แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน
: กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ.นครราชสีมา

นางสาวดลยา ศิริปรุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548
ISBN 974-14-2081-1
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RENOVATION AND DESIGN GUIDELINES FOR GOVERNMENT OFFICE BUILDING FOR CONSERVATION ENERGY : LOCAL GOVERNMENT NAKHONRATCHASIMA, NAKHON RATCHASIMA PROVINCE

Miss Donlaya Siriparu

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn University
Academic Year 2005

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ.นครราชสีมา
โดย	นางสาว ดลยา ศิริบ่รุ
ภาควิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรชัย เลาหชัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรวรรณ โรจนไพบูลย์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดลยา ศิริปรุ : แนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน : กรณีศึกษาอาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ. นครราชสีมา. (RENOVATION AND DESIGN GUIDELINES FOR GOVERNMENT OFFICE BUILDING FOR CONSERVATION ENERGY : LOCAL GOVERNMENT NAKHONRATCHASIMA, NAKHON RATCHASIMA PROVINCE) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ธนิต จินดาวณิค, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร , 172 หน้า. ISBN 974-14-2081-1.

การวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาแนวทางที่จะทำการปรับปรุงการออกแบบอาคารภาครัฐ เพื่อให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เหมาะสมในเชิงเทคโนโลยีและเศรษฐศาสตร์ การศึกษาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือส่วนแรกทำการสำรวจประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารและระดับอุณหภูมิภายในอาคารที่มีผลกระทบสภาวะน่าสบาย ส่วนที่สองทำการจำลองสภาพอาคารกรณีศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE – 2 เพื่อระบุปัญหาการใช้พลังงานและหาแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาของอาคาร ท้ายสุดได้สรุปแนวทางการออกแบบอาคารต้นแบบ (typical) ของอาคารสำนักงานภาครัฐ เพื่อลดการใช้พลังงานในอาคาร

ผลจากการวิจัย พบว่า พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ภายในอาคารถูกใช้ไปกับเครื่องปรับอากาศ จากองค์ประกอบทางเปลือกอาคารที่มีความต้านทานความร้อนไม่ดีพอ ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายควบคุมไว้ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่มีปัญหาและนำมาพิจารณาการปรับปรุง ได้แก่ ผนังทึบ หลังคา การแผ่รังสีอาทิตย์ผ่านกระจก การนำความร้อนผ่านกระจก โดยทำการปรับปรุงเปลือกอาคารที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่ แผงกันแดดภายนอกอาคาร การวางผังและรูปทรงของอาคาร และการวิเคราะห์พื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ส่วนพลังงานที่ใช้ในระบบแสงประดิษฐ์นั้นมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายควบคุม

ผลการวิจัยสรุปได้ว่ารูปทรงอาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามตะวันและสัดส่วนหน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด 30% มีปริมาณการใช้พลังงานต่ำที่สุด ส่วนแผงกันแดดในทิศทางต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าพบว่าแผงกันแดดทางทิศเหนือมีลักษณะแนวตั้ง ส่วนแผงกันแดดทางทิศใต้ ตะวันออกและตะวันตกมีลักษณะแนวนอน 2 ชั้นมีความเหมาะสมที่สุดกับอาคาร จากการคัดเลือกวัสดุเปลือกอาคารโดยกำหนดหลักเกณฑ์ 3 ประการ คือ ประการแรกเป็นวัสดุที่ราคาไม่สูง ประการที่สองมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน ประการสุดท้ายมีปริมาณการใช้พลังงานน้อยที่สุด ผลจากการศึกษาพบว่าผนังมี 10 รูปแบบ โดยผนังที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้ว 2 และ 3 นิ้ว มีศักยภาพด้านการประหยัดพลังงานและความคุมค่าทางด้านเทคนิคและการลงทุนยังไม่คุ้มค่าหรือน่าสนใจเท่าที่ควร ซึ่งหลังคามี 10 รูปแบบ โดยหลังคาจะแบ่งเป็นหลังคากระเบื้องและหลังคาคอนกรีตพบว่าหลังคาที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้ว 2 และ 3 นิ้ว มีศักยภาพด้านการประหยัดพลังงานและความคุมค่าทางด้านเทคนิคและการลงทุนยังไม่คุ้มค่าหรือน่าสนใจเท่าที่ควร ส่วนกระจกมี 10 รูปแบบ กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ที่ต่ำจะมีศักยภาพในการแต่ในการวิจัยครั้งนี้คำนึงถึงราคาจึงทำให้กระจกที่เลือกมีทั้งกระจกธรรมดา กระจกสะท้อนแสง และกระจก 2 ชั้นเพื่อให้เหมาะสมกับการลงทุนในการก่อสร้างอาคารสำนักงานของแต่ละหน่วยงาน

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2548 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4774124125: MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD: RENOVATION / ENERGY CONSUMPTION / SIMULATION / TEMPERATURE

DONLAYA SIRIPARU: RENOVATION AND DESIGN GUIDELINES FOR GOVERNMENT OFFICE BUILDING FOR CONSERVATION OF ENERGY: LOCAL GOVERNMENT NAKHONRATCHASIMA, NAKHON RATCHASIMA PROVINCE. THESIS ADVISOR: ASSITANT PROFESOR THANIT CHINDAVANIC, THESIS COADVISOR: Dr. ATCH SRESHTHAPUT, 172 pp. ISBN 974-14-2081-1

This study aimed at investigating ways to renovate government office buildings for technologically and economically appropriate energy consumption. Divided into three parts, the first involves the investigation and analysis of energy use in buildings and their temperature level, which affects the comfort condition. The second part deals with a case study involving simulation using the computer program DOE-2 to determine the problems regarding building energy consumption and solutions. The third part summarizes ways to design a typical government office building to reduce energy consumption.

The findings of the study reveal that most of energy consumed was for air-conditioning as the buildings did not have sufficient heat insulation. Thus, the transfer of heat through building surfaces was higher than the legal standard. An analysis of problematic architectural components for subsequent renovation included walls, roofs, radiation of the sun's ray through glass panels, and heat conductivity through glass. The renovation of building surfaces analyzed included a sunshade outside the building, building planning and designs, and analysis of the ratio of total window space to wall space (WWR). Concerning energy consumed by artificial lighting, the amount of energy consumed for lighting in relation to total space was in accordance with regulations.

These findings led to a conclusion that rectangular-shaped buildings with 30% window space consumed the lowest amount of energy. As for sunshades to block the sun's ray from different directions, the analysis confirmed that north facing sunshades should be vertical, while those southern, western, and eastern should be two-layered and horizontal. Selection of building surface materials should consider three criteria: the materials should not be costly, they should be heat insulating, and they should have the lowest energy consumption rate possible. In addition, seven types of wall surfaces were studied, and it was found that those with 2-inch and 3-inch fiberglass insulation are the most energy efficient and technologically worthwhile. As for eight types of roofing analyzed in the study, both tiles and concrete roofing with 2-inch and 3-inch fiberglass insulation are also the most energy efficient and technologically worthwhile, but investment appears high. Finally, among the five types of glass, those with the low SC value have more potential, but if prices are taken into account, both regular glass, reflective glass, and two-ply glass are appropriate for the construction of government buildings.

Department	Architecture	Student's signature.....
Field of study	Architecture	Advisor's signature.....
Academic year	2005	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร เป็นอย่างสูง ที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือ รวมทั้งคำแนะนำต่างๆ เพื่อเป็นประโยชน์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

ขอบพระคุณประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรชัย เลาหชัย และกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรวรรณ โรจนไพบูลย์

ขอบพระคุณผู้บริหารระดับสูงและเจ้าหน้าที่สำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ที่กรุณาสละเวลาในการค้นหาข้อมูลและสำรวจอาคาร รวมทั้งให้ความสะดวกในการไปติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี และขอขอบคุณทุนการศึกษา จากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณบิดา มารดา พี่น้อง ญาติ เพื่อน ๆ ทุกคนซึ่งให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญแผนภูมิ..... ฑ

สารบัญภาพ..... ณ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 2

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 การศึกษาวิเคราะห์อาคาร..... 5

2.1.1 ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของอาคาร..... 5

2.1.2 ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร..... 5

2.1.3 ข้อมูลด้านกายภาพของอาคาร..... 5

2.1.4 ข้อมูลด้านการใช้พลังงานของอาคาร..... 5

2.1.5 ข้อมูลด้านความปลอดภัย..... 5

2.1.6 ข้อมูลด้านบำรุงรักษาอาคาร..... 5

2.1.7 ข้อมูลด้านการบริหารอาคาร..... 5

2.2 การศึกษาวิเคราะห์พลังงานของภายในอาคาร..... 6

2.2.1 การตรวจวิเคราะห์เบื้องต้น..... 6

2.2.2 การตรวจวิเคราะห์อย่างละเอียด..... 6

2.2.3 แนวทางในการสำรวจอาคารเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้งาน..... 6

2.3 หลักการถ่ายเทความร้อน..... 7

2.3.1 การนำความร้อน (condution)..... 7

2.3.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (heat convection)..... 7

2.3.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (radiation)..... 7

2.3.4 คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน..... 8

2.3.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนและช่วงเวลาหน่วงที่ความร้อนไหลผ่าน (U –and Time Lag Value)..... 9

หน้า

2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร..... 10
2.4.1 ปัจจัยภายนอก..... 10
2.4.2 ปัจจัยภายใน..... 12
2.5 การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านกระจก..... 12
2.6 การกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร..... 13
2.6.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) 13
2.6.2 การคำนวณหาค่าหารถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร..... 13
2.6.3 ค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคา (RTTV)) 14
2.6.4 การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคาร..... 14
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย..... 15
2.7.1 อุณหภูมิอากาศ (ambient air temperature) 15
2.7.2 อุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน (mean radiation temperature) 15
2.7.3 กระแสลม (air movement) 16
2.7.4 ความชื้น (humidity)..... 17
2.8 การวางทิศทางของอาคารให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ..... 17
2.9 ลักษณะทั่วไปของแผงกันแดดและตารางเงาที่แสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์..... 19
2.10 ระบบเครื่องปรับอากาศ..... 20
2.10.1 ผลกระทบต่อภูมิอากาศต่อภาระระบบ..... 20
2.10.2 ชนิดของเครื่องปรับอากาศ..... 21
2.10.3 การวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น (COP, EIP และ EER) 21
2.10.4 ภาระการทำงานจริงของเครื่องปรับอากาศ..... 22
2.11การคำนวณภาระปรับอากาศ..... 23
2.11.1 External cooling load..... 23
2.11.2 Internal cooling load..... 24
2.11.3 Ventilation and infiltration..... 24
2.12 ทฤษฎีการให้แสงสว่าง..... 25
2.12.1 มาตรฐานใช้ไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารแต่ละประเภท..... 25
2.12.2 การคำนวณการส่องสว่างไฟฟ้า..... 25
2.12.3 การคำนวณโดยวิธีลูเมนและวัตต์ต่อตารางเมตร..... 25
2.12.4 การประสานการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์..... 27
2.13 ประสิทธิภาพแสงและการประหยัดในการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพ..... 28
2.14 การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น..... 29
2.14.1 การคำนวณ life cycle cost และ discounted payback period..... 29
2.14.2 การคำนวณประเมินระยะเวลาคืนทุน (simple payback period) 29
2.14.3 การคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทน (internal rate of return) 29

หน้า

2.14.4 การคำนวณมูลค่าสะสมของอาคาร (present worth inflation factor) 29
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย..... 30
3.1 การสำรวจและเก็บข้อมูลอาคาร..... 30
3.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร..... 30
3.1.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร..... 31
3.1.3 วิธีการเก็บข้อมูลด้านสภาวะน่าสบายภายในอาคาร..... 32
3.1.4 วิธีการเก็บข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อระบบแสงสว่างภายในอาคาร..... 33
3.2 ประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า..... 35
3.2.1 ประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร..... 35
3.2.2 ประเมินระดับสภาวะน่าสบาย..... 35
3.2.3 ประเมินระดับความส่องสว่างของแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ 35
3.2.4 ประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร..... 35
3.2.5 ประเมินอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ..... 35
3.3 เสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา..... 36
3.3.1 แนวทางในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร..... 36
3.3.2 แนวทางการลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ..... 36
3.3.3 แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างจากแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร..... 36
3.4 ประเมินแนวทางการปรับปรุงอาคาร..... 36
3.4.1 ประเมินผลในเชิงเทคนิค..... 36
3.4.2 ประเมินผลในเชิงเศรษฐศาสตร์..... 36
3.5 สรุปผลแนวทางที่เหมาะสมในการนำไปปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา..... 37
3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 37
3.6.1 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์..... 37
3.6.2 รายละเอียดเบื้องต้นโปรแกรม DOE 2.1E..... 38
บทที่ 4 รายละเอียดอาคารกรณีศึกษาและการวิเคราะห์อาคาร..... 41
4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา..... 41
4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของอาคาร..... 41
4.1.2 ลักษณะพฤติกรรมการใช้งานภายในอาคาร..... 44
4.1.3 รายละเอียดโครงสร้างประกอบอาคาร..... 46
4.2 ข้อมูลการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร..... 47
4.2.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2543-พ.ศ. 2548..... 47
4.2.2 ระบบปรับอากาศภายในอาคาร..... 48
4.2.3 ระบบแสงสว่างภายในอาคาร..... 49

หน้า

4.2.4 การวิเคราะห์ระดับความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่มีผลต่อความส่องสว่างภายใน..... 50
4.2.5 ระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร..... 55
4.3 การวิเคราะห์ระดับสภาวะน่าสบายในอาคารกรณีศึกษา..... 55
4.3.1 การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี..... 56
4.3.2 การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี..... 57
4.4 ข้อมูลการคำนวณต่อการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV&RTTV) 58
4.5 การเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษากับอาคารจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 58
4.5.1 ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในตลอดทั้งปีของอาคารกรณีศึกษา 59
4.5.2 ข้อมูลเปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารสำนักงาน..... 60
4.6 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของอาคาร..... 62
4.7 การศึกษาข้อดี-ข้อเสียของอาคารกรณีศึกษา..... 62
4.7.1 มาตรฐานการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคาร..... 62
4.7.2 มาตรฐานปริมาณค่าการให้พลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่..... 63
4.7.3 มาตรฐานปริมาณค่าการส่องสว่างภายในอาคาร..... 63
4.7.4 มาตรฐานของเครื่องปรับอากาศ..... 63
บทที่ 5 การพิจารณาแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา..... 64
5.1 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษากับโปรแกรม DOE-2..... 64
5.2 เปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา..... 65
5.3 การพิจารณาองค์ประกอบของภาระการทำความเย็นของอาคาร..... 67
5.4 แนวทางการประเมินผลการคัดเลือกวัสดุ..... 68
5.5 แนวทางการประเมินผลความเหมาะสมทางด้านเทคนิค, ราคาและความคุ้มทุน..... 68
5.6 เกณฑ์ในการกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร..... 68
5.7 แนวทางการเลือกลักษณะรูปแบบอาคารตัวแทน..... 69
5.7.1 วิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานของอาคารแต่ละประเภท..... 69
5.7.2 วิเคราะห์สัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังภายนอกทั้งหมด (WWR20-80) 72
5.7.3 วิเคราะห์รูปแบบแผงกันแดด..... 73
5.8 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา..... 78
5.8.1 การเลือกวัสดุผนังเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา..... 79
5.8.2 การเลือกวัสดุหลังคาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา..... 89
5.8.3 การเลือกประเภทของกระจกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา..... 96
5.8.4 การเลือกฉนวนกันความร้อนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา..... 99
5.9 วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคาร..... 102
5.10 สรุปการเลือกแนวทางวัสดุเปลือกอาคารที่ใช้ในการวิจัย.....107

หน้า

5.10.1 แนวทางเลือกวัสดุผนังอาคาร..... 107
5.10.2 แนวทางเลือกวัสดุหลังคาของอาคาร..... 111
5.10.3 แนวทางเลือกวัสดุกระจกของอาคาร.....114
5.11 สรุปการออกแบบอาคารสำนักงานเพื่อการประหยัดพลังงาน..... 116
5.11.1 แนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า
ให้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน..... 118
5.11.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของ
ผนังและหลังคา (OTTV,RTTV).....120
5.11.3 สรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานของ
อาคารสำนักงานโดยออกแบบใหม่..... 123
5.11.4 สรุปผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์.....125
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 129
6.1 การประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา.....129
6.1.1 สรุปปัญหาของอาคารกรณีศึกษา.....129
6.1.2 องค์ประกอบของอาคารที่ต้องปรับปรุง.....129
6.2 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา..... 130
6.2.1 สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาทางด้านเทคนิค..... 130
6.2.2 สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์..... 133
6.3 ข้อเสนอแนะและข้อจำกัดสำหรับเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป.....139
6.3.1 การปรับปรุงอาคารด้วยการติดตั้งกระจก..... 139
6.3.2 โปรแกรม DOE-2 ที่ใช้ภายในอาคาร..... 139
รายการอ้างอิง..... 140
ภาคผนวก.....142
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการสำรวจอาคารกรณีศึกษา อาคารสำนักงานนคร จ.นครราชสีมา..... 143
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการปรับปรุงและแบบอาคารตัวแทนของอาคารสำนักงานภาครัฐ..... 157
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....172

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าสภาพนำความร้อนของวัสดุต่าง ๆ 9
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าช่วงเวลาหน่วงที่ความร้อนไหลผ่านวัสดุ..... 9
ตารางที่ 2.3 อุณหภูมิอากาศเป็นมาตรวัดสภาวะน่าสบายขั้นพื้นฐาน..... 10
ตารางที่ 2.4 แสดงความเร็วลมภายในห้องที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย..... 16
ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบาย..... 17
ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศดับค่า EER..... 22
ตารางที่ 2.7 แสดงค่ามาตรฐานการปรับอากาศในอาคารชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ..... 23
ตารางที่ 2.8 ตารางเปรียบเทียบการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES ตามประเภทการใช้งาน..... 26
ตารางที่ 2.9 ตารางเปรียบเทียบการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES ตามประเภทการใช้งาน..... 27
ตารางที่ 2.10 การเปรียบเทียบขนาดวัตต์ กำลังส่องสว่าง และประสิทธิภาพแสงของหลอด
ฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูงและหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา..... 28
ตารางที่ 2.11 ประสิทธิภาพแสงของหลอดไฟชนิดต่าง ๆ 28
ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งของห้องที่เลือกเป็นตัวแทนในการบันทึกอุณหภูมิอากาศ..... 33
ตารางที่ 4.1 การจำแนกพื้นที่ใช้สอยในอาคารสำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมา..... 43
ตารางที่ 4.2 แสดงการแบ่งส่วนพื้นที่ใช้สอยและจำนวนบุคลากรในแต่ละส่วน..... 44
ตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดโครงสร้างประกอบอาคาร..... 46
ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา..... 47
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่ (วัตต์ต่อตารางเมตร)..... 49
ตารางที่ 4.6 แสดงชนิดของหน้าต่างและพื้นที่ของอาคารกรณีศึกษา..... 50
ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในอาคารกรณีศึกษา..... 55
ตารางที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ฤดูของประเทศไทย..... 56
ตารางที่ 4.9 แสดงวันที่เลือกมาเป็นตัวแทนในการประเมินระดับสภาวะน่าสบายตลอดทั้งปี..... 56
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา..... 58
ตารางที่ 5.1 สรุปภาระการทำความเย็นสูงสุดในอาคารจำแนกตามแหล่งที่มา
ของความร้อน (กิโลวัตต์) 67
ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบข้อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานกับข้อมูลอาคารกรณีศึกษา..... 69
ตารางที่ 5.3 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของรูปทรงอาคารแบบต่าง ๆ..... 70
ตารางที่ 5.4 สัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีภายในอาคารรูปทรงต่าง ๆ 70
ตารางที่ 5.5 สรุปภาระการทำความเย็นสูงสุดในอาคารแต่ละรูปแบบ..... 71
ตารางที่ 5.6 แสดงสัดส่วนหน้าต่างต่อพื้นที่ผนังภายนอกทั้งหมดที่ (WWR20 - 80%)..... 72
ตารางที่ 5.7 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแผงกันแดดทิศใต้..... 74
ตารางที่ 5.8 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแผงกันแดดทิศเหนือ..... 75
ตารางที่ 5.9 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแผงกันแดดทิศตะวันตก..... 76
ตารางที่ 5.10 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแผงกันแดดทิศตะวันออก..... 77

หน้า

ตารางที่ 5.11 แสดงประเภทและราคาของผนังที่ใช้พิจารณาหาแนวทางที่เหมาะสมกับอาคาร..... 81
ตารางที่ 5.12 แสดงการหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของ
วัสดุผนังกรอบอาคารแต่ละประเภท..... 87
ตารางที่ 5.13 แสดงประเภทและราคาของหลังคาที่ใช้พิจารณาหาแนวทางที่เหมาะสมกับอาคาร..... 89
ตารางที่ 5.14 แสดงการหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุหลังคาอาคารแต่ละประเภท..... 94
ตารางที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบราคาของกระจกอาคารต่อหนึ่งตารางฟุต..... 96
ตารางที่ 5.16 แสดงประเภทกระจกของอาคารที่เลือกใช้..... 98
ตารางที่ 5.17 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของฉนวนกันความร้อนประเภทที่นำมาใช้กับอาคาร..... 98
ตารางที่ 5.18 แสดงประเภทและราคาของกระจกที่ใช้พิจารณาหาแนวทางที่เหมาะสมกับอาคาร.... 101
ตารางที่ 5.19 แสดงประเภทผนังที่เลือกใช้กับอาคาร..... 102
ตารางที่ 5.20 แสดงประเภทหลังคาที่เลือกใช้กับอาคาร..... 104
ตารางที่ 5.21 แสดงประเภทและราคาของกระจกที่พิจารณาแนวทางที่เหมาะสมกับอาคาร..... 106
ตารางที่ 5.22 วิเคราะห์แนวทางการคัดเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน..... 116
ตารางที่ 5.23 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาและแนวทางที่ 1-10..... 118
ตารางที่ 5.24 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารแต่ละแนวทาง..... 120
ตารางที่ 5.25 วิเคราะห์ความคุ้มค่าของการลงทุนเลือกวัสดุอาคารประหยัดพลังงาน..... 125
ตารางที่ 5.26 วิเคราะห์มูลค่าตลอดช่วงอายุการใช้งาน..... 127

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 1.1 แนวคิดและระเบียบวิธีการศึกษา..... 4
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงตารางการทำงานของบุคลากรวันทำงานของแผนกต่างๆ..... 45
แผนภูมิที่ 4.2 แสดงตารางการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าในวันที่ทำงานของแผนกต่างๆ..... 45
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงตารางการใช้ไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ในวันทำงานของแผนกต่างๆ..... 45
แผนภูมิที่ 4.4 แสดงค่าไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาตั้งแต่ปี พ.ศ.2543 – พ.ศ.2548..... 47
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาตั้งแต่ปี พ.ศ.2543 – พ.ศ.2548 48
แผนภูมิที่ 4.6 แสดงระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องประชุมใหญ่ (ทิศเหนือ) 51
แผนภูมิที่ 4.7 แสดงข้อมูลค่าระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องประชุมใหญ่ (ทิศเหนือ).....51
แผนภูมิที่ 4.8 แสดงระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องนายกเทศมนตรี (ทิศตะวันตก)..... 52
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงข้อมูลค่าระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องนายกเทศมนตรี(ทิศตะวันตก)..... 52
แผนภูมิที่ 4.10 แสดงระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องประชุมเล็ก (ทิศใต้)..... 53
แผนภูมิที่ 4.11 แสดงข้อมูลค่าระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องประชุมเล็ก (ทิศใต้)..... 53
แผนภูมิที่ 4.12 แสดงระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องธุรการ (ทิศตะวันออก)..... 54
แผนภูมิที่ 4.13 แสดงข้อมูลค่าระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องธุรการ (ทิศตะวันออก)..... 54
แผนภูมิที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิภายในอาคาร วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี..... 56
แผนภูมิที่ 4.15 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี..... 57
แผนภูมิที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากใบเสร็จค่าไฟฟ้า..... 59
แผนภูมิที่ 4.17 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดเป็นรายปี..... 60
แผนภูมิที่ 4.18 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ปรับอากาศของอาคารเป็นรายปี..... 60
แผนภูมิที่ 4.19 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าเกดจากเครื่องปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศของอาคาร..... 61
แผนภูมิที่ 4.20 เปรียบเทียบปริมารณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่อาคารทั้งหมด..... 61
แผนภูมิที่ 5.1 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายเดือนจากใบเสร็จค่าไฟฟ้ากับโปรแกรม DOE-2 ของปี พ.ศ.2547..... 65
แผนภูมิที่ 5.2 แสดงสัดส่วนปริมาณการใช้ไฟฟ้า จำแนกตามระบบการใช้งาน..... 65
แผนภูมิที่ 5.3 เปรียบเทียบภาระการทำความเย็นของอาคารกรณีศึกษาจำแนกที่มาของแหล่งความร้อน..... 66
แผนภูมิที่ 5.4 สัดส่วนการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นอันเนื่องมาจากส่วนประกอบสถาปัตยกรรมต่างๆ 71
แผนภูมิที่ 5.5 เปรียบเทียบกลุ่มการใช้พลังงานไฟฟ้าของพื้นที่หน้าต่างต่อผนังภายนอกทั้งหมด..... 72
แผนภูมิที่ 5.6 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของพื้นที่หน้าต่างต่อผนังภายนอกทั้งหมด..... 73
แผนภูมิที่ 5.7 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของรูปแบบแผงกันแดดทิศใต้..... 75
แผนภูมิที่ 5.8 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของรูปแบบแผงกันแดดทิศเหนือ..... 76
แผนภูมิที่ 5.9 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของรูปแบบแผงกันแดดทิศตะวันตก..... 77

หน้า

แผนภูมิที่ 5.10 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของรูปแบบแผงกันแดดทิศตะวันออก.....78
แผนภูมิที่ 5.11 แสดงเปรียบเทียบราคาของวัสดุผนังกรอบอาคารต่อหนึ่งตารางเมตร.....82
แผนภูมิที่ 5.12 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนังกรอบอาคารแต่ละประเภท.....87
แผนภูมิที่ 5.13 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ.....88
แผนภูมิที่ 5.14 แสดงเปรียบเทียบราคาของวัสดุหลังคาอาคารต่อหนึ่งตารางเมตร.....90
แผนภูมิที่ 5.15 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุหลังคาอาคารแต่ละประเภท.....94
แผนภูมิที่ 5.16 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา..... ...95
แผนภูมิที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบราคาของกระจกอาคารต่อหนึ่งตารางฟุต.....97
แผนภูมิที่ 5.18 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจก.....98
แผนภูมิที่ 5.19 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก..... 99
แผนภูมิที่ 5.20 แสดงเปรียบเทียบราคาของฉนวนกันความร้อนต่อหนึ่งตารางเมตร..... ...101
แผนภูมิที่ 5.21 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของผนัง.....102
แผนภูมิที่ 5.22 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของหลังคา.....104
แผนภูมิที่ 5.23 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของกระจก.....106
แผนภูมิที่ 5.24 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารแต่ละแนวทาง.....119
แผนภูมิที่ 5.25 แสดงผลรวมของปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดเป็นรายปี.....123
แผนภูมิที่ 5.26 แสดงผลรวมของปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ปรับอากาศของอาคารเป็นรายปี.....123
แผนภูมิที่ 5.27 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากระบบปรับอากาศต่อ
พื้นที่ปรับอากาศของอาคาร.....124
แผนภูมิที่ 5.28 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่อาคารทั้งหมด.... 124
แผนภูมิที่ 5.29 แสดงระยะเวลาความคุ้มทุนของแต่ละประเภท.....126
แผนภูมิที่ 5.30 แสดงมูลค่าตลอดช่วงอายุการใช้งาน..... 127

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 แสดงอาคารสำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมา จ.นครราชสีมา.....2
ภาพที่ 2.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัสดุเมื่อได้รับรังสีดวงอาทิตย์.....8
ภาพที่ 2.2 การวางทิศทางของอาคารให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ.....18
ภาพที่ 2.3 แสดงเงาและแผงบังแดดแบบต่างๆ.....19
ภาพที่ 3.1 แสดงตำแหน่งของการเก็บข้อมูลแสงสว่างภายในอาคารกรณีศึกษา.....34
ภาพที่ 3.2 แสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....37
ภาพที่ 3.3 แสดงเครื่องมือวัดความสว่างลักซ์มิเตอร์..... 38
ภาพที่ 4.1 แสดงภาพแผนผังโดยรอบโดยรอบอาคารกรณีศึกษา.....41
ภาพที่ 4.2 แสดงภาพถ่ายด้านหน้าและด้านหลังอาคารกรณีศึกษา.....42
ภาพที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายด้านขวาและด้านซ้ายอาคารกรณีศึกษา.....42
ภาพที่ 4.4 แสดงผังพื้นชั้น 1-2 ของอาคารกรณีศึกษา.....42
ภาพที่ 4.5 แสดงแบบด้านหน้าซึ่งหันหน้าทางทิศใต้อาคารกรณีศึกษา.....43
ภาพที่ 4.6 แสดงแบบด้านข้างซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออกอาคารกรณีศึกษา.....43
ภาพที่ 4.7 แสดงบรรยากาศห้องทำงานส่วนสำนักงานการคลังและห้องธุรการ.....44
ภาพที่ 4.8 แสดงรูปตัดของอาคารกรณีศึกษา.....46
ภาพที่ 4.9 เครื่องปรับอากาศที่ใช้ภายในอาคารกรณีศึกษา.....48
ภาพที่ 4.10 แสดงลักษณะช่องหน้าต่างและประตูของอาคาร.....49
ภาพที่ 4.11 แสดงภาพอาคารที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Draw BDL 62
ภาพที่ 5.1 แสดงรูปแบบของแผงกันแดดในทิศทางต่าง ๆ 74
ภาพที่ 5.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของผนังแต่ละประเภท.....81
ภาพที่ 5.3 แสดงการหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนังกรอบอาคารแต่ละประเภท.....86
ภาพที่ 5.4 แสดงการหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุมุงหลังคาแต่ละประเภท.....93
ภาพที่ 5.5 แสดงลักษณะทางกายภาพของกระจก.....96
ภาพที่ 5.6 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจก.....98

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาด้านการจัดการพลังงานนับเป็นปัญหาที่สำคัญระดับชาติ ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจค่อนข้างสูงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมและภาคธุรกิจ มีการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้มีความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศเพิ่มขึ้น สำหรับการใช้พลังงานส่วนใหญ่จะเป็น ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งมีความจำเป็นในอาคารจึงทำให้มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน

จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารหน่วยงานราชการ พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานในส่วนต่าง ๆ ของกลุ่มอาคารในหน่วยงานราชการซึ่งแยกตามลักษณะกิจกรรมเป็นดังนี้

ประเภทอาคาร	ระบบทำความเย็น	ระบบแสงสว่าง	อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า
สำนักงาน	63.0	25.0	12.0
สถานศึกษา	47.0	38.0	25.0
สถานพยาบาล	60.0	22.0	18.0

แหล่งที่มา : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2545: 135

อาคารสำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมา เป็นอาคารที่เก่าแก่ซึ่งในอดีตอาศัยโรงเก็บพัสดุเป็นที่ทำการจนกระทั่ง พ.ศ. 2499 จึงได้สร้างอาคารสำนักงานขึ้นใหม่ตามแบบมาตรฐานกระทรวงมหาดไทย เปิดทำการใหม่วันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2500 รวมทั้งสิ้นเป็นเวลานานเกือบ 49 ปี และมีการต่อเติมเป็นช่วงๆ จนถึงปัจจุบัน ซึ่งอาคารตั้งอยู่กลางพื้นที่ 5 ไร่ ขนาดพื้นที่ใช้สอยประมาณ 1,500 ตารางเมตร ซึ่งอาคารสำนักงานสูง 2 ชั้น ประกอบด้วยหน่วยงาน 2 หน่วยงาน ได้แก่ สำนักปลัดเทศบาลและสำนักการคลัง

จากการศึกษาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร พบว่าการใช้พลังงานมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 53.55 ตั้งแต่ปี 2543 ถึงปี 2547 อยู่ในช่วงระหว่าง 301,402 – 648,917 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นเงินค่าไฟฟ้าระหว่าง 828,855 – 1,784,522 บาท (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จ.นครราชสีมา, 2547: 1-12) ดังนั้นถ้ายังมีการใช้พลังงานโดยปราศจากการปรับปรุงที่เหมาะสม และควบคุมดูแลที่ดี รายจ่ายค่าไฟฟ้าของเทศบาลนครนครราชสีมาก็คงมีตัวเลขสูงขึ้นเรื่อยๆ

การใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมาส่วนใหญ่มาจาก ระบบเครื่องปรับอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เนื่องจากระบบทั้งสองนี้มักจะทำงานตลอดทั้งวันในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง ประกอบกับสภาพที่ทรุดโทรมและอายุการใช้งานที่ยาวนาน ระบบเหล่านี้ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานไม่ดีเท่าที่ควรจะเป็น นอกจากนั้นสภาพอาคารที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการประหยัดพลังงาน เช่น ผนังอาคารและหลังคาอาคารมีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในปริมาณสูง ทำให้ภาระการทำความเย็น (cooling load) เพิ่มขึ้น เนื่องจากรูปแบบการวางผังของอาคารที่ไม่เหมาะสมทำให้ห้องบริเวณกลางอาคารแสงสว่างไม่เพียงพอจำเป็นต้องเปิดไฟตลอดเวลาทำงาน

ดังนั้นจึงได้มีแนวทางในการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมาขึ้นใหม่เพื่อเป็นหารูปแบบอาคารสำนักงานของภาครัฐที่สามารถประหยัดพลังงานได้ดีที่สุด ซึ่งกำหนดแนวทางในการออกแบบปรับปรุงอาคารเพื่อประหยัดพลังงาน คือ การออกแบบรูปทรงของอาคารใหม่ การคำนึงถึงพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (WWR) ที่เหมาะสมกับอาคาร การลดการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร เช่น ผนัง หลังคา การนำความร้อนผ่านกระจกและ การแผ่รังสีอาทิตย์ผ่านกระจก นอกจากนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงวัสดุเปลือกอาคารที่นำมาใช้กับอาคารที่สามารถคุ้มค่าทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยนำมาประเมินหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านเปลือกอาคารจากผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) และมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาแนวทางการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมที่สุดกับอาคารสำนักงานและอาคารที่มีลักษณะการใช้งานที่ใกล้เคียงกัน (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2545: 80)

ภาพที่ 1.1 แสดงอาคารสำนักงานเทศบาลนคร นครราชสีมา

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) สำรวจ ประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการ เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่มีประสิทธิภาพ
2) เพื่อหารูปแบบและแนวทางการปรับปรุงอาคารที่เหมาะสมที่สุดในการลดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

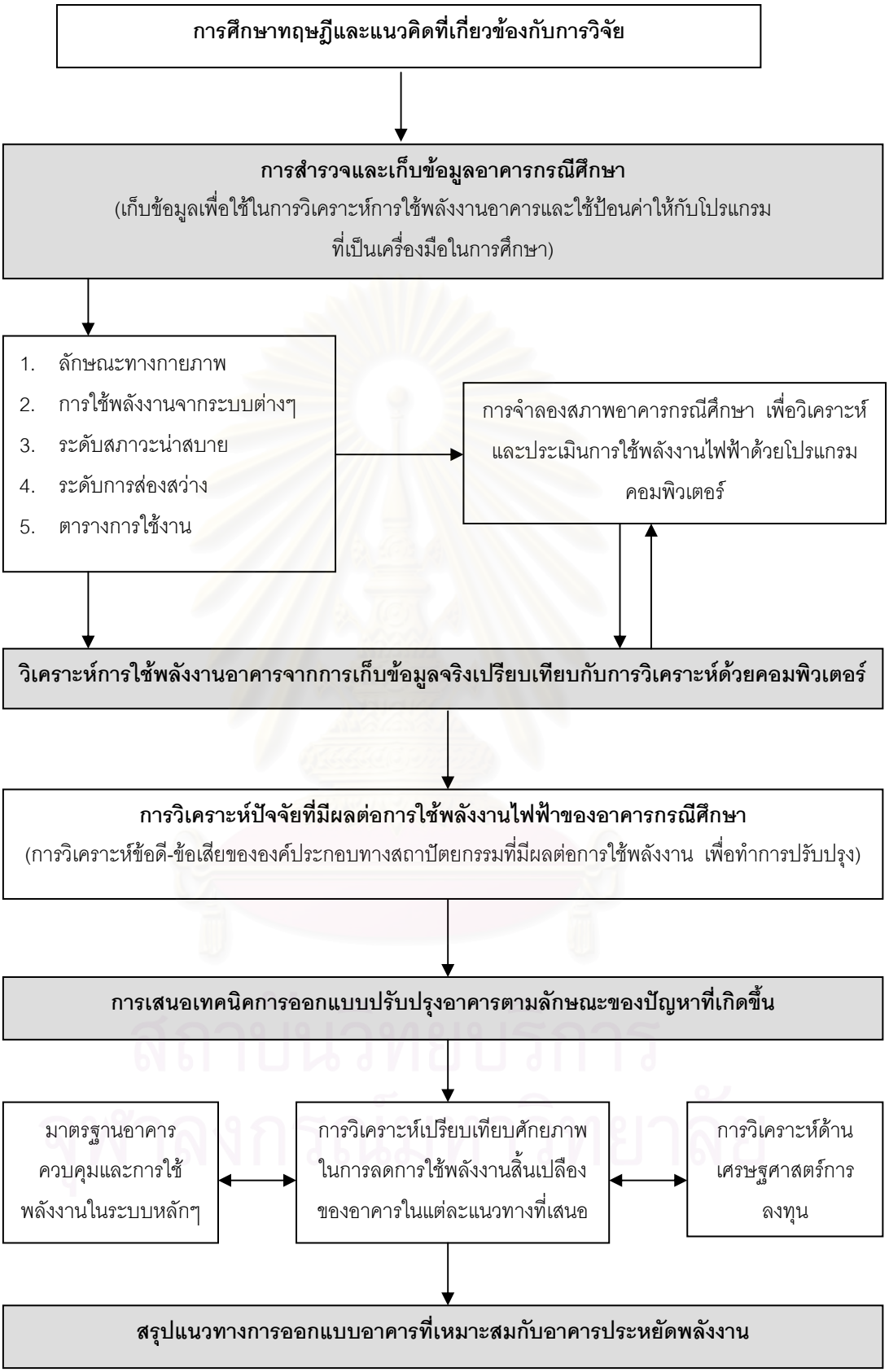
1) การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโครงการและข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร ศึกษาเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารที่เกิดขึ้นจากปัจจัยหลัก คือ ระบบปรับอากาศ ระบบการให้แสงสว่าง และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า
2) ศึกษาระบบเปลือกอาคาร เช่น ผนัง หลังคา และกระจกที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร
3) นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงและประเมินวัสดุเปลือกอาคารที่เหมาะสมกับอาคารสำนักงาน จำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer simulation) ในแต่ละแนวทาง
4) สรุปแนวทางการออกแบบอาคารใหม่ให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกฎหมายที่ตั้งไว้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

1) เก็บรวบรวมข้อมูลและตรวจวัดเกี่ยวกับการใช้พลังงานภายในอาคารของอาคาร ลักษณะทางกายภาพของอาคาร สภาพแวดล้อมภายในและภายนอกอาคาร การจัดพื้นที่ใช้สอย ลักษณะพฤติกรรมผู้ใช้อาคาร ตลอดจนศึกษาจำนวนและตำแหน่งของหลอดไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ
2) การสำรวจและเก็บข้อมูลอาคารกรณีศึกษา มีรายละเอียดดังนี้
   - ข้อมูลทั่วไปซึ่งเป็นรายละเอียดของอาคาร
   - การเก็บข้อมูลโดยการสำรวจสภาพทั่วไปและปัญหาที่เกิดขึ้นของอาคารกรณีศึกษา
   - การตรวจวัดและเก็บข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัด ได้แก่ ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคาร วัดความส่องสว่างภายในห้องทำงานและห้องประชุมที่ชั้น 2 ภายในอาคารสำนักงานเทศบาลนคร นครราชสีมา
3) การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากใบเสร็จค่าไฟฟ้ากับการจำลองสภาพปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE-2 ของอาคารกรณีศึกษา
4) ทำการวิเคราะห์และประเมินปัจจัยต่าง ๆ ในด้านการใช้พลังงานของอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร ระบบแสงสว่างในอาคาร ระบบปรับอากาศ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และระดับสภาวะน่าสบายของอาคาร ประเมินโดยใช้เกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารในการอนุรักษ์พลังงานของอาคารกรณีศึกษา
5) เสนอแนวทางการปรับปรุงรูปแบบของอาคาร และประเมินศักยภาพการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสิ้นเปลืองในแต่ละแนวทาง จากการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นสูงสุด ภาระการทำความเย็นรายปี และการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของอาคารโดยมุ่งเน้นปัจจัยหลักที่มีผล คือ ระบบเปลือกอาคาร (building envelope) สัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทึบ (WWR) ลักษณะแผงกันแดดที่เหมาะสมกับทิศทางต่าง ๆ และการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคาร โดยการจำลองสภาพอาคารจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (DOE-2)
6) สรุปแนวทางในการออกแบบปรับปรุงอาคารสำนักงานภาครัฐ และนำเสนอแนวทางการออกแบบอาคารรูปแบบใหม่ตามแนวทางที่ทำการวิเคราะห์เพื่อสามารถใช้เป็นแนวทางการออกแบบมาตรฐานตามหลักการของอาคารสำนักงานภาครัฐที่ต้องการผลในด้านการประหยัดพลังงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เสนอแนวทางการปรับปรุงอาคารสำนักงานของภาครัฐ เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร
2) เสนอแนวทางในการวิเคราะห์ความเหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น และแนวทางการบริหารจัดการ การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับอาคารสำนักงานภาครัฐ
3) เสนอข้อมูลและหลักการออกแบบรูปแบบมาตรฐานของอาคารสำนักงานภาครัฐที่เป็นอาคารประหยัดพลังงานรวมถึงการให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ตามปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างไปจากอาคารกรณีศึกษา แต่ยังคงไว้ซึ่งแนวคิดและหลักการที่เหมาะสมสำหรับอาคารสำนักงานของภาครัฐ



แผนภูมิที่ 1.1 แนวคิดและระเบียบวิธีการศึกษา

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำการวิจัยครั้งนี้เพื่อต้องการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารภาครัฐจำเป็นต้องกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การวิเคราะห์อาคาร การวิเคราะห์การใช้พลังงานภายในอาคาร การวิเคราะห์ทางด้านการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร สภาวะน่าสบาย ลักษณะแผงกันแดด แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ที่เข้ามาภายในอาคาร ระบบปรับอากาศ และการคำนวณเรื่องเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับอาคารกรณีศึกษา

2.1 การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลอาคาร

ในการออกแบบอาคารทุกครั้งจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลของอาคารกรณีศึกษา เพื่อนำข้อมูลเหล่านั้นไปประเมินหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหาของอาคาร (ปิติรัตน์ ยศวัฒน, 2545: 62-63) ดังนั้นจำเป็นต้องการข้อมูลที่เกี่ยวข้องอาจแบ่งได้ 7 ประเภท ได้แก่

2.1.1 **ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปของอาคาร** ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของอาคาร ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร ทิศทางการวางอาคาร ระยะโดยรอบอาคาร การเข้าถึงอาคาร และระบบอาคารทั้งหมด ซึ่งรวมถึงด้านโครงสร้าง สถาปัตยกรรม งานระบบทั้งหมดเป็นต้น

2.1.2 **ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของอาคาร** ซึ่งจะแบ่งเป็นสภาวะแวดล้อมรอบโครงการ ซึ่งรวมถึงการกำหนดพื้นที่สีเขียว การกำจัดขยะ การกำจัดน้ำเสีย และของเสีย ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และสิ่งแวดล้อมภายในอาคารซึ่งหมายรวมถึงการสัญจรภายในอาคาร แสงสว่าง การรักษาความสะอาดภายในอาคาร เป็นต้น

2.1.3 **ข้อมูลด้านกายภาพของอาคาร** ซึ่งหมายรวมถึง การสำรวจคุณภาพของงานก่อสร้างความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างอาคาร ความสอดคล้องกับกฎหมายอาคารการปรับเปลี่ยนการใช้สอยพื้นที่ซึ่งมีผลทำให้อาคารรับน้ำหนักมากกว่าที่ได้ออกแบบไว้สภาพของอาคารในปัจจุบันทั้งในด้านงานโครงสร้างและสถาปัตยกรรม ประสิทธิภาพการทำงานของงานระบบประกอบอาคารทั้งหมด เป็นต้น

2.1.4 **ข้อมูลด้านการใช้พลังงานของอาคาร** เป็นการเก็บข้อมูลด้านการใช้พลังงานโดยทั่วไปของอาคาร ทั้งการใช้ไฟฟ้า การใช้น้ำ รวมถึงการใช้พลังงานธรรมชาติเพื่อลดการใช้พลังงานภายในอาคาร เป็นต้น

2.1.5 **ข้อมูลด้านความปลอดภัย** การให้ความปลอดภัยต่อทั้งชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้อาคาร องค์ประกอบด้านความปลอดภัยของอาคาร การกำจัดการเข้าออก การตรวจสอบเหตุฉุกเฉิน การแจ้งเหตุ การอพยพผู้คนในกรณีเหตุฉุกเฉิน แผนการรับมือเหตุฉุกเฉิน เป็นต้น

2.1.6 **ข้อมูลด้านการบำรุงรักษาอาคาร** สภาพอาคารในปัจจุบันมีการจัดการด้านการบำรุงรักษาอย่างไรบ้าง โดยใครเป็นผู้รับผิดชอบ การทำงานมีประสิทธิภาพเพียงไร โดยหาข้อมูลทั้งจากผู้บริหารและผู้ใช้อาคาร

2.1.7 **ข้อมูลด้านการบริหารอาคาร** หาข้อมูลเกี่ยวกับการบริหารอาคารในปัจจุบัน วิธีหรือแนวทางที่ใช้ปฏิบัติอยู่ เป็นต้น

2.2 การศึกษาวิเคราะห์พลังงานของภายในอาคาร

ความละเอียดของการตรวจวิเคราะห์พลังงานมีหลายระดับ ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมหลาย ๆ ประการ และความเหมาะสมทางด้านเวลา การตรวจวิเคราะห์สามารถแบ่งได้ 2 ระดับ คือ

2.2.1 การตรวจวิเคราะห์เบื้องต้น (preliminary auditing)

การตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร และดูแนวโน้มการใช้พลังงานจากข้อมูลในระยะที่ผ่านมา ข้อมูลที่ได้จะใช้เป็นฐานสำหรับการเทียบประเมินการใช้ในระยะเวลาต่อไป และจะแสดงถึงชนิดของพลังงานที่สมควรได้รับการพิจารณาให้ความสำคัญในการตรวจสอบโดยละเอียด ทำให้สามารถแจกแจงให้เห็นได้ว่าพลังงานถูกใช้เป็นสัดส่วนเท่าใดในกิจกรรมแต่ละประเภท นอกจากนี้ยังจะทำให้ทราบถึงแนวทางเลือกที่จะดำเนินการประหยัดพลังงาน ว่าควรจะมีทิศทางใดที่จะเป็นไปได้มากที่สุด และส่งผลให้มีศักยภาพสูงสุด (จารุวรรณ ประภาทรงสิทธิ์, 2544: 7-9)

2.2.2 การตรวจวิเคราะห์อย่างละเอียด (detail auditing)

เป็นการตรวจสอบและรวบรวมข้อมูลโดยมุ่งความสนใจไปยังระบบย่อยต่าง ๆ ที่ได้รับการตัดสินที่จะหาแนวทางประหยัดพลังงานให้กับระบบนั้น ๆ ผลที่ได้จะทำให้ทราบถึงสภาพการใช้พลังงานของระบบย่อยอย่างละเอียดตลอดจนความบกพร่องหรือความผิดปกติของระบบ พร้อมกันนี้จะสามารถหาวิธีต่าง ๆ ที่จะลดความบกพร่องหรือความผิดปกตินั้นให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งจะยังผลให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลตามต้องการ โดยรายละเอียดที่เพิ่มเติมขึ้นคือ การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานตามมาตรการต่าง ๆ ดังนี้

- การลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร
- การปรับอากาศและการใช้แสงสว่างอย่างมีประสิทธิภาพ
- การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่ช่วยอนุรักษ์พลังงาน
- การใช้ระบบควบคุมการทำงานเครื่องจักรและอุปกรณ์

2.2.3 แนวทางในการสำรวจอาคารเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

จากการสำรวจอาคารการใช้พลังงานมีรายละเอียดดังนี้

1) การสำรวจลักษณะทางกายภาพ
   - ประเภทของโครงสร้างและขนาดของอาคาร
   - ทิศทางและตำแหน่งของอาคาร
   - วัสดุก่อสร้างของอาคาร
   - ขนาดและพื้นที่ช่องแสงในอาคาร และลักษณะแผงกันแดดให้ตัวอาคาร
   - พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร
   - การกำหนดตำแหน่งของห้องต่าง ๆ ภายในอาคาร
2) การสำรวจเก็บข้อมูลงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคาร
   - กำหนดตำแหน่งดวงโคม ชนิด และขนาดของดวงโคมที่ใช้ในอาคาร
   - เก็บข้อมูลวงจรในการเปิด - ปิด ดวงโคมและตำแหน่งสวิตช์ไฟฟ้าในอาคาร
   - เก็บข้อมูลระดับความส่องสว่างในอาคาร
   - พิจารณาลักษณะการใช้งานในแต่ละพื้นที่ที่มีการติดตั้งดวงโคม

- เก็บข้อมูลตารางการใช้งานระบบแสงสว่างในแต่ละห้อง

3) การสำรวจเก็บข้อมูลลักษณะการใช้งานของผู้ใช้อาคาร
   - เก็บข้อมูลตารางการทำงานของผู้ใช้อาคาร
   - พิจารณาจำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละช่วงเวลา
4) การสำรวจเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร
   - เก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารแยกแต่ละกิจกรรม
   - เก็บข้อมูลตารางการเปิด – ปิดหรือตารางการทำงาน ขนาด จำนวนและตำแหน่ง ของเครื่องปรับอากาศ
   - เก็บข้อมูลอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร
   - เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผ่านมาทั้งปริมาณ ค่าใช้จ่ายและความต้องการใช้พลังงานในอาคาร ของอาคารจากใบเสร็จค่าไฟฟ้า
   - การสำรวจเก็บข้อมูลสภาพอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์

2.3 หลักการถ่ายเทความร้อน

ความร้อนจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่อุณหภูมิต่ำ การถ่ายเทความร้อน (heat transfer) แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ การนำความร้อน (heat conduction) การพาความร้อน (heat convection) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) การถ่ายเทความร้อนสามารถนำมาคำนวณโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง (ตรึงใจ บูรณสมภพ, 2539: 31-32)โดยมีรายละเอียดของการถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้

2.3.1 การนำความร้อน (heat conduction)

เป็นการถ่ายเทจากโมเลกุลสู่โมเลกุล หรือการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านตัวกลางหรือมวลวัตถุ เช่น การถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังหรือกำแพง เป็นต้น ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุโดยการนำความร้อนขึ้นกับสภาพนำความร้อน (thermal conductivity) ของวัสดุ วัสดุที่นำความร้อนได้ดีจะมีค่าสภาพนำความร้อนสูง เช่น โลหะ หิน และคอนกรีต เป็นต้น วัสดุที่ช่วยลดการนำความร้อนต้องมีค่าสภาพนำความร้อนต่ำ เช่น ใยแก้วและฉนวนความร้อน เป็นต้น นอกจากนี้จากนำความร้อนยังขึ้นกับความหนาแน่นของวัสดุ ความชื้นของวัสดุและความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวทั้ง 2 ด้าน ของวัสดุที่ความร้อนถ่ายเท

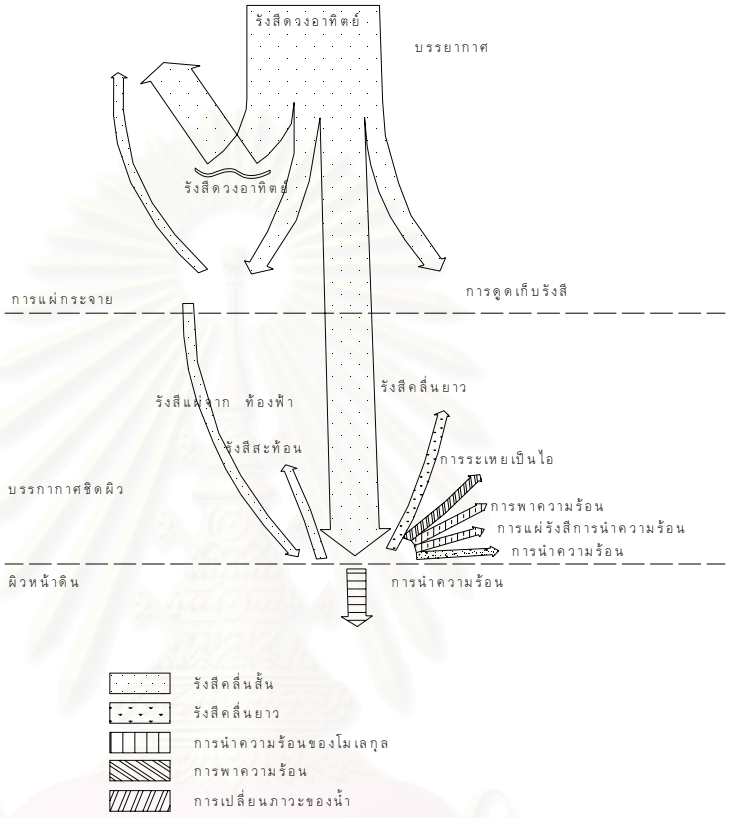
2.3.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (heat convection)

เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนตัวของอากาศเป็นสื่อกลาง เช่น ภายในอาคาร ความร้อนจะผ่านผนังเข้ามาโดยการนำ (conduction) จากนั้นผิวของผนังด้านในจะร้อนขึ้น ทำให้อากาศรอบ ๆ กำแพงด้านในร้อนขึ้น อากาศที่ร้อนจะมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา ก็จะลอยตัวสูงขึ้น อากาศภายในห้องมีอุณหภูมิต่ำกว่าจะหมุนเวียนไปแทนที่ เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน

2.3.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (radiation)

เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีผ่านอากาศหรือสุญญากาศ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น ความร้อนจากดวงอาทิตย์ถ่ายเทผ่านสูญญากาศมายังโลก เป็นต้น อาคารต่าง ๆ จะได้รับความร้อนโดยการแผ่รังสีทั้งจากรังสีตรงและรังสีกระจาย ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ และจากรังสีความร้อนคลื่นยาวที่แผ่มาจากวัตถุหรืออาคารอื่น ๆ รอบ

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) กระทบผิววัตถุทึบแสง บางส่วนจะถูกดูดกลืนและสะท้อนบางส่วนออกมา ส่วนที่ถูกดูดกลืนจะทำให้วัสดุมีอุณหภูมิขึ้น และจะถ่ายเทความร้อนให้แก่สิ่งแวดล้อมโดยการแผ่รังสี การพาความร้อน และถ่ายเทเข้าไปภายในตัวของมันเองโดยการนำความร้อน



ภาพที่ 2.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัสดุเมื่อได้รับรังสีดวงอาทิตย์
แหล่งที่มา : สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541: 33

2.3.4 คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุนอกจากอิทธิพลจากภายนอกแล้วยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุด้วย คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ได้แก่

1) อัตราส่วนที่การนำความร้อน (conductivity , K) คือ อัตราส่วนของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชม. ที่ถ่ายเทวัสดุหนา 1 นิ้วในพื้นที่ 1 ตารางฟุต หน่วยเป็น $W / m^2 . K$
2) ค่าความต้านทานความร้อน (resistance , R) คือ ค่าการบอกประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุเป็นส่วนกลับของค่า conductance หมายถึง จำนวนชั่วโมงสำหรับงานความร้อน 1 Btu. ถ่ายเทผ่านวัสดุหนา 1 ตารางฟุต หน่วยเป็น $W / m^2 . K$
3) ค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อน (coefficient of heat transmission , U) ค่า U-Value ของผิวอาคาร แต่ละชนิดสามารถคำนวณจากการหาค่า R แต่ละชนิดของวัสดุ ชั้นฟิล์ม

อากาศและช่องอากาศภายใน จากนั้นก็รวมค่า R และหาส่วนกลับ U = 1 / ∑ R หน่วยเป็น $W / m^2 . K$

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อน (conductivity) ของวัสดุต่าง ๆ

ลำดับ	วัสดุ	ค่า k = W/m ˚C
1	ทองแดง	393.0
2	กระจก	7.4
3	คอนกรีต	0.93
4	อิฐ	0.7
5	ยิปซั่มบอร์ด	0.22
6	ไม้	0.16
7	โฟมโพลีสไตรีน	0.036
8	โฟมฉีด	0.023
9	โฟมแผ่น	0.031
10	ฉนวนใยแก้ว	0.035
11	กระเบื้องแผ่นเรียบ	0.288

แหล่งที่มา : ASHRAE Handbook Fundamentals, 1997: 102

2.3.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนและช่วงเวลาหน่วงที่ความร้อนไหลผ่าน(U-and Time Lag Values)

วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนต่ำ ซึ่งใช้เป็นฉนวนกันความร้อน มักจะมีน้ำหนักเบา แต่วัสดุที่มีค่าของช่วงเวลาที่ความร้อนไหลผ่านจากผิวด้านนอกสู่ผิวด้านใน (time-lag) สูงจะเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นและมีน้ำหนักมาก ถ้าต้องการให้ความร้อนไหลผ่านเข้าอาคารได้ช้าจะต้องใช้ผนังหรือหลังคาที่หนา แต่ต้องระวังความร้อนที่เก็บสะสมไว้ในวัสดุ ถ้าเราเลือกวัสดุที่มีมวลและความจุความร้อนสูง วัสดุจะเก็บความร้อนไว้ในเวลากลางวัน (ในส่วนที่โดนแดด) และแผ่รังสีความร้อนอยู่ภายในอาคารในเวลากลางคืนที่อากาศเย็นลง ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่าภายนอกต้องมีลมภายนอกอาคารและมีการระบายอากาศภายในอาคารที่เพียงพอพาความร้อนออกไปจากวัสดุและภายในห้อง

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าช่วงเวลาหน่วงที่ความร้อนไหลผ่านวัสดุ

วัสดุ	ความหนา (นิ้ว)	U-value (W/m^2 ˚C)	time – lag
อิฐ	4	0.61	2.30 ชม.
	8	0.41	5.30 ชม.
	12	0.31	8.12 ชม.
คอนกรีต	4	0.85	2.30 ชม.
	8	0.67	5 ชม.
	12	0.55	8 ชม.

วัสดุ	ความหนา (นิ้ว)	U-value (W/m^2 ˚C)	time – lag
แผ่นฉนวน	2	0.16	40 นาที
	3	0.09	3 ชม.
ไม้	½	0.68	10 นาที
	1	0.47	25 นาที
	2	0.30	1 ชั่วโมง

แหล่งที่มา : Egan, 1975: 85

2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร ความรู้สึกร้อนหนาว หรือความน่าสบายของคน เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ได้แก่ ปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน

2.4.1 ปัจจัยภายนอก ที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกจากอาคาร รวมทั้งนำแสงสว่างธรรมชาติจากสภาพแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารมี 2 ปัจจัยหลัก สภาพภูมิอากาศ (climate) และที่ตั้ง (site) ผู้ออกแบบสามารถจัดการกับสภาพภูมิอากาศภายนอกและที่ตั้งเพื่อทำให้สภาพแวดล้อมภายในอาคารอยู่ในสภาวะน่าสบายได้ องค์ประกอบปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศประกอบด้วย 4 ปัจจัยคือ

1) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นมาตรวัดพื้นฐานต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ และเป็นพื้นฐานหลักต่อผู้ออกแบบในการเริ่มต้นจัดการผลกระทบของความชื้น รังสีอาทิตย์ และลม เพื่อที่จะทำนายผลของอุณหภูมิภายนอกที่มีผลต่อการออกแบบอาคาร ผู้ออกแบบจำเป็นต้องทราบและวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 2.3 อุณหภูมิอากาศเป็นมาตราวัดสภาวะน่าสบายขั้นพื้นฐาน

ปัจจัยที่ควรคำนึงถึง	รายละเอียด
1. annual curve	- อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละเดือน - ค่าเฉลี่ยที่อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของวัน - อุณหภูมิสูงที่สุดและต่ำสุดที่บันทึก
2. diurnal temperature swing	- ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิช่วงเวลากลางวันและกลางคืน
3. heating–cooling degree days	เป็นตัวชี้ถึงระยะเวลาของอุณหภูมิโดยรอบ (ambient temperature) ที่อยู่นอกเขตสภาวะน่าสบาย (comfort zone) และจะบอกประมาณการของภาระการทำความเย็น ความร้อนของระบบ[1]
4. bin data	ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ ความเร็วและทิศทางลม โดยสรุปเป็นจำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่อยู่ในสภาวะน่าสบายในทุก ๆ 5 องศาเซลเซียส

แหล่งที่มา : Watson, 1983: 45

หมายเหตุ : [1] degree days คือ ผลรวมของจำนวนความต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิฐานออกแบบ
degree base คือ ค่าอุณหภูมิมาตรฐาน ปกติใช้ที่ 65˚F หรือ 18˚C คูณด้วยจำนวนวันที่แตกต่างที่เกิดขึ้น
degree hours คือ ความแตกต่างอุณหภูมิในช่วงองศาหนึ่งสำหรับระยะเวลาหนึ่งชั่วโมง

2) **ความชื้น**

ความชื้น คือ ปริมาณความชื้นที่อยู่ในอากาศ สามารถวัดออกมาใน 2 รูปแบบ คือ

- absolute humidity เป็นปริมาณของน้ำที่อยู่ในอากาศโดยคิดจากอัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในอากาศต่อน้ำหนักของอากาศ (ปอนด์)
- relative humidity อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำในอากาศขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในอากาศอิ่มตัว ปริมาณสัดส่วนสูงสุดของไอน้ำที่สามารถคงอยู่ได้ในอากาศที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ก่อนจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำจะถือว่ามีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 100%

ความชื้น มีผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายโดยตรง เนื่องจากความชื้นในอากาศมีผลต่อความรู้สึกร้อนหนาว เมื่อค่าความชื้นสูงมาก ๆ จะทำให้ร่างกายไม่สามารถระบายความร้อนด้วยการระเหยเหงื่อได้ ทำให้เกิดสภาวะไม่สบายอีกทั้งยังช่วยในการเจริญเติบโตของราและตะไคร่ เป็นต้น ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 20 – 80% (ธนิต จินดาวณิค, 2547: 70)

3) **การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์**

ดวงอาทิตย์มีผลกระทบต่ออาคารและที่ตั้ง 2 ประการ คือ พลังงานดวงอาทิตย์ที่ตกลงมาบนพื้นที่ตั้งและทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ในที่ตั้งโครงการ การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ประกอบด้วย

- รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งการแผ่รังสีโดยตรงมาก แต่ร่มบังแดดนั้นมากเช่นกัน
- รังสีกระจายจากท้องฟ้าที่สะท้อนจากเมฆและฝุ่นละอองในอากาศมีปริมาณสูง 0 – 90 % ของปริมาณพลังงานจากดวงอาทิตย์โดยรวมที่มาสู่อาคาร
- รังสีที่สะท้อนจากพื้นดินและอาคารข้างเคียงซึ่งจะมากน้อยขึ้นกับทิศทาง สี ลักษณะพื้นผิว ปริมาณพลังงานความร้อนที่โลกได้รับมีค่าประมาณ 42 BTU/m^2.hr เมื่อพระอาทิตย์อยู่ตรงเหนือศีรษะและตกผ่านชั้นบรรยากาศที่บางที่สุด

4) **ปริมาณ ทิศทางและความเร็วลม**

ผู้ออกแบบสามารถใช้ลมช่วยในการปรับและควบคุมสภาวะน่าสบายได้ โดยอาศัยข้อมูลดังนี้

- ทิศทางของกระแสลมที่เกิดขึ้น
- ความเร็วลม และความถี่ในการพัดผ่าน

ข้อมูลดังกล่าวแสดงใน wind rose ซึ่งจะทำให้ผู้ออกแบบเห็นภาพรวมของการใช้ประโยชน์จากกระแสลม โดยกำหนดความเร็วลมที่ใช้ในการปรับเข้าสู่สภาวะน่าสบายต้องไม่น้อยกว่า 5 ไมล์/ชั่วโมง

5) **ลักษณะรูปร่างที่ตั้งโครงการ**

ลักษณะรูปร่างมีผลต่อ Microclimate เนื่องจากอุณหภูมิอากาศจะเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงของที่ตั้งจากระดับน้ำทะเลและมีผลต่อการเคลื่อนตัวของอากาศที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของกระแสลมท้องถิ่นนั่นเอง

6) **ต้นไม้และพืชพันธุ์ต่าง ๆ**

- ช่วยลดอุณหภูมิโดยการดูดซึมปริมาณแสงอาทิตย์และอุณหภูมิผิวอาคารเนื่องจากการบังเงา

- มวลต้นไม้ขนาดใหญ่สามารถเปลี่ยนทิศทางของกระแสลม ลด – เพิ่มความเร็วลม
- การควบคุมผลกระทบด้านความร้อนที่ได้รับแสงแดด

7) แหล่งน้ำ

เนื่องจากน้ำมาค่าความจุความร้อนสูงกว่าดินหรือแผ่นดินทำให้บริเวณน้ำอุ่นกว่าในช่วงฤดูหนาวและเย็นกว่าในช่วงฤดูร้อน ดังนั้นบริเวณที่ตั้งใกล้แหล่งน้ำขนาดใหญ่สามารถที่จะช่วยลดการแปรเปลี่ยนอุณหภูมิที่ขึ้นสูงสุดและลงต่ำสุดได้ ขนาดของแหล่งน้ำ และลมของแหล่งน้ำจะมีผลเรื่องของความชื้นในอากาศมีผลกระทบทำให้อาคารอุณหภูมิสูงขึ้นหรือลดลง

2.4.2 **ปัจจัยภายใน** ในเรื่องของพลังงานที่ต้องการในการดำเนินการ (operation) และในเรื่องของความร้อน (heat gain) ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร กิจกรรมส่วนใหญ่ก่อให้เกิดความร้อนที่มีปริมาณมากหรือน้อยแล้วแต่กิจกรรม การพิจารณาความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร จากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

1) การนำความร้อนผ่านผนังทึบและการแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก
2) ผู้ใช้อาคารและการใช้งาน หมายถึง กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับผู้ใช้อาคารและการควบคุมอาคาร ตัวแปรในกลุ่มนี้ ได้แก่ ประเภทของผู้ใช้อาคาร รูปแบบการใช้งานหรือลักษณะของกิจกรรมต่าง ๆ กิจกรรมของผู้ใช้อาคาร ได้แก่ ความต้องการด้านระบายอากาศ ความต้องการระดับการส่องสว่าง ความเป็นไปได้ในการจัดกลุ่มกิจกรรม เป็นต้น ตลอดจนตารางการใช้งานและการควบคุมระบบต่าง ๆ ในอาคาร
3) ระบบการส่องสว่างจากแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์
4) อุปกรณ์ประกอบอาคารประเภทต่าง ๆ เช่น มอเตอร์ HVAC ปั้มชนิดต่าง ๆ เป็นต้น
5) การระบายอากาศและการรั่วซึมของอาคาร

2.5 การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ผ่านกระจก (solar heat gain through glass)

ค่าพลังงานรังสีอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคและภูมิอากาศจะไม่เท่ากันและพลังงานที่เข้ามาในแต่ละทิศก็แตกต่างกันอย่างมากเช่น ณ ที่ละติจูด 16 องศาเหนือ พลังงานความร้อนสูงสุดจากรังสีอาทิตย์ที่เข้ามาทางหน้าต่างทิศใต้และทิศตะวันออกหรือตะวันตกเฉลี่ยต่อปีจะมากกว่าพลังงานความร้อนสูงสุดจากรังสีอาทิตย์ ที่เข้ามาทางหน้าต่างทิศเหนือถึงโดยประมาณ 2.7 เท่าและ 5.5 เท่าตามลำดับ ถ้าเปิดหน้าต่างหรือช่องแสงในระนาบนอนความร้อนสูงสุดจากรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีที่เข้ามามีมากถึง 6.8 เท่าจากหน้าต่างทิศเหนือ ดังนั้นในการออกแบบหน้าต่างของอาคารนอกเหนือจากขนาดหน้าต่างหรือพื้นที่ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญต่อพลังงานความร้อนที่เข้ามาในอาคารแล้ว ทิศทางของช่องเปิดนั้นก็เป็นปัจจัยสำคัญยิ่งที่บ่งบอกถึงปริมาณความร้อนที่จะเข้ามาในอาคาร

การออกแบบหลีกเลี่ยงความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (solar heat gain) ควรหลีกเลี่ยงการใช้กระจกในทิศตะวันออก และทิศตะวันตก เพราะพลังงานที่เข้ามาทั้งสองทิศดังกล่าวสูงมาก วิธีการป้องกันความร้อนจากรังสีอาทิตย์เข้ามาในอาคารอีกวิธีหนึ่งก็คือ การบังแดดให้กับกระจก ค่าการบังแดดนั้นแสดงออกมาในรูปสัมประสิทธิ์การบังแดด (shading coefficient , SC)

ค่า SC ที่ได้จากการออกแบบมาได้จากอุปกรณ์บังแดดหรือแผงกันแดดของอาคารเองและจากคุณสมบัติของกระจกเอง ค่า SC ที่เท่ากับ 1 นั้นเทียบเคียงมาจากพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร ในการคำนวณพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ผ่านเข้ามาทางกระจกสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$q = A \times (\text{Average Solar Gain}) \times SC \quad \ldots\ldots 1$$

โดยที่ q = ปริมาณความร้อนหน่วย Btu/h (SI unit = Watt)

A = พื้นที่กระจกเป็นตารางฟุต (SI unit = m^2)

SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

Average Solar Gain มีหน่วยเป็น Btu/h.ft^2 (SI unit = Watt / m^2)

2.6 การกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

มาตรการหนึ่งในกฎกระทรวงที่กำหนดขึ้นเพื่อส่งเสริมให้มีการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร โดยอาศัยคุณสมบัติของการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร คือการกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคารและค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาอาคาร ในการกำหนดค่าต่าง ๆ ดังกล่าวของอาคาร (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2535) ได้มีการศึกษาค้นคว้าถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กับอาคารในประเทศไทยซึ่งได้สรุปค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารไว้ในกฎกระทรวงดังนี้

2.6.1 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV)

การกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารหรืออีกนัยหนึ่งก็คือค่า OTTV (Overall Thermal Transfer Value) ในกฎกระทรวงฉบับนี้ได้กำหนดขึ้น โดยจำแนกตามความเก่าใหม่ของอาคาร คำนิยามของอาคารเก่า หมายถึง อาคารที่ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จหรือกำลังก่อสร้างหรือได้ยื่นขออนุญาตก่อสร้างไว้ก่อนวันที่พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538 จะมีผลบังคับใช้ อาคารใหม่ หมายถึง อาคารที่ยื่นขออนุญาตก่อสร้างหลังวันที่พระราชกฤษฎีกากำหนดให้อาคารนั้นเป็นอาคารควบคุม ดังนั้นค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคารหรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศที่ปรากฏในกฎกระทรวงจึงมี 2 ค่าดังนี้

1) อาคารใหม่ ต้องมีค่าไม่เกิน 45 วัตต์ต่อตารางเมตรของผนังด้านนอก

2) อาคารเก่า ต้องมีค่าไม่เกิน 55 วัตต์ต่อตารางเมตรของผนังด้านนอก

2.6.2 การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร

ขั้นตอนในการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร จะเริ่มต้นโดยการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ($OTTV_i$) ก่อน จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ของผนังแต่ละด้านมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามขนาดพื้นที่ของผนังด้านนอกแต่ละด้านรวมกันเพื่อให้ได้ค่า OTTV ตามที่กำหนดโดยมีขั้นตอนและสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ($OTTV_i$) ที่หันสู่ทิศทางต่างกันคำนวณจากสมการ

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

เมื่อ $OTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา (W / m^2)

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ($W / m^2 .^{\circ}C$)

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านนั้น

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

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง ($W / m^2 .^{\circ}C$)

ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทยกำหนดให้ใช้ค่าเท่ากับ 5 องศาเซลเซียส

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง

SF = ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (W / m^2)

เมื่อคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้านครบทุกด้านแล้ว จึงนำไปคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) จากสมการดังนี้

$$OTTV = \frac{(A_{01})(OTTV) + (A_{02})(OTTV_i) + ... + (A_{0i})(OTTV_i)}{A_{01} + A_{02} + \ldots + A_{0i}}$$

เมื่อ A_{0i} = พื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณาซึ่งรวมพื้นที่ผนังทึบและพื้นที่หน้าต่าง (m^2)

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

2.6.3 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)

สำหรับการกำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารหรืออีกนัยหนึ่งก็คือค่า RTTV (Roof Thermal Transfer Value) ในกฎกระทรวงนี้กำหนดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่า ให้มีค่าดังนี้

1) อาคารใหม่ ต้องมีค่าไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตรของหลังคา

2) อาคารเก่า ต้องมีค่าไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตรของหลังคา

2.6.4 การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร

ขั้นตอนในการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร เริ่มต้นด้วยการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารแต่ละส่วน ($RTTV_i$) ก่อน จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักเพื่อให้ได้ค่า RTTV ตามที่กำหนด โดยมีขั้นตอนและสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$RTTV_i = (U_r)(1\text{-}SRR)(TD_{eq}) + (SC)(SRR)(SF) + (U_s)(SRR)(\Delta T) \quad \text{..... 3}$$

เมื่อ $RTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนที่พิจารณา (W / m^2)

U_r = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนทึบ ($W / m^2 .^{\circ}C$)

SRR = อัตราส่วนพื้นที่ของช่องรับแสงธรรมชาติต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนนั้น (Skylight to Roof Ratio)

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

U_s = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสง ($W / m^2 .^{\circ}C$)

ΔT = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร สำหรับประเทศไทยกำหนดให้ใช้ค่าเท่ากับ 5 องศาเซลเซียส

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของช่องรับแสง

SF = ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์ (W / m^2)

เมื่อคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาแต่ละด้านครบทุกด้านแล้ว จึงนำไปคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) จากสมการดังนี้

$$RTTV = \frac{(A_{01})(RTTV) + (A_{02})(RTTV_i) + ... + (A_{0i})(RTTV_i)}{A_{01} + A_{02} + \ldots + A_{0i}}$$

เมื่อ A_{0i} = พื้นที่หลังคาส่วนมาพิจารณา (m^2)

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

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสภาวะน่าสบายที่เป็นที่ยอมรับกันในสากลมีตัวแปรประกอบไปด้วยตัวแปรทางด้านสภาพแวดล้อม 4 ตัวแปร ดังนี้

2.7.1 อุณหภูมิอากาศ (ambient air temperature)

อุณหภูมิอากาศวัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ที่มีตัวป้องกันอิทธิพลรังสีความร้อนจากสภาพแวดล้อม ค่าที่วัดได้เรียกว่า อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb temperature) อุณหภูมิอากาศเป็นปัจจัยหลักสำคัญที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบาย ช่วงอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงสภาวะน่าสบายอยู่ประมาณตั้งแต่ 20 องศาเซลเซียส จนถึง 26.6 องศาเซลเซียส (Olgyay, 1992: 90) ถ้าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอยู่ต่ำกว่าหรือสูงกว่านี้การทำความร้อนหรือเย็นมีความจำเป็นเพื่อทำให้สภาพแวดล้อมนั้นอยู่ในสภาวะน่าสบาย

2.7.2 อุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน (mean radiation temperature, MRT)

อุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อนนั้นวัดโดยค่าถ่วงเฉลี่ยของรังสีความร้อนที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ซึ่งรวมถึงแสงแดดโดยตรงด้วย MRT สามารถคำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวของด้านต่าง ๆ ในห้องและตำแหน่งที่วัด MRT นั้นโดยใช้มุมกระทำ (solid angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งที่วัดและขอบของแต่ละพื้นผิว โดยหาค่าเฉลี่ยออกมาเป็น MRT อย่างไรก็ตามผลของอุณหภูมิพื้นผิวที่มีต่อสภาวะน่าสบายและการที่จะสามารถวัดออกได้นั้นจะใช้ในรูปของค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศในห้องและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิพื้นผิวต่าง ๆ ในห้องนั้น โดยวัดและคำนวณหาค่า MRT สามารถทำได้ดังนี้

$$MRT = Tg + Kg \times V^{0.5} \times (Tg - Ta) \quad \text{..... 4}$$

โดยที่ MRT = mean radiation temperature (°F)

Tg = globe temperature (°F)

Ta = air dry bulb temperature (°F)

V = air velocity (fpm)

Kg = convection coefficient of globe

2.7.3 กระแสลม (air movement)

การระบายลมก็เป็นปัจจัยสำคัญอันหนึ่งของสภาวะสบายของมนุษย์ซึ่งมีเหตุผลอยู่ 3 ประการ คือ ประการแรก อากาศที่เคลื่อนไหวจะพาความร้อนที่อยู่รอบ ๆ ตัวไป ประการที่สองอากาศที่เคลื่อนไหวจะพัดพาความชื้น และทำให้เกิดภาวะที่เหมาะสมขึ้นสำหรับร่างกายที่จะระบายความร้อนโดยการระเหยของน้ำด้วยตัวของมันเองในรูปของเหงื่อ ประการสุดท้ายอากาศที่เคลื่อนไหวช่วยไม่ได้เกิดการสะสมของมลภาวะ

ความเร็วลม (wind speed) ที่ผ่านผู้อยู่อาศัยมีผลกระทบต่อสภาวะน่าสบาย ลมจะพัดพาความร้อนรอบตัวออกไปทำให้รู้สึกเย็นขึ้น นอกจากนั้นยังพาเอาความชื้นบริเวณผิวร่างกายช่วยให้การระเหยของเหงื่อดีขึ้น ร่างกายสูญเสียความร้อนได้ดีขึ้นจึงทำให้รู้สึกเย็น (evaporative cool) เนื่องจากการระเหยของน้ำหรือเหงื่อ ความเร็วลมที่ต้องการเพื่อทำให้เกิดสภาวะน่าสบายนั้นอยู่ระหว่าง 3-15 เมตรต่อนาที (10 – 50 ฟุตต่อนาที) ถ้าความเร็วลมต่ำกว่า 3 เมตรต่อนาที ผู้อยู่อาศัยจะรู้สึกว่าอากาศไม่มีการถ่ายเท ถ้าความเร็วลมสูงขึ้นระหว่าง 15 – 60 เมตรต่อนาที (50 – 200 ฟุตต่อนาที) ยังอยู่ในสภาวะน่าสบายได้ถ้ามีลมพัดเป็นช่วง ๆ ไม่ต่อเนื่องและอุณหภูมิอากาศสูง ความเร็วลมที่สูงเกิน 60 เมตรต่อนาที (200 ฟุตต่อนาที) จะทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกลมแรง (drafly) และอาจรบกวนการทำงานและกิจกรรมต่าง ๆ ถ้าการเคลื่อนไหวของอากาศยังคงถูกรักษาภายในช่วงที่กำหนดข้างต้นจะทำให้การระบายลมเพียงพอสำหรับระบายความร้อน ไอน้ำ และอากาศที่เสีย

ตารางที่ 2.4 แสดงความเร็วลมภายในห้องที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย

ความเร็วลม	**ความรู้สึกที่อุณหภูมิลดลง ณ อุณหภูมิห้องระหว่าง 80-90 °F (26.6-32.2 °C) ตัวเลขที่มากสนองกับบริเวณที่มีความชื้นสูง**	**ผลที่อาจเกิดขึ้น**
0 – 50 fpm (0 – 0.25 m/sec)	ไม่มีความเปลี่ยนแปลงในความรู้สึกน่าสบาย	ไม่สามารถสังเกตได้
50 – 100 fpm (0.25 – 0.50 m/sec)	ต่ำลง 2 – 3 °F (1.1 – 1.6 °C)	สบาย
100 – 200 fpm (0.50 – 1.0 m/sec)	ต่ำลง 4 – 5 °F (2.2 – 2.7 °C)	โดยทั่วไปรู้สึกสบายแต่รับรู้ว่ามีการเคลื่อนไหวของอากาศ
200 – 300 fpm (1.0 – 1.5 m/sec)	ต่ำลง 5 – 7 °F (2.2 – 3.9 °C)	รู้สึกมีลมพัดจนถึงลมพัดที่ทำให้รู้สึกรบกวนได้
สูงกว่า 300 fpm (> 1.5 m/sec)	ต่ำลงมากกว่า 5 – 7 °F (> 2.2 – 3.9 °C)	โดยทั่วไปรู้สึกสบายแต่รับรู้ว่ามีการเคลื่อนไหวของอากาศ

2.7.4 **ความชื้น** (humidity)

สภาวะน่าสบายของมนุษย์ยังขึ้นอยู่กับระดับความชื้นหรือไอน้ำในอากาศถูกอธิบายเป็นค่าตัวเลขในรูปของความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, RH) ซึ่งหมายถึงสัดส่วนความชื้นในอากาศเมื่อเทียบกับปริมาณสูงสุดที่อากาศสามารถมีความชื้นได้โดยปราศจากการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (condensation) ความชื้นสัมพัทธ์ของเขตสภาวะน่าสบายนั้นอยู่ในช่วงประมาณ 20 – 80 เปอร์เซ็นต์ (Egan, 1975) ผู้ออกแบบสามารถเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศและความเร็วลมได้อย่างง่ายโดยการออกแบบเปลือกอาคาร (building envelope) การปรับระดับความชื้นไม่สามารถกระทำได้ด้วยวิธีทางสถาปัตยกรรมที่ปราศจากเครื่องกลทั้ง ๆ ที่ผลกระทบของความชื้นสามารถบรรเทาโดยการเพิ่มความเร็วลม นั้นก็ยากสำหรับผู้ออกแบบที่จะออกแบบควบคุมอุณหภูมิแม้กระทั่งในอาคารสมัยใหม่ ก็ยังมีอุณหภูมิไม่ใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิอากาศภายใน

ปัจจัยที่กล่าวมามีผลกระทบต่อสภาวะน่าสบายโดยสามารถสรุปจากการวิจัยพื้นฐานของ Fanger, 1967 และ Olgyay, 1992 เป็นดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบาย

Olgyay, 1992	Fanger, 1967
อุณหภูมิอากาศ (air temperature)	อุณหภูมิอากาศ (ambient air temperature)
การแผ่รังสี (radiation)	อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (mean radiation temperature)
การไหลเวียนอากาศ (air movement)	ความเร็วลม (air velocity)
ความชื้น (humidity)	ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity)
	การสวมเสื้อผ้า (clo - value)
	อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (metabolism rate)

2.8 การวางทิศทางของอาคารให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ

การพิจารณาวางอาคารอิทธิพลของแสงอาทิตย์นั้น จะเห็นได้ว่าอาคารควรหันหน้าไปทางทิศเหนือ-ใต้ เพื่อหลีกเลี่ยงแสงและความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์ที่อยู่ต่ำทางด้านทิศตะวันออกและตะวันตก นอกจากการจัดวางอาคารแล้วผนังทางด้านทิศตะวันออกและตกในเขตร้อนชื้นนี้ยังควรที่จะให้แสงอาทิตย์เข้าได้น้อยที่สุดอีกด้วย (Gary O, 1983: 55)

โดยทั่วไปรูปทรงอาคารที่เหมาะสมกับลักษณะภูมิอากาศ คือ รูปทรงที่ทำให้อาคารเสียความร้อนให้แก่บรรยากาศน้อยที่สุดในช่วงฤดูหนาว และในฤดูร้อนทำให้อาคารรับความร้อนจากอาคารเกิดการสูญเสียความร้อนให้กับบรรยากาศให้มากที่สุด แม้ในฤดูหนาว (นอกจากในตอนออกแบบอาคารให้มีรูปร่างสัดส่วนให้สามารถป้องกันความร้อนจากบรรยากาศและวางอาคารให้สัมพันธ์กับทิศทางกระแสลมเพื่อให้เกิดการไหลเวียนของกระแสลมให้เกิดการระบายอากาศให้มากที่สุด)

ในการทดสอบเปรียบเทียบขนาดและสัดส่วนของอาคารขนาดเดียวกันของ (Olgyay, 1992: 58) ในลักษณะภูมิอากาศที่ต่างกันในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยเปรียบเทียบเมือง Minneapolis (เขตหนาวจัด) ,

New York (เขตอบอุ่น), Phoenix (เขตร้อนแห้ง) และ Miami (เขตร้อนชื้น) ได้ผลการทดลองว่า สัดส่วนรูปร่างที่เหมาะสมของอาคารระหว่างพื้นที่ด้านทิศตะวันตกทิศตะวันออกกับพื้นที่ด้านทิศเหนือ - ทิศใต้ในแต่ละสภาวะอากาศควรเป็นดังนี้

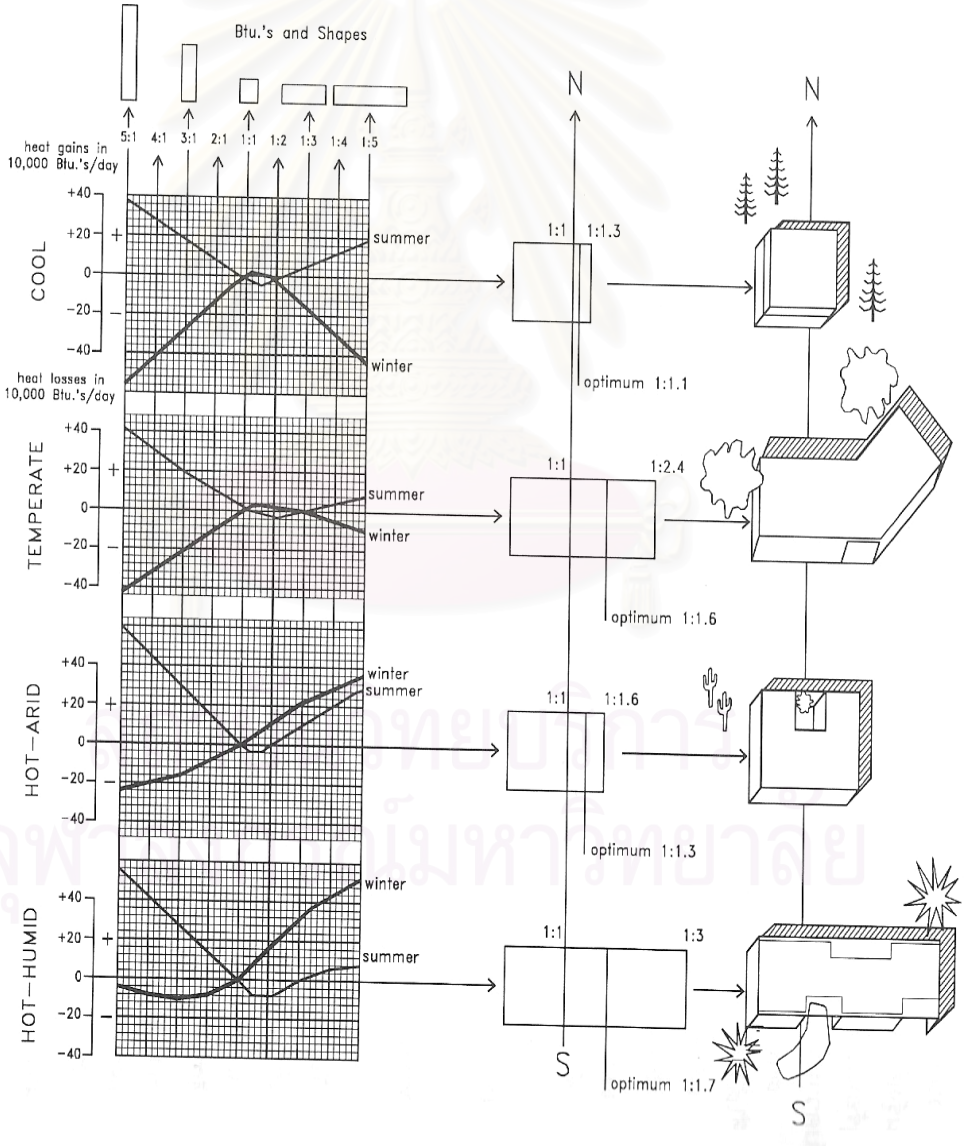
สัดส่วนรูปร่างของอาคารในเขตหนาว ควรเป็น 1 : 1.3 โดยสัดส่วนที่เหมาะสม คือ 1 : 1.1

สัดส่วนรูปร่างของอาคารในเขตอบอุ่น ควรเป็น 1 : 1.4 โดยสัดส่วนที่เหมาะสม คือ 1 : 1.6

สัดส่วนรูปร่างของอาคารในเขตร้อนแห้งควรเป็น 1 : 1.6 โดยสัดส่วนที่เหมาะสม คือ 1 : 1.3

สัดส่วนรูปร่างของอาคารในเขตร้อนชื้นควรเป็น 1 : 1.3 โดยสัดส่วนที่เหมาะสม คือ 1 : 1.7

ประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้น อาคารทางสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมกับลักษณะภูมิอากาศควรมีสัดส่วน รูปร่าง ของอาคารเป็น 1 : 3 โดยสัดส่วนที่เหมาะสม คือ 1:1.7 โดยให้อาคารด้านยาวเป็นด้านที่รับกระแสลม



ภาพที่ 2.2 การวางทิศทางของอาคารให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ

ข้อสังเกตของรูปร่างทางสถาปัตยกรรมจากการกระทำทางสภาวะอุณหภูมิ กล่าวได้ว่า อาคารรูปจัตุรัสไม่ใช่รูปทรงที่ดีสำหรับภูมิภาคใดๆ เลย

1) อาคารรูปทรงเรียวยาวตามแกนเหนือ-ใต้ ตอบสนองการแก้ปัญหาสภาวะอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่าอาคารรูปจัตุรัสในทุกๆ ฤดูกาล
2) อาคารรูปทรงเรียวยาวตามแกนตะวันออก-ตะวันตก ตอบสนองการแก้ปัญหาทางสภาวะอุณหภูมิการแผ่รังสีได้ดีที่สุด

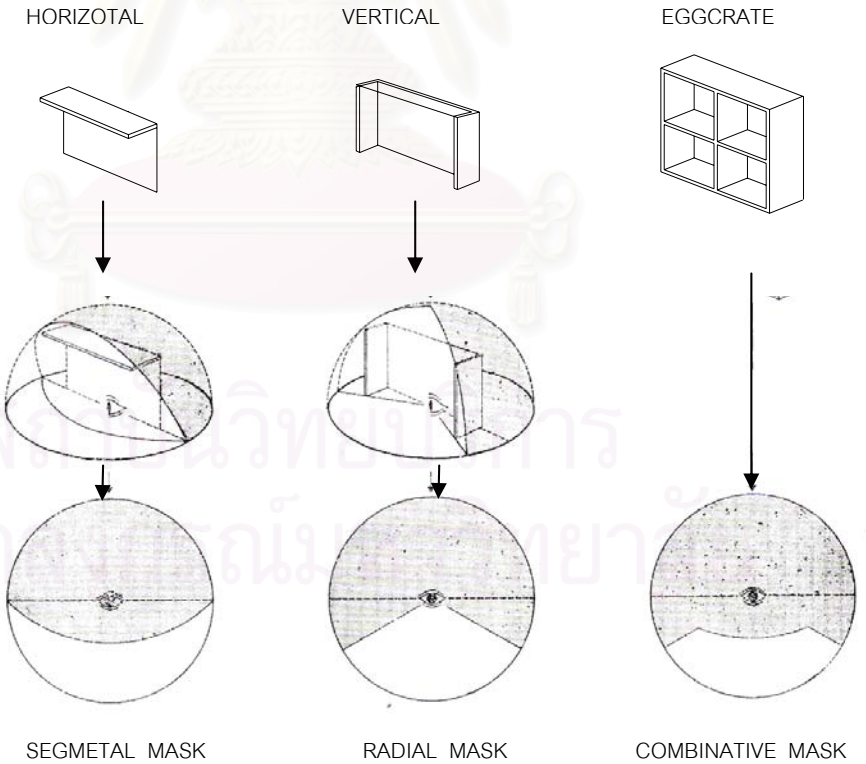
2.9 ลักษณะทั่วไปของแผงกันแดดและตารางเงาที่แสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์

จากการศึกษาแผงกันแดดหรือกันสาดมีชนิดต่าง ๆ อาจแบ่งตามลักษณะของการใช้งานได้ดังนี้

2.9.1 **แผงกันแดดทางนอน** (horizontal overhangs) สามารถบังแดดซึ่งเงามีลักษณะคล้ายรูปเสี้ยว (segmental mask)

2.9.2 **แผงกันแดดทางตั้ง** (vertical louvers) สามารถบังแดดซึ่งเงามีลักษณะเป็นรูปรัศมี (radial mask)

2.9.3 **แผงกันแดดแบบตาตาราง** (eggcrate types) เป็นแผงกันแดดแบบผสมทั้งทางตั้งและทางนอนเงาที่ได้รับจะเป็นแบบรวม



ภาพที่ 2.3 แสดงเงาและแผงบังแดดแบบต่าง ๆ

แหล่งที่มา: Olgyay, 1992: 87

จากการทดลองหามุมต่าง ๆ ตากจุดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ทำกับผนังอาคารในพื้นที่ของซีกโลกแถบเหนือ (north latitude) จะได้ลักษณะของแผงบังแดดที่เหมาะสมตามทิศต่าง ๆ ดังนี้

1) ด้านทิศใต้ และบริเวณโดยรอบทางด้านทิศใต้ของอาคาร ใช้แผงกันแดดชนิดทางนอนจะได้ผลดี
2) ด้านทิศตะวันออกและตะวันตกของอาคาร ใช้แผงบังแดดทางตั้งจะได้ผลดีและถ้าเป็นแผงกันแดดที่หมุนปรับมุมได้ก็จะบังแดดได้ทุกเวลา
3) ด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้และตะวันตกเฉียงใต้ ใช้แบบตารางจะได้ร่มเงามากขึ้น
4) ด้านทิศเหนือ ใช้แผงบังแดดทางตั้งและควรจะมีชายคาทางนอนสำหรับบังแดดบางเดือน

2.10 ระบบเครื่องปรับอากาศ

ในอาคารขนาดเล็ก เช่น บ้านเดี่ยว อพาร์เมนท์ สำนักงานขนาดเล็ก จะมีบทบาทมากในการออกแบบเพื่ออนุรักษ์พลังงาน และสามารถช่วยลดภาระระบบ (system loads) ได้มาก ดังนั้นวิธีการออกแบบการอนุรักษ์พลังงานในอาคารยังขึ้นกับขนาด (scale) ของอาคารและความสลับซับซ้อนของอาคารด้วย

2.10.1 ผลกระทบของภูมิอากาศต่อภาระระบบ

เป็นที่ทราบกันว่าสภาพอากาศนั้นแปรเปลี่ยนทุก ๆ 24 ชั่วโมงและแปรเปลี่ยนตลอดทั้งปี ปัจจัยของสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้น รังสีอาทิตย์ และลม ผลกระทบของภูมิอากาศต่อภาระระบบ (system loads) แปรเปลี่ยนไปเนื่องจากระดับฉนวนที่เปลือกอาคาร ปริมาณการระบายอากาศ (ventilation) ที่ต้องการ และตำแหน่งของพื้นที่ใช้งานภายในอาคาร ถ้าที่เปลือกอาคารมีระดับของความเป็นฉนวนมากผลกระทบหรืออิทธิพลจากสภาพอากาศภายนอกก็ลดน้อยลง พื้นที่ที่อยู่ทางทิศเหนือได้รับความร้อนและแสงธรรมชาติต่างจากพื้นที่ที่อยู่ทางทิศใต้หรือทิศตะวันออกหรือทิศตะวันตกเช่นกัน ดังนั้นในการแบ่งพื้นที่ของระบบปรับอากาศก็เพื่อตอบสนองรับภูมิอากาศและการใช้งานอาคาร

1) ภาระการทำความเย็นรายปี Annual load คือ ภาระการใช้พลังงานรายปี วัตถุประสงค์หลักของออกแบบอาคารประหยดพลังงาน ก็คือ การลดภาระการใช้พลังงานของระบบรายปี ในการลดภาระการใช้พลังงานต้องระวังไม่ให้ภาระสูงสุด (peak load) ขึ้นสูงในระบบและหลีกเลี่ยงการขึ้น-ลง ของภาระการใช้พลังงานของระบบ ถ้ามีการแปรเปลี่ยนของภาระ (load) มาก ๆ จะไม่เป็นผลดีต่อสภาวะน่าสบาย (comfort) ภายในอาคารและความประหยัด (economy)

2) ภาระการทำความเย็นสูงสุดของระบบ Peak load หมายถึง ภาระสูงสุดของระบบ เป้าหมายหนึ่งในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงานก็คือ การลดภาระสูงสุดของระบบ ถ้าสามารถลดภาระสูงสุดของระบบลงมาได้ ผลประโยชน์ที่ได้ตามมาคือการลดขนาด (size) และลดจำนวน (quantity) ขององค์ประกอบในระบบปรับอากาศ ซึ่งจะทำให้ต้นทุนหรืองบประมาณของระบบปรับอากาศลดน้อยลง ดังนั้นในการลงทุนออกแบบส่วนต่าง ๆ ของอาคารเพื่อลดภาระสูงสุดของระบบแล้ว ผลตอบแทนนอกจากค่าใช้จ่ายพลังงานรายปีที่ลดลงแล้ว งบประมาณในการลงทุนเบื้องต้นในระบบปรับอากาศก็ลดลงมาด้วย เนื่องจากขนาดและจำนวนองค์ประกอบของระบบปรับอากาศเล็กและลดน้อยลง

2.10.2 ชนิดของเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เรียกชื่อต่างกันไปตามลักษณะของผลิตภัณฑ์และการใช้งาน (สุทัศน์ เยี่ยมวัฒนา, 2545: 12-13) ได้สรุปชนิดของเครื่องปรับอากาศไว้ดังนี้

1) เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) เป็นเครื่องที่แตกออกมาจากเครื่องแบบหน้าต่าง โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่นอกห้องเรียกว่า outdoor unit หรือ condensing unit ส่วนที่อยู่ภายในห้องเรียกว่า indoor unit หรือ evaporative unit หรือในเชิงพาณิชย์เรียกว่า fan coil unit (FCU) หรือในบางครั้งที่มีลักษณะเป็นตู้ขนาดใหญ่ก็จะเรียกว่า air handing unit (AHU) เครื่องปรับอากาศเหล่านี้จะอาศัยการระบายความร้อนด้วยอากาศ มักจะเป็นเครื่องที่มีขนาดเล็กถึงขนาดกลาง (0.75 – 30 ตัน)

2) เครื่องปรับอากาศแบบสำเร็จครบชุดในตัว (packaged unit) เครื่องแบบนี้มีโครงสร้างเหมือนกับเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง แต่มีขนาดใหญ่กว่ามีทั้งชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศเรียกว่า packaged water – cooled การที่ใช้น้ำในการระบายความร้อน จะทำให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและมีระบายความร้อนที่ดีกว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศ

3) ระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็น (water chiller) เครื่องทำน้ำเย็นนี้มีหน้าที่ทำน้ำเย็นให้เย็นก่อนแล้วจึงใช้น้ำเย็นนี้เป็นตัวกลางในการส่งผ่านความเย็นต่อไปให้กับ FCU หรือ AHU อีกทอดหนึ่ง โครงสร้างของเครื่องทำน้ำเย็นนี้เหมือนกับเครื่องปรับอากาศทุกชนิด คือมีวงจรทำความเย็นเหมือนเดิมเพียงแต่แทนที่อีวาโปเรเตอร์ จะทำความเย็นให้อากาศโดยตรง ก็กลับไปทำความเย็นให้กับน้ำก่อน เมื่อน้ำเย็นแล้วจึงใช้น้ำเป็นตัวกลางถ่ายทอดความเย็นต่อไป แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- air cooled water chiller คือ เครื่องทำน้ำเย็นที่อาศัยการระบายความร้อนด้วยอากาศ ลักษณะของงานที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบนี้จะเป็นลักษณะของงานที่มีความต้องการความเย็นไม่มากนัก (มักจะไม่เกิน 500 ตันความเย็น) ซึ่งต้องการความสะดวกในการติดตั้ง และต้องการลดภาระการดูแลรักษาหรือจะใช้ในโครงการที่ขาดน้ำ หรือไม่มีน้ำที่มีคุณภาพพอจะมาใช้ระบายความร้อนของเครื่องได้อย่างไรก็ตามเครื่องที่ระบายความร้อนด้วยอากาศจะกินไฟมากกว่าเครื่องที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ การทำงานของระบบนี้ คือ น้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นจะถูกเครื่องสูบน้ำเย็น (chiller water pump) จ่ายสู่ระบบไปยัง FCU และ AHU โดยอุณหภูมิของน้ำเย็นนี้จะอยู่ที่ประมาณ 7 °C เมื่อใช้งานผ่าน FCU และ AHU แล้วจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 12 °C ก็จะถูกส่งกลับมายังเครื่องทำน้ำเย็นอีกครั้งหนึ่ง ระบบส่งน้ำเย็นนี้อาศัยท่อน้ำเย็น (chiller water pipe) มีทั้งท่อส่งน้ำเย็นและท่อน้ำเย็นกลับ ซึ่งจะต้องหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันน้ำเกาะท่อ (condensation) เนื่องจากความเย็นของท่อจะทำให้ความชื้นที่อยู่ในอากาศมาเกาะเป็นหยดน้ำที่ท่อคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นคอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบหากมีขนาดใหญ่หน่อยก็อาจจะมีชนิดที่สกรูส่วนชนิดที่เป็นหอยโข่งจะมีใช้เฉพาะเครื่องขนาดใหญ่จริง ๆ เท่านั้น

- water cooled water chiller คือเครื่องทำน้ำเย็นที่อาศัยการระบายความร้อนด้วยน้ำ ลักษณะโครงสร้างของเครื่องคล้ายกับเครื่องแบบ air cooled ต่างกันแค่ระบายความร้อนด้วยน้ำแทนอากาศ

2.10.3 การวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น (COP, EIR และ EER)

เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศจะต่างจากเครื่องยนต์ชนิดอื่นคือ แทนที่จะผลิตกำลังแต่กลับใช้กำลังงาน ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจึงเป็นการเปรียบเทียบระหว่างความสามารถในการ

ทำความเย็นที่ใช้ประโยชน์ได้ กับกำลังงานที่ป้อนเข้าไปในเครื่อง (ชูชัย ต.ศิริวัฒนา, 2546: 4-5) สามารถพิจารณาได้ 3 แบบ คือ coefficient of performance (COP), energy input ratio (EIR) และ energy efficiency ratio (EER) มีรายละเอียดดังนี้

1) ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศหรือ coefficient of performance (COP)

เป็นอัตราส่วนระหว่างความร้อนที่เครื่องปรับอากาศสามารถดึงออกไปได้ต่อปริมาณพลังงานที่ใช้เพื่อการดึงความร้อนดังกล่าวโดยมีหน่วยของพลังงานเป็นหน่วยเดียวกัน

$$COP = \frac{\text{พลังงานความร้อนที่สามารถดึงออก (watt)}}{\text{พลังงานที่ต้องการเพื่อการดึงความร้อนออก (watt)}} \quad \ldots\ldots 5$$

2) Energy Input Ratio (EIR) เป็นส่วนกลับของ COP

$$EIR = \frac{\text{พลังงานที่ต้องการเพื่อการดึงความร้อนออก (watt)}}{\text{พลังงานความร้อนที่สามารถดึงออก (watt)}} \quad \ldots\ldots 6$$

3) Energy Efficiency Ratio (EER)

คืออัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศต่อปริมาณพลังงานที่ใช้เพื่อการทำความเย็นโดยมีหน่วยในการเปรียบเทียบที่ต่างกัน

$$EER = \frac{\text{ความสามารถในการทำความเย็น (Btu/h)}}{\text{พลังงานที่ใช้ (watt)}} \quad \ldots\ldots 7$$

ตารางที่ 2.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศกับค่า EER

ระดับ (เบอร์)	ระดับประสิทธิภาพ	ค่า EER (Btu/h/W)	ค่ากิโลวัตต์/ตัน
1	ต่ำ	$\geq$ 6.6	$\leq$ 1.82
2	พอใช้	$\geq$ 7.6	$\leq$ 1.58
3	ปานกลาง	$\geq$ 8.6	$\leq$ 1.40
4	ดี	$\geq$ 9.6	$\leq$ 1.25
5	ดีมาก	$\geq$ 10.6	$\leq$ 1.13

2.10.4 ภาระการทำงานจริงของเครื่องปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศที่ติดตั้งในอาคารจะต้องมีค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น ที่ภาระเต็มพิกัดหรือที่ภาระใช้งานจริงไม่เกินกว่าที่กฎหมายอนุรักษ์พลังงานกำหนด โดยแยกตามชนิดเครื่องทำความเย็น 4 ประเภท ดังนี้

ตารางที่ 2.7 แสดงค่ามาตรฐานการปรับอากาศในอาคารชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ

ชนิดส่วนทำความเย็น/เครื่องทำความเย็น	อาคารใหม่	อาคารเก่า
	(กิโลวัตต์ / ตันความเย็น)	
1. ส่วนทำน้ำเย็นแบบหอยโข่ง centrifugal chiller		
- ขนาดไม่เกิน 250 ตันความเย็น	1.40	1.61
- ขนาดเกินกว่า 250 ตันความเย็นถึง 500 ตันความเย็น	1.20	1.38
2. ส่วนทำความเย็นแบบลูกสูบ reciprocating chiller		
- ขนาดไม่เกิน 50 ตันความเย็น	1.30	1.50
- ขนาดเกินกว่า 50 ตันความเย็น	1.25	1.44
3. เครื่องทำความเย็นแบบเป็นชุด	1.37 (EER = 8.76)	1.58 (EER = 7.59)
4. เครื่องปรับอากาศแบบติดหน้าต่าง / แยกส่วน	1.40 (EER = 8.57)	1.61 (EER = 7.45)

2.11 การคำนวณภาระปรับอากาศ

การคำนวณภาระปรับอากาศที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันวิธีหนึ่งคือ การคำนวณด้วยวิธี cooling load temperature difference , solar cooling load , cooling load factor (CLTD , SCL , CLF) จากหนังสือ (ASHRAE Fundamental Hand Book, 1997) ได้แบ่งการคำนวณภาระปรับอากาศด้วยวิธีนี้ออกเป็นรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

2.11.1 External cooling load

1) การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านเข้ามาทางเปลือกอาคาร (ผนัง หลังคา และ กระจกช่องแสง)

สูตรคำนวณ $Q = (U)(A)(CLTD)$ 8

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W / m^2 - k$)

A = พื้นที่ที่พิจารณา ตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนเดินเข้ามา (m^2)

$CLTD$ = cooling load temperature difference (°C)

ค่า CLTD นี้จะแปรตามละติจูดและช่วงเวลาในการใช้งานในอาคารซึ่งในกรณีของประเทศไทยได้มีการพิจารณาปรับใช้ค่าตามหนังสือคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคารซึ่งจะใช้ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (TDeq) แทน

2) การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากการนำความร้อนเนื่องจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกช่องแสงเข้ามาในอาคาร

สูตรคำนวณ $Q = (A)(SC)(SF)$ 9

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

A = พื้นที่ที่พิจารณา ตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนเดินเข้ามา (m^2)

SC = shading coefficient ของวัสดุตัวกลาง

SF = solar heat gain factor

3) การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากการนำความร้อนเนื่องจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างฉากกั้นห้อง ฝ้าเพดาน และพื้นห้อง

สูตรคำนวณ $Q = (U)(A)(T1 - T2)$ 10

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W / m^2 - k$)

A = พื้นที่ที่พิจารณา ตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนเดินเข้ามา (m^2)

T1 = อุณหภูมิในส่วนที่ต่อเนื่องกับพื้นที่ปรับอากาศ (°C)

T2 = อุณหภูมิในส่วนพื้นที่ปรับอากาศ (°C)

2.11.2 Internal cooling load

1) การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากผู้ใช้อาคาร

สูตรคำนวณ $Qsensible = (N)(250)(CLF)$ 11

$Qlatent = (N)(200)(CLF)$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

N = จำนวนผู้ใช้งานในอาคาร

CLF = cooling load factor มีค่าเท่ากับ 1

2) การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร

สูตรคำนวณ $Q = (W)(Ff)(Fs)(CLF)$ 12

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

W = watt input ของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือ ของระบบแสงสว่าง

Ff = lighting use factor ของระบบแสงสว่าง

Fs = special allowence factor ของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือของระบบแสงสว่าง

CLF = cooling load factor มีค่าเท่ากับ 1

2.11.3 ventilation and infiltration

การคำนวณภาระปรับอากาศจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

สูตรคำนวณ $Qsensible = 1.08\ (V)\ \Delta T$ 13

$Qlatent = 4840\ (V)\ \Delta W$

$Qtotal = 4.5\ (V)\ \Delta H$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

V = ปริมาณอัตราการถ่ายเทอากาศภายนอกที่นำเข้ามาในห้อง (CFM)

ΔT = ความต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน (°C)

ΔW = ค่าความแตกต่างของความชื้นระหว่างภายนอกและภายใน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

kg(water)/kg(dry air)

ΔH = ค่าความแตกต่างของ enthalpy ระหว่างภายในและภายนอก kj/kg(dry air)

2.12 ทฤษฎีการให้แสงสว่าง

2.12.1 มาตรฐานการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารแต่ละประเภท

ในอาคารควบคุมการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างไม่รวมพื้นที่จอดรถ ตาม พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

ประเภทอาคาร	พลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (วัตต์/ตร.ม.)
1. สำนักงาน โรงแรม สถานศึกษา โรงพยาบาล	16
2. ร้านขายของ ซุปเปอร์มาเก็ต ศูนย์อาคาร	23

2.12.2 การคำนวณการส่องสว่างไฟฟ้า

การคำนวณการส่องสว่างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมีอยู่ 2 แบบ คือ การคำนวณแบบลูเมน (lumen method) และแบบจุดต่อจุด (point by point) ส่วนการคำนวณแบบวัตต์ต่อตารางเมตรนั้นมีการใช้มากขึ้นเพราะใช้เวลาสั้นและเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก เช่น การส่องสว่างภายในกับพื้นที่ไม่สำคัญ แต่ถ้าใช้กับพื้นที่ใหญ่มากก็อาจเกิดความผิดพลาดได้มาก การคำนวณแบบลูเมนใช้สำหรับกรณีที่ต้องการให้แสงสว่างสม่ำเสมอ โดยใช้คุณสมบัติการสะท้อนแสงของวัสดุทั้งผนัง พื้น และเพดาน มาประกอบการพิจารณาด้วย เช่น การคำนวณการส่องสว่างในส่วนสำนักงาน ห้องเรียนในโรงเรียน เป็นต้น สำหรับการคำนวณแบบจุดต่อจุดใช้สำหรับการส่องสว่างแบบเน้นเป็นจุด หรือกรณีที่ต้องการคำนวณอย่างละเอียด (พรรณชลัท, 2547: 58) เช่น การให้แสงกับรูปภาพ การส่องสว่างของไฟถนน และการส่องสว่างของไฟสนามกีฬา เป็นต้น ส่วนการคำนวณแบบวัตต์ต่อตารางเมตร เป็นการนำตัวเลขที่คำนวณมาจากวิธีลูเมนมาประยุกต์ใช้เพื่อไม่ให้เสียเวลาในการคำนวณมาก

2.12.3 การคำนวณโดยวิธีลูเมนและวัตต์ต่อตารางเมตร

การคำนวณการส่องสว่างโดยวิธีลูเมนมีสมการการคำนวณดังนี้

$$E = \frac{F \times n \times N \times MF \times UF}{A} \quad \text{.....14}$$

เมื่อ E = ความส่องสว่าง (ลักซ์)

F = ปริมาณแสง (ลูเมน/หลอด)

n = จำนวนหลอด/โคม

N = จำนวนดวงโคม

MF = แฟคเตอร์การบำรุงรักษา

UF = สัมประสิทธิ์การใช้งาน

A = พื้นที่ (ตารางเมตร)

ความส่องสว่าง (Illuminance, E) หาได้จากมาตรฐานต่าง ๆ เช่น IES , CIE ที่กำหนดความส่องสว่างของพื้นที่ใช้งานในแต่และกิจกรรมดังแสดงในตารางที่ 2.8ความส่องสว่างที่กำหนดคิดจากระดับการทำงาน เช่น บนโต๊ะทำงานที่สูง 0.75 เมตร ในสำนักงานและห้องประชุมควรมีความส่องสว่าง 200 - 500 ลักซ์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.8 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES(USA) และมาตรฐานการกำหนดค่า daylight factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)

พื้นที่ใช้งาน	**ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน CIE (ก)**	**ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน IES (ข)**	**ค่า daylight factor (%), (ค)**		
อาคารทั่วไป			**เฉลี่ย**	**ต่ำ**	**จุดที่วัด**
ทางเดิน	50 – 100 -150	50 – 75 -100	2	0.6	พื้น
บันได – บันไดเลื่อน	100 – 150 – 200	100 – 150 – 200	2	0.6	ลูกนอน
ที่เก็บของ, ห้องเก็บของ	100 – 150 – 200	100 – 150 – 200	1.5	0.5	Work plane
ห้องน้ำ	100 – 150 – 200	100 – 150 – 200	1.5	0.5	Work plane
สำนักงาน					
พื้นที่ทั่วไป,พิมพ์ดีด, คอมพิวเตอร์	300 – 500 – 750	500 – 750 – 1000	5	2.5	Work plane
เขียนแบบ	500 – 750 – 1000	500 – 750 – 1000	5	2.5	Work plane
ห้องประชุม	300 – 500 - 750	200 – 300 -500			
โถงทางเข้า		100 – 150 - 200	2	0.6	Work plane
ห้องสมุด					
หิ้งหนังสือ	150 – 200 - 300	200 - 300 – 500	5	1.5	Vertical
โต๊ะอ่านหนังสือ	300 - 500 – 750	200 - 300 – 500	5	1.5	Work plane
เคาน์เตอร์	200 - 300 - 500	200 - 300 – 500	5	2	Work plane
ห้องประชุม					
เอนกประสงค์	150 – 200 - 300	200 - 300 – 500	5	2.5	Work plane

แหล่งที่มา : (ก) ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2541: 1-6

(ข) IES. Illuminating Engneering Socety: Reference Volume, 1983

(ค) BSI Draft for Development, 1986 : 73

นอกเหนือจากการกำหนดระดับการส่องสว่างเป็นลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิล แล้วการกำหนดระดับการส่องสว่างยังสามารถกำหนดมาตรฐานเป็น daylight factor โดยกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.9 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES(USA) ตามประเภทการใช้งาน

พื้นที่ใช้งาน (ก)	CIE (lx)	IES (lx)	พื้นที่ใช้งาน (ข)
ทางเดิน, พื้นที่ทำงานภายนอก	20 – 30 - 50	20 – 30 – 50	Public spaces with dark Surrounding
ทางเดินภายในและการแวะผ่านระยะสั้น	50 – 75 - 100	50 – 75 – 100	Simple orientation for shot temporary visits
ห้องที่ไม่ได้ใช้งานแบบต่อเนื่องเป็นเวลานาน	100 – 150 - 200	100 – 150 - 200	Working space where visual tasks are only occasionally performed
งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่น โรงงาน งานชิ้นใหญ่	20 – 300 - 500	20 – 300 - 500	Performance of visual tasks of high contrast or large size
งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน	300 – 500 - 750		
งานที่ใช้สายตามาก เช่น การเขียนแบบ	500 – 750 - 1000	500 – 750 – 1000	Performance of visual tasks of medium contrast or small size
งานที่ใช้สายตามาก ๆ เช่น การประกอบชิ้นส่วน	750 – 1000 - 1500		
งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ	1000 – 1500 - 2000	1000 – 1500 – 2000	Performance of visual tasks of low contrast or small size
งานที่ใช้สายตาพิถีพิถันเช่น การผ่าตัด	มากกว่า 2000	2000 – 3000 – 5000	Performance of visual tasks of low contrast and very small size, prolonged period
		5000 – 7500 – 10000	Performance of very prolonged and exacting visual tasks
		10000 up	Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size

แหล่งที่มา : (ก) ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2541: 1-6

(ข) IES. Illuminating Engneering Socety: Reference Volume, 1986

2.12.4 การประสานการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์

เราสามารถควบคุมแสงสว่างจากธรรมชาติที่ผ่านช่องแสงหรือหน้าต่างอาคารเพื่อช่วยลดการใช้แสงไฟฟ้าได้ ด้วยการเตรียมการประสานแสงธรรมชาติในช่วงเวลากลางวัน ที่แปรเปลี่ยนไปตลอดทั้งวันภายนอกอาคาร เพื่อนำมาใช้ช่วยในการสร้างความรู้สึกกระตุ้นทางสายตา และสร้างสภาพแวดล้อมให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกกระตือรือร้นในการทำงาน (productive environment) การออกแบบแสงธรรมชาติที่เหมาะสมมีสิ่งที่เกี่ยวข้องหรือตัวแปร มากกว่าเพียงแค่การใช้หน้าต่างหรือช่องแสงด้านบน (skylight) เพิ่มขึ้น ในพื้นที่ใช้สอยคือจะต้องรวมถึงเรื่องของการสร้างสมดุลของปริมาณความร้อนที่รับเพิ่มขึ้น (heat gain) หรือที่สูญเสียไป (heat loss) การ

ควบคุมแสงบาดตา (glare) และการแปรเปลี่ยนของแสงธรรมชาติตลอดทั้งวันอีกด้วยตัวอย่างของการออกแบบแสงธรรมชาติที่ประสบความสำเร็จนั้นจะต้องให้ความสำคัญกับการใช้อุปกรณ์การกันแดดเพื่อช่วยลดแสงบาดตา (glare) และความเปรียบต่าง (contrast) ที่สูงจนเกินในพื้นที่ใช้งานนั้น ๆ นอกจากนี้ขนาดหน้าต่างระยะห่าง การเลือกชนิดกระจก ค่าการสะท้อนแสงของผิววัสดุตกแต่ง ภายในอาคาร และการจัดวางตำแหน่งของผนังกั้นห้องก็ควรจะนำมาพิจารณาด้วย การประสานความงามและประโยชน์ใช้สอยของแสงธรรมชาติ ไม่ใช่เพียงแต่ให้แสงสว่างที่พอเพียงแก้ผู้ใช้อาคารเท่านั้น แต่สิ่งสำคัญก็คือการออกแบบที่สามารถลดปัญหาอันอาจจะเกิดจากแสงธรรมชาติให้ได้ด้วย โดยอาศัยพื้นฐานเกี่ยวกับแสงสว่างและการมองเห็น(Benjamin H., 1981: 89)

2.13 ประสิทธิภาพแสงและการประหยัดในการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง

หลอดประสิทธิภาพสูง คือ หลอดที่ให้แสงมากแต่กินไฟน้อย เป็นหลอดที่ผอมกว่าหลอดธรรมดา ซึ่งสามารถทราบกำลังส่องสว่าง ขนาดวัตต์และวัตต์รวมบัลลาสต์ได้จากค่าที่ระบุไว้บนกล่องหรือจากคู่มือบริษัท และนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพตามสูตรดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพแสง (ลูเมน/วัตต์)} = \frac{\text{กำลังส่องสว่างของหลอด}}{\text{วัตต์รวมบัลลาสต์}} \quad \text{.....15}$$

จากสูตรนี้นำไปหาค่าประสิทธิภาพแสง (luminous efficiency) ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาดต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้ (เอกสารประหยัดพลังงาน กองเศรษฐกิจการพลังงาน, 2537)

ตารางที่ 2.10 การเปรียบเทียบขนาดวัตต์ กำลังส่องสว่าง และประสิทธิภาพแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูงและหลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา

ลำดับ	ชนิด	วัตต์	ขนาดวัตต์รวมบัลลาสต์	กำลังส่องสว่าง (ลูเมน)	ประสิทธิภาพแสง(ลูเมน/วัตต์)
1	หลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา	20	30	1,030	34.33
2	หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง	18	28	1,030	36.78
3	หลอดฟลูออเรสเซนต์ธรรมดา	40	50	2,600	52.00
4	หลอดฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง	36	46	2,600	56.52

ตารางที่ 2.11 ประสิทธิภาพแสงของหลอดไฟชนิดต่าง ๆ (รวมกำลังงานสูญเสียในบัลลาสต์)

ชนิดของหลอด	ประสิทธิภาพแสง (ลูเมน/วัตต์)
1. หลอดอินแคนเดสเซนต์ (INC)	8 – 20
2. หลอดทังสเตน – ฮาโลเจน (TH)	17 – 25
3. หลอดแสงผสม (BL)	12 – 30
4. หลอดไอปรอทความดันสูง (HPM)	35 – 50
5. หลอดฟลูออเรสเซนต์ (FL)	45 - 65

ชนิดของหลอด	ประสิทธิภาพแสง (ลูเมน/วัตต์)
6. หลอดโลหะฮาไลด์ (MH)	45 – 70
7. หลอดโซเดียมความดันสูง (HPS)	60 – 110
8. หลอดโซเดียมความดันต่ำ (LPS)	70 - 155

2.14 การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

2.14.1 การคำนวณ life cycle cost และ discounted payback period

การคำนวณ life cycle cost

life cycle cost (ต่อปี) = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน + ค่าบำรุงรักษา +ค่าไฟฟ้า +ดอกเบี้ย +ค่าเงินจากอัตราเงินเฟ้อ +อื่นๆ

2.14.2 การคำนวณประเมินระยะเวลาคืนทุน (simple payback period)

simple payback period เป็นวิธีการคำนวณประเมินระยะเวลาคืนทุนหรือจุดคุ้มทุน (ปี) อย่างง่ายเพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในการเลือกแนวทางของการออกแบบว่าเหมาะสมที่จะลงทุนหรือไม่ วิธีการคำนวณทำได้ดังนี้ (William T, 1983: 80)

$$\text{simple payback period} = \frac{\text{เงินลงทุนเบื้องต้น (C)}}{\text{ค่าใช้จ่ายที่ลดลงรายปี (A)}} \quad \text{.....16}$$

2.14.3 การคำนวณอัตราส่วนผลตอบแทน (internal rate of return)

internal rate of return (IRR) เป็นอัตราส่วนผลตอบแทนที่ทำให้ผลตอบแทนที่ได้รับจากการประหยัดตลอดอายุการใช้งาน (lifetime saving) เท่ากับเงินลงทุนทั้งหมด (lifetime cost) ซึ่งในที่นี้จะเป็นราคาต้นทุนวัสดุเบื้องต้น (first cost)

$$\text{lifetime saving} = \text{lifetime cost}$$

$$[\,A \longrightarrow P\,] = \frac{\text{ราคาต้นทุนวัสดุเบื้องต้น (P)}}{\text{ค่าใช้จ่ายที่ลดลงรายปี (A)}} \quad \text{.....17}$$

2.14.4 การคำนวณมูลค่าสะสมของอาคาร (present worth inflation factor)

present worth inflation factor (PWIF) ใช้คำนวณเพื่อเปรียบเทียบมูลค่าสะสมตลอดอายุการใช้งานของอาคารโดยมีสูตรในการคำนวณค่าดังนี้

$$PWIF = \frac{1+r}{i-r}\left(1-\left[\frac{1+r}{1+i}\right]^{y}\right) \quad \text{.....18}$$

โดยที่ i = อัตราดอกเบี้ยที่ใช้พิจารณา

y = อายุการใช้งานของอาคาร

r = อัตราเงินเฟ้อ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบและปรับปรุงอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน อย่างมีประสิทธิภาพ โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง หลังคา ระบบปรับอากาศ แสงสว่าง และอุปกรณ์ภายในอาคาร เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับการศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 6 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคาร

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองสภาพอาคาร DOE-2

ขั้นตอนที่ 4 เสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

ขั้นตอนที่ 5 เสนอแนวทางการออกแบบอาคารและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 6 สรุปผลการทดสอบ

3.1 การสำรวจและเก็บข้อมูลอาคาร

ขั้นตอนการตรวจวัด วิเคราะห์ประเมินการใช้พลังงาน โดยการจำลองสภาพอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และรังสีดวงอาทิตย์ จริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และตรวจสอบความแม่นยำของข้อมูลโดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดและเก็บข้อมูลจากอาคารกรณีศึกษาที่มีการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยแบ่งการสำรวจออกเป็นด้านต่างๆ ดังนี้

3.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร

1) การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมและที่ตั้งโดยรอบอาคาร ประกอบด้วย
   - การศึกษาลักษณะรูปทรงที่ดิน (landform) สำรวจลักษณะรูปร่างที่ตั้งรอบ ๆ อาคาร สภาพเนินดินสูง ต่ำ แอ่ง หรือหุบเขา จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ ของกระแสลมท้องถิ่น
   - การศึกษาพืชพรรณ (vegetation) สำรวจชนิด ตำแหน่ง ความสูง และปริมาณของต้นไม้ที่อยู่ใกล้เคียง
   - การศึกษาแหล่งน้ำที่มีอยู่ในพื้นที่ (water body) สำรวจ ขนาด ตำแหน่ง และสภาพลักษณะของแหล่งน้ำ ที่อยู่ในบริเวณอาคาร
   - การศึกษาสิ่งก่อสร้างข้างเคียง (built forms) สำรวจ ขนาด ตำแหน่ง และความสูงของอาคารและสิ่งก่อสร้างที่ตั้งอยู่ใกล้เคียง ว่ามีผลกระทบกับอาคารกรณีศึกษามากน้อยเพียงใด
2) การเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอาคาร
   - การศึกษาลักษณะทิศทางแนวแกนอาคาร (orientation) เพื่อสำรวจหาทิศทางที่แน่นอนของแนวอาคาร

- สำรวจ เก็บข้อมูลลักษณะการใช้งานอาคารและการจัดแบ่งพื้นที่ใช้สอยอาคาร (zoning)
- ลักษณะวัสดุที่ใช้เป็นผนังและหลังคา สำรวจวัสดุที่ใช้ก่อสร้างเพื่อกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (u - value)
- ศึกษาสัดส่วนของช่องเปิดแต่ละทิศทางของอาคารต่อผนังทึบ (window to wall ratio)

3) การเก็บข้อมูลอัตราส่วนการใช้งานอาคารจำแนกประเภท
- จำแนกประเภทการใช้งานแต่ละพื้นที่ในอาคารและศึกษาลักษณะพฤติกรรมการใช้งานอาคารของผู้ใช้อาคาร
- เก็บข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานอาคารในแต่ละแผนก แต่ละฝ่าย และจำนวนผู้ใช้งานภายในอาคารทั้งหมด

4) การเก็บข้อมูลสภาพอากาศเพื่อป้อนเข้าโปรแกรม DOE-2
- รังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) เก็บข้อมูลจากจากกรมอุตุนิยมวิทยาปี 2547 จังหวัดนครราชสีมา รังสีดวงอาทิตย์มีผลต่ออาคารและที่ตั้ง 2 ประการ คือ พลังงานรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงมาบนที่ตั้ง และเส้นทางการโคจรของดวงอาทิตย์
- อุณหภูมิอากาศ (temperature) เก็บข้อมูลจากจากกรมอุตุนิยมวิทยาปี 2547 จังหวัดนครราชสีมาอุณหภูมิเป็นมาตรวัดพื้นฐานหลักต่อผู้ออกแบบในการเริ่มจัดการต่อผลกระทบของความชื้น รังสีดวงอาทิตย์ และลม เพื่อที่จะมีผลของอุณหภูมิอากาศภายนอกที่มีผลต่อการออกแบบอาคาร
- ความชื้นสัมพัทธ์ (radiation humidity , RH) เก็บข้อมูลจากจากกรมอุตุนิยมวิทยาปี 2547 จังหวัดนครราชสีมา เป็นเปอร์เซ็นของไอน้ำในอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไอน้ำสูงสุดที่สามารถอยู่ในอากาศได้ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100 % อากาศอยู่ในจุดอิ่มตัวไม่สามารถรับปริมาณไอน้ำได้อีก ถ้าอากาศนี้ถูกทำให้เย็นลงก็จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ
- ลม (wind) เก็บข้อมูลจากจากกรมอุตุนิยมวิทยาปี 2547 จังหวัดนครราชสีมา ในการออกแบบอาคารสามารถนำลมมาช่วยควบคุมสภาวะน่าสบาย จะต้องใช้ข้อมูลของลมด้านต่าง ๆ ดังนี้ ทิศทางของกระแสลม (wind direction) และความเร็วลม (wind speed)

3.1.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร

เพื่อประกอบการวิเคราะห์และประเมินการใช้ไฟฟ้าในอาคาร และใช้ในการป้อนค่าให้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการศึกษา มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1) การเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่ผ่านมาของอาคาร
- ปริมาณค่าใช้จ่ายไฟฟ้าจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้า
- ช่วงเวลาการใช้พลังงานมากที่สุด

2) เก็บข้อมูลระบบปรับอากาศ
- ชนิดและลักษณะของเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน
- ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ
- ตารางการใช้งานและอายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ

- การจัดกลุ่มและแบ่งพื้นที่ใช้สอยของเครื่องปรับอากาศ
- การดูแลและบำรุงรักษาเครื่อง

3) เก็บข้อมูลระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์
- สำรวจ ชนิด ขนาด ปริมาณ วงจรการเปิด – ปิด ของดวงโคมหลอดไฟฟ้าและดวงโคม
- สำรวจปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้กับระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ ตรวจสอบได้โดยอาศัยการคำนวณ โดยกำหนดระยะเวลาที่ใช้งานจริงของอาคาร

4) สำรวจข้อมูลระบบการให้แสงสว่างภายในอาคาร
- การวัดค่าความส่องสว่างโดยการวัดสูงจากพื้น 0.75 เมตร หรือถ้าเป็นสำนักงานให้วัดบนโต๊ะทำงาน โดยการวัดความส่องสว่าง (Lux) กรณีมีแสงสว่างธรรมชาติให้รวมอยู่ด้วย
  (1) วัดแสงสว่างธรรมชาติรวมกับแสงจากหลอดไฟ
  (2) ปิดไฟจากหลอดไฟฟ้าแล้ววัดเฉพาะแสงธรรมชาติ
  (3) กำหนดการวัดพร้อมกันระหว่างภายในกับภายนอกอาคาร

5) สำรวจข้อมูลระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร
- สำรวจ ชนิด ขนาด และปริมาณอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า
- สำรวจปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอุปกรณ์ไฟฟ้า ตรวจสอบได้โดยอาศัยการคำนวณ โดยกำหนดระยะเวลาที่ใช้งานจริงของอาคาร

3.1.3 วิธีการเก็บข้อมูลด้านสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

ระดับน่าสบายในอาคาร มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วย โดยเฉพาะกับระบบเครื่องปรับอากาศ โดยมีวิธีการเก็บข้อมูลดังนี้ต่อไปนี้

1) การเลือกห้องตัวแทนเพื่อบันทึกข้อมูล เนื่องจากอาคารกรณีศึกษามีพื้นที่ใช้สอยไม่มากนัก โดยมีห้องทำงานจำนวน 7 ห้อง จึงทำการเข้าไปบันทึกข้อมูลทุกห้อง เนื่องจากห้องภายในอาคารมีการแบ่งกิจกรรมเป็น 2 ประเภท
- ห้องทำงาน มีจำนวน 5 ห้อง ซึ่งภายในห้องมีเจ้าหน้าที่ทำงานเต็มพื้นที่และมีโต๊ะทำงานประจำตำแหน่งทุกคน การแบ่งพื้นที่ภายในอาคารเป็นห้องหัวหน้าฝ่ายโดยเป็นผนังทึบและผนังยิปซั่มบอร์ด เป็นห้องปรับอากาศทั้งหมดพื้นที่ผนังกระจกของแต่ละห้องมีประมาณร้อยละ 30 – 40 ของผนังทั้งหมดของห้อง
- ห้องประชุม มีจำนวน 2 ห้อง คือ ห้องประชุมใหญ่และห้องประชุมเล็ก จะมีการใช้งานเมื่อมีการประชุมเกิดขึ้น โดยไม่มีผนังกั้นห้องโดยเป็นห้องที่ปรับอากาศพื้นที่ผนังกระจกของแต่ละห้องมีประมาณ ร้อยละ 30 – 40 ของผนังทั้งหมดของห้อง
- ตำแหน่งและทิศทางของห้องที่ทำการทดลอง โดยเลือกห้องที่อยู่ริมสุดของอาคารทางทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งของห้องที่เลือกเป็นตัวแทนในการบันทึกอุณหภูมิอากาศ

ลำดับ	ห้อง	ทิศทาง	ผนังทึบ (%)	ผนังกระจก (%)
1	ห้องประชุมใหญ่	ทิศเหนือ	70%	30%
2	ห้องพัฒนารายได้		70%	30%
3	ห้องประชุมเล็ก	ทิศใต้	50%	50%
4	ห้องธุรการ	ทิศตะวันออก	70%	30%
5	ห้องพัสดุ		80%	20%
6	ห้องนายกเทศมนตรี	ทิศตะวันตก	70%	30%
7	ห้องการคลัง		70%	30%

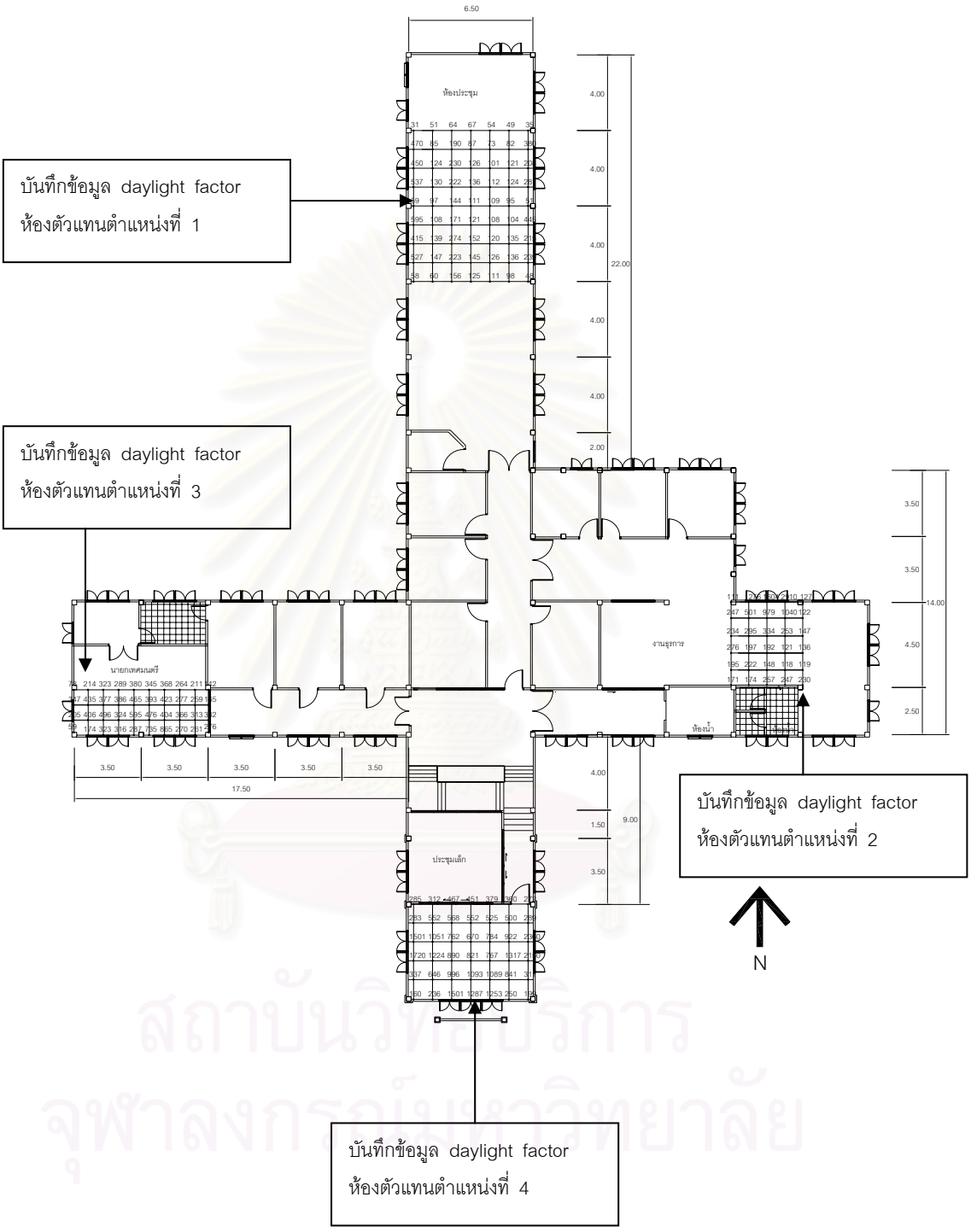
2) วิธีการบันทึกค่าและเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ข้อมูลของตัวแปรที่มีผลต่อระดับสภาวะน่าสบาย ที่จะต้องทำการบันทึกมีดังนี้

- ในการวัดใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ชนิดอัตโนมัติ (digital) ตรวจวัดภายในอาคารแต่ละห้องที่เป็นตัวแทนจำนวนห้องละ 1 จุด โดยการวัดรายชั่วโมง จำนวน 3 วัน (วันที่ 9 – 11 มกราคม พ.ศ. 2549) ซึ่งเป็นวันทำงานของอาคาร (โดยมีการวัดซ้ำประมาณ 3 ครั้ง) สำหรับการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในและภายนอกอาคาร จะติดตั้งอุปกรณ์ตำแหน่งที่ไม่ได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมรังสีดวงอาทิตย์
- เก็บข้อมูลการหาค่าวัดอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (MRT) ในการวัดใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย ตรวจวัดภายในอาคารซึ่งเลือกของผนังของห้องประชุมทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก จำนวนข้างละ 1 จุด โดยทำการวัดที่ผนังของอาคาร 3 วัน (วันที่ 9 – 11 มกราคม พ.ศ. 2549)โดยวัดเป็นรายชั่วโมงเลือกทดลองวันและเวลาทำงานของอาคาร (โดยมีการวัดซ้ำประมาณ 3 ครั้ง)

3.1.4 วิธีการเก็บข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อระบบแสงสว่างภายในอาคาร

องค์ประกอบภายนอกอาคารที่มีผลต่อแสงธรรมชาติก่อนที่จะส่องผ่านเข้ามาในอาคาร ส่วนประกอบที่สำคัญ ๆ มีดังต่อไปนี้

- วัดปริมาณความสว่างของแสงธรรมชาติภายในและภายนอกอาคาร โดยการวัดระยะห่างของจุด 1 เมตร การวัดแสงในแต่ละจุดจะมีการวัดค่าความสว่างภายนอกพร้อมทุกครั้ง ระดับความสูงของตำแหน่งที่วัด วัดที่ระดับความสูง 0.75 เมตร ซึ่งเป็นระดับของระนาบการทำงาน (work plane)
- การเก็บค่าระดับความส่องสว่างจากธรรมชาติ นั้นเก็บข้อมูลเป็นอัตราส่วนค่าประสิทธิภาพของแสงสว่าง (daylight factor) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการหาค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านเข้าสู่พื้นที่ภายในอาคาร ซึ่งหากสามารถทราบค่าความสว่างภายนอก ณ ช่วงเวลาใด ๆ ก็จะสามารถทราบค่าความสว่างภายในอาคารที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยอาศัยค่า daylight factor ณ ช่วงเวลานั้นได้



ภาพที่ 3.1 แสดงตำแหน่งของการเก็บข้อมูลแสงสว่างภายในอาคารกรณีศึกษา

3.2 ประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมทั้งหมดนำมาประเมินและวิเคราะห์ข้อดี - ข้อเสียตามสภาพอาคารที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหาที่เกิดขึ้นให้ชัดเจน โดยแยกการประเมินออกเป็นระบบต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1. ประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร

การประเมินว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดถูกใช้ไปกับระบบใดบ้างเป็นปริมาณเท่าใดในแต่ละระบบ โดยการเก็บข้อมูลจากอาคารจริงและนำข้อมูลต่าง ๆ ที่รวบรวมได้มาป้อนค่าเข้าไปในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ให้มีผลรวมของการใช้พลังงานใกล้เคียงกับอาคารจริงมากที่สุด เพื่อกำหนดส่วนประกอบอาคารกรณีศึกษาที่ต้องปรับปรุงตามปัญหาที่พบจากการสำรวจ กำหนดแนวทางการปรับปรุงที่มีความเหมาะสมในเชิงเทคนิค ความเป็นไปได้ในการปรับปรุงแล้วศึกษาความเหมาะสมในด้านประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

3.2.2. ประเมินระดับสภาวะน่าสบาย

ประเมินค่าระดับสภาวะน่าสบายภายในห้องที่ปรับอากาศโดยมีการพิจารณาจากอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้อง รวมทั้งค่าอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นที่ผิวโดยรอบซึ่งจะเป็นค่าที่นำมาใช้ประเมินว่าสภาพภายในห้องตัวแทนของอาคารกรณีศึกษาให้อยู่ในระดับสภาวะน่าสบาย

3.2.3. ประเมินระดับความส่องสว่างของแสงสว่างของแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์

โดยใช้ค่า daylight factor ที่ได้จากการวัดค่าแสงธรรมชาติ รวมทั้งค่ามาตรฐานการส่องสว่างของ CIE และ IES ว่าภายในห้องที่เป็นห้องตัวแทนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดหรือไม่

3.2.4. ประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร

ประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร (RTTV) โดยการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนทั้ง 2 ค่า จากการสำรวจและเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดตามกฎหมาย

3.2.5. ประเมินอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

ซึ่งตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อภาระการทำความเย็น (cooling load) ของระบบปรับอากาศแบ่งออกเป็น 7 ตัวแปรได้แก่

1) การนำความร้อนผ่านเปลือกอาคาร (conduction heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นจากการนำความร้อนภายนอกผ่านเข้ามาทางเปลือกอาคาร

2) การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังกระจก (radiation heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นจากการแผ่รังสีความร้อนจากภายนอกผ่านผนังกระจก เข้ามาภายในอาคาร

3) การรั่วไหลของอากาศภายในและภายนอก (infiltration heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดจากการรั่วไหลของอากาศผ่านการรั่วซึมจากรอยต่อของผนังหรือประตูหน้าต่าง

4) การระบายอากาศ (ventilation heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดการระบายอากาศจากพัดลมดูดอากาศ

5) ความร้อนจากระบบไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ (lighting heat gain) เป็นภาระความร้อนที่เกิดจากผลทางอ้อมของดวงไฟที่นอกจากจะให้แสงสว่างแล้ว ยังให้ความร้อนออกมาอีกด้วย

6) ความร้อนจากผู้ใช้อาคาร (occupant heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดจากร่างกายคนที่ใช้อาคารจะผลิตความร้อนออกมา 2 ชนิดคือ ความร้อนที่รู้สึกได้ (sensible heat gain) และความร้อนแฝง (latent heat gain)

7) ความร้อนจากระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (equipment heat gain) เป็นความร้อนที่เกิดจากเครื่องไฟฟ้าบางชนิด ที่จะผลิตความร้อนออกมาด้วยในขณะที่ทำงาน

3.3 เสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

แนวทางในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษานี้เกิดขึ้นจากการประเมินและวิเคราะห์อาคารพร้อมทั้งทราบปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน จึงจะสามารถเสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารได้ โดยกำหนดแนวทางดังนี้

3.3.1 แนวทางในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

แนวทางการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารมาจากผนังทึบ หลังคา และหน้าต่างของอาคารมีโดยอาจเพิ่มฉนวนกันความร้อน หรือการเพิ่มความหนาของผนัง

3.3.2 แนวทางการลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศมีผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดของอาคารกรณีศึกษาดังนั้นจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศให้ดีขึ้น

3.3.3 แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างจากแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคาร

แนวทางการปรับปรุงแสงสว่างภายในอาคารมีแนวทางหลายอย่าง เช่น การเลือกใช้โคมที่สะท้อนแสงได้ดี การเลือกใช้หลอดที่มีประสิทธิภาพดี และตำแหน่งของหลอดไฟฟ้าควรจะจัดวางเป็นพื้นที่เดียวกันเพื่อลดการใช้พลังงานที่สูงขึ้น

3.4 ประเมินแนวทางการปรับปรุงอาคาร

ประเมินแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาในเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น โดยใช้รูปแบบออกเป็น 2 แนวทางหลัก ๆ คือ

3.4.1 ประเมินผลในเชิงเทคนิค

ในการพิจารณาผลเชิงเทคนิค โดยการเพิ่มวัสดุที่เปลือกอาคาร การเลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงและแนวทางต่าง ๆ ที่ลดการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าแล้วนำค่ามาป้อนเข้าโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.4.2 ประเมินผลในเชิงเศรษฐศาสตร์

จากการพิจารณาผลการประเมินในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยใช้การคำนวณระยะเวลาคืนทุนและมูลค่าสะสมของอาคารที่ระยะเวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดได้ในแต่ละแนวทาง

3.5 สรุปผลแนวทางที่เหมาะสมในการนำไปปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

เมื่อประเมินแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงทุกแนวทางแล้วจึงทำการสรุปผลทางเลือกที่มีความเหมาะสมที่สุดทั้งในด้านเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารสำนักงานต่อไปในอนาคต พร้อมทั้งข้อเสนอแนะและข้อจำกัดในการนำไปใช้งานจริง

3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.6.1 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และวัดค่าความส่องสว่าง

1) Hobo Data Logger

เป็นอุปกรณ์ที่มี 4 ช่องวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และช่องป้อนเข้าข้อมูลจากภายนอก สามารถวัดค่าและบันทึกข้อมูลได้มากถึง 7,943 ข้อมูล อัตราในการอ่านข้อมูลขึ้นอยู่กับผู้ใช้ซึ่งสามารถปรับค่าได้ระหว่าง 0.5 วินาทีถึง 9 ชั่วโมง สามารถตั้งเวลาการบันทึกข้อมูลได้นานถึง 1 ปี มีสาย sensor วัดอุณหภูมิภายในที่สามารถต่อสายออกมาจากตัวเครื่องได้ ช่วงในการวัดอุณหภูมิ -4 °F ถึง 158 °F วัดความชื้นสัมพัทธ์ 0% ถึง 95% โดยปราศจากไอน้ำและหมอก การสั่งค่าต้องใช้ควบคู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สั่งงานโดยเฉพาะ (box car pro program) การวิจัยที่ครั้งนี้ใช้อุปกรณ์ Hobo Data Logger ทั้งหมด 8 เครื่อง โดยติดตั้งตามห้องตัวแทนที่มีสภาพแวดล้อมเดียวกันในห้องปรับอากาศ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ต่างกันไม่เกิน 1 %

ภาพที่ 3.2 แสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

2) อุปกรณ์วัดความสว่าง (Lux Meter)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณแสงที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (lm/m^2 หรือ LUX) เพื่อบอกว่าระดับความสว่างที่ได้เพียงพอหรือไม่ ลักซ์มิเตอร์ที่ใช้ควรเป็นชนิดปรับแก้ค่าเชิงความยาวคลื่น คือ ความไวต่อความยาวคลื่นแสงเหมือนตามนุษย์ และปรับแก้ค่าเชิงมุมคือ ปรับแก้ค่าความสว่างที่วัดได้เมื่อแสงตกกระทบไม่ตั้งฉากกับผิวหน้าของหัววัด ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ใช้อุปกรณ์จำนวน 2 เครื่อง คือเครื่องใช้สำหรับวัดแสงภายในอาคารและวัดแสงภายนอกอาคาร ต้องใช้เครื่องวัดแสงพร้อมกันทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ภาพที่ 3.3 แสดงเครื่องมือวัดความสว่างลักซ์มิเตอร์

3.6.2 **รายละเอียดเบื้องต้นโปรแกรม** DOE 2.1E

โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ประกอบไปด้วยโปรแกรม 2 ชุดด้วยกันคือ

1) DOE2.1E โปรแกรมดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นในมหาวิยาลัย Berkley ประเทศสหรัฐอเมริกา ด้วยคำร้องขอจากกระทรวงพลังงานของประเทศในการพัฒนาระบบโปรแกรมต้นแบบเพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร ระบบโปรแกรมทั้งชุดประกอบได้ด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, 2548: 41-43)

- building description language เป็นระบบโปรแกรมย่อยซึ่งควบคุมการแปล พิกัดและรายละเอียดของอาคารที่ป้อนเข้าสู่ระบบโปรแกรมไปยังระบบโปรแกรมย่อยอื่น ๆ
- loads analysis program เป็นระบบโปรแกรมย่อยที่ควบคุมการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ในอาคาร และชุดการป้อนพิกัดอาคาร
- system program เป็นระบบโปรแกรมย่อยที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของงานระบบในส่วนต่างๆ ของอาคารไม่ว่าจะเป็นการทำความเย็น การทำความร้อน ฯลฯ
- plant program เป็นระบบโปรแกรมย่อยที่ทำหน้าที่ควบคุมโครงสร้างงานระบบทั้งหมดในอาคารไม่ว่าจะเป็นขนาดเครื่องชิลเลอร์ ขนาดหม้อน้ำร้อน ฯลฯ
- economics program เป็นระบบโปรแกรมย่อยที่ช่วยคิดค่าไฟฟ้าจากอัตราค่าไฟฟ้ารวมถึงการเปรียบเทียบการลงทุนในรูปแบบต่างที่อาจเกิดจากการทดสอบเปลี่ยนแปลงวัสดุ และอุปกรณ์ภายในอาคาร
- report program เป็นระบบโปรแกรมย่อยที่ควบคุมการสร้างรายงานผลการทดสอบจากระบบโปรแกรมอื่น ๆ
- weather analysis program เป็นระบบโปรแกรมย่อยที่ช่วยควบคุมการจัดการข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

การทำงานของระบบโปรแกรมเกิดขึ้นจากการกำหนดคำสั่งของโปรแกรมย่อยต่างๆ ในรูปแบบของการเขียนโปรแกรมประเภท text edition เช่น notepad worldpad ฯลฯ ที่สามารถบันทึกให้อยู่ในรูปข้อความอย่างเดียว (*.txt) หลังจากการสั่งให้ระบบโปรแกรมทำงานผ่านทางคำสั่งในระบบปฏิบัติการ DOS ระบบโปรแกรมจะสามารถสร้างรายงาน (Report) สภาพภูมิอากาศ งานระบบ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในส่วนต่างๆ ค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ฯลฯ โดยอยู่ในรูปของแฟ้มข้อความอย่างเดียวเช่นกัน

2) การป้อนข้อมูลของโปรแกรม

- การป้อนข้อมูลเป็นจำนวนมาก ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมต้องมีความรู้ในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดี
- ลักษณะการป้อนข้อมูลที่มีความละเอียดสูง เช่น การป้อนข้อมูลวัสดุกรอบอาคารต้องทำการสร้างวัสดุขึ้นใหม่เพื่อสร้างเป็นชั้นวัสดุในกรอบอาคาร แล้วจึงนำชั้นวัสดุนั้นไปสร้างกรอบอาคารเพื่อนำมาคำนวณการใช้พลังงาน

3) การแสดงผลของโปรแกรม

- โปรแกรมสามารถแสดงการป้อนข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณได้ในทุก ๆ ด้าน
- สามารถเลือกระดับความละเอียดในการแสดงผลการคำนวณได้

4) การวิเคราะห์การใช้ข้อมูลที่กำหนดให้ในการคำนวณ

การใช้ค่าที่กำหนดไว้เป็นฐานข้อมูลในโปรแกรม เพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วในการคำนวณ และมีผลการคำนวณที่ใกล้เคียงความเป็นจริงในระดับหนึ่ง จึงมีการจัดข้อมูลต่าง ๆ เป็นพื้นฐานการคำนวณในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่เป็นค่าที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการคำนวณ โดยแยกประเภทได้ดังนี้

- สภาพอากาศภายนอก จะแปรเปลี่ยนไปตามสถานที่ตั้งและสภาพแวดล้อมรอบ ๆ อาคาร ซึ่งมีความแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ ข้อมูลสภาพอากาศตลอดทั้งปีในบริเวณที่ตั้งอาคารไม่สามารถหาได้โดยสะดวกและมีค่าไม่คงที่ในแต่ละปี ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลสภาวะอากาศในท้องถิ่นเป็นตัวแทน ในการประเมินการใช้พลังงานในอาคาร
- ข้อมูลกรอบอาคาร ต้องมีการจัดฐานข้อมูลของกรอบอาคารเป็นชุดๆ ตามชนิดของกรอบอาคาร เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูนครึ่งแผ่น ผนัง คสล. ผนังแผ่นโลหะหรืออื่น ๆ เพื่อใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบระหว่างกรอบอาคารต่างๆ ได้โดยตรงและเพื่อความสะดวกในการสร้างกรอบอาคารใหม่ ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงข้อมูลกรอบอาคารที่มีอยู่เดิมในฐานข้อมูล เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณต่อไป
- การใช้งานอาคาร เช่น ช่วงเวลาการใช้อาคาร จำนวนผู้ใช้อาคารแต่ละพื้นที่ กิจกรรมของผู้ใช้อาคารแต่ละพื้นที่อาคาร ปกติการใช้พลังงานอาคารจะมีความหลากหลายแตกต่างกันไป และเพื่อลดขั้นตอนการป้อนข้อมูลจึงเสนอให้จัดค่าการใช้งานอาคารเป็นข้อมูลที่กำหนดไว้ในฐานข้อมูล
- สภาพอากาศภายในอาคาร ขึ้นอยู่กับกิจกรรมของผู้ใช้อาคารในพื้นที่ต่าง ๆ และการจัดสภาพอาคารในอาคารที่แตกต่างกัน (โดยให้อยู่ในสภาวะสบายเหมือนกัน) จะมีการใช้

พลังงานในการรักษาสภาพอากาศภายในอาคารนั้น ๆ ไม่เท่ากัน

- ระบบต่างๆ ภายในอาคาร การใช้พลังงานของระบบต่างๆ ภายในอาคารขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของระบบซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามอุปกรณ์ที่เลือกใช้ การติดตั้งและข้อมูลอาคารคงที่โดยไม่เปลี่ยนแปลง (ลดลง) ไปตามเวลา

5) Draw BDL เป็นระบบโปรแกรมที่ช่วยในการกำหนดพิกัดกรอบอาคารสำหรับโปรแกรม DOE2.1E เนื่องจากการเขียนพิกัดอาคารด้วยตัวอักษรเพียงอย่างเดียวมักเกิดความผิดพลาดที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ ระบบโปรแกรมดังกล่าวจึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตรวจสอบให้เกิดความแม่นยำขึ้นอีกทางหนึ่ง

6) ข้อจำกัดในการจำลองสภาพในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

- ในการพิจารณาผลกระทบในระยะยาวของการปรับปรุงตัวอาคารหรือวิธีการจัดการที่ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงมาก ค่าที่ได้จากการประเมินอาจไม่ตรงตามค่าที่เกิดขึ้นจริง
- ข้อมูลที่นำมาใส่โปรแกรมอาจจะได้มาจากข้อมูลที่ไม่ตรงตามความเป็นจริง ทั้งข้อมูลตัวอาคาร เช่นการใช้ข้อมูลที่ได้จากคู่มือวัสดุอาจมีค่าที่สูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริงเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศและข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมของอาคาร โดยทั่วไปมักจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากอาคารจริงโดยประมาณ 10-15% สำหรับการใช้โปรแกรม DOE, BLAST และ TRACE
- การพิจารณาวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงอาคารหลายวิธีร่วมกัน อาจไม่ได้รับผลได้อย่างเต็มที่ เช่น หากผู้ออกแบบเลือกวิธีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร 2 วิธีที่ประเมินเบื้องต้นว่าแต่ละวิธีสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ร้อยละ 10 ในแต่ละวิธี แต่เมื่อนำมาใช้ร่วมกันอาจเพิ่มประสิทธิภาพได้ไม่ถึงร้อยละ 20 ก็ได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ประเมินได้ยาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

รายละเอียดอาคารกรณีศึกษา และการวิเคราะห์อาคาร

จากการสำรวจอาคารกรณีศึกษาครั้งนี้เพื่อนำข้อมูลลักษณะทางกายภาพของอาคารมาวิเคราะห์ให้ทราบถึงปัญหาและข้อดี – ข้อเสียของอาคาร เพื่อที่จะหาแนวทางการปรับปรุงอาคารให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ โดยมีการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

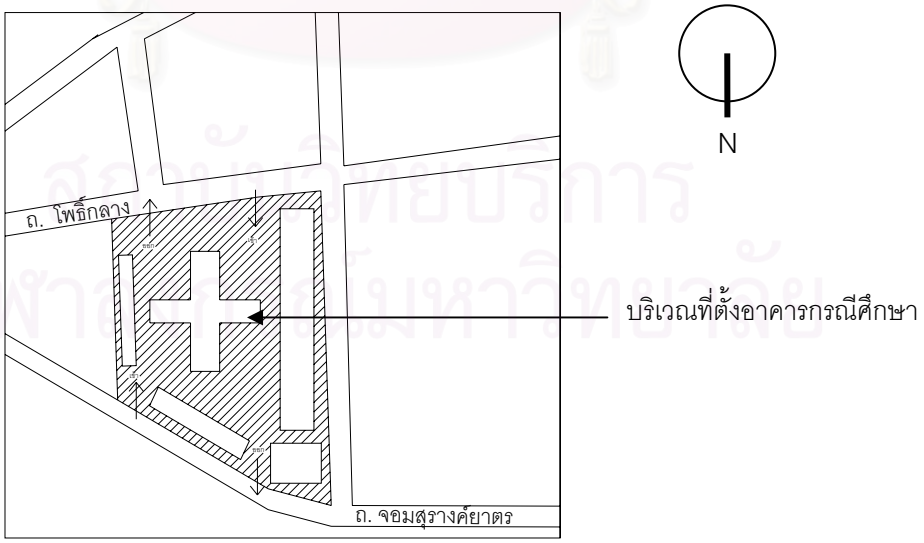
4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา

4.1.1 ลักษณะทางกายภาพของอาคาร

อาคารสำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมา ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ขนาดพื้นที่ใช้สอย 1,500 ตารางเมตร อยู่บนพื้นที่ 5 ไร่ ซึ่งติดต่อกับสภาพแวดล้อมโดยรอบดังต่อไปนี้

ทิศเหนือ	เป็นด้านหลังอาคารติดต่อกับอาคารกาญจนาภิเษกสูง 4 ชั้น
ทิศใต้	เป็นด้านหน้าอาคารติดต่อกับถนนโพธิ์กลาง
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับสถานีตำรวจ 191 จ.นครราชสีมา
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับอาคารการประปา

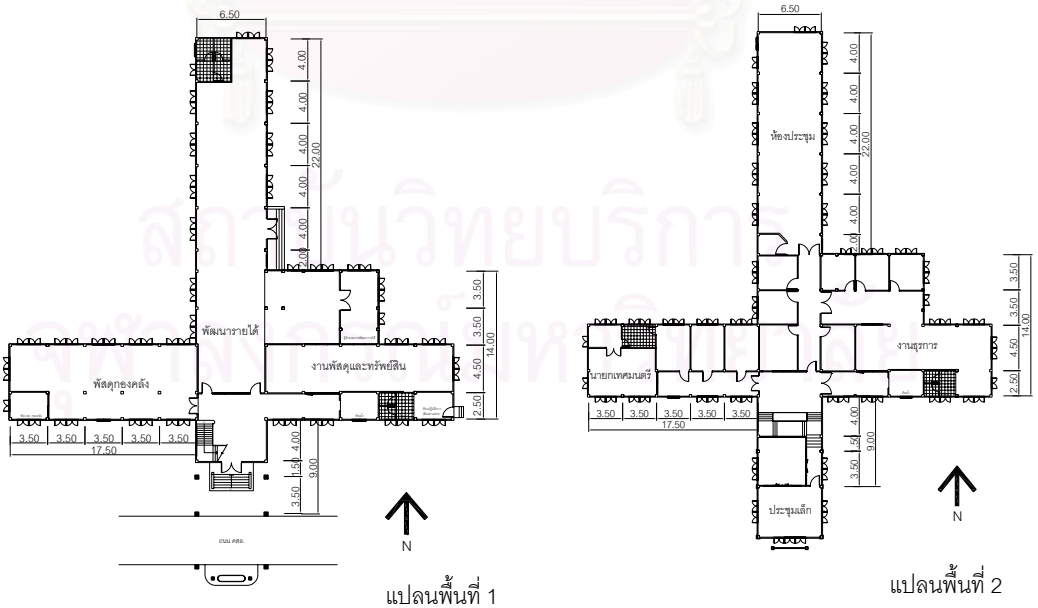
ซึ่งการศึกษานี้ได้ดำเนินการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลจากอาคารกรณีศึกษา และนำมาข้อมูลป้อนเข้าโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองสภาพการณ์ของอาคารกรณีศึกษา พร้อมทั้งวิเคราะห์สภาพปัญหาและเสนอแนวทางเลือกสำหรับการปรับปรุงอาคารให้ประหยัดพลังงาน



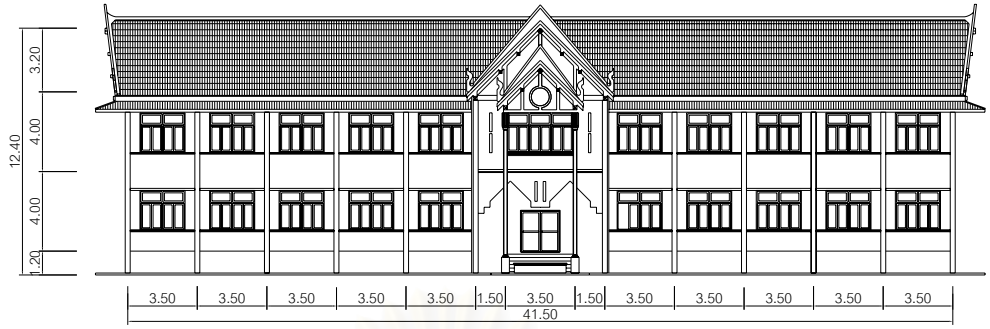
ภาพที่ 4.1 แสดงภาพแผนผังโดยรอบอาคารกรณีศึกษา

ภาพที่ 4.2 แสดงภาพถ่ายด้านหน้าอาคารที่หันไปทางทิศใต้และด้านหลังอาคารที่หันไปทางทิศเหนือ

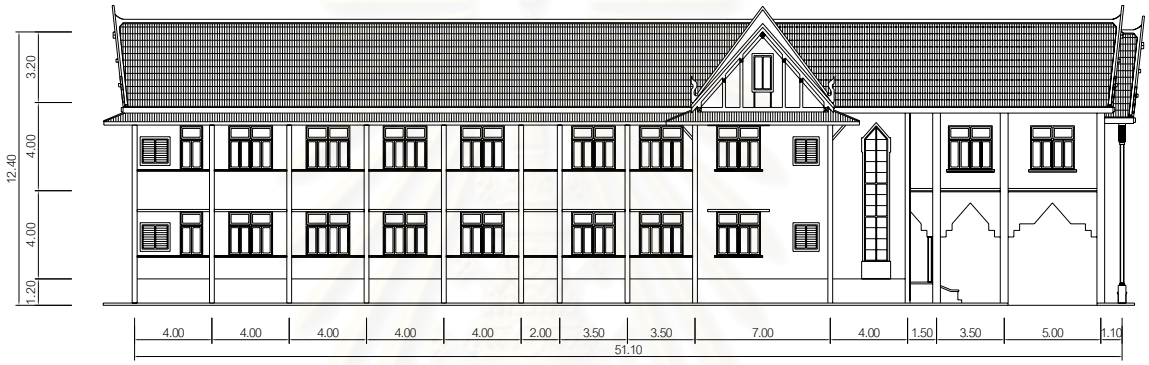
ภาพที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายด้านขวาอาคารที่หันไปทางทิศตะวันออกและด้านซ้ายอาคารที่หันไปทางทิศตะวันตก



ภาพที่ 4.4 แสดงผังพื้นชั้น 1 – 2 ของอาคารกรณีศึกษา



ภาพที่ 4.5 แสดงรูปแบบด้านหน้าอาคารกรณีศึกษาซึ่งหันหน้าทางทิศใต้



ภาพที่ 4.6 แสดงรูปแบบด้านข้างอาคารซึ่งหันทางทิศตะวันตกและทิศตะวันออก

ตารางที่ 4.1 การจำแนกพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารสำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมา

ชั้น	ส่วน	พื้นที่ทั้งอาคาร (ตร.ม.)	พื้นที่ปรับอากาศ (ตร.ม.)	พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ตร.ม.)
1	ส่วนการคลัง	135.50	126.75	8.75
	ส่วนพัฒนารายได้	391.25	391.25	-
	ส่วนพนักงานพัสดุและทรัพย์สิน	125.00	107.50	17.50
2	ส่วนนายกเทศมนตรีฯ	122.5	113.75	8.75
	ส่วนประชุมใหญ่	153.00	147.00	6.00
	ส่วนปลัดเทศบาล	128.50	128.50	-
	ส่วนตรวจสอบภายใน	22.25	22.25	-
	ส่วนธุรการ	135.50	118.00	17.50
	ส่วนประชุมเล็ก(ประชุมคุณย่า)	72.50	72.50	-
	ส่วนงานการเจ้าหน้าที่	52.50	52.50	-
	ทางเดิน	48.75	-	48.75
	โถง	119.5	-	119.5
	รวม	1,506.75	1,280	226.75

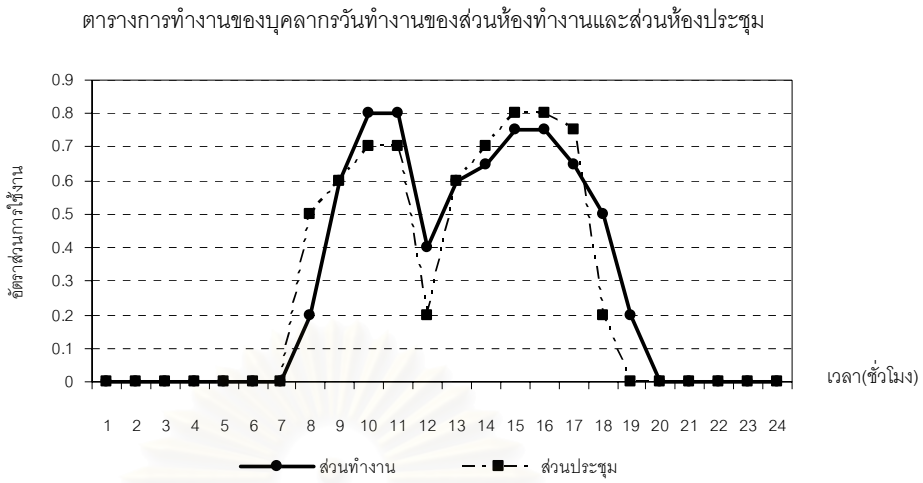
4.1.2 ลักษณะพฤติกรรมการใช้งานภายในอาคาร

พฤติกรรมการใช้อาคารพนักงานในสำนักงานจะปฏิบัติงานในช่วงเวลา 8.00 – 16.30 น. (จันทร์–ศุกร์) และหยุดทำการ (เสาร์ – อาทิตย์) สามารถจำแนกรูปแบบการใช้งานภายในอาคารกรณีศึกษาได้ 2 รูปแบบ คือ การใช้งานในลักษณะสำนักงานทั่วไปและห้องประชุม โดยห้องสำนักงานมีการจัดพื้นที่ให้พนักงานทุกคนจะนั่งรวมกันในห้องใหญ่และมีโต๊ะทำงานประจำตำแหน่งไม่มีการกั้นส่วน ซึ่งห้องที่เป็นหน่วยงานเฉพาะหรือผู้บริหารระดับสูงจะมีห้องกั้นแยกเป็นส่วนตัวมักพบว่าจะเปิดประตูเข้าห้องทิ้งไว้ทำให้ความร้อนจากภายนอกเข้ามาภายในห้อง ภายในอาคารสำนักงานจะทาสีขาวด้านบนและสีเขียวอ่อนด้านล่างของผนัง ส่วนห้องประชุมมีการจัดพื้นที่โล่งมีโต๊ะประชุมอยู่กลางห้องและมีการปูพรมทั้งห้อง ผนังของห้องประชุมจะทาสีขาวทั้งห้องไม่ว่าจะเป็นห้องประชุมใหญ่หรือห้องประชุมเล็ก นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งผ้าม่านทุกห้องทั้งอาคาร

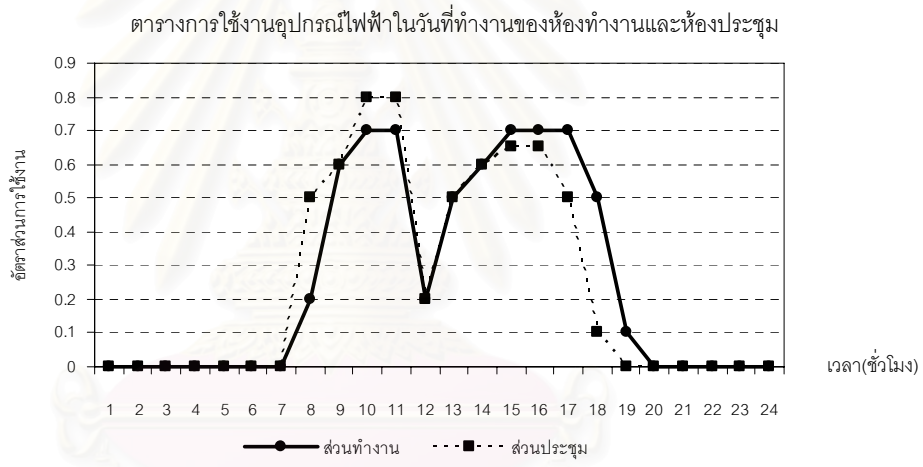
ภาพที่ 4.7 แสดงบรรยากาศห้องทำงานส่วนสำนักงานการคลังและห้องธุรการ

ตารางที่ 4.2 แสดงการแบ่งส่วนพื้นที่ใช้สอยและจำนวนบุคลากรในแต่ละส่วน

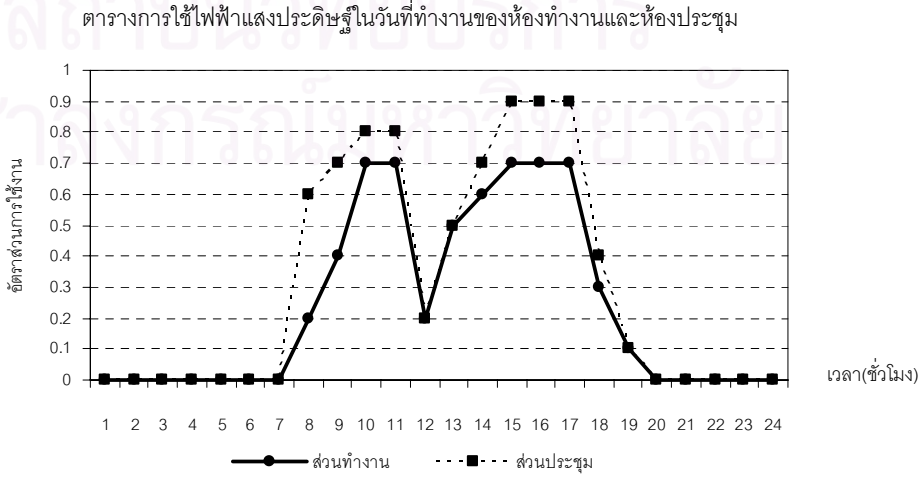
ลำดับ	การแบ่งพื้นที่ใช้สอย	จำนวน(คน)
1	ส่วนสำนักการคลัง	10
2	ส่วนพัฒนารายได้	18
3	ส่วนพัสดุและทรัพย์สิน	14
4	ส่วนนายกเทศมนตรี	8
5	ส่วนหัวหน้าฝ่าย	5
6	ส่วนธุรการ	29
7	ส่วนการเจ้าหน้าที่	46
รวมจำนวนบุคคลากร		130



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงตารางการทำงานของบุคลากรวันทำงานของส่วนห้องทำงานและส่วนห้องประชุม



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงตารางการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าในวันที่ทำงานของส่วนห้องทำงานและห้องประชุม



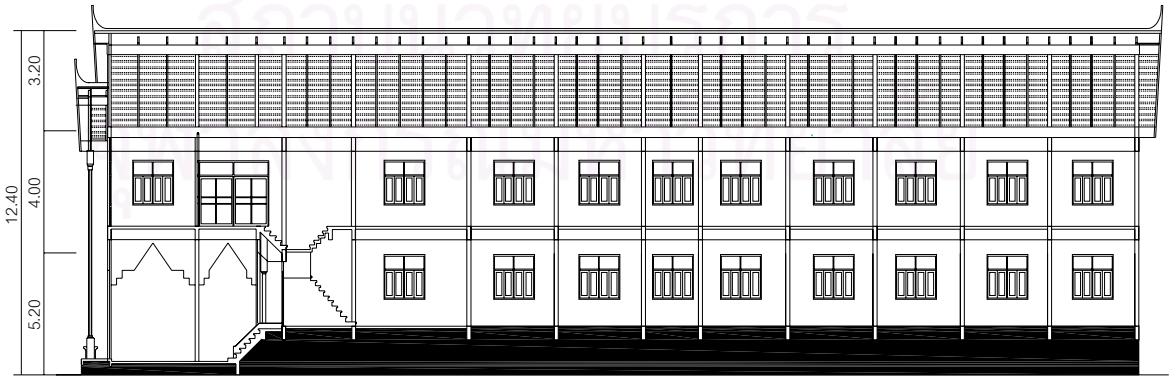
แผนภูมิที่ 4.3 แสดงตารางการใช้ไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ในวันทำงานของห้องทำงานและห้องประชุม

4.1.3 รายละเอียดโครงสร้างประกอบอาคาร

อาคารกรณีศึกษามีการต่อเติมหลายครั้งจากการสำรวจอาคารกรณีศึกษาพบว่าสามารถสรุปโครงสร้างของอาคารได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดโครงสร้างประกอบอาคารกรณีศึกษา

ประเภท	ตำแหน่ง	รายละเอียด
โครงสร้างอาคาร	-	โครงสร้างระบบเสาและคานหล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก
ผนัง	ผนังภายใน - ภายนอก	ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่นหนา 0.10 ม. ฉาบปูนเรียบทาสีขาว
พื้น	ชั้น 1 – ชั้น 2	พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 ม. วางบนคาน (Slab on beam) ผิวหินขัดมัน
		พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 ม. วางบนคาน (Slab on beam) ปูพื้นไม้เนื้อแข็ง
		พื้น คสล. สำเร็จรูปหนา 0.10 ม. วางบนคาน (Slab on beam) ปูพรม
ฝ้าเพดาน	ฝ้าภายใน - ภายนอก	ฝ้าเพดานแผ่นเรียบยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. โครงเคร่าเหล็กชุบสังกะสี
		ฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. โครงเคร่าอลูมิเนียม T-bar ขนาด 0.60 x 0.60 ม.
หลังคา	-	โครงหลังคาเหล็กทาสีกันสนิม มุงกระเบื้องซีแพคโมเนียสีเขียวบุอลูมิเนียมฟอยล์
ประตู	-	ประตูบานเลื่อน กระจกใสหนา 6 มม. วงกบอลูมิเนียมสีขาว
		ประตูบานเปิด กระจกใสหนา 6 มม. วงกบอลูมิเนียมสีขาว
		ประตูติดตาย กระจกใสหนา 10 มม. วงกบอลูมิเนียมสีขาว
หน้าต่าง	-	หน้าต่างบานเปิด กระจกใสหนา 6 มม.วงกบไม้เนื้อแข็ง 2"x 4"
ชายคา	-	คอนกรีตเสริมเหล็กยื่น 1.00 ม.



รูปตัด 1

ภาพที่ 4.8 แสดงรูปตัดของอาคารกรณีศึกษา

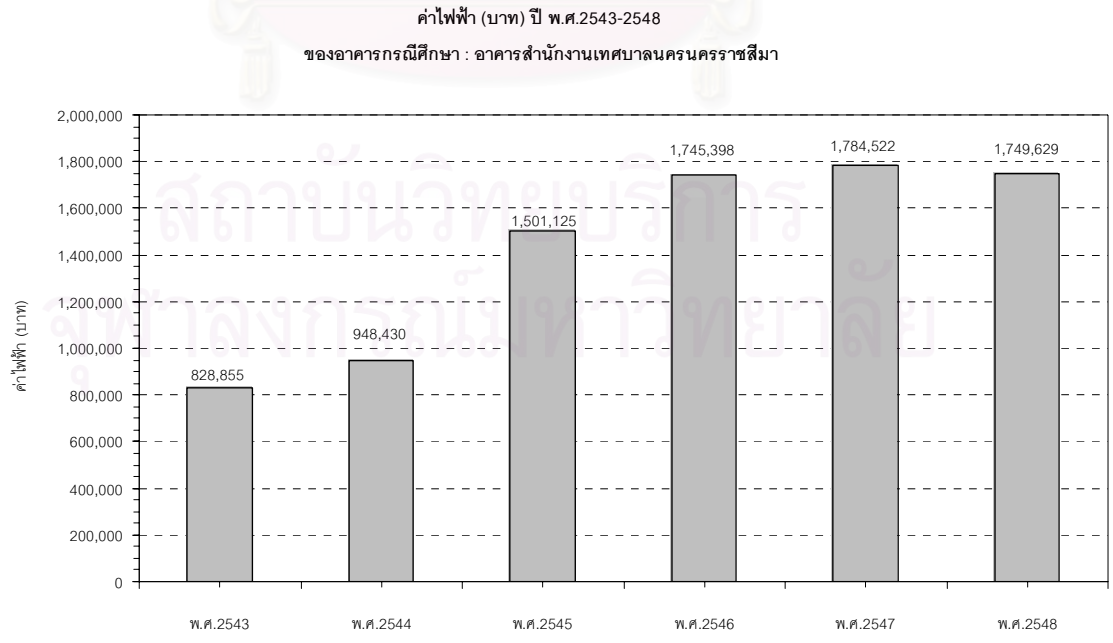
4.2 ข้อมูลการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร

4.2.1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2543 - พ.ศ. 2548

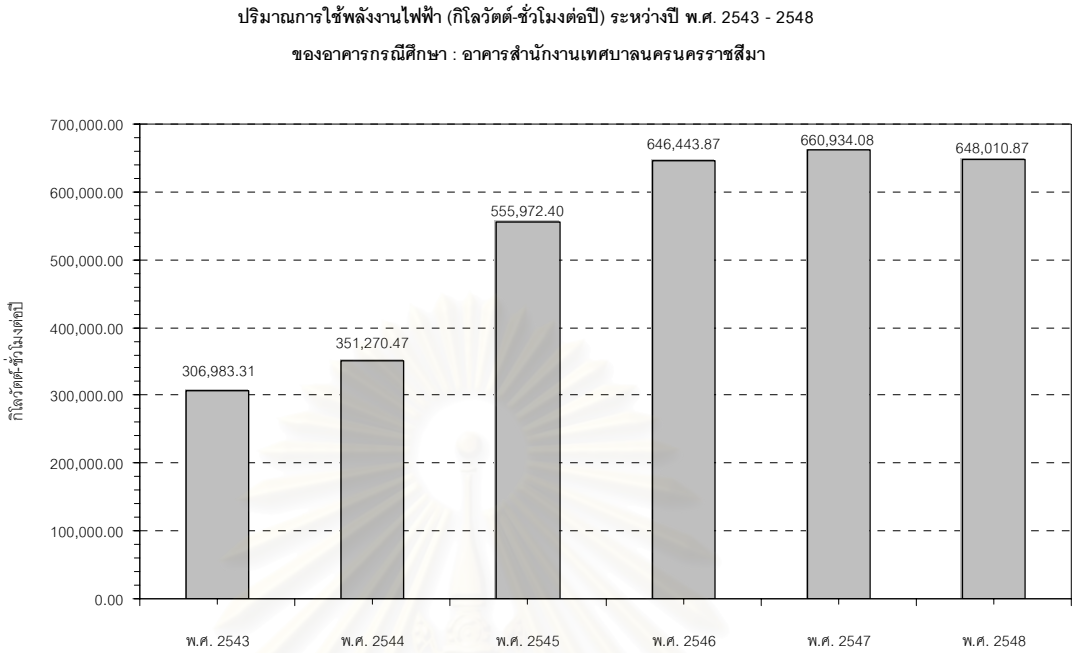
จากการสำรวจปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษาย้อนหลังไป 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 - พ.ศ. 2548 พบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกปีโดย พ.ศ.2543 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 828,855 บาท หรือ 301,401 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และปี พ.ศ.2548 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 1,749,629 บาทหรือ 636,228 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 53.55 ซึ่งปัจจัยที่ทำให้ค่าไฟฟ้าสูงขึ้นเกิดจากการเพิ่มจำนวนบุคลากรภายในอาคาร ปริมาณจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ แสงประดิษฐ์ และจำนวนพื้นที่ใช้สอยของอาคารสำนักงานเทศบาลนคร นครราชสีมา จึงส่งผลทำให้มีการใช้ปริมาณไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นดังนั้นจำเป็นต้องมีการหาแนวทางในการปรับปรุงอาคารเพื่อให้อาคารประหยัดพลังงานตารางที่4.4 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 – พ.ศ. 2548

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา

ปี	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี)
พ.ศ.2543	828,854.93	306,983.31
พ.ศ.2544	948,430.27	351,270.47
พ.ศ.2545	1,501,125.48	555,972.40
พ.ศ.2546	1,745,398.44	646,443.87
พ.ศ.2547	1,784,522.02	660,934.08
พ.ศ.2548	1,749,629.36	648,010.87



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงค่าไฟฟ้า (บาท) ของอาคารกรณีศึกษาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 – พ.ศ. 2548



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี) ของอาคารกรณีศึกษา
ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 – พ.ศ. 2548

4.2.2 ระบบปรับอากาศภายในอาคาร

จากการสำรวจและวิเคราะห์ระบบเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในอาคารทั้งหมดเป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) ขนาด 26,000 บีทียูและ 20,000 บีทียู รวมจำนวนทั้งหมด 39 เครื่อง โดยพื้นที่ปรับอากาศประมาณ 1,280 ตารางเมตร โดยมีกำลังการทำความเย็นทั้งอาคารรวมทั้งสิ้น 1,102,000 บีทียู-ชั่วโมง เป็น 21 ตารางเมตรต่อตัน ใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 322,883 กิโลวัตต์ คิดประสิทธิภาพการให้ความเย็น (EER) มีค่าเฉลี่ยประมาณ 8.02 บีทียูต่อวัตต์ (เครื่องปรับอากาศเบอร์ 2) กิโลวัตต์ต่อตันความเย็นมีค่า 1.49 ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นสำหรับอาคารควบคุมตามกฎกระทรวงมีค่า 1.61 กิโลวัตต์ต่อตัน

ภาพที่ 4.9 แสดงเครื่องปรับอากาศที่ใช้ภายในอาคารกรณีศึกษา

4.2.3 ระบบแสงสว่างภายในอาคาร

จากการสำรวจและวิเคราะห์ระบบแสงสว่างภายในอาคารกรณีศึกษา มีแสงสว่างที่ทำให้เกิดผลกระทบต่ออาคาร 2 ทาง คือ แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์จากหลอดไฟฟ้า โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ระบบแสงประดิษฐ์ที่ใช้ในอาคารมี 3 ชนิด คือ เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้กับบัลลาสต์แกนเหล็ก 10 วัตต์ ชนิดครอบหลอดด้วยพลาสติกฝ้า ขนาด 40 วัตต์ ชนิดหลอดเปลือยขนาด 40 วัตต์ และชนิดที่มีแผงสะท้อนแสงติดยึดฝ้าเพดาน ขนาด 40 วัตต์ และหลอดดาวไลท์ขนาด 60 วัตต์ รวมจำนวนหลอดไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคารทั้งหมด 271 หลอด จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณการใช้พลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างทั้งอาคาร 15,948 วัตต์ ซึ่งสามารถคิดค่าเฉลี่ยต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดเป็น 12.46 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายอนุรักษ์พลังงานกำหนดไว้ไม่เกิน 16 วัตต์ต่อตารางเมตรมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

ชั้น	โหลดไฟฟ้าแสงสว่าง (W)	พื้นที่ (sq.m)	จำนวนวัตต์ต่อตารางเมตร (W /sq.m)
ชั้นบน	7,314	645.25	11.33
ชั้นล่าง	8,634	634.75	13.60
รวม	15,948	1,280.00	12.46

2) แสงธรรมชาติ เนื่องจากอาคารกรณีศึกษา มีการวางผังของอาคารเป็นรูปทรงกากบาท ดังนั้นแสงธรรมชาติจะเข้าไปในบริเวณห้องที่ยื่นออกไป คือ ด้านบน ล่าง ซ้าย และขวาของอาคารมีปริมาณแสงธรรมชาติที่เพียงพอแต่บริเวณห้องที่อยู่ตรงกลางอาคารจะมีปริมาณแสงธรรมชาติไม่เพียงพอเนื่องจากมีห้องทำงานอื่น ๆ กั้นโดยรอบทำให้แสงธรรมชาติไม่สามารถส่องผ่านเข้ามาได้ และสิ่งที่ผลต่อระดับแสงสว่างภายในอีกประการหนึ่งคือ หน้าต่างเป็นบานเปิดคู่วงกบไม้กระจกใส หนา 6 มม. ด้านบนมีช่องแสงกระจกใสหนา 6 มม. หน้าต่างมีขนาด 2.5 x 2.1 เมตร ส่วนประตูเป็นบานเลื่อนและบานเปิดคู่วงกบอลูมิเนียมสีขาวกระจกใส หนา 6 มม. ด้านบนมีช่องแสงกระจกใสหนา 6 มม. ประตูมี ขนาด 4.5 x 2.45 เมตร และขนาด 0.9x 2.6 เมตร ทั้ง 2 ชั้น

ภาพที่ 4.10 แสดงลักษณะช่องหน้าต่างและประตูของอาคารกรณีศึกษา

ตารางที่ 4.6 แสดงชนิดของหน้าต่างและพื้นที่ของอาคารกรณีศึกษา

ชั้นที่	ชนิดหน้าต่าง	ชนิดกระจก	พื้นที่ (ตารางเมตร)			
			เหนือ	ใต้	ตะวันออก	ตะวันตก
1	บานเปิดคู่	กระจกใส	166	176	160	160
2	บานเปิดคู่	กระจกใส	166	166	200	200
รวมทั้งสิ้น			332	342	360	360

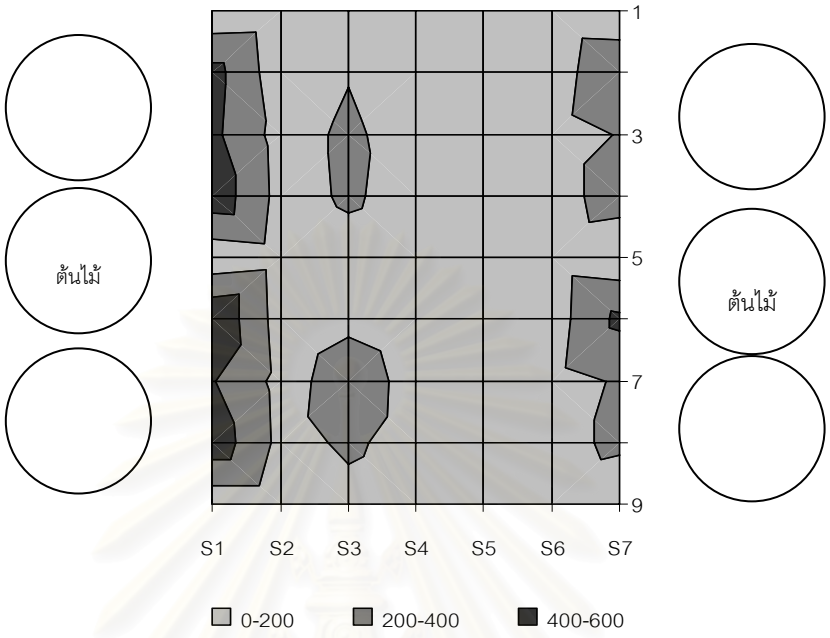
4.2.4 การวิเคราะห์ระดับความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่มีผลต่อความส่องสว่างภายใน

การวิเคราะห์ระดับสว่างของแสงธรรมชาติที่มีผลต่อความส่องสว่างภายในอาคาร โดยการใช้เครื่องมือวัดแสงลักซ์มิเตอร์ เพื่อศึกษาการกระจายตัวของแสงธรรมชาติที่ส่องผ่านเข้ามาในอาคาร และการหาค่าความส่องสว่างภายในโดยใช้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย และค่า daylight factor (DF) ในแต่ละจุด โดยทำการวัด 1 ชั้น จำนวน 4 ห้อง คือ ห้องประชุมใหญ่ ห้องธุรการ ห้องนายกเทศมนตรี และห้องประชุมเล็ก โดยวัดค่าความส่องสว่างของแสงที่ระดับ 0.75 เมตร (ระดับโต๊ะทำงาน) จากพื้นห้องทุกๆ ระยะ 1.00 x 1.00 เมตร จากกึ่งกลางห้องโดยวัดค่าเป็นลักซ์ (Brown, 1985: 66)

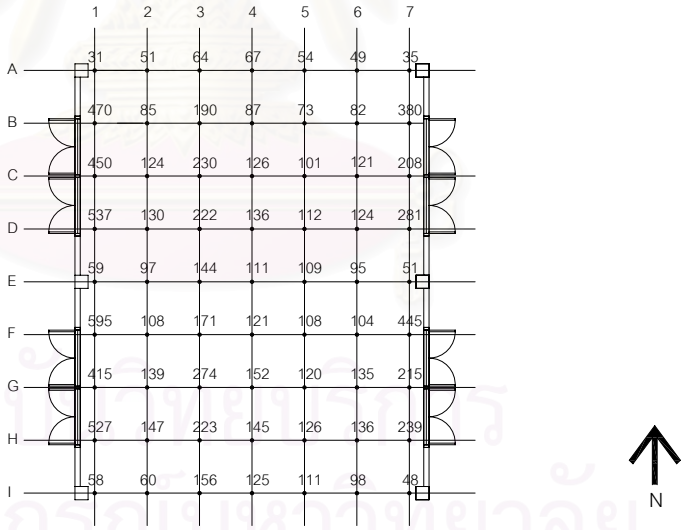
ระดับค่าความส่องสว่างภายในอาคารชั้นบน ห้องประชุมใหญ่ (ทิศเหนือ)

ห้องประชุมใหญ่อยู่ทางทิศเหนือของตัวอาคาร เลือกตำแหน่งหน้าห้องในการวัดเนื่องจากไม่มีสิ่งกีดขวางเพื่อทำให้ได้ผลการวัดที่แม่นยำมากขึ้น ได้รับอิทธิพลจากแสงธรรมชาติทางด้านข้างของห้องเนื่องจาก มีการเจาะช่องหน้าต่างกรอบไม้ทาสีขาวบานเปิดคู่ทั้ง 2 ด้านข้างขนาด 2.5 x 2.1 เมตร ด้านละ 4 บาน และมีชายคายื่นข้างละ 1.00 เมตร โดยทางด้านทิศตะวันออกของห้องได้รับอิทธิพลจากต้นไม้ปกคลุม ส่วนทางด้านทิศตะวันตกของห้องก็ได้รับอิทธิพลจากบ่อน้ำทำให้แสงสว่างสะท้อนเข้ามาสู่ภายในอาคาร ซึ่งด้านหน้าหรือด้านทิศเหนือของห้องผนังเป็นผนังทึบเพื่อต้องการให้พื้นที่เป็นเวทีจึงนำผนังยิปซั่มบอร์ดมาปิดทับหน้าต่างของห้องประชุมใหญ่ทำให้บริเวณด้านหน้าห้องทึบและมืด ด้านหลังหรือด้านทิศใต้ของห้องเป็นประตูทางเข้าจะเปิดเมื่อมีการใช้งานภายในห้อง ดังนั้นจากแผนภูมิที่ 4.1-4.2 พบว่าระดับแสงธรรมชาติที่เข้ามาในห้องไม่เพียงพอสำหรับการใช้งาน ค่า DF ที่วัดได้เฉลี่ยร้อยละ 2.41 ซึ่ง หรือการส่องสว่างภายในห้องโดยกำหนดค่าต่ำสุดของมาตรฐานระดับความส่องสว่างห้องประชุมของ CIE คือ 200 ลักซ์ ซึ่งการส่องสว่างภายในห้องประชุมที่วัดได้เฉลี่ย 168 ลักซ์ ไม่เพียงพอสำหรับการใช้งาน

แสดงระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องประชุมใหญ่



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องประชุมใหญ่ (ทิศเหนือ)

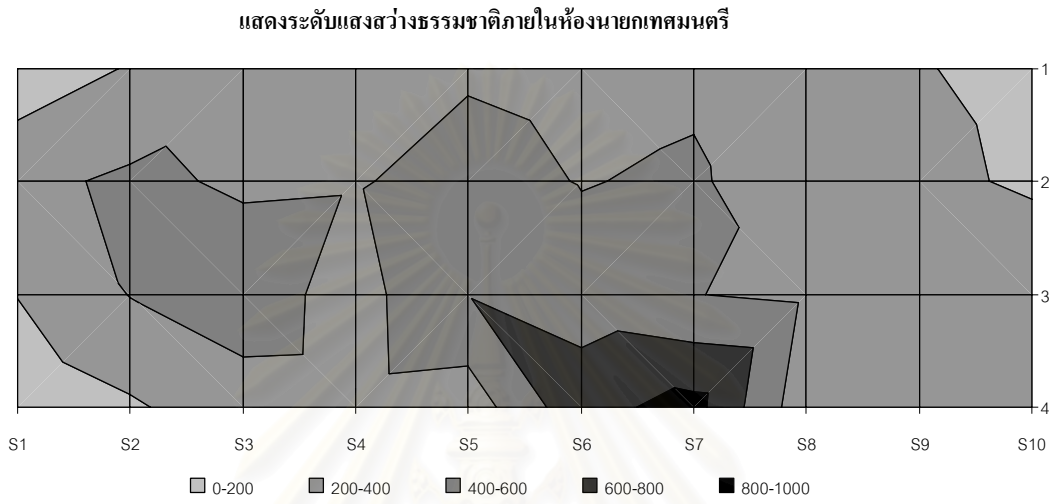


แผนภูมิที่ 4.7 แสดงข้อมูลค่าระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องประชุมใหญ่ (ทิศเหนือ)

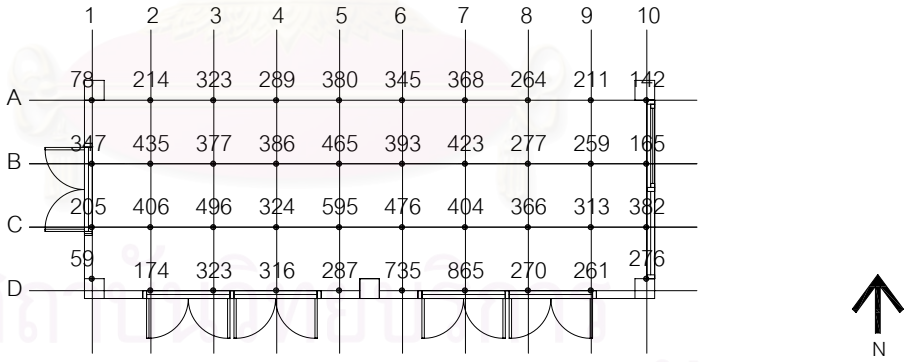
ระดับค่าความส่องสว่างภายในอาคารชั้นบน ห้องนายกเทศมนตรี (ทิศตะวันตก)

ห้องทำงานของนายกเทศมนตรีอยู่ทางทิศตะวันตกของตัวอาคาร เลือกตำแหน่งทางเดินภายในห้องการวัดเนื่องจากไม่มีสิ่งกีดขวางเพื่อทำให้ได้ผลการวัดที่แม่นยำมากขึ้น ได้รับอิทธิพลจากแสงธรรมชาติทางด้านข้างของห้องเนื่องจาก มีการเจาะช่องหน้าต่างกรอบไม้ทาสีขาวบานเปิดคู่ทั้ง 2 ด้านข้างขนาด 2.5 x 2.1 เมตร ด้านละ 4 บาน และมีชายคายื่นข้างละ 1.00 เมตร โดยทางด้านทิศตะวันออกของห้องเป็นประตูทางเข้า

ส่วนทางด้านทิศตะวันตกของห้องเป็นหน้าต่าง 2 บาน ซึ่งด้านหลังหรือด้านทิศใต้ของห้องเป็นหน้าต่าง 5 บาน จากแผนภูมิที่ 4.7-4.8 พบว่าระดับแสงธรรมชาติที่เข้ามาในห้องเพียงพอสำหรับการใช้งาน ค่า DF ที่วัดได้เฉลี่ยร้อยละ 4.91 ซึ่งการส่องสว่างภายในห้องโดยกำหนดค่าต่ำสุดของมาตรฐานระดับความส่องสว่างห้องทำงานของ CIE คือ 200 ลักซ์ ซึ่งการส่องสว่างภายในห้องประชุมที่วัดได้เฉลี่ย 341.85 ลักซ์ ซึ่งเพียงพอสำหรับการทำงาน



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องนายกเทศมนตรี (ทิศตะวันตก)



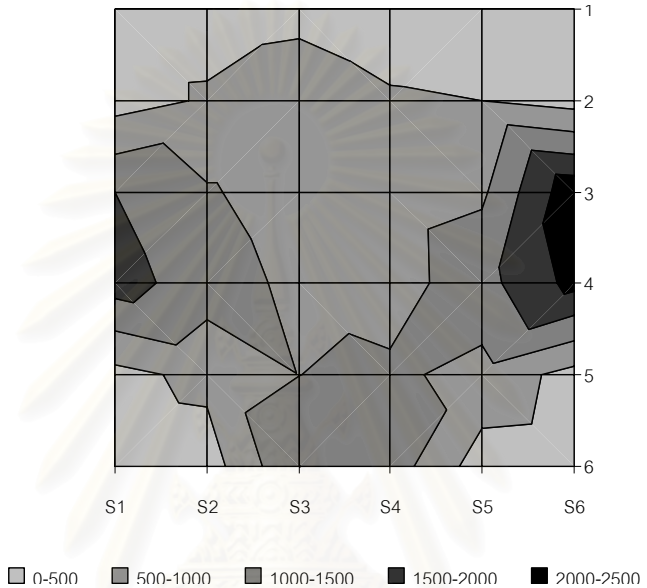
แผนภูมิที่ 4.9 แสดงข้อมูลค่าระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องนายกเทศมนตรี (ทิศตะวันตก)

ระดับค่าความส่องสว่างภายในอาคารชั้นบน ห้องประชุมเล็ก (ทิศใต้)

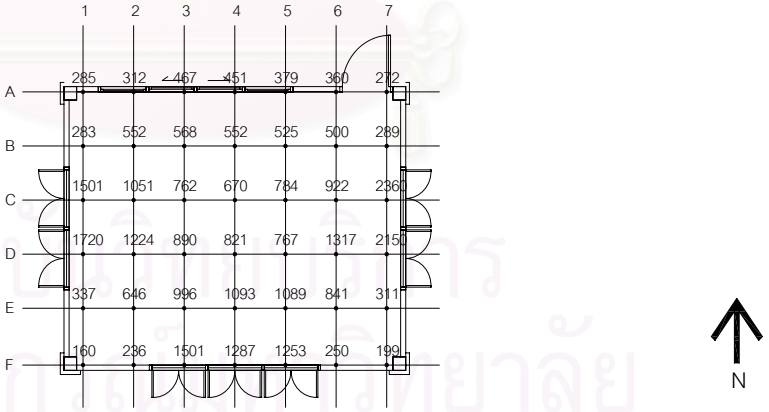
ห้องประชุมเล็กอยู่ทางทิศใต้ของตัวอาคาร ทำการวัดทั้งห้องเนื่องจากไม่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งได้รับอิทธิพลจากแสงธรรมชาติทั้ง 4 ด้านของห้องเนื่องจากมีช่องเปิด มีช่องหน้าต่างกรอบไม้ทาสีขาวบานเปิดคู่ทั้ง 2 ด้านข้างขนาด 2.5 x 2.1 เมตร ทั้งหมด 7 บาน และมีชายคายื่นข้างละ 1.00 เมตร โดยทางด้านทิศตะวันออก-ทิศตะวันตกของห้องเป็นหน้าต่างด้านละ 2 บาน ซึ่งด้านหลังหรือด้านทิศใต้ของห้องเป็นหน้าต่าง 3 บานจากด้านทิศเหนือของห้องเป็นประตูทางเข้าและเป็นประตูกระจกกั้นห้องทำให้ปริมาณแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคาร

จำนวนมาก จากแผนภูมิที่ 4.5-4.6 พบว่าระดับแสงธรรมชาติที่เข้ามาในห้องเพียงพอสำหรับการใช้งาน ค่า DF ที่วัดได้เฉลี่ยร้อยละ 11.28 ซึ่งการส่องสว่างภายในห้องโดยกำหนดค่าต่ำสุดของมาตรฐานระดับความส่องสว่างห้องทำงานของ CIE คือ 200 ลักซ์ ซึ่งการส่องสว่างภายในห้องประชุมที่วัดได้เฉลี่ย 784.11 ลักซ์ เพียงพอต่อการประชุม แต่มีปริมาณสูงเกินไปจึงทำให้เกิดแสงจ้าต่อการประชุม ดังนั้นจึงต้องมีการปิดผ้าม่านเป็นประจำเมื่อมีการประชุม

แสดงระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องประชุมเล็ก



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องประชุมเล็ก (ทิศใต้)

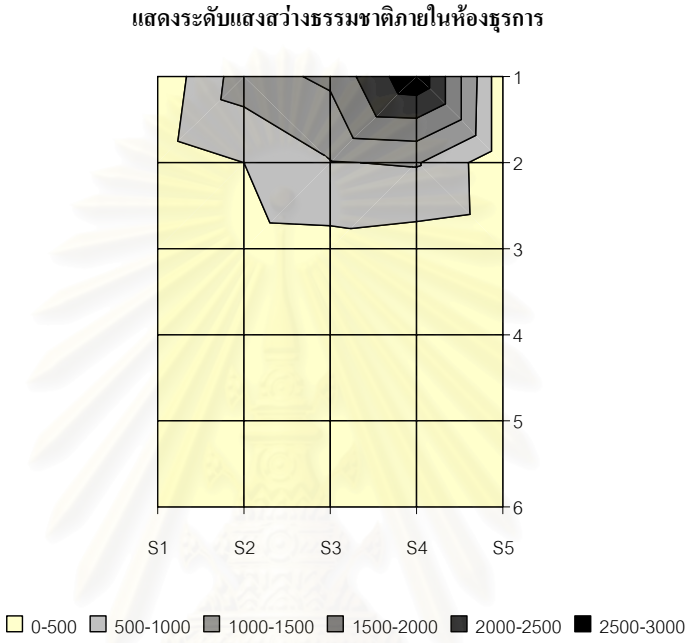


แผนภูมิที่ 4.11 แสดงข้อมูลค่าระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องประชุมเล็ก (ทิศใต้)

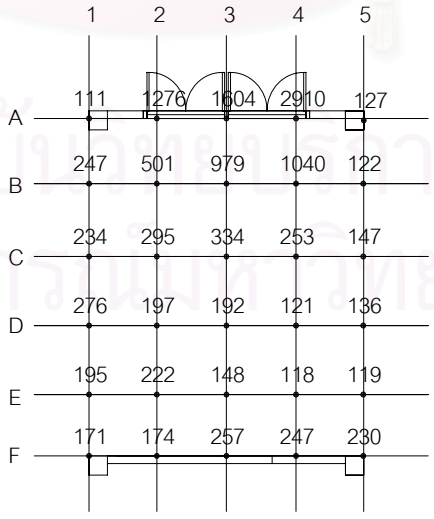
ระดับค่าความส่องสว่างภายในอาคารชั้นบนห้องธุรการ (ทิศตะวันออก)

ห้องธุรการอยู่ทางทิศตะวันออกของตัวอาคาร เลือกตำแหน่งภายในห้องวัดเนื่องจากไม่มีสิ่งกีดขวางเพื่อทำให้ได้ผลการวัดที่แม่นยำมากขึ้น ได้รับอิทธิพลจากแสงธรรมชาติทางด้านทิศของห้องเนื่องจากมีการเจาะช่องหน้าต่างกรอบไม้ทาสีขาวบานเปิดคู่ทั้ง 2 ด้านข้างขนาด 2.5 x 2.1 เมตร จำนวน 2 บาน และมีชายคายื่นข้างละ 1.00 เมตร โดยทางด้านทิศตะวันออกของห้องเป็นส่วนทำงานของหัวหน้า ส่วนทางด้านทิศตะวันตก

ของห้องเป็นพื้นที่ทำงานภายในห้อง ซึ่งด้านหลังหรือด้านทิศใต้ของห้องติดกับห้องน้ำ จากแผนภูมิที่ 4.7-4.8 พบว่าระดับแสงธรรมชาติที่เข้ามาในห้องเพียงพอสำหรับการใช้งาน ค่า DF ที่วัดได้เฉลี่ยร้อยละ 6.22 ซึ่งการส่องสว่างภายในห้องโดยกำหนดค่าต่ำสุดของมาตรฐานระดับความส่องสว่างห้องทำงานของ CIE คือ 200 ลักซ์ การส่องสว่างภายในห้องประชุมที่วัดได้เฉลี่ย 432.76 ลักซ์ มากเกินไปทำให้เกิดแสงจ้าต่อการทำงาน ดังนั้นจึงมีการติดตั้งผ้าม่านเข้าช่วย



แผนภูมิที่ 4.12 แสดงระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องธุรการ (ทิศตะวันออก)



แผนภูมิที่ 4.13 แสดงข้อมูลค่าระดับแสงสว่างธรรมชาติภายในห้องธุรการ (ทิศตะวันออก)

4.2.5 ระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร

เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารสำนักงานดังนั้นจึงมีการใช้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก ได้แก่ คอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร โทรสาร เป็นต้น รวมทั้งสิ้น 128 รายการ จากการสำรวจและวิเคราะห์พบว่าการใช้ปริมาณไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษามีการใช้ไฟฟ้าเป็นลำดับสองรองจากการใช้ปริมาณไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ โดยสามารถสรุปปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดมีค่า 25,951 วัตต์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในอาคารกรณีศึกษา

ชั้น	ส่วน	จำนวน	รวมขนาดอุปกรณ์ (วัตต์)
1	ส่วนการคลัง	15	2,970
	ส่วนจัดเก็บรายได้	18	3,974
	ส่วนพัสดุและทรัพย์สิน	14	3,599
2	ส่วนนายกเทศมนตรี	11	2,245
	ห้องส่วนธุรการ	14	3,015
	ประชุมเล็ก	11	1,495
	ส่วนปลัด	18	4,845
	ประชุมใหญ่	27	3,908
รวมทั้งอาคาร			26,051

4.3 การวิเคราะห์ระดับสภาวะน่าสบายในอาคารกรณีศึกษา

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลทางด้านอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร นำมาเปรียบเทียบกับอาคารที่ทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาทางด้านสภาวะน่าสบายตลอดทั้งปี โดยผู้ที่ศึกษาทางด้านสภาวะน่าสบายกำหนดเกณฑ์ระดับสภาวะน่าสบายอยู่หลากหลายด้วยกัน เช่น ASHRAE ได้กำหนดระดับสภาวะน่าสบายไว้ที่ 22.2- 29 ˚C, Victor Olgyay กำหนดไว้ที่ 22.2- 27 ˚C, Baruch Givoni กำหนดไว้ที่ 26- 27 ˚C และ John Franklin Busch กำหนดไว้ที่ 26.1- 31 ˚C เนื่องจากเป็นระดับที่มีความเหมาะสมและเป็นการศึกษาสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย การศึกษาทางด้านสภาวะน่าสบายของอาคารกรณีศึกษานี้ ได้ศึกษาจากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ 7 ห้องภายในอาคารคือ ชั้นบน ห้องนายกเทศมนตรี ห้องประชุมใหญ่ ห้องธุรการ และห้องประชุมเล็ก ชั้นล่าง ห้องการคลัง ห้องพัฒนารายได้และห้องพัสดุและทรัพย์สิน ซึ่งมีการเปิด-ปิดหน้าต่างเพื่อการระบายอากาศภายในห้องตามช่วงเวลาและตามพฤติกรรมจริงของผู้ใช้งานอาคาร สามารถจำแนกได้เป็น การระบายอากาศช่วงกลางวัน (day-ventilation) ช่วงเวลา 8.00 – 18.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาการทำงาน โดยได้กำหนดวันที่ทำการศึกษาเป็นตัวแทนการศึกษาสภาวะน่าสบายตลอดทั้งปีเป็น 4 วัน ได้มาจากผลการประเมินของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE-2 ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศปี พ.ศ. 2547 จากกรมอุตุนิยมวิทยา เนื่องจากโปรแกรมมีข้อจำกัดทางด้านฐานข้อมูลสภาพอากาศที่มีอยู่ในโปรแกรมและผลคำนวณที่นำมาใช้เปรียบเทียบทางด้านสภาวะน่าสบาย ที่สามารถคำนวณได้เฉพาะในส่วนของอุณหภูมิภายใน อุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิว (MRT) ที่จะนำมาประเมินในเรื่องระดับสภาวะน่าสบายโดยได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ฤดูของประเทศไทย

ฤดู	ช่วงฤดู	ระยะเวลา (วัน)	อุณหภูมิองศาเซลเซียส (dry bulb) พ.ศ. 2547		
			ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยสูงสุด	ค่าเฉลี่ยต่ำสุด
หนาว	1 พฤศจิกายน - 15 กุมภาพันธ์	107	24.58	27.95	20.41
ร้อน	16 กุมภาพันธ์ - 31 พฤษภาคม	106	30.17	31.61	25.76
ต้นฝน	1 มิถุนายน - 15 สิงหาคม	76	28.22	30.14	26.01
ปลายฝน	16 สิงหาคม - 31 ตุลาคม	77	27.97	29.23	26.16

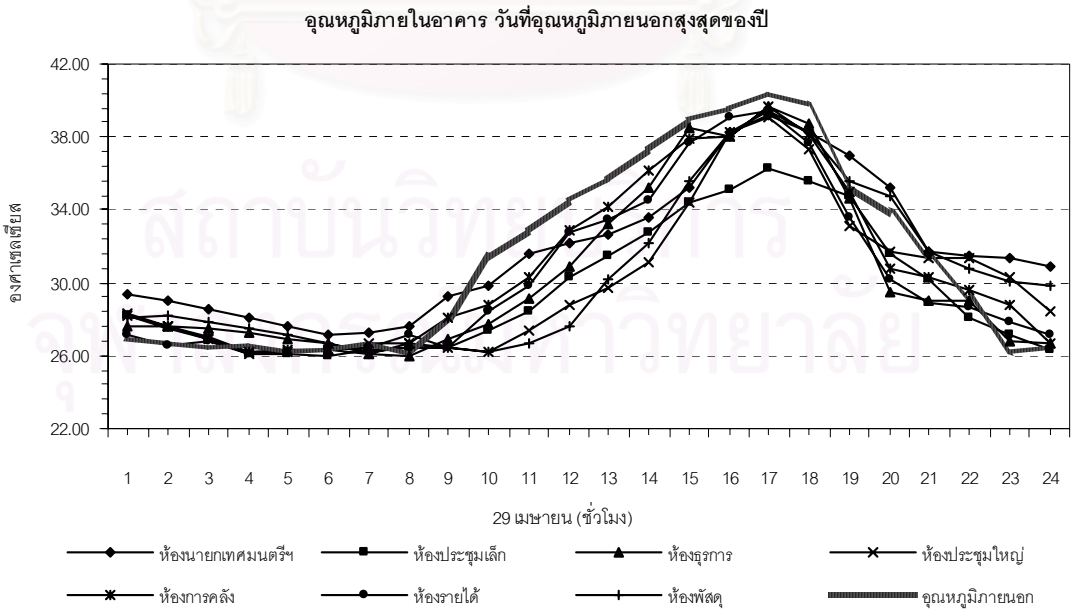
แหล่งที่มา : เอกสารเผยแพร่ข้อแนะนำการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน, 2543: 56

ตารางที่ 4.9 แสดงวันที่เลือกมาเป็นตัวแทนในการประเมินระดับสภาวะน่าสบายตลอดทั้งปี

คุณสมบัติของวันที่เลือก	วันตัวแทน	อุณหภูมิองศาเซลเซียส (dry bulb) พ.ศ. 2547		
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยสูงสุด	ค่าเฉลี่ยต่ำสุด
วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี	29 มีนาคม 2547	27.36	40.37	26.02
วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี	10 ธันวาคม 2547	19.54	28.31	17.54

แหล่งที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา, 2547: 12

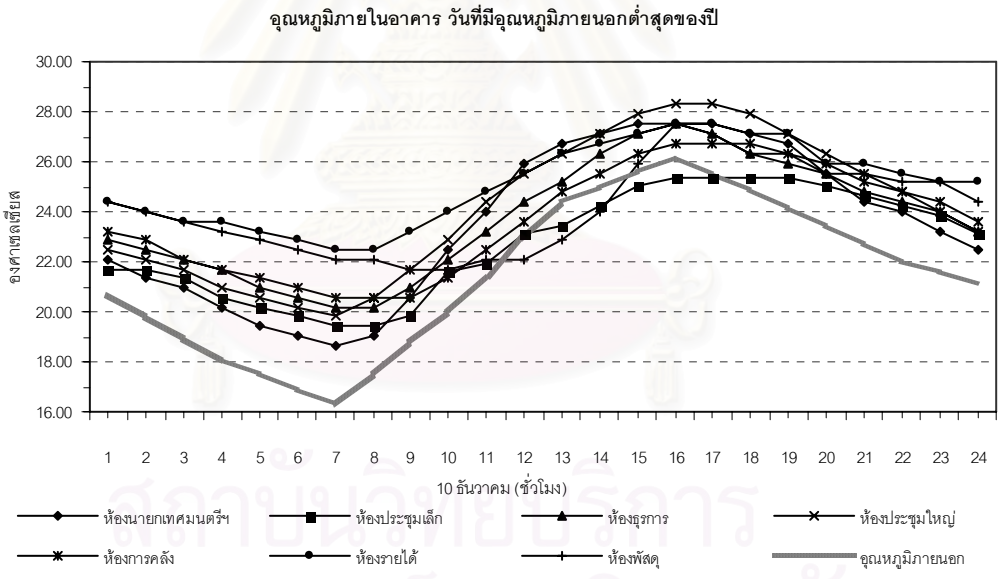
4.3.1 การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายในวันที่อุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิภายในอาคาร วันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (29 เมษายน)

จากแผนภูมิที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิภายในอาคารวันที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงสุดของปี (29 เมษายน) ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูร้อน สามารถวิเคราะห์สภาวะน่าสบายโดยจำแนกตามช่วงเวลาที่มีการใช้สอยในแต่ละพื้นที่ คือ ช่วงเวลา (08.00-16.30 น.) เป็นช่วงที่มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ของอาคาร ซึ่งห้องพัฒนารายได้มีอุณหภูมิภายในสูงสุดที่ 39.11 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก 1.26 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิภายในจะสูงสุดช่วงเวลา 16.00 น. และอุณหภูมิภายในจะลงต่ำสุดในช่วงเวลา 08.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเดียวกันกับอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด นอกจากนี้สังเกตุได้ว่าห้องทำงานที่อยู่ชั้นบน เช่น ห้องนายกเทศมนตรี ห้องประชุมใหญ่ ห้องประชุมเล็ก และห้องธุรการพบว่าห้องทำงานชั้นบนจะมีอุณหภูมิภายในสูงกว่าห้องทำงานที่อยู่ด้านล่าง โดยเกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคามีปริมาณสูง ส่วนห้องทำงานที่อยู่ชั้นล่าง เช่น ห้องการคลัง ห้องพัฒนารายได้ และห้องการพัสดุ พบว่าจะมีอุณหภูมิภายในต่ำกว่าชั้นบนเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเข้าผ่านผนังมีผลกระทบต่อห้องต่ำกว่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา และจากการวิเคราะห์แผนภูมิพบว่าห้องประชุมเล็กเป็นห้องที่มีอุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกถึง 4.39 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีช่องเปิดมากกว่าห้องอื่น ๆ มีค่า 50 % ซึ่งทำให้มีเวลาหน่วง (time lag) มากกว่าห้องอื่น ๆ ภายในอาคาร

4.3.2 การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายในวันที่อุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี



แผนภูมิที่ 4.15 แสดงอุณหภูมิภายในอาคาร วันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี (10 ธันวาคม)

จากแผนภูมิที่ 4.15 แสดงอุณหภูมิภายในอาคารวันที่มีอุณหภูมิภายนอกต่ำสุดของปี(10 ธันวาคม) ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูหนาว สามารถวิเคราะห์สภาวะน่าสบายโดยจำแนกตามช่วงเวลาที่มีการใช้สอยในแต่ละพื้นที่ คือช่วงเวลา (08.00-16.30 น.) เป็นช่วงที่มีพฤติกรรมการใช้สอยพื้นที่ของอาคาร ซึ่งห้องประชุมใหญ่มีอุณหภูมิภายในสูงสุดที่ 28.31 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก 2.11 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิภายในจะสูงสุดช่วงเวลา 16.00 น. และอุณหภูมิภายในจะลงต่ำสุดในช่วงเวลา 07.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเดียวกันกับอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด จากการสังเกตุพบว่าอุณหภูมิอากาศภายในชั้นบนจะสูงกว่าชั้นล่างเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาสูงกว่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของอาคารแต่จากแผนภูมิสามารถวิเคราะห์ได้ว่าห้องพัสดุ

และห้องประชุมเล็กจะมีอุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอกเนื่องจากห้องพัสดุจะเป็นห้องที่มีต้นไม่ใหญ่ปกคลุมและมีช่องเปิดน้อยกว่าห้องอื่น ๆ ซึ่งแตกต่างจากห้องประชุมเล็กมีปริมาณช่องเปิดมากกว่าห้องอื่น ๆ ถึง 20 % จึงทำให้ห้องมีอุณหภูมิภายในค่อนข้างคงที่ทำให้มีเวลาหน่วงของอุณหภูมิสูงขึ้น

4.4 ข้อมูลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา (OTTV&RTTV)

จากข้อมูลอาคารทั้งหมดนำมาคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังของอาคาร (overall thermal Transfer หรือ OTTV) มีค่าสูงกว่าที่กฎหมายอนุรักษ์พลังงานกำหนด คือ อาคารเก่าต้องไม่เกิน 55 วัตต์ต่อตารางเมตร แต่อาคารกรณีศึกษาพบว่ามีค่า OTTV อยู่ที่ประมาณ 64.84 วัตต์ต่อตารางเมตร ส่วนหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาของอาคาร (roof thermal Transfer หรือ RTTV) มีค่าต่ำกว่าที่กฎหมายอนุรักษ์พลังงานกำหนด คือ อาคารเก่าต้องไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งอาคารกรณีศึกษามีค่า RTTV อยู่ที่ประมาณ 13.75 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งได้จากการวัดค่าในสภาพจริงของอาคารเทศบาลนครนครราชสีมา มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคา

ทิศผนังอาคาร		สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (วัตต์/ตร.ม-เคลวิน)		ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด		WWR	OTTV (วัตต์/ตร.ม)
		ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	SC1	SC2		
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	3.073	5.893	0.96	0.892	33.20%	62.184
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	3.073	5.893	0.96	0.892	29.07%	52.949
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	3.073	5.893	0.96	0.892	35.59%	70.423
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	3.073	5.893	0.96	0.892	34.64%	73.891
ค่า OTTV รวมของอาคาร							64.843
ค่า RTTV รวมของอาคาร							13.757

4.5 การเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษากับอาคารจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

จากการเปรียบเทียบอาคารกรณีศึกษานั้น เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าอาคารจำลองสภาพในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถเป็นตัวแทนของอาคารกรณีศึกษาได้หรือไม่ จึงต้องนำรายงานผลที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาเปรียบเทียบกับการเก็บข้อมูลจากอาคารกรณีศึกษา ซึ่งเป็นอาคารที่ปรับอากาศ โดยประเภทของข้อมูลที่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้นั้น มีรายละเอียดดังนี้

1) เป็นข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี
2) สัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย
3) ความต้องการการใช้พลังงานสูงสุดตลอดทั้งปี
4) สัดส่วนความต้องการการใช้พลังงานสูงสุดต่อพื้นที่อาคาร
5) สัดส่วนการใช้พลังงานจากกลุ่มการใช้หลัก 3 กลุ่มซึ่งได้แก่ การทำความเย็น (Cooling) แสงสว่าง (Lighting) และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (Receptacles)

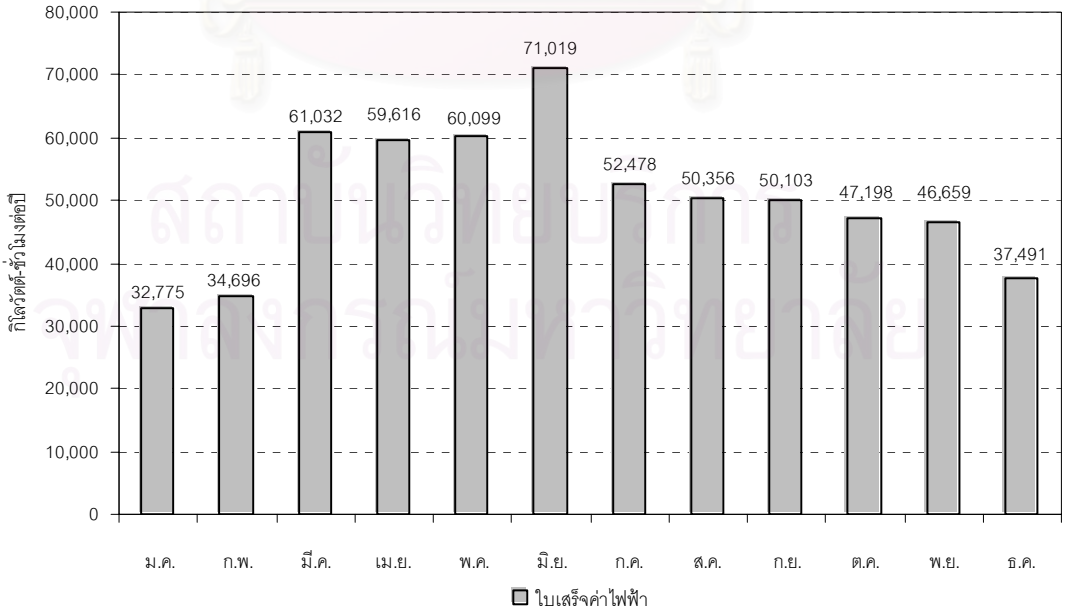
6) สัดส่วนการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นอันเนื่องมาจากส่วนประกอบสถาปัตยกรรมต่าง ๆ เช่นผนัง พื้น หลังคา ประตู หน้าต่าง หลอดไฟ แหล่งความร้อนภายในอื่นๆ และการรั่วซึมของอากาศจากภายนอก

4.5.1 ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในตลอดทั้งปีของอาคารกรณีศึกษา

จากการสำรวจเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าและการจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาเปรียบเทียบกัน จากแผนภูมิที่ 4.16 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของปี พ.ศ. 2547 พบว่าเดือนมิถุนายนจากใบเสร็จค่าไฟฟ้ามีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงกว่าเดือนอื่น ๆ เนื่องจากมีกิจกรรมการเลือกตั้งซึ่งทำให้มีช่วงเวลาในการทำงานมากกว่าปกติ ปกติใช้เวลาในการทำงาน 8 ชั่วโมง (08.00-16.00 น.) แต่ในช่วงเลือกตั้งใช้เวลาในการทำงาน 15 ชั่วโมง (08.00-23.00 น)

ผลจากการเก็บข้อมูลจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษา ในช่วงเดือนมิถุนายนมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 71,019 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมที่อยู่ในช่วงฤดูร้อนเช่นกัน พบว่าในเดือนมีนาคมมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 61,032 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ลดลงจากเดือนมิถุนายนคิดเป็นร้อยละ 14.06 เดือนเมษายนมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 59,616 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ลดลงจากเดือนมิถุนายนคิดเป็นร้อยละ 16.06 และเดือนพฤษภาคมมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 60,099 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี ลดลงจากเดือนมิถุนายนคิดเป็นร้อยละ 15.38 สรุปได้ว่าการเลือกตั้งในเดือนมิถุนายนมีผลกระทบต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานเทศบาลเฉลี่ยร้อยละ 15.16

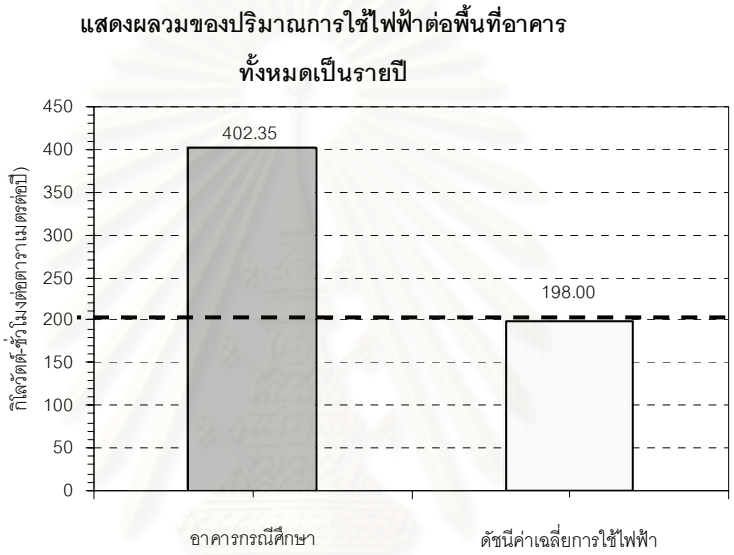
เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของใบเสร็จค่าไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2547 ของอาคารกรณีศึกษา : อาคารเทศบาลนครนครราชสีมา จ.นครราชสีมา



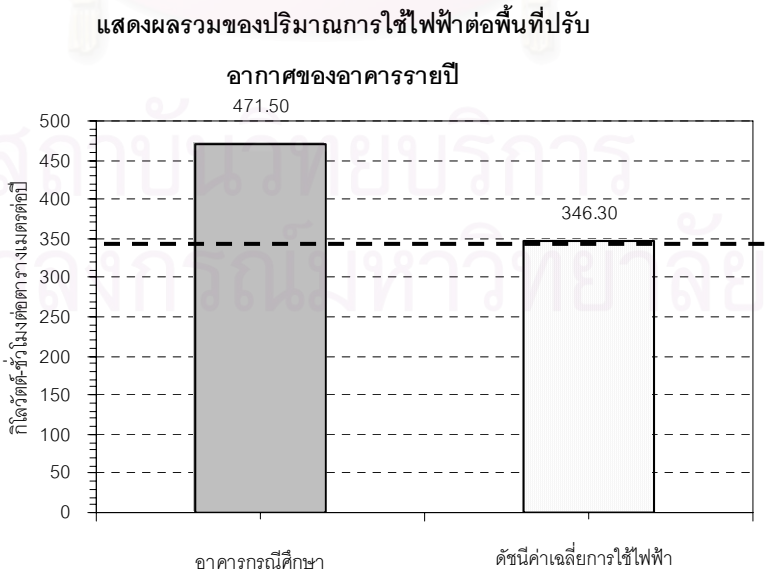
แผนภูมิที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากใบเสร็จค่าไฟฟ้า

4.5.2 ข้อมูลเปรียบเทียบดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารสำนักงาน

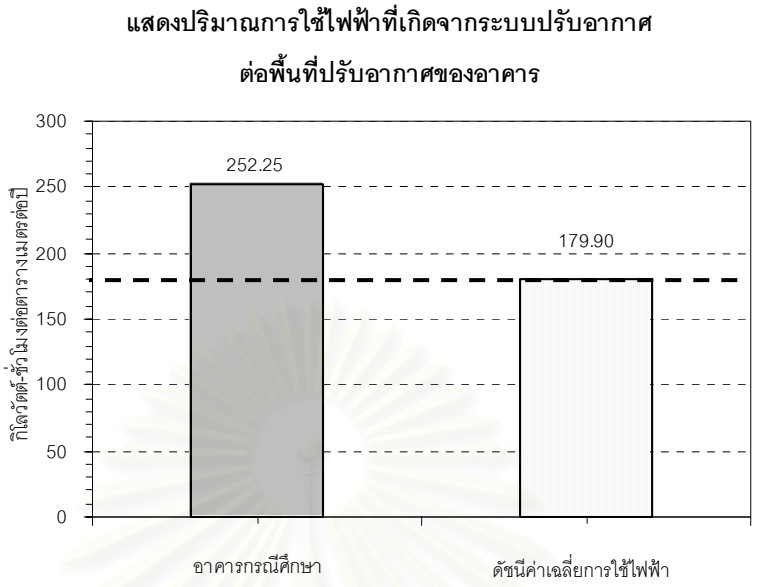
ค่าดัชนีที่บ่งชี้การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารหาได้จากปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคาร ในรูปของปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารรายปี ซึ่งค่าดังกล่าวค่อนข้างจะหามาได้ง่าย และนิยมใช้ในหลาย ๆ เมือง ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารรายปี ปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศต่อพื้นที่ทั้งหมดของอาคารรายปี และปริมาณการใช้พลังงานแสงสว่างต่อพื้นที่หมดของอาคารรายปีดังแผนภูมิต่อไปนี้ (พงษ์พัฒน์ มั่งคั่ง, 2545 : 10-13)



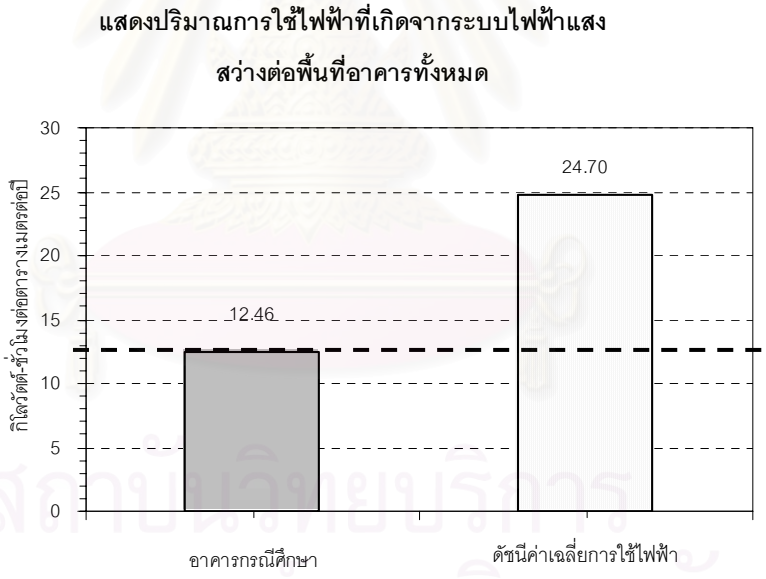
แผนภูมิที่ 4.17 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดเป็นรายปี



แผนภูมิที่ 4.18 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ปรับอากาศของอาคารเป็นรายปี



แผนภูมิที่ 4.19 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากเครื่องปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศของอาคาร

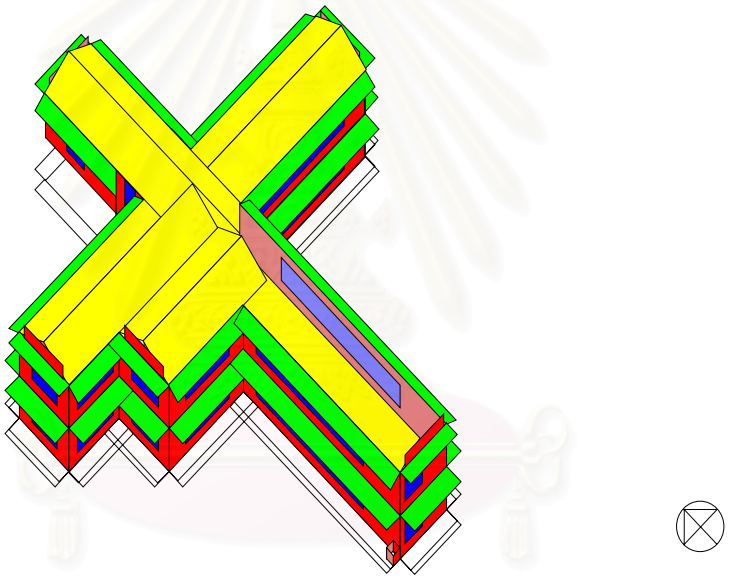


แผนภูมิที่ 4.20 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่อาคารทั้งหมด

สรุปการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอาคารกรณีศึกษากับดัชนีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดรายปี การใช้ไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงกว่าดัชนีการใช้ไฟฟ้าซึ่งสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 26 เป็นการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดรายปี ส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากระบบฟ้าแสงสว่างภายในอาคารมีปริมาณต่ำกว่าค่าดัชนีคิดเป็นร้อยละ 49 ดังนั้นระบบแสงสว่างภายในอาคารไม่จำเป็นต้องปรับปรุง

4.6 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของอาคาร

การป้อนข้อมูลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE-2 นั้นจะต้องเขียนข้อมูลและใส่คำสั่งที่โปรแกรมสามารถอ่านได้เข้าใจ ข้อมูลส่วนใหญ่ต้องบอกเป็นตัวเลข ค่ามุมมองศา ความกว้างความยาวหรือขนาดพื้นที่ในแต่ละด้าน การเขียนข้อมูลต้องใส่ให้ละเอียดครบถ้วน ผนังทุกด้านโดยเฉพาะผนังภายนอก หน้าต่าง พื้นห้อง ประตู ฝ้าเพดาน หลังคา รวมทั้งแผงกันแดด ตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละองค์ประกอบต้องบอกเป็นค่าพิกัด และสามารถตรวจสอบความถูกต้องทางกายภาพของอาคารที่จำลองสภาพในโปรแกรมผ่านทางโปรแกรมช่วยชื่อ Draw BDL. โดยนำข้อมูลที่เขียนเสร็จเรียบร้อย ส่งให้โปรแกรม Draw BDL อ่านและโปรแกรมจะรายงานผลออกมาเป็นรูปทรงอาคารในลักษณะ 3 มิติ ซึ่งสามารถตรวจสอบความถูกต้องของอาคารได้โดยนำไปเปรียบเทียบกับอาคารจริง จากการตรวจสอบพบว่า รูปทรงอาคารในโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความถูกต้องใกล้เคียงกับอาคารจริงมาก เว้นแต่ได้ตัดทอนรายละเอียดทางสถาปัตยกรรมออกไปบางส่วน



ภาพที่ 4.11 แสดงภาพอาคารที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Draw BDL

4.7 การศึกษาข้อดี – ข้อเสียของอาคารกรณีศึกษา

จากการสำรวจอาคารและศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ ในอาคารจริงและจากการจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สามารถสรุปข้อดี - ข้อเสียของอาคารกรณีศึกษา โดยจำแนกได้ดังนี้

4.7.1 มาตรฐานการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคาร

1) การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง เกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงานประเภทอาคารสำนักงานกำหนดให้อาคารเก่ามีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร (OTTV) ไม่เกิน 55 วัตต์ต่อตารางเมตร จากการคำนวณอาคารกรณีศึกษามีค่า 64.84 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมากกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ดังนั้นต้องมีการปรับปรุงแก้ไขในส่วนของผนัง

2) การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา เกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงาน กำหนดให้อาคารเก่ามีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาอาคาร (RTTV) ไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตร จากการคำนวณอาคารกรณีศึกษามีค่า 13.75 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ดังนั้นไม่ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขในส่วนของหลังคา เนื่องจากมีฉนวนกันความร้อนติดตั้งที่ใต้หลังคา นอกจากนี้หลังคามีทรงสูงและมีช่องระบายอากาศของหลังคาได้ค่อนข้างดี

4.7.2 มาตรฐานปริมาณค่าการให้พลังไฟฟ้าส่องสว่างต่อพื้นที่

เกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงานประเภทอาคารสำนักงานกำหนดให้พลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดไม่เกิน 16 วัตต์ต่อตารางเมตร จากการคำนวณอาคารกรณีศึกษามีค่า 7.84 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ดังนั้นไม่ต้องมีการปรับปรุงแก้ไข

4.7.3 มาตรฐานปริมาณค่าการส่องสว่างภายในอาคาร

ค่าระดับความส่องสว่างตามมาตรฐาน IES กำหนดให้สำหรับพื้นที่ห้องทำงาน ห้องประชุม กำหนดให้ระดับความส่องสว่างอยู่ที่ 200 – 500 ลักซ์ ส่วนพื้นที่ห้องน้ำ บันได และทางเดินกำหนดให้ระดับความส่องสว่างอยู่ที่ 100 – 200 ลักซ์ จากการทดสอบพบว่ามีห้องประชุมใหญ่ที่มีระดับการส่องสว่างต่ำกว่ามาตรฐานดังนั้นต้องมีการปรับปรุงแก้ไขในห้องประชุมใหญ่

4.7.4 มาตรฐานของเครื่องปรับอากาศ

เกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงาน กำหนดให้อาคารเก่าต้องมีค่ามาตรฐานเครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศไม่เกิน 1.61 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น มีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น (EER) ที่ 8.02 (เครื่องปรับอากาศเบอร์ 2) และมีค่า 1.49 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น

สรุปได้ว่าอาคารกรณีศึกษานี้มีค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคารของผนังมีค่าสูงมากซึ่งผนังของอาคารเป็นผนังก่ออิฐมอญฉาบปูนเรียบซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าการต้านทานความร้อนที่ต่ำมาก จึงถ่ายเทความร้อนเข้ามาในอาคารได้อย่างเต็มที่ส่วนหน้าต่างเป็นกรอบไม้กระจกใส ไม่สามารถป้องกันแสงแดดได้เลย จึงพบว่าแสงแดดส่องผ่านผนังส่วนกระจกเข้ามาได้อย่างเต็มที่เช่นกัน สำหรับส่วนของหลังคาที่อยู่ชั้นบนสุดของอาคาร วัสดุที่ใช้เป็นกระเบื้องซีแพคโมเนียสีเขียว ซึ่งใต้หลังคาไม่มีฉนวนกันความร้อนแต่มีช่องว่างภายในทำให้ป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้อย่างดี

สำหรับในส่วนไฟฟ้าแสงสว่างนั้น พบว่าระบบที่มีประสิทธิภาพดีค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าต่อตารางเมตรน้อยมากเพราะหลอดไฟที่ใช้โคมสะท้อนแสงมีค่าระดับความส่องสว่างโดยเฉลี่ยอยู่ที่เกณฑ์มาตรฐานและดัชนีของปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบแสงสว่างแต่ส่วนที่ติดกับหน้าต่างก็สูงเกินไปทำให้ทุกห้องต้องติดตั้งผ้าม่านภายในอาคารดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงในบางห้อง

ส่วนระบบเครื่องปรับอากาศเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพต่ำเบอร์ 2 เนื่องจากมีอายุการใช้งานนานทำให้ต้องมีการบำรุงรักษาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศก็ควรมีการปรับเปลี่ยนเพราะว่าจะเปิดทำงานทั้งวันในบางห้องทำให้มีการใช้พลังงานสูงขึ้น ดังนั้นต้องการมีการปรับปรุงในส่วนการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

บทที่ 5

การพิจารณาแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

จากการสำรวจและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาแล้ว จึงนำข้อมูลต่าง ๆ มาป้อนค่าเข้าในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DOE-2 โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการพิจารณาดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษากับโปรแกรม DOE-2

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์ผลต่าง ๆ จากการจำลองด้วยโปรแกรม DOE-2

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดแนวทางในการปรับปรุงอาคาร

ขั้นตอนที่ 4 สรุปแนวทางในการปรับปรุงอาคารด้านเทคนิค

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของแนวทางที่ปรับปรุง

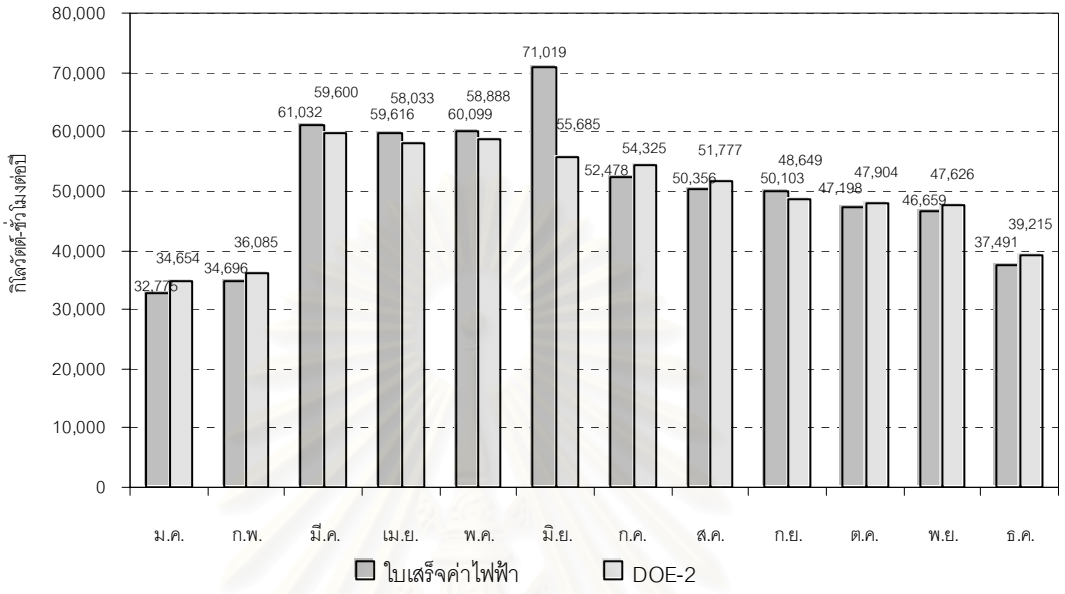
5.1 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของอาคากรณีศึกษากับโปรแกรม DOE-2

จากการสำรวจเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าและการจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาเปรียบเทียบกัน จากแผนภูมิที่ 5.1 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนของปี พ.ศ. 2547 พบว่าเดือนมิถุนายนจากใบเสร็จค่าไฟฟ้ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าเดือนอื่น ๆ เนื่องจากมีกิจกรรมการเลือกตั้งจึงไม่นำข้อมูลมาพิจารณาในการเปรียบเทียบการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้ารายเดือนภายในอาคารเนื่องจากข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อน

ผลจากการเก็บข้อมูลจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษา ในช่วงเดือนมีนาคมมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 61,032 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และผลจากการจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดที่ 59,600 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งต่างกันร้อยละ 14.32 ซึ่งเป็นเดือนที่อยู่ในฤดูร้อน ดังนั้นจึงเปิดเครื่องปรับอากาศทั้งวันทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมาก ส่วนช่วงเดือนมกราคมมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดเนื่องจากอยู่ในช่วงฤดูหนาว จากการเก็บข้อมูลจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษามีปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ 32,775 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และผลจากการจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ 34,654 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งต่างกันร้อยละ 18.79

จากผลดังกล่าวจึงถือได้ว่าอาคารในแบบจำลองมีค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกับอาคารจริงโดยมีค่าความแตกต่างระหว่างร้อยละ 10 – 20 ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ากับอาคารที่ทำการปรับปรุงวัสดุใหม่ว่าสามารถช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าเป็นจำนวนมากน้อยเพียงใด

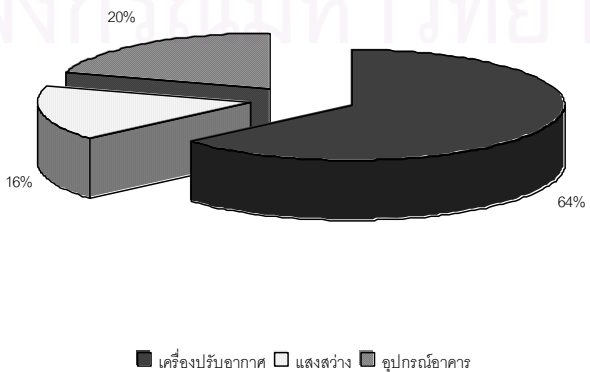
เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนระหว่างใบเสร็จค่าไฟฟ้ากับโปรแกรม DOE-2
ปีพ.ศ 2547 ของอาคารกรณีศึกษา : อาคารเทศบาลนครนครราชสีมา จ.นครราชสีมา



แผนภูมิที่ 5.1 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายเดือนจากใบเสร็จค่าไฟฟ้ากับโปรแกรม DOE-2 ของปี พ.ศ. 2547

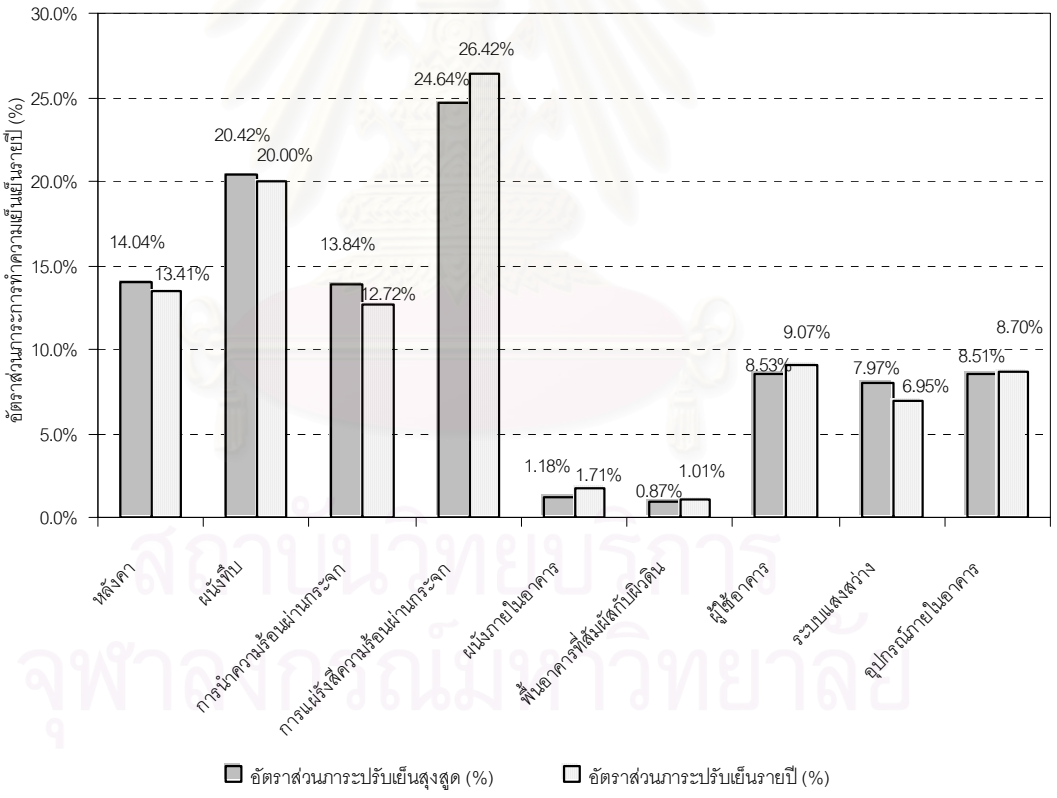
5.2 เปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารกรณีศึกษา

จากผลการจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่าอาคารกรณีศึกษามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีประมาณ 609,048 กิโลวัตต์ – ชั่วโมงต่อปี โดยมีการแบ่งสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าตามประเภทการใช้งานพบว่า อัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปในระบบปรับอากาศซึ่งมีสัดส่วนร้อยละ 64 ระบบอุปกรณ์ภายในอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสัดส่วนร้อยละ 20 และระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสัดส่วนร้อยละ 16 ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศมีปริมาณสูงที่สุดเนื่องจากเครื่องปรับอากาศมีสภาพที่เก่าจึงส่งผลให้การทำงานไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งส่วนใหญ่ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารสำนักงานจะมีปริมาณน้อยที่สุดทำให้ไม่มีผลกระทบต่อปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยจะแสดงสัดส่วนรายละเอียดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแผนภูมิที่ 5.2 ดังต่อไปนี้



แผนภูมิที่ 5.2 แสดงสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่จำแนกตามระบบการใช้งานภายในอาคาร

จากแผนภูมิที่ 5.3 แสดงภาระการทำความเย็นสูงสุดของอาคาร มีการพิจารณาในวันที่ 14 มีนาคม เวลา 16:00 น. ซึ่งเป็นวันที่ภาระการทำความเย็นสูงสุด (peak cooling load) ทำให้ทราบถึงลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นว่าเกิดจากการแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจกเป็นส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละ 24.91 ของความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เนื่องจากผนังกระจกของอาคารมีการป้องกันการแผ่รังสีเข้ามาภายในอาคารได้ต่ำ จึงทำให้ความร้อนเข้ามาภายในอาคารสูง รูปทรงของอาคารที่เป็นกากบาทนั้นมีเปลือกอาคารมากกว่ารูปทรงแบบอื่น ๆ จึงมีผลให้ความร้อนเข้ามาภายในอาคารสูงเช่นกัน นอกจากการแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจกแล้วการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังภายนอกอาคารก็มีผลกระทบต่ออาคารความร้อนที่เข้าภายในอาคารคิดเป็นร้อยละ 20.65 ส่วนหลังคาคิดเป็นร้อยละ 14.19 และการนำความร้อนผ่านกระจก ก็มีผลต่อความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารคิดเป็นร้อยละ 13.99 จากองค์ประกอบที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าอาคารกรณีศึกษาต้องมีการปรับปรุงในส่วนของเปลือกอาคารทั้งหมดไม่ว่าจะเป็นผนังทึบ ผนังกระจก หลังคา เพราะมีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนทั้งสิ้น แต่ในส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีผลกระทบไม่มากนักจึงไม่นำมาพิจารณาในการปรับปรุงอาคารในครั้งนี้



แผนภูมิที่ 5.3 เปรียบเทียบภาระการทำความเย็นของอาคารกรณีศึกษาตามแหล่งที่มาของความร้อน

ตารางที่ 5.1 สรุปภาระการทำความเย็นสูงสุดในอาคารจำแนกตามแหล่งที่มาของความร้อน (กิโลวัตต์)

แหล่งที่มาความร้อน	ภาระการทำความเย็นสูงสุด (กิโลวัตต์)				ภาระการทำความเย็นรายปี (กิโลวัตต์ - ชั่วโมง)			
	ความร้อนสัมผัส	ความร้อนแฝง	รวม	อัตราส่วน	ความร้อนสัมผัส	ความร้อนแฝง	รวม	อัตราส่วน
หลังคา	287.21	0	287.21	14.04%	260,524	0	260,524	13.41%
ผนังทึบ	417.892	0	417.892	20.42%	388,752	0	388,752	20.00%
การนำความร้อนผ่านกระจก	283.093	0	283.093	13.84%	247,189	0	247,189	12.72%
การแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจก	504.147	0	504.147	24.64%	513,386	0	513,386	26.42%
ผนังภายในอาคาร	24.081	0	24.081	1.18%	33,308	0	33,308	1.71%
พื้นอาคารที่สัมผัสกับผิวดิน	17.873	0	17.873	0.87%	19,714	0	19,714	1.01%
ผู้ใช้อาคาร	152.583	21.975	174.558	8.53%	127,616	48,640	176,256	9.07%
ระบบแสงสว่าง	163.099	0	163.099	7.97%	135,130	0	135,130	6.95%
อุปกรณ์ภายในอาคาร	174.174	0	174.174	8.51%	169130	0	169,130	8.70%
รวม	1,562.77	21.98	2,046.13	100.0%	1,465,095	48,640	1,943,389	100.0%

5.3 การพิจารณาองค์ประกอบของภาระการทำความเย็นของอาคาร

5.3.1 จากภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาอาคาร ซึ่งหลังคาจั่ววัสดุเป็นซีแพคโมเนียซึ่งมีแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ฉนวนกันความร้อนใต้หลังคา ซึ่งปริมาณหลังคามีจำนวนมากดังนั้นจำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบวัสดุที่เลือกใช้ให้เหมาะสมกับอาคารสำนักงานเพื่อการประหยัดพลังงาน

5.3.2 จากภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร ซึ่งผนังเดิมเป็นผนังอิฐมอญซึ่งมีอายุการใช้งานเป็นเวลานานดังนั้นสามารถที่จะลดอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ต้องทำการเลือกใช้วัสดุใหม่หรือติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพื่อให้ประหยัดพลังงานภายในอาคาร

5.3.3 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์และการนำความร้อนผ่านกระจกผ่านเปลือกอาคารความร้อนส่วนกระจก กระจกของอาคารเป็นกระจกใสมีการป้องกันการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านเปลือกอาคารส่วนกระจก เข้ามาภายในอาคารต่ำที่สุดดังนั้นสามารถลดการแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจกได้จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนกระจกของอาคาร

5.3.4 ในส่วนของผนังภายในอาคาร , พื้นอาคารที่สัมผัสกับผิวดิน , ผู้ใช้อาคาร , ระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ภายในอาคารมีผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่สูงมากนัก จึงไม่นำมาพิจารณาหาแนวทางในการปรับปรุงอาคาร

ในการปรับปรุงองค์ประกอบอาคารมีหลายแนวทาง ดังนั้นจำเป็นต้องมีการพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการดำเนินการประกอบก่อน และทำการจำลองสภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เมื่อจำลองสภาพการใช้พลังงานแต่ละแนวทางที่เป็นไปได้ของแต่ละองค์ประกอบแล้วจำเป็นต้องเลือกแนวทางที่เหมาะสมโดยใช้เกณฑ์พิจารณาในด้านลดการใช้พลังงานรายปี ซึ่งความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ประเมินระยะเวลาคุ้มทุนอย่างง่ายและพิจารณามูลค่าอาคารสะสม (net present value) แล้วนำแต่ละแนวทางที่เหมาะสมมารวมกัน เพื่อศึกษาผลแล้วจึงเลือกว่าควรจะทำการปรับปรุงมาก – น้อยเพียงใด โดยใช้เกณฑ์พิจารณาทางเลือกในด้านต้นทุนการลงทุนและมีระยะเวลาคุ้มทุนที่น้อยที่สุด นอกจากนี้ยังคำนึงถึงความเหมาะสมด้านเทคนิคการก่อสร้างและการปรับปรุงอาคาร

5.4 แนวทางการประเมินผลการคัดเลือกวัสดุ

การประเมินผลการคัดเลือกวัสดุโดยการศึกษาศักยภาพของวัสดุจากผลของสภาวะน่าสบายภายในอาคารร่วมกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการปรับค่าทั้งหมดให้อยู่ในรูปแบบดัชนี (index) เพื่อทำการเปรียบเทียบขั้นตอนหลักในการประเมินค่าในแต่ละกรณีศึกษาให้เป็นรูปแบบอาคารที่ประหยัดพลังงานและคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์

5.5 แนวทางการประเมินผลความเหมาะสมทางด้านเทคนิค , ราคาและความคุ้มทุน

การประเมินผลในด้านกายภาพของวัสดุ ได้มีการประเมินผลอยู่สามส่วนที่ต้องการทำการพิจารณาคือ

5.5.1 ความเหมาะสมทางด้านเทคนิค (technical evaluation)

5.5.2 ความเหมาะสมด้านราคา (cost evaluation)

5.5.3 ความเหมาะสมด้านความคุ้มทุน (economic evaluation)

การประเมินผลทางด้านเทคนิคตามราคาที่ขายตามท้องตลาดหาได้ง่าย ส่วนทางด้านราคาและความคุ้มทุน ใช้วิธีการประเมินเปรียบเทียบด้วยค่าราคาต่อหน่วยและราคาต่อพื้นที่ ในเรื่องการประเมินความคุ้มทุนใช้วิธีการคำนวณผลต่างของราคาค่าก่อสร้าง เปรียบเทียบกับผลต่างมูลค่าการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าระหว่างอาคารตัวแทน (base case) กับอาคารที่ได้ทำการเปลี่ยนวัสดุ ชนิด เพื่อหาอัตราระยะเวลาคืนทุน (simple payback period) จากนั้น life cycle cost และค่าปัจจุบันสุทธิ (net present value : NPV) แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน

5.6 เกณฑ์ในการกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร

ในการพิจารณาเพื่อเลือกแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงอาคารนั้น นอกจากจะพิจารณาทางด้านเทคนิคแล้วจำเป็นต้องพิจารณาความเหมาะสมในด้านอื่น ๆ ด้วย ในการศึกษาครั้งนี้จึงต้องมีการกำหนดหลักเกณฑ์ขึ้นมาเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงอาคารที่เหมาะสม เกณฑ์การกำหนดแนวทางปรับปรุงอาคารมีดังนี้

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบข้อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานกับข้อมูลอาคารกรณีศึกษา

	ข้อมูล	เกณฑ์มาตรฐาน อาคารประเภทสำนักงาน	ข้อมูลอาคารสำนักงาน อาคารกรณีศึกษา
มาตรฐานทางด้านกฎหมาย	ค่า OTTV (W/m^2)	อาคารเก่า 55	64.843
	ค่า RTTV (W/m^2)	25	13.757
	พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง (W/m^2) (ในพื้นที่ปรับอากาศ)	16	12.46
	มาตรฐานเครื่องปรับอากาศ (EER)	10.6	8.02
มาตรฐานด้านคุณภาพ	ระดับความส่องสว่าง (Lux)	200 - 500	322.99

5.7 แนวทางการเลือกลักษณะรูปแบบและการวางผังอาคารสำนักงาน

จากการศึกษาลักษณะการวางผัง การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างของเปลือกอาคาร ช่วงเวลาการใช้งานของอาคาร และงานระบบอาคาร ซึ่งในการเลือกรูปแบบอาคารเลือกใช้วัสดุจากอาคารกรณีศึกษาในการพิจารณาก่อนการเปลี่ยนวัสดุต่าง ๆ เพื่อการประหยัดพลังงาน โดยการสร้างรูปแบบอาคารตัวแทนจะพิจารณาสภาพโดยทั่วไปของอาคารดังต่อไปนี้

- กำหนดพื้นที่อาคารทั้งหมด 1,500 ตารางเมตร
- โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กพื้นวางบนดิน ไม่มีใต้ถุน
- ไม่มีการบังแดดจากอาคารข้างเคียง เช่น ต้นไม้
- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U factor) ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา (Shading Coefficient - SC) ตามข้อมูลของอาคากรณีศึกษา และค่าคุณสมบัติอื่นๆ ตามมาตรฐานทั่วไป
- มีค่าสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างกระจกต่อพื้นที่ผนังภายนอกทั้งหมด (Window-to-wall ratio - WWR) เป็นไปตามข้อมูลของอาคารกรณีศึกษา

5.7.1 วิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานของอาคารแต่ละประเภท

จากการวิเคราะห์ฐานการใช้พลังงานของอาคารที่รูปแบบต่าง ๆ โดยกำหนดลักษณะทางกายภาพให้เหมือนอาคารกรณีศึกษา แล้วนำข้อมูลมาป้อนเข้าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์หาอาคารที่เหมาะสมกับการนำมาเป็นอาคารตัวแทน ซึ่งผลที่ได้มาพัฒนาจะนำมาเป็นรูปแบบการใช้พลังงานของอาคารแต่ละประเภท (Energy Use Profile) ตามรายละเอียดต่อไปนี้

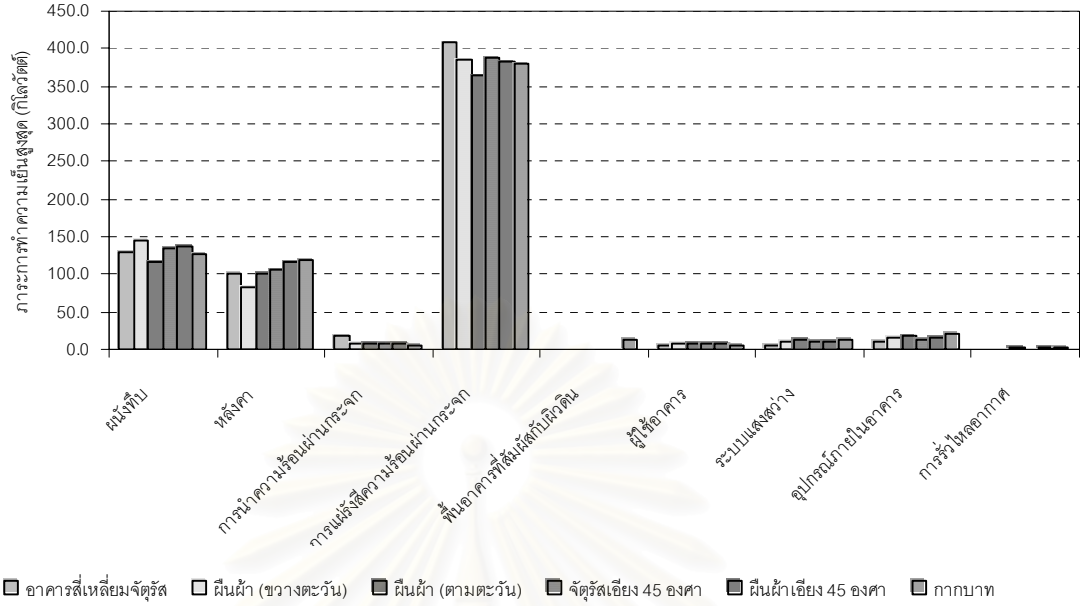
ตารางที่ 5.3 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของรูปทรงอาคารแบบต่าง ๆ

ลำดับ	รูปทรง	ขนาด	พื้นที่ (sq.m)	เปลือกอาคาร /พื้นที่อาคาร	Maximum Cooling Load (kBtu/hr/sq.m)	Cooling Energy (MBTU/sq.m)	Electrical Energy (kWh/sq.m)
1		(27.5x27.5x6)	1,500	0.44	14.693	3.324	524.484
2		(16.00x31.00x6)	1,500	0.46	12.846	2.767	449.731
3		**(31.00x16.00x6)**	**1,500**	**0.46**	**12.414**	**2.595**	**427.012**
4		(27.5x27.5x6)	1,500	0.44	12.547	2.704	442.423
5		(16.00x31.00x6)	1,500	0.46	12.444	2.709	442.029
6		(12x12x6)	1,500	0.59	13.011	2.393	470.567

ตารางที่ 5.4 สัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีภายในอาคารรูปแบบต่าง ๆ

ประเภทพลังงาน	อาคารสี่เหลี่ยมจัตุรัส	อาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ขวางตะวัน)	อาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตามตะวัน)	อาคารสี่เหลี่ยมจัตุรัสเอียง 45 องศา	อาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้าเอียง 45 องศา	กากบาท
แสงสว่าง	44,612	44,612	44,612	44,612	44,612	80,246
อุปกรณ์ภายในอาคาร	66,918	66,918	66,918	66,918	66,918	120,370
เครื่องปรับอากาศ	644,183	532,604	498,746	520,996	521,971	448,654
รวม	755,713	644,134	610,276	632,526	633,501	649,270
กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี	503.809	429.423	396.851	421.684	422.334	432.847

จากตารางที่ 5.4 แสดงรูปทรงอาคารที่นำมาวิเคราะห์เพื่อหาอาคารรูปแบบต่าง ๆ ที่มีความเหมาะสมที่สุดในการประหยัดพลังงาน พบว่า อาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่วางตามแนวดวงอาทิตย์ มีผลรวมของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดมีค่า 396.851 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปีคิดเป็นร้อยละ 8.31 เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารรูปทรงกากบาทเนื่องจากเป็นรูปทรงของอาคารกรณีศึกษา แล้วจึงนำข้อมูลจากอาคารจริงมาป้อนเข้าเพื่อจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น โครงสร้างอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก กระจกใสพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก หลังคาซีแพคโมเนียติดตั้งอลูมิเนียมฟอยล์ และอัตราส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมดของอาคาร (WWR) โดยกำหนดร้อยละ 40 เป็นต้น



แผนภูมิที่ 5.4 สัดส่วนการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นอันเนื่องมาจากส่วนประกอบทางสถาปัตยกรรม

ตารางที่ 5.5 สรุปภาระการทำความเย็นสูงสุดในของอาคารแต่ละรูปแบบ

ประเภทพลังงาน	อาคารสี่เหลี่ยมจัตุรัส	อาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ขวางตะวัน)	อาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ตามตะวัน)	อาคารสี่เหลี่ยมจัตุรัสเอียง 45 องศา	อาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้าเอียง 45 องศา	กากบาท
ผนังทึบ	129.396	143.952	116.127	134.218	137.018	126.021
หลังคา	100.428	83.563	100.772	105.031	117.631	118.953
การนำความร้อนผ่านกระจก	17.911	6.715	7.54	6.857	8.62	6.284
การแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจก	408.825	384.977	364.357	388.328	382.645	381.046
พื้นอาคารที่สัมผัสกับผิวดิน	0.938	0.901	0.538	0.802	0.838	13.347
ผู้ใช้อาคาร	4.588	7.192	8.973	6.831	7.488	5.493
ระบบแสงสว่าง	6.228	9.655	12.091	9.277	10.203	13.603
อุปกรณ์ภายในอาคาร	9.214	14.318	17.864	13.719	14.906	19.843
การรั่วไหลอากาศ	1.170	1.159	1.932	1.17	1.353	2.104
รวม	678.70	652.43	630.19	666.23	680.70	686.69

จากสัดส่วนการใช้พลังงานเพื่อการทำความเย็นอันเนื่องมาจากส่วนประกอบสถาปัตยกรรมต่างๆ

- การแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจกซึ่งอาคารสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีปริมาณการทำความเย็นสูงสุดมีค่า 408.825 กิโลวัตต์ ส่วนอาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางตามแนวดวงอาทิตย์มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดมีค่า 364.357 กิโลวัตต์

- ภาระการทำความเย็นผ่านผนัง ซึ่งอาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้าขวางแนวดวงอาทิตย์มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 143.39 กิโลวัตต์ ส่วนอาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางตาม แนวดวงอาทิตย์มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดมีค่า 116.12 กิโลวัตต์
- ภาระการทำความเย็นผ่านหลังคา ซึ่งอาคารกากบาท มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดมีค่า 118.953 กิโลวัตต์ ส่วนอาคารสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางขวางแนวดวงอาทิตย์มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดมีค่า 83.56 กิโลวัตต์

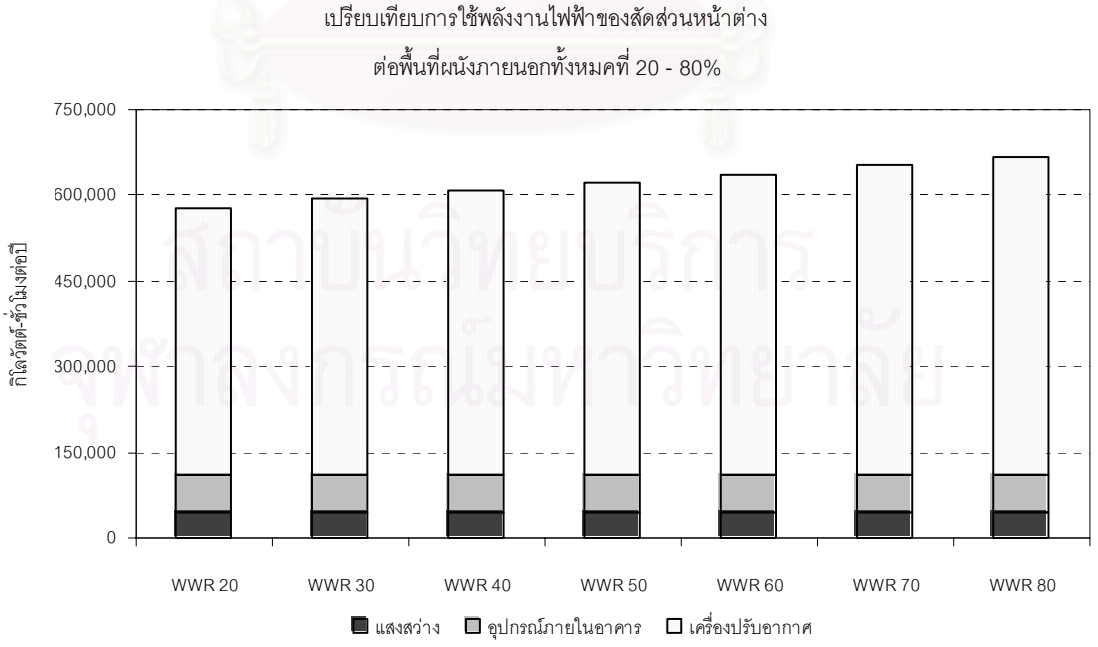
5.7.2 วิเคราะห์สัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังภายนอกทั้งหมด (WWR20 – 80)

หลังจากการเลือกอาคารตัวแทนแล้วจึงทำการหาสัดส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังภายนอกทั้งหมดที่เหมาะสมกับอาคารสำนักงานเพื่อให้ประหยัดพลังงาน โดยมีการตั้งเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าตามมาตรฐานที่ 198 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (พงษ์พัฒน์ มั่งคง, 2545 : 10) ซึ่งแสดงค่าจากแผนภูมิที่ 5.6 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.6 แสดงสัดส่วนหน้าต่างต่อพื้นที่ผนังภายนอกทั้งหมดที่ (WWR20 – 80%)

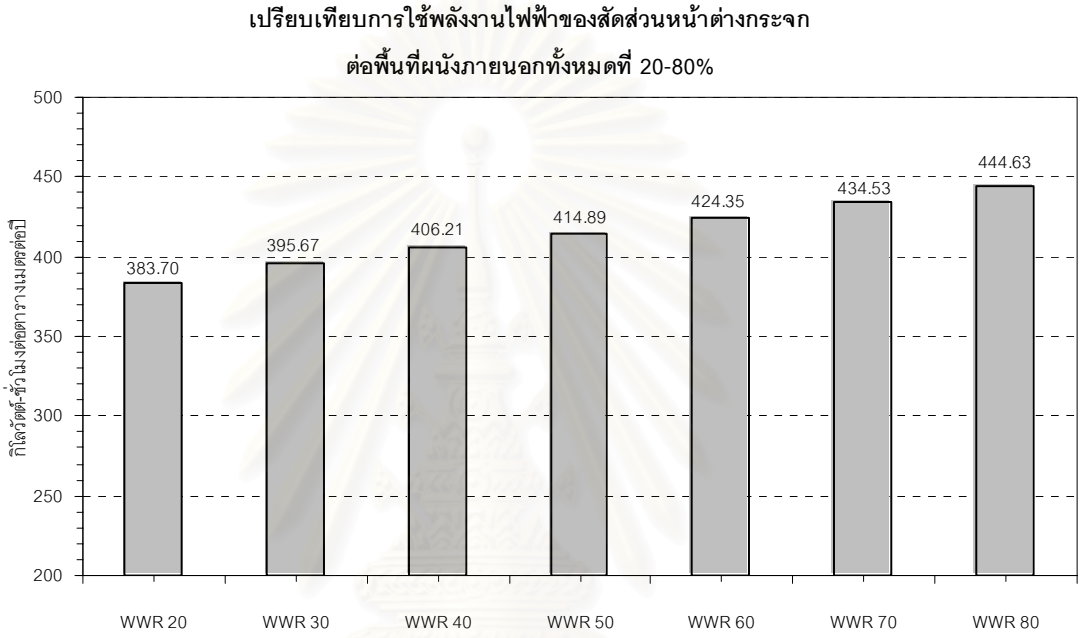
ประเภทพลังงาน	WWR 20	WWR 30	WWR 40	WWR 50	WWR 60	WWR 70	WWR 80
แสงสว่าง	44,226	44,226	44,226	44,226	44,226	44,226	44,226
อุปกรณ์ภายในอาคาร	66,339	66,339	66,339	66,339	66,339	66,339	66,339
เครื่องปรับอากาศ	464,980	482,934	498,746	511,773	525,963	541,233	556,380
รวม	575,545	593,499	609,311	622,338	636,528	651,798	666,945
กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี	383.70	395.67	406.21	414.89	424.35	434.53	444.63

หมายเหตุ : ตั้งเป้าหมายของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ 198 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี



แผนภูมิที่ 5.5 เปรียบเทียบกลุ่มการใช้พลังงานไฟฟ้าขนาดของพื้นที่หน้าต่างต่อผนังภายนอกทั้งหมด

จากแผนภูมิที่ 5.5 จากการเปรียบเทียบพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังภายนอกทั้งหมดของ WWR20-80% ซึ่งสามารถเปรียบเทียบจากสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศ (Cooling) แสงสว่าง (Lighting) และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (Receptacles) สัดส่วนของเครื่องปรับอากาศมีปริมาณสูงกว่าสัดส่วนแสงสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 80 สรุปว่าไม่มีแนวทางใดผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการเพิ่มวัสดุเปลือกอาคารที่มีการต้านทานความร้อนสูงและมีความหนามากขึ้น เพื่อทำให้ลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลง



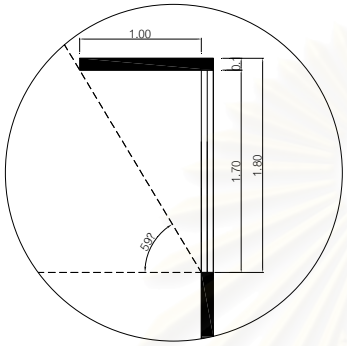
แผนภูมิที่ 5.6 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของขนาดพื้นที่หน้าต่างต่อผนังภายนอกทั้งหมด

จากแผนภูมิที่ 5.6 จากเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมด (WWR) พบว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารทุกแนวทางไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ 198 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี โดยอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของ WWR20 มีค่าต่ำที่สุดมีค่า 383.70 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี แต่ในความเป็นจริงแล้ว WWR20 มีปริมาณหน้าต่างน้อยกว่าเกินไป จึงทำให้แสงสว่างที่ผ่านเข้ามาภายในอาคารไม่เพียงพอ ทำให้ต้องเปิดไฟฟ้าแสงประดิษฐ์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น ดังนั้นจึงทำการเลือก WWR 30 เนื่องจากเกณฑ์มาตรฐานพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมด (WWR) ต่ำสุดของอาคารสำนักงานที่ค่า 26.5 (พงษ์พัฒน์ มั่งคง, 2545 : 12)

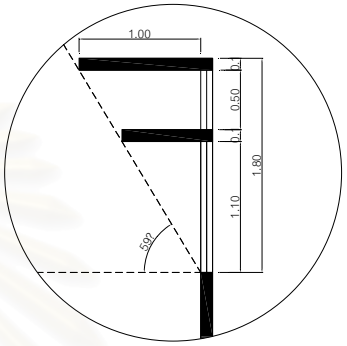
5.7.3 วิเคราะห์รูปแบบแผงกันแดด

หลังจากวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานของพื้นที่หน้าต่างต่อผนังภายนอกทั้งหมดรูปแบบต่าง ๆ พบว่าองค์ประกอบที่มีผลต่อการใช้ปริมาณพลังงานในอาคารเกิดจากการแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจกมากที่สุด ดังนั้นจำเป็นต้องเพิ่มแผงกันแดดเพื่อป้องกันความร้อนในทิศต่าง ๆ ที่เข้ามาภายในอาคาร การควบคุมแสงแดดและความร้อนดวงอาทิตย์ต้องคำนึงถึง รูปแบบของหน้าต่างแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ หน้าต่างต่อเนื่อง และ

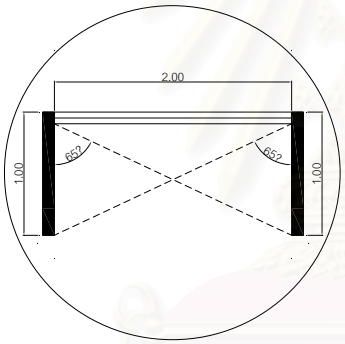
หน้าต่างไม่ต่อเนื่อง ว่ามีปริมาณการใช้พลังงานมากน้อยเพียงใด ดังนั้นจำเป็นต้องมีการออกแบบเพื่อลดการแผ่ความร้อนผ่านกระจกพบว่าควรเพิ่มแผงกันแดดโดยเลือกแนวทาง 4 แนวทาง คือ แผงกันแดดแบบแนวนอน 1 ชั้น , แผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้น , แผงกันแดดแบบแนวตั้ง และแผงกันแดดแบบผสม ทุกทิศทางของอาคาร โดยแผงกันแดดเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากลดปัญหาเรื่องการดูแลรักษา มีความแข็งแรงรับน้ำหนักได้ดี กำหนดการยื่นแผงกันแดดของอาคารระยะ 1.00-1.20 เมตร ตามทิศทางต่าง ๆ โดยมีการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังต่อไปนี้



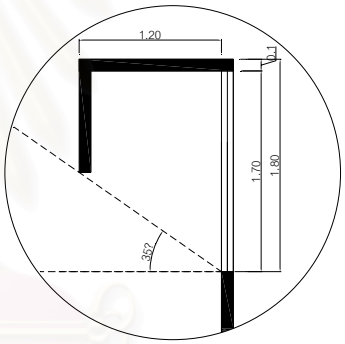
รูปแบบที่ 1 แผงกันแดดแบบแนวนอน 1 ชั้น



รูปแบบที่ 2 แผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้น



รูปแบบที่ 3 แผงกันแดดแบบแนวตั้ง

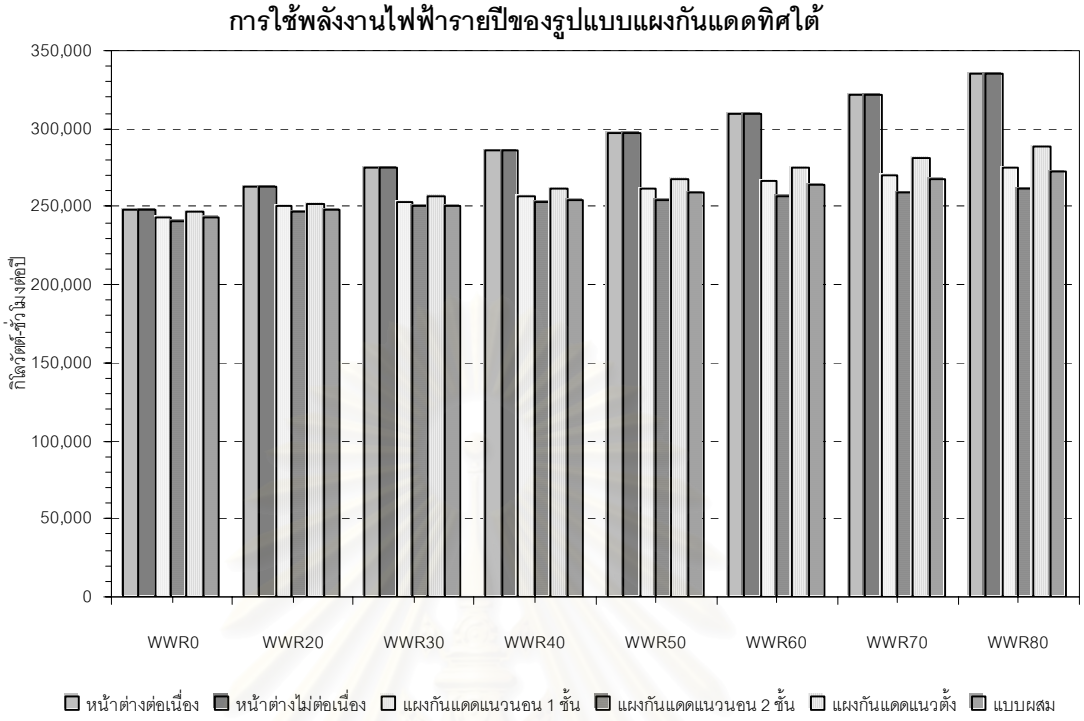


รูปแบบที่ 4 แผงกันแดดแบบผสม

ภาพที่ 5.1 แสดงรูปแบบของแผงกันแดดในทิศทางต่าง ๆ

ตารางที่ 5.7 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของแผงกันแดดทางทิศใต้

สัดส่วน	หน้าต่างต่อเนื่อง	หน้าต่างไม่ต่อเนื่อง	แผงกันแดดแนวนอน 1 ชั้น	แผงกันแดดแนวนอน 2 ชั้น	แผงกันแดดแนวตั้ง	แบบผสม
WWR0	247,607	247,607	242,958	**240,938**	246,252	242,831
WWR20	262,649	262,649	250,023	**246,635**	251,828	247,822
WWR30	275,589	275,589	252,951	**250,259**	256,473	250,884
WWR40	286,424	286,424	256,562	**252,535**	262,092	254,522
WWR50	297,655	297,655	261,386	**254,584**	267,906	258,653
WWR60	309,777	309,777	266,006	**256,966**	274,956	263,757
WWR70	322,221	322,221	270,530	**259,442**	281,183	267,822
WWR80	334,833	334,833	275,056	**261,911**	289,207	273,031
รวม	2,336,755	2,336,755	2,075,472	**2,023,270**	2,129,897	2,059,322

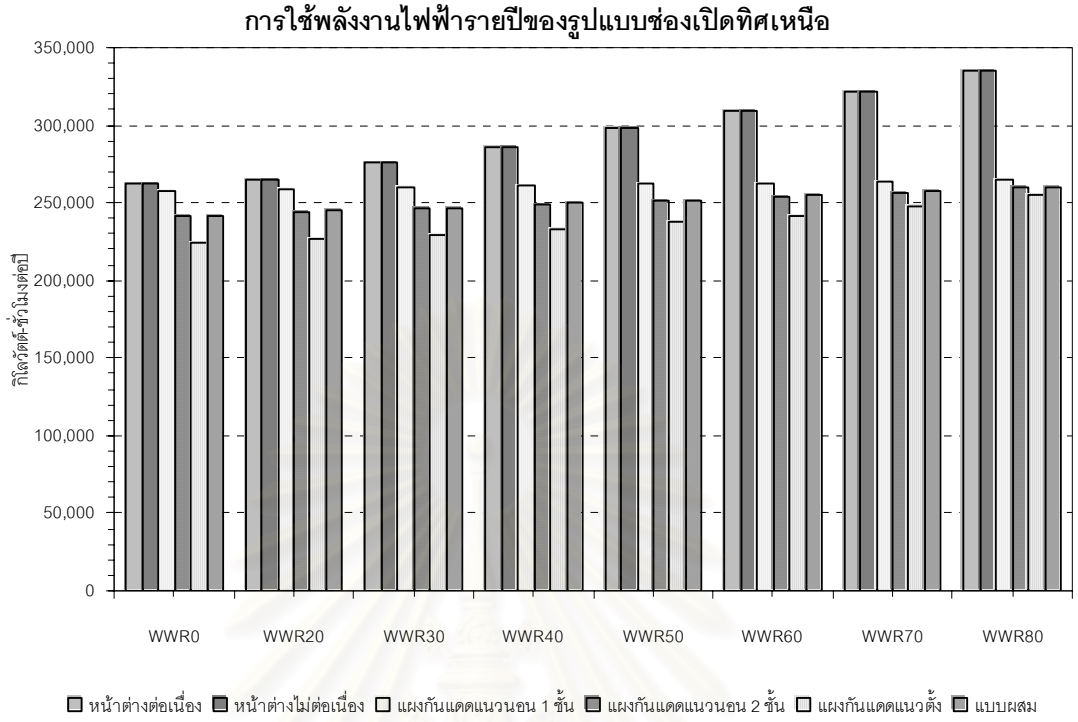


แผนภูมิที่ 5.7 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของรูปแบบแผงกันแดดทางทิศใต้

จากการจำลองแผงกันแดดทิศใต้ของอาคารรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งวันที่ 22 ธันวาคมเป็นวันที่ดวงอาทิตย์อ้อมใต้มากที่สุด และมุมทางตั้งของดวงอาทิตย์จะทอดต่ำกว่าในเดือนมิถุนายนมาก ดังนั้นทำให้ต้องยื่นแผงกันแดดยาวกว่าทางด้านทิศเหนือเป็น 1.00 เมตร โดยกำหนดสัดส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเป็นร้อยละ 20-80 พบว่าแผงกันแดดชนิดทางนอน 2 ชั้น (horizontal overhangs) จะได้ผลดีในทางทิศใต้มากกว่ารูปแบบอื่นซึ่งมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ 2,023,270 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี โดยสามารถบังแดดได้คล้ายรูปเสี้ยว (segmental areas)

ตารางที่ 5.8 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของแผงกันแดดทางทิศเหนือ

สัดส่วน	หน้าต่างต่อเนื่อง	หน้าต่างไม่ต่อเนื่อง	แผงกันแดดแนวนอน 1 ชั้น	แผงกันแดดแนวนอน 2 ชั้น	แผงกันแดดแนวตั้ง	แบบผสม
WWR0	262,649	262,649	257,082	241,375	224,004	242,033
WWR20	264,843	264,843	258,413	243,662	226,461	244,642
WWR30	275,589	275,589	259,768	246,132	229,516	246,792
WWR40	286,424	286,424	261,168	248,645	233,161	249,593
WWR50	297,655	297,655	262,296	251,270	237,319	251,744
WWR60	309,777	309,777	263,051	253,914	241,970	255,246
WWR70	322,221	322,221	263,562	256,214	247,915	257,162
WWR80	334,833	334,833	264,843	259,743	255,124	259,689
รวม	2,353,991	2,353,991	2,090,183	2,000,955	1,895,470	2,006,901

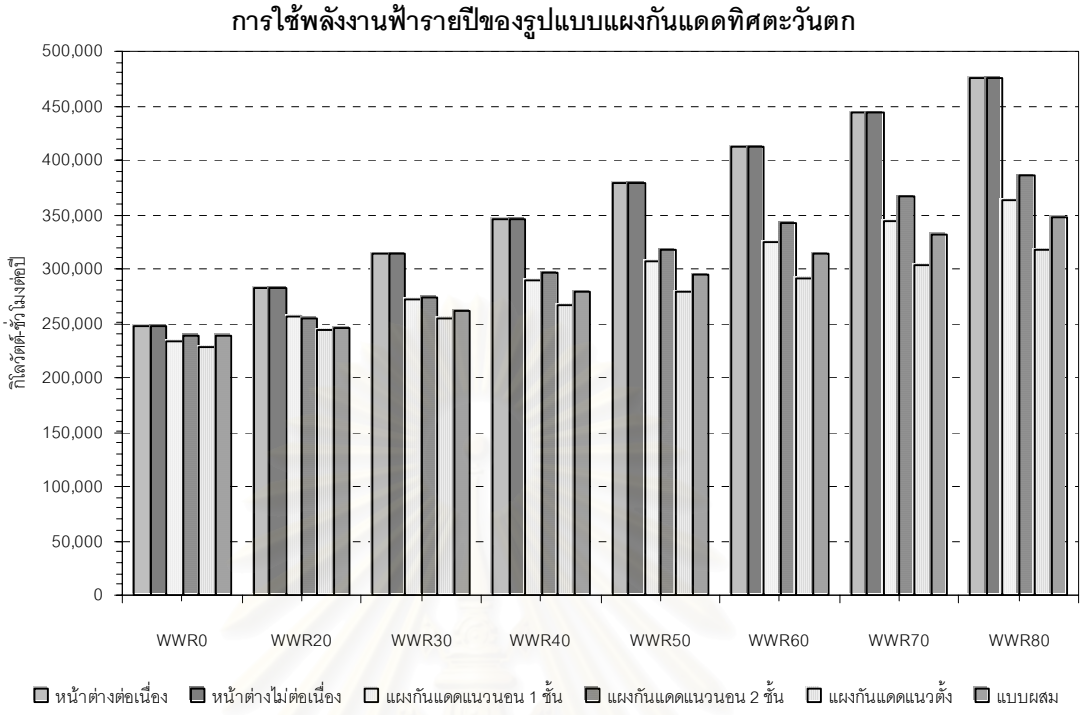


แผนภูมิที่ 5.8 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของรูปแบบแผงกันแดดทางทิศเหนือ

จากการจำลองแผงกันแดดทิศเหนือของอาคารรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งวันที่ 21 มิถุนายน เวลาบ่ายดวงอาทิตย์จะอ้อมเหนือมากที่สุด (ฤดูร้อน) มีผลกระทบน้อยกว่าทิศใต้ ดังนั้นทำให้ต้องยื่นแผงกันแดดทางด้านทิศเหนือเป็น 1.00 เมตร โดยกำหนดสัดส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเป็นร้อยละ 20-80 พบว่าแผงกันแดดชนิดทางตั้ง (vertical louvers) จะได้ผลดีในทางทิศเหนือมากกว่ารูปแบบอื่นซึ่งมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ 1,895,470 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี โดยสามารถบังแดดได้คล้ายรูปรัศมี (radial mask)

ตารางที่ 5.9 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของแผงกันแดดทางทิศตะวันตก

สัดส่วน	หน้าต่างต่อเนื่อง	หน้าต่างไม่ต่อเนื่อง	แผงกันแดดแนวนอน 1 ชั้น	แผงกันแดดแนวนอน 2 ชั้น	แผงกันแดดแนวตั้ง	แบบผสม
WWR0	247,607	247,607	234,102	239,332	228,141	239,332
WWR20	282,127	282,127	256,109	254,057	244,513	245,375
WWR30	313,696	313,696	271,660	273,139	255,257	260,601
WWR40	345,931	345,931	289,267	296,517	266,484	278,567
WWR50	379,015	379,015	307,058	317,824	278,727	294,912
WWR60	411,406	411,406	324,796	342,637	291,031	313,657
WWR70	443,565	443,565	343,271	366,844	303,433	332,017
WWR80	475,511	475,511	363,321	385,775	317,724	347,178
รวม	2,898,858	2,898,858	2,389,584	2,476,125	2,185,310	2,311,639



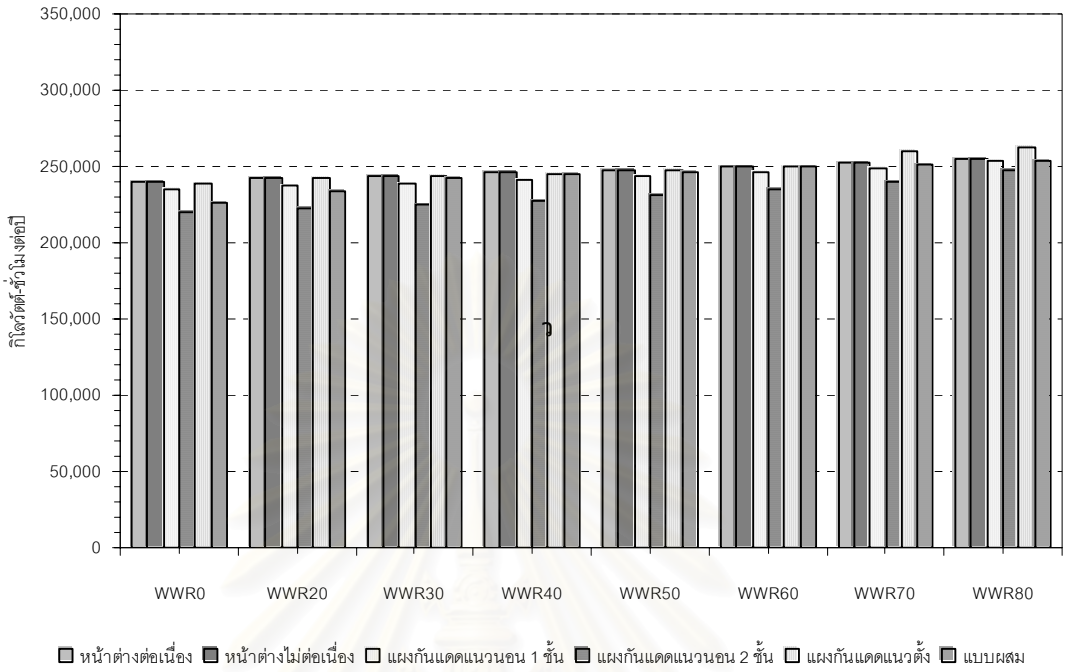
แผนภูมิที่ 5.9 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของรูปแบบแผงกันแดดทางทิศตะวันตก

จากการจำลองแผงกันแดดทิศตะวันตกของอาคารรูปแบบต่าง ๆ จะได้รับแสงแดดมากในตอนเช้าและตอนบ่ายซึ่งมุมของแสงแดดทอดต่ำ จึงทำให้ทำการบังแดดได้ยากในการหลีกเลี่ยงแดดบ่ายทางทิศตะวันตกจำเป็นต้องมีช่องเปิดน้อยที่สุด ดังนั้นทำให้ต้องยื่นแผงกันแดดทางด้านทิศตะวันตกเป็น 1.00 เมตร โดยกำหนดสัดส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเป็นร้อยละ 20-80 พบว่าแผงกันแดดชนิดทางตั้ง (vertical louvers) จะได้ผลดีในทางทิศตะวันตกมากกว่ารูปแบบอื่นซึ่งมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ 2,185,310 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี โดยสามารถบังแดดได้คล้ายรูปรัศมี (radial mask)

ตารางที่ 5.10 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของแผงกันแดดทางทิศตะวันออก

สัดส่วน	หน้าต่างต่อเนื่อง	หน้าต่างไม่ต่อเนื่อง	แผงกันแดดแนวนอน 1 ชั้น	แผงกันแดดแนวนอน 2 ชั้น	แผงกันแดดแนวตั้ง	แบบผสม
WWR0	240,109	240,109	234,783	239,312	220,183	226,001
WWR20	242,245	242,245	237,165	242,484	222,140	233,405
WWR30	244,068	244,068	239,041	243,500	224,484	242,902
WWR40	245,705	245,705	241,142	244,938	227,424	244,508
WWR50	247,727	247,727	243,201	247,901	231,133	246,702
WWR60	250,163	250,163	245,979	249,415	235,335	249,722
WWR70	251,979	251,979	248,909	260,068	240,279	251,754
WWR80	255,114	255,114	253,205	262,405	247,607	253,901
รวม	1,977,110	1,977,110	1,943,425	1,990,023	1,848,585	1,948,895

การใช้พลังงานรายปีของรูปแบบแผงกันแดดทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 5.10 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของรูปแบบแผงกันแดดทางทิศตะวันออก

จากการจำลองอุปกรณ์บังแดดทิศตะวันออกของอาคารรูปแบบต่าง ๆ มีลักษณะเช่นเดียวกับทิศตะวันตก จะได้รับแสงแดดมากในตอนเช้าและตอนบ่ายซึ่งมุมของแสงแดดทอดต่ำ จึงทำให้ทำการบังแดดได้ยากในการหลีกเลี่ยงแดดบ่ายทางทิศตะวันตกจำเป็นต้องมีช่องเปิดน้อยที่สุด ดังนั้นทำให้ต้องยื่นอุปกรณ์บังแดดทางด้านทิศตะวันตกเป็น 1.00 เมตร โดยกำหนดสัดส่วนของพื้นที่หน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดเป็นร้อยละ 20-80 พบว่าอุปกรณ์บังแดดชนิดทางตั้ง (vertical louvers) จะได้ผลดีในทางทิศตะวันตกมากกว่ารูปแบบอื่นซึ่งมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ 1,848,585 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี โดยสามารถบังแดดได้คล้ายรูปรัศมี (radial mask)

5.8 แนวทางการปรับปรุงวัสดุกรอบอาคาร

จากการศึกษาพบว่าวัสดุเปลือกอาคารมีปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร หลังคา และกระจกเข้ามาภายในอาคารมากกว่าองค์ประกอบประเภทอื่น ๆ ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดแนวทางการปรับปรุงอาคาร 3 แนวทาง เพื่อทำการเปรียบเทียบให้เหมาะสมกับการอาคารสำนักงานและประหยัดพลังงาน โดยมีรายละเอียดในการศึกษาดังนี้

การเลือกวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุกรอบอาคาร สามารถพิจารณาได้หลายรูปแบบ แต่เพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1) วัสดุประกอบโครงสร้าง (constructional envelope)

หมายถึง วัสดุกรอบอาคารที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างอาคาร รวมทั้งในส่วนผนังและหลังคา อาทิ ผนังก่ออิฐมอญ , ผนังคอนกรีตมวลเบา , ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป และกระเบื้องมุงหลังคาชนิดต่าง ๆ

2) วัสดุประกอบฉนวน (insulated envelope)

หมายถึง วัสดุกรอบอาคารที่มีคุณสมบัติช่วยต้านทานความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดี ส่วนใหญ่มักจะมีคุณสมบัติความเป็นฉนวน สะท้อนความร้อนสูง หรือคายความร้อนต่ำ อาทิ แผ่นฉนวนใยแก้ว , ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน , แผ่นสะท้อนความร้อนอลูมินั่มฟอยล์

3) วัสดุประเภทกระจก (glass)

หมายถึง วัสดุโปร่งแสงหรือโปร่งใสที่ยอมให้แสงทะลุผ่านได้ คุณสมบัติการทะลุของแสงจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิด อาทิ กระจกใส , กระจกสี , กระจดตัดแสง , กระจกสะท้อนแสง และกระจกกันความร้อน

5.8.1 การเลือกวัสดุผนังเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

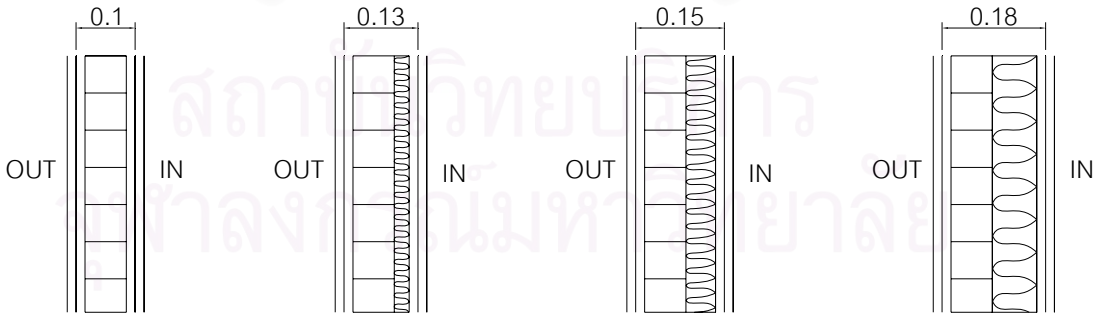
วัสดุกรอบอาคารที่ใช้วัสดุในการศึกษาได้ทำการพิจารณาจากวัสดุที่สามารถจัดหาได้ง่ายในท้องตลาดและเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป เป็นแนวทางเบื้องต้นในการคัดเลือกวัสดุ ควบคู่ไปกับพิจารณาถึงคุณสมบัติด้านอื่น ๆ เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบหาวัสดุกรอบอาคารที่เหมาะสมต่อไปเพื่อง่ายต่อการเข้าใจ และสอดคล้องกับการใช้งานในการก่อสร้างหรือติดตั้ง จึงมีการพิจารณาวัสดุกรอบอาคารตามการแบ่งประเภทของตำแหน่งการใช้งานของวัสดุผนัง ดังนี้

1) ผนังที่เป็นมวลสาร (mass wall) หมายถึงผนังที่มวลสารยึดติดกันทั่วทั้งผนังโดยการก่อหรือการหล่อเข้าด้วยกัน ผนังที่นำมาพิจารณาศึกษาสำหรับโครงการศึกษาวิจัยวัสดุผนังเพื่อการประหยัดพลังงาน

2) ฉนวนกันความร้อน (insulation) เพื่อให้ผนังป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดีควรมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพื่อการประหยัดพลังงาน

คุณสมบัติทางกายภาพของผนัง

สำหรับโครงการนี้ได้ทำการคัดเลือกผนังทั้งที่เป็นผนังแบบมวลสารและผนังประกอบที่มีการใช้ฉนวนกันความร้อน โดยทำการศึกษาทั้งสิ้น 18 ชนิดตามแนวทางดังต่อไปนี้

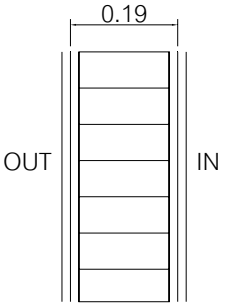


(1) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น

(2) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นภายในบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วปิดทับด้วยยิปซั่มบอร์ด

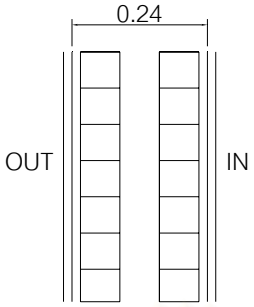
(3) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นภายในบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วปิดทับด้วยยิปซั่มบอร์ด

(4) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นภายในบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วปิดทับด้วยยิปซั่มบอร์ด



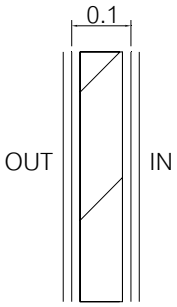
(5)

ผนังอิฐมอญเต็มแผ่น



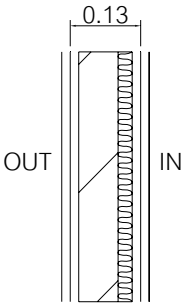
(6)

ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น 2 ชั้น



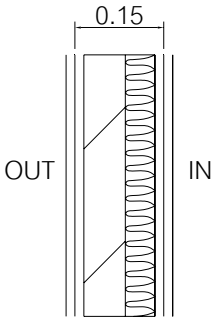
(7)

ผนังอิฐมวลเบา



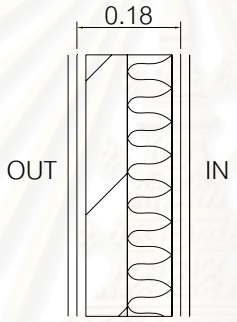
(8)

ผนังคอนกรีตมวลเบาภายใน
บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วปิดทับ
ด้วยยิปซั่มบอร์ด



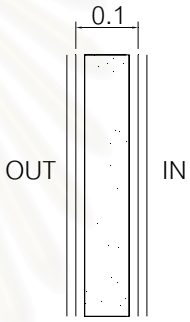
(9)

ผนังคอนกรีตมวลเบาภายใน
บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วปิดทับ
ด้วยยิปซั่มบอร์ด



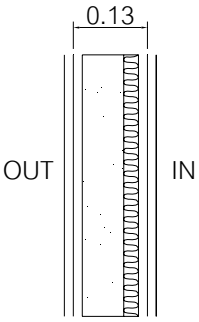
(10)

ผนังคอนกรีตมวลเบาภายใน
บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วปิดทับ
ด้วยยิปซั่มบอร์ด



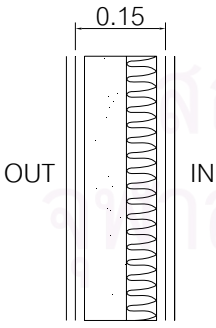
(11)

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป



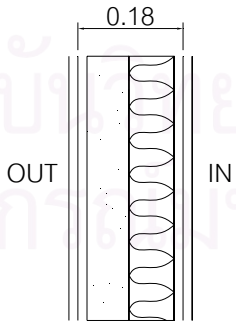
(12)

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป
บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วปิดทับ
ด้วยยิปซั่มบอร์ด



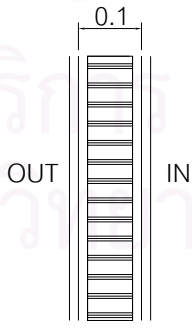
(13)

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป
บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วปิดทับ
ด้วยยิปซั่มบอร์ด



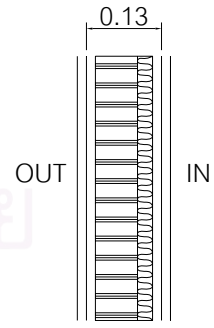
(14)

ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป
บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วปิดทับ
ด้วยยิปซั่มบอร์ด



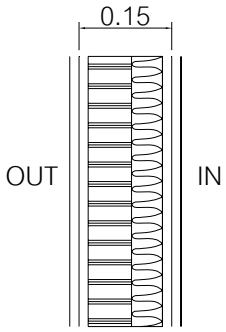
(15)

ผนังก่อคอนกรีตบล็อค



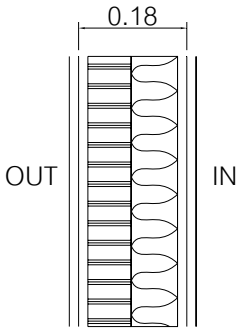
(16)

ผนังก่อคอนกรีตบล็อค
บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว
ปิดทับด้วยยิปซั่มบอร์ด



(17)

ผนังก่อคอนกรีตบล็อคบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว
ปิดทับด้วยยิปซั่มบอร์ด



(18)

ผนังก่อคอนกรีตบล็อคบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว
ปิดทับด้วยยิปซั่มบอร์ด

ภาพที่ 5.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของผนังแต่ละประเภท

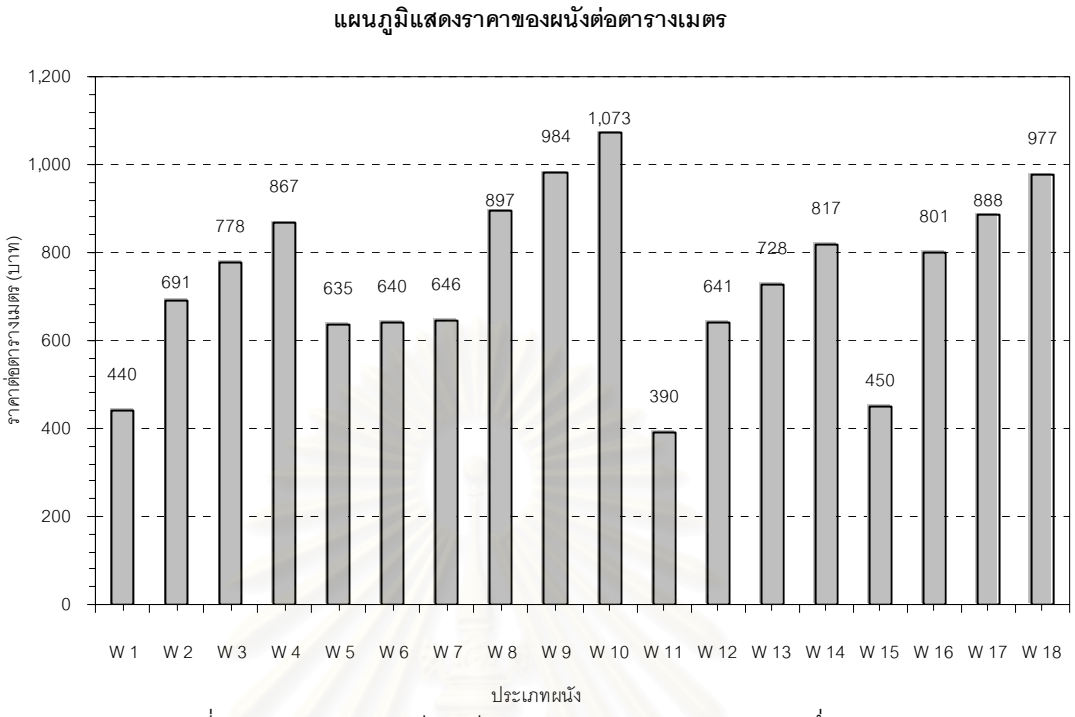
คุณสมบัติวัสดุทางด้านราคา

ราคาของวัสดุผนังที่นำมาพิจารณาเป็นกรอบอาคาร จะเปรียบเทียบราคาของวัสดุต่อ 1 ตารางเมตร โดยไม่นำราคาของส่วนของโครงสร้างที่รองรับวัสดุกรอบอาคารที่ศึกษานี้มาพิจารณา โดยคุณสมบัติทางด้านราคาของวัสดุกรอบอาคารมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 5.11 แสดงประเภทและราคาของผนังที่ใช้ในการพิจาณาหาแนวทางที่เหมาะสมกับอาคาร

ลำดับ	สัญลักษณ์	ประเภทผนังกรอบอาคาร	ราคา (บาท)	
			ต่อแผ่น	ต่อ ตร.ม.
1	W 1	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	-	440
2	W 2	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	-	691
3	W 3	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	-	778
4	W 4	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	-	867
5	W 5	ผนังอิฐมอญเต็มแผ่น ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	-	635
6	W 6	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น 2 ชั้น	-	640
7	W 7	ผนังอิฐมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	25	646
8	W 8	ผนังอิฐมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	-	897
9	W 9	ผนังอิฐมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	-	984
10	W 10	ผนังอิฐมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	-	1,073
11	W 11	ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	5	390
12	W 12	ผนังก่อคอนกรีตบล็อคฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	-	641
13	W 13	ผนังก่อคอนกรีตบล็อคฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	-	728
14	W 14	ผนังก่อคอนกรีตบล็อคฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	-	817
15	W 15	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	-	450
16	W 16	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	-	801
17	W 17	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปฉาบปูนเรียบ2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	-	888
18	W 18	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปฉาบปูนเรียบ2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	-	977

หมายเหตุ : ราคาเป็นราคาค่าวัสดุและค่าแรง

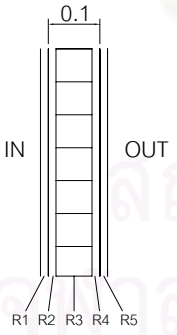


แผนภูมิที่ 5.11 แผนภูมิการเปรียบเทียบราคาของวัสดุผนังอาคารต่อหนึ่งตารางเมตร

ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนัง

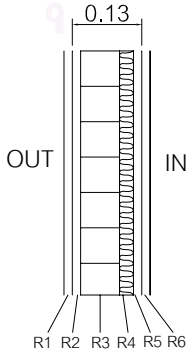
ค่าความต้านทานความร้อน (thermal resistance / R-Value) จะเป็นส่วนกลับของค่าการนำความร้อน (conductivity) หมายถึง จำนวนชั่วโมงสำหรับพลังงานความร้อน ถ่ายเทผ่านวัสดุความหนาหนึ่ง ๆ ในพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่อมีอุณหภูมิต่าง 1 ˚F หน่วยเป็น Hr.sq.ft.F/BTU (หน่วย SI : Sq.m.K/Watt) ค่าความต้านทานความร้อนรวม (∑R) ของผนัง คือค่าผลรวมของค่าความต้านทานของส่วนประกอบผนัง โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1)



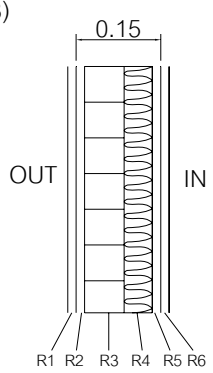
R1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	อิฐมอญ ½ แผ่น 70 มม.	= 0.070 / 0.473	= 0.148	m^2 / Watt
R4	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R5	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
		Rt	= 0.368	m^2 / Watt

(2)



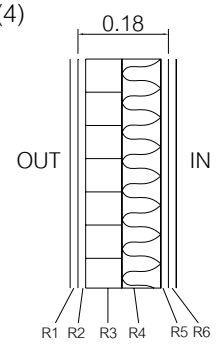
R1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	อิฐมอญ ½ แผ่น 70 มม.	= 0.070 / 0.473	= 0.148	m^2 / Watt
R4	ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	= 0.025 / 0.038	= 0.658	m^2 / Watt
R5	ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.	= 0.012 / 0.282	= 0.043	m^2 / Watt
R6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
		Rt	= 1.041	m^2 / Watt

(3)



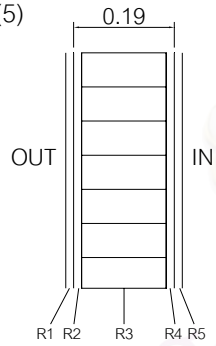
R1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	อิฐมอญ ½ แผ่น 70 มม.	= 0.070 / 0.473	= 0.148	m^2 / Watt
R4	ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	= 0.050 / 0.038	= 1.316	m^2 / Watt
R5	ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.	= 0.012 / 0.282	= 0.043	m^2 / Watt
R6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
		Rt	= 1.698	m^2 / Watt

(4)



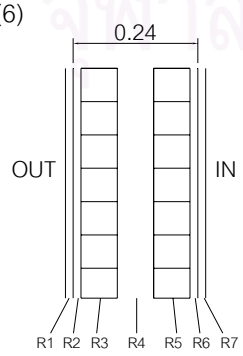
R1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	อิฐมอญ ½ แผ่น 70 มม.	= 0.070 / 0.473	= 0.148	m^2 / Watt
R4	ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	= 0.075 / 0.038	= 1.974	m^2 / Watt
R5	ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.	= 0.012 / 0.282	= 0.043	m^2 / Watt
R6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
		Rt	= 2.356	m^2 / Watt

(5)



R1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	อิฐมอญเต็ม แผ่น 160 มม.	= 0.160 / 0.473	= 0.338	m^2 / Watt
R4	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R5	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
		Rt	= 0.559	m^2 / Watt

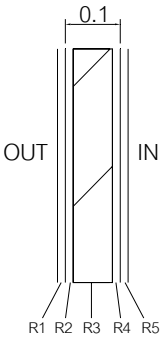
(6)



R1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	อิฐมอญ ½ แผ่น 70 มม.	= 0.070 / 0.473	= 0.148	m^2 / Watt
R4	ช่องว่างอากาศ 700 มม.		= 0.156	m^2 / Watt
R5	อิฐมอญ ½ แผ่น 70 มม.	= 0.070 / 0.473	= 0.148	m^2 / Watt
R6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
		Rt	= 0.672	m^2 / Watt

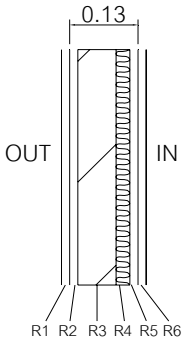
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(7)



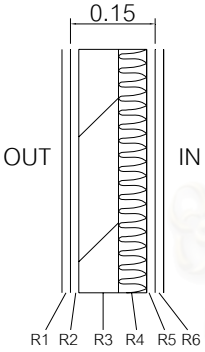
R1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	คอนกรีตมวลเบา 75 มม.	= 0.075 / 0.130	= 0.577	m^2 / Watt
R4	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R5	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
		Rt	= 0.797	m^2 / Watt

(8)



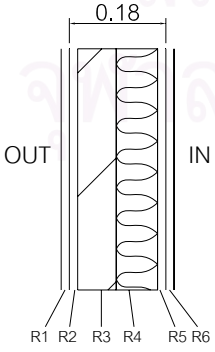
R1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	คอนกรีตมวลเบา 75 มม.	= 0.075 / 0.130	= 0.577	m^2 / Watt
R4	ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	= 0.025 / 0.038	= 0.658	m^2 / Watt
R5	ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.	= 0.012 / 0.282	= 0.043	m^2 / Watt
R6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
		Rt	= 1.470	m^2 / Watt

(9)



R1	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	คอนกรีตมวลเบา 75 มม.	= 0.075 / 0.130	= 0.577	m^2 / Watt
R4	ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	= 0.050 / 0.038	= 1.316	m^2 / Watt
R5	ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.	= 0.012 / 0.282	= 0.043	m^2 / Watt
R6	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
		Rt	= 2.127	m^2 / Watt

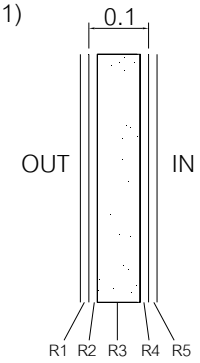
(10)



R1	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	คอนกรีตมวลเบา 75 มม.	= 0.075 / 0.130	= 0.577	m^2 / Watt
R4	ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	= 0.075 / 0.038	= 1.974	m^2 / Watt
R5	ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.	= 0.012 / 0.282	= 0.043	m^2 / Watt
R6	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
		Rt	=2.785	m^2 / Watt

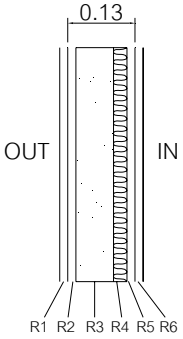
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(11)



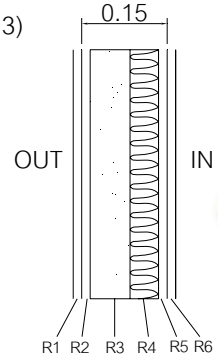
R1 ฟิล์มอากาศด้านใน			= 0.12	m^2 / Watt
R2 ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533		= 0.028	m^2 / Watt
R3 คอนกรีตบล็อค 70 มม.	= 0.070 / 0.470		= 0.149	m^2 / Watt
R4 ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533		= 0.028	m^2 / Watt
R5 ฟิล์มอากาศด้านนอก			= 0.044	m^2 / Watt
		Rt	= 0.369	m^2 / Watt

(12)



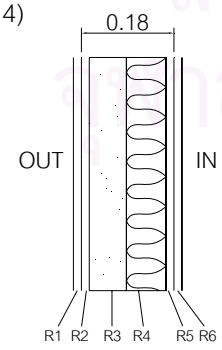
R1 ฟิล์มอากาศด้านใน			= 0.12	m^2 / Watt
R2 ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533		= 0.028	m^2 / Watt
R3 คอนกรีตบล็อค 70 มม.	= 0.070 / 0.470		= 0.149	m^2 / Watt
R4 ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	= 0.025 / 0.038		= 0.658	m^2 / Watt
R5 ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.	= 0.012 / 0.282		= 0.043	m^2 / Watt
R6 ฟิล์มอากาศด้านนอก			= 0.044	m^2 / Watt
		Rt	= 1.042	m^2 / Watt

(13)



R1 ฟิล์มอากาศด้านใน			= 0.12	m^2 / Watt
R2 ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533		= 0.028	m^2 / Watt
R3 คอนกรีตบล็อค 70 มม.	= 0.070 / 0.470		= 0.149	m^2 / Watt
R4 ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	= 0.050 / 0.038		= 1.316	m^2 / Watt
R5 ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.	= 0.012 / 0.282		= 0.043	m^2 / Watt
R6 ฟิล์มอากาศด้านนอก			= 0.044	m^2 / Watt
		Rt	= 1.699	m^2 / Watt

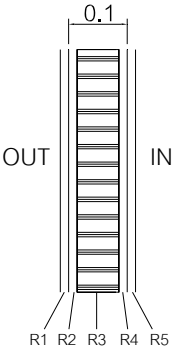
(14)



R1 ฟิล์มอากาศด้านใน			= 0.12	m^2 / Watt
R2 ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533		= 0.028	m^2 / Watt
R3 คอนกรีตบล็อค 70 มม.	= 0.070 / 0.470		= 0.149	m^2 / Watt
R4 ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	= 0.075 / 0.038		= 1.974	m^2 / Watt
R5 ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.	= 0.012 / 0.282		= 0.043	m^2 / Watt
R6 ฟิล์มอากาศด้านนอก			= 0.044	m^2 / Watt
		Rt	= 2.357	m^2 / Watt

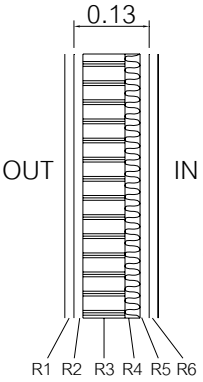
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(15)



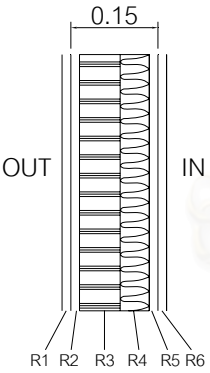
R1	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	คอนกรีตสำเร็จรูป 75 มม.	= 0.075 / 1.442	= 0.052	m^2 / Watt
R4	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R5	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
		Rt	= 0.272	m^2 / Watt

(16)



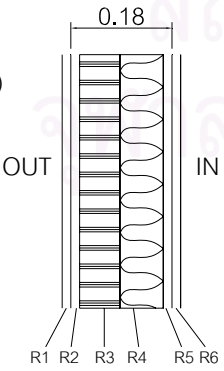
R1	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	คอนกรีตสำเร็จรูป 75 มม.	= 0.075 / 1.442	= 0.052	m^2 / Watt
R4	ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	= 0.025 / 0.038	= 0.658	m^2 / Watt
R5	ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.	= 0.012 / 0.282	= 0.043	m^2 / Watt
R6	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
		Rt	= 0.945	m^2 / Watt

(17)



R1	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	คอนกรีตสำเร็จรูป 75 มม.	= 0.075 / 1.442	= 0.052	m^2 / Watt
R4	ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	= 0.050 / 0.038	= 1.316	m^2 / Watt
R5	ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.	= 0.012 / 0.282	= 0.043	m^2 / Watt
R6	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
		Rt	= 1.602	m^2 / Watt

(18)



R1	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.12	m^2 / Watt
R2	ฉาบปูนเรียบ 15 มม.	= 0.015 / 0.533	= 0.028	m^2 / Watt
R3	คอนกรีตสำเร็จรูป 75 มม.	= 0.075 / 1.442	= 0.052	m^2 / Watt
R4	ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	= 0.075 / 0.038	= 1.974	m^2 / Watt
R5	ยิปซั่มบอร์ด 12 มม.	= 0.012 / 0.282	= 0.043	m^2 / Watt
R6	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044	m^2 / Watt
		Rt	= 2.260	m^2 / Watt

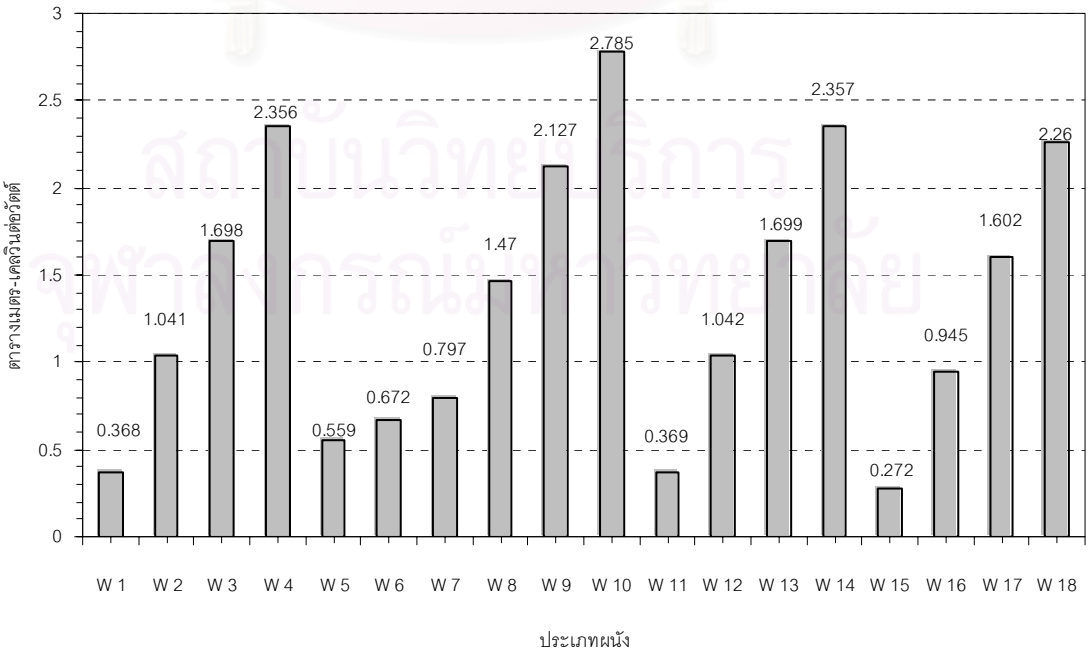
ภาพที่ 5.3 แสดงการหาค่าความต้านทานความร้อนรวม (∑R) ของวัสดุผนังอาคารแต่ละประเภท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

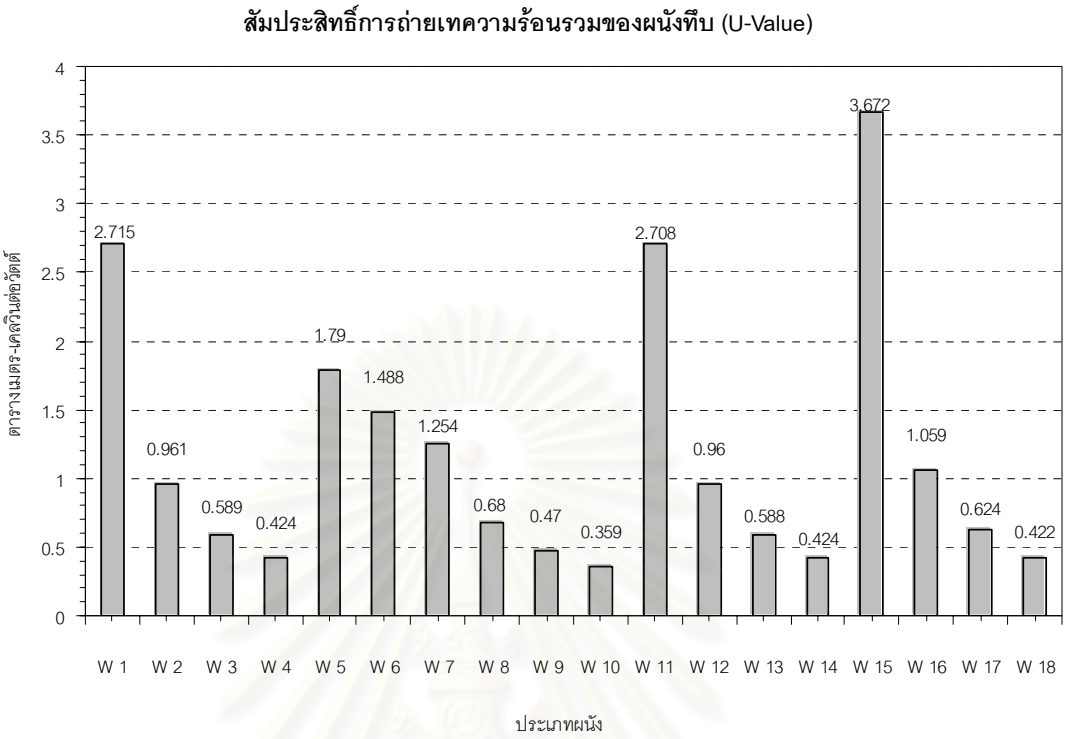
ตารางที่ 5.12 แสดงประเภทค่าความต้านทานความร้อนรวม (∑R) ผนังของอาคารที่เลือกใช้กับอาคาร

ลำดับ	ประเภทผนังกรอบอาคาร	∑ R (sq.m-K/Watt)	U - Value (sq.m-K/Watt)
1	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	0.368	2.715
2	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	1.041	0.961
3	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	1.698	0.589
4	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	2.356	0.424
5	ผนังอิฐมอญเต็มแผ่น ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	0.559	1.790
6	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น 2 ชั้น	0.672	1.488
7	ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	0.797	1.254
8	ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	1.470	0.680
9	ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	2.127	0.470
10	ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	2.785	0.359
11	ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	0.369	2.708
12	ผนังก่อคอนกรีตบล็อคฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ฉนวนใยแก้ว 1นิ้ว	1.042	0.960
13	ผนังก่อคอนกรีตบล็อคฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ฉนวนใยแก้ว 2นิ้ว	1.699	0.588
14	ผนังก่อคอนกรีตบล็อคฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ฉนวนใยแก้ว3 นิ้ว	2.357	0.424
15	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	0.272	3.672
16	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ฉนวนใยแก้ว 1นิ้ว	0.945	1.059
17	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปฉาบปูนเรียบ2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 2นิ้ว	1.602	0.624
18	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปฉาบปูนเรียบ2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 3นิ้ว	2.260	0.422

แผนภูมิแสดงค่าความต้านทานรวม (∑R) ของวัสดุผนังอาคารที่ศึกษาแต่ละประเภท



แผนภูมิที่ 5.12 แสดงการหาค่าความต้านทานความร้อนรวม (∑R) ของวัสดุผนังอาคารที่ศึกษาแต่ละประเภท



แผนภูมิที่ 5.13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ

ในการประเมินผลทางด้านความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุผนัง ($\sum R$) และการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังทึบ มีหลักเกณฑ์ในการเลือกผนัง คือ ความเหมาะสมด้านราคาที่รวมค่าวัสดุกับค่าแรง และหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ได้คัดเลือกวัสดุผนัง 4 ประเภท คือ มีผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น ผนังคอนกรีตมวลเบา ผนังคอนกรีตบล็อกและผนังคอนกรีตสำเร็จรูป พบว่าผนังทุกประเภทที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้วทั้ง 3 ขนาด ตั้งแต่ 1-3 นิ้ว จะมีความต้านทานความร้อนรวมสูงกว่าผนังที่ไม่ติดตั้งฉนวนใยแก้ว เช่น ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านซึ่งเป็นผนังของอาคารกรณีศึกษา (base case) มีค่าความต้านทานความร้อนรวมที่ 0.368 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว มีค่า 2.356 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นร้อยละ 84 ลำดับที่สองผนังคอนกรีตมวลเบาฉาบปูนเรียบ 2 ด้านมีค่าความต้านทานความร้อนรวมที่ 0.797 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้วมีค่า 2.785 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นร้อยละ 71 ลำดับที่สามผนังคอนกรีตบล็อคฉาบปูนเรียบ 2 ด้านมีค่าความต้านทานความร้อนรวมที่ 0.369 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตบล็อคที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้วมีค่า 2.357 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นร้อยละ 84 ลำดับสุดท้ายผนังคอนกรีตสำเร็จรูปมีค่าความต้านทานความร้อนรวมที่ 0.272 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับผนังคอนกรีตสำเร็จรูปที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้วมีค่า 2.26 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นร้อยละ 88 จากแผนภูมิที่ 5.13 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะมีค่าผกผันของค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนัง

5.8.2 การเลือกวัสดุหลังคาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

หลังคา เป็นส่วนหนึ่งของอาคารด้านบนที่ช่วยป้องกันอาคารจากสภาพภูมิอากาศ และสภาพแวดล้อมภายนอก โดยเฉพาะหลังคาเป็นกรอบอาคารที่ต้องรองรับความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาจากดวงอาทิตย์โดยตรง ดังนั้นอาคารชั้นบนหรือพื้นที่ใช้สอยที่อยู่ใต้หลังคา จะมีผลกระทบเต็มที่จากการแผ่รังสีความร้อนดังกล่าว จึงควรที่จะคำนึงถึงวิธีการป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา ในการศึกษาถึงวัสดุของหลังคาที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนในส่วนของหลังคาที่พิจารณานี้ได้แก่

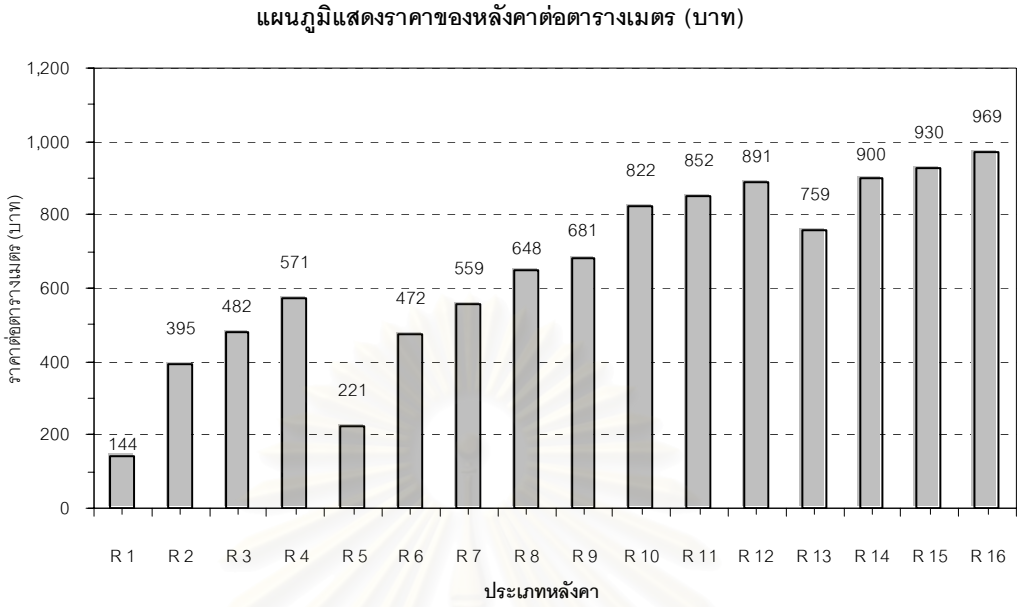
1) วัสดุมุงหลังคา (roofing) หมายถึง วัสดุที่ใช้มุงหลังคาของอาคาร เป็นส่วนที่รองรับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง
2) ฉนวนกันความร้อน (insulation) เพื่อให้ผนังป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุ ที่มีคุณสมบัติการต้านทานความร้อนสูงของตัววัสดุเอง ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเส้นใย โพรง หรือช่องกลวง เป็นต้น

คุณสมบัติวัสดุทางด้านราคา

ราคาของวัสดุหลังคาที่นำมาพิจารณาจะเปรียบเทียบราคาของวัสดุต่อ 1 ตารางเมตร โดยไม่นำราคาของส่วนของโครงสร้างที่รองรับวัสดุหลังคาที่ศึกษานี้มาพิจารณาโดยคุณสมบัติทางด้านราคาของหลังคาของอาคารมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 5.13 แสดงประเภทและราคาของหลังคาที่ใช้ในการพิจาณาหาแนวทางที่เหมาะสมกับอาคาร

ลำดับ	สัญลักษณ์	ประเภทหลังคาอาคาร	ราคา (บาท)	
			ต่อแผ่น	ต่อ ตร.ม.
1	R 1	หลังคาลอนคู่ + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	31.43	144
2	R 2	หลังคาลอนคู่ + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	-	395
3	R 3	หลังคาลอนคู่ + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	-	482
4	R 4	หลังคาลอนคู่ + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	-	571
5	R 5	หลังคาซีแพคโมเนีย + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	47.14	221
6	R 6	หลังคาซีแพคโมเนีย + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	-	472
7	R 7	หลังคาซีแพคโมเนีย + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	-	559
8	R 8	หลังคาซีแพคโมเนีย + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	-	648
9	R 9	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.	619	681
10	R 10	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม. + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	619	822
11	R 11	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	619	852
12	R 12	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	619	891
13	R 13	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม.	693	759
14	R 14	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	693	900
15	R 15	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	693	930
16	R 16	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	693	969

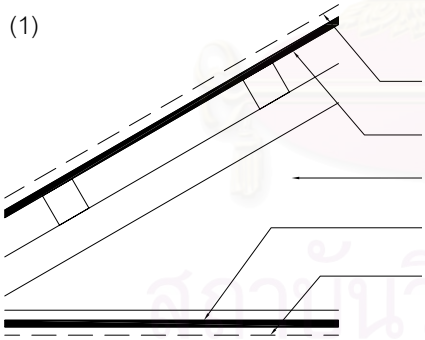


แผนภูมิที่ 5.14 แผนภูมิการเปรียบเทียบราคาของวัสดุหลังคาอาคารต่อหนึ่งตารางเมตร

ค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา

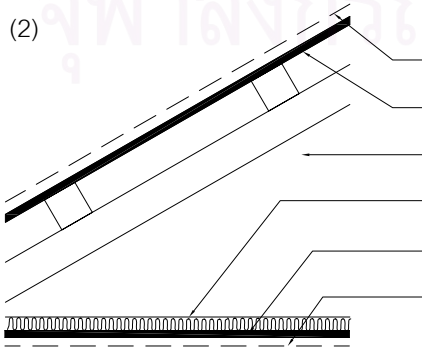
ค่าความต้านทานความร้อนรวม (∑R) ของวัสดุมุงหลังคา คือ ค่าความต้านทานของส่วนประกอบของวัสดุมุงหลังคา แบ่งตามประเภทวัสดุมุงหลังคา 3 ประเภท คือ กระเบื้องลอนคู่ กระเบื้องซีแพคโมเนีย และหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก มีความลาดเอียงที่เท่ากัน คือ 30 องศา รายละเอียดของการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของส่วนประกอบวัสดุมุงหลังคา มีรายละเอียดดังนี้

(1)



R 1 ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2 กระเบื้องลอนคู่	= 0.005 / 0.198	= 0.025 m^2 / Watt
R 3 ช่องว่างอากาศ		= 0.458 m^2 / Watt
R 4 แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 5 ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
	Rt	= 0.732 m^2 / Watt

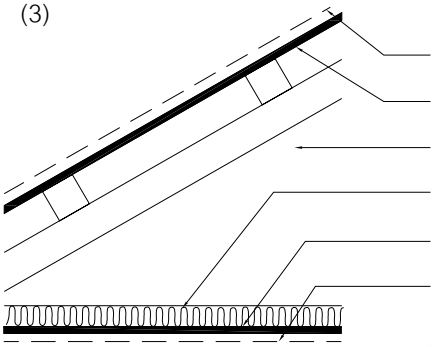
(2)



R 1 ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2 กระเบื้องลอนคู่	= 0.005 / 0.198	= 0.025 m^2 / Watt
R 3 ช่องว่างอากาศ		= 0.458 m^2 / Watt
R 4 ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	= 0.025 / 0.038	= 0.658 m^2 / Watt
R 5 แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 6 ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
	Rt	= 1.390 m^2 / Watt

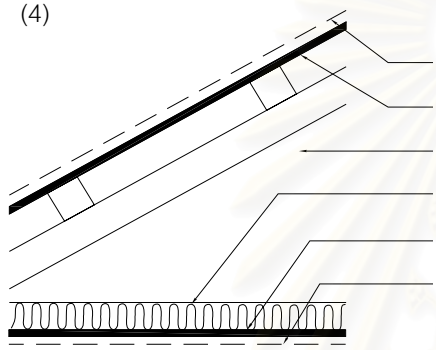
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(3)



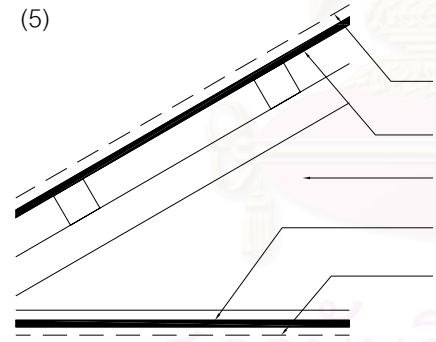
R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	กระเบื้องลอนคู่	= 0.005 / 0.198	= 0.025 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.458 m^2 / Watt
R 4	ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	= 0.050 / 0.038	= 1.316 m^2 / Watt
R 5	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 2.048 m^2 / Watt

(4)



R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	กระเบื้องลอนคู่	= 0.005 / 0.198	= 0.025 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.458 m^2 / Watt
R 4	ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	= 0.075 / 0.038	= 1.974 m^2 / Watt
R 5	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 2.706 m^2 / Watt

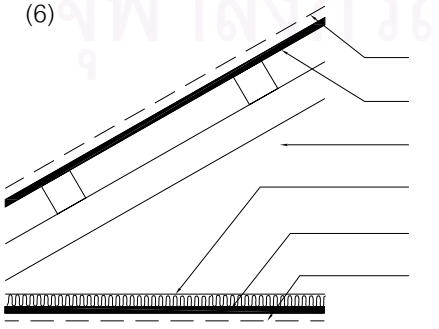
(5)



R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	กระเบื้องซีแพคโมเนีย	= 0.015 / 0.303	= 0.050 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.458 m^2 / Watt
R 4	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 5	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 0.756 m^2 / Watt

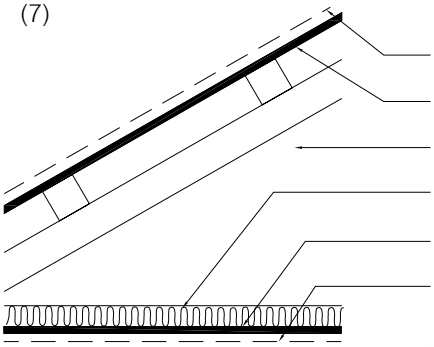
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(6)



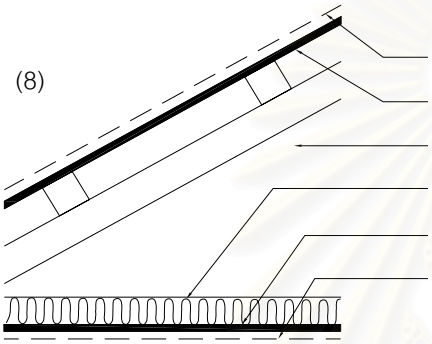
R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	กระเบื้องซีแพคโมเนีย	= 0.015 / 0.303	= 0.050 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.458 m^2 / Watt
R 4	ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	= 0.025 / 0.038	= 0.658 m^2 / Watt
R 5	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 1.414 m^2 / Watt

(7)



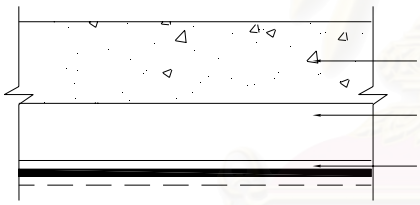
R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	กระเบื้องซีแพคโมเนีย	= 0.015 / 0.303	= 0.050 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.458 m^2 / Watt
R 4	ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	= 0.050 / 0.038	= 1.316 m^2 / Watt
R 5	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 2.072 m^2 / Watt

(8)



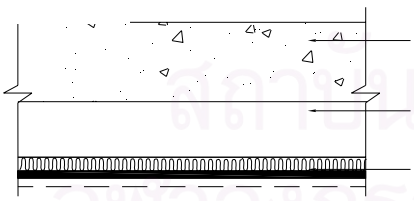
R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	กระเบื้องซีแพคโมเนีย	= 0.015 / 0.303	= 0.050 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.458 m^2 / Watt
R 4	ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	= 0.075 / 0.038	= 1.974 m^2 / Watt
R 5	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 2.730 m^2 / Watt

(9)



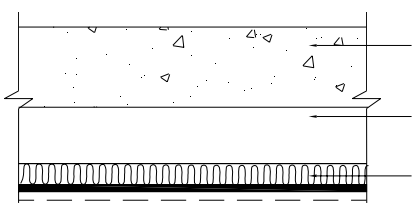
R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	คอนกรีตเสริมเหล็ก120 มม.	= 0.120 / 1.442	= 0.083 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.174 m^2 / Watt
R 4	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 5	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 0.506 m^2 / Watt

(10)



R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	คอนกรีตเสริมเหล็ก120 มม.	= 0.120 / 1.442	= 0.083 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.174 m^2 / Watt
R 4	ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	= 0.025 / 0.038	= 0.658 m^2 / Watt
R 5	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 1.164 m^2 / Watt

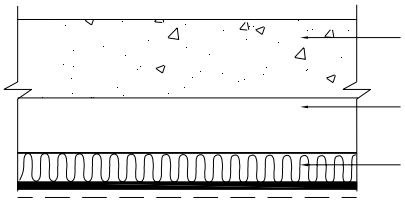
(11)



R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	คอนกรีตเสริมเหล็ก120 มม.	= 0.120 / 1.442	= 0.083 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.174 m^2 / Watt
R 4	ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	= 0.050 / 0.038	= 1.316 m^2 / Watt
R 5	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 1.822 m^2 / Watt

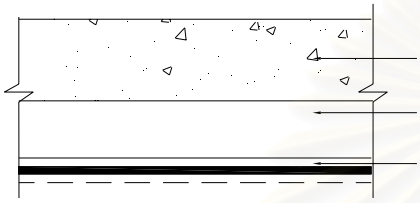
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(12)



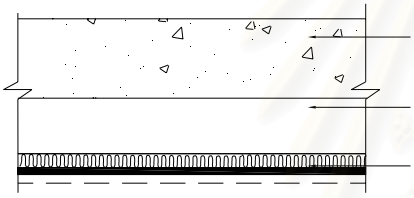
R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	คอนกรีตเสริมเหล็ก120 มม.	= 0.120 / 1.442	= 0.083 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.174 m^2 / Watt
R 4	ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	= 0.075 / 0.038	= 1.974 m^2 / Watt
R 5	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 2.480 m^2 / Watt

(13)



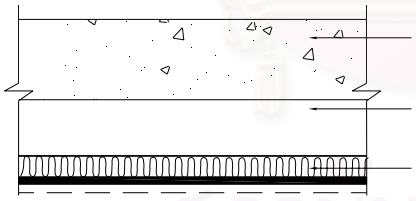
R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	คอนกรีตเสริมเหล็ก150 มม.	= 0.150 / 1.442	= 0.104 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.174 m^2 / Watt
R 4	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 5	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 0.527 m^2 / Watt

(14)



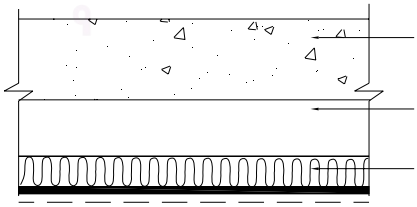
R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	คอนกรีตเสริมเหล็ก150 มม.	= 0.150 / 1.442	= 0.104 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.174 m^2 / Watt
R 4	ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	= 0.025 / 0.038	= 0.658 m^2 / Watt
R 5	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 1.185 m^2 / Watt

(15)



R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	คอนกรีตเสริมเหล็ก150 มม.	= 0.150 / 1.442	= 0.104 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.174 m^2 / Watt
R 4	ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	= 0.050 / 0.038	= 1.316 m^2 / Watt
R 5	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 1.843 m^2 / Watt

(16)



R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.055 m^2 / Watt
R 2	คอนกรีตเสริมเหล็ก150 มม.	= 0.150 / 1.442	= 0.104 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ		= 0.174 m^2 / Watt
R 4	ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	= 0.075 / 0.038	= 1.974 m^2 / Watt
R 5	แผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	= 0.009 / 0.282	= 0.047 m^2 / Watt
R 6	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.162 m^2 / Watt
		Rt	= 2.501 m^2 / Watt

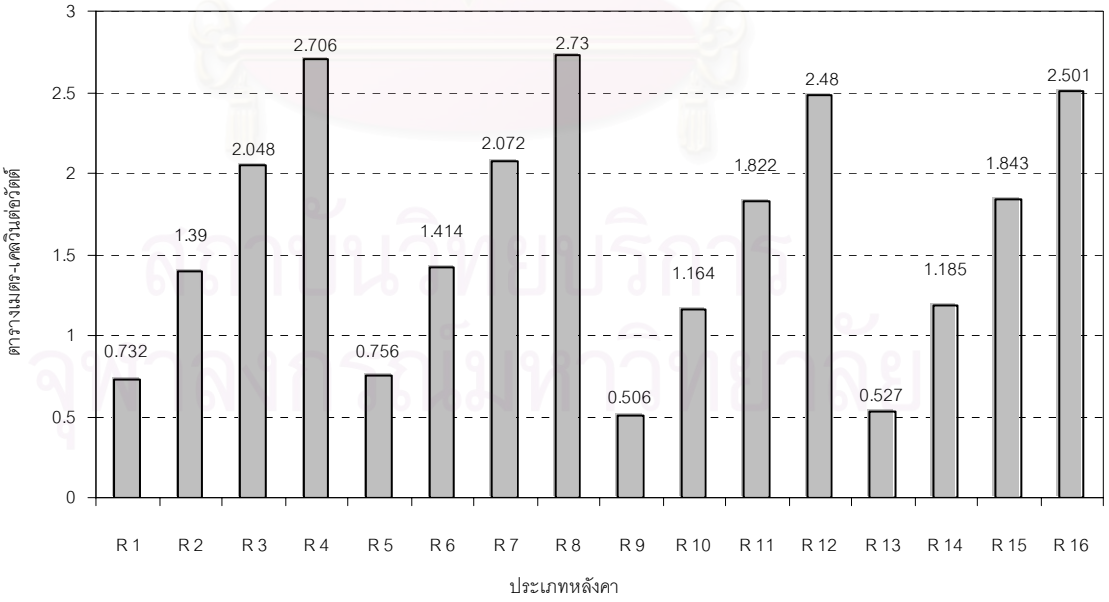
ภาพที่ 5.4 แสดงการหาค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$) ของวัสดุมุงหลังคาที่ศึกษาแต่ละประเภท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

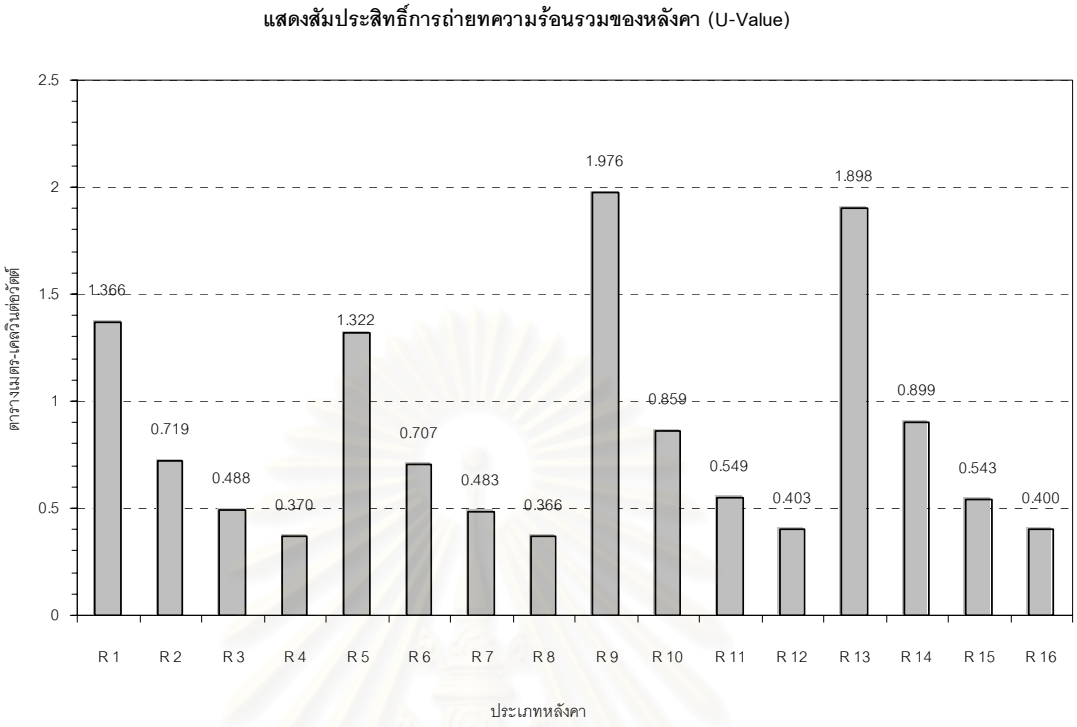
ตารางที่ 5.14 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุมุงหลังคาที่เลือกใช้กับอาคาร

ลำดับ	ประเภทหลังคาอาคาร	∑ R (sq.m-K/Watt)	U - Value (sq.m-K/Watt)
1	หลังคาลอนคู่ + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.732	1.366
2	หลังคาลอนคู่ + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	1.390	0.719
3	หลังคาลอนคู่ + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	2.048	0.488
4	หลังคาลอนคู่ + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	2.706	0.370
5	หลังคาซีแพคโมเนีย + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	0.756	1.322
6	หลังคาซีแพคโมเนีย + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	1.414	0.707
7	หลังคาซีแพคโมเนีย + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	2.072	0.483
8	หลังคาซีแพคโมเนีย + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	2.730	0.366
9	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.	0.506	1.976
10	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม. + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	1.164	0.859
11	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	1.822	0.549
12	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	2.480	0.403
13	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม.	0.527	1.898
14	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	1.185	0.899
15	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	1.843	0.543
16	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	2.501	0.400

แผนภูมิแสดงค่าความต้านทานรวม (∑R) ของวัสดุหลังคาอาคารที่ศึกษาแต่ละประเภท



แผนภูมิที่ 5.15 แสดงการหาค่าความต้านทานความร้อนรวม (∑R) ของวัสดุมุงหลังคา ของอาคารที่ศึกษาแต่ละประเภท



แผนภูมิที่ 5.16 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา

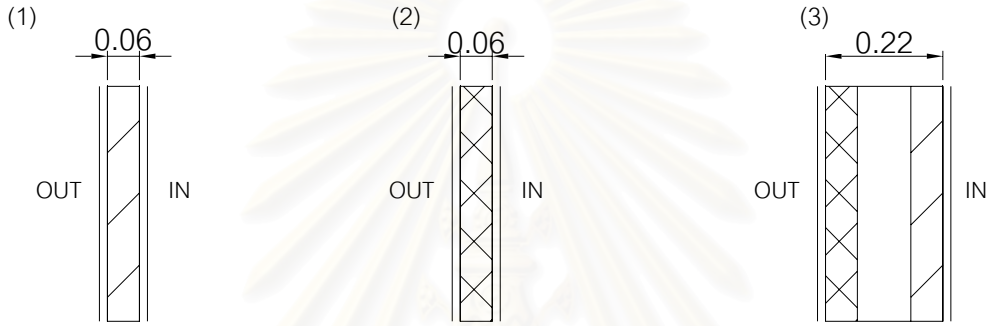
ในการประเมินผลทางด้านความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุหลังคา ($\sum R$) และการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา มีหลักเกณฑ์ในการเลือกหลังคา คือ ความเหมาะสมด้านราคาที่รวมค่าวัสดุกับค่าแรง และหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ได้คัดเลือกผนังรวมทั้งหมด 16 ชนิด โดยเลือกวัสดุผนัง 4 ประเภท คือ หลังคาลอนคู่ หลังซีแพคโมเนีย หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม. และหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. พบว่าหลังคาทุกประเภทที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้วทั้ง 3 ขนาด ตั้งแต่ 1-3 นิ้ว จะมีความต้านทานความร้อนรวมสูงกว่าหลังคาที่ไม่ติดตั้งฉนวนใยแก้ว เช่น หลังคาลอนคู่มีค่าความต้านทานความร้อนรวมที่ 0.732 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาลอนคู่ที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว มีค่า 2.706 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นร้อยละ 73 ลำดับที่สองหลังคาซีแพคโมเนียมีค่าความต้านทานความร้อนรวมที่ 0.756 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาซีแพคโมเนียที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้วมีค่า 2.73 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นร้อยละ 71 ลำดับที่สามหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม. มีค่าความต้านทานความร้อนรวมที่ 0.506 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม. ที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้วมีค่า 2.48 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นร้อยละ 80 ลำดับสุดท้ายหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. ค่าความต้านทานความร้อนรวมที่ 0.527 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีค่าต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. ที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้วมีค่า 2.501 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นร้อยละ 78 จากแผนภูมิที่ 5.16 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะมีค่าผกผันของค่าความต้านทานความร้อนรวมของหลังคา

5.8.3 การเลือกประเภทของกระจกเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

กระจก เป็นวัสดุที่ช่วยให้อาคารลดการใช้แสงประดิษฐ์ภายในอาคาร ถ้ากระจกมีปริมาณมากเกินไปก็ทำให้ความร้อนเข้ามาภายในอาคารมากขึ้น การเลือกกระจกที่จะใช้ภายในอาคาร จึงควรที่จะคำนึงถึงวิธีการป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามา จากการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณากระจกดังต่อไปนี้

คุณสมบัติทางกายภาพของกระจก

สำหรับโครงการนี้ได้ทำการคัดเลือกกระจก 3 ประเภท คือ กระจกธรรมดา กระจกสะท้อนแสงและกระจก 2 ชั้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ที่ต่างกัน โดยทำการศึกษาทั้งสิ้น 11 ชนิดตามแนวทางดังต่อไปนี้

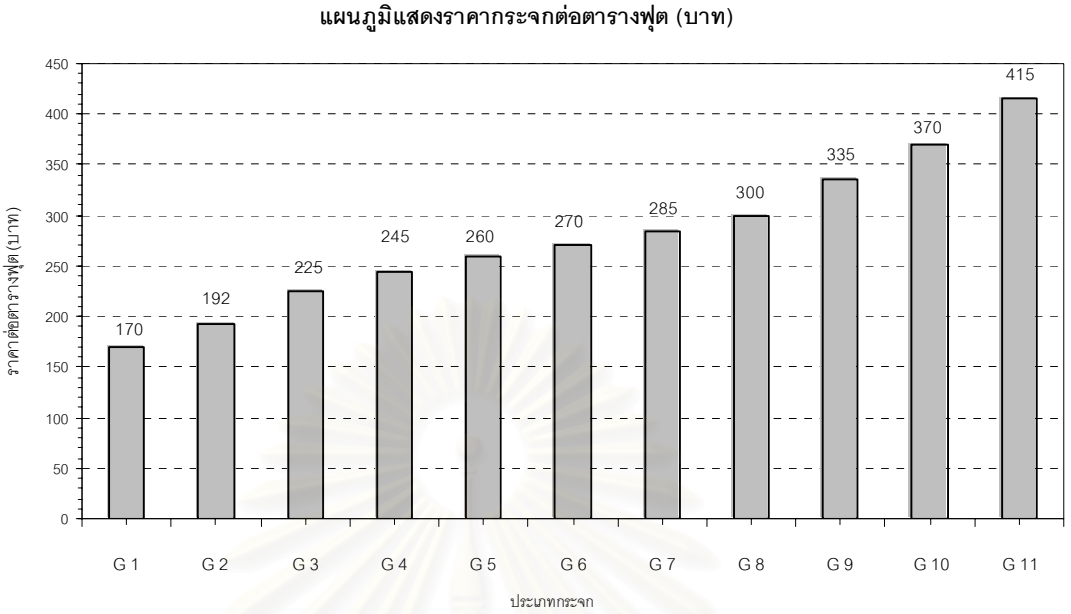


(G1) กระจกใส หนา 6 มม.
(G2) กระจกสีชา หนา 6 มม.
(G3) กระจกสีฟ้า หนา 6 มม.
(G4) กระจกสีเขียว หนา 6 มม.
(G5) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มม.
(G6) กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงินหนา 6 มม.
(G7) กระจกสะท้อนแสงสีเขียวหนา 6 มม.
(G8)กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า 2 ชั้นหนา 22 มม.
(G9)กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าใส 2 ชั้นหนา 22 มม.
(G10)กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงิน 2 ชั้นหนา 22 มม.
(G11)กระจกสะท้อนแสงสีเขียว 2 ชั้นหนา 22 มม.

ภาพที่ 5.5 แสดงลักษณะทางกายภาพของกระจก

ตารางที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบราคาของกระจกอาคารต่อหนึ่งตารางฟุต

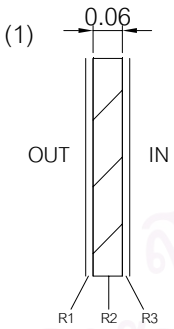
กระจก	สัญลักษณ์	ชนิดของกระจก	ขนาด (มม.)	SC	ราคาวัสดุต่อตารางฟุต (บาท)
1	G 1	กระจกใส	6	0.96	170
2	G 2	กระจกสีชา	6	0.64	192
3	G 3	กระจกสีฟ้า	6	0.68	225
4	G 4	กระจกสีเขียว	6	0.65	245
5	G 5	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า	6	0.52	260
6	G 6	กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงิน	6	0.32	270
7	G 7	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว	6	0.30	285
8	G 8	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า 2 ชั้น + ช่องว่าง 100 มม.+ กระจกใส	22	0.33	300
9	G 9	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าใส 2 ชั้น+ ช่องว่าง 100มม.+กระจกใส	22	0.21	335
10	G 10	กระจกสะท้อนแสงน้ำเงิน 2 ชั้น + ช่องว่าง 100 มม.+กระจกใส	22	0.15	370
11	G 11	กระจกสะท้อนแสงเขียว 2 ชั้น +ช่องว่าง 100 มม. + กระจกใส	22	0.14	415



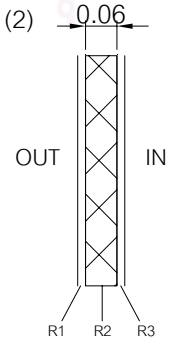
แผนภูมิที่ 5.17 แผนภูมิการเปรียบเทียบราคาของกระจกอาคารต่อหนึ่งตารางฟุต

ค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจก

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (∑R) ของกระจก คือ ค่าความต้านทานของส่วนประกอบของกระจกขึ้นอยู่กับความหนาของกระจก ซึ่งการคำนวณหาค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจก มีรายละเอียดดังนี้

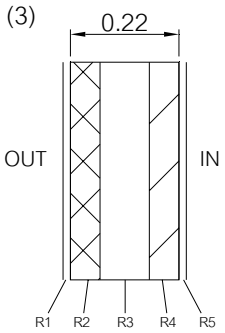


R 1 ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044 m^2 / Watt
R 2 กระจกธรรมดา 6 มม.	= 0.06 / 1.053	= 0.006 m^2 / Watt
R 3 ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.120 m^2 / Watt
	Rt	= 0.170 m^2 / Watt



R 1 ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044 m^2 / Watt
R 2 กระจกสะท้อนแสง 6 มม.	= 0.06 / 1.053	= 0.006 m^2 / Watt
R 3 ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.120 m^2 / Watt
	Rt	= 0.170 m^2 / Watt

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

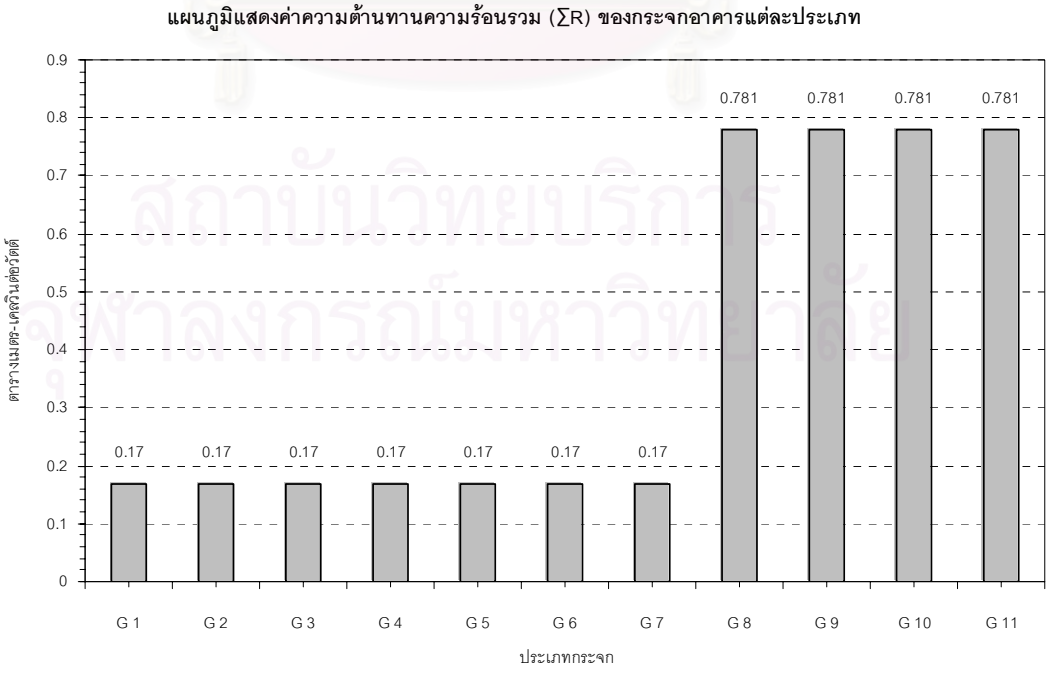


R 1	ฟิล์มอากาศด้านนอก		= 0.044 m^2 / Watt
R 2	กระจกสะท้อนแสง 6 มม.	= 0.06 / 1.053	= 0.006 m^2 / Watt
R 3	ช่องว่างอากาศ 100 มม.		= 0.606 m^2 / Watt
R 4	กระจกใส 6 มม.	= 0.06 / 1.053	= 0.006 m^2 / Watt
R 4	ฟิล์มอากาศด้านใน		= 0.120 m^2 / Watt
		Rt	= 0.781 m^2 / Watt

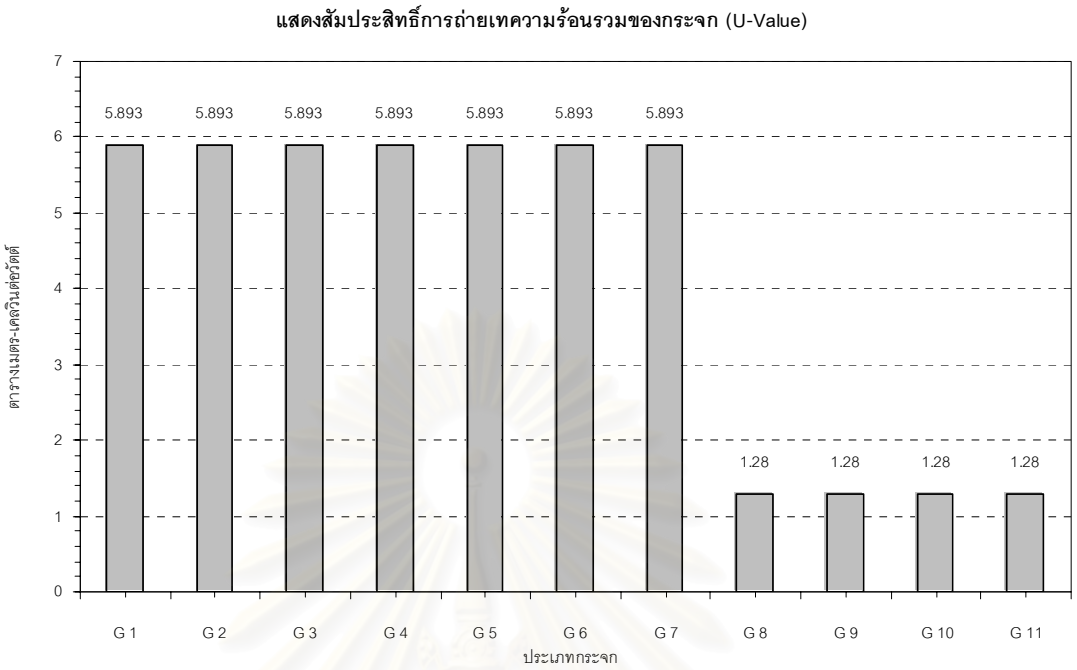
ภาพที่ 5.6 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจก

ตารางที่ 5.16 แสดงประเภทกระจกของอาคารที่เลือกใช้กับอาคาร

ลำดับ	ประเภทผนังกรอบอาคาร	∑ R (sq.m-K/Watt)	U - Value (sq.m-K/Watt)
1	กระจกใส	0.170	5.893
2	กระจกสีชา	0.170	5.893
3	กระจกสีฟ้า	0.170	5.893
4	กระจกสีเขียว	0.170	5.893
5	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า	0.170	5.893
6	กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงิน	0.170	5.893
7	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว	0.170	5.893
8	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า 2 ชั้น + ช่องว่าง 100 มม.+ กระจกใส	0.781	1.280
9	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าใส 2 ชั้น + ช่องว่าง 100มม. + กระจกใส	0.781	1.280
10	กระจกสะท้อนแสงน้ำเงิน 2 ชั้น + ช่องว่าง 100 มม. + กระจกใส	0.781	1.280
11	กระจกสะท้อนแสงเขียว 2 ชั้น + ช่องว่าง 100 มม. + กระจกใส	0.781	1.280



แผนภูมิที่ 5.18 แสดงค่าความต้านทานความร้อนรวมของกระจก



แผนภูมิที่ 5.19 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก

ในการประเมินผลทางด้านความต้านทานความร้อนรวมของกระจก ($\sum R$) และการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกระจก ได้คัดเลือกทั้งหมด 11 ชนิด จากการวิเคราะห์กระจกพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่ต่ำลงจะมีค่าความต้านทานความร้อนรวมสูงขึ้น โดยกระจก 2 ชั้นที่มีความหนา 22 มม. มีค่า 0.781 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ ส่วนกระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดสูงจะมีค่าความต้านทานความร้อนรวมต่ำลง โดยเฉพาะกระจกธรรมดาและกระจกสะท้อนแสงหนา 6 มม. มีค่า 0.170 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 78 ดังนั้นในการพิจารณาเลือกกระจก 2 ชั้นที่มีค่าสัมประสิทธิ์ที่สูง มาใช้ภายในอาคารเพื่อช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารได้ดีกว่ากระจกธรรมดาและกระจกสะท้อนแสง

5.8.4 การเลือกฉนวนกันความร้อนเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

ฉนวนกันความร้อนเป็นวัสดุที่ใช้เพื่อการประหยัดพลังงานที่สำคัญปัจจุบันเกือบทุกอาคารใช้ฉนวนกันความร้อนในการควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ฉนวนกันความร้อนมีคุณสมบัติในการสกัดกั้นการส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ซึ่งในแง่ของการใช้งานแล้วอาจใช้ได้ทั้งการรักษาความร้อนและความเย็น ดังนั้นเพื่อลดความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคารการใช้ฉนวนกันความร้อนจึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามายังภายในอาคารเป็นสำคัญ

ตารางที่ 5.17 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของฉนวนกันความร้อนประเภทที่นำมาใช้กับอาคาร

ลำดับ	ชนิดของฉนวน	ลักษณะทั่วไป	ข้อดี	ข้อเสีย
1	ใยแก้ว (glass fiber)	- ฉนวนเส้นใยแบบเซลล์เปิด - แบบคลุมห่ม - ผลิตโดยการนำเศษแก้วมาหลอมและปั่นจนเป็นเส้นใยละเอียด	- สภาพการนำความร้อนต่ำ - ไม่เป็นพิษ	- ไม่กันไฟ - ตัวประสาน (binder) ลุกไหม้ได้ - การแทรกซึมของไอน้ำสูง ควรมีวัสดุหุ้มกันไอน้ำ

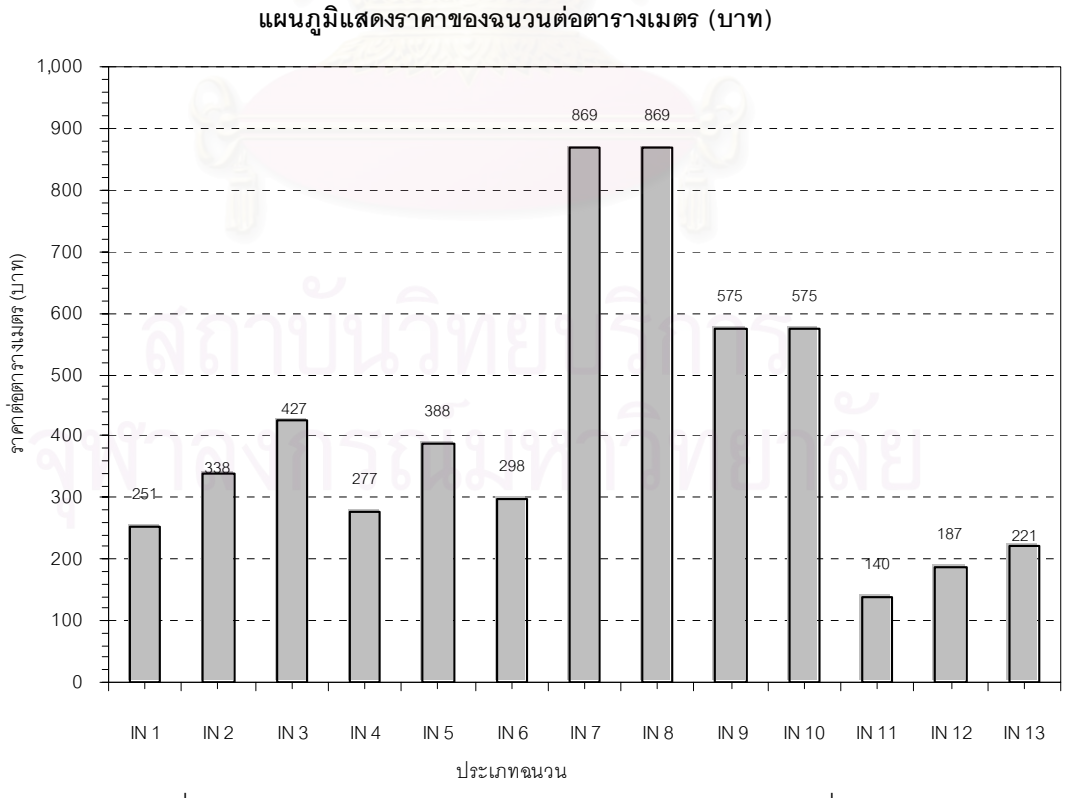
ตารางที่ 5.17 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของฉนวนกันความร้อนประเภทที่นำมาใช้กับอาคาร (ต่อ)

ลำดับ	ชนิดของฉนวน	ลักษณะทั่วไป	ข้อดี	ข้อเสีย
2	ใยแร่หรือใยหิน (mineral fiber or rock wool)	- ฉนวนเส้นใยแบบเซลล์เปิด - แบบคลุมห่ม - ลักษณะกรรมวิธีการผลิตคล้ายฉนวนใยแก้ว - ใช้วัสดุประเภทแร่ เช่นโลหะของเหล็กกล้า ทองแดง	- สภาพการนำความร้อนต่ำ - ไม่ติดไฟ - ไม่เป็นพิษ - อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส	- ตัวประสาน (binder) ลุกไหม้ได้ - การแทรกซึมของไอน้ำสูง
3	ใยเซลลูโลส (cellulose)	- ผลิตขึ้นจากเศษกระดาษ เศษไม้ นำมาใช้ใหม่ - ฉนวนเส้นใยแบบเซลล์เปิด - แบบคลุมห่ม แบบแผ่น และแบบฉีด	- สภาพการนำความร้อนต่ำ - ไม่เป็นพิษ	- ติดไฟได้ - การดูดซึมน้ำสูง - อาจมีการยุบตัวตามอายุการใช้งาน
4	โฟมโพลีสโตรีน (polystyrene foam)	- รูปแบบการผลิต (แบบรีด , แบบหล่อ) - วัสดุประเภทเซลล์ธรรมชาติ - เป็นสีเหลืองและเสื่อมสภาพได้เมื่อโดนรังสี UV	- สภาพการนำความร้อนต่ำ - เป็นตัวผนึกหรือกันซึมได้ - การแทรกซึมของไอน้ำและการดูดซึมน้ำต่ำ - ไม่เป็นพิษ	- ติดไฟได้ - อุณหภูมิใช้งานสูงสุดประมาณ 82 องศาเซลเซียส
5	โฟมโพลียูรีเทน (polyurethane foam)	- เป็นสารฟลูออโรคาร์บอนที่พ่นให้เป็นโฟม - แบบแผ่นแข็ง แบบฉีดขึ้นรูปแบบพ่นบนพื้นผิว	- สภาพการนำความร้อนต่ำที่สุด - เป็นตัวผนึกหรือกันซึมได้ - การแทรกซึมของไอน้ำและการดูดซึมน้ำต่ำ	- ติดไฟได้ - เกิดควันที่เป็นพิษขณะลุกไหม้ แก้ไขโดยใส่สารกันไฟลาม
6	โฟมโพลีเอทธีลีน (polyethelene foam)	- ลักษณะคล้ายฉนวนโพลีสไตรีน แต่มักจะมีความหนาแน่นมากกว่า - แบบรีดติดกับวัสดุมุงหลังคา	- การนำความร้อนต่ำสุด - ไม่ติดไฟ - ปรับรูปได้ ยึดติดง่าย น้ำหนักเบา - กันเสียง	- เป็นที่อยู่อาศัยของแมลงหากไม่มีการป้องกัน - ถ้าชื้นมาก ๆ จะทำให้เสื่อมสภาพไป
7	แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์	- เป็นอลูมิเนียมฟอยล์บาง - การใช้งานควรมีช่องอากาศระหว่างแผ่นหลังคา เพราะมีคุณสมบัตินำความร้อนได้ดี - มีหลายประเภท	- ทนต่อรังสีอุลตราไวโอเล็ต ไม่ติดไฟ - ป้องกันการกัดกร่อนของสนิม - น้ำหนักเบา	- ถ้ามีฝุ่นเกาะคุณสมบัติจะลดลงเรื่อย ๆ - ไม่หดตัวแต่จะเสียรูปหรือหย่อนเรื่องจากการติดตั้งไม่ดี
8	เซรามิคโคทติ้ง	- เป็นวัสดุเคลือบผิวเพื่อสะท้อนความร้อน - มีค่าการสะท้อนความร้อนสูง ดูดซับความร้อนต่ำ และกระจายความร้อนได้เร็ว	- ช่วยป้องกันความเสียหายให้แก่หลังคาและผนัง จากความร้อน	- หากมีฝุ่นละอองจะทำให้ค่าการสะท้อนความร้อนลดลง - ค่าการสะท้อนที่ดีขึ้นอยู่กับสี (โดยเฉพาะสีขาว)

แหล่งที่มา : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2543 : 28

ตารางที่ 5.18 แสดงประเภทและราคาฉนวนกันความร้อนที่ใช้ในการพิจาณาหาแนวทางที่เหมาะสมกับอาคาร

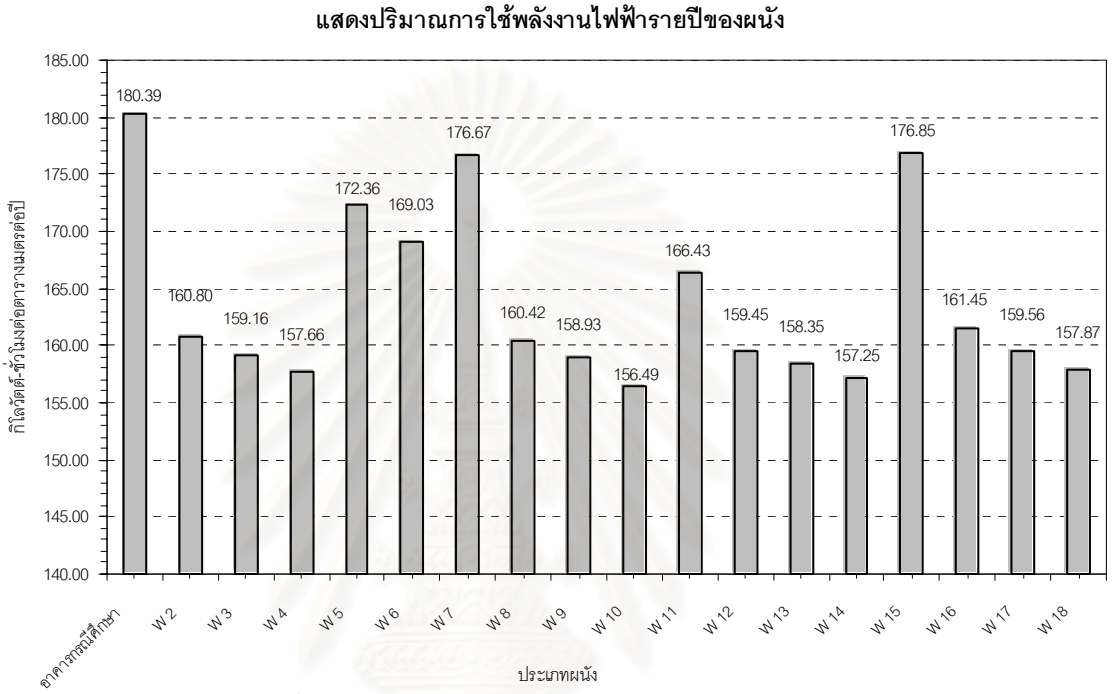
ลำดับ	สัญลักษณ์	ประเภทฉนวนกันความร้อน	ขนาด (มม.)	ราคา (บาท)	
				ต่อแผ่น	ต่อ ตร.ม.
1	IN 1	แผ่นใยแก้ว 1 นิ้ว หนาแน่น 16 กก./ลบ.ม.	0.25	132	251
2	IN 2	แผ่นใยแก้ว 2 นิ้ว หนาแน่น 16 กก./ลบ.ม.	0.50	169	338
3	IN 3	แผ่นใยแก้ว 3 นิ้ว หนาแน่น16 กก./ลบ.ม.	0.75	198	427
4	IN 4	แผ่นใยแก้ว 1 นิ้ว หนาแน่น 24 กก./ลบ.ม.	0.25	145	277
5	IN 5	แผ่นใยแก้ว 2 นิ้ว หนาแน่น 24 กก./ลบ.ม.	0.50	176	388
6	IN 6	โฟมโพลีสไตรีน 1 นิ้ว	0.25	285	298
7	IN 7	โฟมโพลีสไตรีน 2 นิ้ว	0.50	855	869
8	IN 8	โฟมโพลีสไตรีน 3 นิ้ว	0.75	855	869
9	IN 9	โฟมโพลีเอทธีลีน 1 นิ้ว	0.50	565	575
10	IN 10	โฟมโพลีเอทธีลีน 2 นิ้ว	1.00	565	575
11	IN 11	แผ่นอลูมิเนียม เบอร์ 30	0.30	104	140
12	IN 12	แผ่นอลูมิเนียม เบอร์ 26	0.45	151	187
13	IN 13	แผ่นอลูมิเนียม เบอร์ 24	0.55	185	221



แผนภูมิที่ 5.20 แผนภูมิการราคาเปรียบเทียบของฉนวนกันความร้อนต่อหนึ่งตารางเมตร

5.9 วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนวัสดุเปลือกอาคาร

หลังจากที่วิเคราะห์ความต้านทานความร้อนรวมของวัสดุเปลือกอาคารแล้วจึงทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางด้านปริมาณการใช้พลังงานของเปลือกอาคารแต่ละแนวทาง โดยมุ่งเน้นที่จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ แสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้า มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



แผนภูมิที่ 5.21 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของผนัง

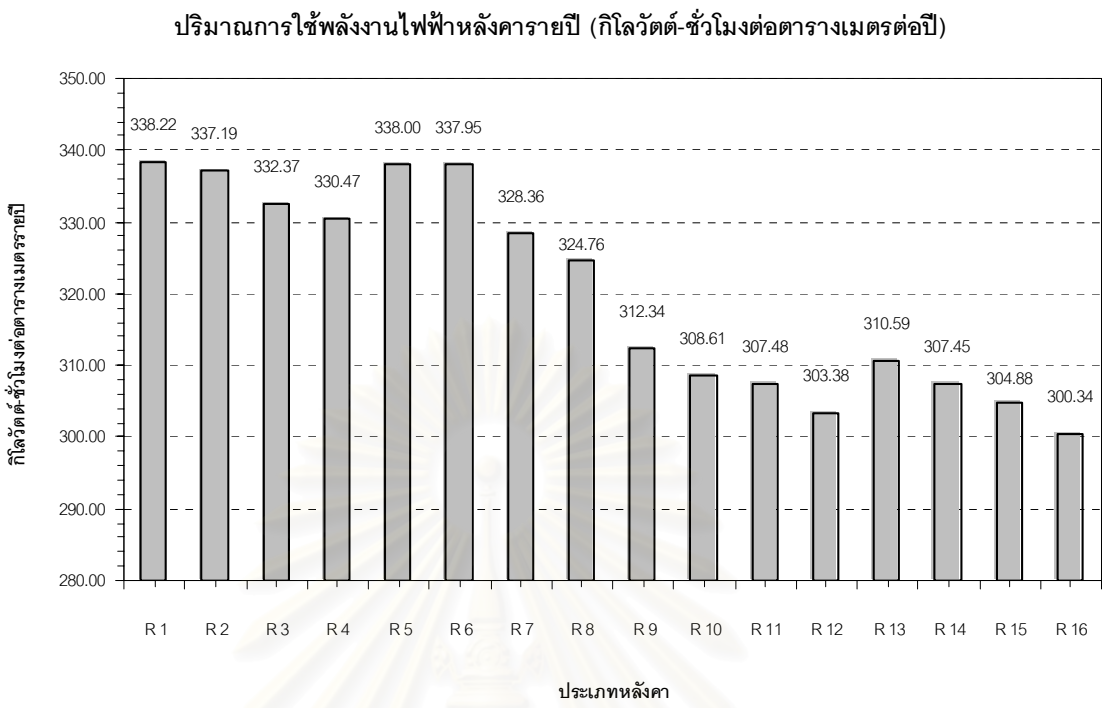
ตารางที่ 5.19 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายปีของผนังแต่ละประเภท

ลำดับ	ประเภทผนังกรอบอาคาร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี)	OTTV (sq.m-K/Watt)	ร้อยละเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษา
1	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน (base case)	180.39	64.55	-
2	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	160.80	47.42	26.53 %
3	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	159.16	45.58	29.41 %
4	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	157.66	44.76	30.65 %
5	ผนังอิฐมอญเต็มแผ่น ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	172.36	59.29	8.14 %
6	ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น 2 ชั้น	169.03	57.58	10.79 %
7	ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	176.67	56.24	12.87 %
8	ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	160.42	46.02	28.70 %

ตารางที่ 5.19 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายปีของผนังแต่ละประเภท (ต่อ)

ลำดับ	ประเภทผนังกรอบอาคาร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี)	OTTV (sq.m-K/Watt)	ร้อยละเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษา
9	ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	158.93	44.99	30.30 %
10	ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	156.49	44.44	31.15 %
11	ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	166.43	64.49	0.92 %
12	ผนังก่อคอนกรีตบล็อคฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 1นิ้ว	159.45	47.41	26.55 %
13	ผนังก่อคอนกรีตบล็อคฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 2นิ้ว	158.35	45.57	29.40 %
14	ผนังก่อคอนกรีตบล็อคฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว3 นิ้ว	157.25	44.76	30.65 %
15	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	176.85	63.99	0.86 %
16	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 1นิ้ว	161.45	47.90	25.79 %
17	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปฉาบปูนเรียบ2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 2นิ้ว	159.56	45.75	29.12 %
18	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปฉาบปูนเรียบ2 ด้าน+ ฉนวนใยแก้ว 3นิ้ว	157.87	44.85	30.51 %

ผลจากการจำลองสภาพด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีวัสดุผนังอาคารแต่ละประเภทมาเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษา โดยแบ่งผนังอาคารออกเป็น 4 ประเภทหลัก ๆ ประกอบด้วยผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น ผนังคอนกรีตมวลเบา ผนังคอนกรีตบล็อกและผนังคอนกรีตสำเร็จรูป พบว่า ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น (base case) มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่า 180.39 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ซึ่งจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ที่ 64.55 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ ที่สูงกว่าผนังอื่น ๆ เกิดจากอิทธิพลของความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารมีปริมาณมากเนื่องจากผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นมีประสิทธิภาพของการหน่วงความร้อนที่ต่ำประมาณ 2.30 ชั่วโมง เมื่อผนังที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้วที่มีความหนาต่าง ๆ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น ซึ่งผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 12 มม. มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดมีค่า 156.49 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี และมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ที่ 44.44 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ เนื่องจากมีค่าการหน่วงความร้อนประมาณ 7-8 ชั่วโมง ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมีความคงที่และภาระการทำความเย็นสูงสุดมีปริมาณลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษามีอัตราส่วนลดลงคิดเป็นร้อยละ 31.15



แผนภูมิที่ 5.22 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของหลังคา

ตารางที่ 5.20 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายปีของหลังคาแต่ละประเภท

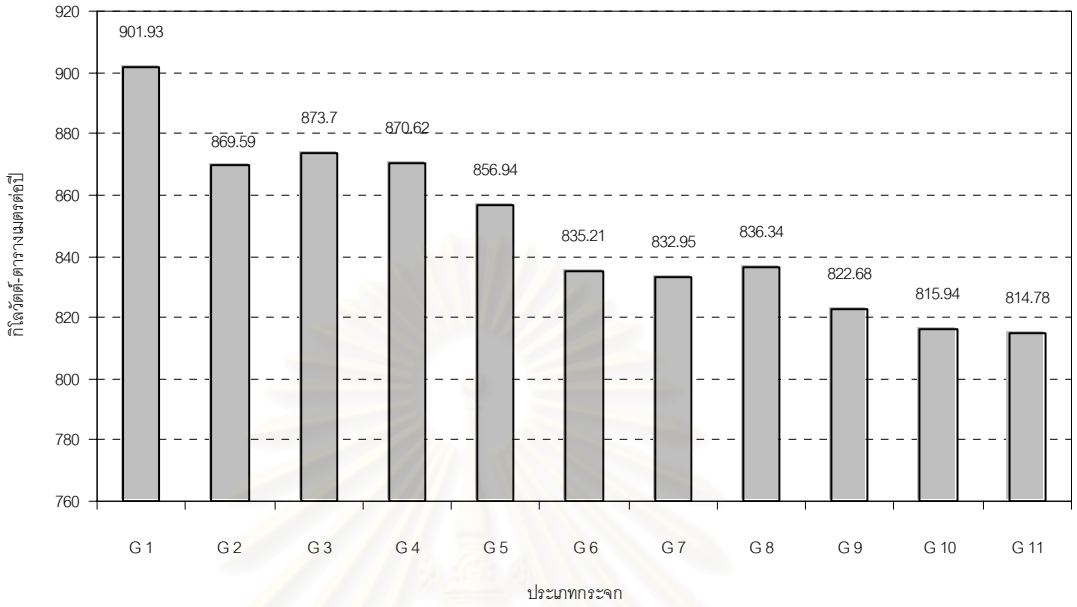
ลำดับ	ประเภทหลังคา	ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี)	RTTV (sq.m-K/Watt)	ร้อยละเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษา
1	หลังคาลอนคู่ + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	338.22	47.81	-
2	หลังคาลอนคู่ + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	337.19	25.00	47.36
3	หลังคาลอนคู่ + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	332.37	17.08	64.27
4	หลังคาลอนคู่ + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	330.47	12.95	72.91
5	หลังคาซีแพคโมเนีย + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม.	338.00	46.27	3.22
6	หลังคาซีแพคโมเนีย + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	337.95	24.745	48.24
7	หลังคาซีแพคโมเนีย + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	328.36	16.905	64.64
8	หลังคาซีแพคโมเนีย + ยิปซั่มบอร์ด 9 มม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	324.76	12.81	73.20
9	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.	312.34	46.16	3.45
10	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม. + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	308.61	30.065	37.11

ตารางที่ 5.20 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายปีของหลังคาแต่ละประเภท (ต่อ)

ลำดับ	ประเภทหลังคา	ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี)	RTTV (sq.m-K/Watt)	ร้อยละเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษา
11	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	307.48	19.215	59.80
12	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	303.38	14.105	70.49
13	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม.	310.59	45.43	4.97
14	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	307.45	29.54	38.21
15	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	304.88	19.005	60.24
16	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	300.34	14.00	70.71

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลังคาสูงกว่าผนังของอาคารเกิดจากรับแสงแดดส่องหลังคาโดยตรง ดังนั้นในการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนมีความจำเป็นมากในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา ซึ่งจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ของหลังคามีทั้งหมด 4 ประเภท คือ หลังคาลอนคู่ หลังคาซีแพคโมเนีย หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม. และหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. พบว่าหลังคาลอนคู่ มีฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. โดยไม่การติดตั้งฉนวนกันความร้อนมีค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า 338.22 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี และมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) สูงสุด 47.81 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ จึงทำให้เกิดจากความร้อนเข้ามาภายในอาคารปริมาณมากเพราะคุณสมบัติการหน่วงความร้อนประมาณ 1 ชั่วโมง เป็นช่วงเวลาที่น้อยจึงส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิภายในอาคารให้สูงขึ้น ส่วนหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว มีฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม. มีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 300.34 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี และมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) ต่ำสุด 14.00 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ เปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษามีอัตราส่วนลดลงคิดเป็นร้อยละ 70.71 สรุปได้ว่าหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กนอกจากจะทำหน้าที่เป็นหลังคาแล้วยังทำหน้าที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่เป็นหัวใจสำคัญของการประหยัดพลังงานในอาคาร ความหนาของคอนกรีตเสริมเหล็กจะช่วยหน่วงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารให้ช้าลงได้ โดยอาศัยความสามารถในการกักเก็บความร้อนของวัสดุ ทำให้ความร้อนจากภายนอกผ่านเข้าอาคารช้าลงไปอีกประมาณ 6 – 7 ชั่วโมง มวลสารช่วยลดค่าสูงสุด (peak) ของความร้อนเข้าสู่อาคารได้ โดยการหน่วงความร้อนให้เข้ามาในอาคารในช่วงที่อุณหภูมิภายนอกลดต่ำลง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอก

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของกระจกรายปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี)



แผนภูมิที่ 5.23 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของกระจก

ตารางที่ 5.21 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายปีของกระจกแต่ละประเภท

ลำดับ	ประเภทกระจก	ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี)	OTTV (sq.m-K/Watt)	ร้อยละเปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษา
1	กระจกใส	901.93	59.59	-
2	กระจกสีชา	869.59	46.69	21.64
3	กระจกสีฟ้า	873.70	48.30	18.94
4	กระจกสีเขียว	870.62	47.09	20.97
5	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า	856.94	41.85	29.77
6	กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงิน	835.21	33.78	43.31
7	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว	832.95	32.98	44.65
8	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า 2 ชั้น + ช่องว่าง 100 มม. + กระจกใส	836.34	34.19	42.62
9	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าใส 2 ชั้น + ช่องว่าง 100 มม. + กระจกใส	822.68	29.35	50.74
10	กระจกสะท้อนแสงน้ำเงิน 2 ชั้น + ช่องว่าง 100 มม. + กระจกใส	815.94	26.93	54.80
11	กระจกสะท้อนแสงเขียว 2 ชั้น + ช่องว่าง 100 มม. + กระจกใส	814.78	26.53	55.47

ในการเลือกใช้กระจกเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ซึ่งมี 2 ประการ คือ ประการแรกการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ซึ่งเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร ประการที่สอง ควรเลือกใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำ จากแผนภูมิที่ 5.21 สรุปได้ว่ากระจกที่สามารถกระจก 2 ชั้นมาคุณสมบัติที่ดีที่สุดในการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ลำดับรองลงมาเป็นกระจกสะท้อนแสง ส่วนลำดับสุดท้ายเป็นกระจกธรรมดาจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่ากระจกใสใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด มีค่า 901.93 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) มีค่า 59.59 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ ส่วนกระจกสะท้อนแสงสีเขียว 2 ชั้นใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดมีค่า 814.78 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปีและค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) มีค่า 26.53 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ เปรียบเทียบกับอาคารกรณีศึกษามีอัตราส่วนลดลงคิดเป็นร้อยละ 55.47

5.10 สรุปการเลือกแนวทางวัสดุเปลือกอาคารที่ใช้ในการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลของวัสดุกรอบอาคาร ทำให้เข้าใจถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุทั่วไปที่ใช้กันอยู่ในอาคารสำนักงาน สำหรับงานวิจัยนี้เป็นโครงการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการประหยัดพลังงาน เพื่อใช้สำหรับในการก่อสร้างอาคารสำนักงานภาครัฐ ดังนั้นจึงมีหลักเกณฑ์ในการเลือกวัสดุกรอบอาคารมาใช้ในการทดสอบสำหรับงานวิจัย ดังนี้

1) เป็นวัสดุที่ราคาไม่สูง
2) มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน
3) คุณสมบัติสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) ภายในอาคารที่มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

5.10.1 แนวทางเลือกวัสดุผนังอาคาร

วัสดุผนังที่เลือกใช้ในการพิจารณาทางด้านราคา คุณสมบัติในการป้องกันความร้อน และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง มีดังต่อไปนี้

1) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน (base case) (W1)
2) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W2)
3) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W3)
4) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W4)
5) ผนังอิฐมอญเต็มแผ่น ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน (W5)
6) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น 2 ชั้น (W6)
7) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน (W7)
8) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับ (W8)

ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

9) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับ (W9)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

10) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับ (W10)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

11) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน (W11)

12) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับ (W12)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

13) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับ (W13)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

14) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับ (W14)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

15) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน (W15)

16) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับ (W16)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

17) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับ (W17)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

18) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับ (W18)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

วัสดุผนังที่ราคาไม่สูง

การพิจารณาหลักเกณฑ์วัสดุที่ราคาไม่สูง จึงมีวัสดุผนังที่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน (base case) (W1)

2) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับ (W2)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

3) ผนังอิฐมอญเต็มแผ่น ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน (W5)

4) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่น 2 ชั้น (W6)

5) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน (W7)

6) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน (W11)

7) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับ (W12)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

8) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน (W15)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณสมบัติการป้องกันความร้อนของผนัง (R)

จากหลักเกณฑ์ความมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนจึงมีวัสดุผนังที่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้

1) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W3)
2) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W4)
3) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W8)
4) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W9)
5) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W10)
6) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W13)
7) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W14)
8) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W17)
9) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W18)

คุณสมบัติสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV)

จากหลักเกณฑ์ความมีคุณสมบัติสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังจึงมีวัสดุผนังที่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้

1) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W2)
2) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W3)
3) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W4)
4) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W8)
5) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม. (W9)

6) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับ (W10)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

7) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับ (W12)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

8) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับ (W13)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

9) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับ (W14)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

10) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับ (W16)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

11) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับ (W17)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

12) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับ (W18)
ด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

สรุปการคัดเลือกวัสดุผนังของอาคาร

จากหลักเกณฑ์ในการพิจารณ์ทั้ง 3 หลักเกณฑ์ ได้ข้อสรุปประเภทของวัสดุผนังที่จะนำไปสู่กระบวนการทดสอบทางกายภาพใต้ข้อกำหนดของกรอบการวิจัยและมีเหตุผลเพื่อการสนับสนุนมานำมาใช้ในการวิจัยและทดสอบดังนี้

1) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

2) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

3) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

4) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

5) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

6) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

7) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

8) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

9) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

10) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

5.10.2 แนวทางวัสดุหลังคาของอาคาร

วัสดุหลังคาที่เลือกใช้ในการพิจารณาทางด้านราคา คุณสมบัติในการป้องกันความร้อน และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคา มีดังนี้

1) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R1)
2) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R2)
3) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R3)
4) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R4)
5) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R5)
6) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R6)
7) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R7)
8) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R8)
9) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R9)
10) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R10)
11) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R11)
12) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R12)
13) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 มม.มีช่องว่าง 100 มม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R13)
14) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R14)

15) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. (R15)
บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

16) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. (R16)
บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

วัสดุหลังคาที่ราคาไม่สูง

การพิจารณาหลักเกณฑ์หลังคาที่ราคาไม่สูง จึงมีวัสดุหลังคาที่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R1)
2) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (R2)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
3) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (R3)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
4) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว (R4)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
5) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม. (R5)
6) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (R6)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
7) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (R7)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
8) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว (R8)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
9) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. (R9)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

คุณสมบัติในการป้องกันความร้อนของหลังคา (R)

จากหลักเกณฑ์ความมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนจึงมีวัสดุหลังคาที่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้

1) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (R2)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
2) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (R3)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
3) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว (R4)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

4) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (R6)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
5) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (R7)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
6) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว (R8)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
7) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. (R10)
บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
8) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. (R11)
บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
9) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. (R12)
บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
10) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. (R14)
บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
11) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. (R15)
บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
12) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. (R16)
บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

คุณสมบัติสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)

จากหลักเกณฑ์ความมีคุณสมบัติสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาที่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้

1) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (R3)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
2) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว (R4)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
3) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว (R6)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
4) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (R7)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
5) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว (R8)
ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
6) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. (R11)
บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

7) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. (R12)
บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

8) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. (R15)
บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

9) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. (R16)
บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

สรุปการคัดเลือกวัสดุหลังคาของอาคาร

จากหลักเกณฑ์ในการพิจารณ์ทั้ง 3 หลักเกณฑ์ ได้ข้อสรุปประเภทของวัสดุหลังคาที่จะนำไปสู่กระบวนการทดสอบทางกายภาพใต้ข้อกำหนดของกรอบการวิจัยและมีเหตุผลเพื่อการสนับสนุนมานำมาใช้ในการวิจัยและทดสอบดังนี้

1) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
2) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
3) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
4) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด
5) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด
6) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด
7) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
8) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
9) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.
10) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

5.10.3 แนวทางวัสดุกระจกของอาคาร

วัสดุกระจกที่เลือกใช้ในการพิจารณาทางด้านราคา คุณสมบัติในการป้องกันความร้อน และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง มีดังนี้

1) กระจกใส หนา 6 มม. (G1)
2) กระจกสีชาหนา 6 มม. (G2)
3) กระจกสีฟ้าหนา 6 มม. (G3)
4) กระจกสีเขียวหนา 6 มม. (G4)
5) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มม. (G5)
6) กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงินหนา 6 มม. (G6)

7) กระจกสะท้อนแสงสีเขียวหนา 6 มม. (G7)
8) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น (G8)
9) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าใส มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น (G9)
10) กระจกสะท้อนแสงน้ำเงิน มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น (G10)
11) กระจกสะท้อนแสงเขียว มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น (G11)

วัสดุหลังคาที่ราคาไม่สูง

การพิจารณาหลักเกณฑ์กระจกที่ราคาไม่สูง จึงมีกระจกที่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1) กระจกใส หนา 6 มม. (G1)
2) กระจกสีชาหนา 6 มม. (G2)
3) กระจกสีฟ้าหนา 6 มม. (G3)
4) กระจกสีเขียวหนา 6 มม. (G4)
5) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มม. (G5)
6) กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงินหนา 6 มม. (G6)
7) กระจกสะท้อนแสงสีเขียวหนา 6 มม. (G7)

คุณสมบัติในการป้องกันความร้อนของกระจก

จากหลักเกณฑ์ของคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนของกระจกที่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณาดังต่อไปนี้

1) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น (G8)
2) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าใส มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น (G9)
3) กระจกสะท้อนแสงน้ำเงิน มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น (G10)
4) กระจกสะท้อนแสงเขียว มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น (G11)

คุณสมบัติสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังกระจก (OTTV)

จากหลักเกณฑ์ความมีคุณสมบัติสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังกระจกที่อยู่ในเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้

1) กระจกสีชาหนา 6 มม. (G2)
2) กระจกสีฟ้าหนา 6 มม. (G3)
3) กระจกสีเขียวหนา 6 มม. (G4)
4) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มม. (G5)
5) กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงินหนา 6 มม. (G6)
6) กระจกสะท้อนแสงสีเขียวหนา 6 มม. (G7)
7) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น (G8)
8) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าใส มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น (G9)

9) กระจกสะท้อนแสงน้ำเงิน มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น (G10)

10) กระจกสะท้อนแสงเขียว มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น (G11)

สรุปการคัดเลือกกระจกของอาคาร

จากหลักเกณฑ์ในการพิจารณ์ทั้ง 3 หลักเกณฑ์ ได้ข้อสรุปประเภทของกระจกที่จะนำไปสู่กระบวนการทดสอบทางกายภาพใต้ข้อกำหนดของกรอบการวิจัยและมีเหตุผลเพื่อการสนับสนุนมานำมาใช้ในการวิจัยและทดสอบดังนี้

1) กระจกสีชาหนา 6 มม.
2) กระจกสีฟ้าหนา 6 มม.
3) กระจกสีเขียวหนา 6 มม.
4) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มม.
5) กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงินหนา 6 มม.
6) กระจกสะท้อนแสงสีเขียวหนา 6 มม.
7) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น
8) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าใส มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น
9) กระจกสะท้อนแสงน้ำเงิน มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น
10) กระจกสะท้อนแสงเขียว มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น

5.11 สรุปการออกแบบอาคารสำนักงานเพื่อการประหยัดพลังงาน

หลังจากที่ได้วิเคราะห์รูปทรงอาคารและวัสดุเปลือกอาคารโดยการวิเคราะห์ วัสดุผนัง หลังคา และกระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน โดยในเบื้องต้นจะมุ่งเน้นที่การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ แสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งได้คัดเลือกวัสดุต่าง ๆ แบ่งออกเป็น 10 แนวทางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.22 วิเคราะห์แนวทางการคัดเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

แนวทางที่	รายการวัสดุ	Thickness (Feet)	Conductivity (Btu-Ft/Hr-Ft2-°F)	Density (Lb/Ft^3)	Specific Heat (Btu/Lb-°F)
อาคารกรณีศึกษา	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น	0.333	0.4167	120.0	0.2
	หลังคาซีแพคโมเนีย	0.083	0.4157	115	0.2
	กระจกใส	-	-	-	-
1	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	0.333	0.4167	120.0	0.2
		0.2957	0.025	6	0.2
	หลังคาลอนคู่ + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	0.1458	0.4157	115	0.2
		0.1882	0.0250	0.6	0.2
	กระจกสีชา	-	-	-	-

ตารางที่ 5.22 วิเคราะห์แนวทางการคัดเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (ต่อ)

แนวทางที่	รายการวัสดุ	Thickness (Feet)	Conductivity (Btu-Ft/Hr-Ft2-°F)	Density (Lb/Ft^3)	Specific Heat (Btu/Lb-°F)
2	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	0.333	0.4167	120.0	0.2
		0.5108	0.025	6.0	0.2
	หลังคาลอนคู่ + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	0.1458	0.4157	115	0.2
		0.2957	0.025	6.0	0.2
	กระจกสีฟ้า	-	-	-	-
3	ผนังคอนกรีตมวลเบา + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	0.333	0.4167	120.0	0.2
		0.1882	0.0250	0.6	0.2
	หลังคาลอนคู่ + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	0.1458	0.4157	115	0.2
		0.5108	0.025	6.0	0.2
	กระจกสีเขียว	-	-	-	-
4	ผนังคอนกรีตมวลเบา + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	0.333	0.4167	120.0	0.2
		0.2957	0.025	6	0.2
	หลังคาซีแพคโมเนีย + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	0.083	0.4157	115	0.2
		0.1882	0.0250	0.6	0.2
	กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า	-	-	-	-
5	ผนังคอนกรีตมวลเบา + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	0.333	0.4167	120.0	0.2
		0.5108	0.025	6.0	0.2
	หลังคาซีแพคโมเนีย + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	0.083	0.4157	115	0.2
		0.2957	0.025	6.0	0.2
	กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงิน	-	-	-	-
6	ผนังคอนกรีตบล็อค + ฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว	0.333	0.2083	80.0	0.2
		0.1882	0.0250	0.6	0.2
	หลังคาซีแพคโมเนีย + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	0.083	0.4157	115	0.2
		0.5108	0.025	6.0	0.2
	กระจกสะท้อนแสงสีเขียว	-	-	-	-
7	ผนังคอนกรีตบล็อค + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	0.083	0.4157	115	0.2
		0.2957	0.025	6.0	0.2
	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก 12 ซม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	0.500	0.7576	140.0	0.2
		0.2957	0.025	6.0	0.2
	กระจกสะท้อนแสง 2 ชั้นสีฟ้า	-	-	-	-

ตารางที่ 5.22 วิเคราะห์แนวทางการคัดเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (ต่อ)

แนวทางที่	รายการวัสดุ	Thickness (Feet)	Conductivity (Btu-Ft/Hr-Ft2-°F)	Density (Lb/Ft^3)	Specific Heat (Btu/Lb-°F)
8	ผนังคอนกรีตบล็อค + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	0.083	0.4157	115	0.2
		0.5108	0.025	6.0	0.2
	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก 12 ซม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	0.500	0.7576	140.0	0.2
		0.5108	0.025	6.0	0.2
	กระจกสะท้อนแสง 2 ชั้นสีฟ้าใส	-	-	-	-
9	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	0.333	0.0751	36.67	0.2
		0.2957	0.025	6.0	0.2
	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก 15 ซม. + ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	0.6667	0.7675	140.0	0.2
		0.2957	0.025	6.0	0.2
	กระจกสะท้อนแสง 2 ชั้นสีน้ำเงิน	-	-	-	-
10	ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	0.333	0.0751	36.67	0.2
		0.5108	0.025	6.0	0.2
	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก 15 ซม. + ฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว	0.6667	0.7675	140.0	0.2
		0.5108	0.025	6.0	0.2
	กระจกสะท้อนแสง 2 ชั้นสีเขียว	-	-	-	-

5.11.1 แนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

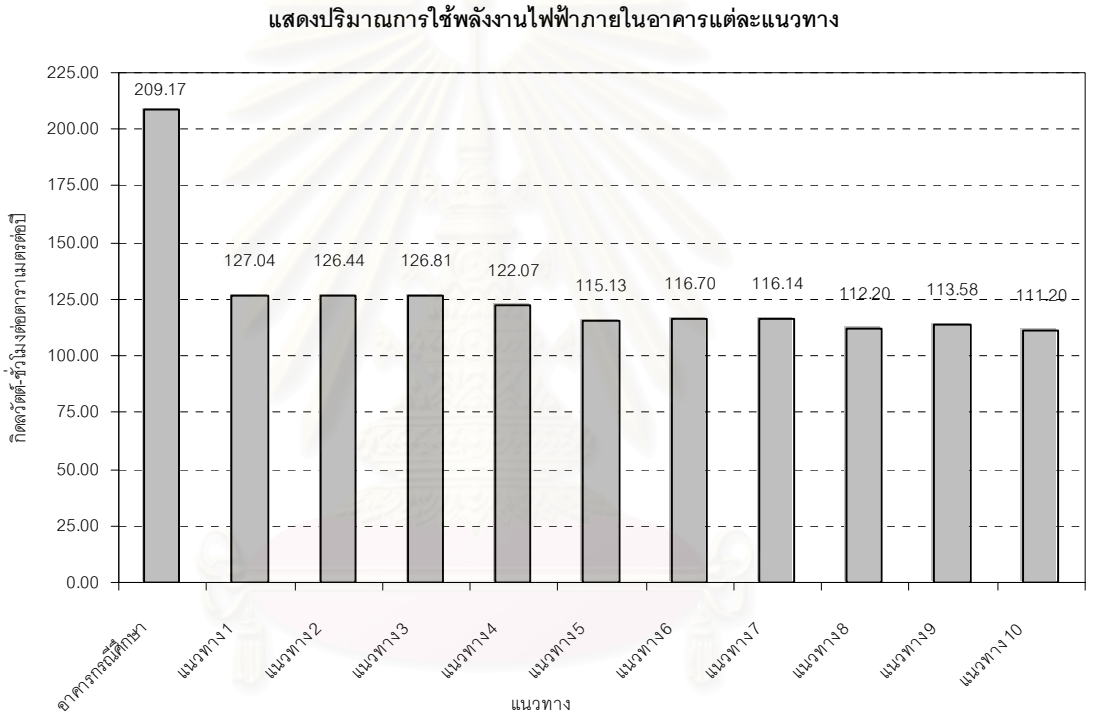
หากพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารสำนักงานอาคาร จำเป็นต้องวิเคราะห์การเลือกวัสดุให้เหมาะสมกับอาคารสำนักงานแล้วลำดับต่อไปจึงทำการเลือกสัดส่วนหน้าต่างให้มีความเหมาะสมความต้านทานความร้อนของวัสดุ โดยให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ที่ 198 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (พงษ์พัฒน์ มั่งคง, 2545 : 10)

ตารางที่ 5.23 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาและอาคารแนวทางที่ 1-10

ประเภทพลังงาน	อาคารกรณีศึกษา	แนวทางที่ 1	แนวทางที่ 2	แนวทางที่ 3	แนวทางที่ 4
แสงสว่าง	30,959	30,959	30,959	30,959	30,959
อุปกรณ์ภายในอาคาร	53,072	53,072	53,072	53,072	53,072
เครื่องปรับอากาศ	229,724	106,533	105,633	106,240	99,077
รวม	313,755	190,564	189,664	190,270	183,108
กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี	209.17	127.04	126.44	126.81	122.07

ตารางที่ 5.23 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานของอาคารกรณีศึกษาและอาคารแนวทางที่ 1-10 (ต่อ)

ประเภทพลังงาน	แนวทางที่ 5	แนวทางที่ 6	แนวทางที่ 7	แนวทางที่ 8	แนวทางที่ 9	แนวทางที่ 10
แสงสว่าง	30,959	30,959	30,959	30,959	30,959	30,959
อุปกรณ์ภายในอาคาร	53,072	53,072	53,072	53,072	53,072	53,072
เครื่องปรับอากาศ	88,658	91,018	90,173	84,265	86,333	82,771
รวม	172,689	175,049	174,204	168,296	170,364	166,802
กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี	115.13	116.70	116.14	112.20	113.58	111.20



แผนภูมิที่ 5.24 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตัวแทนแต่ละแนวทาง

สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษากับอาคารแต่ละแนวทางโดยการจำลองสภาพด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่า วัสดุเปลือกอาคารที่สามารถประหยัดพลังงานได้ 10 แนวทาง โดยมีการเปรียบรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามตะวัน ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น กระจกใสและหลังคาซีแพคโมเนีย มีค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 209.17 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ซึ่งแนวทางที่ 1-10 มีค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าลดลง นั้นเกิดการจากสัมประสิทธิ์การบังแดดของผนังกระจกที่ต่ำจะสามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่าการเลือกใช้ผนัง และหลังคา เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจกมีปริมาณสูงกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ จึงทำให้กระจกใสที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของผนังกระจก (SC) สูงที่ 0.96 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำแต่อาคารแนวทางที่ 1-10 เปลี่ยนกระจกที่มีค่า (SC) ต่ำจึงทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงด้วยรวมถึงภาระการทำความเย็นของผนังก็ลดลงเช่นกัน

5.11.2 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคา (OTTV,RTTV)

เมื่อวิเคราะห์การเลือกวัสดุให้เหมาะสมกับอาคารสำนักงานแล้วลำดับต่อไปจึงทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังและหลังคาให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ผนัง อาคารเก่าต้องมีค่าไม่เกิน 55 วัตต์ต่อตารางเมตรของผนังด้านนอก

2) หลังคา อาคารเก่าต้องมีค่าไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตรของหลังคา

ตารางที่ 5.24 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารตัวแทนแต่ละแนวทาง

ทิศผนังอาคาร		สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (วัตต์/ตร.ม-เคลวิน)		ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด			OTTV (วัตต์/ตร.ม)
		ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	SC1	SC2	SC3	
แนวทางที่ 1 ประกอบด้วย ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นบุฉนวน 2 นิ้ว, หลังคาลอนคู่บุฉนวน 1 นิ้ว, กระจกสีชา							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.589	5.893	0.64	0.892	0.513	22.80
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.589	5.893	0.64	0.655	0.434	22.66
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.589	5.893	0.64	0.731	0.52	26.06
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.589	5.893	0.64	0.748	0.52	24.27
ค่า OTTV รวมของอาคาร							29.60
ค่า RTTV รวมของอาคาร							25.00
แนวทางที่ 2 ประกอบด้วย ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นบุฉนวน 3 นิ้ว, หลังคาลอนคู่บุฉนวน 2 นิ้ว, กระจกสีฟ้า							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.424	5.893	0.68	0.892	0.513	22.27
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.424	5.893	0.68	0.655	0.434	22.11
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.424	5.893	0.68	0.731	0.52	25.72
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.424	5.893	0.68	0.748	0.52	24.90
ค่า OTTV รวมของอาคาร							29.10
ค่า RTTV รวมของอาคาร							17.08
แนวทางที่ 3 ประกอบด้วย ผนังคอนกรีตมวลเบาแผ่นบุฉนวน 1 นิ้ว, หลังคาลอนคู่บุฉนวน 3 นิ้ว, กระจกสีเขียว							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.68	5.893	0.65	0.892	0.513	23.60
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.68	5.893	0.65	0.655	0.434	22.44
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.68	5.893	0.65	0.731	0.52	26.90
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.68	5.893	0.65	0.748	0.52	26.10
ค่า OTTV รวมของอาคาร							30.41
ค่า RTTV รวมของอาคาร							12.95

ตารางที่ 5.24 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารตัวแทนแต่ละแนวทาง (ต่อ)

ทิศผนังอาคาร		สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (วัตต์/ตร.ม-เคลวิน)		ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด			OTTV (วัตต์/ตร.ม)
		ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	SC1	SC2	SC3	
แนวทางที่ 4 ประกอบด้วยผนังคอนกรีตมวลเบาแผ่นบุฉนวน 2 นิ้ว, หลังคาซีแพคโมเนียบุฉนวน 1 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.47	5.893	0.52	0.892	0.513	20.12
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.47	5.893	0.52	0.655	0.434	20.00
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.47	5.893	0.52	0.731	0.52	22.77
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.47	5.893	0.52	0.748	0.52	22.13
ค่า OTTV รวมของอาคาร							26.80
ค่า RTTV รวมของอาคาร							24,745
แนวทางที่ 5 ประกอบด้วยผนังคอนกรีตมวลเบาแผ่นบุฉนวน 3 นิ้ว, หลังคาซีแพคโมเนียฉนวน 2 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงิน							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.359	5.893	0.32	0.892	0.513	16.28
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.359	5.893	0.32	0.655	0.434	16.20
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.359	5.893	0.32	0.731	0.52	17.90
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.359	5.893	0.32	0.748	0.52	17.50
ค่า OTTV รวมของอาคาร							22.62
ค่า RTTV รวมของอาคาร							16.905
แนวทางที่ 6ประกอบด้วย ผนังคอนกรีตบล็อคบุฉนวน1นิ้ว,หลังคาซีแพคโมเนียบุฉนวน 3 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสงสีเขียว							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.96	5.893	0.30	0.892	0.513	20.17
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.96	5.893	0.30	0.655	0.434	20.10
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.96	5.893	0.30	0.731	0.52	21.70
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.96	5.893	0.30	0.748	0.52	21.33
ค่า OTTV รวมของอาคาร							26.50
ค่า RTTV รวมของอาคาร							12.81
แนวทางที่ 7 ประกอบด้วย ผนังคอนกรีตบล็อคบุฉนวน 2 นิ้ว, หลังคา คสล.หนา 12 ซม. บุฉนวน 2 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสง 2 ชั้นสีฟ้า							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.588	5.893	0.33	0.892	0.513	18.03
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.588	5.893	0.33	0.655	0.434	18.00
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.588	5.893	0.33	0.731	0.52	20.00
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.588	5.893	0.33	0.748	0.52	19.30
ค่า OTTV รวมของอาคาร							24.40
ค่า RTTV รวมของอาคาร							19.215

ตารางที่ 5.24 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารตัวแทนแต่ละแนวทาง (ต่อ)

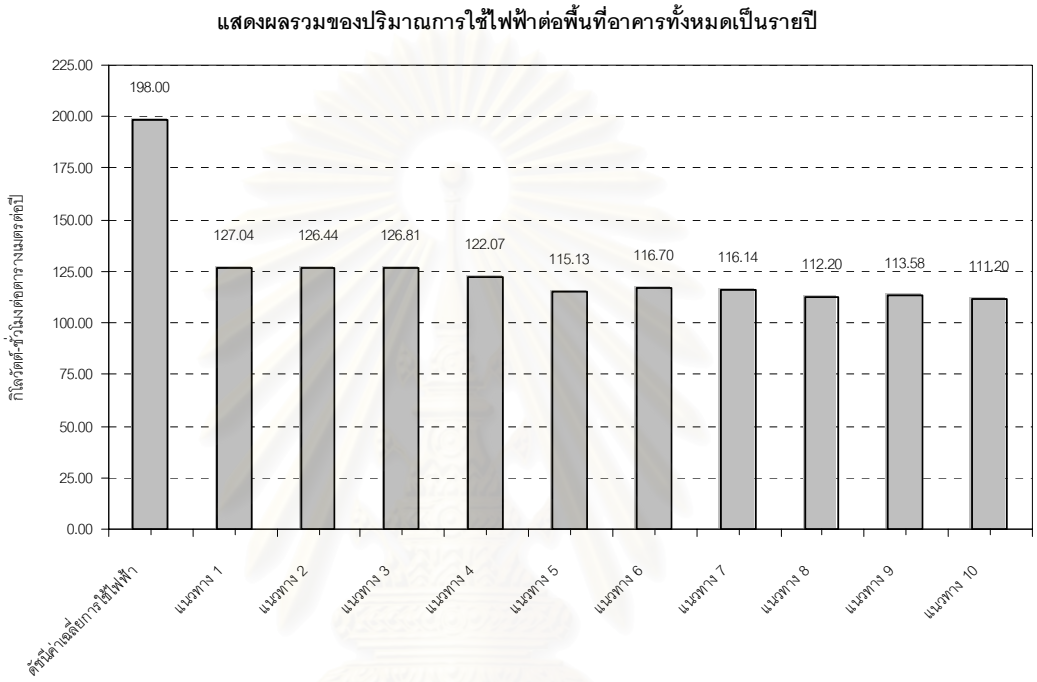
ทิศผนังอาคาร		สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (วัตต์/ตร.ม-เคลวิน)		ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด			OTTV (วัตต์/ตร.ม)
		ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	SC1	SC2	SC3	
แนวทางที่ 8 ประกอบด้วย ผนังคอนกรีตบล็อคบุฉนวน 3 นิ้ว, หลังคา คสล. หนา 12 ซม. บุฉนวน 3 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสง 2 ชั้นสีฟ้าใส							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.424	1.280	0.21	0.892	0.513	15.04
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.424	1.280	0.21	0.655	0.434	15.00
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.424	1.280	0.21	0.731	0.52	16.10
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.424	1.280	0.21	0.748	0.52	16.00
ค่า OTTV รวมของอาคาร							21.22
ค่า RTTV รวมของอาคาร							14.105
แนวทางที่ 9 ประกอบด้วย ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปบุฉนวน 2 นิ้ว, หลังคา คสล. หนา 15 ซม. บุฉนวน 2 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสง 2 ชั้นสีน้ำเงิน							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.624	1.280	0.15	0.892	0.513	15.51
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.624	1.280	0.15	0.655	0.434	15.50
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.624	1.280	0.15	0.731	0.52	16.30
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.624	1.280	0.15	0.748	0.52	16.10
ค่า OTTV รวมของอาคาร							21.70
ค่า RTTV รวมของอาคาร							19.005
แนวทางที่ 10 ประกอบด้วย ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปบุฉนวน 3 นิ้ว, หลังคา คสล. หนา 15 ซม. บุฉนวน 3 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสง 2 ชั้นสีเขียว							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.422	1.280	0.14	0.892	0.513	13.94
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.422	1.280	0.14	0.655	0.434	13.91
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.422	1.280	0.14	0.731	0.52	14.65
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.422	1.280	0.14	0.748	0.52	14.48
ค่า OTTV รวมของอาคาร							20.03
ค่า RTTV รวมของอาคาร							14.00

สรุปผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนัง(OTTV)และหลังคา (RTTV) พบว่า แนวทางที่ 1-10 มีค่าที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งจากการสังเกตวัสดุเปลือกอาคารที่นำมาใช้ถ้ามีการติดตั้งฉนวนใยแก้วที่มีความหนา 3 นิ้ว จะสามารถช่วยลดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมลงได้มากกว่าฉนวนใยแก้ว 1-2 นิ้ว ดังนั้นถ้าต้องการออกแบบอาคารสำนักงานที่ประหยัดพลังงานก็สามารถที่จะเลือกใช้แนวทางใดแนวทางหนึ่งก็ได้ เพราะแต่ละแนวทางสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารได้ทั้งสิ้น

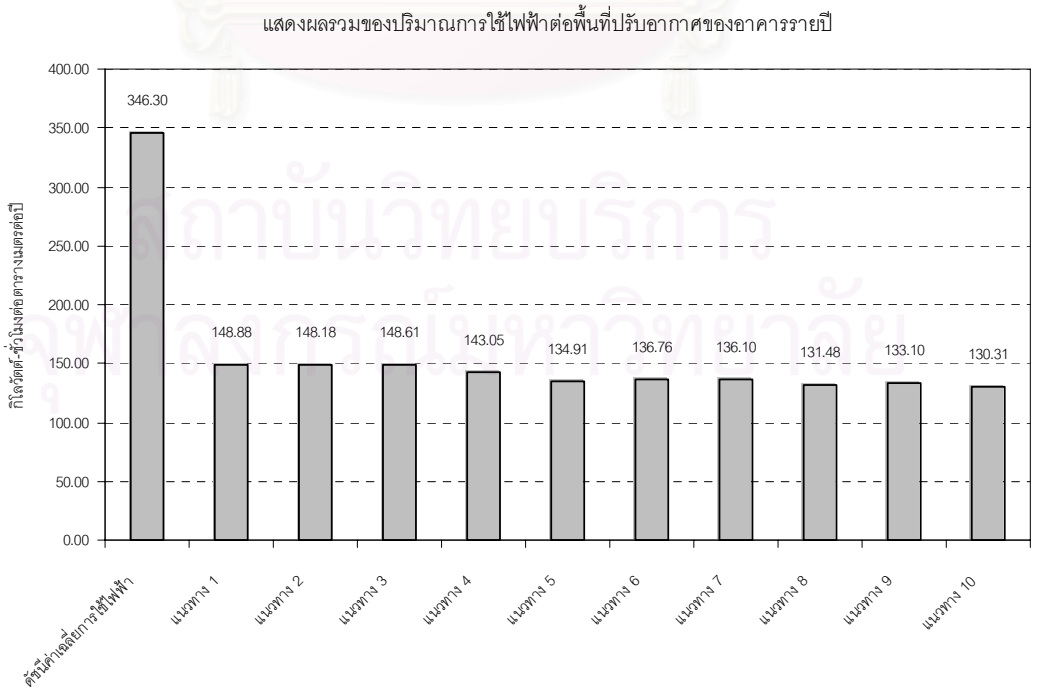
5.11.3 สรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานที่ออกแบบใหม่

หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารแบ่งเป็น 4 ประการ ดังนี้

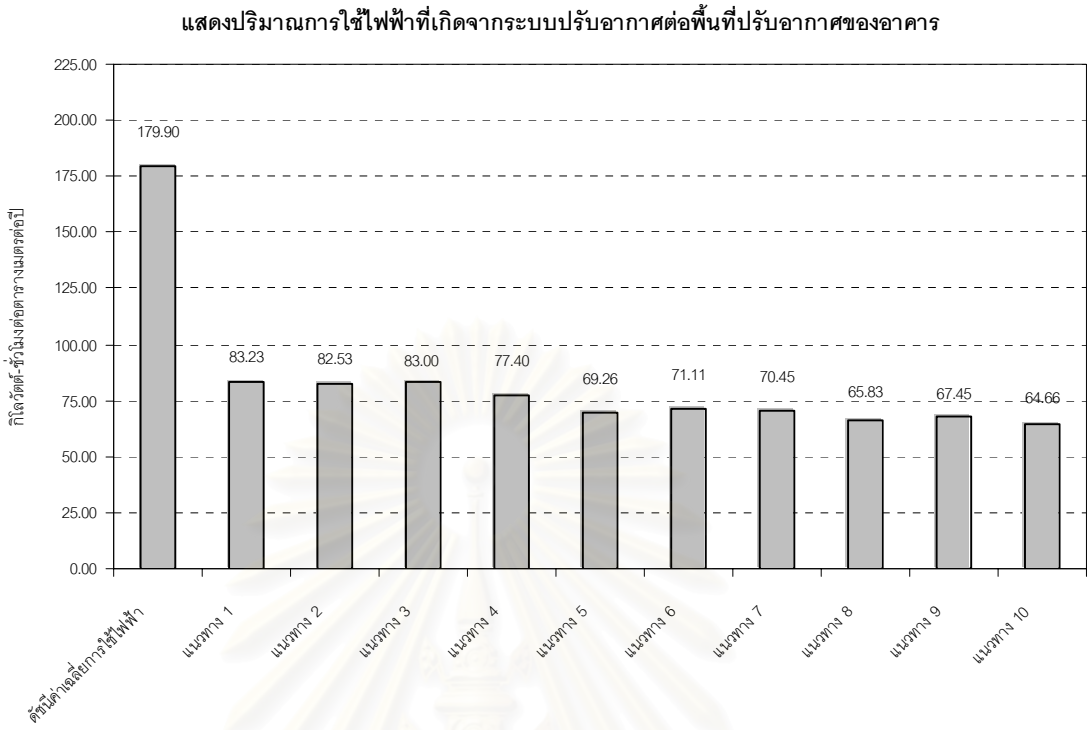
1) แสดงผลรวมของปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดเป็นรายปี
2) แสดงผลรวมของปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดเป็นรายปี
3) แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศของอาคาร
4) แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากแสงสว่างต่อพื้นที่อาคารทั้งหมด



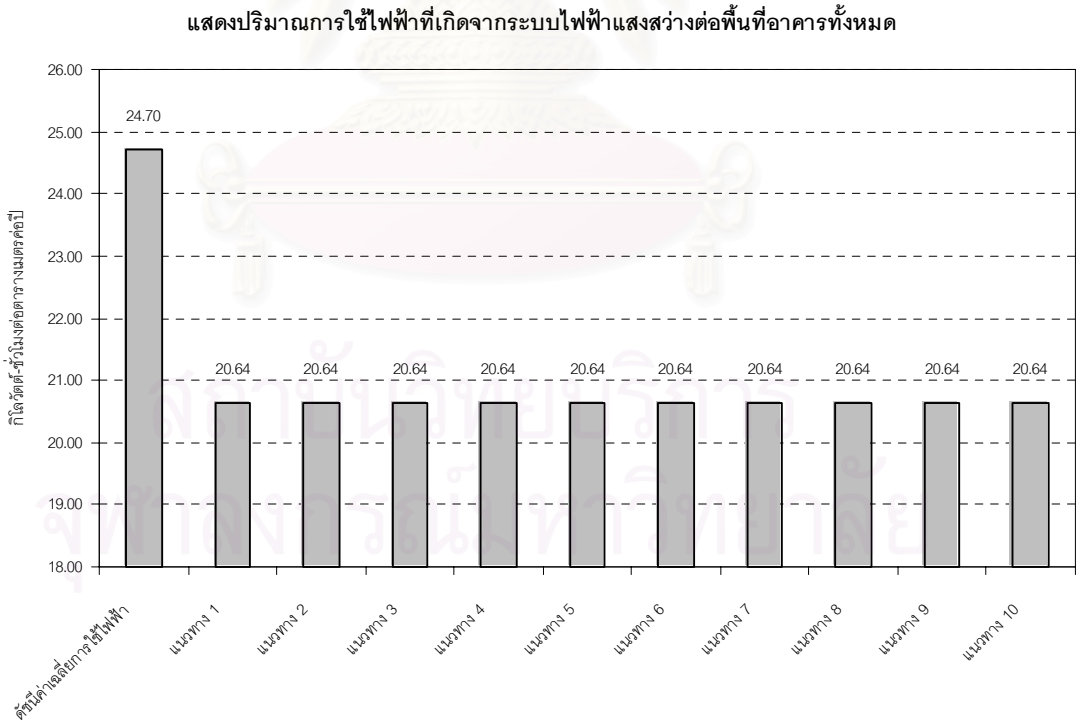
แผนภูมิที่ 5.25 แสดงผลรวมของปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดเป็นรายปี



แผนภูมิที่ 5.26 แสดงผลรวมของปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ปรับอากาศของอาคารเป็นรายปี



แผนภูมิที่ 5.27 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศของอาคาร



แผนภูมิที่ 5.28 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างต่อพื้นที่อาคารทั้งหมด

สรุปได้ว่าหลักเกณฑ์ในการพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามี 4 ประการ คือ ประการแรกแสดงผลรวมของปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดเป็นรายปี กำหนดดัชนีค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าที่ 198 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ทุกแนวทางสามารถมีค่าต่ำกว่าดัชนีทั้งสิ้น โดยแนวทางที่ 10 มีค่าต่ำสุดที่ 111.20 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี มีอัตราส่วนลดลงร้อยละ 43.83 ประการที่สองแสดงผลรวมของปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารทั้งหมดเป็นรายปี กำหนดดัชนีค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าที่ 346.30 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ทุกแนวทางสามารถมีค่าต่ำกว่าดัชนีเกินร้อยละ 50 ทั้งสิ้น โดยแนวทางที่ 10 มีค่าต่ำสุดที่ 130.31 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี มีอัตราส่วนลดลงร้อยละ 62.37 ประการที่สามแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากระบบปรับอากาศต่อพื้นที่ปรับอากาศของอาคารกำหนดดัชนีค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าที่ 179.90 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ทุกแนวทางสามารถมีค่าต่ำกว่าดัชนีเกินร้อยละ 50 ทั้งสิ้นโดยแนวทางที่ 10 มีค่าต่ำสุดที่ 64.66 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี มีอัตราส่วนลดลงร้อยละ 64.05 ประการสุดท้ายแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากแสงสว่างต่อพื้นที่อาคารทั้งหมด กำหนดดัชนีค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าที่ 24.70 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ทุกแนวทางสามารถมีค่าต่ำกว่าดัชนีทั้งสิ้น โดยแนวทางที่ 1-10 มีค่าต่ำสุดที่ 20.64 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี มีอัตราส่วนลดลงร้อยละ 16.43 ดังนั้นสรุปได้ว่าการเปลี่ยนเปลือกอาคารไม่ว่าจะเป็น ผนัง หลังคา และกระจกให้มีค่าความต้านทานความร้อนที่สูงขึ้น ของวัสดุเปลือกอาคารจะช่วยให้ลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้

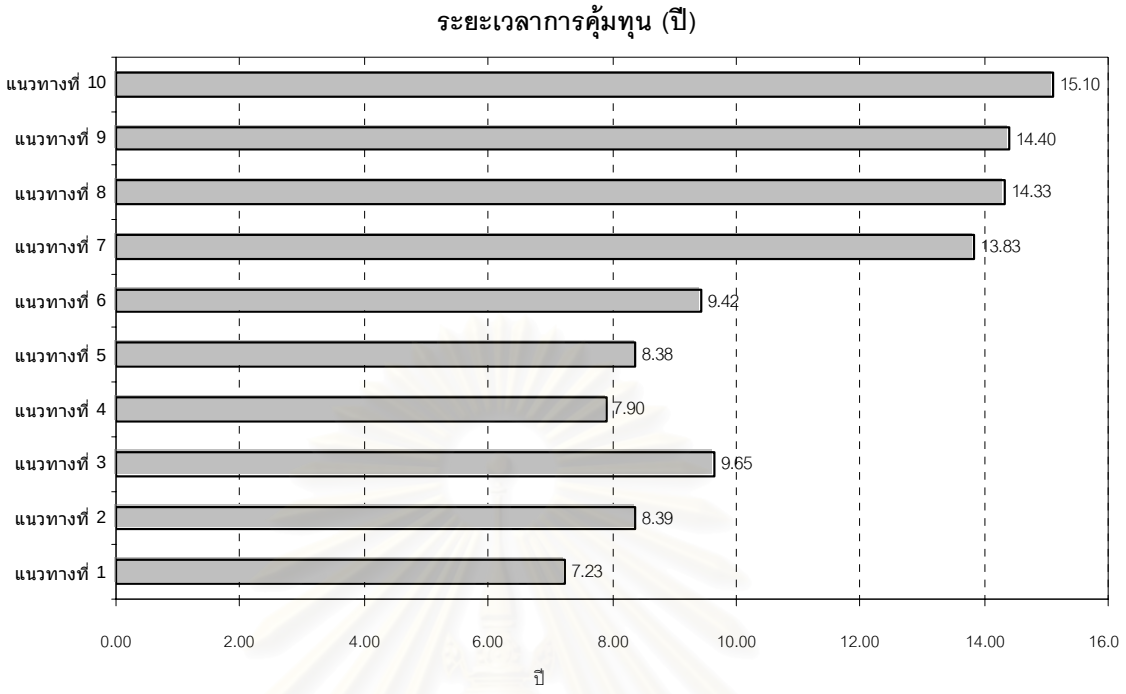
5.11.4 สรุปผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

แนวทางในการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารออกเป็น 2 แนวทาง ประกอบด้วย

1) แสดงระยะความคุ้มทุน
2) แสดงมูลค่าตลอดช่วงอายุการใช้งาน

ตารางที่ 5.25 วิเคราะห์ความคุ้มค่าของการลงทุนเลือกวัสดุอาคารประหยัดพลังงาน

แนวทาง	หน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อปี (kWh/yr.)	ค่าไฟฟ้า (บาทต่อปี)	Annual Saving (บาทต่อปี)	เงินลงทุน (บาท)	Simple Payback Period (ปี)	Initial Rate of Return (IRR) (%)
base case	313,755	941,265	-	-	-	-
แนวทางที่ 1	190,564	571,692	369,573	3,767,828	7.23	13.84
แนวทางที่ 2	189,664	568,992	372,273	4,411,556	8.39	11.92
แนวทางที่ 3	190,270	570,810	370,455	5,058,836	9.65	10.36
แนวทางที่ 4	183,108	549,324	391,941	4,361,732	7.90	12.66
แนวทางที่ 5	172,689	518,067	423,198	5,003,804	8.38	11.93
แนวทางที่ 6	175,049	525,147	416,118	5,574,836	9.42	10.61
แนวทางที่ 7	174,204	522,612	418,653	8,261,012	13.83	7.23
แนวทางที่ 8	168,296	504,888	436,377	8,919,284	14.33	6.98
แนวทางที่ 9	170,364	511,092	430,173	8,836,724	14.40	6.94
แนวทางที่ 10	166,802	500,406	440,859	9,495,716	15.10	6.62



แผนภูมิที่ 5.29 แสดงระยะเวลาความคุ้มทุนของแต่ละแนวทาง

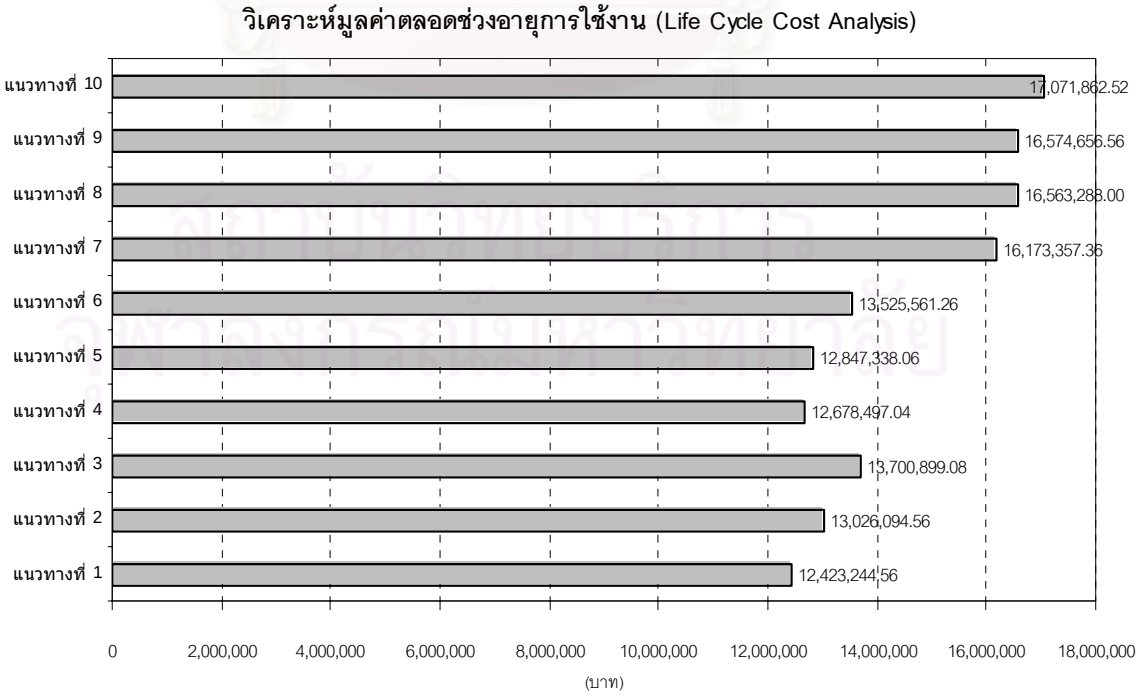
ผลจากการวิเคราะห์ระยะเวลาความคุ้มทุนของอาคารสำนักงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

1) แนวทางที่ 1 ใช้เงินลงทุนมีค่า 3,767,828 บาท เป็นแนวทางที่มีการลงทุนต่ำที่สุด เนื่องจากเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในความต้านทานความร้อนไม่ดีและราคาไม่สูงมากนัก แต่มีระยะเวลาการคุ้มทุน 7.23 ปี ซึ่งใช้เวลาเร็วกว่าแนวทางอื่น ๆ
2) แนวทางที่ 2 ใช้เงินลงทุนมีค่า 4,411,556 บาท มีระยะเวลาการคุ้มทุน 8.39 ปี เป็นแนวทางที่มีการลงทุนและระยะการคุ้มทุนเป็นลำดับที่ 4 ของแนวทางที่นำมาพิจารณา
3) แนวทางที่ 3 ใช้เงินลงทุนมีค่า 5,058,836 บาท มีระยะเวลาการคุ้มทุน 9.65 ปี เป็นแนวทางที่มีการลงทุนและระยะการคุ้มทุนเป็นลำดับที่ 6 ของแนวทางที่นำมาพิจารณา
4) แนวทางที่ 4 ใช้เงินลงทุนมีค่า 4,361,732 บาท มีระยะเวลาการคุ้มทุน 7.90 ปี เป็นแนวทางที่มีการลงทุนและระยะการคุ้มทุนเป็นลำดับที่ 2 ของแนวทางที่นำมาพิจารณา
5) แนวทางที่ 5 ใช้เงินลงทุนมีค่า 5,003,804 บาท มีระยะเวลาการคุ้มทุน 8.38 ปี เป็นแนวทางที่มีการลงทุนและระยะการคุ้มทุนเป็นลำดับที่ 3 ของแนวทางที่นำมาพิจารณา
6) แนวทางที่ 6 ใช้เงินลงทุนมีค่า 5,574,836 บาท มีระยะเวลาการคุ้มทุน 9.42 ปี เป็นแนวทางที่มีการลงทุนและระยะการคุ้มทุนเป็นลำดับที่ 5 ของแนวทางที่นำมาพิจารณา
7) แนวทางที่ 7 ใช้เงินลงทุนมีค่า 8,261,012 บาท มีระยะเวลาการคุ้มทุน 13.83 ปี เป็นแนวทางที่มีการลงทุนและระยะการคุ้มทุนเป็นลำดับที่ 7 ของแนวทางที่นำมาพิจารณา
8) แนวทางที่ 8 ใช้เงินลงทุนมีค่า 8,919,284 บาท มีระยะเวลาการคุ้มทุน 14.33 ปี เป็นแนวทางที่มีการลงทุนและระยะการคุ้มทุนเป็นลำดับที่ 8 ของแนวทางที่นำมาพิจารณา
9) แนวทางที่ 9 ใช้เงินลงทุนมีค่า 8,836,724 บาท มีระยะเวลาการคุ้มทุน 14.40 ปี เป็นแนวทางที่มีการลงทุนและระยะการคุ้มทุนเป็นลำดับที่ 9 ของแนวทางที่นำมาพิจารณา

10) แนวทางที่ 10 ใช้เงินลงทุนมีค่า 9,495,716 บาท มีระยะเวลาการคุ้มทุน 15.10 ปี เป็นแนวทางที่ช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเนื่องจากเลือกใช้วัสดุที่มีความต้านทานความร้อนสูงแต่ในเรื่องของความคุ้มทุนจะใช้เวลานานกว่าแนวทางอื่น ๆ

ตารางที่ 5.26 การวิเคราะห์มูลค่าตลอดช่วงอายุการใช้งาน (LIFE CYCLE COST ANALYSIS)

แนวทาง	เงินลงทุน (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาทต่อปี)	PWIF (Y=20 R=4.56%, I=7.5%	Present Worth of Energy Cost (บาท)	Total Present Worth (บาท)
base case	-	941,265	15.14	14,250,752	14,250,752.10
แนวทางที่ 1	3,767,828	571,692	15.14	8,655,417	12,423,244.56
แนวทางที่ 2	4,411,556	568,992	15.14	8,614,539	13,026,094.56
แนวทางที่ 3	5,058,836	570,810	15.14	8,642,063	13,700,899.08
แนวทางที่ 4	4,361,732	549,324	15.14	8,316,765	12,678,497.04
แนวทางที่ 5	5,003,804	518,067	15.14	7,843,534	12,847,338.06
แนวทางที่ 6	5,574,836	525,147	15.14	7,950,726	13,525,561.26
แนวทางที่ 7	8,261,012	522,612	15.14	7,912,346	16,173,357.36
แนวทางที่ 8	8,919,284	504,888	15.14	7,644,004	16,563,288.00
แนวทางที่ 9	8,836,724	511,092	15.14	7,737,933	16,574,656.56
แนวทางที่ 10	9,495,716	500,406	15.14	7,576,147	17,071,862.52



แผนภูมิที่ 5.30 แสดงมูลค่าตลอดช่วงอายุการใช้งาน

ผลจากการวิเคราะห์มูลค่าตลอดช่วงอายุการใช้งานกำหนด 20 ปี (Life Cycle Cost Analysis) สามารถสรุปได้ดังนี้

1) แนวทางที่ 1 มูลค่าตลอดช่วงเวลาอายุการใช้งานมีค่า 12,423,244.56 บาท ลดลงจากอาคารกรณีศึกษาร้อยละ 12.82
2) แนวทางที่ 2 มูลค่าตลอดช่วงเวลาอายุการใช้งานมีค่า 13,026,094.56 บาท ลดลงจากอาคารกรณีศึกษาร้อยละ 9.00
3) แนวทางที่ 3 มูลค่าตลอดช่วงเวลาอายุการใช้งานมีค่า 13,700,899.08 บาท ลดลงจากอาคารกรณีศึกษาร้อยละ 4.00
4) แนวทางที่ 4 มูลค่าตลอดช่วงเวลาอายุการใช้งานมีค่า 12,678,497.04 บาท ลดลงจากอาคารกรณีศึกษาร้อยละ 11.03
5) แนวทางที่ 5 มูลค่าตลอดช่วงเวลาอายุการใช้งานมีค่า 12,847,338.06 บาท ลดลงจากอาคารกรณีศึกษาร้อยละ 9.84
6) แนวทางที่ 6 มูลค่าตลอดช่วงเวลาอายุการใช้งานมีค่า 13,525,561.26 บาท ลดลงจากอาคารกรณีศึกษาร้อยละ 5.08
7) แนวทางที่ 7 มูลค่าตลอดช่วงเวลาอายุการใช้งานมีค่า 16,173,357.36 บาท เพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาร้อยละ 12.00
8) แนวทางที่ 8 มูลค่าตลอดช่วงเวลาอายุการใช้งานมีค่า 16,563,288.00 บาท เพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาร้อยละ 14.00
9) แนวทางที่ 9 มูลค่าตลอดช่วงเวลาอายุการใช้งานมีค่า 16,574,656.56 บาท เพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาร้อยละ 14.02
10) แนวทางที่ 10 มูลค่าตลอดช่วงเวลาอายุการใช้งานมีค่า 17,071,862.52 บาท เพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษาร้อยละ 16.52

จากการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์และทางด้านเทคนิค สรุปได้ว่าการเลือกวัสดุเปลือกอาคารที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูง (R) จะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าค่าความต้านทานความร้อนต่ำ ซึ่งเปลือกอาคารที่นำมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงอาคารนั้นมักจะเป็นเปลือกอาคารที่มีการติดตั้งฉนวนใยแก้วทั้งความหนา 1-3 นิ้ว นอกจากจะลดปริมาณการใช้พลังงานได้แล้วยังสามารถเพิ่มเวลาการหน่วงความร้อนเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันแนวทางของอาคารที่ลดปริมาณความร้อนได้ดีก็จะมีระยะเวลาการคุ้มทุนที่ยาวนานและมูลค่าตลอดช่วงอายุการใช้งาน (LIFE CYCLE COST ANALYSIS) ก็จะสูงกว่าแนวทางอื่น ๆ

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยมีการดำเนินการพิจารณาดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสำรวจประเมินและวิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษา

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในเชิงเทคนิคและในเชิงเศรษฐศาสตร์

ในการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาเพื่อการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า สามารถสรุปผลได้ดังนี้

6.1 การประเมินและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษา

6.1.1 สรุปปัญหาของอาคารกรณีศึกษา

จากการสำรวจและวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาพบปัญหาที่ต้องการแก้ไขเพื่อให้ผ่านมาตรฐานด้านการอนุรักษ์พลังงาน ดังนี้

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังของอาคารมีค่า 64.84 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารที่กำหนดซึ่งมาตรฐานของอาคารเก่ามีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารไม่เกิน 55 วัตต์ต่อตารางเมตร
2) อาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารสำนักงานขนาดเล็ก 1,500 ตารางเมตรแต่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าอาคารข้างเคียงจากการสำรวจพบว่าเครื่องปรับอากาศของอาคารมีการใช้พลังงานสูงที่สุดเนื่องจากสภาพของเครื่องปรับอากาศที่เก่าซึ่งเป็นเครื่องปรับอากาศเบอร์ 2 จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนให้เป็นเครื่องปรับอากาศเบอร์ 5
3) จากการสำรวจแสงสว่างภายในอาคารบริเวณห้องที่อยู่กลางอาคารมีแสงสว่างไม่เพียงพอเนื่องจากไม่มีช่องเปิดและมีห้องทำงานของแผนกอื่น ๆ อยู่ล้อมรอบทำให้ปิดกั้นแสงสว่างที่จะเข้ามาภายในพื้นที่
4) จากการสำรวจพบว่ารูปทรงอาคารที่เป็นรูปกากบาทมีผลทำให้การถ่ายเทความร้อนเข้ามาภายในอาคารสูงเนื่องจากปริมาณของเปลือกอาคารมากกว่ารูปแบบอื่นจึงทำให้ภายในอาคารมีอุณหภูมิสูงกว่า

6.1.2 องค์ประกอบของอาคารที่ต้องปรับปรุง

จากการประเมินและวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียที่รวบรวมพบว่า การใช้พลังงานในอาคารกรณีศึกษามีปัญหาการใช้พลังงานที่ไม่เหมาะสมมาจากเครื่องปรับอากาศในอาคาร โดยการที่จะปรับปรุงการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศให้มีความเหมาะสมนั้นต้องพิจารณาไปที่การปรับลดภาระการทำความเย็น (cooling load) มีองค์ประกอบของอาคารที่ต้องนำมาปรับปรุงดังนี้

1) ลดภาระการทำความเย็นจากการนำความร้อนและการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านกระจกของอาคาร
2) ลดภาระการทำความเย็นจากการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบของอาคาร
3) ลดภาระการทำความเย็นจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาของอาคาร

6.2 แนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษา

6.2.1 สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาทางด้านเทคนิค

นำองค์ประกอบของอาคารที่วิเคราะห์มาปรับปรุงในแต่ละส่วนมาพิจารณาหาวิธีการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาทางด้านเทคนิคที่เหมาะสมแบ่งออกได้ 7 วิธี

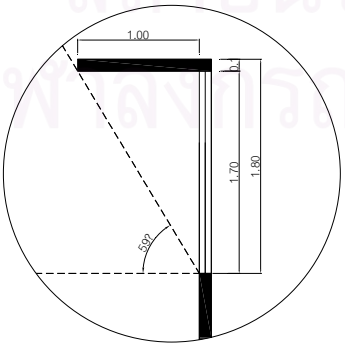
1) วิธีการวิเคราะห์รูปทรงอาคารที่เหมาะสมกับการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารซึ่งกำหนดรูปทรงออกเป็น 6 รูปทรง ประกอบด้วย

- สี่เหลี่ยมจัตุรัส
- สี่เหลี่ยมผืนผ้าขวางตะวัน
- สี่เหลี่ยมผืนผ้าตามตะวัน
- สี่เหลี่ยมจัตุรัสเอียง 45 องศา
- สี่เหลี่ยมผืนผ้าเอียง 45 องศา
- กากบาท

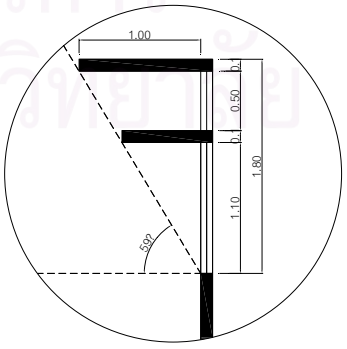
สรุปได้ว่ารูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าตามตะวันสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดีกว่ารูปทรงอาคารแบ่งอื่น ๆ

2) วิธีการวิเคราะห์สัดส่วนของหน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด(WWR)ที่เหมาะสมกับอาคารสำนักงานซึ่งได้พิจารณาพื้นที่ตั้งแต่ 20-80% สรุป WWR ทุกขนาดมีสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ 198 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี ดังนั้นจำเป็นต้องทำการคัดเลือก WWR ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเกณฑ์มาตรฐานของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (พพ.) ตั้งไว้ว่าสัดส่วนของหน้าต่างต่อพื้นที่ผนังทั้งหมดของอาคารสำนักงานมีค่าไม่ต่ำกว่า 26.5 % จึงได้คัดเลือก WWR 30% เป็นสัดส่วนที่ใช้ในการประเมินพลังงานไฟฟ้าของอาคารต่อไป

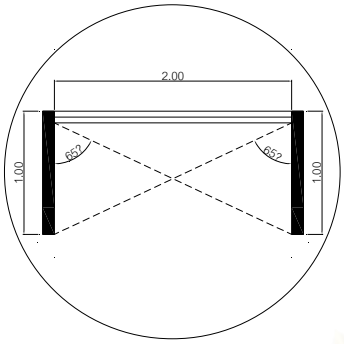
3) วิเคราะห์แผงกันแดดที่เหมาะสมกับอาคารในทิศทางต่าง ๆ ซึ่งกำหนดรูปแบบของแผงกันแดดได้ 4 ประเภท คือ แผงกันแดดแบบแนวนอน 1 ชั้น , แผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้น , แผงกันแดดแบบแนวตั้ง และแผงกันแดดแบบผสม ทุกทิศทางของอาคาร โดยแผงกันแดดเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากลดปัญหาเรื่องการดูแลรักษา มีความแข็งแรงรับน้ำหนักได้ดี กำหนดการยื่นแผงกันแดดของอาคารระยะ 1.00-1.20 เมตร



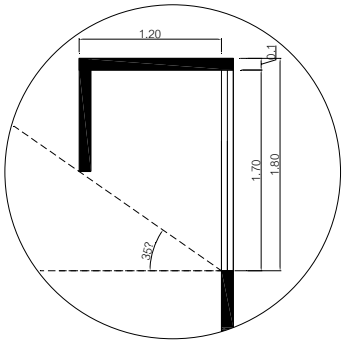
รูปแบบที่ 1 แผงกันแดดแบบแนวนอน 1 ชั้น



รูปแบบที่ 2 แผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้น



รูปแบบที่ 3 แผงกันแดดแบบแนวตั้ง



รูปแบบที่ 4 แผงกันแดดแบบผสม

ภาพที่ 6.1 แสดงรูปแบบของแผงกันแดดในทิศทางต่าง ๆ

สรุปว่า ทางทิศใต้ควรติดตั้งแผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้น ส่วนทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตกควรติดตั้งแผงกันแดดแบบแนวตั้ง เพราะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดของแต่ละรูปแบบ

4) วิธีการคัดเลือกวัสดุผนังและการติดตั้งฉนวนความหนาต่าง ๆ ที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด โดยมีหลักเกณฑ์ 3 หลักเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกผนังประกอบด้วยดังนี้

- เป็นวัสดุที่ราคาไม่สูง
- มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน
- คุณสมบัติสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) ภายในอาคารที่มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าวจึงสรุปแนวทางการคัดเลือกผนังที่สามารถประหยัดพลังงานได้ 10 ประเภทคือ

(ก) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

(ข) ผนังอิฐมอญครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

(ค) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

(ง) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

(จ) ผนังคอนกรีตมวลเบา ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

(ฉ) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

(ช) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

(ซ) ผนังก่อคอนกรีตบล็อค ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

(ฌ) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

(ญ) ผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ฉาบปูนเรียบ 2 ด้านบุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้วและปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 12 มม.

5) วิธีการคัดเลือกวัสดุหลังคาและการติดตั้งฉนวนความหนาต่าง ๆ ที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด โดยมีหลักเกณฑ์ 3 หลักเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกหลังคาประกอบด้วยดังนี้

- เป็นวัสดุที่ราคาไม่สูง
- มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน
- คุณสมบัติสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และหลังคา (RTTV) ภายในอาคารที่มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าวจึงสรุปแนวทางการคัดเลือกหลังคาที่สามารถประหยัดพลังงานได้ 10 ประเภทคือ

(ก) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 9 มม.

(ข) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 9 มม.

(ค) หลังคาลอนคู่มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 9 มม.

(ง) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 1 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม.

(จ) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม.

(ฉ) หลังคาซีแพคโมเนียมีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด หนา 9 มม.

(ช) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

(ซ) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

(ฌ) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

(ญ) หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 มม.มีช่องว่าง 100 มม. บุฉนวนใยแก้ว 3 นิ้ว ปิดทับด้วยแผ่นยิปซั่มบอร์ด 9 มม.

6) วิธีการคัดเลือกกระจกที่มีประสิทธิภาพป้องกันแสงแดดเข้ามาภายในอาคารได้ดีที่สุดและสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดโดยมีหลักเกณฑ์ 3 หลักเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกกระจกประกอบด้วยดังนี้

- เป็นวัสดุที่ราคาไม่สูง
- มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน
- คุณสมบัติสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) ภายในอาคารที่มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าวจึงสรุปแนวทางการคัดเลือกผนังที่สามารถประหยัดพลังงานได้ 10 ประเภท คือ

(ก) กระจกสีชาหนา 6 มม.
(ข) กระจกสีฟ้าหนา 6 มม.
(ค) กระจกสีเขียวหนา 6 มม.
(ง) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มม.
(จ) กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงินหนา 6 มม.
(ฉ) กระจกสะท้อนแสงสีเขียวหนา 6 มม.
(ช) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น
(ซ) กระจกสะท้อนแสงสีฟ้าใส มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น
(ฌ) กระจกสะท้อนแสงน้ำเงิน มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น
(ฎ) กระจกสะท้อนแสงเขียว มีช่องอากาศ 100 มม. ปิดทับด้วยกระจกใส 2 ชั้น

7) อาคารกรณีศึกษามีระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) มีขนาด 26,000 บีทียูและ 20,000 บีทียู ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำความเย็นต่ำ (EER) อยู่ที่ 8.02 นอกจากนี้ในแต่ละห้องยังมีเครื่องปรับอากาศประมาณ 3 เครื่องขึ้นไปรวมทั้งสิ้น 39 เครื่อง เนื่องจากมีการขยายห้องเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จึงทำให้เครื่องปรับอากาไม่สามารถทำความเย็นได้เพียงพอดังนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงขึ้นที่ (EER)อยู่ที่10.6เป็นเครื่องปรับอากาศเบอร์5 เมื่อเปรียบเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น พบว่า สามารถช่วยลดพลังงานไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 74 คิดเป็น 7.96 ตารางเมตรต่อตัน ดังนั้นการเลือกเครื่องปรับอากาศควรเลือกให้มีขนาดที่เหมาะสมกับอาคาร และมีประสิทธิภาพสูงสามารถช่วยลดการใช้พลังงานลงได้มาก

6.2.2 สรุปแนวทางการปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์วัสดุที่เหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยการนำวัสดุเปลือกอาคารต่าง ๆ มารวมกันให้เป็นอาคารหลังใหม่ที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากที่สุด ซึ่งสามารถแบ่งแนวทางการปรับปรุงอาคารได้ 10 แนวทาง ดังต่อไปนี้

แผนการปรับปรุงที่ 1 : งบประมาณที่ลงทุนประมาณ 3,767,828 บาท

แนวทางการปรับปรุง : ได้ทำการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงานโดยสามารถการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

วิธีการปรับปรุง :

1) เลือกวัสดุผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นในส่วนของผนังทึบ โดยมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว และปิดทับด้วยผนังยิปซั่มบอร์ดหนา 12 มม.
2) เลือกวัสดุหลังคาเป็นกระเบื้องลอนคู่ และมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว
3) เลือกวัสดุฝ้าเพดานเป็นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม.
4) เลือกกระจกเป็นกระจกสีชาหนา 6 มม .
5) เลือกติดตั้งแผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้นและแผงกันแดดแบบแนวตั้ง

ผลการปรับปรุง :

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารอยู่ที่ 29.60 วัตต์ต่อตารางเมตร
2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารอยู่ที่ 25.00 วัตต์ต่อตารางเมตร
3) สามารถลดพลังงานไฟฟ้ารวมรายปีจากอาคารกรณีศึกษาได้ร้อยละ 39.26 คิดเป็นค่าไฟฟ้ารายปีลดลงไป 369,573 บาท
4) ระยะเวลาการคืนทุนเป็น 7.23 ปี
5) มูลค่าสะสมอาคาร 13.84 ปี อยู่ที่ 12,423,244.56 บาท ประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ 1,827,507.44 บาท เมื่อเทียบกับอาคารกรณีศึกษา

แผนการปรับปรุงที่ 2 : งบประมาณที่ลงทุนประมาณ 4,411,556 บาท

แนวทางการปรับปรุง : ได้ทำการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงานโดยสามารถการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

วิธีการปรับปรุง :

1) เลือกวัสดุผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นในส่วนของผนังทึบ โดยมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว และปิดทับด้วยผนังยิปซั่มบอร์ดหนา 12 มม.
2) เลือกวัสดุหลังคาเป็นกระเบื้องลอนคู่ และมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว
3) เลือกวัสดุฝ้าเพดานเป็นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม.
4) เลือกกระจกเป็นกระจกสีฟ้าหนา 6 มม.
5) เลือกติดตั้งแผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้นและแผงกันแดดแบบแนวตั้ง

ผลการปรับปรุง :

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารอยู่ที่ 29.10 วัตต์ต่อตารางเมตร
2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารอยู่ที่ 17.08 วัตต์ต่อตารางเมตร
3) สามารถลดพลังงานไฟฟ้ารวมรายปีจากอาคารกรณีศึกษาได้ร้อยละ 40 คิดเป็นค่าไฟฟ้ารายปีลดลงไป 372,273 บาท
4) ระยะเวลาการคืนทุนเป็น 8.39 ปี

5) มูลค่าสะสมอาคาร 11.92 ปี อยู่ที่ 13,026,094.56 บาท ประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ 1,224,657.54 บาท เมื่อเทียบกับอาคารกรณีศึกษา

แผนการปรับปรุงที่ 3 : งบประมาณที่ลงทุนประมาณ 5,058,836 บาท

แนวทางการปรับปรุง : ได้ทำการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงานโดยสามารถการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

วิธีการปรับปรุง :

1) เลือกวัสดุผนังคอนกรีตมวลเบาในส่วนของผนังทึบ โดยมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว และปิดทับด้วยผนังยิปซั่มบอร์ดหนา 12 มม.
2) เลือกวัสดุหลังคาเป็นกระเบื้องลอนคู่ และมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว
3) เลือกวัสดุฝ้าเพดานเป็นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม.
4) เลือกกระจกเป็นกระจกสีเขียว หนา 6 มม.
5) เลือกติดตั้งแผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้นและแผงกันแดดแบบแนวตั้ง

ผลการปรับปรุง :

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารอยู่ที่ 30.41 วัตต์ต่อตารางเมตร
2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารอยู่ที่ 12.95 วัตต์ต่อตารางเมตร
3) สามารถลดพลังงานไฟฟ้ารวมรายปีจากอาคารกรณีศึกษาได้ร้อยละ 39.35 คิดเป็นค่าไฟฟ้ารายปีลดลงไป 370,455 บาท
4) ระยะเวลาการคืนทุนเป็น 9.65 ปี
5) มูลค่าสะสมอาคาร 10.36 ปี อยู่ที่ 13,700,899.08 บาท ประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ 549,853 บาท เมื่อเทียบกับอาคารกรณีศึกษา

แผนการปรับปรุงที่ 4 : งบประมาณที่ลงทุนประมาณ 4,361,732 บาท

แนวทางการปรับปรุง : ได้ทำการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงานโดยสามารถการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

วิธีการปรับปรุง :

1) เลือกวัสดุผนังคอนกรีตมวลเบาในส่วนของผนังทึบ โดยมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว และปิดทับด้วยผนังยิปซั่มบอร์ดหนา 12 มม.
2) เลือกวัสดุหลังคาเป็นกระเบื้องซีแพคโมเนีย และมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว
3) เลือกวัสดุฝ้าเพดานเป็นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม.
4) เลือกกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสงสีฟ้าหนา 6 มม .
5) เลือกติดตั้งแผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้นและแผงกันแดดแบบแนวตั้ง

ผลการปรับปรุง :

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารอยู่ที่ 26.80 วัตต์ต่อตารางเมตร
2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารอยู่ที่ 24.745 วัตต์ต่อตารางเมตร

3) สามารถลดพลังงานไฟฟ้ารวมรายปีจากอาคารกรณีศึกษาได้ร้อยละ 42 คิดเป็นค่าไฟฟ้ารายปีลดลงไป 391,941 บาท
4) ระยะเวลาการคืนทุนเป็น 7.90 ปี
5) มูลค่าสะสมอาคาร 12.66 ปี อยู่ที่ 12,678,497.04 บาท ประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ 1,572,255 บาท เมื่อเทียบกับอาคารกรณีศึกษา

แผนการปรับปรุงที่ 5 : งบประมาณที่ลงทุนประมาณ 423,198 บาท

แนวทางการปรับปรุง : ได้ทำการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงานโดยสามารถการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

วิธีการปรับปรุง :

1) เลือกวัสดุผนังคอนกรีตมวลเบาในส่วนของผนังทึบ โดยมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว และปิดทับด้วยผนังยิปซั่มบอร์ดหนา 12 มม.
2) เลือกวัสดุหลังคาเป็นกระเบื้องซีแพคโมเนีย และมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว
3) เลือกวัสดุฝ้าเพดานเป็นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม.
4) เลือกกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงินหนา 6 มม .
5) เลือกติดตั้งแผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้นและแผงกันแดดแบบแนวตั้ง

ผลการปรับปรุง :

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารอยู่ที่ 22.62 วัตต์ต่อตารางเมตร
2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารอยู่ที่ 16.905 วัตต์ต่อตารางเมตร
3) สามารถลดพลังงานไฟฟ้ารวมรายปีจากอาคารกรณีศึกษาได้ร้อยละ 45 คิดเป็นค่าไฟฟ้ารายปีลดลงไป 423,198 บาท
4) ระยะเวลาการคืนทุนเป็น 8.38 ปี
5) มูลค่าสะสมอาคาร 11.93 ปี อยู่ที่ 12,847,338.06 บาท ประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ 1,403,414 บาท เมื่อเทียบกับอาคารกรณีศึกษา

แผนการปรับปรุงที่ 6 : งบประมาณที่ลงทุนประมาณ 5,574,836 บาท

แนวทางการปรับปรุง : ได้ทำการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงานโดยสามารถการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

วิธีการปรับปรุง :

1) เลือกวัสดุผนังคอนกรีตบล็อคในส่วนของผนังทึบ โดยมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว และปิดทับด้วยผนังยิปซั่มบอร์ดหนา 12 มม.
2) เลือกวัสดุหลังคาเป็นกระเบื้องซีแพคโมเนีย และมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว
3) เลือกวัสดุฝ้าเพดานเป็นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม.
4) เลือกกระจกเป็นกระจกสะท้อนแสงสีเขียวหนา 6 มม .
5) เลือกติดตั้งแผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้นและแผงกันแดดแบบแนวตั้ง

ผลการปรับปรุง :

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารอยู่ที่ 26.50 วัตต์ต่อตารางเมตร
2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารอยู่ที่ 12.81 วัตต์ต่อตารางเมตร
3) สามารถลดพลังงานไฟฟ้ารวมรายปีจากอาคารกรณีศึกษาได้ร้อยละ 44.20 คิดเป็นค่าไฟฟ้ารายปีลดลงไป 416,118 บาท
4) ระยะเวลาการคืนทุนเป็น 9.42 ปี
5) มูลค่าสะสมอาคาร 10.61 ปี อยู่ที่ 13,525,561.26 บาท ประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ 725,191 บาท เมื่อเทียบกับอาคารกรณีศึกษา

แผนการปรับปรุงที่ 7 : งบประมาณที่ลงทุนประมาณ 8,261,012 บาท

แนวทางการปรับปรุง : ได้ทำการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงานโดยสามารถการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

วิธีการปรับปรุง :

1) เลือกวัสดุผนังคอนกรีตบล็อคในส่วนของผนังทึบ โดยมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว และปิดทับด้วยผนังยิปซั่มบอร์ดหนา 12 มม.
2) เลือกวัสดุหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 ซม. และมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว
3) เลือกวัสดุฝ้าเพดานเป็นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม.
4) เลือกกระจกเป็นกระจก 2 ชั้น สะท้อนแสงสีฟ้าหนา 22 มม .
5) เลือกติดตั้งแผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้นและแผงกันแดดแบบแนวตั้ง

ผลการปรับปรุง :

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารอยู่ที่ 24.40 วัตต์ต่อตารางเมตร
2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารอยู่ที่ 19.215 วัตต์ต่อตารางเมตร
3) สามารถลดพลังงานไฟฟ้ารวมรายปีจากอาคารกรณีศึกษาได้ร้อยละ 44.44 คิดเป็นค่าไฟฟ้ารายปีลดลงไป 418,653 บาท
4) ระยะเวลาการคืนทุนเป็น 13.83 ปี
5) มูลค่าสะสมอาคาร 7.23 ปี อยู่ที่ 16,173,357 บาท มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษามีค่า 1,922,605 บาท

แผนการปรับปรุงที่ 8 : งบประมาณที่ลงทุนประมาณ 436,377 บาท

แนวทางการปรับปรุง : ได้ทำการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงานโดยสามารถการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

วิธีการปรับปรุง :

1) เลือกวัสดุผนังคอนกรีตบล็อคในส่วนของผนังทึบ โดยมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว และปิดทับด้วยผนังยิปซั่มบอร์ดหนา 12 มม.
2) เลือกวัสดุหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 12 ซม. และมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว

3) เลือกวัสดุฝ้าเพดานเป็นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม.
4) เลือกกระจกเป็นกระจก 2 ชั้น สะท้อนแสงสีฟ้าใสหนา 22 มม .
5) เลือกติดตั้งแผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้นและแผงกันแดดแบบแนวตั้ง

ผลการปรับปรุง :

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารอยู่ที่ 21.22 วัตต์ต่อตารางเมตร
2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารอยู่ที่ 14.105 วัตต์ต่อตารางเมตร
3) สามารถลดพลังงานไฟฟ้ารวมรายปีจากอาคารกรณีศึกษาได้ร้อยละ 46.36 คิดเป็นค่าไฟฟ้ารายปีลดลงไป 436,377 บาท
4) ระยะเวลาการคืนทุนเป็น 14.33 ปี
5) มูลค่าสะสมอาคาร 6.98 ปี อยู่ที่ 16,563,288 บาท มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษามีค่า 2,312,536 บาท

แผนการปรับปรุงที่ 9 : งบประมาณที่ลงทุนประมาณ 8,836,624 บาท

แนวทางการปรับปรุง : ได้ทำการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงานโดยสามารถการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

วิธีการปรับปรุง :

1) เลือกวัสดุผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในส่วนของผนังทึบ โดยมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว และปิดทับด้วยผนังยิปซั่มบอร์ดหนา 12 มม.
2) เลือกวัสดุหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 ซม. และมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว
3) เลือกวัสดุฝ้าเพดานเป็นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม.
4) เลือกกระจกเป็นกระจก 2 ชั้น สะท้อนแสงสีน้ำเงินหนา 22 มม .
5) เลือกติดตั้งแผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้นและแผงกันแดดแบบแนวตั้ง

ผลการปรับปรุง :

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารอยู่ที่ 21.70 วัตต์ต่อตารางเมตร
2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารอยู่ที่ 19.005 วัตต์ต่อตารางเมตร
3) สามารถลดพลังงานไฟฟ้ารวมรายปีจากอาคารกรณีศึกษาได้ร้อยละ 45.70 คิดเป็นค่าไฟฟ้ารายปีลดลงไป 430,173 บาท
4) ระยะเวลาการคืนทุนเป็น 14.40 ปี
5) มูลค่าสะสมอาคาร 6.94 ปี อยู่ที่ 16,574,656 บาท มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษามีค่า 2,323,904 บาท

แผนการปรับปรุงที่ 10 : งบประมาณที่ลงทุนประมาณ 9,495,716 บาท

แนวทางการปรับปรุง : ได้ทำการปรับปรุงอาคารให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานควบคุมอาคารด้านการอนุรักษ์พลังงานโดยสามารถการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุด

วิธีการปรับปรุง :

1) เลือกวัสดุผนังคอนกรีตสำเร็จรูปในส่วนของผนังทึบ โดยมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว และปิดทับด้วยผนังยิปซั่มบอร์ดหนา 12 มม.
2) เลือกวัสดุหลังคาคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 15 ซม. และมีการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว
3) เลือกวัสดุฝ้าเพดานเป็นยิปซั่มบอร์ดหนา 9 มม.
4) เลือกกระจกเป็นกระจก 2 ชั้น สะท้อนแสงสีเขียวหนา 22 มม .
5) เลือกติดตั้งแผงกันแดดแบบแนวนอน 2 ชั้นและแผงกันแดดแบบแนวตั้ง

ผลการปรับปรุง :

1) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังอาคารอยู่ที่ 20.03 วัตต์ต่อตารางเมตร
2) ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารอยู่ที่ 14.00 วัตต์ต่อตารางเมตร
3) สามารถลดพลังงานไฟฟ้ารวมรายปีจากอาคารกรณีศึกษาได้ร้อยละ 47 คิดเป็นค่าไฟฟ้ารายปีลดลงไป 500,406 บาท
4) ระยะเวลาการคืนทุนเป็น 15.10 ปี
5) มูลค่าสะสมอาคาร 6.62 ปี อยู่ที่ 17,071,862 บาท มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากอาคารกรณีศึกษามีค่า 2,821,110 บาท

6.3 ข้อเสนอแนะและข้อจำกัดสำหรับเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป

6.3.1 การปรับปรุงอาคารด้วยการติดตั้งกระจก

จากการวิจัยพบว่ากระจกของอาคารกรณีศึกษามีค่าความต้านทานต่ำดังนั้นจึงทำให้การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกเข้ามามาก ดังนั้นเมื่อทำการเปลี่ยนกระจกที่ค่าความต้านทานสูงขึ้นจะทำให้การแผ่รังความร้อนเข้าสู่อาคารได้โดยการเลือกใช้กระจกที่เคลือบสาร LOW-E เพราะมีค่า SC = 0.14 สามารถลดการใช้พลังงานได้ดีมาก แต่ในทางกลับกันในเรื่องของการคืนทุนต้องใช้ระยะเวลานานกว่าแนวทางอื่น ๆ เนื่องจากว่าราคาต้นทุนของวัสดุมีราคาสูงมาก ข้อเสียในอีกเรื่องของกระจกที่มีค่าการป้องกันการแผ่รังสีที่มีค่าสูงจะส่งผลต่อแสงธรรมชาติที่เข้ามาภายในอาคารก็ต่ำลงเช่นกัน ดังนั้นควรจะมีแผงกันแดดที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดต้นทุนของราคากระจกและแสงธรรมชาติก็สามารถส่องผ่านเข้ามาได้เพียงพอเพื่อลดการเปิดแสงประดิษฐ์ภายในอาคาร

6.3.2 โปรแกรม DOE-2 ที่ใช้ภายในอาคาร

จากการวิจัยครั้งนี้จำเป็นต้องนำข้อมูลสภาพอากาศของ จ. นครราชสีมา ปี พ.ศ. 2547 มาใช้ป้อนเข้าไปในโปรแกรมมาเป็นฐานข้อมูลต้องเป็นข้อมูลสภาพอากาศที่เก็บรายชั่วโมง ซึ่งข้อมูลที่ได้มาจากกรมอุตุนิยมวิทยาจะเก็บเป็นราย 3 ชั่วโมง ดังนั้นจำเป็นต้องมาหาค่าเฉลี่ยในชั่วโมงที่ไม่ได้มีการบันทึกข้อมูลไว้ จึงทำให้ข้อมูลอากาศมีความคลาดเคลื่อนในการคำนวณและประมวลผล

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2545.

จารุวรรณ ประภาทรงสิทธิ์. เทคนิคการออกแบบปรับปรุงระบบเปลือกอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพกรณีศึกษา: อาคารสำนักงานธนาคารทหารไทย (สำนักงานใหญ่), กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ตรึงใจ บูรณสมภพ. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2539.

เทศบาลนครราชสีมา. 70 ปีเทศบาลนครนครราชสีมา, พิมพ์ครั้งที่ 1. นครราชสีมา: โรงพิมพ์สมบูรณ์การพิมพ์, 2548.

ธนิต จินดาวณิค,ผศ. สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

ปริมลาภ วสุวัต. กลยุทธการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานราชการ: กรณีศึกษาอาคารกองวิทยาการ กรมช่างโยธาทหารอากาศ, ดอนเมือง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ปิติรัตน์ ยศวัฒน. ทางเลือกในการปรับปรุงอาคารซึ่งใช้แผงกันแดดคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นองค์ประกอบหลักพื้นที่เขตการศึกษา ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

พงษ์พัฒน์ มั่งคั่ง. สถานการณ์และนโยบายภาครัฐด้านพลังงานกับการทำงานของสถาปนิก, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2545.

พรรณชลัท สุริโยธิน,ผศ. วัสดุและการก่อสร้าง: หลอดไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. โครงการศึกษาวิจัยวัสดุผนังเพื่อการประหยัดพลังงานสำหรับใช้ในการก่อสร้างอาคารพักอาศัย: กรณีศึกษาโครงการบ้านเอื้ออาทร (การเคหะแห่งชาติ), 2548.

สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น . พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

สุทัศน์ เยี่ยมวัฒนา. กลยุทธ์การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสถานศึกษา: กรณีศึกษาอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ภาษาอังกฤษ

American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. ASHRAE Handbook Fundamental. Atlanta, 1997.

Brown, G.Z. Sun, Wind, And Light. New York: john Wiley & Sons, 1985.

Egan, M.D. Concepts in Thermal Comfort. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1975.

Evan, Benjamin H. Daylight in Architecture. New York: McGraw-Hill Book, 1981.

Meier, Alan, ed. Energy and Buildings. Lausanne: Elsevier Sequoia, 1983.

Meyer, William T. Energy Economics and Building Design. New York: McGraw-Hill Book,1983.

Robinette, Gary O. Energy Efficient Site Design. New York: Van Nostrand Reinhold, 1983.

Stein, Benjamin; Reynolds, john S.; Mcguinness, William J. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, 8th Edition. New York: john Wiley & Sons, 1992.

Victor Olgyay. Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

Wagner, Walter F. Energy-Efficient Buildings. New York: McGraw-Hill Book, 1983.

Watson, Donald. Energy Conservation Through Building Design. New York: McGraw-Hill Book, 1979.

Watson, Donald; Labs, Kenneth. Climatic Design. New York: McGraw-Hill Book, 1983.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการสำรวจจากอาคารกรณีศึกษา อาคารสำนักงานเทศบาลนคร จ.นครราชสีมา

ภาคผนวก ก – 1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ภายในอาคาร

ชั้น	ส่วน	อุปกรณ์	จำนวน	WATT INPUT			TOTAL	SUM TOTAL	ที่มา
				SENSIBLE	LATENT	SUM WATT INPUT			
1	ห้องพนักงานการคลัง	คอมพิวเตอร์	4	250	0	1,000	1,000		ASHRAE
		พรินเตอร์	2	292	0	584	584		ASHRAE
		พัดลม	3	25	0	75	75		RECORDED
		พัดลมดูดอากาศ	2	25	0	50	50		RECORDED
		เครื่องโทรสาร	1	16	0	16	16		RECORDED
		เครื่องถ่ายเอกสาร	1	1,080	0	1,080	1,080		RECORDED
		ตู้เย็น	1	120	0	120	120	2,925	RECORDED
1	ห้องผู้อำนวยการการคลัง	พัดลมดูดอากาศ	1	25	0	25	25	25	RECORDED
1	ห้องพนักงานพัฒนารายได้	คอมพิวเตอร์	4	250	0	1,000	1,000		ASHRAE
		พรินเตอร์	2	374	0	748	748		ASHRAE
		พัดลม	2	25	0	50	50		RECORDED
		พัดลมดูดอากาศ	5	25	0	125	125		RECORDED
		เครื่องโทรสาร	1	16	0	16	16		RECORDED
		เครื่องถ่ายเอกสาร	1	1,080	0	1,080	1,080		RECORDED
		กาต้มน้ำ	1	440	220	440	660	3,679	RECORDED
1	ห้อง ผอ. พัฒนารายได้	คอมพิวเตอร์	1	250	0	250	250		ASHRAE
		พัดลมดูดอากาศ	1	25	0	25	25	275	RECORDED
1	ห้องพนักงานพัสดุและทรัพย์สิน	คอมพิวเตอร์	3	250	0	750	750		ASHRAE
		พรินเตอร์	2	374	0	748	748		ASHRAE
		พัดลม	2	25	0	50	50		RECORDED
		พัดลมดูดอากาศ	1	25	0	25	25		RECORDED
		เครื่องโทรสาร	1	16	0	16	16		RECORDED
		เครื่องถ่ายเอกสาร	1	1,080	0	1,080	1,080	2,774	RECORDED
		เอกสาร							

ภาคผนวก ก – 1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ภายในอาคาร (ต่อ)

ชั้น	ฝ่าย	อุปกรณ์	จำนวน	WATT INPUT			TOTAL	SUM TOTAL	ที่มา
				SENSIBLE	LATENT	SUM WATT INPUT			
		โทรทัศน์	1	105	0	105	105		RECORDED
1	ห้องน้ำ	-	-	-	-	-	-	-	-
1	ห้องพักคนขับรถ	พัดลมดูดอากาศ	1	25	0	25	25	805	RECORDED
		กาต้มน้ำ	1	440	220	440	660		RECORDED
		ตู้เย็น	1	120	0	120	120		RECORDED
1	โถง	-	-	-	-	-	-	-	-
	รวม							10,483	
2	นายกเทศมนตรีฯ	กาต้มน้ำ	1	440	220	440	660		RECORDED
		ตู้เย็น	1	120	0	120	120	780	RECORDED
2	ห้องน้ำ	-	-	-	-	-	-	-	-
2	ห้องรองนายก 1	คอมพิวเตอร์	1	250	0	250	250		ASHRAE
		พัดลมดูดอากาศ	1	25	0	25	25	275	RECORDED
2	รองนายก 2	คอมพิวเตอร์	1	250	0	250	250		ASHRAE
		พัดลมดูดอากาศ	1	25	0	25	25	275	RECORDED
2	รองนายก 3	คอมพิวเตอร์	1	250	0	250	250		ASHRAE
		พัดลมดูดอากาศ	1	25	0	25	25	275	RECORDED
2	ห้องเลขานายก	คอมพิวเตอร์	1	250	0	250	250		ASHRAE
		พรินเตอร์	1	374	0	374	374		ASHRAE
		เครื่องโทรสาร	1	16	0	16	16	640	RECORDED
2	ห้องประชุมใหญ่	พัดลมดูดอากาศ	6	26	0	156	156		RECORDED
		ไมโครโฟน	20	16	0	320	320	476	RECORDED
2	ห้องเครื่อง	ชุดเครื่องเสียง	1	3,432	0	3,432	3,432	3,432	RECORDED
2	ห้องปลัด 1	คอมพิวเตอร์	1	250	0	250	250		ASHRAE
		พรินเตอร์	1	374	0	374	374		ASHRAE
		พัดลมดูดอากาศ	1	25	0	25	25	649	RECORDED
2	ห้องปลัด 2	คอมพิวเตอร์	1	250	0	250	250		ASHRAE
		พรินเตอร์	1	374	0	374	374		ASHRAE
		พัดลมดูดอากาศ	1	25	0	25	25	649	RECORDED
2	ห้องเลขาปลัด 1	คอมพิวเตอร์	1	250	0	250	250		ASHRAE
		พรินเตอร์	1	374	0	374	374	1,704	ASHRAE

ภาคผนวก ก – 1 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ภายในอาคาร (ต่อ)

ชั้น	ฝ่าย	อุปกรณ์	จำนวน	WATT INPUT			TOTAL	SUM TOTAL	ที่มา
				SENSIBLE	LATENT	SUM WATT INPUT			
		เครื่องถ่ายเอกสาร	1	1,080	0	1,080	1,080		RECORDED
2	ห้องเลขาปลัด 2	คอมพิวเตอร์	1	250	0	250	250	624	ASHRAE
		พรินเตอร์	1	374	0	374	374		ASHRAE
2	ทางเดิน	-	-	-	-	-	-	-	-
2	ห้องตรวจสอบภายใน	คอมพิวเตอร์	1	250	0	250	250	649	ASHRAE
		พรินเตอร์	1	374	0	374	374		ASHRAE
		พัดลมดูดอากาศ	1	25	0	25	25		RECORDED
2	รองปลัด 1	คอมพิวเตอร์	1	250	0	250	250	275	ASHRAE
		พัดลมดูดอากาศ	1	25	0	25	25		RECORDED
2	รองปลัด 2	คอมพิวเตอร์	1	250	0	250	250	275	ASHRAE
		พัดลมดูดอากาศ	1	25	0	25	25		RECORDED
2	ห้องธุรการ	คอมพิวเตอร์	4	250	0	1,000	1,000		ASHRAE
		พรินเตอร์	2	374	0	748	748		ASHRAE
		พัดลม	2	25	0	50	50		RECORDED
		พัดลมดูดอากาศ	2	25	0	50	25		RECORDED
		เครื่องโทรสาร	2	16	0	32	32		RECORDED
		เครื่องถ่ายเอกสาร	1	1,080	0	1,080	1,080		RECORDED
		วิทยุ	1	60	0	60	60	2,995	RECORDED
2	ห้องน้ำ	-	-	-	-	-	-	-	-
2	ห้องประชุมเล็ก	กาต้มน้ำ	1	440	220	440	660		RECORDED
		ตู้เย็น	1	120	0	120	120		RECORDED
		พัดลมดูดอากาศ	4	25	0	100	25	805	RECORDED
2	ห้องงานการเจ้าหน้าที่	คอมพิวเตอร์	1	250	0	250	250		ASHRAE
		พรินเตอร์	1	374	0	374	374		ASHRAE
		พัดลมดูดอากาศ	2	25	0	50	50		RECORDED
		เครื่องโทรสาร	1	16	0	16	16	690	RECORDED
2	โถง	-	-	-	-	-	-	-	-
	รวม							15,468	
รวมทั้งอาคาร								25,951	วัตต์

ภาคผนวก ก – 1 วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร

ลำดับ	สถานที่	ชนิด	อัตราการทำความเย็น (Btu/hr)	อัตราการใช้พลังงาน (W)	อัตราการใช้กระแส (Amp)	อัตราการใช้พลังงาน (W)	EER	COP	EIR
1	ห้องพนักงานการคลัง	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
2	ห้องพนักงานการคลัง	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
3	ห้องพนักงานการคลัง	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
4	ห้องผู้อำนวยการการคลัง	ST	20,000	5,860	11.8	2,596	7.70	2.26	0.44
5	ห้องพนักงานพัฒนารายได้	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
6	ห้องพนักงานพัฒนารายได้	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
7	ห้องพนักงานพัฒนารายได้	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
8	ห้องพนักงานพัฒนารายได้	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
9	ห้องพนักงานพัฒนารายได้	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
10	ห้องพนักงานพัฒนารายได้	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
11	ห้องพนักงานพัฒนารายได้	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
12	ห้องพนักงานพัฒนารายได้	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
13	ห้องพนักงานพัฒนารายได้	ST	20,000	5,860	11.8	2,596	7.70	2.26	0.44
14	ห้อง ผอ. พัฒนารายได้	ST	20,000	5,860	11.8	2,596	7.70	2.26	0.44
15	ห้องพนักงานพัสดุและทรัพย์สิน	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
16	ห้องพนักงานพัสดุและทรัพย์สิน	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49

ภาคผนวก ก – 1 วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร (ต่อ)

ลำดับ	สถานที่	ชนิด	อัตราการทำความเย็น (Btu/hr)	อัตราการใช้พลังงาน (W)	อัตราการใช้กระแส (Amp)	อัตราการใช้พลังงาน (W)	EER	COP	EIR
17	ห้องพนักงานพัสดุและทรัพย์สิน	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
18	ห้องพักคนขับรถ	ST	20,000	5,860	11.8	2,596	7.70	2.26	0.44
19	ห้องนายก	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
20	ห้องรองนายก 1	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
21	ห้องรองนายก 2	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
22	ห้องรองนายก 3	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
23	ห้องประชุมใหญ่	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
24	ห้องประชุมใหญ่	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
25	ห้องประชุมใหญ่	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
26	ห้องประชุมใหญ่	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
27	ห้องประชุมใหญ่	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
28	ห้องประชุมใหญ่	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
30	ห้องปลัด 1	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
31	ห้องปลัด2	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
32	ห้องเลขาปลัด 1	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
33	ห้องเลขาปลัด 2	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
34	ห้องตรวจสอบภายใน	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
35	ห้องรองปลัดเทศบาล1	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49

ภาคผนวก ก – 1 วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร (ต่อ)

ลำดับ	สถานที่	ชนิด	อัตราการทำความเย็น (Btu/hr)	อัตราการใช้พลังงาน (W)	อัตราการใช้กระแส (Amp)	อัตราการใช้พลังงาน (W)	EER	COP	EIR
36	ห้องรองปลัด 2	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
37	ห้องธุรการ	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
38	ห้องธุรการ	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
39	ห้องธุรการ	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
40	ห้องธุรการ	ST	20,000	5,860	11.8	2,596	7.70	2.26	0.44
41	ห้องธุรการ	ST	20,000	5,860	11.8	2,596	7.70	2.26	0.44
38	ห้องประชุมเล็ก	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
39	ห้องประชุมเล็ก	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
38	ห้องงานการเจ้าหน้าที่	ST	26,000	7,618	16.9	3,718	6.99	2.05	0.49
39	ห้องงานการเจ้าหน้าที่	ST	20,000	5,860	11.8	2,596	7.70	2.26	0.44
รวมทั้งอาคาร			1,102,000	322,883	707.9	155,738	7.08	2.07	0.48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก - 1 ตารางวิเคราะห์ระบบแสงสว่างภายในห้องต่าง ๆ

ชั้น	ฝ่าย	ชนิดหลอดไฟฟ้า	พื้นที่ (ตร.ม.)	จำนวนโคม	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนหลอด	ขนาดหลอด (วัตต์)	ขนาดบัลลาสต์ (วัตต์)	ปริมาณวัตต์ที่ต้องการต่อหลอด	ชั่วโมงทำงาน/วัน	พลังงานทั้งหมด (วัตต์)	พลังงาน/พื้นที่ (วัตต์/ตร.ม.)
1	ห้องพนักงานการคลัง	หลอดฟลูออเรสเซนต์	113.75	9	2	26	40	10	50	6	1,300	11.43
	ห้องผู้อำนวยการการคลัง	หลอดฟลูออเรสเซนต์	8.75	2	1	2	32	10	42	5	84	9.60
	ห้องพนักงานพัฒนารายได้	หลอดฟลูออเรสเซนต์	266.75	27	2	56	40	10	50	7	2,800	10.50
	ห้อง ผอ.พัฒนารายได้	หลอดฟลูออเรสเซนต์	24.50	4	2	8	40	10	50	7	400	16.33
	ห้องพนักงานพัสดุและทรัพย์สิน	หลอดฟลูออเรสเซนต์	78.75	8	2	32	40	10	50	7	1,600	20.32
	ห้องน้ำ	หลอดฟลูออเรสเซนต์	17.50	-	-	3	40	10	50	-	150	8.57
	ห้องพักคนขับรถ	หลอดฟลูออเรสเซนต์	8.75	1	2	2	40	10	50	6	100	11.43
	โถง	หลอดฟลูออเรสเซนต์	59.75	-	-	4	40	10	50	3	200	3.35
	รวม		**578.50**								**6,634**	
2	ห้องนายกเทศมนตรีฯ	หลอดฟลูออเรสเซนต์	40.25	4	1	4	32	10	42	5	378	9.39
		หลอดดาวไลท์		3	1	3	60	10	70	5		
	ห้องน้ำ	หลอดฟลูออเรสเซนต์	8.75	1	1	1	40	10	50	-	50	5.71
	ห้องรองนายกเทศมนตรี 1	หลอดฟลูออเรสเซนต์	15.75	2	2	4	40	10	50	6	200	12.70
	ห้องรองนายกเทศมนตรี 2	หลอดฟลูออเรสเซนต์	15.75	2	2	4	40	10	50	6	200	12.70
	ห้องรองนายกเทศมนตรี 3	หลอดฟลูออเรสเซนต์	15.75	2	2	4	40	10	50	6	200	12.70
	ห้องเลขานายกเทศมนตรี	หลอดฟลูออเรสเซนต์	26.25	3	2	6	40	10	50	5	300	11.43
	ห้องประชุมใหญ่	หลอดฟลูออเรสเซนต์	137.00	8	2	16	40	10	50	4	1,010	9.39
		หลอดดาวไลท์		36	1	36	60	10	70	4		
	ห้องเครื่อง	หลอดฟลูออเรสเซนต์	6.00	1	2	2	40	10	50	2	100	16.67
	ห้องปลัดเทศบาล 1	หลอดฟลูออเรสเซนต์	14.00	1	2	2	40	10	50	7	100	7.14

ภาคผนวก ก - 1 ตารางวิเคราะห์ระบบแสงสว่างภายในห้องต่าง ๆ (ต่อ)

ชั้น	ฝ่าย	ชนิดหลอดไฟฟ้า	พื้นที่ (ตร.ม.)	จำนวนโคม	จำนวนหลอดต่อโคม	จำนวนหลอด	ขนาดหลอด (วัตต์)	ขนาดบัลลาสต์ (วัตต์)	ปริมาณวัตต์ที่ต้องการต่อหลอด	ชั่วโมงทำงาน/วัน	พลังงานทั้งหมด (วัตต์)	พลังงาน/พื้นที่ (วัตต์/ตร.ม.)
2	ห้องปลัดเทศบาล 2	หลอดฟลูออเรสเซนต์	14.00	1	2	2	40	10	50	7	100	7.14
	ห้องเลขาปลัดเทศบาล 1	หลอดฟลูออเรสเซนต์	18.00	2	2	4	40	10	50	7	200	11.11
	ห้องเลขาปลัดเทศบาล 2	หลอดฟลูออเรสเซนต์	18.00	2	2	4	40	10	50	7	200	11.11
	ทางเดิน	หลอดฟลูออเรสเซนต์	28.75	3	1	3	32	10	42	8	126	4.38
	ห้องตรวจสอบภายใน	หลอดฟลูออเรสเซนต์	12.25	2	2	4	40	10	50	6	200	16.33
	ห้องรองปลัดเทศบาล1	หลอดฟลูออเรสเซนต์	12.25	2	2	4	40	10	50	6	200	16.33
	ห้องรองปลัดเทศบาล 2	หลอดฟลูออเรสเซนต์	12.25	2	2	4	40	10	50	6	200	16.33
	ห้องธุรการ	หลอดฟลูออเรสเซนต์	108.00	9	2	18	40	10	50	6	900	8.33
	ห้องน้ำ	หลอดฟลูออเรสเซนต์	17.50	-	-	3	40	10	50	-	150	8.57
	ห้องประชุมเล็ก(ประชุมคุณย่า)	หลอดฟลูออเรสเซนต์	32.50	-	-	2	40	10	50	5	100	3.08
	ห้องงานการเจ้าหน้าที่	หลอดฟลูออเรสเซนต์	22.50	-	-	2	40	10	50	4	100	4.44
	ทางเดิน	หลอดฟลูออเรสเซนต์	10.00	-	-	1	40	10	50	2	50	5.00
	โถง	หลอดฟลูออเรสเซนต์	59.75	-	-	5	40	10	50	3	250	4.18
	รวม		645.25								5,314	
	รวมทั้งหมด		1223.75								15,948	7.84

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก – 2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) สำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมา

ทิศผนังอาคาร		จำนวนผนัง	ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TDeq	SF	SC1	SC2	Q
เหนือ	ชั้น 1	ผนังที่ 1	ผนังทึบ	43.75	3.073	10	-	-	-	1344.438
			ผนังโปร่งแสง	26.25	5.893	5	112	0.96	0.8927	3293.013
		ผนังที่ 2	ผนังทึบ	20.75	3.073	10	-	-	-	637.6475
			ผนังโปร่งแสง	5.25	5.893	5	112	0.96	0.8927	658.6025
		ผนังที่ 3	ผนังทึบ	28.875	3.073	10	-	-	-	887.3288
			ผนังโปร่งแสง	13.125	5.893	5	112	0.96	0.8927	1646.506
		ผนังที่ 4	ผนังทึบ	17.5	3.073	10	-	-	-	537.775
			ผนังโปร่งแสง	10.5	5.893	5	112	0.96	0.8927	1317.205
	ชั้น 2	ผนังที่ 1	ผนังทึบ	43.75	3.073	10	-	-	-	1344.438
			ผนังโปร่งแสง	26.25	5.893	5	112	0.96	0.8927	3293.013
		ผนังที่ 2	ผนังทึบ	20.75	3.073	10	-	-	-	637.6475
			ผนังโปร่งแสง	5.25	5.893	5	112	0.96	0.8927	658.6025
		ผนังที่ 3	ผนังทึบ	28.875	3.073	10	-	-	-	887.3288
			ผนังโปร่งแสง	13.125	5.893	5	112	0.96	0.8927	1646.506
		ผนังที่ 4	ผนังทึบ	17.5	3.073	10	-	-	-	537.775
			ผนังโปร่งแสง	10.5	5.893	5	112	0.96	0.8927	1317.205
	รวม			332						20645.03
ค่า OTTV ของผนังด้านทิศเหนือรวม = 62.184 วัตต์ต่อตารางเมตร										
ใต้	ชั้น 1	ผนังที่ 1	ผนังทึบ	43.75	3.073	10	-	-	-	1344.438
			ผนังโปร่งแสง	26.25	5.893	5	177.6	0.96	0.6554	3706.712
		ผนังที่ 2	ผนังทึบ	26.00	3.073	10	-	-	-	798.98
			ผนังโปร่งแสง	10.00	5.893	5	177.6	0.96	0.6554	1412.081
		ผนังที่ 3	ผนังทึบ	43.75	3.073	10	-	-	-	1344.438
			ผนังโปร่งแสง	26.25	5.893	5	177.6	0.96	0.6554	3706.712

ภาคผนวก ก – 2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) สำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมา (ต่อ)

ทิศผนังอาคาร		จำนวนผนัง	ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TDeq	SF	SC1	SC2	Q
	ชั้น 2	ผนังที่ 1	ผนังทึบ	43.75	3.073	10	-	-	-	1344.438
			ผนังโปร่งแสง	26.25	5.893	5	177.6	0.96	0.6554	3706.712
		ผนังที่ 2	ผนังทึบ	18.125	3.073	10	-	-	-	556.9813
			ผนังโปร่งแสง	7.875	5.893	5	177.6	0.96	0.6554	1112.014
		ผนังที่ 3	ผนังทึบ	43.75	3.073	10	-	-	-	1344.438
			ผนังโปร่งแสง	26.25	5.893	5	177.6	0.96	0.6554	3706.712
	รวม			342						24084.65
ค่า OTTV ของผนังด้านทิศใต้รวม = 70.423 วัตต์ต่อตารางเมตร										
ตะวันออก	ชั้น 1	ผนังที่ 1	ผนังทึบ	49.00	3.073	10	-	-	-	1505.77
			ผนังโปร่งแสง	39.00	5.893	5	179.2	0.96	0.7318	6058.963
		ผนังที่ 2	ผนังทึบ	20.125	3.073	10	-	-	-	618.4413
			ผนังโปร่งแสง	7.875	5.893	5	179.2	0.96	0.7318	1223.444
		ผนังที่ 3	ผนังทึบ	18.125	3.073	10	-	-	-	556.9813
			ผนังโปร่งแสง	9.875	5.893	5	179.2	0.96	0.7318	1534.16
		ผนังที่ 4	ผนังทึบ	9.6	3.073	10	-	-	-	295.008
			ผนังโปร่งแสง	6.4	5.893	5	179.2	0.96	0.7318	994.2913
	ชั้น 2	ผนังที่ 1	ผนังทึบ	59.125	3.073	10	-	-	-	1816.911
			ผนังโปร่งแสง	28.875	5.893	5	179.2	0.96	0.7318	4485.963
		ผนังที่ 2	ผนังทึบ	20.125	3.073	10	-	-	-	618.4413
			ผนังโปร่งแสง	7.875	5.893	5	179.2	0.96	0.7318	1223.444
		ผนังที่ 3	ผนังทึบ	20.125	3.073	10	-	-	-	618.4413
			ผนังโปร่งแสง	7.875	5.893	5	179.2	0.96	0.7318	1223.444
		ผนังที่ 4	ผนังทึบ	39.1	3.073	10	-	-	-	1201.543
			ผนังโปร่งแสง	16.9	5.893	5	179.2	0.96	0.7318	2625.55

ภาคผนวก ก – 2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (OTTV) สำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมา (ต่อ)

ทิศผนังอาคาร		จำนวนผนัง	ชนิดผนัง	พื้นที่	U	TDeq	SF	SC1	SC2	Q
	รวม			360.00						26600.8
ค่า OTTV ของผนังด้านทิศตะวันออกรวม = 73.891 วัตต์ต่อตารางเมตร										
ตะวันตก	ชั้น 1	ผนังที่ 1	ผนังทึบ	81.875	3.073	10	-	-	-	2516.019
			ผนังโปร่งแสง	34.125	5.893	5	164.8	0.63	0.7482	3656.361
		ผนังที่ 2	ผนังทึบ	20.125	3.073	10	-	-	-	618.4413
			ผนังโปร่งแสง	7.875	5.893	5	164.8	0.63	0.7482	843.7757
		ผนังที่ 3	ผนังทึบ	9.6	3.073	10	-	-	-	295.008
			ผนังโปร่งแสง	6.4	5.893	5	164.8	0.63	0.7482	685.7351
	ชั้น 2	ผนังที่ 1	ผนังทึบ	81.875	3.073	10	-	-	-	2516.019
			ผนังโปร่งแสง	34.125	5.893	5	164.8	0.63	0.7482	3656.361
		ผนังที่ 2	ผนังทึบ	22.75	3.073	10	-	-	-	699.1075
			ผนังโปร่งแสง	5.25	5.893	5	164.8	0.63	0.7482	562.5171
		ผนังที่ 3	ผนังทึบ	39.1	3.073	10	-	-	-	1201.543
			ผนังโปร่งแสง	16.9	5.893	5	164.8	0.63	0.7482	1810.769
	รวม			360						19061.66
ค่า OTTV ของผนังด้านทิศตะวันตกรวม = 52.949 วัตต์ต่อตารางเมตร										
ค่า OTTV ของผนังรวมทั้งอาคาร = 64.843 วัตต์ต่อตารางเมตร										

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก – 3 แสดงอุณหภูมิอากาศที่เก็บข้อมูลจากเครื่องมือของอาคารกรณีศึกษา วันที่ 9 มกราคม 2549

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ห้องนายกเทศมนตรีฯ	ห้องประชุมเล็ก	ห้องธุรการ	ห้องประชุมใหญ่	ห้องการคลัง	ห้องรายได้	ห้องพัสดุ	อุณหภูมิภายนอก
9/1/2549	1:00	22.09	21.71	22.86	22.48	23.24	24.4	24.4	20.70
9/1/2549	2:00	21.33	21.71	22.48	22.09	22.86	24.01	24.01	19.83
9/1/2549	3:00	20.95	21.33	22.09	21.71	22.09	23.63	23.63	18.97
9/1/2549	4:00	20.19	20.57	21.71	20.95	21.71	23.63	23.24	18.10
9/1/2549	5:00	19.42	20.19	20.95	20.57	21.33	23.24	22.86	17.50
9/1/2549	6:00	19.04	19.81	20.57	20.19	20.95	22.86	22.48	16.90
9/1/2549	7:00	18.66	19.42	20.19	19.81	20.57	22.48	22.09	16.30
9/1/2549	8:00	19.04	19.42	20.19	20.57	20.57	22.48	22.09	17.54
9/1/2549	9:00	20.57	19.81	20.95	21.71	20.57	23.24	21.71	18.78
9/1/2549	10:00	22.48	20.57	22.09	22.86	21.33	24.01	21.71	20.00
9/1/2549	11:00	24.01	20.95	23.24	24.4	22.48	24.79	22.09	21.47
9/1/2549	12:00	25.95	22.09	24.4	25.56	23.63	25.56	22.09	22.94
9/1/2549	13:00	26.73	22.48	25.17	26.34	24.79	26.34	22.86	24.40
9/1/2549	14:00	27.12	23.24	26.34	27.12	25.56	26.73	24.01	25.00
9/1/2549	15:00	27.52	24.01	27.12	27.91	26.34	27.12	25.95	25.60
9/1/2549	16:00	27.52	24.4	27.52	28.31	26.73	27.52	27.52	26.20
9/1/2549	17:00	27.52	24.4	27.12	28.31	26.73	27.52	27.12	25.54
9/1/2549	18:00	27.12	24.4	26.34	27.91	26.73	27.12	26.34	24.87
9/1/2549	19:00	26.73	24.4	25.95	27.12	26.34	27.12	26.34	24.20
9/1/2549	20:00	25.56	24.01	25.56	26.34	25.95	25.95	25.56	23.48
9/1/2549	21:00	24.4	23.63	24.79	25.56	25.17	25.95	25.56	22.74
9/1/2549	22:00	24.01	23.24	24.4	24.79	24.79	25.56	25.17	22.00
9/1/2549	23:00	23.24	22.86	24.01	24.01	24.4	25.17	25.17	21.58

ภาคผนวก ก – 3แสดงอุณหภูมิอากาศที่เก็บข้อมูลจากเครื่องมือของอาคารกรณีศึกษา วันที่ 10 มกราคม 2549

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ห้องนายกเทศมนตรีฯ	ห้องประชุมเล็ก	ห้องธุรการ	ห้องประชุมใหญ่	ห้องการคลัง	ห้องรายได้	ห้องพัสดุ	อุณหภูมิภายนอก
9/1/2549	0:00	22.48	22.09	23.24	23.24	23.63	25.17	24.4	21.14
10/1/2549	1:00	22.09	22.09	22.86	22.86	23.24	24.4	24.4	20.00
10/1/2549	2:00	21.33	21.71	22.48	22.09	22.86	24.01	24.01	19.00
10/1/2549	3:00	20.95	20.95	22.09	21.71	22.09	23.63	23.63	18.00
10/1/2549	4:00	20.19	20.57	21.71	20.95	21.71	23.24	23.24	17.00
10/1/2549	5:00	19.42	20.19	20.95	20.57	21.33	23.24	22.86	16.50
10/1/2549	6:00	19.04	19.81	20.57	20.19	20.95	22.86	22.48	16.00
10/1/2549	7:00	18.66	19.42	20.19	19.81	20.57	22.48	22.09	15.50
10/1/2549	8:00	19.04	19.42	20.57	20.57	20.57	22.48	22.09	17.04
10/1/2549	9:00	20.57	19.81	21.33	21.71	20.95	23.24	21.71	18.58
10/1/2549	10:00	22.48	20.57	22.48	22.86	21.33	24.01	21.71	20.1
10/1/2549	11:00	24.01	21.33	24.01	24.4	22.48	24.79	22.09	22.04
10/1/2549	12:00	25.95	22.09	25.17	25.56	23.63	25.56	22.09	23.98
10/1/2549	13:00	26.73	22.86	26.34	26.34	24.79	26.34	22.86	25.9
10/1/2549	14:00	27.12	23.63	27.52	27.52	25.95	27.12	24.01	26.27
10/1/2549	15:00	27.52	24.4	28.31	28.31	26.73	27.52	25.95	26.64
10/1/2549	16:00	27.52	24.79	28.7	28.7	27.12	27.91	27.52	27
10/1/2549	17:00	27.52	25.17	28.7	29.1	27.52	27.91	27.12	26.18
10/1/2549	18:00	27.12	25.17	27.91	28.7	27.12	27.52	26.34	25.34
10/1/2549	19:00	26.73	24.79	27.52	27.91	26.73	27.12	26.34	24.5
10/1/2549	20:00	25.56	24.4	26.73	26.73	26.34	26.34	25.56	23.14
10/1/2549	21:00	24.4	24.4	25.95	26.34	25.95	26.34	25.56	21.77
10/1/2549	22:00	24.01	23.63	25.17	25.56	25.17	25.95	25.17	20.4
10/1/2549	23:00	23.24	23.24	25.17	24.79	24.79	25.56	25.17	20.28

ภาคผนวก ก – 3แสดงอุณหภูมิอากาศที่เก็บข้อมูลจากเครื่องมือของอาคารกรณีศึกษา วันที่ 11 มกราคม 2549

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ห้องนายกเทศมนตรีฯ	ห้องประชุมเล็ก	ห้องธุรการ	ห้องประชุมใหญ่	ห้องการคลัง	ห้องรายได้	ห้องพัสดุ	อุณหภูมิภายนอก
10/1/2549	0:00	22.48	22.48	23.63	23.24	24.01	24.79	24.4	20.14
11/1/2549	1:00	21.71	22.48	24.01	23.24	23.63	24.79	24.4	18
11/1/2549	2:00	20.95	22.09	23.24	22.86	23.24	24.4	24.01	17.64
11/1/2549	3:00	20.57	21.71	22.86	22.09	22.48	24.01	23.63	17.27
11/1/2549	4:00	19.81	21.33	22.48	21.71	22.09	23.63	23.24	16.9
11/1/2549	5:00	19.42	20.95	22.09	21.33	21.71	23.24	22.86	16.50
11/1/2549	6:00	19.04	20.57	21.71	20.95	21.33	22.86	22.48	16.10
11/1/2549	7:00	19.04	20.19	21.33	20.19	20.95	22.86	22.48	15.7
11/1/2549	8:00	19.42	20.19	21.33	20.95	20.95	23.24	22.09	17.70
11/1/2549	9:00	21.33	20.57	21.71	22.48	21.33	23.63	22.09	19.70
11/1/2549	10:00	23.63	21.33	23.24	24.01	22.09	24.4	22.09	21.7
11/1/2549	11:00	25.56	22.48	24.79	25.95	23.24	25.56	22.48	23.50
11/1/2549	12:00	27.91	23.24	26.34	27.12	24.79	26.73	22.86	25.30
11/1/2549	13:00	29.1	24.01	27.91	28.31	25.95	27.52	23.63	27.1
11/1/2549	14:00	29.5	25.17	29.5	29.5	27.12	28.31	25.17	27.54
11/1/2549	15:00	29.9	25.95	30.31	30.31	27.91	28.7	26.73	27.98
11/1/2549	16:00	29.9	26.34	30.71	31.12	28.7	28.7	28.31	28.4
11/1/2549	17:00	29.9	26.73	30.31	31.52	28.7	28.7	28.31	27.29
11/1/2549	18:00	29.5	26.73	29.9	30.71	28.7	28.7	27.52	26.14
11/1/2549	19:00	28.31	26.34	29.1	29.9	28.31	27.91	27.52	25
11/1/2549	20:00	24.79	24.4	27.91	28.7	26.73	27.52	26.34	23.48
11/1/2549	21:00	23.63	23.24	24.4	25.56	25.17	25.95	25.56	21.94
11/1/2549	22:00	23.24	22.86	24.4	24.79	24.79	25.56	25.17	20.4
11/1/2549	23:00	22.48	22.86	24.01	24.01	24.01	25.17	25.17	19.60
11/1/2549	0:00	22.48	22.48	23.63	24.01	24.01	25.17	24.79	18.80

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการปรับปรุงและแบบอาคารตัวแทนของอาคารสำนักงานภาครัฐ

ภาคผนวก ข – 1 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารตัวแทนแต่ละแนวทาง

ทิศผนังอาคาร		สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (วัตต์/ตร.ม-เคลวิน)		ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด			OTTV (วัตต์/ตร.ม)
		ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	SC1	SC2	SC3	
แนวทางที่ 1 ประกอบด้วย ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นบุฉนวน 2 นิ้ว, หลังคาลอนคู่บุฉนวน 1 นิ้ว, กระจกสีชา							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.589	5.893	0.64	0.892	0.513	22.80
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.589	5.893	0.64	0.655	0.434	22.66
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.589	5.893	0.64	0.731	0.52	26.06
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.589	5.893	0.64	0.748	0.52	24.27
ค่า OTTV รวมของอาคาร							29.60
ค่า RTTV รวมของอาคาร							25.00
แนวทางที่ 2 ประกอบด้วย ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นบุฉนวน 3 นิ้ว, หลังคาลอนคู่บุฉนวน 2 นิ้ว, กระจกสีฟ้า							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.424	5.893	0.68	0.892	0.513	22.27
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.424	5.893	0.68	0.655	0.434	22.11
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.424	5.893	0.68	0.731	0.52	25.72
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.424	5.893	0.68	0.748	0.52	24.90
ค่า OTTV รวมของอาคาร							29.10
ค่า RTTV รวมของอาคาร							17.08
แนวทางที่ 3 ประกอบด้วย ผนังคอนกรีตมวลเบาแผ่นบุฉนวน 1 นิ้ว, หลังคาลอนคู่บุฉนวน 3 นิ้ว, กระจกสีเขียว							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.68	5.893	0.65	0.892	0.513	23.60
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.68	5.893	0.65	0.655	0.434	22.44
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.68	5.893	0.65	0.731	0.52	26.90
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.68	5.893	0.65	0.748	0.52	26.10
ค่า OTTV รวมของอาคาร							30.41
ค่า RTTV รวมของอาคาร							12.95

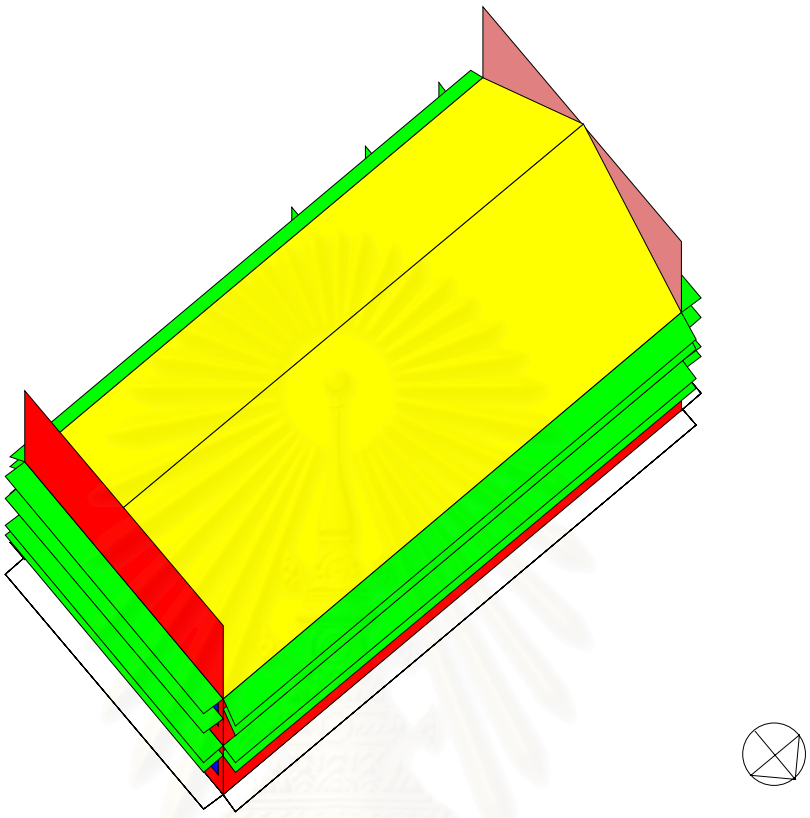
ภาคผนวก ข – 1 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารตัวแทนแต่ละแนวทาง (ต่อ)

ทิศผนังอาคาร		สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (วัตต์/ตร.ม-เคลวิน)		ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด			OTTV (วัตต์/ตร.ม)
		ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	SC1	SC2	SC3	
แนวทางที่ 4 ประกอบด้วยผนังคอนกรีตมวลเบาแผ่นบุฉนวน 2 นิ้ว, หลังคาซีแพคโมเนียบุฉนวน 1 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสงสีฟ้า							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.47	5.893	0.52	0.892	0.513	20.12
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.47	5.893	0.52	0.655	0.434	20.00
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.47	5.893	0.52	0.731	0.52	22.77
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.47	5.893	0.52	0.748	0.52	22.13
ค่า OTTV รวมของอาคาร							26.80
ค่า RTTV รวมของอาคาร							24,745
แนวทางที่ 5 ประกอบด้วยผนังคอนกรีตมวลเบาแผ่นบุฉนวน 3 นิ้ว, หลังคาซีแพคโมเนียฉนวน 2 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสงสีน้ำเงิน							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.359	5.893	0.32	0.892	0.513	16.28
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.359	5.893	0.32	0.655	0.434	16.20
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.359	5.893	0.32	0.731	0.52	17.90
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.359	5.893	0.32	0.748	0.52	17.50
ค่า OTTV รวมของอาคาร							22.62
ค่า RTTV รวมของอาคาร							16.905
แนวทางที่ 6ประกอบด้วย ผนังคอนกรีตบล็อคบุฉนวน1นิ้ว,หลังคาซีแพคโมเนียบุฉนวน 3 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสงสีเขียว							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.96	5.893	0.30	0.892	0.513	20.17
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.96	5.893	0.30	0.655	0.434	20.10
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.96	5.893	0.30	0.731	0.52	21.70
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.96	5.893	0.30	0.748	0.52	21.33
ค่า OTTV รวมของอาคาร							26.50
ค่า RTTV รวมของอาคาร							12.81
แนวทางที่ 7 ประกอบด้วย ผนังคอนกรีตบล็อคบุฉนวน 2 นิ้ว, หลังคา คสล.หนา 12 ซม. บุฉนวน 2 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสง 2 ชั้นสีฟ้า							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.588	5.893	0.33	0.892	0.513	18.03
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.588	5.893	0.33	0.655	0.434	18.00
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.588	5.893	0.33	0.731	0.52	20.00
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.588	5.893	0.33	0.748	0.52	19.30
ค่า OTTV รวมของอาคาร							24.40
ค่า RTTV รวมของอาคาร							19.215

ภาคผนวก ข – 1 แสดงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารตัวแทนแต่ละแนวทาง (ต่อ)

ทิศผนังอาคาร		สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (วัตต์/ตร.ม-เคลวิน)		ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด			OTTV (วัตต์/ตร.ม)
		ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	SC1	SC2	SC3	
แนวทางที่ 8 ประกอบด้วย ผนังคอนกรีตบล็อคบุฉนวน 3 นิ้ว, หลังคา คสล. หนา 12 ซม. บุฉนวน 3 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสง 2 ชั้นสีฟ้าใส							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.424	1.280	0.21	0.892	0.513	15.04
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.424	1.280	0.21	0.655	0.434	15.00
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.424	1.280	0.21	0.731	0.52	16.10
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.424	1.280	0.21	0.748	0.52	16.00
ค่า OTTV รวมของอาคาร							21.22
ค่า RTTV รวมของอาคาร							14.105
แนวทางที่ 9 ประกอบด้วย ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปบุฉนวน 2 นิ้ว, หลังคา คสล. หนา 15 ซม. บุฉนวน 2 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสง 2 ชั้นสีน้ำเงิน							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.624	1.280	0.15	0.892	0.513	15.51
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.624	1.280	0.15	0.655	0.434	15.50
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.624	1.280	0.15	0.731	0.52	16.30
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.624	1.280	0.15	0.748	0.52	16.10
ค่า OTTV รวมของอาคาร							21.70
ค่า RTTV รวมของอาคาร							19.005
แนวทางที่ 10 ประกอบด้วย ผนังคอนกรีตสำเร็จรูปบุฉนวน 3 นิ้ว, หลังคา คสล. หนา 15 ซม. บุฉนวน 3 นิ้ว, กระจกสะท้อนแสง 2 ชั้นสีเขียว							
ทิศเหนือ	ชั้น 1 - 2	0.422	1.280	0.14	0.892	0.513	13.94
ทิศตะวันตก	ชั้น 1 - 2	0.422	1.280	0.14	0.655	0.434	13.91
ทิศใต้	ชั้น 1 - 2	0.422	1.280	0.14	0.731	0.52	14.65
ทิศตะวันออก	ชั้น 1- 2	0.422	1.280	0.14	0.748	0.52	14.48
ค่า OTTV รวมของอาคาร							20.03
ค่า RTTV รวมของอาคาร							14.00

ภาคผนวก ข – 2 รูปแบบอาคารและข้อมูลที่ป้อนค่าเข้าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (DOE-2)



ภาคผนวก ข – 2 รูปแบบอาคารและข้อมูลที่ป้อนค่าเข้าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (DOE-2)

```
INPUT   LOADS
INPUT-UNITS = ENGLISH
OUTPUT-UNITS = ENGLISH  ..
TITLE   LINE-1  *OFFICE*
        LINE-2  *ENERGY SIMULATION RESEACH*
        LINE-3  *DESIGN CRITERIA*   ..
RUN-PERIOD          JAN 1 1999 THRU DEC 31 1999   ..
ABORT               ERRORS     ..
DIAGNOSTIC          WARNINGS      ..
LOADS-REPORT        SUMMARY= (ALL-SUMMARY)
VERIFICATION= (LV-A) ..
BUILDING-LOCATION     LATITUDE= 13.1       LONGITUDE= -100
        ALTITUDE= 39        TIME-ZONE= -7
        HOLIDAY= NO
```

```
        GROSS-AREA= 16279.29      AZIMUTH= 0.0
        DAYLIGHT-SAVINGS= YES
        GROUND-T = (82.3,82.6,85.5,85.7,85.9,85.6
                    ,85.3,84.9,85.1,83.8,82.6,78.9)
        SURF-TEMP-CALC = NO ..
$ BUILDING MATERIAL DESCRIPTION
$ EXTERIOR WALL GENERAL
WA-1 = LAYERS
      MATERIAL =(CM03,CC14,IN03,GP02,CM03)
       I-F-R = 0.68 ..
$ ROOF GENERAL
      RF-1 = LAYERS
      MATERIAL =  (CM02,IN03)
      I-F-R = 0.76 ..
$ ROOF GENERAL
      ROOF-TILE      = MATERIAL
      THICKNESS = 0.083
      CONDUCTIVITY = 0.4157
      DENSITY = 100
      SPECIFIC-HEAT = 0.4 ..
$ CEILING GENERAL BETWEEN FLOOR
      CL-1 = LAYERS
      I-F-R = 0.92
      MATERIAL = (AL33,GP01) ..
$ GP01 = GYPSUM OR PLASTER BOARD 1/2 INCH, RESISTANCE 0.45, THICKNESS 0.0417
$ FLOOR GENERAL
      FL-1 = LAYERS
      I-F-R = 0.61
      MATERIAL = (CC02) ..
$ CC02 = CONCRETE, HEAVY WEIGHT DRIED AGGREGATE, 140 LBS,RESISTANCE 0.44,
          THICKNESS 0.3333
$ WINDOW AND DOOR GLASS GENERAL
      GLA-1 = GLASS-TYPE
      SHADING-COEF= 0.14
```

```
        FRAME-CONDUCTANCE = 0.574          $ THERMALLY BROKEN ALUMINUM
        FRAME-ABS = 0.7 ..                 $ FRAME ABSORPTIVITY
$ CONSTRUCTION
ROOF-1 = CONSTRUCTION
        LAYERS = RF-1                      $ ROOF GENERAL
$       U-VALUE = 0.29
        ABSORPTANCE = 0.65                 $ UNCOLORED CONCRETE
        ROUGHNESS = 1 ..                   $ STUCCO
CEILING-1 = CONSTRUCTION                   $ CEILING GENERAL BETWEEN FLOOR
         LAYERS = CL-1 ..
$        U-VALUE = 0.28
WALL-1 = CONSTRUCTION                      $ EXTERIOR WALL GENERAL
         LAYERS = WA-1
$       U-VALUE = 1.973
        ABSORPTANCE = 0.55                 $ LIGHT BUFF BRICK
        ROUGHNESS = 2 ..                   $ BRICK PLASTER
WALL-2 = CONSTRUCTION                      $ EXTERIOR WALL GENERAL
        LAYERS = WA-1
$       U-VALUE = 1.973
        ABSORPTANCE = 0.55                 $ LIGHT BUFF BRICK
        ROUGHNESS = 2 ..                   $ BRICK PLASTER
FLOOR-1 = CONSTRUCTION
        LAYERS = FL-1 ..
$ OCCUPANCY SCHEDULE
        OC-1        =DAY-SCHEDULE   (1,7)(0)(8,11)(1.0)(12,13)(0.75)
                                    (14,18)(1.0)(19,21)(0.0)(22,24)(0)..
        OC-2        =DAY-SCHEDULE   (1,8)(0)(9,12)(0)(13,17)(0)(18,22)(0)(23,24)(0)..
        OC-WEEK         =WEEK-SCHEDULE  (WD) OC-1 (WEH) OC-2  ..
        OCCUPY-1        =SCHEDULE       THRU DEC 31 OC-WEEK  .. $OFFICE-1$
$ LIGHTING SCHEDULE
        LT-1        =DAY-SCHEDULE  (1,7)(0)(8,11)(1.0)(12,13)(0.75)
                                   (14,18)(1.0)(19,21)(0.0)(22,24)(0)..
        LT-2        =DAY-SCHEDULE   (1,7)(0)(8,9)(0) (10,17)(0)(18,22)(0)(23,24)(0)..
      LT-WEEK         =WEEK-SCHEDULE  (WD) LT-1 (WEH) LT-2  .. $OFFICE-1$
```

```
        LIGHTS-1        =SCHEDULE       THRU DEC 31 LT-WEEK  ..
$ EQUIPMENT SCHEDULE
        EQ-1            =DAY-SCHEDULE   (1,7)(0)(8,11)(1.0)(12,13)(0.75)
                                        (14,18)(1.0)(19,21)(0.0)(22,24)(0)..
        EQ-2            =DAY-SCHEDULE   (1,6)(0)(7,9)(0)(10,17)(0)(18,24)(0)..
        EQ-WEEK         =WEEK-SCHEDULE  (WD) EQ-1 (WEH) EQ-2   ..
        EQUIP-1         =SCHEDULE       THRU DEC 31 EQ-WEEK   ..
$ INFILTRATION SCHEDULE
        ALLVENT-T       =SCHEDULE       THRU DEC 31 (ALL) (1,24)(1) ..
        NOVENT-T        =SCHEDULE       THRU DEC 31 (ALL) (1,24)(0) ..
        DAY-WD          =DAY-SCHEDULE   (1,7)(0.0)(8,11)(1.0) (12,17)(1.0)(18,24)(0.0)..
        DAY-WE          =DAY-SCHEDULE   (1,8)(0.0)(9,12)(0.0) (13,17)(0.0)(18,24)(0.0)..
        DAY-WK          =WEEK-SCHEDULE  (WD) DAY-WD (WEH) DAY-WE ..
        DAYVENT-T       =SCHEDULE       THRU DEC 31 DAY-WK    ..
      NIGHTVENT-T       =SCHEDULE       THRU DEC 31 (ALL) (1,5)(1)(6,18)(0) (19,24) (1)       ..
$ SET DEFAULT VALUES
     SET-DEFAULT FOR SPACE FLOOR-WEIGHT=0    ..
$ GENERAL SPACE DEFINITION
        OFFICE = SPACE-CONDITIONS
        TEMPERATURE = (78)                              $ APPROXIMATE VALUE (F)
        PEOPLE-SCHEDULE = OCCUPY-1
        NUMBER-OF-PEOPLE = 167                          $ APPROXIMATE VALUE
        PEOPLE-HG-LAT = 200
        PEOPLE-HG-SENS = 250
        LIGHTING-SCHEDULE = LIGHTS-1
        LIGHTING-TYPE = REC-FLUOR-NV
        LIGHT-TO-SPACE = 1.0
        LIGHTING-W/SQFT = 1.0
        EQUIP-SCHEDULE = EQUIP-1
        EQUIPMENT-W/SQFT = 1.5
        INF-METHOD = AIR-CHANGE
        INF-SCHEDULE =ALLVENT-T
        AIR-CHANGES/HR =1.0
        FLOOR-WEIGHT = 0
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
        ZONE-TYPE = CONDITIONED ..
$ SPECIFIC SPACE DETAILS
$ 1st FLOOR
1-FLOOR  =SPACE          SPACE-CONDITIONS= OFFICE
                         AREA=8139.6484      VOLUME=81396.484
                         SHAPE=BOX HEIGHT=10
                         WIDTH=125.10 DEPTH=64.5
                         NUMBER-OF-PEOPLE=83 ..
 FRONT-1 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
                         HEIGHT=10  WIDTH=125.10
                         X=0 Y=0 Z=0
                         CONSTRUCTION=WALL-1       ..
WF-1  =WINDOW         WIDTH=14.95  HEIGHT=6.89
                         X=10  Y=2.95
                         SETBACK=0 GLASS-TYPE = GLA-1  ..
WF-2  =WINDOW         WIDTH=14.95  HEIGHT=6.89
                         X=30  Y=2.95
                         SETBACK=0 GLASS-TYPE = GLA-1  ..
RIGHT-1             =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90
                         HEIGHT=10  WIDTH=64.5
                         X=125.10  Y=0 Z=0
                         CONSTRUCTION=WALL-1        ..
WR-1  =WINDOW       WIDTH=8.1  HEIGHT=6.89
                          X=5  Y=2.95
                         SETBACK=0.0  GLASS-TYPE = GLA-1  ..
WR-2  =WINDOW       WIDTH=8.1  HEIGHT=6.89
                          X=15  Y=2.95
                         SETBACK=0.0  GLASS-TYPE = GLA-1  ..
BACK-1              =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
                          HEIGHT=10  WIDTH=125.10
                         X=125.10  Y=64.5  Z=0
                         CONSTRUCTION=WALL-1        ..
WB-1  =WINDOW         WIDTH=14.95  HEIGHT=6.89
                         X=10  Y=2.95
```

```
                    SETBACK=0 GLASS-TYPE = GLA-1  ..
WB-2  =WINDOW       WIDTH=14.95  HEIGHT=6.89
                    X=30  Y=2.95
                    SETBACK=0 GLASS-TYPE = GLA-1  ..
LEFT-1   =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270
                     HEIGHT=10 WIDTH=64.5
                     X=0 Y=64.5 Z=0
                    CONSTRUCTION=WALL-1       ..
WL-1  =WINDOW       WIDTH=8.1  HEIGHT=6.89
                    X=5  Y=2.95
                    SETBACK=0.0  GLASS-TYPE = GLA-1  ..
WL-2  =WINDOW       WIDTH=8.1  HEIGHT=6.89
                    X=15  Y=2.95
                    SETBACK=0.0  GLASS-TYPE = GLA-1  ..
CEILING-11      =INTERIOR-WALL          AZIMUTH=180    AREA=8139.6484
                    TILT=0   X=0      Y=0      Z=10
                    INT-WALL-TYPE=STANDARD
                    NEXT-TO 2-FLOOR
                    CONSTRUCTION=CEILING-1       ..
FLOOR-11        =UNDERGROUND-FLOOR          AZIMUTH=180    AREA=379.2
                    TILT=0   X=0      Y=0      Z=0
                    CONSTRUCTION=FLOOR-1         ..
$ 2st FLOOR

2-FLOOR =SPACE     SPACE-CONDITIONS= OFFICE
        AREA=5449.7615    VOLUME=217987.50
        SHAPE=BOX HEIGHT=10
        WIDTH=64.5 DEPTH=125.10
        NUMBER-OF-PEOPLE=83 ..
FLOOR-21        =INTERIOR-WALL          AZIMUTH=180    AREA=8139.6484
                TILT=0   X=0      Y=0      Z=10
                INT-WALL-TYPE = STANDARD
                NEXT-TO 1-FLOOR
                CONSTRUCTION=FLOOR-1         ..
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
FRONT-2 =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=180
                    HEIGHT=10  WIDTH=125.10
                    X=0 Y=0 Z=10
                    CONSTRUCTION=WALL-1      ..
WF-3  =WINDOW       WIDTH=14.95  HEIGHT=6.89
                    X=10  Y=2.95
                     SETBACK=0 GLASS-TYPE = GLA-1  ..
WF-4  =WINDOW       WIDTH=14.95  HEIGHT=6.89
                    X=30  Y=2.95
                    SETBACK=0 GLASS-TYPE = GLA-1  ..
RIGHT-2      =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90
                    HEIGHT=10  WIDTH=64.5
                    X=125.10  Y=0 Z=10
                CONSTRUCTION=WALL-1        ..
WR-3  =WINDOW       WIDTH=8.1  HEIGHT=6.89
                    X=5  Y=2.95
                     SETBACK=0.0  GLASS-TYPE = GLA-1  ..
WR-4  =WINDOW       WIDTH=8.1  HEIGHT=6.89
                    X=15  Y=2.95
                    SETBACK=0.0  GLASS-TYPE = GLA-1  ..
RIGHT-3       =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=90
                    HEIGHT=15  WIDTH=64.5
                    X=125.10  Y=0 Z=20
                    CONSTRUCTION=WALL-1       ..
BACK-2       =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=0
                    HEIGHT=10  WIDTH=125.10
                    X=125.10  Y=64.5 Z=10
                    CONSTRUCTION=WALL-1       ..
WB-3  =WINDOW       WIDTH=14.95  HEIGHT=6.89
                     X=10  Y=2.95
                    SETBACK=0 GLASS-TYPE = GLA-1  ..
WB-4  =WINDOW       WIDTH=14.95  HEIGHT=6.89
                    X=30  Y=2.95
                    SETBACK=0 GLASS-TYPE = GLA-1  ..
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
LEFT-2    =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270
                          HEIGHT=10  WIDTH=64.5
                          X=0 Y=64.5 Z=10
                          CONSTRUCTION=WALL-1        ..
WL-3  =WINDOW       WIDTH=8.1  HEIGHT=6.89
                          X=5  Y=2.95
                          SETBACK=0.0  GLASS-TYPE = GLA-1  ..
WL-4  =WINDOW       WIDTH=8.1  HEIGHT=6.89
                          X=15  Y=2.95
                          SETBACK=0.0  GLASS-TYPE = GLA-1  ..
LEFT-3    =EXTERIOR-WALL AZIMUTH=270
                          HEIGHT=15  WIDTH=64.5
                          X=0 Y=64.5 Z=20
                          CONSTRUCTION=WALL-1        ..
CEILING-2   =INTERIOR-WALL      AZIMUTH=180    AREA=8139.6484
                          TILT=0   X=0       Y=0       Z=20
                          INT-WALL-TYPE=STANDARD
                          NEXT-TO  1-FLOOR
                          CONSTRUCTION=CEILING-1        ..
ATTIC=SPACE    ZONE-TYPE=UNCONDITIONED
                          AREA=8139.6484
                          SHAPE=BOX       HEIGHT=5
                           WIDTH=125.10 DEPTH=64.5
                          NUMBER-OF-PEOPLE=0  ..
ROOF01=EXTERIOR-WALL          AZIMUTH=0
                          HEIGHT=35.5     WIDTH=125.10
                          TILT=25 X=125.10 Y=64.5Z=20
                          CONSTRUCTION=ROOF-1          ..
ROOF02=EXTERIOR-WALL          AZIMUTH=-180
                          HEIGHT=35.5     WIDTH=125.10
                          TILT=25 X=0 Y=0             Z=20
                          CONSTRUCTION=ROOF-1          ..
FINR01  =BUILDING-SHADE         AZIMUTH=0
                          HEIGHT=5         WIDTH=125.1
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                    TILT=25 X=125.1 Y=68.9  Z=17.8  ..
FINR02  =BUILDING-SHADE     AZIMUTH=-180
                    HEIGHT=5        WIDTH=125.1
                    TILT=25 X=0 Y=-4.5      Z=17.8  ..
FINR03  =BUILDING-SHADE     AZIMUTH=0
                    HEIGHT=5        WIDTH=125.1
                    TILT=0  X=125.1 Y=68.9  Z=10    ..
FINR04  =BUILDING-SHADE     AZIMUTH=-180
                    HEIGHT=5        WIDTH=125.1
                    TILT=0  X=0 Y=-4.5      Z=10  ..
FINL05  =BUILDING-SHADE  AZIMUTH=270
                    HEIGHT=5        WIDTH=64.5
                    TILT=0  X=-5 Y=64.5  Z=20       ..
FINL06 =BUILDING-SHADE  AZIMUTH=270
                    HEIGHT=5        WIDTH=64.5
                    TILT=0  X=-5 Y=64.5  Z=10       ..
FINL07  =BUILDING-SHADE  AZIMUTH=90
                    HEIGHT=5        WIDTH=64.5
                    TILT=0  X=130.1 Y=0  Z=20       ..
FINL08 =BUILDING-SHADE  AZIMUTH=90
                    HEIGHT=5        WIDTH=64.5
                    TILT=0  X=130.1 Y=0  Z=10       ..
FINR09  =BUILDING-SHADE     AZIMUTH=270
                    HEIGHT=20       WIDTH=5
                    TILT=90 X=8 Y=0         Z=0  ..
FINR10  =BUILDING-SHADE     AZIMUTH=270
                    HEIGHT=20       WIDTH=5
                    TILT=90 X=28 Y=0        Z=0  ..
FINR19  =BUILDING-SHADE     AZIMUTH=270
                    HEIGHT=20       WIDTH=5
                    TILT=90 X=48 Y=0        Z=0  ..
FINR11  =BUILDING-SHADE     AZIMUTH=0
                    HEIGHT=5        WIDTH=125.1
                    TILT=25 X=125.1 Y=68.9  Z=15.8  ..
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
FINR12  =BUILDING-SHADE         AZIMUTH=-180
                                HEIGHT=5         WIDTH=125.1
                                TILT=25 X=0 Y=-4.5         Z=15.8  ..
FINR13  =BUILDING-SHADE         AZIMUTH=0
                                HEIGHT=5         WIDTH=125.1
                                TILT=0   X=125.1 Y=68.9  Z=8       ..
FINR14  =BUILDING-SHADE         AZIMUTH=-180
                                HEIGHT=5         WIDTH=125.1
                                TILT=0   X=0 Y=-4.5         Z=8  ..
FINL15  =BUILDING-SHADE  AZIMUTH=270
                                HEIGHT=5         WIDTH=64.5
                                TILT=0   X=-5 Y=64.5  Z=15.8        ..
FINL16 =BUILDING-SHADE  AZIMUTH=270
                                HEIGHT=5         WIDTH=64.5
                                TILT=0   X=-5 Y=64.5  Z=8           ..
FINL17  =BUILDING-SHADE  AZIMUTH=90
                                HEIGHT=5         WIDTH=64.5
                                TILT=0   X=130.1 Y=0  Z=15.8       ..
FINL18 =BUILDING-SHADE  AZIMUTH=90
                                HEIGHT=5         WIDTH=64.5
                                TILT=0   X=130.1 Y=0  Z=8          ..
END     ..
COMPUTE  LOADS  ..
INPUT SYSTEMS ..
SYSTEMS-REPORT          SUMMARY=(SS-A) ..
$ SCHEDULES
        HEAT-1     =SCHEDULE          THRU DEC 31 (ALL) (1,24) (45) ..
        COOL-1     =SCHEDULE          THRU DEC 31 (ALL) (1,24) (78) ..
        NOVENT-1=SCHEDULE              THRU DEC 31 (ALL) (1,24)(0) ..
        DAYVENT-1=SCHEDULE             THRU DEC 31 (ALL) (1,5)(0) (6,18)(1) (19,24) (0) ..
        NIGHTVENT-2=SCHEDULE           THRU DEC 31 (ALL) (1,5)(1)(6,18)(0) (19,24) (1) ..
$ ZONE DATA
  1-FLOOR       =ZONE      DESIGN-HEAT-T=50
                           DESIGN-COOL-T=100
```

```
                    ZONE-TYPE=CONDITIONED
THERMOSTAT-TYPE=TWO-POSITION
                    HEAT-TEMP-SCH=HEAT-1
                    COOL-TEMP-SCH=COOL-1   ..
  2-FLOOR      =ZONE      DESIGN-HEAT-T=50
                    DESIGN-COOL-T=100
                    ZONE-TYPE=CONDITIONED
THERMOSTAT-TYPE=TWO-POSITION
                    HEAT-TEMP-SCH=HEAT-1
                    COOL-TEMP-SCH=COOL-1   ..
ATTIC       =ZONE  ZONE-TYPE = UNCONDITIONED ..
$ SYSTEM HOURLY REPORT
        HR-SCH-1   =    SCHEDULE  THRU DEC 31 (ALL) (1,24) (1) ..
        HR-SCH-2   =    SCHEDULE  THRU JAN 16 (ALL) (1,24) (0)
                        THRU JAN 22 (ALL) (1,24) (1)
                        THRU DEC 31 (ALL) (1,24) (0) ..
        SRB-1      =    REPORT-BLOCK      VARIABLE-TYPE= 1-FLOOR
                        VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92)  ..
                            $ zone temp, thermal conductance
                            $ avg temp, total zone cooling energy input
                            $ MRT, OT
        SRB-2      =REPORT-BLOCK      VARIABLE-TYPE=  2-FLOOR
                            VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92)  ..
                            $ zone temp, thermal conductance
                            $ avg temp, total zone cooling energy input
                            $ MRT, OT
        SRB-3      =REPORT-BLOCK      VARIABLE-TYPE= ATTIC
                            VARIABLE-LIST=(6,9,31,8,91,92)  ..
                        $ zone temp, thermal conductance
                        $ avg temp, total zone cooling energy input
                        $ MRT, OT
$     SYS-REP-1   =HOURLY-REPORT      REPORT-SCHEDULE=HR-SCH-1
$      REPORT-BLOCK=(SRB-1)  ..
$ AIR CONDITIONER
```

```
  SYS-1       =SYSTEM       SYSTEM-TYPE=RESYS
                            ZONE-NAMES=(1-FLOOR,2-FLOOR,ATTIC)
                            MAX-SUPPLY-T=140  MIN-SUPPLY-T=50
                            NATURAL-VENT-AC=100
                            NATURAL-VENT-SCH=NOVENT-1                                    ..
PLANT-1   =PLANT-ASSIGNMENT    SYSTEM-NAMES=(SYS-1)   ..
END   ..
COMPUTE SYSTEMS   ..
INPUT PLANT   ..
PLANT-REPORT  SUMMARY=(ALL-SUMMARY)  ..
END ..
COMPUTE PLANT ..
STOP ..
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นางสาวดลยา ศิริปรุ

เกิด 29 เมษายน 2522

การศึกษา

- ระดับประถมศึกษา จบจากโรงเรียนสุขานารี
- ระดับมัธยมศึกษา จบจากโรงเรียนโคราชพิทยาคม
- ระดับอุดมศึกษา จบจากสาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา
- เข้าศึกษาหลักสูตรปริญญาตรีสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาออกแบบสถาปัตยกรรม (เป็นเทคโนโลยี) คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ ในปีการศึกษา 2547

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย