9w ชนิดหลอด LED bulb	ฝังฝ้า	9
DL114-G	โคม Downlight 1*14w ชนิดหลอด LED bulb มีกระจก	ฝังฝ้า	14
U128-PD	โคม U-Shape 1*20w ชนิดหลอด MAS LED tube	ฝังฝ้า	20
D320-6AL	โคมตะแกรงฝังฝ้าชนิดมีรังผึ้ง 3*20w ชนิดหลอด MAS LED tube	ฝังฝ้า	60
D220-3AL	โคมตะแกรงฝังฝ้าชนิดมีรังผึ้ง 2*20w ชนิดหลอด MAS LED tube	ฝังฝ้า	40
D314-6AL	โคมตะแกรงฝังฝ้าชนิดมีรังผึ้ง 3*14w ชนิดหลอดฟลูออ	ฝังฝ้า	42

ตารางที่ 3.7 (ต่อ)

ชนิดโคมแสงสว่าง		การติดตั้ง	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
	เรตเซนต์		
D320-6PD	โคม Diffuser 3*20w ชนิดหลอด MAS LED tube	ฝังฝ้า	60
D220-3PD	โคม Diffuser 2*20w ชนิดหลอด MAS LED tube	ฝังฝ้า	40
H320-6PD	โคม Clean Room 3*20w ชนิดหลอด MAS LED tube	ฝังฝ้า	60
H220-3PD	โคม Clean Room 2*20w ชนิดหลอด MAS LED tube	ฝังฝ้า	40
H310-6PD	โคม Clean Room 3*10w ชนิดหลอด MAS LED tube	ฝังฝ้า	30
DL(LED)	โคมไฟดาวไลท์ LED 40w	ฝังฝ้า	40

ตารางที่ 3.8 กำหนดโซนไฟฟ้าและแสงสว่าง

โซน	ชั้น	ปรับ/ ไม่ปรับอากาศ	การใช้งาน	พื้นที่ใช้สอย (ตรม)	ชนิดหลอด	กำลังไฟฟ้า ต่อชุด(วัตต์)	จำนวน (หลอด)
1z-01	1	A/C	ห้องx-ray ,ห้องแล็บ, ห้องจ่ายยา การเงิน	51.5	D220-3PD	40	5
					DL114	14	1
					D320-6PD	60	3
1z-02	1	A/C	nurse station	20.4	D320-6AL	60	2
					D314-6AL	42	1
1z-03	1	A/C	ห้องเวชระเบียน, โถงพักคอย โถงลิฟท์	282.84	DL114-G	14	12
					DL114	14	21
					D320-6AL	60	26
1z-04	1	A/C	ห้องฉุกเฉิน,ห้องตรวจ 1 2 3	71.68	D320-6PD	60	10
1z-05	1	No A/C	ห้องไฟฟ้า,ห้องเก็บอุปกรณ์,ลิฟท์, บันไดหลัก,ห้องน้ำ,ห้องน้ำ nurse station	67.56	U128-PD	20	4
					DL114	14	1
1z-06	1	No A/C	เฉลียงทางเข้า,บันไดหนีไฟ	47.96	DL114	14	16
					U128-PD	20	4
			รวม	541.94			

A/C : โชนปรับอากาศ

No A/C : โชนไม่ปรับอากาศ

ตารางที่ 3.8 (ต่อ)

โซน	ชั้น	ปรับ/ ไม่ปรับอากาศ	การใช้งาน	พื้นที่ใช้สอย (ตรม)	ชนิดหลอด	กำลังไฟฟ้า ต่อชุด(วัตต์)	จำนวน (หลอด)
2z-01	2	A/C	nurse station	9	DL114-G	14	4
2z-02	2	A/C	ห้องทำงานเจ้าหน้าที่	20.4	D320-6AL	60	2
					D314-6AL	42	1
2z-03	2	A/C	โซนไคเทียม	286.64	D320-6PD	60	24
					D320-6AL	60	12
					DL114	14	54
2z-04	2	A/C	nurse station	9	DL114-G	14	4
2z-05	2	No A/C	ห้องน้ำห้องทำงานเจ้าหน้าที่, ห้องน้ำ nurse station 2 ห้อง, ห้องน้ำ RO 2 ห้อง, ห้องเก็บตัวกรอง 2 ห้อง, บันไดหลัก, ลิฟท์, ห้องเก็บอุปกรณ์, ห้องไฟฟ้า, โถงทางเดิน	152.92	DL114-G	14	2
					D320-6PD	60	2
					D320-6AL	60	10
					D314-6AL	42	1
					U128-PD	20	4
					DL114	14	1
2z-06	2	No A/C	เฉลียงทางเข้า, บันไดหนีไฟ	47.96	U128-PD	20	4
					DL114	14	8
2z-07	2	No A/C	ห้องน้ำผู้รับบริการ 2 ห้อง, ห้องล้างตัว กรอง	13.1	U128-PD	20	1
					DL114	14	2
2z-08	2	No A/C	ห้องน้ำผู้รับบริการ 2 ห้อง, ห้องล้างตัว กรอง	13.1	U128-PD	20	1
					DL114	14	2
			รวม	552.12			

A/C : โซนปรับอากาศ

No A/C : โซนไม่ปรับอากาศ

ตารางที่ 3.8 (ต่อ)

โซน	ชั้น	ปรับ/ ไม่ปรับอากาศ	การใช้งาน	พื้นที่ใช้สอย (ตรม)	ชนิดหลอด	กำลังไฟฟ้า ต่อชุด (วัตต์)	จำนวน (หลอด)
3z-01	3	A/C	ห้องพัก 4 ห้องฝั่งซ้าย	84.64	DL114-G	14	20
3z-02	3	A/C	ห้องทำงานเจ้าหน้าที่,nurse station	33	D320-6AL	60	3
					D314-6AL	42	1
3z-03	3	A/C	โถงลิฟท์,โถงทางเดิน	168.7	D320-6AL	60	21
3z-04	3	A/C	ห้องพัก 4 ห้องฝั่งขวา	84.64	DL114-G	14	20
3z-05	3	No A/C	ห้องน้ำห้องทำงานเจ้าหน้าที่,ห้อง ไฟฟ้า,ห้องเก็บอุปกรณ์,ลิฟท์,บันได หลัก	49.56	U128-PD	20	4
					DL114	14	1
3z-06	3	No A/C	เฉลียงทางเข้า,บันไดหนีไฟ	47.96	U128-PD	20	4
					DL114	14	8
3z-07	3	No A/C	ห้องน้ำห้องพัก 8 ห้อง	54.72	DL114	14	8
			รวม	523.22			
4z-01	4	A/C	ห้องพัก 4 ห้องฝั่งซ้าย	84.64	DL114-G	14	20
4z-02	4	A/C	ห้องทำงานเจ้าหน้าที่,nurse station	33	D320-6AL	60	3
					D314-6AL	42	1
4z-03	4	A/C	โถงลิฟท์,โถงทางเดิน	168.7	D320-6AL	60	21
4z-04	4	A/C	ห้องพัก 4 ห้องฝั่งขวา	84.64	DL114-G	14	20
4z-05	4	No A/C	ห้องน้ำห้องทำงานเจ้าหน้าที่,ห้อง ไฟฟ้า,ห้องเก็บอุปกรณ์,ลิฟท์,บันได หลัก	49.56	U128-PD	20	4
					DL114	14	1
4z-06	4	No A/C	เฉลียงทางเข้า,บันไดหนีไฟ	47.96	U128-PD	20	4
					DL114	14	8
4z-07	4	No A/C	ห้องน้ำห้องพัก 8 ห้อง	54.72	DL114	14	8
			รวม	523.22			
			รวม	541.94			

A/C : โซนปรับอากาศ

No A/C : โซนไม่ปรับอากาศ

3.4.4 ระบบปรับอากาศ ระบบเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในอาคารต้นแบบลงในโปรแกรม BEC เวอร์ชัน 1.0.6 เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการคำนวณการใช้พลังงานในอาคารที่ทำการศึกษา ดังตารางที่ 3.9 และ 3.10

ตารางที่ 3.9 แสดงประเภทเครื่องปรับอากาศในอาคารต้นแบบ

รหัสอุปกรณ์	เครื่องปรับอากาศ/การติดตั้ง	ชนิดของระบบปรับอากาศ	ขนาดการทำความเย็น (Btu/hr)	พิกัดพลังงานไฟฟ้า (KW)
FCC24	4-way ceiling cassette type	split type	24,000	2.18
FCU9	fan coil unit ceiling type	split type	9,000	0.82
FCU15	fan coil unit ceiling type	split type	15,000	1.36
FCU18	fan coil unit ceiling type	split type	18,000	1.64
FCU19	fan coil unit ceiling type	split type	19,000	1.73
FCU24	fan coil unit ceiling type	split type	24,000	2.18
FCU25	fan coil unit ceiling type	split type	25,000	2.27
FCU30	fan coil unit ceiling type	split type	30,000	2.73

ตารางที่ 3.10 กำหนดโซนเครื่องปรับอากาศ

โซน	ชั้น	ปรับ/ไม่ปรับอากาศ	การใช้งาน	พื้นที่ใช้สอย(ตรม)	รหัสอุปกรณ์	ขนาดความเย็น (Btu/hr)	กำลังไฟฟ้าต่อชุด(kw)	จำนวน
1z-01	1	A/C	ห้องx-ray ,ห้องแล็บ , ห้องจ่ายยาการเงิน	51.5	FCU18	18,000	1.64	3
1z-02	1	A/C	nurse station	20.4	FCU24	24,000	2.18	1
1z-03	1	A/C	ห้องเวชระเบียน, โถงพักคอย โถงลิฟท์	282.84	FCU24	24,000	2.18	1
					FCC24	24,000	2.18	11
1z-04	1	A/C	ห้องฉุกเฉิน,ห้องตรวจ 1 2 3	71.68	FCU30	30,000	2.73	1
					FCU18	18,000	1.64	3

ตารางที่ 3.10 (ต่อ)

โซน	ชั้น	ปรับ/ ไม่ปรับ อากาศ	การใช้งาน	พื้นที่ใช้ สอย(ตรม)	รหัส อุปกรณ์	ขนาด ความเย็น (Btu/hr)	กำลังไฟฟ้า ต่อชุด(kw)	จำนวน
1z-05	1	No A/C	ห้องไฟฟ้า,ห้องเก็บ อุปกรณ์,ลิฟท์,บันได หลัก,ห้องน้ำ,ห้องน้ำ nurse station	67.56	-	-	-	-
1z-06	1	No A/C	เฉลียงทางเข้า,บันได หนีไฟ	47.96	-	-	-	-
			รวม	541.94				
2z-01	2	A/C	nurse station	9	FCU9	9,000	0.82	1
2z-02	2	A/C	ห้องทำงานเจ้าหน้าที่	20.4	FCU25	25,000	2.27	1
2z-03	2	A/C	โซน ไตเทียม	286.64	FCU25	25,000	2.27	6
					FCC24	24,000	2.18	4
2z-04	2	A/C	nurse station	9	FCU9	9,000	0.82	1
2z-05	2	No A/C	ห้องน้ำห้องทำงาน เจ้าหน้าที่,ห้องน้ำ nurse station2ห้อง ,ห้องน้ำ RO 2ห้อง,ห้อง เก็บตัวกรอง 2 ห้อง, บันไดหลัก,ลิฟท์,ห้อง เก็บอุปกรณ์,ห้องไฟฟ้า, โถงทางเดิน	152.92	-	-	-	-
2z-06	2	No A/C	เฉลียงทางเข้า,บันได หนีไฟ	47.96	-	-	-	-
2z-07	2	No A/C	ห้องน้ำผู้รับบริการ2 ห้อง,ห้องล้างตัวกรอง	13.1	-	-	-	-
2z-08	2	No A/C	ห้องน้ำผู้รับบริการ2 ห้อง,ห้องล้างตัวกรอง	13.1	-	-	-	-
			รวม	552.12				
3z-01	3	A/C	ห้องพัก 4 ห้องฝั่งซ้าย	84.64	FCU19	19,000	1.73	4
3z-02	3	A/C	ห้องทำงานเจ้าหน้าที่ ,nurse station	33	FCU24	24,000	2.18	1
					FCU15	15,000	1.36	1



ตารางที่ 3.10 (ต่อ)

โซน	ชั้น	ปรับ/ ไม่ปรับ อากาศ	การใช้งาน	พื้นที่ใช้ สอย(ตรม)	รหัส อุปกรณ์	ขนาด ความเย็น (Btu/hr)	กำลังไฟฟ้า ต่อชุด(kw)	จำนวน
3z-03	3	A/C	ลิฟท์, โถงทางเดิน	168.7	FCC24	24,000	2.18	6
3z-04	3	A/C	ห้องพัก 4 ห้องฝั่งขวา	84.64	FCU19	19,000	1.73	4
3z-05	3	No A/C	ห้องน้ำห้องทำงาน เจ้าหน้าที่, ห้องไฟฟ้า, ห้องเก็บอุปกรณ์, ลิฟท์, บันไดหลัก	49.56	-	-	-	-
3z-06	3	No A/C	เฉลียงทางเข้า, บันได หนีไฟ	47.96	-	-	-	-
3z-07	3	No A/C	ห้องน้ำห้องพัก 8 ห้อง	54.72	-	-	-	-
			รวม	523.22	-	-	-	-
4z-01	4	A/C	ห้องพัก 4 ห้องฝั่งซ้าย	84.64	FCU19	19,000	1.73	4
4z-02	4	A/C	ห้องทำงานเจ้าหน้าที่ , nurse station	33	FCU24	24,000	2.18	1
					FCU15	15,000	1.36	1
4z-03	4	A/C	ลิฟท์, โถงทางเดิน	168.7	FCC24	24,000	2.18	6
4z-04	4	A/C	ห้องพัก 4 ห้องฝั่งขวา	84.64	FCU19	19,000	1.73	4
4z-05	4	No A/C	ห้องน้ำห้องทำงาน เจ้าหน้าที่, ห้องไฟฟ้า, ห้องเก็บอุปกรณ์, ลิฟท์, บันไดหลัก	49.56	-	-	-	-
4z-06	4	No A/C	เฉลียงทางเข้า, บันได หนีไฟ	47.96	-	-	-	-
4z-07	4	No A/C	ห้องน้ำห้องพัก 8 ห้อง	54.72	-	-	-	-
			รวม	523.22	-	-	-	-

A/C : โซนปรับอากาศ

No A/C : โซนไม่ปรับอากาศ

3.4.4 ค่าก่อสร้างส่วนเปลือกอาคารของอาคารต้นแบบ และ การเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคาร  
กำหนดเป็นทางเลือกแต่ละแนวทาง ดังแสดงในตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 แสดงค่าก่อสร้างส่วนเปลือกอาคารของอาคารต้นแบบ และ ทางเลือกแต่ละแนวทาง

ทางเลือก	เปลือกอาคาร	การเปลี่ยนแปลงวัสดุเปลือกอาคาร	ปริมาณพื้นที่ (ตารางเมตร)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง (บาท)	ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ	
อาคารต้นแบบ	หลังคา	กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนใหญ่	396	450	178,200.00		
		คอนกรีตสแลบ	162	550	89,100.00		
	ผนัง	ฝ้าเพดาน	ฝ้ายิปซัมบอร์ดหนา 1.2 ซม	370.98	340	126,133.20	
			ผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 7.5 cm ฉาบปูน(ความหนาแน่น 1280 กก/ลบม ค่า k 0.476	354.41	311.6	110,434.16	
		กระจก	กระจกใสชั้นเดียว	234.16	828	193,884.48	
ค่าลงทุนอาคารต้นแบบ				รวม	697,751.84		
ทางเลือก 1	หลังคา	กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนใหญ่	396	450	178,200.00		
		<b>ฉนวนใยแก้วใต้หลังคา</b>	<b>370.98</b>	<b>195</b>	<b>72,341.10</b>		
		คอนกรีตสแลบ	162	550	89,100.00		
	ผนัง	ฝ้าเพดาน	ฝ้ายิปซัมบอร์ดหนา 1.2 ซม	370.98	340	126,133.20	
				ผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูน (ความหนาแน่น 1280 กก/ลบม ค่า k 0.476	354.41	311.6	110,434.16
			<b>เปลี่ยนสีผนังเป็นสีขาว</b>	<b>645.49</b>	<b>190</b>	<b>122,643.10</b>	
	กระจก	กระจกใสชั้นเดียว	234.16	828	193,884.48		
ค่าลงทุนทางเลือก 1				รวม	<b>892,736.04</b>	<b>194,984.20</b>	
ทางเลือก 2	หลังคา	กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนใหญ่	396	450	178,200.00		
		คอนกรีตสแลบ	162	550	89,100.00		
		<b>ฉนวนโพลีเอทิลีน หนา 1.2 นิ้ว (3 ซม)</b>	<b>370.98</b>	<b>235</b>	<b>87,180.30</b>		
	ผนัง	ฝ้าเพดาน	ฝ้ายิปซัมบอร์ดหนา 1.2 ซม	370.98	340	126,133.20	
				ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 10 ซม ฉาบปูน(ความหนาแน่น 620 กก/ลบม) ค่า k 0.18	354.41	368.25	130,511.48
			<b>เปลี่ยนสีผนังเป็นสีขาว</b>	<b>645.49</b>	<b>190</b>	<b>122,643.10</b>	
	กระจก	กระจกใสชั้นเดียว	234.16	828	193,884.48		
ค่าลงทุนทางเลือก 2				รวม	<b>927,652.56</b>	<b>229,900.73</b>	
ทางเลือก 3	หลังคา	กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนใหญ่	396	450	178,200.00		
		คอนกรีตสแลบ	162	550	89,100.00		

ตารางที่ 3.11 (ต่อ)

ทางเลือก	เปลือกอาคาร	การเปลี่ยนแปลงวัสดุเปลือกอาคาร	ปริมาณพื้นที่ (ตารางเมตร)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง (บาท)	ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากอาคารต้นแบบ
		ฉนวนโพลีเอทธีลีน หนา 1.2 นิ้ว(3 ซม)	370.98	235	87,180.30	
		SOLAR PV	370.98	5000	1,854,900.00	
	ฝ้าเพดาน	ฝ้ายิปซัมบอร์ดหนา 1.2 ซม	370.98	340	126,133.20	
	ผนัง	ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 10 ซม ฉาบปูน(ความหนาแน่น 620 กก/ลบม ค่า k 0.18	354.41	368.25	130,511.48	
		เปลี่ยนสีผนังเป็นสีขาว	645.49	190	122,643.10	
	กระจก	กระจก solar tag 6 mm(insulating glass)	234.16	2240	524,518.40	
ค่าลงทุนทางเลือก 3				รวม	3,113,186.48	2,415,434.65
ทางเลือก 4	หลังคา	กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนใหญ่	396	450	178,200.00	
		คอนกรีตสแลบ	162	550	89,100.00	
		ฉนวนโพลีเอทธีลีน หนา 1.2 นิ้ว(3 ซม)	370.98	235	87,180.30	
		SOLAR PV	370.98	5000	1,854,900.00	
	ฝ้าเพดาน	ฝ้ายิปซัมบอร์ดหนา 1.2 ซม	370.98	340	126,133.20	
	ผนัง	ผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 10 ซม ฉาบปูน(ความหนาแน่น 620 กก/ลบม ค่า k 0.18	354.41	368.25	130,511.48	
		เปลี่ยนสีผนังเป็นสีขาว	645.49	190	122,643.10	
	กระจก	กระจกใส low E (insulating glass)	234.16	2900	679,064.00	
ค่าลงทุนทางเลือก 4				รวม	3,267,732.08	2,569,980.25

### 3.5 ศึกษารูปแบบของข้อมูล และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลการใช้พลังงาน การเปลี่ยนแปลงการใช้วัสดุรอบอาคาร ในรูปแบบต่างๆ โดยใช้โปรแกรม BEC เวอร์ชัน 1.0.6 และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการ

เปลี่ยนแปลงวัสดุกรอบอาคาร โดยพิจารณาจากองค์ประกอบต่างๆ จากต้นทุนการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาคืนทุน ค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ที่ได้

### 3.5.1 ค่า OTTV และ RTTV

จากการปรับปรุงกรอบอาคารแต่ละทางเลือกโดยใช้โปรแกรม BEC เวอร์ชัน 1.0.6 แล้วนำค่าที่ได้จากการปรับปรุงกรอบอาคารแต่ละทางเลือกมาเปรียบเทียบกับ เกณฑ์ Building Energy Code ในหมวดของอาคารประเภทโรงพยาบาล ดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 แสดงค่า OTTV RTTV อาคารต้นแบบ และ ทางเลือก

อาคาร	OTTV (A/C Zone)	Code OTTV	OTTV (All Zones)	Building OTTV Status	RTTV (A/C Zone)	Code RTTV	Building RTTV Status
	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>		W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	
อาคาร ต้นแบบ	38.027	30	38.027	Failed	29.038	10	Failed
ทางเลือก 1	32.058	30	32.058	Failed	5.869	10	Failed
ทางเลือก 2	29.941	30	29.941	Passed	3.274	10	Passed
ทางเลือก 3	27.348	30	27.348	Passed	3.274	10	Passed
ทางเลือก 4	26.743	30	26.743	Passed	3.274	10	Passed

3.5.2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานจากการปรับปรุงกรอบอาคารแต่ละทางเลือก โดยเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในหมวดต่างๆ ดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 แสดงค่าใช้จ่ายในการลงทุนเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคาร ค่าพลังงานในแต่ละทางเลือก

ทางเลือก	เงินลงทุน เริ่มแรก	เงินลงทุนเพิ่ม จาก base case	การใช้ไฟฟ้า ต่อหน่วยพื้นที่	การใช้ไฟฟ้า ต่อปี	ค่าไฟฟ้าต่อปี	ค่าไฟฟ้าลดลง จาก base case	payback
	(บาท)	(บาท)	(KWh/Sq.)	(KWh/ปี)	(บาท/ปี)	(บาท/ปี)	ปี
base case	697,751.84	-	153.53	328,640.51	1,183,105.84	-	-
ทางเลือก 1	892,736.04	194,984.20	136.03	291,162.36	1,048,184.50	134,921.34	1.45
ทางเลือก 2	927,652.56	229,900.72	132.55	283,715.77	1,021,376.77	161,729.06	1.42
ทางเลือก 3	3,113,186.48	2,415,434.64	94.89	203,119.41	731,229.88	451,875.96	5.35
ทางเลือก 4	3,267,732.08	2,569,980.24	94.32	201,896.58	726,827.69	456,278.15	5.63

### 3.6 สรุปผลและนำเสนองานวิจัย

นำข้อมูลจากการจำลอง และ เปรียบเทียบ การเปลี่ยนแปลงการใช้วัสดุอาคาร ออกมา  
 ในรูปของการใช้พลังงานอาคาร โดยมีอาคารต้นแบบ และ และทางเลือกอีก 4 แบบ และเปรียบเทียบ  
 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเริ่มต้น การบำรุงรักษา การซ่อมและการเปลี่ยนอุปกรณ์ และ วัสดุกรอบ  
 อาคาร ตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

จากการศึกษาการใช้พลังงานของอาคารและค่าใช้จ่ายของอาคารต้นแบบ แล้วเปรียบเทียบกับ การปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร ทั้ง 4 แบบ พบว่าค่า OTTV และ RTTV อาคารสถานพยาบาลสูง 4 ชั้น จากการวิเคราะห์พบว่าอาคารต้นแบบมีค่า OTTV เท่ากับ  $38.027 \text{ W/m}^2$  และ RTTV เท่ากับ  $29.038 \text{ W/m}^2$  ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ BEC และมีค่าใช้จ่ายในส่วนพิจารณา คือ หลังคาฝ้าเพดาน ผนัง กระจก เป็นเงิน 697,751.84 บาท พลังงานไฟฟ้าในอาคาร 328,640.51 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้า 1,183,105.84 บาท/ปี

การปรับปรุงกรอบอาคารทางเลือกที่ 1 ได้เพิ่มฉนวนใยแก้วใต้หลังคาและเปลี่ยนสีอาคารจากสีเข้มเป็นสีขาว วัดค่า OTTV ได้  $32.058 \text{ W/m}^2$  และ RTTV ได้  $5.869 \text{ W/m}^2$  ซึ่งค่าลดลงแต่ยังไม่ผ่านเกณฑ์ BEC และมีค่าใช้จ่ายในส่วนพิจารณา คือ หลังคา ฝ้าเพดาน ผนัง กระจก เป็นเงิน 892,736.04 บาท ค่าใช้จ่ายเพิ่มจากอาคารต้นแบบ 194,984.20 บาท พลังงานไฟฟ้าในอาคาร 296,859.62 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้า 1,048,184.50 บาท/ปี ลดลงเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ 134,921.34 บาท/ปี มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1.45 ปี

การปรับปรุงอาคารทางเลือกที่ 2 ได้เพิ่มการเปลี่ยนฉนวนใต้หลังคาเป็น โพลีเอทรีลีนหนา 3 ซม และเปลี่ยนผนังเป็นผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 10 ซม ฉาบปูน (ความหนาแน่น 620 กก/ลบม) วัดค่า OTTV ได้  $29.941 \text{ W/m}^2$  และ RTTV ได้  $3.274 \text{ W/m}^2$  ซึ่งผ่านเกณฑ์ BEC โดยฉนวนโพลีเอทรีลีนทำให้ค่า RTTV ลดลงค่าใช้จ่ายในส่วนพิจารณาทางเลือกที่ 2 คือ หลังคา ฝ้าเพดาน ผนัง กระจก เป็นเงิน 927,652.56 บาท ค่าใช้จ่ายเพิ่มจากอาคารต้นแบบ 229,900.73 บาท พลังงานไฟฟ้าในอาคาร 284,954.11 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้า 1,021,376.77 บาท/ปี ลดลงเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ 161,729.06 บาท/ปี จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1.42 ปี

การปรับปรุงกรอบอาคารทางเลือกที่ 3 ได้เพิ่มการติดตั้ง Solar PV พื้นที่ 370.98 ตารางเมตร และเปลี่ยนกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสง (Solar Tag 6 mm Insulating Glass) วัดค่า OTTV ได้  $27.234 \text{ W/m}^2$  และ RTTV ได้  $3.274 \text{ W/m}^2$  ซึ่งค่า OTTV ลดลงและผ่านเกณฑ์ BEC ค่าใช้จ่ายทางเลือกที่ 3 เป็นเงิน 3,113,186.48 บาท ค่าใช้จ่ายเพิ่มจากอาคารต้นแบบ 2,415,434.65 บาท พลังงานไฟฟ้าในอาคาร 203,119.41 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้า 731,229.88 บาท/ปี ลดลงเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ 451,875.96 บาท/ปี จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 5.35 ปี

การปรับปรุงอาคารทางเลือกที่ 4 ได้เปลี่ยนกระจกเป็น กระจกใส Low E วัตค่า OTTV ได้ 26.743 W/m<sup>2</sup> และ RTTV ได้ 3.274 W/m<sup>2</sup> ซึ่งค่า OTTV ลดลงและผ่านเกณฑ์ BEC ค่าใช้จ่ายทางเลือกที่ 4 เป็นเงิน 3,267,732.08 บาท ค่าใช้จ่ายเพิ่มจากอาคารต้นแบบ 2,569,980.24 บาท พลังงานไฟฟ้าในอาคาร 201,896.58 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้า 726,827.69 บาท/ปี ลดลงเมื่อเทียบกับอาคารต้นแบบ 456,278.15 บาท/ปี จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 5.63 ปี

#### 4.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดวัฏจักรชีวิตของอาคาร

การวิเคราะห์คิดที่อายุการใช้งานอาคาร 50 ปี โดยมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในแต่ละทางเลือก ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายการลงทุนเริ่มต้น ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายการเปลี่ยนฉนวน ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการบำรุงรักษา และการเปลี่ยนซ่อมแซม (ดังตารางที่ 4.1)

ค่าใช้จ่ายการลงทุนเริ่มแรกเป็นค่าการปรับปรุงกรอบอาคารประกอบด้วย หลังคา ฝ้า เพดาน ผนัง และกระจก โดยการปรับปรุงกรอบอาคารทางเลือกที่ 1 มีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง 892,736.04 บาท ทางเลือกที่ 2 มีค่าใช้จ่าย 927,652.56 บาท ทางเลือกที่ 3 มีค่าใช้จ่าย 3,113,186.48 บาท และทางเลือกที่ 4 มีค่าใช้จ่าย 3,267,732.08 บาท

ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษา Solar PV มีค่าบำรุงรักษา ปีละ 40,000 บาท โดย 5 ปีแรก ไม่มีค่าบำรุงรักษา (บริษัทติดตั้งรับประกัน 5 ปี) และ แผง Solar PV มีอายุการใช้งาน 25 ปี โดยค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาส่วนนี้ เป็นค่าใช้จ่ายสำหรับการปรับปรุงกรอบอาคารของทางเลือกที่ 3 และ 4

ค่าใช้จ่ายการเปลี่ยนฉนวนได้หลังคา ทุก 10 ปี อ้างอิงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.486,487) อายุการใช้งานของใยแก้วมีอายุ 10 ปีขึ้นไป โดยทางเลือกที่ 1 มีค่าใช้จ่ายครั้งละ 72,341.10 บาท และ ทางเลือกที่ 2 ทางเลือกที่ 3 ทางเลือกที่ 4 มีค่าใช้จ่ายเท่ากันคือ 87,180.30 บาท

ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศทุก 8 ปี โดยอ้างอิงข้อกำหนดอายุเครื่องปรับอากาศตามกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กำหนดเกณฑ์อายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ 8 ปี (อธิยุต ยงใจ, 2556:36) โดยแต่ละทางเลือกมีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนเท่ากันคือ 3,443,456.55 บาท

ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี โดยการนำค่าพลังงานไฟฟ้าจากการคำนวณ การปรับปรุงกรอบอาคารด้วยโปรแกรม BEC version 1.0.6 และกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาเท่ากับ 3.6 บาท/kWh โดยค่าพลังงานไฟฟ้าจากการปรับปรุงกรอบอาคารทางเลือกที่ 1 มีค่าใช้จ่ายการใช้

พลังงาน 1,048,184.50 บาท ทางเลือกที่ 2 มีค่าใช้จ่าย 1,021,376.77 บาท ทางเลือกที่ 3 มีค่าใช้จ่าย 731,229.88 บาท และทางเลือกที่ 4 มีค่าใช้จ่าย 726,827.69 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ การบำรุงรักษา การเปลี่ยนซ่อมแซม (ค่า OM&R) ทุกปี โดยกำหนดให้ค่า OM&R คิดเป็น 15% ของค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานต่อปี โดยการปรับปรุงกรอบอาคารทางเลือกที่ 1 มีค่าใช้จ่าย 157,227.67 บาท ทางเลือกที่ 2 มีค่าใช้จ่าย 153,206.52 บาท ทางเลือกที่ 3 มีค่าใช้จ่าย 109,684.48 บาท และ ทางเลือกที่ 4 มีค่าใช้จ่าย 109,024.15 บาท

การวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายปรับปรุงกรอบอาคารโดยใช้การคำนวณต้นทุนวัฏจักรชีวิต (ชนิกันต์ ยิ้มประยูร, 2558:11) โดยการนำเอาค่าใช้จ่ายต่างๆใน 4 ทางเลือกและปรับต้นทุนทั้ง 4 ทางเลือกให้เป็นมูลค่าปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่าย เนื่องจากมูลค่าเงินจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในอนาคตจะมีค่าน้อยกว่าปัจจุบัน และเมื่อนำมาเปรียบเทียบทางเลือกจะต้องนำอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดในช่วงเวลานั้นๆมาคำนวณด้วยเสมอในการศึกษานี้กำหนดอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดที่ 8% โดยเมื่อนำข้อมูลเงินลงทุน การบำรุงรักษา การเปลี่ยนอุปกรณ์ เครื่องจักรตามรอบจะได้ค่า Life Cycle Cost ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 Life Cycle Cost การปรับปรุงกรอบอาคารแต่ละทางเลือก

LIFE CYCLE COST				
อัตราคิดลด 8 %	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3	ทางเลือกที่ 4
ลงทุนเริ่มแรก(บาท)	892,736.04	927,652.56	3,113,186.48	3,267,732.08
ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษา SOLAR PV	-	-	40,000	40,000
เปลี่ยนฉนวนใต้หลังคา ทุก 10 ปี	72,341.10	87,180.30	87,180.30	87,180.30
เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ทุก 8 ปี	3,443,456.55	3,443,456.55	3,443,456.55	3,443,456.55
ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี	1,048,184.50	1,021,376.77	731,229.88	726,827.69
ค่า OM&R ทุกปี	157,227.67	153,206.52	109,684.48	109,024.15
LCC (50 ปี)	19,650,650	19,320,531.11	<b>17,730,589</b>	17,823,208.80



## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงวัสดุกรอบอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานรวมของอาคาร โดยรวบรวมข้อมูลจากอาคารต้นแบบประกอบและใช้โปรแกรม BEC (Building Energy Code) เวอร์ชัน 1.0.6 เพื่อหาค่าพื้นฐานของการใช้พลังงานในอาคาร ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอาคารส่วนที่พิจารณา แล้วเปรียบเทียบกับการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคารทั้ง 4 แบบ รวมไปถึงการประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตของอาคารในส่วนของการใช้อาคาร การบำรุงรักษา การซ่อม การเปลี่ยนอุปกรณ์ และค่าการใช้พลังงานอาคาร ตลอดช่วงอายุอาคาร 50 ปี ที่ระดับอัตราคิดลด 8% ต่อปี ผลการเปรียบเทียบทางเลือกการปรับปรุงกรอบอาคารทั้ง 4 ทางเลือก พบว่าทางเลือกที่ 1 ทำให้ค่า OTTV และ RTTV ลดลงจากอาคารต้นแบบ แต่ทางเลือกที่ 2 ทำให้ค่า OTTV และ RTTV ลดลงได้มากกว่าทางเลือกที่ 1 ถึงแม้ว่าค่าลงทุนก่อสร้างเริ่มต้นของทางเลือกที่ 1 จะน้อยกว่าทางเลือกที่ 2 แต่เมื่อคิดค่าใช้จ่ายต้นทุน Life Cycle Cost ทางเลือกที่ 1 จะมีค่าใช้จ่ายมากกว่าทางเลือกที่ 2 และมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 4 ทางเลือก ทางเลือกที่ 3 เมื่อเพิ่มการติดตั้ง Solar PV ทำให้ค่า OTTV ลดลง เมื่อเทียบกับทางเลือกที่ 2 และค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารลดลงอีกถึงแม้ว่าค่าลงทุนก่อสร้างเริ่มต้นของทางเลือกที่ 2 จะน้อยกว่าทางเลือกที่ 3 แต่เมื่อคิดค่าใช้จ่ายต้นทุน Life Cycle Cost ทางเลือกที่ 2 จะมีค่าใช้จ่ายมากกว่าทางเลือกที่ 3 สำหรับทางเลือกที่ 4 พบว่าค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารลดลงแต่ค่าลงทุนก่อสร้างเริ่มต้นมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกที่ 3 แต่เมื่อคิดค่าใช้จ่ายต้นทุน Life Cycle Cost ทางเลือกที่ 4 จะมีค่าใช้จ่ายมากกว่าทางเลือกที่ 3 ที่มีค่าใช้จ่ายต้นทุน Life Cycle Cost 17,730,589 บาทจากการศึกษาพบว่าทางเลือกที่ 3 ที่มีค่าใช้จ่ายต้นทุน Life Cycle Cost น้อยที่สุด

#### 5.2 การอภิปรายผล

การศึกษานี้เป็นการศึกษา LIFE CYCLE COST ของอาคารที่กำหนดช่วงอายุอาคาร 50 ปี และพบว่าการปรับปรุงกรอบอาคารทางเลือกที่ 3 มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยเป็นการปรับปรุงฉนวนใต้หลังคาเป็น โพลีเอทรีลีน หนา 1.2 นิ้ว(3 ซม) ,และ เปลี่ยนสีอาคาร จากสีเข้มเป็นสีขาว , เปลี่ยนผนังเป็นผนังคอนกรีตมวลเบาหนา 10 ซม ฉาบปูน(ความหนาแน่น 620 กก/ลบม) ,ติดตั้ง

Solar PV พื้นที่ 370.98 ตารางเมตร และเปลี่ยนกระจก เป็นกระจกสะท้อนแสง (Solar Tag 6 mm insulating glass)

เมื่อพิจารณาแล้วมีความแตกต่างจากจากทางเลือกที่ 4 คือการติดตั้งกระจก (ทางเลือกที่ 4 เป็นกระจกใส low E insulating glass) ค่าการใช้พลังงานต่อปี และ ค่าใช้จ่ายต้นทุน Life Cycle Cost ของทางเลือกที่ 3 และ ทางเลือกที่ 4 ไม่ต่างกันมาก (ทางเลือกที่ 3 มี ต้นทุน Life Cycle Cost 17,730,589 บาท ทางเลือกที่ 4 มี ต้นทุน Life Cycle Cost 17,823,208.80 บาท) สามารถเลือกการปรับปรุงกรอบอาคารได้ทั้ง 2 กรณี

### 5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป

5.3.1 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวัสดุกรอบอาคารในส่วนของ วัสดุผนัง,กระจก ,วัสดุหลังคา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแต่ละชนิดมีผลทำให้ค่าการใช้พลังงานลดลง แต่การศึกษายังไม่ได้ประเมินเรื่อง แสงบังแดดอาคาร การเพิ่มผนังเป็นผนังสองชั้นขึ้นด้วยฉนวน และการใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งอาจส่งผลทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานอาคาร และ ค่าต้นทุนวัฏจักรชีวิตของอาคาร

5.3.2 การศึกษาวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร โดยใช้วัสดุที่มีในท้องตลาดในปัจจุบัน แต่ในอนาคต วัสดุที่มีประสิทธิภาพสูงในแต่ละกลุ่มตัวอย่างทางเลือก อาจมีราคาถูกลงหรืออาจมีการพัฒนาเทคโนโลยีให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ก็จะทำให้ค่าต้นทุนวัฏจักรชีวิตของอาคารมีการปรับลดลง จึงเป็นประเด็นในการศึกษาครั้งต่อไป



บรรณานุกรม

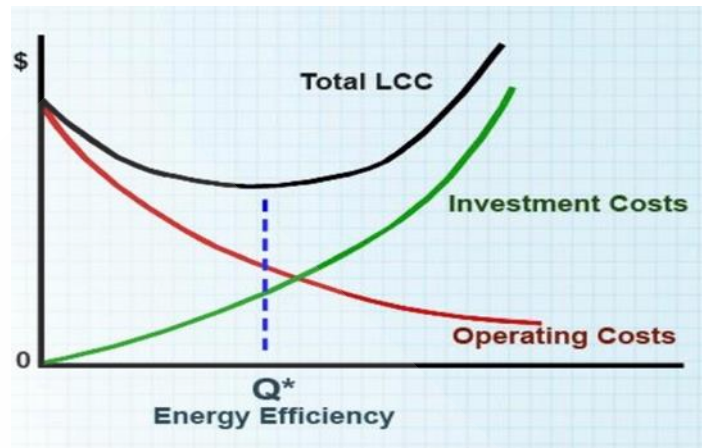
## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

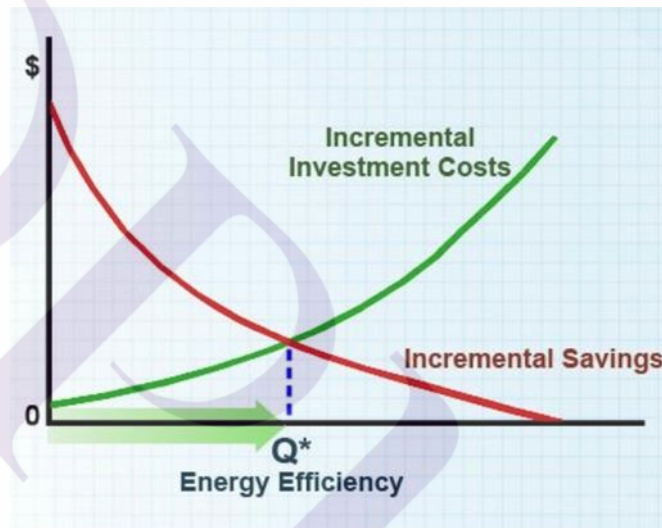
- จารุวรรณ สุขสีดา.(2558). การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายการปรับปรุงระบบเปลือกอาคารบ้านจัดสรรประเภทบ้านเดี่ยวเพื่อการประหยัดพลังงานและได้คะแนนในเกณฑ์ประเมินอาคารประหยัดพลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ชนิกานต์ ยิ้มประยูร.(2558). การวิเคราะห์ทางการเงินสำหรับมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ณัฐกานต์ สมด้ว.(2553). การประเมินสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมของอาคารที่พักอาศัยโดยการประเมินวัฏจักรชีวิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม : มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี
- ธรา จำเนียรดำรงการ.(2555). การพัฒนาโปรแกรมประมาณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังค้ำนอก อาคาร(OTTV)และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร(RTTV). ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- พัชรี ตรีขรรค์.(2559). การปรับปรุงอาคารอนุรักษ์เพื่อการประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมตามแนวทางเกณฑ์ Ecovillage และ Home Quality Mark:การศึกษาบ้านหัวลำโพง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- อชิยุต ยงใจ.(2556). การศึกษาทางเลือกเพื่อใช้เครื่องปรับอากาศของใหม่ และของเดิม โดยการคำนวณต้นทุนวงจรอายุ (Life Cycle Cost, LCC) กรณีศึกษามหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี ในอาคาร: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- อรจัน เศรษฐบุตร.(2550). การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารทาวน์เฮาส์ .Journal of Architectural / Planning and Studies,5(1) ,31-51.



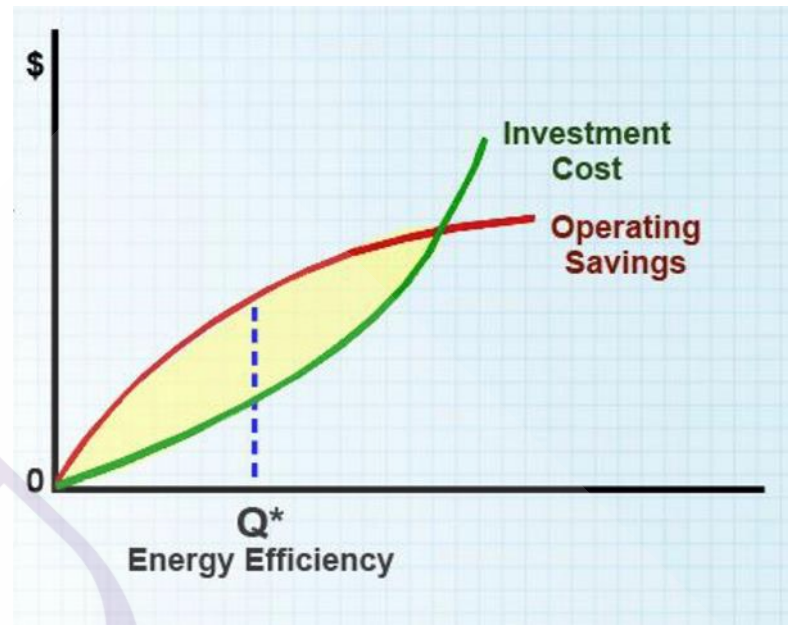
ภาคผนวก



ภาพที่ 2.1 Investment cost VS operating cost analysis



ภาพที่ 2.2 Incremental cost (Marginal cost analysis)



ภาพที่ 2.3 Net saving analysis



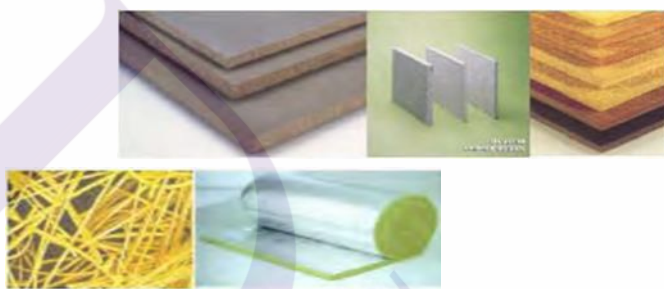
ภาพที่ 2.4 แหล่งความร้อนต่างๆ ของอาคารปรับอากาศ



อิฐมอญ

อิฐบล็อก

อิฐมวลเบา



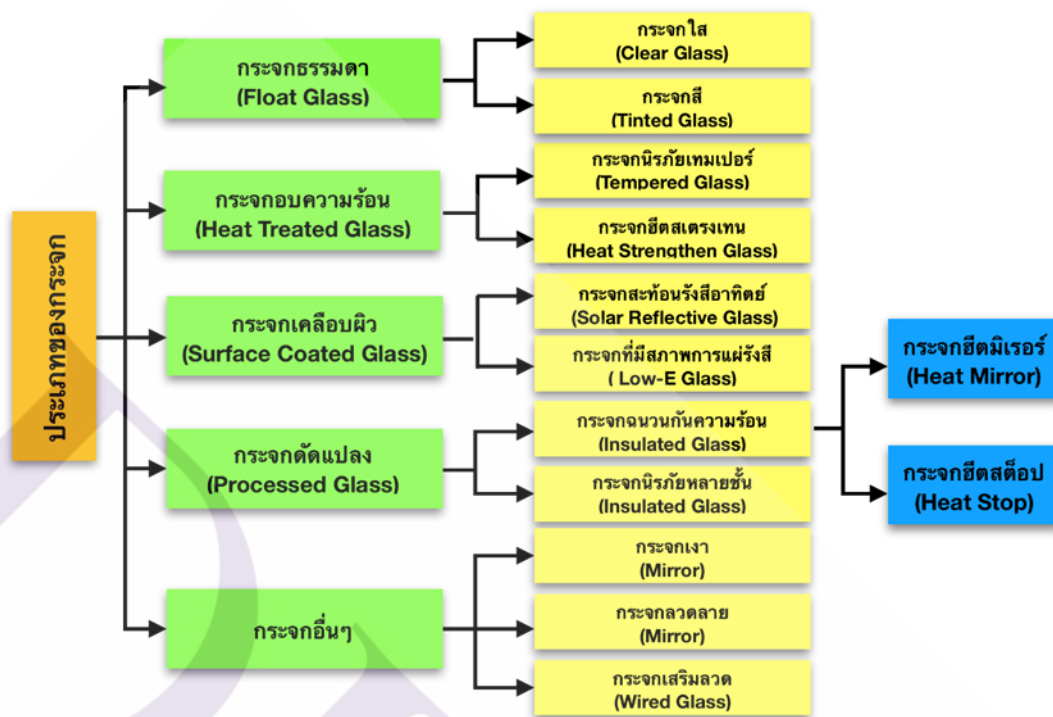
ยิปซัมบอร์ด

ฉนวนใยแก้ว

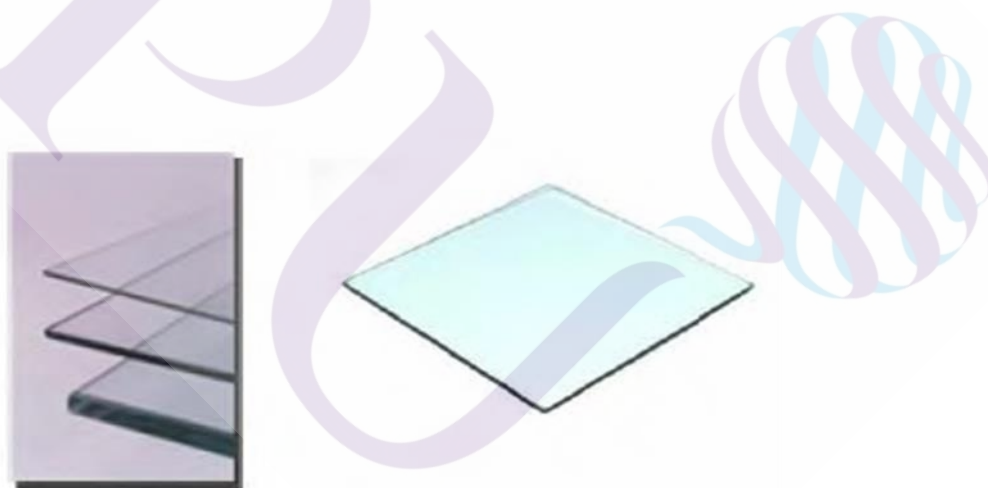
ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างวัสดุประกอบผนังที่บ



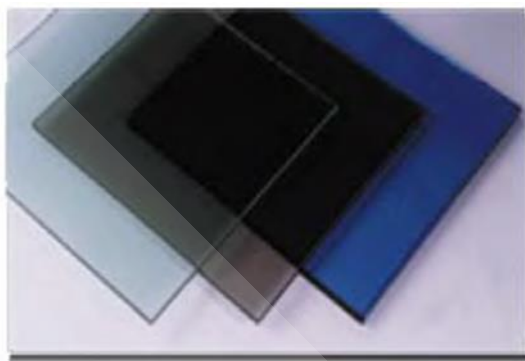




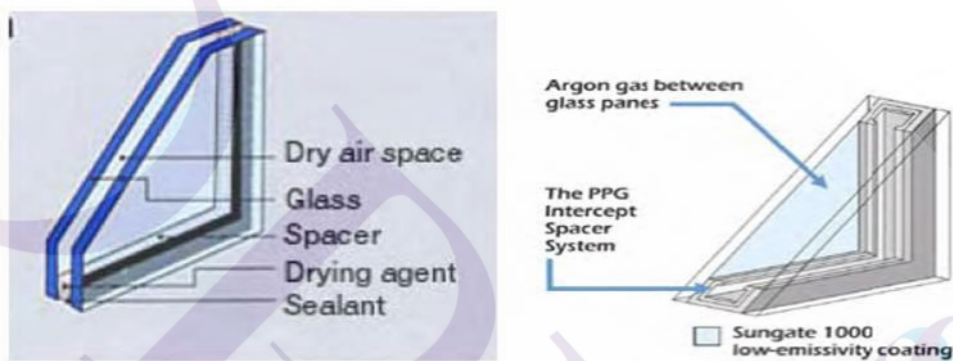
สำหรับแผนภาพที่ 2.6 แสดงการจัดแบ่งประเภทของกระจกที่มีใช้ในอาคาร



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างของกระจกใส



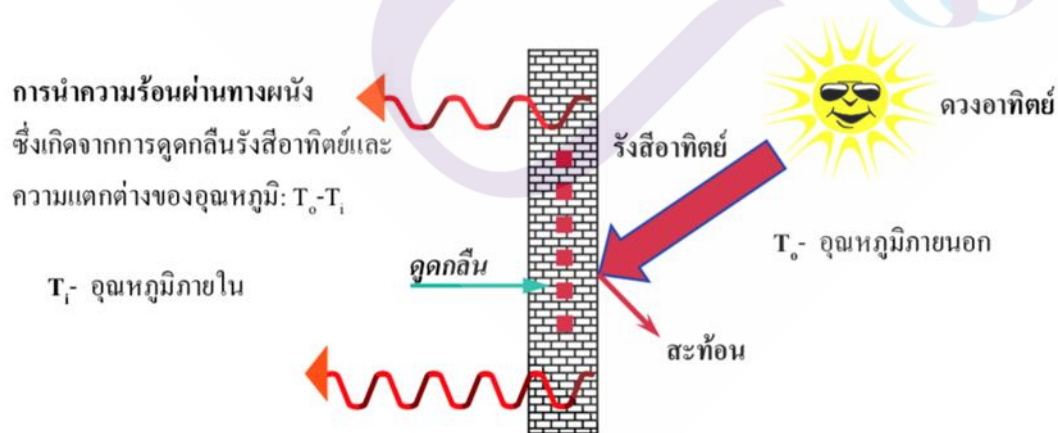
ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างของกระจกสี



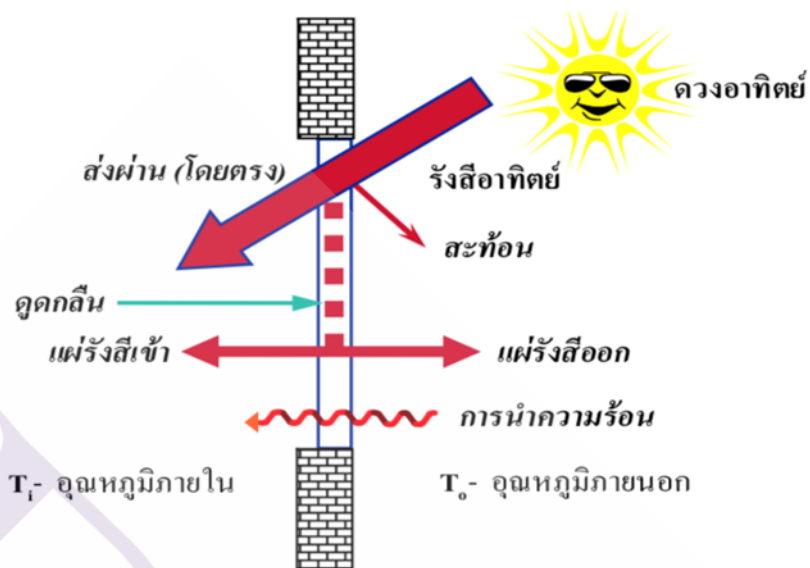
ใช้อากาศแห้งเป็นฉนวนตรงกลาง

ใช้ก๊าซเป็นฉนวนตรงกลาง

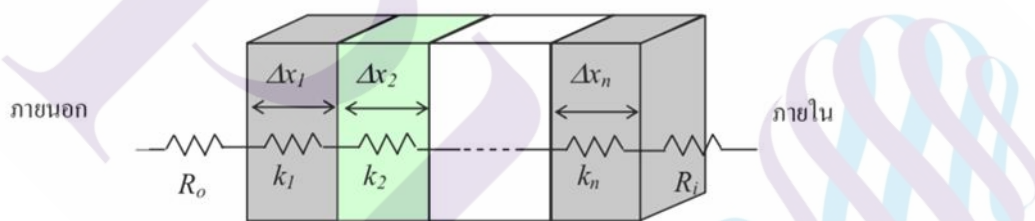
ภาพที่ 2.9 กระจกกันความร้อน



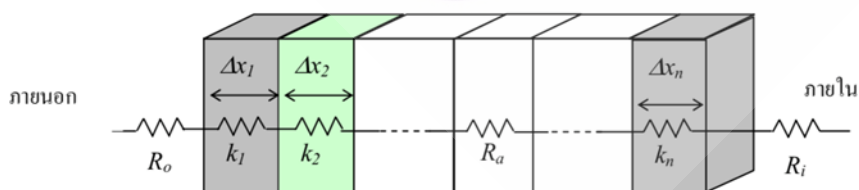
ภาพที่ 2.10 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบ



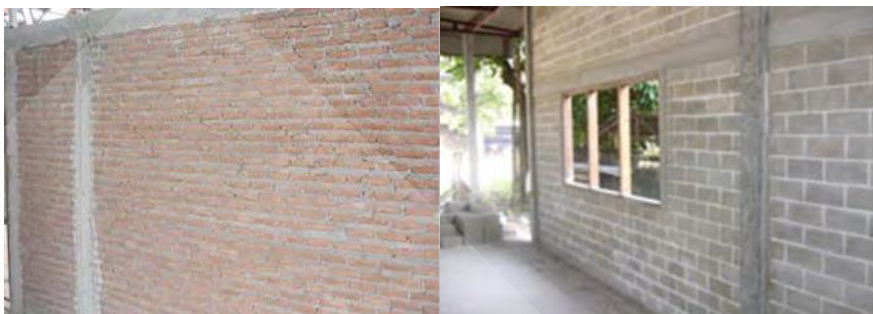
ภาพที่ 2.11 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก



ภาพที่ 2.12 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด



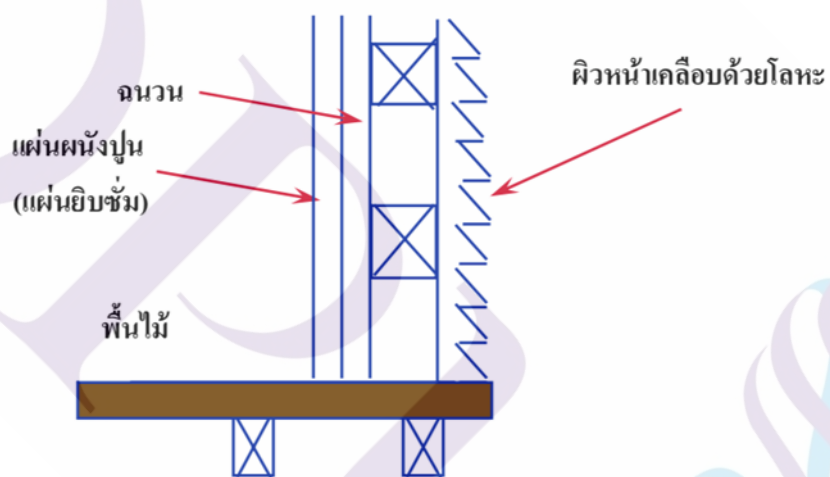
ภาพที่ 2.13 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด



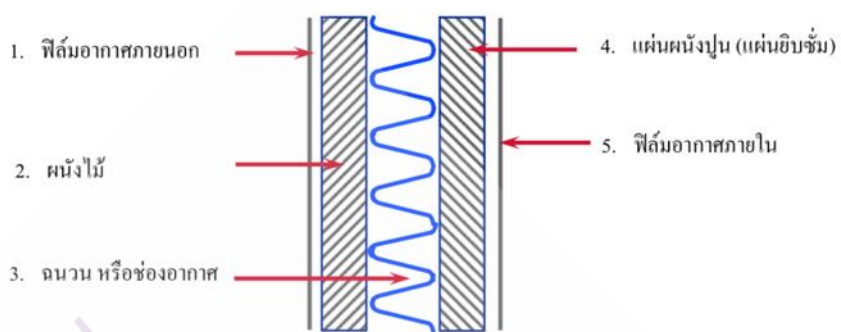
อิฐ

คอนกรีตบล็อก

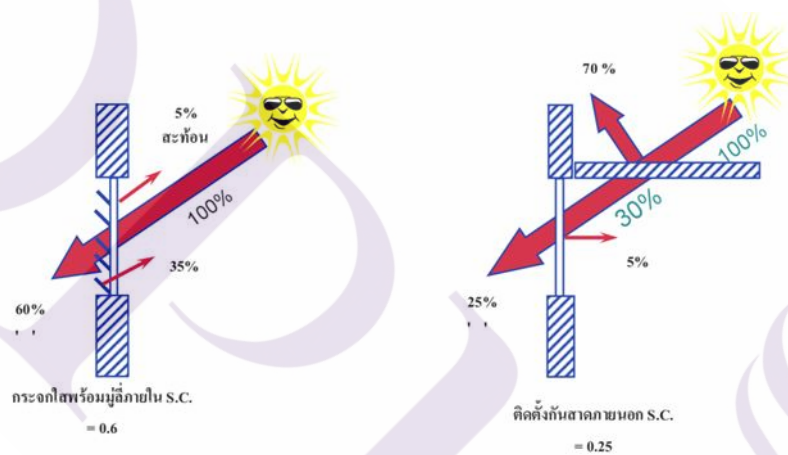
ภาพที่ 2.14 วัสดุที่มีมวลอุณหภาพ (Thermal Mass) สูง



ภาพที่ 2.15 วัสดุที่มีค่ามวลความร้อน (Thermal Mass) ต่ำ

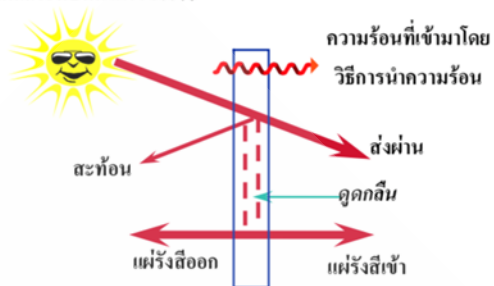


ภาพที่ 2.16 ฉนวนที่บุฉนวน

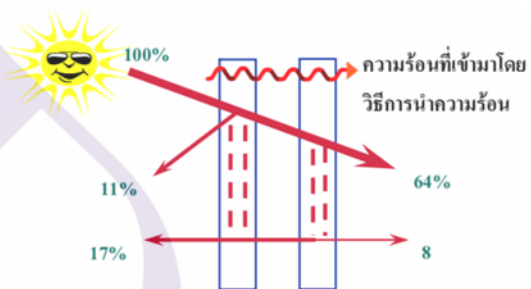


ภาพที่ 2.17 การติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

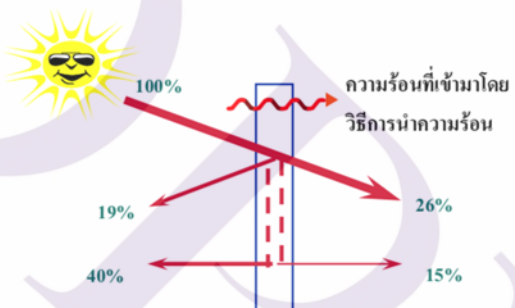
ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์  
ที่ตกกระทบหน้าต่าง 100%



ก) หน้าต่างทั่วไป (กระจกชั้นเดียว)

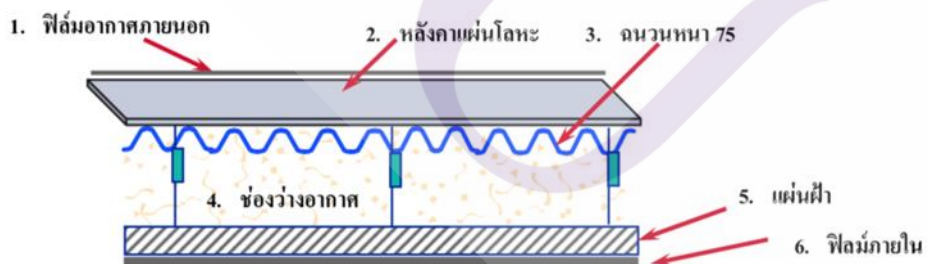


ข) กระจก 2 ชั้น 6 มม. + 6 มม.

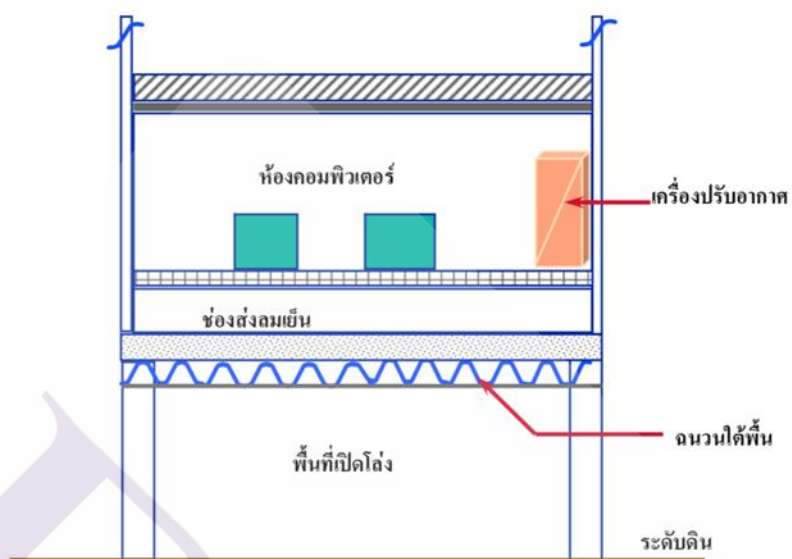


ค) กระจกใสติดฟิล์มสะท้อนแสงสีฟ้า

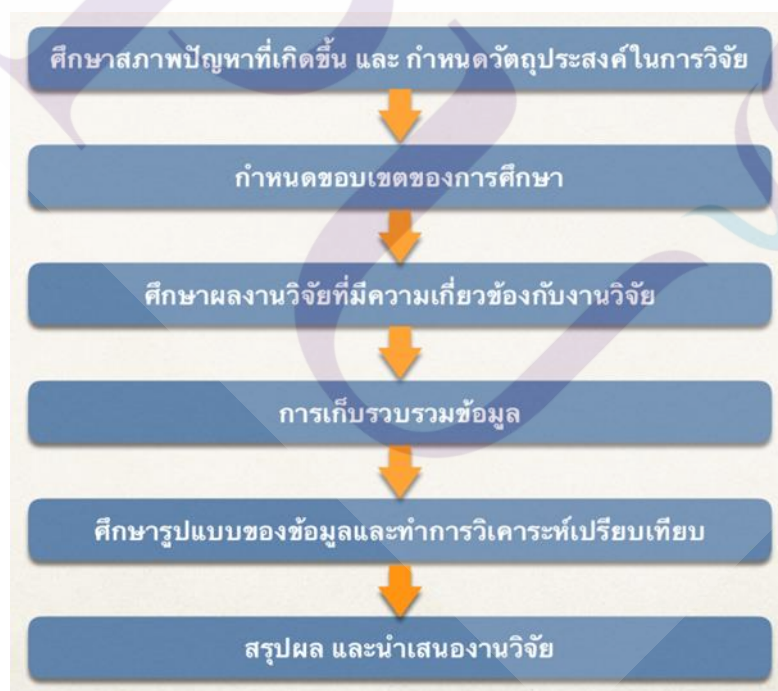
ภาพที่ 2.18 ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ผ่านทางกระจกชนิดต่างๆ



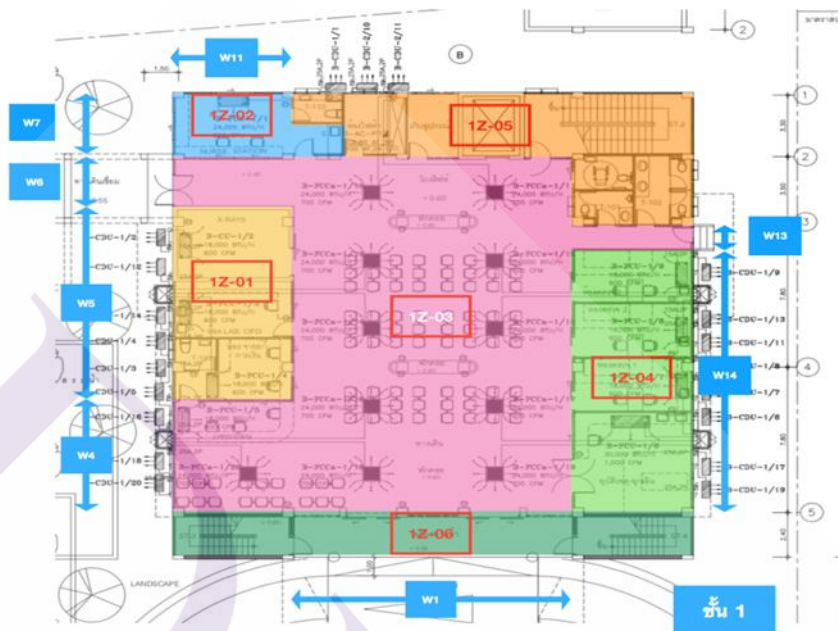
ภาพที่ 2.19 การบุฉนวนที่ได้หลังคาแผ่นโลหะ



ภาพที่ 2.20 การบุฉนวนใต้พื้นช่องส่งลมเย็นของห้องคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

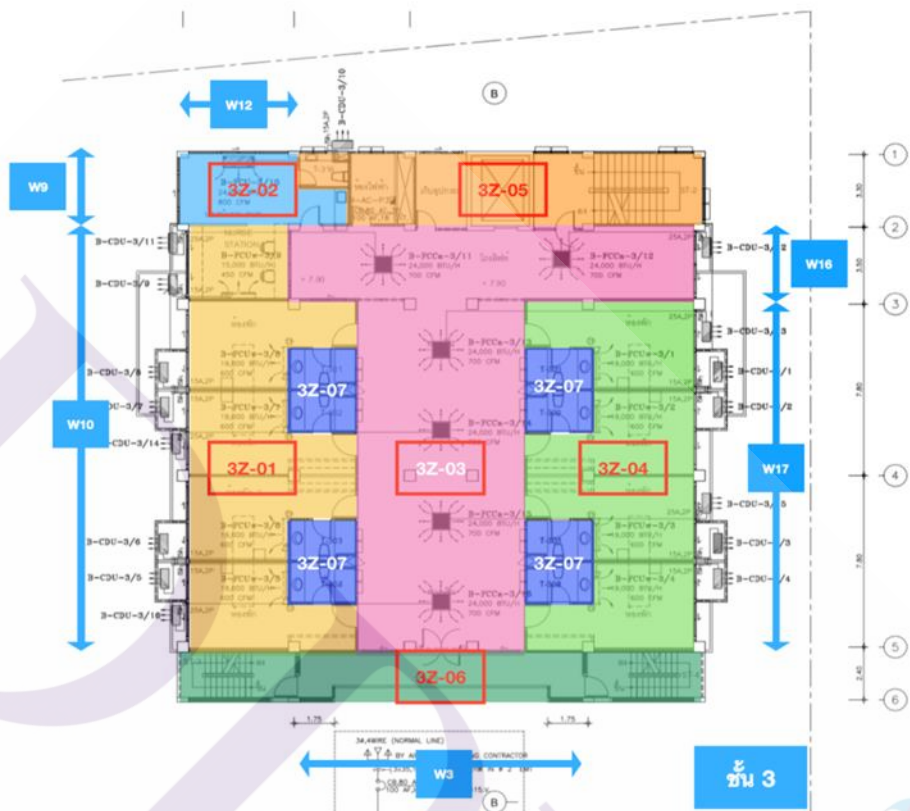


ภาพที่ 3.2 การแบ่งโซนอาคารชั้น 1

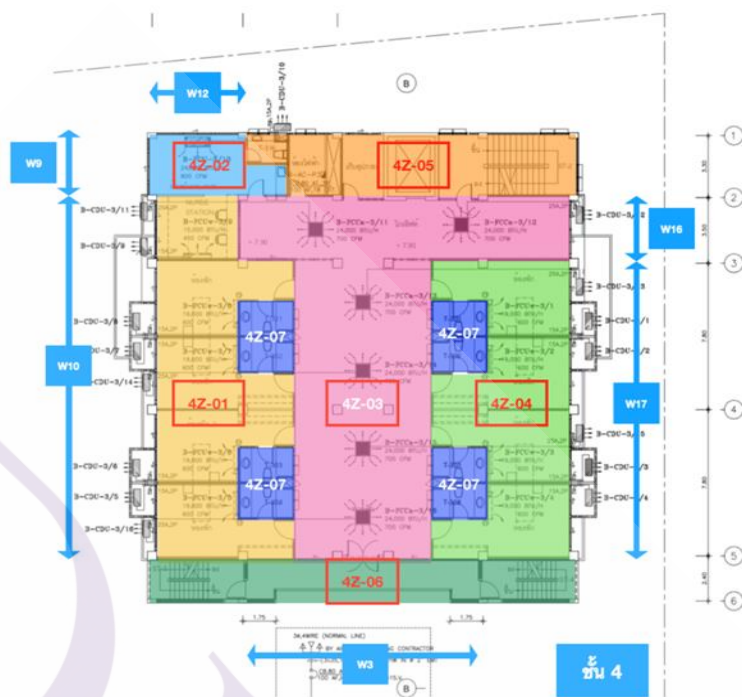


ภาพที่ 3.3 การแบ่งโซนอาคารชั้น 2

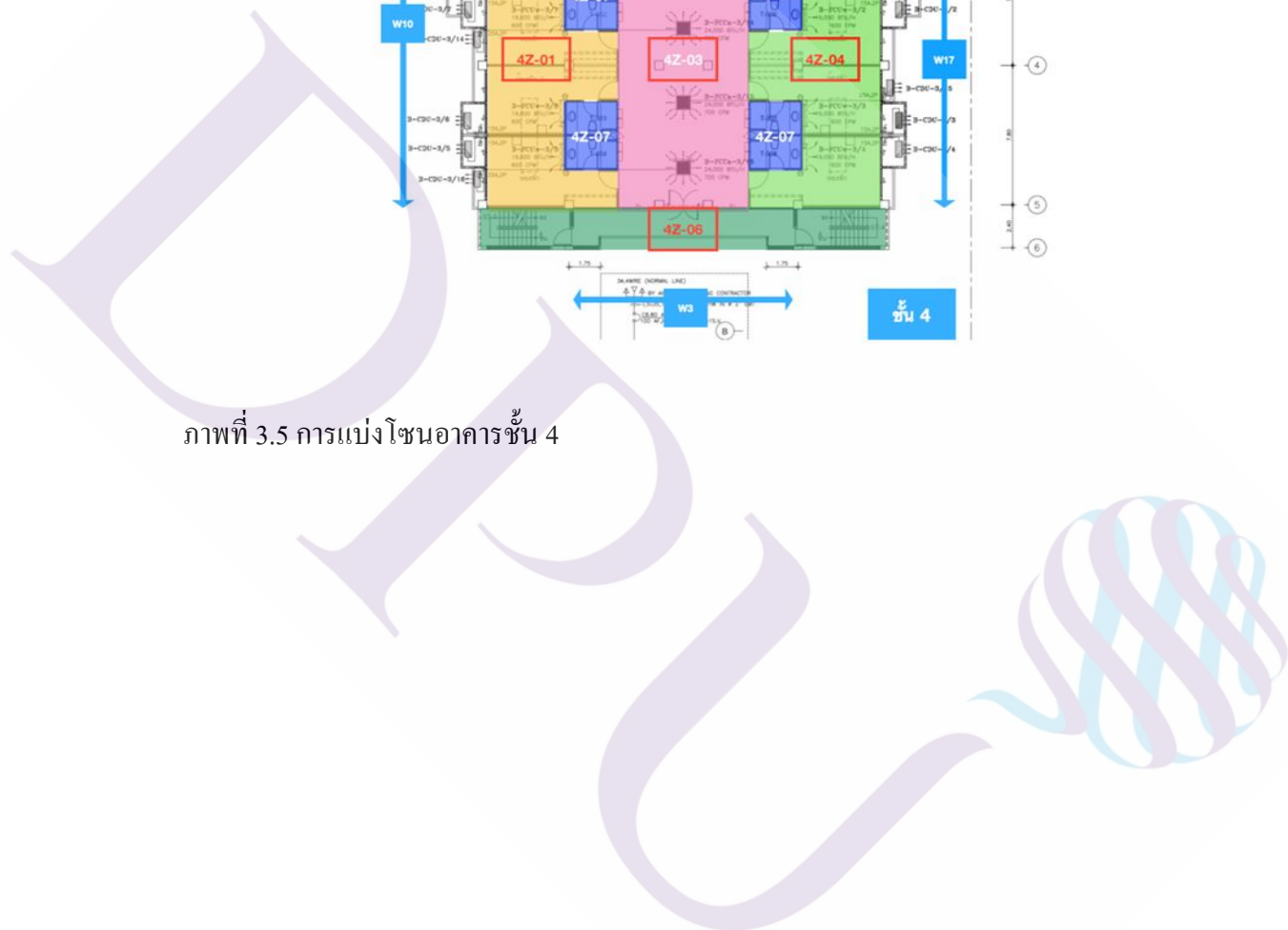




ภาพที่ 3.4 การแบ่งโซนอาคารชั้น 3



ภาพที่ 3.5 การแบ่งโซนอาคารชั้น 4



**ประวัติผู้เขียน**

ชื่อ-นามสกุล

นายนิรุทธิ์ อมรณรัตน์

การศึกษา

2544 วิทยาศาสตรบัณฑิต

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ตำแหน่งและที่ทำงานปัจจุบัน

Senior Client Service Manager

บริษัท พีซีเอส ฟาซิลิตี้ เซอวิสเชสจำกัด

