

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเปลือกอาคารประเภทอาคารหอสมุดในสถาบัน  
การศึกษา เพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ  
กรณีศึกษา : อาคาร 7 สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต

BUILDING ENVELOPE RETROFIT TO REDUCE THE COOLING LOAD  
IN LIBRARY BUILDING  
CASE STUDY : RANGSIT UNIVERSITY LIBRARY AND INFORMATION CENTER

พีระพงษ์ โมดิกา  
PEERAPONG MOLIKA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-330-0

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเปลือกอาคารประเภทอาคารหอสมุดในสถาบัน  
การศึกษา เพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ  
กรณีศึกษา: อาคาร 7 สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต

BUILDING ENVELOPE RETROFIT TO REDUCE THE COOLING LOAD  
IN LIBRARY BUILDING  
CASE STUDY: RANGSIT UNIVERSITY LIBRARY AND INFORMATION CENTER



พีระพงษ์ โมลิกา  
PEERAPONG MOLIKA

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 47509  
วัน, เดือน, ปี 19 ส.ค. 2546

.b.....  
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสถาปัตยกรรมเขตร้อน  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-339-9

**BUILDING ENVELOPE RETROFIT TO REDUCE THE COOLING LOAD  
IN LIBRARY BUILDING  
CASE STUDY: RANGSIT UNIVERSITY LIBRARY AND INFORMATION CENTER**

**PEERAPONG MOLIKA**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ARCHITECTURE IN TROPICAL ARCHITECTURE  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2003**

**ISBN 974-324-339-9**

**COPYRIGHT 2003**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

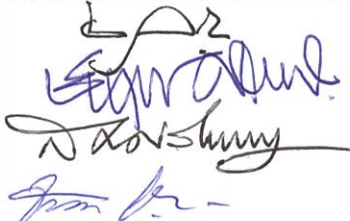
**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**บัณฑิตวิทยาลัย**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** การปรับปรุงประสิทธิภาพของเปลือกอาคารประเภทอาคารหอสมุด  
ในสถาบันการศึกษาเพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ  
กรณีศึกษา : อาคาร 7 สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัย  
รังสิต  
BUILDING ENVELOPE RETROFIT TO REDUCE THE COOLING  
LOAD IN LIBRARY BUILDING. CASE STUDY : RANGSIT  
UNIVERSITY LIBRARY AND INFORMATION CENTER

**ชื่อนักศึกษา** นายพีระพงษ์ โมลิกา  
**รหัสประจำตัว** 41063112  
**ปริญญา** สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
**สาขาวิชา** สถาปัตยกรรมเขตร้อน

**อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์** รศ.ธีรมน ไวโรจนกิจ  
**อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม** อาจารย์ชัยยุทธ ศรีเผด็จ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ธีรมน	ไวโรจนกิจ	
อาจารย์ชัยยุทธ	ศรีเผด็จ	
ผศ.ดร.สมชาย	ศรีสมพงษ์	
ผศ.ชนินทร์	ทิพย์ภาส	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 25 เมษายน 2546 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป  
สถานที่สอบ ณ ภาควิชาสถาปัตยกรรมภายใน



วันที่ 14 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2546

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงประสิทธิภาพของเปลือกอาคารประเภทอาคาร หอสมุดในสถาบันการศึกษา เพื่อลดภาระการทำความเย็น ในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษา : อาคาร 7 สำนักหอสมุด และศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต
นักศึกษา	นายพีระพงษ์ โมลิกา
รหัสประจำตัว	41063112
ปริญญา	สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรมเขตร้อน
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ชีรมน ไวโรจนกิจ
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ชัยยุทธ ศรีเผด็จ

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการศึกษาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของ  
กรอบอาคารที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เพื่อที่จะลดการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยจะทำการศึกษา  
กรณีของอาคารหอสมุดในสถาบันการศึกษา เนื่องจากอาคารหอสมุดนี้มีดัชนีการใช้พลังงานที่สูง  
กว่าอาคารอื่นๆในสถาบันการศึกษา หรืออาคารเรียนทั่วไป โดยใช้ “อาคาร 7 สำนักหอสมุดและ  
ศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต” เป็นอาคารกรณีศึกษา

จากการศึกษาพบว่าอาคารกรณีศึกษามีการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร โดยเฉพาะใน  
ส่วนระบบปรับอากาศ เท่ากับ 478,115 kWh. ต่อปี คิดเป็น 64.47% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้ง  
หมดในอาคาร การที่อาคารกรณีศึกษามีค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศที่สูง เนื่องจากกรอบ  
อาคารไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร

โดยที่อาคารมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร เท่ากับ 82.56 วัตต์ต่อตารางเมตร  
ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา เท่ากับ 53.85 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าภาระการทำความเย็น  
(Cooling Load) เฉพาะในส่วนกรอบอาคาร เท่ากับ 13,905,222 บีทียู-ชม. คิดเป็น 44% ของภาระการ  
ทำความเย็น โดยรวมของทั้งอาคาร

ซึ่งสามารถสรุปสาเหตุที่ทำให้กรอบอาคารไม่มีประสิทธิภาพ ได้ดังนี้

1. อุปกรณ์บังแดดของอาคารไม่มีประสิทธิภาพในการบังแดดให้กับอาคารเนื่องจาก  
ขนาดของอุปกรณ์บังแดดและลักษณะการจัดวางทิศทางของอาคาร (Orientation of  
Building)

2. พื้นที่ส่วนที่เป็นผนังกระจกมีพื้นที่ที่มากเกินไป โดยมีอัตราส่วนของช่องเปิด(Window to Wall Ratio) เท่ากับ 50% และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกมีค่าสูง คือ 0.96 จากการศึกษาแนวทางในการปรับปรุงกรอบอาคาร ทั้งในส่วนผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และในส่วนของหลังคานั้น ให้มีแนวทางและการปฏิบัติที่มีความเหมาะสมกับรูปแบบโครงสร้างเดิมของอาคาร โดยมีการปรับปรุงดังนี้

1. การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารในส่วนผนังทึบภายนอกอาคารเดิม โดยเลือกใช้ฉนวนชนิดโพลีสไตรีนพร้อมระบบสีสำเร็จภายนอก
2. การติดตั้งฟิล์มกรองแสงให้กรอบอาคารในส่วนที่เป็นกระจกเดิม เพื่อช่วยลดค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก (S.C.) เหลือ 0.24
3. การใช้ฉนวนชนิดฉนวนบนผิวภายนอกของหลังคา โดยใช้ฉนวนชนิด Ceramic Polymer Coating เพื่อช่วยสะท้อนรังสีความร้อนบนหลังคา

จากการวิเคราะห์ภายหลังจากออกแบบปรับปรุงกรอบอาคาร พบว่าอาคารกรณีศึกษาจะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ เท่ากับ 345,455.00 kWh. ต่อปี สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 132,660.00 kWh. ต่อปี หรือลดลงได้ 27.74% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศโดยในการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคารนี้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 351,549.00 บาท ต่อปี มีค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการปรับปรุงเท่ากับ 2,857,228.00 บาท ระยะเวลาคืนทุน 8.12 ปี

และจากการปรับปรุงกรอบอาคาร ทำให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร เท่ากับ 20.92 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา เท่ากับ 4.65 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่าภาระการทำความเย็น(Cooling Load) เฉพาะในส่วนกรอบอาคาร เท่ากับ 2,441,010 บีทียู-ชม. ลดลงจากเดิม 11,464,212 บีทียู-ชม. หรือลดลง 82.40% ทำให้การใช้พลังงานในอาคารลดลงอย่างมาก

สรุปได้ว่าแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารในการวิจัยนี้ สามารถลดการใช้พลังงานภายในอาคารและทำให้สภาพของอาคารอยู่ในเกณฑ์กำหนดของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ตามมาตราที่ 19 ซึ่งมีสาระสำคัญในการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร นับเป็นการสนองนโยบายของภาครัฐในการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ

<b>Thesis Title</b>	Building Envelope Retrofit to Reduce The Cooling Load in Library Building. Case Study: Rangsit University Library and Information Center.
<b>Student</b>	Mr. Peerapong Molika
<b>Student ID.</b>	41063112
<b>Degree</b>	Master of Architecture
<b>Programme</b>	Tropical Architecture
<b>Year</b>	2003
<b>Thesis Advisor</b>	Associate Professor Teeramon Wairochanakit
<b>Thesis Co-advisor</b>	Mr. Chaiyut Sripadet

### ABSTRACT

This study's objective is to find a way to improve the efficiency of the building's envelope used at the present time. The objective is to decrease the building's energy use. An earlier case study has used a library building on an educational campus. This study used building 7 on the Rangsit University Library and Information Center, as a case study.

It was found that, the library building's use of electrical energy for its air-conditioning system was 478,115 kWh/year. This was 64.47% of the building's consumption of energy. It was also found that, the library building's volume of energy consumption was high. The building's envelope was inefficient in protecting against the heat, which had transferred to the building.

The building has an OTTV volume of 82.56 watt/m<sup>2</sup>. And a RTTV volume of 53.85 watt/m<sup>2</sup>. There is a cooling load on the building's envelope of 13,905,222 BTU-H. This was 44% of the cooling load on the building.

It was found that, there were many factors which cause the inefficiency of the building's envelope :

1. The shading device of the building was inefficient in protecting the building from direct sunlight, because the size of the shading device was not sufficient and the orientation of the building was not aligned appropriately.
2. The glazing area of the building's envelope is too large. The window to wall ratio

(WWR) is about 50%. The glazing has a shading coefficient (S.C) value is 0.96

There are 3 ways to improve the building's envelope.

1. The building should be fitted with exterior insulation with a finishing coat to reduce the heat transfer from solar radiation.
2. There should be a sun control film on the existing glazing area to reduce the shading coefficient (S.C.) down to 0.24
3. A roof should be coating with exterior insulation such as a ceramic polymer coating on the existing roof area.

After we have designed such an improvement on the building's envelope, we find that the volume of energy used by the building's envelope on air-conditioning system is 345,455.00 kWh./year. Which is equal to the building's reduce energy usage to 132,660.00 kWh./year or 27.74%. By the way, the improvement of the building's envelope can be save 351,549.00 bath/year, the first investment for improvement are 2,857,228.00 bath and pay back period in 8.12 years.

The improvement of the building's envelope can reduce the OTTV volume to 20.92 watt/m<sup>2</sup>. The RTTV volume can be reduce to 4.56 watt/m<sup>2</sup>. The cooling load in the building's envelope of 2,441,010 BTU-H. Which is the saving of energy by 82.40 %. Therefore, the improvement on the building's envelope can reduce the use of energy in air-conditioning system.

In conclusion, improving the energy efficiency of a building's envelope can reduce the use of energy. This fact can help building conform to the standard of article 19 in the 1993 energy conservation law.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาจาก รองศาสตราจารย์ธรมน ไวโรจนกิจ อาจารย์ชัยยุทธ ศรีเผด็จ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำแก่ผู้ทำวิจัยด้วยดีมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.สมชาย ศรีสมพงษ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ชนินทร์ ทิพโยภาส ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและเป็นคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์อุทัย ทุติยะโพธิ ผู้อำนวยการสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต เจ้าหน้าที่ประจำสำนักหอสมุด เจ้าหน้าที่บรรณารักษ์ทุกท่าน และเจ้าหน้าที่ฝ่ายอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่อนุเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการเก็บบันทึกข้อมูลในอาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ บริษัท 3M ประเทศไทย จำกัด อนุเคราะห์ข้อมูลผลิตภัณฑ์ฟิล์มกรองแสงลดความร้อน บริษัท Louis T. Leonowens Thailand Limited. อนุเคราะห์ข้อมูลผลิตภัณฑ์แผ่นสะท้อนความร้อน บริษัท มิราเคิล เวิร์ค จำกัด อนุเคราะห์ข้อมูลผลิตภัณฑ์ฉนวน Ceramic Polymer Coating Insulation บริษัท กระจกไทยอาชีพ จำกัด อนุเคราะห์ข้อมูลผลิตภัณฑ์กระจกประหยัดพลังงาน บริษัท สยามไฟเบอร์กลาส จำกัด อนุเคราะห์ข้อมูลผลิตภัณฑ์ฉนวนใยแก้ว บริษัท ฐาปนินทร์ จำกัด อนุเคราะห์การประเมินราคาส่วนอุปกรณ์บังแดดและผนังบังแดดภายนอกอาคาร

ขอขอบคุณ คุณยุภา ชีวะอิสระกุล ผู้มีส่วนสำคัญในการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี และคอยเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณพวงจิตต์ ถิ่นธารา และครอบครัว คุณปรีชากร โมลิกา และครอบครัว ที่ได้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พีระพงษ์ โมลิกา

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญรูป.....	X
สารบัญตาราง.....	XV
สารบัญแผนภูมิ.....	XIX
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	3
1.2 ปัญหาการใช้พลังงาน.....	7
1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	9
1.4 สมมุติฐานการวิจัย.....	10
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	11
1.6 แนวทางการดำเนินการทำวิจัย.....	12
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	12
<b>บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎีและแนวความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย.....</b>	<b>14</b>
2.1 ทบทวนวรรณกรรม.....	14
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและเกณฑ์การออกแบบอาคารห้องสมุด.....	22
2.2.1 ความหมายของห้องสมุด.....	22
2.2.2 ประเภทของห้องสมุด.....	22
2.2.3 การเลือกทำเลที่ตั้ง.....	23
2.2.4 รายละเอียดด้านการวางผังพื้นที่ในอาคาร.....	23
2.2.5 ระบบการให้แสงสว่างแก่อาคาร.....	26
2.2.6 ความสูงของฝ้าเพดานในอาคาร.....	36
2.2.7 ระบบปรับอากาศและการควบคุมความชื้น.....	36
2.2.8 การควบคุมเสียงรบกวน.....	37
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวิจัย.....	40
2.3.1 การถ่ายเทความร้อน.....	40

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.2 การนำความร้อน.....	40
2.3.3 การพาความร้อน.....	42
2.3.4 การแผ่รังสีความร้อน.....	43
2.3.5 อิทธิพลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร.....	45
2.4 การคำนวณปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้า-ออก อาคาร.....	50
2.4.1 อิทธิพลของความร้อนที่เกิดจากแสงแดด.....	51
2.4.2 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อความร้อนของอาคาร.....	52
2.4.3 รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก.....	55
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการปรับอากาศ.....	58
2.5.1 หลักการของความสบาย.....	58
2.5.2 ภาวะความร้อนและระบบปรับอากาศ.....	60
2.5.3 การคำนวณ และการคาดคะเนภาระความร้อน.....	60
2.5.4 Cooling Load จากแหล่งกำเนิดความร้อนภายนอก.....	62
2.5.5 Cooling Load จากแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน.....	66
2.5.6 การวัดค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ.....	68
2.5.7 สมการการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนที่ส่งเข้าสู่อาคาร.....	69
2.5.8 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา.....	73
2.6 กฎหมายและข้อกำหนดการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร.....	78
2.6.1 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535.....	78
2.6.2 พระราชกฤษฎีกา ว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2538.....	79
2.6.3 กฎกระทรวง ว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2538.....	79
<b>บทที่ 3 กรณีศึกษาอาคารตัวอย่าง.....</b>	<b>80</b>
3.1 ประวัติความเป็นมาอาคารกรณีศึกษา.....	80
3.2 การใช้พื้นที่ภายในอาคารหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ.....	80
3.3 สภาพแวดล้อมทั่วไปของอาคารกรณีศึกษา.....	81
3.4 รายละเอียดทางสถาปัตยกรรมของกรอบอาคาร.....	94
3.4.1 ผนังทึบ.....	94
3.4.2 ช่องเปิด.....	95

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4.3 หลังคา.....	96
3.5 รูปแบบและลักษณะการใช้พื้นที่ของอาคาร.....	98
3.6 วิเคราะห์การจัดส่วนที่เก็บหนังสือและส่วนอ่านหนังสือ.....	99
3.6.1 ลักษณะทางกายภาพของอาคาร.....	105
3.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร.....	109
3.7.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี.....	109
3.7.2 การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย.....	110
<b>บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา.....</b>	<b>118</b>
4.1 การเก็บข้อมูลทางอุณหภูมิของอาคารกรณีศึกษา.....	118
4.2 ข้อกำหนดและการเก็บบันทึกข้อมูล.....	118
4.3 ข้อจำกัดและปัญหาในการเก็บบันทึกข้อมูลอาคารกรณีศึกษา.....	119
4.4 การวิเคราะห์ลักษณะกรอบอาคาร หลังคา และประสิทธิภาพการบังแดด.....	122
4.4.1 ผนังทึบ.....	122
4.4.2 หลังคาทึบ.....	125
4.4.3 ผนังโปร่งแสง.....	127
4.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบังแดดภายนอกอาคาร.....	133
4.6 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร.....	159
4.7 สรุปการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การออกแบบปรับปรุงกรอบอาคาร.....	172
<b>บทที่ 5 แนวทางการออกแบบเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคาร.....</b>	<b>174</b>
5.1 ข้อจำกัดในการออกแบบปรับปรุงกรอบอาคาร.....	174
5.2 การออกแบบกรอบอาคารที่เหมาะสมและการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคาร..	174
5.3 การพิจารณาแนวทางที่เหมาะสมเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคาร.....	176
5.3.1 แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนผนังทึบ.....	176
5.3.2 แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนผนังโปร่งแสง.....	195
5.3.3 แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนอุปกรณ์บังแดด.....	227
5.3.4 แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร โดยการใช้ผนังบังแดดให้ผนังภายนอก.....	244
5.4 การประเมินการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ.....	274
5.5 การคำนวณค่าไฟฟ้าต้นทุนเพื่อประเมินการคืนทุนในการปรับปรุง.....	280
5.5.1.ระยะเวลาคืนทุนจากการปรับปรุงกรอบอาคาร.....	282

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.6 แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพหลังคา.....	287
5.6.1 อิทธิพลของตัวแปรต่อการถ่ายเทความร้อนทางหลังคา.....	287
5.6.2 อิทธิพลจากแสงแดด.....	287
5.6.3 คุณสมบัติการแผ่รังสีของพื้นผิว.....	287
5.6.4 ฉนวนกันความร้อน.....	288
5.6.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา.....	289
5.6.6 รูปแบบที่เหมาะสมในการปรับปรุงหลังคา.....	292
5.7 การประเมินประสิทธิภาพการติดตั้งฉนวนกันความร้อนในส่วนหลังคา.....	315
บทที่ 6 สรุปผลการออกแบบปรับปรุงและข้อเสนอแนะ.....	319
6.1 ข้อเสนอสรุปจากการวิเคราะห์อาคาร.....	319
6.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากการวิเคราะห์อาคาร.....	320
บรรณานุกรม.....	323
ภาคผนวก.....	325
ภาคผนวก ก.....	325
ภาคผนวก ข.....	336
ประวัติผู้เขียน.....	341

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงค่าความต้องการไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า วันที่ 23เม.ย. 2544.....	2
1.2 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารประเภทสถาบันการศึกษา.....	5
1.3 แสดงสัดส่วนภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศภายในอาคาร.....	7
1.4 แสดงภาพอาคาร 7 สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต.....	8
1.5 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร 7 สำนักหอสมุดปี 2541-2544.....	9
2.1 แสดงรูปแบบหน้าต่างช่วงล่างและการส่องสว่าง.....	27
2.2 แสดงรูปแบบหน้าต่างช่วงกลางและการส่องสว่าง.....	28
2.3 แสดงลักษณะรูปแบบของหน้าต่างช่วงกลาง.....	29
2.4 แสดงรูปแบบหน้าต่างช่วงบนและการส่องสว่าง.....	30
2.5 แสดงรูปแบบของหน้าต่างที่มีผลต่อการส่องสว่างภายใน.....	31
2.6 แสดงลักษณะการให้แสงแบบแนวนอนหรือแนวเอียง .....	32
2.7 แสดงลักษณะการให้แสงแบบเพียงด้านเดียว.....	33
2.8 แสดงลักษณะการให้แสงแบบ 2 ด้าน.....	33
2.9 แสดงรูปแบบการนำแสงของหิ้งสะท้อนแสง.....	34
2.10 แสดงการนำความร้อนผ่านแผ่นราบ.....	41
2.11 แสดงเส้นผลต่างอุณหภูมิผ่านผนังราบชั้นเดียว.....	42
2.12 แสดงเส้นผลต่างอุณหภูมิผ่านผนังราบ 3 ชั้น (วัสดุต่างชนิดกัน).....	42
2.13 แสดงการสะท้อน การดูดกลืนและการทะลุผ่านของ รังสีที่ตกกระทบวัตถุ.....	44
2.14 แสดงการกระจายสเปกตรัมของกำลังการแผ่รังสีของวัตถุดำ เทาและไม่ใช่สีเทา.....	44
2.15 แสดงการถ่ายเทความร้อนแบบผสมของแผ่นราบ.....	45
2.16 แสดงแผนภูมิ Time Lag และ Decrement factor.....	47
2.17 แสดง Heat Gain Comparoson ของผนังอิฐหนา 4 นิ้ว ในแต่ละทิศของเดือนเมษายน.....	53
2.18 แสดง Heat Gain Comparoson of Lightweight-wall ในแต่ละทิศของเดือนเมษายน.....	53
2.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวของผนังภายในทิศต่างๆ.....	56
2.20 แสดงปริมาณ Cooling Load ภายในอาคารที่ผ่านผนังกระจกทิศตะวันออกเฉียงใต้.....	57
2.21 แสดงปริมาณ Cooling Load ภายในอาคารที่ผ่านผนังกระจกทิศตะวันตกเฉียงใต้.....	57
2.22 แสดงค่าอุณหภูมิสมประสงค์.....	59
2.23 แสดงค่าอุณหภูมิสมประสงค์สำหรับอากาศนิ่ง.....	59
3.1 แสดงผังบริเวณมหาวิทยาลัยรังสิตและผังอาคารสำนักหอสมุด.....	82

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.2 แสดงลักษณะทิศทางการวางผังและสภาพแวดล้อมอาคารกรณีศึกษา.....	93
3.3 แสดงผนังภายนอกและผนังที่บ ลักษณะ โครงสร้างอาคาร.....	95
3.4 แสดงช่องเปิดและผนังกระจกใสภายนอกอาคาร.....	96
3.5 แสดงส่วนประกอบของหลังคาอาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ.....	97
3.6 แสดงรูปแบบและลักษณะการใช้พื้นที่ของอาคาร.....	98
3.7 แสดงแผนผังการใช้พื้นที่ภายในอาคาร ชั้นที่ 2-5.....	101
3.8 แสดงการถ่ายเทความร้อนจากพื้นที่ไม่ปรับอากาศสู่พื้นที่ปรับอากาศ.....	105
3.9 แสดงสถิติจำนวนผู้เข้ามาใช้บริการอาคารสำนักหอสมุด ปี 2541-2543.....	107
3.10 แสดงการติดตั้งเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ใช้งานและส่วนระบาย ความร้อนของระบบปรับอากาศอาคารสำนักหอสมุด.....	116
4.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล.....	120
4.2 แสดงลักษณะ โครงสร้างของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	122
4.3 แสดงลักษณะ โครงสร้างของผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก.....	123
4.4 แสดงลักษณะ โครงสร้างของผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ.....	124
4.5 แสดงลักษณะ โครงสร้างของหลังคาคอนกรีต.....	125
4.6 แสดงลักษณะ โครงสร้างของหลังคากระเบื้องใยหิน.....	126
4.7 แสดงลักษณะ โครงสร้างของกระจกใส.....	127
4.8 แสดงค่าพลังงานความร้อนที่คำนวณ ได้จากการเก็บข้อมูลรายชั่วโมง.....	130
4.9 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้าสู่อาคาร.....	130
4.10 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์.....	132
4.11 แสดง Solar Chart ที่เส้นรุ้ง 14 องศาเหนือ.....	134
4.12 แสดง Shadow-Angle Protractor.....	134
4.13 แสดงทิศทางการจัดวางอาคารสัมพันธ์กับแนว โจรของดวงอาทิตย์.....	135
4.14 แสดงรูปตัดขององค์ประกอบสถาปัตยกรรมที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังแดด.....	136
4.15 แสดงส่วนยื่นของอาคารที่ทำหน้าที่อุปกรณ์บังแดดทางนอน.....	139
4.16 แสดงส่วนที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังแดดในแนวตั้งของอาคาร.....	140
4.17 แสดงการบังแดดของแกนอาคารที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังแดดทางแนวตั้ง.....	146
4.18 แสดงภาระทั้งหมดของระบบปรับอากาศจากกรอบอาคารและ การใช้พลังงานในอาคาร.....	165

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 แสดงการถ่ายเมความร้อนผ่านฉนวนในลักษณะที่เป็นมวล.....	177
5.2 แสดงการถ่ายเมความร้อนผ่านฉนวนในลักษณะที่เป็นผิวสะท้อนแสง.....	178
5.3 แสดงภาพขยายโครงสร้างเซลล์ของฉนวนกันความร้อน.....	180
5.4 แสดงภาวะของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานจากการติดตั้งฉนวนภายนอก.....	193
5.5 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวม(OTTV) ของผนังที่บจากการติดตั้งฉนวนภายนอก.....	193
5.6 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังที่บในแต่ละด้านจากการติดตั้งฉนวนภายนอก.....	194
5.7 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังที่บจากการติดตั้งฉนวนภายนอก.....	194
5.8 แสดงสัดส่วนการดูดซับพลังงานความร้อนของกระจกชนิดต่างๆ.....	202
5.9 แสดงภาวะของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานในอาคารจากการปรับปรุง ผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 1.....	208
5.10 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวม(OTTV) ของผนัง โปร่งแสงจากการปรับปรุง ผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 1.....	208
5.11 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง โปร่งแสงในแต่ละด้านจากการปรับปรุง ผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 1.....	209
5.12 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านกรอบอาคารจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 1.....	209
5.13 แสดงหลักการพื้นฐานของฟิล์มกรองแสงชนิดลดความร้อน.....	211
5.14 แสดงภาวะของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานจากการปรับปรุง ผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 2 .....	216
5.15 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวม(OTTV) ของผนัง โปร่งแสงจากการปรับปรุง ผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 2.....	216
5.16 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง โปร่งแสงในแต่ละด้านจากการปรับปรุง ผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 2.....	217
5.17 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านกรอบอาคารจากการปรับปรุง ผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 2.....	217
5.18 แสดงพื้นที่ผนัง โปร่งแสงที่ทำการปรับลด.....	219
5.19 แสดงภาวะของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานจากการปรับปรุง ผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 3 .....	222
5.20 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง โปร่งแสงในแต่ละด้านจากการปรับปรุง ผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 3.....	223

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.21 แสดงภาระต่างๆในอาคารจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสงในทุกๆทางเลือก.....	224
5.22 สรุปค่า OTTV จากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสงในทุกๆทางเลือก.....	225
5.23 สรุปค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสงในทุกๆทางเลือก.....	226
5.24 แสดงลักษณะและรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดทั้ง 3 ชนิดและการเกิดเงา.....	227
5.25 แสดงค่ามุมของดวงอาทิตย์ระหว่างเวลา 8.00-16.00น. ที่ละติจูด14องศา.....	228
5.26 แสดงค่ามุมดวงอาทิตย์ที่กระทำกับผนังในแต่ละด้าน.....	230
5.27 แสดงรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดแบบต่างๆ.....	233
5.28 แสดงภาระของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานจากการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด.....	243
5.29 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวม(OTTV) ของผนัง โปร่งแสงจากการ ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด.....	243
5.30 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง โปร่งแสงในแต่ละด้านจากการ ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด.....	244
5.31 แสดงมุมมองจากภายในสู่ภายนอกอาคารกรณีศึกษา.....	245
5.32 แสดงรูปแบบและมุมมองเสาของอุปกรณ์บังแดดทางนอน.....	246
5.33 แสดงรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดทางนอน.....	247
5.34 แสดงบริเวณที่จะทำการติดตั้งผนังบังแดดภายนอกให้ผนังเดิมของอาคาร.....	250
5.35 แสดงการติดตั้งผนังบังแดดให้กับผนังภายนอกอาคาร .....	251
5.36 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบังแดดของผนังบังแดดภายนอกอาคาร โดยการทดสอบการบังแดดจากหุ่นจำลอง.....	255
5.37 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายนอกอาคาร.....	268
5.38 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่คำนวณได้จากการเก็บข้อมูลอาคารจากผนังที่อยู่ในที่ร่ม.....	267
5.39 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่คำนวณได้จากการเก็บข้อมูลอาคาร จากผนังที่โดนแสงแดด.....	269
5.40 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังในทิศต่างๆ.....	270
5.41 แสดงปริมาณความร้อนรวมที่ส่งผ่านผนังที่เข้าสู่อาคาร.....	270
5.42 แสดงหลังคารูปแบบต่างๆของอาคารกรณีศึกษา.....	289
5.43 แสดงหลักการทำงานของฉนวนชนิด Ceramic Polymer Coating.....	292
5.44 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาที่ใช้ฉนวนติดตั้งใต้แผ่นหลังคา.....	293

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.45 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาที่ใช้ฉนวนติดตั้งบนแผ่นฝ้าเพดาน.....	294
5.46 แสดงรูปแบบการลดค่ารังสีความร้อนโดยพิจารณาจากกรรมวิธีและวัสดุ.....	296
5.47 แสดงภาระของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานจากการปรับปรุงหลังคา.....	312
5.48 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านหลังคาแต่ละชนิดหลังการปรับปรุง ประสิทธิภาพหลังคา.....	313
5.49 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนที่ลดลงจากการปรับปรุง ประสิทธิภาพหลังคา.....	314

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงค่าความต้องการไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า ปี 2530-2544 .....	2
1.2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจและการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	3
1.3 แสดงลักษณะการใช้พลังงานของอาคารประเภทสถานศึกษา.....	6
2.1 แสดงการเปรียบเทียบการให้แสง โดยวิธีธรรมชาติ.....	35
2.2 แสดงการเปรียบเทียบการให้แสง โดยการใช้แสงประดิษฐ์.....	35
2.3 แสดงค่ามาตรฐานความสูงฝ้าเพดาน.....	36
2.4 แสดงเกณฑ์การหาปริมาณอากาศภายนอกที่ใช้ระบายอากาศ.....	37
2.5 แสดงค่า Heat Capacity of Material by Volume.....	46
2.6 แสดงช่วงหน่วงเวลาที่ความร้อนไหลผ่านวัสดุ.....	48
2.7 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถต้านทานความร้อนของวัสดุต่างๆที่มีความหนา 1 นิ้ว.....	49
2.8 แสดงรายการวัสดุและสีที่ทาผนัง แยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์ การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์.....	54
2.9 แสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ ) ของผนังทึบ.....	55
2.10 แสดงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของระบบปรับอากาศ.....	68
2.11 แสดงการเปรียบเทียบ ค่า U และค่า $\Sigma R$ ของมวลผนังเกินกว่า 195 กก./ตร.ม. ภายใต้ OTTV = 55 วัตต์/ตร.ม.และ ไม่มีช่องเปิด.....	70
2.12 แสดงการเปรียบเทียบ ค่า U และค่า $\Sigma R$ ของมวลผนังเกินกว่า 195 กก./ตร.ม. ภายใต้ OTTV = 45 วัตต์/ตร.ม.และ ไม่มีช่องเปิด.....	71
2.13 แสดงคุณสมบัติกระจกชนิดต่างๆเทียบระหว่าง Daylighting และ Solar Transmittance.....	72
2.14 แสดงค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านหลังคาและฝ้าเพดาน แต่ละชนิดที่เข้าสู่อาคารที่ไม่บุฉนวน.....	75
2.15 แสดงค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านหลังคาและฝ้าเพดาน แต่ละชนิดที่เข้าสู่อาคารที่บุฉนวนหนา 1 นิ้ว.....	76
2.16 แสดงค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านหลังคาและฝ้าเพดาน แต่ละชนิดที่เข้าสู่อาคารที่บุฉนวนหนา 2 นิ้ว.....	77
3.1 แสดงรายละเอียด โครงสร้างผนังภายนอกและผนังทึบของอาคาร.....	95
3.2 แสดงรายละเอียด โครงสร้างของช่องเปิดและผนัง โปร่งแสง.....	96

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.3 แสดงรายละเอียดของโครงสร้างหลังคาอาคารสำนักหอสมุด.....	97
3.4 แสดงพื้นที่ในอาคารส่วนที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ.....	108
3.5 แสดงรายละเอียดของระบบปรับอากาศของอาคารสำนักหอสมุด.....	111
3.6 แสดงการตรวจวัดค่า EER ของเครื่องปรับอากาศ อาคารสำนักหอสมุด.....	112
3.7 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างของอาคาร.....	113
3.8 แสดงค่าความสว่าง โดยเฉลี่ย อาคารสำนักหอสมุด.....	113
3.9 แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่าง ของ มาตรฐาน CIE และ IES ในพื้นที่ใช้งาน.....	115
4.1 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า $U_w$ ของคานคอนกรีต.....	122
4.2 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า $U_w$ ของผนังคอนกรีต.....	123
4.3 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า $U_w$ ของผนังก่ออิฐฉาบปูน.....	124
4.4 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า $U_w$ ของหลังคาคอนกรีต.....	125
4.5 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า $U_w$ ของกระเบื้องใยหิน.....	126
4.6 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า $U_w$ ของกระจกใส.....	127
4.7 แสดงพื้นที่ผนังในทิศต่างๆ เพื่อนำมาหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร.....	128
4.8 แสดงพื้นที่หลังคาเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร.....	128
4.9 แสดงค่าอุณหภูมิในส่วนต่างๆของ โครงสร้างอาคารกรณีศึกษา.....	129
4.10 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน.....	147
4.11 แสดงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นและค่าการใช้พลังงาน.....	166
5.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุฉนวนชนิดต่างๆ.....	181
5.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานและค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ.....	189
5.3 แสดงค่า OTTV ของผนังอาคารเมื่อทำการติดตั้งฉนวนภายนอกโดยเฉพาะส่วนผนังทึบ.....	190
5.4 แสดงค่าภาระของอาคารในส่วนต่างๆจากการติดตั้งฉนวนภายนอก.....	190
5.5 แสดงค่า OTTV เฉพาะในส่วนของผนังทึบในแต่ละด้านจากการ ติดตั้งฉนวนภายนอก.....	191
5.6 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังทึบในแต่ละด้านจากการติดตั้งฉนวนภายนอก.....	191
5.7 แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบกระจกสะท้อนแสงที่เคลือบผิว 2 ระบบ.....	197
5.8 แสดงข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับพลังงานแสงและความร้อน.....	201

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.9 แสดงค่า OTTV ของผนังอาคารเมื่อทำการปรับปรุงผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 1.....	205
5.10 แสดงค่าภาระของอาคารในส่วนต่างๆจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสง ทางเลือกที่ 1 .....	206
5.11 แสดงค่า OTTV เฉพาะในส่วนผนัง โปร่งแสงจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสง ทางเลือกที่ 1 .....	206
5.12 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง โปร่งแสงในแต่ละด้านจากการ ปรับปรุงผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 1.....	206
5.13 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียแนวทางเลือกที่1 การเปลี่ยนชนิดของกระจก.....	210
5.14 แสดงคุณสมบัติที่สัมพันธ์กับพลังงานความร้อนและพลังงานแสง ของฟิล์มกรองแสง.....	212
5.15 แสดงค่า OTTV ของผนังอาคารเมื่อทำการปรับปรุงผนัง โปร่งแสง.....	213
5.16 แสดงค่าภาระของอาคารในส่วนต่างๆจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสง ทางเลือกที่ 2.....	214
5.17 แสดงค่า OTTV ของผนังอาคารเมื่อทำการปรับปรุงผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 2.....	214
5.18 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง โปร่งแสงในแต่ละด้านจากการ ปรับปรุงผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 2.....	214
5.19 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียแนวทางเลือกที่ 2 การติดตั้งฟิล์มกรองแสงบนกระจกเดิม.....	218
5.20 แสดงค่าภาระของอาคารในส่วนต่างๆจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสง ทางเลือกที่ 3.....	221
5.21 แสดงค่า OTTV ของผนังอาคารเมื่อทำการปรับปรุงผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 3.....	221
5.22 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง โปร่งแสงในแต่ละด้านจากการ ปรับปรุงผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 3.....	221
5.23 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาประกอบเป็น อุปกรณ์บังแดดในอาคาร.....	236
5.24 แสดงการวิเคราะห์การหาค่ามุม Solar Altitude Angle เพื่อหาระยะยื่น ของอุปกรณ์บังแดด.....	239
5.25 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน หลังการปรับปรุงอุปกรณ์บังแดด.....	239

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.26 แสดงค่าภาระของอาคารในส่วนต่างๆจากการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด.....	242
5.27 แสดงค่า OTTV เฉพาะในส่วนของผนังโปร่งแสงจากการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด.....	242
5.28 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงในแต่ละด้าน จากการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด.....	242
5.29 แสดงค่าอุณหภูมิในส่วนต่างๆของ โครงสร้างอาคารกรณีศึกษา.....	266
5.30 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอกอาคารกรณีศึกษา.....	267
5.31 แสดงการประเมินค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศที่ลดลง.....	275
5.32 แสดงค่าการทำความเย็นและค่าการใช้พลังงานที่ลดลงจากการปรับปรุง.....	277
5.33 แสดงค่าขนาดการทำความเย็น/พื้นที่ใช้งานที่ลดลงจากการปรับปรุง.....	279
5.34 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร.....	282
5.35 แสดงค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการปรับปรุงกรอบอาคาร.....	283
5.36 สรุปค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาการคืนทุนในการ ปรับปรุงกรอบอาคาร.....	285
5.37 แสดงค่าตัวแปรที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคามีค่าลดลง.....	291
5.38 แสดงการเปรียบเทียบการติดตั้งฉนวนกันความร้อน 2 ชนิด.....	297
5.39 แสดงกรรมวิธีการติดตั้งและการแปรสภาพการลดคุณสมบัติของฉนวน.....	299
5.40 แสดงน้ำหนักและระยะเวลาการปรับปรุงฉนวนกันความร้อน.....	300
5.41 แสดงคุณสมบัติการต้านทานความร้อนของฉนวนกันความร้อน.....	303
5.42 แสดงค่า RTTV ของหลังคาอาคารเมื่อทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อน.....	311
5.43 แสดงค่าภาระของอาคารในส่วนต่างๆจากการปรับปรุงหลังคา.....	312
5.44 แสดงการประเมินค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ ที่ลดลงจากการปรับปรุงหลังคา.....	316
5.45 แสดงค่าไฟฟ้าในระบบปรับอากาศที่ลดลงจากการปรับปรุงหลังคา.....	316
5.46 แสดงค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการปรับปรุงหลังคา.....	317
5.47 สรุปค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาคืนทุนจากการ ปรับปรุงหลังคา.....	318

# สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่	หน้า
1.1 แสดงแผนผังการดำเนินการวิจัย.....	13
2.1 แสดงค่ามาตรฐานความสบายภายในอาคารประเภทห้องสมุด.....	39
4.1 แสดงปัญหาในการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ.....	172

## บทที่ 1

### บทนำ

ในช่วงการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศต่างๆ ในภูมิภาคนี้ระหว่างปี พ.ศ. 2530 – 2539 ทำให้เกิดอาคารขนาดใหญ่ต่างๆ ทั้งในภาครัฐและเอกชนเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ในแง่ของผู้ออกแบบแล้ว จะเน้นการออกแบบที่สวยงาม มีความน่าสนใจ และมีรูปแบบทางสถาปัตยกรรมที่หลากหลายมากกว่าที่จะคำนึงถึงการใช้พลังงานในอาคาร และการประหยัดพลังงาน ปัจจุบันในอาคารส่วนใหญ่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าถึง 100 % เลยทีเดียว และจากการสำรวจพบว่า 2/3 ของพลังงานไฟฟ้า มีการใช้เพื่อทำการปรับสถานะต่างๆ ภายในอาคาร ให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น เช่นต้องการทำความร้อนในช่วงฤดูหนาว ส่วนในช่วงฤดูร้อน ต้องการการทำความเย็นแก่อาคาร เพื่อลดอุณหภูมิ และทำให้เกิดสภาวะน่าสบายภายในอาคาร การออกแบบอาคารและการคำนึงถึงการใช้พลังงานในอาคาร เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้ จึงเป็นเรื่องที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาวิธีการใช้พลังงานในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อลดการสูญเสียทรัพยากร ในการผลิตพลังงานของประเทศลง

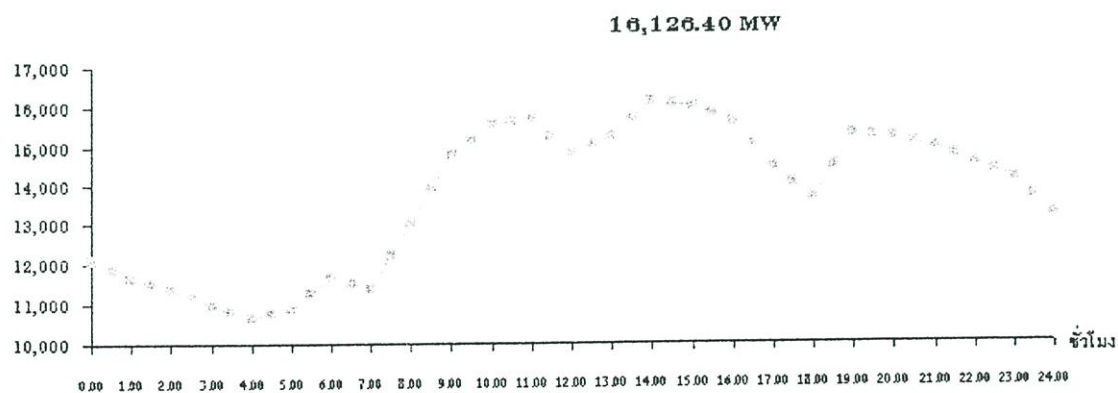
จากการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละปีที่ผ่านมาที่นั้นมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ทำให้มีการกำหนดนโยบายการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าขึ้น โดยอาศัยข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในปีที่ผ่านมาเพื่อประเมินการใช้ไฟฟ้าในอนาคต ทั้งนี้เพื่อให้หน่วยงานที่เป็นผู้ผลิตไฟฟ้าได้นำไปเป็นข้อมูลวางแผนขยายการผลิตไฟฟ้า ระบบต่างๆ เช่นระบบสายส่ง สายจำหน่าย การก่อสร้างอาคาร การวางแผนการลงทุน การเตรียมการจัดหาเชื้อเพลิง และอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้านั้น จะพยากรณ์ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) หรือ เมกะวัตต์ (1 MW = 1,000 kW) และพยากรณ์ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Energy Demand) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) หรือ กิกะวัตต์-ชั่วโมง (GWh = 10<sup>6</sup> kWh) เหตุที่ต้องพยากรณ์เป็น 2 กรณี เพราะการไฟฟ้าต้องการทราบว่า ในปีที่หนึ่ง ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด จะเพิ่มขึ้นในปริมาณเท่าใดในแต่ละปี

ในขณะที่เดียวกัน ก็ต้องการทราบว่า ความต้องการพลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ในปีที่หนึ่ง เป็นปริมาณเท่าใด เพื่อวางแผนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า รองรับความต้องการไฟฟ้า ในแต่ละปีควบคู่กันไปด้วย ดังนั้น การพยากรณ์พลังไฟฟ้าสูงสุด จะนำไปสู่การวางแผนการลงทุน ในการก่อสร้าง เช่น โรงไฟฟ้า ระบบส่ง/จำหน่าย ส่วนการพยากรณ์พลังงานไฟฟ้า จะนำไปสู่การลงทุน และเตรียมการ ในการจัดหาเชื้อเพลิง เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 1.1 แสดงค่าความต้องการไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า ปี 2530-2544

ปีงบประมาณ	ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด			ค่าพลังงานไฟฟ้า			ค่าตัวประกอบ การใช้ไฟฟ้า %
	MW	ส่วนเพิ่ม		GWh	ส่วนเพิ่ม		
		MW	%		GWh	%	
2530	4,733.90	553.00	13.23	28,193.16	3,413.63	13.78	67.99
2531	5,444.00	710.10	15.00	31,996.94	3,803.78	13.49	67.09
2532	6,232.70	788.70	14.49	36,457.09	4,460.15	13.94	66.77
2533	7,093.70	861.00	13.81	43,188.79	6,731.70	18.46	69.50
2534	8,045.00	951.30	13.41	49,225.03	6,036.24	13.98	69.85
2535	8,876.90	831.90	10.34	56,006.44	6,781.41	13.78	72.02
2536	9,730.00	853.10	9.61	62,179.73	6,173.29	11.02	72.95
2537	10,708.80	978.80	10.06	69,651.14	7,471.41	12.02	74.25
2538	12,267.90	1,559.10	14.56	78,880.37	9,229.23	13.25	73.40
2539	13,310.90	1,043.00	8.50	85,924.14	7,043.77	8.93	73.69
2540	14,506.30	1,195.40	8.98	92,724.66	6,800.52	7.91	72.97
2541	14,179.90	-326.40	-2.25	92,134.44	-590.22	-0.64	74.17
2542	13,712.40	-467.50	-3.30	90,413.99	-1,720.45	-1.87	75.27
2543	14,918.30	1,205.90	8.79	96,780.72	6,366.73	7.04	74.06
2544	16,126.40	1,208.10	8.10	103,165.20	6,384.43	6.60	73.03
<b>อัตราเพิ่ม</b>							
2530-2539		913.00	12.28		6,114.46	13.24	
2540-2544		563.10	3.91		3,448.20	3.73	



ที่มา: เอกสารการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า, คณะอนุกรรมการการพยากรณ์ไฟฟ้า, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2544

รูปที่ 1.1 แสดงค่าความต้องการไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า วันที่ 23 เม.ย. 2544 (กฟผ.)

ตารางที่ 1.2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจและการใช้พลังงานไฟฟ้า

ปีปฏิทิน	อัตราการขยายตัว(%)	
	GDP	การใช้พลังงานไฟฟ้า
2540	-1.45	6.38
2541	-10.77	-2.56
2542	4.22	1.12
2543	4.40	8.42
2544	1.5-1.7	7.10*

\* ค่าตัวเลข 10 เดือน

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาสอดคล้องกันกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มมากยิ่งขึ้นเนื่องจากการก่อสร้างอาคารเพิ่มมากยิ่งขึ้น และในจำนวนชนิดของอาคารต่าง ๆ นั้น อาคารชนิดสถาบันการศึกษา ก็ได้เพิ่มจำนวนมากยิ่งขึ้น เช่นกัน เนื่องจากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 6-ฉบับที่ 7 (ปี พ.ศ.2530-2539) ได้มีการกำหนดแนวทางการพัฒนา ประเทศเข้าสู่ระบบเศรษฐกิจแบบอุตสาหกรรม แทนที่ระบบเศรษฐกิจแบบเกษตรกรรม ทำให้มีการพัฒนาการศึกษาในระดับอาชีวศึกษา และอุดมศึกษาเพิ่มมากยิ่งขึ้นเพื่อที่จะรองรับการเจริญเติบโตในระบบเศรษฐกิจแบบอุตสาหกรรม จากข้อมูลของทบวงมหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2543 มีสถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษา ทั้งภาครัฐ และเอกชนได้จดทะเบียนจัดตั้งสถาบันการศึกษาในสังกัดทบวงมหาวิทยาลัยรวมทั้งสิ้น 67 สถาบัน ดังนี้

สถาบันอุดมศึกษาส่วนกลาง แยกเป็น

- สถาบันอุดมศึกษาของรัฐจำนวน 12 สถาบัน
- สถาบันอุดมศึกษาของเอกชนจำนวน 21 สถาบัน

สถาบันอุดมศึกษาส่วนภูมิภาค แยกเป็น

- สถาบันอุดมศึกษาของรัฐจำนวน 12 สถาบัน
- สถาบันอุดมศึกษาของเอกชนจำนวน 22 สถาบัน

จากการศึกษาอาคารประเภทสถาบันการศึกษา แม้จะพบว่าอัตราการใช้พลังงานที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับอาคารชนิดอื่นๆ เช่นอาคารเพื่อการอุตสาหกรรม และการทำธุรกิจ แต่พบว่าการใช้พลังงานส่วนใหญ่ในอาคาร มักจะใช้ในระบบปรับอากาศ และระบบแสงสว่าง มากกว่าการใช้พลังงานจากส่วนอื่นๆ โดยทั่วไปไปสถาบันการศึกษาในทุกๆระดับที่เปิดให้บริการการเรียนการสอนจะมีรูปแบบการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ตามลักษณะของใช้งานของอาคารและการใช้พื้นที่ อาคารสำนักหอสมุดเป็นอีกอาคารหนึ่งที่จัดเป็นอาคารประเภทสถาบันการศึกษารูปแบบหนึ่ง ที่มีการใช้พลังงานที่แตกต่างจากอาคารเรียนทั่วไป ทั้งนี้อาคารสำนักหอสมุดในปัจจุบันมีรูปแบบที่แตกต่าง

ไปจากเดิม มีการให้ที่หลากหลาย เช่นการให้บริการสารสนเทศ บริการ โสตทัศนศึกษา บริการห้องปฏิบัติการทางภาษา บริการInternet และการให้บริการอื่นๆตามความเหมาะสมของแต่ละสถาบัน รูปแบบการใช้พลังงานภายในจะเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศและเพื่อแสงสว่าง และระบบเครื่องกลอื่นๆตลอดทั้งวัน ต่างจากอาคารเรียนทั่วไปที่จะมีการใช้พลังงานเฉพาะช่วงเวลาที่มีการใช้พื้นที่เท่านั้น และช่วงเวลาการใช้พื้นที่ห้องเรียนหรือห้องทำงานอื่นๆจะมีช่วงเวลาดังกล่าว ประมาณ 2-3 ชั่วโมง รูปแบบและปริมาณการใช้พลังงานในอาคารทั้ง2ชนิดจึงมีความแตกต่างกัน

ในการสำรวจการใช้พลังงานในอาคารพบว่า ระบบปรับอากาศเป็นระบบอุปกรณ์อาคารที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในสัดส่วน 50-60 % ของระบบพลังงานไฟฟ้าทั้งอาคาร โดยระบบปรับอากาศจะทำหน้าที่ลดความร้อนจากกรอบอาคาร โดยมีปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ

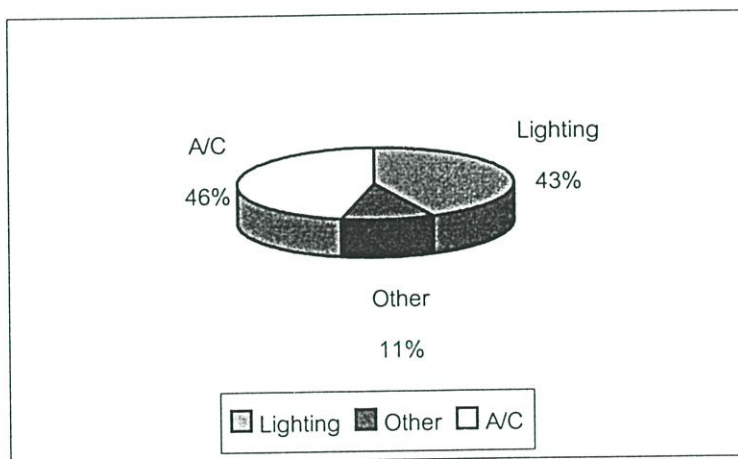
1. ปัจจัยจากความร้อนที่เกิดจากภายในอาคารเอง เช่น คน , การระบายอากาศในอาคาร , ระบบแสงสว่าง และอุปกรณ์ต่างๆ ในอาคาร
2. ปัจจัยจากความร้อนภายนอกอาคาร เช่น จากระบบสิ่งแวดล้อม , สภาพอากาศโดยรอบ และสิ่งแวดล้อม

จากปัจจัยทั้ง 2 ชนิด พบว่า ปัจจัยจากภายนอกจะมีความสำคัญมากกว่า และมีอิทธิพลมากกว่าปัจจัยภายใน โดยทั้งนี้ ภาระการทำความร้อน ของระบบปรับอากาศภายในอาคาร จะขึ้นอยู่กับค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร โดยผ่านทางผนังอาคาร ซึ่งเป็นพื้นที่ ที่ได้รับแสงแดดอยู่เกือบตลอดเวลา

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ควรจะต้องเริ่มศึกษาถึงตัวแปรที่ต้องทำให้อาคารมีการเพิ่มอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศที่ใช้ภายในอาคารประเภทหอบสมุด เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน และช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายในอาคารประเภทนี้ลงได้ โดยเน้นการศึกษาเรื่องภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ให้กับอาคารคือบริเวณที่มีการปรับอากาศ ให้อยู่ในสถานะที่สบาย โดยตัวแปรที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนทั้งจากภายนอกอาคาร(External Heat Gain)และภายในอาคาร( Internal Heat Gain )ที่มีผลทำให้อุณหภูมิห้องสูงขึ้นเช่น ที่ผ่านเข้าสู่อาคารได้หลายทางเช่น Transmission GainsหรือHeat Flow ที่ผ่านเข้ามาทางผนัง หลังคา โดยการนำความร้อน การแผ่รังสีความร้อน ที่ผ่านเข้ามาทางช่องเปิด เช่นบานกระจก โดยจะมาในรูปแบบของรังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation ) มาเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาว ( Long Wave Radiation ) และจะสะสมความร้อนภายในอาคารหรือที่เรียกว่า Thermal Mass การถ่ายเทความร้อนที่ผิวอาคารที่มีการรั่วซึม ที่นอกจากจะนำความร้อนเข้าสู่อาคารแล้ว ยังนำความร้อนเข้ามาอีกด้วย จากที่กล่าวมาในแง่ของตัวแปรต่างๆเป็นเพียงตัวแปรคร่าวๆนอกเหนือจากตัวแปรอื่นๆเช่น ความร้อนจากหลอดไฟฟ้าและ อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ รวมถึงตัวคนที่ใช้พื้นที่ด้วย

นอกจากการใช้วัสดุอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอนที่ทันสมัยและเป็นแหล่งความร้อนภายในอาคารอีกแหล่งหนึ่ง และตัวแปรต่างๆข้างต้น รวมถึงการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขต่างๆในการใช้พื้นที่

ระบบการก่อสร้างโดยการก่ออิฐฉาบปูนอันเป็นระบบที่นิยมใช้ในประเทศไทยยังเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีการสะสมความร้อนแก่อาคาร เนื่องจากระบบนี้จะมีน้ำหนักมาก มีมวลสารหนาแน่น ทำให้มีค่าหน่วงเวลา (Time Lag) ที่นานมากกว่า ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้นสูงสุดหลังจากอุณหภูมิอากาศภายนอกขึ้นสูงสุดแล้วประมาณ 2-3 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของผนัง และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร จากเหตุนี้จะทำให้ผู้ใช้อาคารพบกับสภาพที่ร้อนและไม่อยู่ในสภาวะน่าสบาย ระบบปรับอากาศจึงถูกนำมาใช้ภายในอาคารมากยิ่งขึ้น ทำให้มีความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการหาแนวทางที่จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารลงและรวมถึงลดค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงการใช้อาคารในแต่ละวัน โดยมุ่งเน้นไปที่การลดการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของอาคาร อันเป็นสาเหตุหลักของการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สูง โดยมีการพิจารณาการเลือกใช้เปลือกอาคารที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย (ที่มา: รัชชัช จันทรสุขเศรษฐ์, วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ...ศ. 2541)



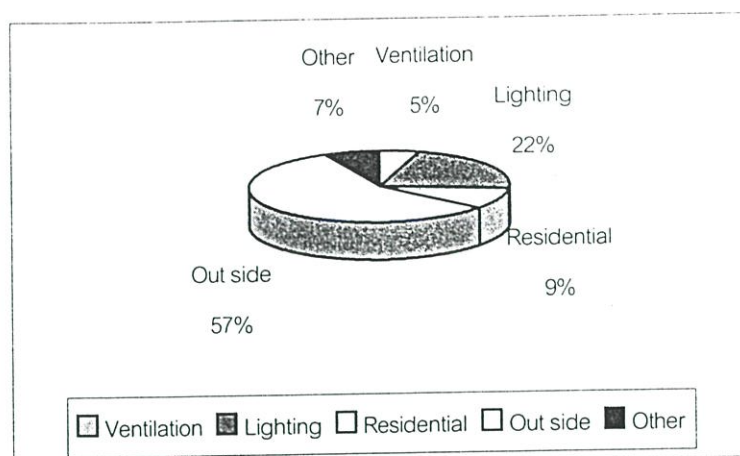
ที่มา : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, โครงการศึกษาเพื่อจัดทำมาตรฐานและหลักเกณฑ์การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

**รูปที่ 1.2** แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ประเภทสถาบันการศึกษา

ตารางที่ 1.3 แสดงลักษณะการใช้พลังงานของอาคารประเภทสถาบันการศึกษา

NO.	ชื่ออาคาร	ที่อยู่	พื้นที่ ใช้ขบขารวม (ก <sup>ว</sup> )	พื้นที่ ปรับอากาศ (ก <sup>ว</sup> )	ลักษณะการใช้พลังงาน			ดัชนีการคิด ระบบปรับอากาศ (Blm/ก <sup>ว</sup> )	ดัชนีการคิด ระบบแสงสว่าง (W/m <sup>2</sup> )
					Lighting %	A/C %	Others %		
1	วิทยาลัยอาชีวศึกษา เชียงใหม่	อำเภอเมือง เชียงใหม่	7,256.80	944.70	53.59	17.5	28.91	757.00	0.00 12.63
2	วิทยาลัยพลศึกษา เชียงใหม่	อำเภอเมือง เชียงใหม่	3,355.30	1,219.00	37.1	58.4	4.5	567.70	7.29
3	สถาบันราชภัฏเชียงใหม่	อำเภอเมือง เชียงใหม่	6,693.60	1,953.00	23.34	56.0	20.66	739.50	6.80
4	วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์	อำเภอเมือง ศรีสะเกษ	3,155.00	434.20	59.15	36.83	4.02	1,296.40	15.36
5	วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ	อำเภอเมือง ศรีสะเกษ	2,448.00	637.60	44.28	40.55	15.17	866.40	13.41
6	สถาบันราชภัฏภูเก็ต	อำเภอเมือง ภูเก็ต	10,069.00	2,910.65	32.08	66.52	1.40	842.08	6.59
7	สถาบันราชภัฏนครศรีธรรมราช	อำเภอเมือง นครศรีธรรมราช	12,685.50	1,882.50	60.68	28.39	10.93	251.00	7.22
8	สถาบันราชภัฏสุราษฎร์ธานี	อำเภอเมือง สุราษฎร์ธานี	11,629.00	2,332.00	42.45	40.39	17.16	719.94	7.30
9	วิทยาลัยเทคนิคสำปาง	อำเภอเมือง สำปาง	1,080.00	782.50	18.52	73.90	7.58	860.95	8.73
10	วิทยาลัยพลศึกษา สำปาง	อำเภอเมือง สำปาง	1,802.00	112.00	65.14	25.40	9.46	1,227.68	6.90
11	สถาบันราชภัฏสำปาง	อำเภอเมือง สำปาง	3,510.00	840.00	25.46	68.62	5.92	748.21	5.21
12	วิทยาลัยอาชีวศึกษา นครราชสีมา	อำเภอเมือง นครราชสีมา	11,621.00	691.00	65.00	26.68	8.32	964.54	11.05
13	สถาบันราชภัฏนครราชสีมา	อำเภอเมือง นครราชสีมา	4,960.00	1,279.00	17.79	69.02	13.19	1,383.11	8.09
14	สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี	อำเภอเมือง อุบลราชธานี	1,831.00	572.00	26.19	67.93	5.88	1,793.00	15.34
15	วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก	อำเภอเมือง พิษณุโลก	12,819.00	1,016.00	57.76	35.64	6.60	296.12	6.24
16	วิทยาลัยเทคนิคศรีสะเกษ	อำเภอเมือง ศรีสะเกษ	8,128.00	952.00	59.26	30.81	9.93	801.40	14.17
17	วิทยาลัยเทคนิคยะลา	อำเภอเมือง ยะลา	6,240.00	1,663.00	38.82	34.12	27.06	694.80	14.72
18	วิทยาลัยเทคนิคสตูล	อำเภอเมือง สตูล	7,162.00	1,030.00	62.00	36.90	1.10	654.17	11.61
19	วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่	อำเภอหาดใหญ่ สงขลา	3,438.00	1,692.00	23.32	67.98	8.70	848.59	9.07
	เฉลี่ย		6,321.22	1,207.85	42.73	46.40	10.87	858.56	9.93

ที่มา : รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการการตรวจวิเคราะห์การประหยัดพลังงานและการออกแบบด้านเทคนิคในอาคารส่วนราชการและรัฐวิสาหกิจ ประเภท ส่วนบริการอนุรักษ์พลังงาน สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โดย สำนักจัดการและบริหารพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ กันยายน 2539



ที่มา : กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, โครงการศึกษาเพื่อจัดทำมาตรฐานและหลักเกณฑ์การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

รูปที่ 1.3 แสดงสัดส่วนภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศภายในอาคารสถาบันการศึกษา

จากรูปประกอบที่ 1.2 และ 1.3 และตารางประกอบที่ 1.3 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารที่สูงที่สุด คือ การใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศภายในอาคาร โดยมีสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอกที่สูงถึง 57 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร และหลังคาที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด ส่วนที่เหลือเป็นส่วนประกอบต่างๆภายในอาคารที่ทำให้เกิดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ

## 1.2 ปัญหาการใช้พลังงาน

มหาวิทยาลัยรังสิตเป็นอีกสถาบันหนึ่งที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่ค่อนข้างสูง ทั้งทางด้าน การขยายตัวทางหลักสูตรการเรียน การศึกษา จำนวนนักศึกษา และอาคารเรียนต่างๆ จากรายงานของกองอาคารสถานที่ของมหาวิทยาลัยรังสิต พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของมหาวิทยาลัยดังนี้

1. ปี พ.ศ. 2540 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 9,048,636 kWh. เป็นเงิน 17,735,326 บาท
2. ปี พ.ศ. 2541 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 6,957,592 kWh. เป็นเงิน 22,933,103 บาท
3. ปี พ.ศ. 2543 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 7,995,685 kWh. เป็นเงิน 25,267,840 บาท
4. ปี พ.ศ. 2544 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 8,209,046 kWh. เป็นเงิน 28,573,039 บาท

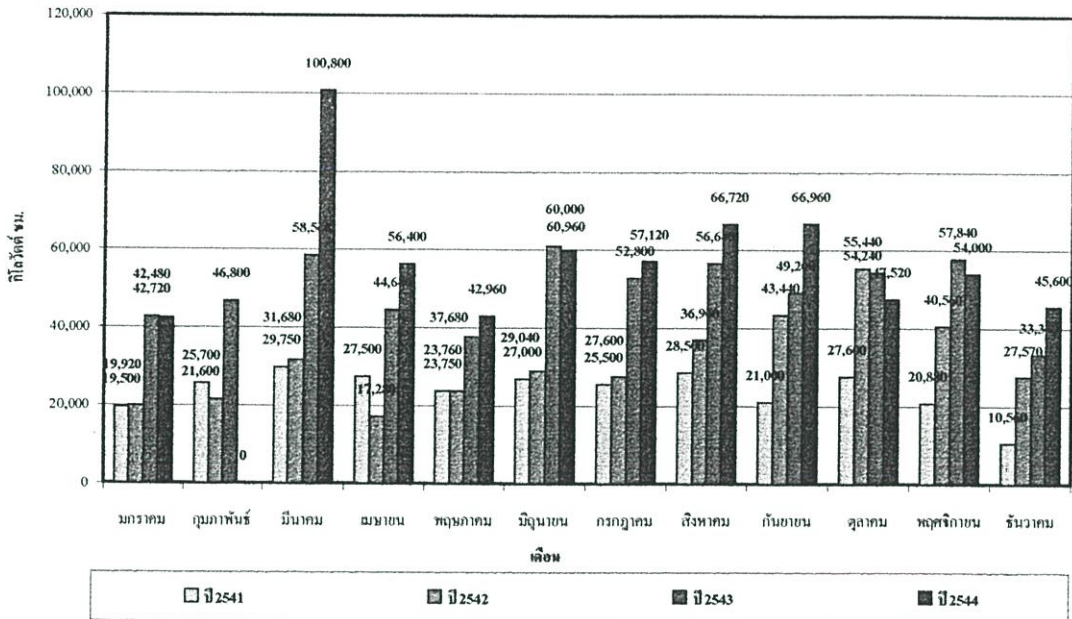
อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของมหาวิทยาลัยรังสิตระหว่างปี พ.ศ.2540-2544อยู่ที่ 61 % คิดเป็นเงิน 10,837,713 บาท และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นทุกทุกปี (ข้อมูล

การใช้พลังงานไฟฟ้าของทางมหาวิทยาลัยมีการเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบตั้งแต่ปีพ.ศ. 2540 เป็นปีแรก ส่วนข้อมูลรวมของปี2542 ไม่สมบูรณ์)

จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของมหาวิทยาลัยรังสิต เมื่อนำมาแยกพิจารณาอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษา คือ อาคาร7 สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต โดยพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคาร7นั้นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาในด้านสถาปัตยกรรมแล้วจะเห็นได้ว่า มีการออกแบบโดยใช้ระบบการก่อสร้างที่ใช้ทั่วไป คือ เป็นระบบโครงสร้างเสาและคานคอนกรีต เสริมเหล็กพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ และผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 120 มม. ช่องเปิดเป็นกระจกใสธรรมดาโดยรอบอาคาร ตั้งแต่ชั้นที่ 1-6 เพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารให้ได้มากที่สุด แต่ทั้งนี้ไม่มีการออกแบบอุปกรณ์บังแดดให้กับอาคารเลยในแต่ละด้าน ทำให้ผนังอาคารในแต่ละด้านทั้งที่เป็นผนังทึบและผนังโปร่งแสงได้รับความร้อนจากแสงแดดตลอดทั้งวัน ปริมาณความร้อนจำนวนหนึ่งที่สะสมอยู่ในผนังอาคารจะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้น จากการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) มีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด ทั้ง 2 ค่า คือ 82.56 W/sq.m. และ53.85 W/sq.m. (ใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0a ในการคำนวณ) ตามลำดับ จึงเป็นภาระของระบบปรับอากาศของอาคารที่ต้องทำหน้าที่ลดอุณหภูมิภายในลงให้อยู่ในสภาวะน่าสบายและเหมาะสมแก่การใช้งานภายในอาคาร



รูปที่ 1.4 แสดงภาพอาคาร7 สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต



รูปที่ 1.5 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร 7 สำนักหอสมุดปี 2541 – 2544

เมื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายของมหาวิทยาลัยรังสิตที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารแล้วพบว่าแนวโน้มที่จะเพิ่มมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้จากการขยายตัวของมหาวิทยาลัย จากจำนวนนักศึกษา และจำนวนอาคารที่อยู่ในระหว่างการก่อสร้างอีก 2 อาคาร อีกทั้งอาคารเดิมนั้นมีอายุการใช้งานนับสิบปี ทำให้ประสิทธิภาพของระบบผนังของอาคารค่อยลง เช่นการเกิดการรั่วซึมตามรอยต่อระหว่างช่องเปิดกับผนังทำให้เกิดภาระต่อระบบปรับอากาศมากยิ่งขึ้น รวมถึงความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาทางผนังอาคารและหลังคาทำให้ค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด (Peak Load) ของอาคารมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน ในแง่ของทางสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมแล้ว การปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารเพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม การปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์บังแดด จึงเป็นทางออกที่มีความเหมาะสม การวิจัยนี้จะเน้นถึงการศึกษานในขบวนการออกแบบและปรับปรุงกรอบอาคาร โดยคำนึงถึงการลดค่าการส่งผ่านความร้อนให้กับตัวอาคารทั้งจากทางผนังอาคาร (OTTV) และทางหลังคา (RTTV) อันจะเป็นแนวทางที่จะนำไปสู่การลดการใช้พลังงานภายในอาคาร และประยุกต์ใช้กับอาคารชนิดอื่นๆที่มีลักษณะการใช้งานที่ใกล้เคียงกันได้

### 1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะนำเสนอรูปแบบของกรอบอาคาร โดยมุ่งเน้นเฉพาะประเภทอาคารหอสมุดในสถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษาที่มีจำนวนมากในปัจจุบัน ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับ

สภาพภูมิอากาศ ที่อยู่ในเขตร้อนชื้นและมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูงของประเทศไทย โดยพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน และลดค่าการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยมีรายละเอียดของวัตถุประสงค์การวิจัยดังนี้

1. เพื่อลดปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ในอาคาร ในระบบอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อช่วยลดและประหยัดการใช้พลังงานทั้งในอาคาร และพลังงานของประเทศได้
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเลือกใช้วัสดุที่มีความสามารถในการลดค่าการการถ่ายเทความร้อนให้กับอาคาร เพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศได้
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบปรับปรุงอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคาร
4. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบปรับปรุงอาคารในส่วนที่ชำรุดเนื่องมาจากอายุการใช้งานที่ยาวนานเพื่อให้เหมาะสมกับการประหยัดพลังงาน
5. เพื่อศึกษารูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมให้กับช่องเปิดตลอดจนถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ภายในอาคาร
6. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในการปรับปรุงระบบผนังและหลังคาของอาคารเพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศของอาคาร

#### 1.4 สมมุติฐานการวิจัย

การวิจัยจะเน้นความสำคัญในการปรับปรุงระบบกรอบอาคาร(Building Envelope)ทั้งในส่วนที่เป็นผนังทึบและผนังโปร่งแสง โดยรวมถึงคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้ร่วมกับระบบผนังและหลังคาเดิม เพื่อให้มีความเหมาะสมในด้านป้องกันความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร คุณภาพของวัสดุที่จะนำมาประกอบ ความสบายของผู้ใช้อาคาร และยังคงไว้ซึ่งความต้องการด้านแสงสว่างตามธรรมชาติที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ ตลอดจนคำนึงถึงความคุ้มค่าทางด้านการลงทุนในการปรับปรุงผนังอาคารและหลังคาของอาคาร

ตัวแปรสำคัญคือความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (Heat Gain) ของผนังทึบ ทำให้เกิดการสะสมความร้อนอยู่ในผนัง และเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และจะแผ่รังสีความร้อนออกมา(Thermal Inertia) ทำให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้น ทั้งนี้ปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องคือปัจจัยความร้อนที่มาจากสภาวะแวดล้อมภายนอก ซึ่งลักษณะภูมิอากาศในเขตร้อนชื้นของประเทศไทยนั้นพบว่าในช่วงฤดูร้อน ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะมีค่าสูงสุด ดวงอาทิตย์มีทิศตั้งฉากกับประเทศไทยมากที่สุด ค่าการแผ่รังสีความร้อนมีค่าสูง ทำให้ช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงวิกฤติที่สุดของสภาวะภูมิอากาศในประเทศไทย และมีอิทธิพลต่ออาคารที่มีระบบปรับอากาศมากที่สุด ดังนั้นการตั้งสมมุติฐานการวิจัยจึงกำหนดให้ข้อมูลสภาวะภูมิอากาศที่ทำการบันทึกในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นตัวแทนของข้อมูลสภาวะภูมิอากาศของประเทศไทยโดยตลอดทั้งปี

## 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. การศึกษาวิจัยในที่นี้ จะทำการวิเคราะห์รูปแบบของกรอบอาคารประเภทอาคารหอสมุดเพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศโดยกำหนดขอบเขตการศึกษาอาคารให้เป็นอาคารหอสมุดในสถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษา โดยเลือกใช้อาคาร 7 ตำนักรหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต เป็นอาคารกรณีศึกษา
2. อาคารกรณีศึกษามีลักษณะการใช้งานหลายรูปแบบ โดยส่วนที่นำมาทำการศึกษาคือ บริเวณที่มีการปรับอากาศทั้งหมด เช่นพื้นที่ห้องประชุมเอนกประสงค์ ห้องอ่านหนังสือ ส่วนบริการต่างๆ ส่วนบริหารสำนักหอสมุดและส่วนอ่านหนังสือ ซึ่งเป็นส่วนที่จะมีปัญหาเรื่องการสะสมความร้อนในผนังอาคารจากอิทธิพลของแสงแดดโดยตลอดทั้งวัน และเป็นพื้นที่ที่มีระยะเวลาการใช้ระบบปรับอากาศและแสงสว่างยาวนานมากกว่าพื้นที่ส่วนอื่นๆในอาคารเดียวกัน
3. ในการทำการวิจัยจะมุ่งเน้นในเรื่อง การถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร และศึกษาถึงภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศอันเนื่องมาจากค่าการถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคารและจากหลังคา ตลอดจนความร้อนที่เกิดขึ้นจากผู้ใช้อาคารและจากปัจจัยการเกิดความร้อนอื่นๆ โดยจะศึกษาเฉพาะในส่วนที่มีการปรับอากาศเท่านั้น
4. ศึกษา และวิจัย และการออกแบบ การเลือกใช้วัสดุ ของส่วนประกอบของผนังอาคาร และหลังคา และวัสดุประกอบอื่นๆเช่น การเลือกใช้วัสดุที่ใช้ทำช่องเปิดภายนอกอาคาร อุปกรณ์บังแดด โดยเน้นไปที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารและหลังคาที่จะเข้าสู่อาคารและการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ประกอบอาคารเพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศและการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ โดยการทดสอบ และการคำนวณ ส่วนระบบโครงสร้างเดิมของอาคารนั้นจะไม่มีเปลี่ยนแปลงใดๆ
5. ออกแบบและปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกรอบอาคารเพื่อให้อยู่ในมาตรฐานของพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน
6. การวิจัยมุ่งเน้นการปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคาร โดยการใช้วัสดุกันความร้อนที่มีจำหน่ายในประเทศ การทดสอบนั้นไม่สามารถติดตั้งวัสดุหรือฉนวนกันความร้อนแบบต่างๆได้โดยตรง ดังนั้นจึงเสนอแนะแนวความคิดและทำการประเมินผล โดยการใช้ทฤษฎีและการคำนวณเปรียบเทียบเท่านั้น
7. การออกแบบปรับปรุงกรอบอาคารจะมุ่งเน้นในเรื่องรูปแบบทางสถาปัตยกรรมและแนวความคิดตามความต้องการของผู้ใช้อาคารและใช้การสอบถามความคิดเห็นเป็นส่วนประกอบการปรับปรุง

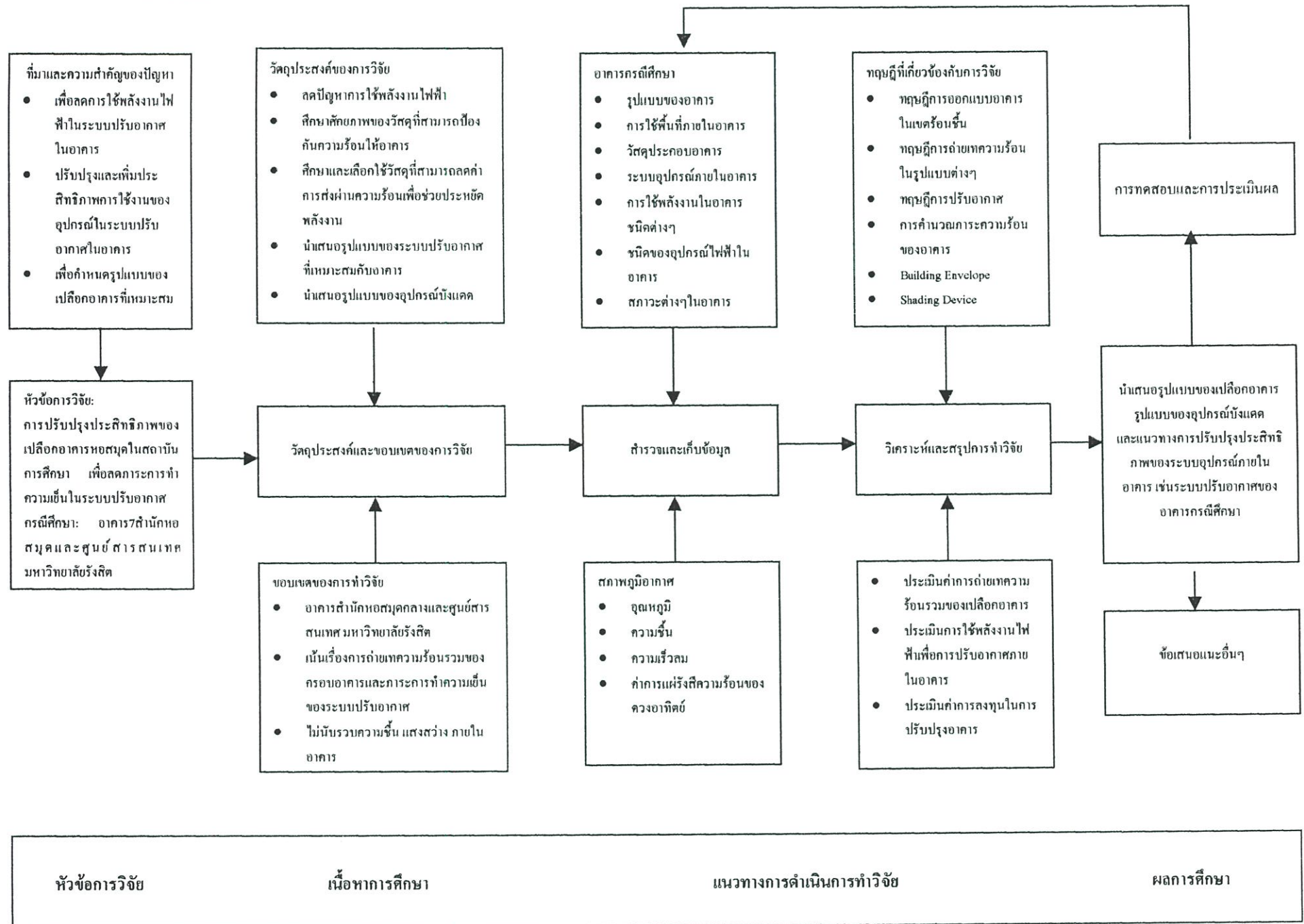
## 1.6 แนวทางการดำเนินการทำวิจัย

1. ทำการรวบรวม ศึกษาข้อมูล แนวคิด และทฤษฎี หลักเกณฑ์ต่างๆ ตลอดจนปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบอาคาร เพื่อเกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้พลังงานในอาคาร ทั้งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ และพลังงานจากแหล่งอื่นๆ
2. ศึกษารายละเอียดการใช้วัสดุของกรอบอาคารที่เป็นกรณีศึกษา โดยศึกษาด้านสถาปัตยกรรม วิศวกรรมรวมถึงงานระบบอุปกรณ์อาคารที่เกี่ยวข้อง และคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร ( OTTV ) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา ( RTTV ) โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ
3. วิเคราะห์รูปแบบ ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของกรอบอาคารและหลังคาและอุปกรณ์ประกอบอาคาร ตลอดจนผู้ใช้อาคาร ที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิในพื้นที่ใช้งานในอาคารที่มีการปรับอากาศ โดยการคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นเพื่อการปรับอากาศภายในอาคาร ( Cooling Load ) รวมถึงการใช้แสงธรรมชาติภายในอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าด้านแสงสว่าง
4. ออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารและหลังคาและอุปกรณ์ประกอบอาคาร โดยนำผลการวิเคราะห์เบื้องต้นมาเป็นแนวทางการออกแบบ เพื่อให้ผนังและหลังคามีประสิทธิภาพในการลดค่าการถ่ายเทความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร โดยพิสูจน์จากการทดสอบ และการคำนวณค่า OTTV, RTTV และ Cooling Load เพื่อลดภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ
5. สรุปผลการออกแบบและเสนอแนะแนวทางในการออกแบบและปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคาร ตลอดจนการใช้พลังงานไฟฟ้า ภายในอาคารให้ประหยัดลงได้

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. เพื่อเป็นแนวทางในการที่จะสนับสนุนให้ผู้ออกแบบอาคารหันมาตระหนักและให้ความสำคัญในเรื่องการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคาร เพื่อลดการใช้พลังงานและทรัพยากรในการผลิตพลังงานของประเทศ
2. เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบอาคารและการเลือกใช้วัสดุประกอบอาคารที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศในการป้องกันความร้อนให้กับอาคารเพื่อลดภาระการปรับอากาศของอาคารได้

# แผนผังการดำเนินการวิจัย



หัวข้อการวิจัย

เนื้อหาการศึกษา

แนวทางการดำเนินการทำวิจัย

ผลการศึกษา

## บทที่ 2

# ทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎีและแนวความคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

### 2.1 ทบทวนวรรณกรรม

“ การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ด้วยระบบผนังที่มีช่องอากาศ : กรณีศึกษา อาคารในเขตร้อนชื้น ”

เป็นการวิจัยเปรียบเทียบระบบของผนัง ที่มีช่องอากาศระหว่างช่องอากาศแบบปิดและแบบเปิด โดยที่เลือกทำการทดสอบกับผนังที่มีมวลมาก และผนังที่มีมวลน้อย โดยแบ่งผนังทดสอบเป็น 5 ตัวอย่างคือ

1. ผนังก่ออิฐฉาบปูน
2. ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ช่องอากาศ + ผนังก่ออิฐฉาบปูน
3. ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ช่องอากาศ + โฟม
4. โฟม + ช่องอากาศ + ผนังก่ออิฐฉาบปูน
5. ผนังซีเมนต์แผ่นเรียบ + ช่องอากาศ + โฟม

จากการวิจัยพบว่า

1. ระบบผนังที่มีช่องอากาศแบบเปิด สามารถระบายความร้อนภายในช่องอากาศ และมีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าระบบผนังที่มีช่องอากาศแบบปิด
2. ระบบผนังที่มีช่องอากาศแบบเปิด ในช่วงที่อุณหภูมิสูงสุดของวัน ผนังชั้นในเป็นวัสดุมวลสารมาก ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารต่ำกว่าภายนอกมากกว่าที่ผนังชั้นในเป็นวัสดุมวลสารน้อย
3. ระบบผนังที่มีช่องอากาศแบบเปิดสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดี ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในช่องอากาศ และความสามารถในการป้องกันความร้อนของผนังชั้นใน
4. ระบบผนังที่มีช่องอากาศแบบเปิด สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด คือ ผนังภายนอกที่มีมวลสารมาก และผนังภายในเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย สามารถลดปริมาณความร้อนเฉลี่ยต่อวันได้ดีกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ทั่วๆ ไปประมาณ 12.5 เท่า

### “ ผลของมวลสารและสีของผนังต่ออิทธิพลการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร”

การวิจัยมุ่งเน้นที่จะศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่สำคัญ 2 อย่าง ที่มีผลต่อพฤติกรรมถ่ายเทความร้อนต่อผนังอย่างไร ได้แก่

1. มวลสาร แยกเป็นมวลสารมาก คือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน และผนังมวลสารน้อย คือ ผนังโพลีสไตรีนโฟม
2. สี แยกเป็นสี ขาวและดำ

#### จากการวิจัยพบว่า

1. ผนังมวลสารมากจะสะสมและสูญเสียความร้อนได้ช้ากว่าผนังมวลสารน้อย
2. เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิสูงสุดใน 1 วัน ผนังมวลสารน้อยจะมีค่าพลังงานความร้อนที่สะสมภายในอาคารน้อยกว่ามวลสารมาก
3. ผนังมวลสารมากมีค่าการถ่ายเทความร้อนเข้า-ออกค่อนข้างคงที่ มากกว่าผนังมวลสารน้อย ซึ่งมีค่าอุณหภูมิภายในสูง ต่ำที่แตกต่างกันมาก (ค่า “ U ” ของผนังมากขึ้น ทำให้ค่า Temperature Swing มากขึ้นตามไปด้วย)
4. ผนังที่มีมวลสารมาก จะมีค่าการหน่วงเวลามากกว่าผนังที่มีมวลสารน้อย ข้อสังเกตคือผนังมวลสารน้อย เช่น โฟม แทบจะไม่มีค่าการหน่วงเวลา นอกจากนั้นในเวลากลางวัน ผนังโฟมจะมีอุณหภูมิภายในจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ซึ่งเกิดจากการ Reradiation กับสภาพอากาศภายนอก
5. สีเข้มหรือสีอ่อนไม่มีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนที่ส่งผ่านเข้าสู่อาคาร ในกรณีที่ไม่มีการแผ่รังสีจากแสงแดด และเป็นวัสดุที่มีค่า “ U ” เดียวกัน เนื่องจากสีจะดูดซับรังสีความร้อนจากแสงแดด
6. สีเข้มมีแนวโน้มทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ในวัสดุที่เหมือนกัน
7. อิทธิพลของสีจะมีผลน้อยลง เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง (ค่า “ U ” ลดลง

“ กรอบอาคารพักอาศัยประเภทอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร กับการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ ”

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะศึกษาในส่วนประกอบของกรอบอาคาร โดยทำการศึกษาอาคารที่พักอาศัยประเภทอาคารสูงของการเคหะแห่งชาติ ซึ่งจะทำการศึกษาเฉพาะส่วนของห้องพักอาศัยเท่านั้น

การวิจัยจะศึกษารูปแบบและการวางทิศทางของอาคาร และวิเคราะห์กรอบอาคารและอุปกรณ์บังแดด ตลอดจนการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร และภาระการทำ ความเย็นของเครื่องปรับอากาศในส่วนห้องพัก

จากการวิจัยพบว่า

1. ลักษณะของอุปกรณ์บังแดดที่มีอยู่ไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันแดดให้กับอาคาร
2. วัสดุที่ใช้ก่อผนังทึบ คือ ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 10 ซม. มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน  $3.26 \text{ วัตต์ ม.}^{-2} \text{ ซ}^{-1}$  และหลังคาคอนกรีต ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนด
3. ผนังโพลีสไตรีน ที่มีความหนา 10 ซม. ทาสีขาว มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนที่ต่ำคือ  $0.53 \text{ วัตต์ ม.}^{-2} \text{ ซ}^{-1}$  สามารถป้องกันความร้อนจากภายนอกได้ดีกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่หนา 10 ซม.
4. การเลือกใช้อุปกรณ์บังแดด เลือกใช้อุปกรณ์บังแดดตามแนวนอนในมุม 30 องศาสามารถป้องกันแดดได้ตลอดทั้งปีและไม่ทำให้มุมมองจากภายในอาคารเมื่อมองออกไปภายนอกเสียไป โดยวัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียมเคลือบ ทาสีขาว
5. หลังคาคอนกรีตมีการบดฉนวนกันความร้อนโดยใช้ฉนวนใยแก้วหนา 25 มม. ชนิดมีอลูมิเนียมฟอยล์ ฟูใต้หลังคา เพื่อช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนของหลังคาให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด

“การศึกษาความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศกับค่า OTTV: Study Of Energy Consumption In Air-Conditioning System And OTTV”

ทฤษฎี

สืบเนื่องจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ได้มีข้อกำหนดในการหาสมรรถนะเชิงอุณหภาพของกรอบอาคาร ( Building Envelope Thermal Performanc ) สำหรับอาคารเก่า 55 W/m<sup>2</sup> และอาคารใหม่ 45 W/m<sup>2</sup> นั้น หากการออกแบบกรอบอาคารไม่ถูกต้อง ผลที่ตามมาคือ การใช้พลังงาน ในส่วนของระบบปรับอากาศก็จะสูงขึ้น ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำกรอบอาคารควรมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารน้อยด้วย และนอกจากนั้นพบว่าหากพื้นที่ของกรอบอาคารมีพื้นที่ของกระจกเป็นส่วนมากจะทำให้ปริมาณความร้อนสูงด้วย ซึ่งดัชนีที่ใช้ในการประเมิน สมรรถนะเชิงอุณหภาพของกรอบอาคารที่เป็นผนังคือ OTTV และพบว่าอาคารใดมีค่า OTTV สูงแสดงว่าอาคารนั้นต้องใช้พลังงานในระบบปรับอากาศสูง และ อาคารที่มีค่า OTTV ต่ำแสดงว่าอาคารนั้นจะมีความต้องการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่ำ

การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมสำหรับผนัง ( Overall Thermal Transfer Value , OTTV )

การถ่ายเทความร้อนรวมเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความร้อนซึ่งเกิดจากอิทธิพลของบรรยากาศภายนอกได้แก่ อุณหภูมิ และ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถ่ายเท ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารหลัก การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมอาศัยทฤษฎี พื้นฐานของการถ่ายเทความร้อนซึ่งพิจารณาว่าความร้อนที่ผ่านกรอบ ของอาคารเข้าสู่บริเวณภายในนั้นประกอบด้วย ความร้อน 3 ส่วนคือ

1. ความร้อนจากการนำความร้อน ( Conduction ) ผ่านผนังทึบ
2. ความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนัง หรือ ประตูหน้าต่างที่เป็นกระจก
3. ความร้อนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ( Solar Radiation ) ผ่านกระจก

เมื่อนำค่าความร้อนทั้ง 3 ส่วนมาเฉลี่ยค่าตามพื้นที่ก็จะได้เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ว่า

$$OTTV = \frac{(A_w \times U_w \times TD_{cq}) + (A_r \times U_r \times \Delta T) + (A_r \times SC \times SF)}{A_o}$$

เมื่อ OTTV คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ( W/m<sup>2</sup> )

A<sub>w</sub> คือ พื้นที่ของผนังทึบ ( m<sup>2</sup> )

U<sub>w</sub> คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ ( W/m<sup>2</sup> °C )

Td<sub>cq</sub> คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ( Equivalent Temperature Difference, °C )

A<sub>r</sub> คือ พื้นที่ของกระจก ( m<sup>2</sup> )

U<sub>r</sub> คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก ( W/m<sup>2</sup> °C )

$\Delta T$  คือ ค่าผลต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร ( $^{\circ}\text{C}$ )

SC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด

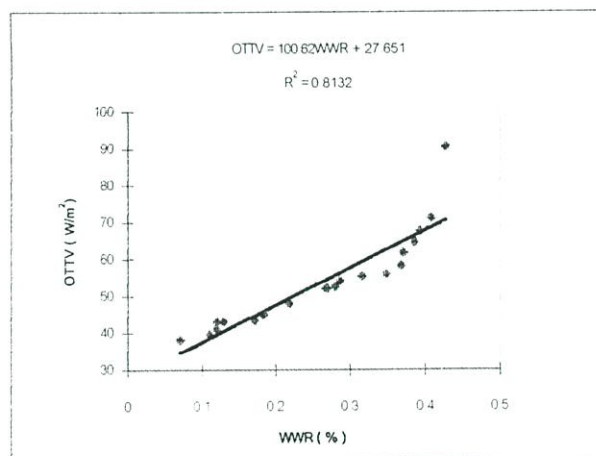
SF คือ ค่า Solar Factor ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$A_0$  คือ พื้นที่รวมทั้งหมดของผนัง ( $A_w + A_f, \text{m}^2$ )

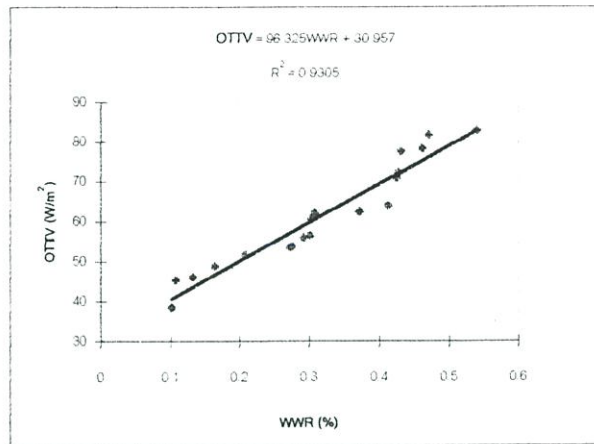
## ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล

### 1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTV กับ WWR

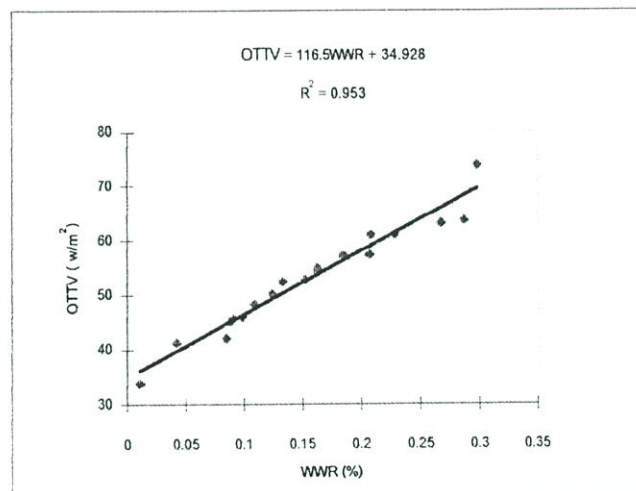
ผลการศึกษาของสถานประกอบการโดยรวมทั้ง 3 ประเภท คือ โรงพยาบาลของรัฐ โรง  
 แรม และ สถานที่ราชการ พบว่าก่อนทำการหาความสัมพันธ์พบว่า ค่า OTTV ส่วนใหญ่ อยู่ใน  
 เกณฑ์ ที่ค่อนข้างสูง อาจเนื่องมาจาก การออกแบบกรอบผนังอาคารและการใช้วัสดุผนัง จะคำนึง  
 ถึงการใช้แสงธรรมชาติมาเป็นปัจจัยที่เพิ่มแสงภายในอาคารและการเพิ่มพื้นที่ของผนัง โปร่งแสงซึ่ง  
 จะช่วยในการระบายอากาศภายในอาคาร มากกว่า การใช้พื้นที่ผนังที่บดบังทั้งหมด ดังนั้นจึงมีการออก  
 แบบการใช้พื้นที่ผนัง โปร่งแสงในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ของผนังทึบ และในส่วนของผล  
 การหาความสัมพันธ์การถดถอยแบบเส้นตรงแสดงดังรูปที่ 1 รูปที่ 2 และ รูปที่ 3 ได้ค่า  $R^2$  เท่ากับ  
 0.81 – 0.95 ซึ่งหมายความว่า แนวโน้มของค่า OTTV จะมีความสัมพันธ์เป็นแนวเส้นตรง ทำให้  
 บอกได้ว่าการกระจายของค่า OTTV 60 แห่ง จะสามารถนำไปใช้ในการประเมินค่าของ WWR ได้



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTV และ WWR ของ โรงพยาบาลของรัฐ



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTV และ WWR ของโรงแรม

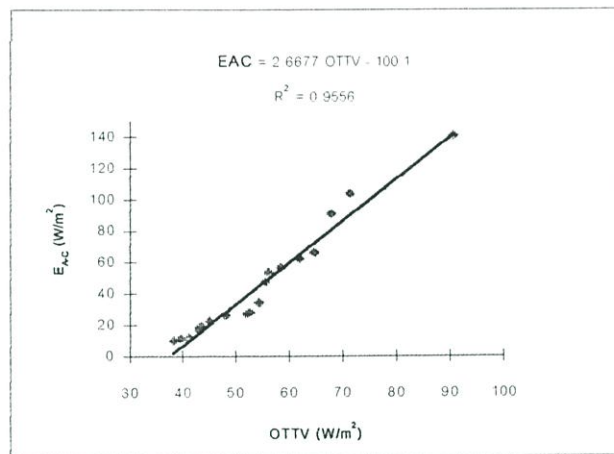


แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า OTTV และ WWR ของสถานที่ราชการ

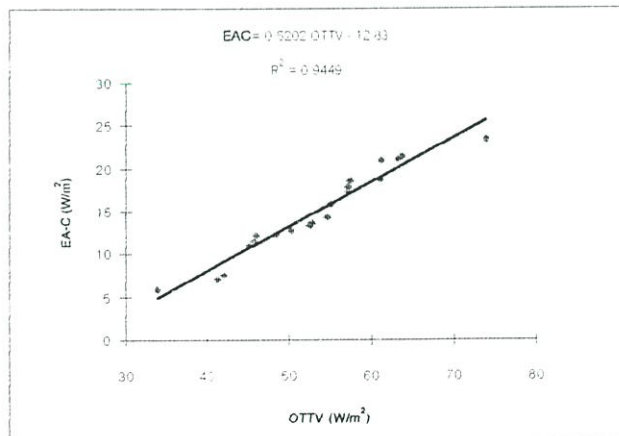
## 2. ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ ( $E_{AC}$ ) กับค่า OTTV

ผลการศึกษาของสถานประกอบการ 3 ประเภทคือ โรงพยาบาลของรัฐ โรงแรม และ สถานที่ราชการ พบว่า ค่า  $E_{AC}$  ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 2 พบว่าอยู่ระหว่าง 5 - 140 W/m<sup>2</sup> สาเหตุที่มีช่วงห่างกันมากก็เป็นผลต่อเนื่องจากการพิจารณาค่า ของ WWR หากค่าของ WWR สูงก็ทำให้การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศสูงตาม และหากค่าของ WWR ต่ำก็ทำให้การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศต่ำ และนอกจากนี้ค่าของ  $E_{AC}$  ของสถานประกอบการแต่ละแห่งมีค่าแตกต่างกันมาก อาจมาจากระยะเวลาชั่วโมงการทำงานของแต่ละแห่งไม่เท่ากัน และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศและชนิดของระบบปรับอากาศที่สถานที่แต่ละแห่งใช้มีชนิดที่ต่างกันอย่าง

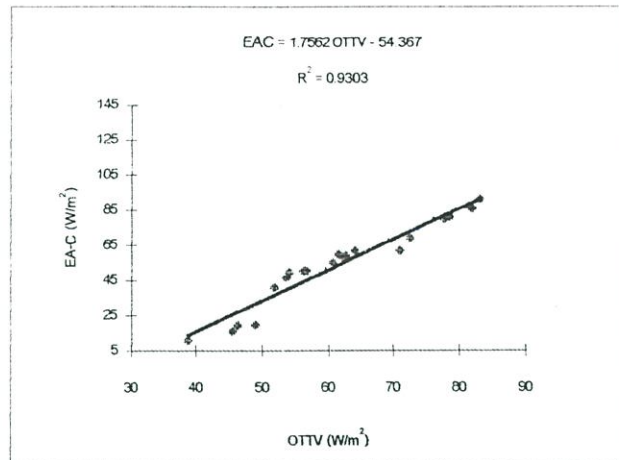
กัน เช่นบางแห่งใช้ระบบซิลิเคอร์ หรือ ระบบแยกส่วน และยังพบว่าพื้นที่ที่ปรับอากาศของแต่ละแห่ง มีความแตกต่างกันมาก จึงทำให้ค่าของ  $E_{AC}$  ต่อ ตารางเมตร มีค่าพลังงานไฟฟ้าในการใช้แตกต่างกัน ผลของการหาความสัมพันธ์การถดถอยแบบเส้นตรงแสดงดังรูปที่ 4 รูปที่ 5 และ รูปที่ 6 พบว่าค่า  $R^2$  ทั้ง 3 แห่ง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.93 - 0.96 ส่วนผลการเปรียบเทียบค่าของ  $E_{AC}$  จากสมการเส้นตรง และค่า  $E_{AC}$  ที่ได้จากการคำนวณ ตามสมการที่ 2 ของสถานประกอบการทั้ง 3 แห่ง มีค่าผลต่างของข้อมูล ในบางช่วงที่ไม่เหมาะสมต่อการพิจารณาตลอดทุกช่วงของค่า OTTV ซึ่งการที่จะเลือกข้อมูลไปใช้สามารถพิจารณาได้จากค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่า OTTV



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $E_{AC}$  และ OTTV ของโรงพยาบาลของรัฐ



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $E_{AC}$  และ OTTV ของโรงแรม



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $E_{AC}$  และ OTTV ของสถานที่ราชการ

### สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ทั้ง 2 กรณี ของสถานประกอบการ 3 ประเภท ประเภทละ 20 แห่ง รวม 60 แห่ง ได้ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้นอย่างง่าย เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ ซึ่งสามารถสรุปสมการของอาคาร แต่ละประเภทดังแสดงในตารางที่ 1

### สรุปสมการของค่า OTTV และ ค่า $E_{AC}$ ของอาคารแต่ละประเภท

อาคาร	OTTV (W/m <sup>2</sup> )	$E_{AC}$ (W/m <sup>2</sup> )
โรงพยาบาลของรัฐ	OTTV = 100.62WWR + 27.65	$E_{AC} = 2.66OTTV - 100.1$
โรงแรม	OTTV = 116.5WWR + 34.92	$E_{AC} = 0.52OTTV - 12.83$
สถานที่ราชการ	OTTV = 96.32WWR + 30.95	$E_{AC} = 1.75OTTV - 54.36$

จากความสัมพันธ์ของอาคารทั้ง 3 ประเภท ทำให้พอสรุปได้ว่าอาคารที่มีค่า OTTV สูง ก็ จะส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง ดังนั้นการออกแบบอาคารให้มีค่า OTTV ต่ำ เป็นแนวทางหรือเป็นวิธีการที่ควรปฏิบัติอย่างยิ่ง และอีกประการหนึ่งก็คือ อัตราสัดส่วนพื้นที่หน้าตาดังต่อพื้นที่ผนัง จะมีอิทธิพลอย่างมากต่อค่า OTTV นั่นก็คืออาคารใดหากการออกแบบให้มีพื้นที่กระจกค่อนข้างต่ำแสงน่าจะส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอาคารต่ำลงด้วยและ ผลจากสมการที่ได้จากการศึกษานี้ ทำให้ผู้ใช้หรือผู้เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงค่า OTTV ได้ง่ายและสะดวก ซึ่งจะส่งผลให้มีการออกแบบอาคาร ได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้น

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและเกณฑ์การออกแบบอาคารห้องสมุด

### 2.2.1 ความหมายของห้องสมุด

“ห้องสมุด คือ สถานที่ที่รวบรวมหนังสือ เอกสารสิ่งพิมพ์ และวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ นำมาจัดทำหลักฐานและจัดเก็บเป็นระเบียบ เพื่อให้บริการแก่สมาชิก โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ความรู้ ข่าวสารความบันเทิงใจ เสริมสร้างทัศนคติและความคิดสร้างสรรค์”

“ห้องสมุด คือ สถานที่รวบรวมหนังสือ เอกสาร สิ่งพิมพ์ และวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งเต็มไปด้วยวิทยาการอันเกิดจากความรู้ และความเห็นของนักปราชญ์ นักศึกษา นักวิทยาศาสตร์ และอื่นๆ”

“ห้องสมุด คือ สถานที่รวบรวมสรรพวิชาต่างๆ ได้แก่ หนังสือ วารสาร สิ่งพิมพ์ต่างๆ ต้นฉบับ ตัวเขียน และอุปกรณ์โสตทัศนศึกษาทุกชนิด ซึ่งมีวิธีการจัดเก็บและบริหารงานเพื่อให้ความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้ห้องสมุดทุกวิถีทาง”

นอกเหนือจากความหมายที่ยกตัวอย่างมานี้ ยังมีความหมายอื่นๆที่ใกล้เคียงกันอีกหลายความหมาย แต่พอจะสรุปคร่าวๆได้ว่า **ห้องสมุดเป็นสถานที่รวบรวมความรู้ด้านต่างๆ เพื่อเป็นศูนย์กลางในการศึกษาค้นคว้า เป็นการถ่ายทอดความรู้จากคนรุ่นหนึ่งไปสู่รุ่นหนึ่ง เป็นสถาบันที่มีชีวิตเคลื่อนไหวและค้นหาความต้องการของสังคมและรับใช้สังคมให้ก้าวหน้า**

### 2.2.2 ประเภทของห้องสมุด

การศึกษาประเภทของห้องสมุดนั้น จะช่วยให้เข้าใจความหมายได้มากยิ่งขึ้น และนำไปสู่แนวคิดในการออกแบบอาคารประเภทห้องสมุดได้

1. ห้องสมุดประชาชน(Public Library) คือห้องสมุดที่ประชาชนเป็นเจ้าของ ให้บริการแก่ประชาชนในท้องถิ่น โดยมีได้เรียกร่องคำตอบแทนใดๆ เพราะประชาชนได้เสียภาษีให้แก่รัฐ และรัฐมีหน้าที่จัดตั้งและดำเนินการห้องสมุดประชาชน
2. ห้องสมุดวิทยาลัยและมหาวิทยาลัย(College and University Library) คือห้องสมุดที่จัดตั้งขึ้นในวิทยาลัยหรือมหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นสถาบันการศึกษาชั้นอุดมศึกษา เป็นศูนย์กลางของตำราวิชาการ และเอกสารอ้างอิงต่างๆ ที่อาจารย์ นิสิต นักศึกษา สามารถใช้เพื่อการศึกษา ค้นคว้า วิจัย

ความแตกต่างระหว่างห้องสมุดประชาชนและห้องสมุดมหาวิทยาลัยคือ

1. ห้องสมุดประชาชนจะมีห้องสมุดสำหรับเด็ก แต่ห้องสมุดมหาวิทยาลัยไม่มี
2. ห้องสมุดมหาวิทยาลัยจะมีส่วนโสตทัศนศึกษา เช่น ห้องประชุม ห้องฝึกฟังภาษา ห้องผลิตสื่อ และอื่นๆ
3. ห้องสมุดมหาวิทยาลัยเน้นที่การศึกษาและวิจัย มักจะมีห้องอ่านหนังสือเป็นกลุ่ม (group study) และห้องอ่านหนังสือส่วนตัว(carrel)

### 2.2.3 การเลือกทำเลที่ตั้ง

คุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการเลือกที่ตั้งอาคารหอสมุดมหาวิทยาลัย

1. ตำแหน่ง ควรอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของเขตการศึกษา โดยพิจารณาถึงระยะทางเดินของนักศึกษาในส่วนต่างๆที่จะเข้ามาใช้ห้องสมุดโดยสะดวก ขนาดของเขตการศึกษา จำกัดด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในแนวแกนนอน ประมาณ 6 นาที หรือ 500 เมตร ทั้งนี้ด้วยเหตุผลที่ว่าปัจจุบันระบบการศึกษามีได้มีขึ้นในอาคารใดอาคารหนึ่ง
2. ขนาดและรูปร่าง ที่ตั้งควรมีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสม ค่อนข้างเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และเพียงพอต่อโครงการ
3. การเข้าถึงอาคาร โดยมีข้อที่ควรคำนึงถึง 2 ประการคือ
  - ทางเดินเท้า อาคารควรตั้งอยู่ในระบบทางเดินเท้าสายหลักของนักศึกษา เพราะจะเป็นจุดที่นักศึกษายกเข้ามาใช้อาคารมากที่สุด ระยะทางจากส่วนต่างๆของอาคารเรียนอื่นๆถึงห้องสมุดควรใช้เวลาเดินทางน้อยที่สุด ความถี่ที่เกิดในการสัญจรจากอาคารเรียนอื่นๆมาห้องสมุดจึงควรมีค่าใกล้เคียงกัน
  - รถยนต์ ควรเลือกที่ตั้งที่อยู่ในทางสัญจรของรถด้วย เนื่องจากอาคารห้องสมุดต้องมีการติดต่อกับบุคคลภายนอก รับส่งเอกสาร พัสดุ และเพื่อสำหรับเหตุฉุกเฉินเช่นเพลิงไหม้ เพื่อให้รถดับเพลิงเข้าถึงได้สะดวก
4. สภาพแวดล้อมอื่นๆ อาคารควรปราศจากการรบกวนจากบริเวณใกล้เคียง เช่นเสียงรบกวนและฝุ่นละอองจากภายนอก เช่นอาคาร โรงอาหาร การจราจรการรถยนต์ และควรมีสภาพแวดล้อมที่ร่มรื่น สวยงาม มุมมองที่กว้าง ไม่อึดอัด
5. ความสอดคล้องกับผังแม่บทโดยรวมของมหาวิทยาลัย
6. การขยายตัวในอนาคตของมหาวิทยาลัย

### 2.2.4 รายละเอียดด้านการวางผังพื้นที่ในอาคาร

เพื่อให้ได้งานออกแบบที่ดี เป็นระบบที่เหมาะสมและประหยัดที่สุด จึงต้องมีการจัดวางระบบการวางผังที่เหมาะสม เป็นระบบประสานงานที่สอดคล้องกับการใช้งาน การจัดวางครุภัณฑ์ ระบบโครงสร้างและระบบทางวิศวกรรมอื่นๆ โดยสามารถพิจารณาปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ความยืดหยุ่นของพื้นที่องค์ประกอบส่วนใช้สอย (Flexibility) โดยทั่วไปการใช้พื้นที่ในอาคารมักจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การออกแบบอาคารจึงควรมีความยืดหยุ่นที่สามารถเปลี่ยนแปลงการใช้สอยได้ง่าย (Convertibility) แต่ไม่ได้หมายถึงพื้นที่ขนาดใหญ่ที่สามารถใช้งานได้ทุกประเภท เพราะนอกจากจะไม่เป็นการประหยัดแล้วยังทำให้การทำงานไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร
2. ผังแบบพิกัดมาตรฐาน (Modular Planning) ระบบพิกัดเป็นระบบที่ควรนำมาใช้ในการออกแบบอาคารประเภทนี้มาก เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของอาคาร คือพื้นที่อ่าน

หนังสือและส่วนเก็บหนังสือและครุภัณฑ์อื่นๆ อันเป็นผลกระทบกับงานออกแบบโดยใช้ระบบประสานทางพิกัด ซึ่งลักษณะและขนาดขององค์ประกอบสำหรับอาคารห้องสมุดที่สำคัญ มีดังนี้

- ชั้นวางหนังสือ (Stack) การวางชั้นหนังสือห่างกันเพียง 0.90 ม. พอเพียงสำหรับผู้ใช้ค้นหาหนังสือเพียงคนเดียว ที่วางด้านหลังไม่เพียงพอที่ผู้ใช้คนอื่นใช้เป็นทางเดินได้ ระยะห่างระหว่างชั้นหนังสือ 1.12 ม. เหมาะสำหรับผู้ใช้อินหาหนังสือแบบแถวเรียงหน้ากระดานกับชั้นหนังสือ และมีที่เหลือพอที่จะให้รถเข็นใส่หนังสือเงินผ่านด้านหลังได้ ดังนั้นระยะนี้จึงเป็นระยะที่เหมาะสมของผู้ใช้คนที่ จะค้นหาหนังสือจากชั้นทั้ง 2 ด้านโดยหันหลังให้กัน ระยะห่างระหว่างชั้นหนังสือ 1.82 ม. เหมาะสำหรับผู้ใช้อินหาหน้ากระดาน ค้นหาหนังสือจากชั้นวางชั้นเดียว และมีที่เหลือสำหรับผู้ใช้อื่นๆเดินผ่านไปมาด้านหลังได้ที่ละคน
- โต๊ะอ่านหนังสือ (Study table) ความกว้างของโต๊ะ เท่ากับ 1.20 ม. ความกว้างของทางเดินระหว่างโต๊ะรวมพื้นที่เก้าอี้ เท่ากับ 1.50 ม.รวมพื้นที่หน่วย ประมาณ 2.70 ตร.ม. ซึ่งสอดคล้องกับการจัดวางชั้นหนังสือด้วย
- ระบบความสัมพันธ์ของส่วนที่นั่งอ่านและชั้นวางหนังสือ โดยต้องให้ผู้อ่านสามารถหาหนังสือจากชั้นวางได้ง่าย โต๊ะและเก้าอี้สามารถเข้าถึงได้ง่าย สบายในการนั่ง ระยะทางที่ใช้เดินไปยังชั้นหนังสือต้องสะดวกรวดเร็ว เช่นเป็นการสัญจรแบบทางเดียวเพื่อไม่ให้เกิดความสับสน

การจัดส่วนเก็บหนังสือและที่นั่งอ่านหนังสือ โดยทั่วไปมีหลายแบบ โดยมีข้อดีข้อเสีย และเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยแบ่งได้ 3 แบบดังนี้

#### การจัดพื้นที่แบบที่ 1

แบบส่วนเก็บหนังสืออยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยส่วนอ่านหนังสือ การจัดแบบนี้ส่วนอ่านหนังสือจะได้รับแสงสว่างจากภายนอกอาคารโดยรอบ สามารถพักสายตาจากการอ่านโดยการมองออกไปด้านนอก มีความสะดวกในการจัดเก็บหนังสือเข้าชั้นอีกด้วย

#### ข้อดีแบบที่ 1

1. เป็นลักษณะการกระจายศูนย์กลางการใช้และการบริการ ไปโดยรอบเป็นลักษณะเรียก Radial Pattern ระยะจากศูนย์กลางการใช้และการให้บริการ ไปยังพื้นที่อ่านหนังสือ และชั้นหนังสือมีระยะทางใกล้เคียงกัน
2. สะดวกในการนำหนังสือมาอ่าน และจัดเก็บเข้าชั้นหนังสือ ได้แสงธรรมชาติบริเวณ โต๊ะอ่านหนังสือ พักสายตาจากการอ่านหนังสือได้

### ข้อเสียแบบที่1

1. แบ่งการก่อสร้างออกเป็นส่วนๆ ได้ยาก เนื่องจากโครงสร้างจะต่อเนื่องกันหมด การขยาย ตัวทางด้านข้างโดยรอบมีจำกัด เพราะรัศมีการใช้งานจะไกลเกินไป การขยายตัวต้องขยายในแนวดิ่ง อาจมีการใช้ลิฟต์
2. การปรับอากาศเฉพาะส่วน การควบคุมความชื้น ทำได้ยาก เนื่องจากพื้นที่อ่านหนังสือ และชั้นหนังสืออยู่ในพื้นที่เดียวกัน
3. ในกรณีที่จัดวางชั้นหนังสือแบบประหยัดเนื้อที่ จะทำให้มีน้ำหนักจรมากขึ้น โดยน้ำหนักจรมวลชั้นวางหนังสือจะมากกว่าส่วนอ่านหนังสือ เฉลี่ยประมาณ200กก./คร.ม.

### การจัดพื้นที่แบบที่2

แบบส่วนเก็บหนังสือกับส่วนอ่านหนังสือแยกส่วนกัน แบบนี้เหมาะสำหรับห้องสมุดที่มีความจุของหนังสือมากๆ เป็นล้านเล่มขึ้นไป เพราะสามารถสร้างที่เก็บหนังสือเป็นหอสูงโดยเฉพาะได้ การต่อเติมในส่วนนี้สามารถทำได้โดยไม่รบกวนส่วนอ่านหนังสือ แต่ไม่มีความสะดวกในการนำหนังสือจากชั้นหนังสือไปอ่าน เนื่องจากอยู่ไกลกันมาก

### ข้อดีแบบที่2

1. การปรับอากาศและการควบคุมความชื้นสามารถทำได้เฉพาะส่วนส่วน ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย
2. สามารถแยกโครงสร้างส่วนที่เก็บหนังสือกับส่วนอ่านหนังสือออกจากกันได้ ทำให้ประหยัดในด้านโครงสร้างอาคารได้

### ข้อเสียแบบที่2

1. ไม่สามารถขยายตัวออกโดยรอบมากนัก เพราะรัศมีการใช้งานและการบริการไกลจากศูนย์กลางการบริการ(Service Core) มากเกินไป การขยายตัวต้องขยายในแนวดิ่ง และจะเสียค่าใช้จ่ายส่วนCirculation Service มากกว่า
2. ไม่สะดวกในการนำหนังสือมาอ่านที่โต๊ะและการจัดเก็บหนังสือ เพราะระยะทางระหว่างจุด2จุดมีระยะทางไกลกัน
3. ไม่มีความเป็นส่วนตัวในการอ่านหนังสือ สำหรับผู้อ่านที่อยู่บริเวณกลางอาคาร บางจุดไม่ได้รับธรรมชาติและไม่ได้พักสายตาจากทัศนียภาพภายนอก

### การจัดพื้นที่แบบที่3

แบบส่วนเก็บหนังสืออยู่คนละชั้นกับส่วนอ่านหนังสือ แบบนี้เหมาะสมกับการที่ให้อ่านหยิบหนังสืออ่านเอง จะมีส่วนเก็บหนังสือแบบเปิดโล่ง (Open Stack) มาก แต่การเดินทางไม่สะดวกทางเพราะต้องขึ้นลงระหว่างชั้น

### ข้อดีแบบที่3

1. ผู้อ่านสามารถหยิบหนังสือได้ครวละหลายๆ

2. การต่อเติมทำได้สะดวก ไม่รบกวนส่วนอื่นๆ

### ข้อเสียแบบที่3

1. ไม่สะดวกในการหยิบหนังสือ เพราะต้องขึ้นลงระหว่างชั้น
2. ที่นั่งบางส่วนไม่ได้รับแสงธรรมชาติ ไม่ได้พักสายตาจากทัศนียภาพภายนอก

### 2.2.5 ระบบการให้แสงสว่างแก่อาคาร

โดยทั่วไปอาคารประเภทห้องสมุด จะแบ่งเขตการให้แสงสว่างเป็น 2 ส่วนคือ

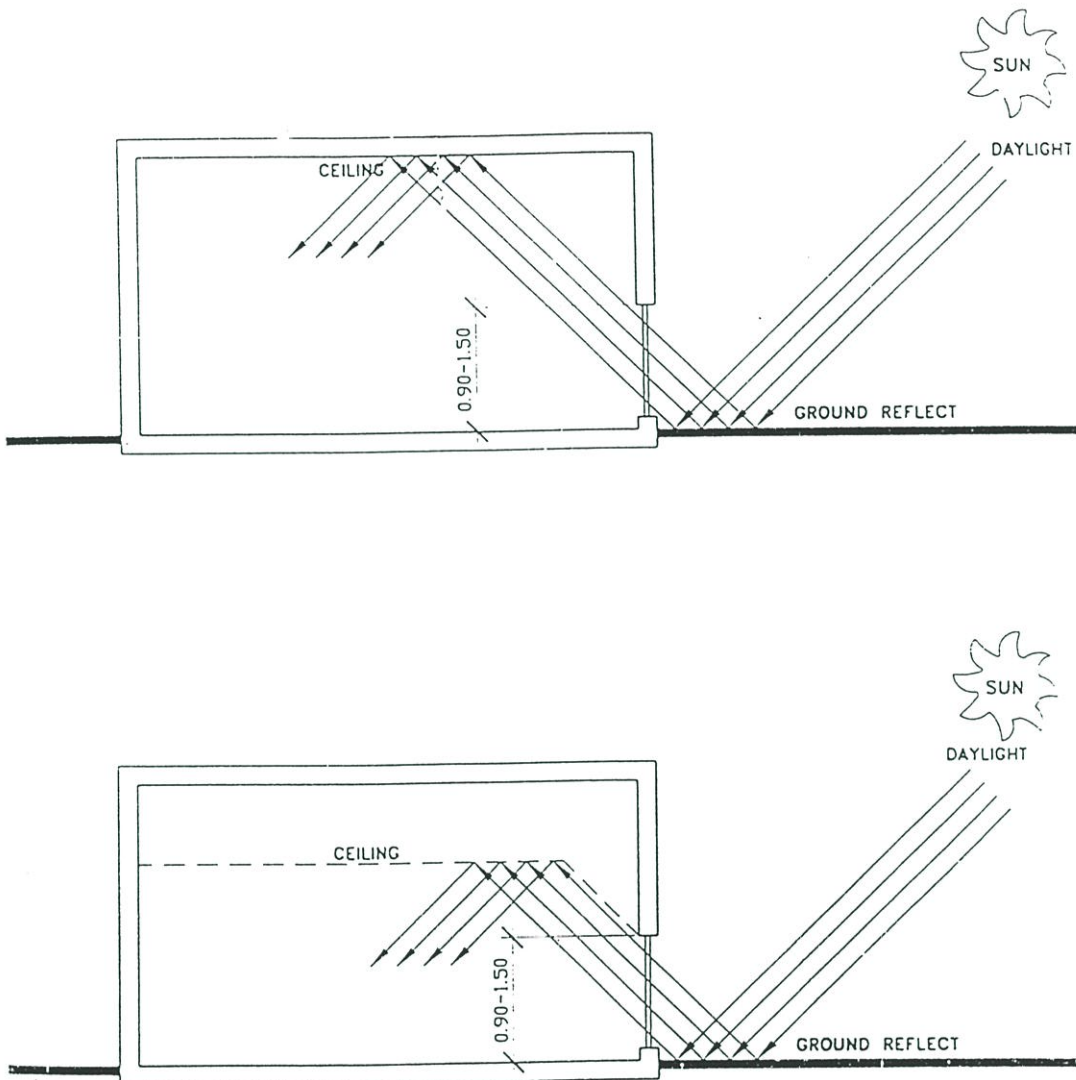
1. แพลสซีฟ โซน(Passive Zone) เป็นส่วนที่ไม่ต้องมีการควบคุมความเข้มและทิศทางของแสงมากนัก ความเข้มของแสงพอประมาณสำหรับการเคลื่อนไหว พักผ่อน ไม่ต้องใช้สมาธิและสายตาในการเพ่งมองมากนัก โดยทั่วไปจะมีความเข้มของแสงประมาณ 20 FD. บริเวณPassive Zone ได้แก่บริเวณ โถงทางเข้า-ออก โถงบันได ที่นั่งอ่านหนังสือ กึ่งพักผ่อน เช่นวารสาร หนังสือพิมพ์ บริเวณPassive Zoneนี้สามารถใช้แสงธรรมชาติได้เต็มที่ เพราะไม่ต้องคำนึงถึงความเข้ม ทิศทางของแสงมากนัก แต่ควรออกแบบระบบแสงประดิษฐ์เพื่อไว้ในกรณีที่แสงธรรมชาติไม่เพียงพอ
2. แอกทีฟ โซน(Active Zone) เป็นส่วนที่ต้องควบคุมคุณภาพ ความเข้ม และทิศทางของแสง ให้เหมาะกับกิจกรรมต่างๆเป็นบริเวณที่ต้องใช้สมาธิและสายตาในการอ่านและค้นหาหนังสือ พื้นที่ส่วน Active Zone ได้แก่บริเวณ ที่นั่งอ่านหนังสือทั่วไป ที่เก็บหนังสือ เคาน์เตอร์รับ-จ่ายหนังสือ ศูนย์บริการต่างๆภายในห้องสมุด

การเลือกใช้แหล่งกำเนิดของแสง โดยทั่วไปมาจาก 2 แหล่งคือ

#### 1. แสงจากธรรมชาติ (Natural Lighting) มักมีทิศทางของแสง4 ทิศทาง คือ

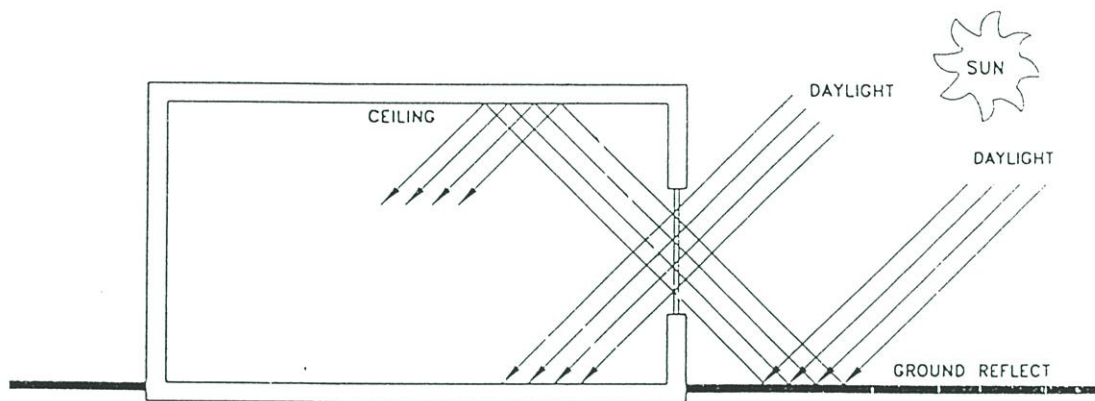
- การให้แสงสว่างจากทางด้านข้าง (Sidelighting Concept) เป็นรูปแบบของการนำแสงธรรมชาติที่พบเห็นโดยทั่วไปในอาคารต่างๆ แสงธรรมชาติที่จะส่องผ่านช่องเปิดที่อยู่ในส่วนกรอบอาคารด้านข้างเข้ามาในอาคารโดยลักษณะของแหล่งกำเนิดของแสง เช่น แสงจากท้องฟ้า แสงสะท้อนจากพื้นดิน ผิวภายนอกที่เป็นตัวสะท้อนแสงและการสะท้อนแสงภายในอาคารเอง ลักษณะของช่องเปิดหน้าต่างด้านข้างสามารถจำแนกได้ดังนี้

- หน้าต่างช่วงล่าง (Low Windows) เป็นรูปแบบหน้าต่างที่มีระดับความสูงจากพื้นประมาณ0.90-1.50 ม. หน้าต่างช่วงล่างจะได้รับผลกระทบจากการสะท้อนแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่อยู่ใกล้ หรือส่วนที่อยู่ต่ำกว่าสายตา เช่นแสงสะท้อนจากพื้นดิน และผิวสะท้อนแสง หน้าต่างรูปแบบนี้ไม่ค่อยมีปัญหาเรื่อง ความจ้าของแสงที่เกิดขึ้นกับแนวระนาบการใช้งาน(Working Plane) ส่วนเรื่องของความร้อนจากแสงแดดโดยตรงจะมีผลต่อหน้าต่างน้อยมาก

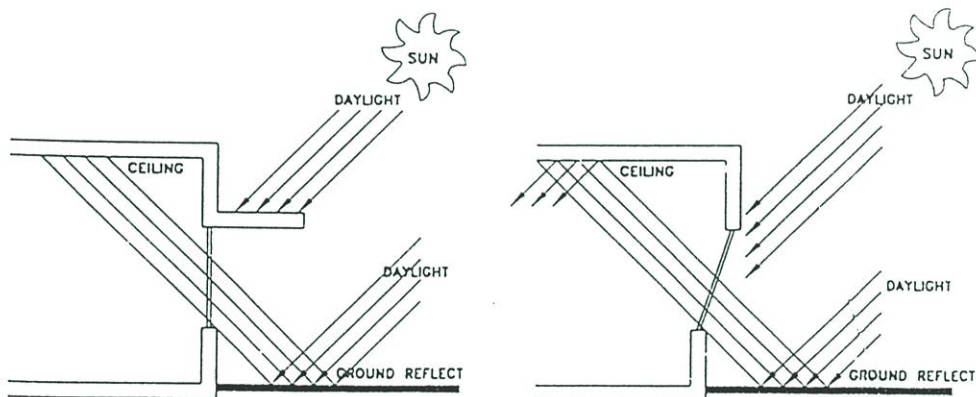


รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบหน้าต่างช่วงล่างและการส่องสว่าง

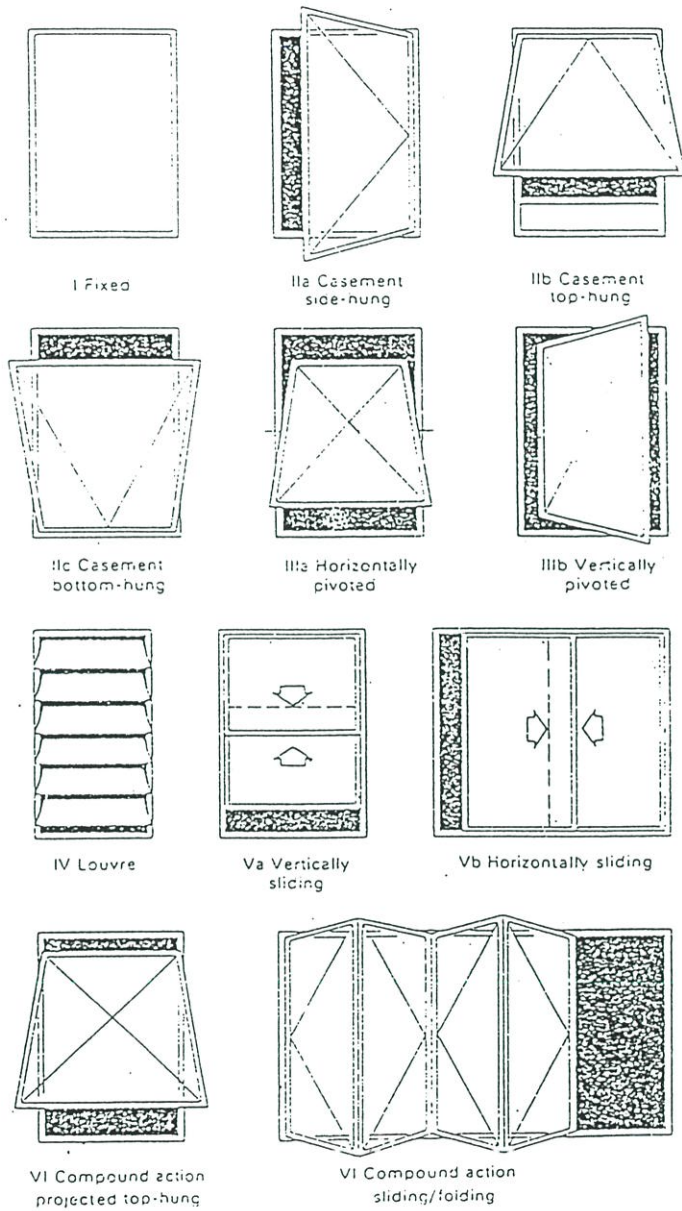
- หน้าต่างช่วงกลาง (Middle Windows) ลักษณะของหน้าต่างช่วงกลางเป็นรูปแบบที่พบเห็นโดยทั่วไป โดยมีความสูงจากระดับพื้นห้องประมาณ 0.90-2.00 ม. ประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงจากพื้นดินเข้ามาภายในจะไม่ดีเท่ากับหน้าต่างช่วงล่าง และประสิทธิภาพการกระจายแสงไม่ดีเท่าหน้าต่างบน แต่อย่างไรก็ตามลักษณะของการส่องสว่างของหน้าต่างแบบนี้ จะมีความเพียงพอต่อระดับของระนาบการใช้งานในช่วง 2-3 ม. จากช่องหน้าต่างนอกจากนี้ยังมีทัศนวิสัยที่ดีกว่าหน้าต่างรูปแบบอื่นๆ เนื่องจากอยู่ในระดับสายตา ส่วนปัญหาที่พบคือ ปริมาณของแสงที่ได้จะทำให้เกิดความจ้า โดยเฉพาะส่วนที่อยู่ใกล้หน้าต่าง หากป้องกันไม่ดีพอ แนวทางการปรับแก้ปริมาณความจ้าของแสงโดยการใช้อุปกรณ์บังแดด หรือการปรับความลาดเอียงของกระจก



ลักษณะการส่องผ่านแสงของหน้าต่างช่วงกลางและทัศนวิสัย

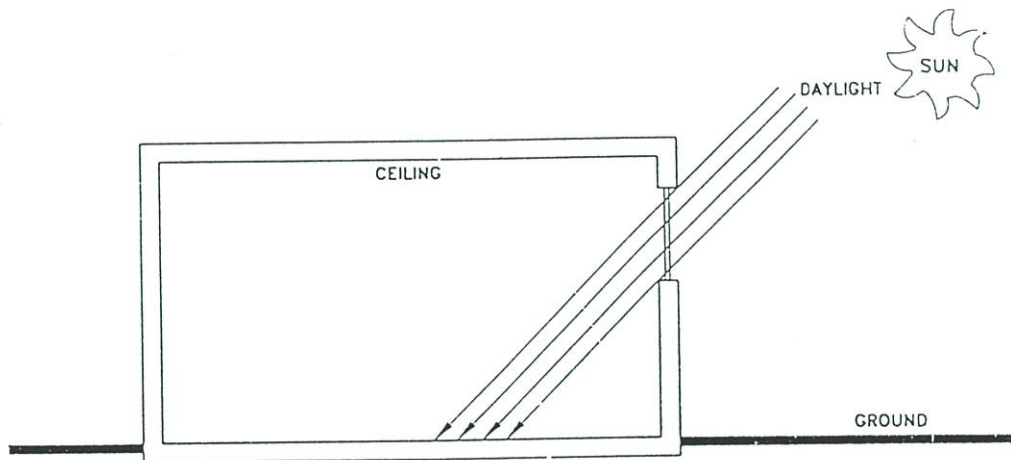


รูปที่ 2.2 แสดงรูปแบบหน้าต่างช่วงกลางและการส่องสว่าง

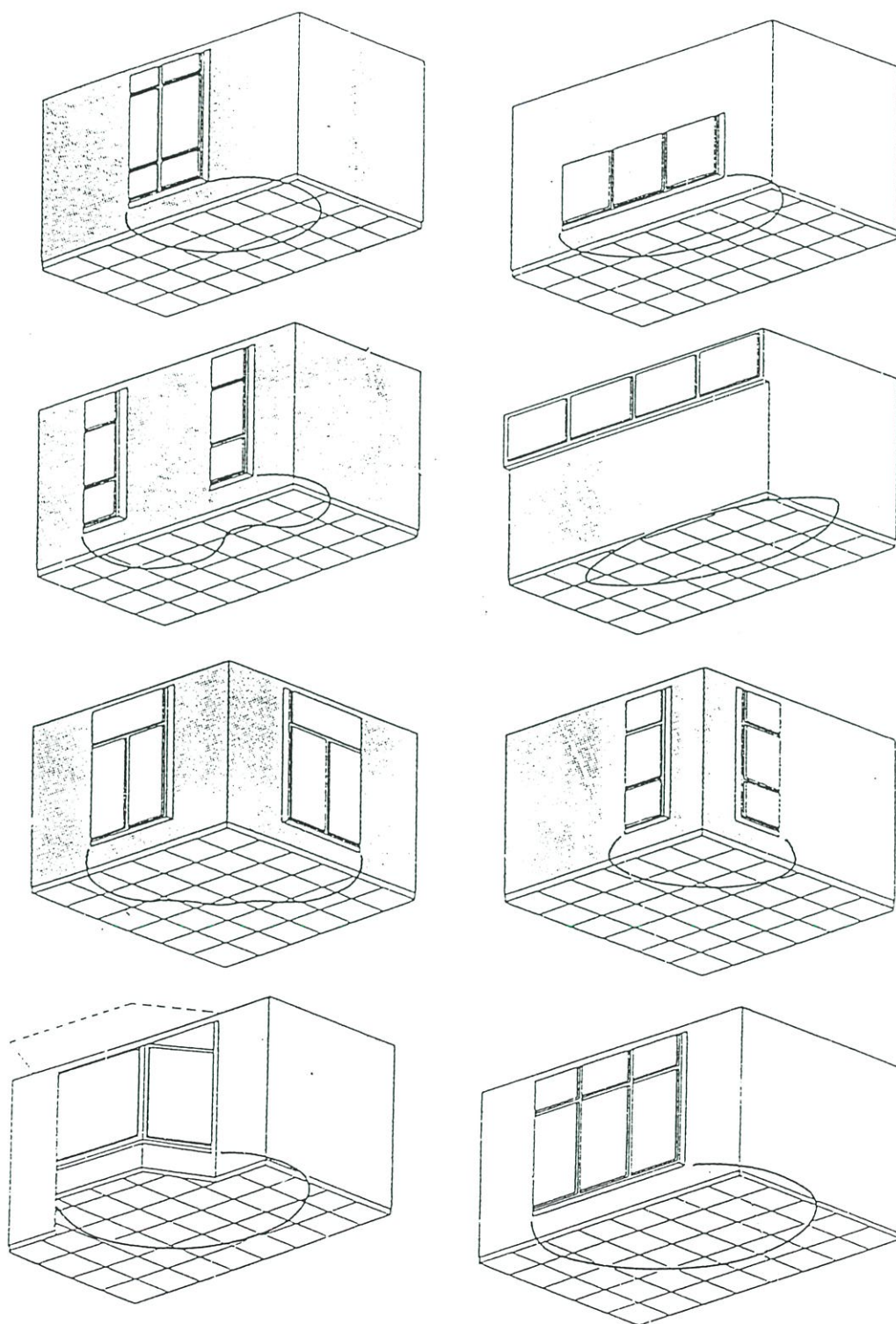


รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะรูปแบบของหน้าต่างกลาง

- หน้าต่างช่วงบน (High Windows) เป็นหน้าต่างที่มีระดับความสูงจากพื้นประมาณ 2 ม. ขึ้นไป หน้าต่างลักษณะนี้จะให้การส่องสว่างผ่านเข้ามาได้ดีกว่าหน้าต่างช่วงล่างและช่วงกลาง ทั้งจากแสงตรงและแสงกระจาย ในสภาวะที่ท้องฟ้าปิด(Overcast Sky) ข้อเสียของหน้าต่างรูปแบบนี้ คือ ปริมาณแสงที่ส่องผ่านเข้ามาภายในระดับของระนาบการใช้งาน ในบริเวณที่อยู่ใกล้หน้าต่างจะมีปริมาณแสงไม่พอ และทัศนวิสัยยังด้อยกว่าหน้าต่างรูปแบบอื่น ในส่วนของความจ้าของแสงที่เกิดขึ้นจะไม่ค่อยมีปัญหา เนื่องจากอยู่เหนือระดับสายตา



รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบหน้าต่างช่วงบนและการส่องสว่าง

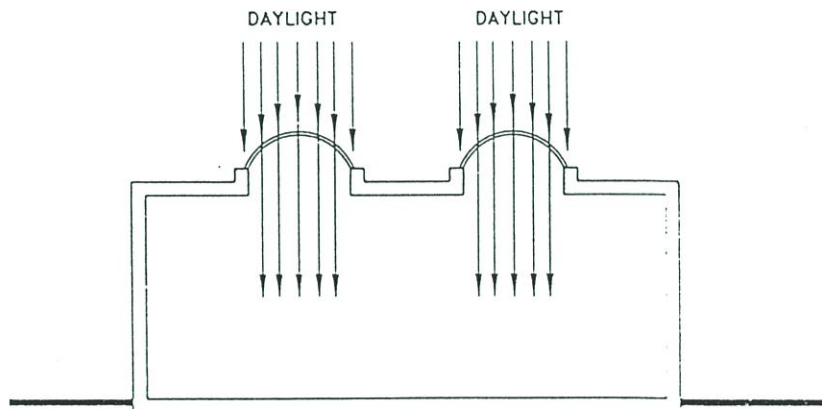


รูปที่ 2.5 แสดงรูปแบบของหน้าต่างที่มีผลต่อการส่องสว่างภายใน

- การให้แสงสว่างจากทางด้านบน (Top Lighting) การให้แสงสว่างทางด้านบนสามารถให้การส่องผ่านของแสงมีประสิทธิภาพดีกว่าการให้แสงทางด้านข้าง โดยการให้แสงรูปแบบนี้จะใช้ในอาคารที่มีลักษณะที่มีเส้นรอบรูปมากๆและการให้แสงทางด้านข้างไม่มีประสิทธิภาพดีพอ การให้แสงรูปแบบนี้มักไม่คำนึงถึงทัศนวิสัยของผู้ใช้อาคาร แต่คำนึงถึงประสิทธิภาพการส่องสว่างเป็นหลัก ข้อควรพิจารณาในการให้แสงรูปแบบนี้คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นพร้อมๆกับการส่องสว่าง

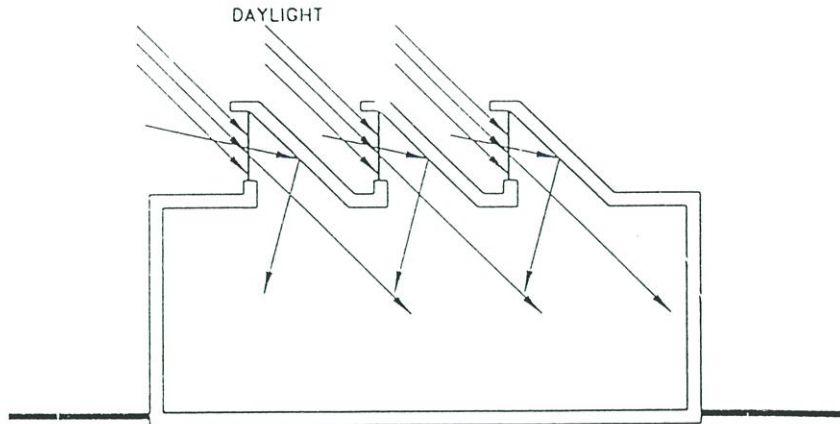
ในการให้แสงทางด้านบน มีรูปแบบการให้การส่องสว่าง 3 รูปแบบคือ

1. การให้แสงสว่างในแนวนอนหรือแนวเอียง (Horizontal Light) เป็นการให้แสงสว่างในแนวนอนหรือแนวเอียง ซึ่งสามารถให้ปริมาณ แสงที่คงที่สม่ำเสมอ ประสิทธิภาพของแสงมากกว่าลักษณะอื่นๆ แต่ควรคำนึงถึงความร้อนและความจ้าที่ผ่านเข้ามาภายใน รูปแบบการให้แสงแบบนี้เหมาะกับสภาพลักษณะภูมิอากาศในเขตหนาว



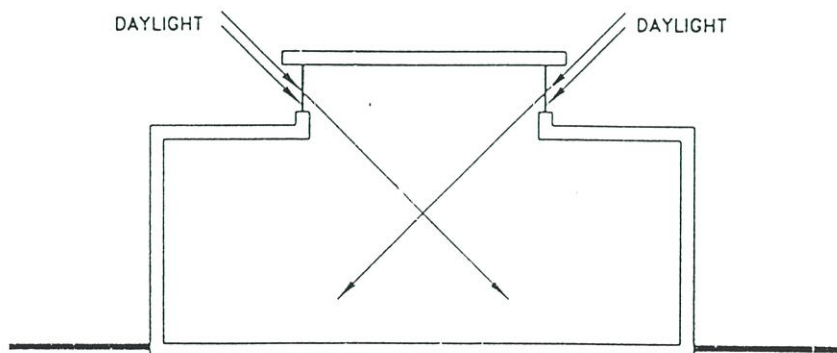
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการให้แสงแบบแนวนอนหรือแนวเอียง (Horizontal Light หรือ Sky Light)

2. การให้แสงจากช่องแสงเพียงด้านเดียว (Sawtooth Light) เป็นลักษณะการให้แสงจากช่องแสงเพียงด้านเดียว หรือในบางกรณีจะมีช่องแสง 2 ด้าน ลักษณะการให้แสงรูปแบบนี้สามารถหลีกเลี่ยงแสงแดดโดยตรงได้ โดยส่วนใหญ่จะหันทิศทางของช่องเปิดไปทางทิศเหนือ แสงที่ได้มีคุณภาพ นุ่มนวล ปริมาณการส่องสว่างที่พอเหมาะ มีความร้อนที่เกิดขึ้นมีน้อย ข้อควรคำนึงถึงคือ การเอียงของกระจกในส่วนช่องเปิดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของดวงอาทิตย์ ในประเทศเขตร้อน ตำแหน่งและมุมของดวงอาทิตย์ค่อนข้างสูง จำเป็นต้องเอียงกระจกไปด้านหน้า ในลักษณะที่เอียงมากกว่า 90 องศา จึงจะไม่ได้รับแสงตรง



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการให้แสงแบบการให้แสงเพียงด้านเดียว (Sawtooth Light )

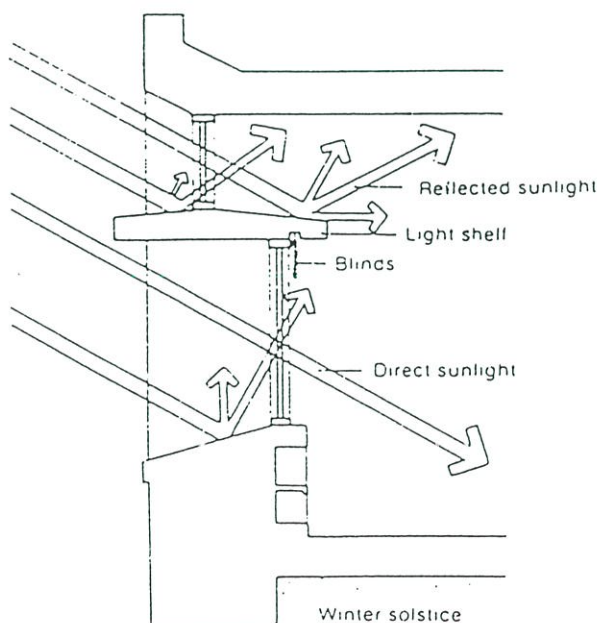
3. การให้แสงแบบ 2 ด้าน(Monitor) เป็นการให้แสงแบบช่องแสง 2 ด้าน ทำให้มีการส่องสว่างที่สม่ำเสมอ หากมีการพิจารณาถึงความเหมาะสมของระยะห่างระหว่างช่องแสงกับความสูงของอาคาร ข้อควรคำนึงถึงคือ ช่องเปิดด้านทิศใต้ ต้องมีการป้องกันจากแสงแดดตรง ทำให้ประสิทธิภาพช่องแสงอาจลดลง



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการให้แสงแบบ 2 ด้าน(Monitor)

- การให้แสงสว่างจากหน้าต่าง (Windows Concept) ในการออกแบบรูปแบบนี้ควรพิจารณารูปทรงและสัดส่วนความสัมพันธ์กับพื้นที่ใช้สอย ในการให้แสงสว่างโดยตรงตลอดจนการจัดวางตำแหน่งของช่องแสง โดยระดับที่เพียงพอต่อการใช้งาน จะมีสัดส่วนช่องเปิดกับระยะห่างจากช่องเปิดที่ระยะ 2.5 เท่า ของความสูงช่องเปิด โดยการให้แสงสว่างทางด้านข้างจะคำนึงถึงสภาวะท้องฟ้าปิด (Overcast Sky) มากกว่าสภาวะแบบท้องฟ้าเปิด (Clear Sky)

- การให้แสงสว่างทางอ้อม รูปแบบการให้แสงสว่างทางอ้อมนั้น คุณภาพของแสงจะสม่ำเสมอ เพราะคิดฝ้าเพดานเป็นต้นกำเนิดของแสง โดยแสงที่สะท้อนจากภายนอกอาคาร แหล่งกำเนิดแสงจากภายนอกอาคารอาจเลือกใช้รูปแบบของหิ้งสะท้อนแสง หรือ Light Shelves เป็นตัวช่วยให้แสงจากภายนอกสะท้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยหลักการใช้หิ้งสะท้อนแสงนั้น เป็นการยื่นองค์ประกอบออกจากตัวอาคาร เพื่อใช้ประโยชน์จากการบังแสง และการสะท้อนแสง แนวทางการเลือกรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงจะคำนึงถึง ความสูง ความลึก ตำแหน่งช่องเปิด พื้นผิวที่นำมาทำเป็นตัวสะท้อนแสง และมุมลาดเอียง



รูปที่ 2.9 แสดงรูปแบบการนำแสงของหิ้งสะท้อนแสง

## ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบการให้แสงโดยวิธีธรรมชาติ

ข้อดี	ข้อเสีย
1. เสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าและประหยัดพลังงาน	1. ไม่สามารถควบคุมความเข้มของแสงให้คงที่ได้
2. ช่องแสงที่เปิดรับแสงใช้เป็นที่พักผ่อนสายตา โดยการมองทัศนียภาพภายนอก	2. ทิศทางเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน
3. เป็นแสงที่เป็น uniform เพราะมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกันคือดวงอาทิตย์	3. อาจเกิดความจ้าได้ง่าย เนื่องจากการใช้แสงโดยตรงจากภายนอกอาจทำให้สายตาพร่ามัวจากความจ้า

### 2. แสงประดิษฐ์(Artificial Lighting) ได้มาจากหลอดไฟฟ้า

การใช้แสงประดิษฐ์มักจะเลือกใช้ในส่วน Active Zone เป็นส่วนใหญ่ แต่ทั้งนี้ควรออกแบบเพื่อการใช้แสงประดิษฐ์ในส่วน Passive Zone ในกรณีที่แสงธรรมชาติไม่เพียงพอ โดยออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานในกิจกรรมต่างๆที่แบ่งได้ 4 ระดับ คือ

- ความเข้มพอประมาณสำหรับการเคลื่อนไหว เช่น ห้องโถง ทางเดิน และอื่นๆ
- ความเข้มสำหรับอ่านหนังสือถึงพักผ่อน เช่น ส่วนอ่านหนังสือพิมพ์ วารสาร และอื่นๆ
- ความเข้มทั่วไป สำหรับการอ่านหนังสือทั่วไป ค้นหาบัตรรายการ และอื่นๆ
- ความเข้มพิเศษ เช่น ส่วนเคาน์เตอร์รับ-จ่ายหนังสือ ส่วนหนังสืออ้างอิง ส่วนงานเจ้าหน้าที่ที่ใช้สมาธิ หรือสายตาเป็นพิเศษ

## ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบการให้แสงโดยการใช้แสงประดิษฐ์

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ควบคุมความเข้มและทิศทางของแสงได้ตามต้องการ	1. การออกแบบต้องถูกต้องที่สุด เพื่อให้ได้แสงสว่างที่สม่ำเสมอ(uniform) มากที่สุด
	2. ค่าใช้จ่ายสูงมากกว่า

## 2.2.6 ความสูงของฝ้าเพดานในอาคาร

ตารางที่ 2.3 แสดงค่ามาตรฐานความสูงฝ้าเพดาน

Area Type	Minimum (m.)	Maximum(m.)
Book Stack	2.25	2.55
Reading area (under9m <sup>2</sup> .)	2.25	2.55
Individual Seating	2.50	2.85
In Large Area		
Large reading room (Over 30m <sup>2</sup> .)	2.85	3.15
Entrance or Main level(Over180m <sup>2</sup> .)	2.85	3.15

## 2.2.7 ระบบปรับอากาศและการควบคุมความชื้น

การเลือกใช้ระบบปรับอากาศและการควบคุมความชื้นนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาหนังสืออยู่ที่ 24°C-25°C ส่วนระดับความชื้นที่เหมาะสมที่จะไม่ทำให้หนังสือเสียหายควรเป็น 45%-55% การปรับอากาศและการควบคุมความชื้นนั้นควรจะทำในทุกระดับของอาคาร โดยเฉพาะในส่วนที่สำคัญๆของอาคาร ได้แก่

- ห้องเก็บและอ่านหนังสือที่มีค่า เช่น หนังสือหายาก หนังสืออ้างอิง วิทยานิพนธ์
- ห้องที่มีผู้ใช้งานมาก เพื่อสร้างความสบาย และมีสมาธิในการอ่านหนังสือ
- ห้องที่ต้องการความเงียบเป็นพิเศษ เช่น ห้องอ่านหนังสือพิเศษ ห้องวิจัย ห้องสัมมนา ห้องอ่านหนังสือกลุ่ม หรือส่วนบุคคล ห้องโสตทัศนศึกษา
- ส่วนงานเจ้าหน้าที่ต่างๆ

นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันฝุ่นละอองได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้สามารถป้องกันฝุ่นละอองได้ถึง 85-95% เพื่อลดกำลังคนในการทำความสะอาดได้

ในการออกแบบเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคาร มีจุดประสงค์ที่จะลดการใช้พลังงานต่างๆในอาคาร ลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร ทั้งในส่วนของผนังทึบ ผนังโปร่งแสง และหลังคา เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนให้ดีขึ้น ทั้งนี้ลักษณะเฉพาะของอาคารคืออาคารสำนักหอสมุด คือเก็บรักษาหนังสือ เอกสาร สิ่งพิมพ์ ให้อยู่ในสภาพดี และให้ความรู้สึกสบายแก่ผู้ใช้อาคาร โดยการใช้ระบบปรับอากาศเพื่อรักษาระดับความชื้นในอาคารเพื่อรักษาสภาพหนังสือต่างๆ และลดอุณหภูมิให้พอเหมาะ ตลอดจนการให้แสงสว่างที่ดีรวมถึงการจัดการสภาพแวดล้อมที่ดีแก่ผู้ใช้อาคารด้วย

ในส่วนการระบายอากาศนั้นจะใช้เกณฑ์จากการหาปริมาณอากาศภายนอกที่จำเป็นในการระบายอากาศ ตามตารางดังนี้

ตารางที่ 2.4 แสดงเกณฑ์การหาปริมาณอากาศภายนอกที่ใช้ระบายอากาศ

	ค่าประมาณการ คนต่อ 27ม <sup>3</sup> . หรือต่อ 100ม <sup>2</sup> . พื้นที่ใช้สอย	ปริมาณอากาศภายนอกที่ต้องการ		หมายเหตุ
		สูบบุหรี่	ไม่สูบบุหรี่	
		ลิตร/วินาที/คน	ลิตร/วินาที/คน	
ห้องถ่ายทำโทรทัศน์ และภาพยนตร์	70	--	5.0	
ห้องทำงาน				
- ห้องเกสซกร	20	--	3.5	
- ห้องใต้ดินธนาคาร	10	--	2.5	
สถานศึกษา				
- ห้องเรียน	50	12.5	2.5	
- ห้องทดลอง	30	--	5.0	ระบบการจัดการของเสีย
- ห้องฝึกงาน	30	17.5	3.5	อาจมีการเพิ่มเติม
- ห้องสมุด	20	--	2.5	

\* ใช้ในกรณีที่ไม่ทราบจำนวนคน

ที่มา: คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

## 2.2.8 การควบคุมเสียงรบกวน

แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1. การป้องกันเสียงรบกวนภายในห้องสมุด โดยเสียงที่ไม่สามารถรบกวนสมาธิของผู้อ่านหนังสือ ต้องมีค่าไม่เกิน 45-50 เดซิเบล ในการออกแบบอาคารจึงต้องมีการจัดโซนในส่วนต่างๆ ตามระดับการเกิดของเสียงที่จะเกิดขึ้น เพื่อป้องกันการรบกวนภายในกันเอง ดังนี้

### 1.1 ส่วนที่มีเสียงรบกวนได้คือ

- บริเวณทางเข้าและจุดฝากของ
- บริเวณจุดควบคุมทางเข้าออก
- ห้องนิทรรศการ
- ส่วนบริการ คือ ห้องน้ำ ลิฟท์ บันได

### 1.2 ส่วนที่มีเสียงรบกวนน้อย(ประมาณ 50 เดซิเบล)

- บริเวณยืม-คืน หนังสือ
- บริเวณบัตรรายการ

- ส่วนช่วยคั่นคว่ำ คอบคำถาม
- สำนักงาน ที่ทำงาน
- ส่วนอ่านหนังสือพิมพ์ วารสาร และอื่นๆ

### 1.3 ส่วนที่ห้ามมีเสียงรบกวน(ประมาณ 40 เดซิเบล)

- ส่วนอ่านหนังสือ
- ส่วนบริการโทรศัพท์สนั้วสด

ในส่วนห้องเครื่อง ควรออกแบบให้มีระยะห่างไกลจากบริเวณอ่านหนังสือ หรือพื้นที่ควบคุมเสียง การจัดการสัญญาณในอาคารควรมีระบบที่สะดวก หากมีการหยุดชะงัก อาจเกิดเสียงดังได้

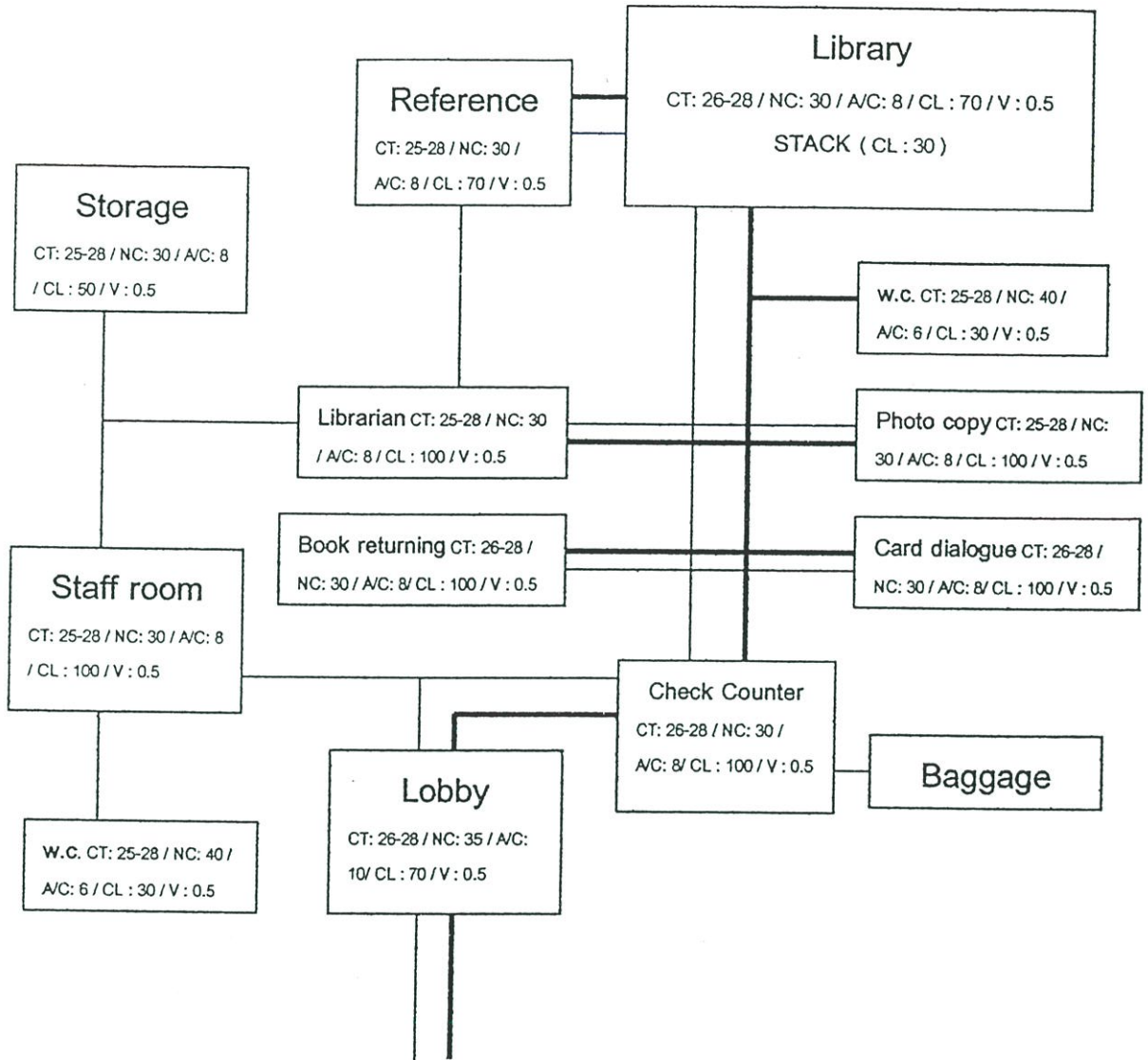
2. การป้องกันเสียงรบกวนภายนอกอาคาร โดยการออกแบบในการออกแบบและผังบริเวณโดยรอบ จะช่วยในการป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอกได้ โดยเสียงเหล่านี้จะได้แก่ เสียงคน ยานพาหนะ จึงควรคำนึงถึงการออกแบบ ดังนี้

2.1 ไม่จัดวางอาคารใกล้กับแหล่งกำเนิดเสียงที่มีจำนวนมาก เช่น อาคารข้างเคียง ทางเท้าควรมีพื้นที่บางส่วนกันไว้(Buffer Zone)

2.2 วางส่วนที่มีเสียงรบกวนได้เช่น โถงทางเท้า แกนของอาคารต่างๆ(Core) ให้ใกล้เคียงกับแหล่งที่มีเสียงรบกวนมาก ส่วนพื้นที่ที่ต้องการความเงียบ จัดให้อยู่ในพื้นที่ถัดไป

2.3 ใช้การจัดภูมิสถาปัตย์เข้าช่วย เช่น การทำเนินดิน ทางต่างระดับ เป็นกำแพงสะท้อนเสียง

2.4 ไม่เปิดช่องเปิดในด้านที่มีเสียงรบกวน หากจำเป็นควรมีระบบป้องกันเสียงรบกวนที่ถูกต้องวิธี หรือการใช้ระบบปรับอากาศเพื่อที่จะปิดช่องเปิดเหล่า



CT : Comfort temperature  
 NC : Noise criterion  
 A/C : Air change  
 CL : Comfort lighting  
 V : Wind velocity

แผนภูมิที่ 2.1 แสดงค่ามาตรฐานความสบายในอาคารประเภทห้องสมุด

## 2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวิจัย

### 2.3.1 การถ่ายเทความร้อน ( Heat Transfer )

ความร้อนเป็นพลังงานชนิดหนึ่ง ย่อมมีการเปลี่ยนแปลงหรือส่งผ่านพลังงาน โดยสาเหตุมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นหลัก โดยจะส่งผ่านจากอุณหภูมิที่สูงกว่าไปยังอุณหภูมิต่ำ เรียกขบวนการที่เกิดขึ้นว่า “การส่งผ่านความร้อน หรือ Heat Transfer ” จะมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือการนำ การพา และการแผ่รังสี โดย 2 อย่างแรกเป็นปรากฏการณ์เดียวกันกับที่เกิดขึ้นในของไหลและต้องอาศัยตัวกลาง ส่วนการแผ่รังสีไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ส่งผ่านโดยการแผ่รังสีจะเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเคลื่อนตัวของความร้อนในรูปแบบพลังงานจากด้านที่มีอุณหภูมิต่ำ เกิดเป็นขบวนการการถ่ายเทความร้อน (Heat Transmission) สิ่งที่เกิดขึ้นภายหลังจาก Heat Transfer จะสะสมไว้ในวัสดุจนทำให้วัสดุเริ่มมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนสูงสุดเต็มที่ในระดับหนึ่ง จึงค่อยๆคลายความร้อนโดยวิธีการนำ (Conduction) เรียกขบวนการการคลายความร้อนของวัสดุในลักษณะนี้ว่า “Thermal mass หรือ Thermal inertia” ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุและช่วงเวลาการให้ความร้อนจากดวงอาทิตย์

ค่าที่ใช้เรียกการถ่ายเทความร้อนของวัสดุคือค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อน (Overall Coefficient of Heat Transmission หรือค่า “U” )

รูปแบบการถ่ายเทความร้อนมักจะเป็นรูปแบบที่มีลักษณะแบบผสมต่างมารวมกัน เพียงแต่ว่าจะมีรูปแบบใดจะมีความสำคัญมากกว่า โดยพิจารณาเป็นกรณีๆ ไป

### 2.3.2 การนำความร้อน (Thermal Conduction)

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นชั้นอะตอมของอนุภาคในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ(คล้ายการนำไฟฟ้า)ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำ การสั่นของโมเลกุลข้างเคียงจะเป็นสาเหตุให้เกิดการนำความร้อนขึ้น ส่วนในก๊าซจะมีการนำความร้อนเกิดจากการสั่นระหว่างโมเลกุล จากการทดลองพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิววัตถุ( ด้านที่อุณหภูมิสูงและต่ำ) และพื้นที่ผิวที่ความร้อน ไหลผ่านโดยมีทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน แต่จะเป็นสัดส่วนกลับกับความหนาของวัสดุนั้นๆ การนำความร้อนผ่านแผ่นราบสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการดังนี้

$$Q = [ k \cdot A \cdot (T_1 - T_2) ] / X \dots \dots \dots (2.1)$$

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อ 1 วินาที (W)

k = สภาพการนำความร้อนหรือ Thermal conductivity ( W/m.K)

A = พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน ( m<sup>2</sup>)

T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> = อุณหภูมิสูงและต่ำแต่ละด้านตามลำดับ ( K )

$X$  = ความหนาของแผ่นราบ ( m.)

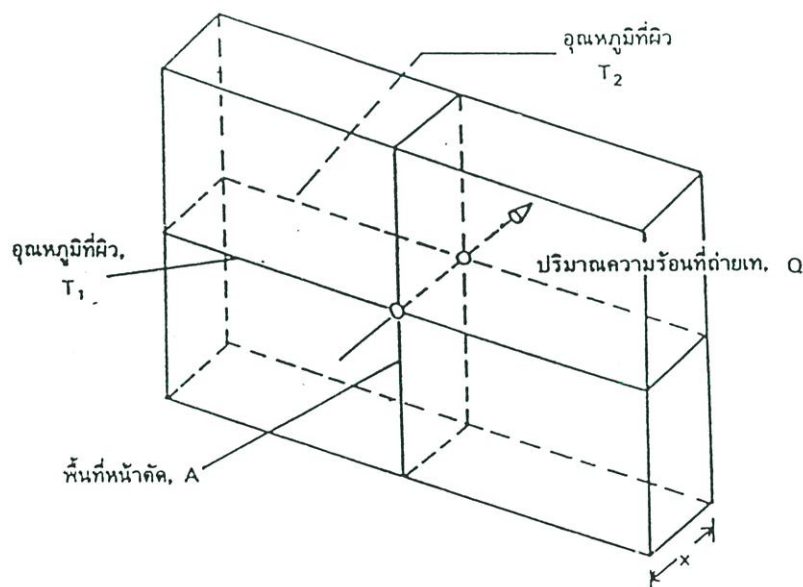
ในสมการนี้ สภาพการนำความร้อน ( $k$ ) เป็นตัวคงที่ ขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิด ปกติค่า  $k$  จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แต่หากอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมากนักสามารถใช้ค่าที่สมมุติว่าค่า  $k$  คงที่ตลอดช่วงอุณหภูมิได้ เนื่องจากในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านวัตถุ จะคิดในเทอมของการต้านทานการถ่ายเทความร้อน ฉะนั้นเมื่อพิจารณาค่าความต้านทานความร้อนเทียบกับความต้านทานทางไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ ( $V_1-V_2$ ) ในลักษณะนี้ซึ่งมีผลต่างของอุณหภูมิ ( $T_1-T_2$ ) สมการ 2.1 จะกลายเป็น

$$Q = (T_1 - T_2) / R \dots \dots \dots (2.2)$$

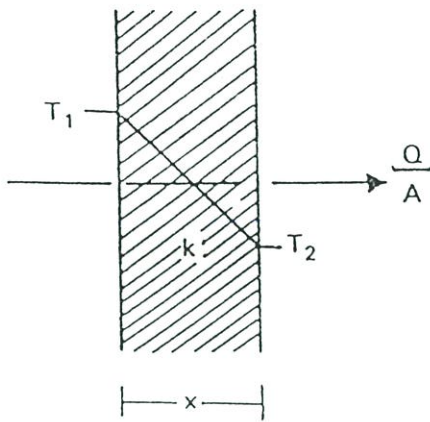
โดยที่

$$R = x / k * A$$

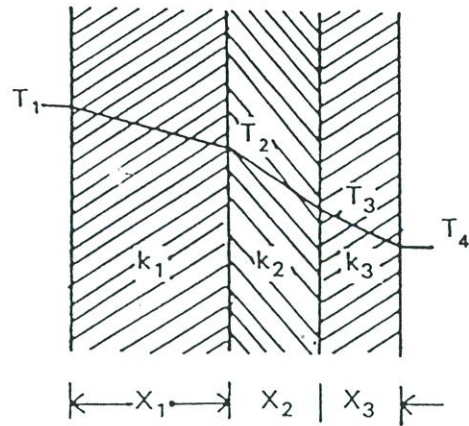
(ที่มา: ตรีสาร ก้าวไกลกรรม, คู่มือถนอมความร้อน , กรุงเทพฯ , 2537)



รูปที่ 2.10 แสดงการนำความร้อนผ่านแผ่นราบ ( Thermal Conduction )



รูปที่ 2.11 เส้นผลต่างอุณหภูมิผ่านผนังราบชั้นเดียว



รูปที่ 2.12 เส้นผลต่างอุณหภูมิผ่านผนังราบ 3 ชั้น (วัสดุต่างชนิดกัน)

จากการที่ถือว่าค่า  $k$  คงที่ตลอดช่วงอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ฉะนั้นวัสดุที่มีพื้นที่หน้าตัดและความหนาตามรูปประกอบ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะมีลักษณะเชิงเส้นตามรูปประกอบ หากพิจารณาการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังที่ประกอบด้วยวัสดุต่างชนิดกันดังรูปโดยคิดค่าการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบ Steady State และมีการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุในอัตรา  $Q$  ที่เท่าเทียมกันตามกรรมวิธีข้างต้น จะได้สมการการถ่ายเทความร้อนรวมกลายเป็น

$$Q = T_1 - T_4 / (R_1 + R_2 + R_3) \dots \dots \dots (2.3)$$

**2.3.3 การพาความร้อน (Thermal Convection)**

เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลของไหล เมื่อของไหลสัมผัสกับพื้นผิวของแข็งที่อุณหภูมิต่างกัน การแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดพาความร้อนจะเกิดขึ้น การพาความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือการพาความร้อนแบบอิสระ (Free or Natural Convection) และการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection) ลักษณะแรกเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล ของไหลเมื่อได้รับความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีความหนาแน่นลดลงกว่าอากาศโดยรอบ ทำให้เกิดแรงยกตัว (Buoyancy force) ส่วนการพาความร้อนแบบบังคับจะเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แรงภายนอกมาเคลื่อนที่ของไหลผ่านพื้นผิวของแข็งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ปริมาณการถ่ายเทความร้อนสามารถหาได้จากกฎของนิวตันว่าด้วยการเย็นตัว คือ

$$Q = h * A (T_s - T_f) \dots \dots \dots (2.4)$$

โดยที่

$h$  = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา ( $W / M^2 \cdot K$ )

$A$  = พื้นที่ผิวของของแข็งที่ของไหลสัมผัส ( $m^2$ )

$T_s =$  อุณหภูมิพื้นผิวของแข็ง (K)

$T_f =$  อุณหภูมิของไหล (K)

ค่า  $h$  นี้จะไม่ขึ้นกับคุณสมบัติของวัสดุ แต่จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของผิววัสดุของไหลไหลผ่าน และธรรมชาติที่ไหลผ่านพื้นผิว และทำนองเดียวกันกับการนำความร้อน สามารถให้คำจำกัดความ ความต้านทานความร้อนของการพาความร้อนได้ดังนี้ :  $R = 1/h \cdot A$  และดังนั้น

$$Q = T_s - T_f / R \dots \dots \dots (2.5)$$

### 2.3.4 การแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation)

วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิมากกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์ จะมีพลังงานภายในอยู่ในตัวจากการสั่นของโมเลกุลของวัตถุนั้น ซึ่งพลังงานนี้บางส่วนจะถูกปล่อยออกมาในลักษณะการแผ่รังสีความร้อนผ่านผิวของวัตถุนั้น โดยอาศัยกลไกของการแผ่รังสีด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รังสีความร้อนที่แผ่ออกมาปกติจะเดินทางผ่านช่องว่างในบรรยากาศด้วยความเร็วแสง มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 0.1-100 ไมครอน ในลักษณะเป็นเส้นตรงจนกว่าจะกระทบกับวัตถุใดๆ ซึ่งถ้าวัตถุที่แผ่รังสีออกมาไม่ได้รับความร้อนจากวัตถุอื่นๆ อุณหภูมิของวัตถุจะลดลง ในทำนองเดียวกันวัตถุที่ได้รับความร้อนมากกว่าที่วัตถุนั้นปล่อยออกไป อุณหภูมิของวัตถุจะเพิ่มขึ้น โดยรังสีความร้อนที่กระทบวัตถุใดๆ ส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนโดยวัตถุนั้นๆ บางส่วนอาจทะลุผ่านและมีบางส่วนสะท้อนกลับออกจากวัตถุนั้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของพลังงานการแผ่รังสีทั้งที่ดูดกลืนไว้และที่ทะลุผ่านและสะท้อนกลับ จะขึ้นอยู่กับตัววัตถุเองและคุณสมบัติทางพื้นผิวของวัตถุนั้น สำหรับวัตถุที่มีสัดส่วนที่ทะลุผ่านเป็นศูนย์ ในวัตถุค่าจะมีค่าความสามารถดูดกลืนรังสีตกกระทบได้ทั้งหมด โดยไม่มีการสะท้อนหรือทะลุผ่าน ถือเป็นตัวกลางดูดกลืนรังสีที่สมบูรณ์ ฉะนั้นวัตถุค่าจึงเป็นวัตถุที่มีการแผ่รังสีที่สมบูรณ์เช่นกัน อย่างไรก็ตามวัตถุค่าจริงๆตามธรรมชาติไม่มี ยกเว้นดวงอาทิตย์ที่อาจสมมุติว่าเป็นวัตถุค่าได้ โดยแนวความคิดเป็นเพียงเพื่อให้เกิดความสะดวกในการคำนวณทางวิศวกรรมซึ่งถ้าเปรียบเทียบการแผ่รังสีของวัตถุนิดหนึ่งเท่ากับอุณหภูมิของวัตถุค่าพบว่า

$$E/E_b = \epsilon$$

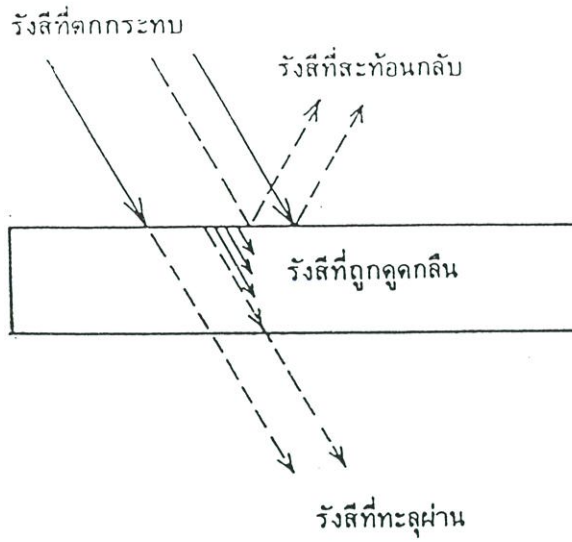
โดยที่

$E_b =$  กำลังงานการแผ่รังสีของวัตถุค่า

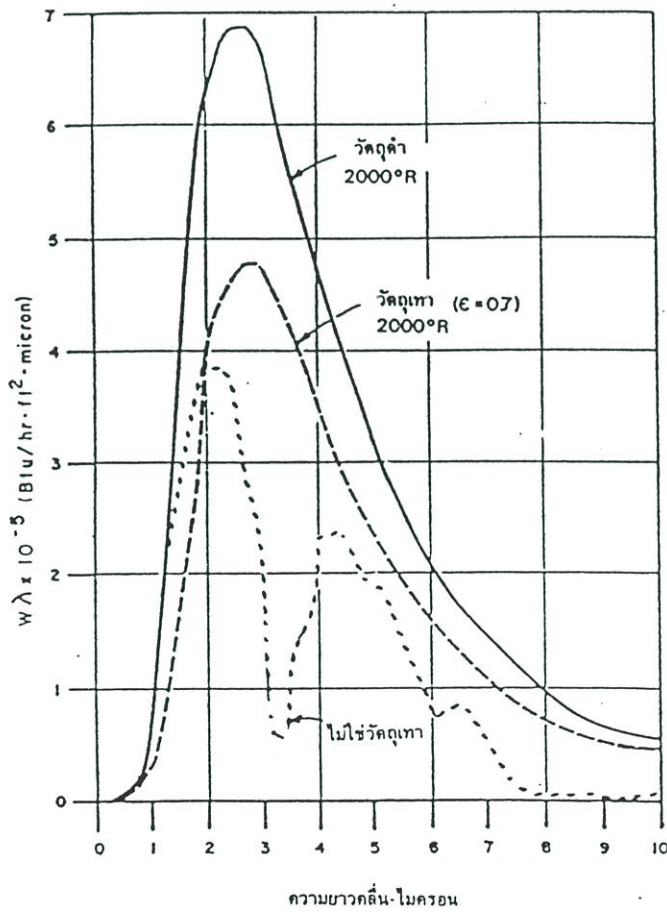
$E =$  กำลังงานการแผ่รังสีของวัตถุนั้น

$\epsilon =$  สภาพการแผ่รังสีของวัตถุ (Emissivity) โดยทั่วไป  $< 1$  เสมอ

การที่ค่าสภาพการแผ่รังสีมีค่าน้อยกว่า 1 เนื่องจากวัตถุนิดใดๆจะไม่เป็นตัวดูดกลืนรังสีที่สมบูรณ์เท่าวัตถุค่า การแผ่รังสีที่เปล่งออกมาจึงน้อยกว่าที่เปล่งออกจากวัตถุค่าที่มีอุณหภูมิเท่ากัน

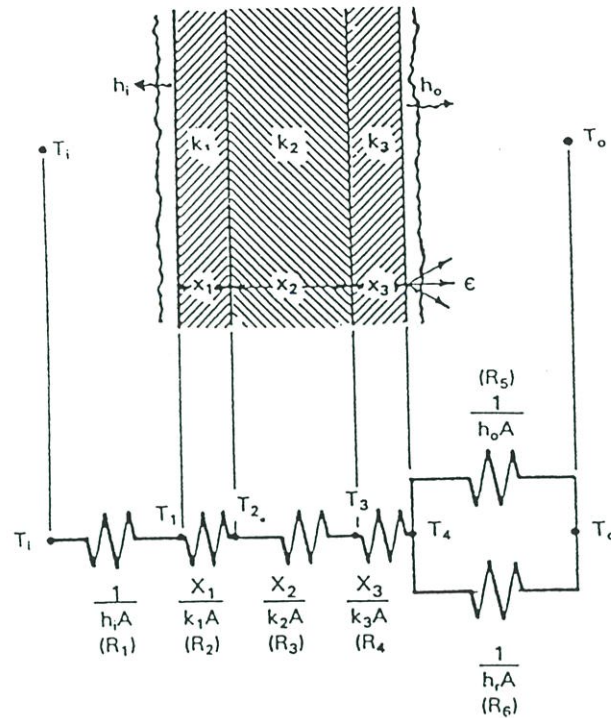


รูปที่ 2.13 แสดงการสะท้อน การดูดกลืน และการทะลุผ่านของรังสีที่ตกกระทบวัตถุ



ที่มา: ละครการ ก้าวไกลกรรม,คู่มือคำนวณความร้อน ,(2537) หน้า14และ16

รูปที่ 2.14 แสดงการกระจายสเปกตรัมของกำลังการแผ่รังสีของวัตถุค่า เทา และ ไม่ใช่สีเทา



ที่มา: ละครการ ถ้าวกสิกรรม, คู่มือถนอมความร้อน, (2537), หน้า 20

รูปที่ 2.15 แสดงการถ่ายเทความร้อนแบบผสมของแผ่นราบ

### 2.3.5 อิทธิพลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร

ผนังอาคารเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญที่เกิดการถ่ายเทความร้อนจากภายในเข้าสู่ภายในห้อง โดยเฉพาะผนังด้านนอกที่โดนแสงแดด ในคุณสมบัติของมวลสารที่มีการกักเก็บความร้อนและการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อช่วงเวลาที่เกิดการทำความเย็นสูงสุด และ Cooling Load Profile ได้มีการรวบรวมอิทธิพลต่างๆ ไว้ดังหัวข้อต่อไปนี้

#### 2.3.5.1 ความจุความร้อน (Heat Capacity)

ในมวลสารของวัสดุต่างๆ จะมีลักษณะของคุณสมบัติเฉพาะตัวในการเก็บกักความร้อน และยอมให้มีการถ่ายเทความร้อนที่มีอัตราที่แตกต่างกัน เรียกว่า “ค่าความจุความร้อนของวัสดุ” หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของวัสดุสูงขึ้น 1 องศา โดยทั่วๆ ไปวัสดุที่มีมวลมาก (Heavy materials) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรมักจะมีค่าความจุความร้อนสูง แต่น้ำจะมีค่าความจุความร้อนที่สูงมาก แม้ว่าจะไม่จัดอยู่ในวัสดุประเภทที่มีมวลมาก เนื่องจากน้ำเป็นมวลสารประเภท Middleweight materials โดยสามารถพิจารณาจากตารางประกอบที่ 2.1

ในทางสถาปัตยกรรมแล้วจะให้ความสนใจเรื่องคุณสมบัติความจุความร้อนต่อปริมาตร หรือเรียกว่า ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity)

ตารางที่ 2.5 แสดงค่า Heat Capacity of Materials by Volume

Materials	Heat Capacity per Volume
	( btu / ft <sup>3</sup> - F )
Water	62.4
Steel	59
Wood	26
Brick	25
Concrete ( Stone )	22
Foam insulation	1
Air	0.02

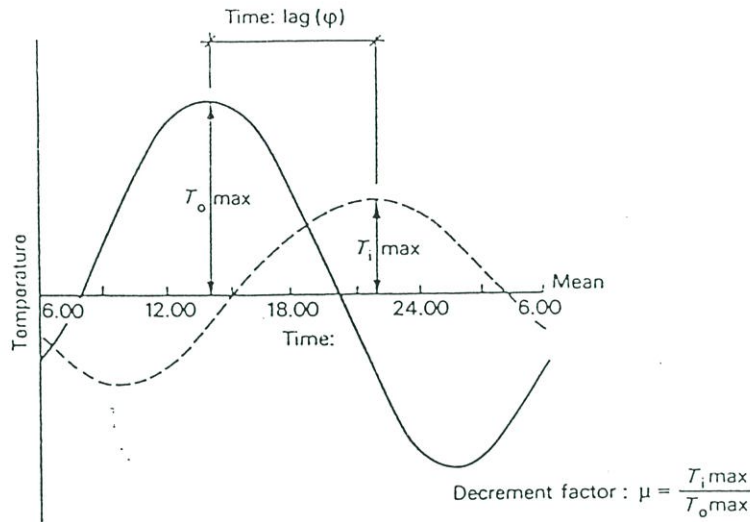
ที่มา : หนังสือ Heating Cooling Lighting โดย Norbert Lechner , 1991 p. 125

### 2.3.5.2 ค่าความต้านทานอุณหภูมิตั้ง ( Thermal Resistance )

ค่าความต้านทานที่ตรงกันข้ามกับค่าการส่งผ่านความร้อน หรือสภาพที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนทำได้ไม่ดี เรียกคุณสมบัตินี้ว่า “ค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุ หรือ Thermal Resistance, R” ในการพิจารณาคุณสมบัติค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุจะใช้ในการเปรียบเทียบความสามารถต้านทานความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด เพื่อตรงกับการใช้งาน เช่น คอนกรีตหนา 12 นิ้วจะมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับไม้ที่หนา 1 นิ้ว เนื่องจาก air space ที่ประกอบในเซลล์ของไม้และคอนกรีตเท่ากัน แต่มีเงื่อนไขว่าต้องอยู่ภายใต้สภาวะที่คงที่ ( Steady State ) เท่านั้น คือ ที่ใดก็ตามที่อุณหภูมิหนึ่งส่งผ่านวัสดุในลักษณะคงที่เป็นเวลานานๆ แต่ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ สิ่งที่เกิดขึ้นคือคอนกรีตที่หนา 12 นิ้ว จะมีค่าความต้านทานความร้อนผ่านเข้ามาดีกว่าไม้หนา 1 นิ้ว สิ่งที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการหน่วงเวลาและความร้อนภายในวัสดุ ( Time Lag )

### 2.3.5.3 การหน่วงเวลา ( Time Lag )

เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวในวัสดุใดๆ ด้านที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีการถ่ายเทความร้อนไปหาด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิด้านที่ต่ำกว่าจะยังไม่สูงขึ้นทันที แต่จะค่อยๆ อุณหภูมิขึ้นภายหลังในระยะเวลาหนึ่งจนถึงจุดอิ่มตัว ( Fill up the heat Capacity ) ปรากฏการณ์การชะลอการถ่ายเทความร้อนนี้เรียกว่า การหน่วงเวลาหรือ Time Lag



รูปที่ 2.16 แสดงแผนภูมิ Time Lag และ decrement factor

วัสดุที่มีขนาดความจุหรือปริมาตรโดยมวลวัสดุสูง (High Capacity Materials) มีการหน่วงเวลาของการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าวัสดุที่มีปริมาตรโดยมวลต่ำ (Low Capacity Materials) และปรากฏการณ์ Time Lag จะสิ้นสุดลงเมื่อปริมาตรของความร้อนมีการกักเก็บความร้อนเต็มที่ (The storage tank is full) อีกทั้งภายใต้สภาวะคงที่จะไม่มีการเกิด การหน่วงเวลา แต่ในสภาพความเป็นจริง การหน่วงเวลาของการถ่ายเทความร้อนของวัสดุจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ (ที่มา: ประพันธ์ จงปดิชิตต์, วิทยานิพนธ์ 1994)

ประโยชน์ของ Time Lag ที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือการใช้วัสดุในอาคารที่อยู่ในแถบภูมิอากาศเขตร้อนแห้ง (Hot and Dry Climate) ที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วง 1 วันที่สูง (Swing Temperature) ผลของการหน่วงเวลาที่เกิดจากมวลของผนังที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน (Insulation effect of mass) ช่วยให้การถ่ายเทความร้อนถูกกักเก็บไว้ในผนังช่วงเวลากลางวันและคายความร้อนในช่วงเวลากลางคืน ส่วนในเขตภูมิอากาศร้อนชื้นแบบประเทศไทย มีการนำเอาความคิดของการหน่วงเวลาเพื่อช่วยลดการถ่ายเทความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคารเช่นกัน แต่เนื่องจากค่าความแตกต่างของอุณหภูมิในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนมีไม่มากพอทำให้ลดการถ่ายเทความร้อนได้ไม่มากนัก

ตารางที่ 2.6 แสดงช่วงเวลาหน่วงที่ความร้อนไหลผ่านวัสดุ

วัสดุ	ความหนา (นิ้ว)	U-Value (W/m <sup>2</sup> .-C)	Time lag
อิฐ	4	0.61	2 1/2 ชม.
	8	0.41	5 1/2 ชม.
	12	0.31	8 1/2 ชม.
คอนกรีต	4	0.85	2 1/2 ชม.
	8	0.67	5 ชม.
	12	0.55	8 ชม.
แผ่นฉนวนกันความร้อน	2	0.16	40 นาที
	4	0.09	3 ชม.
ไม้	1/2	0.68	10 นาที
	1	0.47	25 นาที
	2	0.30	1 ชม.

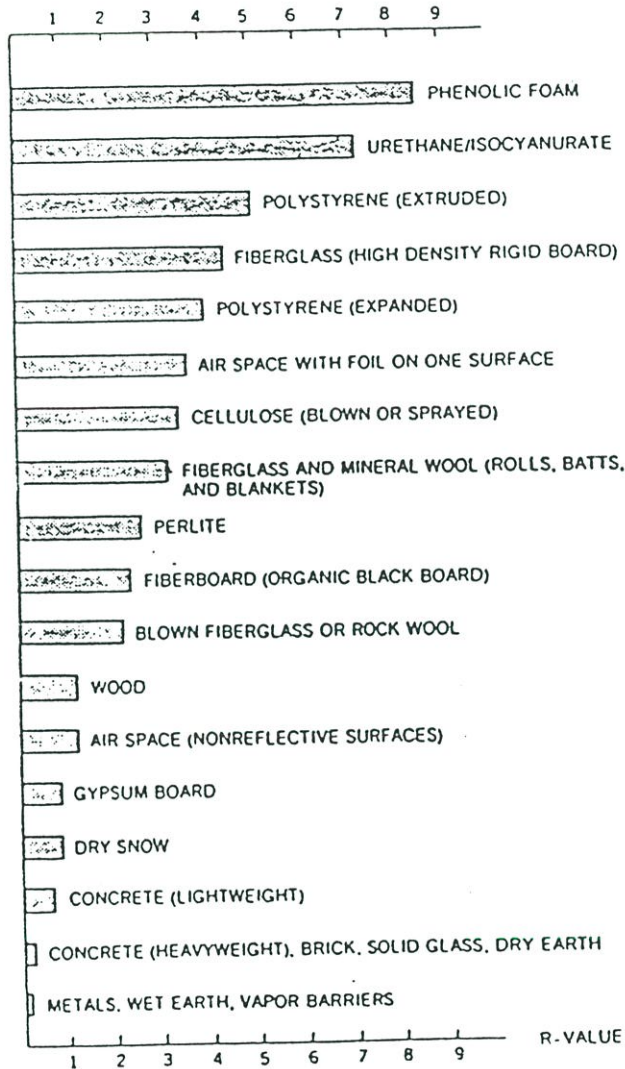
ที่มา : Egan, M.D. ,Concepts in Thermal Comfort, Prentice – Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey,1975,p.84 และดริ่งใจ  
บูรณะสมภพ,การออกแบบเพื่อประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน,กรุงเทพ

#### 2.3.5.4 ความเป็นฉนวนของวัสดุ ( Insulation Materials )

ในปัจจุบันมีการนำเอาฉนวนมาใช้ภายในอาคารกันมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการใช้พลังงานในอาคาร ที่มากขึ้น การพิจารณาการใช้ฉนวนในอาคาร โดยทั่วไปมีหลักการพิจารณาดังนี้

- คุณสมบัติของวัสดุที่สามารถทนต่ออุณหภูมิภายนอกที่สูงหรือต่ำได้ดี
- มีความแข็งแรงทนทานต่อสภาพการใช้งาน ไม่เสียรูปหรือเสื่อมสภาพได้ง่าย
- ใช้งานได้ในทุกสภาวะอากาศ
- ไม่ดูดซับน้ำหรืออมความชื้น
- ง่ายต่อการติดตั้ง ดูแลรักษาและซ่อมแซม
- น้ำหนักเบา

ตารางที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถด้านทานความร้อนของวัสดุต่างๆ  
ที่มีความหนา 1 นิ้ว



ที่มา: หนังสือ Heating Cooling Lighting โดย Norbert Lechner, 1991 p. 355

## 2.4 การคำนวณปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้า-ออกอาคาร

สมการที่ใช้ในการคำนวณ โดยทั่วไปมี 2 สมการ คือ

$$Q = U * A * \Delta T \dots \dots \dots (2.6)$$

$$Q = U * A * CLTD \dots \dots \dots (2.7)$$

โดยที่

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง ( BTU/HR. F<sup>2</sup> )

A = พื้นที่ของผนังที่มีการถ่ายเทความร้อน ( m<sup>2</sup> )

$\Delta T$  = ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในของผนัง ( F )

CLTD = ค่าความแตกต่างของภาระการทำความเย็นเทียบเท่า หรือ Cooling Load Temperature Difference ( F )

จากสูตรการคำนวณดังกล่าว จะพบว่าตัวแปรที่จะลดปริมาณความร้อนที่จะเข้าสู่ตัวอาคาร มีอยู่ 3-4 ตัวแปรคือ

ค่า “ U ” โดยการลดค่า U ที่ใช้ทำผนังลง จากการใช้ฉนวนต่างๆที่มีค่าความต้านทานการนำความร้อน (Resistance :R) ให้กับผนัง

ค่า “ A ” โดยการออกแบบพื้นที่ผิวของอาคาร ไม่ให้มีมากเกินไป เช่นมีการหักเหลี่ยม หรือ การหักเข้าออกของอาคารเป็นคั่น โดยที่พื้นที่ใช้สอยไม่ได้เพิ่ม

ค่า “ CLTD ” และค่า “  $\Delta T$  ” ค่าทั้ง 2 ค่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกันมากในทางความหมาย แต่ต่างกันเรื่องเวลาในการนำไปใช้ ค่า  $\Delta T$  จะใช้ในกรณีดังนี้

1. ค่าความแตกต่างของความร้อนระหว่างภายนอกและภายในมีค่าคงที่
2. อิทธิพลภายนอกไม่ให้ผลกระทบที่รุนแรง
3. ใช้คำนวณหาค่า Heat Load ของอาคารในประเทศที่มีอากาศหนาว เพราะค่าอิทธิพลของมวลสารและ Time lag เป็นค่าที่ช่วยลดความเสี่ยงในการคำนวณ

ส่วนค่า CLTD จะมีอิทธิพลของแสงแดดและมวลสารของผนัง และการถ่ายเทความร้อนจากผิวภายนอกเข้าด้วยกัน โดยสูตรการคำนวณที่มีค่าปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้องคือ

$$Q = U * A * CLTD_{corr} \dots \dots \dots (2.8) \quad \text{หรือ}$$

$$Q = CLTD + (25.5 - T_R) + (T_M - 29.4) \dots \dots \dots (2.9)$$

โดยที่

CLTD<sub>corr</sub> = ค่า CLTD corrector

CLTD = ค่าที่ได้จากการจัดกลุ่มประเภทของผนังและตามตำแหน่งของ Latitude month

(25.5 - T<sub>R</sub>) = ค่าปรับแก้ของอุณหภูมิภายในห้อง T<sub>R</sub> = inside temperature ( C )

(T<sub>M</sub> - 29.4) = ค่าปรับแก้ของอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอก T<sub>M</sub> = maximum outdoor temperature - (daily range/2) ( C )

ทั้ง 2 สมการจะพบว่าการคำนวณจะใช้สมการที่ 2.6 ในกรณีที่ค่าความแตกต่างของความร้อนระหว่างภายนอกและภายใน มีค่าคงที่ ( Steady State Condition ) หรืออิทธิพลจากองค์ประกอบภายนอกมีผลกระทบที่ไม่รุนแรงมากนัก ส่วนอีกกรณีหนึ่งที่ใช้สมการที่ 2.6 ในการคำนวณคือเพื่อความสะดวกในกรณีที่มีอัตราเสี่ยงต่ำ ในการคำนวณหาค่า Heat Load ของอาคารในเมืองหนาวซึ่งถือว่ามียุทธวิธีอันเนื่องมาจากมวลสาร การหน่วงเวลาหรืออื่นๆ เป็นเสมือนค่า Safety Factor ในการคำนวณ ส่วนสมการที่ 2.7 ค่า  $\Delta T$  ถูกเปลี่ยนเป็น CLTD เพื่อปรับปรุงให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น เพราะในทางปฏิบัติแล้ว ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารไม่คงที่ แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้การคำนวณหาค่า Peak Load ของอาคารจึงใช้ค่า CLTD แทนค่า  $\Delta T$  จากการศึกษารายละเอียดในการคำนวณจะพบว่าค่า CLTD นั้นเป็นค่าที่คัดแปลงมาจาก  $\Delta T$  หากแต่ปรับให้เข้ากับอิทธิพลจากองค์ประกอบภายนอกเช่น วัน, เวลา, เดือน, เขตละติจูดที่เกิด Peak Load, มวลสารของผนัง, ฝ้าของผนัง, การหน่วงเวลาของผนังและผลกระทบของแสงแดด, อุณหภูมิและสภาพแวดล้อม ซึ่งปัจจัยดังกล่าว นั้นพยายามปรับให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยการคำนวณนั้น ได้พยายามคำนึงถึงตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร (ที่มา:มาตรฐาน American Society of Heating Refrigerating and Air – Condition Engineering (ASHRAE), 1989)

#### 2.4.1 อิทธิพลของความร้อนที่เกิดจากแสงแดด (Sol – Air Effect)

แสงแดดเป็นปัจจัยทางธรรมชาติที่มีอิทธิพลมากต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังที่เข้าสู่อาคาร ผนังเมื่อได้รับความร้อนจากแสงแดดก็จะร้อนขึ้น เนื่องจากการดูดกลืนรังสีความร้อนจากแสงแดด และจากการที่ผนังร้อนขึ้นทำให้การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนของอาคารเปลี่ยนไป และจะใช้ค่าความแตกต่างของความร้อนระหว่างข้างนอกและข้างในหรือ  $\Delta T$  ไม่ได้เพราะค่าที่ได้จะต่ำกว่าความเป็นจริง แต่จะมากหรือน้อยต้องขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง และเพื่อการศึกษอิทธิพลของแสงแดดและองค์ประกอบอื่นๆที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร จึงมีการประยุกต์อิทธิพลของตัวแปรขึ้น โดยสร้างเป็นสมการดังนี้

$$\text{Sol – Air Temperature ( } T_e \text{ )} = T_{out} + I * ( \alpha / h_o ) - \varepsilon * ( \Delta R / h_o ) \dots \dots \dots (2.10)$$

โดยที่

$T_e$  = Sol – Air Temperature

$T_{out}$  = อุณหภูมิอากาศภายนอก ( F )

$I$  = รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด หรือ Total Solar Radiation Incident on the Surface ( BTU / HR. F<sup>2</sup> )

$\alpha$  = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิววัสดุ

$h_o$  = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิว รวมทั้ง Long Wave Radiation และ Convection ( BTU / HR. SF. )

$\Delta R$  = อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า (BTU

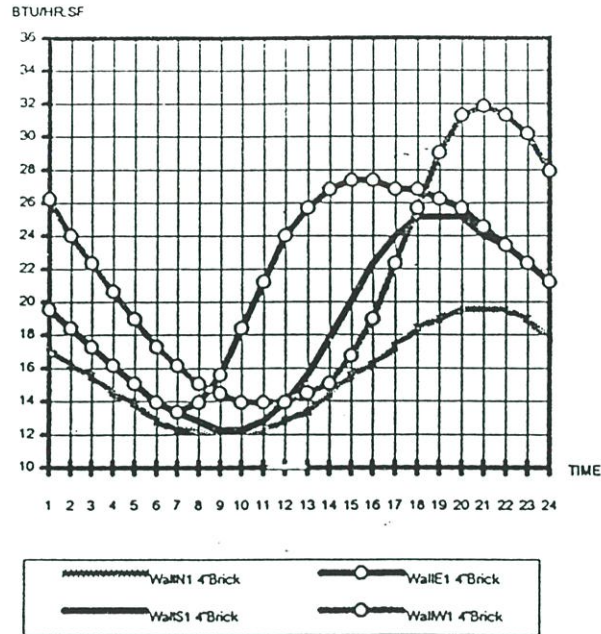
/ HR.F. )

$\epsilon$  = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากผิววัสดุ ( Hemispherical of the Surface )

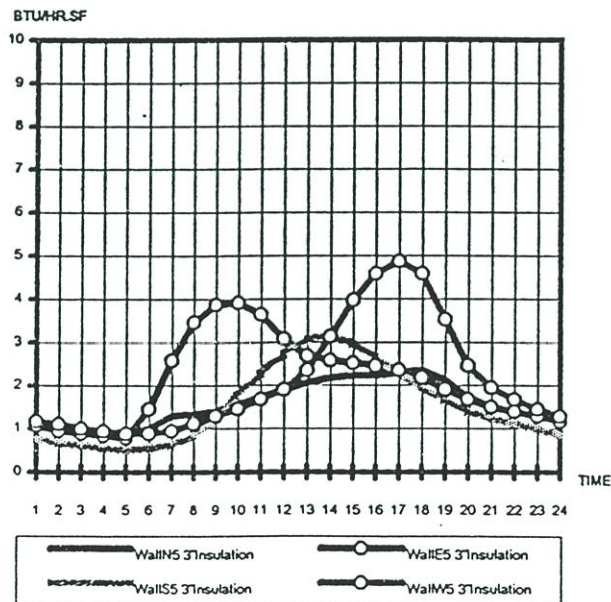
โดยคำจำกัดความแล้ว Sol – Air Temperature คืออุณหภูมิสมมุติของอากาศที่ติดกับผิววัสดุ ในช่วงที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดและการเปลี่ยนแปลงรังสีที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร เทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจริงจากรังสีดวงอาทิตย์ (ที่มา:มาตรฐาน American Society of Heating Refrigerating and Air – Condition Engineering (ASHRAE), 1989)

#### 2.4.2 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่มีอิทธิพลต่อความร้อนของอาคาร ( Solar Geometry and Building Orientation )

ความร้อนที่ส่งผ่านผนังทึบในอาคารที่มีการจัดแบ่งพื้นที่ใช้สอยเป็นห้องๆที่มีตำแหน่งและทิศทางที่ต่างกัน โดยเฉพาะห้องที่อยู่ในทิศทางที่อยู่ตรงกันข้ามนั้น พบว่าจะทำให้ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผนังและกระจกของห้องนั้นๆว่าอยู่ในเวลาใด โดยมีการจำลองตามวิธีการในคู่มือของ “ASHRAE Handbook of Fundamental 1989” โดยทำการเปรียบเทียบเฉพาะเดือนเมษายน ซึ่งเป็นเดือนที่ร้อนที่สุดของประเทศไทย โดยเลือกใช้อุณหภูมิภายในเท่ากับ 75 °F หรือประมาณ 23.6 °C และอุณหภูมิภายนอกเท่ากับ 99 °F หรือประมาณ 37 °C สำหรับประเทศไทย และเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังทึบแบบ Light Mass เช่นผนัง EIFS และ Heavy mass ( ผนังก่ออิฐหนา 4 นิ้ว ) โดยเปรียบเทียบผนังระหว่างทิศทั้ง 4 ได้ผลดังรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเข้ามาทั้ง 4 ทิศพบว่า ปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้ามาคือผนังทางด้านทิศตะวันตก รองลงมาคือทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศเหนือ ตามลำดับและเวลาที่เกิดของแต่ละทิศมีเวลาที่แตกต่างกัน ช่วงเวลาที่ Peak heat gain ที่เกิดขึ้นจะเกิดหลังจากเวลา 12.00 น. ไปแล้ว



รูปที่ 2.17 แสดง Heat Gain Comparison ของผนังอิฐหนา 4 นิ้ว ในแต่ละทิศของเดือนเมษายน



ที่มา: สุนทร บุญญาริการ ,การเลือกวัสดุเพื่อการประหยัดพลังงาน,2534

รูปที่ 2.18 แสดง Heat Gain Comparison of Lightweight-wall ในแต่ละทิศของเดือนเมษายน

จากที่กล่าวมาแล้วว่าค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านเข้ามาในระดับต่างๆ ที่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ซึ่งปัจจัยภายนอกหลักที่สำคัญคือ Solar radiation และอุณหภูมิที่เกิดขึ้น เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการนำความร้อนผ่านผนังที่บดทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยมีปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิคือ

1. ชนิดของวัสดุ (มวลและความหนาแน่นของวัสดุ หรือคุณสมบัติเชิงมวล)
2. สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนัง (α)
3. มุมองศาที่กระทำกับแสงแดด และช่วงเวลาในแต่ละวัน
4. ตำแหน่งของทิศทางการวางอาคาร
5. การออกแบบอาคาร

เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้งหลาย เกิดเป็นแนวคิดของค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่า (TD<sub>eq</sub>) มาใช้ในการคำนวณค่าการนำความร้อนในสมการ  $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$  ที่ Steady State จะได้ว่า  $Q = U \cdot A \cdot TD_{eq}$  เพื่อเอาไว้ใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อการคำนวณค่าปริมาณความร้อน

ตารางที่ 2.8 แสดงรายการวัสดุและสีที่ทาผนังแยกตามระดับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผนัง  
ดวงอาทิตย์

ประเภทผิววัสดุที่ใช้ ทำผนังด้านนอก	วัสดุผนัง	สีที่ใช้ทาภายนอก
1. วัสดุที่มีผิวสะท้อนแสง [ $\alpha < 0.2$ ]	- ผิววัสดุที่ฉาบด้วยฉนวน - แผ่นอลูมิเนียม - แผ่นฟิล์มไมลาร์เคลือบอลูมิเนียม - แผ่นสะท้อนแสงทำด้วยอลูมิเนียมขัดมัน	- สีสะท้อนแสง
2. วัสดุที่มีผิวอ่อน [ $0.2 < \alpha < 0.4$ ]	- อิฐเคลือบเป็นมันขาว - เหล็กชุบสังกะสีทาสีขาว	- แลคเกอร์สีขาว - สีเงิน - สีขาวเป็นเงา
3. วัสดุที่มีผิวสีปานกลาง [ $0.4 < \alpha < 0.6$ ]	- วัสดุที่ทำสีอลูมิเนียม - หลังคาประกอบขึ้นรูปสีขาว - อิฐสีเหลืองอ่อน - หินอ่อนสีขาว - กรวดล้างสีขาว	- สีเขียวอ่อน - สีน้ำเงินปานกลาง - สีเหลืองปานกลาง - สีส้มปานกลาง - สีเขียวปานกลาง
4. วัสดุที่มีผิวสีค่อนข้างเข้ม [ $0.6 < \alpha < 0.8$ ]	- คอนกรีตไม่ทาสี - ไม้ผิวเรียบ - ซิเมนต์แอสเบสทอส - หินล้างสีเทา	- สีแดง - สีน้ำเงิน - สีเทาอ่อน - สีสนิมแก่ปานกลาง

5. วัสดุที่มีผิวสีเข้ม [0.8 < $\alpha$ < 1.0]	- วัสดุที่ลาดผิวด้วยยางมะตอย	- สีน้ำเงินแก่, เขียวแก่
	- คอนกรีตสีน้ำตาล	- สีเทาแกมน้ำเงินเข้ม
	- วัสดุผนังหลังคาสีเขียว	- สีน้ำตาลแก่
	- หินชนวนสีเทาแกมน้ำเงิน	- สีโอลีฟเข้ม
	- อิฐสีแดง	- สีดำ
	- อิฐแอสฟัลต์สีน้ำเงิน	- แลคเกอร์สีน้ำเงิน แก่
	- คอนกรีตสีดำ	- สีเทาแก่
		- แลคเกอร์สีดำ
		- สีดำธรรมชาติ
		- สีดำเรียบมาก

ค่า  $\alpha$  คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์

ตารางที่ 2.9 แสดงค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ ) ของผนังทึบ

มวลของผนัง (กก./ตร.ม.)	ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ )				
	ระดับค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ ( $\alpha$ )				
	0.1 (0-0.2)	0.3 (0.2-0.4)	0.5 (0.4-0.6)	0.7 (0.6-0.8)	0.9 (0.8-1.0)
0-125	14	15	16	17	18
126-195	11	12	13	14	15
เกินกว่า 195	9	10	11	12	13

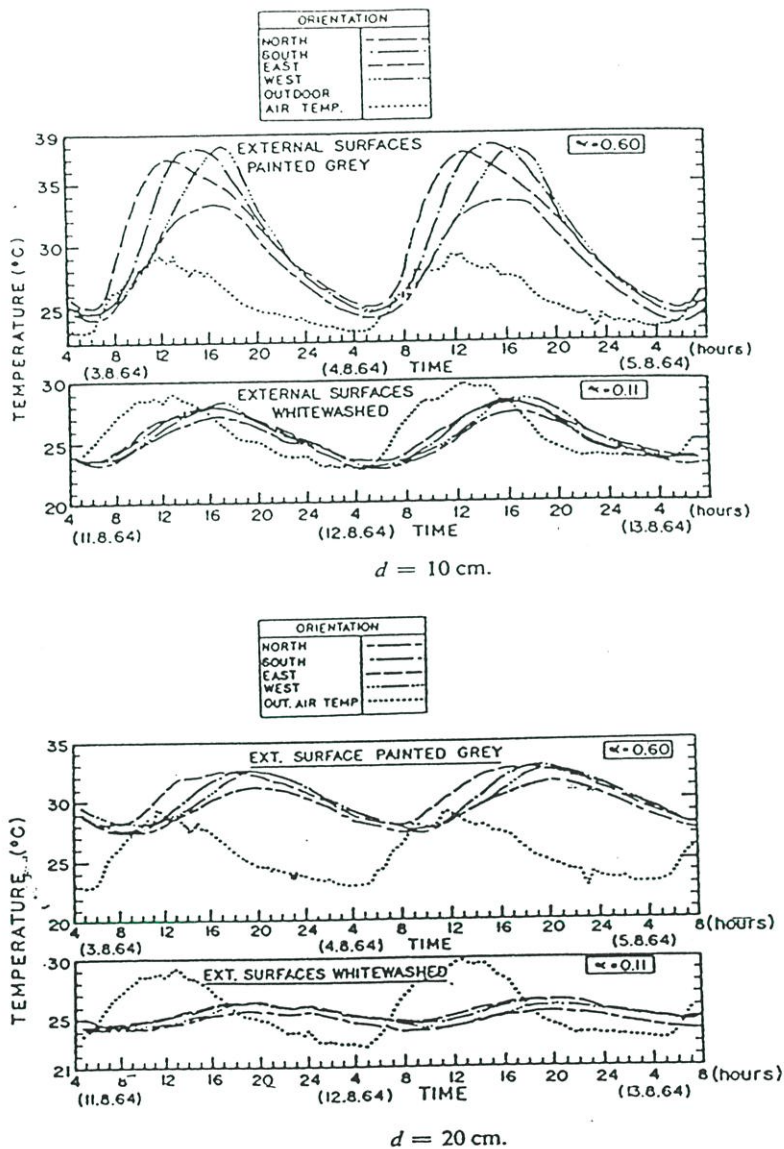
ค่า  $\alpha$  คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์

ที่มา : หนังสือข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบและการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารควบคุมเพื่อการอนุรักษ์ พลังงาน, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร

### 2.4.3 รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านกระจก

ผนังของอาคารในด้านที่มีลักษณะเป็นวัสดุโปร่งแสง (Translucents) จะได้รับอิทธิพลของการส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ ในคุณสมบัติของรังสีคลื่นสั้น (Short wave radiation) ที่สามารถทะลุผ่านวัสดุโปร่งแสงเข้ามาในอาคาร พลังงานจากแสงอาทิตย์นี้ จะถูกเก็บสะสมไว้ในมวลสารของอาคาร (Thermal mass) จนมีอุณหภูมิที่สูงกว่าสภาพโดยรอบก็จะแผ่พลังงานความร้อนออกมา ทำให้เกิด Cooling load แก่อาคาร ด้วยสภาพเช่นนี้ทำให้อุณหภูมิของผนังอาคาร ในแต่ละทิศที่มีลักษณะดังกล่าวจะเกิดความแตกต่างกันในการเกิด Heat gain โดยสัมพันธ์กับตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ ได้มีการแสดงการเปรียบเทียบ Cooling load (จาก Radiation และ Conduction ที่

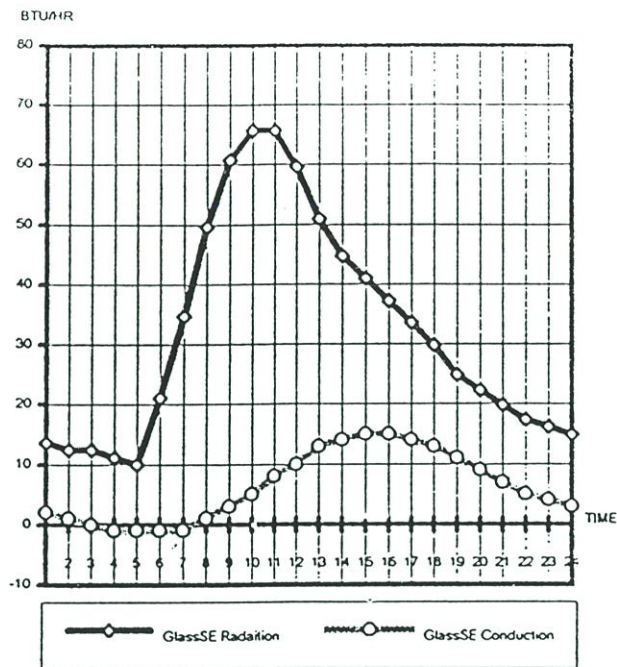
ผ่านกระจก) ภายในอาคาร ระหว่างกระจกในด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้กับทิศตะวันออกเฉียงใต้ พบว่ากระจกในทิศทั้งสองมีความแตกต่างกันของเวลาที่เกิด Peak heat gain



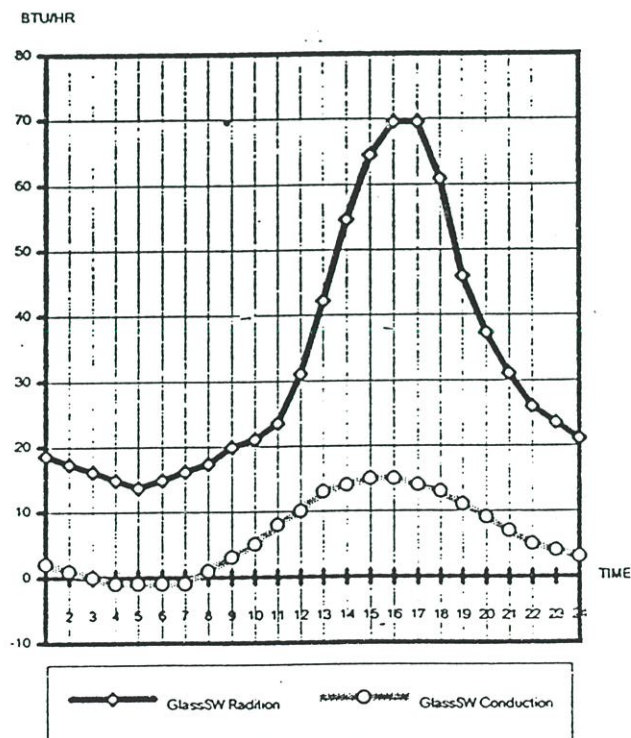
การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวของผนังภายใน ที่เป็นผนัง Light weight concrete หนา 10 และ 20 ซม. โดยมีทิศทางนอก และทิศทางที่แตกต่างกัน

ที่มาจาก : B. Givoni and E. Hoffman, Effect of orientation of walls and windows on indoor climate, Research Report, B.R.S., Technion, Haifa, 1965. P., 200

รูปที่ 2.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิผิวของผนังภายใน ในทิศต่าง ๆ



รูปที่ 2.20 แสดงปริมาณ Cooling load ภายในอาคารที่ผ่านกระจกด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้



แสดงการเปรียบเทียบ Cooling load ภายในอาคารอันเนื่องมาจาก Radiation และ Conduction ที่ผ่านกระจกทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของอาคารที่มีความจุความร้อนสูง (Heavy Mass) โดยหน้าต่างเป็นกระจกใสไม่มีม่านหรืออุปกรณ์บังแดด

รูปที่ 2.21 แสดงปริมาณ Cooling load ภายในอาคารที่ผ่านกระจกด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้

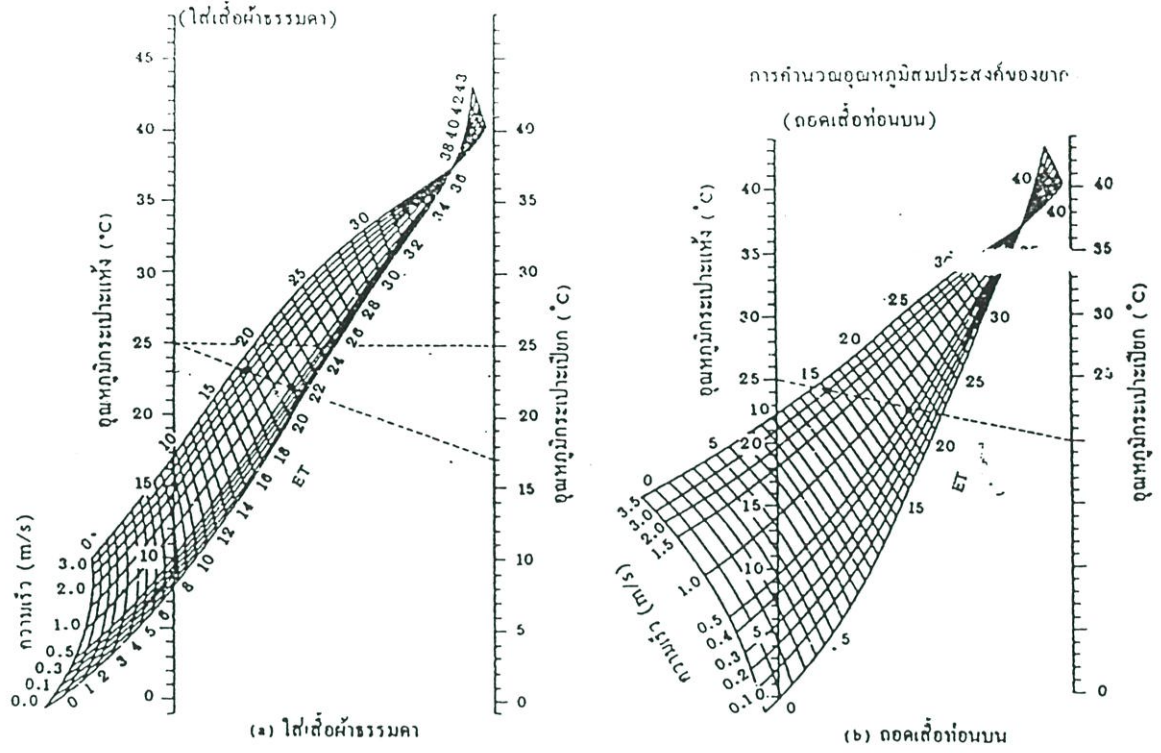
## 2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการปรับอากาศ (Air Conditioning Fundamentals)

การปรับอากาศคือการกระทำต่ออากาศเพื่อที่จะควบคุมให้อุณหภูมิและความชื้นของอากาศได้เป็นไปตามความต้องการของที่นั้น ๆ และพร้อม ๆ กันไปก็จะต้องควบคุมความบริสุทธิ์และการเคลื่อนไหวของอากาศด้วย โดยทั่วไปแล้ว การปรับอากาศอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1. การปรับอากาศเพื่อความสบายเป็นการปรับอากาศที่มุ่งส่งเสริมสุขภาพ ความสบายและประสิทธิภาพในการทำงานของผู้เป็นที่อาศัยหรือทำงานอยู่ในที่นั้น
2. การปรับอากาศเพื่อการอุตสาหกรรม เป็นการปรับอากาศเพื่อควบคุมภาวะบรรยากาศในกระบวนการผลิต ในการทำงานวิจัย และการเก็บรักษาผลผลิตต่าง ๆ

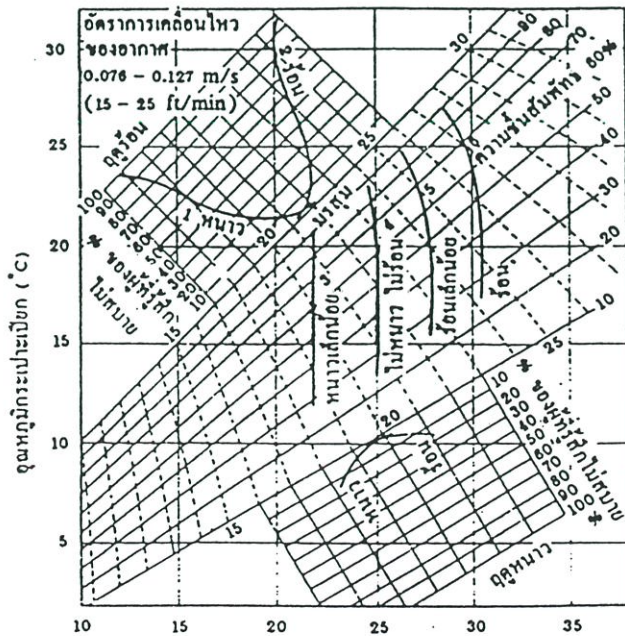
### 2.5.1 หลักการของความสบาย ( Principle of comfortability)

ถ้าหากคนต้องอยู่ภายในห้องที่ถูกปิดมิดชิดสักช่วงหนึ่ง จะเริ่มรู้สึกไม่สบายและอึดอัดเกี่ยวกับข้อสังเกตนี้ Lavoisier นักเคมีได้อธิบายเมื่อปี ค.ศ 1777 ว่า การเพิ่มความหนาแน่นของก๊าซ  $\text{CO}_2$  ในห้องจากการหายใจของคน ทำให้คนรู้สึกอึดอัด ในขณะที่ Max von Pattenkofer นักสุขศาสตร์ กลับมีความเห็นแตกต่างไป เขาได้เสนอทฤษฎีของเขาในปี ค.ศ 1858 ว่าคนหายใจสารที่เป็นพิษออกมาเป็นสัดส่วน โดยตรงกับปริมาณของก๊าซ  $\text{CO}_2$  ในปี ค.ศ 1905 นักสุขศาสตร์ชื่อ Frugge ได้เสนอทฤษฎีที่ยังคงใช้ได้ยาวนานจนถึงปัจจุบันว่าร่างกายของคนอาจเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์สันดาปภายในที่จะต้องภายในที่จะต้องถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการทำงาน ถ้าความร้อนนี้ไม่สามารถระบายออกไปจากร่างกายได้เนื่องจากอุณหภูมิโดยรอบที่สูง ก็จะมีผลทำให้รู้สึกอึดอัดไม่สบาย และต่อมาได้มี การทดลองขึ้นโดย Yaglou และผู้ช่วยเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิและความชื้นต่อความรู้สึกสบายในปี ค.ศ 1923 Yaglou ได้สร้างห้องที่สามารถควบคุมภาวะอากาศได้ขึ้นมา 2 ห้อง เพื่อใช้ทดลองหาภาวะของอากาศที่คนจะรู้สึกสบาย ในห้องแรกอากาศหนึ่งและมี ความชื้น 100 % Yaglou ปรับหาค่าอุณหภูมิความชื้น และการเคลื่อนไหวของอากาศในห้องที่สอง ตามที่คนเข้ามาจากห้องแรก ตัดสินว่าภาวะบรรยากาศทั้งสองห้องให้ความรู้สึกอบอุ่นกับเขาเท่าเทียมกัน คำนี้เรียกว่า อุณหภูมิสมประสงค์ (Effective Temperature : E.T.) ตามความเป็นจริงแล้ว การเคลื่อนไหวของอากาศภายในห้องมีน้อยมาก จนกระทั่งสามารถที่จะกำหนดจุด E.T. โดยใช้ เฉพาะค่าของอุณหภูมิและความชื้น



ที่มา: โปญลย์ หังสพฤกษ์ และ อีเอช ไซโต, การปรับอากาศ ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม 2538

รูปที่ 2.22 แสดงค่าอุณหภูมิสมประสงค์



รูปที่ 2.23 แสดงค่าอุณหภูมิสมประสงค์สำหรับอากาศนี้

สำหรับการปรับอากาศในฤดูร้อน หรือในเมืองร้อน เป้าหมายค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DB) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH) คือ

$$DB = 27^{\circ}\text{C} \quad RH = 50 - 55\% \text{ สำหรับอาคารและบ้านอยู่อาศัยโดยทั่วไป (I.1)}$$

$DB = 26^{\circ}\text{C} \quad RH = 50 - 55\%$  สำหรับอาคารสูง และอาคารที่ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีค่อนข้างมาก

แต่ทั้งนี้ค่าของ “ DB ” อาจจะต้องลดมากกว่านี้เพื่อให้รู้สึกสบาย ซึ่งเป็นผลมาจากการที่อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุโดยรอบผู้อยู่อาศัยมีค่าสูงกว่า “ DB ” ภายในห้องมากกว่าปกติ และมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิผิวกายของคนด้วย โดยจะทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนมาที่ตัวคน จึงทำให้ต้องมีการลดอุณหภูมิลงไปมากกว่าค่าที่กำหนด ในลักษณะของการเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวนี้ ถูกเรียกว่า ความร้อนจากการแผ่รังสี หรือ Mean radiant temperature (MRT)

### 2.5.2 ภาระความร้อน (Heat Load) และระบบปรับอากาศ

ภาระความร้อนมักจะแบ่งเป็นประเภทตามสถานที่ที่ได้รับความร้อน คือ ภาระความร้อนห้อง ( room heat load ) และภาระความร้อนอุปกรณ์ ( apparatus heat load )

ก) ภาระความร้อนของห้อง ( Room heat load ) เช่น ความร้อนสัมผัสแผ่  $H_r$  และความร้อนแผ่  $H_L$  ในรูปที่ 2.18 เป็นปริมาณความร้อนที่อากาศจากเครื่องทำความเย็นได้รับ เพื่อที่จะให้ได้อุณหภูมิภายในห้องตามที่ต้องการ

- 1) ความร้อนที่เข้ามาภายในห้องจากภายนอก (ภาระความร้อนภายนอก)
- 2) ความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในห้อง (ภาระความร้อนภายใน)

ข) ภาระความร้อนอุปกรณ์ ( Apparatus heat load ) คือปริมาณความร้อนที่เครื่องปรับอากาศได้รับ เพื่อที่จะให้อากาศที่เป่าออกไปจากเครื่องมีอุณหภูมิและความชื้นตามที่กำหนด

- 1) ภาระความร้อนห้อง (ดังที่กล่าวข้างต้น)
- 2) ภาระความร้อนจากอากาศใหม่
- 3) ภาระความร้อนจากกำลังที่ใช้ขับพัดลมและอื่น ๆ
- 4) ภาระความร้อนที่รั่วไหลเข้ามาทางท่อลม

ภาระความร้อนห้อง และภาระความร้อนอุปกรณ์ มักจะแบ่งแยกออกเป็นความร้อน สัมผัส และความร้อนแผ่ ความร้อนแผ่เป็นความร้อนของการระเหยของน้ำมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำที่ระเหย (kg/h) x 597.3 (kcal/kg)

### 2.5.3 การคำนวณและคาดคะเนภาระความร้อน (Heat Load Calculation and Estimation)

การคำนวณภาระความร้อนอาจแบ่งออกได้ตามจุดประสงค์ 2 วิธี

ก) การคำนวณภาระความร้อนสูงสุด ( Peak Heat Load Calculation ) เพื่อตัดสินขนาดของเครื่องปรับอากาศ

### ข) การคำนวณภาระความร้อนเทอม ( Term Heat Load Calculation )

ในกรณีการคำนวณภาระความร้อนสูงสุด ให้สมมติว่าภาวะที่ไม่พึงประสงค์ที่สุด ความร้อนที่ไหลเข้าไปในห้องปรับอากาศ เรียกว่า ความร้อนเพิ่ม ( heat gain ) ซึ่งการคำนวณภาระความร้อนเพิ่ม เช่น

- 1) การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านหน้าต่างเข้ามาในห้องทำให้พื้นและวัตถุอื่น ๆ ร้อนขึ้นแล้วถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศภายในห้อง นั้นหมายความว่า ความร้อนเพิ่มจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์มีช่วงที่ช้า ก่อนที่จะมาเป็นภาระความร้อน มีผลให้ภาระความร้อนเบื้องต้น ( Primary load ) น้อยลงไปกว่าค่าที่คาดหมายไว้ก่อน
- 2) การคำนวณความร้อนเพิ่มมาตรฐานเป็นการคำนวณเมื่ออุณหภูมิภายในห้องคงที่ ที่ภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่แน่นอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่จริงๆแล้วความร้อนจะถูกเก็บไว้ในพื้นและวัตถุอื่น ๆ ในระหว่างวันหยุดเมื่อเครื่องปรับอากาศไม่ทำงาน ฉะนั้นความร้อนดังกล่าว จึงควรนำไปรวมเข้ากับค่าการคำนวณความร้อนเพิ่มมาตรฐานด้วยการคำนวณในข้อ 1 และ 2 เรียกว่า การคำนวณภาระความร้อนสะสม (Storage heat load Calculation ) ในการคำนวณ Heat load หรือ Cooling Load นี้จะยึดถือ ตามวิธีการของ ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration Air-Conditioning Engineers Inc.) ซึ่งตีพิมพ์ไว้ในหนังสือ Fundamentals Handbook เป็นส่วนใหญ่

ในการคำนวณภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ จำเป็นต้องทราบถึงความแตกต่างของอัตราการไหลของความร้อน 4 ประเภท ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน และแปรเปลี่ยนไปตามเวลา ได้แก่

- Space Instantaneous Heat Gain
- Space Cooling Load
- Space Heat Extraction Rate
- Cooling Coil Load

**Space Instantaneous Heat Gain** คือ อัตราการส่งผ่านความร้อนเข้าไป และ/หรือที่เกิดขึ้นภายใน Space โดยทันที ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง แบ่งได้เป็น 6 ลักษณะ คือ

1. การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านพื้นผิวที่มีลักษณะ โปร่งใส เช่น กระจก
2. การนำความร้อนผ่านตำแหน่งด้านนอก และหลังคา
3. การนำความร้อนผ่านผนังภายใน ฝ้าเพดาน และพื้น
4. ความร้อนที่เกิดขึ้นภายใน Space เนื่องจากผู้อยู่อาศัย ดวงโคม อุปกรณ์ไฟฟ้า ฯลฯ
5. ความร้อนจากการนำอากาศภายนอกเข้ามาระบาย
6. ความร้อนอื่น ๆ

ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้ แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

- ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ทำให้เกิดการเพิ่มของอุณหภูมิภายใน Space
- ความร้อนแฝง (Latent heat) ทำให้เกิดการเพิ่มประมาณความชื้นของอากาศภายใน

**Space Cooling Load** คือ อัตราการนำความร้อนจาก Space เพื่อรักษาอุณหภูมิให้คงที่ โดยทั่วไปแล้ว Space Cooling Load ณ เวลาใดเวลาหนึ่งจะน้อยกว่าผลรวมของ Space instantaneous heat gain ณ. ขณะนั้น Instantaneous heat gain แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่หนึ่ง เป็นการนำความร้อนผ่านเนื้อวัสดุโดยรอบ Space หรือเกิดจากการนำอากาศภายนอกเข้ามาใน Space ความร้อนเหล่านี้ จะกลายเป็น Cooling load ในทันที เนื่องจากการพาความร้อนของอากาศออกจากผิวหน้าของวัสดุ

ส่วนที่สอง เป็นการแผ่รังสีจากแสงแดด ตัวคน อุปกรณ์ไฟฟ้า ดวงไฟ เป็นต้น ความร้อนนี้ จะไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายใน Space จนมีอุณหภูมิพื้นผิวสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเสียก่อน ความร้อนบางส่วนจึงจะกลายเป็น Cooling Load โดยการพาความร้อน ขบวนการนี้ เรียกว่า Thermal Storage ทำให้เกิด Time Lag มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ Heat capacity ของวัสดุ

**Space Heat Extraction Rate** คืออัตราการนำความร้อนออกจาก Space โดยยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายใน Space ได้ อุปกรณ์ควบคุมโดยทั่วไป จะทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานและหยุดเป็นพัก ๆ ตลอดเวลา จึงทำให้อุณหภูมิของอากาศภายใน Space เปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ต้องการบ้าง ข้อเท็จจริงในเรื่องนี้สามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ได้ เช่น ทำการเดินเครื่องปรับอากาศให้นานขึ้นในช่วงก่อนและหลังการเกิด Peak load จะทำให้สามารถเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเล็กกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ Cooling load ซึ่งนอกจากจะทำให้ราคาของระบบปรับอากาศลดลงแล้ว ยังช่วยประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้อีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพการทำงานของตัวเครื่องที่ Peak load จะดีขึ้น

**Cooling Coil Load** คืออัตราการนำความร้อนออกจาก Space ที่คล้ายความเย็น ในกรณีของเครื่องปรับอากาศแบบ Central System Cooling Coil Load จะเท่ากับผลรวมของ Cooling Load หลาย ๆ ห้อง (หรือเท่ากับผลรวมของ Heat extraction ของแต่ละห้อง หากยอมให้อุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนแปลงได้บ้าง) บวกกับความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบจ่ายความเย็น เช่น ท่อลมและปริมาณความร้อนจากการนำอากาศบริสุทธิ์ภายนอกเข้ามาภายในอาคาร

## 2.5.4 Cooling Load จากแหล่งกำเนิดความร้อนภายนอกห้องปรับอากาศ

2.5.4.1 Cooling Load อันเนื่องมาจากความร้อนผ่านหลังคาและผนัง  
ความร้อนที่ส่งผ่านหลังคาและผนังประกอบด้วย 2 ส่วน

1. เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างด้านนอก และด้านในของหลังคาหรือผนัง
2. เกิดจากรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นผิว

ASHRAE ได้รวมเอาความร้อนทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน โดยใช้หลักการของ Sol air temperature (อุณหภูมิของอากาศภายนอก ซึ่งหากไม่มีการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนใด ๆ แล้ว จะทำให้อัตราการส่งผ่านความร้อนผ่านผิววัตถุเท่ากับสภาพเป็นจริง ซึ่งเกิดจากการตกกระทบของรังสีจากดวงอาทิตย์ การแลกเปลี่ยนรังสีกับท้องฟ้าและสิ่งต่าง ๆ โดยรอบรวมทั้งการนำความร้อนจากอากาศภายนอกด้วย) เพื่อให้สะดวกในการคำนวณ โดยใช้สูตร

$$Q = U * A * \Delta T \dots \dots \dots (2.11)$$

แต่โดยที่หลังคาและกำแพงที่ทำจากวัสดุต่างชนิดมี Storage function ต่างกันด้วย ASHRAE จึงได้ทำการแก้ไขค่า Sol air Temperature นี้ โดยการใช้ Transfer function method เพื่อให้ได้ค่า  $\Delta T$  สำหรับการคำนวณ Cooling Load ที่แท้จริงของวัสดุต่าง ๆ กัน อุณหภูมินี้เรียกว่า Cooling Load Temperature Difference (CLTD)

ค่า CLTD ในคำนวณจากสมมุติฐาน ต่อไปนี้

- ก. อุณหภูมิอากาศภายนอก = 95 F อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวัน = 85 F , Daily range = 21 F
- ข. อุณหภูมิอากาศภายใน = 78 F
- ค. ความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์ คิดที่เดือน กรกฎาคม เส้นรุ้ง 40 N
- ง. สีของหลังคาและกำแพงเป็นสีเข้ม

ดังนั้นก่อนนำค่า CLTD ในตารางมาใช้คำนวณ Cooling Load ในประเทศไทย จึงต้องทำการปรับแก้ค่า CLTD ของทั้งสองตารางโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$CLTD_{\text{correction}} = [(CLTD + LM) * K + (78 - Tr) + (To - 85)] * f \dots \dots \dots (2.12)$$

โดยที่ :

$CLTD_{\text{correction}}$  = ค่า CLTD ที่ถูกปรับแก้แล้ว (F)

CLTD = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิ ได้จากตาราง (F)

LM = ค่าปรับแก้สำหรับตำแหน่งละติจูด และเดือนที่ใช้คำนวณ

K = ค่าสีของพื้นผิว โดยมีค่าดังนี้

= 1.0 สำหรับสีเข้ม หรือสีอ่อนที่ตั้งอยู่ในเขตอุตสาหกรรมที่มีมลภาวะ

= 0.5 สำหรับหลังคาสีอ่อน ที่ตั้งอยู่ในเขตที่ไม่มีมลภาวะ หรือเขตเกษตรกรรม

= 0.65 สำหรับผนังสีอ่อน ที่ตั้งอยู่ในเขตที่ไม่มีมลภาวะ หรือเขตเกษตรกรรม

Tr = อุณหภูมิภายในห้อง (F)

To = อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (F) หาได้จากสมการต่อไปนี้

To = อุณหภูมิภายนอกสูงสุด - [(อุณหภูมิภายนอกสูงสุด - อุณหภูมิภายนอกต่ำสุด) / 2]

f = ค่าปรับแก้สำหรับการระบายอากาศในเพดาน (เฉพาะกรณีของหลังคาเท่านั้น) มีค่าดังนี้

- = 0.75 สำหรับพัดลมระบายอากาศใต้หลังคา
- = 1.0 กรณีที่ไม่มีการระบายอากาศ

2.5.4.2 Cooling Load อันเกิดจากการนำความร้อน และการส่งผ่านรังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจก

เมื่อรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์กระทบพื้นผิวกระจกจะมีการส่งผ่านของความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายใน Space 3 ส่วนคือ

- ก. ความร้อนเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายนอกและภายใน
- ข. ความร้อนเนื่องจากรังสีที่ทะลุผ่านกระจก
- ค. ความร้อนที่สะสมอยู่ในเนื้อกระจก

ความร้อนในข้อ ข. และ ค. จะเกิดเฉพาะเมื่อถูกแดด ไม่ว่าจะเป็แสงโดยตรง (Direct sun ray) หรือเป็นแสงกระจาย (Diffuse sun ray) ส่วนความร้อนในข้อ ก. นั้นเกิดขึ้นตลอดเวลา ทรายเท่าที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงกว่าภายใน ไม่ว่าจะกระจกจะถูกแดดหรือไม่ก็ตาม ASHRAE ได้แยกการคำนวณอันเนื่องจากแสงแดดผ่านกระจกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การนำความร้อน คิดเฉพาะความร้อนในข้อ ก. เพียงอย่างเดียว
2. การส่งผ่านรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ เป็นการรวบรวมความร้อนในข้อ ข. และ ค. เข้าด้วยกัน

1. การนำความร้อนผ่านกระจก การคำนวณปริมาณความร้อนเนื่องจากการนำผ่านพื้นผิวกระจก ใช้สูตรพื้นฐาน คือ  $Q = U * A * \Delta T$  แต่เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ได้คิดถึงผลการถ่ายเทความร้อน 2 ขบวนการเข้าด้วยกันคือ

- ก. การนำความร้อน และการแลกเปลี่ยนรังสีคลื่นยาวระหว่างภายนอกและภายใน
- ข. การนำความร้อนผ่านเนื้อกระจก

ดังนั้น  $\Delta T$  จึงมิใช่ผลต่างโดยตรงของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน Space แต่ต้องทำการแก้ไข โดยใช้ Transfer function method ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่า CLTD และสูตรที่ใช้ในการคำนวณจะเปลี่ยนเป็น

$$Q = U * A * CLTD \dots \dots (2.13)$$

ค่า CLTD ในตารางสร้างจากสมมุติฐานเดียวกับข้อ ก ข และ ค ในการคำนวณ หากสภาพอากาศ ณ ที่ตั้งของอาคารแตกต่างจากสมมุติฐานนี้ แล้วจะต้องทำการแก้ไขค่า CLTD ให้ถูกต้อง

2. การส่งผ่านรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ผ่านกระจกASHRA ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองหาค่า Solar Heat Gain Factor (SHGF) สำหรับทุกเดินในทิศต่าง ๆ 17 ทิศ ณ เส้นรุ้งตั้งแต่ 0 เป็นต้นไปโดยใช้กระจกใสที่มีความหนา 0.125 นิ้ว ชนิด Double Strength. แต่เนื่องจากกระจกและเครื่องบัง

แดทที่ใช้กันทั่วไปมีมากมายหลายชนิด ASHRAE จึงได้จัดทำตาราง เพื่อแสดงค่าตัวคูณซึ่งเรียกว่า “Shading Coefficient (SC)” สำหรับกระจกและเครื่องบังแดดแต่ละชนิดเพื่อใช้คำนวณหาค่า “SHGF” ที่แท้จริงเมื่อเปรียบกับค่า SHGF ของกระจกใสชนิด Double Strength โดยที่รังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านเข้ามาภายในห้อง มิได้กลายเป็นความร้อนในทันที จนกว่าวัสดุที่อยู่ภายในจะดูดกลืนรังสีเหล่านั้นไว้ และมีอุณหภูมิพื้นผิวสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศภายในห้องเสียก่อน ASHRAE จึงใช้ Transfer function method จัดทำตารางที่เรียกว่า Cooling load factor (CLF) สำหรับคำนวณหาค่า Cooling load ณ.เวลาต่าง ๆ ตลอด 24 ชั่วโมง แล้วแต่ว่าจะมีเครื่องบังแดดอยู่ด้านหลังกระจกหรือไม่ ซึ่งจะสังเกตได้ว่า

- ก. หากใช้เครื่องบังแดดด้านหลังกระจก รูปแบบของ Cooling load ในแต่ละทิศทาง ณ. เวลา ต่าง ๆ เกือบจะคล้อยตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ กล่าวคือ เวลาใดที่แดดส่องถูกกระจกมาก Cooling load ณ. เวลานั้นก็จะมากตามไปด้วย
- ข. หากไม่ใช้เครื่องบังแดดด้านหลังกระจก รูปแบบของ Cooling load จะกระจายออกไปและมักจะสูงสุดเมื่อดวงอาทิตย์ได้เคลื่อนที่ผ่านกระจกในแต่ละทิศทางไปแล้ว ส่วนจะนานเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร

สูตรการคำนวณ Cooling load เนื่องจากรังสีจากดวงอาทิตย์ คือ

$$Q = A * SC * SHGF * CLF \dots \dots \dots (2.14)$$

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อน (TU/HR)

A = พื้นที่กระจกสุทธิ (F<sup>2</sup>)

SC= Shading Coefficient (ไม่มีหน่วย)

SHGF = Solar Heat Gain Factor ( BTU.HR/F<sup>2</sup>)

CLF = Cooling Load Factor ( ไม่มีหน่วย )

2.5.4.3 Cooling Load อันเนื่องมาจากความร้อนผ่านผนังภายใน เพดาน และพื้น

หากห้องที่มีการปรับอากาศตั้งอยู่ติดกับห้องอื่น ๆ ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าแล้ว ความร้อนจะถ่ายเทผ่านผนังภายในเพดานและพื้นเข้ามา ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Q = U * A * (T_b - T_i) \dots \dots \dots (2.15)$$

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อน (BTU/HR)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง พื้น หรือเพดาน ( BTU.HR/ft<sup>2</sup> .F )

A = พื้นที่ของผนัง พื้น หรือ เพดานที่มีการส่งผ่านความร้อน (m<sup>2</sup>)

T<sub>b</sub> = อุณหภูมิเฉลี่ยของห้องข้างเคียง ( F )

$T_i$  = อุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ ( F )

อุณหภูมิ  $T_b$  ควรวัดจากที่เป็นจริง หากไม่สามารถกระทำได้ ให้ถือเอาตัวเลขประมาณคร่าว ๆ ดังนี้

- ก. ถ้าห้องข้างเคียงเป็นครัว หรือห้อง Boiler ค่า  $T_b$  จะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 15 – 50 F
- ข. ถ้าห้องข้างเคียงไม่มีแหล่งกำเนิดความร้อน  $T_b$  จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 5 F
- ค. ถ้าพื้นวางอยู่บนดินหรือมีห้องใต้ดินที่ไม่มีการระบายอากาศ  $T_b = T_i$

## 2.5.5 Cooling Load จากแหล่งกำเนิดความร้อนภายในห้องปรับอากาศ

### 2.5.5.1 Cooling Load อันเนื่องมาจากความร้อนของดวงไฟแสงสว่าง

มักเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนที่สำคัญที่สุด สำหรับอาคารทั่วไปค่าความร้อนนี้สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Q = 3.413 * ( \text{จำนวน Watt ของดวงไฟทั้งหมด} ) * \text{Use factor} * \text{Allowance factor} \dots (2.14)$$

โดยที่

3.413 คือตัวแปลงหน่วยจาก 1 Watt = 3.413 BTU/HR โดยจำนวน Watt ของดวงไฟทั้งหมดสามารถหาได้จากแบบไฟฟ้าของอาคาร

Use factor คือ อัตราส่วนจำนวน Watt ของดวงไฟที่เปิดใช้งานจริงต่อจำนวน Watt ของดวงไฟที่ติดตั้งทั้งหมด โดยทั่วไปมักมีค่าเป็น 1.0

Allowance factor คือ ตัวคูณสำหรับความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้งานควบคู่กับดวงไฟ เช่น Ballast ของหลอด Fluorescent ซึ่งมีค่า = 1.20

ดวงไฟทุกชนิดจะให้ความร้อนส่วนหนึ่งออกมาในรูปการแผ่รังสี ซึ่งจะกลายเป็น หลังจากที่วัสดุต่าง ๆ ภายในห้องได้ดูดกลืนรังสีเหล่านี้ไว้จนมีอุณหภูมิพื้นผิวสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องเสียก่อน ลักษณะคล้าย Cooling Load กับความร้อนที่ส่งผ่านกำแพง หลังคา หรือกระจกตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นในการคำนวณ Cooling Load จึงต้องใช้ตัวคูณ Cooling Load Factor เช่นกัน แต่เนื่องจากอาคารโดยทั่ว ๆ มักหยุดเครื่องปรับอากาศพร้อมกับดับไฟทุกดวงหลังเลิกงานแล้ว หากดูจากรูปที่ 2.19 จะเห็นว่าความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงไฟส่วนที่ดูดกลืนโดยวัสดุภายในห้อง แม้จะไม่กลายเป็น Cooling Load ในวันแรก แต่จะกลายเป็น Cooling Load ในวันถัดไปในการคำนวณ จึงถือว่า CLF = 1.0 และหากมีการเปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ให้พิจารณาค่า CLF Cooling Load อันเนื่องมาจากความร้อนของคน

ความร้อนจากตัวคนขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ทำ และลักษณะเสื้อผ้าที่สวมใส่ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

- ก. ความร้อนแฝง อันเนื่องมาจากการระเหยของเหงื่อ จะกลายเป็น Cooling Load ทันที
- ข. ความร้อนสัมผัส เนื่องจากอุณหภูมิภายในร่างกายคนสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศประมาณ 70 % ของความร้อนส่วนนี้จะเป็นการแผ่รังสี ซึ่งจะไม่กลายเป็น Cooling Load จนกว่าเวลาจะผ่านไปแล้วหลายชั่วโมง โดยทั่วไปสำหรับเครื่องปรับอากาศที่มี

ได้เดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมง CLF จะเท่ากับ 1 เนื่องจากความร้อนที่ถูกดูดกลืนโดยวัสดุต่าง ๆ ภายในอาคารในวันแรกจะกลายเป็น Cooling Load ในวันถัดไป และหากมีการเปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ให้พิจารณาค่า CLF (ที่มา : ทวี เวชพฤทธิ, การคำนวณภาระของอาคาร Cooling Load calculation, (2529) หน้า 10 )

#### 2.5.5.2 Cooling Load อันเนื่องมาจากอากาศภายนอกเข้ามาภายในห้อง

อากาศภายนอกซึ่งร้อนและชื้น สามารถเข้ามาภายในห้องที่มีการปรับอากาศได้ 2 วิธีคือ

- 1) Cooling Load อันเนื่องมาจากการรั่วไหลของอากาศ (Infiltration)
- 2) Cooling Load อันเนื่องมาจากการระบายอากาศ (Ventilation)

**Cooling Load อันเนื่องมาจาก Infiltration** คือการแทรกซึมของอากาศภายนอกเข้ามา ตามรอยแตกของขอบหน้าต่างหรือตามการเปิดเข้า-ออกของประตู จะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับขนาดและความยาวของรอยแตก ตลอดจนความดันอันเนื่องมาจากความเร็วของลมที่ปะทะอาคาร ในกรณีที่เป็นอาคารสูงหลายชั้น อาจเกิดจาก Reverse Chimney Effect โดยอากาศภายนอกที่รั่วเข้ามาที่ชั้นบน ๆ ของอาคารผ่านช่อง Shaft ต่าง ๆ ลงสู่ชั้นล่างแล้วไหลลงสู่ภายนอกทางประตู ปรากฏการณ์นี้เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร อากาศร้อนที่รั่วเข้ามานี้จะกลายเป็น Cooling Load ในทันที ในการคำนวณหาปริมาณอากาศที่รั่วเข้ามาสามารถหาได้จากทั้งแบบ Air Change Method และแบบ Crack Method.

**Cooling Load อันเนื่องมาจาก Ventilation** คือ การนำอากาศภายนอกส่วนหนึ่งเข้ามาแทนที่อากาศภายในห้องโดยผ่านทางคอยล์ทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเพื่อลดกลิ่นอันเกิดจากควัน วัสดุ หรือ ขบวนการบางอย่างที่เกิดขึ้นภายในห้องเนื่องมาจากการทำงานของระบบปรับอากาศ จะนำอากาศภายในห้องทำความเย็น เพื่อใช้งานหมุนเวียนตลอดเวลา จึงอาจเกิดการสะสมของกลิ่นต่าง ๆ จนทำให้ห้องเหม็นอับ หรือในบางครั้งกลิ่นเหล่านั้นอาจทำอันตรายแก่สุขภาพของคนที่อยู่ภายในห้องได้ สำหรับการคำนวณภาระการทำความเย็นจากการระบายอากาศ ควรตรวจสอบว่าห้องนั้นมีการระบายอากาศด้วยวิธีใด และมีอัตราเท่าใด (ค่า CFM ที่จะใช้ในการคำนวณ) ไม่ว่าอากาศภายนอกจะเข้าสู่ห้องปรับอากาศโดยวิธีใดข้างต้น ย่อมกลายเป็นภาระของเครื่องปรับอากาศทั้งสิ้น ปริมาณความร้อนนี้คำนวณได้จากสูตร

$$Q_{total} = 4.5 * CFM * \Delta H \dots \dots \dots (2.20)$$

$$Q_s = 1.10 * CFM * \Delta T \dots \dots \dots (2.21)$$

$$Q_L = 4840 * CFM * \Delta W \dots \dots \dots (2.22)$$

หรือ

$$Q_L = 0.68 * CFM * \Delta Gr \dots \dots \dots (2.23) \quad \text{โดยที่}$$

$Q_{total}$  = ปริมาณความร้อนจากการระบายอากาศ (BTU/HR)

$Q_s$  = ปริมาณความร้อนสัมผัสจากการระบายอากาศ (BTU/HR)

$Q_L$  = ปริมาณความร้อนแฝงจากการระบายอากาศ ( BTU/HR)

CFM = ปริมาณอากาศจากภายนอกที่เข้าสู่อาคาร (  $ft^3 / minutes$  )

$\Delta H$  = ผลต่างของEnthalpy อากาศภายนอกและภายในห้อง ( BTU /lb dry air)

$\Delta T$  = ผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในห้อง (F)

$\Delta W$  = ผลต่างของHumidity ratio อากาศภายนอกและภายในห้อง ( lb ของน้ำ / lb ของอากาศแห้ง

$\Delta Gr$  = ผลต่างของHumidity ratio อากาศภายนอกและภายในห้อง ( grain ของน้ำ / lb อากาศแห้ง)

### 2.5.6 การวัดค่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

การที่จะวัดค่าและเปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องปรับอากาศ แสดงเป็นค่าในลักษณะที่เรียกว่า “ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ หรือ Coefficient of Performance ; COP ” สามารถคำนวณได้ดังนี้

$COP = Output / Input$  โดยที่

Output = พลังงานที่เกิดขึ้นจากการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

Input = พลังงานที่เครื่องปรับอากาศต้องการ ในการทำความเย็น

หน่วยของ Output และ Input ต้องมีหน่วยเดียวกัน

ที่มา:สุรพล พฤษพานิช, การปรับอากาศ หลักการและระบบ, (กรุงเทพฯ: พิสิษฐ์เซ็นเตอร์,2529) หน้า440

### ตารางที่ 2.10 แสดงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของระบบปรับอากาศ

SYSTEM	INPUT kW/ TON	REMARK
1. Room air conditioner (8,000-24,000 BTU/ Hr)	1.30 –1.60	--
2. Split system,small size (Up to 15 tons)	1.45 - 1.60	Air-cooled condenser
3. Split system,medium size ( 16 – 40 tons)	1.50	Air-cooled condenser EER 8.0 Minimum
4. Package Unit 9 1 –50 tons)	1.20	Water-cooled condenser
5. DX central (40-200 tons)	1.20	Water-cooled condenser
6. Water chiller, reciprocating compressor	1.30-1.70	Air – cooled condensor
7. Water chiller, reciprocating compressor	1.20-1.50	Water-cooled condenser
8. Water chiller, centrifugal compressor	1.05-1.10	Water-cooled condenser

Note : 1. Input kw/ ton = average input power per ton of air conditioning

2. ( 1 ton of air conditioning = 12,000 BTU / hour)

3. EER = Energy Efficiency Ratio, measured in BTU/hour/ Watt

ที่มา:Tavee Vechaputti, Improving theenergy of air –conditioning in high-rise building : A Thai case study 198

เมื่อเราต้องการทราบค่า COP ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ให้พิจารณา ค่า Input ของขนาดเครื่องปรับอากาศที่ใช้งาน หรือ ได้จากการคำนวณจากสูตร

$$\text{COP} = 12,000 \text{ BTU} / 1.45 * 3,412 \text{ BTU} \dots\dots\dots(2.25)$$

ดังนั้น พลังงานที่ใช้ในการทำความเย็น = Output / COP

ค่า COP จึงเป็นค่าที่ใช้ในการวัดการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศได้อีกวิธีหนึ่ง นอกจากนี้ยังพิจารณาค่าการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศได้จากการวัดค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานหรือ Energy Efficiency Ratio : EER ที่มีการคำนวณที่คล้ายกันแต่แตกต่างกันที่หน่วยในการคำนวณคือ

$$\text{EER} = \text{Output} / \text{Input}$$

โดยที่

Output = พลังงานที่เกิดขึ้นจากการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ( BTU/HR)

Input = พลังงานที่เครื่องปรับอากาศต้องการในการทำความเย็น (W)

### 2.5.7 สมการการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่ผ่านเข้าสู่ตัวอาคาร (OTTV)

จากการศึกษาในอาคารพบว่าภาระการปรับอากาศภายในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศ จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากอิทธิพลต่างๆดังที่กล่าวมาข้างต้น ปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารนั้นขึ้นอยู่กับ

1. ลักษณะสถาปัตยกรรมของอาคาร (อัตราส่วนของกระจกต่อพื้นที่ผนังอาคารทั้งหมด)
2. ทิศทางของอาคาร
3. คุณสมบัติเชิงความร้อน ทางด้านค่าความเป็นฉนวนของวัสดุที่ใช้เป็นกรอบอาคาร (Building Envelope)
4. สีและลักษณะผิของวัสดุ
5. มวลสารของโครงสร้างอาคาร

ค่าการคำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมที่เข้าสู่อาคารหรือ OTTV จะใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบ ทั้งอาคารเก่าและอาคารใหม่ โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ

1. ค่าการนำความร้อนผ่านผนังทึบ ( $Q = U_w * A_w * TD_{eq}$ )
2. ค่าการนำความร้อนผ่านหน้าต่างกระจก ( $Q = U_f * A_f * \Delta T$ )
3. ค่าการแผ่รังสีความร้อนผ่านหน้าต่างกระจก ( $A_f * S_f * SC$ )
4. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านทางหลังคา

ตามสมการดังนี้

$$\text{OTTV} = (U_w * A_w * TD_{eq}) + (U_f * A_f * \Delta T) + (A_f * S_f * SC) / A_o \dots\dots\dots(2.26) \quad \text{โดยที่}$$

OTTV = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร (W/m<sup>2</sup>.K)

$U_w$  = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (W/m<sup>2</sup>.K)

- $A_w$  = พื้นที่ที่เป็นผนังทึบ ( $m^2$ )  
 $TD_{eq}$  = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่เทียบเท่า (K)  
 $U_f$  = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุที่เป็นหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง  
 ( $W/m^2.K$ )  
 $A_f$  = พื้นที่หน้าต่าง ( $m^2$ )  
 $\Delta T$  = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน (K)  
 $SC$  = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง มีค่า =  $SC_1 * SC_2$   
 เมื่อ  $SC_1$  = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก  
 $SC_2$  = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด  
 $SF$  = Solar Factor ( $W/m^2$ )  
 $A_o$  = พื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านนอก ( $m^2$ )

ผนังทึบ ที่ก่อสร้างโดยทั่วไปมักเป็นวัสดุมวลมาก เช่นผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีน้ำหนักประมาณ 200 กิโลกรัม/ตร.ม. และค่าพลังงานความร้อนตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดสำหรับอาคารเก่า คือ 55 วัตต์/ตร.ม. และอาคารใหม่คือ 45 วัตต์/ตร.ม.

ดังนั้น ถ้าหากมีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) หรือค่าความต้านทานความร้อนรวม ( $\Sigma R$ ) ที่เกิดขึ้นภายใต้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ ) ตามตารางที่ 3.4 ที่มีมวลของผนังเกินกว่า 195 กก./ตร.ม. ซึ่งรวมผนังก่ออิฐฉาบปูนในพื้นที่ 1 หน่วยและมีค่า  $\alpha$  ตั้งแต่ 0.1-0.9 จากสูตร

$$Q = U * A * TD_{eq}$$

สามารถหาค่าออกมาได้จากตารางที่ 2.7 และ 2.8

ตารางที่ 2.11 แสดงค่าการเปรียบเทียบค่า “U” และค่า  $\Sigma R$  ของมวลผนังเกินกว่า 195 กก./ตร.ม. ภายใต้ OTTV = 55 วัตต์/ ตร.ม. และไม่มีช่องเปิด

$TD_{eq}$	“U” (BTU/hr.ft <sup>2</sup> .F)	$\Sigma R$
9	1.08	0.925
10	0.97	1.03
11	0.88	1.14
12	0.80	1.25
13	0.75	1.33

ตารางที่ 2.12 แสดงค่าการเปรียบเทียบค่า “U” และ  $\Sigma R$  ของมวลของผนังเกินกว่า 195กก./  
 ตร.ม. ภายใต้ OTTV = 45 วัตต์ / ตร.ม. และ ไม่มีช่องเปิด

TD <sub>eq</sub>	“U” (BTU/hr.ft <sup>2</sup> . F)	$\Sigma R$
9	0.88	1.14
10	0.79	1.26
11	0.72	1.38
12	0.66	1.55
13	0.61	1.63

ที่มา : ข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบและการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารควบคุมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ผนังโปร่งแสง หรือ หน้าต่างที่เป็นกระจก เป็นส่วนสำคัญที่สุดต่อการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงาน เพราะผนังกระจกหรือช่องเปิดที่โปร่งแสงนั้นเป็นช่องทางที่ความร้อนจากแสงแดดเข้ามาในอาคารได้มากที่สุด เนื่องจากพลังงานความร้อนของแสงแดดส่วนหนึ่งจะถูกสะสมในรูปของความร้อนในมวลสารของอาคารและค่อยๆคายความร้อนเข้าสู่อาคาร เกิดเป็นภาระการทำความเย็นแก่ระบบปรับอากาศ ดังนั้นจึงต้องมีการใช้ช่องเปิดกระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา หรือ “ Shading Device : SC ” ที่มีค่าต่ำเพื่อลดปริมาณความร้อนจากแสงแดดที่จะเข้าสู่อาคาร

ค่าการถ่ายเทความร้อนจากการนำความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนทำให้เกิดการสะสมความร้อนในมวลสารและรวมกันเป็น Heat Gain ที่เกิดขึ้นภายในอาคารที่เกิดจากผนังกระจก โดยปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารจากผนัง โปร่งแสงหรือผนังกระจกคำนวณได้จากสูตร

$$Q = (U \cdot A \cdot \Delta T) + (A \cdot SC \cdot SF) \text{ หรือ } (A \cdot SC \cdot SHGF \cdot CLF) \dots \dots \dots (2.27)$$

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารของช่องเปิดกระจก (Watt / M<sup>2</sup>)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของช่องเปิดกระจก (Watt / M<sup>2</sup>. C)

A = พื้นที่ที่ถ่ายเทความร้อนของช่องเปิดกระจก

SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก มีค่า = SC<sub>1</sub> \* SC<sub>2</sub>

เมื่อ SC<sub>1</sub> คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของกระจก

SC<sub>2</sub> คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

SF = ค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์ (Watt / M<sup>2</sup>)

จากสูตรคำนวณค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากผนังกระจกหรือผนัง โปร่งแสง มีการแยกพิจารณาได้ 2 ส่วนคือ ค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านเข้ามาด้วยการนำความร้อนที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการนำความร้อนและความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก อีกส่วนหนึ่งคือค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านเข้ามาโดยวิธีการส่งผ่านความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าสูงกว่าส่วนแรก

ปริมาณความร้อนในส่วนนี้ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การบังเงา (Shading coefficient :  $SC_1$ ) ของกระจก และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร (Shading device :  $SC_2$ )

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading device) ค่า SC ของอุปกรณ์บังแดด เกิดจากค่าฟลักซ์รังสีดวงอาทิตย์ (Solar factor : SF) ที่ทะลุผ่านผนังกระจก ซึ่งฟลักซ์รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผ่านหน้าต่าง โดยเฉลี่ยสำหรับแนวตั้งของผนังอาคารในทิศต่างๆ มีค่า 160 วัตต์/ตารางเมตร และจะเปลี่ยนไปตามลักษณะของภูมิประเทศที่ตั้ง ในการคำนวณค่า SF นั้นต้องมีการปรับแก้ให้เหมาะสมตามทิศทางของผนังในทิศต่างๆ เรียกว่า “ ค่าตัวประกอบแก้ หรือ Correction factor : CF ” ซึ่งหาได้จากสูตร

$$SF = 160 * CF \text{ (Watt / M}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.28)$$

ค่าพลังงานความร้อนที่ส่งผ่านกระจกเข้ามา จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกระจก ขนาดความหนาของกระจกที่ใช้ ทิศทางการรับแสงจากดวงอาทิตย์ของกระจก ค่า SC ของกระจกที่ระบุไว้มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่จะผ่านเข้ามาในอาคาร

ตารางที่ 2.13 แสดงคุณสมบัติกระจกชนิดต่างๆ เทียบระหว่าง Daylighting และ Solar Transmittance  
TYPICAL VISIBLE TRANSMITTANCE VALUE

Monolithic Glass Clear and Tinted				
Glass	Thickness		Transmittance	
	In.	mm.	Average Daylighting (%)	Total Solar (%)
Sheet	SS	2.5	90	85
	DS3	3	89	80
	%	5	89	78
Clear	%	3	89	80
	%	5	88	75
	%	6	87	75
Clear heavy duty	%	10	84	67
	%	12	82	61
	%	15	80	56
	%	19	78	51
	%	22	75	48

	%	3	83	63
Blue- Green	%	5	79	55
	%	6	75	47
	<hr/>			
	%	3	61	63
	%	5	51	53
	%	6	44	46
Gray	%	8	35	38
	%	10	28	21
	%	12	19	22
	<hr/>			

#### INSULATING GLASS

(inboard light clear)

	%	3	80	69
Clear	%	5	79	62
	%	6	77	59
	<hr/>			
	%	3	75	52
Blue-Green	%	5	70	43
	%	6	66	36
	<hr/>			
	%	3	55	52
Gray	%	5	45	42
	%	6	39	35
	<hr/>			
	%	3	61	54
Bronze	%	5	53	43
	%	6	46	38
	<hr/>			

Note : check manufacture's literature for specific values.

ที่มา : Gregg D. Ander, Daylighting Performance And Design, AIA. P.175 และ สิทธิชัย วุฒิวรวงศ์, วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539 (2.12 และ 2.13 จาก 9.2 และ 9.3 อ.ศรีใจ บุรณะสมภพ หน้า 60 , 61

#### 2.5.8 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (Roof Thermal Transfer Value ,RTTV)

ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารจะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับผนังทึบ โดยแปรไปกับคุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุหลังคาและฝ้าเพดาน สีและความหนาแน่นของมวลหลังคา สำหรับวัสดุหลังคาที่นิยมโดยทั่วไปจะมีค่าพลังงานความร้อนต่อตารางเมตรสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 25 วัตต์/ตารางเมตร เพราะส่วนใหญ่มิได้มีการบุนนวนกันความร้อนไว้

ค่าการถ่ายเทความร้อนคำนวณได้จากสูตร

$$RTTV = [A_1(RTTV)] / A_1$$

โดยที่

$A_I$  = พื้นที่รวมของหลังคาส่วนที่ I ( $m^2$ )

$RTTV_I$  = ค่า RTTV ของหลังคา ด้านที่ I มีค่า

$$= U_r (1-SRR) (TD) + (SC) (SRR) (SF) + U_m (SRR) (\Delta T) \text{ โดยที่}$$

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

SRR = อัตราส่วนของช่องแสงธรรมชาติต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนนั้น

TD = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร รวมถึงการดูดกลืนรังสีของหลังคาทึบ

$U_m$  = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสง ( $W/m^2 \cdot C$ )

$\Delta T$  = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในอาคาร

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของช่องแสง

SF = ค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์ ( $W/m^2 \cdot C$ )

ตารางที่ 2.14 แสดงค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านหลังคาและฝ้าแต่ละชนิดเข้าสู่อาคารที่ไม่ปรับอากาศ (W/m<sup>2</sup>.)

ชนิดหลังคา	ค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อน	หลังคาสีอ่อน (W/m <sup>2</sup> .)	หลังคาสีปานกลาง (W/m <sup>2</sup> .)	หลังคาสีเข้ม (W/m <sup>2</sup> .)
<b>หลังคาเอียง 22.5 – 45 องศา</b>				
1. หลังคากระเบื้องลอน 4 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้าไม้อัด 4 มม.	2.55	61.20	71.40	81.60
2. หลังคากระเบื้องลอน 4 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้าชิปซัมบอร์ด 8 มม.	2.47	59.26	69.12	79.01
3. หลังคากระเบื้องลอน 5 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้าไม้อัด 4 มม.	2.54	60.96	71.12	81.28
4. หลังคากระเบื้องลอน 5 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้าชิปซัมบอร์ด 8 มม.	2.46	59.04	68.88	78.72
5. หลังคา C-PAC 8 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้าไม้อัด 4 มม.	2.45	58.80	68.60	78.40
6. หลังคา C-PAC 8 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้าชิปซัมบอร์ด 8 มม.	2.37	56.88	66.36	75.84
<b>หลังคาราบ</b>				
7. หลังคาคอนกรีต หนา 100 มม.	3.49	55.84	69.80	83.76
8. หลังคาคอนกรีต หนา 100 มม. ฝ้าไม้อัด หนา 4 มม.	2.04	32.64	40.80	48.96

ตารางที่ 2.15 แสดงค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านหลังคาและฝ้าแต่ละชนิดเข้าสู่อาคารที่  
 ผนวบนานา 1 นิ้ว ( $W/m^2$ )

ชนิดหลังคา	ค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อน	หลังคาสีอ่อน ( $W/m^2$ )	หลังคาสีปานกลาง ( $W/m^2$ )	หลังคาสีเข้ม ( $W/m^2$ )
<b>หลังคาเอียง 22.5 – 45 องศา</b>				
1. หลังคากระเบื้องลอน 4 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้าไม้้อค 4 มม.	0.90	21.60	25.20	28.80
2. หลังคากระเบื้องลอน 4 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้ายิปซัมบอร์ด 8 มม.	0.89	21.35	24.92	28.48
3. หลังคากระเบื้องลอน 5 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้าไม้้อค 4 มม.	0.90	21.60	25.20	28.80
4. หลังคากระเบื้องลอน 5 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้ายิปซัมบอร์ด 8 มม.	0.89	21.60	25.20	28.80
5. หลังคา C-PAC 8 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้าไม้้อค 4 มม.	0.90	19.20	22.40	25.60
6. หลังคา C-PAC 8 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้ายิปซัมบอร์ด 8 มม.	0.72	17.28	20.16	23.04
<b>หลังคาราบ</b>				
7. หลังคาคอนกรีต หนา 100 มม.	1.00	16.00	20.00	24.00
8. หลังคาคอนกรีต หนา 100 มม. ฝ้าไม้้อค หนา 4 มม.	0.83	13.28	16.60	19.92

ตารางที่ 2.16 แสดงค่าพลังงานความร้อนที่ผ่านหลังคาและฝ้าแต่ละชนิดเข้าสู่อาคารที่  
 ผนวบนหนา 2 นิ้ว ( $W/m^2$ )

ชนิดหลังคา	ค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อน	หลังคาสีอ่อน ( $W/m^2$ )	หลังคาสีปานกลาง ( $W/m^2$ )	หลังคาสีเข้ม ( $W/m^2$ )
<b>หลังคาเอียง 22.5 – 45 องศา</b>				
1. หลังคากระเบื้องลอน 4 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้าไม้้อัด 4 มม.	0.55	13.20	15.40	17.60
2. หลังคากระเบื้องลอน 4 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้ายิปซัมบอร์ด 8 มม.	0.55	13.20	15.40	17.60
3. หลังคากระเบื้องลอน 5 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้าไม้้อัด 4 มม.	0.55	13.20	15.40	17.60
4. หลังคากระเบื้องลอน 5 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้ายิปซัมบอร์ด 8 มม.	0.55	13.20	15.40	17.60
5. หลังคา C-PAC 8 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้าไม้้อัด 4 มม.	0.50	1.00	14.00	16.00
6. หลังคา C-PAC 8 มม. ช่องว่างอากาศ 500 มม. ฝ้ายิปซัมบอร์ด 8 มม.	0.42	10.08	11.76	13.44
<b>หลังคาราบ</b>				
7. หลังคาคอนกรีต หนา 100 มม.	0.58	9.28	11.60	13.92
8. หลังคาคอนกรีต หนา 100 มม. ฝ้าไม้้อัด หนา 4 มม.	0.52	8.32	10.40	12.48

ที่มา : พงพัฒน์ มั่งคั่ง, กรณีศึกษา คำนวณการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร, รายงานประกอบการสัมมนาทางวิชาการ,  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536 และ ตรึงใจ บุรณะสมภพ, การออกแบบอาคารเพื่อประสิทธิภาพในการประหยัด  
 พลังงาน, กรุงเทพฯ, 2539

## 2.6 กฎหมายและข้อกำหนดการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

### 2.6.1 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

ประกอบด้วย 3 หมวดใหญ่คือ การอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร และการอนุรักษ์พลังงานในเครื่องจักร อุปกรณ์และส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

ในหมวดที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบปรับปรุงกรอบอาคารกรณีศึกษา อาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ คือ หมวดที่ 2 ประกอบด้วย มาตรา 17 ถึงมาตรา 22 มีสาระสำคัญดังนี้

**มาตราที่ 17** ว่าด้วยการดำเนินการและวิธีการต่างๆ ในการอนุรักษ์พลังงาน

1. การลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่อาคาร
2. การปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพรวมทั้งการรักษาอุณหภูมิภายในอาคาร ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม
3. การใช้วัสดุก่อสร้างที่ช่วยอนุรักษ์พลังงาน ตลอดจนการแสดงคุณภาพของวัสดุนั้นๆ
4. การใช้แสงสว่างในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ
5. การใช้และการติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ และวัสดุที่ก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร
6. การใช้ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์
7. การอนุรักษ์พลังงานโดยวิธีการอื่นๆ ตามที่กำหนดในกฎกระทรวง

**มาตราที่ 18** ว่าด้วยเรื่องข้อกำหนดประเภท ขนาดและปริมาณการใช้พลังงาน หรือวิธีการใช้พลังงาน

**มาตราที่ 19** ว่าด้วยเรื่องของ คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ มีอำนาจการออกกฎกระทรวง

1. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารและการใช้พลังงาน
2. หลักเกณฑ์วิธีการและเงื่อนไขการประเมินการหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุก่อสร้างอาคาร ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารและการใช้พลังงานในอาคาร
3. มาตรฐานการปรับอากาศการทำน้ำร้อนและการใช้พลังงานในอาคาร

**มาตราที่ 20-22** ว่าด้วยเรื่องกรณีเจ้าของ โรงงานควบคุมต้องอนุรักษ์พลังงานตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานของตนให้เป็นไปตามมาตรฐานและหน้าที่ของเจ้าของ โรงงาน

จากการพิจารณา พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 จะเห็นเฉพาะในด้านการปฏิบัติในภาพกว้าง แต่กฎหมายที่มีผลสำคัญในด้านการปฏิบัติสำหรับการออกแบบคือ พระราชกฤษฎีกา ว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535

### 2.6.2 พระราชกฤษฎีกา ว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2538

เป็นการกำหนดอาคารควบคุม ในหมวดที่ 3 ที่กล่าวถึง การให้อาคารที่มีใช้อาคารที่ใช้เป็น พระที่นั่งหรือพระบรมมหาราชวัง อาคารที่ทำการสถานทูตหรือกงสุลต่างประเทศ อาคารที่ทำการ ขององค์การระหว่างประเทศ หรือที่ทำการของหน่วยงานที่ตั้งขึ้นตามความตกลงระหว่างรัฐบาล ไทยกับรัฐบาลต่างประเทศ โบราณสถาน วัดวาอารามหรืออาคารต่างๆที่ใช้เพื่อการศาสนา ซึ่งมี กฎหมายควบคุมการก่อสร้างไว้แล้ว โดยเฉพาะที่มีการใช้พลังงานดังต่อไปนี้เป็นอาคารควบคุม ได้ แก่อาคารหลังเดียวกันหรือหลายหลัง ภายใต้เลขที่บ้านเดียวกัน ที่ได้รับอนุมัติจากผู้อนุญาตให้ใช้ เครื่องวัดไฟฟ้า หรือติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าชุดเดียวกัน หรือหลายชุดรวมกัน มีขนาดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ หรือ 1,750 กิโลวัตต์แอมแปร์

### 2.6.3 กฎกระทรวง ว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2538

ในกฎกระทรวง พ.ศ. 2538 หมวดที่ 2 ว่าด้วยค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ที่มีผลในการ ปฏิบัติมากที่สุด คือ

1. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร หรือส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศ ต้องมีค่าสำหรับอาคารใหม่ไม่เกิน 45 วัตต์/ตารางเมตร
2. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร ทั้งอาคารเก่าและใหม่ จะต้องมีค่าไม่เกิน 25 วัตต์/ ตารางเมตร

## บทที่ 3

### กรณีศึกษาอาคารตัวอย่าง

#### อาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต

##### 3.1 ประวัติความเป็นมาอาคารกรณีศึกษา

มหาวิทยาลัยรังสิตเริ่มมีการวางโครงการจัดตั้งหอสมุดเมื่อวันที่ 16 กันยายน 2528 พร้อมๆกับการเตรียมการจัดตั้งมหาวิทยาลัย ต่อมาในเดือนตุลาคม 2528 เริ่มมีการจัดหาบุคลากร วัสดุ และครุภัณฑ์ เพื่อดำเนินการ โดยใช้ศีก์อำนวยการชั้น 6 ของโรงพยาบาลพญาไท1 เป็นที่ทำการชั่วคราว เมื่อมหาวิทยาลัยเปิดดำเนินการ หอสมุดได้ย้ายมาเปิดบริการที่อาคารประสิทธิ์รัตนเป็นการชั่วคราวเมื่อวันที่ 10 เมษายน 2529 และในวันที่ 25 มีนาคม 2530 ได้ย้ายมาดำเนินการที่อาคารที่อาคารประสิทธิ์พัฒนาซึ่งเป็นที่ทำการชั่วคราว มีสถานที่ทำการ 4 ห้อง คือห้องอ่านหนังสือ ห้องวารสาร ห้องสื่อโสตทัศน และห้องทำงาน มีเนื้อที่รวม 1,500 ตร.ม. จนปี 2532 จึงมีอาคารที่ทำการสำนักหอสมุดเป็นของตัวเองดังเช่นปัจจุบัน (ที่มา: อาจารย์อุทัย ทุติยะโพธิ ผู้อำนวยการสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ ,การใช้ห้องสมุดและศูนย์สารสนเทศ,มหาวิทยาลัยรังสิต,ปี 2542)

##### 3.2 การใช้พื้นที่ภายในอาคารหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ

การก่อสร้างอาคารหอสมุดเริ่มมีการก่อสร้างเมื่อวันที่ 23 ธันวาคม 2530 มีเนื้อที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 6 ชั้น ทั้งนี้รวมพื้นที่ที่มีการปรับอากาศทั้งสิ้น 9,300 ตารางเมตร โดยแบ่งเป็นเนื้อที่ใช้สอยดังนี้

1. ศูนย์เทคโนโลยีทางการศึกษา 1,000 ตารางเมตร
2. ห้องกิจกรรม หอสมุด ห้องอ่านหนังสือ และอื่นๆ 8,300 ตารางเมตร
3. พื้นที่ทางเดินและอื่นๆ

การก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อปลายเดือนกันยายน 2532 ทำให้สามารถปฏิบัติหน้าที่ในการจัดหาทรัพยากรสารสนเทศประเภทต่างๆ ตลอดจนโสตทัศนวัสดุเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ มีการจัดระบบทรัพยากรให้ผู้ใช้เข้าถึงข้อมูลได้สะดวกและรวดเร็วตรงต่อความต้องการ โดยมีการเปิดใช้อย่างเป็นทางการวันที่ 9 พฤศจิกายน 2532

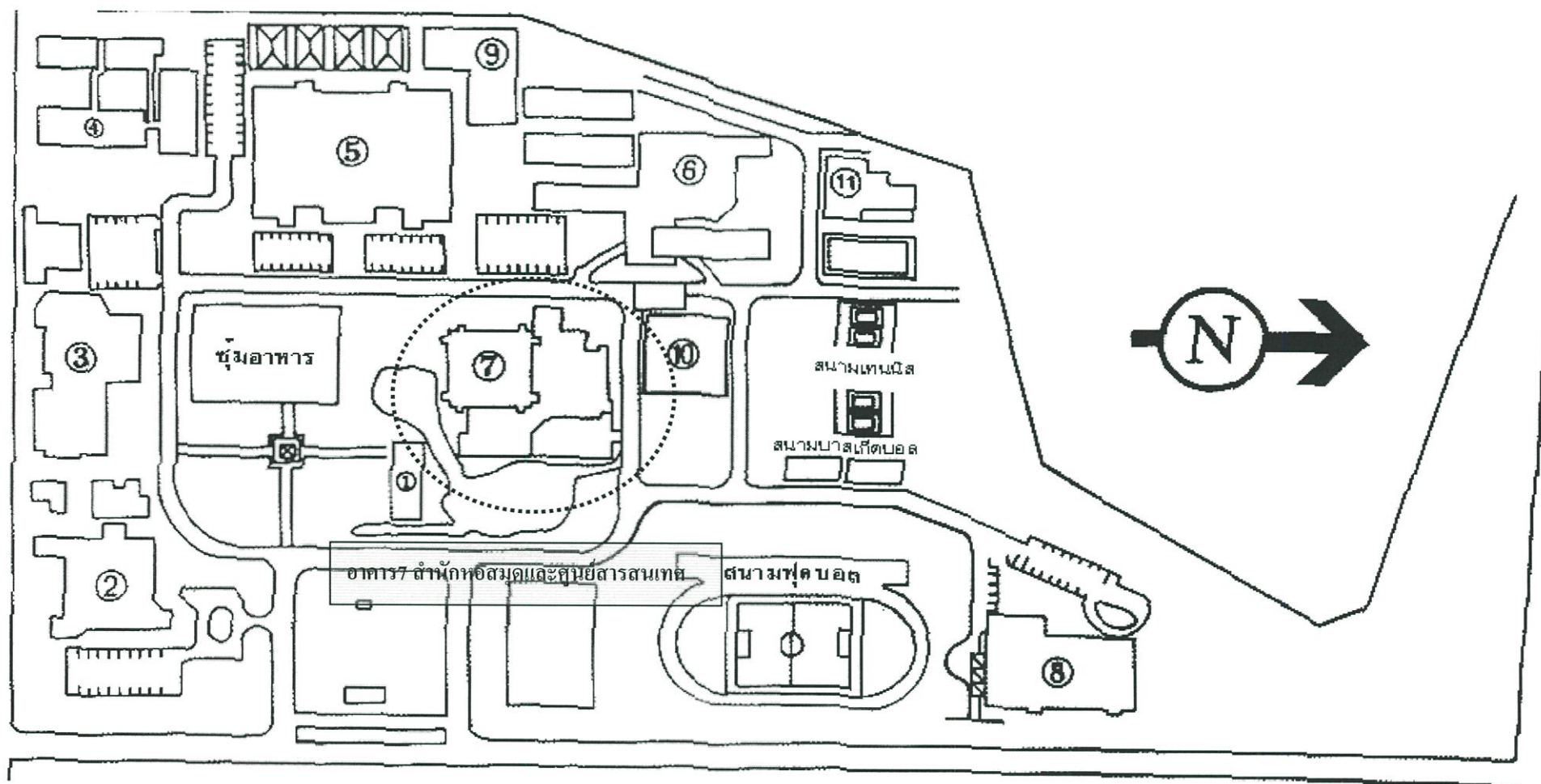
ปัจจุบันสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศมีเนื้อที่ใช้สอย รวม 6 ชั้นดังนี้

1. ชั้นที่ 1 ส่วนหนึ่งใช้เป็นที่ปฏิบัติงานศูนย์เทคโนโลยีทางการศึกษา ห้องประชุมที่ผู้ใช้ได้ 200คน ปัจจุบันใช้เป็นห้องเรียนรวม นอกจากนี้ยังมีห้องทบทวนการศึกษาของสำนักหอสมุด ผู้ใช้ได้ประมาณ 150 คน

2. ชั้นลอยด้านทิศตะวันออกใช้เป็นที่ทำงานของฝ่ายบริหารฝ่ายจัดหาทรัพยากรสารสนเทศ ฝ่ายจัดหมวดหมู่และลงรายการ ด้านทิศตะวันตกเป็นห้องบริการสื่อโสตทัศนศึกษา เช่นเครื่องรับเคเบิลทีวี ดาวเทียม และ Internet
3. ชั้นที่2 ห้องอ่านหนังสือและตำราทางสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ ห้องอ่านหนังสืออ้างอิง บริการ CD-ROM และ Internet
4. ชั้นที่3 ห้องอ่านหนังสือและตำราทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี บริการInternet
5. ชั้นที่4 ห้องวารสาร และบริการ Internet
6. ชั้นที่5 ห้องทรงงานสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯสยามบรมราชกุมารี และหอจดหมายเหตุของมหาวิทยาลัย ส่วนเก็บงานวิจัย และวิทยานิพนธ์
7. ชั้นหลังคาคคลุม และติดตั้งถังเก็บน้ำ และส่วนระบายความร้อนของระบบปรับอากาศ

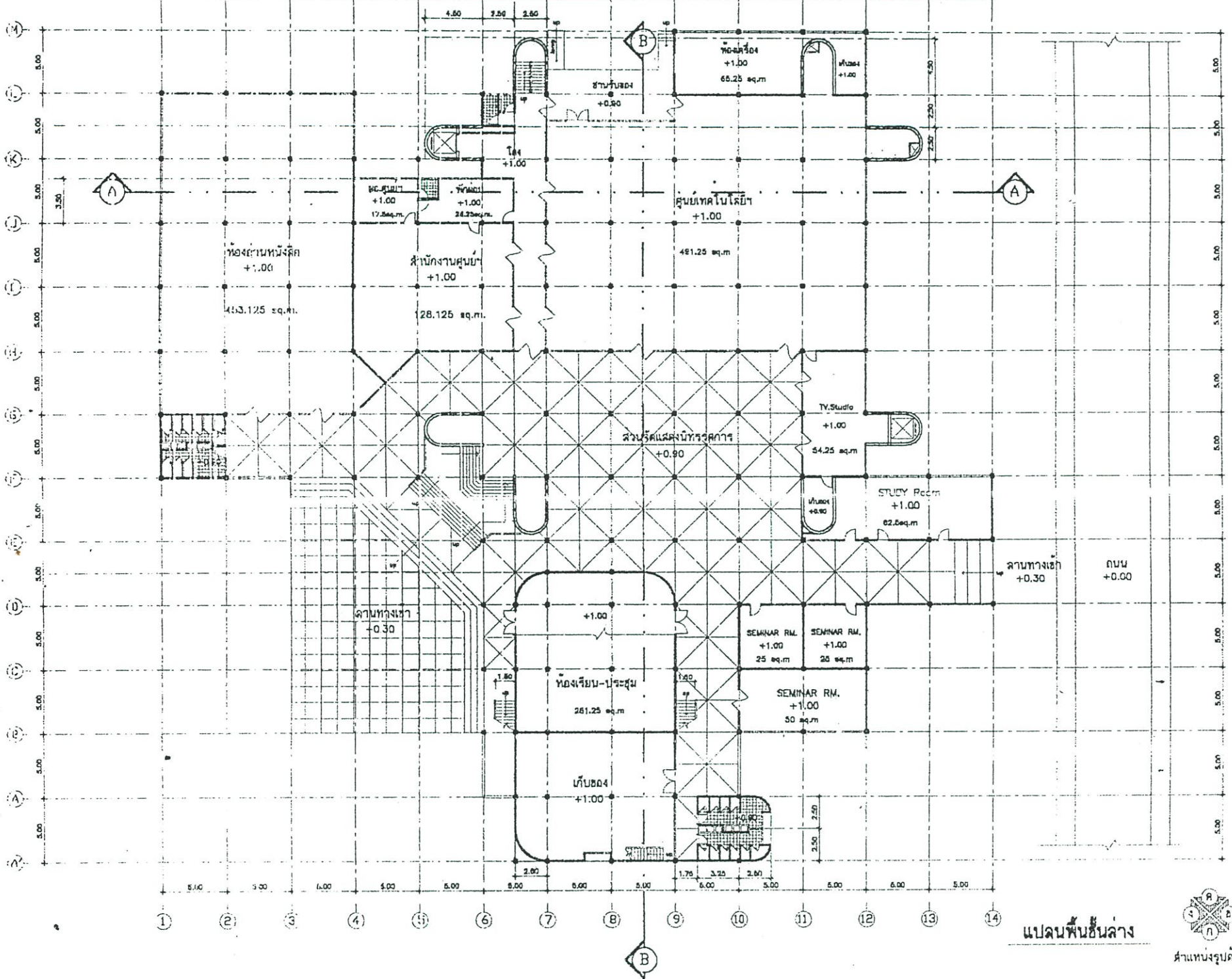
### 3.3 สภาพแวดล้อมต่างๆไปของอาคารกรณีศึกษา

1. ทิศเหนือ ติดถนนภายในมหาวิทยาลัยและอาคารที่จอดรถความสูง10ชั้น โดยอาคารจอดรถเป็นลักษณะโปร่ง ไม่มีผนัง มีระยะห่างจากอาคารกรณีศึกษา ประมาณ 50 ม.
2. ทิศใต้ ติดสระน้ำภายในมหาวิทยาลัยและที่โล่ง เยื้องไปด้านขวาเป็นอาคารที่กำลังก่อสร้าง ความสูง12 ชั้น มีระยะห่างจากอาคารกรณีศึกษา ประมาณ 50 ม.
3. ทิศตะวันตก ติดถนนภายในมหาวิทยาลัย ลานจอดรถและอาคารหอพักหญิง ความสูง12 ชั้น มีระยะห่างจากอาคารกรณีศึกษา ประมาณ 80 ม.
4. ทิศตะวันออก ติดสระน้ำภายในมหาวิทยาลัย และที่โล่งแจ้ง



รูปที่ 3.1 แสดงผังบริเวณมหาวิทยาลัยรังสิต และผังอาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ

รูปที่ 1 แสดงผังบริเวณมหาวิทยาลัยรังสิต และผังอาคารสำนักงานหอประชุมและศูนย์บริการ (๑๒) แผนชั้นกลาง

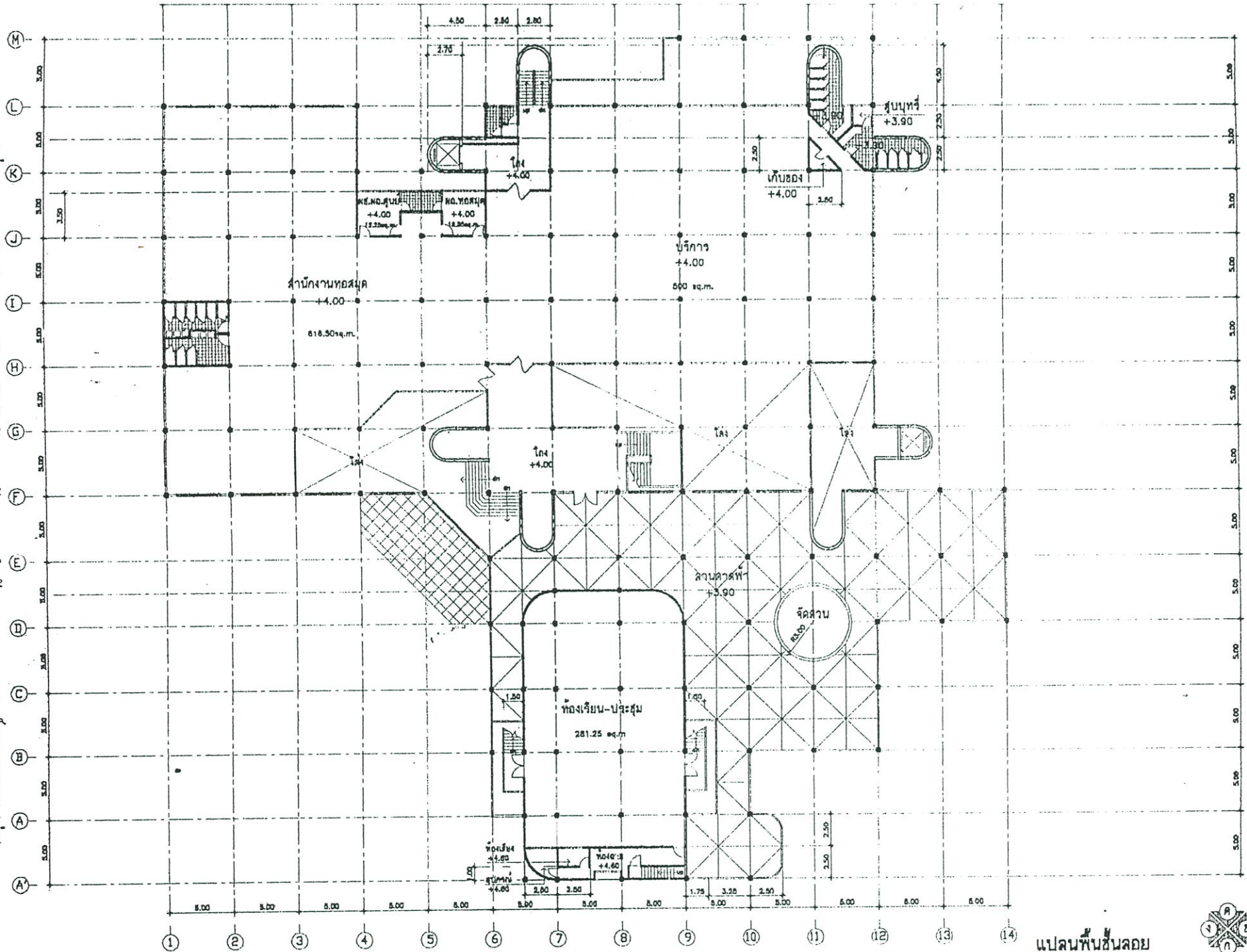


แปลนพื้นชั้นกลาง



ตำแหน่งรูปด้าน

รูปที่ 3.1 แสดงผังบริเวณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และผังอาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารนิเทศ (ต่อ)

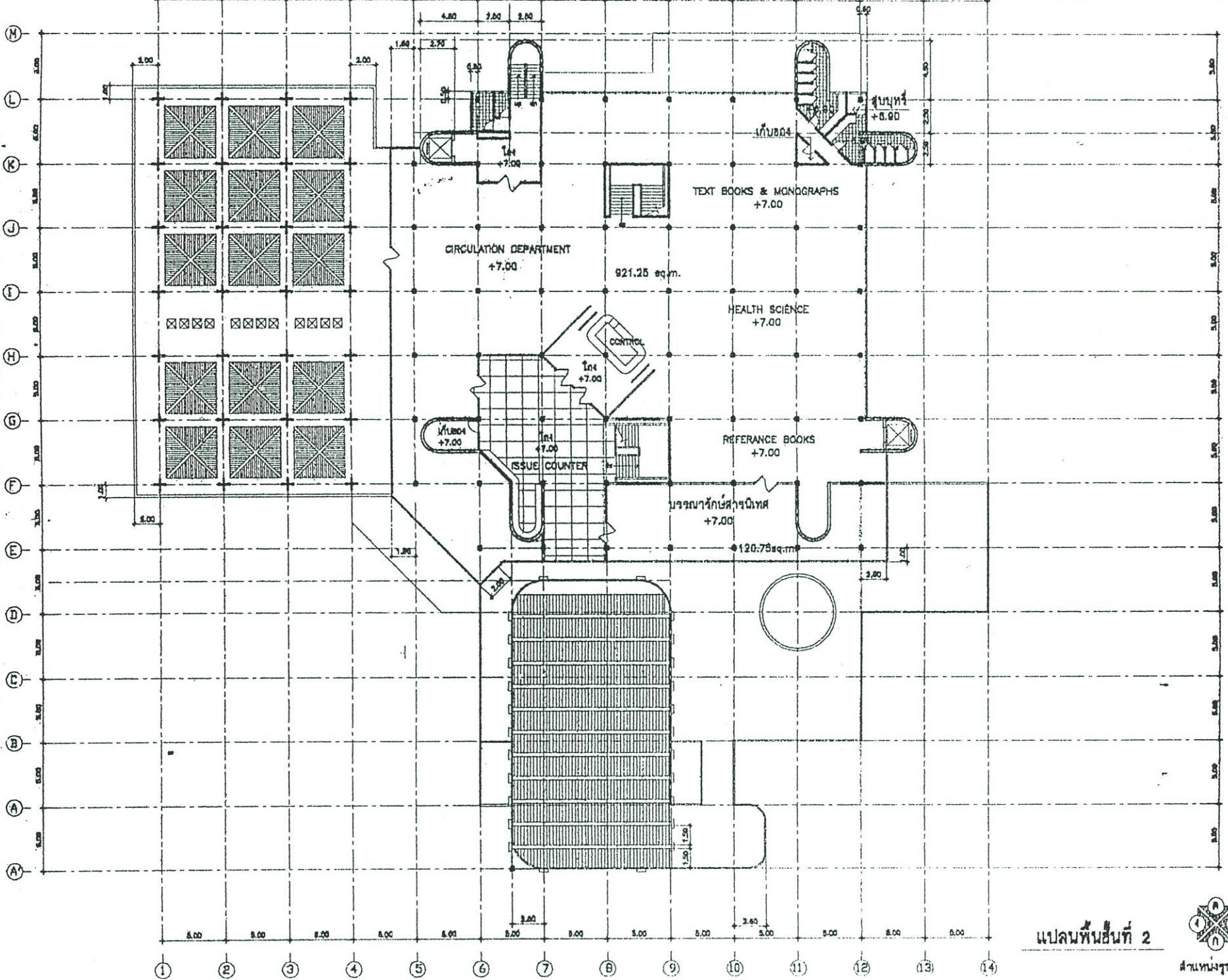


แปลนพื้นที่ลอย



ตำแหน่งรูปด้าน

รูปที่ 1.1 แผนผังบริเวณมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และอาคารสำนักงานและศูนย์บริการสุขภาพ (๑๒) ชั้น

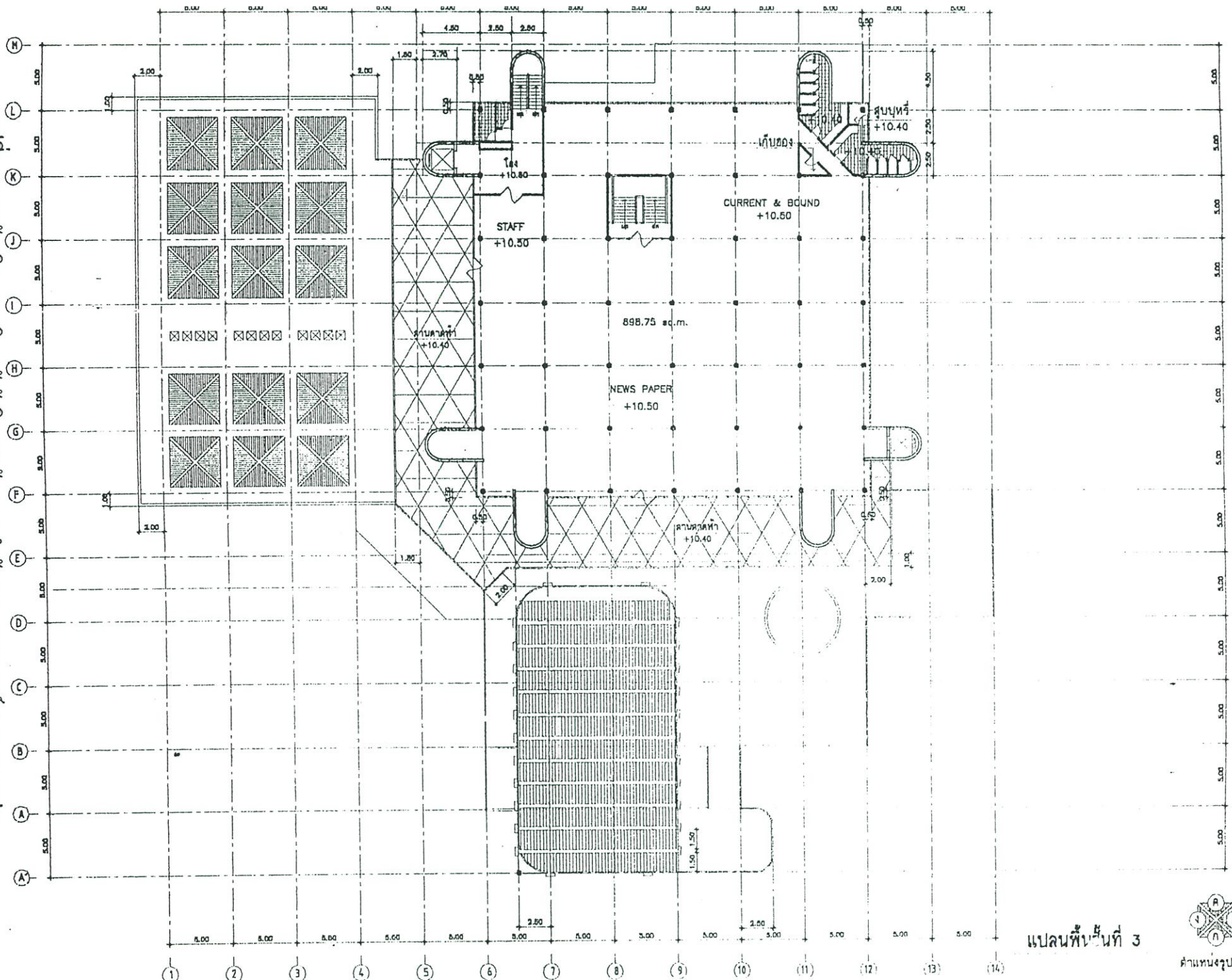


แปลนพื้นที่ 2



สำนักงานที่ดิน

(๑๕) แผนผังบริเวณชั้นของศูนย์บริการสุขภาพกรุงเทพสงขลานครินทร์

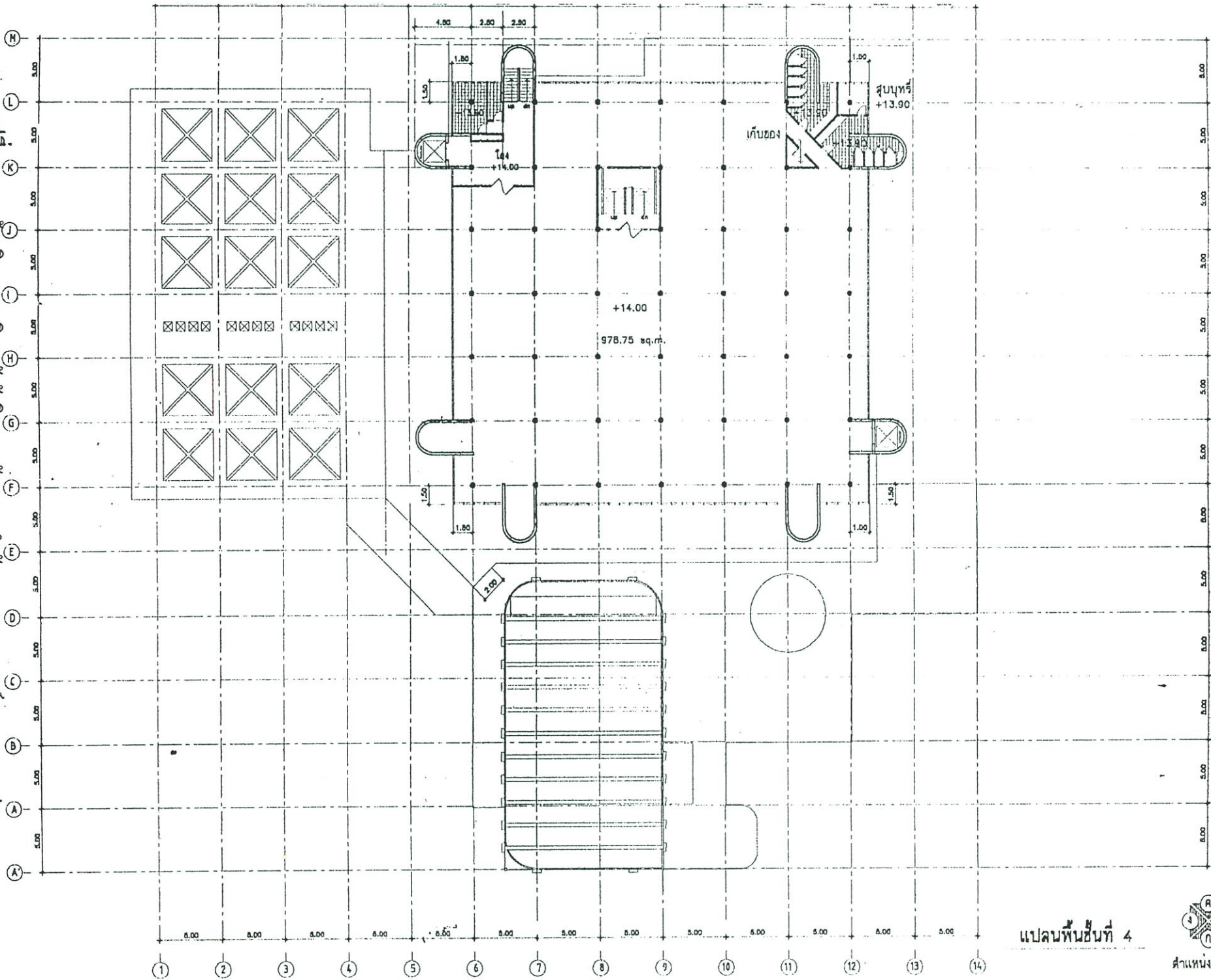


แปลนพื้นที่ 3



ตำแหน่งจุดคำนวณ

(๑๕) แผนผังอาคารจอดรถและศูนย์บริการผู้โดยสารท่าอากาศยานภูเก็ต

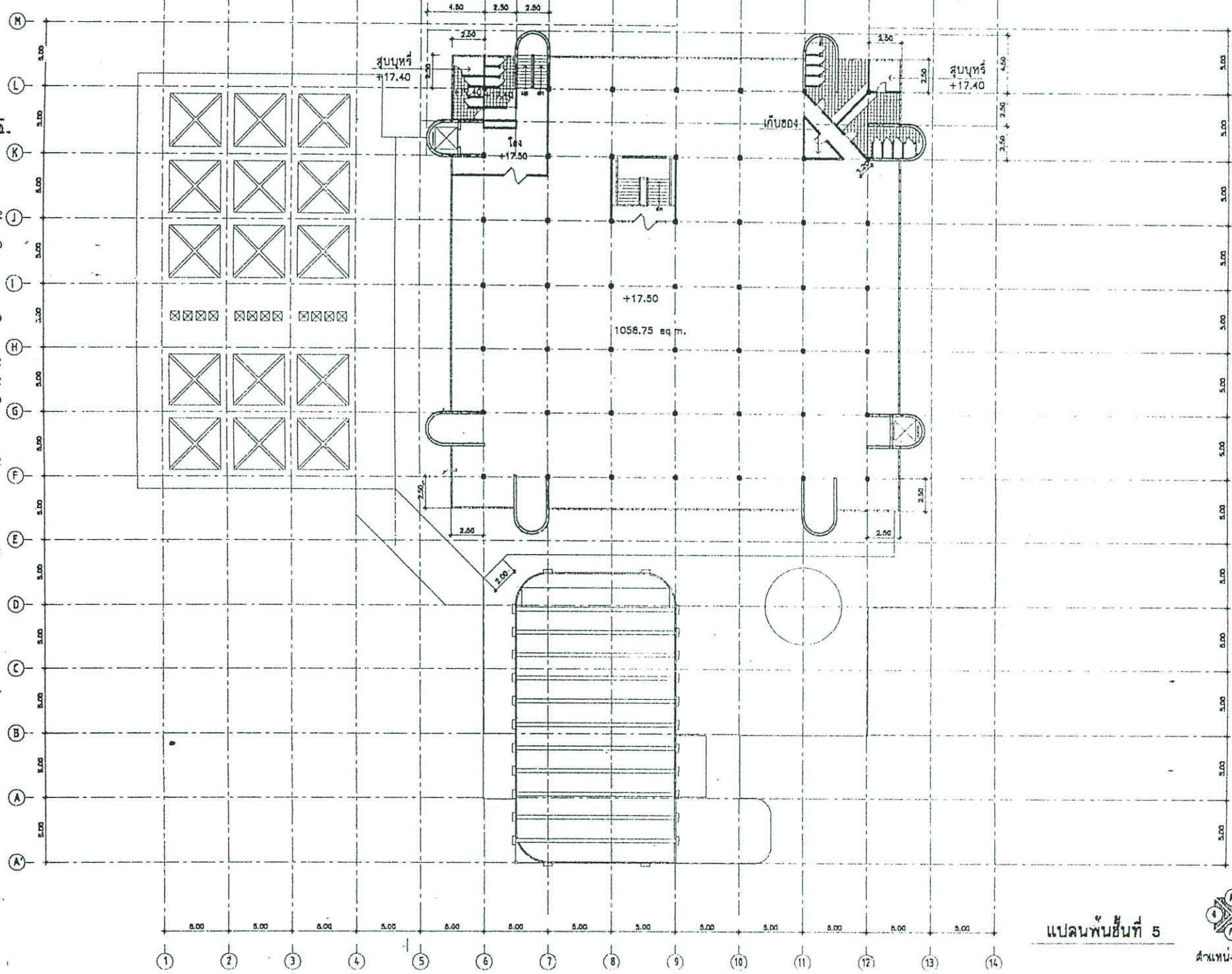


แปลนพื้นที่ 4



ตำแหน่งจุดด้าน

รูปที่ 3.1 แสดงผังบริเวณมหาวิทยาลัยรังสิต และผังอาคารด้านหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ (ต่อ)

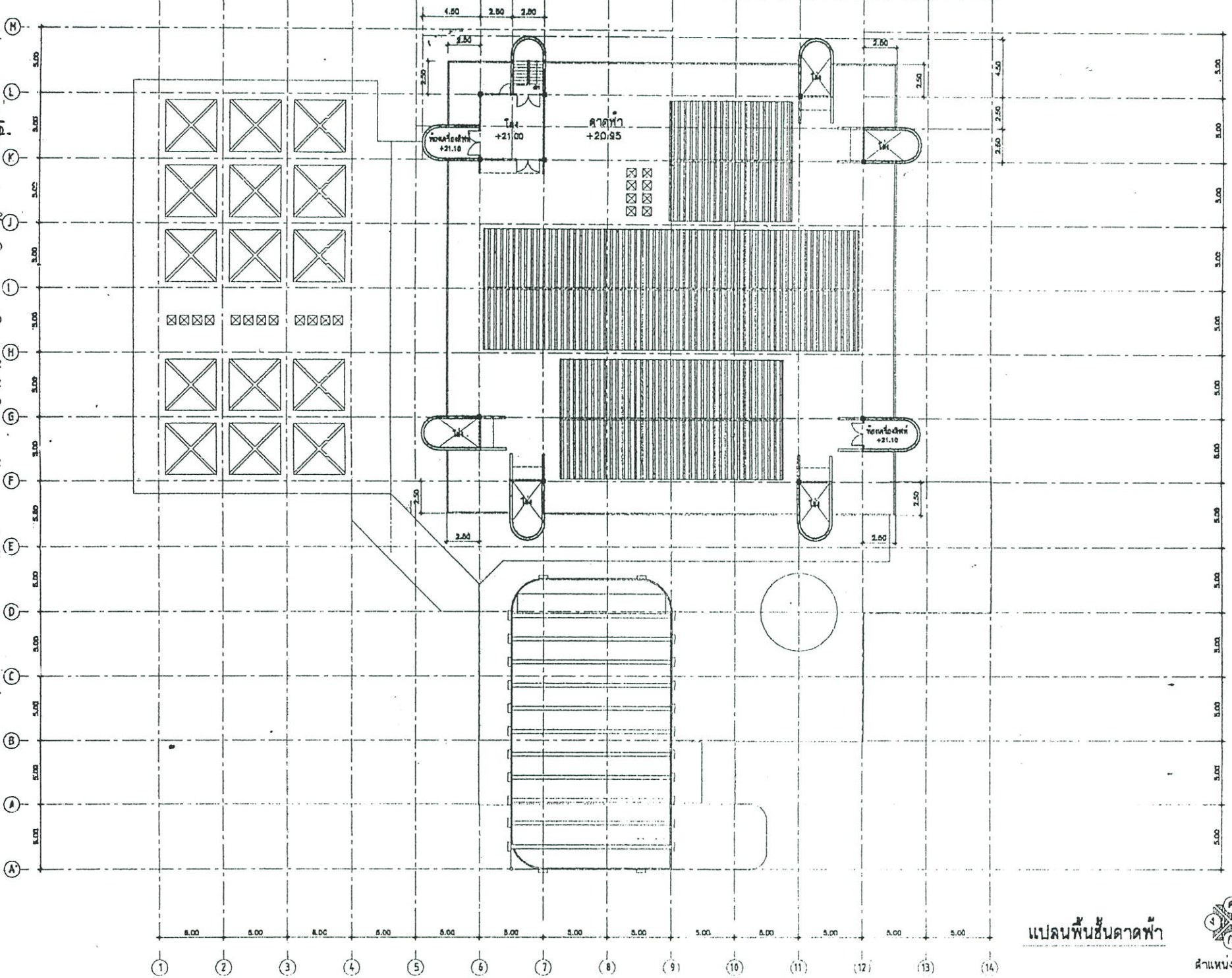


แปลนพื้นที่ 5



ตำแหน่งรูปด้าน

รูปที่ 3.1 แสดงผังบริเวณมหาวิทยาลัยรังสิต และผังอาคารสำนักหอสมุดและศูนย์ตำราสนเทศ (ต่อ)

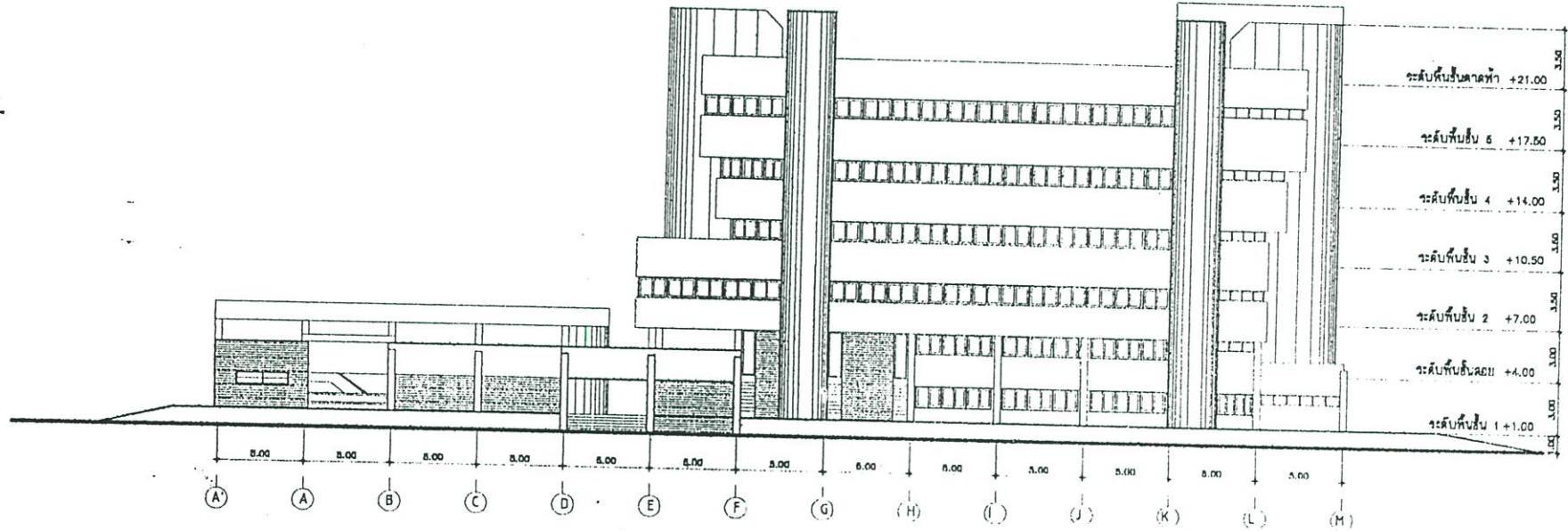


แปลนพื้นที่ชั้นดาดฟ้า

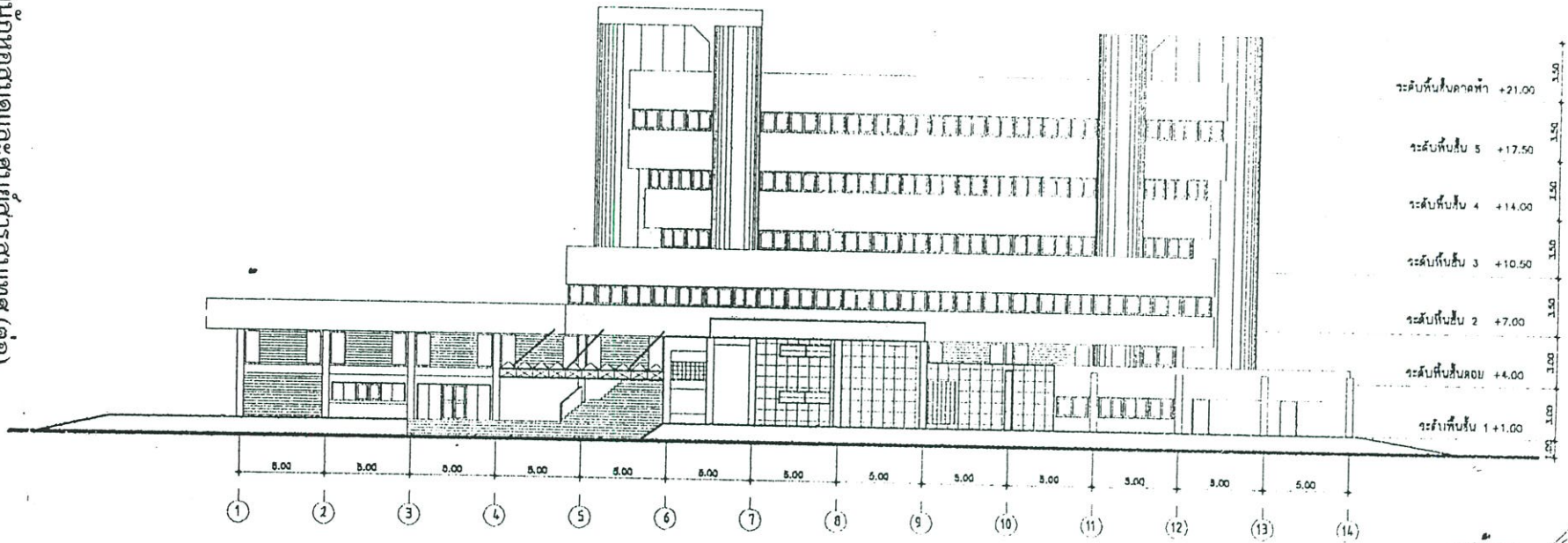


ตำแหน่งรูปด้าน

รูปที่ 3.1 แสดงผังบริเวณมหาวิทยาลัยศรีสคิป และผังอาคารสำนักงานหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ (ต่อ)

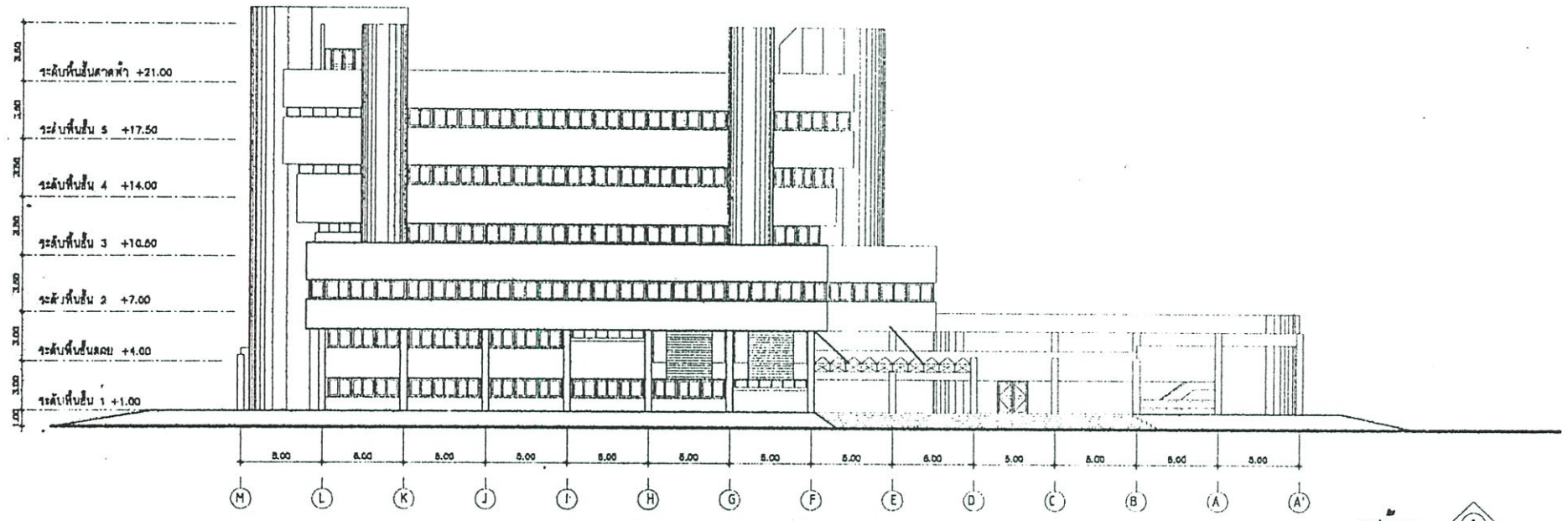


รูปด้าน ๘  
มาตราส่วน 1/300

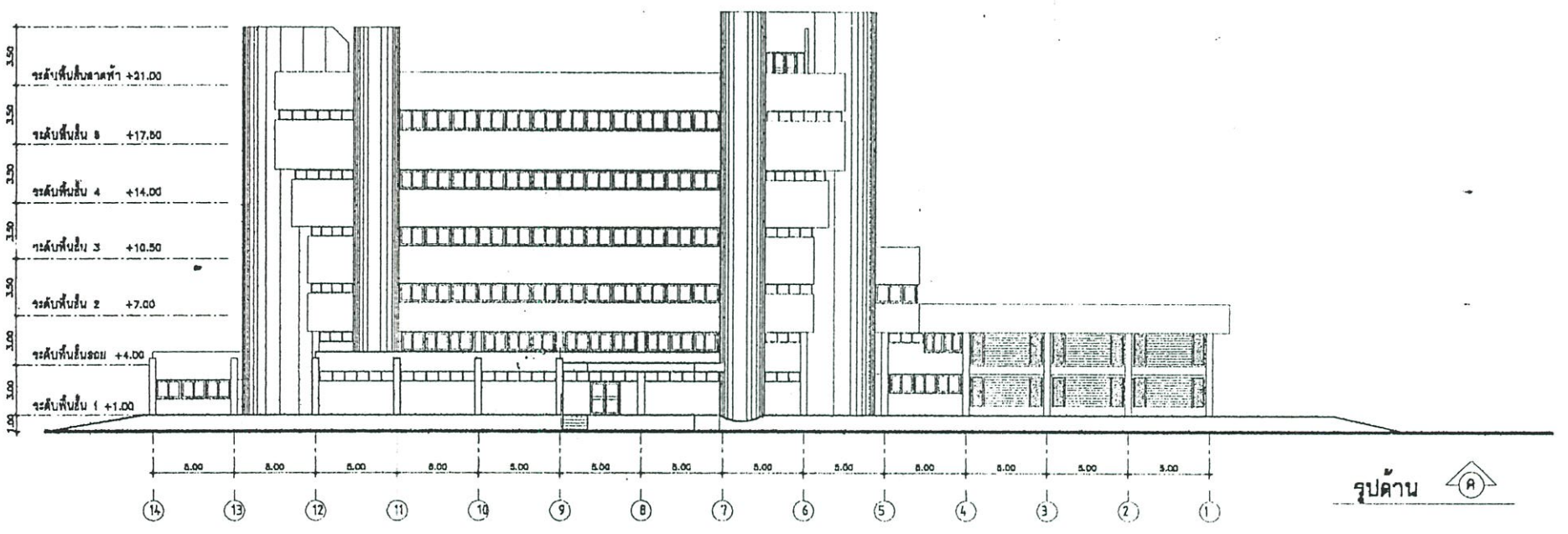


รูปด้าน ก

รูปที่ 3.1 แสดงผังบริเวณมหาวิทยาลัยรังสิต และผังอาคารสำนักงานตึกและศูนย์บริการสุขภาพ (ต่อ)

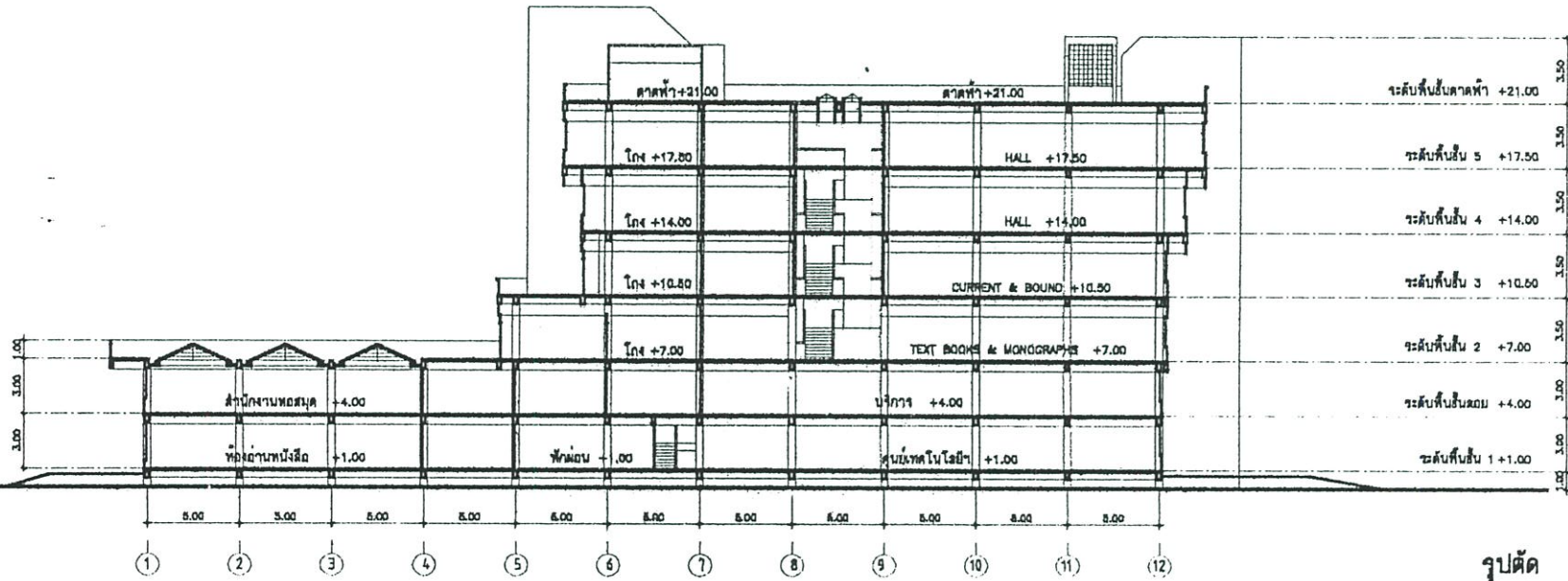


รูปด้าน  
มาตราส่วน 1/300

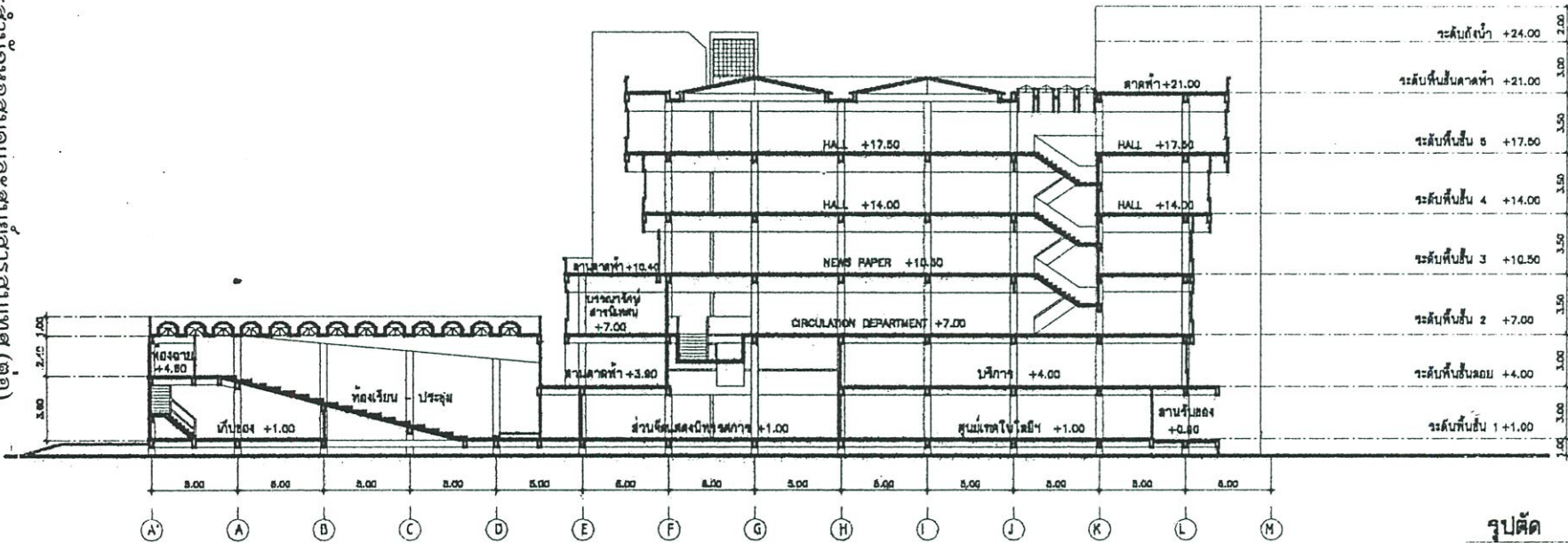


รูปด้าน  
มาตราส่วน 1/300

รูปที่ 3.1 แสดงผังบริเวณมหาวิทยาลัยรังสิต และผังอาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารนิเทศ (ต่อ)

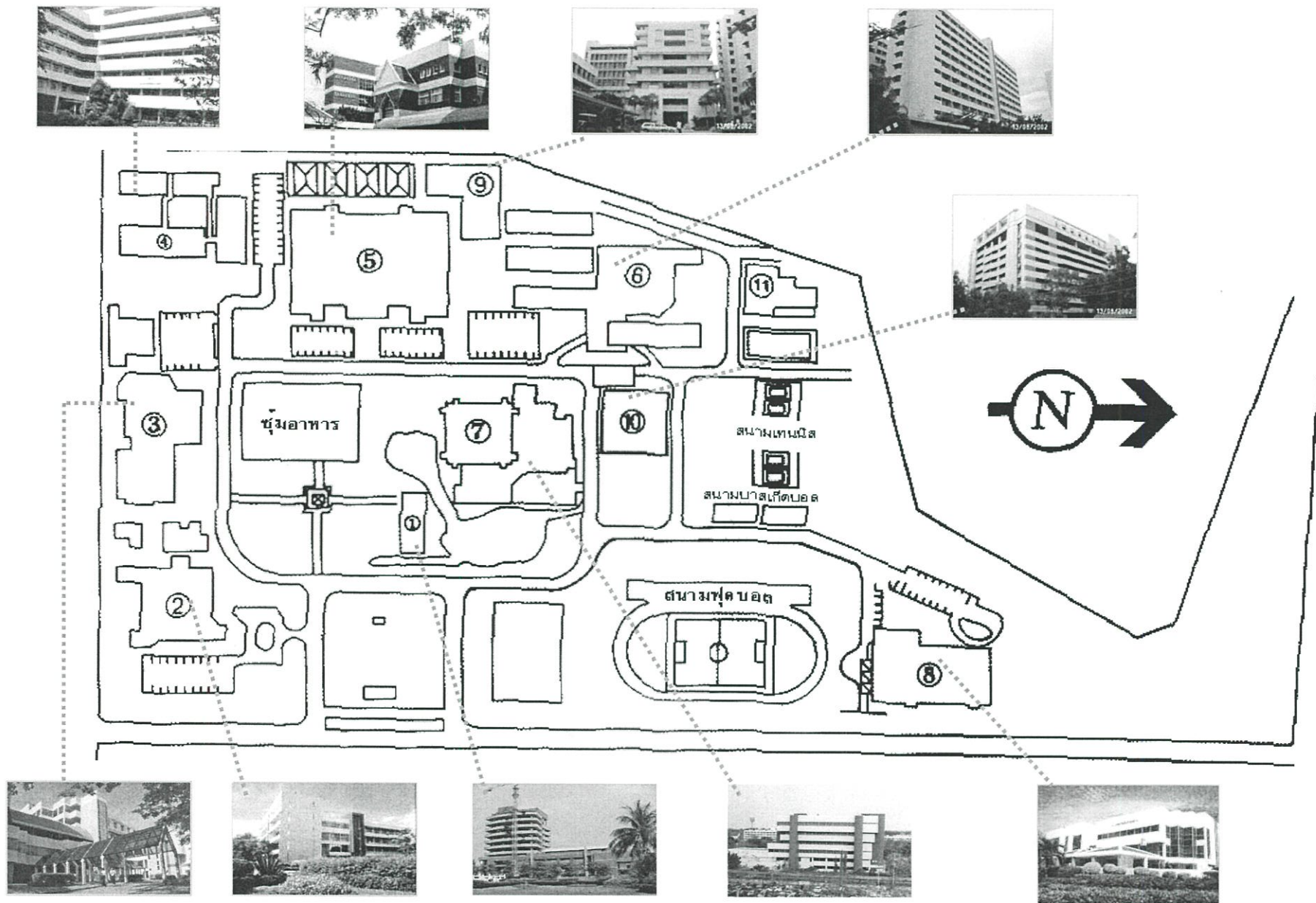


รูปตัด  
มาตราส่วน 1/300



รูปตัด  
มาตราส่วน 1/300





รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะทิศทาง การวางผังและสภาพแวดล้อมของมหาวิทยาลัยและอาคารกรณีศึกษา

### 3.4 รายละเอียดทางสถาปัตยกรรมของกรอบอาคาร

เราสามารถแบ่งแยกรายละเอียดทางสถาปัตยกรรมของกรอบอาคารตามลักษณะต่างๆ โดยในงานวิจัยนี้จะแบ่งรายละเอียดของกรอบอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษาตามลักษณะดังนี้

1. ผนังทึบ (Opaque Wall)
2. ช่องเปิด (Opening Wall ) หรือผนังกระจก (Glazing Wall)
3. หลังคา (Roof)

#### 3.4.1 ผนังทึบ (Opaque Wall)

ในส่วนที่เป็นผนังทึบ สามารถแบ่งแยกออกเป็น ลักษณะดังนี้

1. ผนังภายนอกอาคารเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน ทาสีน้ำพลาสติกสีครีม มีความหนารวม 120 มม. , ผนังอีกส่วนเป็นผนังคอนกรีตหนา 120 มม. ทาสีเข้ม
2. ผนังภายในอาคาร ใช้เป็นส่วนกันพื้นที่ภายใน มีทั้งผนังที่เป็นผนังทึบที่เป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ ทาสีทั้งหมดและผนังเบาที่เป็นผนังกระจก โดยวัสดุที่ใช้คือกระจกใสหนา 6 มม. กรอบวงกบเป็นอลูมิเนียม นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เป็นผนังสำเร็จรูปในส่วนของห้องน้ำและผนังที่ใช้แผ่น Acoustic Board บน โครงเคร่าไม้  $1/2 * 3$  นิ้ว @ 0.60 ม. ส่วนพื้นที่ทำงานในส่วนของบรรณารักษ์และเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการภายในพื้นที่อ่านหนังสือจะใช้เคาน์เตอร์ให้บริการยืม-คืน เป็นส่วนแบ่งแยกพื้นที่ ทำให้พื้นที่โดยรวมมีลักษณะเปิดโล่ง ต่อเนื่องกันโดยตลอด
3. โครงสร้างอาคาร เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งหมด โดยคานหลักเป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีขนาด 0.60\*0.25 ม.ส่วนคานรองมีขนาดที่เล็กลงตามลำดับ เสาคอนกรีตกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 ม. พื้นคอนกรีตหล่อในที่มีความหนา 120 มม. ส่วนวัสดุผิวพื้นจะแตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งาน เช่นพื้นที่อ่านหนังสือในชั้นที่3-5, พื้นที่สำนักงานและห้องเรียนต่างๆ วัสดุพื้นเป็นกระเบื้องยางขนาด 30\*30ซม. ส่วนบริเวณทางเดินต่างๆ โถงลิฟท์ บันไดวัสดุพื้นเป็นหินล้างสลับกระเบื้องเซรามิก ขนาด 30\*30ซม.

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดโครงสร้างผนังภายนอกและผนังทึบของอาคาร

ลักษณะ	ชนิดของวัสดุ/ความหนา(mm)						
	ชั้นที่1	หนา	ชั้นที่2	หนา	ชั้นที่3	หนา	สีทาภายนอก
1.	ปูน	10	อิฐ	100	ปูน	10	สีครีม
2.	ปูน	10	อิฐ	100	ปูน	10	สีฟ้า
3.	ปูน	10	อิฐ	100	ปูน	10	น้ำตาล
4.	คานคอนกรีต	250	-	-	-	-	สีครีม
5.	คานคอนกรีต	250	-	-	-	-	สีฟ้า
6.	คานคอนกรีต	250	-	-	-	-	น้ำตาล



รูปที่ 3.3 แสดงผนังภายนอกและผนังทึบ ลักษณะ โครงสร้างของอาคาร

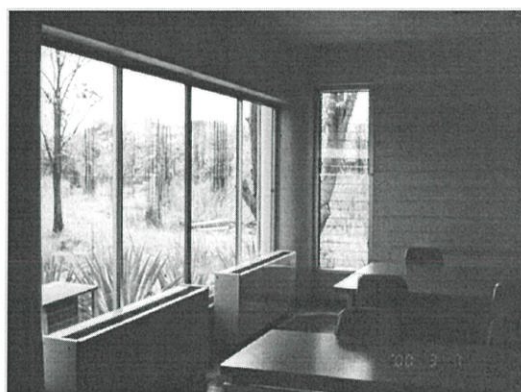
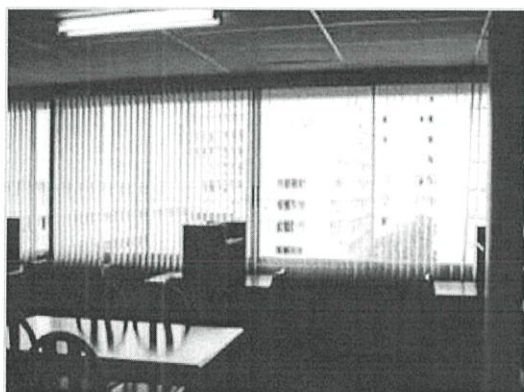
3.4.2 ช่องเปิด (Opening Wall )หรือผนังกระจก (Glazing Wall) สามารถแบ่งแยกออกเป็นลักษณะ ดังนี้

1. ช่องเปิดที่อยู่ในส่วนของผนังภายนอก ใช้เป็นช่องเปิดที่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารตามความต้องการของผู้ออกแบบและในขณะเดียวกันก็นำความร้อนเข้าสู่อาคารได้เช่นกัน โดยช่องเปิดทั้งหมดใช้กระจกใสหนา 6 มม. และ 6 มม. มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (sc.) เท่ากับ 0.64 และ 0.96 ตามลำดับ ติดตั้งในกรอบวงกบอลูมิเนียม ไม่มีอุปกรณ์บังแดดป้องกันแสงแดดให้กับช่องเปิดในทุกๆ ด้าน
2. ในส่วนของบานเปิดที่เป็นประตูห้องเรียน ห้องประชุมมีทั้งส่วนที่เป็นประตูบานไม้อัดสัก ทาสีน้ำมันสีม่วงอ่อน ขนาด 0.90\*2.00 ม. มีช่องแสงในบานเปิดเป็นกระจกใส หนา 6 มม. และส่วนที่เป็นประตูกระจกใส กรอบบานอลูมิเนียม

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดโครงสร้างของช่องเปิดและผนังโปร่งใส

ลักษณะ	จำนวนชั้น ของกระจก	ชนิดของกระจก/ความหนา (mm)			ชนิดของอุปกรณ์ บังแดด
		หนา	ชนิด	SC*	
1.	1	6	สีชา	0.64	-
2.	1	5	ใส	0.96	-

SC\* = Shading Coefficient



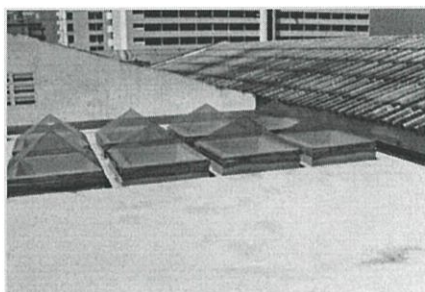
รูปที่ 3.4 แสดงช่องเปิดและผนังกระจกใสภาพนอกอาคาร

### 3.4.3 หลังคา ( Roof ) หลังคาของอาคารหอสมุดกลางสามารถแยกได้เป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

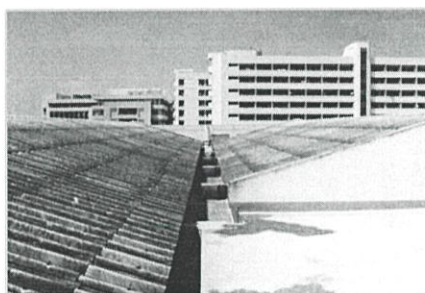
1. หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก (Flat Slab ) ความหนา 120 มม. มีระยะช่องว่างของอากาศจากท้องพื้นคอนกรีตถึงฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 0.70 ม. โดยฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 8 มม. ติดตั้งบนโครงคร่าวอลูมิเนียมรูปตัวที ( T-bar ) ไม่มีฉนวนกันความร้อน
2. หลังคากระเบื้องลอนคู่ สีขาว เอียงลาดทำมุม 15 องศา ขนาดแผ่นกระเบื้อง 0.50\*1.20 ม. บนโครงเหล็กรูปตัวซี ปูแผ่นสะท้อนความร้อน Durafoil no.435 ใต้แผ่นหลังคา มีระยะช่องว่างของอากาศจากท้องคานถึงฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด 0.70ม. ส่วนหลังคาคู่ห้องประชุมใหญ่ชั้น 1 เป็นหลังคากระเบื้องลอนคู่โค้งสีขาว บนโครงสร้างเหล็กถักรูปตัวซี ปูแผ่นสะท้อนความร้อน Durafoil no.435 ใต้ชั้นหลังคา ส่วนฝ้าเพดานแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 8 มม. ตีเอียงตามลักษณะของห้องบนโครงสร้างเหล็กของ BSP

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของโครงสร้างหลังคาอาคารสำนักหอสมุด

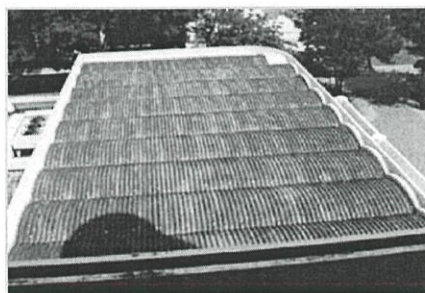
	ลักษณะ		ชนิดของวัสดุ/ความหนา (mm )				
	ชั้นที่1	หนา	ชั้นที่2	หนา	ชั้นที่3	หนา	สีทาภายนอก
1.	คอนกรีต	120	Air Gap	70	ยิปซั่ม	8	สีขาว
2.	กระเบื้องลอน	8	Air Gap	70	ยิปซั่ม	8	สีขาว



แสดงหลังคาส่วนที่เป็นคอนกรีต หลังคากระเบื้องลอน และช่องแสง



แสดงหลังคาส่วนที่เป็นหลังคากระเบื้องลอน



แสดงหลังคาคลุมส่วนห้องประชุมเอนกประสงค์

รูปที่ 3.5 แสดงส่วนประกอบของหลังคาอาคารสำนักสมุดกลางและศูนย์สารสนเทศ

### 3.5 รูปแบบและลักษณะการใช้พื้นที่ของอาคาร

จากที่กล่าวนำไปไว้ในหัวข้อข้างต้นว่าอาคารกรณีศึกษานี้มีรูปแบบลักษณะการใช้งานหลายลักษณะคือ ส่วน Podium ของอาคารตั้งแต่ชั้นที่ 1 และชั้นลอย ของอาคาร ประกอบด้วยศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ ส่วนสำนักงานศูนย์สารสนเทศ ห้องเรียนรวม ห้องปฏิบัติการทางภาษา ส่วนผลิตสื่อโสตทัศนศึกษา ส่วนแนะแนวการศึกษาต่อต่างประเทศ ห้องประชุมขนาด200ที่นั่ง ชั้นลอยจะเป็นส่วนสำนักงานอาคารสำนักหอสมุด และส่วนให้บริการสารสนเทศ ส่วนห้องสมุดตั้งแต่ชั้นที่ 2-5 ของอาคาร ประกอบด้วยพื้นที่อ่านหนังสือ ห้องหนังสืออ้างอิง ห้องทำงานเจ้าหน้าที่และพื้นที่ให้บริการ Internet ห้องทรงงาน ห้องเก็บวิทยานิพนธ์และงานวิจัยทางวิชาการ เป็นต้น



ส่วนอ่านหนังสือ ชั้น2-5



บริการInternet ชั้น2-5



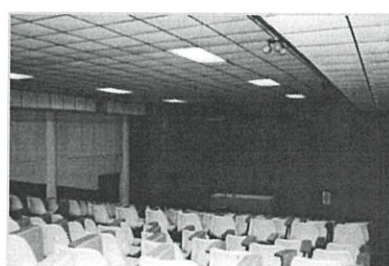
ส่วนอ่านหนังสือ ชั้นที่2-5



สื่อโสตทัศนศึกษา ชั้นลอย



ส่วนอ่านหนังสือ ชั้นที่2-5



ห้องประชุมใหญ่ ขนาด 200ที่นั่ง

รูปที่3.6 แสดงรูปแบบและลักษณะการใช้พื้นที่ของอาคาร

### 3.6 วิเคราะห์การจัดส่วนที่เก็บหนังสือและส่วนอ่านหนังสือจากอาคารกรณีศึกษา

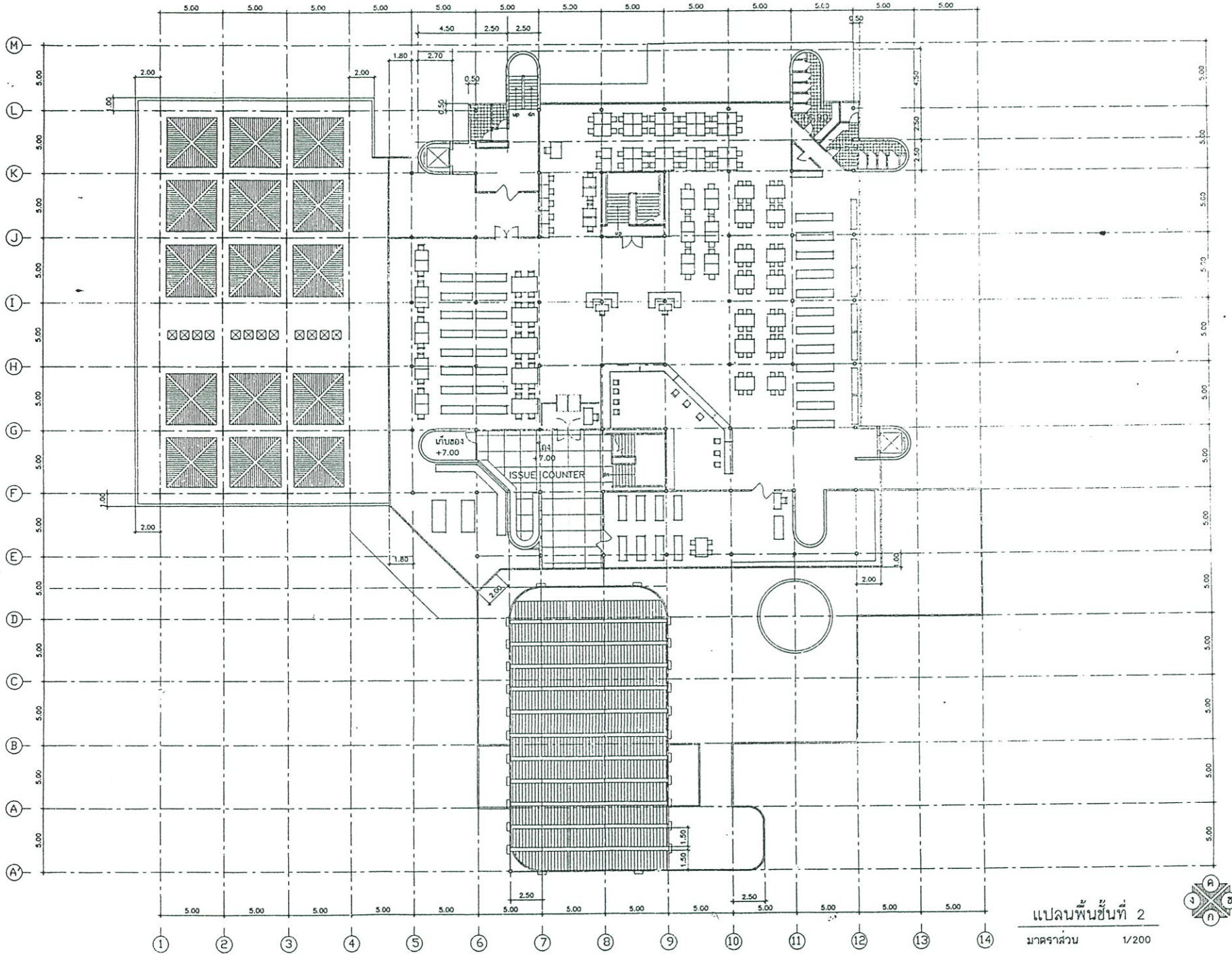
จากรูปแบบการจัดส่วนที่เก็บหนังสือ และส่วนที่อ่านหนังสือทั้ง 3 รูปแบบที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 และการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของรูปแบบทั้ง 3 แบบ ตลอดจนมาตรฐานต่าง ๆ ของอาคารห้องสมุดเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการจัดพื้นที่ใช้สอยของอาคารกรณีศึกษาพบว่า รูปแบบการจัดพื้นที่ในส่วนต่าง ๆ ของอาคารเป็นแบบยืดหยุ่น ผสมผสานให้เหมาะสมกับพื้นที่และลักษณะเฉพาะของอาคารแต่ละชั้น โดยแยกพิจารณาเป็นชั้น ๆ ได้ดังนี้

- ชั้นที่ 2 ลักษณะการจัดส่วนเก็บหนังสือและอ่านหนังสือจะอยู่ในพื้นที่ที่ใกล้เคียงกัน โดยจะกระจายไปตามพื้นที่รอบนอกของชั้น 2 ส่วนอ่านหนังสือจะอยู่ริมหน้าต่างเพื่อให้ได้รับแสงธรรมชาติ ในด้านทิศตะวันออกและทิศใต้ ส่วนทิศตะวันตกจะจัดชั้นวางหนังสือไว้ริมหน้าต่างเพื่อช่วยป้องกันความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร ทางด้านทิศเหนือจัดเป็นส่วนหนังสืออ้างอิง เนื่องจากด้านนี้จะได้รับอิทธิพลจากแสงแดดน้อยที่สุด พื้นที่ส่วนกลางจัดเป็นส่วนสัญจร คั้นหารายการ ทำงานเจ้าหน้าที่
- ชั้นที่ 3 ลักษณะการจัดพื้นที่ชั้น 3 แตกต่างจากชั้น 2 โดยสิ้นเชิง คือจะจัดพื้นที่อ่านหนังสือไว้ที่กลางอาคารทั้งหมด จะจัดส่วนเก็บหนังสือไว้ด้านข้าง ทั้ง 3 ด้านของอาคาร ยกเว้นด้านทิศใต้ ที่จัดส่วนบริการ Internet ไว้ริมอาคาร
- ชั้นที่ 4 ลักษณะการจัดพื้นที่ชั้น 4 เป็นลักษณะแบ่งโซนการจัดพื้นที่ โดยแต่ละโซนก็จะเป็นส่วนเก็บหนังสือและอ่านหนังสืออยู่ในพื้นที่เดียวกัน โดยเกณฑ์การแบ่งโซนขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดประเภทของหนังสือ โดยส่วนใหญ่หนังสือชั้นที่ 4 เป็นประเภท นิตยสาร วารสาร จุลสาร หนังสือพิมพ์ หนังสือต่างประเทศ และลักษณะการจัดพื้นที่ซึ่งเป็นลักษณะการจัดที่นั่งอ่านหนังสือถึงพักผ่อนเป็นส่วนใหญ่
- ชั้นที่ 5 ลักษณะโดยส่วนใหญ่ของชั้นที่ 5 แบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ
  - ห้องทรงงาน สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
  - ห้องอ่านหนังสือ
  - ห้องเก็บหนังสือ/วิทยานิพนธ์

พื้นที่อ่านหนังสือและเก็บหนังสือ / วิทยานิพนธ์ จะเป็นการจัดพื้นที่แบบยืดหยุ่น โดยจัดชั้นเก็บหนังสือ / วิทยานิพนธ์ไว้โดยรอบอาคาร ลักษณะตู้เก็บหนังสือจะอยู่สูงระดับเดียวกับขอบวงกบล่างของช่องแสง ที่ระดับ 0.90m. และให้ส่วนอ่านหนังสืออยู่ตรงกลางของพื้นที่ทั้งหมด และสามารถจัดพื้นที่อ่านหนังสือได้ในรูปแบบอื่น ๆ ตามต้องการ

ส่วนพื้นที่ที่เป็นส่วนแกนกลางของอาคาร เช่น โถงบันไดหลักใช้สัญจรภายในอาคารนั้นจะอยู่ในส่วนในของอาคารตั้งแต่ชั้นที่ 2-5 ซึ่ง จะใช้ประโยชน์จากแกนอาคารเพื่อป้องกันความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารน้อยมาก แกนอาคารอีกส่วนหนึ่ง คือ แกนอาคารในส่วนผนังคอนกรีตที่อยู่มุมอาคารทั้ง 4 มุมนั้น เป็นส่วนที่ไม่มีการปรับอากาศในบางจุดคือทางด้านหลังของอาคาร แต่มีส่วนต่อเนื่องกับพื้นที่ปรับอากาศ จึงมีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศได้ทั้งทางผนัง พื้นและเพดาน ซึ่งจะเป็นภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศในที่สุด

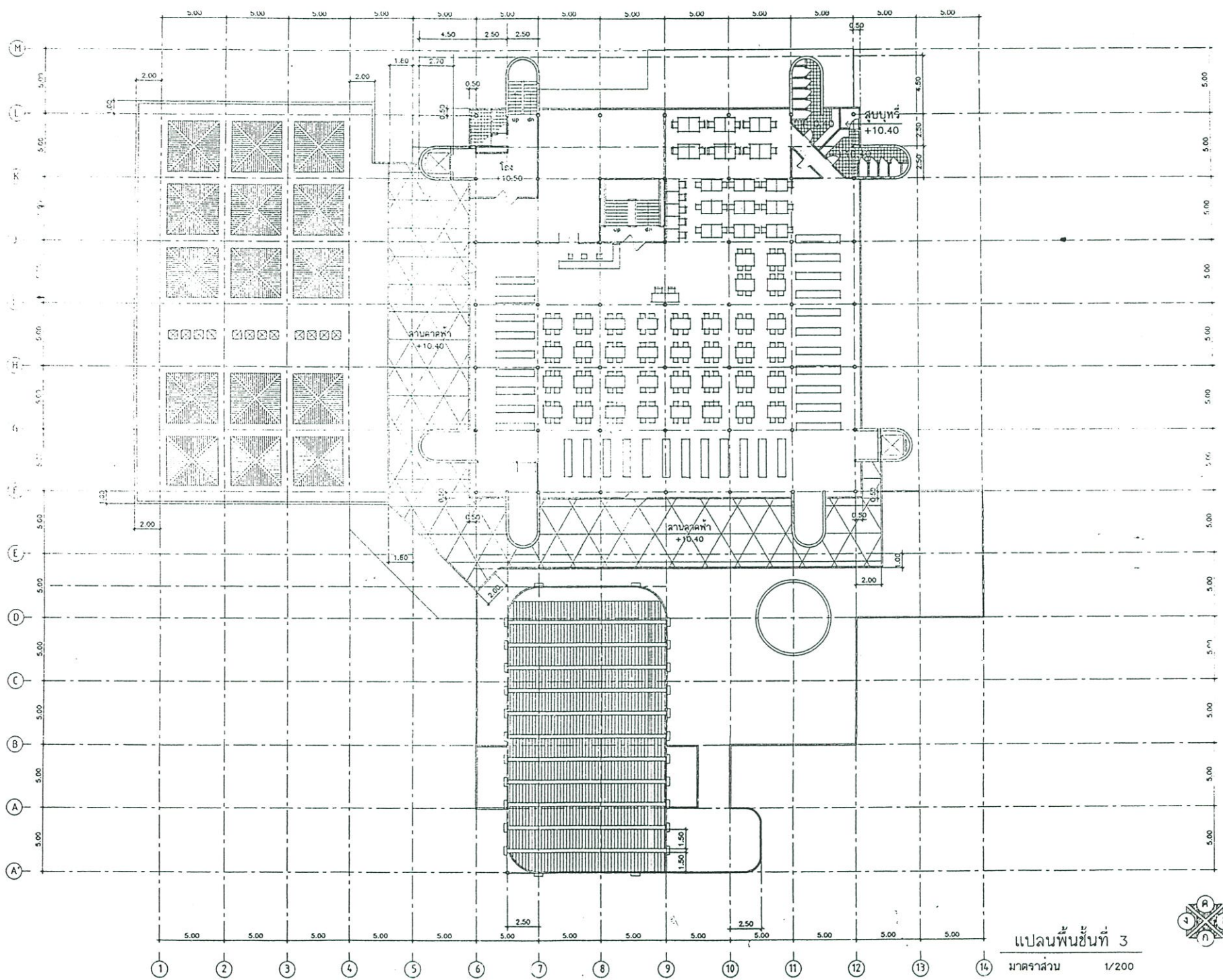
รูปที่ 3.7 แสดงแผนผังการใช้พื้นที่ภายในอาคาร ชั้นที่ 2-5



แปลนพื้นที่ 2  
มาตราส่วน 1/200



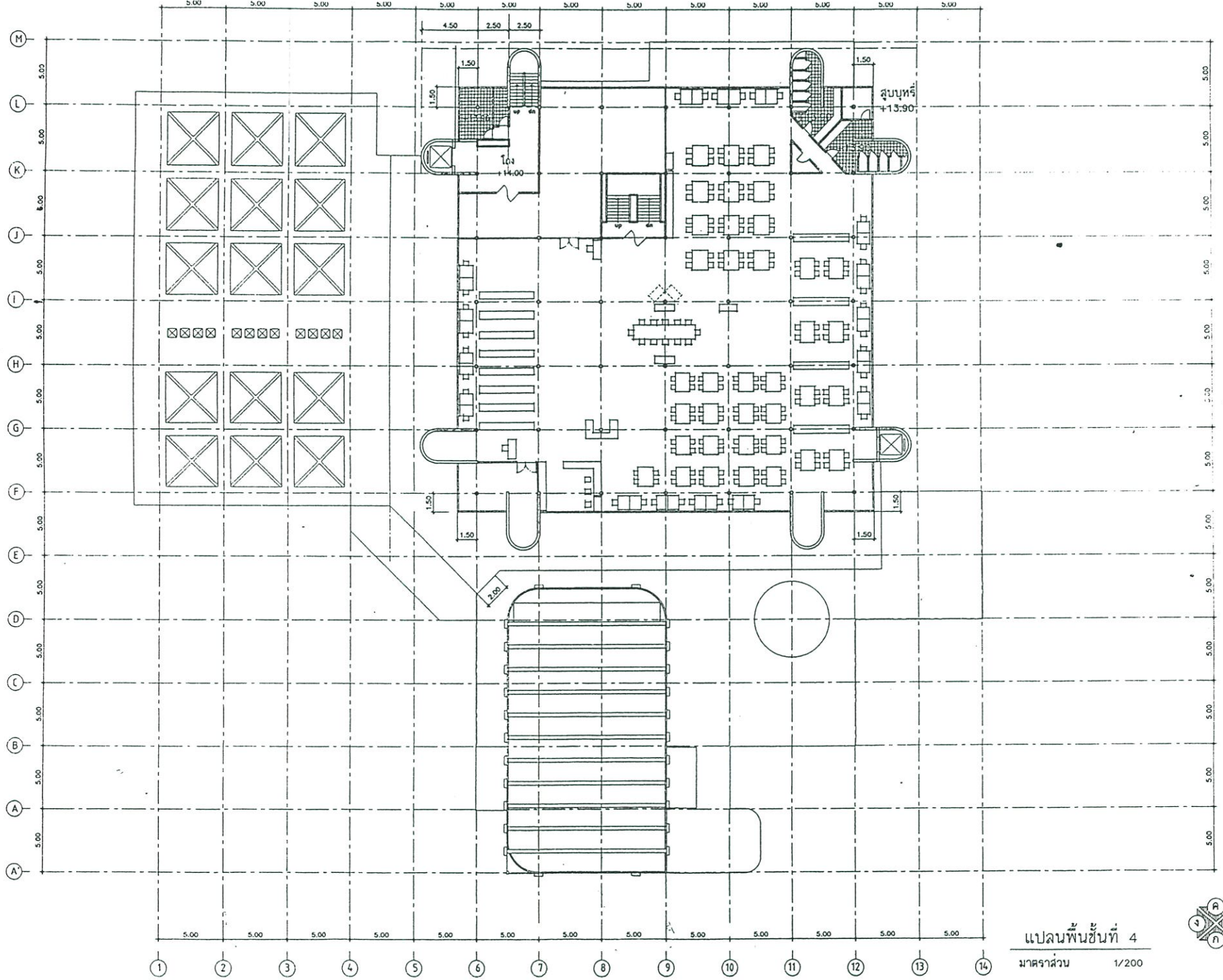
รูปที่ 3.7 แสดงแผนผังการใช้พื้นที่ภายในอาคาร ชั้นที่ 2-5 (ต่อ)



แปลนพื้นที่ 3  
มาตราส่วน 1/200



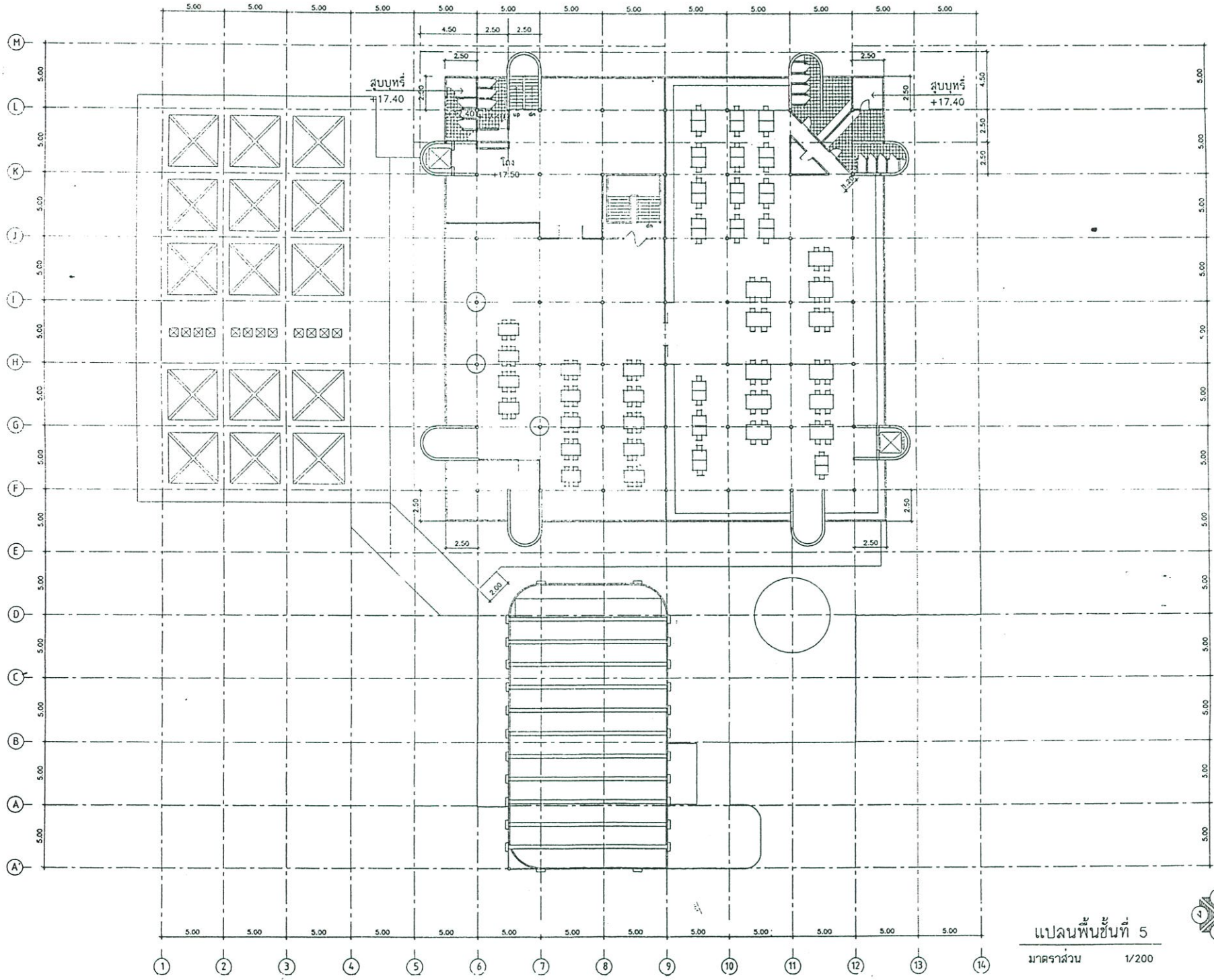
รูปที่ 3.7 แสดงแผนผังการใช้พื้นที่ภายในอาคาร ชั้นที่ 2-5 (ต่อ)



แปลนพื้นที่ 4  
มาตราส่วน 1/200

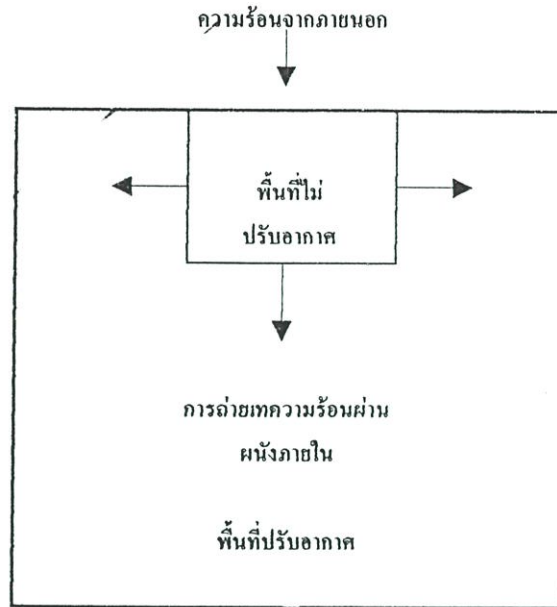


รูปที่ 3.7 แสดงแผนผังการใช้พื้นที่ภายในอาคาร ชั้นที่ 2-5 (ต่อ)



แปลนพื้นที่ 5  
มาตราส่วน 1/200





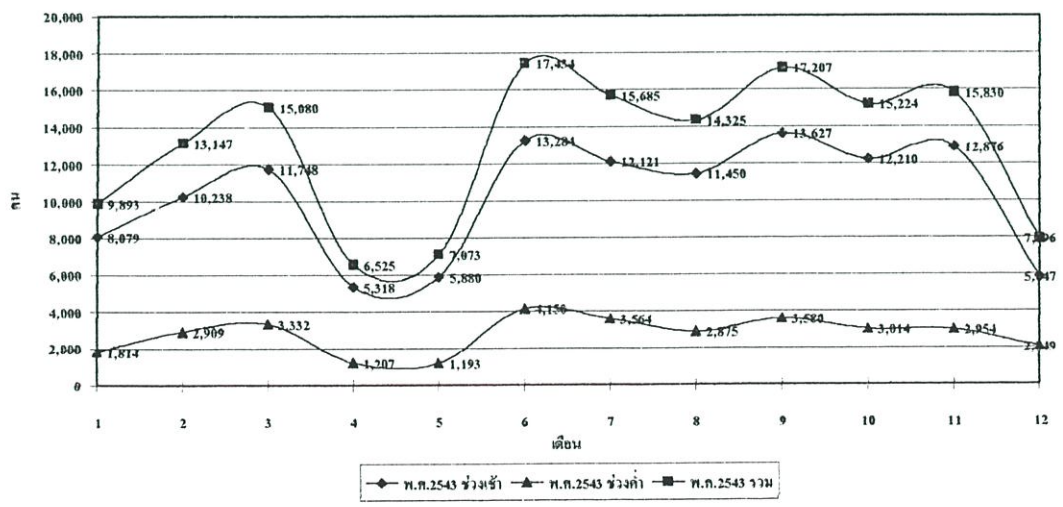
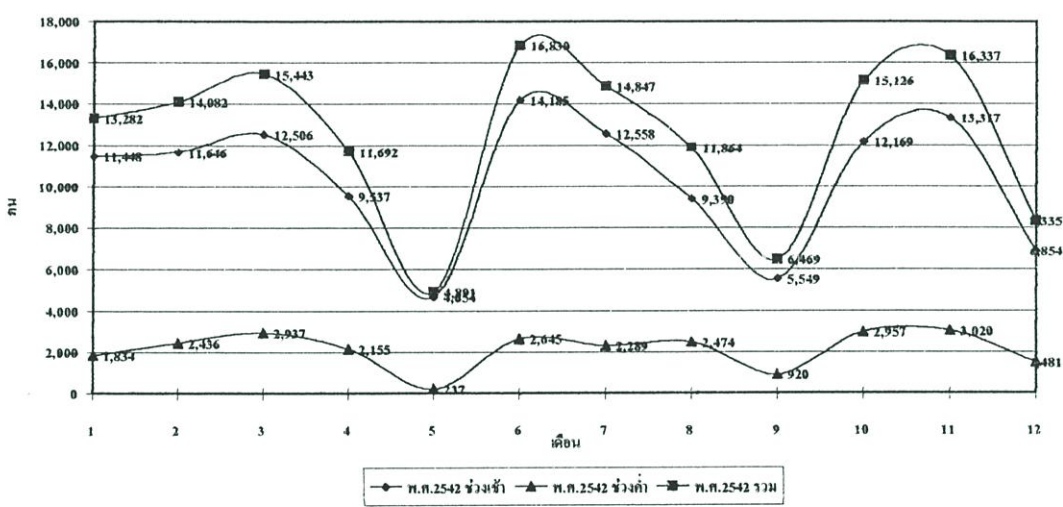
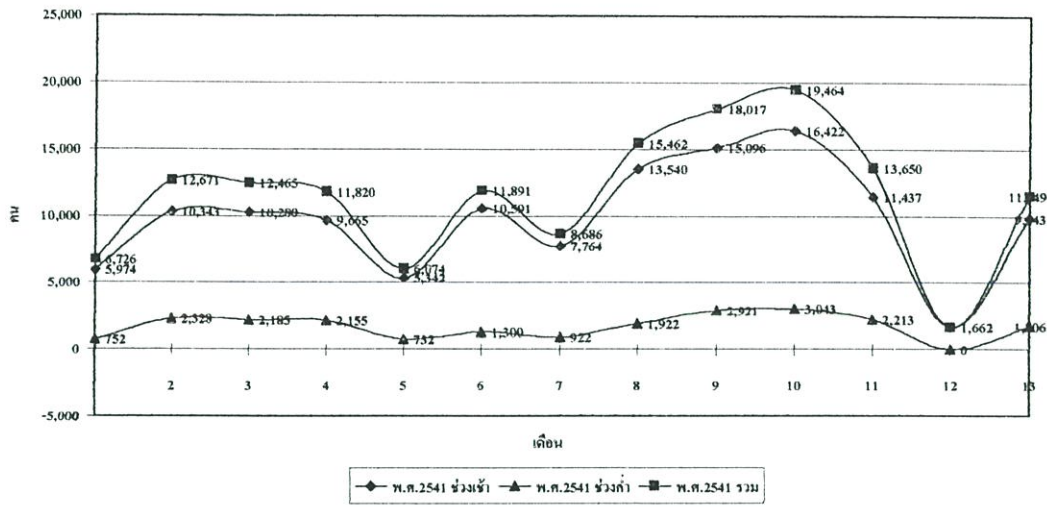
ที่มา: จารุวรรณ ประภาทรงสิทธิ์, วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544

รูปที่ 3.8 แสดงการถ่ายเทความร้อนจากพื้นที่ไม่ปรับอากาศสู่พื้นที่ปรับอากาศ

### 3.6.1 ลักษณะทางกายภาพของอาคาร

1. สัดส่วนผนังพื้นต่อผนังโปร่งแสงของอาคาร มีอัตราส่วนอยู่ที่ 2 : 1 พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นผนังทึบที่มีมวลสารมาก ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการสะสมความร้อนในผนังอาคาร และจะถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้มาก ส่วนผนังโปร่งแสงนั้น มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารมากเช่นกันทั้งนี้สามารถพิจารณาจากกราฟที่แสดงภาวะจากกรอบอาคารในระบบปรับอากาศ
2. วัสดุหลักที่ใช้เป็นเปลือกอาคาร
  - ผนังทึบ ผนังทึบส่วนใหญ่คือ ผนังก่ออิฐ ฉาบปูน และผนังคอนกรีตมีน้ำหนักมาก ค่าความต้านทานความร้อนที่สูงซึ่งทำให้มีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ อาคารได้ช้ากว่าปกติ (Time lag) ในขณะเดียวกันก็มีค่าความจุความร้อนสูงเช่นกัน
  - ผนังโปร่งแสง วัสดุโปร่งแสงที่ใช้ในอาคาร คือ กระจกใสธรรมดาขนาดหนา 6 มม. มีค่า ส.ป.ส. การถ่ายเทความร้อนสูง ค่า S.C. มีค่าสูง ทำให้ความร้อนสามารถถ่ายเทผ่านผนัง โปร่งเข้าสู่อาคารได้มาก
3. การติดตั้งแผงกันแดดให้อาคาร จากลักษณะทางกายภาพของอาคารนั้น ไม่มีอุปกรณ์บังแดดโดยตรงให้กับอาคาร นอกจากส่วนยื่นทางสถาปัตยกรรม ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังแดดให้กับผนังและช่องแสงในชั้นที่ 3 และ 4 เท่านั้น

4. อุณหภูมิควบคุมภายในพื้นที่ปรับอากาศ อุณหภูมิโดยเฉลี่ยจากการทำตรวจวัดภายในอาคารทั้งหมดมีค่า 22-23 องศา ซึ่งค่อนข้างต่ำ ดังนั้นเราสามารถปรับเพิ่มอุณหภูมิได้อีก โดยไม่มีผลกระทบต่อความรู้สึกรบายของผู้ใช้อาคาร เป็นการช่วยลดภาระการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศได้ ส่วนค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 48-51% ซึ่งเป็นความชื้นที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของห้องสมุดทั่วไป
5. การเลือกอุปกรณ์ในระบบแสงสว่าง อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบแสงสว่างในอาคารนั้นเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพต่ำ อายุการใช้งานยาวนาน ค่ากำลังไฟฟ้าต่อโคมมีค่าสูง ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างมากกว่าที่ควร
6. เนื่องจากอาคารกรณีศึกษามีรูปแบบทางสถาปัตยกรรมเป็น 4 เหลี่ยมจัตุรัสทำให้แนวแกนอาคารสมมาตรทั้ง 2 แนวแกน สัดส่วนพื้นที่ผนังที่บดบัง โปร่งแสงในด้านทั้ง 4 มีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้การถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคารมีค่าสูง ดังนั้นการปรับปรุงผนังที่บดบังและ โปร่งแสงในทิศทางและตำแหน่งที่เหมาะสม จะช่วยลดความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารได้



รูปที่ 3.9 แสดงสถิติจำนวนผู้เข้ามาใช้บริการอาคารสำนักหอสมุดปี 2541-2543

ตารางที่ 3.4 แสดงพื้นที่ในอาคารส่วนที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ

การใช้พื้นที่ชั้นที่ 1	พื้นที่
1. ศูนย์เทคโนโลยีทางการศึกษา	480
2. ส่วนสำนักงาน	136.25
3. ห้องผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยี	17.5
4. ห้องอ่านหนังสือ	381.25
5. ห้องติดต่อเทปโทรทัศน์	61.25
6. ห้องสัมมนา	100
7. ห้องประชุมใหญ่	156.25
8. ห้องเจ้าหน้าที่	28
<b>รวม</b>	<b>1,360.50 ม<sup>2</sup>.</b>

การใช้พื้นที่ชั้นที่ 2	พื้นที่
1. สำนักงานสำนักหอสมุด	550
2. ห้องผู้อำนวยการสำนักหอสมุด	30
3. ห้องโสตทัศนศึกษา	500
4. ห้องควบคุมเสียง แสง	31.25
5. ห้องทำงานแม่บ้าน	57.50
<b>รวม</b>	<b>1,168.75 ม<sup>2</sup>.</b>

การใช้พื้นที่ชั้นที่ 3	พื้นที่
1. ห้องทำงานเจ้าหน้าที่ / บรรณารักษ์	60
2. ส่วนอ่านหนังสือ	855
3. ห้องหนังสืออ้างอิง	132
<b>รวม</b>	<b>1,047.00 ม<sup>2</sup>.</b>

การใช้พื้นที่ชั้นที่ 4	พื้นที่
1. ห้องทำงานเจ้าหน้าที่ / บรรณารักษ์	60
2. ส่วนอ่านหนังสือ	933.5
<b>รวม</b>	<b>993.50 ม<sup>2</sup>.</b>

การใช้พื้นที่ชั้นที่ 5	พื้นที่
1. ห้องทำงานเจ้าหน้าที่ / บรรณารักษ์	60
2. ส่วนอ่านหนังสือ	1061.5
<b>รวม</b>	<b>1,121.50 ม<sup>2</sup>.</b>
การใช้พื้นที่ชั้นที่ 6	พื้นที่
1. ห้องทรงงานสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา	193.75
2. หอจดหมายเหตุ	657.50
3. ห้องเก็บวิทยานิพนธ์ / งานวิจัย	438.75
<b>รวม</b>	<b>1,290.00 ม<sup>2</sup>.</b>

### 3.7 การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร

การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของมหาวิทยาลัยสามารถแยกได้ดังนี้

1. ระบบปรับอากาศ	64.47% (5,833,683 kWh./ปี)
2. ระบบแสงสว่าง	16.01% (1,448,760 kWh./ปี)
3. ระบบอื่นๆ	19.52% (1,766,193 kWh./ปี)
<b>รวม</b>	<b>100% (9,048,636 kWh./ปี)</b>

เมื่อพิจารณาระยะเวลาการทำงานของระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร สามารถแยกได้ดังนี้

1. ระบบปรับอากาศ	9ชม./วัน	250วัน/ปี
2. ระบบแสงสว่าง	10ชม./วัน	250วัน/ปี

#### 3.7.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี

ปริมาณ	9,048,636 kWh./ปี
ราคาค่าไฟฟ้า	17,735,326 บาท/ปี
ราคาไฟฟ้าต่อหน่วย	1.96 บาท/Kw.
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดสำหรับผู้ซื้อไฟฟ้าในอัตราปกติ	3,580.8kW
ตัวประกอบโหลด	28.8%
แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย	398 โวลต์
ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.86
ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า	554kWh./คน-ปี และ 75 kW/m <sup>2</sup>

### 3.7.2 การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยรังสิต

#### 1. ระบบปรับอากาศ

$$\text{ความสามารถสูงสุดของเครื่องปรับอากาศ} = 43,790,253 \text{ btu/hr.} \quad \dots\dots\dots(1.1)$$

$$\text{หรือ} = \frac{43,790,253 \times 1.45}{12,000} \text{ kW.}$$

$$\text{ความสามารถสูงสุดของเครื่องปรับอากาศ} = 5,291.3 \text{ kW.} \quad \dots\dots\dots(1.2)$$

$$= 775 \text{ btu /hr. / m}^2.$$

$$\text{ชั่วโมงการทำงาน} = (9\text{ชม./วัน}) \times (250\text{วัน/ปี})$$

$$= 2,250 \text{ ชั่วโมง/ปี}$$

$$\text{การทำงานของเครื่องปรับอากาศ(Load/Unload)} = 70\%$$

อัตราพลังความเย็นปกติ ประมาณ 70% ของความสามารถสูงสุด

$$\begin{aligned} \text{พลังไฟฟ้าต่อปี} &= \text{ความสามารถสูงสุด(btu/hr.)} \times 0.7 \times 2,250 \times (1.45/12,000) \\ &= 43,790,253 \times 0.7 \times 2,250 \times (1.45/12,000) \\ &= 5,833,683 \text{ kWh.- yr} \quad \dots\dots\dots(1.3) \end{aligned}$$

คิดเป็นสัดส่วนพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

$$\begin{aligned} &= \frac{5,833,683 \times 100}{9,048,636} \\ &= 64.47 \% \quad \dots\dots\dots(1.4) \end{aligned}$$

#### 2. ระบบแสงสว่าง

การคำนวณปริมาณการใช้พลังงานแสงสว่าง

$$\text{Load ของแสงสว่างของอาคาร} = 724.37 \text{ kW.} \quad \dots\dots\dots(1.5)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การใช้งานเฉลี่ย} = 80 \%$$

$$\text{ชั่วโมงการทำงาน} = (10\text{ชั่วโมง/วัน}) \times (250\text{วัน/ปี})$$

$$= 2,500 \text{ ชั่วโมง /ปี}$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบแสงสว่าง} = [\text{พลังไฟฟ้า(kW)} \times \text{ชั่วโมงทำงาน} \times \text{เปอร์เซ็นต์การใช้งานเฉลี่ย}]$$

$$= (724.38 \times 10 \times 250 \times 0.80)$$

$$= 1,448,760 \text{ kWh./ปี} \quad \dots\dots\dots(1.6)$$

$$\text{คิดเป็น Load ไฟฟ้า} = (1,448,760 / 9,048,636) \times 100$$

$$= 16.01 \% \quad \dots\dots\dots(1.7)$$

พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ใช้ในอาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศเป็นการใช้ในระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศมากกว่าระบบอื่นๆ โดยระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบปรับอากาศจะมีช่วงระยะเวลาการใช้งานตั้งแต่เวลา 09.00-17.30 ในทุกๆพื้นที่ ส่วนพื้นที่อ่านหนังสือคือพื้นที่ชั้น 2-5 จะเปิดให้บริการถึงเวลา 20.00 น. และเปิดให้บริการตั้งแต่วันอังคาร- เสาร์ (ที่มา:ฝ่ายอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยรังสิต,2543)

ตารางที่ 3.5 แสดงรายละเอียดของระบบปรับอากาศของอาคารสำนักหอสมุด

รายการ	ขนาด (Btu)	จำนวน (เครื่อง)	บริเวณใช้งาน
1. เครื่องปรับอากาศ	444,000	1	ห้องเรียนรวม
	38,300	3	ศึกษาระดับสูง
	26,500	3	ศึกษาต่อเนื่อง
	56,250	1	ห้องข้อสอบ
	33,400	6	ฝ่ายผลิต,ห้องคอมพิวเตอร์
	20,300	6	ศูนย์เทคโนโลยี,เจ้าหน้าที่
			ห้องผู้อำนวยการ
	63,000	6	ห้องอ่านหนังสือ
	34,000	8	ฝ่ายบริหาร
	18,300	4	ห้องสมุด
	101,660	12	ห้องสมุด
	26,000	2	ห้องสมุด
	32,800	14	ห้องสมุด
	39,500	3	ห้องสมุด
รวม		69	

รวมพื้นที่ปรับอากาศทั้งอาคาร 9,300 ตร.ม.  
 ขนาดทำความเย็น / พื้นที่ปรับอากาศ 500.61 บีทียู-ชม./ตร.ม.  
 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 478,115 kWh./ปี  
 อายุการใช้งานเฉลี่ย 8-10 ปี  
 ที่มา:ฝ่ายอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยรังสิต,2543

ตารางที่ 3.6 แสดงการตรวจวัดค่า EER ของเครื่องปรับอากาศ อาคารสำนักงานหอสมุด (อายุเครื่องปรับอากาศ 8-10 ปี)

หมายเลข เครื่อง	ขนาด (Btu/h)	พื้นที่ (sq.ft)	ความเร็วลม (fpm)	ปริมาณลม (cfm)	ความชื้น(%RH)		อุณหภูมิ (C)		Enthalpy (H)		diff.H	Btu./h.	Power Comp (Watt.)	EER (Btu-h/WC)	Kw/ton	EIR %
					R	S	R	S	R	S						
701	101,600	1.56	832	1,294.22	34.8	89.2	23.6	6.27	24.8	16.1	8.68	50,573.5	8,083	6.257	1.918	17.69
702	39,500	1.56	971	1,510.44	43.7	93.5	24.5	13	27.4	22.8	4.66	31,644.9	3,690	8.576	1.399	-6.27
703	32,800	0.89	780	693.33	42.8	97	26.5	13.4	29.3	23.6	5.7	17,784.1	2,820	6.306	1.903	15.28
704	20,300	0.89	654	581.33	38.6	93.1	26.6	12.7	28.4	22.5	5.92	15,497.7	2,490	6.224	1.928	12.87
705	18,800	1.67	572	953.33	30.4	92.3	25.7	12.7	25.6	22.4	3.22	13,798.8	1,930	7.15	1.678	4.79
706	83,300	3.11	619	1,925.78	48.7	85	23.8	13	27.9	21.9	5.95	51,569.1	7,380	6.988	1.717	10.99
707	25,000	1.33	723	964	48.2	80.8	24.7	15.6	28.7	24.1	4.54	19,681.2	2,976	6.613	1.815	9.89
708	38,300	1.44	428	618.22	46.1	89.8	25	13.2	28.5	22.7	5.83	16,220.2	1,976	8.209	1.462	-0.58
<b>เฉลี่ย</b>														<b>7.04</b>	<b>1.728</b>	

EER : Energy Efficiency Ratio คือ อัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศต่อปริมาณพลังงานที่ใช้เพื่อทำความเย็น หน่วย btu./h. /watt.

EIR : Energy Input Ratio คือ อัตราส่วนของพลังงานที่ต้องการเพื่อดึงความร้อนออกจากพื้นที่ต่อพลังงานความร้อนที่เครื่องปรับอากาศสามารถดึงออกได้ เป็นส่วนกลับของ COP

COP : Coefficient of Performance คือ อัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ถูกถ่ายออกไปต่อปริมาณพลังงานของระบบโดยรวมที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อน

ตารางที่ 3.7 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างของอาคารสำนักหอสมุด

ลำดับ	ชนิดของหลอด	ขนาด (Watt)	จำนวน (หลอด)	รวม (Watt)	การสูญเสียในบัลลาสต์ (Watt)	รวมทั้งหมด (Watt)
1.	ฟลูออเรสเซนต์	18	52	936	520	1,456
2.	ฟลูออเรสเซนต์	36	981	35,316	9,810	45,126
3.	หลอดไส้*	40	9	360	-	360
	รวม		1,042	36,612	10,330	46,942

หมายเหตุ \*เป็นหลอดที่ใช้สำหรับปรับความสว่างได้ (Dimming Switch)

พื้นที่ใช้งาน (ทั้งอาคาร)	14,000 ตร.ม.
กำลังการติดต่อพื้นที่ใช้งาน	3.53 Watt./ ตร.ม.
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	93,884 kWh / ปี
ที่มา: ฝ่ายอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยรังสิต, 2543	

ตารางที่ 3.8 แสดงค่าความสว่างโดยเฉลี่ย อาคารสำนักหอสมุด

ชั้นที่ 1

ชื่อห้อง	สูงสุด(lux)	ต่ำสุด(lux)	เฉลี่ย(lux)
1. ห้องLab	199	147	167
2. ห้องอ่านหนังสือ	349	125	227
3. ห้องพักอาจารย์	308	190	249
4. ห้องSlope	196	165	181
5. ห้องน้ำ	90	65	78
ค่าความสว่างเฉลี่ย			180

ตารางที่ 3.8 แสดงค่าความสว่างโดยเฉลี่ย อาคารสำนักหอสมุด (ต่อ)

## ชั้นลอย

ชื่อห้อง	สูงสุด(lux)	ต่ำสุด(lux)	เฉลี่ย(lux)
1. ห้องพักอาจารย์	387	183	287
2. ห้องประชุม	397	371	384
3. ห้องโสตทัศนูปการ	500	101	227
4. ห้องน้ำ	185	100	143
<b>ค่าความสว่างเฉลี่ย</b>			<b>260</b>

## ชั้นที่ 2

ชื่อห้อง	สูงสุด(lux)	ต่ำสุด(lux)	เฉลี่ย(lux)
1. ห้องอ่านหนังสือ	307	176	185
2. ห้องเก็บหนังสือวิทยานิพนธ์	365	270	305
3. ห้องพักเจ้าหน้าที่	325	306	316
4. ห้องน้ำ	103	96	100
<b>ค่าความสว่างเฉลี่ย</b>			<b>227</b>

## ชั้นที่ 3

ชื่อห้อง	สูงสุด(lux)	ต่ำสุด(lux)	เฉลี่ย(lux)
1. ห้องอ่านหนังสือ	231	97	158
2. ห้องพักเจ้าหน้าที่	294	193	231
3. ห้องน้ำ	138	136	137
<b>ค่าความสว่างเฉลี่ย</b>			<b>175</b>

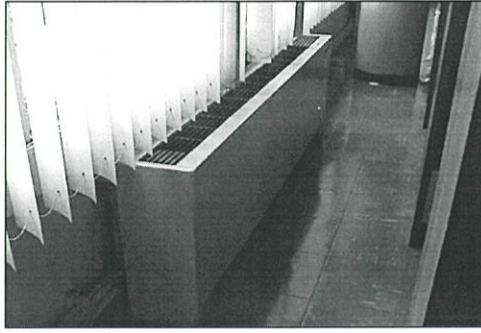
## ชั้นที่ 4

ชื่อห้อง	สูงสุด(lux)	ต่ำสุด(lux)	เฉลี่ย(lux)
1. ห้องอ่านหนังสือ	368	161	187
2. ห้องพักเจ้าหน้าที่	240	104	180
3. ห้องน้ำ	79	77	78
<b>ค่าความสว่างเฉลี่ย</b>			<b>148</b>

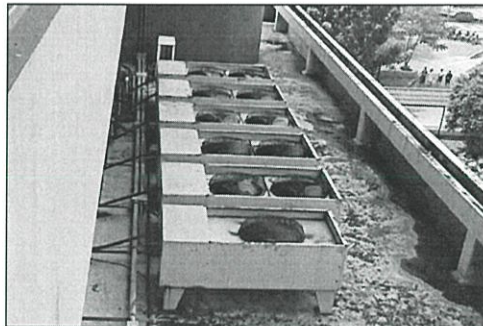
ตารางที่ 3.9 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่าง ของ CIE และ IES ในพื้นที่ใช้งาน

พื้นที่ใช้งาน(ก)	CIE(lux)	IES(lux)	พื้นที่ใช้งาน(ข)
ทางเดิน พื้นที่ทำงาน ภายนอกอาคาร	20-30-50	20-30-50(a)	Public space with dark Surrounding
ทางเดินภายในและการแวะ ผ่านระยะสั้นๆ	50-75-100	50-75-100(a)	Simple orientation for short tempora- ry visits
ห้องที่ไม่ได้ใช้งานแบบค่อ เนื่องเป็นเวลานาน	100-150-200	100-150-200 (a)	Working area where visual tasks are only occasionally performed
งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน	300-500-750		
งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ	1000-1500-2000	1000-1500-2000 (b)	Performance of visual tasks of low contrast of very small size
งานที่ใช้สายตาพิถีพิถันมาก	มากกว่า2000	2000-3000-5000  5000-7500-10000  10000 up	Performance of visual tasks of low contrast of very small size, Prolong period  Performance of very prolonged and exacting visual tasks  Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size

ที่มา : (ก) ดร. ชำนาญ ห่อเกียรติ, เทคนิคการส่องสว่าง หน้า 1-6 (ข) มาตรฐาน IES Illuminating Engineering Society : Reference  
Volume ,1983 ,ppA3



เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน ติดตั้งกระจายทั่วไปตามพื้นที่ใช้งานในส่วนต่างของอาคาร



ส่วนระบายความร้อนระบบปรับอากาศติดตั้งภายนอกอาคาร

รูปที่ 3.10 แสดงการติดตั้งเครื่องปรับอากาศในพื้นที่ใช้งานและส่วนระบายความร้อนของระบบปรับอากาศอาคารสำนักหอสมุด

จากข้อมูลเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบการจัดวางผังบริเวณ รูปแบบลักษณะทางสถาปัตยกรรม การใช้วัสดุประกอบการก่อสร้างอาคาร การจัดพื้นที่ใช้งานภายในอาคาร และการใช้พลังงานในระบบต่างๆของอาคารนั้น เป็นข้อมูลทางสถิติที่มีการตรวจวัดและวิเคราะห์อยู่ตลอดเวลา และมีข้อมูลทางด้านความสัมพันธ์ทางด้านความร้อน การส่งผ่านความร้อนและการคำนวณ จึงได้มีการบันทึกข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลอาคารกรณีศึกษาในด้านต่างที่เป็นปัญหาการใช้พลังงานในอาคาร เพื่อหาข้อสรุปที่เหมาะสมในการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคารเพื่อลดปัญหาดังกล่าว ดังที่จะกล่าวในบทต่อไป

## บทที่ 4

# การวิเคราะห์ข้อมูลอาคารกรณีศึกษา

### 4.1 การเก็บข้อมูลทางอุณหภูมิของอาคารกรณีศึกษา

เพื่อให้การศึกษาเป็นไปอย่างถูกต้องในการทำวิจัยจึงมีการเก็บข้อมูลทางกายภาพในด้านต่างๆของอาคารกรณีศึกษา ข้อมูลที่ทำการสำรวจนั้นได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น อุณหภูมิผิวของวัสดุ ค่าแสงสว่างภายในอาคารและนอกอาคาร โดยทำการเก็บบันทึกข้อมูลทั้งภายนอกและภายในอาคารกรณีศึกษา โดยมีรายละเอียดการเก็บบันทึกข้อมูลดังนี้

สถานที่ : อาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต

ตำแหน่ง : ผิวผนังที่บและผนังโปร่งแสง ภายนอกและภายในอาคารกรณีศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ : 1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิผิวและค่าการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุ (Infratrace Sensor )

2. เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ (Temperature/humidity measuring)

3. เครื่องมือวัดความเข้มของแสง (Lux meter) แบบที่ 1และ2

### 4.2 ข้อกำหนดและการเก็บบันทึกข้อมูล

การเก็บข้อมูลทางกายภาพในด้านต่างๆของอาคารกรณีศึกษามีการดำเนินการในการบันทึกข้อมูลดังนี้

1. การบันทึกข้อมูลทางกายภาพได้ดำเนินการบันทึกข้อมูลในช่วงเดือนเมษายน 2543 เนื่องจากในช่วงเดือนเมษายนของทุกปีเป็นช่วงที่อยู่ในฤดูร้อนของประเทศไทย อุณหภูมิในช่วงนี้จะมีค่าเฉลี่ยสูงสุด และเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับประเทศไทย (ปี2543วันที่ดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับประเทศไทยคือวันที่ 25-27 เมษายน ทำให้เกิดปรากฏการณ์ไร้เงา โดยเกิดขึ้นในช่วงเวลา 12.08น. ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา) ค่าการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์จะมีค่าสูง ทำให้ค่าที่บันทึกได้จากผนังอาคารที่ได้รับอิทธิพลของแสงแดดและรังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มีค่าที่ถูกต้องมากที่สุดและสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ต่อไป
2. ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยการวัดค่าทุกชั่วโมง เป็นเวลา 11 ชั่วโมง โดยเริ่มบันทึกข้อมูลตั้งแต่เวลา 09.00 – 20.00 น. ตามเวลาการเปิดให้บริการของอาคารสำนักหอสมุด
3. เนื่องจากอาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารที่มีการปรับอากาศทั้งอาคารและลักษณะการใช้พื้นที่ของอาคารมีการใช้ในลักษณะเดียวกัน จึงเลือกจุดที่ทำการบันทึกข้อมูลโดยจุดที่

ทำการบันทึกข้อมูลภายในอาคารคือบริเวณชั้นที่5ของอาคาร ซึ่งเป็นพื้นที่อ่านหนังสือทั้งหมด ทั้งนี้ชั้นที่5 เป็นตัวแทนของอาคารที่จะทำการบันทึกข้อมูลภายใน เนื่องจากผนังอาคารทั้ง4ทิศจะโดนแสงแดดตลอดทั้งวันตามช่วงเวลาต่างๆในทิศทางด้านต่างๆของอาคาร ค่าที่บันทึกจะสามารถนำมาวิเคราะห์หาความเหมาะสมในการปรับปรุงประสิทธิภาพเปลือกอาคารต่อไป ส่วนการบันทึกค่าอุณหภูมิผิวหลังคาคอนกรีต อุณหภูมิภายนอกและความชื้นภายนอกและค่าความเข้มของแสงสว่างภายนอก ใช้บริเวณคานฟ้าชั้น2 เป็นจุดที่ทำการบันทึกข้อมูล

#### 4.3 ข้อจำกัดและปัญหาในการเก็บบันทึกข้อมูลอาคารกรณีศึกษา

ในการเก็บบันทึกข้อมูลทางกายภาพของอาคารกรณีศึกษา มีข้อจำกัดและปัญหาที่ทำให้การเก็บบันทึกข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อนในเชิงสถิติต่างๆดังนี้

1. การขาดแคลนเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล ทำให้เกิดความล่าช้าในการเก็บบันทึกข้อมูลและช่วงเวลาที่เก็บบันทึกข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน
2. การเก็บบันทึกข้อมูลของอาคารกรณีศึกษา จะสามารถทำการเก็บบันทึกข้อมูลทางกายภาพต่างๆได้ในช่วงเวลาตั้งแต่ 09.00-19.00 น. เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมหาวิทยาลัยรังสิตอยู่ในช่วงเวลาการปิดภาคเรียนปกติและเปิดเรียนภาคฤดูร้อน การให้บริการในช่วงภาคค่ำคือตั้งแต่เวลา 18.00-20.00 น.จึงงดการให้บริการ ทำให้ระยะเวลาการเก็บบันทึกข้อมูลไม่สมบูรณ์ ข้อมูลที่ทำการบันทึกจึงมีความคลาดเคลื่อนในช่วงของระยะเวลาการใช้งานของอาคารกรณีศึกษา
3. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล มีค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่แสดงผลออกมาในระดับหนึ่ง เช่นเครื่องมือวัดอุณหภูมิผิวและค่าการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุ (Infratrace Sensor)สามารถอ่านค่าได้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มเท่านั้น ทำให้ค่าอุณหภูมิผิวของวัสดุที่แสดงผลมีความคลาดเคลื่อน



เครื่องมือวัดอุณหภูมิผิวและค่าการแผ่รังสีความร้อนของวัสดุ (Infratrace Sensor)



แสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ (Temperature/humidity measuring)

รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล



แสดงเครื่องมือวัดความเข้มของแสง (Lux meter) แบบที่ 1 และ 2

รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล (ต่อ)

#### 4.4 การวิเคราะห์ลักษณะกรอบอาคาร หลังคาและประสิทธิภาพการบังแดดของอาคาร

รูปแบบของอาคารกรณีศึกษามีลักษณะเป็นอาคารรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยชั้นที่5 จะมีความยาวของด้านทั้ง4มากที่สุด และจะมีความยาวลดหลั่นกันลงไปจนถึงชั้นที่3 โดยมีรายละเอียดของกรอบอาคารและหลังคาดังนี้

1. ผนังทึบตามลักษณะของโครงสร้าง แบ่งออกเป็น3ลักษณะคือ
  - คานคอนกรีตเสริมเหล็กฉาบปูนเรียบ
  - ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กฉาบปูนเรียบทั้ง2ด้าน
  - ผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบทั้ง2ด้าน
2. ผนังโปร่งแสง
3. หลังคาทึบ แบ่งออกเป็น2ลักษณะคือ
  - หลังคาคอนกรีต
  - หลังคากระเบื้องใยหินลอนใหญ่

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนรวม (U) และค่าผลต่างของอุณหภูมิเทียบเท่า ( $TD_{eq}$ ) สามารถหาค่าได้ดังนี้

##### 4.4.1 ผนังทึบ แสดงลักษณะ โครงสร้างของผนังทึบ



##### รูปที่4.2 แสดงลักษณะ โครงสร้างของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

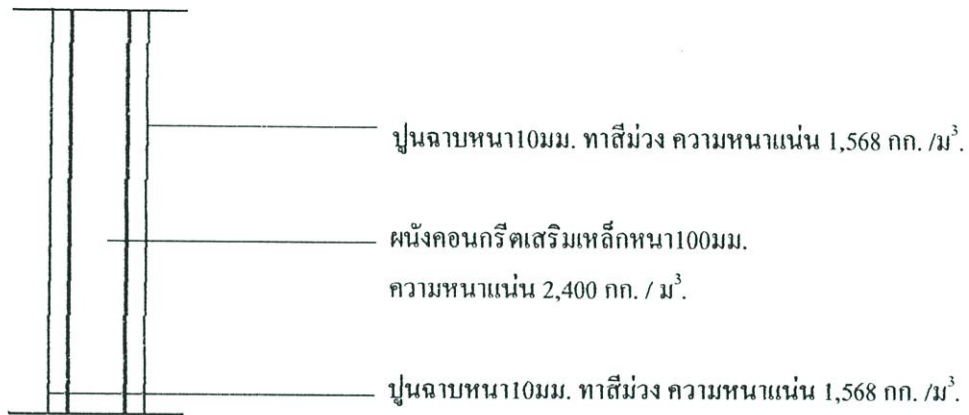
##### ตารางที่4.1 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า $U_w$ ของคานคอนกรีต

โครงสร้าง	$\Delta x / K$	R ( $W/m^2.K$ ) <sup>-1</sup>	หมายเหตุ
1.ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.044	
2.คานคอนกรีต	0.25/1.442	0.173	
3.ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.120	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_t$ )		0.337	

ค่า  $U_w$  ของคานคอนกรีต =  $1 / 0.337 = 2.967 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$ .

ค่า  $TD_{cq}$  หาได้จากมวลของวัสดุ =  $(2,400)(0.25)$   
 $= 600 \text{ kg./m}^2$

คานคอนกรีตผิวสีก่อนข้างเข้ม จะได้ค่า  $TD_{cq} = 12$



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะ โครงสร้างของผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก

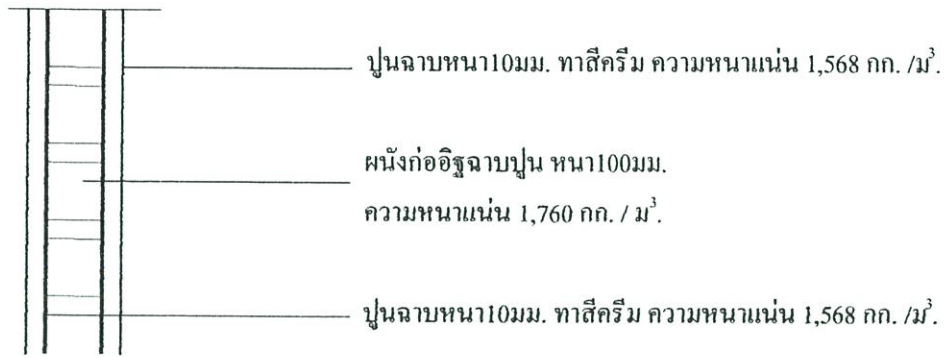
ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า  $U_w$  ของผนังคอนกรีต

โครงสร้าง	$\Delta x / k$	R ( $\text{W./m}^2 \cdot \text{K}$ ) <sup>-1</sup>	หมายเหตุ
1.ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.044	
2.ปูนฉาบ	0.01/0.533	0.018	
3.ผนังคอนกรีต	0.10/1.442	0.069	
4.ปูนฉาบ	0.01/0.533	0.018	
5.ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.120	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_t$ )		0.269	

ค่า  $U_w$  ของผนังคอนกรีต =  $1 / 0.269 = 3.717 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$ .

ค่า  $TD_{cq}$  หาได้จากมวลของวัสดุ =  $(2,400)(0.10)$   
 $= 240 \text{ kg./m}^2$

ผนังคอนกรีตทาสีม่วงเข้ม (ผิวสีเข้ม) จะได้ค่า  $TD_{cq} = 13$



รูปที่4.4 แสดงลักษณะ โครงสร้างของผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ

ตารางที่4.3 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า  $U_w$  ของผนังก่ออิฐ

โครงสร้าง	$\Delta x / k$	R ( $W/m^2 \cdot K$ ) <sup>-1</sup>	หมายเหตุ
1.ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.044	
2.ปูนฉาบ	0.01/0.533	0.018	
3. ผนังอิฐ	0.10/0.807	0.123	
4.ปูนฉาบ	0.01/0.533	0.018	
5.ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.120	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_t$ )		0.323	

ค่า  $U_w$  ของผนังก่ออิฐฉาบปูน ทาสี =  $1 / 0.323 = 3.095 \quad W/m^2 \cdot C$ .

ค่า  $TD_{cq}$  หาได้จากมวลของวัสดุ =  $(1,568)(0.010) + (1,760)(0.10) + (1,568)(0.010)$   
 $= 207.36 \text{ kg./m}^2$

ผนังก่ออิฐฉาบปูนผิวสีคอนกรีตขัดมัน จะได้ค่า  $TD_{cq} = 12$

#### 4.4.2 หลังคาทึบ แสดงลักษณะ โครงสร้างของหลังคาทึบ ทั้ง 2 รูปแบบ



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะ โครงสร้างของหลังคาคอนกรีต

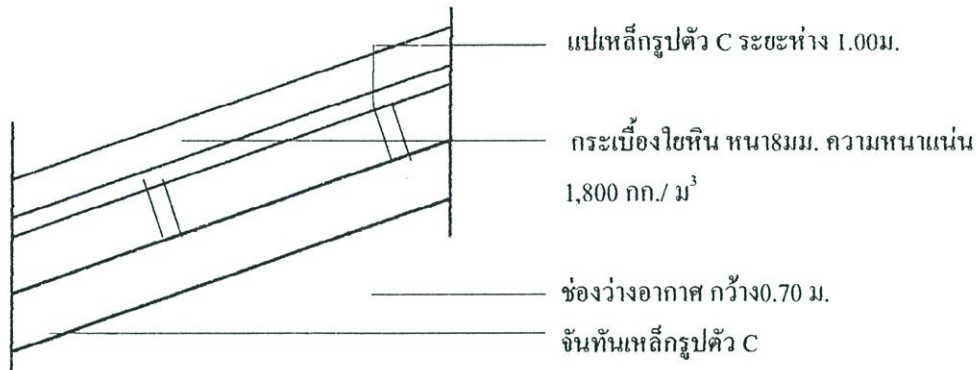
ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า  $U_w$  ของหลังคาคอนกรีต

โครงสร้าง	$\Delta x / k$	R (W/m <sup>2</sup> .K) <sup>-1</sup>	หมายเหตุ
1.ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2.หลังคาคอนกรีต	0.12/1.442	0.083	
3.ช่องว่างอากาศ	-	0.174	
4.แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.08/0.282	0.283	
5.ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.120	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_t$ )		0.715	

ค่า  $U_w$  ของหลังคาคอนกรีต =  $1 / 0.715 = 1.398 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$ .

ค่า  $TD_{eq}$  หาได้จากมวลของวัสดุ =  $(2,400)(0.12) + (880)(0.08)$   
 $= 358.40 \text{ kg/m}^2$

ผิวของหลังคาคอนกรีตมีสีเข้มจะได้ค่า  $TD_{eq} = 12$



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะ โครงสร้างของหลังคากระเบื้องใยหิน

ตารางที่ 4.5 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า  $U_w$  ของหลังคากระเบื้องใยหิน

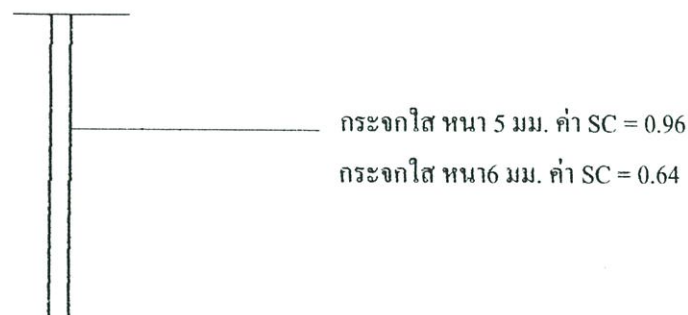
โครงสร้าง	$\Delta x / k$	R ( $W/m^2 \cdot K$ ) <sup>-1</sup>	หมายเหตุ
1.ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2.หลังคากระเบื้องใยหิน	0.08/0.389	0.205	
3.ช่องว่างอากาศ	-	0.174	
4.แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.08/0.282	0.283	
5.ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.120	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_t$ )		0.837	

ค่า  $U_w$  ของหลังคากระเบื้องใยหิน =  $1 / 0.837 = 1.194 \text{ W/m}^2 \cdot C$ .

ค่า  $TD_{eq}$  หาได้จากมวลของวัสดุ =  $(1800)(0.08) + (880)(0.08)$   
 $= 214.40 \text{ kg/m}^2$

ผิวของหลังคากระเบื้องใยหินมีสีปานกลางจะได้ค่า  $TD_{eq} = 11$

#### 4.4.3 ผนังโปร่งแสง แสดงลักษณะ โครงสร้างของกระจกใส



รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะของกระจกใส

ตารางที่ 4.6 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่า  $U_w$  ของกระจกใส

โครงสร้าง	$\Delta x / k$	R ( $W/m^2.K$ ) <sup>-1</sup>	หมายเหตุ
1.ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2.กระจกใส	0.05/1.053	0.949	
3.ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.120	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_t$ )		1.124	

ค่า  $U_w$  ของผนังกระจกใส =  $1 / 1.124 = 0.889 W/m^2.C$ .

กำหนดค่า  $\Delta T = 5^{\circ}C$  ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานของความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร

จากสมการในการหาค่า  $U_w$  ของวัสดุทั้งหมด กำหนดให้

$\Delta x$  คือ ความหนาของชั้นวัสดุ (m.)

$k$  คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ ( $W/m.K$ )

$R$  คือ ค่าต้านทานการนำความร้อน ( $W/m^2.K$ )<sup>-1</sup>

$U$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน ( $W/m^2.C$ )

ตารางที่ 4.7 แสดงพื้นที่ผนังต่างในทิศต่างๆเพื่อนำไปหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร

ชนิดผนัง	ผนังโปร่งแสง (ตร.ม.)	ผนังคอนกรีต (ตร.ม.)	ผนังก่ออิฐ (ตร.ม.)	คานคอนกรีต (ตร.ม.)	เสาคอนกรีต (ตร.ม.)
ทิศตะวันตก	158.00	99.10	238.30	44.0	15.12
ทิศตะวันออก	167.20	93.70	168.40	42.10	18.00
ทิศเหนือ	151.30	33.00	172.80	54.00	18.00
ทิศใต้	153.80	56.00	146.30	59.20	12.50
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ	3.00	0	4.50	2.50	--
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ	12.00	0	18.00	5.00	--
<b>รวม</b>	<b>645.30</b>	<b>281.80</b>	<b>748.30</b>	<b>206.80</b>	<b>63.62</b>

ตารางที่ 4.8 แสดงพื้นที่หลังคาเพื่อนำไปหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร

ชนิดหลังคา	หลังคาโปร่งแสง (ตร.ม.)	หลังคาคอนกรีต (ตร.ม.)	หลังคากระเบื้องลอน (ตร.ม.)
	5.00	1,016.20	1,042.00

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าอุณหภูมิในส่วนต่างๆของ โครงสร้างอาคารกรณีศึกษา

เวลา	อากาศภายนอก		ห้องปรับอากาศ		อุณหภูมิผิวผนังภายนอกอาคาร				อุณหภูมิผิวผนังภายในอาคาร				อุณหภูมิผิวกระจกภายนอกอาคาร				อุณหภูมิผิวกระจกภายในอาคาร				อุณหภูมิผิว	อุณหภูมิผิว
	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	เหนือ	ค.อ.	ใต้	ค.ค.	เหนือ	ค.อ.	ใต้	ค.ค.	เหนือ	ค.อ.	ใต้	ค.ค.	เหนือ	ค.อ.	ใต้	ค.ค.	หลังคาคอนกรีต	หลังคากระเบื้อง
9.00	32.4	53.3	24.3	44.1	32.0	42.0	31.0	31.0	28.0	28.0	28.0	28.0	30.0	34.0	30.0	31.0	30.0	33.0	29.0	31.0	51.0	41
10.00	33.6	61.3	21.9	53.2	32.0	42.0	31.0	31.0	28.0	29.0	28.0	28.0	30.0	33.0	30.0	31.0	30.0	32.0	29.0	30.0	52.0	44
11.00	34.4	56.2	22.4	51.7	34.0	41.0	32.0	33.0	29.0	29.0	29.0	28.0	31.0	35.0	31.0	34.0	30.0	34.0	30.0	33.0	68.0	47
12.00	35.1	46.8	22.2	49.7	35.0	40.0	33.0	34.0	29.0	30.0	29.0	28.0	32.0	35.0	32.0	34.0	31.0	35.0	31.0	33.0	65.0	50
13.00	36.4	58.4	21.7	53.4	35.0	38.0	35.0	35.0	30.0	30.0	31.0	30.0	33.0	35.0	33.0	34.0	31.0	34.0	32.0	34.0	55.0	54
14.00	35.6	57.6	21.4	56.2	34.0	38.0	35.0	37.0	31.0	30.0	31.0	30.0	32.0	35.0	33.0	35.0	33.0	35.0	32.0	35.0	62.0	56
15.00	34.7	54.3	20.8	55.2	35.0	38.0	35.0	37.0	31.0	29.0	30.0	31.0	33.0	34.0	32.0	35.0	32.0	33.0	31.0	34.0	61.0	56
16.00	33.4	59.7	22.8	52.7	35.0	37.0	33.0	36.0	31.0	29.0	30.0	32.0	31.0	32.0	32.0	33.0	32.0	31.0	33.4	33.0	58.0	57
17.00	32.4	55.8	25.1	45.8	35.0	33.0	33.0	38.0	31.0	29.0	29.0	32.0	30.0	30.0	31.0	33.0	33.0	29.0	30.0	33.0	58.0	54
18.00	30.5	55.2	24.8	44.4	32.0	33.0	32.0	35.0	31.0	28.0	29.0	33.0	28.0	28.0	31.0	31.0	31.0	28.0	29.0	31.0	56.0	52
19.00	28.9	64	24.5	44.3	30.0	31.0	31.0	33.0	30.0	28.0	29.0	33.0	28.0	27.0	29.0	30.0	30.0	28.0	28.0	30.0	54.0	52
เฉลี่ย	33.4	56.6	22.9	50.06	33.5	37.54	32.81	34.54	29.9	29	29.36	30.27	30.72	32.54	31.27	32.81	31.18	32	30.4	32.45	58.2	51.18

ค่าการแผ่รังสีความร้อนของคอนกรีต = 0.70

ค่าการแผ่รังสีความร้อนของปูนฉาบ = 0.95

ค่าการแผ่รังสีความร้อนของกระจก = 0.95

อุณหภูมิ หน่วย องศาเซลเซียส

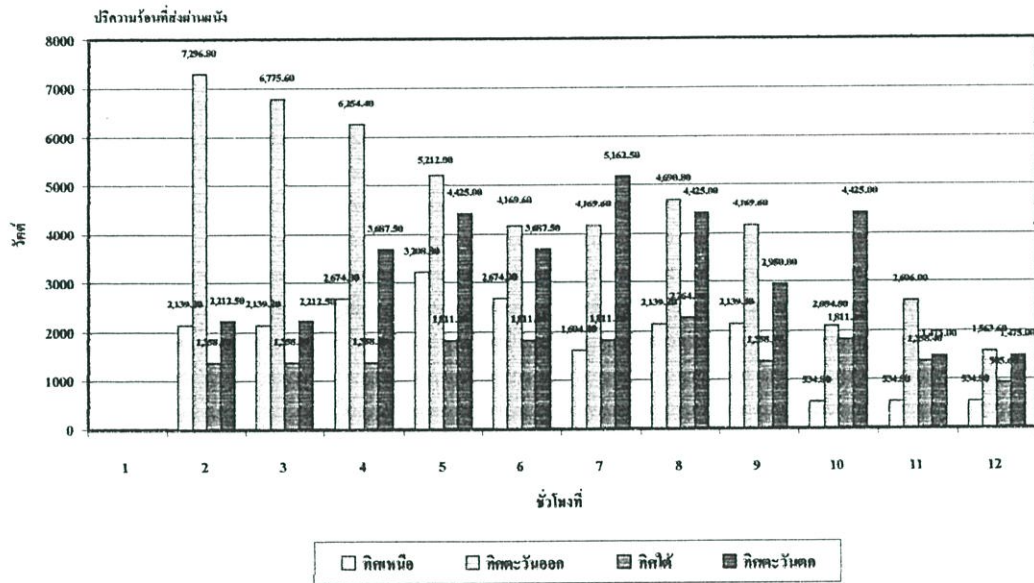
ความชื้นสัมพัทธ์ หน่วย %

จากข้อมูลที่ทำการบินที่จากอาคารกรณีศึกษาในเรื่องของสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิในส่วนต่างๆของอาคารนั้น เมื่อนำมาคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นผนังในแต่ละชั่วโมงตั้งแต่เวลา 9.00–19.00น. โดยใช้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวระหว่างวัตถุ โดยใช้สมการที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 สมการที่ 2.6 คือ

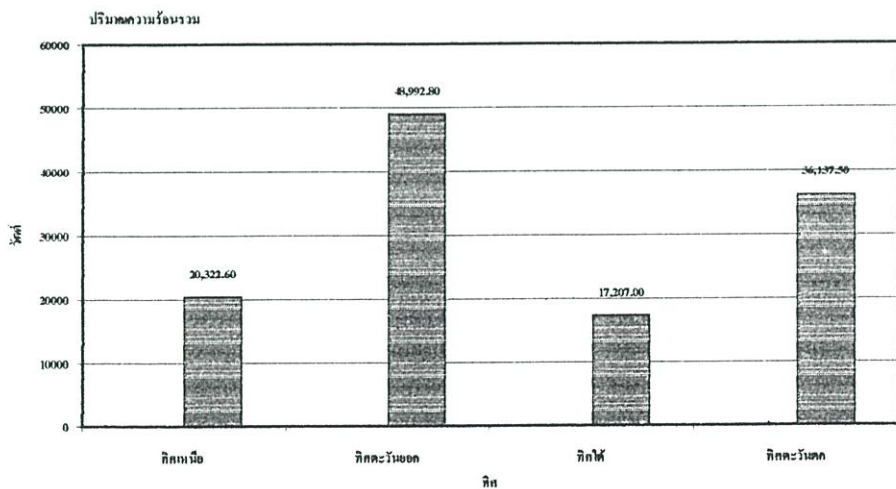
$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

จากสมการดังกล่าว จะได้ค่าปริมาณการถ่ายเทความร้อนในแต่ละชั่วโมงดังรูปประกอบที่

4.8



รูปที่ 4.8 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่คำนวณ ได้จากการเก็บข้อมูลรายชั่วโมง



รูปที่ 4.9 แสดงค่าปริมาณความร้อนรวมที่ส่งผ่านเข้าสู่อาคาร

ส่วนการหาค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง โปรงแสงนั้น จะหาได้จากค่าความร้อนรวมของแหล่งความร้อน 2 แหล่ง คือ

1. Solar heat gain ที่ประกอบด้วยความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านกระจกเข้าไป ทั้งทางตรงและรังสีกระจาย และความร้อนอีก 27%ของความร้อนที่ถูกดูดกลืนในเนื้อกระจก มีค่าเท่ากับ  $t+27\%a$
2. Conducted Heat คือค่า “ U ” ของกระจก ขึ้นอยู่กับค่าความต่างของอุณหภูมิทั้ง 2 ด้านของผิวกระจก ชนิดของกระจกและความหนาของกระจก โดยปกติการหาค่า U ของกระจกนั้นจะกำหนดให้  $R_o = 0.044$  และค่า  $R_i = 0.120$  แลการหาความร้อนนั้นหาได้จากกรคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่า SHGF} &= 0.88 \times 818 \\ (\text{ค่าพลังงานรังสีความร้อนที่ตกถึงผิวกระจก} &= 818 \text{ W/m}^2) \\ &= 720 \text{ W/m}^2. \end{aligned}$$

$$\text{ค่า S.C. กระจกใส 6 มม.} = 0.96$$

$$\begin{aligned} \text{ค่า U กระจกใส 6 มม.} &= 1/(0.044+0.006+0.120) \\ &= 5.88 \text{ W/m}^2. \end{aligned}$$

$$\text{ค่าแตกต่างของอุณหภูมิกระจก 2 ด้าน} = 8^\circ \text{ C.}$$

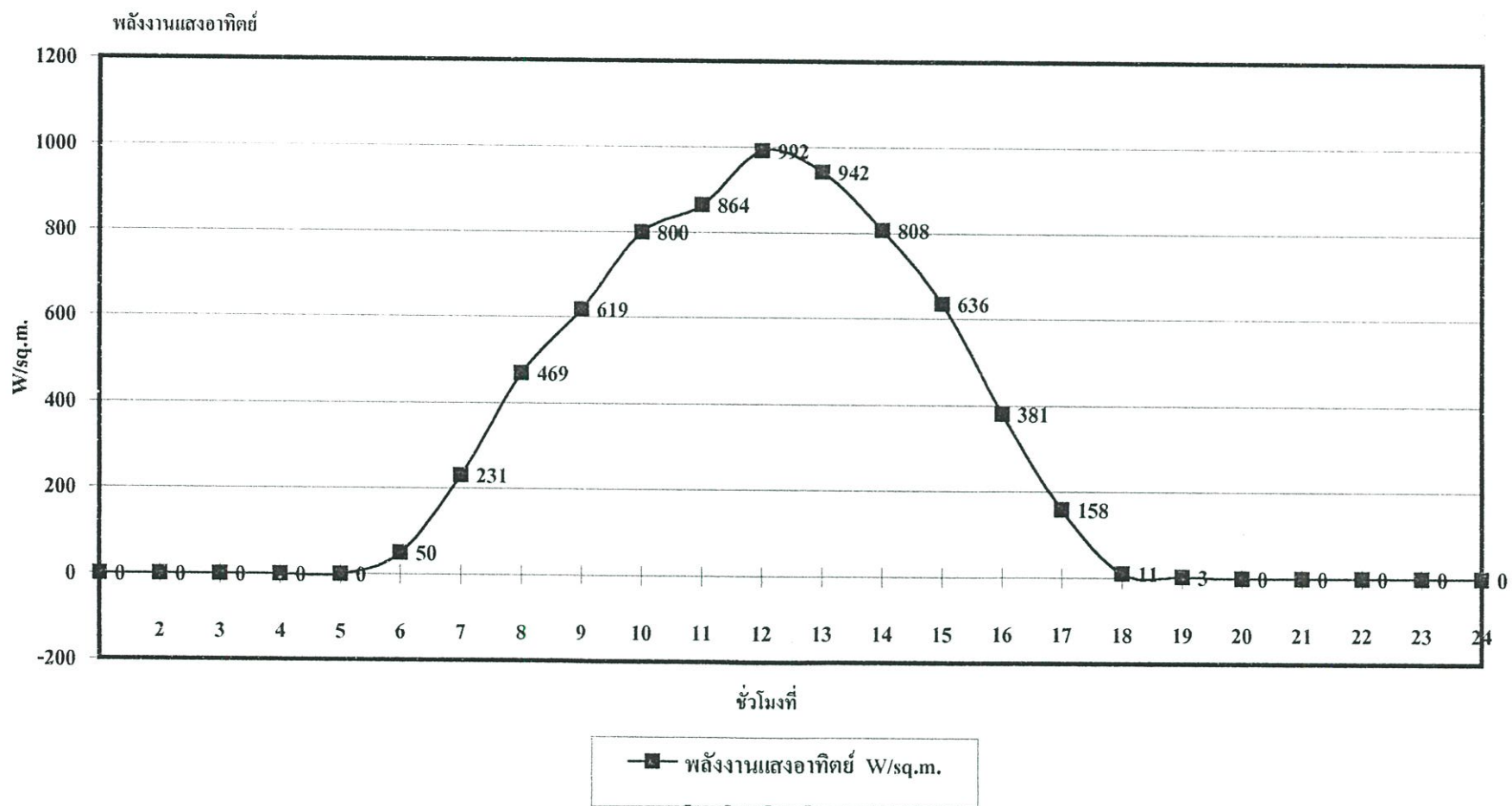
$$\begin{aligned} \text{ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านทะลุกระจกใส หนา 6 มม. มีค่า} &= (\text{SHGF} \times \text{SC}) + (\text{U} \times \text{TD}) \\ &= (720 \times 0.96) + (5.88 \times 8) \\ &= 738.27 \text{ W/m}^2. \text{ หรือ} \\ &= 0.738 \text{ kW/m}^2. \end{aligned}$$

แต่เนื่องจากค่ารังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์นั้นจะเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบที่ตั้งวัน เวลา และฤดูกาล ดังนั้นการหาค่าความร้อนที่ผ่านกระจก จึงจำเป็นต้องหาค่าเฉลี่ยใน 1 วันหรือเรียกว่า Day total heat gain โดยค่าความร้อนเฉลี่ยภายนอกมีค่า  $4,420.5 \text{ W/m}^2$ .  $^\circ\text{C}$  ค่าความต่างของอุณหภูมิภายในเฉลี่ยต่างกัน  $5^\circ \text{ C}$  ในช่วงเวลา 1 วันที่มีรังสีความร้อนนับได้ 12 ชม. ปริมาณความร้อนเฉลี่ยที่ผ่านกระจกจึงหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าปริมาณความร้อนเฉลี่ย} &= (0.88 \times 4,420.5 \times 0.96) + (5.8 \times 85 \times 12) \\ &= 4,087.2 \text{ Wh./m}^2. \\ &= 4.087 \text{ kWh./m}^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่กระจกทั้งหมด 645.30 ตร.ม.} &= 4.087 \times 645.30 \\ &= 2,637.34 \text{ kWh.} \end{aligned}$$

รูปที่ 4.10 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์วันที่มีการใช้พลังงานในอาคารไฟฟ้าสูงสุด (ที่มา :ข้อมูลเฉลี่ย10ปี,กรมอุตุนิยมหาวิทยาลัย)



#### 4.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบังแดดภายนอกอาคาร

วิธีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบังแดดของอุปกรณ์อาคารภายนอก โดยการใช้เครื่องมือวัดมุมของเงา (Solar Shadow Angle Protractor) ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ

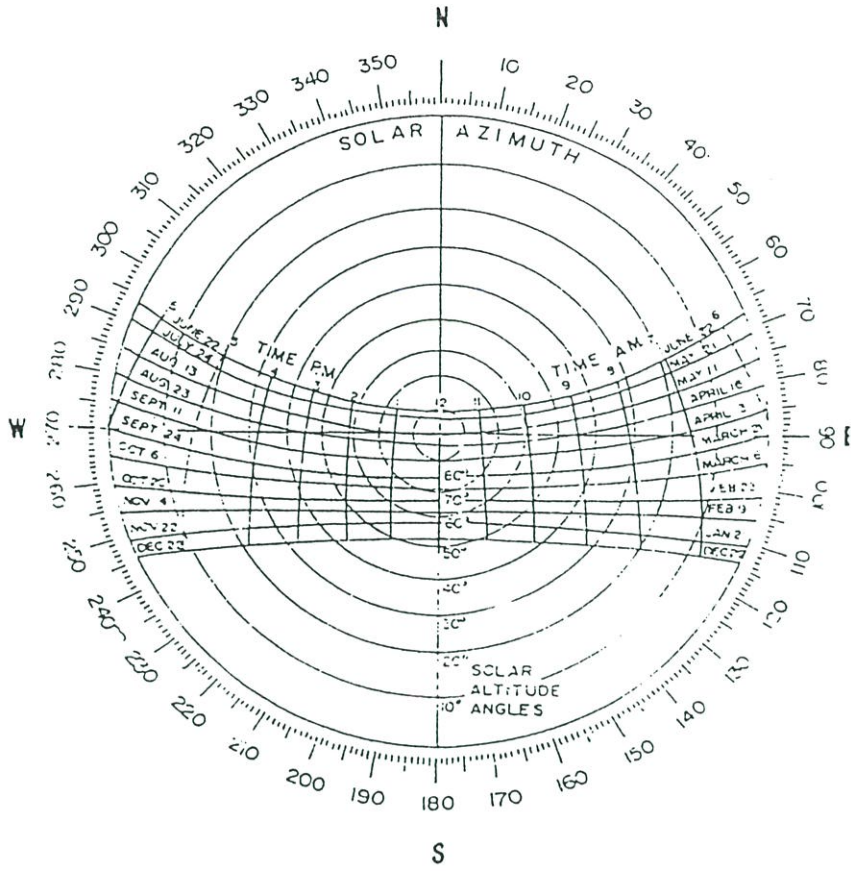
1. Solar Chart
2. Shadow – Angle Protractor

1. Solar Chart คือแผนภูมิแสดงทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าทรงครึ่งวงกลม ที่กำหนดให้เห็นบนพื้นราบ โดยเส้นต่างๆที่ปรากฏใน Solar Chart คือ

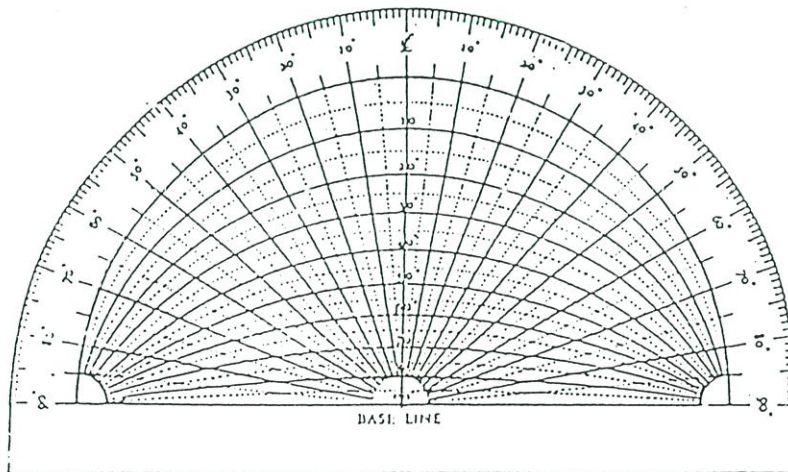
- 1.1 จุดศูนย์กลางของ Diagram ใช้แทนที่ตำแหน่งของผู้มอง
- 1.2 เส้นซึ่งขนานกับเส้นรอบวงที่ขยายจาก 0-90 องศา เป็นเส้นที่บอกมุม Altitude
- 1.3 เส้นรัศมี ซึ่งมีตัวเลขบอกขนาดมุมที่เส้นรอบวงของ Diagram คือองศาของมุม Azimuth
- 1.4 เส้นโค้งที่ลากผ่านจุดศูนย์กลาง Diagram ที่วันที่และเดือนกำกับอยู่ คือเส้นทางเดินของดวงอาทิตย์ในรอบปี
- 1.5 เส้นที่ตัดทางเดินของดวงอาทิตย์ออกเป็นส่วนๆ ได้แก่ เส้นบอกเวลา มีเลขกำกับบอกเวลาตั้งแต่ 06.00-18.00น.

2. Shadow -Angle Protractor เครื่องมือที่ช่วยในการหามุมของเงา ลักษณะเป็นครึ่งวงกลม ประกอบด้วย

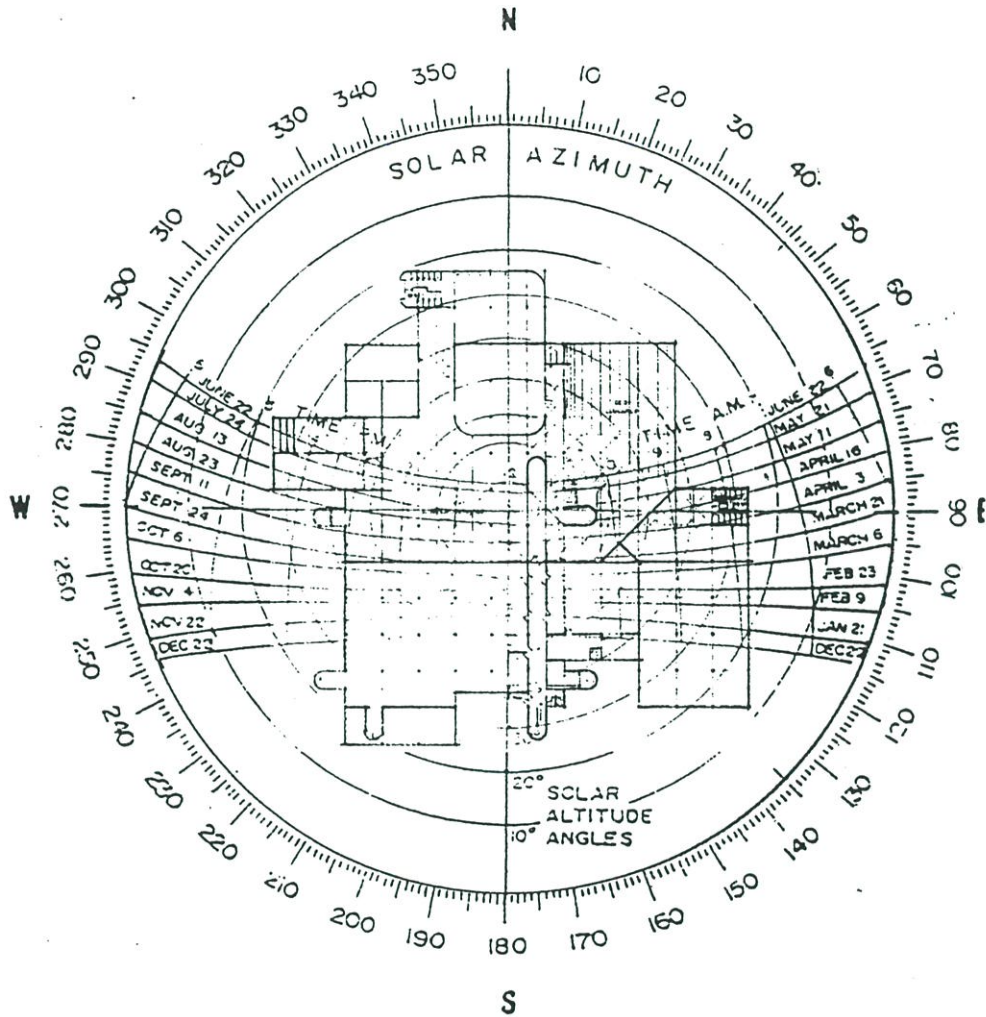
- 2.1 เส้นฐาน ใช้แทนด้านของผนังที่ต้องการทราบมุมของเงา
- 2.2 เส้นกึ่งกลาง เป็นเส้นที่ใช้ชี้ไปยังองศาที่ผนังชี้ไป
- 2.3 เส้นโค้ง มีตัวเลขตั้งแต่ 0-90 องศากำกับอยู่ เป็นเส้นที่บอกขนาดของมุมของเงาทางแนวตั้ง (Vertical Shadow -Angle)
- 2.4 เส้นรัศมี มีตัวเลขบอกขนาดของมุมอยู่เส้นรอบวง เป็นเส้นที่บอกขนาดของมุมของเงาทางแนวนอน (Horizontal Shadow – Angle)



รูปที่ 4.11 แสดง Solar Chart ที่เส้นรุ้ง 14 องศาเหนือ (กรุงเทพมหานคร)

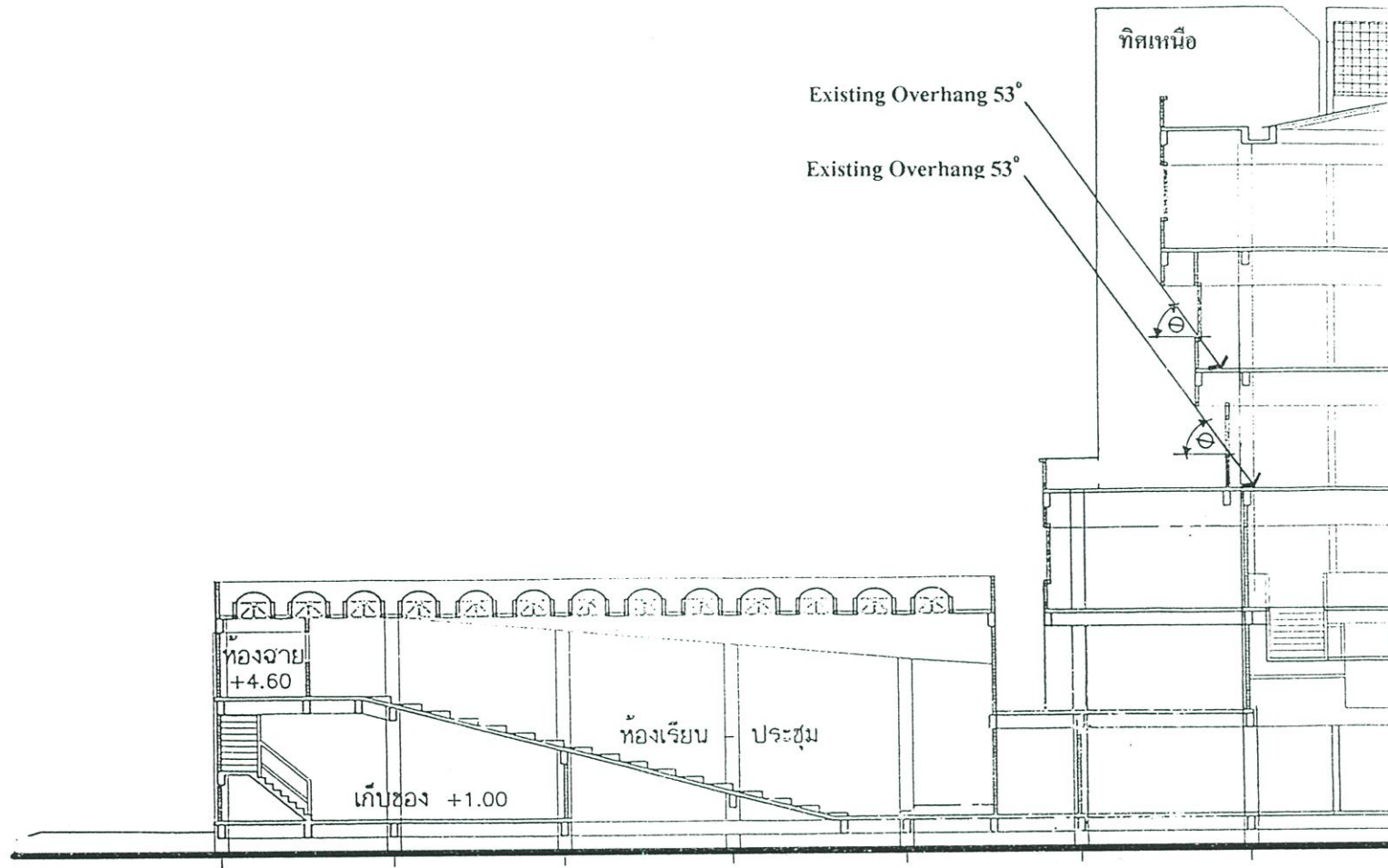


รูปที่ 4.12 แสดง Shadow - Angle Protractor

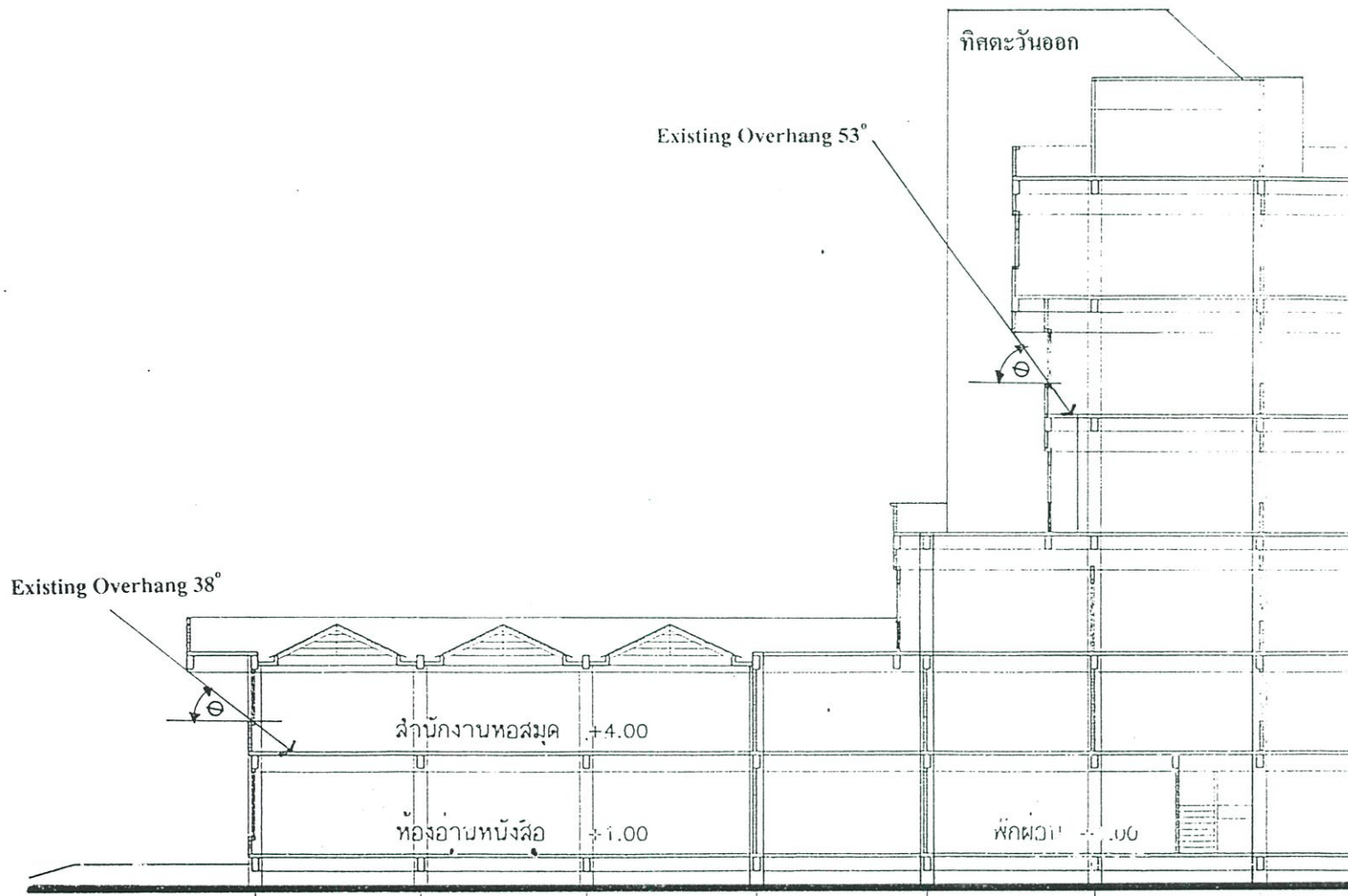


รูปที่ 4.13 แสดงทิศทางการจัดวางอาคารสัมพันธ์กับแนวโคจรของดวงอาทิตย์

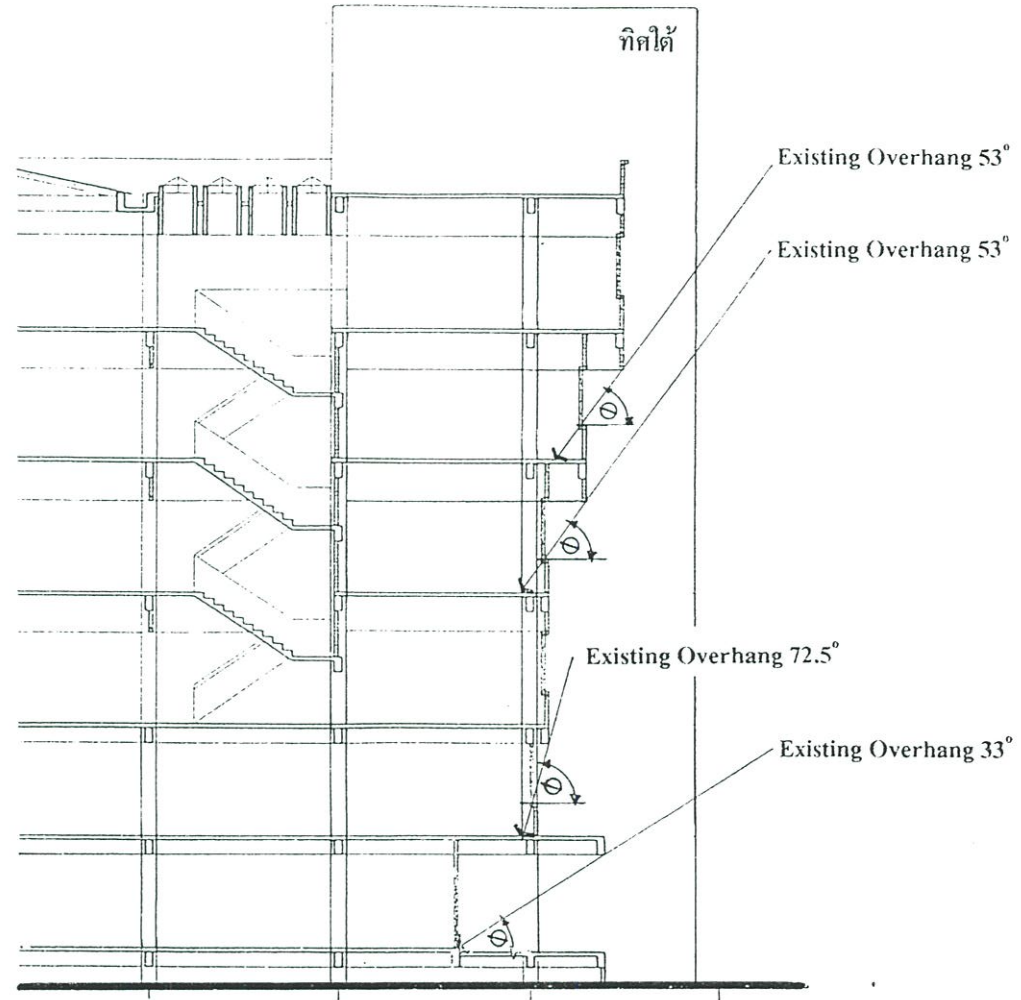
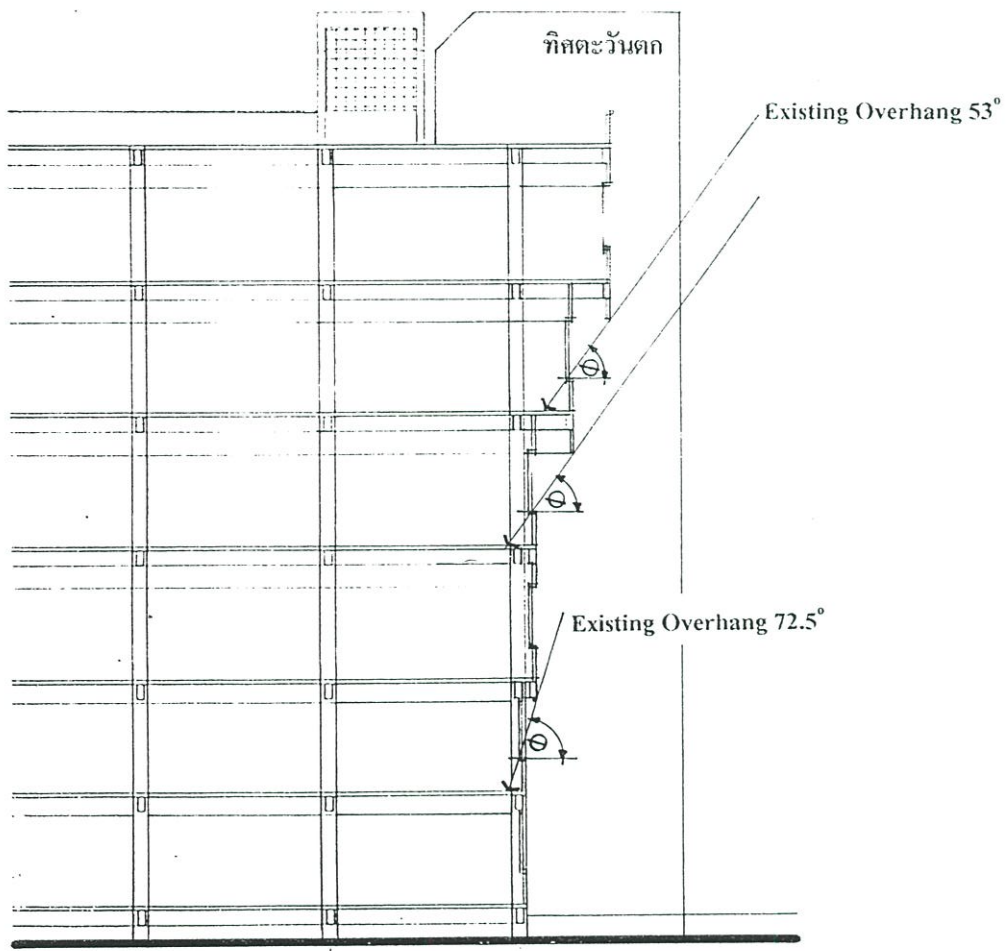
ลักษณะการออกแบบอาคารสำนักหอสมุดนั้น โดยทั่วไปไม่มีการออกแบบอุปกรณ์บังแดดให้กับผนังภายนอกโดยตรง แต่มีการใช้ส่วนยื่นของพื้นอาคารชั้นที่อยู่สูงขึ้นไปเป็นเสมือนส่วนบังแดดในแนวนอน (Overhang) โดยเฉพาะชั้นที่ 3 และ 4 ใช้ผนังคอนกรีตในส่วนที่เป็น Core ทั้ง 4 ด้านของอาคารเป็นเสมือนส่วนบังแดดในทางตั้ง (Fin) ให้กับผนังภายนอก จึงถือว่าองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมดังกล่าวเป็นอุปกรณ์บังแดดให้กับผนังอาคาร การหาประสิทธิภาพของอุปกรณ์บังแดดนี้ทำได้โดยการแสดงผลในรูปของ Shading Mask หรือเงาที่ปรากฏบนพื้นราบ โดยคำนวณจาก Protractor ที่ทาบบลงบน Solar Chart เพื่อพิจารณาเงาที่เกิดขึ้นว่ามีส่วนใดอยู่นอกเหนือ Shading Mask หรือไม่ ในตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ เวลาใดๆ ตามที่กำหนดใน Solar Chart



รูปที่ 4.14 แสดงรูปตัดขององค์ประกอบสถาปัตยกรรมที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังแดด



รูปที่ 4.14 แสดงรูปตัดขององค์ประกอบสถาปัตยกรรมที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังแดด (ต่อ)



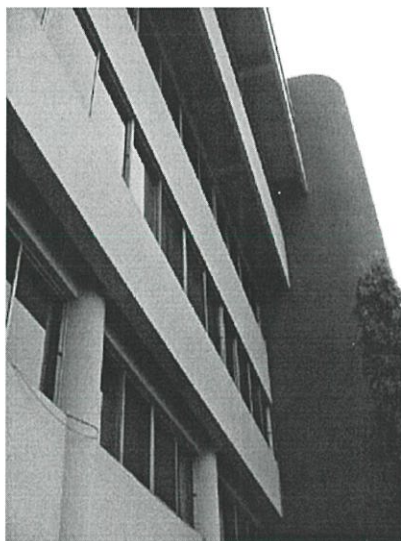
รูปที่ 4.14 แสดงรูปตัดขององค์ประกอบสถาปัตยกรรมที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังแดด (ต่อ)



ส่วนยื่นทางสถาปัตยกรรม ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังแดดแนวนอน ในชั้นที่3และ4 ทิศเหนือ



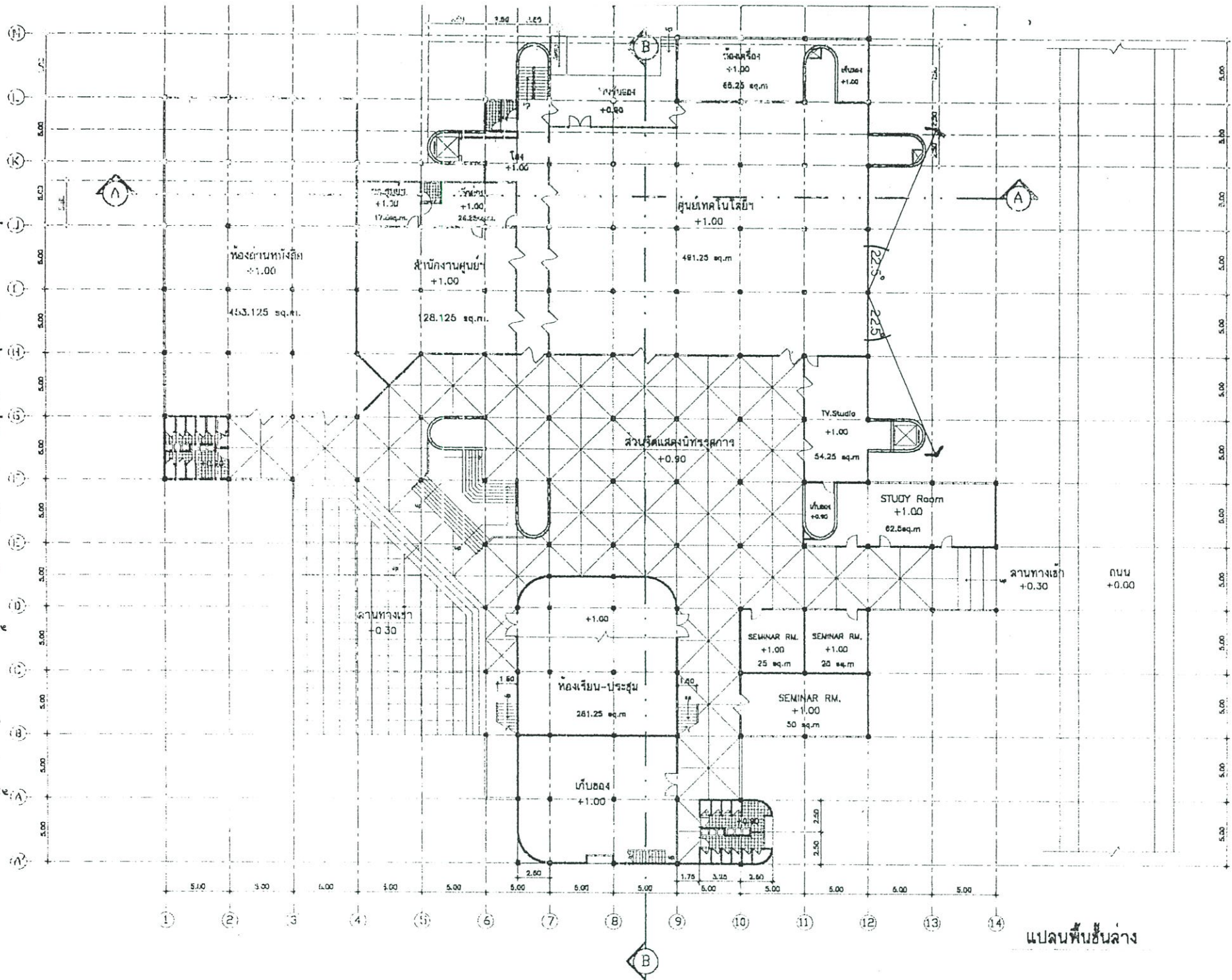
ส่วนยื่นทางสถาปัตยกรรม ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังแดดแนวนอน ในชั้นที่2 ทิศตะวันออก



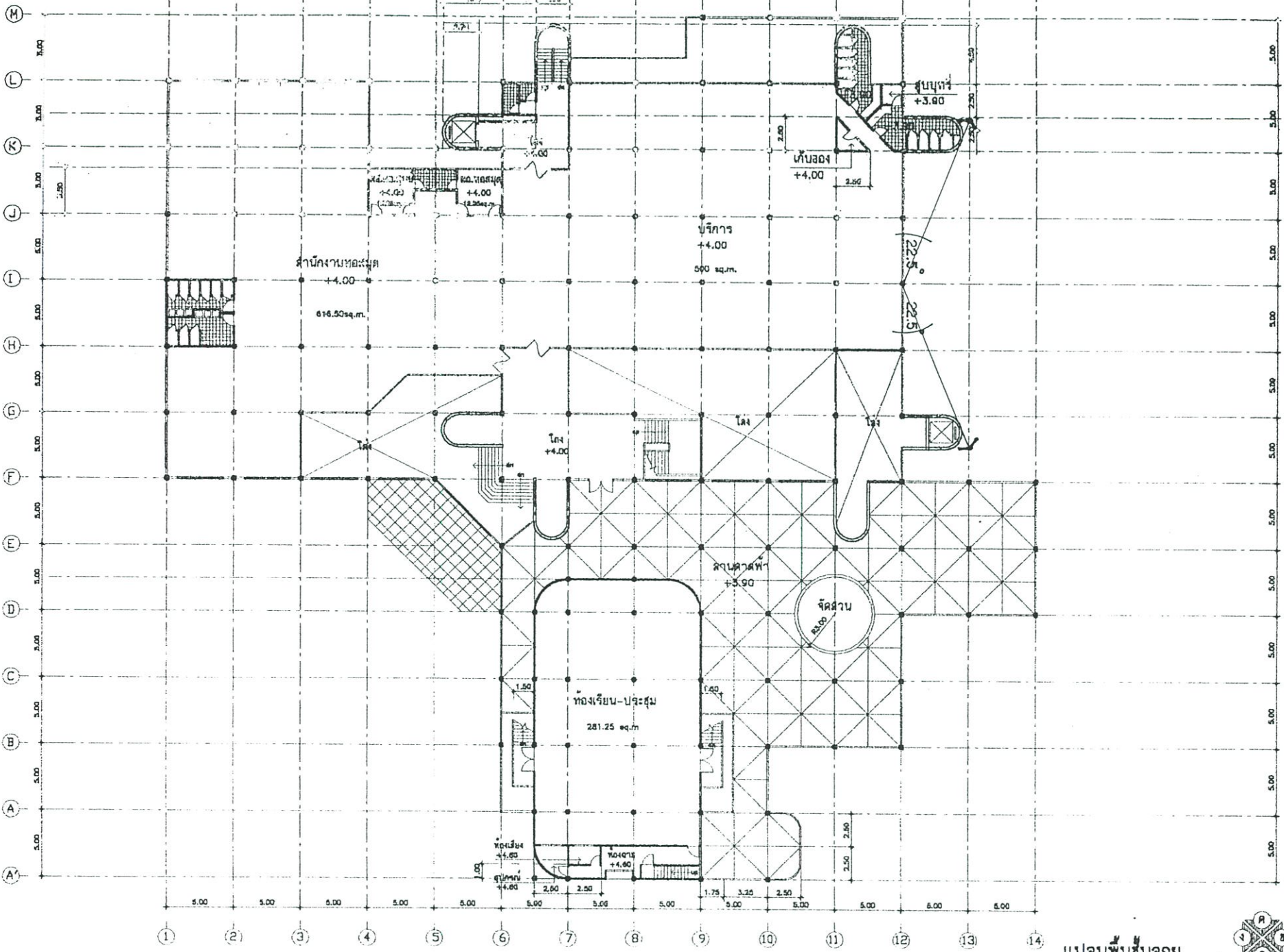
ส่วนยื่นทางสถาปัตยกรรม ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังแดดแนวนอนให้ผนังอาคาร ชั้น 2 และ 3 ทิศตะวันตก

**รูปที่4.15** แสดงส่วนยื่นของอาคารที่ทำหน้าที่อุปกรณ์บังแดดทางนอน

รูปที่ 4.16 แสดงส่วนที่หาพื้นที่ของอาคารในแต่ละชั้น



รูปที่ 4.16 แสดงส่วนที่ทำการทำห้ำทำห้ำเป็นอุปกรณ์บังคับในแนวตั้งของอาคารในแต่ละชั้น(ต่อ)

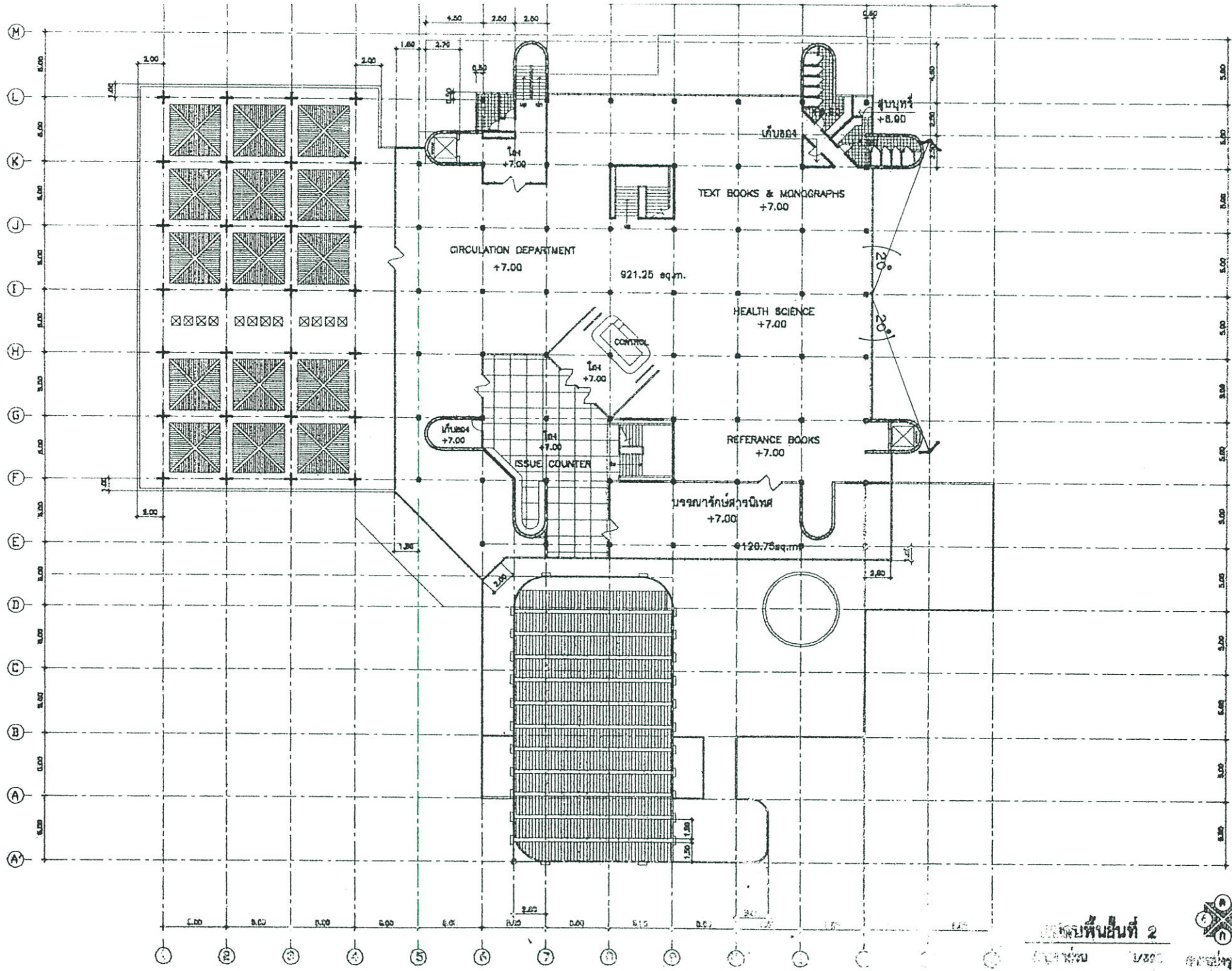


แปลนพื้นที่ชั้นลอย

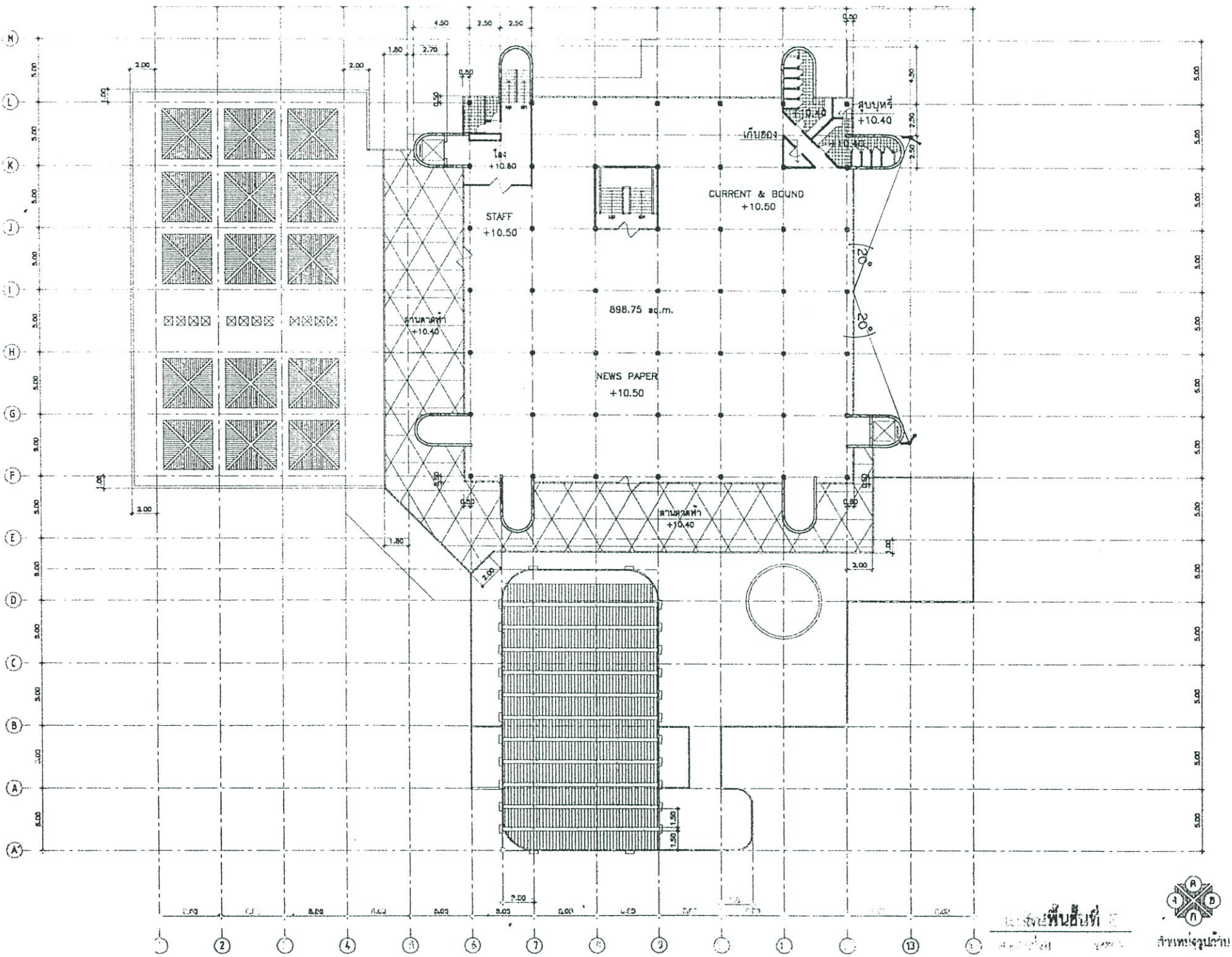


ตำแหน่งรูปด้าน

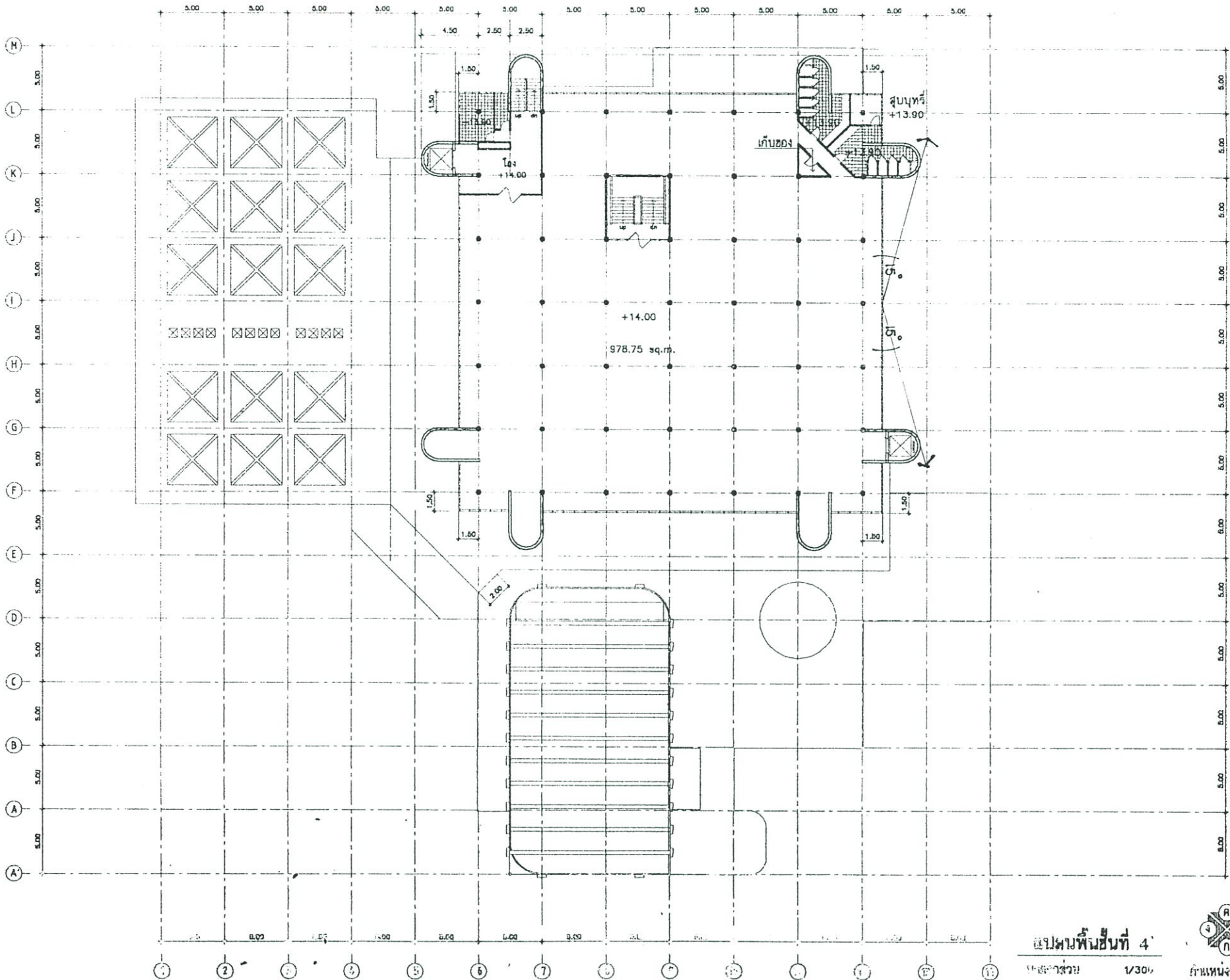
รูปที่ 4.16 แสดงส่วนที่ทำการที่เป็นอุปกรณ์บังคับในแนวของอาคารในแต่ละชั้น(ต่อ)



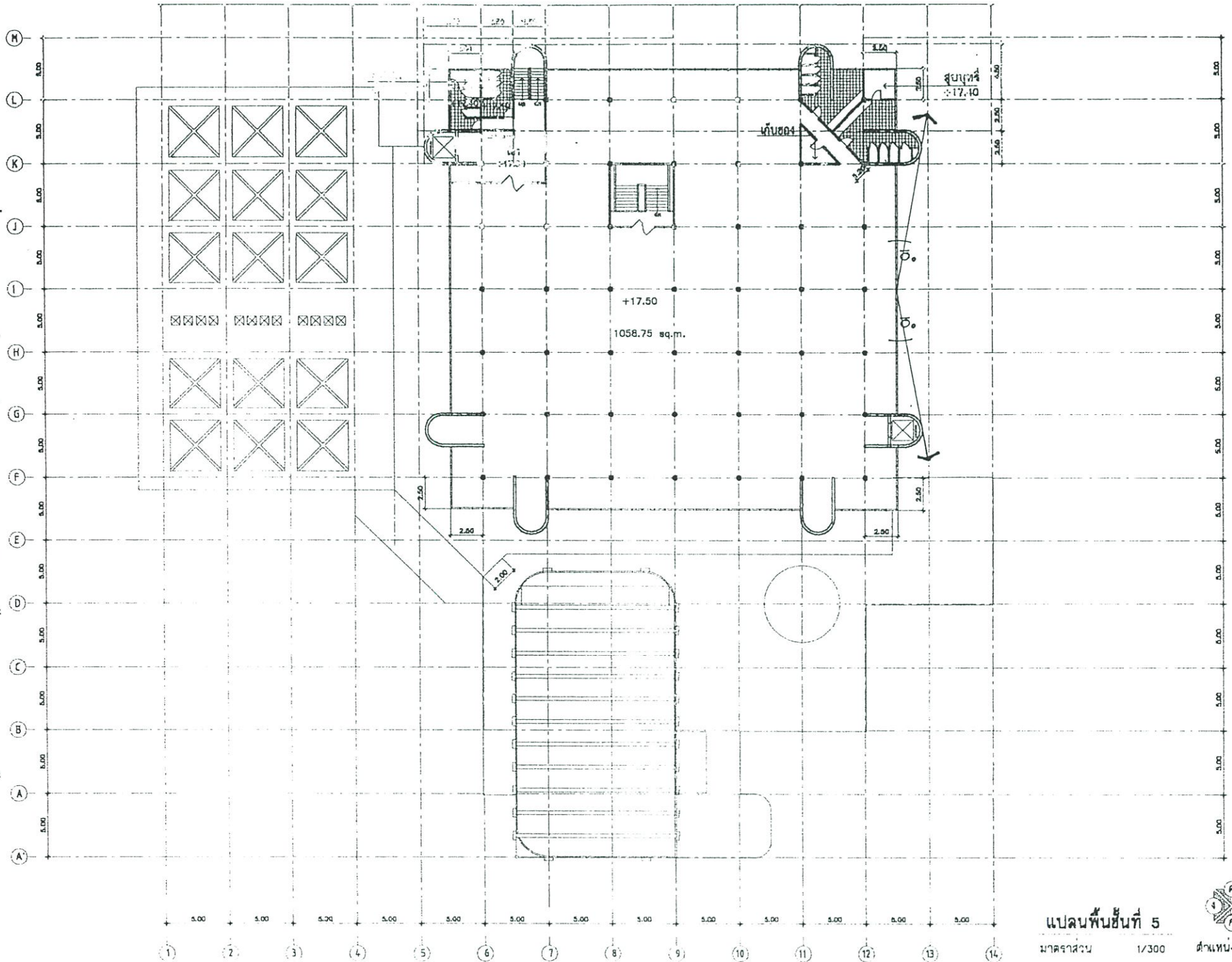
รูปที่ 4.16 แสดงส่วนที่ทำการชั้นอนุกรมบังคับในแนวตั้งของอาคารในแต่ละชั้น(ต่อ)



รูปที่ 4.16 แสดงส่วนที่หาพื้นที่เป็นอุปกรณ์เบ็ดเตล็ดในแนวตั้งของอาคารในแต่ละชั้น(ต่อ)



รูปที่ 4.16 แสดงส่วนทาบหน้าทาบเป็นอุปกรณ์บังคับทิศทางของอาคารในแต่ละชั้น(ต่อ)



แปลนพื้นที่ 5  
มาตราส่วน 1/300



ตำแหน่งรูปด้าน



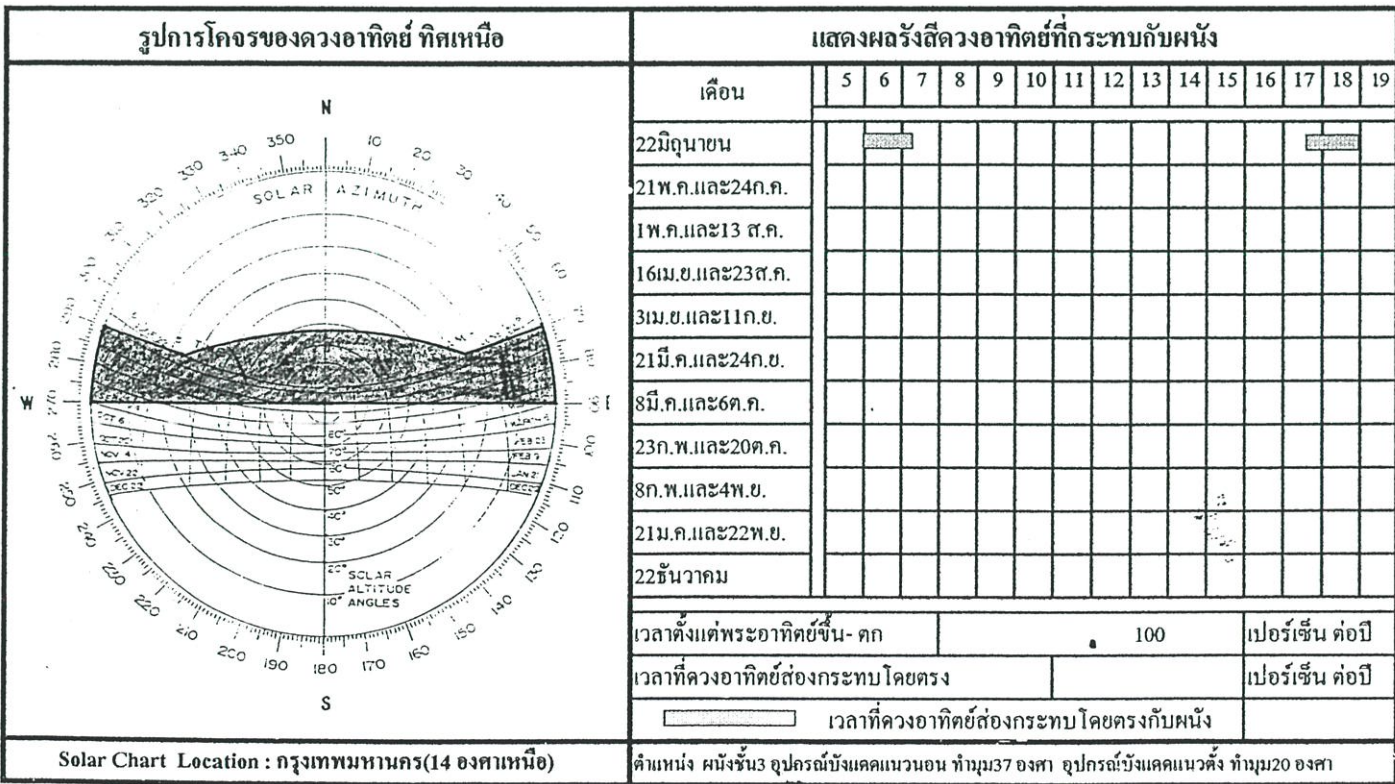
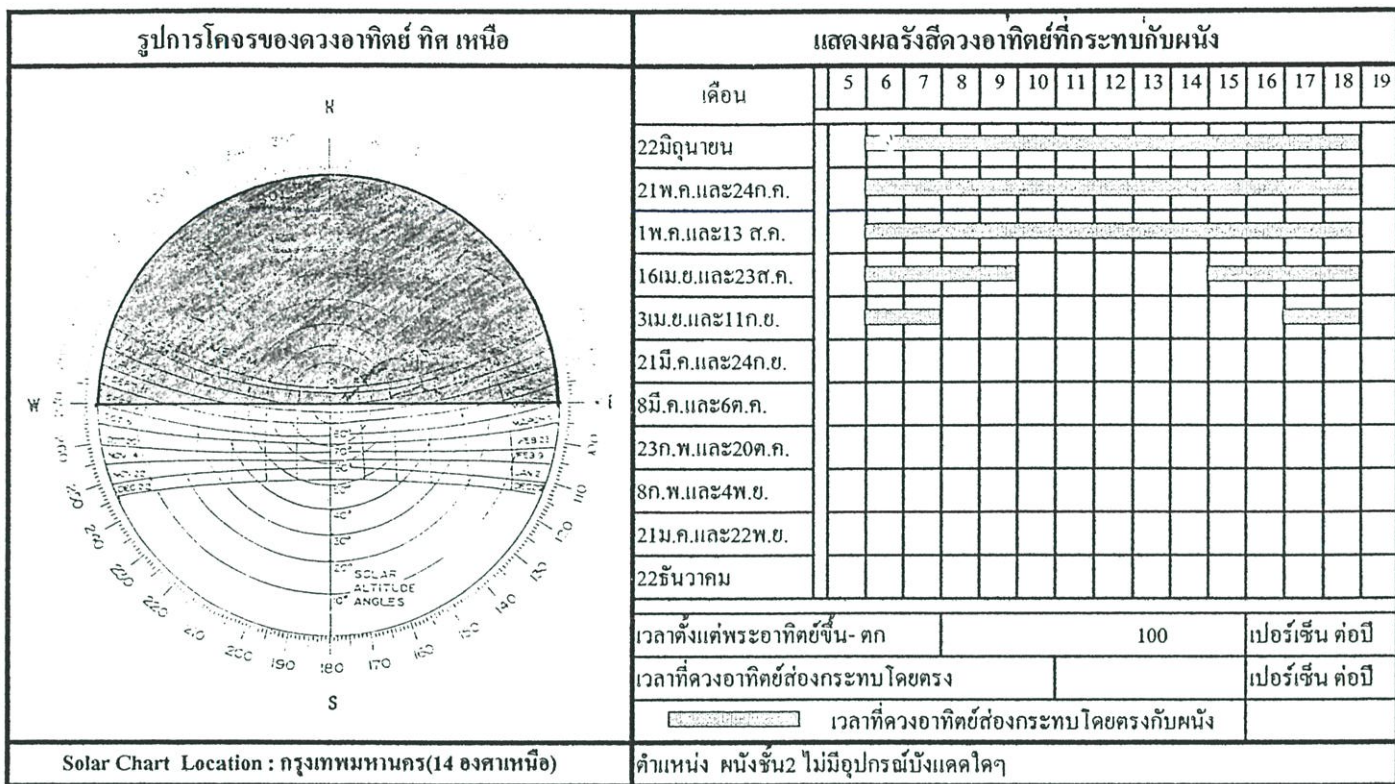
ผนังด้านตะวันออกเฉียงเหนือ



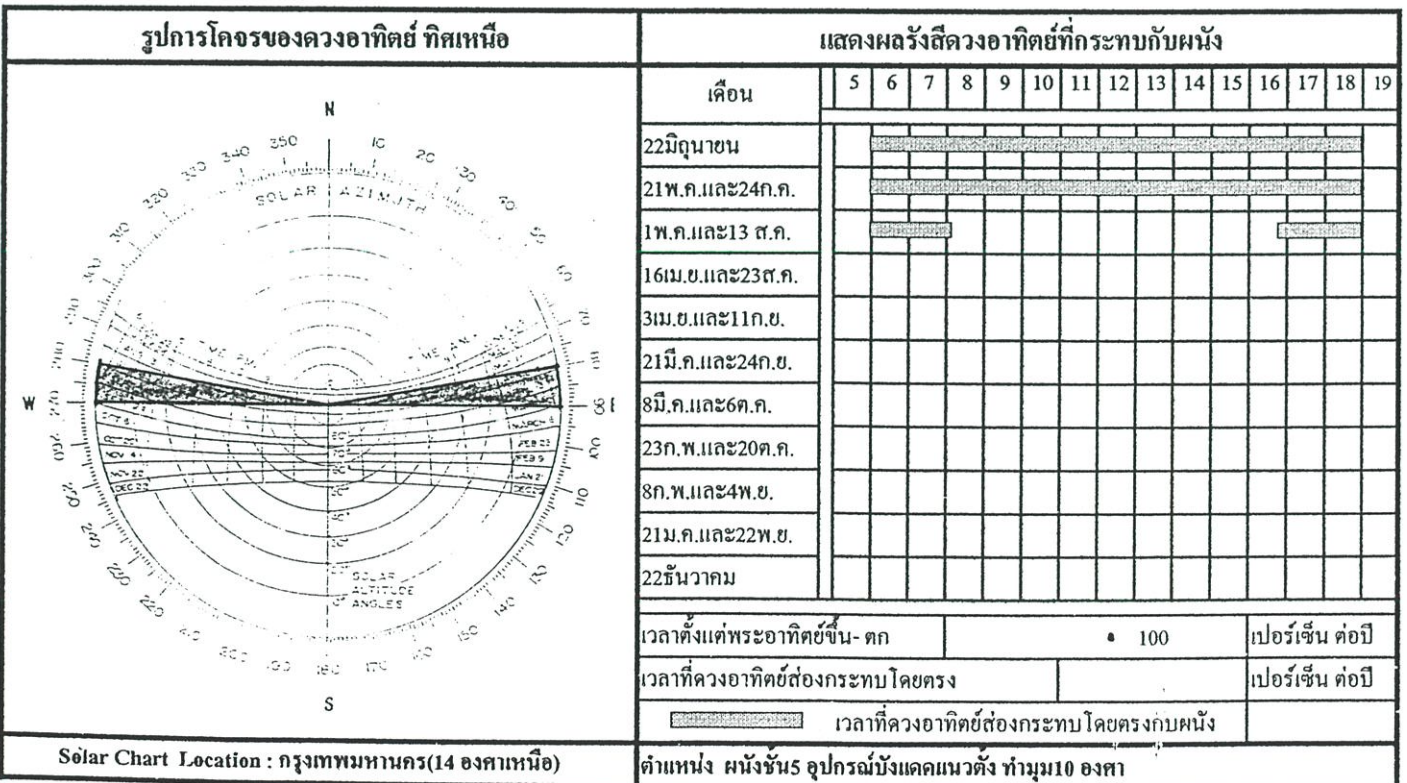
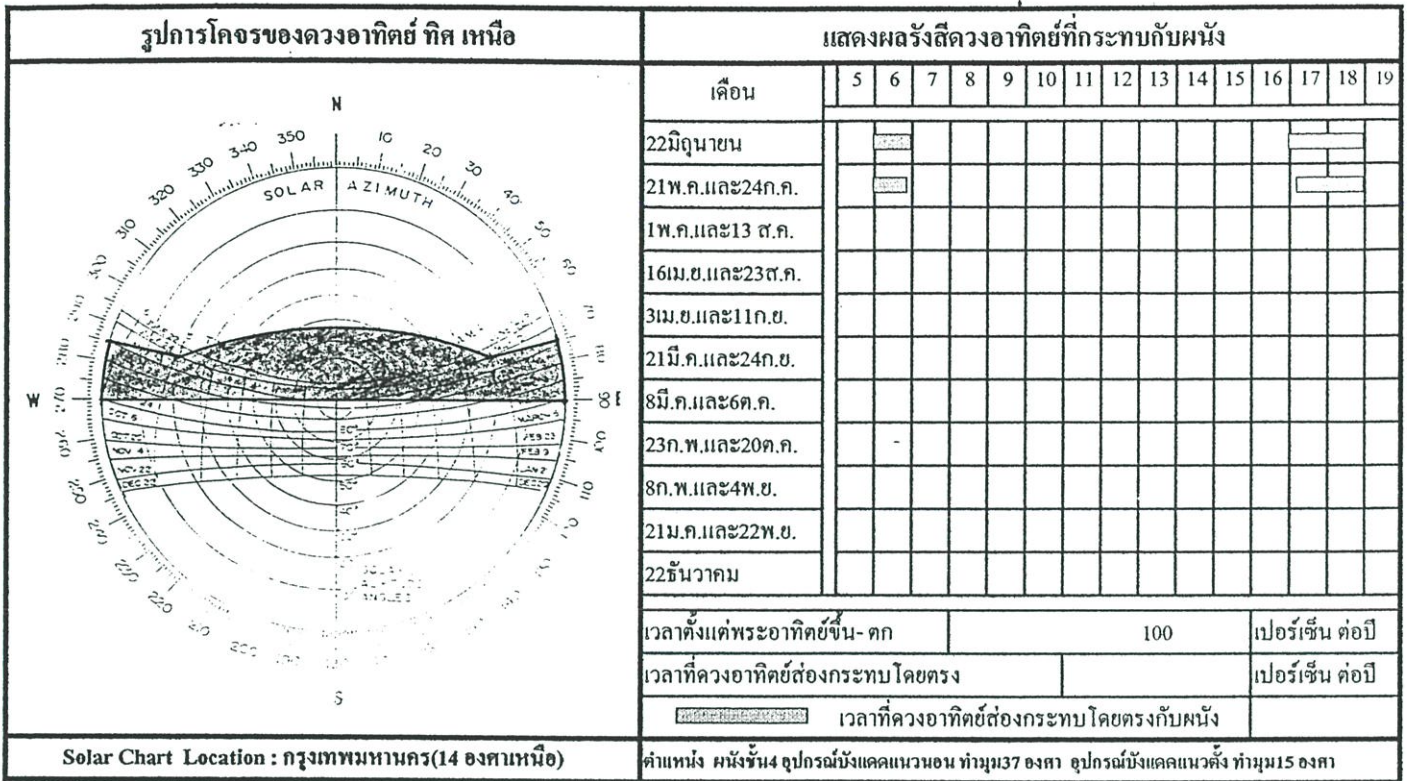
ผนังด้านทิศใต้ของอาคาร

รูปที่ 4.17 แสดงการบังแดดของแกนอาคารที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังแดดทางตั้ง

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน



ตารางที่ 4.10 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน (ต่อ)

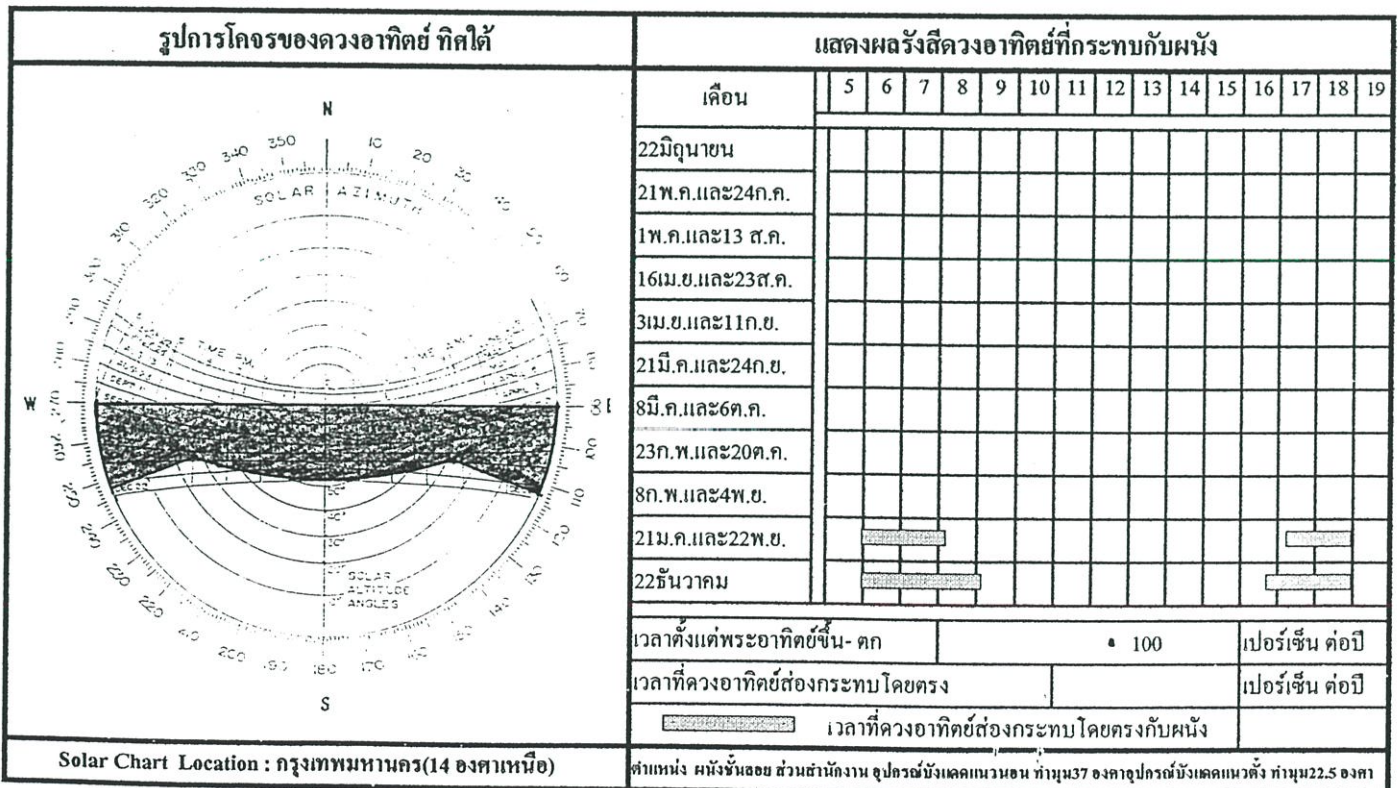
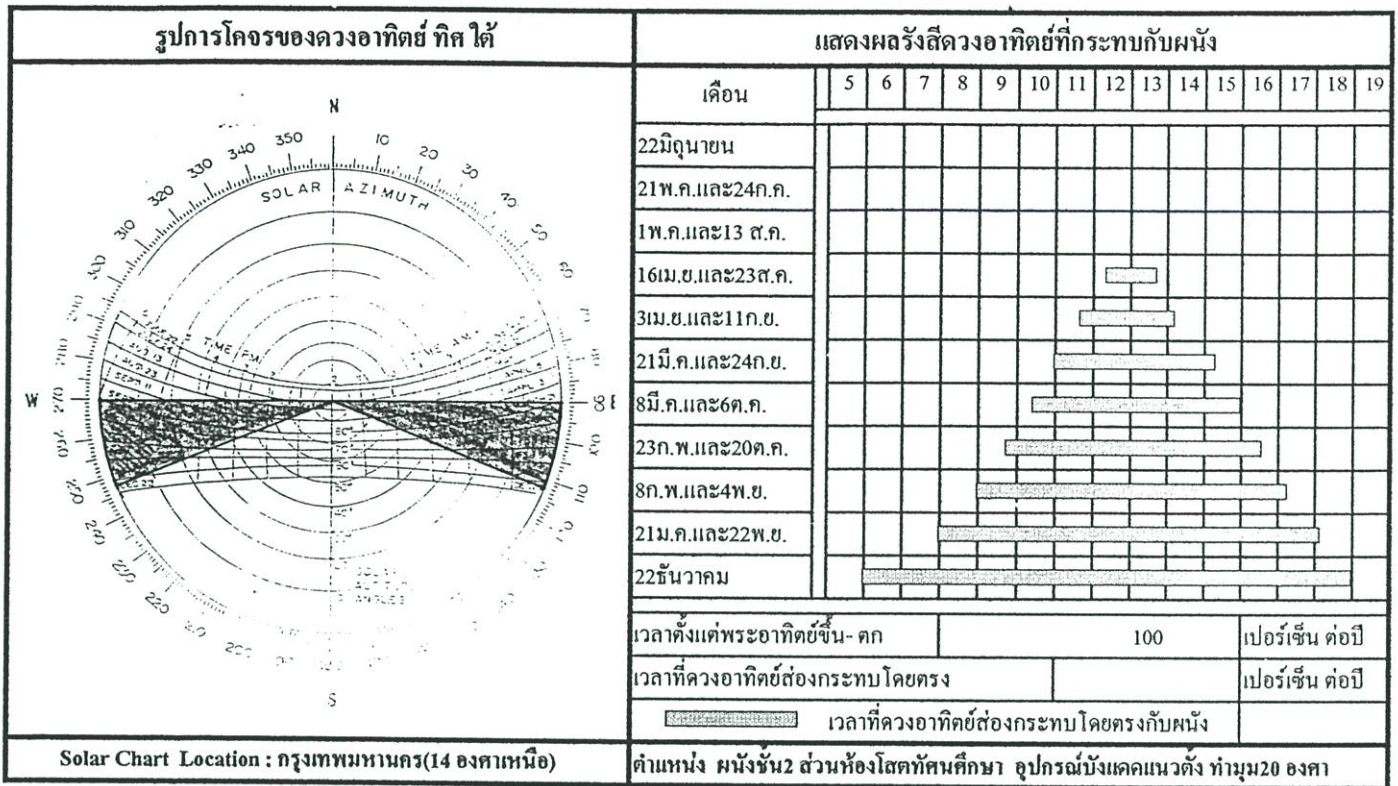


ตารางที่ 4.10 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน (ต่อ)

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ทิศเหนือ	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																			
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
	22มิถุนายน																			
	21พ.ค.และ24ก.ค.																			
	1พ.ค.และ13 ต.ค.																			
	16เม.ย.และ23ต.ค.																			
	3เม.ย.และ11ก.ย.																			
	21มี.ค.และ24ก.ย.																			
	8มี.ค.และ6ก.ค.																			
	23ก.พ.และ20ค.ค.																			
	8ก.พ.และ4พ.ย.																			
	21ม.ค.และ22พ.ย.																			
22ธันวาคม																				
เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก		100										เปอร์เซ็นต์ ต่อปี								
เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรง												เปอร์เซ็นต์ ต่อปี								
		เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรงกับผนัง																		
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)		ตำแหน่ง ผนังชั้น2 ด้านห้องสมุด อุปกรณ์บังแดดแนวตั้ง ทำมุม20 องศา																		

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ทิศเหนือ	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																			
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
	22มิถุนายน																			
	21พ.ค.และ24ก.ค.																			
	1พ.ค.และ13 ต.ค.																			
	16เม.ย.และ23ต.ค.																			
	3เม.ย.และ11ก.ย.																			
	21มี.ค.และ24ก.ย.																			
	8มี.ค.และ6ก.ค.																			
	23ก.พ.และ20ค.ค.																			
	8ก.พ.และ4พ.ย.																			
	21ม.ค.และ22พ.ย.																			
22ธันวาคม																				
เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก		100										เปอร์เซ็นต์ ต่อปี								
เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรง												เปอร์เซ็นต์ ต่อปี								
		เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรงกับผนัง																		
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)		ตำแหน่ง ผนังชั้น2 ด้านสำนักงาน อุปกรณ์บังแดดแนวอน ทำมุม37 องศา																		

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน (ต่อ)

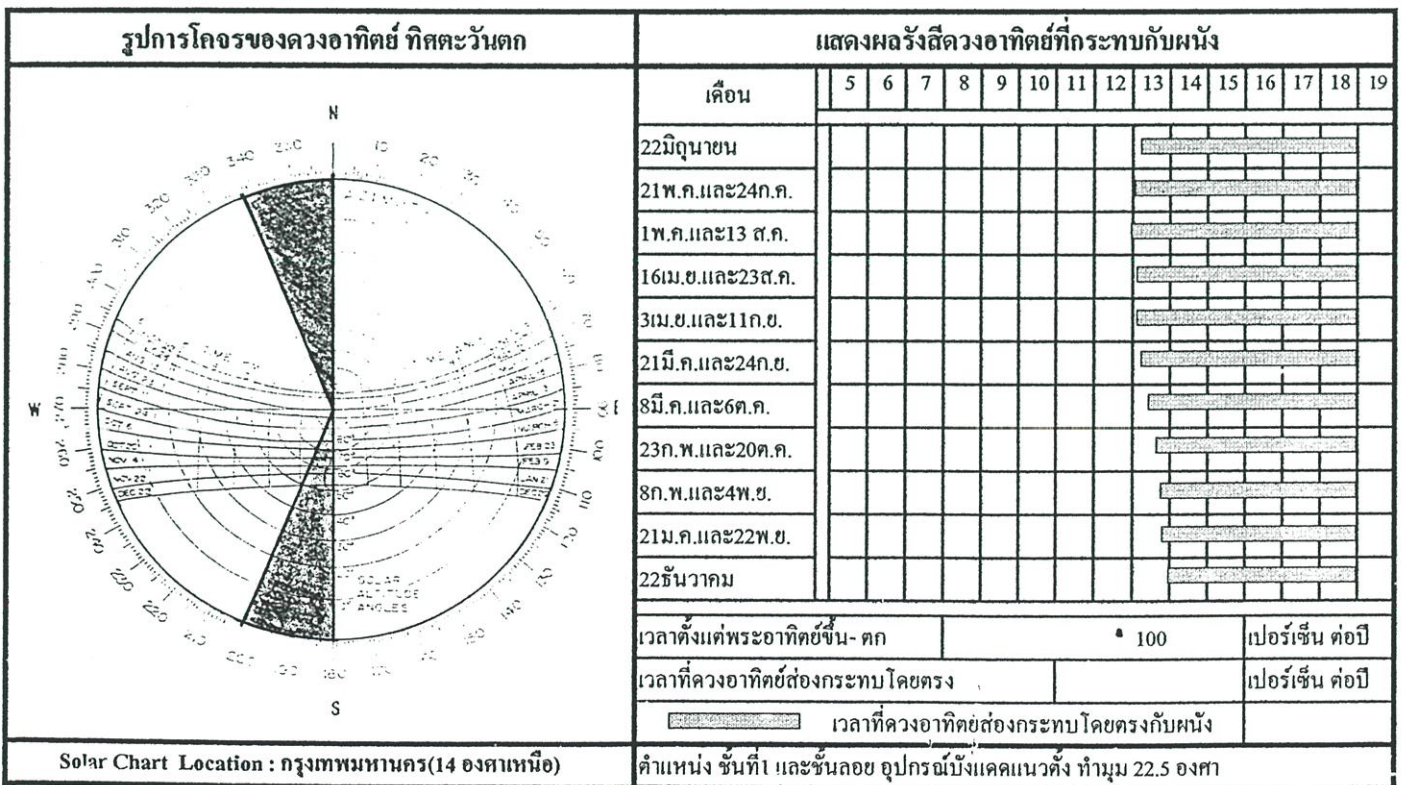
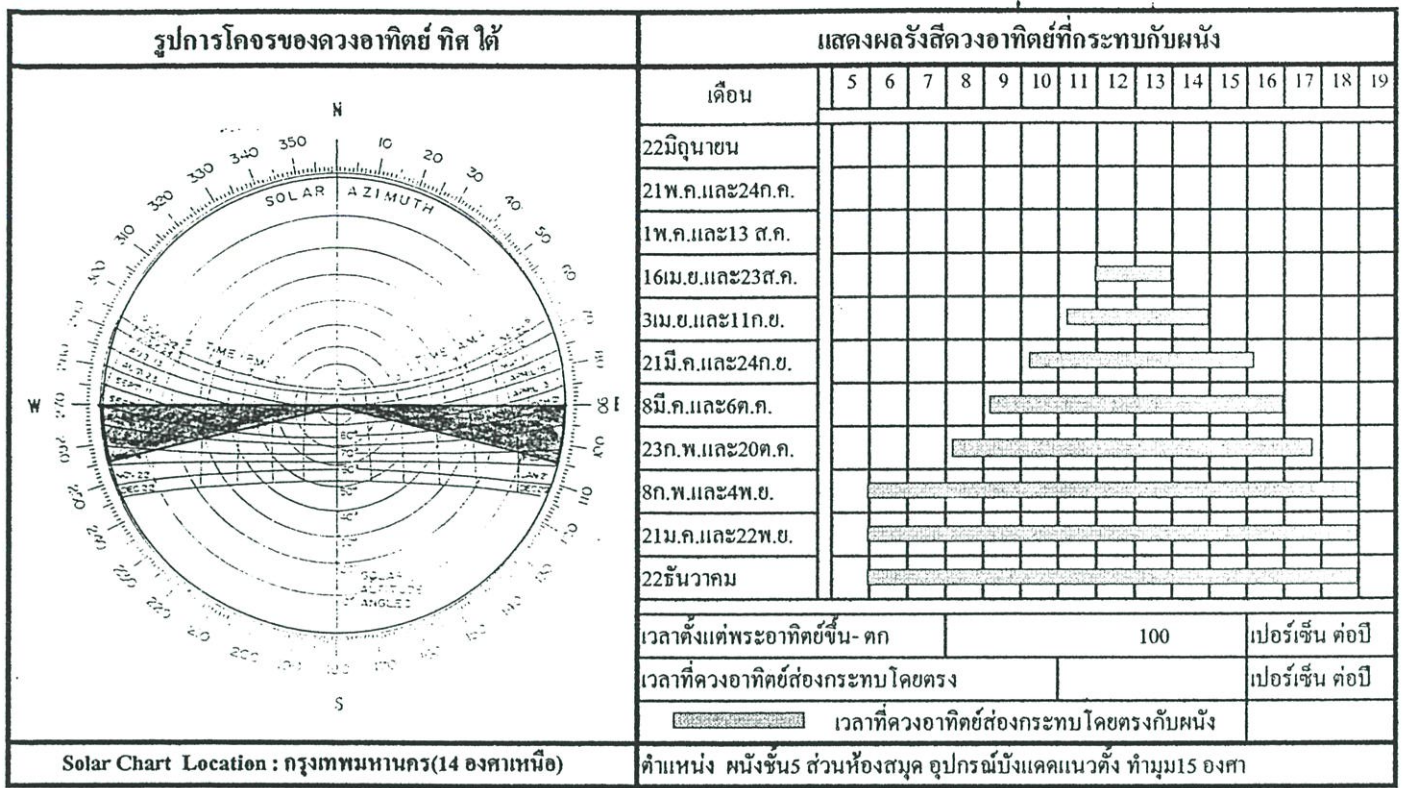


ตารางที่ 4.10 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน (ต่อ)

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ที่ศได้	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	22มิถุนายน																
	21พ.ค.และ24ก.ค.																
	1พ.ค.และ13 ส.ค.																
	16เม.ย.และ23ส.ค.																
	3เม.ย.และ11ก.ย.																
	21มี.ค.และ24ก.ย.																
	8มี.ค.และ6ค.ค.																
	23ก.พ.และ20ค.ค.																
	8ก.พ.และ4พ.ย.																
	21ม.ค.และ22พ.ย.																
22ธันวาคม																	
เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก											100	เปอร์เซ็นต์ ต่อปี					
เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรง												เปอร์เซ็นต์ ต่อปี					
	เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรงกับผนัง																
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)	ตำแหน่ง ผนังชั้น3 ส่วนห้องสมุด อุปรณบึงแดดแนวอน ทำมุม37 องศา อุปรณบึงแดดแนวตั้ง ทำมุม20 องศา																

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ที่ศได้	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
	22มิถุนายน																
	21พ.ค.และ24ก.ค.																
	1พ.ค.และ13 ส.ค.																
	16เม.ย.และ23ส.ค.																
	3เม.ย.และ11ก.ย.																
	21มี.ค.และ24ก.ย.																
	8มี.ค.และ6ค.ค.																
	23ก.พ.และ20ค.ค.																
	8ก.พ.และ4พ.ย.																
	21ม.ค.และ22พ.ย.																
22ธันวาคม																	
เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก											100	เปอร์เซ็นต์ ต่อปี					
เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรง												เปอร์เซ็นต์ ต่อปี					
	เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรงกับผนัง																
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)	ตำแหน่ง ผนังชั้น4 ส่วนห้องสมุด อุปรณบึงแดดแนวอน ทำมุม37 องศา อุปรณบึงแดดแนวตั้ง ทำมุม15 องศา																

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน (ต่อ)

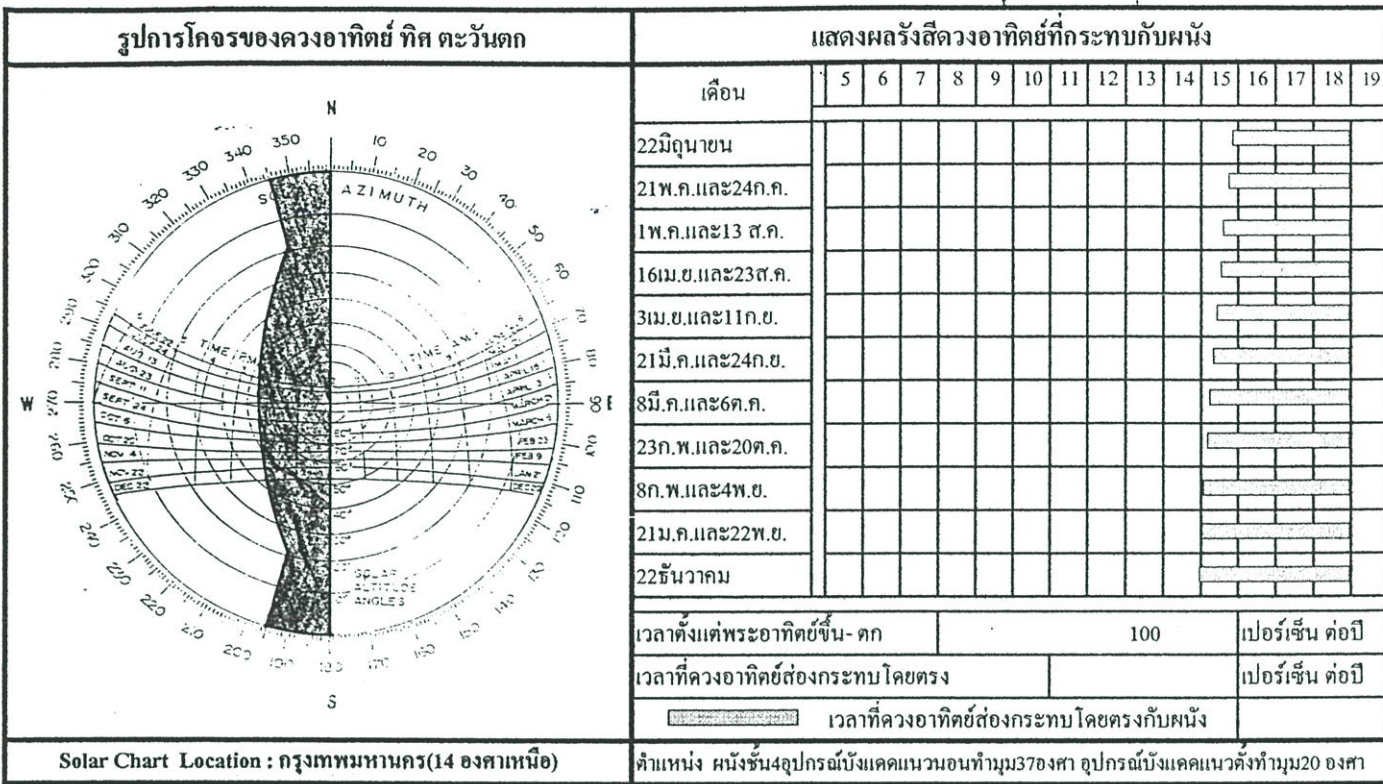


ตารางที่ 4.10 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน (ต่อ)

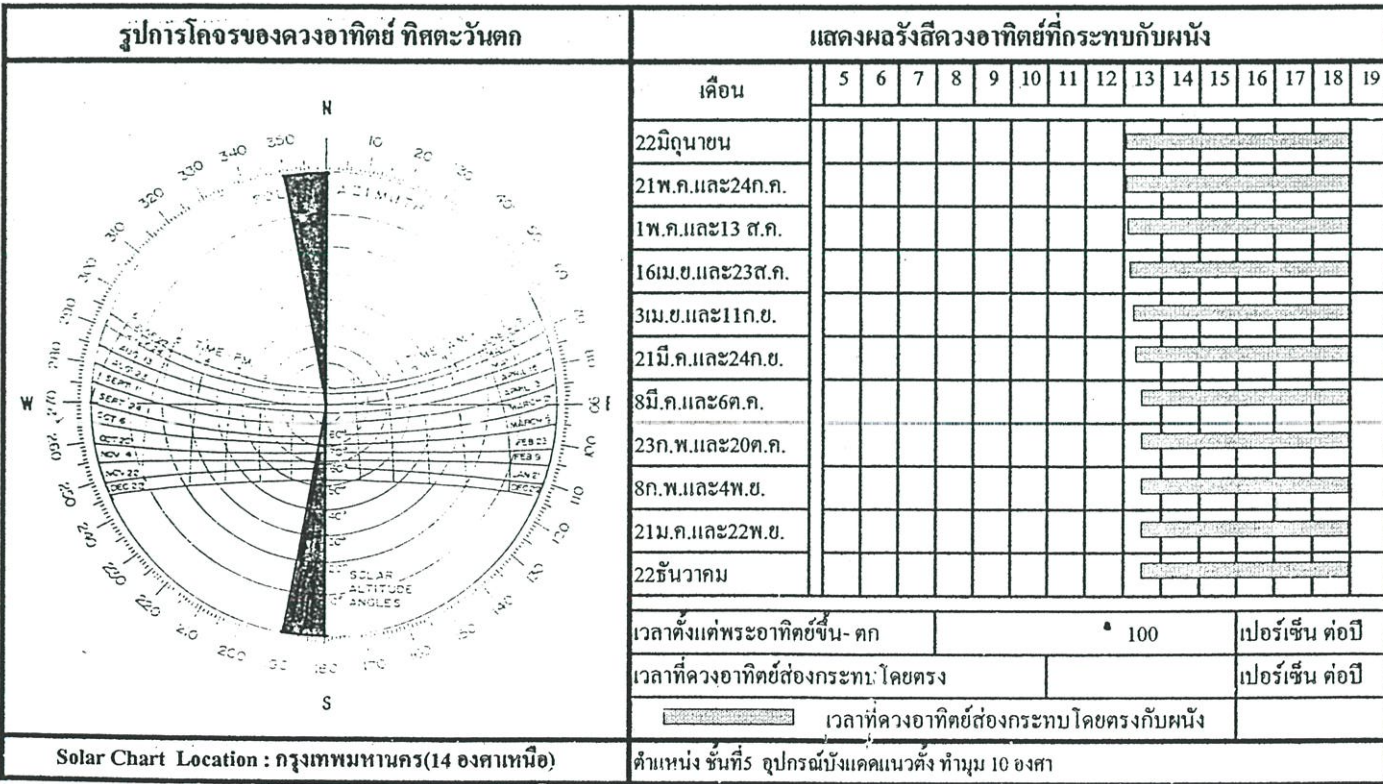
รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ทิศ ตะวันตก	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																				
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19					
	22มิถุนายน																				
	21พ.ค.และ24ก.ค.																				
	1พ.ค.และ13 ส.ค.																				
	16เม.ย.และ23ส.ค.																				
	3เม.ย.และ11ก.ย.																				
	21มี.ค.และ24ก.ย.																				
	8มี.ค.และ6ต.ค.																				
	23ก.พ.และ20ต.ค.																				
	8ก.พ.และ4พ.ย.																				
	21ม.ค.และ22พ.ย.																				
	22ธันวาคม																				
	เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก									100									เปอร์เซ็นต์ คอปี		
เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบโดยตรง																		เปอร์เซ็นต์ คอปี			
									เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบโดยตรงกับผนัง												
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)		ตำแหน่ง ผนังชั้น2 อุกรณ์บังแดดแนวตั้ง ทำมุม20 องศา																			

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ทิศ ตะวันตก	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																					
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19						
	22มิถุนายน																					
	21พ.ค.และ24ก.ค.																					
	1พ.ค.และ13 ส.ค.																					
	16เม.ย.และ23ส.ค.																					
	3เม.ย.และ11ก.ย.																					
	21มี.ค.และ24ก.ย.																					
	8มี.ค.และ6ต.ค.																					
	23ก.พ.และ20ต.ค.																					
	8ก.พ.และ4พ.ย.																					
	21ม.ค.และ22พ.ย.																					
	22ธันวาคม																					
	เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก									100									เปอร์เซ็นต์ คอปี			
เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบโดยตรง																		เปอร์เซ็นต์ คอปี				
									เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบโดยตรงกับผนัง													
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)		ตำแหน่ง ชั้นที่3 อุกรณ์บังแดดแนวอนทำมุม 37 องศา อุกรณ์บังแดดแนวตั้ง ทำมุม 20 องศา																				

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน (ต่อ)



Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)



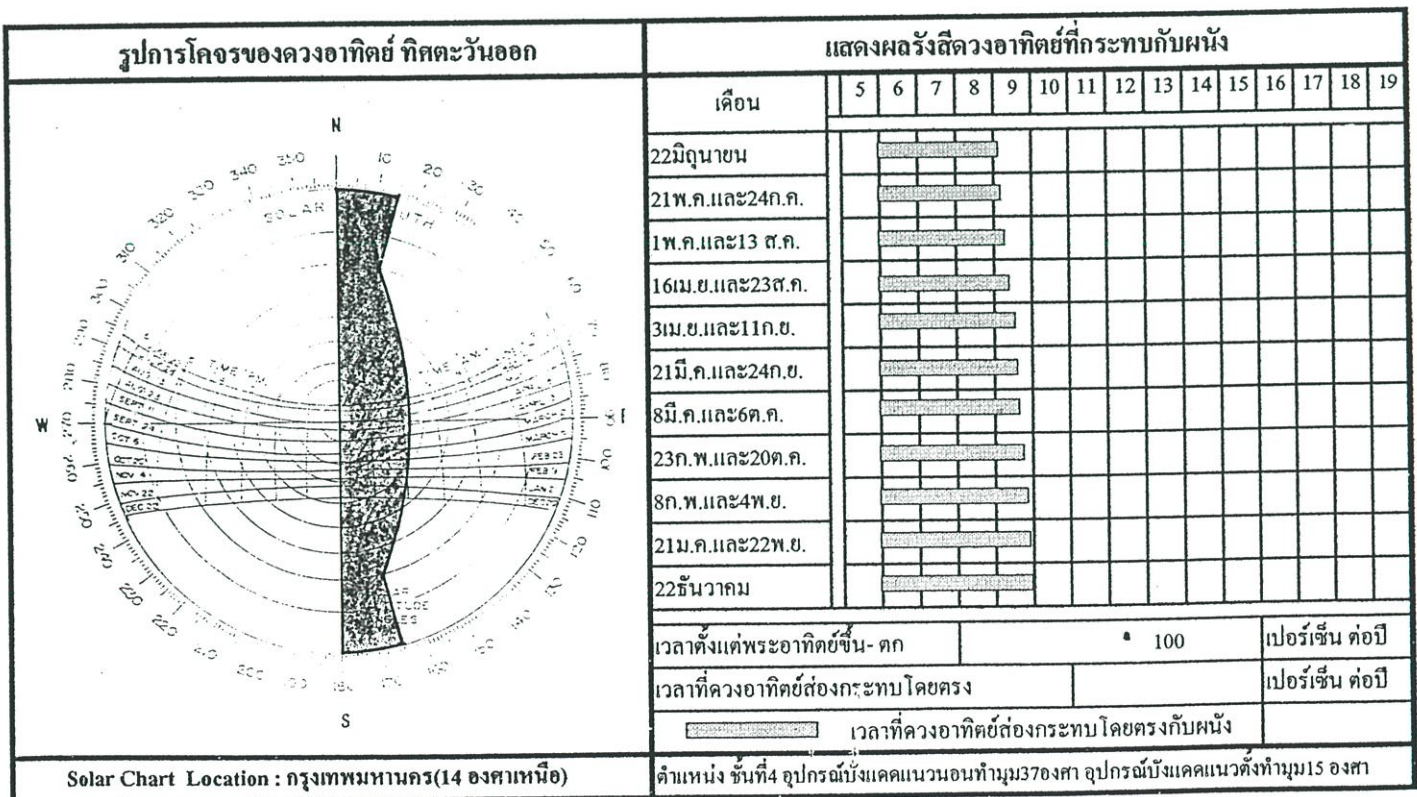
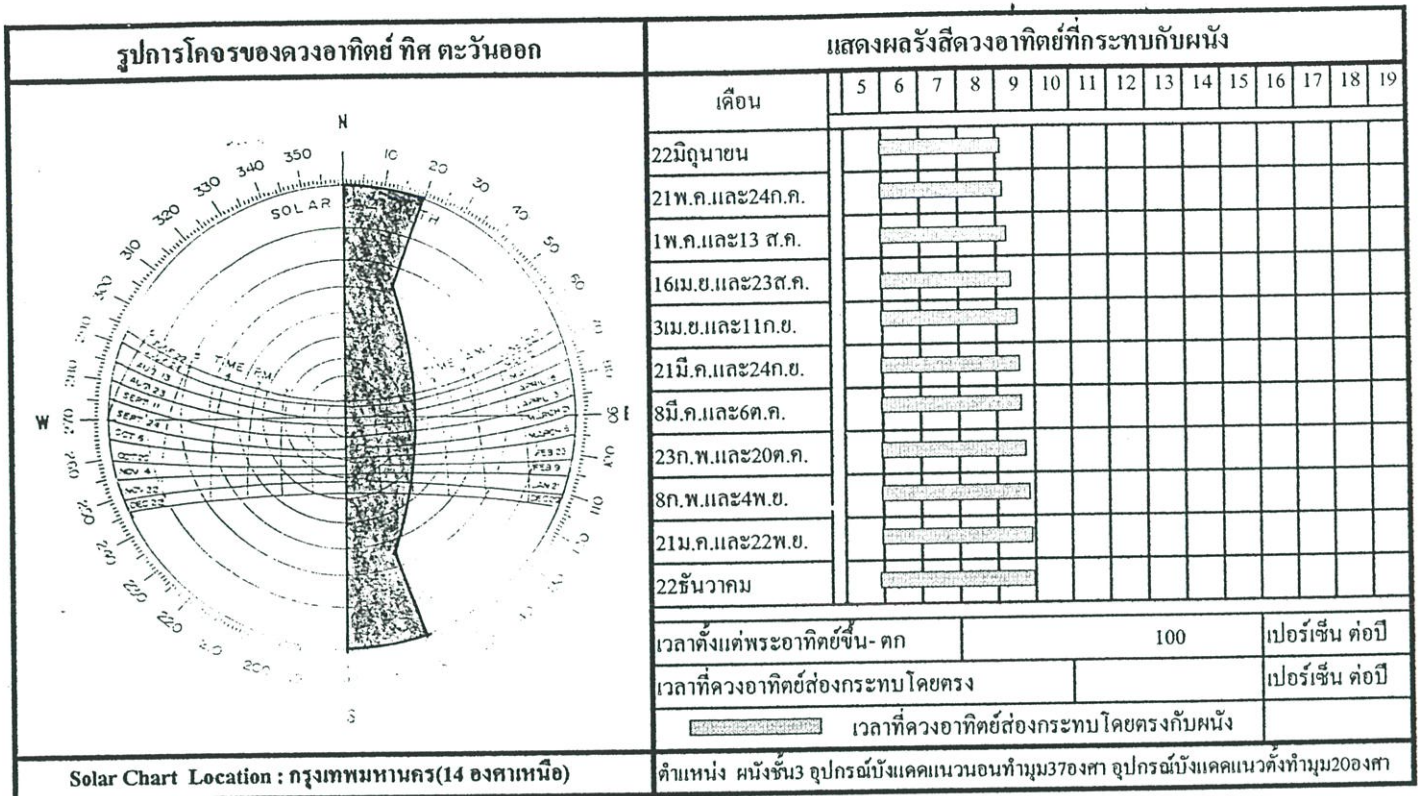
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน (ต่อ)

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ทิศ ตะวันออก	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																			
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
	22มิถุนายน																			
	21พ.ค.และ24ก.ค.																			
	1พ.ค.และ13 ต.ค.																			
	16เม.ย.และ23ต.ค.																			
	3เม.ย.และ11ก.ย.																			
	21มี.ค.และ24ก.ย.																			
	8มี.ค.และ6ต.ค.																			
	23ก.พ.และ20ต.ค.																			
	8ก.พ.และ4พ.ย.																			
	21ม.ค.และ22พ.ย.																			
	22ธันวาคม																			
	เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก		100										เปอร์เซ็นต์ ต่อปี							
เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรง												เปอร์เซ็นต์ ต่อปี								
		เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรงกับผนัง																		
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)		ตำแหน่ง ผนังชั้น1ส่วนอ่านหนังสือ ชั้นลอย อุปรกรณ์บังแดดแนวอนทำมุม37องศา																		

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ทิศ ตะวันออก	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																			
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
	22มิถุนายน																			
	21พ.ค.และ24ก.ค.																			
	1พ.ค.และ13 ต.ค.																			
	16เม.ย.และ23ต.ค.																			
	3เม.ย.และ11ก.ย.																			
	21มี.ค.และ24ก.ย.																			
	8มี.ค.และ6ต.ค.																			
	23ก.พ.และ20ต.ค.																			
	8ก.พ.และ4พ.ย.																			
	21ม.ค.และ22พ.ย.																			
	22ธันวาคม																			
	เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก		100										เปอร์เซ็นต์ ต่อปี							
เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรง												เปอร์เซ็นต์ ต่อปี								
		เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรงกับผนัง																		
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)		ตำแหน่ง ชั้นที่2 ส่วนห้องสมุด ไม่มีอุปกรณ์บังแดดใดๆ																		

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน (ต่อ)

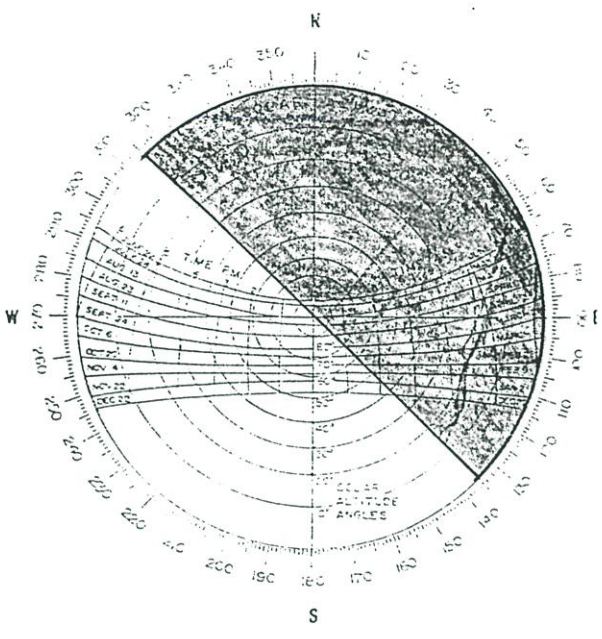


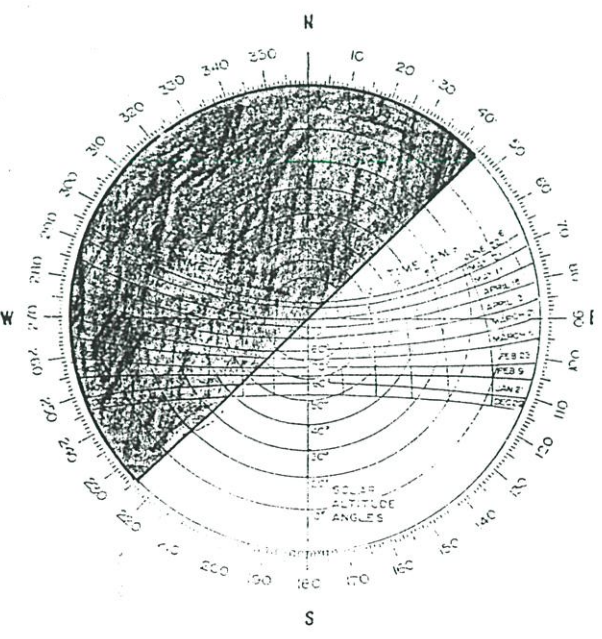
ตารางที่ 4.10 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน (ต่อ)

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ทิศ ตะวันออก	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																				
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19					
	22มิถุนายน																				
	21พ.ค.และ24ก.ค.																				
	1พ.ค.และ13 ส.ค.																				
	16เม.ย.และ23ต.ค.																				
	3เม.ย.และ11ก.ย.																				
	21มี.ค.และ24ก.ย.																				
	8มี.ค.และ6ต.ค.																				
	23ก.พ.และ20ค.ค.																				
	8ก.พ.และ4พ.ย.																				
	21ม.ค.และ22พ.ย.																				
	22ธันวาคม																				
	เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก		100												เปอร์เซ็นต์ ต่อปี						
	เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรง														เปอร์เซ็นต์ ต่อปี						
		เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรงกับผนัง																			
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)		ตำแหน่ง ผนังชั้น5 ห้องทำงาน อุณหภูมิข้างแดดแนวตั้งทำมุม10องศา																			

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																					
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19						
	22มิถุนายน																					
	21พ.ค.และ24ก.ค.																					
	1พ.ค.และ13 ส.ค.																					
	16เม.ย.และ23ต.ค.																					
	3เม.ย.และ11ก.ย.																					
	21มี.ค.และ24ก.ย.																					
	8มี.ค.และ6ต.ค.																					
	23ก.พ.และ20ค.ค.																					
	8ก.พ.และ4พ.ย.																					
	21ม.ค.และ22พ.ย.																					
	22ธันวาคม																					
	เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก		100												เปอร์เซ็นต์ ต่อปี							
	เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรง														เปอร์เซ็นต์ ต่อปี							
		เวลาที่ดวงอาทิตย์ส่องกระทบโดยตรงกับผนัง																				
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)		ตำแหน่ง																				

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน (ต่อ)

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง															
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	22มิถุนายน															
	21พ.ค.และ24ก.ค.															
	1พ.ค.และ13 ต.ค.															
	16เม.ย.และ23ต.ค.															
	3เม.ย.และ11ก.ย.															
	21มี.ค.และ24ก.ย.															
	8มี.ค.และ6ต.ค.															
	23ก.พ.และ20ต.ค.															
	8ก.พ.และ4พ.ย.															
	21ม.ค.และ22พ.ย.															
	22ธันวาคม															
	เวลาตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก											100	เปอร์เซ็นต์ ต่อปี			
	เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบโดยตรง												เปอร์เซ็นต์ ต่อปี			
เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบโดยตรงกับผนัง																
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)																
ตำแหน่ง ผนังชั้น2 ไม่มีอุปกรณ์บังแดดใดๆ																

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ตะวันตกเฉียงเหนือ	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง															
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	22มิถุนายน															
	21พ.ค.และ24ก.ค.															
	1พ.ค.และ13 ต.ค.															
	16เม.ย.และ23ต.ค.															
	3เม.ย.และ11ก.ย.															
	21มี.ค.และ24ก.ย.															
	8มี.ค.และ6ต.ค.															
	23ก.พ.และ20ต.ค.															
	8ก.พ.และ4พ.ย.															
	21ม.ค.และ22พ.ย.															
	22ธันวาคม															
	เวลาตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก											100	เปอร์เซ็นต์ ต่อปี			
	เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบโดยตรง												เปอร์เซ็นต์ ต่อปี			
เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบโดยตรงกับผนัง																
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)																
ตำแหน่ง ผนังชั้น2 ไม่มีอุปกรณ์บังแดดใดๆ																

#### 4.6 การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร

จากลักษณะทางสถาปัตยกรรมของอาคารกรณีศึกษา เมื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารและค่าการใช้พลังงานในอาคาร เช่น ภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ภาระจากกรอบอาคารในระบบปรับอากาศ โดยการใช้โปรแกรม OTTVEE Version 1.0 a เพื่อช่วยในการคำนวณ โดยการป้อนข้อมูลชนิดของผนังอาคารทั้งผนังทึบ ผนังโปร่งแสงของอาคารทั้ง 6 ทิศ ชนิดหลังคา และอุปกรณ์บังแดดของอาคาร โดยพิจารณาพื้นที่ของผนังในส่วนที่มีการปรับอากาศเท่านั้น โดยผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร และค่าการใช้พลังงานอื่นๆ ได้ผลตามรายงานการคำนวณ ค่า OTTV และ RTTV ดังนี้

## รายงานการคำนวณ OTTV และ RTTV

ชื่อโครงการ	อาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ	หน้าที่-1
ชื่อบริเวณ	มหาวิทยาลัยรังสิต	
ชนิดบริเวณ	อาคารสำนักงาน	
ที่ตั้งโครงการ	กรุงเทพมหานคร	
ขนาดพื้นที่ปรับอากาศ	9,300.0 ตารางเมตร	
ความสูงของบริเวณ (FL.to FL.)	3.5 เมตร	

ค่า OTTV ของอาคาร	<b>82.56</b>	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
ค่า RTTV ของอาคาร	<b>53.85</b>	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

### รายละเอียดค่า OTTV และ RTTV

	ผนังทึบ	ผนังโปร่งแสง	รวม	
<b>ทิศ N</b>	<b>39.61</b>	<b>129.56</b>	<b>71.32</b>	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ NNE</b>	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ NE</b>	<b>36.94</b>	<b>161.22</b>	<b>79.55</b>	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ ENE</b>	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ E</b>	<b>44.85</b>	<b>175.63</b>	<b>89.53</b>	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ ESE</b>	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ SE</b>	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ SSE</b>	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ S</b>	<b>42.35</b>	<b>171.62</b>	<b>88.82</b>	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ SSW</b>	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ SW</b>	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ WSW</b>	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ W</b>	<b>43.90</b>	<b>172.79</b>	<b>80.63</b>	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ WNW</b>	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ NW</b>	<b>36.77</b>	<b>156.92</b>	<b>72.82</b>	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>ทิศ NNW</b>	-	-	-	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร
<b>หลังคา</b>	<b>53.32</b>	<b>273.14</b>	<b>53.85</b>	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร

## รายละเอียดการคำนวณค่า OTTV และ RTTV

N	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-1	ผนังโปร่งแสง	82.2	5.610	5.0	111.4	0.960	11,093.35
	รายการที่-2	ผนังโปร่งแสง	69.1	5.600	5.0	111.4	0.854	8,508.77
	รายการที่-3	ผนังทึบ	33.0	3.700	18.0	-	-	2,197.80
	รายการที่-4	ผนังทึบ	172.8	3.100	12.0	-	-	6,428.90
	รายการที่-5	ผนังทึบ	54.0	3.000	12.0	-	-	1,944.00
	รายการที่-6	ผนังทึบ	18.0	2.000	12.0	-	-	432.00
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			277.8	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			11,002.70	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			39.61	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			151.3	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			19,602.12	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			129.56	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			71.32	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

NE	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-35	ผนังโปร่งแสง	12.0	5.610	5.0	138.7	0.960	1,934.65
	รายการที่-36	ผนังทึบ	18.0	3.100	12.0	-	-	669.60
	รายการที่-37	ผนังทึบ	5.0	3.000	12.0	-	-	180.00
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			23.0	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			849.60	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			36.94	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			12.0	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			1,934.65	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			161.22	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			79.55	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

ชื่อโครงการ  
ชื่อบริเวณอาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ  
มหาวิทยาลัยรังสิต

หน้าที่-3

E	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-27	ผนังโปร่งแสง	92.4	5.610	5.0	179.0	0.960	18,473.38
	รายการที่-28	ผนังโปร่งแสง	19.8	5.600	5.0	179.0	0.631	2,788.47
	รายการที่-29	ผนังโปร่งแสง	55.0	5.610	5.0	179.0	0.667	8,103.46
	รายการที่-30	ผนังทึบ	168.4	3.100	12.0	-	-	6,262.99
	รายการที่-31	ผนังทึบ	93.7	3.700	18.0	-	-	6,240.42
	รายการที่-32	ผนังทึบ	42.1	3.000	12.0	-	-	1,515.60
	รายการที่-33	ผนังทึบ	18.0	2.000	12.0	-	-	432.00
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			322.2	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			14,451.01	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			44.85	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			167.2	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			29,365.31	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			175.63	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			89.53	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

S	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-20	ผนังโปร่งแสง	92.9	5.610	5.0	178.2	0.960	18,502.00
	รายการที่-21	ผนังโปร่งแสง	60.9	5.600	5.0	178.2	0.570	7,892.45
	รายการที่-22	ผนังทึบ	56.0	3.700	18.0	-	-	3,729.60
	รายการที่-23	ผนังทึบ	146.3	3.100	12.0	-	-	5,443.85
	รายการที่-24	ผนังทึบ	59.2	3.000	12.0	-	-	2,129.40
	รายการที่-25	ผนังทึบ	12.5	2.000	12.0	-	-	300.00
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			274.0	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			11,602.85	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			42.35	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			153.8	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			26,394.45	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			171.62	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			88.82	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

ชื่อโครงการ  
ชื่อบริเวณอาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ  
มหาวิทยาลัยรังสิต

หน้าที่-4

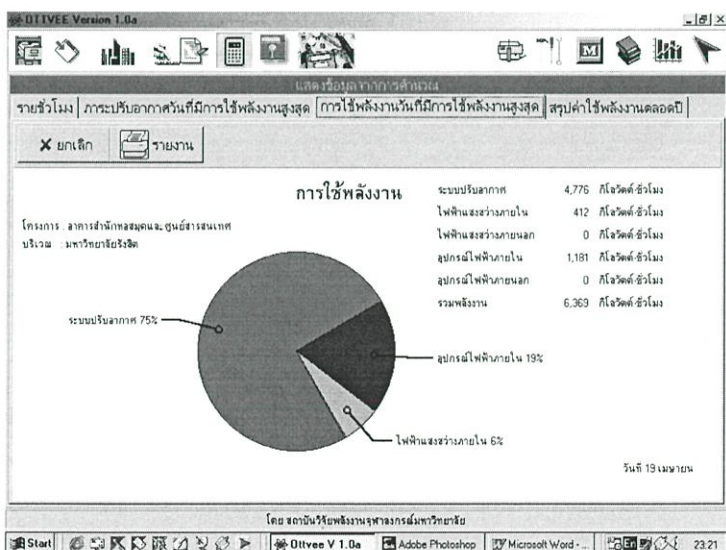
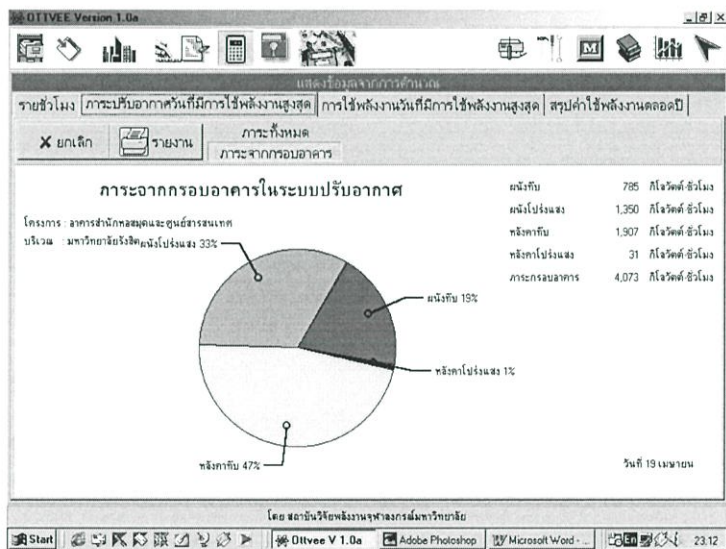
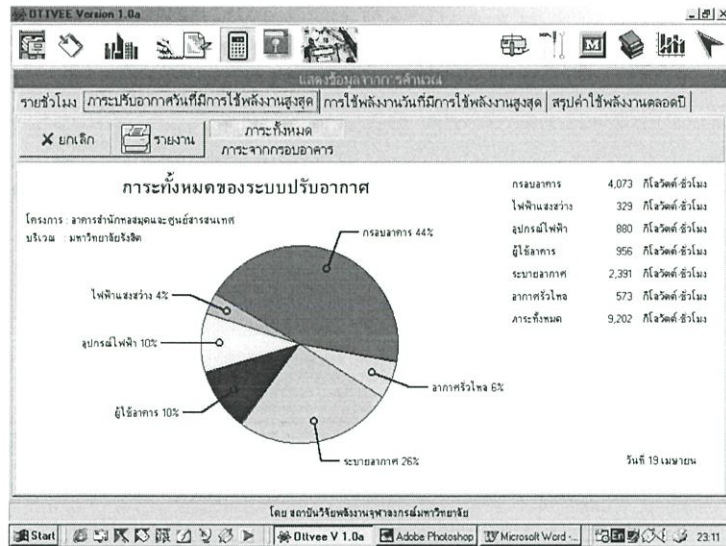
W	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-12	ผนังโปร่งแสง	85.7	5.610	5.0	171.5	0.960	16,511.32
	รายการที่-13	ผนังโปร่งแสง	55.3	5.600	5.0	171.5	0.685	8,048.57
	รายการที่-14	ผนังโปร่งแสง	17.0	5.600	5.0	171.5	0.779	2,740.97
	รายการที่-15	ผนังทึบ	99.1	3.700	18.0	-	-	6,600.06
	รายการที่-16	ผนังทึบ	238.3	3.100	12.0	-	-	8,862.90
	รายการที่-17	ผนังทึบ	44.0	3.000	12.0	-	-	1,582.20
	รายการที่-18	ผนังทึบ	15.1	2.000	12.0	-	-	362.88
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			396.5	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			17,408.04	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			43.90	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			158.0	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			27,300.86	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			172.79	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			80.63	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

NW	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-8	ผนังโปร่งแสง	3.0	5.610	5.0	134.2	0.960	470.76
	รายการที่-9	ผนังทึบ	4.5	3.100	12.0	-	-	167.40
	รายการที่-10	ผนังทึบ	2.5	3.000	12.0	-	-	90.00
	รวม	พื้นที่ผนังทึบ			7.0	ตารางเมตร		
		Q ของผนังทึบ			257.40	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			36.77	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			3.0	ตารางเมตร		
		Q ของผนังโปร่งแสง			470.76	วัตต์		
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			156.92	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			72.82	วัตต์ ต่อ ตารางเมตร		

ชื่อโครงการ  
ชื่อบริเวณอาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ  
มหาวิทยาลัยรังสิต

หน้าที่-5

หลังคา	รหัสรายการ	ชนิดผนัง	พื้นที่ (sq.m.)	U (W/sq.m.°C)	TD (°C)	SF	SC	Q (Watt)
	รายการที่-39	หลังคาทึบ	1,016.2	2.200	20.0	-	-	44,712.80
	รายการที่-40	หลังคาทึบ	1,042.0	2.600	24.0	-	-	65,020.80
	รายการที่-41	หลังคาโปร่งแสง	5.0	5.610	5.0	255.3	0.960	1,365.69
รวม		พื้นที่ผนังทึบ			2,058.2		ตารางเมตร	
		Q ของผนังทึบ			109,733.60		วัตต์	
		ค่า OTTV ของผนังทึบ			53.32		วัตต์ ต่อ ตารางเมตร	
		พื้นที่ผนังโปร่งแสง			5.0		ตารางเมตร	
		Q ของผนังโปร่งแสง			1,365.69		วัตต์	
		ค่า OTTV ของผนังโปร่งแสง			273.14		วัตต์ ต่อ ตารางเมตร	
		ค่า OTTV ของผนังด้านนี้			53.85		วัตต์ ต่อ ตารางเมตร	



รูปที่ 4.18 แสดงภาวะทั้งหมดของระบบปรับอากาศ จากกรอบอาคารและการใช้พลังงานในอาคาร

ตารางที่ 4.11 แสดงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นและค่าการใช้พลังงานในอาคารเดิม

โครงการ : อาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ

บริเวณ : มหาวิทยาลัยรังสิต

ข้อมูลวันศุกร์ที่ 19 เมษายน

รายการ	หน่วย	ชั่วโมงที่-1	ชั่วโมงที่-2	ชั่วโมงที่-3	ชั่วโมงที่-4	ชั่วโมงที่-5	ชั่วโมงที่-6	ชั่วโมงที่-7	ชั่วโมงที่-8	ชั่วโมงที่-9	ชั่วโมงที่-10	ชั่วโมงที่-11	ชั่วโมงที่-12	ชั่วโมงที่-13	ชั่วโมงที่-14	ชั่วโมงที่-15
อุณหภูมิอากาศภายนอก	เซลเซียส	28.8	28.7	28.6	28.4	28.3	28.2	28.4	29.6	31.5	32.4	33.4	34.2	35	35	35.1
ความชื้นอากาศภายนอก	%	82	81	81	81	82	83	82	77	67	64	60	56	52	51	52
ความเร็วลม	km/hr.	9	9	4	4	6	4	6	6	11	13	13	11	11	11	9
พลังงานแสงอาทิตย์	W/sq.m.	-	-	-	-	-	50	231	469	619	800	864	992	942	808	636
<hr/>																
<b>1. การใช้พลังงานของอาคาร</b>																
<hr/>																
1.1 พลังงานรวมทั้งหมดของอาคาร	kW	4.678	4.678	4.678	4.678	4.678	4.678	4.652	37.946	356.768	494.739	524.029	542.686	334.856	574.859	616.047
1.2 พลังงานของระบบปรับอากาศ	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	255.581	368.256	397.547	416.203	271.613	448.377	489.565
1.3 พลังงานยกเว้นระบบปรับอากาศ	kW	4.678	4.678	4.678	4.678	4.678	4.678	4.652	37.946	101.186	126.482	126.482	126.482	63.242	126.482	126.482
<hr/>																
1.3.1 พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร	kW	-	-	-	-	-	-	-	10.044	26.784	33.48	33.48	33.48	16.74	33.48	33.48
1.3.2 พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายนอกอาคาร	kW	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
1.3.3 พลังงานอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร	kW	4.65	4.65	4.65	4.65	4.65	4.65	4.65	27.9	74.4	93	93	93	46.5	93	93
1.3.4 พลังงานอุปกรณ์ไฟฟ้าภายนอกอาคาร	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<hr/>																
<b>2. ระบบปรับอากาศ</b>																
<hr/>																
<b>2.1 ภาระของระบบปรับอากาศ</b>																
<hr/>																
2.1.1 ภาระรวมจากคนนั่ง	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	20.361	31.328	42.538	51.983	58.882	64.351	70.475
2.1.2 ภาระรวมจากผนังโปร่งแสง	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	119.472	118.045	111.361	103.823	119.644	135.582	150.547
2.1.3 ภาระรวมจากกรอบอาคาร	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	177.521	220.86	261.519	302.29	360.713	409.643	446.654
2.1.4 ภาระรวมจากภายนอกอาคาร	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	369.853	530.314	576.699	604.866	433.011	673.609	738.113
2.1.5 ภาระรวมจากจากภายในอาคาร	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	122.539	179.153	189.197	196.974	90.268	190.215	205.063

ตารางที่ 4.11 แสดงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นและค่าการใช้พลังงานในอาคารเดิม (ต่อ)

-----																	
2.2 ภาระรวม																	
-----																	
2.2.1 ภาระจากความร้อนสัมผัสรวม	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	316.062	430.716	491.223	545.071	470.009	649.465	703.307
2.2.2 ภาระจากความร้อนแฝงรวม	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	176.33	278.751	274.674	256.769	53.27	214.359	239.869
2.2.3 ภาระความร้อนรวม	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	492.392	709.467	765.897	801.84	523.279	863.824	943.176
2.2.4 ภาระรวม	Ton	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140.045	201.784	217.834	228.057	148.829	245.686	268.255
2.2.5 ภาระเฉลี่ย	sq.m/tr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66.407	46.089	42.693	40.779	62.488	37.853	34.669
-----																	
2.3 รายละเอียดของภาระ																	
-----																	
2.3.1 การทำงานของเครื่องปรับอากาศ	เปิด/ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	[เปิด]	[เปิด]	[เปิด]	[เปิด]	[เปิด]	[เปิด]	[เปิด]
2.3.2 ภาระจากผนังทึบ ทิศ N	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.237	4.381	5.635	6.799	8.096	9.667	10.964
2.3.3 ภาระจากผนังทึบ ทิศ NNE	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.4 ภาระจากผนังทึบ ทิศ NE	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.425	0.751	1.095	1.376	1.548	1.564	1.55
2.3.5 ภาระจากผนังทึบ ทิศ ENE	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.6 ภาระจากผนังทึบ ทิศ E	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.812	17.162	23.827	27.909	29.071	27.751	25.733
2.3.7 ภาระจากผนังทึบ ทิศ ESE	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.8 ภาระจากผนังทึบ ทิศ SE	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.9 ภาระจากผนังทึบ ทิศ SSE	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.10 ภาระจากผนังทึบ ทิศ S	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.699	3.282	4.614	6.044	7.978	9.772	11.718
2.3.11 ภาระจากผนังทึบ ทิศ SSW	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.12 ภาระจากผนังทึบ ทิศ SW	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.13 ภาระจากผนังทึบ ทิศ WSW	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.14 ภาระจากผนังทึบ ทิศ W	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1	5.646	7.248	9.705	12.011	15.375	20.242
2.3.15 ภาระจากผนังทึบ ทิศ WNW	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.16 ภาระจากผนังทึบ ทิศ NW	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.089	0.104	0.12	0.151	0.178	0.221	0.268
2.3.17 ภาระจากผนังทึบ ทิศ NNW	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.11 แสดงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นและค่าการใช้พลังงานในอาคารเดิม (ต่อ)

2.3.18	ภาระจากหลังคาทึบ	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	35.356	68.486	104.089	142.659	178.261	205.953	222.271
2.3.19	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ N	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	14.444	17.084	20.188	21.932	24.012	23.628	23.068
2.3.20	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ NNE	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.21	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ NE	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	4.539	3.858	2.935	2.478	2.506	2.345	2.263
2.3.22	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ ENE	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.23	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ E	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	71.589	63.058	47.788	35.162	34.351	32.175	30.81
2.3.24	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ ESE	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.25	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ SE	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.26	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ SSE	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.27	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ S	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	13.006	15.478	18.812	20.824	22.549	21.744	21.801
2.3.28	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ SSW	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.29	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ SW	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.30	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ WSW	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.31	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ W	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	15.577	18.195	21.204	22.957	35.622	54.809	71.416
2.3.32	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ WNW	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.33	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ NW	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	0.317	0.371	0.434	0.47	0.605	0.88	1.189
2.3.34	ภาระจากผนังโปร่งแสง ทิศ NNW	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3.35	ภาระจากหลังคาโปร่งแสง	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	2.332	3.002	3.53	3.825	3.926	3.757	3.362
2.3.36	ภาระจากอากาศรั่วไหล (Sensible)	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	9.884	13.298	15.096	13.99	15.206	15.206	12.566
2.3.37	ภาระจากอากาศรั่วไหล (Latent)	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	36.355	43.423	42.675	34.3	32.153	30.787	26.63
2.3.38	ภาระจากผู้ใช้อาคาร (Sensible)	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	25.129	43.292	47.328	50.583	18.098	46.807	53.252
2.3.39	ภาระจากผู้ใช้อาคาร (Latent)	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	25.11	41.85	41.85	41.85	4.185	37.665	41.85
2.3.40	ภาระจากอากาศอบริสุทธ์ (Sensible)	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	31.228	59.254	67.261	73.667	8.007	72.066	80.874
2.3.41	ภาระจากอากาศอบริสุทธ์ (Latent)	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	114.865	193.478	190.148	180.619	16.931	145.907	171.389
2.3.42	ภาระจากระบายอากาศ (Sensible)	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.023	0.026	0.028	0.031	0.031	0.031
2.3.43	ภาระจากระบายอากาศ (Latent)	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	0.074	0.074	0.073	0.069	0.065	0.062	0.066
2.3.44	ภาระจากไฟฟ้าแสงสว่าง	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	21.662	27.889	29.061	29.63	17.811	28.692	29.563
2.3.45	ภาระจากอุปกรณ์ไฟฟ้า	kW	-	-	-	-	-	-	-	-	50.639	66.123	70.959	74.912	50.174	77.051	80.399

ตารางที่ 4.11 แสดงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นและค่าการใช้พลังงานในอาคารเดิม (ต่อ)

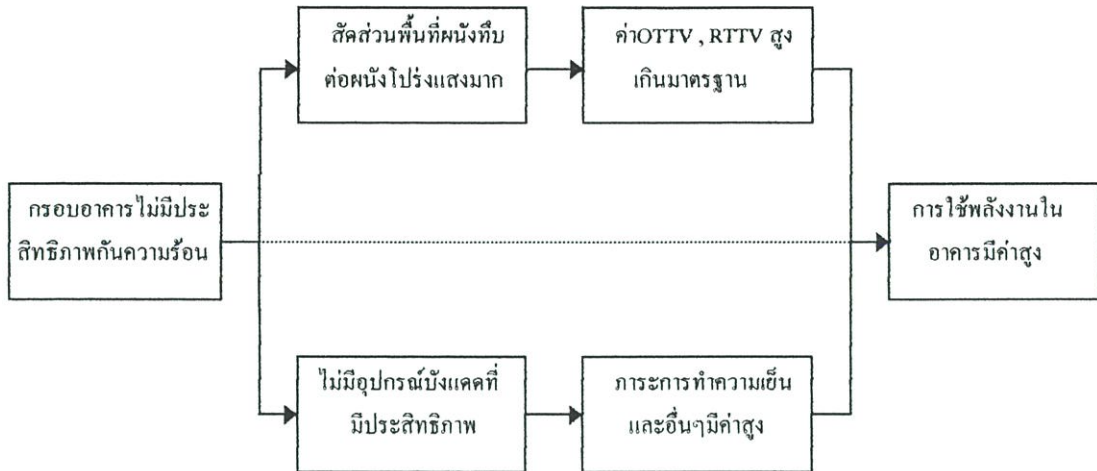
ชั่วโมงที่-16	ชั่วโมงที่-17	ชั่วโมงที่-18	ชั่วโมงที่-19	ชั่วโมงที่-20	ชั่วโมงที่-21	ชั่วโมงที่-22	ชั่วโมงที่-23	ชั่วโมงที่-24
35.1	33.9	32.3	30.9	30.2	30	29.8	29.6	29.4
50	54	61	69	73	75	76	79	79
13	13	13	9	9	11	11	7	6
381	158	11	3	-	-	-	-	-
627.494	618.439	581.646	487.405	395.947	63.281	50.633	25.324	4.678
501.012	491.957	455.157	373.531	307.37	-	-	-	-
126.482	126.482	126.489	113.873	88.577	63.281	50.633	25.324	4.678
33.48	33.48	33.48	30.132	23.436	16.74	13.392	6.696	-
0.002	0.002	0.009	0.041	0.041	0.041	0.041	0.028	0.028
93	93	93	83.7	65.1	46.5	37.2	18.6	4.65
-	-	-	-	-	-	-	-	-
78.39	86.901	94.044	95.686	89.727	-	-	-	-
155.033	140.127	81.859	63.594	50.997	-	-	-	-
463.866	448.731	374.68	327.678	278.793	-	-	-	-
755.034	732.733	657.615	530.24	434.594	-	-	-	-
210.195	215.049	219.272	189.389	157.572	-	-	-	-

ตารางที่ 4.11 แสดงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นและค่าการใช้พลังงานในอาคารเดิม (ต่อ)

731.235	709.189	623.674	528.183	442.728	-	-	-	-
233.993	238.594	253.212	191.447	149.437	-	-	-	-
965.229	947.783	876.886	719.629	592.165	-	-	-	-
274.527	269.565	249.401	204.675	168.422	-	-	-	-
33.876	34.5	37.289	45.438	55.219	-	-	-	-
[เปิด]	[เปิด]	[เปิด]	[เปิด]	[เปิด]	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด
12.102	13.351	14.234	14.228	14.067	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.488	1.465	1.403	1.341	1.248	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
24.132	22.705	21.276	19.539	17.636	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.8	13.644	13.907	13.688	12.837	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
27.524	35.307	42.704	46.306	43.349	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.343	0.429	0.52	0.583	0.591	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.11 แสดงการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นและค่าการใช้พลังงานในอาคารเดิม (ต่อ)

227.71	219.798	197.546	167.383	137.219	-	-	-	-
22.684	20.428	14.157	11.517	9.308	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.081	1.747	1.33	1.156	0.946	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
28.123	23.986	18.996	16.267	13.496	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
20.192	16.915	12.891	10.764	8.694	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
80.577	75.73	33.889	23.471	18.233	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.376	1.321	0.597	0.42	0.319	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.734	1.904	1.231	1.016	0.849	-	-	-	-
18.151	15.994	13.119	7.34	6.47	-	-	-	-
35.219	36.062	38.742	29.454	30.468	-	-	-	-
55.53	57.483	59.371	48.63	40.492	-	-	-	-
41.85	41.85	41.85	29.295	20.925	-	-	-	-
80.874	71.265	58.453	33.07	20.819	-	-	-	-
156.925	160.682	172.621	132.697	98.045	-	-	-	-
0.031	0.027	0.022	0.018	0.016	-	-	-	-
0.06	0.062	0.066	0.073	0.075	-	-	-	-
29.998	30.668	31.002	28.927	24.173	-	-	-	-
82.817	85.049	87.048	82.538	71.982	-	-	-	-



#### แผนภูมิที่ 4.1 แสดงปัญหาในการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

หากต้องการให้มีการใช้พลังงานในอาคารให้น้อยกว่าที่เป็นอยู่ ควรมีการปรับปรุงกรอบอาคารที่ใช้งานอยู่ให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร โดยแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารสามารถทำได้ โดยทำการวิเคราะห์ปัจจัยและข้อจำกัดในด้านต่างๆเพื่อสรุปเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการปรับปรุงกรอบอาคาร

#### 4.7 สรุปการวิเคราะห์ เพื่อนำไปสู่การออกแบบปรับปรุงกรอบอาคารที่เหมาะสม

จากข้อมูลทั้งหมด จะเห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร ค่าการส่งผ่านความร้อนของผนังในแต่ละด้าน ค่าภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศของอาคาร มีค่าที่สูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของผนังกระจกใสหนา 5 มม. มีค่า 5.952 วัตต์/ตร.ม.
2. ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของผนังคอนกรีต มีค่า 3.717 วัตต์/ตร.ม.
3. ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของผนังก่ออิฐฉาบปูน มีค่า 3.095 วัตต์/ตร.ม.
4. ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของผนังคานคอนกรีต มีค่า 2.967 วัตต์/ตร.ม.
5. ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของเสาคอนกรีต มีค่า 2.00 วัตต์/ตร.ม.
6. ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของหลังคาคอนกรีต มีค่า 1.94 วัตต์/ตร.ม.
7. ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของหลังคากระเบื้องใยหินมีค่า 2.267 วัตต์/ตร.ม.
8. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคารมีค่า 82.56 วัตต์ต่อตร.ม. ซึ่งเกินมาตรฐานที่กำหนดตามพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ที่กำหนดไว้สำหรับอาคารใหม่ ต้องมีค่าไม่เกิน 45 วัตต์ต่อ ตร.ม

9. ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังมีค่า 53.85วัตต์ต่อตร.ม. ซึ่งเกินมาตรฐานที่กำหนดตามพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ที่กำหนดไว้สำหรับอาคารใหม่ ต้องมีค่าไม่เกิน 25วัตต์ต่อ ตร.ม.
10. ประสิทธิภาพการบังแดดของอุปกรณ์บังแดดในอาคารไม่ดีเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากประกอบทางสถาปัตยกรรมของอาคารที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังแดด ไม่สามารถบังแดดให้กับผนังของอาคารได้ดีพอ ทั้งนี้เนื่องจากไม่ได้ออกแบบมาเพื่อเป็นอุปกรณ์บังแดดโดยตรง และรูปแบบอาคารที่มีผนังโปร่งแสงในแต่ละด้านของอาคารมีพื้นที่มาก ทำให้อาคารได้รับความร้อนจากแสงแดดโดยตรงโดยเฉพาะทิศตะวันออก ทิศใต้และทิศตะวันตก

## บทที่ 5

# แนวทางการออกแบบเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคาร

### 5.1 ข้อจำกัดในการออกแบบปรับปรุงกรอบอาคาร

ตัวอาคารสำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ มีการใช้งานปกติ สัปดาห์ละ 6 วัน การที่จะทำการปรับปรุงส่วนกรอบอาคารนั้น จึงเป็นเรื่องที่ยุ่งยากพอสมควร ดังนั้นจึงควรที่จะพิจารณาข้อจำกัดต่าง ๆ ที่อาจจะทำให้เกิดปัญหาที่รูปแบบ การใช้พื้นที่ของอาคาร รูปแบบสถาปัตยกรรมของอาคาร ก่อนที่จะทำการปรับปรุงกรอบอาคาร คือ

1. รูปแบบและลักษณะของอาคาร โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคารในแต่ละด้านนั้นควรที่จะส่งผลกระทบต่อรูปแบบและลักษณะภายนอกของอาคารให้น้อยที่สุด เพื่อรักษาแนวความคิดในการออกแบบอาคารไว้
2. ผลกระทบต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างเดิมของอาคาร ทั้งนี้การปรับปรุงอาจส่งผลกระทบต่อ การรับน้ำหนักของโครงสร้างได้ จึงต้องหาวัสดุที่เหมาะสมเพื่อที่จะนำมาปรับปรุงกรอบอาคาร
3. ผลกระทบต่อกรอบอาคารเดิม ควรคำนึงถึงโครงสร้าง ระบบ รูปแบบของกรอบอาคารเดิม เพื่อที่จะดำเนินการปรับปรุงกรอบอาคารให้สอดคล้องกับกรอบอาคารเดิม
4. ผลกระทบต่อผู้ใช้อาคาร และการใช้พื้นที่อาคาร โดยการปรับปรุงกรอบอาคารต้องส่งผลกระทบต่อผู้ใช้อาคาร และการใช้พื้นที่ให้น้อยที่สุด
5. ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงกรอบอาคาร ต้องประหยัดและคุ้มค่าในการลงทุน
6. การบำรุงรักษาและทำความสะอาดที่ง่าย ภายหลังจากติดตั้งและการใช้งาน

### 5.2 การออกแบบกรอบอาคารที่เหมาะสมและการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคาร

เพื่อให้เกิดผลที่ดีที่สุดในการประหยัดพลังงานในอาคาร การปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารจึงควรมีการพิจารณาตัวแปร หรือ ปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. ผนังอาคาร เป็นส่วนของกรอบอาคารที่ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ และจะถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยการนำความร้อนผ่านผนังอาคาร ทั้งนี้ผนังอาคารแต่ละด้านจะมีปัญหาที่ต่างกันตามช่วงเวลาในแต่ละวัน การปรับปรุงกรอบอาคารจึงเน้นการแก้ไขเฉพาะด้านของอาคาร แต่จะอยู่ในข้อจำกัดในการปรับปรุงกรอบอาคาร ดังนั้นสิ่งที่ควรนำมาพิจารณาในการเลือกใช้วัสดุที่จะนำมาประกอบในการปรับปรุงผนังอาคารคือ

- เป็นวัสดุที่มีความต้านทานความร้อนสูง เช่นการเลือกใช้ ไม้ ผนังเบา การเพิ่มช่องว่างอากาศ การบดฉนวนกันความร้อนให้ผนังภายนอกอาคาร โดยใช้วัสดุที่มีประสิทธิภาพการต้านทานความร้อนสูง เช่น โฟมชนิดต่างๆ
- การใช้ประโยชน์จากมวลของผนัง (Thermal mass) เนื่องจากมวลสารที่มากจะช่วยต้านทานความร้อนได้ดี และสามารถหน่วงความร้อนที่ร้อนจัดในช่วงบ่ายไปในช่วงเย็นหรือช่วง ไม่มีผู้ใช้อาคารอยู่ และยังสามารถคายความร้อนได้ดีในเวลากลางคืน
- การเลือกใช้โหนดสีอ่อน หรือวัสดุสะท้อนแสงกับผนังด้านนอกอาคาร ทั้งนี้เพราะสีอ่อน และวัสดุที่สะท้อนแสงที่ผิวมันเงา จะช่วยสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ได้ดี
- การลดพื้นที่รับแสงในส่วนผนังอาคาร โดยการใช้การบังแดดให้กับผนังไม่ว่าจะเป็นการทำ Facade ในส่วนผนังที่อยู่ที่สูง หรือการใช้ต้นไม้ที่มีร่มเงาเป็นตัวบังแดดให้กับอาคารในพื้นที่ส่วนล่างของอาคาร

2. หลังคา การออกแบบหลังคาต้องคำนึงถึงการป้องกันความร้อนจากแสงแดดโดยการเลือกวัสดุที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูง สะท้อนแสงแดดได้ดี ทำให้อุณหภูมิของหลังคาลดลง สามารถทำได้ดังนี้

- การใช้ฉนวนกันความร้อน สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนที่ส่งผ่านหลังคาเข้าสู่อาคารได้โดยตรง ทั้งบริเวณพื้นที่ผิวหลังคาภายนอกและภายใน
- การระบายอากาศใต้หลังคา เหมาะกับรูปแบบอาคารที่มีหลังคาเป็นลักษณะจั่วสูงหรืออาคารที่มีช่องว่างอากาศใต้หลังคา เปรียบเสมือนฉนวนกันความร้อนและเพิ่มความต้านทานความร้อนภายในช่องว่างอากาศได้
- การลดพื้นที่รับแสง โดยการใช้การบังเงาจากภายนอก เช่น การปลูกต้นไม้ให้ร่มเงา การใช้หลังคา 2 ชั้น เพื่อลดความแตกต่างของอุณหภูมิผิวหลังคาด้านนอกและด้านในอาคาร

3. ช่องเปิด ผนัง โปร่งแสง ควรเลือกใช้กระจกที่เป็นชนิดกันรังสีความร้อนได้ดี การติดฟิล์มสะท้อนรังสีความร้อน การเลือกใช้กระจก 2 ชั้น ชนิดกันความร้อน หรือการป้องกันหน้าต่าง ไม่ให้ถูกแสงแดดโดยตรง โดยการทำอุปกรณ์บังแดดให้ช่องเปิด

## 5.3 การพิจารณาแนวทางที่เหมาะสมเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคาร

### 5.3.1 แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนผนังทึบ

ผนังอาคารกรณีศึกษาทั้งหมดเป็นผนังที่มีมวลสารมาก เก็บกักความร้อนได้มาก ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสู่ตัวอาคารสูง แต่ในขณะที่เดียวกันก็มีช่วงหน่วงเวลาที่นานกว่า ทำให้ช่วยยืดระยะเวลาการส่งผ่านความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้

การปรับปรุงผนังอาคารในส่วนนี้ มีข้อจำกัดในเรื่องการรับน้ำหนักของโครงสร้างเดิม การพิจารณาวัสดุที่จะนำมาประกอบเพื่อการปรับปรุงกรอบอาคารต้องเลือกใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีคุณสมบัติที่เป็นฉนวนกันความร้อน รูปแบบการติดตั้ง สะดวกรวดเร็ว และไม่ทำให้รูปแบบภายนอกอาคารนั้นเปลี่ยนไป และกระทบต่อการใช้อาคารให้น้อยที่สุด

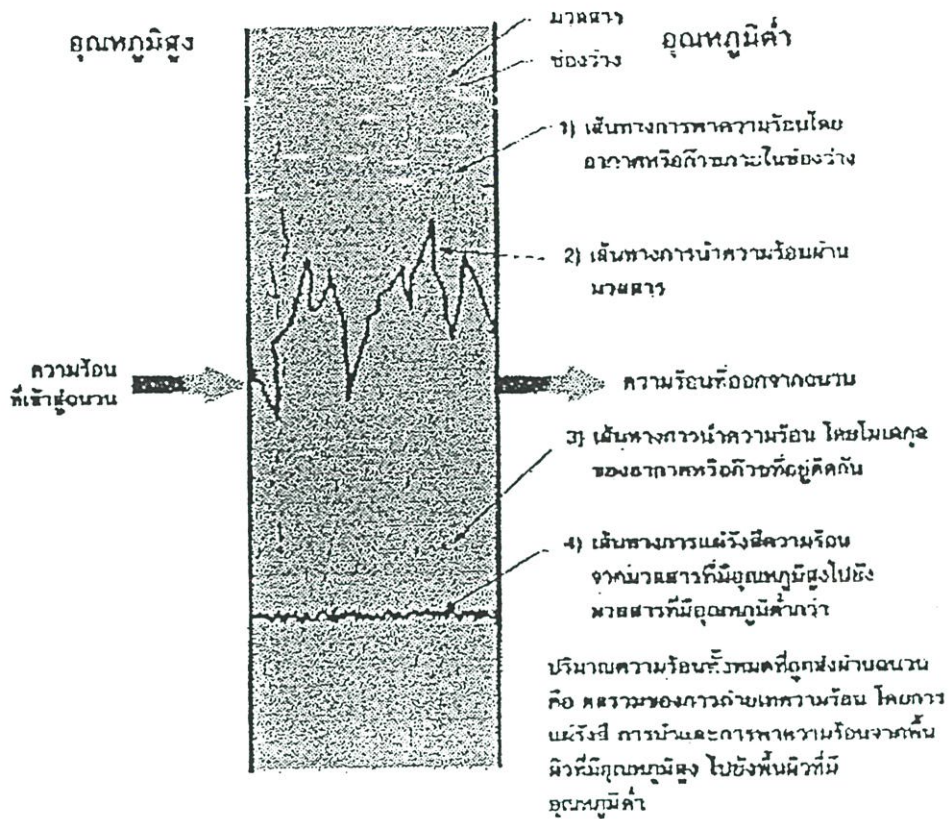
#### 5.3.1.1 การถ่ายเทความร้อนภายในฉนวนแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

- การถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนในลักษณะที่เป็นมวล

ความร้อนจะไหลจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ จากรูปประกอบที่ 5.3 ความร้อนจะถ่ายเทจากผิวด้านซ้ายไปขวา ผ่านฉนวนที่เต็มไปด้วยช่องอากาศทำให้อัตราการไหลช้าลง และทำให้เส้นทางการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนลดลงอีกด้วย

การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนให้ถูกต้อง จำเป็นต้องเข้าใจถึงกลไกที่เกิดขึ้นภายในฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภทก่อน ฉนวนกันความร้อน โดยทั่วไปเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยช่องโพรงเล็ก ๆ และช่องอากาศภายในวัสดุที่มีลักษณะเป็นแบบปิดทึบ เรียกว่า “ ฉนวนมวลสาร ”

เมื่อพิจารณากระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฉนวน ที่ค่าความหนาแน่นค่าหนึ่งสภาพการนำความร้อนปรากฏที่เกิดขึ้นจะลดลงได้ เนื่องจากการพาความร้อน โดยอากาศภายในฉนวนกันความร้อนนั้นลดลง และการลดขนาดของช่องอากาศระหว่างเซลล์ของเส้นใยอากาศภายในฉนวนกันความร้อนหุคหนึ่ง ไม่เคลื่อนที่จนมีสภาพกันฉนวนกันความร้อนเป็นอย่างดี และเมื่อความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มขึ้น การแผ่รังสีตามทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนที่ลดลง เนื่องจากผลของอุณหภูมิที่เส้นใยติดกันมีค่าใกล้เคียงกันจนกระทั่งเมื่อเส้นใยหรือเซลล์ต่อเชื่อมเป็นเนื้อเดียวกันจะเกิดการนำความร้อนขึ้นภายในวัสดุจนถึงจุดที่การแผ่รังสีมีค่าน้อยกว่า การนำความร้อนที่เพิ่มขึ้น สภาพการนำความร้อนปรากฏจะเพิ่มขึ้น



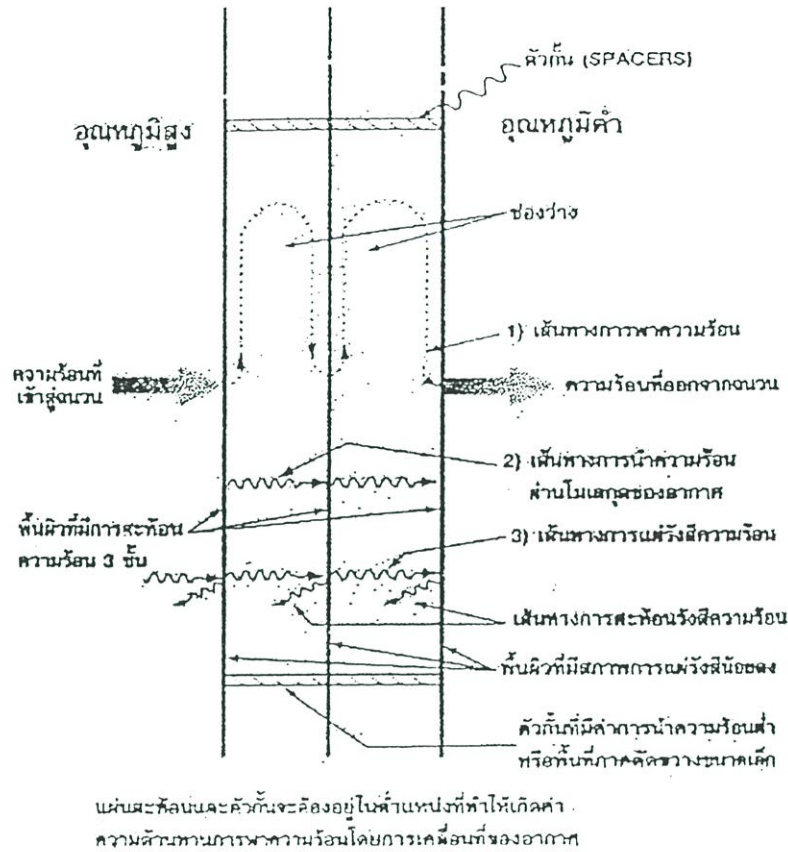
ที่มา: การใช้ฉนวน, กรมพัฒนาและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (2542)

รูปที่ 5.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนในลักษณะที่เป็นมวล

- การถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนในลักษณะที่เป็นผิวสะท้อนแสง

คือการทำให้เกิดการสะท้อนรังสีความร้อนไปมาระหว่างผิว 2 ด้าน โดยคุณสมบัติที่สำคัญของแผ่นวัสดุจะต้องมีค่าสภาพการแผ่รังสีและดูดกลืนรังสีต่ำ ส่วนช่องว่างระหว่างแผ่นกันเหล่านั้นจะต้องทำให้เกิดสภาพการนำความร้อนและการพาความร้อนน้อยที่สุด โดยการทำให้ช่องว่างนี้เป็นสุญญากาศ

การไหลของความร้อนผ่านฉนวนประเภทสะท้อนความร้อน 3 ชั้น ประกอบด้วย การถ่ายเทความร้อน 3 รูปแบบ คือ การพาความร้อนโดยการเคลื่อนที่ของอากาศ หรือ ก๊าซ ในช่องว่าง การนำความร้อนโดยผ่านโมเลกุลของอากาศ และการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวที่อุณหภูมิสูง ไปยังผิวที่ต่ำกว่า แผ่นสะท้อนและตัวกั้นนั้น ต้องอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดค่าการต้านทานการพาความร้อน โดยการเคลื่อนที่ของอากาศ



ที่มา: การใช้ฉนวน, กรมพัฒนาและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (2542)

รูปที่ 5.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนในลักษณะที่เป็นผิวสะท้อนแสง

### 5.3.1.2 การจัดประเภทของฉนวน

- ฉนวนแบบแผ่นแข็งได้แก่ โพลีสไตรีนโฟม โพลียูรีเทนโฟม โพลีไอโซไซยาเรตและเพอไลต์ สามารถใช้ได้กับทุกส่วนของอาคาร
- ฉนวนใยแร่ ผลิตจากหิน เศษโลหะ หรือแก้ว ผลิตภัณฑ์ที่ประดิษฐ์จากเศษโลหะ บางครั้งเรียกว่า Rock Wool หรือ Mineral Wool ลักษณะเป็นแผ่นแข็ง กึ่งแผ่นแข็ง แบบคลุมหรือเส้นใยอัดเป็นแผ่นๆ
- ฉนวนลูตไฟลด์ ได้แก่ โพรริง เวอร์มิคูไลต์ เซลลูโลสอิก ไฟเบอร์
- ฉนวนโฟมฉีดในที่ ใช้สำหรับฉีดพ่นสถานที่ที่ต้องการใช้งาน ได้แก่ โพลีไอโซไซยาเรต
- กระจกฉนวนกันความร้อน เป็นกระจก 2 ชั้น ถูกคั่นโดยอากาศแห้งระหว่างกระจกซึ่งทำหน้าที่ป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากด้านใดด้านหนึ่งของกระจก

### 5.3.1.3 การพิจารณาเลือกใช้ฉนวนและมวลสาร

ในการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทางหนึ่ง คือการใช้วัสดุที่สามารถกั้นความร้อน นั่นคือ มีค่าความต้านทานความร้อนสูง โดยพิจารณาดังนี้

#### 1. รูปแบบทางกายภาพ

รูปแบบของฉนวนในปัจจุบันมีอยู่หลายแบบ เช่นแบบคลุม แบบแผ่น แบบพ่น แบบฉีด การเลือกใช้ต้องคำนึงถึงการใช้งาน ตำแหน่งที่ติดตั้ง ค่าใช้จ่าย ความแข็งแรงคงทนของฉนวน

#### 2. ความหนาแน่นและความจุความร้อน

ฉนวนที่ดีต้องมีความหนาแน่น และมีค่าความจุความร้อนที่เหมาะสมเพียงค่าเดียว ฉนวนแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่ต่างกันไปตามเทคนิคของผู้ผลิต

#### 3. อุณหภูมิการใช้งานที่เหมาะสม

เนื่องจากฉนวนแต่ละชนิดมีข้อจำกัดด้านอุณหภูมิการใช้งานที่ต่างกัน การแบ่งระดับการใช้งานของฉนวนในการใช้งาน แบ่งได้ดังนี้

- อุณหภูมิตั้งแต่ -270 ถึง 100 องศาเซลเซียส ได้แก่ กลาสโฟม เซลลูโลสโฟม
- อุณหภูมิตั้งแต่ 100 ถึง 500 องศาเซลเซียส ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกตกลาสโฟม โยแร่พอยล์ เป็นต้น

#### 4. การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน

การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนอาจทำให้ประสิทธิภาพการกั้นความร้อนเปลี่ยนแปลงไป จึงต้องเลือกใช้ฉนวนที่มีช่วงการใช้งานในอุณหภูมิเหมาะสม

#### 5. ความสามารถในการต้านทานความร้อน

ฉนวนที่สามารถกั้นความร้อนที่ดี คือ โฟม โพลียูรีเทน และ โฟม โพลีสไตรีน

#### 6. ความสามารถในการต้านทานความชื้น

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากในประเทศเขตร้อนชื้น โดยเฉพาะอาคารที่ปรับอากาศ การกั้นความชื้นจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก วัสดุที่กั้นความชื้นในปัจจุบันได้แก่ แผ่นออลูมิเนียม พอยล์ แผ่นโพลีเอทีลิน แผ่นพีวีซี

#### 7. การต้านทานต่อแรงอัด

ความแข็งแรงทนทาน และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยเฉพาะในส่วนที่ต้องการแรงอัดสูง เช่น ฉนวนพื้น ขอบประตู หน้าต่าง ฉนวนท่ออุปกรณ์อาคาร ฉนวนที่ใช้เช่น โฟม และ โพลีเมอร์

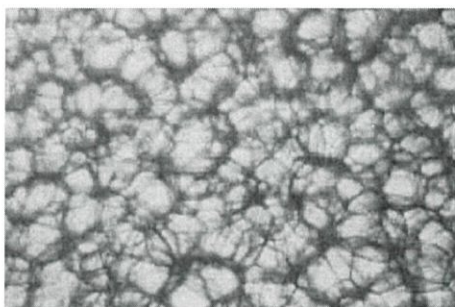
#### 8. ความแข็งแรงทางกล

คือความสามารถของฉนวนในการทนทานต่อแรงต่าง ๆ หลายรูปแบบคือ

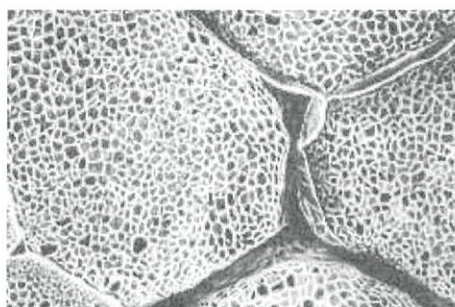
- การรับน้ำหนัก และแรงอัด
- ความต้านทานต่อแรงดึงและแรงเฉือน
- ทนต่อการกระแทก และการสั่นสะเทือน

- ทนต่อการบิดงอได้

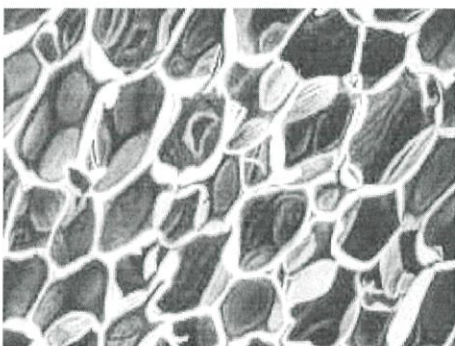
ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวขึ้นกับองค์ประกอบ ความหนาแน่น ขนาดของเซลล์ ขนาดและการจัดเรียงตัวของเส้นใยของฉนวน ชนิดและปริมาณของตัวประสาน อุณหภูมิและสภาพแวดล้อมในการใช้งาน เป็นต้น



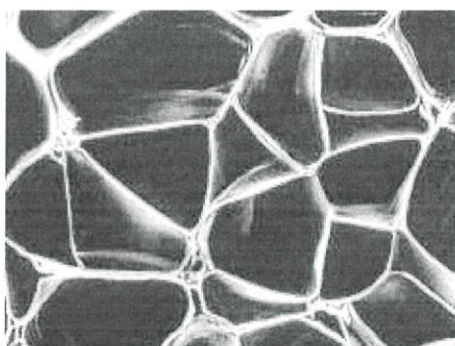
ฉนวนโฟมโพลีเอธิลีน ชนิด Low Density  
Polyethylene foam ชนิดเซลล์ปิด



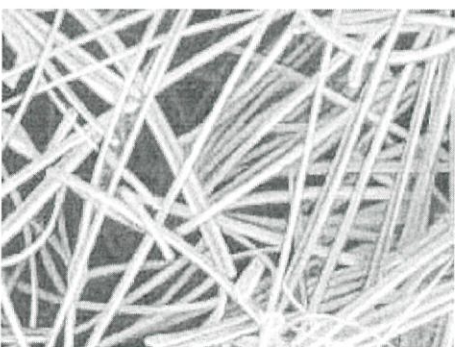
ฉนวนโฟมโพลีสไตรีน (Polystyrene) ชนิดเซลล์ปิด



ฉนวนโฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane)  
ชนิดเซลล์ปิด



ฉนวนโฟมยาง(Elastomeric Rubber Foam)  
ชนิดเซลล์ปิด



ฉนวนใยแก้ว(Fiber Glass) ชนิดเซลล์เปิด

ที่มา: การใช้ฉนวน , กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์

รูปที่5.3 แสดงภาพขยายโครงสร้างเซลล์ของฉนวนกันความร้อน

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุฉนวนชนิดต่างๆ

	Comparison Table For Insulation Product									
	Polyethylene Foam MIC-Cell	Polyethylene Foam Others	Phenolic Foam	Polyurethane Foam	Polystyrene Foam (Extruded)	Polystyrene Foam (Expanded)	Glass Foam	Glass wool (Fiberglass)	Rock wool	Synthetic Rubber
Cell Structure	Closed	Closed	Closed	Open	Closed	Closed	Closed	Fibrous	Fibrous	Closed
Temperature Range in Degree Celcius	+85	+85	+120	+130	+70	+70	+430	+500	+850	+105
Thermal Conductivity (λ)	-80	-80	-180	-30	-20	-20	-260	-	-	-75
Water Vapour Diff. Res.	0.027	0.040	0.020	0.028	0.035	0.040	0.050	0.030- 0.040	0.030- 0.040	0.037
Density (Kg/m <sup>3</sup> )	3500	2500	500	50	150	40	500	1	1.5	2000
Vapour Barrier Required	33/50	35	40	40	15/40	15/40	125	10/110	40/135	40/60
Anti-Static	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No
Durability	Yes	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Flexibility	High	High	Medium	Low	Low	Low	Medium	Low	Low	Medium
Flammability	Self Extinguish	Low	Low	Low	High	High	Not	Low	Low	Medium
Toxic in Fire	Not	Not	High	High	High	High	Not	High	High	High
Price	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Medium
Installation	Low	Low	High	Medium	Medium	Medium	High	Medium	Medium	Low

ที่มา: [WWW.miccell.co.th / cgisect / productcompare1.htm](http://WWW.miccell.co.th / cgisect / productcompare1.htm)

### 5.3.1.4 คุณสมบัติเฉพาะของฉนวนกันความร้อน/ความเย็นแบบมีมวล

วัสดุฉนวนป้องกันความร้อน/ความเย็นที่ใช้สำหรับ ผนัง พื้นผิว และ ฝ้าเพดาน

คุณสมบัติเฉพาะ

5.3.1.4.1 ฉนวนกันความร้อนแบบฉนวนใยแก้ว (Glass Wool) สำหรับใช้ทำฉนวนฝ้าเพดาน และ พื้นผิว เช่น ฝ้าหลังคาหรือฝ้าเพดาน ให้ใช้ฉนวนที่มีคุณสมบัติดังนี้

1. ได้มาตรฐานตามมาตรฐาน มอก. 486, มอก. 487, มอก. 488 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

2. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity : k) ไม่เกินที่กำหนดตามตารางด้านล่างนี้ เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 487 หรือ มอก. 488 หรือ ASTM C553, C592, C665, C892 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

ตารางค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity : k) ของฉนวนใยแก้ว

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวดังกล่าว	20 °C	40 °C	60 °C	80 °C	100 °C
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity : k)	0.044W/m	0.048W/m	0.053W/m	0.059W/m	0.064W/m
	K	K	K	K	K

3. การดูดซับความชื้นของเนื้อฉนวน (Water Vapor Absorption) ต่ำกว่า 5 % โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 1104/C , 1104M หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

4. วัสดุฉนวนจะต้องเป็นวัสดุไม่ลามไฟ ( Non-Combustible) เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E84 , BS-476 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

5. ความหนาแน่นของฉนวนใยแก้ว

- ชนิดฝ้าเพดาน ให้มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 64 กก. ต่อ ลบ.ม. และ มีความหนาไม่น้อยกว่า 50 มม.
- ชนิดแผ่นสำหรับพื้นผิว ให้มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 32 กก. ต่อ ลบ.ม.
- ชนิดแผ่นฝ้าเพดาน หรือ ฝ้าหลังคา ให้มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 24 กก. ต่อ ลบ.ม. และ ปิดผิวทั้ง 2 ด้านด้วยแผ่นป้องกันความชื้นและไอน้ำประเภทอะลูมิเนียมพอยล์ที่มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำและความชื้นไม่เกิน 0.1 PER M
- ชนิดแผ่นฝ้าเพดาน ให้มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 12 กก. ต่อ ลบ.ม. และ ปิดผิวทั้ง 2 ด้านด้วยแผ่นป้องกันความชื้นและไอน้ำประเภทอะลูมิเนียม พอยล์ที่มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำและความชื้นไม่เกิน 0.1 PERM

6. มีเอกสารข้อแนะนำในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย

7. มีการรับประกันอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 5 ปี

#### 5.3.1.4.2 ฉนวนกันความร้อนแบบโฟมโพลียูรีเทน ( Polyurethane Foam )

สำหรับใช้ติดตั้งใต้หลังคาหรือภายนอกอาคาร โดยฉนวนชนิดนี้จะมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ( Thermal Conductivity : k ) ไม่เกิน 0.023 W/mK ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24 °C เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 591 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
2. มีค่าการดูดซับความชื้นของเนื้อฉนวนต่ำกว่า 5 % โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C 1140 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
3. เป็นชนิดไม่ติดไฟ, ไม่ลามไฟ, ไม่หยดเมื่อติดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM E 84, BS 476 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
4. สามารถใช้งานได้ ในอุณหภูมิถึง 90 °C
5. ทนต่อกรด และ ด่าง
6. มีค่าความหนาแน่นตามแต่การใช้งาน แต่ไม่เกิน 50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
7. มีความหนาของฉนวน โดยทั่วไปควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 25 มม.
8. มีเอกสารข้อมแนะนำในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย
9. มีการรับประกันอายุการใช้งาน ไม่น้อยกว่า 5 ปี

#### 5.3.1.4.3 ฉนวนโฟมโพลีเอทิลีนกันความร้อน ( Polyethylene Foam )

สำหรับติดตั้งบนแผ่นฝ้าเพดาน หรือ ติดใต้หลังคาแผ่นโลหะ โดยฉนวนต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. เป็นฉนวนชนิดเซลล์ปิด ( Closed Cell Polyethylene Foam : P.E. )
2. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ( Thermal Conductivity : k ) ไม่เกิน 0.042 W/mK ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24 °C เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 1384
3. มีอัตราการดูดซับความชื้นของเนื้อฉนวนต่ำกว่า 5 % โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C 1140 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
4. ไม่ลามไฟ ไม่ติดไฟ และ ปราศจากสารซีเอฟซี (CFCs) ตามมาตรฐาน ASTM E 84 , BS 476 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
5. ทนอุณหภูมิใช้งานได้ระหว่าง -25 °C ถึง 85 °C
6. ทนต่อสารเคมี กรด และ ด่าง
7. มีความยืดหยุ่นตัวได้ดี ไม่ฉีกขาดง่าย
8. มีค่าความหนาแน่นตามแต่การใช้งาน แต่ไม่เกิน 50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
9. มีความหนาของฉนวน โดยทั่วไปควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 5 มิลลิเมตร
10. มีเอกสารข้อมแนะนำในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย
11. มีการรับประกันอายุการใช้งาน ไม่น้อยกว่า 5 ปีหมายเหตุ ในอนาคต จะมีการเพิ่มข้อกำหนด การผ่านการรับรองตาม มอก. 1384

#### 5.3.1.4.4 ฉนวนป้องกันความร้อนแบบเยื่อไม้หรือเยื่อกระดาษ (Cellulose Fiber)

สำหรับติดตั้งใต้หลังคา ผนัง หรือ เหนือเพดาน โดยฉนวนต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนไม่เกิน 0.045 W/mK ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24 °C เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C177, C739 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
2. มีค่าการดูดซึ่มความชื้นของเนื้อฉนวนไม่เกิน 5 % โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C 1140 , E 1149 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
3. ไม่ติดไฟ ไม่ลามไฟ ตามมาตรฐาน ASTM E 84, BS 476 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
4. ทนต่ออุณหภูมิการใช้งานได้ถึง 85 °C
5. ไม่ขึ้นรา ไม่กักร้อนต่อโลหะ
6. มีความหนาแน่น ไม่เกิน 52 กก.ต่อ ลบ.ม.
7. มีความหนาของฉนวน ซึ่งโดยทั่วไปใช้ไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร
8. มีเอกสารขออนุญาตแนะนำในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย
9. มีการรับประกันอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 5 ปี

#### 5.3.1.4.5 ฉนวนเซลล์ปิดชนิดยืดหยุ่นสูง (Closed Cell Elastomeric Thermal Insulation)

ฉนวนในระบบความเย็น สำหรับใช้หุ้มท่อ หรือ พื้นผิวต่าง ๆ โดยฉนวนต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. เป็นฉนวนเซลล์ปิด มีโครงสร้างเป็นเซลล์อิสระที่ผนังไม่ทะลุถึงกัน ชนิดที่ไม่เป็นเทอร์โมพลาสติก ไม่หลอมเหลวเมื่อถูกความร้อน ภายในบรรจุด้วยก๊าซแห้งชนิดไนโตรเจน และ คาร์บอน ไดออกไซด์ ไม่มีสารซีเอฟซี (CFCs) หรือ ก๊าซคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (CFCs) หรือ ก๊าซคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน อื่น ๆ
2. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนไม่เกินที่กำหนดตามตารางด้านล่างนี้ เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C177, DIN 52613 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

ตารางค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity : k) ของฉนวนเซลล์ปิดชนิดยืดหยุ่นสูง

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวดังกล่าว	-20 °C	0 °C	24 °C	32 °C	40 °C
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity : k)	0.034W/m	0.035W/m	0.038W/m	0.039W/m	0.040W/m
	K	K	K	K	K

3. มีค่าการดูดซึ่มน้ำ (Water Absorption) ของเนื้อฉนวนไม่เกิน 5% โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM D 1056 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
4. มีค่าการแทรกซึมความชื้นต่ำกว่า 0.15 PERM-INCH ตามมาตรฐาน ASTM E 96 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
5. ไม่ลามไฟ ดับไฟด้วยตนเอง ไม่เกิดหยดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM E 84, ASTM D 635, BS 476, DIN 4102, EMPA, UL 94 V-0 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

6. มีความหนาแน่น โดยทั่วไปใช้ค่า 50 - 100 กก.ต่อ ลบ.ม. เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 534 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
7. มีปริมาณไนโตรซามีน ไม่เกิน 10 ppb ตามมาตรฐาน US.FDA. หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
8. มีเอกสารขออนุญาตในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย
9. มีการรับประกันอายุการใช้งาน ไม่น้อยกว่า 5 ปี

จากการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติของวัสดุฉนวนและพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพต่างๆ สามารถที่จะสรุปเป็นแนวทางในการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนผนังที่บคือ การติดตั้งฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังภายนอกอาคาร เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด ทั้งนี้เป็นการเพิ่มคุณสมบัติด้านการป้องกันความร้อน การเพิ่มค่าความต้านทานความร้อน ค่าความจุความร้อนและลดค่า ส.ป.ส.การถ่ายเทความร้อนของผนังอาคาร โดยวัสดุฉนวนที่เลือกเอามาใช้ในการปรับปรุงผนังคือ

**1. โพลีสไตรีนโฟม ชนิดเซลล์ปิด(Polystyrene Foam :Closed Cells)**

ฉนวนโพลีสไตรีน หรือโฟมขาว มีรูปแบบการผลิต 2 รูปแบบ คือ โฟมอัดรีด(Extruded) และแบบโฟมหล่อ(Molded) โฟมที่ผลิตด้วยการอัดรีดจะมีความหนาแน่น จะมีความหนาแน่นมากกว่า มีรูปร่างที่คงที่และทนต่อแรงกดและแรงดึงที่มากกว่า โฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการหล่อแบบ โฟมชนิดนี้เป็นสารที่ลุกไหม้ไฟได้ ควรมีเปลือกหุ้มเพื่อต้านทานเปลวไฟในการใช้งาน และช่วยป้องกันรังสี อุลตราไวโอเลตโดยตรงด้วย เพราะรังสีจะทำให้เนื้อโฟมเปลี่ยนสี ทำให้คุณสมบัติการต้านทานความร้อนเปลี่ยนไป

**2. โพลียูรีเทนโฟม ชนิดเซลล์ปิด(Polyurethane Foam : Closed Cells)**

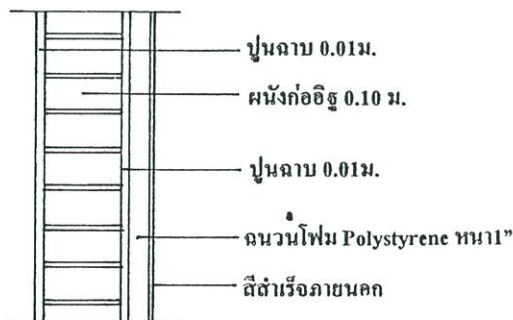
เรียกอีกอย่างว่า ฉนวนโพลีไอโซไซยานูเรต คือโฟมวัสดุฟลูออโรคาร์บอนที่พ่นให้เป็นรูปโฟม โดยที่จะทำให้โครงสร้างแข็งโดยการบ่ม โดยมีทั้งการหล่อเป็นรูปแบบแผ่น หรือแบบฉีดพ่นในชิ้นงาน มีสภาพการนำความร้อนต่ำ การดูดซึมน้ำต่ำต้านทานการเคียบโตของเชื้อรา แบคทีเรีย ไม่มีพิษ แต่จะมีควันมากเมื่อถูกเผาไหม้ และเกิดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เป็นพิษ การใช้งานต้องห่อหุ้มด้วยวัสดุที่หน่วงไฟ นิยมใช้ในการเป็นฉนวนหลังคา ผนัง

การออกแบบปรับปรุงผนังในส่วนผนังที่บ โดยการเลือกใช้ฉนวนทั้ง 2 ชนิด นำมาประกอบเป็นผนังสำเร็จเพื่อติดตั้งภายนอกอาคาร โดยมีรายละเอียดดังนี้

**แนวทางที่1 ติดตั้งฉนวนภายนอกอาคารฉนวนโฟมโพลีสไตรีน(Polystyrene) ชนิดเซลล์ปิด**

ระบบผนังภายนอกกันความร้อนพร้อมสำเร็จ กับผนังก่ออิฐฉาบปูนเดิม โดยกำหนดความหนาของโฟมโพลีสไตรีนที่ความหนา 1 นิ้ว

$R_0$ ฟิล์มอากาศภายนอก	= 0.044
$R_2$ โฟมหนา 1 นิ้ว	= 0.714
$R_3$ ปูนฉาบ	= 0.018
$R_4$ ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา4นิ้ว	= 0.123
$R_5$ ปูนฉาบ	= 0.018
$R_6$ ฟิล์มอากาศภายใน	= 0.120
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	= 0.964 W/m <sup>2</sup> C.



### แนวทางที่ 2 ติดตั้งฉนวนภายนอกอาคารฉนวนโพลีสไตรีน (Polystyrene) ชนิดเซลล์ปิด

ระบบผนังภายนอกกันความร้อนพร้อมสำเร็จ กับผนังก่ออิฐฉาบปูนเดิม โดยกำหนด ความหนาของ โฟม โพลีสไตรีน ที่ความหนา 2 นิ้ว

$$R_0 \text{ ฟิล์มอากาศภายนอก} = 0.044$$

$$R_2 \text{ โฟมหนา 2 นิ้ว} = 1.429$$

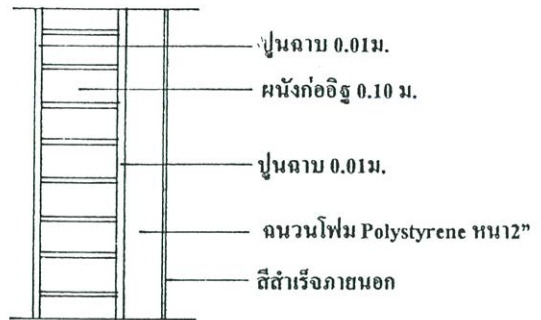
$$R_4 \text{ ปูนฉาบ} = 0.018$$

$$R_3 \text{ ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว} = 0.123$$

$$R_4 \text{ ปูนฉาบ} = 0.018$$

$$R_0 \text{ ฟิล์มอากาศภายใน} = 0.120$$

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.57 W/m}^2 \text{ C.}$$



### แนวทางที่ 3 ติดตั้งฉนวนภายนอกอาคารฉนวนโพลีสไตรีน (Polystyrene) ชนิดเซลล์ปิด

ระบบผนังภายนอกกันความร้อนพร้อมสำเร็จ กับผนังก่ออิฐฉาบปูนเดิม โดยกำหนด ความหนาของ โฟม โพลีสไตรีน ที่ความหนา 3 นิ้ว

$$R_0 \text{ ฟิล์มอากาศภายนอก} = 0.044$$

$$R_2 \text{ โฟมหนา 3 นิ้ว} = 2.143$$

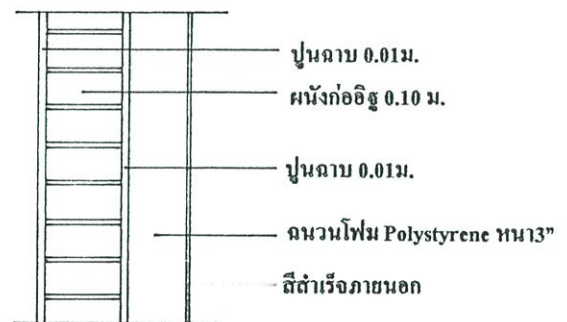
$$R_4 \text{ ปูนฉาบ} = 0.018$$

$$R_3 \text{ ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว} = 0.123$$

$$R_4 \text{ ปูนฉาบ} = 0.018$$

$$R_0 \text{ ฟิล์มอากาศภายใน} = 0.120$$

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.405 W/m}^2 \text{ C.}$$



### แนวทางที่ 4 ติดตั้งฉนวนภายนอกอาคารฉนวนโพลียูรีเทน (Polyurethane) ชนิดเซลล์ปิด

ระบบผนังภายนอกกันความร้อนพร้อมสำเร็จ กับผนังก่ออิฐฉาบปูนเดิม โดยกำหนด ความหนาของ โฟม โพลียูรีเทน ที่ความหนา 1 นิ้ว

$$R_0 \text{ ฟิล์มอากาศภายนอก} = 0.044$$

$$R_2 \text{ โฟมหนา 1 นิ้ว} = 1.042$$

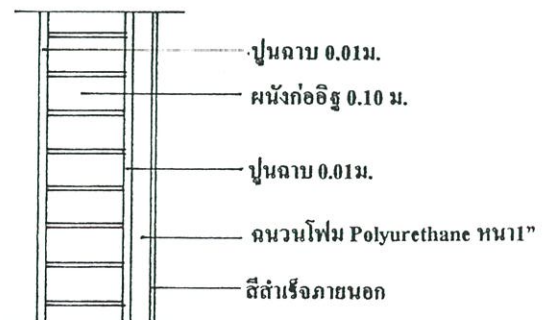
$$R_4 \text{ ปูนฉาบ} = 0.018$$

$$R_3 \text{ ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว} = 0.123$$

$$R_4 \text{ ปูนฉาบ} = 0.018$$

$$R_0 \text{ ฟิล์มอากาศภายใน} = 0.120$$

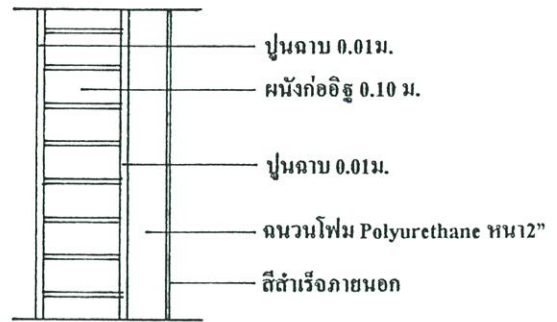
$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.732 W/m}^2 \text{ C.}$$



### แนวทางที่ 5 ติดตั้งฉนวนภายนอกอาคารฉนวนโพลียูรีเทน (Polyurethane) ชนิดเซลล์ปิด

ระบบผนังภายนอกกันความร้อนพร้อมสีสำเร็จ กับผนังก่ออิฐฉาบปูนเดิม โดยกำหนด ความหนาของ โพลียูรีเทนที่ความหนา 2 นิ้ว

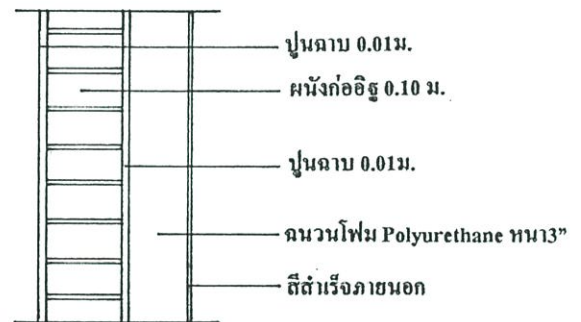
$R_u$ ฟิล์มอากาศภายนอก	= 0.044
$R_2$ โฟมหนา 2 นิ้ว	= 2.083
$R_4$ ปูนฉาบ	= 0.018
$R_3$ ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	= 0.123
$R_4$ ปูนฉาบ	= 0.018
$R_u$ ฟิล์มอากาศภายใน	= 0.120
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	= 0.415 W/m <sup>2</sup> C.



### แนวทางที่ 6 ติดตั้งฉนวนภายนอกอาคารฉนวนโพลียูรีเทน (Polyurethane) ชนิดเซลล์ปิด

ระบบผนังภายนอกกันความร้อนพร้อมสีสำเร็จ กับผนังก่ออิฐฉาบปูนเดิม โดยกำหนด ความหนาของ โพลียูรีเทนที่ความหนา 3 นิ้ว

$R_u$ ฟิล์มอากาศภายนอก	= 0.044
$R_2$ โฟมหนา 3 นิ้ว	= 3.125
$R_4$ ปูนฉาบ	= 0.018
$R_3$ ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	= 0.123
$R_4$ ปูนฉาบ	= 0.018
$R_u$ ฟิล์มอากาศภายใน	= 0.120
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	= 0.29 W/m <sup>2</sup> C.



เนื่องจากผนังทึบในอาคารกรณีศึกษา ประกอบด้วยผนังรูปแบบอื่น อีก 2 รูปแบบคือ ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก และส่วนที่เป็นโครงสร้างคือ เสาและคานคอนกรีตเสริมเหล็ก การเลือกใช้ ฉนวนกันความร้อนเพื่อติดตั้งให้กับผนังทั้ง 2 รูปแบบมีกรรมวิธีเหมือนกับกับการติดตั้งให้กับผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบ จากการติดตั้งฉนวนกันความร้อนนั้น ทำให้ค่าความต้านทานความร้อนและค่า ส.ป.ส. การถ่ายเทความร้อนของผนังทั้ง 2 เปลี่ยนไป ดังนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานและค่า ส.ป.ส. การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบ

ชนิดผนัง	คานคอนกรีต		ผนังคอนกรีต		ผนังก่ออิฐฉาบปูน	
	ความต้านทานรวม	U-Value	ความต้านทานรวม	U-Value	ความต้านทานรวม	U-Value
อาคารเดิม	0.337	2.967	0.269	3.717	0.323	3.095
ผนังแบบที่1	1.23	0.813	1.162	0.86	1.26	0.793
ผนังแบบที่2	1.945	0.514	1.877	0.532	1.887	0.529
ผนังแบบที่3	2.659	0.376	2.591	0.385	2.645	0.378
ผนังแบบที่4	1.602	0.624	1.49	0.671	1.544	0.647
ผนังแบบที่5	2.599	0.384	2.531	0.395	2.329	0.38
ผนังแบบที่6	3.641	0.274	3.573	0.279	3.627	0.275

หมายเหตุ : ค่าความต้านทานรวม หน่วย  $W/m^2.K$

ค่า ส.ป.ส. การถ่ายเทความร้อน หน่วย  $W/m^2.C$

จากแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารทั้ง 6 แนวทาง เมื่อนำมาหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) โดยเฉพาะในส่วนของผนังทึบ จะได้ค่าดังนี้

แนวทางที่1 ค่าOTTV มีค่า =  $65.10 W/m^2$ . RTTV =  $53.85 W/m^2$ .

แนวทางที่2 ค่าOTTV มีค่า =  $62.50 W/m^2$ . RTTV =  $53.85 W/m^2$ .

แนวทางที่3 ค่าOTTV มีค่า =  $61.21 W/m^2$ . RTTV =  $53.85 W/m^2$ .

แนวทางที่4 ค่าOTTV มีค่า =  $59.71 W/m^2$ . RTTV =  $53.85 W/m^2$ .

แนวทางที่5 ค่าOTTV มีค่า =  $57.26 W/m^2$ . RTTV =  $53.85 W/m^2$ .

แนวทางที่6 ค่าOTTV มีค่า =  $56.45 W/m^2$ . RTTV =  $53.85 W/m^2$ .

จากรายการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร สามารถแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าถ่ายเทความร้อนรวมที่คำนวณได้ ค่าภาระจากระบบปรับอากาศ ภาระจากกรอบอาคารและการใช้พลังงานในอาคารได้ตามตารางต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 5.3 แสดงค่า OTTV หน้าอาคารเมื่อทำการติดตั้งฉนวนภายนอกเฉพาะในส่วนผนังทึบ

ลักษณะการติดตั้ง	ชนิดของฉนวนที่ทำการติดตั้ง	ค่า OTTV(W/sq.m.)		ลำดับ
		มากกว่า45	น้อยกว่า45	
ผนังอาคารเดิม	ผนังภายนอกอาคาร	82.56		
ติดตั้งฉนวนกันความร้อน ภายนอกอาคาร	โพลีโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 1 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	65.1		6
	โพลีโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 2 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	62.50		5
	โพลีโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 3 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	61.21		4
	โพลีโพลียูรีเทน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 1 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	59.71		3
	โพลีโพลียูรีเทน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 2 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	57.26		2
	โพลีโพลียูรีเทน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 3 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	56.45		1

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าภาระของอาคารในส่วนต่างๆจากการติดตั้งฉนวนภายนอก

รูปแบบ	ภาระทั้งหมดของระบบปรับ		การใช้พลังงานในระบบปรับ อากาศ(Kw.h.)	ค่าOTTVที่ลดลง(%)
	อากาศ (Kw.h.)	ส่วนผนังทึบ(Kw.h.)		
อาคารเดิม	4,073	785	4,776	--
1	3,587	299	4,524	21.14
2	3,508	220	4,483	24.29
3	3,469	180	4,463	25.85
4	3,461	172	4,458	27.67
5	3,387	99	4,420	30.64
6	3,362	74	4,407	31.62

ตารางที่ 5.5 แสดงค่า OTTV เฉพาะในส่วนของผนังทึบในแต่ละด้านจากการติดตั้งฉนวนภายนอก

รูปแบบ	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียง เหนือ
อาคารเดิม	39.61	36.94	44.85	42.35	43.90	36.77
1	17.56	17.22	16.10	17.93	15.37	20.57
2	13.96	13.46	12.08	14.30	11.18	17.49
3	12.16	11.58	10.07	12.49	9.09	15.94
4	8.48	8.40	8.60	8.54	8.57	8.4
5	4.85	4.80	4.92	4.88	4.90	4.80
6	3.64	3.60	3.69	3.66	3.67	3.60

หน่วย: วัตต์/ตร.ม.

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังทึบในแต่ละด้านจากการติดตั้งฉนวนภายนอก

รูปแบบ	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียง เหนือ
อาคารเดิม	11,002.70	849.60	14,451.01	11,602.85	17,408.04	257.4
1	4,878.60	396	5,186.50	4,913	6,092.98	144
2	3,877.56	309.6	3,890.94	3,919.56	4,433.82	122.40
3	3,377.04	266.4	3,243.16	3,422.84	3,604.24	111.60
4	2,356.62	193.20	2,772.07	2,340.80	3,399.97	58.80
5	1,346.64	110.40	1,584.04	1,337.60	1,942.84	33.60
6	1,009.98	82.80	1,188.03	1,003.20	1,457.13	25.20

หน่วย: วัตต์

จากการที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) ที่ลดลงนั้น สามารถที่จะลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้โดยสามารถยกตัวอย่างการคำนวณการหาการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศที่ลดลงได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ค่า OTTV ที่ลดลง(จากรูปแบบที่1)} &= 17.46 \text{ W/m}^2. \\
 \text{พื้นที่ผนังอาคารภายนอกทั้งหมด} &= 1,300.52 \text{ m}^2. \\
 \text{พื้นที่ผนัง โปร่งแสง} &= 645.30 \text{ m}^2. \\
 \text{วัตต์ความร้อนที่ลดลง} &= 17.46 \times 1,300.52 \text{ W. หรือ} \\
 &= 22.70 \text{ Kw. หรือ} \\
 &= 22.70 \times 3,414 \text{ Btu / hr.}
 \end{aligned}$$

$$= 77,497.80 \text{ Btu / hr. หรือ}$$

$$= 6.458 \text{ ton / hr.}$$

ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศสำหรับหอดูดาวมีค่าเฉลี่ย 1.728 kW./ton

$$= 6.458 \times 1.728 \text{ kW.}$$

$$= 11.159 \text{ kW./hr.}$$

การเปิดใช้งานระบบปรับอากาศโดยปกติวันละ 9 ชม. 250 วันต่อปี

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้

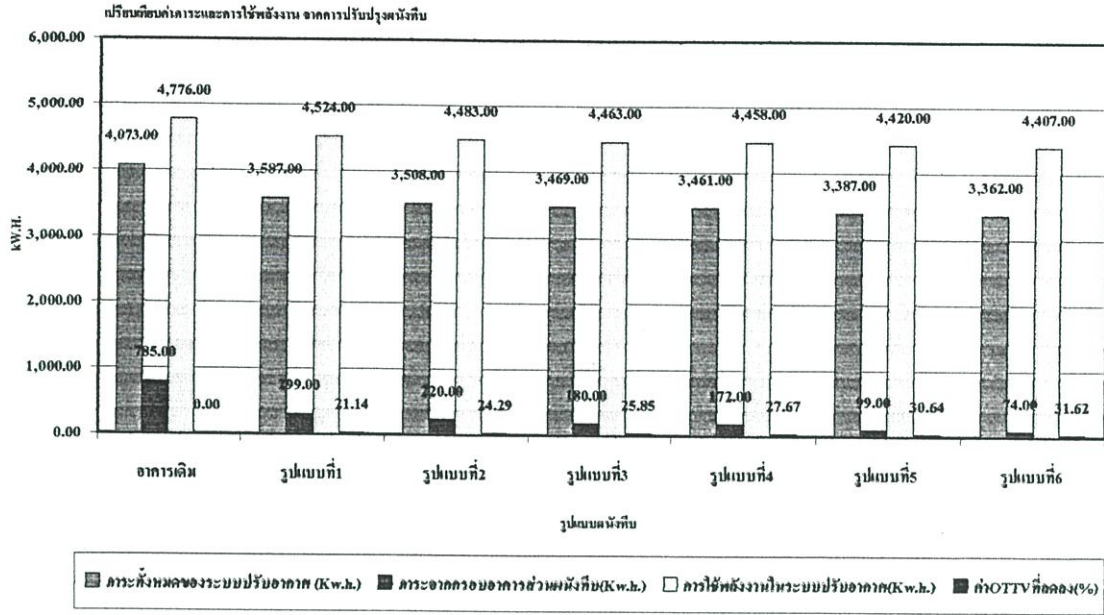
$$= 11.159 \times 9 \times 250$$

$$= 25,107.75 \text{ kW./ปี}$$

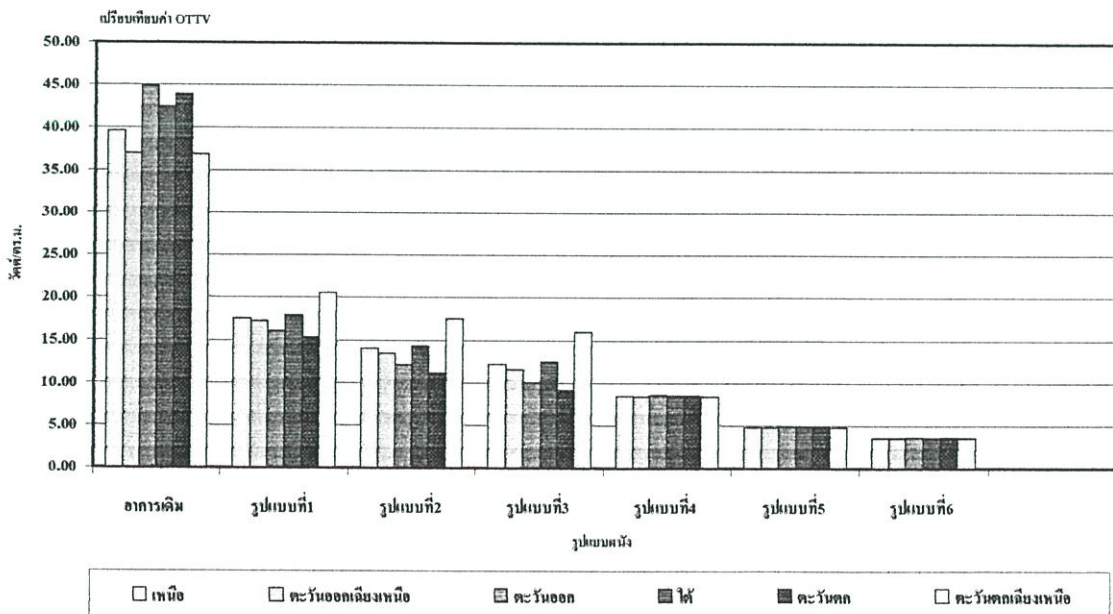
และเมื่อนำค่าที่คำนวณได้จากผนังที่ปรับปรุงในรูปแบบที่ 2-6 มาหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงในระบบปรับอากาศโดยใช้การคำนวณข้างต้น จะได้ค่าพลังงานที่ลดลงได้ดังนี้

แนวทางที่1	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	25,107.75	kWh./ปี
แนวทางที่2	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	28,848.96	kWh./ปี
แนวทางที่3	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	30,713.00	kWh./ปี
แนวทางที่4	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	32,870.90	kWh./ปี
แนวทางที่5	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	36,395.36	kWh./ปี
แนวทางที่6	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	37,546.20	kWh./ปี

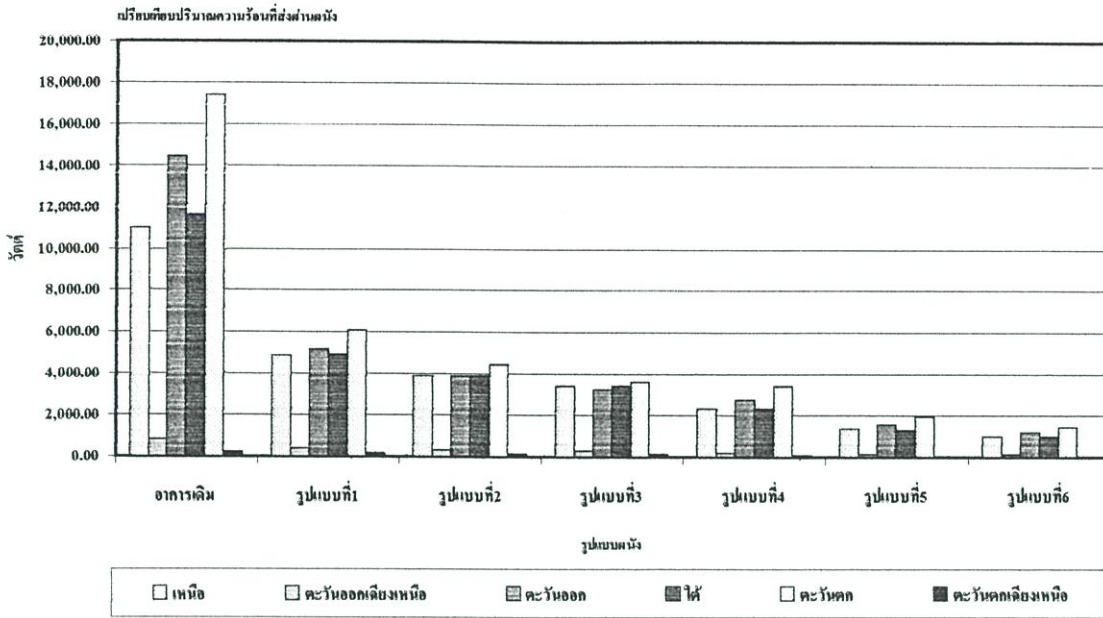
จากการทดสอบการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร ของแนวทางการปรับปรุงทั้ง 6 แนวทางจะเห็นว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนในส่วนผนังที่ภายนอกอาคารนั้น ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่ทดสอบได้นั้นมีค่าลดลงตั้งแต่ 20-30% ในขนาดความหนาและชนิดของฉนวนที่ต่าง ๆ กัน ทั้งนี้ในส่วนของการผนังที่บนนั้นหากมีการปรับปรุงไปพร้อมๆ กับกับแนวทางการปรับปรุงผนังในแนวทางการอื่น จะช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร และลดการใช้พลังงานในอาคารได้มากกว่านี้



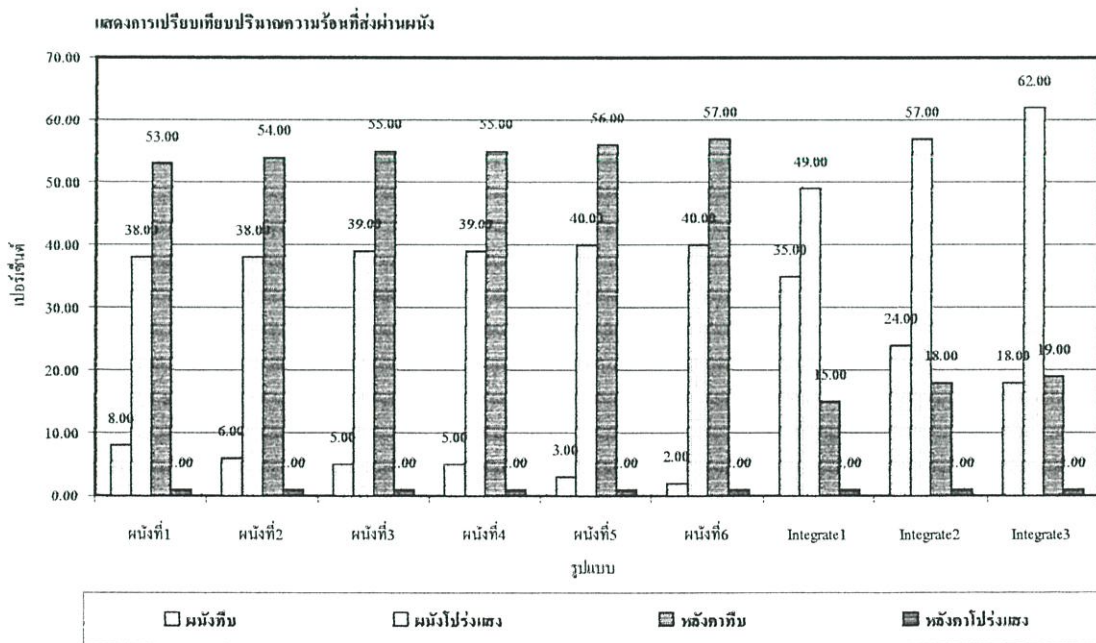
รูปที่ 5.4 แสดงภาระของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานในอาคารจากการติดตั้งฉนวนภายนอก



รูปที่ 5.5 แสดงการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ของผนังที่บจากจากการติดตั้งฉนวนภายนอก



รูปที่ 5.6 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังทีบในแต่ละด้านจากการติดตั้งฉนวนภายนอก



รูปที่ 5.7 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังทีบจากการติดตั้งฉนวนภายนอก

### 5.3.2 แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนผนังโปร่งแสง

จากการศึกษาถึงปัญหาและข้อจำกัดในการปรับปรุงผนังในส่วนต่างๆเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารลง โดยในส่วนผนังโปร่งแสงนั้นมีข้อพิจารณาการปรับปรุงได้ 3 แนวทางดังนี้

1. การปรับปรุงโดยการเปลี่ยนส่วนที่เป็นกระจกใสเดิม เป็นกระจกที่มีคุณสมบัติด้านประหยัดพลังงาน หรือกระจกที่มีค่า ส.ป.ส. การบังแดดของกระจก(S.C.)ที่ต่ำ
2. การปรับปรุงโดยการติดตั้งฟิล์มกรองแสงลดความร้อนบนกระจกใสเดิม เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านประหยัดพลังงานให้กระจกใสเดิม
3. การปรับปรุงโดยการลดพื้นที่ส่วนที่เป็นกระจกใสเดิม โดยปรับลดในส่วนที่ไม่มีผลต่อรูปแบบภายนอกอาคารและการใช้งานภายในอาคาร

จากแนวทางทั้ง 3 แนวทาง เมื่อนำมาวิเคราะห์ในรายละเอียด เพื่อหาแนวทางและพิจารณาคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่เหมาะสม ดังนี้

5.3.2.1 การเปลี่ยนส่วนที่เป็นกระจกใสเดิมเป็นกระจกสะท้อนแสงหรือกระจกที่มีคุณสมบัติด้านการประหยัดพลังงาน

การปรับปรุงในแนวทางนี้ต้องพิจารณาคุณสมบัติของกระจกที่จะเลือกนำมาใช้ในการปรับปรุง ชนิดและวิธีการใช้งานที่เหมาะสมของกระจกแต่ละชนิดจากเทคโนโลยีของวัสดุกระจก

#### 5.3.2.1.1 เทคโนโลยีของวัสดุกระจก

สามารถแบ่งตามกระบวนการผลิตด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ เพื่อตอบสนองการใช้งานที่ต่างกัน ดังนี้

1. กระจกธรรมดา (Float Glass)
2. กระจกอบความร้อน (Heat Treated Glass)
3. กระจกเคลือบผิว (Surface Coated Glass)
4. กระจกตัดแปด (Processed Glass)

**กระจกใส** คือ กระจกโปร่งแสงที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน และให้ภาพสะท้อนที่สมบูรณ์ ยอมให้แสงผ่านประมาณ 75-92% ของแสงที่ตกกระทบขึ้นกับความหนาของกระจก กระจกอบความร้อน (Heat Treated Glass)

#### คุณสมบัติ

- มองเห็นจากภายนอกได้ชัดเจน
- ตัดแสงได้ประมาณ 8% สำหรับกระจกหนา 12 มม. และมากขึ้นเพื่อความหนากระจก
- มีค่าการสะท้อนแสงประมาณ 7%
- ผิวกระจกไม่ร้อนเพราะกระจกดูดกลืนความร้อนต่ำ

### ข้อพิจารณาในการใช้งาน

- แสงที่ผ่านเข้ามากลายเป็นความร้อน ไม่สามารถระบายความร้อนออกไปได้ จนกว่าอุณหภูมิภายในสูงกว่าภายนอก
- เหมาะสมกับงานประเภทแสดงสินค้า ไม่เหมาะกับส่วนที่ต้องการความเป็นส่วนตัว
- เหมาะกับห้องที่ต้องการทัศนียภาพภายนอกอาคาร

กระจกสี หรือเรียกว่ากระจกดูดกลืนความร้อน ผสมด้วยโลหะออกไซด์เข้าไปในส่วนผสม ทำให้มีสีสันทัน ปริมาณของแสงจะขึ้นอยู่กับสีที่ใช้ ความเข้มของสี และความหนาของกระจก

### คุณสมบัติ

- ผิวกระจกร้อนเนื่องจากการเติม โลหะออกไซด์ที่มีตัวดูดกลืนความร้อน
- ช่วยตัดแสงไม่ให้เข้ามาในอาคาร เนื่องจากมีค่า ส.ป.ส. การบังแดดต่ำกว่ากระจกใส
- ช่วยลดความจ้าของแสงที่ผ่านกระจกสี ทำให้ได้แสงที่นุ่มนวล สบายตาในการมอง

### ข้อพิจารณาในการใช้งาน

- ไม่ควรให้ลมเย็นเป่ากระทบผิวกระจกโดยตรง
- ไม่ควรติดม่านที่หนาทึบ วางสิ่งของชิดขอบกระจก เนื่องจากกระจกไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้

กระจกอบความร้อน คือกระจกที่นำไปอบความร้อนสูงเพื่อให้แข็งแกร่งมากขึ้น แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. กระจกนิรภัยเทมเปอร์ ใช้หลักการเดียวกับคอนกรีตอัดแรงในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระจก โดยมากกว่าปกติ 4 เท่า โดยการทำให้ผิวกระจกเย็นตัวอย่างรวดเร็วโดยการเป่าลมเย็น

### คุณสมบัติ

- การต้านทานน้ำหนักคงที่ที่เกิดจากแรงลม หรือแรงดันดีกว่ากระจกทั่วไป 3-5 เท่า
- การต้านทานการกระแทก การชน ดีกว่ากระจกทั่วไป 4 เท่า
- ความปลอดภัยจากการโดนกระจกบาดน้อย เนื่องจากจะแตกเป็นเม็ดเล็กๆ

### ข้อพิจารณาในการใช้งาน

- แรงที่กระทำเป็นจุด หากมีการกระแทก โดยวัตถุ ที่มีมุมแหลม จะทำให้เกิดการตัดลึกในผิวกระจก และทำลายสมดุลย์ของแรงในตัวกระจก
  - ส่วนของกระจกที่มีการเจาะรู จะเปราะบางกว่าส่วนอื่นๆ
  - มีความเป็นคลื่นกว่ากระจกธรรมดา
2. กระจกฮีทสเตรนเทนดต์ คล้ายกับกระจกนิรภัยเทมเปอร์ เพียงแต่กระจกแบบนี้จะปล่อยให้ผิวกระจกเย็นตัวอย่างช้าๆ ความแข็งแรงจึงน้อยกว่ากระจกเทมเปอร์

### คุณสมบัติ

- เป็นกระจกที่นิรภัย รับแรงอัดของลมได้ดีกว่ากระจกธรรมดาที่มีความหนาเท่ากัน
- เหมาะสำหรับการป้องกันการแตกจากความร้อน
- ลักษณะของการแตกจะเหมือนกระจกธรรมดา

### ข้อพิจารณาในการใช้งาน

- ใช้กับอาคารที่มีความร้อนสูงกว่าปกติ
- ใช้กับผนังอาคารและหน้าต่างที่มีแรงอัดของลม
- ใช้กับสถานที่ที่ต้องการใช้กระจกที่มีความแข็งแรงกว่ากระจกธรรมดา

**กระจกเคลือบผิว** คือกระจกใสที่ผ่านกระบวนการเคลือบโลหะบนผิว ทำให้เกิดการสะท้อนแสงและความร้อนจากแสงอาทิตย์ กระจกจะมีค่า ส.ป.ส. การถ่ายเทความร้อนต่ำ ค่าการสะท้อนแสง ค่า ส.ป.ส.การบังแดดของกระจกต่ำ กระจกเคลือบผิวแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

1. กระจกสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Reflective Glass) คือกระจกธรรมดาที่เคลือบโลหะออกไซด์ มีคุณสมบัติการสะท้อนแสงค่อนข้างสูง ความโปร่งแสงน้อย

### คุณสมบัติ

- ลดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่อาคาร
- ลดความจ้าของแสงที่ผ่านเข้าสู่ตัวอาคาร เกิดความสบายทางการมองเห็น
- ช่วยให้ความเป็นส่วนตัวให้ผู้ใช้อาคารมากกว่ากระจกธรรมดา

### ข้อพิจารณาในการใช้งาน

- การตัดกระจกควรป้องกันการขีดข่วนในตำแหน่งที่มีการเคลือบผิว
- ตำแหน่งที่มีการเคลือบผิวจะติดตั้งอยู่ด้านในอาคารเสมอ
- หลีกเลี่ยงการเป่าลมเย็นลงบนผิวกระจกโดยตรง

ตารางที่ 5.7 แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบกระจกสะท้อนแสงที่เคลือบผิว 2 ระบบ

Magnetic Sputting Process	Pyrolytic Deposition Process
Soft Coating	Hard Coating
1. เป็นกระบวนการเคลือบแบบ off-line แยกจากกระบวนการผลิตแผ่นกระจก	1. เป็นกระบวนการเคลือบแบบ on-line ทำการเคลือบกระจกในขณะที่ผลิตแผ่นกระจก
2. ในกรณีที่ต้องการทำเป็นกระจก temper หรือ heat strengthened ต้องทำก่อนนำไปเคลือบ	2. สามารถนำกระจกสะท้อนแสงที่เคลือบแล้วไปผ่านกระบวนการผลิตกระจก temper หรือ heat-strengthened
3. สีของกระจกมีให้เลือกมาก เพราะโลหะออกไซด์ที่ใช้เคลือบมีมากชนิดกว่า	3. สีของกระจกมีให้เลือกน้อย เนื่องจากโลหะออกไซด์มีจำกัด

Magnetic Sputting Process	Pyrolytic Deposition Process
Soft Coating	Hard Coating
4. ความคงทนต่อรอยขีดข่วนมีน้อยกว่า	4. ความคงทนต่อรอยขีดข่วนมีมากกว่า
5. การติดตั้งต้องนำด้านที่เคลือบไว้้อยู่ภายในอาคาร	5. การติดตั้งสามารถนำด้านที่เคลือบออกภายนอก หันเข้าด้านในอาคารได้
6. การประหยัดพลังงานมากกว่า	6. การประหยัดพลังงานน้อยกว่า
7. ราคาจำหน่ายสูงกว่า	7. ราคาจำหน่ายถูกกว่า

2. กระจกที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ คือกระจกที่มีการเคลือบสาร โลหะเงินบริสุทธิ์ เพื่อให้มีค่าการคายรังสีความร้อนต่ำ ลักษณะ โปร่งแสง ไม่ทึบแสง

#### คุณสมบัติ

- ป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกได้ดี
- ยอมให้แสงผ่านกระจกได้มากกว่ากระจกสะท้อนแสง
- สะท้อนรังสี Ultra Violet ได้บางส่วน
- ช่วยลดความจ้าของแสงที่เข้าสู่อาคาร ได้

#### ข้อพิจารณาในการใช้งาน

- สารที่เคลือบผิวกระจก หากมีรอยขีดข่วน จะเสียหายได้ จึงควรหันกระจกด้านที่ฉาบสารไว้ด้านนอกอาคาร ให้ด้านที่เคลือบสารที่มีการแผ่รังสีต่ำอยู่ระหว่างชั้นกระจก
- การบรรจุก๊าซเฉื่อยในช่องว่างระหว่างกระจกช่วยเพิ่มความเป็นฉนวนได้ดี

**กระจกตัดแปลง** คือกระจกที่นำมาตัดแปลงด้วยกระบวนการต่างๆเพื่อตอบสนองการใช้งานที่ต่างกันไป แบ่งได้เป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

1. กระจกฉนวนกันความร้อน(Insulation Glass) คือกระจก2แผ่นที่ถูกคั่นด้วยอากาศที่แห้งที่เกิดจากการดูดความชื้นของสารดูดความชื้นในตัวขอบอลูมิเนียม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการเป็นฉนวนของอากาศแห้ง

#### คุณสมบัติ

- ป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอก ช่วยลดภาระการปรับอากาศลงได้ส่วนหนึ่ง
- ช่วยลดเสียงรบกวนจากภายนอกได้ดีกว่ากระจกธรรมดา
- สามารถรับแรงอัดของลมได้เพิ่มขึ้น
- มีความปลอดภัยสูง ในกรณีที่ใช้กระจกนิรภัยเป็นกระจกฉนวนกันความร้อน

#### ข้อพิจารณาในการใช้งาน

- การหักงอของอลูมิเนียมสเปเซอร์ หรือสารเคมีที่ใช้ในการเชื่อมกระจก อาจมีผลต่อประสิทธิภาพการเป็นฉนวน

2. กระจก Heat Mirror เป็นกระจกระบบ 2 ชั้น ที่เคลือบสารที่มีสภาพการแผ่รังสีความร้อนต่ำ 2 ด้านของฟิล์มที่อยู่ระหว่างช่องว่างอากาศ ทำให้ช่องว่างอากาศสะท้อนรังสีความร้อนนั้น มีค่า ส.ป.ส. การถ่ายเทความร้อนต่ำ

*คุณสมบัติ*

- สะท้อนความร้อนได้ประมาณ 80% ทำให้ความร้อนที่ส่งผ่านเข้าสู่อาคารลดลง
  - ยอมให้แสงผ่านเข้าสู่อาคาร ได้ดี ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ
  - ป้องกันรังสี Ultra Violet โดยการสะท้อนออกไปได้ประมาณ 98%
3. กระจก Heat Stop เป็นกระจกระบบ 2 ชั้น ประกอบด้วยกระจกสะท้อนแสงที่เคลือบสารที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำเป็นกระจกด้านนอกและด้านในใช้กระจกใส สารที่เคลือบสามารถใช้ป้องกันรังสี Infrared ให้ผ่านเข้ามาได้เพียง 5% ช่องว่างบรรจุก๊าซอาร์กอน เป็นก๊าซเฉื่อย จึงมีค่าการนำความร้อนต่ำ

*คุณสมบัติ*

- สามารถสะท้อนความร้อนไม่ให้เข้าสู่อาคาร และยอมให้ความร้อนส่งผ่านได้ประมาณ 33%
- ยอมให้แสงส่องผ่านได้ถึง 60 %
- ป้องกันรังสี Ultra Violet โดยการสะท้อนออกไปได้ประมาณ 95%

*ข้อพิจารณาในการใช้งานกระจก Heat Mirror และกระจก Heat Stop*

- ระวังไม่ให้วัสดุภายนอกเสียหาย เพราะจะทำให้ความชื้นซึมเข้าสู่ภายในอาคารได้
  - ไม่สามารถปรับแต่งขนาดกระจกหลังการติดตั้งแล้ว
4. กระจกหลายชั้น (Lamimated Glass) สร้างขึ้นจากการนำกระจกตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป มาผนึกเข้าด้วยกัน โดยมีแผ่นฟิล์มโพลีไวนิล บิวทีเรต ที่เหนียวและแข็งแรง ซ้อนอยู่ระหว่างกระจก ทำหน้าที่ยึดกระจกให้ติดกัน เมื่อกระจกถูกกระแทกและแตกออก

*คุณสมบัติ*

- ช่วยลดเสียงรบกวนและป้องกันเสียงก้องได้ดี
- ป้องกันรังสี Ultra Violet ได้ดี
- ป้องกันการทะลุทะลวงเนื่องจากการแตก

*ข้อพิจารณาในการใช้งาน*

- ฟิล์มโพลีไวนิล บิวทีเรตมีคุณสมบัติในการอมความร้อน จึงควรระวังการแตกร้าวที่อาจเกิดขึ้นได้
- ไม่ควรใช้ซิลิโคนที่มีส่วนผสมสารละลายสารอินทรีย์ ยาแนวรอยต่อระหว่างกระจกกับวงกบอลูมิเนียม หรือระหว่างกระจกด้วยกันเนื่องจากอาจมีผลเสียต่อฟิล์ม

- เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นระดับหนึ่ง ความสามารถในการยึดเกาะของฟิล์มจะลดลง ความสามารถในการรับแรงกระแทกและการรับน้ำหนักจะลดลงด้วย

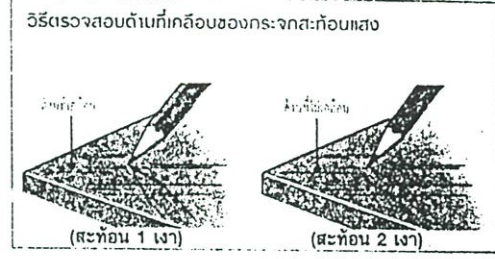
#### 5.3.2.1.2 การพิจารณาคุณสมบัติวัสดุผนัง โปรังแสงหรือกระจก

การนำวัสดุโปรังแสงเพื่อนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคาร และยังสามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคาร โดยจะพิจารณาค่าการส่องผ่านของแสง (Light Transmittance) โดยพิจารณาปริมาณแสงธรรมชาติ ที่จะแปรผันตรงกับค่าการส่องผ่านนั่นเอง แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารเนื่องจากแรงธรรมชาติด้วย การพิจารณาเลือกใช้กระจกที่สามารถลดความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้มาก ปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารจะมีค่าลดลง ดังนั้นในการปรับปรุงผนัง โปรังแสงเพื่อลดความร้อนที่จะเข้าสู่ตัวอาคาร และต้องการให้แสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารได้มากที่สุด ต้องพิจารณาค่า Light to Solar gain ratio (LT/SC) ตัวส่วนดังกล่าวยังมีค่ามากจะช่วยลดอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้มากขึ้น

ดังนั้นองค์ประกอบหลัก ๆ ที่จะนำมาพิจารณาการปรับปรุงกรอบอาคาร ในส่วนผนัง โปรังแสงที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารมากกว่าผนังทึบ คือ ต้องสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร มีค่า ส.ป.ส. การถ่ายเทความร้อน และค่า ส.ป.ส. การบังแดดที่ต่ำและลดพื้นที่ผนัง โปรังแสงของอาคารลง แต่ยังคงสามารถใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในการให้แสงสว่างภายในอาคาร เพื่อลดการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างได้ด้วย ดังนั้นการเลือกโทนสีของกระจกจะเลือกใช้โทนสีเขียว และสีฟ้า เนื่องจากเป็นโทนสีที่ยอมให้คลื่นแสงที่มองเห็นผ่านเข้ามาได้เร็ว ในขณะที่ยอมให้คลื่นความร้อนและรังสี UV ผ่านเข้ามาได้น้อย และยังคงรูปแบบสถาปัตยกรรมของอาคารเดิมได้ (ที่มา: จารุวรรณ ปรากฏทรงสิทธิ์, วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544)

ตารางที่ 5.8 แสดงข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับพลังงานแสงและพลังงานความร้อน

GLASS TYPE ประเภทกระจก	STANDARD THICKNESS (mm.) ความหนามาตรฐานที่บริษัทฯ ผลิต (มม.)				MAXIMUM STANDARD SIZE ขนาดมาตรฐานใหญ่สุดที่บริษัทฯ ผลิต		MINIMUM STANDARD SIZE ขนาดมาตรฐานเล็กสุดที่บริษัทฯ ผลิต	
	6	8	10	12	mm. มม.	Inch นิ้ว	mm. มม.	Inch นิ้ว
SOLARTAG-ชนิดธรรมดา (Annealed Glass - SOLARTAG)	6	8	10	12	3658 X 2438	144 X 96	-	-
SOLARTAG-ชนิดนิรภัยเต็มเปอร์ (Tempered Safety Glass - SOLARTAG)	6	8	10	12	3658 X 2438	144 X 96	914 X 305*	36 X 12*
SOLARTAG-ชนิดกึ่งนิรภัย (Heat Strengthened Glass - SOLARTAG)	6	8	10	12	3658 X 2438	144 X 96	914 X 305*	36 X 12*



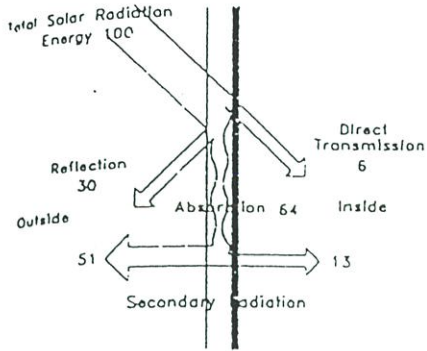
หมายเหตุ : \* ขนาดพิเศษเล็กกว่ามาตรฐาน สามารถผลิตได้ตามความต้องการ (Smaller sizes can be produced on request) สอบถามได้ที่ฝ่ายขาย

SPECIFICATION DATA

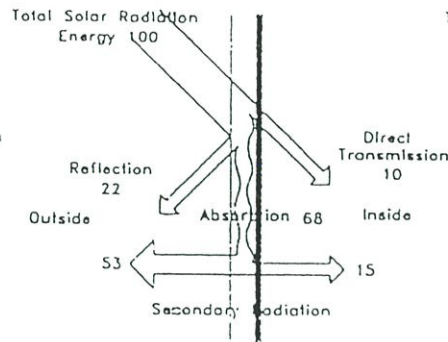
ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับพลังงานแสง พลังงานความร้อน

GLASS TYPE ประเภทกระจก	THICKNESS (mm.) ความหนา (มม.)	VISIBLE RAYS		SOLAR ENERGY			RELATIVE HEAT GAIN		U-VALUE				SHADING COEFFICIENT	
		R	T	R	T	A	(W/m <sup>2</sup> )	(Btu/ft <sup>2</sup> hr)	WINTER NIGHTTIME		SUMMER DAYTIME			
									(W/m <sup>2</sup> C)	(Btu/ft <sup>2</sup> hr°F)	(W/m <sup>2</sup> C)	(Btu/ft <sup>2</sup> hr°F)		
SOLARTAG เคลือบบนกระจกโฟลตใส รหัส 1														
SOLARTAG-SS 108 เงินจรัส	6	38	8	33	6	61	166	53	4.70	0.83	4.51	0.79	0.21	
SOLARTAG-SS 114 เงินสกา	6	29	14	24	10	66	217	69	5.12	0.90	5.03	0.89	0.28	
SOLARTAG-SS 120 เงินกาสิก	6	23	20	18	16	66	267	85	5.30	0.93	5.23	0.92	0.38	
SOLARTAG-SGY 132 เทาทิวา	6	12	32	10	29	61	365	116	5.77	1.02	5.69	1.00	0.51	
SOLARTAG-SG 110 ทองสัมฤทธิ์	6	21	10	21	8	71	205	65	4.88	0.86	4.80	0.85	0.26	
SOLARTAG-TE 110 บุษราคัม	6	19	10	21	6	73	191	61	4.81	0.85	4.74	0.84	0.24	
SOLARTAG-TE 115 เหลืองอุษา	6	23	15	23	10	67	217	69	5.06	0.89	4.98	0.88	0.28	
SOLARTAG-TS 120 ฟ้ายเงิน	6	21	20	19	13	68	244	77	5.15	0.91	5.08	0.90	0.32	
SOLARTAG-TS 130 ฟ้ายบุษกร	6	15	30	18	22	60	308	98	5.62	0.99	5.52	0.97	0.42	
SOLARTAG-TS 140 ฟ้ายไต้	6	10	40	10	30	60	371	117	5.77	1.02	5.67	1.00	0.52	
SOLARTAG-TBL 135 ฟ้ายโพลิน	6	21	35	18	25	57	324	103	5.62	0.99	5.50	0.97	0.45	
SOLARTAG เคลือบบนกระจกโฟลตสีเขียวเข้ม รหัส 2														
SOLARTAG-SS 208 เขียวเข้ม	6	31	7	17	4	79	200	63	4.97	0.88	5.12	0.90	0.25	
SOLARTAG-SS 214 เขียวสด	6	23	12	13	7	80	234	74	5.27	0.93	5.48	0.97	0.30	
SOLARTAG-TE 210 เขียวเหลือง	6	13	7	11	6	83	224	71	5.00	0.88	5.19	0.91	0.29	
SOLARTAG-TS 220 น้ำเงินเขียว	6	18	16	11	8	81	251	80	5.42	0.95	5.65	1.00	0.33	
SOLARTAG-TS 230 ฟ้ายเขียวอ่อน	6	14	23	10	12	78	283	90	5.65	1.13	5.89	1.17	0.38	
SOLARTAG-TBL 235 ฟ้ายเขียว	6	14	28	9	15	76	304	96	5.70	1.00	5.93	1.04	0.41	
SOLARTAG เคลือบบนกระจกโฟลตสีฟ้าเข้ม รหัส 5														
SOLARTAG-SS 508 น้ำเงินเข้ม	6	21	6	14	4	82	206	65	4.97	0.88	5.15	0.91	0.26	
SOLARTAG-SS 514 น้ำเงินสด	6	17	9	12	6	82	233	74	5.27	0.93	5.49	0.97	0.30	
SOLARTAG-TE 510 น้ำเงินมรกต	6	12	6	10	5	85	220	70	5.00	0.88	5.21	0.92	0.29	
SOLARTAG-TS 520 น้ำเงิน	6	13	12	10	7	83	248	78	5.42	0.95	5.67	1.00	0.32	
SOLARTAG-TS 530 น้ำเงินหม่น	6	8	20	8	13	79	292	93	5.65	0.99	5.89	1.04	0.39	
SOLARTAG-TBL 535 น้ำเงินอ่อน	6	11	22	8	14	78	299	95	5.71	1.01	5.95	1.05	0.40	

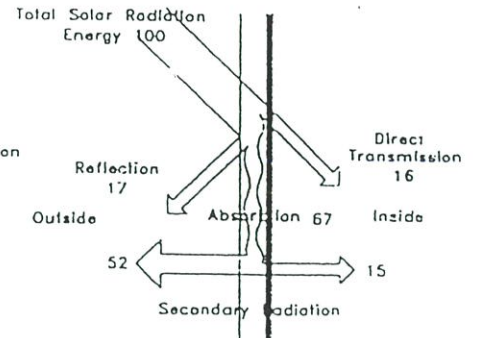
NOTES : R = Reflectance, T = Transmittance, A = Absorption



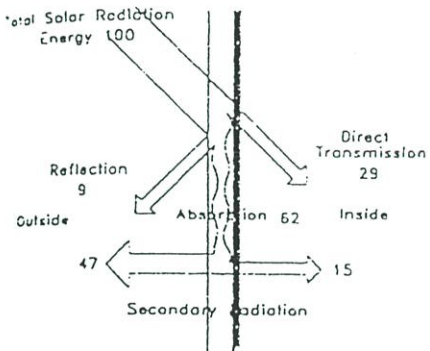
SOLARTAG - SS8



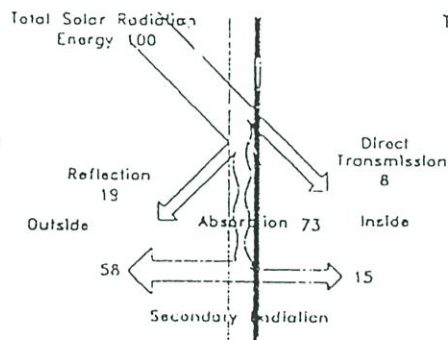
SOLARTAG - SS14



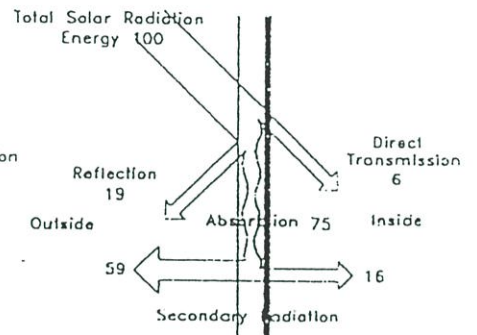
SOLARTAG - SS20



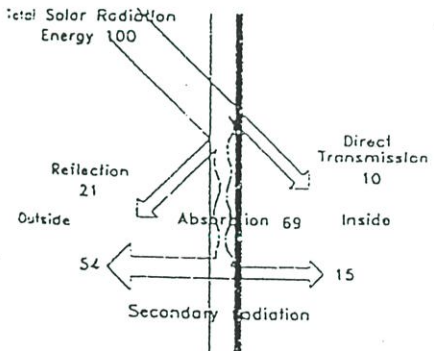
SOLARTAG - SGY32



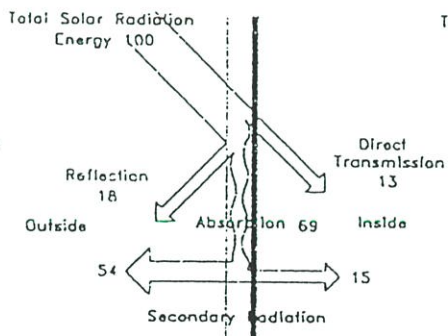
SOLARTAG - SG10



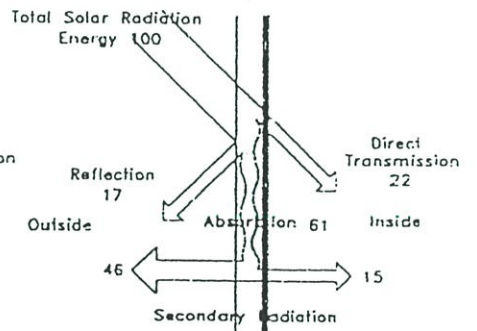
SOLARTAG - SS20



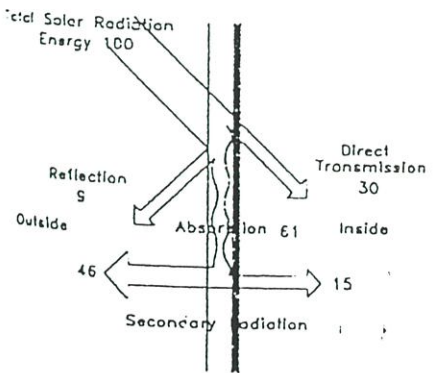
SOLARTAG - TE15



SOLARTAG - TS20



SOLARTAG - TS30



SOLARTAG - TS40

### Diagram of Interception

Single Glazing Thickness 8 MM.

Conditions (by ASHRAE)

Outdoor Temperature	31.7 °C (89°F)
Room Temperature	23.9 °C (75°F)
Outdoor Wind Velocity	3.5 m/sec (7.5mph)
Indoor Air Velocity	0 m/sec (0 mph)
Solar Intensity	672.7 kcal/m <sup>2</sup> hr (248 Btu/hr)

รูปที่ 5.8 แสดงสัดส่วนการดูดซับพลังงานความร้อนของกระจกชนิดต่างๆ

### 5.3.2.1.3 คุณลักษณะเฉพาะ ของ กระจกฉนวนความร้อน และ ฟิล์มลดความร้อน

- กระจกฉนวนความร้อน ในที่นี้ ได้แก่ กระจกสำหรับผนังและเพดานภายนอกอาคาร ชนิด กระจกตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป ขนาดกัน ชนิดกระจก 2 ชั้นขึ้นไป ที่มีวัสดุฉนวนกั้นระหว่างชั้นรอบขอบ กันอากาศเข้าออก มีอากาศแห้งหรือก๊าซอื่นๆ ความดันปกคอยู่ในช่องว่างระหว่างชั้น และชนิด กระจกนิรภัยหลายชั้น ที่ไม่มีช่องอากาศระหว่างชั้น สำหรับการใช้งานทั่วไป

- ฟิล์มลดความร้อน ในที่นี้ครอบคลุมเฉพาะฟิล์มสำหรับติดกระจกอาคาร สำหรับการใช้งานทั่วไป (ไม่รวมถึง กระจก , ฟิล์ม ชนิดพิเศษเพื่อการใช้งานเฉพาะ เช่น ชนิดกันกระสุน , ชนิดทนไฟ เป็นต้น )

#### คุณลักษณะเฉพาะ

##### 5.3.2.1.3.1 กระจกฉนวนความร้อน (Insulating) ให้มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. กระจกฉนวนความร้อน ให้ใช้เป็นกระจกสองชั้นขึ้นไป ที่ประกอบด้วย แผ่นกระจกแผ่นนอก ช่องว่างซึ่งบรรจุอากาศหรือก๊าซอื่นๆ และแผ่นกระจกแผ่นใน (ถ้าเป็นกระจกเพดาน แผ่นกระจกแผ่นในต้องเป็นชนิดกระจกนิรภัยหลายชั้น ) ซึ่งมีความหนารวมทั้งหมดโดยประมาณไม่น้อยกว่า 20 มม.

2. มีค่าการส่องผ่านแสง Tvis (Visible Light Transmittance) สูง ไม่น้อยกว่า 25 %

3. มีค่าการส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ Tsol (Solar Energy Transmittance) ต่ำไม่เกิน 25 %

4. มีค่าการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต Tuv (Ultraviolet Transmittance) ต่ำไม่เกิน 5.0%

5. มีค่าการสะท้อนแสงภายนอก R vis-out (Visible Light Reflectance - Outdoors / External) ต่ำไม่เกิน 20 %

6. มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (เขตร้อน) U-value [summer] (Thermal Transmittance) ของกระจกต่ำไม่เกิน 2.0 W/(m<sup>2</sup> K)

7. มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก SC (Shading Coefficient) ต่ำไม่น้อยกว่า 0.10 และไม่ เกิน 0.35

8. มีค่าพลังงานความร้อนเพิ่มสัมพัทธ์ของกระจก RHG (Relative Heat Gain) ต่ำไม่เกิน 400 W/m<sup>2</sup>

9. มีค่าอัตราส่วนของ ค่าพลังงานความร้อนเพิ่มสัมพัทธ์ของกระจก RHG ต่อ ค่าการส่องผ่านแสง Tvis ต่ำ ไม่เกิน 100W/m<sup>2</sup>

10. มีค่าอัตราส่วนของ การส่องผ่านแสง Tvis (Visible Light Transmittance) ต่อ ค่าการส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ Tsol ( Solar Energy Transmittance) ไม่น้อยกว่า 2

11. มีเอกสารแสดงการรับประกัน นานไม่น้อยกว่า 10 ปี

5.3.2.1.3.2 กระจกนิรภัยหลายชั้น ฉนวนความร้อน (Airless Laminated Insulating Glass) ให้มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. กระจกนิรภัยหลายชั้น ฉนวนความร้อน ให้ใช้เป็นกระจกสองชั้นขึ้นไป ที่ประกอบด้วย แผ่นกระจกแผ่นนอก และแผ่นกระจกแผ่นใน ยึดติดกันด้วยวัสดุคั่นกลางที่ไม่สามารถแยกกระจกออกจากกันได้ชนิด PVB (Polyvinyl butyal) ซึ่งมีความหนารวมทั้งหมดโดยประมาณไม่น้อยกว่า 6 มม.

2. มีค่าการส่องแสงผ่าน Tvis (Visible Light Transmittance) สูงไม่น้อยกว่า 25%

3. มีค่าการส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ Tsol (Solar Energy Transmittance) ต่ำไม่เกิน 25 %

4. มีค่าการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต Tuv (Ultraviolet Transmittance) ต่ำ ไม่เกิน 25 %

5. มีค่าการสะท้อนแสงภายนอก Rvis-out (Visible Light Reflectance - Outdoors / External) ต่ำไม่เกิน 20 %

6. มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (เขตร้อน) U-value [summer] (Thermal Transmittance) ของกระจกต่ำไม่เกิน 4.0 W/(m<sup>2</sup> K)

7. มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก SC (Shading Coefficient) ต่ำ ไม่น้อยกว่า 0.10 และไม่เกิน 0.35

8. มีค่าพลังงานความร้อนเพื่อสัมพัทธ์ของกระจก RHG (Relative Heat Gain) ต่ำไม่เกิน 400/m<sup>2</sup>.

9. มีค่าอัตราส่วนของ ค่าพลังงานความร้อนเพิ่มสัมพัทธ์ของกระจก RHG ต่อค่าการส่องแสงผ่าน Tvis ต่ำไม่เกิน 1000 W/m<sup>2</sup>

10. มีค่าอัตราส่วนของ การส่องผ่านแสง Tvis (Visible Light Transmittance) ต่อการส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ Tsol (Solar Energy Transmittance) ไม่น้อยกว่า 2

11. มีเอกสารแสดงการรับประกัน นานไม่น้อยกว่า 10 ปี

5.3.2.1.3.3 ฟิล์มลดความร้อน (Window Film) ให้มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. มีค่าการส่องผ่านแสง Tvis (Visible Light Transmittance) สูงไม่น้อยกว่า 30 %

2. มีค่าการส่งผ่านพลังงานแสงอาทิตย์ Tsol (Solar Energy Transmittance) ต่ำไม่เกิน 40 %

3. มีค่าการส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต Tuv (Ultraviolet Transmittance) ต่ำไม่เกิน 5%

4. มีค่าการสะท้อนแสงภายนอก Rvis-out (Visible Light Reflectance - Outdoors / External) ต่ำไม่เกิน 25

5. มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของฟิล์ม SC (Shading Coefficient) ต่ำ ไม่น้อยกว่า 0.20 และไม่  
เกิน 0.60

6. มีเอกสารแสดงการรับประกัน นานไม่น้อยกว่า 5 ปี

จากตารางที่แสดงคุณสมบัติของกระจกที่สัมพันธ์กับพลังงานแสงและพลังงานความร้อน จะเห็นว่ากระจกที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อปรับปรุงกรอบอาคาร คือกระจกชนิดเคลือบผิว ชนิดสี ฟ้า โดยกระจกที่เลือกเอามาใช้ในการปรับปรุงผนังคือ

1. กระจกหัต TS-130 ฟ้าบุษกร (SOLARTAG-TS 130)
2. กระจกหัต TBL-135 ฟ้าไพลิน (SOLARTAG-TBL 135)
3. กระจกหัต TS-140 ฟ้าใส (SOLARTAG-TS 140)
4. กระจกหัต TS-230 ฟ้าเขียวอ่อน (SOLARTAG-TS 230)
5. กระจกหัต TBL-235 ฟ้าเขียว (SOLARTAG-TBL 235)

จากตัวอย่างของกระจกที่เลือกนำมาใช้ทั้ง 5 ชนิด เมื่อนำค่าคุณสมบัติต่างๆของกระจกมา หาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) ในส่วนผนังโปร่งแสง จะได้ค่าดังนี้

แนวทางที่1 ค่าOTTV มีค่า =  $52.93 \text{ W/m}^2$ . RTTV =  $52.48 \text{ W/m}^2$ .

แนวทางที่2 ค่าOTTV มีค่า =  $54.33 \text{ W/m}^2$ . RTTV =  $53.50 \text{ W/m}^2$ .

แนวทางที่3 ค่าOTTV มีค่า =  $57.59 \text{ W/m}^2$ . RTTV =  $53.54 \text{ W/m}^2$ .

แนวทางที่4 ค่าOTTV มีค่า =  $51.07 \text{ W/m}^2$ . RTTV =  $53.46 \text{ W/m}^2$ .

แนวทางที่5 ค่าOTTV มีค่า =  $52.47 \text{ W/m}^2$ . RTTV =  $53.47 \text{ W/m}^2$ .

จากรายการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร สามารถแสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวม ค่าภาระจากระบบปรับอากาศ ภาระจากกรอบอาคารและการใช้พลังงานในอาคารได้ตาม ตาราง ดังนี้

ตารางที่5.9 แสดงค่า OTTV ของผนังอาคารเมื่อทำการปรับปรุงผนังโปร่งแสงทางเลือกที่1

ลักษณะการติดตั้ง	ชนิดของรูปแบบการปรับปรุงที่ทำการติดตั้ง	ค่า OTTV(W/sq.m.)		ลำดับ
		มากกว่า145	น้อยกว่า145	
	ผนังภายนอกอาคาร	82.56		
	การปรับปรุงโดยการเปลี่ยนกระจกใสเดิมเป็นกระจกสะท้อนแสง			
	กระจก TS-130	52.93		3
	กระจก TBL-135	54.33		4
	กระจก TS-140	57.59		5
	กระจก TS-230	51.07		1
	กระจก TBL-235	52.47		2

ตารางที่ 5.10 แสดงภาระของอาคารในส่วนต่างๆจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 1

รูปแบบ	ภาระทั้งหมดของระบบปรับ	ภาระจากกรอบอาคาร	การใช้พลังงานในระบบปรับ	ค่า OTTV ที่ลดลง (%)
	อากาศ (kWh..)	ผนังโปร่งแสง(kWh.)	อากาศ(kWh.)	
อาคารเดิม	4,073	1,350	4,776	--
TS-130	3,325	619	4,388	35.88
TBL-135	5,357	650	4,404	34.19
TS-140	3,431	723	4,443	30.29
TS-230	3,282	578	4,366	38.14
TBL-235	3,314	609	4,382	36.44

ตารางที่ 5.11 แสดงค่า OTTV เฉพาะในส่วนของผนัง โปร่งแสงจากการปรับปรุงทางเลือกที่ 1

รูปแบบ	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียง เหนือ
อาคารเดิม	129.56	161.22	175.63	171.62	172.79	156.92
TS-130	58.93	72.76	79.11	77.29	77.88	70.88
TBL-135	62.12	76.92	83.73	81.79	82.37	74.90
TS-140	69.51	86.63	94.46	92.29	92.94	84.30
TS-230	54.68	67.21	72.95	71.36	71.81	65.51
TBL-235	57.87	71.38	77.56	75.86	76.38	69.54

หน่วย : วัตต์/ ตร.ม.

ตารางที่ 5.12 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านของผนัง โปร่งแสงในแต่ละด้านจากการปรับปรุงทางเลือกที่ 1

รูปแบบ	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียง เหนือ
อาคารเดิม	19,602.12	1,934.65	29,365.31	26,394.45	27,300.86	470.76
TS-130	8,916.36	873.15	13,226.38	11,887.52	12,304.51	212.64
TBL-135	9,398.75	923.09	14,000.37	12,579.66	13,014.65	224.72
TS-140	10,516.61	1,039.61	15,794.14	14,194.66	14,684.06	252.91
TS-230	8,273.19	806.56	12,196.76	10,975.52	11,345.25	196.53
TBL-235	8,755.57	856.50	12,967.20	11,667.66	12,067.79	208.62

หน่วย : วัตต์

จากการที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) ที่ลดลงนั้น สามารถที่จะลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้โดยสามารถยกตัวอย่างการคำนวณการหาค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศที่ลดลงจากการปรับปรุงผนังทึบเป็นตัวอย่างในการคำนวณ แต่ในกรณีผนังโปร่งแสงนั้นจะใช้ค่าพื้นที่ผนังโปร่งแสงแทนพื้นที่ผนังทึบ เนื่องจากการคำนวณเปรียบเทียบเฉพาะค่าการส่งผ่านความร้อนรวมในส่วนของผนัง โปร่งแสงเท่านั้น

$$\begin{aligned}
 \text{ค่า OTTV ที่ลดลง(จากรูปแบบที่1)} &= 29.63 \text{ W/m}^2. \\
 \text{พื้นที่ผนังอาคารภายนอกทั้งหมด} &= 1,300.52 \text{ m}^2. \\
 \text{พื้นที่ผนัง โปร่งแสง} &= 645.30 \text{ m}^2. \\
 \text{วัดความร้อนที่ลดลง} &= 29.63 \times 645.30 \text{ W. หรือ} \\
 &= 19.12 \text{ kW. หรือ} \\
 &= 19.12 \times 3,414 \text{ Btu / hr.} \\
 &= 65,276.49 \text{ Btu / hr. หรือ} \\
 &= 5.44 \text{ ton / hr.}
 \end{aligned}$$

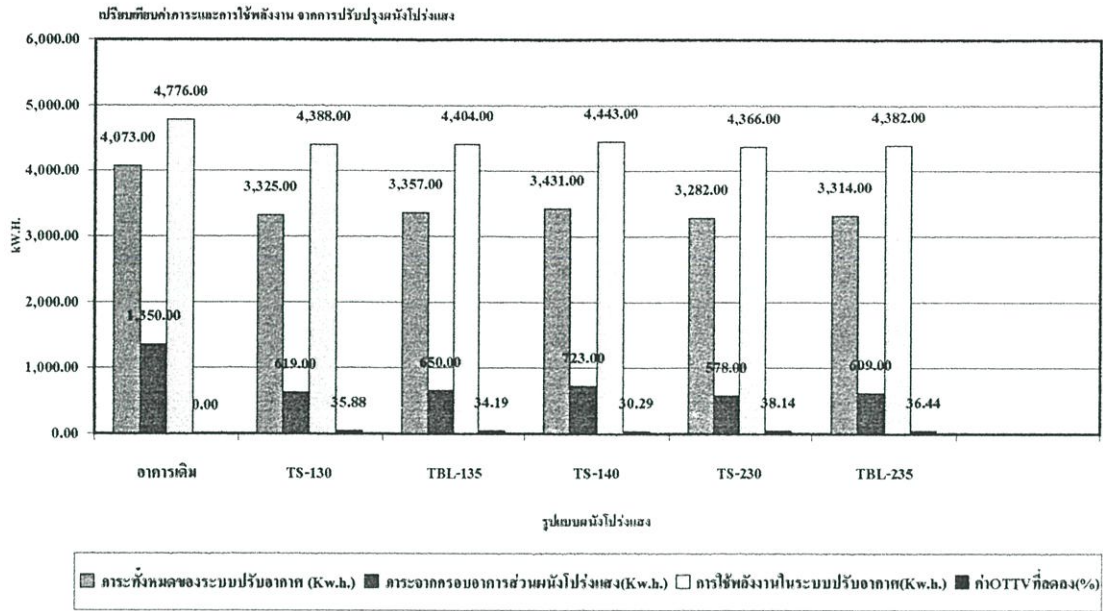
$$\begin{aligned}
 \text{ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศสำนักหอสมุดมีค่าเฉลี่ย 1.728 Kw./ton} \\
 &= 5.44 \times 1.728 \text{ kW.} \\
 &= 9.40 \text{ kW/hr.}
 \end{aligned}$$

การเปิดใช้งานระบบปรับอากาศโดยปกติวันละ 9 ชม. 250วันต่อปี

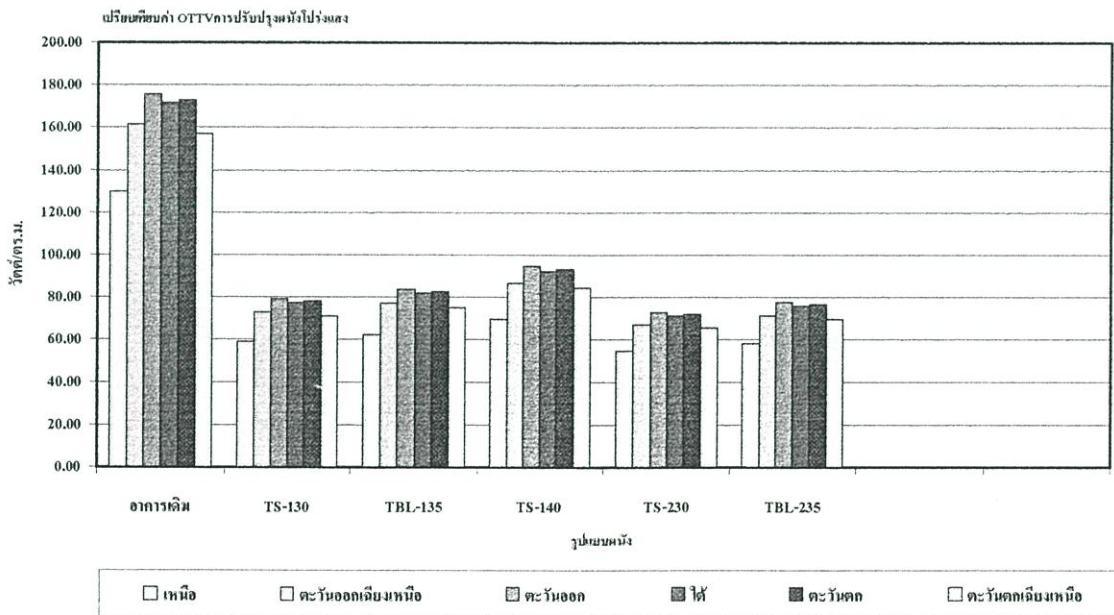
$$\begin{aligned}
 \text{ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้} &= 9.40 \times 9 \times 250 \\
 &= 21,149.50 \text{ kWh./ปี}
 \end{aligned}$$

และเมื่อนำค่าที่คำนวณได้จากรูปแบบผนังกระจกที่ 1-5 คือการเปลี่ยนกระจกใสเคมเป็นกระจกประหยัดพลังงานมาหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงในระบบปรับอากาศโดยใช้การคำนวณตามตัวอย่าง จะได้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้ดังนี้

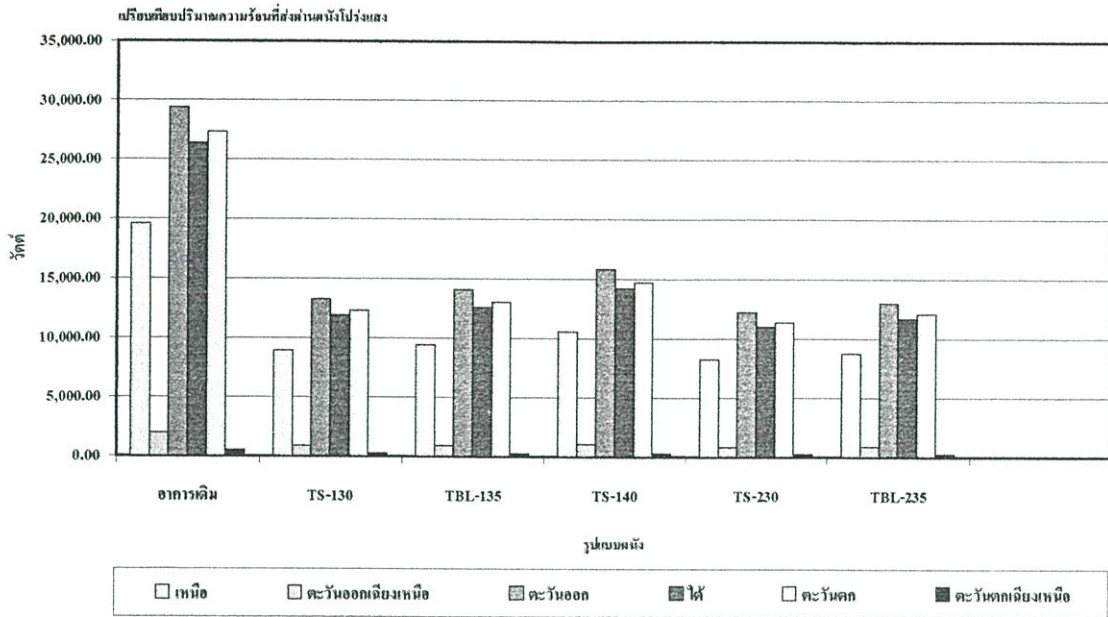
แนวทางที่1	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	21,149.50	kWh./ปี
แนวทางที่2	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	20,150.27	kWh./ปี
แนวทางที่3	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	17,823.32	kWh./ปี
แนวทางที่4	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	22,477.23	kWh./ปี
แนวทางที่5	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	21,477.92	kWh./ปี



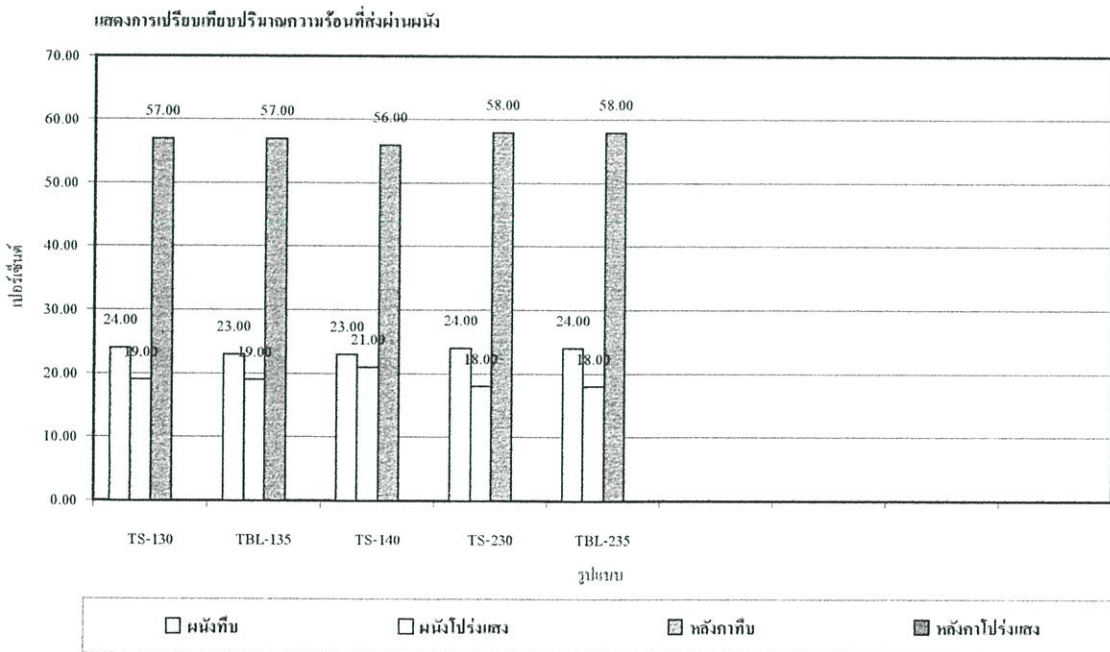
รูปที่ 5.9 แสดงภาระของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานในอาคารจากการปรับผนังโปร่งแสง ทางเลือกที่ 1



รูปที่ 5.10 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ของผนังโปร่งแสง จากการปรับผนังโปร่งแสง ทางเลือกที่ 1



รูปที่ 5.11 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง โปร่งแสงในแต่ละด้านจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสง ทางเลือกที่ 1



รูปที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านกรอบอาคารจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสง ทางเลือกที่ 1

### ตารางที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียแนวทางเลือกที่ 1 การเปลี่ยนชนิดกระจก

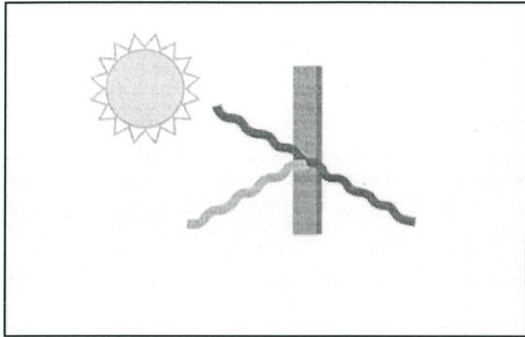
ข้อดี	ข้อเสีย
1. ช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนในส่วนผนัง โปร่งแสงได้ดี	1. การติดตั้งต้องใช้กระบวนการที่ละเอียดอ่อน ยุ่งยาก เพราะต้องเปลี่ยนกระจกเดิมทั้งหมด
2. สามารถใช้โครงสร้างกรอบกระจกเดิมได้ทันที	2. ใช้ระยะเวลาการติดตั้งพอสมควร และใช้พื้นที่การติดตั้งภายในอาคารทำให้การใช้อาคารเสียไป
3. โครงสร้างอาคารรับน้ำหนักเท่าเดิม	3. ราคาของกระจกชนิดประหยัดพลังงานมีราคาที่สูงกว่ากระจกทั่วไป
4. รูปแบบอาคารไม่มีผลกระทบใดๆ	
5. การบำรุงรักษาที่ง่าย และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน	

#### 5.3.2.2 การติดตั้งฟิล์มกรองแสงลดความร้อนบนกระจกใสเดิม(ทางเลือกที่ 2)

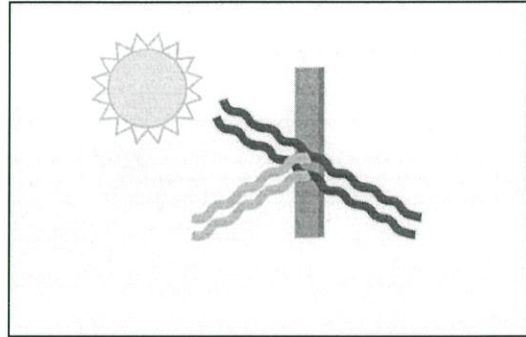
ในการปรับปรุงแนวทางที่ 2 มีการพิจารณาคุณสมบัติต่างๆที่เหมาะสมของฟิล์มกรองแสง โดยปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตฟิล์มกรองแสงนั้นก้าวหน้าไปมาก มีให้เลือกใช้งานหลากหลายชนิด ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การใช้งานและความต้องการของต่างๆของอาคาร ไม่ว่าจะเป็นการใช้ฟิล์มในงานสถาปัตยกรรม งานตกแต่งภายใน หรืออื่นๆ โดยในแนวทางที่ 2 นี้ จะเป็นการใช้ฟิล์มกรองแสงชนิด Solar Control ที่มีความสามารถลดความร้อนที่จะส่งผ่านผนังกระจกเดิมได้ โดยทำการติดตั้งลงบนกระจกเดิมของอาคาร ทั้งนี้คุณสมบัติที่ควรพิจารณาเกี่ยวกับฟิล์มกรองแสงลดความร้อนคือ

1. ช่วยลดการถ่ายเทความร้อนของผนังกระจกเดิม และช่วยลดค่า ส.ป.ส. การบังแดดของกระจกเดิมลงได้
2. มีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงตามมาตรฐานที่กำหนด คือ อาคารใหม่ ต้องมีค่าไม่เกิน 25-30% ส่วนอาคารเก่าไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐาน การเลือกใช้ฟิล์มกรองแสงจึงขึ้นอยู่กับเจ้าของอาคารและจุดประสงค์การใช้ในอาคาร
3. มีคุณสมบัติเป็นฟิล์มนิรภัย เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผนังกระจก และป้องกันการแตกร้าวได้

จากคุณสมบัติดังกล่าว เมื่อไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานการสะท้อนแสงของฟิล์มกรองแสง ดังนั้นการพิจารณาเลือกชนิดฟิล์มกรองแสงจะเน้นไปที่ค่า ส.ป.ส. การบังแดดของฟิล์มกรองแสง (ค่าS.C.) และสีของฟิล์มกรองแสงที่เหมาะสมกับรูปแบบของอาคารประเภทอาคารหอสมุดที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติการป้องกันความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารแต่ยังสามารถนำแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารได้เหมือนเดิม และที่สำคัญคือการลดพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ดี



ภาพแสดงการสะท้อนรังสี UV



ภาพแสดงการสะท้อนความร้อน

รูปที่ 5.13 แสดงหลักการพื้นฐานของฟิล์มกรองแสงชนิดลดความร้อน

ตารางที่ 5.14 แสดงคุณสมบัติที่สัมพันธ์กับพลังงานความร้อนและพลังงานแสงของฟิล์มกรองแสง

คุณสมบัติฟิล์มกรองแสง 3เอ็ม สก็อตซ์ทินด์™ เมื่อติดตั้งบน กระจกใส หนา 6 มิลลิเมตร

ประเภทฟิล์ม	สี	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน	รังสียูวีบี (%)	รังสียูวีเอ (%)	รังสียูวีเอจากหลอดฮาโลเจน (%)	รังสีอินฟราเรด (%)	การลดความร้อน (ฤดูร้อน)
กระจกใสหนา 6 มิลลิเมตร		0.94	88	9			
<b>1. หมวดฟิล์มกรองแสงลดความร้อน</b>							
P18	SILVER	0.26	19	58	77	74	
RE20SIARL	SILVER	0.26	19	58	77	99	
RE15SIX	SILVER	0.20	16	63	83	99	
RE20NEARL	NEUTRAL	0.39	16	17	66	99	
RE35SIARL	SILVER	0.40	33	42	65	98	
RE35AMARL	AMBER	0.30	30	55	74	99	
RE35NEARL	NEUTRAL	0.51	37	20	56	99	
BJ50	NEUTRAL	0.66	51	14	46	99	
RE50NIARL	NEUTRAL	0.49	48	23	57	99	
RE65NIARL	NEUTRAL	0.63	61	15	45	99	
<b>2. หมวดฟิล์มกรองแสง</b>							
PNTHR5	DARK	0.65	8	5	43	99	
PNTHR20	DARK	0.69	21	5	40	99	
PNTHR35	DARK	0.73	34	5	36	99	

คุณสมบัติฟิล์มกรองแสง 3เอ็ม สก็อตซ์ทินด์™ เมื่อติดตั้งบน กระจกสีเทา หนา 6 มิลลิเมตร

ประเภทฟิล์ม	สี	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน	รังสียูวีบี (%)	รังสียูวีเอ (%)	รังสียูวีเอจากหลอดฮาโลเจน (%)	รังสีอินฟราเรด (%)	การลดความร้อน (ฤดูร้อน)
กระจกสีเทา 6 มิลลิเมตร		0.69	50	5	40		
<b>1. หมวดฟิล์มกรองแสงลดความร้อน</b>							
P18	SILVER	0.30	10	20	74	76	
RE20SIARL	SILVER	0.30	10	20	74	99	
RE15SIX	SILVER	0.16	8	62	86	97	
RE20NEARL	NEUTRAL	0.37	9	8	68	99	
RE35SIARL	SILVER	0.38	18	16	67	98	
RE35AMARL	AMBER	0.33	18	22	71	99	
RE35NEARL	NEUTRAL	0.45	22	9	61	99	
BJ50	NEUTRAL	0.48	25	6	58	99	
RE50NIARL	NEUTRAL	0.42	27	10	63	99	
RE65NIARL	NEUTRAL	0.50	34	7	56	99	
<b>2. หมวดฟิล์มกรองแสง</b>							
PNTHR5	DARK	0.52	5	4	55	99	
PNTHR20	DARK	0.55	13	4	52	99	
PNTHR35	DARK	0.57	17	4	50	99	

จากตารางที่แสดงคุณสมบัติของฟิล์มกรองแสงที่สัมพันธ์กับพลังงานแสงและพลังงานความร้อน จะเห็นว่าฟิล์มกรองแสงที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อปรับปรุงกรอบอาคาร คือฟิล์มกรองแสงชนิดติดตั้งบนกระจกใส หนา 6 มม.คือกระจกใสเดิมของอาคาร โดยฟิล์มกรองแสงที่เลือกใช้ในการปรับปรุงผนังโปร่งแสงมี 5 ชนิด คือ

1. P-18 Silver
2. RE-20 SIARL Silver
3. RE-15 SIX Silver
4. RE-20 NEARL Neutral
5. RE-35 NEARL Neutral

จากตัวอย่างของฟิล์มกรองแสงที่เลือกนำมาใช้ทั้ง 5 ชนิด เมื่อนำค่าคุณสมบัติต่างๆของฟิล์ม โดยเฉพาะค่า S.C. และสีของฟิล์มมาใช้ในการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) ในส่วนผนังโปร่งแสง จะได้ค่าดังนี้ (ดูรายการคำนวณจากภาคผนวก)

แนวทางที่1 ค่าOTTV มีค่า =  $37.69 \text{ W/m}^2$ . RTTV =  $53.37 \text{ W/m}^2$ .

แนวทางที่2 ค่าOTTV มีค่า =  $37.69 \text{ W/m}^2$ . RTTV =  $53.37 \text{ W/m}^2$ .

แนวทางที่3 ค่าOTTV มีค่า =  $40.34 \text{ W/m}^2$ . RTTV =  $53.34 \text{ W/m}^2$ .

แนวทางที่4 ค่าOTTV มีค่า =  $31.91 \text{ W/m}^2$ . RTTV =  $53.45 \text{ W/m}^2$ .

แนวทางที่5 ค่าOTTV มีค่า =  $26.60 \text{ W/m}^2$ . RTTV =  $53.52 \text{ W/m}^2$ .

ตารางที่ 5.15 แสดงค่า OTTV ของผนังอาคารเมื่อทำการปรับปรุงผนังโปร่งแสง

ลักษณะการติดตั้ง	ชนิดของรูปแบบการปรับปรุงที่ทำการติดตั้ง	ค่า OTTV(W/sq.m.)		ลำดับ
		มากกว่า45	น้อยกว่า45	
	ผนังภายนอกอาคาร	82.56		
	การปรับปรุงโดยการติดตั้งฟิล์มกรองแสงลดความร้อนบนกระจกใสเดิม			
	ฟิล์มกรองแสง P-18 Silver		44.87	2
	ฟิล์มกรองแสง RE-20 SIARL Silver		44.87	2
	ฟิล์มกรองแสง RE-15 SIX Silver		42.22	1
	ฟิล์มกรองแสง RE-20 NEARL Neutral	50.65		3
	ฟิล์มกรองแสง RE-35 NEARL Neutral	55.96		4

ตารางที่ 5.16 แสดงค่าภาระของอาคารในส่วนต่างๆจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสงทางเลือกที่ 2

รูปแบบ	ภาระทั้งหมดของระบบ ปรับอากาศ (kWh.)	ภาระจากกรอบอาคาร ผนังโปร่งแสง(kWh.)	การใช้พลังงานในระบบปรับ อากาศ(kWh.)	ค่าOTTVที่ลดลง(%)
อาคารเดิม	4,073	1,350	4,776	--
P-18	3,141	440	4,292	45.65
RE-20SIARL	3,141	440	4,292	45.65
RE-15SIX	3,080	382	4,261	48.86
RE-20NEARL	3,273	563	4,361	38.65
RE-35NEARL	3,394	686	4,424	32.21

ตารางที่ 5.17 แสดงค่า OTTV เฉพาะในส่วนของผนัง โปร่งแสงจากการปรับปรุงทางเลือกที่ 2

รูปแบบ	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียง เหนือ
อาคารเดิม	129.56	161.22	175.63	171.62	172.79	156.92
P-18	62.12	76.92	83.73	81.79	82.37	74.9
RE-20SIARL	62.12	76.92	83.73	81.79	82.37	74.9
RE-15SIX	34.53	40.86	43.72	42.93	43.18	40.01
RE-20NEARL	53.73	65.97	71.58	69.97	70.48	64.30
RE-35NEARL	65.81	81.78	89.10	87.04	87.64	79.61

หน่วย: วัตต์/ตร.ม.

ตารางที่ 5.18 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านของผนัง โปร่งแสงในแต่ละด้านจากการปรับปรุงทางเลือกที่ 2

รูปแบบ	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียง เหนือ
อาคารเดิม	19,602.12	1,934.65	29,365.31	26,394.45	27,300.86	470.76
P-18	6,147.73	585.17	8,778.60	7,915.71	8,174.26	142.97
RE-20SIARL	6,147.73	585.17	8,778.60	7,915.71	8,174.26	142.97
RE-15SIX	5,233.52	490.28	7,310.58	6,602.80	6,822.87	120.02
RE-20NEARL	8,129.25	791.58	11,967.52	10,761.36	11,135.64	192.91
RE-35NEARL	9,957.67	981.35	14,897.26	13,387.16	13,847.90	238.82

หน่วย: วัตต์

จะเห็นว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวม และปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้าสู่อาคาร ที่ได้จากการเลือกใช้ฟิล์ม รหัส P-18 และ RE-20 SIARL นั้นมีค่าเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมในโปรแกรม OTTVEE Version 1.0a นั้น มีการใช้ค่า ส.ป.ส. การบังแดดของฟิล์มที่เท่ากัน คือ 0.26 ค่าต่างๆที่คำนวณได้จึงมีค่าเท่ากัน

จากการที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) ที่ลดลงนั้น สามารถที่จะลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้ โดยสามารถยกตัวอย่างการคำนวณการหาค่าการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศที่ลดลงจากการปรับปรุงผนังทึบเป็นตัวอย่างในการคำนวณ แต่ในกรณีผนังโปร่งแสงนั้นจะใช้ค่าพื้นที่ผนังโปร่งแสงแทนพื้นที่ผนังทึบ เนื่องจากการคำนวณเปรียบเทียบเฉพาะค่าการส่งผ่านความร้อนรวมในส่วนของผนังโปร่งแสงเท่านั้น

$$\begin{aligned} \text{ค่า OTTV ที่ลดลง(จากรูปแบบที่1)} &= 37.69 \text{ W/m}^2. \\ \text{พื้นที่ผนังอาคารภายนอกทั้งหมด} &= 1,300.52 \text{ m}^2. \\ \text{พื้นที่ผนังโปร่งแสง} &= 645.30 \text{ m}^2. \\ \text{วัตต์ความร้อนที่ลดลง} &= 37.69 \times 645.30 \text{ W. หรือ} \\ &= 24.32 \text{ kW. หรือ} \\ &= 24.32 \times 3,414 \text{ Btu / hr.} \\ &= 83,028.48 \text{ Btu / hr. หรือ} \\ &= 6.91 \text{ ton / hr.} \end{aligned}$$

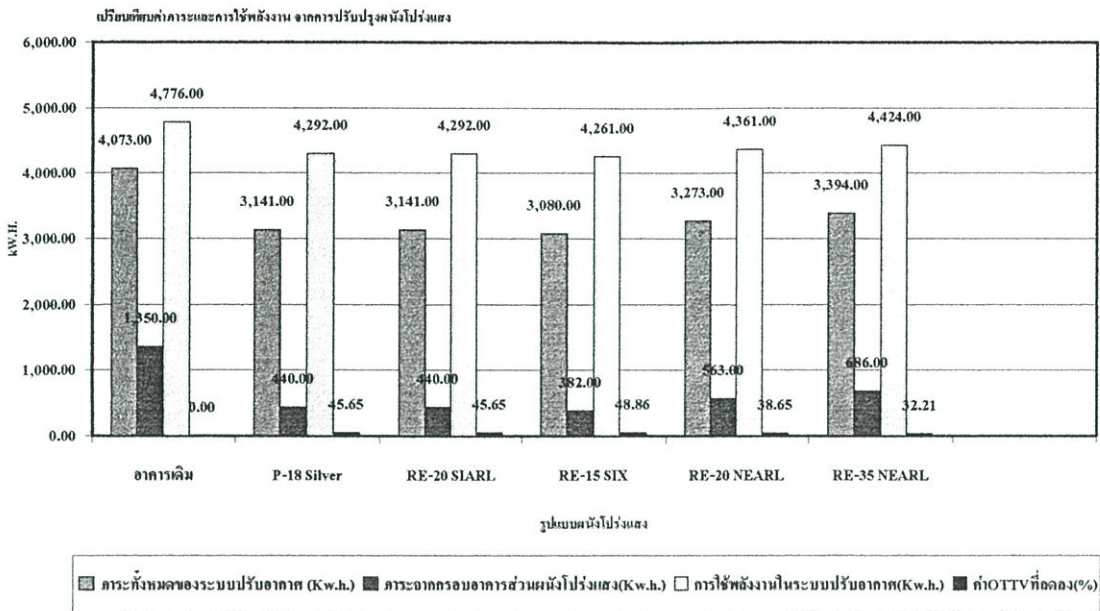
$$\begin{aligned} \text{ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศสำนักงานหอสมุดมีค่าเฉลี่ย 1.728 kW./ton} \\ &= 6.91 \times 1.728 \text{ kW.} \\ &= 11.94 \text{ kW/hr.} \end{aligned}$$

การเปิดใช้งานระบบปรับอากาศโดยปกติวันละ 9 ชม. 250 วันต่อปี

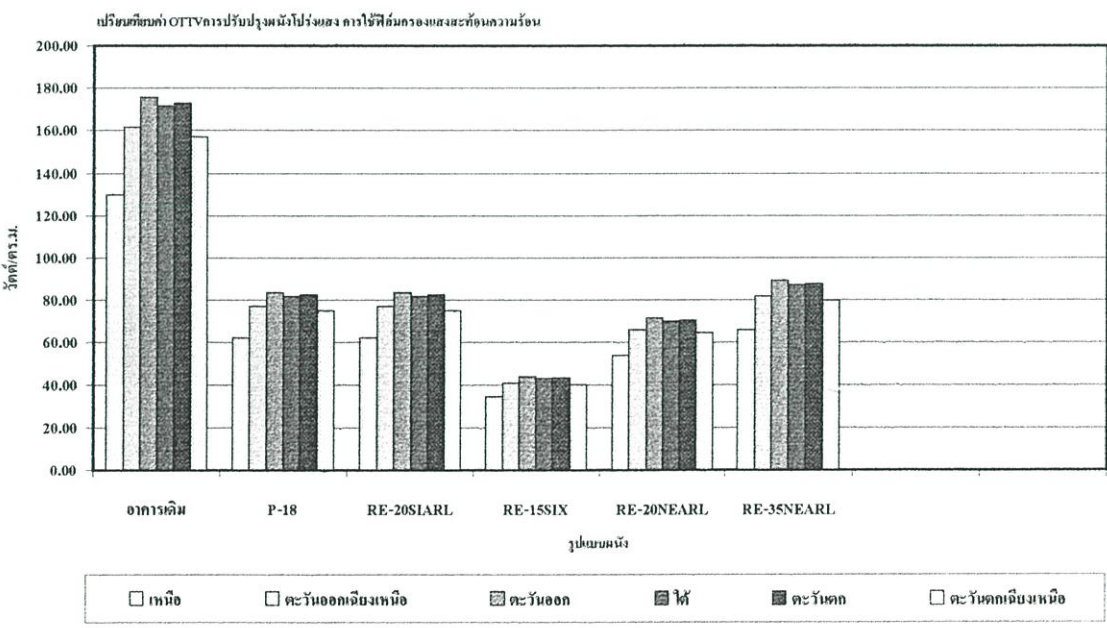
$$\begin{aligned} \text{ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้} &= 11.94 \times 9 \times 250 \\ &= 26,866.08 \text{ kW.} \end{aligned}$$

และเมื่อนำค่าที่คำนวณได้จากรูปแบบผนังกระจกที่ 1-5 คือการติดตั้งฟิล์มกรองแสงลดความร้อนมาหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงในระบบปรับอากาศโดยใช้การคำนวณตามตัวอย่าง จะได้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้ดังนี้

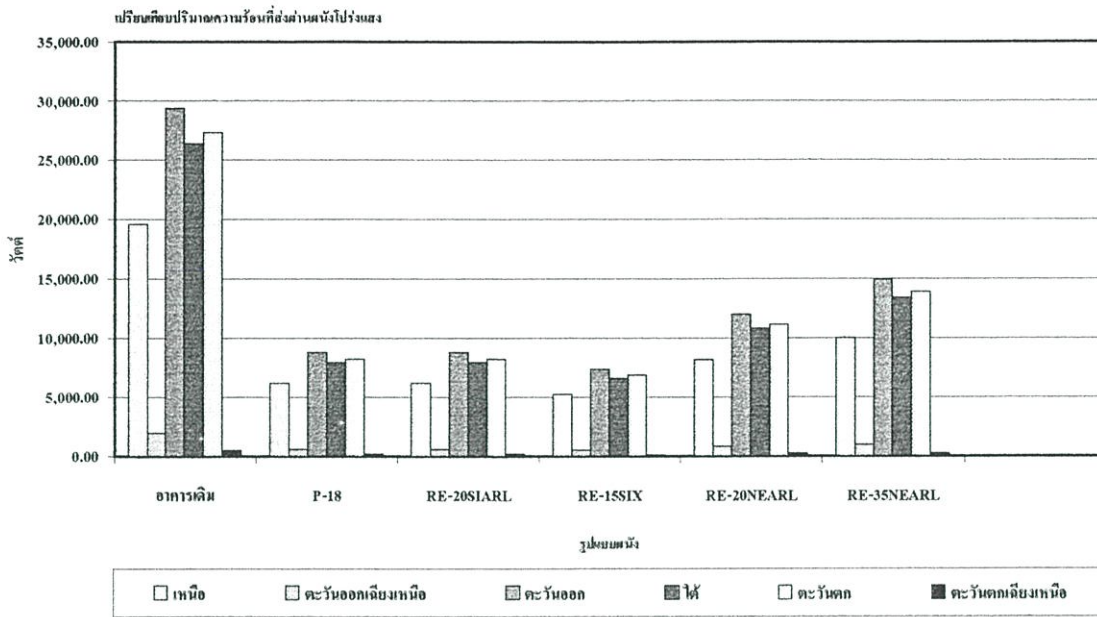
แนวทางที่1	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	26,866.08	kWh./ปี
แนวทางที่2	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	26,902.72	kWh./ปี
แนวทางที่3	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	28,794.26	kWh./ปี
แนวทางที่4	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	22,777.02	kWh./ปี
แนวทางที่5	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	18,986.80	kWh./ปี



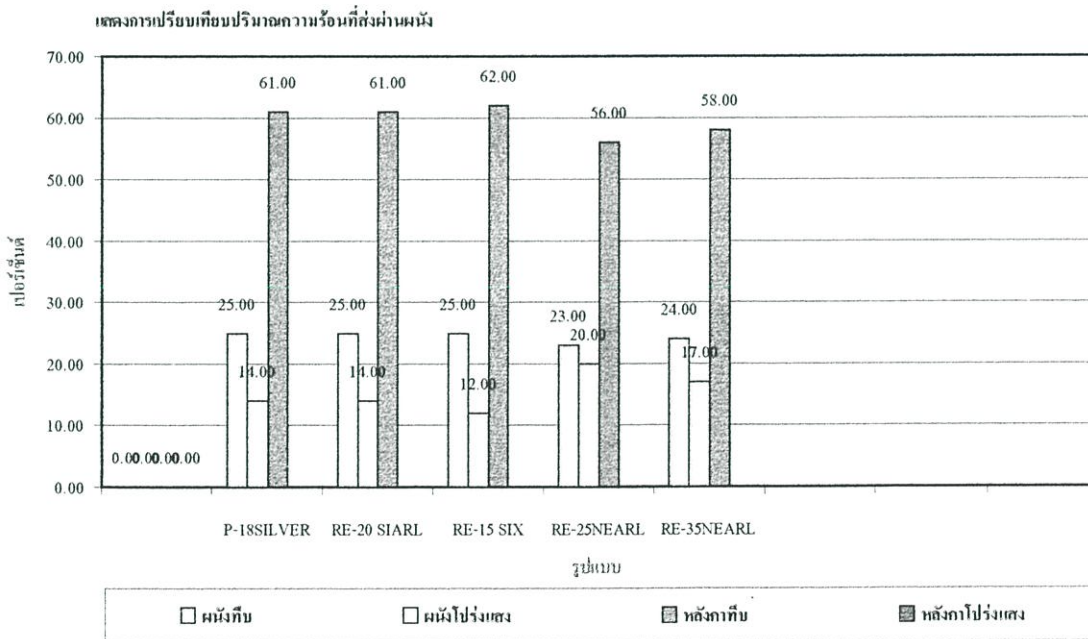
รูปที่ 5.14 แสดงภาระของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานในอาคารจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสง ทางเลือกที่ 2



รูปที่ 5.15 แสดงค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) ของผนัง โปร่งแสง จากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสง ทางเลือกที่ 2



รูปที่ 5.16 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง โปร่งแสงในแต่ละด้านจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสง ทางเลือกที่ 2



รูปที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านกรอบอาคารจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสง ทางเลือกที่ 1

### ตารางที่ 5.19 แสดงการเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียแนวทางเลือกที่ 2 ติดตั้งฟิล์มกรองแสง

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนในส่วนที่เป็นกระจก / ผนัง โปร่งแสง	1. ต้องทำการติดตั้งในส่วนที่เป็นกระจกทั้งหมด เพื่อความสวยงามโดยรวมของอาคาร
2. การติดตั้งง่าย ไม่รบกวนการใช้งานภายในอาคาร หรือกิจกรรมต่างๆในอาคาร	2. ราคาของฟิล์มและค่าติดตั้งมีราคาที่สูงกว่า
3. การใช้พื้นที่ในการทำงานน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ	
4. ไม่มีผลกระทบต่อรูปแบบภายนอกอาคาร	
5. การบำรุงรักษาที่ง่าย และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน	
6. ช่วยลดปริมาณรังสี UV ที่จะเข้าสู่ตัวอาคาร ช่วยลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับหนังสือและเฟอร์นิเจอร์	

#### 5.3.2.3 การปรับปรุงโดยการลดพื้นที่ส่วนที่เป็นกระจกใสเดิม(ทางเลือกที่ 3)

ในการปรับปรุงแนวทางที่ 3 นี้คือการลดพื้นที่ผนังกระจกใสเดิม โดยพิจารณาจากพื้นที่หรือตำแหน่งของผนังกระจกที่อยู่ในส่วนที่ไม่มีผลต่อรูปแบบการใช้งานพื้นที่ภายในและการนำเสนอธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคารตลอดจนถึงรูปแบบลักษณะทางสถาปัตยกรรมภายนอกอาคาร โดยสามารถปรับลดพื้นที่ผนัง โปร่งแสงในด้านต่างๆได้ดังนี้

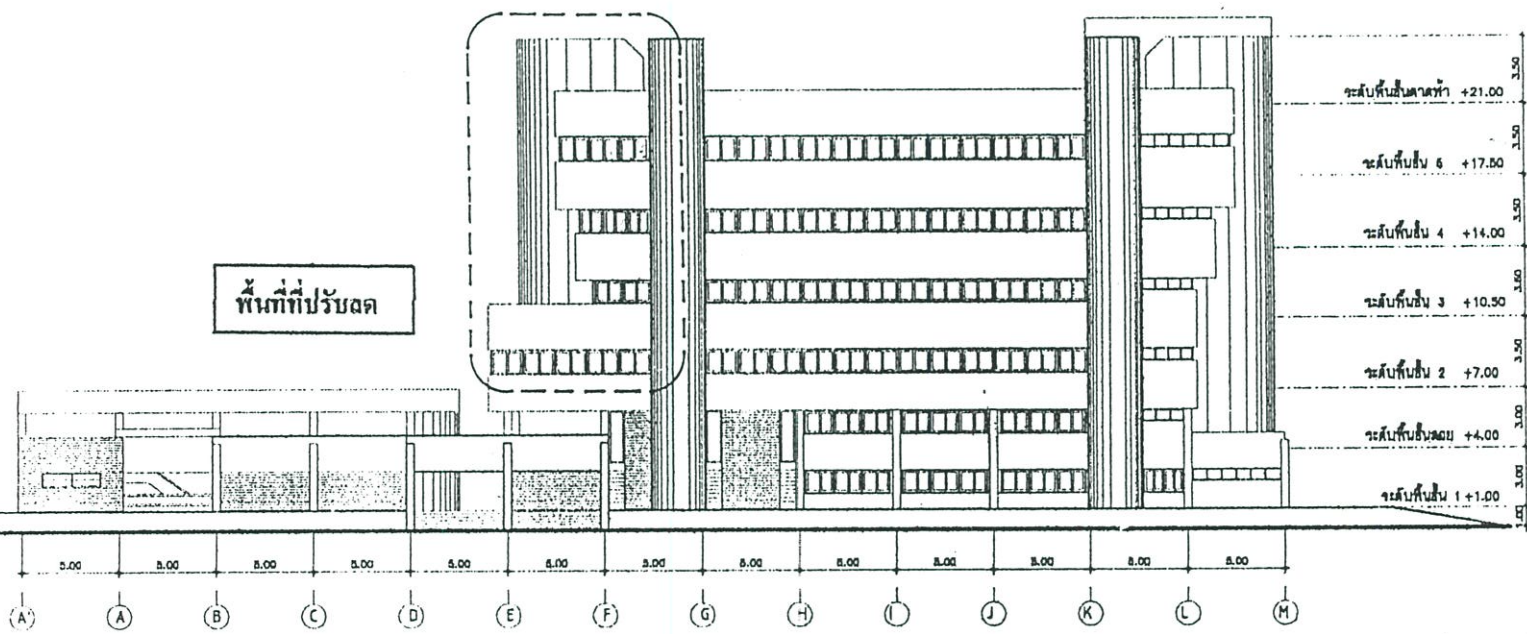
1. ทิศเหนือ บริเวณมุมอาคารทั้ง 2 ด้าน รวมพื้นที่ปรับลดได้ 27.6 ตร.ม.
2. ทิศตะวันออก บริเวณมุมอาคารด้านขวามือ รวมพื้นที่ปรับลดได้ 13.80 ตร.ม.
3. ทิศใต้ บริเวณมุมอาคารชั้น 2 รวมพื้นที่ปรับลดได้ 3.12 ตร.ม.
4. ทิศตะวันตก บริเวณมุมอาคารด้านซ้ายมือ รวมพื้นที่ปรับลดได้ 23.88 ตร.ม.

รวมพื้นที่ผนัง โปร่งแสงที่ปรับลดได้ทั้งหมด **68.40 ตร.ม** บริเวณต่างๆที่นำมาปรับลดพื้นที่ผนัง โปร่งแสงนั้น แสดง ได้ตามรูปประกอบที่ 5.18

เมื่อนำพื้นที่ผนัง โปร่งแสงที่เหลือจากการปรับลดลงแล้วมาหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) ในส่วนผนัง โปร่งแสง จะได้ค่าดังนี้

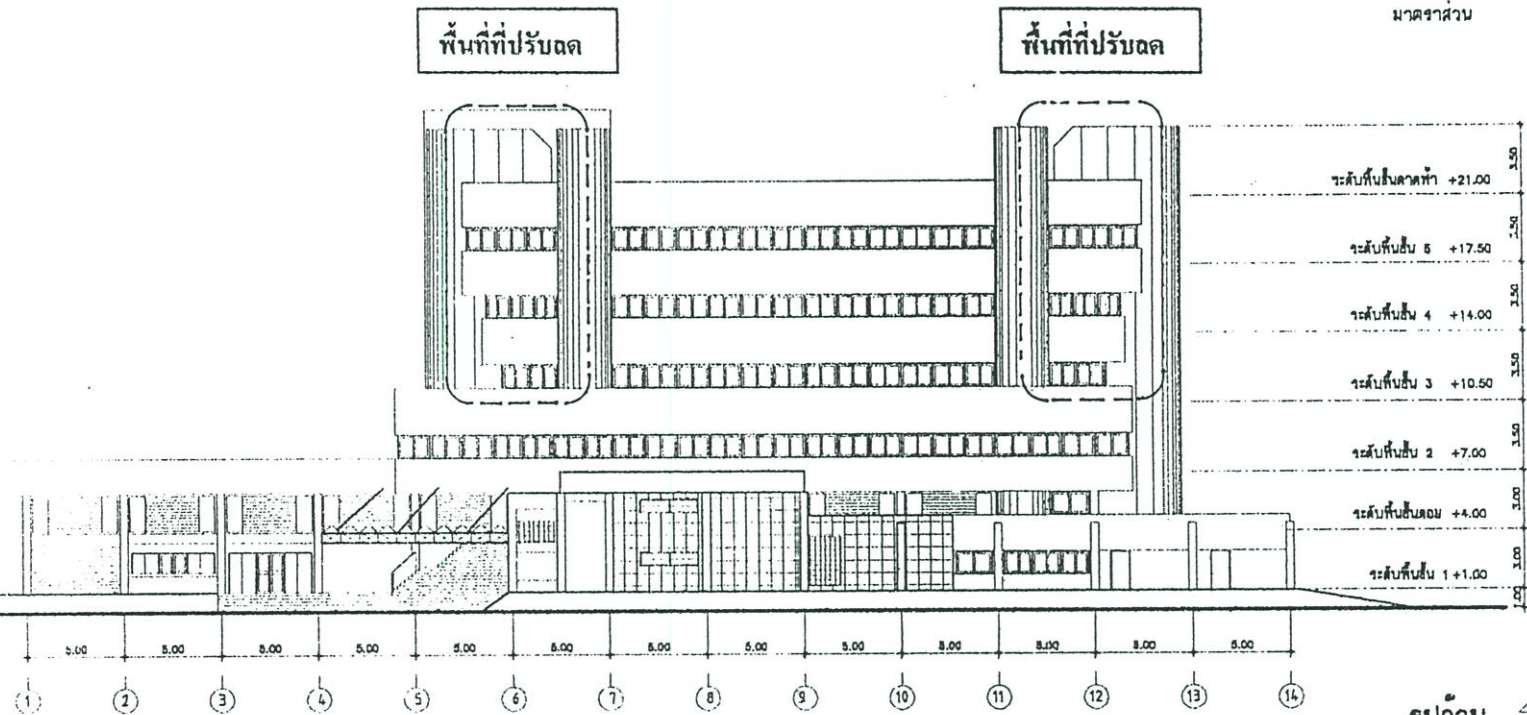
$$\text{แนวทางการปรับลดพื้นที่ที่กระจก ค่า OTTV มีค่า} = 79.85 \text{ W/m}^2. \text{ RTTV} = 53.85 \text{ W/m}^2.$$

ทิศตะวันตก

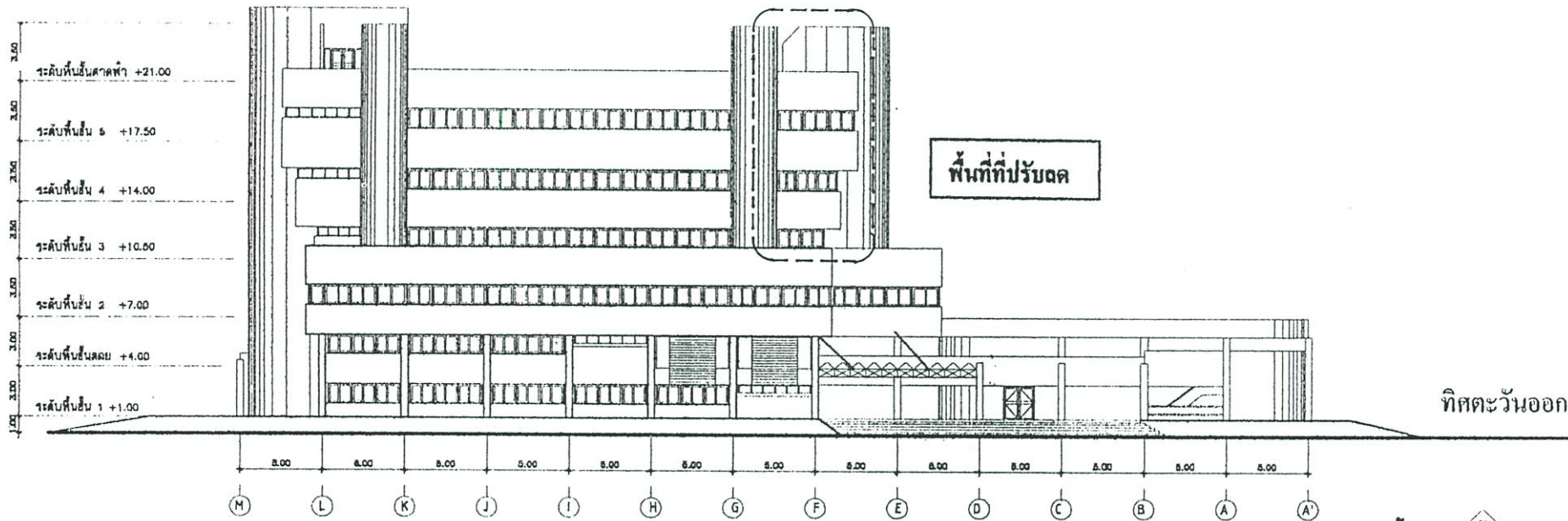


รูปด้าน (ข)  
มาตรฐาน 1/30

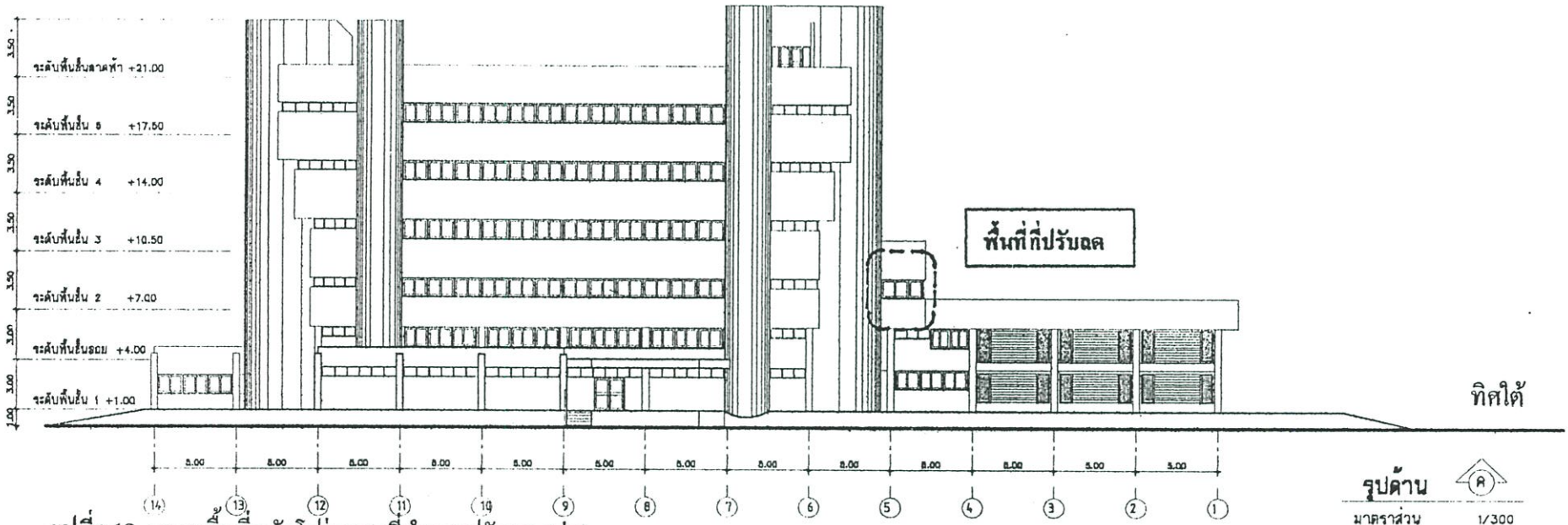
ทิศเหนือ



รูปด้าน (ก)  
มาตรฐาน 1/30



รูปด้าน  
มาตราส่วน 1/300



รูปด้าน  
มาตราส่วน 1/300

รูปที่ 5.18 แสดงพื้นที่ผนังโปร่งแสงที่ทำการปรับลด (ต่อ)

การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากการปรับลดพื้นที่ผนังโปร่งแสง โดยการคำนวณตามวิธีการคำนวณตามตัวอย่างข้างต้นจะได้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้ดังนี้

แนวทางการปรับลดพื้นที่กระจก ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้ 1,934.36 kW./ปี

ตารางที่ 5.20 แสดงค่าภาระของอาคารในส่วนต่างๆจากการปรับปรุงผนังโปร่งแสงทางเลือกที่ 3

รูปแบบ	ภาระทั้งหมดของระบบ ปรับอากาศ (Kw.h.)	ภาระจากกรอบอาคาร ผนังโปร่งแสง(Kw.h.)	การใช้พลังงานในระบบปรับ อากาศ(Kw.h.)	ค่าOTTVที่ลดลง(%)
อาคารเดิม	4,073	1,350	4,776	--
ปรับลดพื้นที่ กระจก	3,922	1,199	4,698	3.28

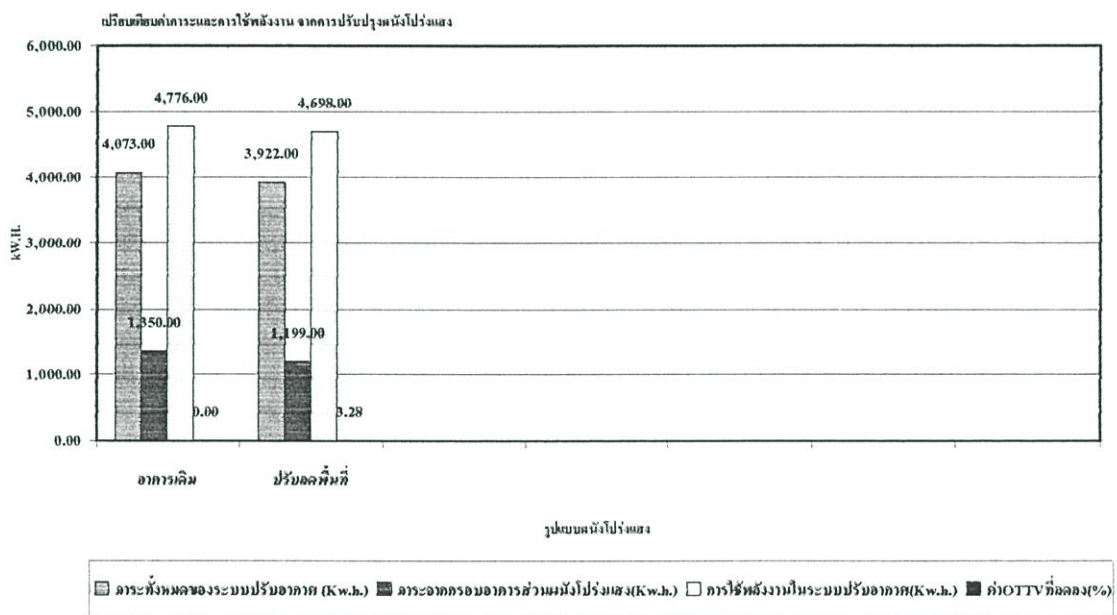
ตารางที่ 5.21 แสดงค่า OTTV เฉพาะในส่วนของผนังโปร่งแสงจากการปรับปรุงผนังโปร่งแสงทางเลือกที่ 3

รูปแบบ	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียง เหนือ
อาคารเดิม	129.56	161.22	175.63	171.62	172.79	156.92
ปรับลดพื้นที่ กระจก	129.85	161.22	176.26	171.02	172.02	156.92

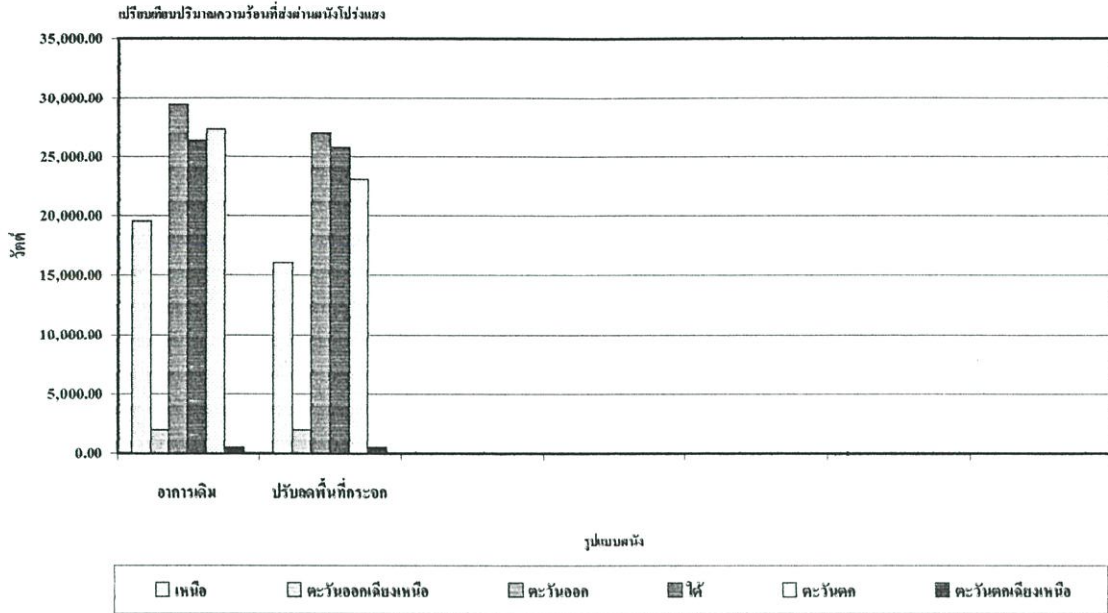
ตารางที่ 5.22 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสงในแต่ละด้านจากการปรับปรุงผนังโปร่งแสงทางเลือกที่ 3

รูปแบบ	เหนือ	ตะวันออก เฉียงเหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียง เหนือ
อาคารเดิม	19,602.12	1,934.65	29,365.31	26,394.45	27,300.86	470.76
ปรับลดพื้นที่ กระจก	16,063.04	1,934.65	27,038.27	25,773.07	23,067.98	470.76

จากการทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร โดยการลดพื้นที่ผนังโปร่งแสงนั้น จะเห็นว่ามีค่าลดลงเพียง  $2.71 \text{ W/m}^2$  ซึ่งมีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับแนวทางอื่นๆ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพื้นที่ที่ทำการปรับลดมีค่าน้อยเกินไปทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่ส่งผ่านเข้าสู่อาคารมีค่าแตกต่างจากเดิมไม่มากนัก ส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้เมื่อเทียบต่อวันแล้ว พบว่า การใช้พลังงานที่ลดลง มีค่า  $0.85 \text{ kWh}$  หรือ  $7.73 \text{ kW./วัน}$  แต่ทั้งนี้หากมีการปรับลดพื้นที่ผนังกระจกภายนอกที่มากเกินไปก็จะทำให้ส่งผลต่อรูปแบบภายนอกของอาคารและส่งผลต่อการนำเสนอแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคารได้

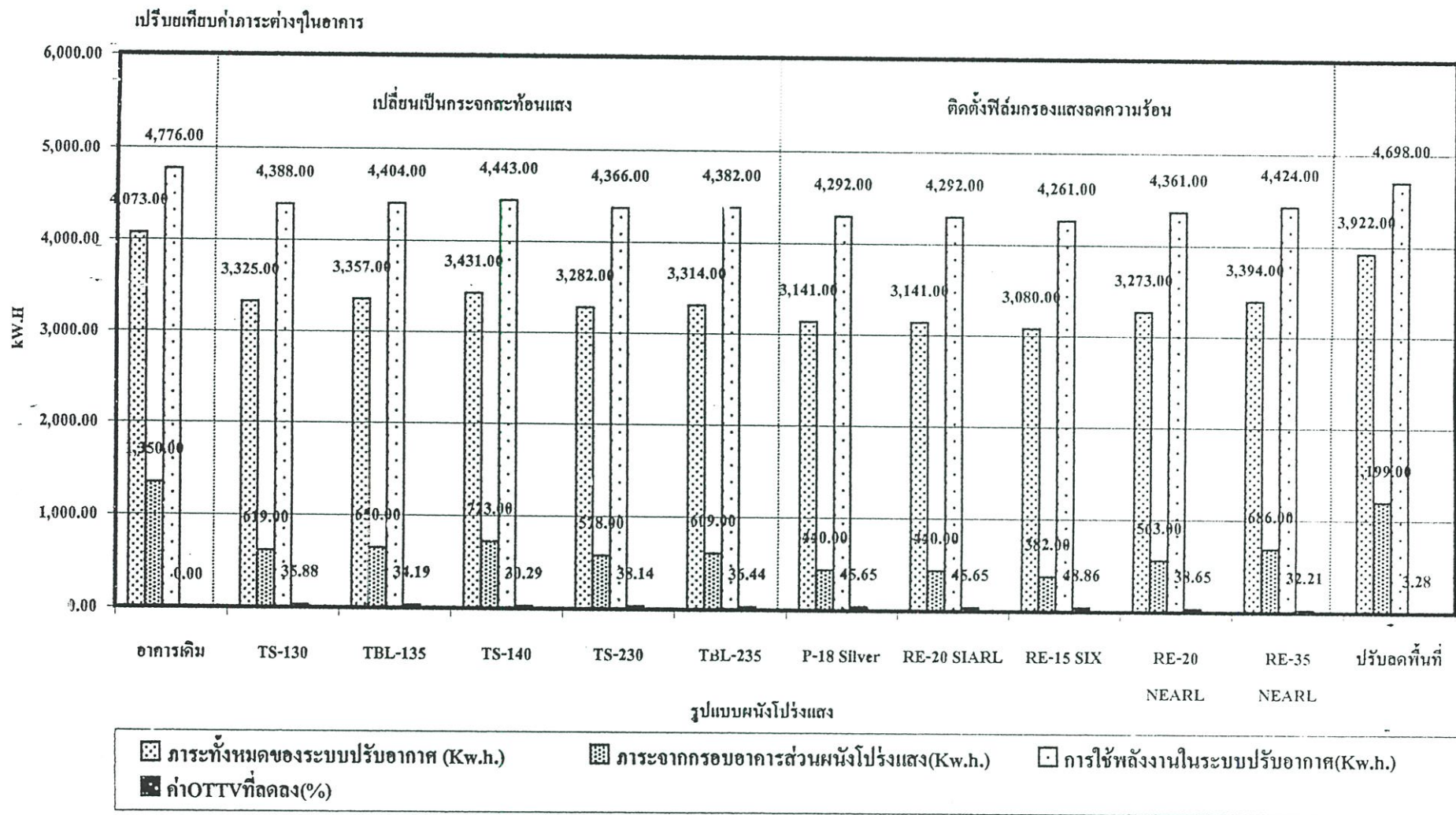


รูปที่ 5.19 แสดงภาระของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานในอาคารจากการปรับปรุงผนังโปร่งแสงทางเลือกที่ 3



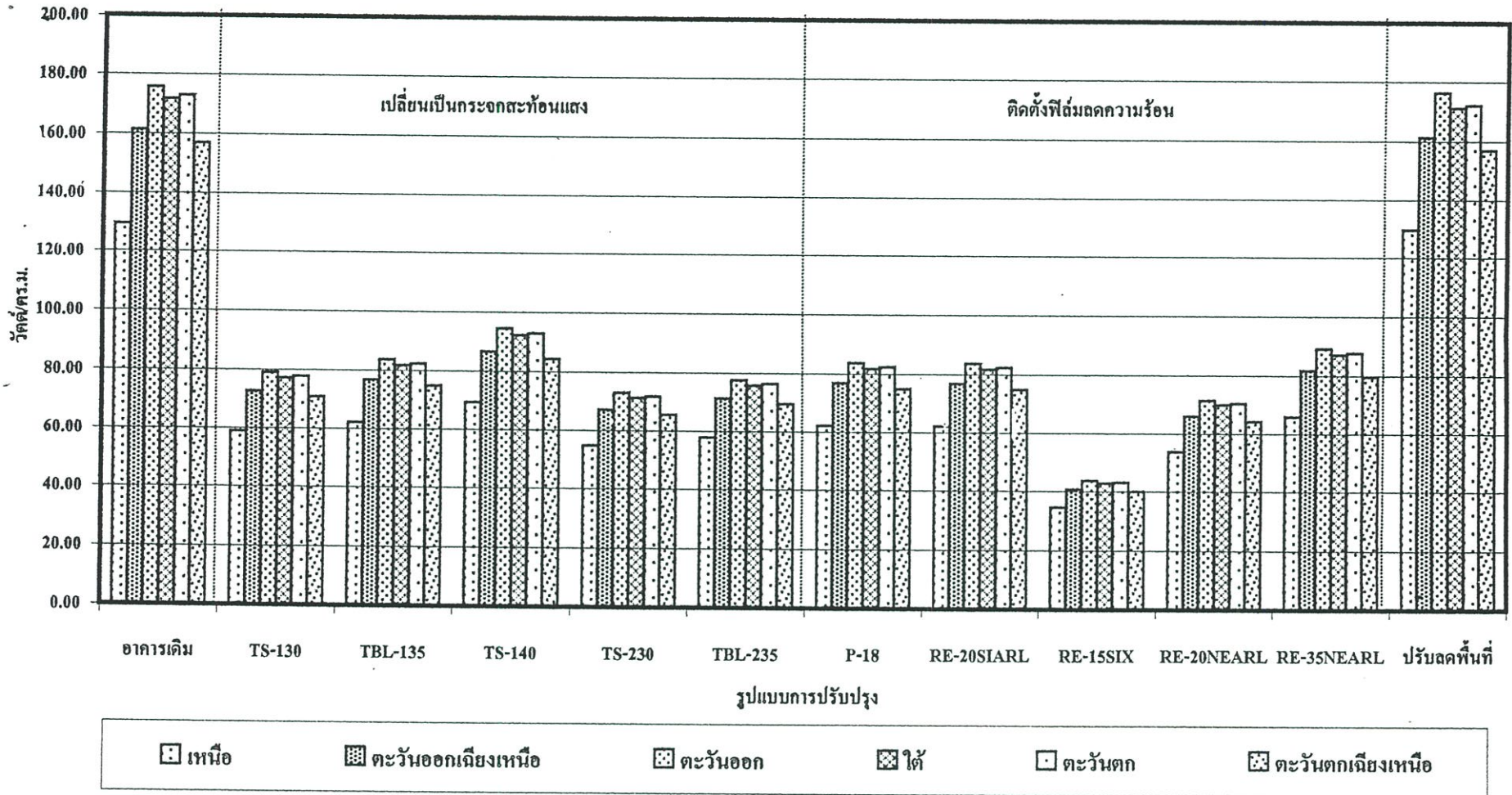
**รูปที่ 5.20** แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง โปรงแสงในแต่ละด้านจากการปรับปรุงผนัง โปรงแสงทางเลือกที่ 3

จากแนวทางการปรับปรุงผนัง โปรงแสงทั้ง 3 แนวทางนี้ จะเห็นว่าทั้ง 3 แนวทางมีข้อดี-ข้อเสียที่ต่างกัน ไป และมีข้อจำกัดในทางปฏิบัติที่ต่างกันเช่นกัน เมื่อวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมในการปรับปรุง เช่นการส่งผลกระทบต่ออาคาร ต่อผู้ใช้อาคาร ตลอดจนเทคนิคการทำงาน และที่สำคัญคือคุณสมบัติทางด้านการป้องกันความร้อนให้กับผนัง โปรงแสงแล้ว เห็นว่า “แนวทางที่เหมาะสมที่สุดคือ แนวทางที่ 2 การติดตั้งฟิล์มกรองแสงลดความร้อนบนกระจกใสเคม ” เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนผนัง โปรงแสง

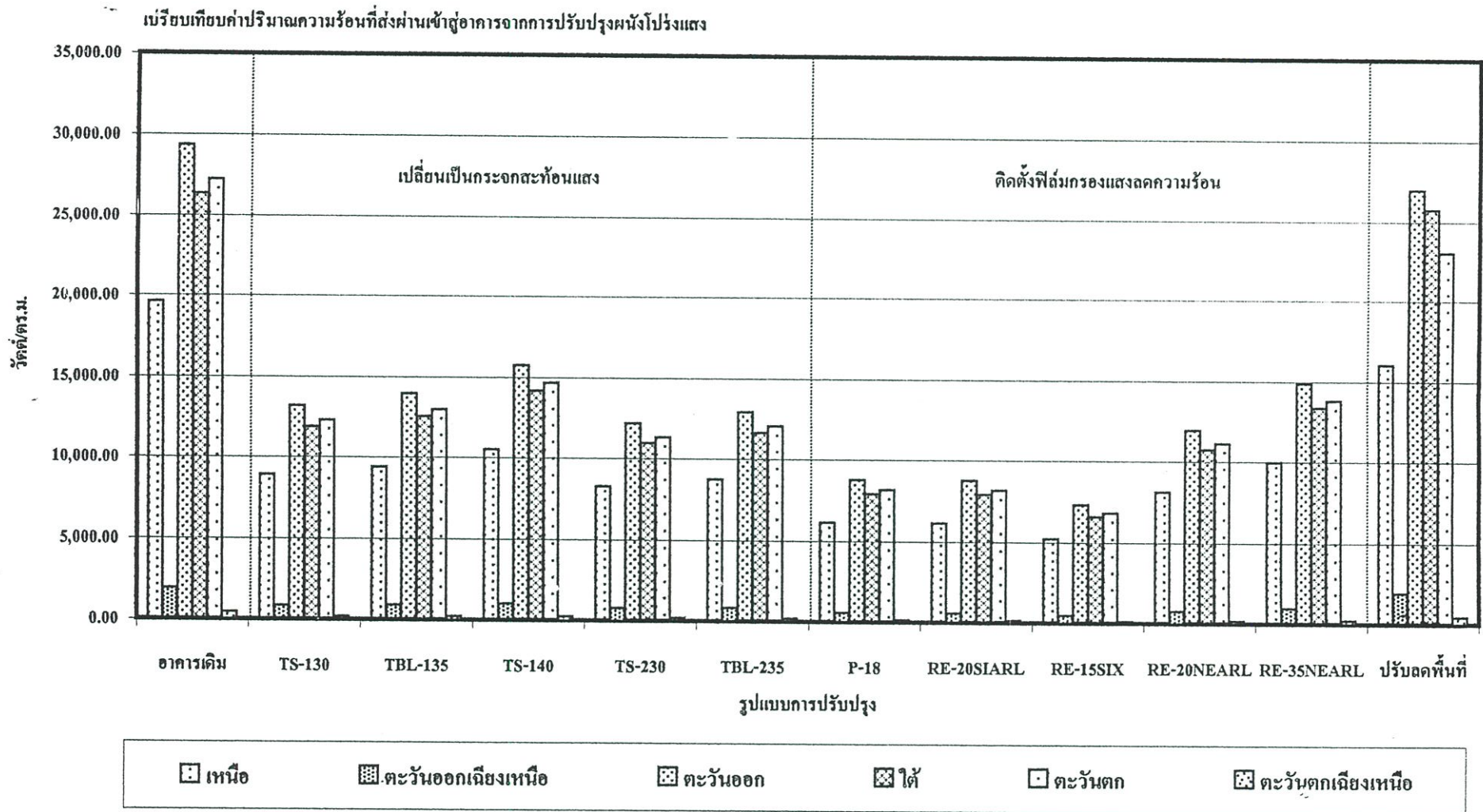


รูปที่ 5.21 สรุปค่าภาระต่างๆในอาคารจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสงในทุกทางเดิน

เปรียบเทียบค่า OTTV จากการปรับปรุงผนังโปร่งแสง



รูปที่ 5.22 สรุปค่า OTTV จากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสงในทุกทางเลือก



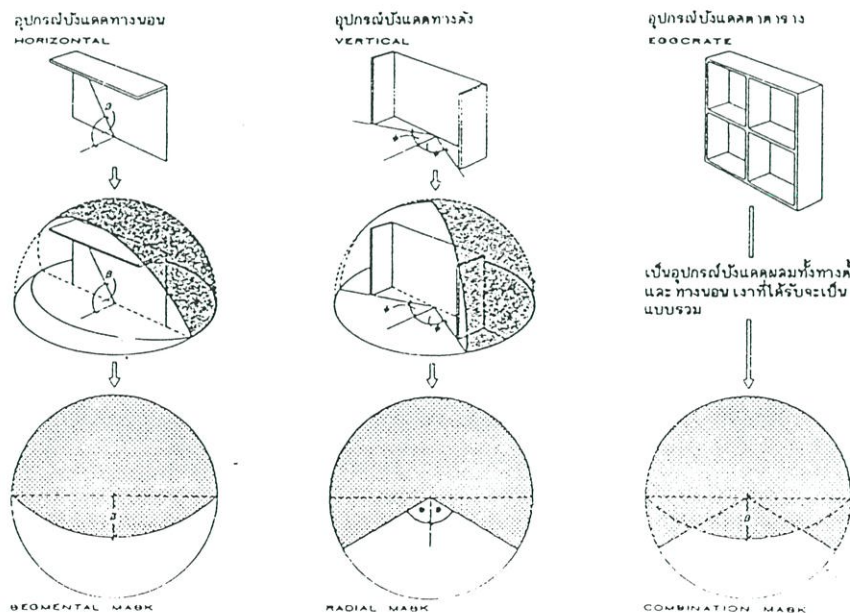
รูปที่ 5.23 สรุปค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังจากการปรับปรุงผนัง โปร่งแสง ในทุกทางเลือก

### 5.3.3 แนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนอุปกรณ์บังแดด

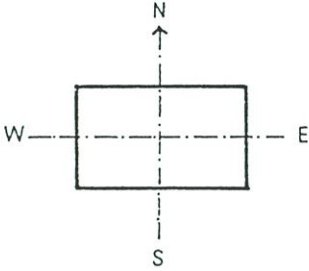
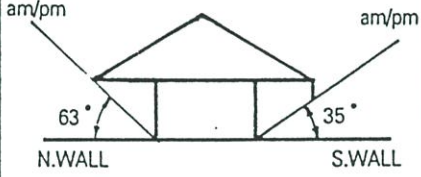
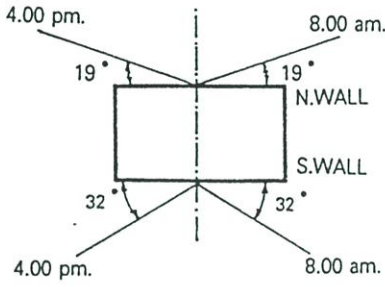
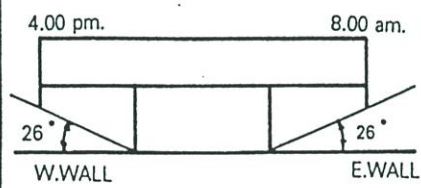
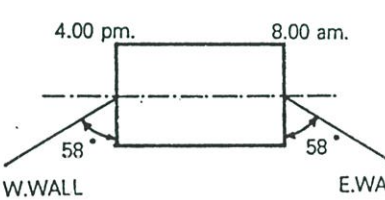
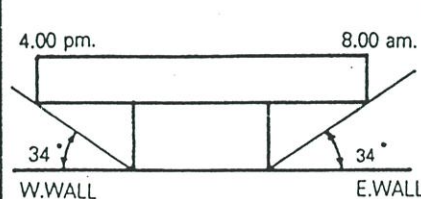
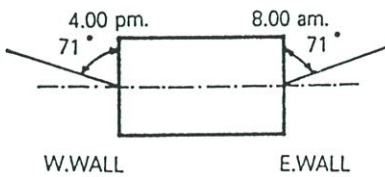
การปรับปรุงในส่วนอุปกรณ์บังแดดนั้น มีจุดประสงค์เพื่อป้องกันแสงแดดและการซัดสาดของฝนไม่ให้เข้าสู่ภายในอาคารหรือทางช่องเปิดที่อยู่ภายนอกอาคาร โดยทั่วไปลักษณะของอุปกรณ์บังแดดจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. อุปกรณ์บังแดดทางนอน
2. อุปกรณ์บังแดดทางตั้ง
3. อุปกรณ์บังแดดแบบตาราง

การวิเคราะห์ในส่วนอุปกรณ์บังแดด จะทำการวิเคราะห์โดยยึดตำแหน่งที่ Latitude  $14^{\circ}\text{N}$  เป็นจุดอ้างอิง ตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.5.4 จากการวิเคราะห์การใช้งานอุปกรณ์บังแดดในอาคารกรณีศึกษาพบว่า องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์บังแดดนั้น มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ ไม่สามารถทำหน้าที่บังแดดให้กับผนังอาคารโปร่งแสงได้ ทำให้ผนังอาคารได้รับอิทธิพลจากแสงแดดอยู่ตลอดในแต่ละช่วงเวลาที่ผนังนั้นๆ โคนแสงแดด การปรับปรุงอุปกรณ์บังแดดจึงต้องพิจารณาถึงด้านที่โคนแสงแดดในปริมาณที่มาก คือ ผนังทางด้านทิศตะวันออก ตะวันตก และทิศใต้ ทำให้มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารค่อนข้างมาก ส่วนผนังด้านทิศเหนือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือ นั้นได้รับอิทธิพลจากแสงแดดน้อยกว่าทิศอื่นๆ ทั้ง 3 ด้านที่กล่าวไว้แล้ว



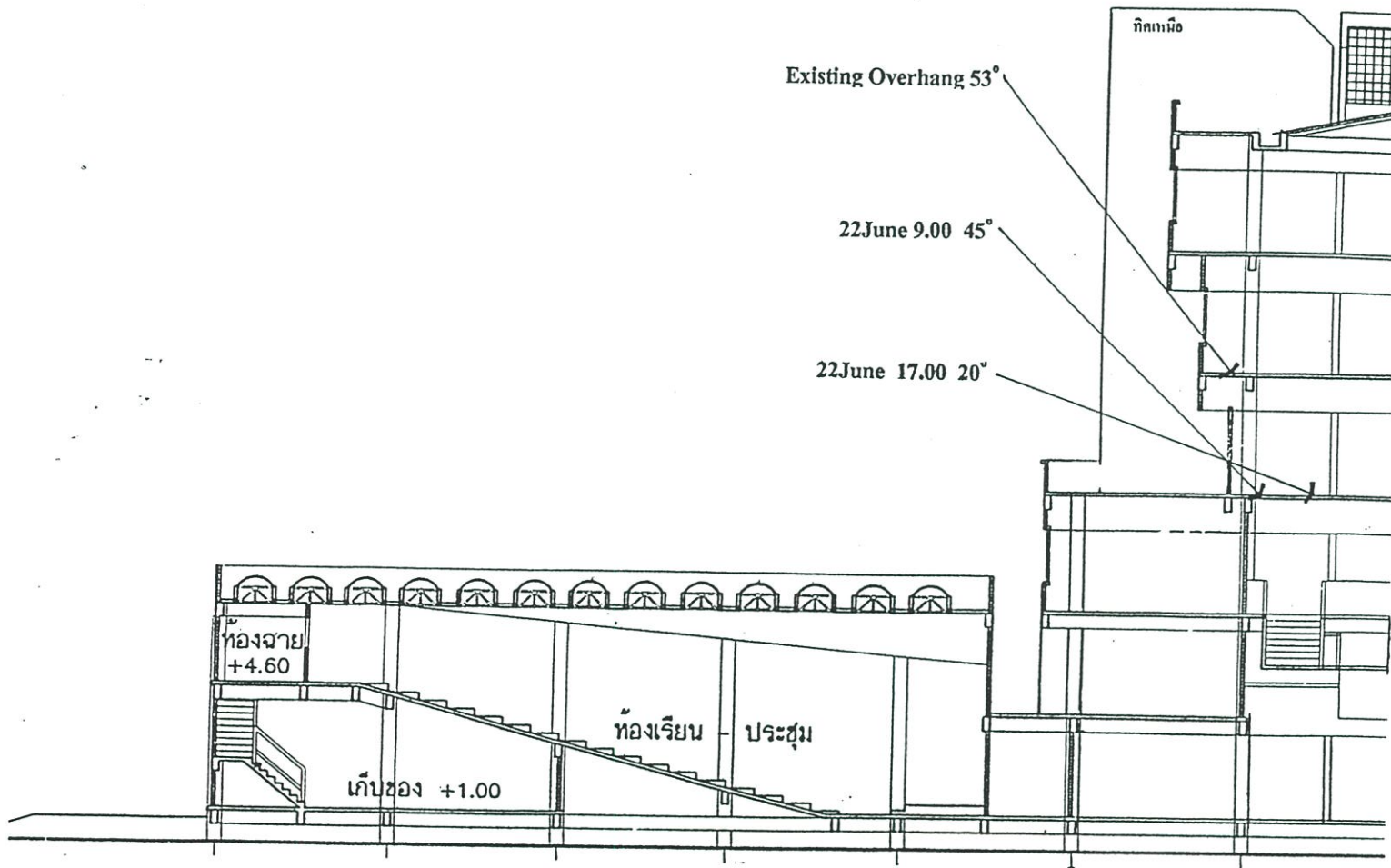
รูปที่ 5.24 แสดงลักษณะและรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดทั้ง 3 ชนิดและการเกิดเงา

ORIENTATION	PROFILE ANGLES-SECTION	BEARINGS OF THE SUN-PLAN
	<p>JUNE DEC.</p> 	<p>JUNE</p>  <p>DEC.</p>
	<p>DEC. DEC.</p>  <p>MIN. PROFILE</p>	 <p>DEC.</p>
	<p>JUNE JUNE</p>  <p>MAX. PROFILE</p>	

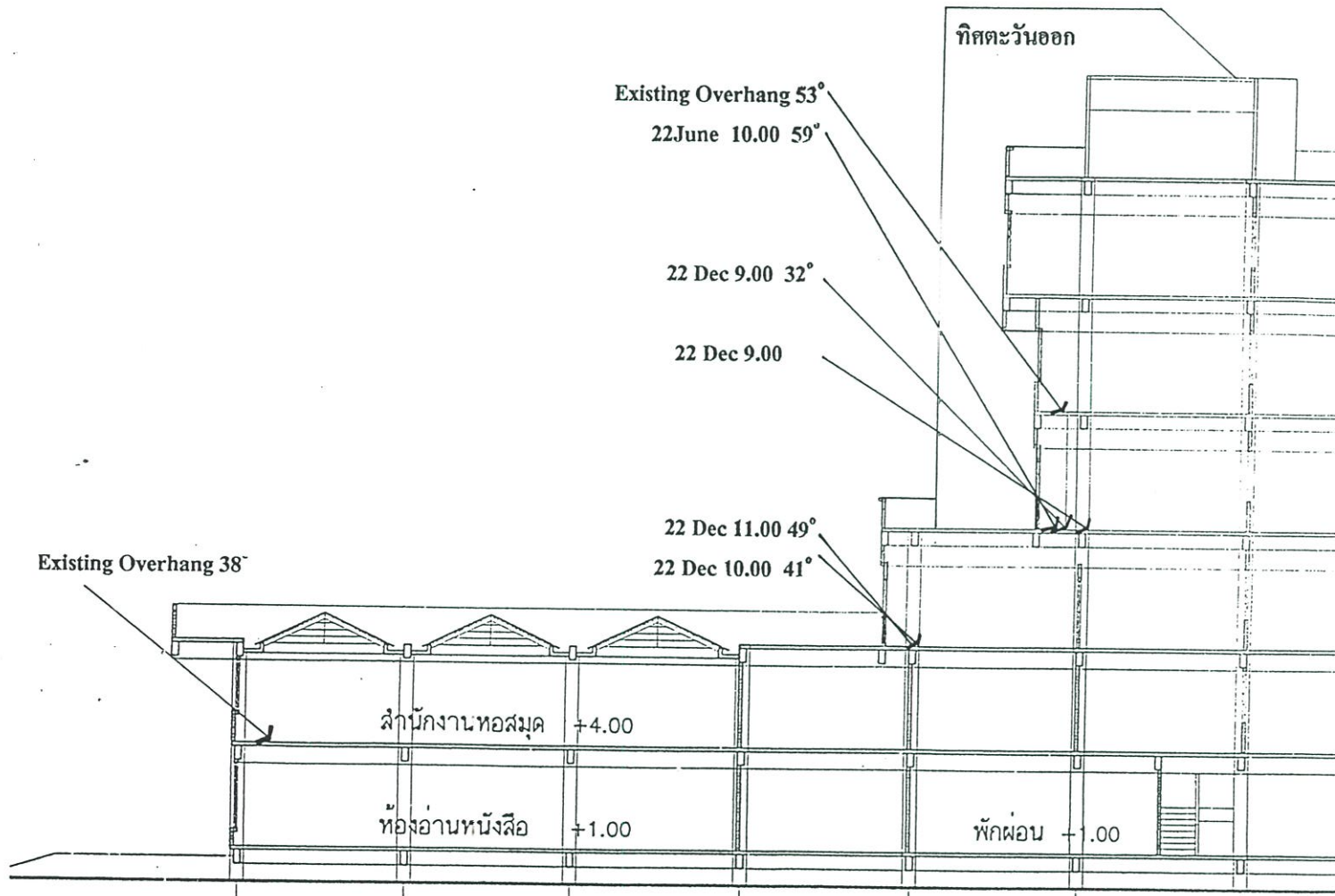
รูปที่ 5.25 แสดงค่ามุมของดวงอาทิตย์ระหว่างเวลา 8.00-16.00 น.ที่ Latitude 14°

ORIENTATION	PROFILE ANGLES-SECTION		BEARINGS OF THE SUN-PLAN
	<p>JUNE DEC.</p>	<p>JUNE DEC.</p>	
	<p>DEC. JUNE</p> <p>MIN. PROFILE</p>	<p>DEC. JUNE</p>	
	<p>JUNE DEC.</p> <p>MAX. PROFILE</p>	<p>JUNE DEC.</p>	

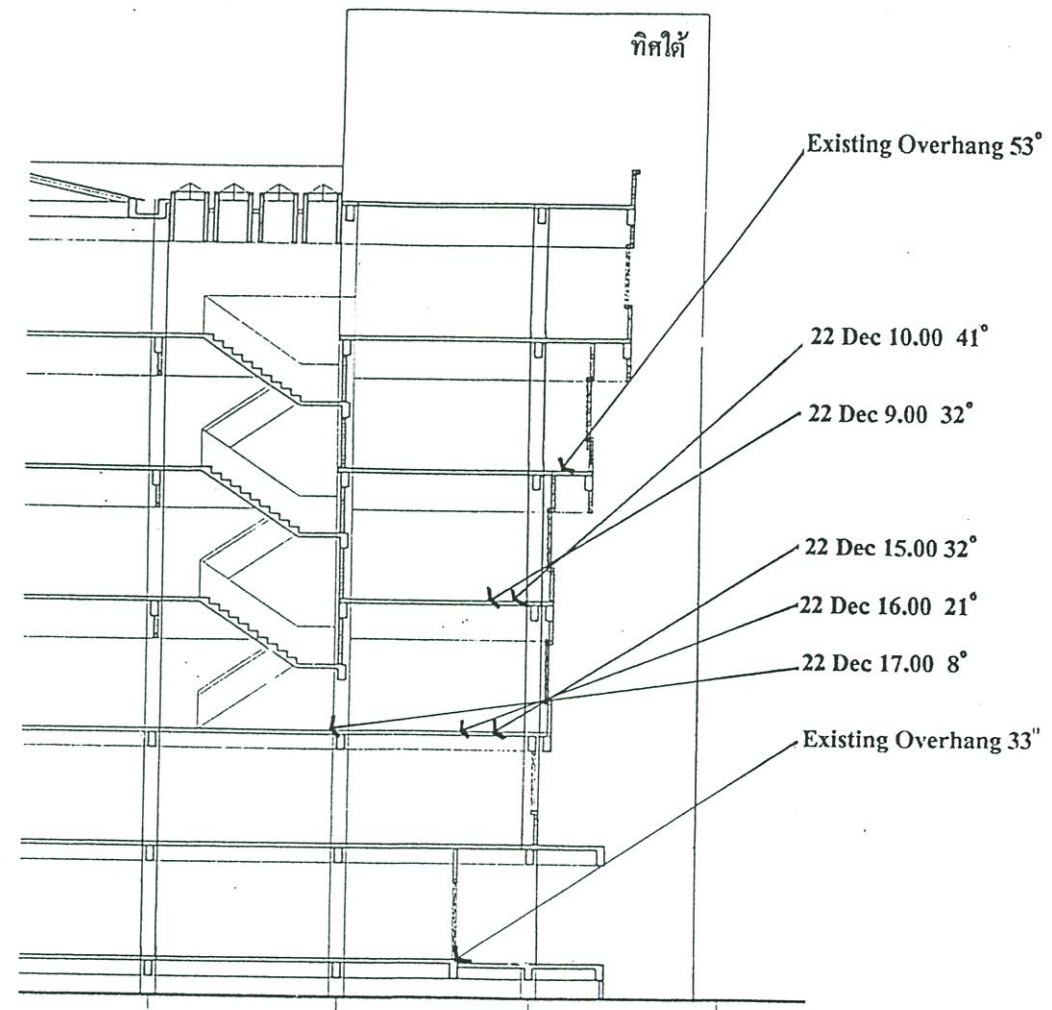
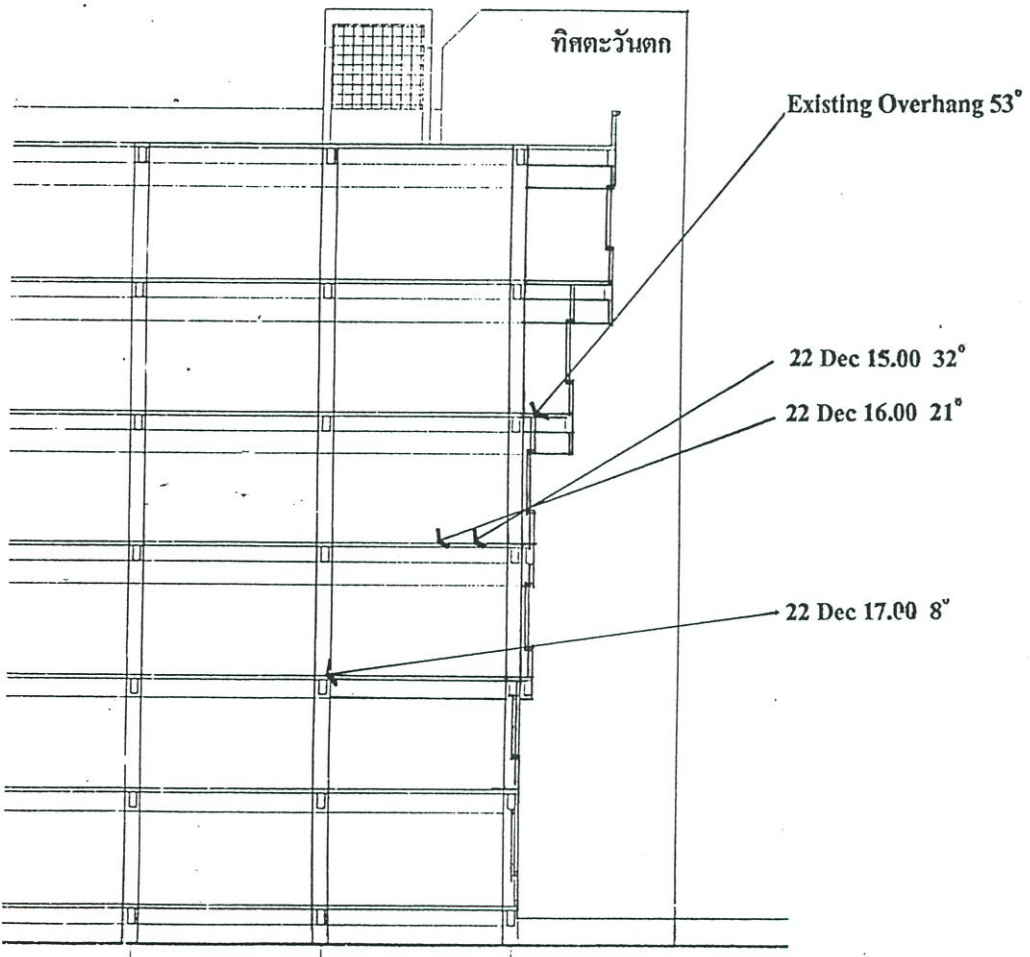
รูปที่ 5.25 แสดงค่ามุมของดวงอาทิตย์ระหว่างเวลา 8.00-16.00 น.ที่ Latitude 14° (ต่อ)



รูปที่ 5.26 แสดงค่ามุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับผนังอาคารในแต่ละด้าน



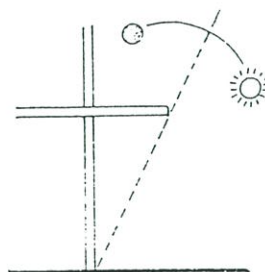
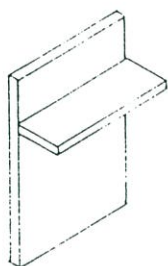
รูปที่ 5.26 แสดงค่ามุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับผนังอาคารในแต่ละด้าน (ต่อ)



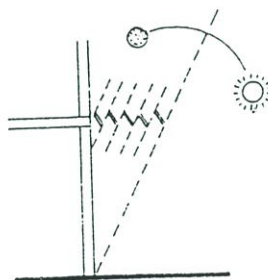
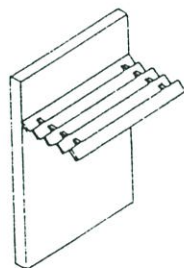
รูปที่ 5.26 แสดงค่ามุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับผนังอาคารในแต่ละด้าน (ต่อ)

ส่วนผนังที่เหลืออีก 2 ด้าน คือ ผนังด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และตะวันตกเฉียงเหนือ นั้น ไม่มีอุปกรณ์บังแดดใดๆทำให้ผนังทั้ง 2 ด้านนี้ได้รับอิทธิพลจากแสงแดดตลอดช่วงเวลาที่ต้องการอาทิตย์ทำมุมกับผนัง 2 ด้าน แต่เป็นช่วงระยะเวลาที่ไม่ยาวนานนักประกอบกับผนังด้านนี้มีพื้นที่ไม่มาก ทำให้ค่าความร้อนที่ส่งผ่านเข้าสู่ผนังมีผลต่ออาคารน้อยกว่า

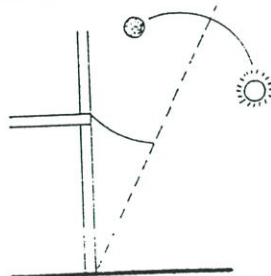
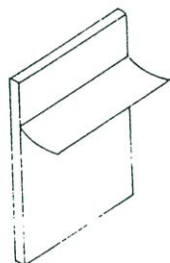
การยื่นชายคาทางนอนทางด้านทิศใต้จะมีผลในการกันแดดได้ดี



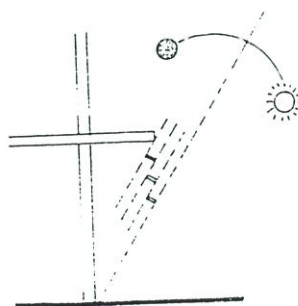
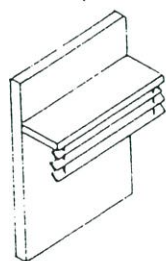
บานเกล็ดจะช่วยให้ลมผ่านไปได้



ผ้าใบยังเป็น Canopies กันแดดได้เช่นเดียวกับการยื่นชายคาแต่น้ำหนักเบา

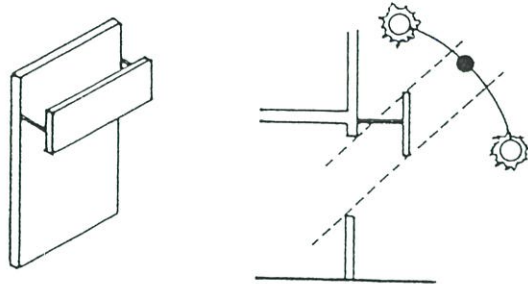


สำหรับการป้องกันแดดที่ทอดในมุมต่ำ การทำบานเกล็ดห้อยลงมาจากชายคาจะได้ผลดี

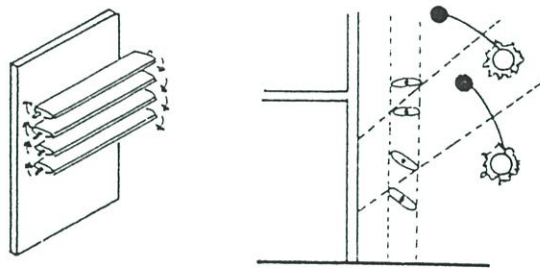


รูปที่ 5.27 แสดงรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดแบบต่างๆ

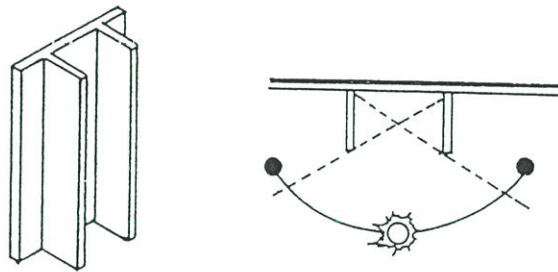
แผ่นบังแดดยื่นลอยขนานกับผนังสามารถบังแดดได้เช่นเดียวกัน



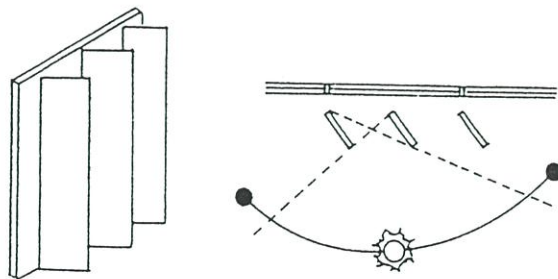
บานเกล็ดหมุนปรับมุมได้ตามแนวอนบังเงาได้ตลอดเวลา



พินตั้งตรงทางด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกกันแดดได้ดี

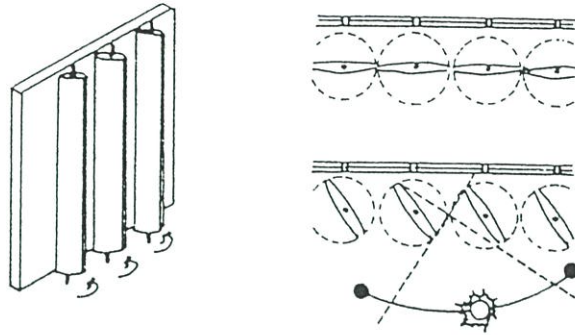


พินตั้งฉากห่างจากผนังกันความร้อนได้ดี

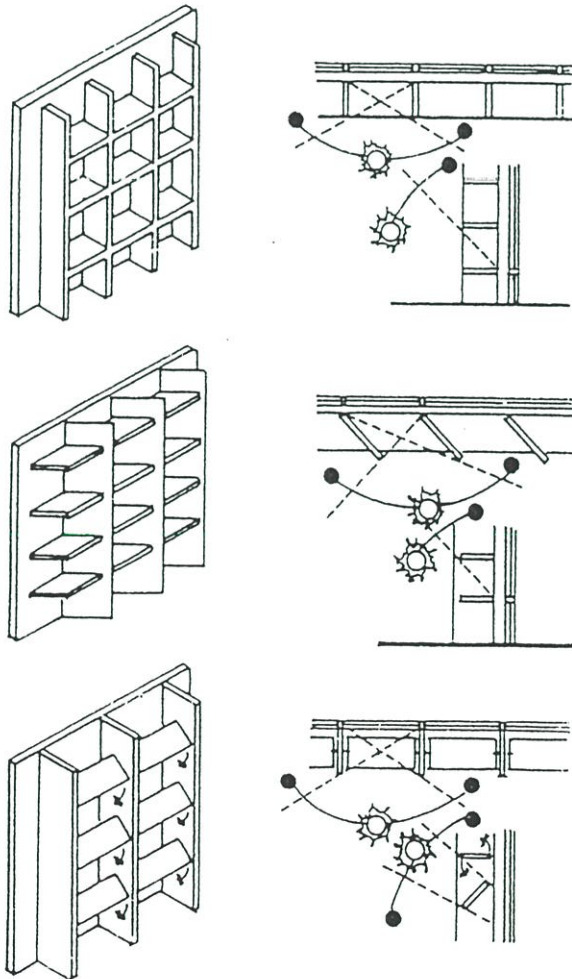


รูปที่ 5.27 แสดงรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดแบบต่างๆ (ต่อ)

พื้นหมุนปรับมุมได้สาม ระดับบังแดดได้ตลอดยี่สิบ



แผงบังแดดชนิดตาตารางกันแดดได้มากขึ้น เหมาะกับประเทศในเขตร้อน



รูปที่ 5.27 แสดงรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดแบบต่างๆ (ต่อ)

ในส่วนการเลือกใช้วัสดุที่จะนำมาประกอบเป็นอุปกรณ์บังแดดนั้น อาคารกรณีศึกษาเป็นอาคารเก่า การพิจารณาถึงรูปแบบและลักษณะของอุปกรณ์บังแดดที่จะติดตั้งในอาคารนั้นจึงมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ ทั้งนี้ควรต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ โดยมีการพิจารณาดังนี้

1. มีความแข็งแรง ทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน
2. น้ำหนักเบา ง่ายต่อการติดตั้งและการใช้งาน ไม่สิ้นเปลืองในส่วน โครงสร้างเพิ่มเติม
3. มีคุณสมบัติช่วยป้องกันการสะสมความร้อนในเนื้อวัสดุ และช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร
4. การบำรุงรักษาที่ต่ำ หรือ ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก

ตารางที่ 5.23 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นอุปกรณ์บังแดดในอาคาร

ชนิดวัสดุ	ข้อดี	ข้อเสีย
1. คอนกรีตเสริมเหล็ก	มีความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ทำเป็นอุปกรณ์บังแดดได้หลากหลายรูปแบบ	น้ำหนักมาก และต้องจัดทำโครงสร้างเพิ่มเติม ยุ่งยากในการก่อสร้าง ใช้เวลาในการทำงานมาก ราคาสูง
2. โลหะ หรือ อลูมิเนียม	น้ำหนักเบากว่า การติดตั้งง่ายใช้ระยะเวลาไม่นาน เป็นวัสดุสำเร็จรูป การดูแลรักษาง่าย สามารถทำเป็นอุปกรณ์บังแดดได้หลากหลายรูปแบบ ให้ความสวยงาม แลดูทันสมัย	ราคาสูง การติดตั้งใช้ความประณีต
3. โฟมบอร์ดกลาส หรือ โพลีกลาส	มีความคงทนแข็งแรง การป้องกันแสงแดดและความร้อนได้ดี สามารถทำเป็นอุปกรณ์บังแดดได้หลากหลายรูปแบบ	การติดตั้งต้องทำแบบหล่อ ยุ่งยากในการติดตั้ง หากเป็นวัสดุที่คุณภาพไม่ดี เมื่อโดนความร้อนสูง จะแตกร้าว เปลี่ยนสี และอาจจะไหม้เป็นรอยดำ
4. กระเบื้องกระชายหรือแอสเบสทอส	น้ำหนักเบา ราคาถูก ทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ง่ายต่อการติดตั้ง	เปราะบาง และแตกหักง่ายเมื่อได้รับแรงกระแทก ไม่เหมาะหากจะใช้เป็นส่วนตกแต่งอาคาร

ที่มา: ธวัชชัย จันทร์สุขเศรษฐ์ , กรอบอาคารพักอาศัยประเภทอาคารสูงในกรุงเทพฯ กับการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ , วิทยานิพนธ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง , 2541

จากการพิจารณา Shading Mask ที่เกิดขึ้นในอาคารกรณีศึกษา นั้นจะเห็นว่ามุมสมมุติที่องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม ทำกับผนังโปร่งแสง มีค่า 53 องศา ระยะยื่นที่เป็นอุปกรณ์บังแดดทางนอนจะยื่นออกมา 1.00 ม. ทำให้การเกิดเงาหรือ Shading ที่เกิดขึ้นนั้นจะช่วยบังแสงแดดให้กับผนังอาคารในช่วงเวลาที่ไม่มากนักในแต่ละช่วง เนื่องจากมุม Altitude ที่มากทำให้ระยะยื่นนั้นมีความ

ยาวไม่มากพอที่จะทำหน้าที่บังแดดให้อาคาร จึงต้องมีการพิจารณาค่ามุมที่เหมาะสม เพื่อนำมาออกแบบอุปกรณ์บังแดดให้กับอาคาร

### 5.3.3.1 รูปแบบอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมสำหรับอาคาร

#### 5.3.3.1.1 อาคารที่มีช่องเปิดทางทิศเหนือ

ช่องแสงที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด ไม่สามารถป้องกันการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนมิถุนายนได้ โดยเฉพาะในวันที่ 22 มิถุนายน(summer soltic) เวลา 12.00 น.(solar noon) เนื่องจากในวัน เวลาดังกล่าว ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่ง Azimuth ที่  $180^{\circ}$  และ Altitude ที่  $80^{\circ}$  ทำให้เกิดปัญหาการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์ และปัญหาความร้อนที่เข้าสู่อาคารด้วย

ลักษณะอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมในด้านนี้ คือ อุปกรณ์บังแดดในแนวนอน การพิจารณา ระยะยื่นและความถี่ นั้นเห็นว่า อุปกรณ์บังแดดแนวนอนชั้นเดียว และมีระยะยื่น 1.20 ม. เพียงพอต่อการป้องกันการส่องสว่างโดยตรงได้ หากใช้อุปกรณ์ที่มีระยะยื่นมากกว่านี้ จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานจากแสงประดิษฐ์มากขึ้น และไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์บังแดดหลายตัวประกอบกัน เพราะจะบดบังทัศนียภาพ และมุมมองจากภายในอาคาร

#### 5.3.3.1.2 อาคารที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันออก

รูปแบบอุปกรณ์บังแดดทางด้านทิศตะวันออกที่สามารถป้องกันการส่องสว่างโดยตรงในช่วงเดือนมีนาคม และกันยายน (Equinox) ในช่วงเวลา 8.00 น. เนื่องจากในวันเวลาดังกล่าว ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่ง Azimuth ที่  $90^{\circ}$  และ Altitude ที่  $31^{\circ}$  ซึ่งเป็นมุมที่ต่ำมาก ดังนั้นรูปแบบอุปกรณ์ที่เหมาะสมคืออุปกรณ์บังแดดในแนวนอนที่มีระยะยื่นหลายๆ หรือการใช้อุปกรณ์ที่มีหลายตัวประกอบกัน จะสามารถป้องกันการส่องสว่างโดยตรงได้ ทั้งนี้ การออกแบบต้องคำนึงถึงมุมที่สัมพันธ์กับตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์ ระยะยื่น และความถี่ที่เหมาะสม ทั้งนี้หากใช้อุปกรณ์บังแดดที่มีระยะยื่นมากเกินไป หรือหลายชั้นเกินไป จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานจากแสงประดิษฐ์มากขึ้นโดยไม่จำเป็น

#### 5.3.3.1.3 อาคารที่มีช่องเปิดทางทิศใต้

ในการออกแบบอุปกรณ์บังแดดในด้านทิศใต้ ควรคำนึงถึงตำแหน่งดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนธันวาคม มากที่สุด เพราะเป็นช่วงที่แนวการโคจรจะย้อมไปทางทิศใต้มากที่สุด วันที่ 22 ธันวาคม (winter soltic) เวลา 8.00 น. ดวงอาทิตย์จะอยู่ที่ Altitude ที่  $22^{\circ}$  และในเวลา 12.00 น. (solar noon) ดวงอาทิตย์จะอยู่ที่ตำแหน่ง Azimuth ที่  $0^{\circ}$  และ Altitude ที่  $54^{\circ}$  ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุดที่ดวงอาทิตย์ทำกับช่องเปิดด้านทิศใต้ ทำให้เกิดปัญหาการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์ และปัญหาความร้อนที่เข้าสู่อาคารด้วย

ลักษณะอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมในด้านนี้ คือ อุปกรณ์บังแดดในแนวนอน การพิจารณา ระยะยื่นและความถี่ นั้นเห็นว่า อุปกรณ์บังแดดแนวนอนชั้นเดียว และมีระยะยื่นที่เพียงพอต่อการป้องกันการส่องสว่างโดยตรงได้ หากใช้อุปกรณ์ที่มีระยะยื่นมากกว่านี้ จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

จากแสงประดิษฐ์มากขึ้น และไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์บังแดดหลายตัวประกอบกัน เพราะจะบดบังทัศนียภาพ และมุมมองจากภายในอาคาร

#### 5.3.3.1.4 อาคารที่มีช่องเปิดทางทิศตะวันตก

รูปแบบอุปกรณ์บังแดดทางด้านทิศตะวันตกที่สามารถป้องกันการส่องสว่างโดยตรงนั้น จะเป็นไปในรูปแบบเดียวกันกับทางทิศตะวันออก เพียงแต่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ตรงกันข้ามกัน รูปแบบอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมจึงมีลักษณะที่คล้ายกัน

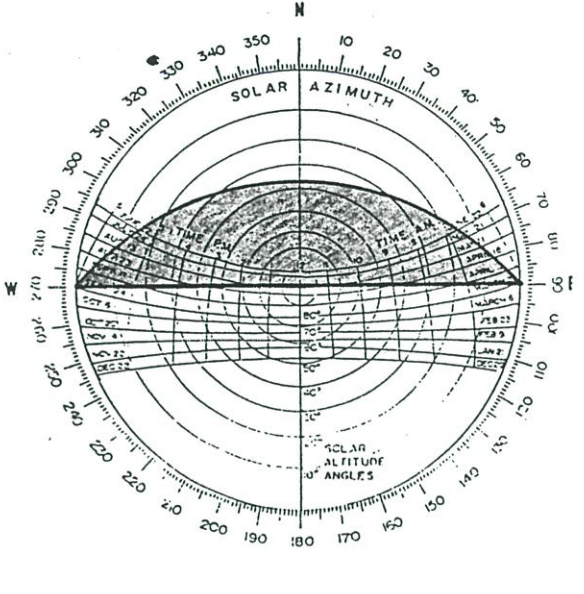
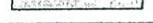
ตารางที่ 5.24 แสดงการวิเคราะห์การหาค่ามุม Solar Altitude Angle เพื่อหาระยะยื่นของอุปกรณ์บังแดด

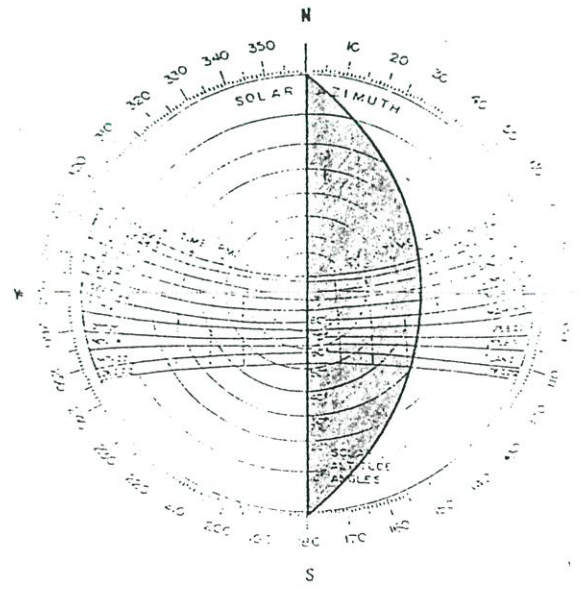

ทิศทางผนัง	มุม Solar Altitude Angle	การป้องกันแสงแดดให้ผนังอาคาร
ทิศเหนือ	45	7.00 - 17.00 ตลอดทั้งปี
ทิศตะวันออก	45	9.00 - 12.00 ตลอดทั้งปี
ทิศใต้	45	8.30 - 15.00 ตลอดทั้งปี
ทิศตะวันตก	45	12.00 - 16.00 ตลอดทั้งปี

เนื่องจากลักษณะการโคจรของดวงอาทิตย์และทิศทางของอาคารในทิศต่างๆทำให้ค่าของมุม Solar Altitude นั้นมีค่าต่างกันออกไปในแต่ละด้าน การพิจารณาเลือกใช้มุมใดมุมหนึ่งเพื่อให้เหมาะสมกับอาคารในทุกๆด้านในอาคาร โดยไม่ทำให้รูปแบบภายนอกของอาคารเสียไปจากการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด จึงเลือกใช้มุม 45° เพื่อให้สามารถใช้ได้กับทุกๆด้านของอาคาร โดยมุม 45° นั้นจะมีระยะยื่นของอุปกรณ์บังแดด 1.50 ม. ส่วนบริเวณที่จะทำการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดคือบริเวณหน้าต่างในชั้นที่ 1 ด้านทิศตะวันตก หน้าต่างชั้นที่ 2 ทุกด้าน และหน้าต่างชั้นที่ 5 ทุกด้าน โดยรวมความยาวของอุปกรณ์บังแดดที่จะทำการติดตั้งทั้งหมด ประมาณ 200 เมตร อุปกรณ์บังแดดที่ทำการติดตั้งนั้นสามารถป้องกันแสงแดดให้กับพื้นที่หน้าต่างได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ และจากมุมที่กำหนดนั้นสามารถแสดงการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดและรูปแบบของ Shading Mask ที่เกิดขึ้น ดังตาราง 5.25

ตารางที่ 5.25 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน หลังการติดตั้ง

อุปกรณ์บังแดด

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ทิศเหนือ	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																		
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
	22มิถุนายน																		
	21พ.ค.และ24ก.ค.																		
	1พ.ค.และ13 ส.ค.																		
	16เม.ย.และ23ส.ค.																		
	3เม.ย.และ11ก.ย.																		
	21มี.ค.และ24ก.ย.																		
	8มี.ค.และ6ต.ค.																		
	23ก.พ.และ20ค.ค.																		
	8ก.พ.และ4พ.ย.																		
	21ม.ค.และ22พ.ย.																		
	22ธันวาคม																		
	เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก											100	เปอร์เซ็นต์ คอปี						
	เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบโดยตรง												เปอร์เซ็นต์ คอปี						
 เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบ โดยตรงกับผนัง																			
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)	ตำแหน่ง ผนังอาคาร โปรงแสงทั่วไป มุม 45 องศา																		

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ทิศตะวันออก	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																		
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19			
	22มิถุนายน																		
	21พ.ค.และ24ก.ค.																		
	1พ.ค.และ13 ส.ค.																		
	16เม.ย.และ23ส.ค.																		
	3เม.ย.และ11ก.ย.																		
	21มี.ค.และ24ก.ย.																		
	8มี.ค.และ6ต.ค.																		
	23ก.พ.และ20ค.ค.																		
	8ก.พ.และ4พ.ย.																		
	21ม.ค.และ22พ.ย.																		
	22ธันวาคม																		
	เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก											100	เปอร์เซ็นต์ คอปี						
	เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบโดยตรง												เปอร์เซ็นต์ คอปี						
 เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบ โดยตรงกับผนัง																			
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)	ตำแหน่ง ผนังอาคาร โปรงแสงทั่วไป มุม 45 องศา																		

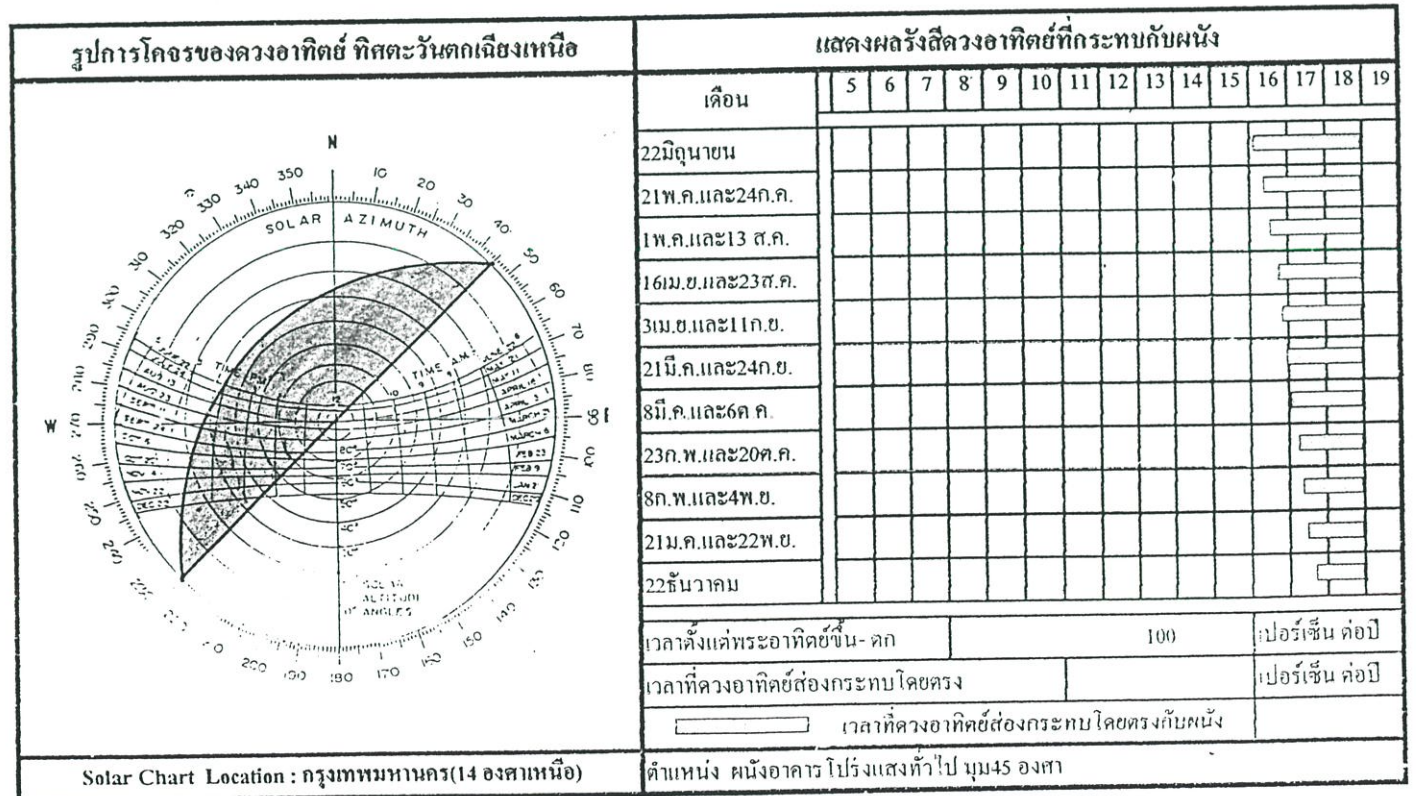
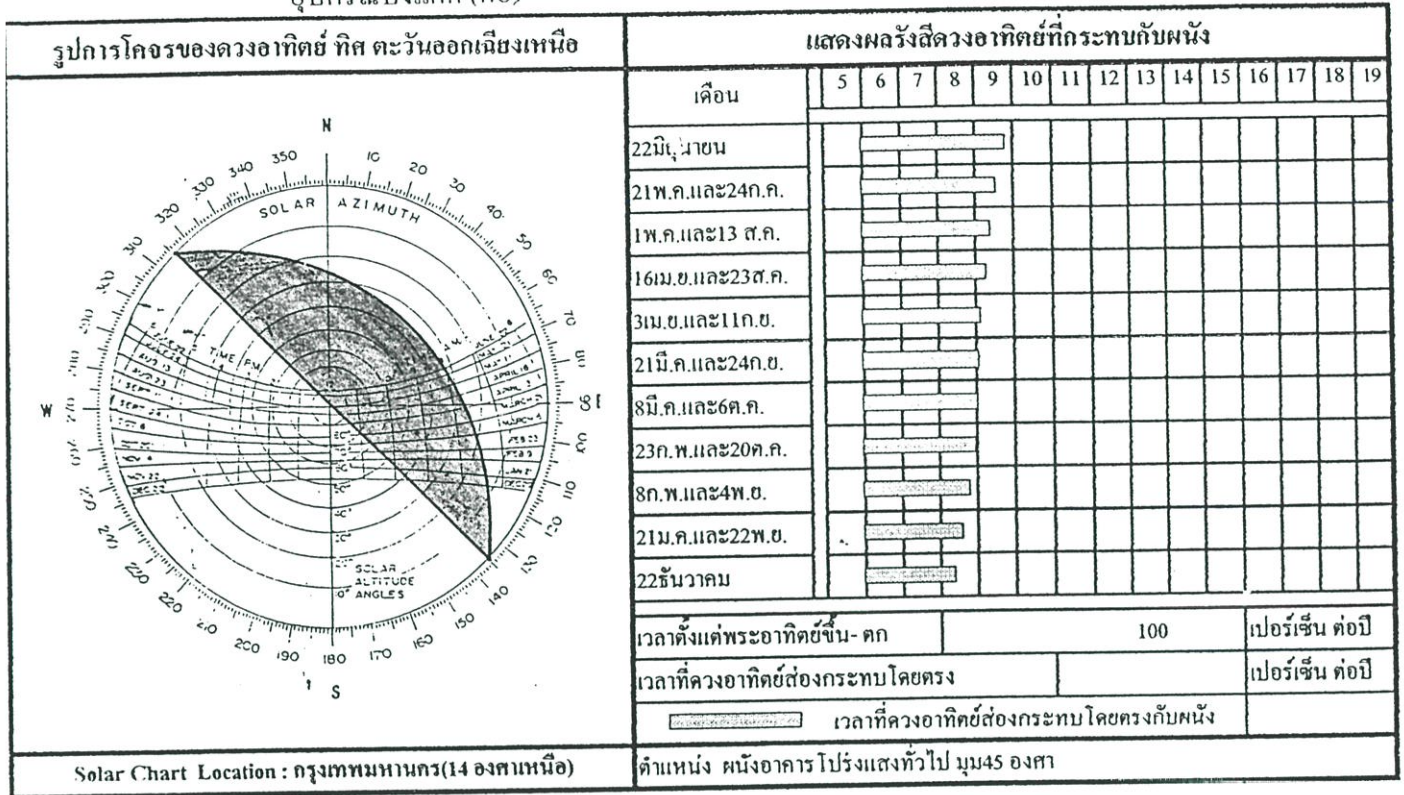
ตารางที่ 5.25 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน หลังการติดตั้ง อุปกรณ์บังแดด (ต่อ)

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ทิศใต้	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																			
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
	22 มิถุนายน																			
	21 พ.ค. และ 24 ก.ค.																			
	1 พ.ค. และ 13 ส.ค.																			
	16 เม.ย. และ 23 ส.ค.																			
	3 เม.ย. และ 11 ก.ย.																			
	21 มี.ค. และ 24 ก.ย.																			
	8 มี.ค. และ 6 ต.ค.																			
	23 ก.พ. และ 20 ต.ค.																			
	8 ก.พ. และ 4 พ.ย.																			
	21 ม.ค. และ 22 พ.ย.																			
22 ธันวาคม																				
เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก	100												เปอร์เซ็นต์ ต่อปี							
เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบ โดยตรง													เปอร์เซ็นต์ ต่อปี							
เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบโดยตรงกับผนัง																				
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)																				
ตำแหน่ง ผนังอาคาร ไปรับแสงทั่วไป มุม 45 องศา																				

รูปการโคจรของดวงอาทิตย์ ทิศตะวันตก	แสดงผลรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนัง																			
	เดือน	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
	22 มิถุนายน																			
	21 พ.ค. และ 24 ก.ค.																			
	1 พ.ค. และ 13 ส.ค.																			
	16 เม.ย. และ 23 ส.ค.																			
	3 เม.ย. และ 11 ก.ย.																			
	21 มี.ค. และ 24 ก.ย.																			
	8 มี.ค. และ 6 ต.ค.																			
	23 ก.พ. และ 20 ต.ค.																			
	8 ก.พ. และ 4 พ.ย.																			
	21 ม.ค. และ 22 พ.ย.																			
22 ธันวาคม																				
เวลาดังแต่พระอาทิตย์ขึ้น- ตก	100												เปอร์เซ็นต์ ต่อปี							
เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบ โดยตรง													เปอร์เซ็นต์ ต่อปี							
เวลาที่ดวงอาทิตย์ต้องกระทบโดยตรงกับผนัง																				
Solar Chart Location : กรุงเทพมหานคร(14 องศาเหนือ)																				
ตำแหน่ง ผนังอาคาร ไปรับแสงทั่วไป มุม 45 องศา																				

ตารางที่ 5.25 แสดงผลของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทบกับผนังในแต่ละด้าน หลังการติดตั้ง

อุปกรณ์บังแดด (ต่อ)



จากการกำหนดค่ามุมในการปรับปรุงอุปกรณ์บังแดดและนำมาหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) จะได้ค่าดังนี้

$$\text{ค่า OTTV มีค่า} = 73.45 \text{ W/m}^2. \quad \text{RTTV} = 53.85 \text{ W/m}^2.$$

ตารางที่ 5.26 แสดงค่าภาระของอาคารในส่วนต่างๆจากการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

รูปแบบ	ภาระทั้งหมดของระบบปรับอากาศ (kWh.)	ภาระจากกรอบอาคารผนังโปร่งแสง(kWh.)	การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ(kWh.)	ค่า OTTV ที่ลดลง (%)
อาคารเดิม	4,073	1,350	4,776	--
ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด	3,880	1,157	4,676	11.03

ตารางที่ 5.27 แสดงค่า OTTV เฉพาะในส่วนของผนัง โปร่งแสงจากการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

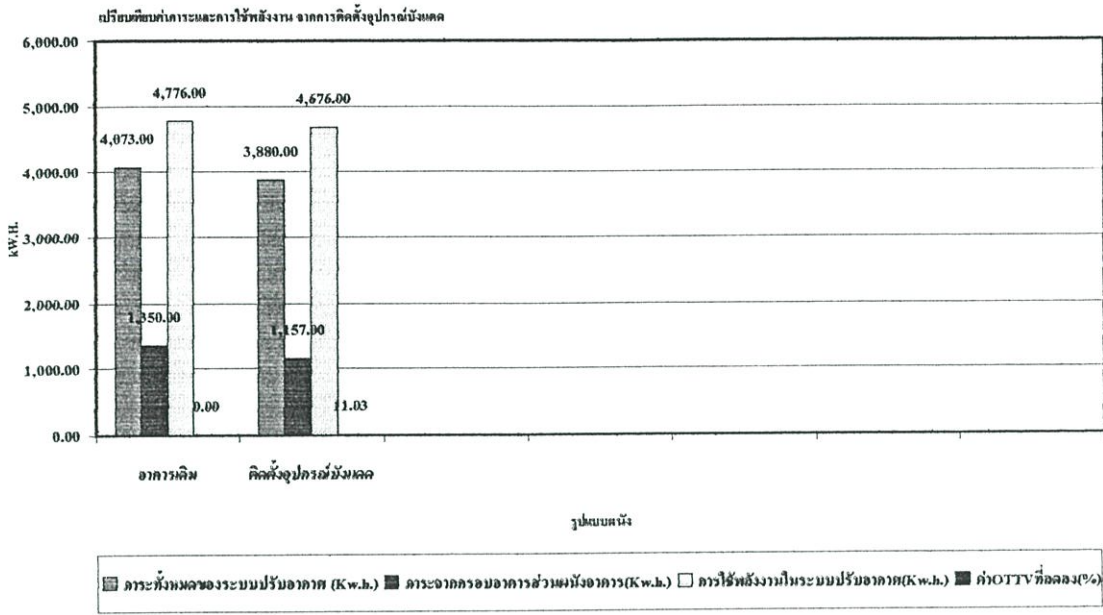
รูปแบบ	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
อาคารเดิม	129.56	161.22	175.63	171.62	172.79	156.92
ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด	123	129.45	144.42	128.12	145.21	129.80

หน่วย: วัตต์

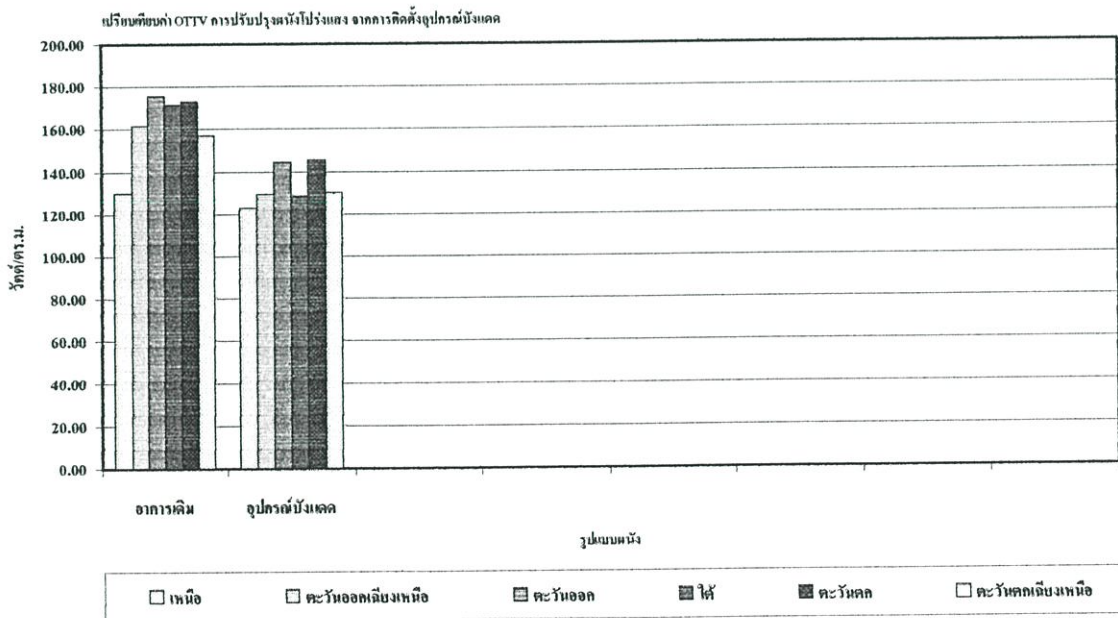
ตารางที่ 5.28 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง โปร่งแสงในแต่ละด้านจากการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

รูปแบบ	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
อาคารเดิม	19,602.12	1,934.65	29,365.31	26,394.45	27,300.86	470.76
ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด	18,611.05	1,553.45	24,147.82	19,704.82	22,942.60	389.41

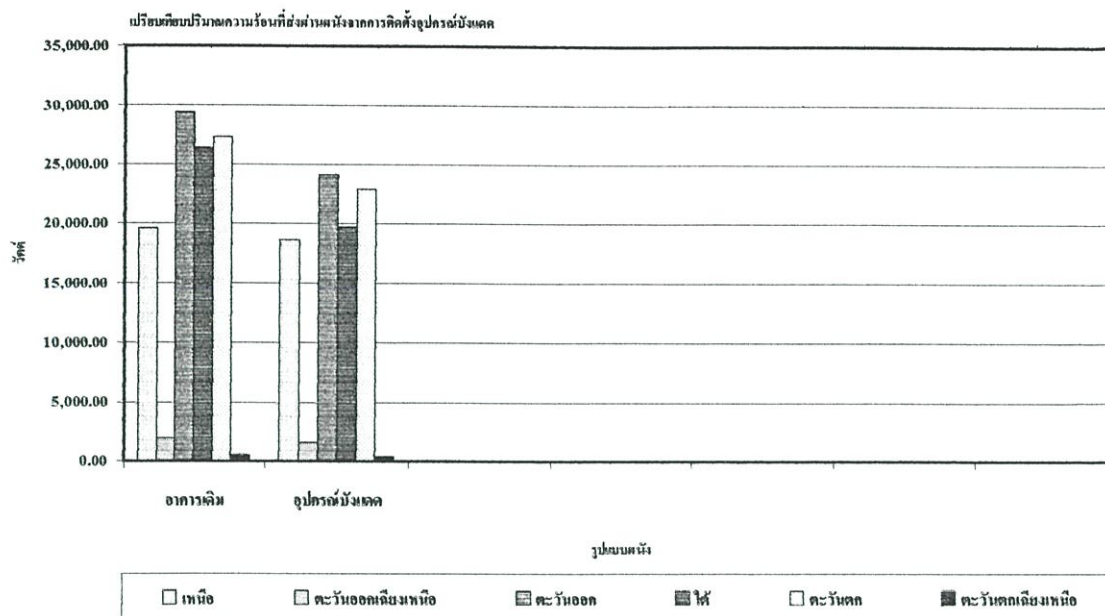
หน่วย: วัตต์/ ตร.ม.



รูปที่ 5.28 แสดงภาระของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงานในอาคารจากการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด



รูปที่ 5.29 แสดงค่า OTTV ของผนัง โปร่งแสงจากการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด



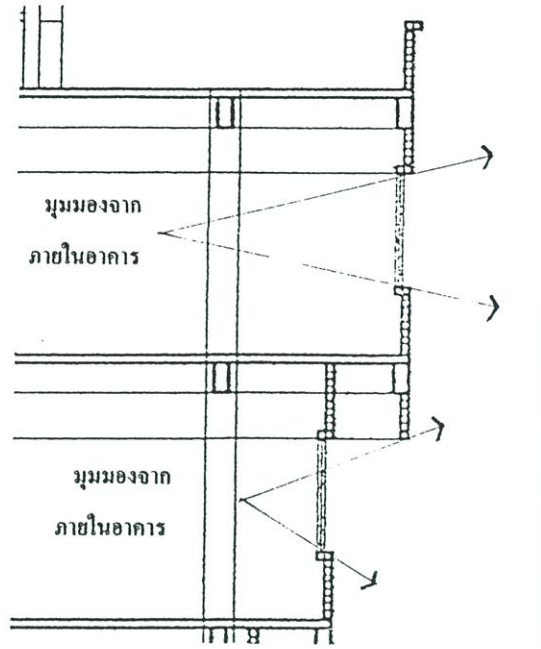
รูปที่ 5.30 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง โปร่งแสงในแต่ละด้านจากการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด

#### 5.3.4 การออกแบบปรับปรุงกรอบอาคารโดยการใช้ผนังบังแดดให้กับผนังภายนอก

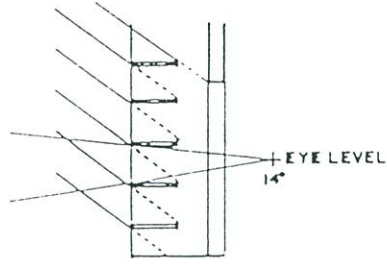
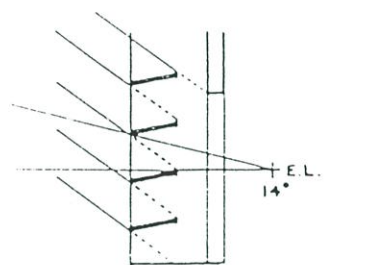
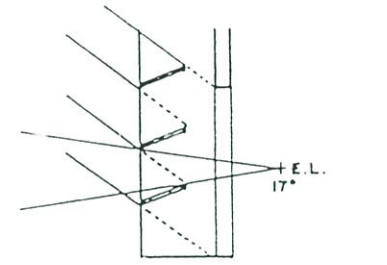
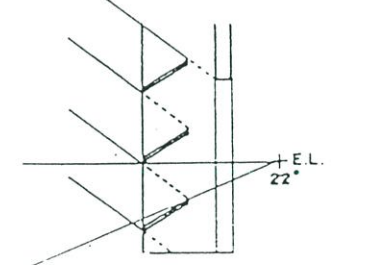
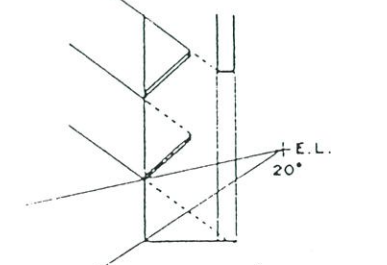
นอกเหนือจากการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดให้กับช่องแสงด้านนอกอาคารแล้ว การปรับปรุงผนังด้านนอกอาคาร โดยการจัดทำผนังหรือผิวภายนอกอาคารเพื่อการบังแดดให้กับผนัง โดยตรงได้อีกวิธีการหนึ่ง การติดตั้งผิวภายนอกดังกล่าวจะเป็นการป้องกันแสงแดดที่กระทบกับผนังภายนอกโดยตรง โดยการใช้เงาที่เกิดจากผิวภายนอก เป็นการลดพื้นที่ที่รับแสงแดดโดยตรงให้กับผนังอาคาร ทำให้อุณหภูมิผิวภายนอกอาคารลดลงจากการที่ต้องโดนแสงแดดอยู่ตลอดเวลา ค่าปริมาณความร้อนที่จะส่งผ่านผนังภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารก็จะมีค่าลดลงเช่นกัน

หลักการออกแบบผิวภายนอกอาคารหรืออุปกรณ์บังแดดให้กับผนังอาคารนั้นมีหลักการออกแบบเหมือนกับการออกแบบอุปกรณ์บังแดดให้กับผนัง โปร่งแสง หรือช่องเปิดที่อยู่ภายนอกอาคาร แต่มีข้อพิจารณาเพิ่มเติมคือ การจัดพื้นที่ในอาคารนั้นมีความต้องการแสงธรรมชาติ ในบริเวณพื้นที่ขอบอาคารด้านใน โดยมีระยะประมาณ 3-5 ม. จากช่องเปิด และพิจารณาเรื่องมุมมองภายในอาคารออกสู่ภายนอก นั้น ต้องไม่ถูกบดบังจากการติดตั้งผิวภายนอกอาคาร

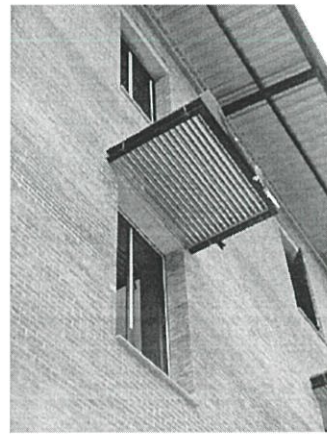
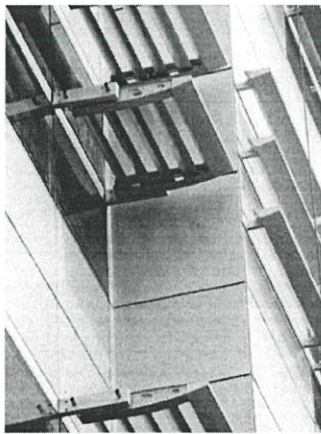
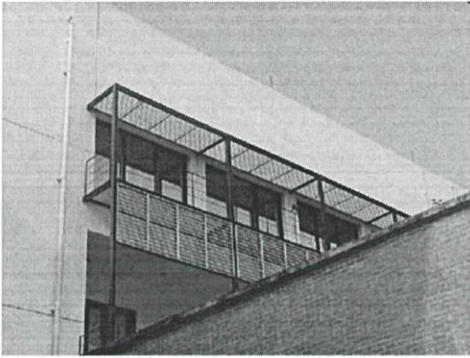
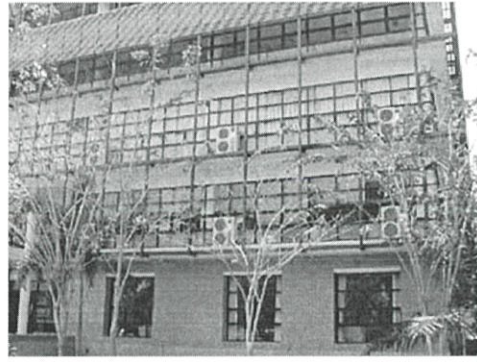
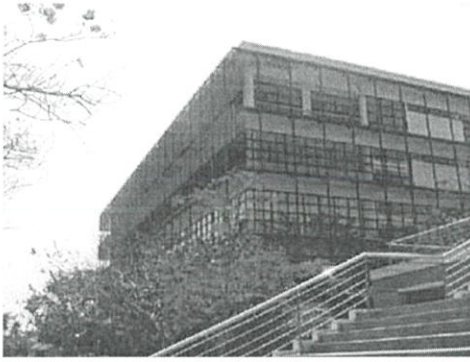
จากข้อมูลการปรับปรุงอุปกรณ์บังแดดนั้นพบว่า รูปแบบอุปกรณ์บังแดดทางนอน ไม่ว่าจะ เป็นแบบชั้นเดียว หรือแบบหลายชั้นนั้น จะเหมาะสมกว่าอุปกรณ์บังแดดรูปแบบอื่นๆ และยัง สามารถช่วยสะท้อนแสงจากภายนอกให้เข้ามาภายในอาคารได้ดีกว่าอุปกรณ์บังแดดรูปแบบอื่นๆ ประมาณ 25% (ที่มา: ศรีใจ บูรณะสมภพ และคณะ, การออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงาน, งานวิจัย พ.ศ.2524)



รูปที่ 5.31 แสดงมุมมองจากภายในสู่ภายนอกอาคารของอาคารกรณีศึกษา

องศา	ลักษณะอุปกรณ์บังแดดแนวนอน	คุณสมบัติ
0°		<ul style="list-style-type: none"> <li>- มุมมองภายนอกได้ดี</li> <li>- แสงจากธรรมชาติเข้ามาในอาคารได้มาก</li> <li>- จำนวนบานเกล็ดมีมาก</li> </ul>
10°		<ul style="list-style-type: none"> <li>- มุมมองภายนอกได้ดี</li> <li>- แสงจากธรรมชาติเข้ามาในอาคารได้มาก</li> <li>- จำนวนบานเกล็ดมีมาก</li> </ul>
20°		<ul style="list-style-type: none"> <li>- มุมมองภายนอกได้ปานกลาง</li> <li>- แสงจากธรรมชาติเข้ามาในอาคารได้ปานกลาง</li> <li>- จำนวนบานเกล็ดมีน้อย</li> </ul>
30°		<ul style="list-style-type: none"> <li>- มุมมองภายนอกได้ปานกลาง</li> <li>- แสงจากธรรมชาติเข้ามาในอาคารได้ปานกลาง</li> <li>- จำนวนบานเกล็ดมีน้อย</li> </ul>
40°		<ul style="list-style-type: none"> <li>- มุมมองภายนอกได้ปานกลาง</li> <li>- แสงจากธรรมชาติเข้ามาในอาคารได้ปานกลาง</li> <li>- จำนวนบานเกล็ดมีน้อย</li> </ul>

รูปที่ 5.32 แสดงรูปแบบและมุมมองของอุปกรณ์บังแดดทางนอน



รูปที่ 5.33 แสดงรูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดทางนอนหรือผนังบังแดดภายนอก

จากตารางวิเคราะห์รูปแบบและมุมมองเสาของอุปกรณ์บังแดดทางนอนนั้น จะเห็นว่าหากมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดในรูปแบบดังกล่าวในส่วนที่อยู่ในระดับเดียวกันกับช่องเปิด จะมีผลกระทบต่ออาคาร 2 ลักษณะคือ

1. จะบังมุมมองและทัศนียภาพจากภายในอาคารสู่ภายนอก
2. ลดทอนประสิทธิภาพการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในพื้นที่ด้านในอาคาร

อย่างไรก็ดี รูปแบบและลักษณะของอุปกรณ์บังแดดนั้นสามารถนำมาปรับใช้ในการออกแบบผนังบังแดดภายนอกอาคารได้ มุมองศาที่เหมาะสมของรูปแบบอุปกรณ์บังแดดนั้น หากสัมพันธ์กับมุมของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับผนังในด้านต่างๆ จะสามารถช่วยป้องกันผนังภายนอกอาคารจากแสงแดดโดยตรงได้ และเป็นการลดปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังอาคารเข้าสู่ด้านในได้ โดยการช่วยลดอุณหภูมิของผิวภายนอกอาคารที่อยู่ในเงาของผนังบังแดดภายนอก โดยผนังแต่ละค้ำนั้นมียาระยะเยื้องดังนี้

#### 5.3.4.1 ผนังบังแดดให้กับผนังอาคารทางทิศเหนือ

จากการวิเคราะห์เรื่องอุปกรณ์บังแดดให้กับช่องแสงนั้น ระยะยื่นที่สามารถป้องกันการส่องสว่างโดยตรงให้กับช่องเปิดทางทิศเหนือที่น้อยสุด 1.20 ม. นั้น นำมาปรับใช้กับผนังทึบและช่องเปิดค้ำนี้ โดยผนังที่โคนแสงแดดจะอยู่ในชั้นที่ 2-5 แต่การออกแบบผนังบังแดดจะใช้เฉพาะชั้นที่ 3-5 เท่านั้น เนื่องจากมีความเหมาะสมในด้านโครงสร้างและรูปแบบสถาปัตยกรรมโดยรวมของอาคารมากกว่า ส่วนในชั้นที่ 2 นั้น จะเป็นการติดตั้งเฉพาะอุปกรณ์บังแดดทางนอน ระยะยื่น 1.50 ม. เท่านั้น จากแนวทางนี้เห็นว่าผนังอาคารทั้งผนังทึบและผนังโปร่งแสงในชั้นที่ 3 และ 4 ผนังทึบในชั้นที่ 5 จะได้รับอิทธิพลจากแสงแดดน้อยมาก เพราะจะอยู่ในเงาของผนังบังแดดตลอดทั้งวัน

การติดตั้งผนังบังแดดนั้น จะมีผลกระทบต่อกรนำแสงธรรมชาติที่จะเข้าสู่อาคาร ในส่วนของโครงผนังบังแดดจึงมีการออกแบบแผงสะท้อนแสงที่ทำหน้าที่เสมือนหิ้งสะท้อนแสง ช่วยสะท้อนแสงให้เข้าสู่พื้นที่ใช้งานในอาคารได้มากขึ้น โดยการเลือกใช้วัสดุและสีที่เหมาะสมในการสะท้อนแสง

#### 5.3.4.2 ผนังบังแดดให้กับผนังอาคารทางทิศตะวันออก

รูปแบบผนังบังแดดทางด้านทิศตะวันออกนั้นมีรูปแบบ โครงสร้างเหมือนกับทางทิศเหนือ โดยทิศตะวันออกนั้นมุมของดวงอาทิตย์ที่ จะใช้มุม Solar Altitude ที่  $45^\circ$  เป็นมุมที่นำมาวิเคราะห์ เนื่องจากตั้งแต่เวลา 9.00 – 12.00 มุม Solar Altitude จะอยู่ระหว่าง  $45-90^\circ$  ซึ่งเป็นมุมที่ต่ำที่สุดของดวงอาทิตย์ในช่วงเช้าและแสงแดดก็เริ่มมีอิทธิพลต่อผนังอาคาร การติดตั้งผนังบังแดดจะช่วยลดปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังอาคารเข้าสู่ด้านในได้ โดยการช่วยลดอุณหภูมิของผิวภายนอกอาคารที่อยู่ในเงาของผนังบังแดดภายนอก โดยผนังจะอยู่ในเงาของผนังบังแดดตลอดทั้งช่วงเวลา 9.00-12.00 น.

ในส่วนช่องแสงในชั้นที่5 สามารถป้องกันการส่องสว่างโดยตรงได้โดยการใช้ ม่านบังแดด หรือมู่ลี่ปรับทิศทางเพื่อช่วยป้องกันแสงแดดโดยตรงได้

#### 5.3.4.3 ผนังบังแดดให้กับผนังอาคารทางทิศใต้

รูปแบบผนังบังแดดในทางทิศใต้จะมีส่วนเพิ่มเติมจากทิศเหนือ และตะวันออก โดยเพิ่มเติมในส่วนบังแดดให้กับชั้น1 ชั้นลอยและชั้นที่2 แต่รูปแบบโดยรวมยังเป็นโครงสร้างเดียวกัน ในทางทิศใต้จะใช้มุม Altitude ที่  $54^{\circ}$  ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่ดวงอาทิตย์กระทำกับผนังทางทิศใต้ โดยจะสามารถป้องกันการโค่นโดยตรงตลอดทั้งวัน

การติดตั้งผนังบังแดดนั้น จะมีผลกระทบต่อการนำแสงธรรมชาติที่จะเข้าสู่อาคาร ในส่วนของโครงผนังบังแดดจึงมีการออกแบบแผงสะท้อนแสงที่ทำหน้าที่เสมือนหิ้งสะท้อนแสง ช่วยสะท้อนแสงให้เข้าสู่พื้นที่ใช้งานในอาคารได้มากขึ้น โดยการเลือกใช้วัสดุและสีที่เหมาะสมในการสะท้อนแสง

ในส่วนช่องแสงในชั้นที่5 สามารถป้องกันการส่องสว่างโดยตรงได้โดยการใช้ ม่านบังแดด หรือมู่ลี่ปรับทิศทางเพื่อช่วยป้องกันแสงแดดโดยตรงได้

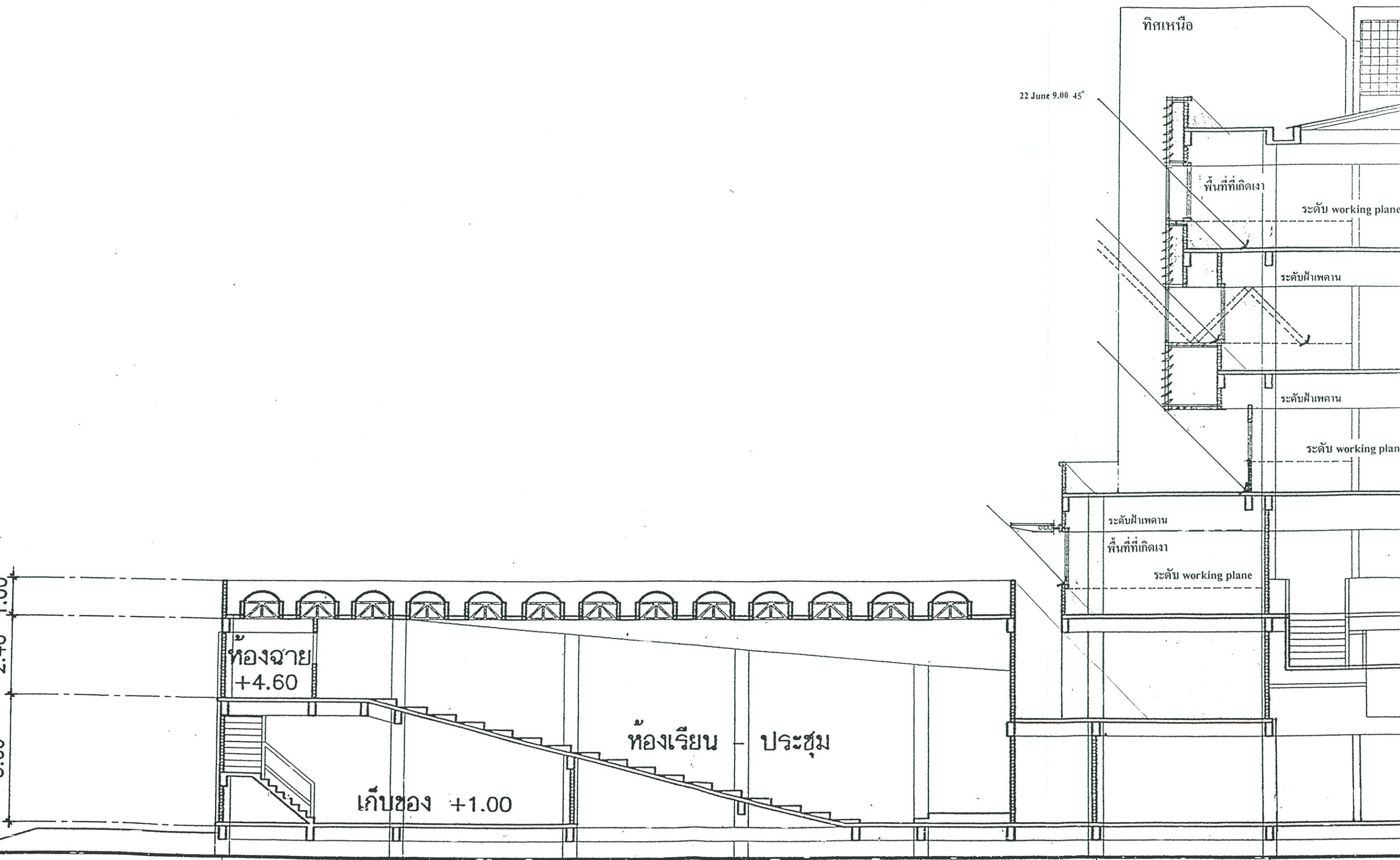
#### 5.3.4.4 ผนังบังแดดให้กับผนังอาคารทางทิศตะวันตก

รูปแบบผนังบังแดดทางทิศตะวันตกนั้น จะมีรูปแบบและ โครงสร้างเหมือนกับทางทิศใต้ แต่มุมที่นำมาวิเคราะห์คือมุม Altitude ที่  $30^{\circ}$  ซึ่งเป็นมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำต่อผนังอาคารทิศตะวันตกที่เวลา15.00-15.45น. โดยสามารถป้องกันแสงแดดได้ตลอดทั้งวันในส่วนผนังทึบและผนังโปร่งแสงในชั้นที่1 ชั้นลอย ชั้น2 และ3 ส่วนในชั้นที่4และ5 สามารถป้องกันผนังทึบจากแสงแดดได้

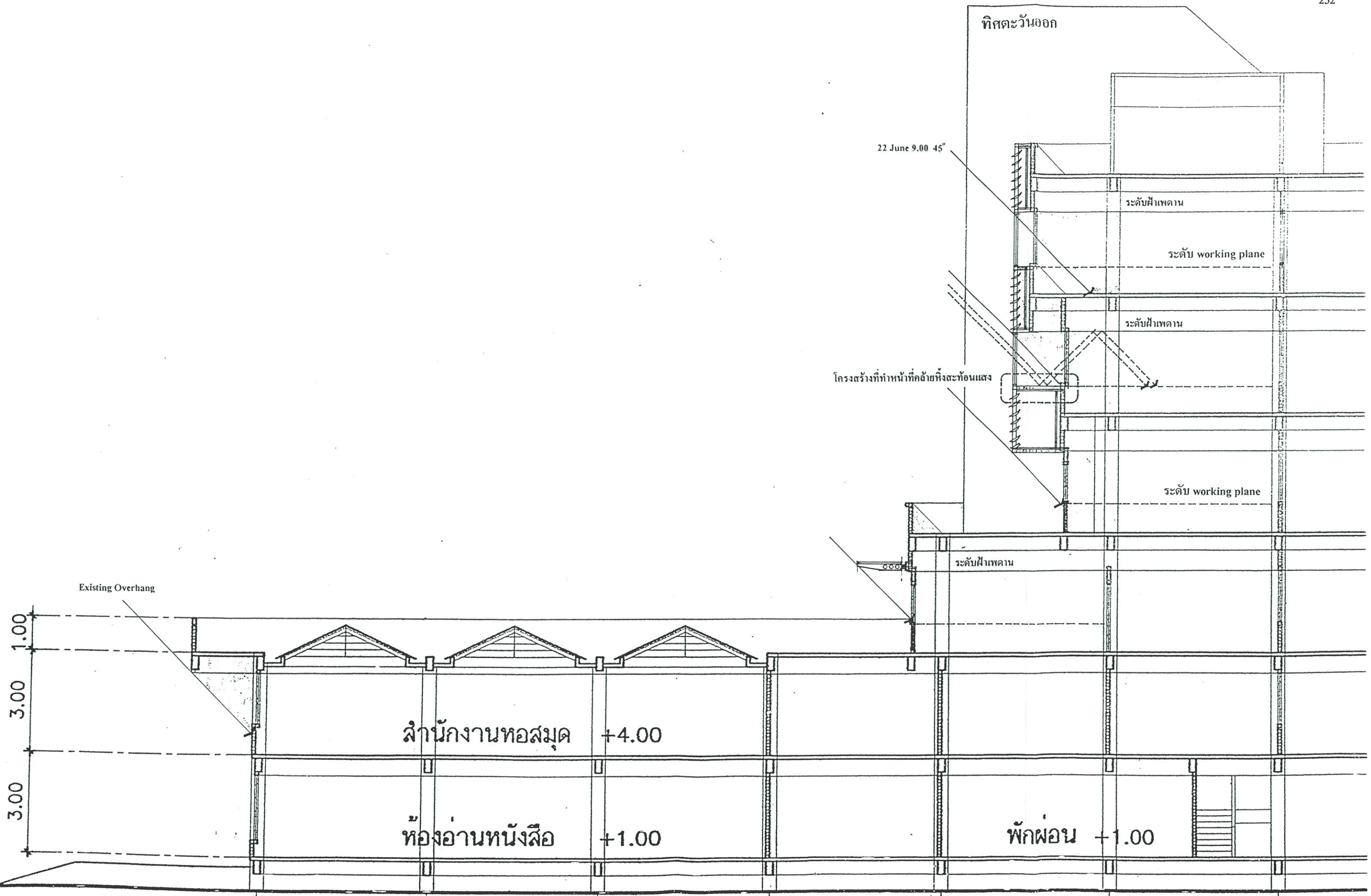
การติดตั้งผนังบังแดดนั้น จะมีผลกระทบต่อการนำแสงธรรมชาติที่จะเข้าสู่อาคาร ในส่วนของโครงผนังบังแดดจึงมีการออกแบบแผงสะท้อนแสงที่ทำหน้าที่เสมือนหิ้งสะท้อนแสง ช่วยสะท้อนแสงให้เข้าสู่พื้นที่ใช้งานในอาคารได้มากขึ้น โดยการเลือกใช้วัสดุและสีที่เหมาะสมในการสะท้อนแสง

ในส่วนช่องแสงในชั้นที่ 4 และ 5 สามารถป้องกันการส่องสว่างโดยตรงได้โดยการใช้ ม่านบังแดดหรือมู่ลี่ปรับทิศทางเพื่อช่วยป้องกันแสงแดดโดยตรงในช่วงเวลาประมาณ 15.30-17.30น.

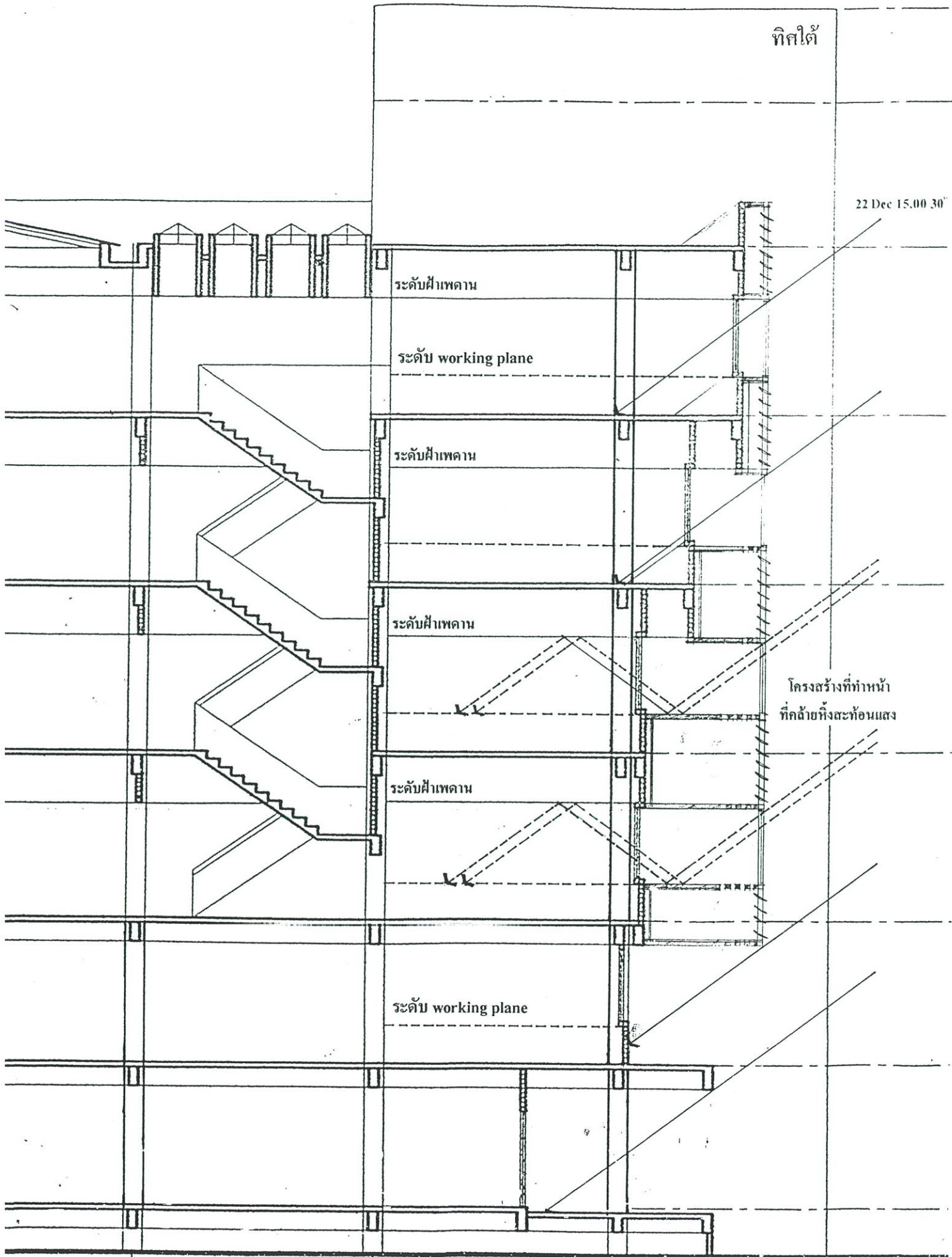




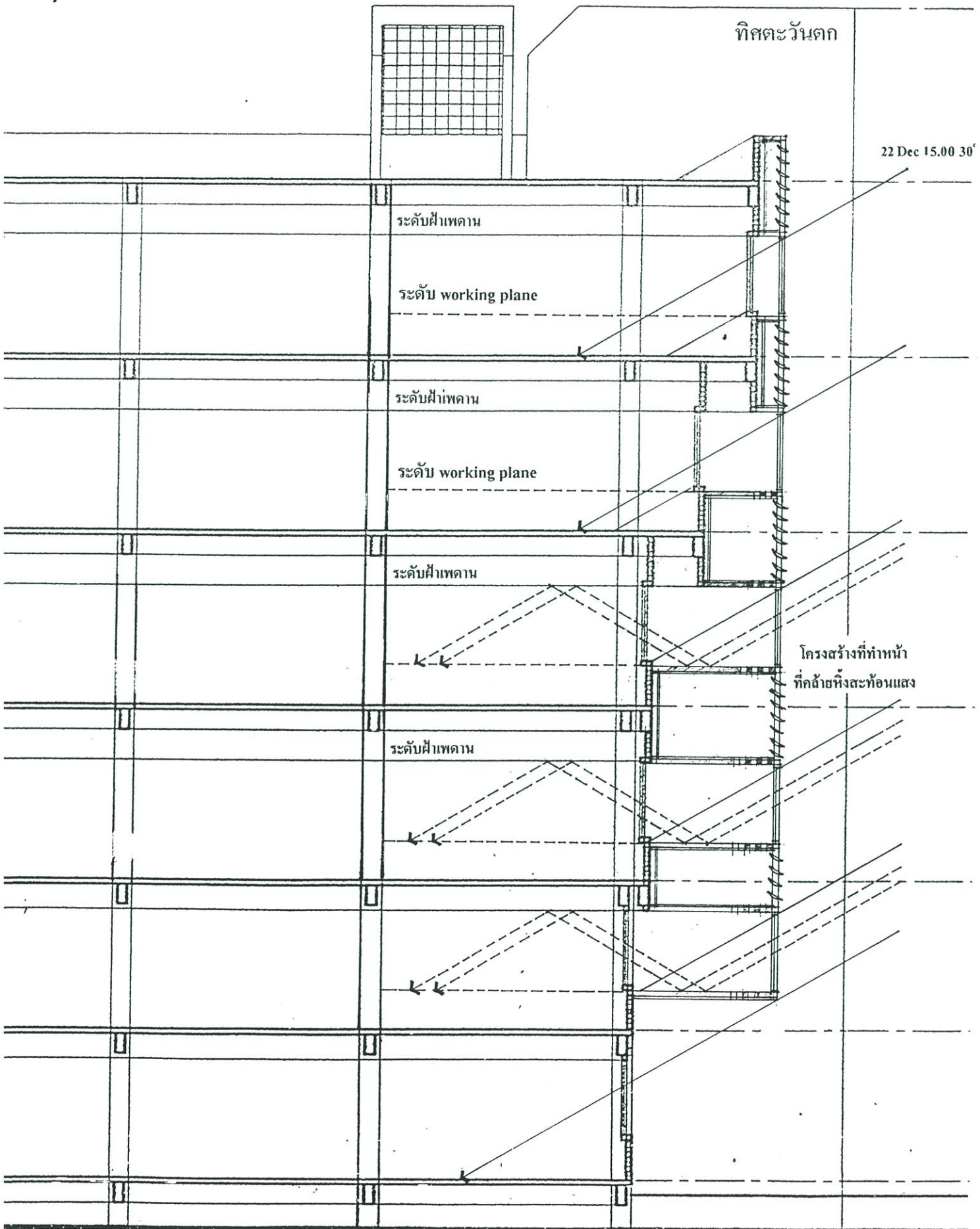
รูปที่ 5.35 แสดงการติดตั้งผนังบังแดดให้กับผนังภายนอกอาคาร



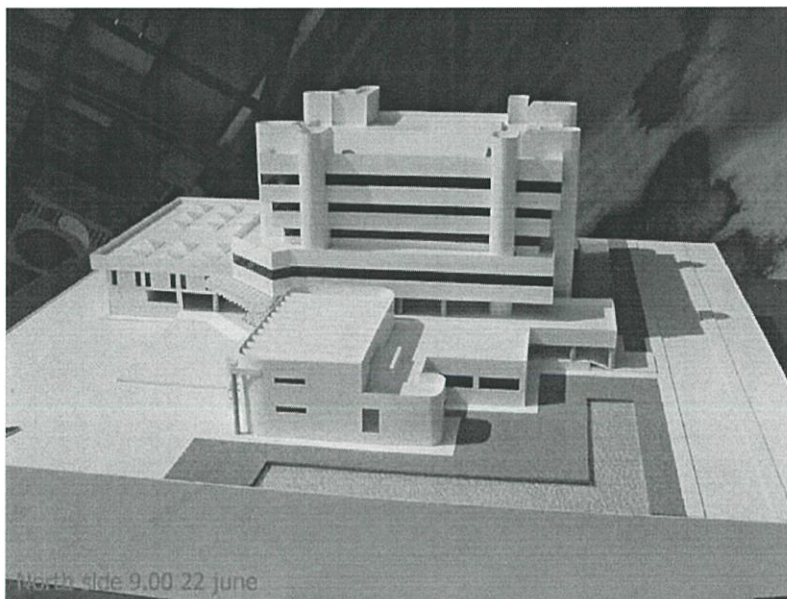
รูปที่ 5.35 แสดงการติดตั้งผนังบังแดดให้กับผนังภายนอกอาคาร (ต่อ)



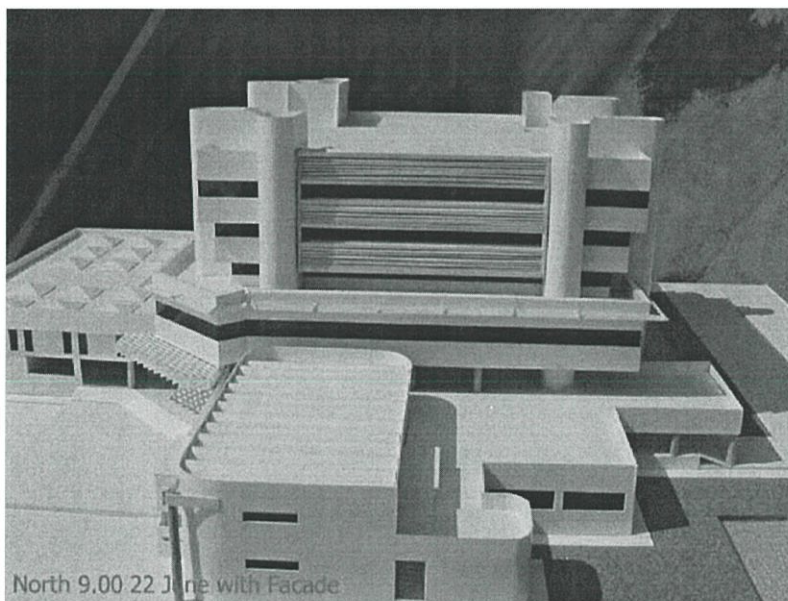
รูปที่ 5.35 แสดงการติดตั้งผนังบังแดดให้กับผนังภายนอกอาคาร (ต่อ)



รูปที่ 5.35 แสดงการติดตั้งผนังบังแดดให้กับผนังภายนอกอาคาร (ต่อ)

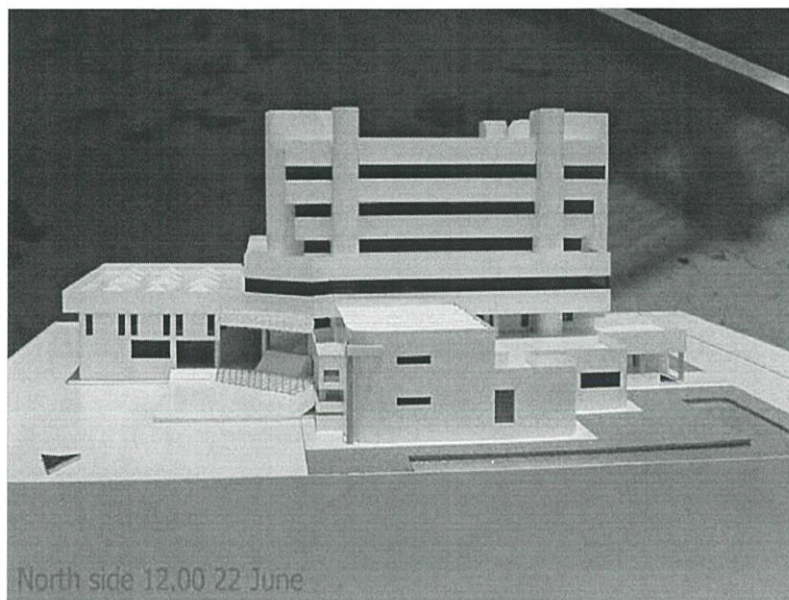


ทิศเหนือ เวลา 9.00 น. วันที่ 22 มิถุนายน ไม่มีผนังบังแดด

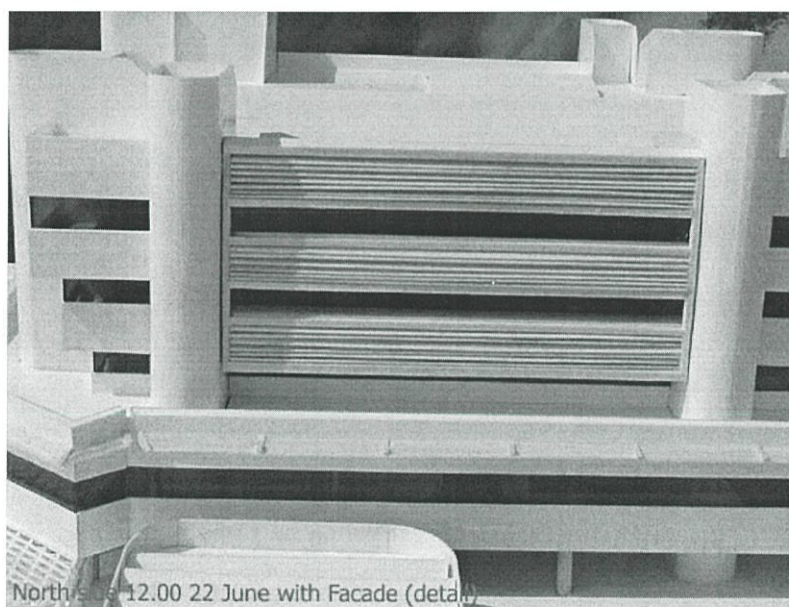


ทิศเหนือ เวลา 9.00 น. วันที่ 22 มิถุนายน มีผนังบังแดด

รูปที่ 5.36 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบังแดดของผนังบังแดดภายนอกอาคาร  
ในด้านต่างๆจากหุ่นจำลอง



ทิศเหนือ เวลา 12.00 น. วันที่ 22 มิถุนายน ไม่มีผนังบังแดด

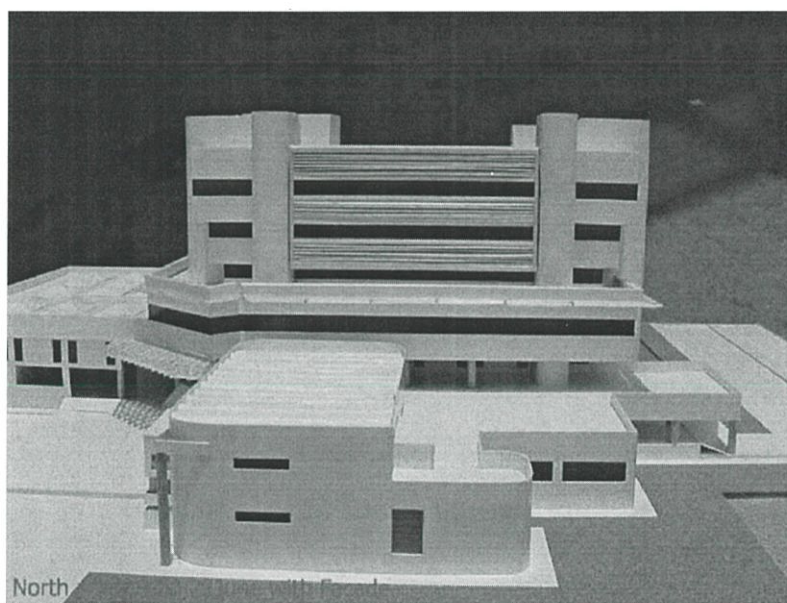


ทิศเหนือ เวลา 12.00 น. วันที่ 22 มิถุนายน มีผนังบังแดด

รูปที่ 5.36 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบังแดดของผนังบังแดดภายนอกอาคาร  
ในด้านต่างๆจากหุ่นจำลอง (ต่อ)

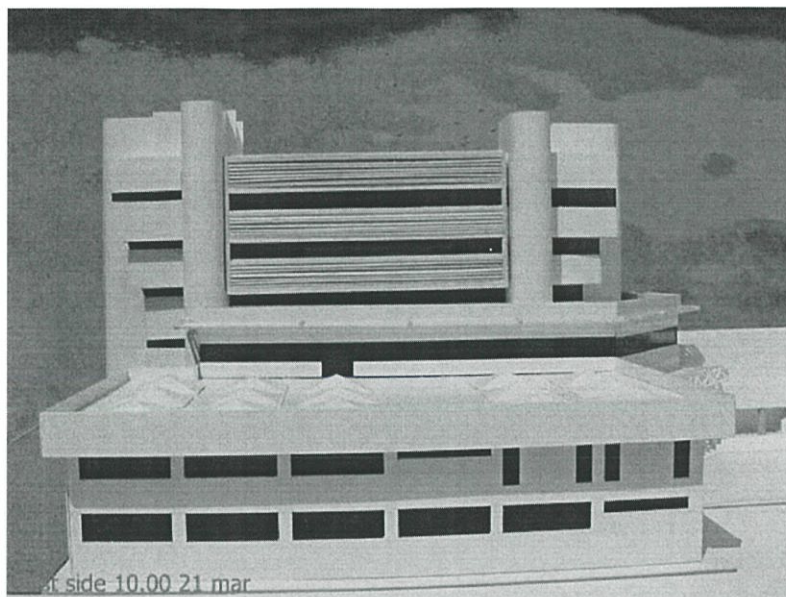


ทิศเหนือ เวลา 16.00 น. วันที่ 22 มิถุนายน ไม่มีผนังบังแดด

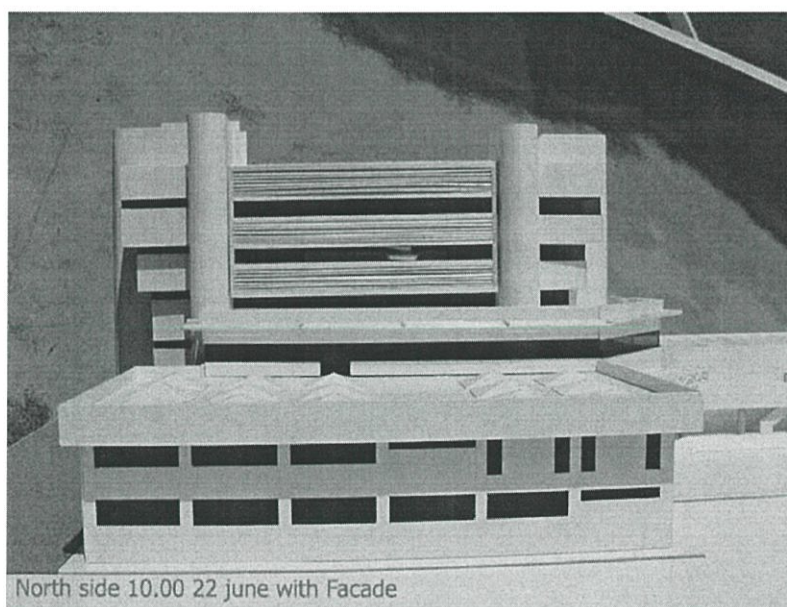


ทิศเหนือ เวลา 16.00 น. วันที่ 22 มิถุนายน มีผนังบังแดด

รูปที่ 5.36 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบังแดดของผนังบังแดดภายนอกอาคาร  
ในด้านต่างๆจากหุ่นจำลอง (ต่อ)

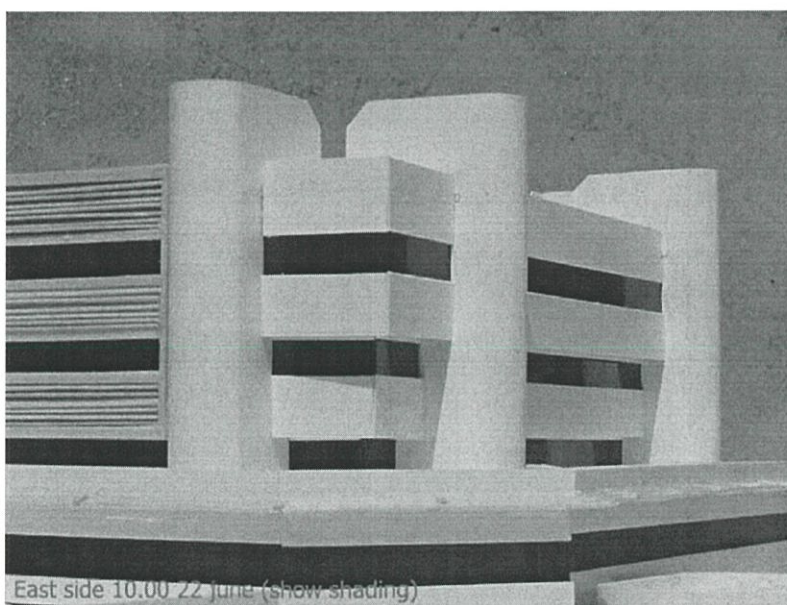
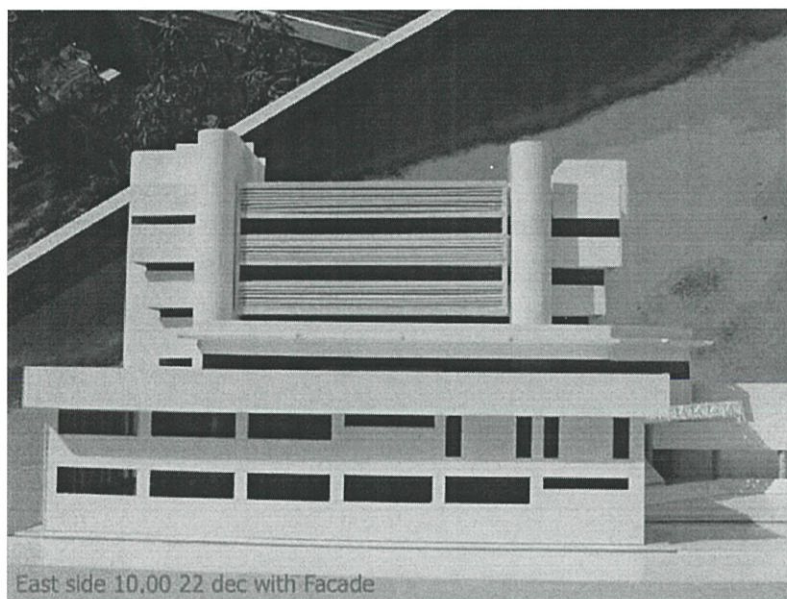


ทิศตะวันออก เวลา 10.00 น. วันที่ 22 มีนาคม มีผนังบังแดด



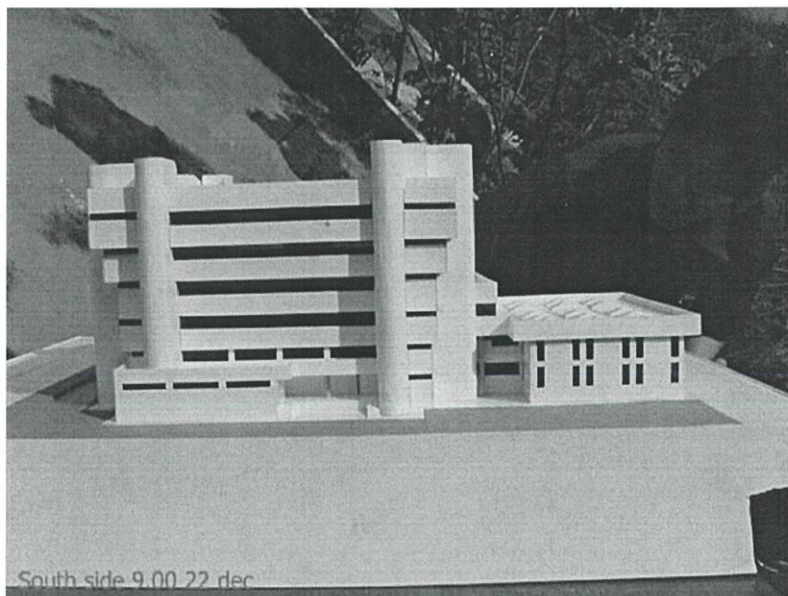
ทิศตะวันออก เวลา 10.00 น. วันที่ 22 มิถุนายน มีผนังบังแดด

รูปที่ 5.36 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบังแดดของผนังบังแดดภายนอกอาคาร  
ในด้านต่างๆจากหุ่นจำลอง (ต่อ)

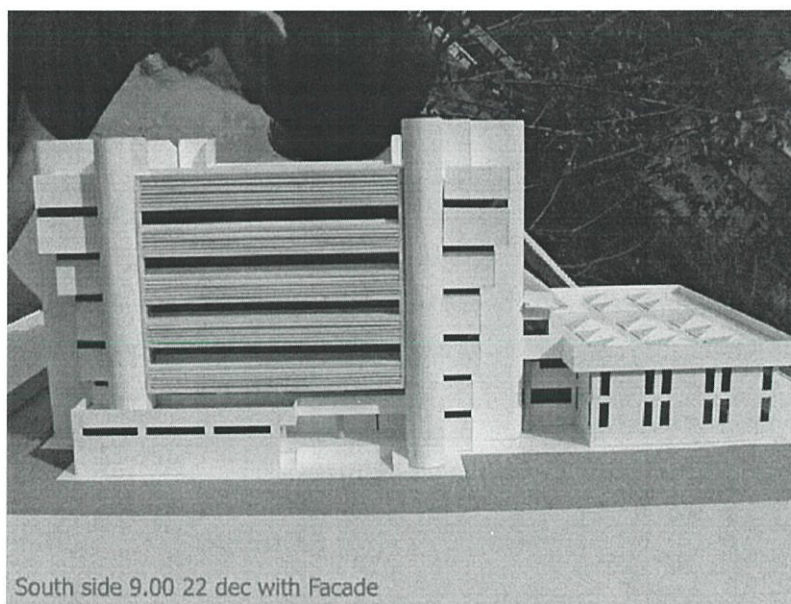


ทิศตะวันออก เวลา 10.00 น. วันที่ 22 ธันวาคม มีผนังบังแดด

รูปที่ 5.36 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบังแดดของผนังบังแดดภายนอกอาคาร  
ในด้านต่างๆจากหุ่นจำลอง (ต่อ)

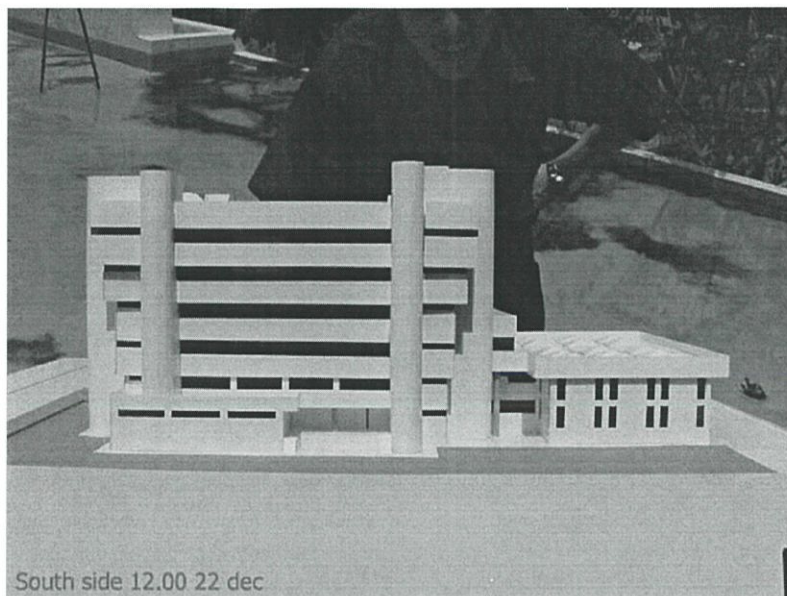


ทิศใต้ เวลา 9.00 น. วันที่ 22 ธันวาคม ไม่มีผนังบังแดด

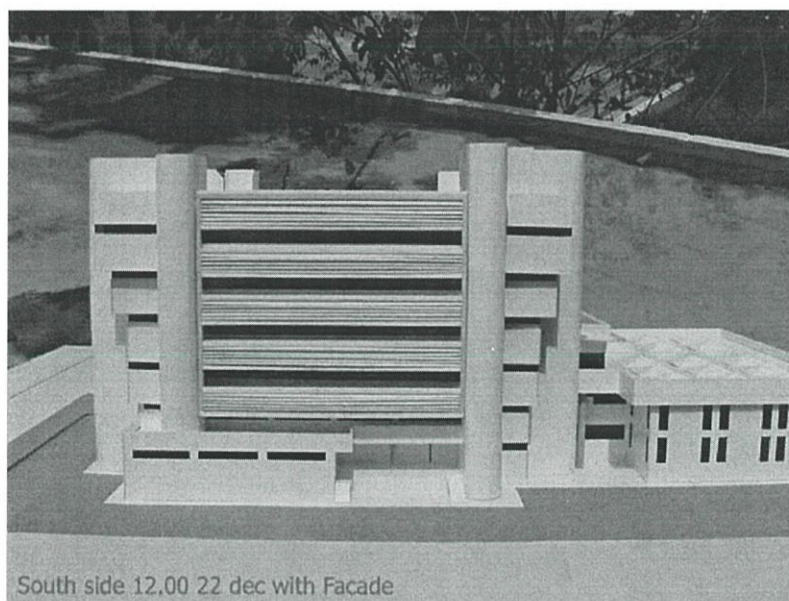


ทิศใต้ เวลา 9.00 น. วันที่ 22 ธันวาคม มีผนังบังแดด

รูปที่ 5.36 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบังแดดของผนังบังแดดภายนอกอาคาร  
ในด้านต่างๆจากหุ่นจำลอง (ต่อ)

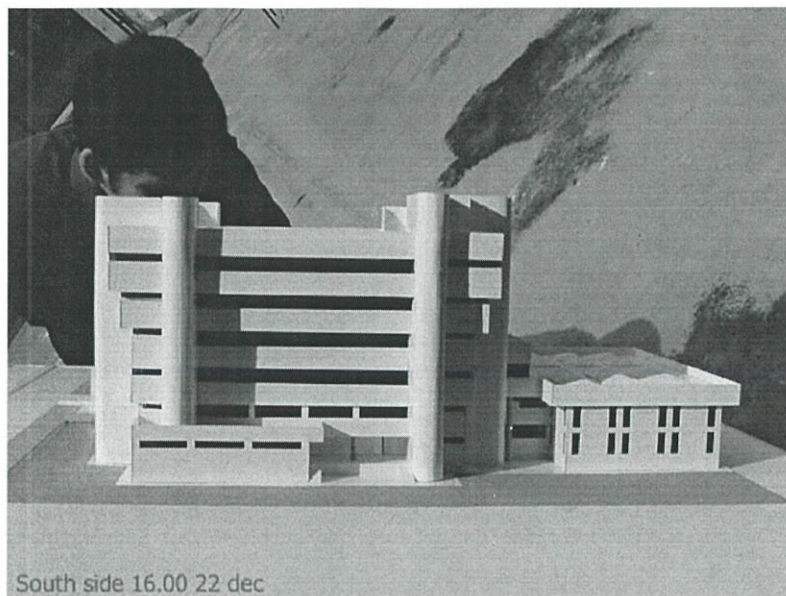


ทิศใต้ เวลา 12.00 น. วันที่ 22 ธันวาคม ไม่มีผนังบังแดด

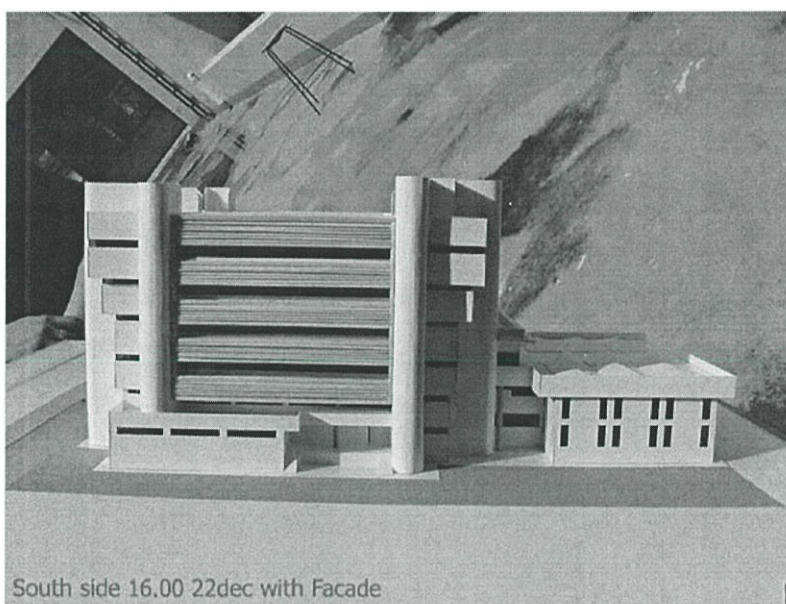


ทิศใต้ เวลา 12.00 น. วันที่ 22 ธันวาคม มีผนังบังแดด

รูปที่ 5.36 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบังแดดของผนังบังแดดภายนอกอาคาร  
ในด้านต่างๆจากหุ่นจำลอง (ต่อ)

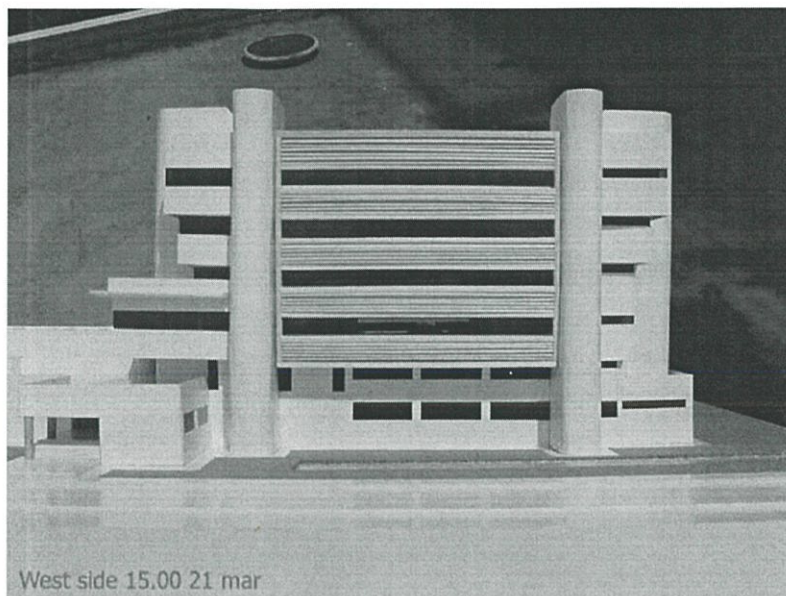


ทิศใต้ เวลา 16.00 น. วันที่ 22 ธันวาคม ไม่มีผนังบังแดด

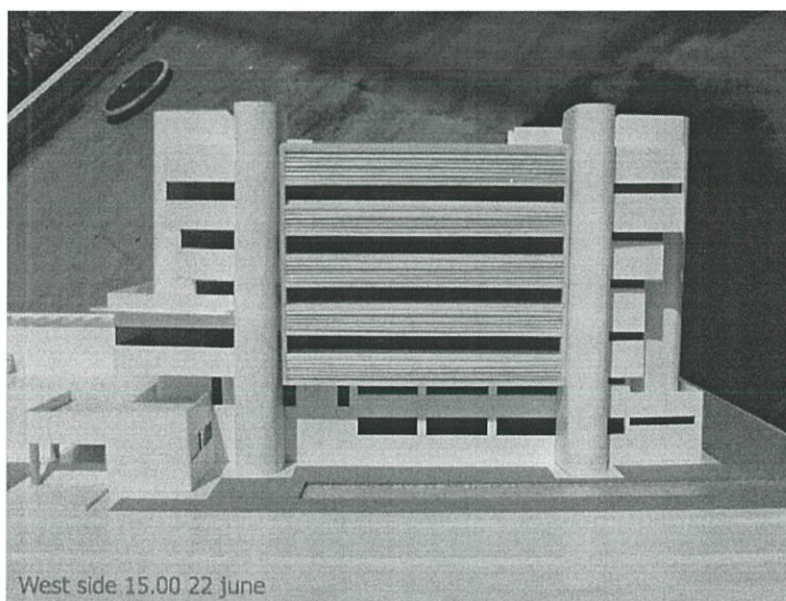


ทิศใต้ เวลา 16.00 น. วันที่ 22 ธันวาคม มีผนังบังแดด

รูปที่ 5.36 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบังแดดของผนังบังแดดภายนอกอาคาร  
ในด้านต่างๆจากหุ่นจำลอง (ต่อ)

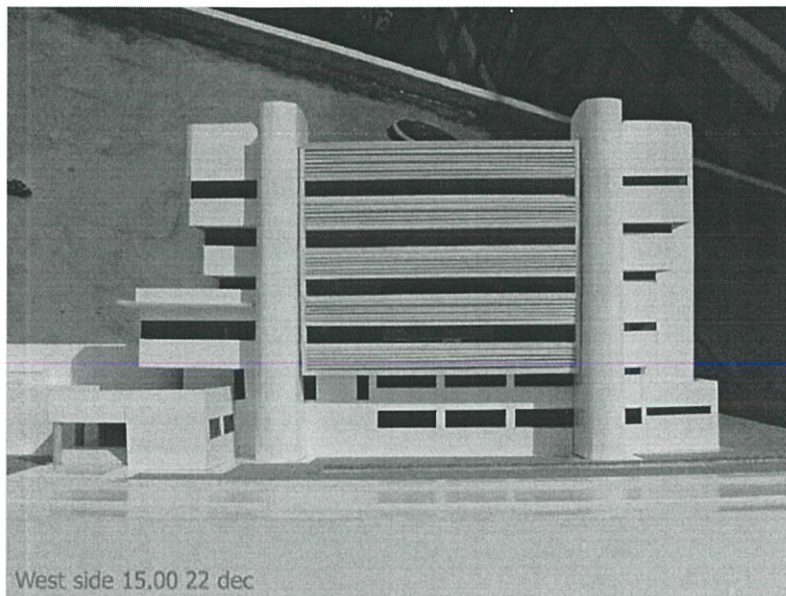


ทิศตะวันตก เวลา 15.00 น. วันที่ 21 มีนาคม ไม่มีผนังบังแดด



ทิศตะวันตก เวลา 15.00 น. วันที่ 22 มิถุนายน ไม่มีผนังบังแดด

รูปที่ 5.36 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบังแดดของผนังบังแดดภายนอกอาคาร  
ในด้านต่างๆจากหุ่นจำลอง (ต่อ)



ทิศตะวันตก เวลา 15.00 น. วันที่ 22 ธันวาคม ไม่มีผนังบังแดด

รูปที่ 5.36 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบังแดดของผนังบังแดดภายนอกอาคาร  
ในด้านต่างๆจากหุ่นจำลอง (ต่อ)

จากแนวทางการคิดคั้งผนังบังแดดให้กับผนังภายนอกอาคารนั้น การที่จะคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่จะส่งผ่านเข้าสู่อาคารนั้น ไม่สามารถหาค่าดังกล่าวได้จากโปรแกรม OTTVEE version 1.0a ได้ จึงต้องใช้การคำนวณจากสมการ โดยสมการที่ใช้คำนวณค่าปริมาณความร้อนมีดังนี้

$$Q = U * A * \Delta T \dots \dots \dots (2.6)$$

$$Q = U * A * CLTD \dots \dots \dots (2.7)$$

โดยที่

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง ( BTU/HR. F<sup>2</sup> )

A = พื้นที่ของผนังที่มีการถ่ายเทความร้อน ( m<sup>2</sup> )

$\Delta T$  = ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในของผนัง ( F )

CLTD = ค่าความแตกต่างของภาระการทำความเย็นเทียบเท่า หรือ Cooling Load Temperature Difference ( F )

ในการคำนวณนี้ เป็นการคำนวณเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างของค่าปริมาณความร้อนที่คำนวณได้จากการใช้ข้อมูลที่บันทึกไว้ตามตารางที่ 4.9 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกที่โดนแสงแดดกับค่าอุณหภูมิผิวภายในอาคาร เปรียบเทียบกับค่าของอุณหภูมิผิวภายนอกที่อยู่ในที่ร่มหรือไม่โดนแสงแดดเลยกับค่าอุณหภูมิผิวภายในอาคาร โดยในการคำนวณนี้จะใช้ค่าอุณหภูมิผิวภายในอาคารเป็นค่าที่คงที่ตามที่บันทึกเป็นรายชั่วโมง ทั้งนี้แม้ว่าอุณหภูมิผิวภายในจะมีค่าไม่เท่ากันในทุกๆจุด ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของผนังภายนอกว่าผนังนั้นๆ อยู่ในตำแหน่งที่โดนแสงแดดหรือไม่ แต่การคำนวณนี้จะใช้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวภายใน เพื่อความสะดวกในการคำนวณค่าปริมาณความร้อนที่แตกต่างกัน มีค่าดังตารางประกอบที่ 5.29 และ 5.30

ตารางที่ 5.29 แสดงค่าอุณหภูมิในส่วนต่างๆของโครงสร้างอาคารกรณีศึกษา

เวลา	อาคารภายนอก		ห้องปรับอากาศ		อุณหภูมิผิวผนังภายนอกอาคาร				อุณหภูมิผิวผนังภายในอาคาร				อุณหภูมิผิวกระจกภายนอกอาคาร				อุณหภูมิผิวกระจกภายในอาคาร				อุณหภูมิผิวหลังคาคอนกรีต	อุณหภูมิผิวหลังคากระเบื้อง
	อุณหภูมิ	ความชื้น	อุณหภูมิ	ความชื้น	เหนือ	ท.อ.	ใต้	ท.ค.	เหนือ	ท.อ.	ใต้	ท.ค.	เหนือ	ท.อ.	ใต้	ท.ค.	เหนือ	ท.อ.	ใต้	ท.ค.		
9.00	32.4	53.3	24.3	44.1	32.0	42.0	31.0	31.0	28.0	28.0	28.0	28.0	30.0	34.0	30.0	31.0	30.0	33.0	29.0	31.0	51.0	41
10.00	33.6	61.3	21.9	53.2	32.0	42.0	31.0	31.0	28.0	29.0	28.0	28.0	30.0	33.0	30.0	31.0	30.0	32.0	29.0	30.0	52.0	44
11.00	34.4	56.2	22.4	51.7	34.0	41.0	32.0	33.0	29.0	29.0	29.0	28.0	31.0	35.0	31.0	34.0	30.0	34.0	30.0	33.0	68.0	47
12.00	35.1	46.8	22.2	49.7	35.0	40.0	33.0	34.0	29.0	30.0	29.0	28.0	32.0	35.0	32.0	34.0	31.0	35.0	31.0	33.0	65.0	50
13.00	36.4	58.4	21.7	53.4	35.0	38.0	35.0	35.0	30.0	30.0	31.0	30.0	33.0	35.0	33.0	34.0	31.0	34.0	32.0	34.0	55.0	54
14.00	35.6	57.6	21.4	56.2	34.0	38.0	35.0	37.0	31.0	30.0	31.0	30.0	32.0	35.0	33.0	35.0	33.0	35.0	32.0	35.0	62.0	56
15.00	34.7	54.3	20.8	55.2	35.0	38.0	35.0	37.0	31.0	29.0	30.0	31.0	33.0	34.0	32.0	35.0	32.0	33.0	31.0	34.0	61.0	56
16.00	33.4	59.7	22.8	52.7	35.0	37.0	33.0	36.0	31.0	29.0	30.0	32.0	31.0	32.0	32.0	33.0	32.0	31.0	33.4	33.0	58.0	57
17.00	32.4	55.8	25.1	45.8	35.0	33.0	33.0	38.0	31.0	29.0	29.0	32.0	30.0	30.0	31.0	33.0	33.0	29.0	30.0	33.0	58.0	54
18.00	30.5	55.2	24.8	44.4	32.0	33.0	32.0	35.0	31.0	28.0	29.0	33.0	28.0	28.0	31.0	31.0	31.0	28.0	29.0	31.0	56.0	52
19.00	28.9	64	24.5	44.3	30.0	31.0	31.0	33.0	30.0	28.0	29.0	33.0	28.0	27.0	29.0	30.0	30.0	28.0	28.0	30.0	54.0	52
เฉลี่ย	33.4	56.6	22.9	50.06	33.5	37.54	32.81	34.54	29.9	29	29.36	30.27	30.72	32.54	31.27	32.81	31.18	32	30.4	32.45	58.2	51.18

ค่าการแผ่รังสีความร้อนของคอนกรีต = 0.70

ค่าการแผ่รังสีความร้อนของปูนฉาบ = 0.95

ค่าการแผ่รังสีความร้อนของกระจก = 0.95

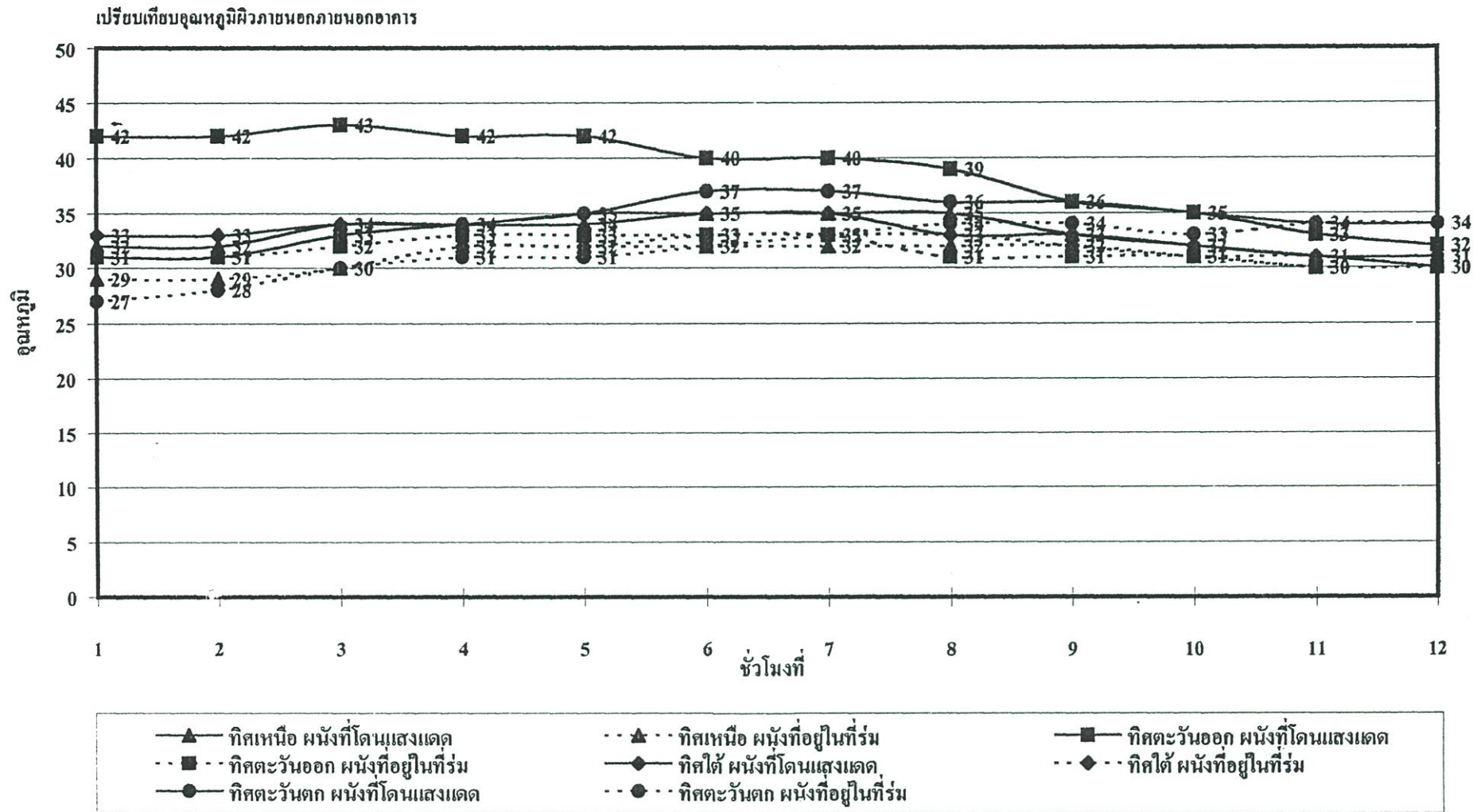
อุณหภูมิ หน่วย องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ หน่วย %

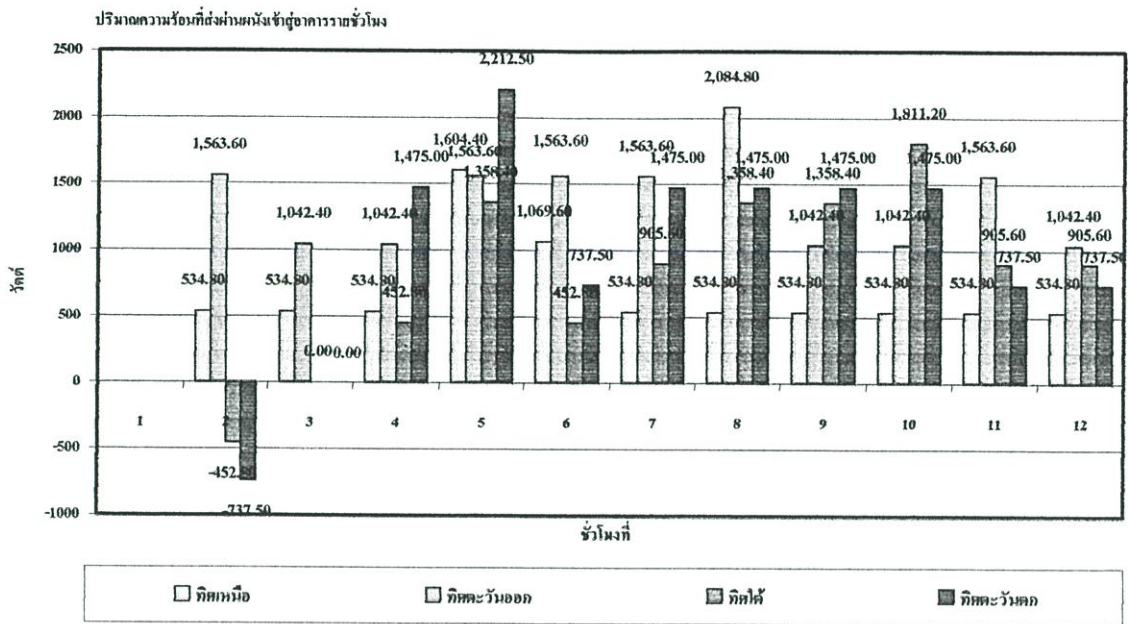
ตารางที่ 5.30 แสดงอุณหภูมิผิวภายนอกอาคารอาคารกรณีศึกษา

เวลา	ทิศเหนือ		ทิศตะวันออก		ทิศใต้		ทิศตะวันตก	
	ผนังที่โดนแสงแดด	ผนังที่อยู่ในที่ร่ม	ผนังที่โดนแสงแดด	ผนังที่อยู่ในที่ร่ม	ผนังที่โดนแสงแดด	ผนังที่อยู่ในที่ร่ม	ผนังที่โดนแสงแดด	ผนังที่อยู่ในที่ร่ม
9.00	32	29	42	31	33	27	31	27
10.00	32	29	42	31	33	28	31	28
11.00	34	30	43	32	34	30	33	30
12.00	34	32	42	33	34	32	34	31
13.00	34	32	42	33	35	32	35	31
14.00	35	32	40	33	35	33	37	32
15.00	35	32	40	33	35	33	37	33
16.00	35	32	39	31	33	33	36	34
17.00	33	32	36	31	33	32	36	34
18.00	32	31	35	31	32	31	35	33
19.00	31	30	33	30	31	31	34	34
20.00	30	30	32	30	31	30	34	34
21.00	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก
22.00	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก
23.00	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก	ไม่มีการบันทึก
เฉลี่ย	33.08	30.91	38.83	31.58	33.25	31	34.41	31.75

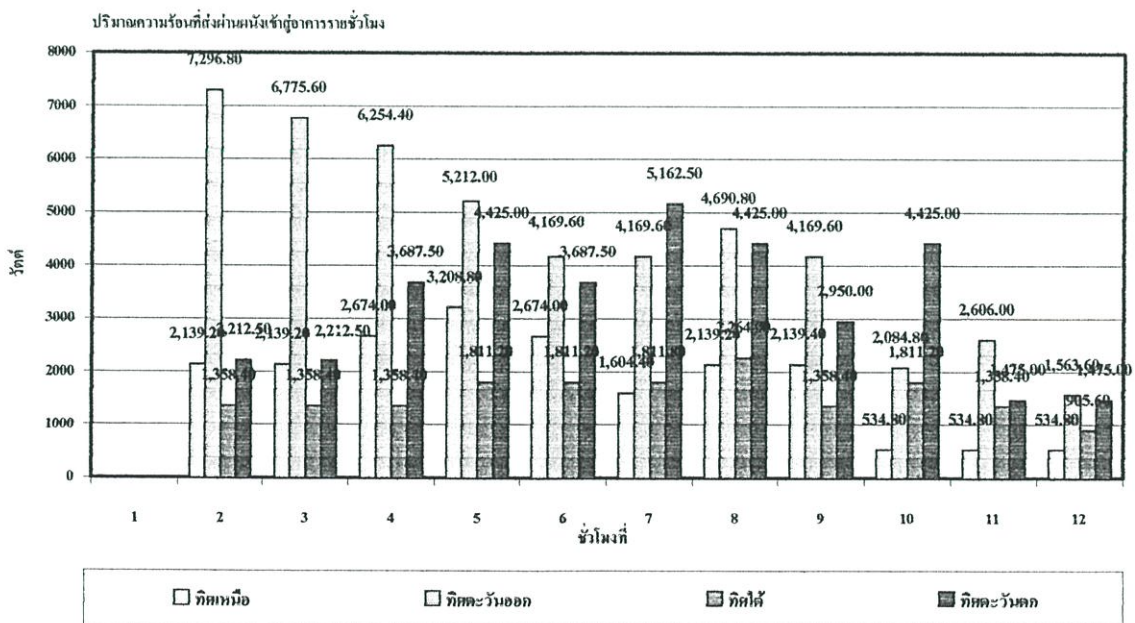
หน่วย : องศาเซลเซียส



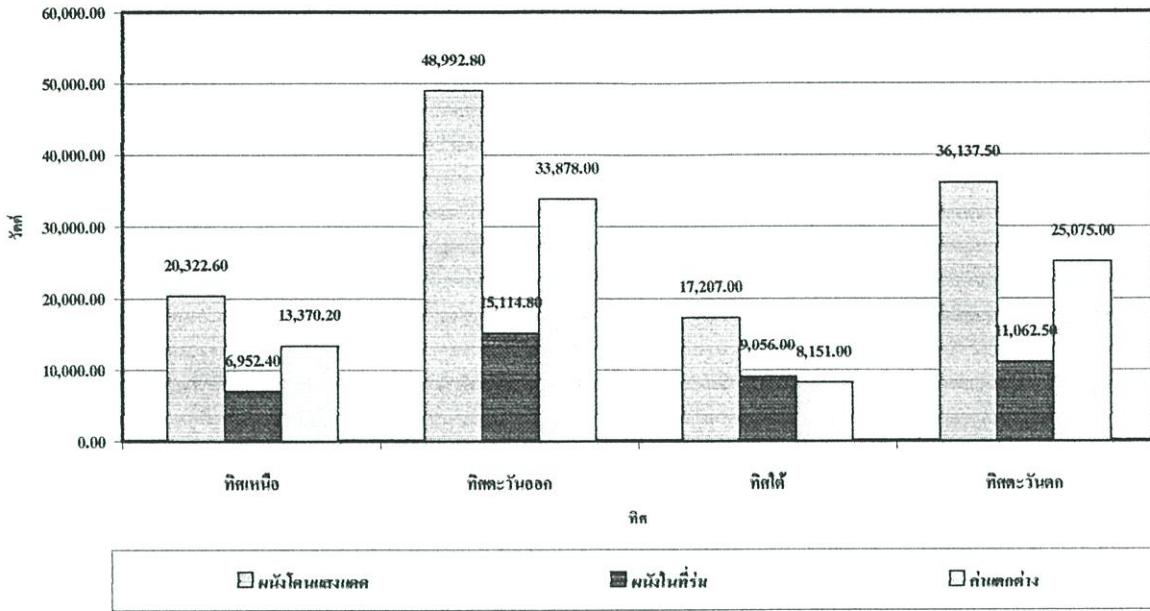
รูปที่ 5.37 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายนอกอาคาร จากการเก็บบันทึกข้อมูล



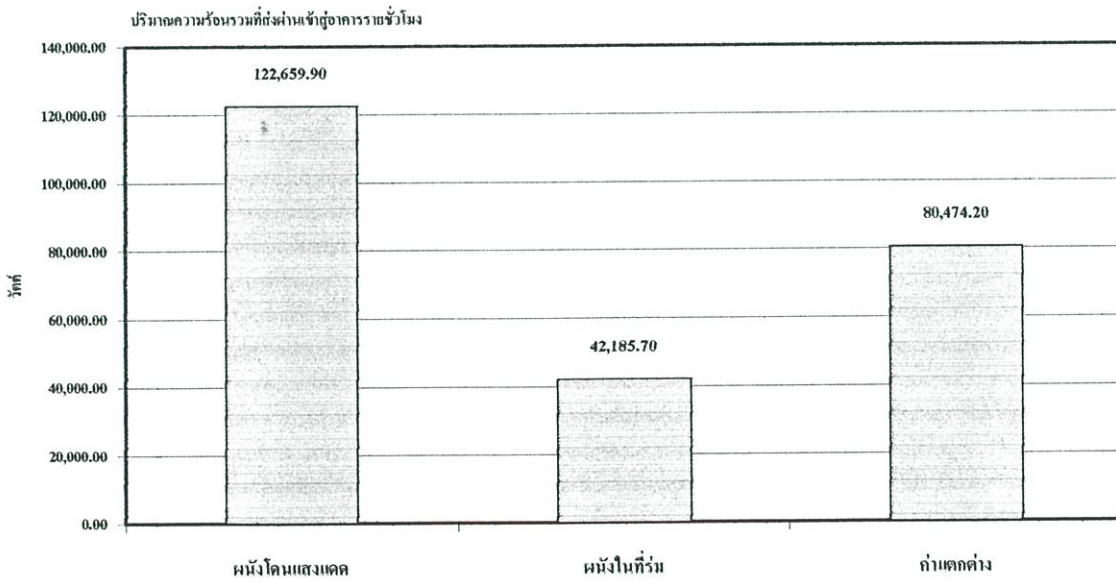
รูปที่ 5.38 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่คำนวณได้จากการเก็บข้อมูลอาคารจากผนังในที่ร่ม



รูปที่ 5.39 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่คำนวณได้จากการเก็บข้อมูลจากผนังที่โดนแสงแดด



รูปที่ 5.40 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนังในทิศต่างๆ



รูปที่ 5.41 แสดงปริมาณความร้อนรวมที่ส่งผ่านผนังที่เข้าสู่อาคาร

จากการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารที่ทำการทดสอบหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมนั้น พบว่าค่าที่คำนวณได้จากแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารโดยใช้ฉนวนภายนอกอาคารนั้น ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่ได้จะยังมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 45 วัตต์/ตร.ม. โดยชนิดของฉนวนที่ให้ค่าที่ต่ำที่สุดคือ ฉนวนโพลียูรีเทน ที่ขนาดความหนา 3 นิ้ว มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 56.45 วัตต์/ตร.ม. ส่วนค่าสูงสุดคือ ฉนวนโพลีสไตรีน ที่ขนาดความหนา 1 นิ้ว มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 65.10 วัตต์/ตร.ม. เมื่อพิจารณาค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง ค่าขนาดการทำความเย็นต่อพื้นที่ที่ปรับอากาศ ค่าที่ได้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่พิจารณาค่าการลงทุนในการปรับปรุงและระยะเวลาคืนทุนแล้ว พบว่า ฉนวนโพลีสไตรีน มีค่าการลงทุนต่อ ตร.ม. ที่ต่ำกว่า มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมกว่าคือ เมื่อถูกไหม้ไฟแล้วจะไม่มีก๊าซพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ต่างจากฉนวนโพลียูรีเทนที่จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เป็นพิษ ฉนวนโพลีสไตรีนจึงมีความเหมาะสมกว่าในการปรับปรุงผนังฉนวนภายนอกอาคารมากกว่า

ในการปรับปรุงผนังโปร่งแสงนั้น มีแนวทางการปรับปรุงที่เป็น 4 แนวทางคือ การปรับเปลี่ยนจากกระจกเดิมเป็นกระจกสะท้อนแสง การติดตั้งฟิล์มกรองแสงบนกระจกใสเดิม การปรับลดพื้นที่กระจก และการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดให้ผนังกระจก โดยในแนวทางที่ 1 และ 2 นั้น มีการเลือกใช้รูปแบบชนิดของกระจกและฟิล์มกรองแสงอีกหลายรูปแบบ เพื่อเพิ่มทางเลือกในการปรับปรุง การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมพบว่าค่าที่ได้จากการติดตั้งฟิล์มกรองแสงบนกระจกใสเดิม จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดโดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารจะอยู่ในช่วง 26-40 วัตต์/ตร.ม. รองลงมาคือการเปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนแสง การติดตั้งอุปกรณ์บังแดด และการปรับลดพื้นที่กระจก ตามลำดับ ค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของแนวทางการติดตั้งฟิล์มกรองแสงและการใช้กระจกสะท้อนแสงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 4-6 % เมื่อพิจารณาด้านการลงทุนในการปรับปรุงและระยะเวลาคืนทุนแล้ว พบว่า แนวทางการติดตั้งฟิล์มกรองแสง มีค่าการลงทุนต่อ ตร.ม. ที่ต่ำกว่าแนวทางอื่น จึงมีความเหมาะสมมากกว่าในการปรับปรุงผนังโปร่งแสง

ส่วนการปรับลดพื้นที่กระจก และการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดนั้น ให้ค่าการประหยัดพลังงานที่น้อยมากเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานในระดับปกติ ค่าการตอบแทนในการลงทุนมีค่าต่ำ จึงไม่เหมาะสมในการปรับปรุงอาคาร

การปรับปรุงในส่วนหลังคานั้น พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา มีค่าที่ลดลงจากเดิมมาก โดยสามารถลดลงได้ 73-89 % ค่าที่ต่ำที่สุดเป็นฉนวนชนิด Ceramic Polymer Coating ที่ฉีดยึดพ่นบนผิวหลังคาเดิม มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา 5.46 วัตต์/ตร.ม. เทียบเท่ากับการใช้แผ่นสะท้อนความร้อน Polynum หนา 5 มม. ติดตั้งใต้แผ่นหลังคา ส่วนค่าสูงสุดคือ ฉนวนชนิด โพลียูรีเทนชนิดฉีดยึดพ่นบนฝ้าเพดานเดิม มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวม 12.66 วัตต์/ตร.ม. แต่ค่าที่ได้จากการคำนวณทุกค่านั้นมีค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 25 วัตต์/ตร.ม. และเป็นที่น่าสนใจก็คือการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนในหลังคาโดยใช้วิธีการป้องกันความร้อนจากการแผ่รังสี

ความร้อนจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการป้องกันความร้อนโดยการนำ และการพาความร้อน ทั้งนี้ การป้องกันความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนนั้น จะเป็นการป้องกันก่อนที่ผิวหลังคาจะได้รับความร้อน ทำให้มีการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารได้น้อยกว่าวิธีการอื่น และเมื่อพิจารณาว่าการส่งผลต่อการใช้งานในอาคารและต่อผู้ใช้อาคาร ความสะดวกในการติดตั้งแล้ว การเลือกใช้ฉนวนชนิด Ceramic Polymer Coating ชนิดฉนวนบนผิวหลังคาเดิม จะเหมาะสมกว่าแนวทางอื่น แม้ว่าค่าที่ได้จะเท่ากับการเลือกใช้แผ่นสะท้อนความร้อน แต่วิธีการนี้จะส่งผลกระทบต่อการใช้งานในอาคาร และผู้ใช้อาคารแม้จะมีราคาต่อ ตร.ม. ที่ถูกกว่าการใช้ฉนวน Ceramic Polymer Coating ก็ตาม

จากข้อสรุปผลการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV และ RTTV) โดยการใช้ฉนวนกันความร้อนที่นำมาประกอบการปรับปรุงผนังอาคาร การเลือกใช้ฟิล์มกรองแสงติดตั้งบนกระจกใสเดิม และการใช้ฉนวนเซรามิกพันทับผิวหลังคาเดิม ที่คิดแยกเฉพาะส่วนที่กล่าวมาแล้ว เมื่อนำองค์ประกอบต่างๆ มาคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมโดยใช้วัสดุต่างๆ เป็นองค์ประกอบอาคาร โดยมีข้อกำหนดในการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบดังนี้

1. ใช้ฉนวนโพลีสไตรีนชนิดความหนาแน่น 1 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต หนา 1,2,3 นิ้ว พร้อมสีสำเร็จภายนอก
2. ติดตั้งฟิล์มกรองแสง ชนิด P-18 Silver บนกระจกใสเดิม
3. ใช้ฉนวน Ceramic Polymer Coating ฉนวนพันทับผิวหลังคาคอนกรีตและหลังคากระเบื้องเดิม หลังคาโปร่งแสงติดตั้งฟิล์มกรองแสง P-18 Silver

จากแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร โดยการนำฉนวนชนิดต่างๆ มาเป็นองค์ประกอบอาคาร เมื่อนำมาหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) จะได้ค่าดังนี้

$$\text{ค่า OTTV ผนัง โฟม 1 นิ้ว มีค่า} = 27.82 \text{ W/m}^2. \quad \text{RTTV} = 4.65 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{ค่า OTTV ผนัง โฟม 2 นิ้ว มีค่า} = 23.22 \text{ W/m}^2. \quad \text{RTTV} = 4.65 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{ค่า OTTV ผนัง โฟม 3 นิ้ว มีค่า} = 20.92 \text{ W/m}^2. \quad \text{RTTV} = 4.65 \text{ W/m}^2.$$

จากการที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร (OTTV) ที่ลดลงนั้น สามารถที่จะลดการใช้พลังงานในอาคารลงได้โดยสามารถยกตัวอย่างการคำนวณการหาการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศที่ลดลงได้ดังนี้

$$\text{ค่า OTTV ที่ลดลง(จากผนัง โฟม 1 นิ้ว)} = 54.74 \text{ W/m}^2.$$

$$\text{พื้นที่ผนังอาคารภายนอกทั้งหมด} = 1,300.52 \text{ m}^2.$$

$$\text{พื้นที่ผนัง โปร่งแสง} = 645.30 \text{ m}^2.$$

$$\text{วัตต์ความร้อนที่ลดลง} = 54.74 \times 1,945.82 \text{ W. หรือ}$$

$$= 106.51 \text{ kW. หรือ}$$

$$\begin{aligned}
 &= 106.51 \times 3,414 \text{ Btu / hr.} \\
 &= 363,625.14 \text{ Btu / hr. หรือ} \\
 &= 30.30 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องสมุดมีค่าเฉลี่ย 1.728 kW/ton

$$\begin{aligned}
 &= 30.30 \times 1.728 \text{ kW.} \\
 &= 52.35 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

การเปิดใช้งานระบบปรับอากาศโดยปกติวันละ 9 ชม. 250 วันต่อปี

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้} &= 52.35 \times 9 \times 250 \\
 &= 117,787.50 \text{ kW./ปี}
 \end{aligned}$$

และเมื่อคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากการใช้ฉนวน โฟม หนา 2 นิ้ว และ 3 นิ้ว โดยใช้การคำนวณข้างต้น จะได้ค่าพลังงานที่ลดลงดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้จากฉนวน โฟม หนา 2 นิ้ว} &= 127,665 \text{ kW./ปี} \\
 \text{ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้จากฉนวน โฟม หนา 3 นิ้ว} &= 132,660 \text{ kW./ปี}
 \end{aligned}$$

#### 5.4 การประเมินการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของมหาวิทยาลัย ที่แยกการใช้พลังงานได้ดังนี้  
การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี

ปริมาณ	9,048,636 kWh./ปี
ราคาค่าไฟฟ้า	17,735,326 บาท/ปี
ราคาไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	1.96 บาท/Kwh..
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดสำหรับผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารปกติ	3,580.8 kW.
ตัวประกอบโหลด	28.8%
แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย	398 โวลต์
ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.86
ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า	554 kWh./คน-ปี และ 75 kW./m <sup>2</sup> .

ในส่วนเฉพาะอาคารกรณีศึกษา พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศมีค่าดังนี้  
การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ อาคารสำนักหอสมุด

รวมพื้นที่ปรับอากาศทั้งอาคาร	9,300 ตร.ม.
ขนาดทำความเย็น / พื้นที่ปรับอากาศ	500.61 บีทียู-ชม./ตร.ม.
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	478,115 kWh./ปี
อายุการใช้งานเฉลี่ยเครื่องปรับอากาศ	8-10 ปี

จากแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคารทั้งในผนังทึบและผนัง โปร่งแสงในแต่ละทางเลือกต่าง ๆ นั้น เมื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง เพื่อนำมาประเมินค่าการใช้พลังงาน โดยเฉพาะในระบบปรับอากาศนั้น สามารถสรุปค่าการใช้พลังงานได้ดังตารางที่ 5.31

ตารางที่ 5.31 แสดงการประเมินค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศที่ลดลง

รูปแบบผนัง		ค่าOTTV	การใช้พลังงานเดิม(kW.h)	การใช้พลังงานที่ลดลง(kW.h)	ลดลง(%)
อาคารเดิม		82.56	478,115.00		
ติดตั้งฉนวนภายนอก	รูปแบบที่1	65.10	478,115.00	25,107.75	5.25
	รูปแบบที่2	62.50	478,115.00	28,848.96	6.03
	รูปแบบที่3	61.21	478,115.00	30,713.00	6.42
	รูปแบบที่4	59.71	478,115.00	32,870.90	6.87
	รูปแบบที่5	57.26	478,115.00	36,395.36	7.61
	รูปแบบที่6	56.45	478,115.00	37,546.20	7.85
เปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนความร้อน	กระจกTS-130	52.93	478,115.00	21,149.50	4.42
	กระจกTBL-135	54.33	478,115.00	20,150.27	4.21
	กระจกTS-140	57.59	478,115.00	17,823.32	3.72
	กระจกTS-230	51.07	478,115.00	22,477.23	4.70
	กระจกTBL-235	52.47	478,115.00	21,477.92	4.49
ติดตั้งฟิล์มกรองแสงลดความร้อน	P-18 Silver	44.87	478,115.00	26,902.72	5.62
	RE-20 SIARL Silver	44.87	478,115.00	26,902.72	5.62
	RE-15 SIX Silver	42.22	478,115.00	28,794.23	6.02
	RE-20 NEARL Neutral	50.65	478,115.00	22,777.02	4.76
	RE-30 NEARL Neutral	55.96	478,115.00	18,986.80	3.97
ปรับลดพื้นที่กระจก		79.85	478,115.00	1,934.36	0.40
ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด		73.45	478,115.00	3,763.09	0.78
ติดตั้งผนังบังแดดให้กับผนังภายนอก			478,115.00	89,010.76	18.61
ผนังโพลีโพรพิลีน หนา 1 นิ้ว		27.82	478,115.00	117,787.50	24.63
ผนังโพลีโพรพิลีน หนา 2 นิ้ว		23.22	478,115.00	127,665.00	26.70
ผนังโพลีโพรพิลีน หนา 3 นิ้ว		20.92	478,115.00	132,660	27.74

ในส่วนของการใช้พลังงานที่ลดลงจากการติดตั้งผนังบังแดดให้กับผนังภายนอกอาคาร ที่  
คำนวณได้ 89,010.76 kW.h. นั้น สามารถแสดงการคำนวณได้ ดังนี้

$$\text{ปริมาณความร้อนจากผนังที่โดนแสงแดด} = 122,659.90 \text{ W.}$$

$$\text{ปริมาณความร้อนจากผนังที่อยู่ในที่ร่ม} = 42,185.70 \text{ W.}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าความแตกต่าง} &= 80,474.20 \text{ W. หรือ} \\ &= 80.47 \text{ Kw.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{วัดค่าความร้อนที่ลดลง} &= 80.47 \times 3,414 \text{ Btu/hr.} \\ &= 274,724.85 \text{ Btu/hr.} \\ &= 22.89 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศสำนักงานหอสมุดมีค่าเฉลี่ย 1.728 kW./ton} \\ &= 22.89 \times 1.728 \\ &= 39.55 \text{ kW.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{การเปิดใช้งานระบบปรับอากาศโดยปกติวันละ 9 ชม. 250 วันต่อปี} \\ &= 39.55 \times 9 \times 250 \\ &= 89,101.76 \text{ kWh./ปี} \end{aligned}$$

ตารางที่ 5.32 แสดงค่าขนาดการทำความเย็นและการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้จากการปรับปรุง

	รูปแบบผนัง	ขนาดการทำความเย็น	พลังงานไฟฟ้า/ชม	พลังงานไฟฟ้า/วัน
ติดตั้งฉนวนภายนอก	รูปแบบที่ 1	6.45	11.15	100.43
	รูปแบบที่ 2	7.42	12.82	115.39
	รูปแบบที่ 3	7.89	13.65	122.85
	รูปแบบที่ 4	8.45	14.60	131.48
	รูปแบบที่ 5	9.36	16.17	145.58
	รูปแบบที่ 6	9.65	16.68	150.18
เปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนความร้อน	กระจก TS-130	5.44	9.40	84.59
	กระจก TBL-135	5.18	8.95	80.60
	กระจก TS-140	4.58	7.92	17.29
	กระจก TS-230	5.78	9.98	89.90
	กระจก TBL-235	5.52	9.54	85.91
ติดตั้งฟิล์มกรองแสงลดความร้อน	P-18 Silver	6.91	11.95	107.61
	RE-20 SIARL Silver	6.91	11.95	107.61
	RE-15 SIX Silver	7.40	12.79	115.17
	RE-20 NEARL Neutral	5.85	10.12	91.10
	RE-30 NEARL Neutral	4.88	8.43	75.94
	ปรับลดพื้นที่กระจก	0.49	0.85	7.73
	ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด	5.04	8.71	78.43
	ติดตั้งผนังบังแดดให้กับผนังภายนอก	22.89	39.55	356.00
	ผนังโพลีโพรพิลีน หนา 1 นิ้ว	30.30	52.35	471.15
	ผนังโพลีโพรพิลีน หนา 2 นิ้ว	32.84	56.74	510.66
	ผนังโพลีโพรพิลีน หนา 3 นิ้ว	34.12	58.96	530.64

หน่วย: ค่าขนาดการทำความเย็น ตัน-ชม.

หน่วย: พลังงานไฟฟ้า/ชม. Kw.h.

หน่วย: พลังงานไฟฟ้า/วัน Kw.

ในส่วนขนาดการทำความเย็น/พื้นที่ปรับอากาศนั้น สามารถคำนวณได้จากการวิเคราะห์ค่าการทำความเย็นเดิมที่มีค่า 500.61 บีทียู-ชม./ตร.ม. โดยการหาขนาดการทำความเย็น/พื้นที่ ใหม่นั้นหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ขนาดการทำความเย็น/พื้นที่ปรับอากาศเดิม} &= 500.61 \text{ Btu-hr./m}^2. \\
 \text{พื้นที่ใช้งานที่มีการปรับอากาศ} &= 9,300 \text{ m}^2. \\
 &= 500.61 \times 9,300 \\
 &= 4,655,673 \text{ Btu.} \\
 &= 387.97 \text{ ton} \\
 \text{ช่วงเวลาการใช้งาน 9 ชม./วัน} &= 387.97 \times 9 \\
 &= 3,491.73 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

จากค่าการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่สามารถปรับลดลงได้จากการปรับปรุงผนังทึบและผนังโปร่งแสงนั้น เมื่อนำมาหาขนาดการทำความเย็น/พื้นที่ปรับอากาศ นั้น สามารถนำค่าที่ได้จากการคำนวณการหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากตารางที่ 5.32 และจากตัวอย่างการคำนวณ จะได้ค่าการทำความเย็นรวมต่อชั่วโมงต่อวัน ที่สามารถลดลงได้ (ตัวอย่างการคำนวณใช้ค่าจากการปรับปรุงผนังรูปแบบที่ 1)

โดยหาค่าการทำความเย็น/พื้นที่ปรับอากาศใหม่ได้ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าการทำความเย็นที่ลดลง จากผนังรูปแบบที่ 1} &= 6.458 \text{ ton-hr.} \\
 \text{ช่วงเวลาการใช้งาน 9 ชม./วัน} &= 6.458 \times 9 \\
 &= 58.12 \text{ ton} \\
 \text{ขนาดการทำความเย็นที่ลดลงเหลือ} &= 3,491.73 - 58.12 \\
 &= 3,433.61 \text{ ton/day} \\
 &= 381.51 \text{ ton/hr.} \\
 &= 381.51 \times 12,000 \text{ Btu-hr.} \\
 &= 4,578,120 \text{ Btu-hr.} \\
 \text{พื้นที่ใช้งานที่มีการปรับอากาศ} &= 9,300 \text{ m}^2. \\
 \text{ขนาดการทำความเย็น/พื้นที่} &= 4,578,120/9,300 \\
 &= 492.27 \text{ Btu-hr./m}^2.
 \end{aligned}$$

การหาขนาดการทำความเย็นในการปรับปรุงผนังรูปแบบอื่นๆก็ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกัน โดยใช้ค่าตามตารางที่ 5.32 ในการหาขนาดการทำความเย็น และแสดงค่าที่ได้ตามตารางที่ 5.33

ตารางที่ 5.33 แสดงค่าขนาดการทำความเย็น/พื้นที่ใช้งานในอาคารที่ลดลงจากการปรับปรุง

รูปแบบผนัง	ค่าOTTV	ขนาดการทำความเย็นเดิม	ขนาดการทำความเย็นใหม่	ลดลง(%)	
อาคารเดิม	82.56	500.61			
ติดตั้งฉนวนภายนอก	รูปแบบที่1	65.10	500.61	492.27	1.66
	รูปแบบที่2	62.50	500.61	491.03	1.91
	รูปแบบที่3	61.21	500.61	490.42	2.03
	รูปแบบที่4	59.71	500.61	489.70	2.18
	รูปแบบที่5	57.26	500.61	488.52	2.41
	รูปแบบที่6	56.45	500.61	488.15	2.48
เปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนความร้อน	กระจกTS-130	52.93	500.61	493.58	1.40
	กระจกTBL-135	54.33	500.61	493.92	1.33
	กระจกTS-140	57.59	500.61	494.69	1.18
	กระจกTS-230	51.07	500.61	493.14	1.49
	กระจกTBL-235	52.47	500.61	193.48	1.42
ติดตั้งฟิล์มกรองแสงลดความร้อน	P-18 Silver	44.87	500.61	491.69	1.78
	RE-20 SIARL Silver	44.87	500.61	491.69	1.78
	RE-15 SIX Silver	42.22	500.61	491.05	1.90
	RE-20 NEARL Neutral	50.65	500.61	493.05	1.51
	RE-30 NEARL Neutral	55.96	500.61	494.30	1.26
ปรับลดพื้นที่กระจก	79.85	500.61	499.97	0.12	
ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด	73.45	500.61	494.10	1.30	
ติดตั้งผนังบังแดดให้กับผนังภายนอก		500.61	471.07	5.90	
ผนังโพลีโพลีสไตรีนหนา 1 นิ้ว	27.82	500.61	461.15	7.88	
ผนังโพลีโพลีสไตรีนหนา 2 นิ้ว	23.22	500.61	458.23	8.46	
ผนังโพลีโพลีสไตรีนหนา 3 นิ้ว	20.92	500.61	456.58	8.79	

หน่วย: ค่า OTTV วัตต์/ตร.ม.

จากการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศที่ลดลงนั้นสามารถลดค่ากระแสไฟฟ้าที่ต้องจ่ายเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า โดยมีราคาเฉลี่ยต่อหน่วยที่ 2.65 บาท/kWh. ซึ่งเป็นราคาต้นทุนในการนำมาคำนวณระยะเวลาการคืนทุนในการปรับปรุงกรอบอาคาร เมื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากแนวทางการปรับปรุงผนังอาคารมาคำนวณหาค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ จะได้ค่าตามตารางที่ 5.34

## 5.5 การคำนวณค่าไฟฟ้าต้นทุนเพื่อประเมินการกักตุนในการปรับปรุง

จากโครงสร้างการคิดราคาค่าไฟฟ้าที่กำหนดโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง คือ การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยได้จัดแบ่งประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าได้ดังนี้

1. อัตราการใช้ไฟฟ้าปกติ ประกอบด้วย
  - ประเภทที่ 1 บ้านพักอาศัย
  - ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก
  - ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร
  - ประเภทที่ 7 การทำการเกษตร การสูบน้ำเพื่อการเกษตร
2. อัตราการใช้แบบ TOU (Time of Use) แบ่งเป็นกลุ่มผู้ใช้ 2 กลุ่ม คือ
  - TOU 1 ได้แก่ ประเภทที่ 1 บ้านพักอาศัย ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก
  - TOU 2 ได้แก่ ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง
    - ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่
    - ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง
    - ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร
    - ประเภทที่ 7 การสูบน้ำเพื่อการเกษตร

ในการจัดแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้านั้น จัดแบ่งตามลักษณะการใช้ ปริมาณการใช้ และช่วงระยะเวลาการใช้ ในลักษณะของกิจการนั้นๆ ในส่วนอาคารกรณีศึกษานั้น เมื่อแยกพิจารณาการใช้พลังงานในอาคารแล้ว สามารถจัดแบ่งให้อยู่ในกลุ่มของ “ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร”

กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร มีลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในกลุ่มที่ 6 ของส่วนราชการและหน่วยงานตามกฎหมายที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีแรกที่สูงสุด ต่ำกว่า 1,000 Kw. และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน และองค์กรที่ไม่ใช่ส่วนราชการแต่มีวัตถุประสงค์ในการให้บริการโดยไม่คิดค่าตอบแทน โดยผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

ในอาคารกรณีศึกษา มีการใช้พลังงานดังนี้

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	478,115 kWh/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน	39,842.91 kWh.
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน	119,528.73 kWh.
แรงดันไฟฟ้า	398 V. หรือ 0.398 Kv.

### 5.5.1 สูตรคิดค่าไฟฟ้า ในอัตราต่อหน่วยที่คงที่

ค่าไฟฟ้า = (จำนวนพลังงานไฟฟ้า x อัตราค่าพลังงาน) + ค่าบริการ + ค่า $F_c$  + ภาษีมูลค่าเพิ่ม โดยที่

- อัตราค่าไฟฟ้าหน่วยที่ 1-10 คิคหน่วยละ 1.3576 บาท/หน่วย
  - อัตราค่าไฟฟ้าหน่วยที่ 10 ขึ้นไป คิคหน่วยละ 2.4482 บาท/หน่วย
  - ค่าบริการ 20 บาท/เดือน
  - ค่าปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติหรือ  $F_c$  อัตรา 3 สตางค์/หน่วย
- ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง

#### ค่าไฟฟ้าส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน

$$\begin{aligned} &= (\text{จำนวนพลังงานไฟฟ้า} \times \text{อัตราค่าพลังงาน}) + \text{ค่าบริการ} \\ &= (39,842.91 \times 2.4482) + 20 \\ &= 97,563.41 \text{ บาท/เดือน} \end{aligned}$$

#### ค่าไฟฟ้าส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร

$$\begin{aligned} &= (\text{จำนวนพลังงานไฟฟ้า} \times \text{ค่า}F_c) \\ &= (39,842.91 \times 0.03) \\ &= 1,195.28 \text{ บาท/เดือน} \end{aligned}$$

#### ค่าไฟฟ้าส่วนที่ 3 ภาษีมูลค่าเพิ่ม

$$\begin{aligned} &= (\text{ค่าไฟฟ้าฐาน} + \text{ค่า}F_c) \times 0.07 \\ &= (97,563.41 + 1,195.28) \times 0.07 \\ &= 6,913.10 \text{ บาท/เดือน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รวมค่าไฟฟ้าทั้งหมด} &= 97,563.41 + 1,195.28 + 6,913.10 \\ &= 105,671.80 \text{ บาท/เดือน} \\ &= 1,268,061.60 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

#### ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย

$$\begin{aligned} &= 105,671.80 / 39,842.91 \\ &= 2.65 \text{ บาท/kWh.} \end{aligned}$$

ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย 2.65 บาท/kWh. จะนำมาใช้เป็นราคาค่าไฟฟ้าต้นทุนในการคำนวณค่าระยะเวลาการคืนทุนในการปรับปรุงกรอบอาคารทั้งในส่วนผนังและหลังคา ตามตารางการคำนวณระยะเวลาการคืนทุน

ตารางที่ 5.34 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากแนวทางการปรับปรุงกรอบอาคาร

	รูปแบบผนัง	ต้นทุนไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง(kw.h.)	ราคาไฟฟ้าที่ประหยัดได้/ปี
ติดตั้งฉนวนภายนอก	รูปแบบที่1	2.65	25,107.75	66,535.53
	รูปแบบที่2	2.65	28,848.96	76,449.74
	รูปแบบที่3	2.65	30,713.00	81,389.45
	รูปแบบที่4	2.65	32,870.90	87,107.88
	รูปแบบที่5	2.65	36,395.36	96,447.70
	รูปแบบที่6	2.65	37,546.20	99,497.43
เปลี่ยนเป็นกระจกสะท้อนความร้อน	กระจกTS-130	2.65	21,149.50	56,046.17
	กระจกTBL-135	2.65	20,150.27	53,398.21
	กระจกTS-140	2.65	17,823.32	47,231.79
	กระจกTS-230	2.65	22,477.23	59,564.65
	กระจกTBL-235	2.65	21,477.92	56,916.48
ติดตั้งฟิล์มกรองแสงลดความร้อน	P-18 Silver	2.65	26,902.72	71,292.20
	RE-20 SIARL Silver	2.65	26,902.72	71,292.20
	RE-15 SIX Silver	2.65	28,794.23	76,304.70
	RE-20 NEARL Neutral	2.65	22,777.02	60,359.10
	RE-30 NEARL Neutral	2.65	18,986.80	50,315.02
ปรับลดพื้นที่กระจก		2.65	1,934.36	5,126.05
ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด		2.65	3,763.09	9,972.18
ติดตั้งผนังบังแดดให้กับผนังภายนอก		2.65	89,003.00	235,857.95
ผนังโพลีโพรพิลีน หนา 1 นิ้ว		2.65	117,787.50	312,136.87
ผนังโพลีโพรพิลีน หนา 2 นิ้ว		2.65	127,665.00	338,312.25
ผนังโพลีโพรพิลีน หนา 3 นิ้ว		2.65	132,660.00	351,549.00

หน่วย: ค่าต้นทุนไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย บาท

หน่วย: ราคาไฟฟ้าที่ประหยัดได้ บาท

### 5.5.1 ระยะเวลาการคืนทุนจากการปรับปรุงกรอบอาคาร

จากการประเมินศักยภาพการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากการปรับปรุงกรอบอาคาร เรื่องระยะเวลาการคืนทุนเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณาประกอบในการเลือกแนวทางการปรับปรุง เพื่อให้ได้ผลที่ดีและคุ้มค่าที่สุด โดยการพิจารณาระยะเวลาการคืนทุนนั้นสามารถวิเคราะห์ได้จากการลงทุนและผลตอบแทนจากการลงทุน โดยแยกพิจารณาได้ดังนี้

การลงทุนเบื้องต้นในส่วนผนังทึบและผนังโปร่งแสง

ตารางที่ 5.35 แสดงค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการปรับปรุงกรอบอาคาร

ลักษณะการติดตั้ง	ชนิดของฉนวนที่ทำกรติดตั้ง	ราคาที่ใช้พิจารณา(บาท)		รวมราคา(บาท)
		ค่าวัสดุ	พื้นที่ผนังทึบ	
ติดตั้งฉนวนกันความ ภายนอกอาคาร	โฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 1 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	950.00	1,300.52	1,235,494.00
	โฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 2 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	1,000.00	1,300.52	1,300,520.00
	โฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 3 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	1,050.00	1,300.52	1,365,546.00
	โฟมโพลียูรีเทน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 1 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	1,200.00	1,300.52	1,560,624.00
	โฟมโพลียูรีเทน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 2 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	1,250.00	1,300.52	1,325,650.00
	โฟมโพลียูรีเทน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 3 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	1,300.00	1,300.52	1,690,676.00

หมายเหตุ: ราคาวัสดุเป็นราคาที่รวมค่าแรงติดตั้งแล้ว

พื้นที่: ตารางเมตร

ตารางที่ 5.35 แสดงค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการปรับปรุงกรอบอาคาร (ต่อ)

ลักษณะการติดตั้ง	ชนิดของรูปแบบการปรับปรุงที่ทำการติดตั้ง	ราคาที่ใช้พิจารณา(บาท)		รวมราคา(บาท)
		ค่าวัสดุ+ค่าแรง	พื้นที่ผนัง	
เปลี่ยนเป็นกระจก สะท้อนความร้อน	การปรับปรุงโดยการเปลี่ยนกระจกใสเดิมเป็น กระจกสะท้อนแสง			
	กระจก TS-130	1,300.00	645.30	838,890.00
	กระจก TS-135	1,300.00	645.30	838,890.00
	กระจก TS-140	1,300.00	645.30	838,890.00
	กระจก TS-230	1,556.00	645.30	1,004,086.80
	กระจก TS-235	1,556.00	645.30	1,004,086.80
ฟิล์มกรองแสง สะท้อนความร้อน	การปรับปรุงโดยการติดตั้งฟิล์มกรองแสงลด ความร้อนบนกระจกใสเดิม			
	ฟิล์มกรองแสง P-18 Silver	800.00	645.30	516,240.00
	ฟิล์มกรองแสง RE-20 SIARL Silver	1,040.00	645.30	671,112.00
	ฟิล์มกรองแสง RE-15 SIX Silver	1,053.00	645.30	679,500.90
	ฟิล์มกรองแสง RE-20 NEARL Neutral	2,438.80	645.30	1,573,757.60
	ฟิล์มกรองแสง RE-35 NEARL Neutral	1,255.00	645.30	809,851.50
	การปรับปรุงโดยการลดพื้นที่ส่วนที่เป็นกระจก หรือการลดพื้นที่รับแสงลงของผนังโปร่งแสง	350.00	645.30	225,855.00
	ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด	10,800.00	200	2,160,000.00
	ติดตั้งผนังบังแดดให้ผนังภายนอกอาคาร			6,160,000.00

ตารางที่ 5.36 สรุปค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาคืนทุนจากการปรับปรุงกรอบอาคาร

การติดตั้งฉนวนภายนอกอาคาร

ลำดับ	รูปแบบผนัง	ค่า OTTV (วัตต์/ตร.ม.)		ผลการประหยัดพลังงาน		เงินลงทุน(บาท)	ระยะเวลาคืนทุน(ปี)
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	Kw.h /ปี	บาท / ปี		
1	โพลีโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 1 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	82.56	65.10	25,107.75	66,535.53	1,235,494.00	18.56
2	โพลีโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 2 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	82.56	62.50	28,848.96	76,449.74	1,300,520.00	17.01
3	โพลีโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 3 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	82.56	61.21	30,713.00	81,389.45	1,365,546.00	16.77
4	โพลีโพลียูรีเทน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 1 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	82.56	59.71	32,870.90	87,107.88	1,560,624.00	17.91
5	โพลีโพลียูรีเทน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 2 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	82.56	57.26	36,395.36	96,447.70	1,625,650.00	16.85
6	โพลีโพลียูรีเทน ความหนาแน่น 1ปอนด์/ลบ.ฟุต. ที่ความหนา 3 " พร้อมสีสำเร็จภายนอก	82.56	56.45	37,546.20	99,497.43	1,690,676.00	16.99

ผนังที่เลือกใช้ในการปรับปรุงกรอบอาคาร

ลำดับ	รูปแบบผนัง	ค่า OTTV (วัตต์/ตร.ม.)		ผลการประหยัดพลังงาน		เงินลงทุน(บาท)	ระยะเวลาคืนทุน(ปี)
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	Kw.h /ปี	บาท / ปี		
7	ผนังที่เลือกใช้รูปแบบที่ 1 (พร้อมฟิล์มและฉนวนเซรามิก)	82.56	27.82	117,787.50	312,136.87	2,727,176.00	8.73
8	ผนังที่เลือกใช้รูปแบบที่ 2 (พร้อมฟิล์มและฉนวนเซรามิก)	82.56	23.22	127,665.00	338,312.25	2,792,202.00	8.25
9	ผนังที่เลือกใช้รูปแบบที่ 3 (พร้อมฟิล์มและฉนวนเซรามิก)	82.56	20.92	132,660	351,549	2,857,228.00	8.12

ตารางที่ 5.36 สรุปค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายและระยะเวลากินทุนจากการปรับปรุงอาคาร (ต่อ)

การปรับปรุงผนัง โปรงแสง

ลำดับ	รูปแบบผนัง	ค่า OTTV (วัตต์/ตร.ม.)		ผลการประหยัดพลังงาน		เงินลงทุน(บาท)	ระยะเวลากินทุน(ปี)
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	Kw.h /ปี	บาท / ปี		
1	กระฉก TS-130	82.56	52.93	21,149.50	56,046.17	838,890.00	14.96
2	กระฉก TBL-135	82.56	54.33	20,150.27	53,398.21	838,890.00	15.71
3	กระฉก TS-140	82.56	57.59	17,823.32	47,231.79	838,890.00	17.76
4	กระฉก TS-230	82.56	51.07	22,477.23	59,564.65	1,004,086.80	16.85
5	กระฉก TBL-235	82.56	52.47	21,477.92	56,916.48	1,004,086.80	17.64
6	ฟิล์มกรองแสง P-18 Silver	82.56	37.69	26,902.72	71,292.20	516,240.00	7.24
7	ฟิล์มกรองแสง RE-20 SIARL Silver	82.56	37.69	26,902.72	71,292.20	671,112.00	9.41
8	ฟิล์มกรองแสง RE--15 SIX Silver	82.56	40.34	28,794.23	76,304.70	679,500.00	8.90
9	ฟิล์มกรองแสง RE-20 NEARL Neutral	82.56	31.91	22,777.02	60,359.10	1,573,757.60	26.07
10	ฟิล์มกรองแสง RE-35 NEARL Neutral	82.56	26.60	18,986.80	50,315.02	809,851.50	16.09
11	ปรับลดพื้นที่กระฉกภายนอก	82.56	79.85	1,934.36	5,126.05	225,855.00	44.06
12	ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด	82.56	73.45	3,763.09	9,972.18	2,160,000.00	216.60
13	ติดตั้งผนังบังแดดให้กับผนังภายนอก			89,003.00	235,857.95	6,160,000.00	26.11

## 5.6 แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพหลังคา

### 5.6.1 อิทธิพลของตัวแปรต่อการถ่ายเทความร้อนทางหลังคา

หลังคาจะได้รับความร้อนจากอิทธิพลของดวงอาทิตย์โดยการแผ่รังสีความร้อนซึ่งประกอบด้วยรังสี 2 ประเภท คือ

1. รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) คือรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์ สามารถทะลุทะลวงผ่านกระจกใสได้ดี และถูกดูดซับโดยวัสดุสีดำ และรังสีคลื่นสั้นที่ส่งผ่านวัตถุนั้นจะคายรังสีคลื่นยาวออกมา
2. รังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) คือพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาในรูปพลังงานความร้อน ไม่สามารถทะลุทะลวงผ่านกระจกใสได้ สะท้อนได้ดีกับวัสดุผิวเรียบและมันเงา

เมื่อหลังคาได้รับความร้อนจะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ การพา และการแผ่รังสี ตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

### 5.6.2 อิทธิพลจากแสงแดด

แสงแดดเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารทางด้านต่างๆ โดยหลังคาที่ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนที่เป็นคลื่นสั้น และจะเกิดความร้อนที่ผิวหลังคาทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร

### 5.6.3 คุณสมบัติการแผ่รังสีของพื้นผิว (Surface Radiatio)

รังสีความร้อนที่เป็นรังสีคลื่นยาวที่มีพลังงานต่ำ เมื่อตกกระทบกับวัตถุใด จะมีการสะท้อนส่งผ่านและดูดซับไว้ในวัตถุนั้น โดยวัสดุแต่ละชนิดนั้นจะมีค่าการสะท้อน ส่งผ่านและดูดซับ แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

1. ทิศทางและมุมของการแผ่รังสี
2. ความยาวคลื่นของการแผ่รังสี การคายรังสีในเชิงสเปกตรัม โดยจะลดลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น
3. อุณหภูมิของพื้นผิว การคายรังสีของโลหะจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนในอโลหะจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง
4. ความขรุขระของพื้นผิว ความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว ทำให้เกิดการสะท้อนรังสีหลายครั้ง ทำให้การดูดซับรังสีมีค่าสูงขึ้น การคายรังสีจะมีค่าสูงขึ้นด้วย
5. การเจือปนบนพื้นผิว สารปนเปื้อนบนพื้นผิวทำให้คุณสมบัติการแผ่รังสีเปลี่ยนไป โดยจะทำให้การแผ่รังสีเพิ่มขึ้น

ลักษณะพื้นผิวมีผลต่อการแผ่และการสะท้อนรังสี โดยวัตถุที่มีการดูดซับรังสีสูงก็จะมีค่าการสะท้อนต่ำ ค่าการแผ่รังสีจะบอกถึงความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสี โดยความร้อนที่แผ่ออกมานั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิว โดยมีความสัมพันธ์ที่เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\rho + \alpha + l = 1 \quad \text{เมื่อ}$$

$\rho$  คือ การสะท้อนรังสีจากพื้นผิว

$\alpha$  คือการดูดซึมรังสีโดยพื้นผิว

$l$  คือการส่งผ่านรังสีผ่านพื้นผิว

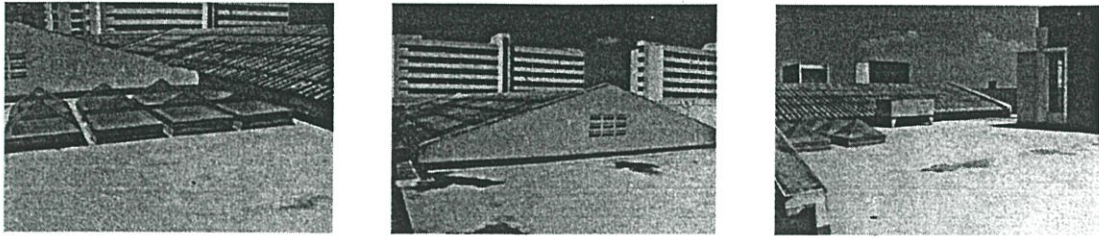
#### 5.6.4 ฉนวนกันความร้อน

การใช้ฉนวนกันความร้อนเพื่อลดการใช้พลังงานในอาคารนั้นควรรู้จักลักษณะและคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนของฉนวนนั้นๆ โดยทั่วไปสามารถแบ่งฉนวนเป็นชนิดต่างๆดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อการพิจารณาการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนในผนังอาคาร แต่จะกล่าวเพิ่มเติมในส่วนที่เป็นฉนวนที่สามารถติดตั้งในส่วนของหลังคา ดังนี้

1. ฉนวนใยแก้ว(Glass Fiber) เป็นการปั่นก้อนแก้วแข็งจนเป็นเส้นเกลียวบาง เชื่อมยึดด้วยตัวประสาน เป็นสารที่ไม่ลุกไหม้ ยกเว้นตัวประสานที่ไหม้ไฟได้ มีสภาพการนำความร้อนต่ำ ดูดซับเสียงดี ไม่เป็นพิษ ใช้ในงานหลังคา ผนัง งานระบบท่อ
2. ฉนวนใยหิน (Rock Fiber) คล้ายกับฉนวนใยแก้ว มีสภาพการนำความร้อนต่ำ ไม่ติดไฟ ดูดซับเสียงดี
3. ฉนวนใยเซลลูโลส(Cellulose Fiber) ผลิตจากการนำไม้หรือกระดาษที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ Short Fiber และ Long Fiber มีคุณสมบัติในการยึดเกาะสูง นิยมใช้พ่นในส่วนหลังคา สภาพการป้องกันความร้อนสูงในการผลิตจะผสมสารเคมี คือ สารบอแรกซ์ช่วยป้องกันแมลงและเชื้อรา และสารบอริกช่วยต้านทานการลุกไหม้ นิยมใช้ในลักษณะฉีดพ่นในส่วนฉนวนใต้คานฟ้า หลังคา
4. แผ่นสะท้อนความร้อน(Reflective Foil) ส่วนใหญ่ที่ใช้กันได้แก่แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ที่มีค่าการสะท้อนรังสีความร้อนสูง หรือค่าการแผ่รังสีต่ำ นิยมใช้กับส่วนหลังคา หรือประกอบกับแผ่นยิปซัม ฉนวนใยแก้ว สภาพคงทนถาวร ต้านทานแรงดึง กันน้ำและความชื้นได้ดี ติดตั้งง่าย การใช้งานควรมีช่องอากาศระหว่างวัสดุผนังหลังคา กับแผ่นสะท้อนความร้อน (ที่มา:ชินวร เวียงวิเศษ,การปรับปรุงประสิทธิภาพหลังคาอิมเนชั่น เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อน,วิทยานิพนธ์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2544)

การปรับปรุงประสิทธิภาพหลังคาในอาคารณีสึกษานั้น ควรที่จะพิจารณาข้อจำกัดเบื้องต้นในการปรับปรุงประสิทธิภาพ โดยมีหลักการพิจารณาดังนี้

1. ความกลมกลืนกับรูปแบบทางสถาปัตยกรรมและแนวความคิดเดิมในการออกแบบ
2. ช่วยลดการส่งผ่านความร้อนที่เข้าสู่อาคารที่ผ่านทางหลังคา
3. ในการปรับปรุงต้องสะดวก รวดเร็ว และง่ายในการทำงาน ไม่รบกวนการใช้พื้นที่ในอาคาร และผู้ใช้อาคาร
4. มีความคุ้มค่าในการลงทุนปรับปรุงประสิทธิภาพหลังคา



รูปที่ 5.42 แสดงหลังคารูปแบบต่างๆของอาคารกรณีศึกษา

5.6.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่ตัวอาคารผ่านทางหลังคา จากการศึกษาในเรื่องการปรับปรุงหลังคา เพื่อที่ช่วยลดการส่งผ่านความร้อนที่เข้าสู่อาคารผ่านทางหลังคานั้น โดยทั่วไปแล้วมีหลักการที่สามารถทำได้ดังนี้

1. ใช้การระบายอากาศในช่องว่างใต้หลังคา
2. รูปแบบและลักษณะของพื้นผิวและสีของหลังคาที่เหมาะสม
3. การใช้วัสดุที่มีค่า Emissive ที่ต่ำ ในช่องว่างหลังคาหรือที่เรียกว่าระบบการป้องกันการถ่ายเทรังสีความร้อน (Radiant Barrier System : RBS)
4. การเลือกใช้ชนิดของฉนวนกันความร้อนในโครงหลังคา
5. ตำแหน่ง ละครดัดตั้งฉนวนกันความร้อนใน โครงหลังคา
6. รูปทรง พื้นผิวและความลาดชันของหลังคา

โดยปกติการถ่ายเทหลังคาความร้อนที่ส่งผ่านหลังคา จะมีรูปแบบการถ่ายเทเหมือนกับผนังอาคารและกระจกอาคาร โดยความร้อนส่วนนี้จะเข้ามาในรูปแบบการแผ่รังสีและรูปแบบการนำความร้อน การพาความร้อนเป็นหลัก โดยมีอัตราส่วนของปริมาณความร้อนดังนี้

- การแผ่รังสีความร้อน ประมาณ 87%
- การนำและการพาความร้อน ประมาณ 13%

(ที่มา: อภิจิต เทอดโชธิน,อิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์และภูมิอากาศของไทย,เอกสารการฝึกอบรมมาตรฐานการออกแบบอาคารที่ประหยัดพลังงาน,กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสยาม 2538)

การถ่ายเทความร้อนที่ส่งผ่านทางหลังคานั้น สามารถแสดงเป็นค่าการส่งผ่านความร้อนรวมของหลังคา ( Roof Thermal Transfer Value : RTTV) ตามสมการดังนี้

$$RTTV = \frac{(A_r * U_r * TD_{eq}) + (A_s * U_s * \Delta T) + (A_s * SC * SF)}{A_o}$$

โดยที่

$A_r$  คือ พื้นที่หลังคาส่วนที่ป (m<sup>2</sup>.)

$U_r$  คือ ค่า ส.ป.ส. การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาที่ป (W/m<sup>2</sup>.)

$TD_{eq}$  คือ ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในสำหรับหลังคา

$A_s$  คือ พื้นที่ของหลังคา ส่วน โปร่งแสง (m<sup>2</sup>.)

- $U_g$  คือ ค่า ส.ป.ส. การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาโปร่งแสง ( $W/m^2$ )  
 $\Delta T$  คือ ค่าผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร  
 $SC$  คือ ค่า ส.ป.ส. การบังแดดของหลังคาส่วน โปร่งแสง ช่องรับแสงแบบ Skylight ที่ทำมุมเอียงกับระนาบพื้นตั้งตั้งแต่ 0 – ไม่เกิน 60 องศา  
 $SF$  คือ ค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์ ( $W/m^2$ ) โดยที่  $SF$  มีค่า  
 $SF =$  ค่าคงที่ \*  $CF$   
 ค่าคงที่ คือ ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับช่องรับแสง ที่ยอมให้ใช้ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยใช้ค่าคงที่ที่ 160  
 $CF$  คือ ค่าตัวประกอบแก้ไขสำหรับมุมเอียงต่างๆ ในทิศทางต่างๆของช่องแสงส่วนหลังคา  
 $A_0$  คือ พื้นที่รวมทั้งหมดของหลังคา ( $m^2$ )

ตารางที่ 5.37 แสดงค่าตัวแปรที่ทำให้การถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคามีค่าลดลง

ตัวแปรของวัสดุ	ค่าที่เหมาะสม
1.) $U_r$ (ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาที่บ) )	มีค่าต่ำ
2.) $TD_{eq}$ (ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในสำหรับหลังคา)	มีค่าต่ำเมื่อ ผิววัสดุสะท้อนแสงและสีอ่อน และมีความหนาแน่นเชิงมวลมาก (แสดงค่าในภาคผนวก ข. ค่าผลต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของหลังคา)
3.) $A_s$ (พื้นที่ของหลังคาส่วนโปร่งแสง)	ควรมีน้อยที่สุดตามความจำเป็น
4.) $U_p$ (ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาส่วนโปร่งแสง)	มีค่าต่ำ
5.) $\Delta t$ (ค่าผลต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในอาคาร)	มีค่าความแตกต่างน้อย (ปรับปรุง Micro climate)
6.) $SC$ (ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของหลังคาส่วนโปร่งแสง)	มีค่าต่ำ
7.) $SF$ (ค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์)	การหันด้านยาวของอาคารไปในทิศทางที่ค่า $CF$ มีค่าต่ำ (ภาคผนวก ข. ตัวประกอบแก้ไขสำหรับหลังคา)
8.) ปริมาตรช่องใต้หลังคา (Air pocket) (มีปริมาตรมาก ทำให้ค่าความต้านทานความร้อนเพิ่มขึ้น โดยแยกเป็นสองลักษณะ)	ก.) ระบบปิด ไม่มีช่องระบายอากาศใต้หลังคาทำให้ค่าความต้านทานช่องอากาศนี้มีค่าคงที่ ข.) ระบบเปิด จะมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าใต้หลังคาเคลื่อนตัวออกสู่ภายนอก และทำให้อากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาแทนที่ ทำให้ค่าความต้านทานช่องอากาศเคลื่อนไหวยมีค่ามากกว่าระบบปิด

ที่มา: ชินวร เวียงวิเศษ, การปรับปรุงประสิทธิภาพหลังคาขีมนเชื่อม เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อน, วิทยานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง, 2544

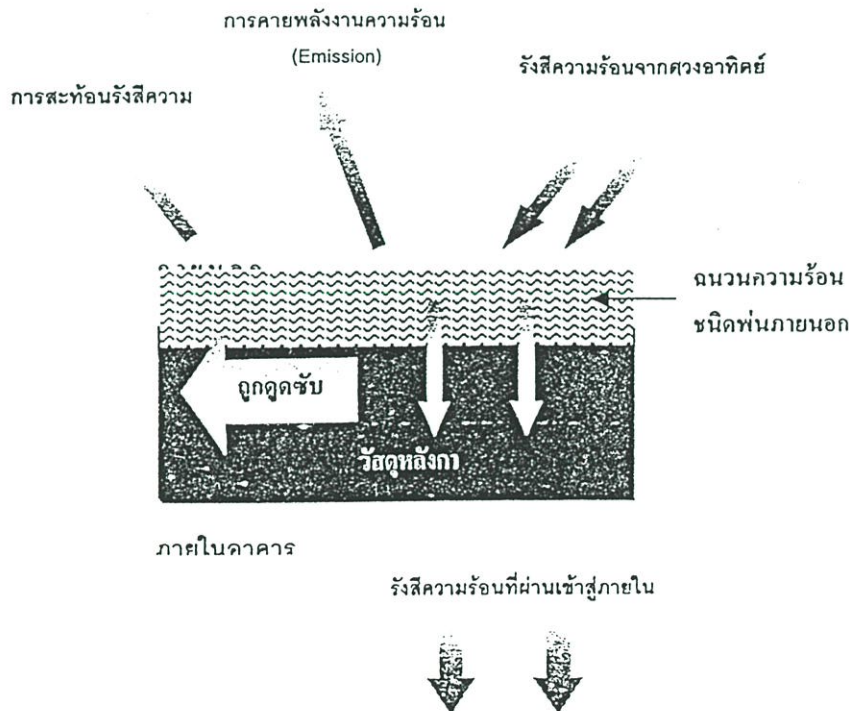
### 5.6.6 รูปแบบที่เหมาะสมในการปรับปรุงหลังคา

1. การติดตั้งฉนวนกันความร้อนด้านนอกอาคาร
2. การติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้แผ่นหลังคา
3. การติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนแผ่นฝ้าเพดาน
4. การเพิ่มการระบายอากาศในช่องว่างหลังคา

#### 5.6.6.1 การติดตั้งฉนวนกันความร้อนด้านนอกอาคาร

โดยทั่วไปแล้วการใช้ฉนวนรูปแบบนี้ จะเป็นฉนวนเหลว ที่มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อน เช่นฉนวน Ceramic Coating โดยที่มีข้อเปรียบเทียบการใช้ฉนวนดังนี้

1. การติดตั้งฉนวน ไม่จำเป็นต้องหยุดการใช้งานภายในอาคาร หรือพื้นที่ต่างๆ และไม่รบกวนผู้ใช้อาคารเลย
2. มีประสิทธิภาพในการลดความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้ดี ทำให้หลังคาเย็นลงก่อนที่จะได้รับความร้อน การสะสมความร้อนในแผ่นหลังคาจะลดลง
3. ยืดอายุการใช้งานของแผ่นหลังคาให้ยาวนานขึ้น



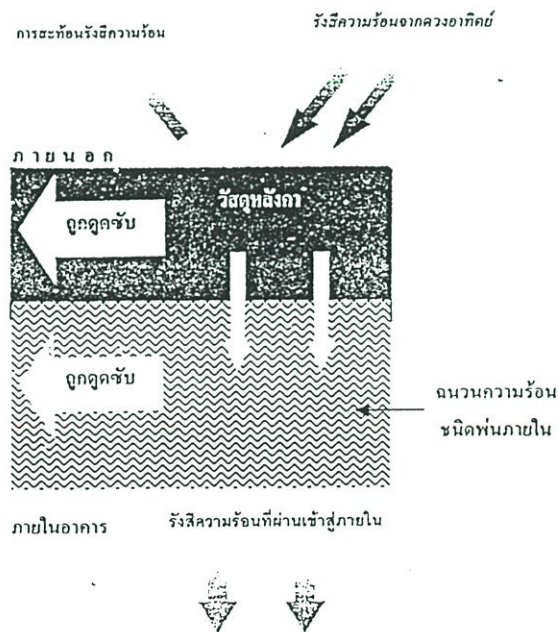
รูปที่ 5.43 แสดงหลักการทำงานของฉนวนชนิด Ceramic Coating

ฉนวนกันความร้อนประเภทนี้ส่วนมากจะมีส่วนผสมของเม็ดเซรามิก โบโรซิลิเกต (Ceramic borosilicate micro spheres) เป็นอนุภาครูปทรงกลมภายในกลวงขนาดเล็ก ประมาณ 7-10 ไมครอน และมีส่วนผสมของอิมัลชันบิฟูเมนเหลว เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยโพลีเอสเตอร์ สารอะคริลิก โพลีเมอริคเรซิน และไททานเนียมออกไซด์ ที่มีคุณสมบัติต้านทานรังสีอัลตราไวโอเล็ต หลักการทำงานนั้นเมื่อเม็ดเซรามิก โบโรซิลิเกตได้รับความร้อนจะเป็นตัวสะท้อนรังสีความร้อนออกไป แต่จะมีบางส่วนถูกดูดกลืนไว้ แต่ไม่เกิน 6-6.5 % และเป็นสารที่มีการคายความร้อนที่ดีทำให้ค่าความร้อนสะสมสุทธิลดลง โดยเร็วเช่นกัน

#### 5.6.6.2 การติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้แผ่นหลังคา

ในอาคารทั่วไปไม่ว่าจะเป็นอาคารเก่าหรืออาคารใหม่ที่ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน วิธีนี้จะเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เพราะไม่ต้องรื้อฝ้าเพดานอาคาร แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการปรับปรุง ดังนี้

1. ความเสียหายของหลังคาจากความร้อนสะสม โดยฉนวนที่ติดตั้งใต้แผ่นหลังคาเป็นชนิด Interior Insulation ที่ใช้หลัก “การหน่วงความร้อน” จากแผ่นหลังคาให้เข้าสู่อาคารให้ช้าลง ความร้อนที่ตกค้างอยู่ในแผ่นหลังคาทำให้เกิดการขยายตัวของแผ่นหลังคา อาจทำให้เกิดความเสียหายกับแผ่นหลังคา โครงสร้างหลังคา อาจทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำ ความชื้นได้
2. ความสะดวกในการติดตั้งฉนวนกับแผ่นหลังคา ว่ามีความสะดวก รวดเร็วและเหมาะสมกับอาคารหรือไม่
3. ในกรณีที่อาคารมีการติดตั้งฉนวนอยู่แล้วและต้องการเพิ่มหรือเปลี่ยนฉนวน ต้องมีการรื้อฉนวนเดิมออกก่อน อาจทำให้เกิดความร้อนสะสมเพิ่มมากขึ้นได้



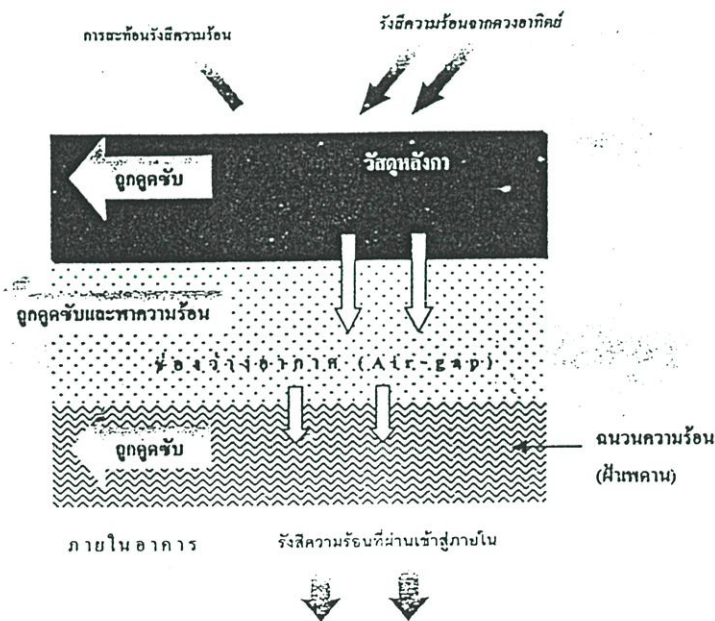
รูปที่ 5.44 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาที่ใช้ฉนวนติดตั้งใต้แผ่นหลังคา

### 5.6.6.3 การติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนแผ่นฝ้าเพดาน

การติดตั้งวิธีนี้คือการติดตั้งฉนวนที่เคยปฏิบัติกันทั่วไป แต่ควรมีข้อพิจารณาประกอบดังนี้

นี้

1. ต้องหยุดการใช้พื้นที่ภายในอาคาร หรือส่วนที่ทำการติดตั้ง เพราะต้องใช้พื้นที่ด้านล่างฝ้าเพดานในการทำงาน
2. ในกรณีที่เป็นฝ้าเพดานแบบฉาบเรียบ ต้องทำการเจาะแผ่นฝ้าเพดานและต้องทำการซ่อมแซมรอยเจาะให้เรียบร้อย ส่วนในกรณีที่ต้องทำการเปิดแผ่นหลังคาจากด้านบน เพื่อทำการติดตั้งฉนวนนั้น จะใช้ในกรณีที่ไม่สามารถเปิดแผ่นฝ้าจากด้านล่าง และมีพื้นที่มาก เมื่อทำการติดตั้งแล้วเสร็จ จำเป็นต้องทำการมุงหลังคากลับสู่สภาพเดิมให้เรียบร้อย มิฉะนั้นอาจเกิดการรั่วซึมทำความเสียหายกับแผ่นฉนวนได้
3. หากฝ้าเพดานแบบโครงคร่าว ที-บาร์ จะมีแนวหลอดที่ใช้ยึดโครงคร่าวด้านบน แนวหลอดนี้จะเป็นตัวกำหนดแนวการปูของฉนวน หากมีรอยต่อที่ไม่สนิท ทำให้ประสิทธิภาพของฉนวนลดลงได้
4. ควรคำนึงถึงระบบอื่นๆที่อยู่บนฝ้าเพดาน เช่น สายไฟฟ้า โทรศัพท ต้องไม่ทำความเสียหายให้กับระบบต่างๆ



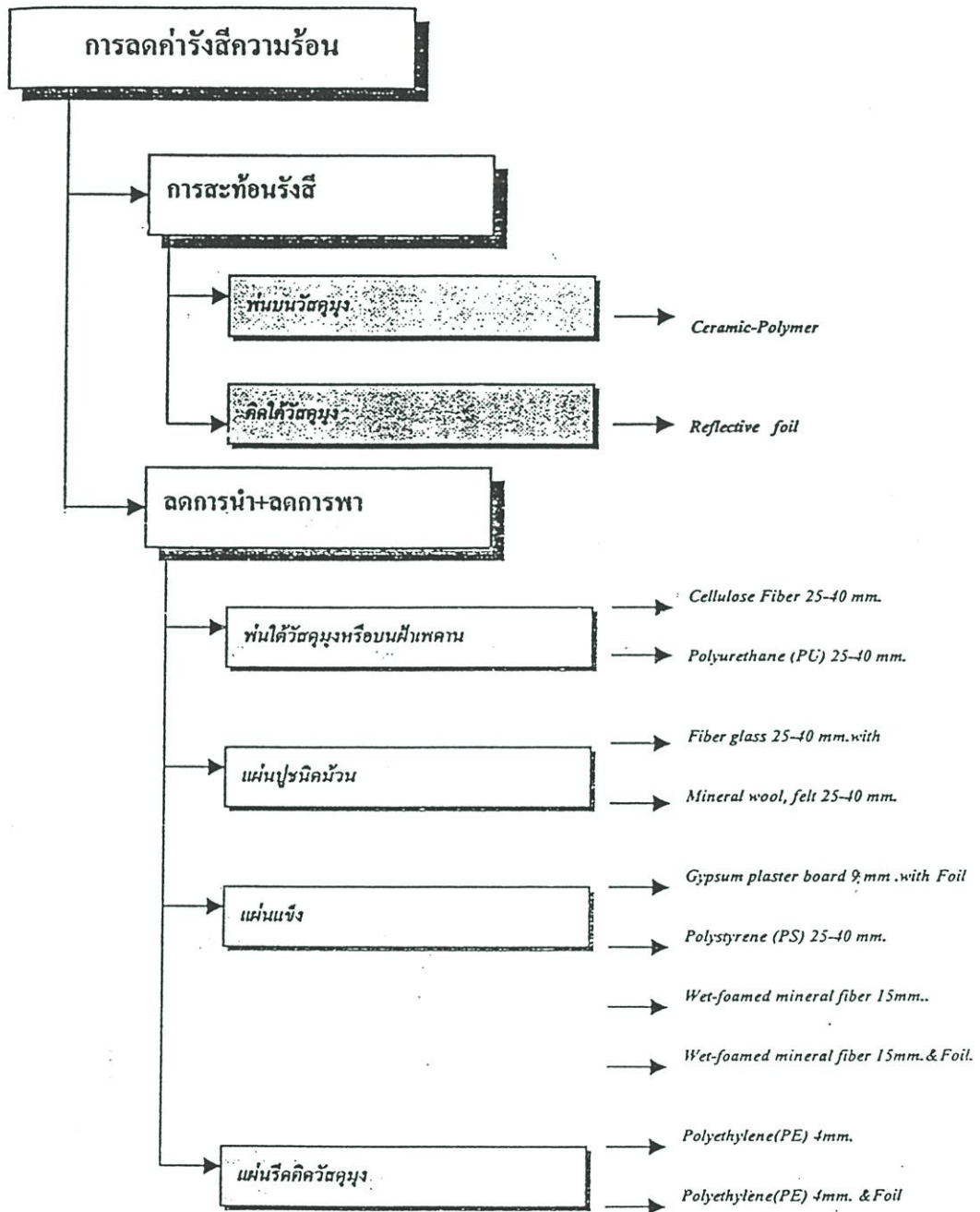
ที่มา: ธรรมชิต เหลียวโฉมกุล, ฉนวนป้องกันความร้อน...คืออย่างไรให้ประหยัด,วารสารอาษา ฉบับที่10:45-11:45 หน้า 65-67, 2545

: เอกสารประกอบการขาย, THERMO SHIELD Ceramic Coating Insulation and Waterproofing, บริษัท มิราเคิล เวิร์ค จำกัด

รูปที่ 5.45 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาที่ใช้ฉนวนติดตั้งบนแผ่นฝ้าเพดาน

การติดตั้งฉนวนกันความร้อนทั่วๆ ไปนั้น โครงสร้างหลังคานั้น ทำได้ทั้งก่อนและหลังการก่อสร้างอาคาร ทั้งในขั้นตอนการออกแบบ หรือระหว่างการก่อสร้างในอาคารใหม่ ส่วนในอาคารเก่าที่เปิดใช้งานมาแล้วเช่นอาคารกรณีศึกษาที่เปิดใช้งานมาแล้ว ประมาณ 13 ปี โดยเปิดใช้งาน 9 ชั่วโมง/วัน ปีละ 250 วัน การปรับปรุงประสิทธิภาพฉนวนภายในจึงมีความจำเป็นมาก ในแต่ละวิธีการปรับปรุงฉนวนนั้น มีหลักการป้องกันความร้อนที่ต่าง ๆ กัน การเลือกระบบและวิธีที่เหมาะสม จะช่วยลดค่าการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารได้ จากกรรมวิธีการเลือกใช้ชนิดของฉนวนและรูปแบบการติดตั้งสามารถพิจารณาจากการลดความร้อนโดยการสะท้อนความร้อน หรือลดการนำและการพาความร้อนลง

1. การลดโดยใช้การสะท้อนความร้อน มี 2 วิธีคือ
  - การติดตั้งบนแผ่นหลังคา / วัสดุฉนวน
  - การติดตั้งใต้แผ่นหลังคา / วัสดุฉนวน
2. การลดโดยใช้การลดการนำและการพาความร้อน มี 4 วิธี คือ
  - การติดตั้งใต้แผ่นหลังคา / วัสดุฉนวน / บนแผ่นฝ้าเพดาน
  - การติดตั้งค้ำยันแผ่น ผนังฉนวน
  - การติดตั้งค้ำยันแผ่นแข็ง
  - การติดตั้งโดยการรัดติดกับแผ่นหลังคา / วัสดุฉนวน



ที่มา: ชินวร เวียงวิเศษ, การปรับปรุงประสิทธิภาพหลักจำขีมนเชื่อม เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อน, วิทยานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง, 2544

รูปที่ 5.46 แสดงรูปแบบการลดค่ารังสีความร้อนโดยพิจารณาจากกรรมวิธีและวัสดุ

ตารางที่ 5.38 แสดงการเปรียบเทียบการติดตั้งฉนวนกันความร้อน 2 รูปแบบ

หัวข้อ	ฉนวนติดตั้งภายในอาคาร (Interior Insulation)	ฉนวนติดตั้งภายนอกอาคาร (Exterior Insulation)
ตัวอย่างฉนวน	ฉนวนใยแก้ว โฟม (PU, PS, PE) ฉนวนเยื่อกระดาษ	ฉนวนสะท้อนความร้อน เซรามิก โคตติ้ง (Ceramic Coating)
การติดตั้ง	ติดตั้งใต้แผ่นหลังคา	เคลือบบนแผ่นหลังคาค้นนอกอาคาร
หลักการป้องกันความร้อน	ป้องกันการถ่ายเทความร้อนหลังจากที่แผ่นหลังคา หรือผนัง ได้รับความร้อนแล้ว	ป้องกันความร้อนก่อนที่แผ่นหลังคาหรือผนังอาคารจะได้รับความร้อน
การป้องกัน	ป้องกันการถ่ายเทความร้อนในลักษณะการนำความร้อน	ป้องกันการถ่ายเทความร้อนในลักษณะการแผ่รังสีความร้อน
วิธีการป้องกันความร้อน	ใช้วิธีการหน่วงความร้อน โดยควบคุมการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนให้ช้าลง	ใช้วิธีสะท้อนความร้อนและคายความร้อนออกภายนอก ทำให้ความร้อนสุทธิที่ตกค้างบนหลังคาหรือผนังอาคารน้อยลง
ค่าที่ใช้พิจารณาในการเลือกคุณสมบัติเพื่อการใช้งาน	เลือกค่า R-Value ยิ่งมาก หรือค่าความหนาเพิ่มขึ้น จะหน่วงความร้อนได้ดี	ค่า Solar Reflectance ยิ่งสูงยิ่งดี (มาตรฐาน JIS R-3106) ค่า Solar Absorptance ยิ่งต่ำยิ่งดี (มาตรฐาน JIS R-3106) ค่า Solar Emittance ยิ่งสูงยิ่งดี ค่าการยึดเกาะกับผิว ยิ่งสูงยิ่งดี (มาตรฐาน ASTM C-633)
ความหนาของฉนวน	ยิ่งหนายิ่งมีประสิทธิภาพการหน่วงความร้อนมาก	ความหนาไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการป้องกันความร้อน
ค่าที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย	R-Value มากกว่า 1.428 m <sup>2</sup> K/W. หรือมากขึ้น ขึ้นอยู่กับลักษณะอาคารและการใช้งานในอาคาร	ค่า Solar Reflectance มากกว่า 90% ค่า Solar Absorptance น้อยกว่า 10% ค่า Solar Emittance มากกว่า 90% ค่าการยึดเกาะกับผิว (Bonding Strength) น้อยกว่า 40 กก./ตร.ซม.
ความร้อนสะสมบนแผ่นหลังคาหรือผนัง หลังการติดตั้ง	เพิ่มมากขึ้นกว่าหลังคาเดิม	ลดลงกว่าหลังคาเดิม

หัวข้อ	ฉนวนติดตั้งภายในอาคาร(Interior Insulation)	ฉนวนติดตั้งภายนอกอาคาร (Exterior Insulation)
ผลกระทบต่อตัวอาคารในการติดตั้งฉนวน	ในกรณีที่เป็นอาคารเก่า ต้องหยุดการใช้อาคาร หรือพื้นที่บางส่วนระหว่างการติดตั้งส่วนการติดตั้งบนฝ้าเพดาน อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่แผ่นฝ้าได้	ใช้ติดตั้งภายนอกอาคาร ไม่กระทบกับการใช้พื้นที่ภายในอาคาร หรือไม่ต้องหยุดการใช้อาคาร
การเกิดฝุ่นและมลพิษ	ลักษณะของฉนวนมีส่วนประกอบที่เป็นเส้นใยแก้ว ใยหิน หรือฝุ่นผงขนาดเล็ก เป็นอันตรายแก่ผู้ใช้อาคาร และสิ่งแวดล้อม	ลักษณะเป็นของเหลว สูตรน้ำ เมื่อแข็งตัวจะเป็นชั้นของฟิล์มบางๆ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม (NON-TOXIC)
การเสื่อมสภาพของฉนวน	เมื่อผ่านการติดตั้งในระยะเวลาอันยาวนาน จะเกิดการเสื่อมสภาพของฉนวนจากการสะสมความร้อน และไอน้ำ ทำให้ฉนวนเปื่อยยุ่ย	การติดตั้งนอกอาคาร ไม่เกิดการสะสมความร้อน ความชื้นหรือการจับเกาะของฝุ่น เพราะเป็นผิวเรียบตึง ไม่ขรุขระ
การบำรุงรักษาและการซ่อมแซมฉนวน	ต้องเน้นในส่วนรอยต่อ และรอยแยกของเปลือกหุ้มกันน้ำ เพราะหากมีความชื้นเล็ดลอดเข้าไปจะทำให้ประสิทธิภาพของ ฉนวนเสื่อมสภาพได้	ต้องการการบำรุงรักษาน้อย ไม่กระทบการทำงานภายในอาคาร
ความสะดวกในการติดตั้ง	มีขั้นตอนการติดตั้งหลายขั้นตอน ทำให้การติดตั้งต้องเปิดฝ้าเพดาน หรือผนังเดิม	ติดตั้งภายนอก มีขั้นตอนไม่มาก

ที่มา: ครรชิต เหลี้ยวไพบูลย์,ฉนวนป้องกันความร้อน...เลือกอย่างไรให้ประหยัด,วารสารอาษา ฉบับที่10:45-11:45 หน้า 65-67, 2545

ที่มา: เอกสารประกอบการขาย, THERMO-SHIELD CERAMIC COATING INSULATION and WATERPROOFING, บริษัท มิราเคิล เวิร์ค จำกัด

ตารางที่ 5.39 แสดงกรรมวิธีการติดตั้งและการแปรสภาพในการลดคุณสมบัติของฉนวน

ลำดับ	รายการ	พื้นเคลือบด้านนอกวัสดุฉนวน	ทำตาข่ายรองรับแผ่นฉนวน	พื้นที่ที่ได้ฉนวนเต็ม	ทำโครงคร่าวสำเร็จรูป	ประกอบตามตารางจากโรงงาน
	ลดความร้อนด้วย การสะท้อนรังสี					
	พื้นบนวัสดุฉนวน					
1	- Ceramic Polymer เคลือบวัสดุฉนวน	<input type="radio"/>		<input type="radio"/>		
2	- Reflective foil		<input type="radio"/>			
	ลดความร้อนด้วย การนำ และการพา					
	พื้นได้วัสดุฉนวนหรือบนผิวเพดาน					
3	-Cellulose Fiber 25 มม.			<input type="radio"/>		
4	-Cellulose Fiber 40 มม.			<input type="radio"/>		
5	-Polyurethane(PU) 25 มม.			<input type="radio"/>		
6	-Polyurethane(PU) 40 มม.			<input type="radio"/>		
	แผ่นปูชนิดไม้					
7	-Fiber Glass 25 มม. & foil		<input type="radio"/>			
8	-Fiber Glass 40 มม. & foil		<input type="radio"/>			
9	-Mineral Wool, felt 25 มม.		<input type="radio"/>			
10	-Mineral Wool, felt 40 มม.		<input type="radio"/>			

ลำดับ	รายการ	ฝุ่นปกคลุมผิวหน้า	หลุดร่อนเมื่อโดนน้ำ	เกิดการบวมเมื่อโดนน้ำ	ชั้นส่วนบนหลุดหลุดร่วง	ควมไฟเป็นพิษ	สีผิววัสดุคล้ำลง
	ลดความร้อนด้วย การสะท้อนรังสี						
	พื้นบนวัสดุฉนวน						
1	- Ceramic Polymer เคลือบวัสดุฉนวน	<input type="radio"/>					
2	- Reflective foil	<input type="radio"/>					
	ลดความร้อนด้วย การนำ และการพา						
	พื้นได้วัสดุฉนวนหรือบนผิวเพดาน						
3	-Cellulose Fiber 25 มม.		<input type="radio"/>				
4	-Cellulose Fiber 40 มม.		<input type="radio"/>				
5	-Polyurethane(PU) 25 มม.					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6	-Polyurethane (PU) 40 มม.					<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	แผ่นปูชนิดไม้						
7	-Fiber Glass 25 มม. & foil				<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
8	-Fiber Glass 40 มม. & foil				<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
9	-Mineral Wool, felt 25 มม.				<input type="radio"/>		<input type="radio"/>
10	-Mineral Wool, felt 40 มม.				<input type="radio"/>		<input type="radio"/>

ตารางที่ 5.40 แสดงน้ำหนักและระยะเวลาการปรับปรุงฉนวนกันความร้อน

ลำดับ	รายการ	น้ำหนักรวมโครงการ (กก./ม <sup>2</sup> )	ระยะเวลาการติดตั้ง (วัน)	หมายเหตุ
	ลดความร้อนด้วย การสะท้อนรังสี			
	<u>แผ่นแก้วสุญญ</u>			
1	- Ceramic Polymer	3	3	-
	<u>ฉนวนใยแก้วสุญญ</u>			
2	-Reflective foil	12	14	-
	ลดความร้อนด้วย การนำ และการพา			
	<u>แผ่นใยแก้วสุญญหรือบนฝ้าเพดาน</u>			
3	-Cellulose Fiber 25 mm.	4	5	-
4	-Cellulose Fiber 40 mm.	6	5	-
5	-Polyurethane (PU) 25 mm.	3	5	
6	-Polyurethane (PU) 40 mm.	5	5	
	<u>แผ่นใยหินควม</u>			
7	-Fiber Glass 25 mm. & foil	12	14	คิดโครงการข้าง
8	-Fiber Glass 40 mm. & foil	14	14	คิดโครงการข้าง
9	-Mineral Wool, felt 25 mm.	15	14	คิดโครงการข้าง
10	-Mineral Wool, felt 40 mm.	18	14	คิดโครงการข้าง

ที่มา: ชินวร เวียงวิเศษ, การปรับปรุงประสิทธิภาพหลังคาขีมนนเซียม เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อน, วิทยานิพนธ์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง, 2544

### 5.6.7 คุณสมบัติเฉพาะของฉนวนกันความร้อนหลังคาแบบสะท้อนความร้อน

ขอบเขต

วัสดุฉนวนป้องกันความร้อนใช้กับบริเวณหลังคาหรือภายนอกของอาคารซึ่งสามารถสะท้อนความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้

คุณสมบัติเฉพาะ

#### 5.6.7.1 ฉนวนกันความร้อนชนิดเซรามิกโคทติ้ง ( Ceramic Coating )

ใช้ลดความร้อนโดยการใช้พ่นหรือทาเพื่อเคลือบผิว เช่นที่ หลังคา, ผนังของอาคาร ให้ใช้ฉนวนที่มีคุณสมบัติดังนี้

1. ให้ใช้ชนิดที่มีส่วนผสมของสารสกัดกันความร้อนที่ทำจากสารผงเซรามิก หรือ สารชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่า ผสมอยู่ในสื่อนะครีลักษณะที่ไม่เป็นอันตราย และไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Non-Toxic)

2. มีเอกสารแสดงผลการทดสอบดังต่อไปนี้

- การสามารถทนอุณหภูมิใช้งานได้ถึง 110 °C
- การทนต่อสารเคมี กรดและด่าง (Chemical Resistance)
- การกันน้ำ , ทนความชื้น, ไม่ขึ้นรา
- ค่าความยืดหยุ่น (อยู่ระหว่างการพิจารณา)
- ค่าเฉลี่ยของการยึดเกาะไม่ต่ำกว่า 16 กก. ต่อ ตร.ซม. เมื่อทดสอบตาม มาตรฐาน ASTM C 633 , D 746 , JIS 6909 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
- ไม่ติดไฟ , ไม่ลามไฟ ตามมาตรฐาน ASTM E 108, BS 476, DIN 4102, UL 790 , JIS หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
- มีค่าการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Absorptance) ไม่เกิน 20 %
- มีค่าการสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Reflectance) ไม่น้อยกว่า 80 %
- มีค่าการคายพลังงานความร้อน (Thermal Emittance) ไม่น้อยกว่า 80 %

3. ในการทาคิดตั้งให้มีความหนาแน่นเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 250 ไมครอน และ เมื่อฉนวนแห้งจะต้องเรียบเป็นเนื้อเดียวตลอด ไม่พบรอยแตกแยกของฉนวน (Surface Cracking)

4. มีเอกสารชี้แนะนำในการติดตั้งเป็นภาษาไทย

5. มีการรับประกันอายุการใช้งานจากผู้ผลิตและผู้ติดตั้งนานไม่น้อยกว่า 5 ปี( หมายเหตุ ก่อนการเปิดใช้ ฉนวนควรบรรจุในถังหรือบรรจุภัณฑ์ที่มีฉลากหรือการปิดผนึกที่เรียบร้อย )

### 5.6.7.2 แผ่นสะท้อนความร้อนแบบแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ ( Aluminium Foil )

สำหรับใช้ติดตั้งหลังคาบ้าน, โรงงาน, อาคาร ให้ใช้แบบที่มีผิวเรียบ ใช้สะท้อนความร้อนได้ ทั้ง 2 ด้าน โดยฉนวนที่ใช้จะมีคุณสมบัติดังนี้

#### 1.มีเอกสารแสดงผลการทดสอบดังต่อไปนี้

- การทนต่อสารเคมี กรด ต่าง
- ทนความร้อนได้เป็นเวลานานโดยไม่ยืดตัว, หดตัว หรือ แยกชั้น ( ทดสอบ ที่อุณหภูมิ 110 °C\* นาน 4\* ชม. , \* อยู่ระหว่างการพิจารณา )
- ไม่เกิดการเปลี่ยนรูปทรงที่อุณหภูมิสูง (Dimensional Stability) โดยมีการ เปลี่ยนรูปทรงไม่เกิน 0.25 % ตามมาตรฐาน ASTM D 1204 หรือมาตรฐาน อื่นที่เทียบเท่า
- ทนความชื้น โดยผ่านการทดสอบการทนการแช่น้ำอุณหภูมิ 25 °C นาน 24 ชม. โดยไม่ยืดตัว, หดตัว หรือ แยกชั้น
- ไม่ขึ้นรา (Mold Resistance) ตามมาตรฐาน ASTM C 665 หรือมาตรฐาน อื่นที่เทียบเท่า
- ไม่ติดไฟ, ไม่ลามไฟ ตามมาตรฐาน ASTM E 84, BS 476 หรือมาตรฐาน อื่นที่เทียบเท่า
- มีค่าการสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ไม่น้อยกว่า 95 %
- มีค่าการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ต่ำไม่เกิน 5 % ตามมาตรฐาน ASTM E 408 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
- มีค่าการแทรกซึมผ่านของความชื้น ( Water Vapour Transmission Rate, WVTR) ไม่เกิน 0.02 PERM ตามมาตรฐาน ASTM E 96 หรือมาตรฐานอื่น ที่เทียบเท่า
- มีค่าการทนการฉีกขาด (Puncture Resistance) ไม่น้อยกว่า 0.75 J ตาม มาตรฐาน ASTM C 1136 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
- มีค่าการทนแรงดึง (Tensile Strength) ไม่น้อยกว่า 7.0 kN/m ตามมาตรฐาน ASTM C 1136 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

#### 2.เนื้อวัสดุไม่ลอก ทนการขีดข่วนได้ดี

#### 3.มีเอกสารข้อนำมาในการติดตั้งเป็นภาษาไทย

#### 4.มีการรับประกันอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 5 ปี

ตารางที่ 5.41 แสดงคุณสมบัติและการหาค่าความต้านทานของฉนวนกันความร้อนในชั้นหลังคา

หลังคาคอนกรีตเดิม ผนังกัด้วยฉนวนชนิดสะท้อนรังสีความร้อนภายนอก Ceramic Polymer Coating

โครงสร้าง	$\Delta x / K$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2. ฉนวน Ceramic Polymer Coating	-	3.874	
3. หลังคาคอนกรีต	0.12/1.442	0.083	
4. ช่องว่างอากาศ	-	1.423	
5. แผ่นซีพีเอ็มบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.801	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		6.264	

\* ที่มา: เอกสารประกอบการขาย, THERMO-SHIELD CERAMIC COATING INSULATION and WATERPROOFING, บริษัท มิราเคิล เวิร์ค จำกัด, ประเทศไทย

ค่า  $U_w$  ของหลังคาคอนกรีตผนังกัด้วยฉนวน Ceramic Polymer Coating =  $1 / 6.264 = 0.159 W/m^2.K$

หลังคากระเบื้องใยหิน ผนังกัด้วยฉนวนชนิดสะท้อนรังสีความร้อนภายนอก (Ceramic Polymer Coating)

โครงสร้าง	$\Delta x / K$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2. ฉนวน Ceramic Polymer Coating	-	3.874	
3. หลังคากระเบื้องใยหิน	0.008/0.389	0.020	
4. ช่องว่างอากาศ	-	1.095	
5. แผ่นซีพีเอ็มบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.595	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		5.667	

\* ที่มา: เอกสารประกอบการขาย, THERMO-SHIELD CERAMIC COATING INSULATION and WATERPROOFING, บริษัท มิราเคิล เวิร์ค จำกัด, ประเทศไทย

ค่า  $U_w$  ของหลังคากระเบื้องใยหินผนังกัด้วยฉนวน Ceramic Polymer Coating =  $1 / 5.667 = 0.176 W/m^2.K$

ตารางที่ 5.41 แสดงคุณสมบัติและการหาค่าความต้านทานของฉนวนกันความร้อนในชั้นหลังคา (ต่อ)

หลังคาคอนกรีตเสริม ทึดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน ความหนา 5 มม. บนฝ้าเพดาน

โครงสร้าง	$\Delta x / K$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1.ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2.หลังคาคอนกรีต	0.12/1.442	0.083	
3.ช่องว่างอากาศ	-	1.423	
4.แผ่นสะท้อนความร้อน		2.980	
5.แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6.ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.801	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{tot}$ )		5.37	

\* ที่มา: เอกสารประกอบการขาย, Polynum แผ่นสะท้อนความร้อน, บริษัท Louis T. Leonowens (Thailand) Ltd. โดยการรับรองจาก ASHRAE Fundamentals Handbook 1989, Chapter 22, USA.

ค่า  $U_w$  ของหลังคาคอนกรีตเสริม ทึดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน ความหนา 5 มม. บนฝ้าเพดาน =  $1 / 5.37$   
=  $0.186 W/m^2.K$

หลังคากระเบื้องใยหิน ทึดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน ความหนา 5 มม. ใต้แผ่นหลังคา

โครงสร้าง	$\Delta x / K$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2. หลังคากระเบื้องใยหิน	0.008/0.389	0.020	
3. แผ่นสะท้อนความร้อน		2.980	
4. ช่องว่างอากาศ	-	1.095	
5. แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.595	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{tot}$ )		4.773	

\* ที่มา: เอกสารประกอบการขาย, Polynum แผ่นสะท้อนความร้อน, บริษัท Louis T. Leonowens (Thailand) Ltd. โดยการรับรองจาก ASHRAE Fundamentals Handbook 1989, Chapter 22, USA.

ค่า  $U_w$  ของหลังคากระเบื้องใยหิน ทึดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน ความหนา 5 มม. ใต้แผ่นหลังคา =  $1 / 4.773$   
=  $0.209 W/m^2.K$

ตารางที่ 5.41 แสดงคุณสมบัติและการหาค่าความต้านทานของฉนวนกันความร้อนในชั้นหลังคา (ต่อ)

หลังคาคอนกรีตเดิม ติดตั้งฉนวนโพลียูรีเทนชนิดพ่น ความหนา 25 มม. บนแผ่นฝ้าเพดานเดิม

โครงสร้าง	$\Delta x / k$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2. หลังคาคอนกรีต	0.12/1.442	0.083	
3. ช่องว่างอากาศ	-	0.174	
4. ฉนวนโพลียูรีเทนชนิดแผ่น	0.025/0.024	1.042	
5. แผ่นซีพซัมบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.801	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		2.183	

ค่า  $U_w$  ของหลังคาคอนกรีตติดตั้งฉนวนโพลียูรีเทนชนิดพ่น ความหนา 25 มม. บนแผ่นฝ้าเพดาน =  $1 / 2.183$   
=  $0.458 W/m^2.K$

หลังคากระเบื้องใยหิน ติดตั้งฉนวนโพลียูรีเทนชนิดพ่น ความหนา 25 มม. บนแผ่นฝ้าเพดานเดิม

โครงสร้าง	$\Delta x / k$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2. หลังคากระเบื้องใยหิน	0.008/0.389	0.020	
3. ช่องว่างอากาศ	-	0.165	
4. ฉนวนโพลียูรีเทนชนิดแผ่น	0.025/0.024	1.042	
5. แผ่นซีพซัมบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.595	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		1.905	

ค่า  $U_w$  ของหลังคากระเบื้องใยหิน ติดตั้งฉนวนโพลียูรีเทนชนิดพ่น ความหนา 25 มม. บนแผ่นฝ้าเพดาน  
=  $1 / 1.905 = 0.524 W/m^2.K$

ตารางที่ 5.41 แสดงคุณสมบัติและการหาค่าความต้านทานของฉนวนกันความร้อนในชั้นหลังคา (ต่อ)

หลังคาคอนกรีตเดิม ติดตั้งฉนวนโพลียูรีเทนชนิดพ่น ความหนา 40 มม. บนแผ่นฝ้าเพดานเดิม

โครงสร้าง	$\Delta x / K$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1.ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2.หลังคาคอนกรีต	0.12/1.442	0.083	
3.ช่องว่างอากาศ	-	0.174	
4.ฉนวนโพลียูรีเทนชนิดพ่น	0.040/0.024	1.667	
5.แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6.ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.801	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		2.808	

ค่า  $U_w$  ของหลังคาคอนกรีตติดตั้งฉนวนโพลียูรีเทนชนิดพ่น ความหนา 40 มม. บนแผ่นฝ้าเพดาน =  $1 / 2.808$   
=  $0.356 W/m^2.K$

หลังคากระเบื้องใยหิน ติดตั้งฉนวนโพลียูรีเทนชนิดพ่น ความหนา 40 มม. บนแผ่นฝ้าเพดานเดิม

โครงสร้าง	$\Delta x / K$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2. หลังคากระเบื้องใยหิน	0.008/0.389	0.020	
3. ช่องว่างอากาศ	-	0.165	
4. ฉนวนโพลียูรีเทนชนิดพ่น	0.040/0.024	1.667	
5. แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.595	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		2.53	

ค่า  $U_w$  ของหลังคากระเบื้องใยหิน ติดตั้งฉนวนโพลียูรีเทนชนิดพ่น ความหนา 40 มม. บนแผ่นฝ้าเพดาน  
=  $1 / 2.53 = 0.395 W/m^2.K$

ตารางที่ 5.41 แสดงคุณสมบัติและการหาค่าความต้านทานของฉนวนกันความร้อนในชั้นหลังคา (ต่อ)

หลังคาคอนกรีตเดิม ติดตั้งฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 2 ด้าน ความหนา 25 มม. บนแผ่นฝ้าเพดานเดิม

โครงสร้าง	$\Delta x/k$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2. หลังคาคอนกรีต	0.12/1.442	0.083	
3. ช่องว่างอากาศ	-	0.174	
4. ฉนวนใยแก้ว	0.025/0.036	0.694	
5. แผ่นฉนวนใยแก้ว	0.008/0.282	0.028	
6. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.801	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		1.635	

ค่า  $U_w$  ของหลังคาคอนกรีต ติดตั้งฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 2 ด้าน ความหนา 25 มม. บนแผ่นฝ้าเพดาน =  $1/1.635$   
=  $0.544 W/m^2.K$

หลังคากระเบื้องใยหิน ติดตั้งฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 2 ด้าน ความหนา 25 มม. บนแผ่นฝ้าเพดานเดิม

โครงสร้าง	$\Delta x/k$ ( $W/m^2.K$ ) <sup>-1</sup>	R	หมายเหตุ
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2. หลังคากระเบื้องใยหิน	0.008/0.389	0.020	
3. ช่องว่างอากาศ	-	0.165	
4. ฉนวนใยแก้ว	0.025/0.036	0.694	
5. แผ่นฉนวนใยแก้ว	0.008/0.282	0.028	
6. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.595	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		1.557	

ค่า  $U_w$  ของหลังคากระเบื้องใยหิน ติดตั้งฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 2 ด้าน ความหนา 25 มม. บนแผ่นฝ้าเพดาน  
=  $1/1.557 = 0.642 W/m^2.K$

ตารางที่ 5.41 แสดงคุณสมบัติและการหาค่าความต้านทานของฉนวนกันความร้อนในชั้นหลังคา (ต่อ)

หลังคาคอนกรีตเสริม ทิศตั้งฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 2 ด้าน ความหนา 50 มม. บนแผ่นฝ้าเพดานเดิม

โครงสร้าง	$\Delta x / K$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2. หลังคาคอนกรีต	0.12/1.442	0.083	
3. ช่องว่างอากาศ	-	0.174	
4. ฉนวนใยแก้ว	0.050/0.036	1.389	
5. แผ่นฉนวนขี้ผึ้งบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.801	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		2.53	

ค่า  $U_w$  ของหลังคาคอนกรีต ทิศตั้งฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 2 ด้าน ความหนา 50 มม. บนแผ่นฝ้าเพดาน =  $1 / 2.53$   
=  $0.395 W/m^2.K$

หลังคากระเบื้องใยหิน ทิศตั้งฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 2 ด้าน ความหนา 50 มม. บนแผ่นฝ้าเพดานเดิม

โครงสร้าง	$\Delta x / K$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2. หลังคากระเบื้องใยหิน	0.008/0.389	0.020	
3. ช่องว่างอากาศ	-	0.165	
4. ฉนวนใยแก้ว	0.040/0.036	1.389	
5. แผ่นฉนวนขี้ผึ้งบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.595	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		2.252	

ค่า  $U_w$  ของหลังคากระเบื้องใยหิน ทิศตั้งฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 2 ด้าน ความหนา 50 มม. บนแผ่นฝ้าเพดาน  
=  $1 / 2.252 = 0.444 W/m^2.K$

ตารางที่ 5.41 แสดงคุณสมบัติและารห ค่าความต้านทานของฉนวนกันความร้อนในชั้นหลังคา (ต่อ)

หลังคาคอนกรีตเดิม ติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีนชนิดแผ่นแข็ง ความหนา 25 มม. บนแผ่นฝ้าเพดานเดิม

โครงสร้าง	$\Delta x / K$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2. หลังคาคอนกรีต	0.12/1.442	0.083	
3. ช่องว่างอากาศ	-	0.174	
4. ฉนวนโพลีสไตรีน	0.025/0.035	0.714	
5. แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.801	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		1.855	

ค่า  $U_w$  ของหลังคาคอนกรีต ติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีน ชนิดแผ่นแข็งความหนา 25 มม. บนแผ่นฝ้าเพดาน  
 $= 1 / 1.855 = 0.539 W/m^2.K$

หลังคากระเบื้องใยหิน ติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีนชนิดแผ่นแข็ง ความหนา 25 มม. บนแผ่นฝ้าเพดานเดิม

โครงสร้าง	$\Delta x / K$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2. หลังคากระเบื้องใยหิน	0.008/0.389	0.020	
3. ช่องว่างอากาศ	-	0.165	
4. ฉนวนโพลีสไตรีน	0.025/0.035	0.714	
5. แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.595	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		1.577	

ค่า  $U_w$  ของหลังคากระเบื้องใยหิน ติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีนชนิดแผ่นแข็ง ความหนา 25 มม. บนแผ่นฝ้าเพดาน  
 $= 1 / 1.577 = 0.634 W/m^2.K$

ตารางที่ 5.41 แสดงคุณสมบัติและการหาค่าความต้านทานของฉนวนกันความร้อนในชั้นหลังคา (ต่อ)

หลังคาคอนกรีตเดิม ติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีนชนิดแผ่นแข็ง ความหนา 40 มม. บนแผ่นฝ้าเพดานเดิม

โครงสร้าง	$\Delta x / K$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1.ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2.หลังคาคอนกรีต	0.12/1.442	0.083	
3.ช่องว่างอากาศ	-	0.174	
4.ฉนวนโพลีสไตรีน	0.040/0.035	1.143	
5.แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6.ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.801	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		2.284	

ค่า  $U_w$  ของหลังคาคอนกรีตติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีนชนิดแผ่นแข็ง ความหนา 40 มม. บนแผ่นฝ้าเพดาน  
 $= 1 / 2.284 = 0.437 W/m^2.K$

หลังคากระเบื้องใยหิน ติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีน ชนิดแผ่นแข็ง ความหนา 40 มม. บนแผ่นฝ้าเพดานเดิม

โครงสร้าง	$\Delta x / K$ ( $W/m^2.K$ )	R	หมายเหตุ
1. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.055	
2.หลังคากระเบื้องใยหิน	0.008/0.389	0.020	
3.ช่องว่างอากาศ	-	0.165	
4. ฉนวนโพลีสไตรีน	0.040/0.035	1.143	
5.แผ่นยิปซัมบอร์ด	0.008/0.282	0.028	
6.ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.595	
ความต้านทานความร้อนรวม ( $R_{total}$ )		2.006	

ค่า  $U_w$  ของหลังคากระเบื้องใยหิน ติดตั้งฉนวนโพลีสไตรีนชนิดแผ่นแข็ง ความหนา 25 มม. บนแผ่นฝ้าเพดาน  
 $= 1 / 2.006 = 0.498 W/m^2.K$

ตารางที่ 5.42 แสดงค่า RTTV ของหลังคาอาคารที่ทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อน

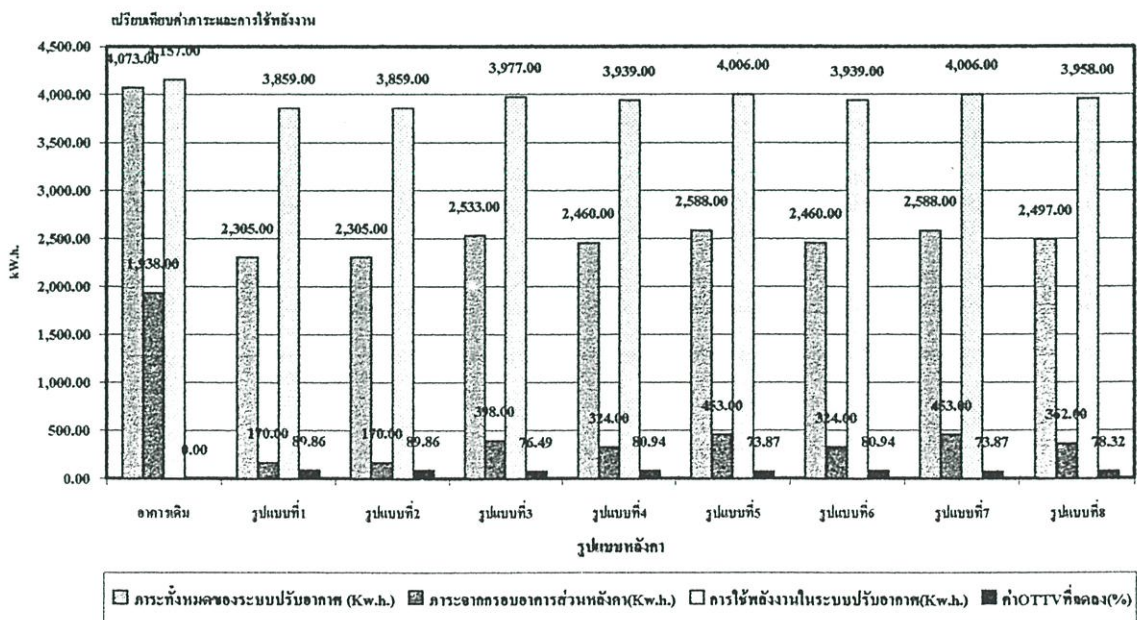
ลักษณะการติดตั้ง	ชนิดของฉนวนที่ทำการติดตั้ง	ค่า RTTV(W/sq.m.)		ลำดับ
		มากกว่า25	น้อยกว่า25	
	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก และ หลังคากระเบื้องใยหินเคม	53.85		
การลดความร้อนโดย การสะท้อนความร้อน	<u>พื้นบนวัสดุฉนวน</u> ฉนวน Ceramic Polymer Coating		5.46	1
	<u>พื้นใต้แผ่นหลังคา</u> ติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน Polynumหนา 5 มม.		5.46	1
การลดความร้อนด้วย การนำความร้อน	<u>พื้นใต้วัสดุฉนวนหรือบนแผ่นฝ้าเพดาน</u> ฉนวน Polyurethane หนา 25 มม.		12.66	4
	ฉนวน Polyurethane หนา 40 มม.		10.26	2
	<u>แผ่นปูชนิดม้วน / แผ่นแข็ง</u> ฉนวนใยแก้ว 25 มม.+ Reflective foil		14.07	5
	ฉนวนใยแก้ว 50 มม.+ Reflective foil		10.26	2
	ฉนวน Polystyrene หนา 25 มม.		14.07	5
	ฉนวน Polystyrene หนา 40 มม.		11.67	3

จากแนวทางการออกแบบปรับปรุงกรอบอาคารในส่วนหลังคาทั้ง 8 วิธี โดยการเลือกใช้ชนิดของฉนวนกันความร้อน วิธีการติดตั้งฉนวนและวิธีการลดความร้อนต่าง ๆ นั้น เมื่อนำมาคำนวณหาค่า การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาจะได้ค่าตามตารางที่ 5.51 นั้น นำมาคำนวณหาค่าภาระจากระบบปรับอากาศและภาระจากหลังคาโดยแสดงได้ตามตารางดังนี้

ตารางที่ 5.43 แสดงการเปรียบเทียบค่าภาระของอาคารของอาคารในส่วนต่างๆจากการปรับปรุง  
หลังคา

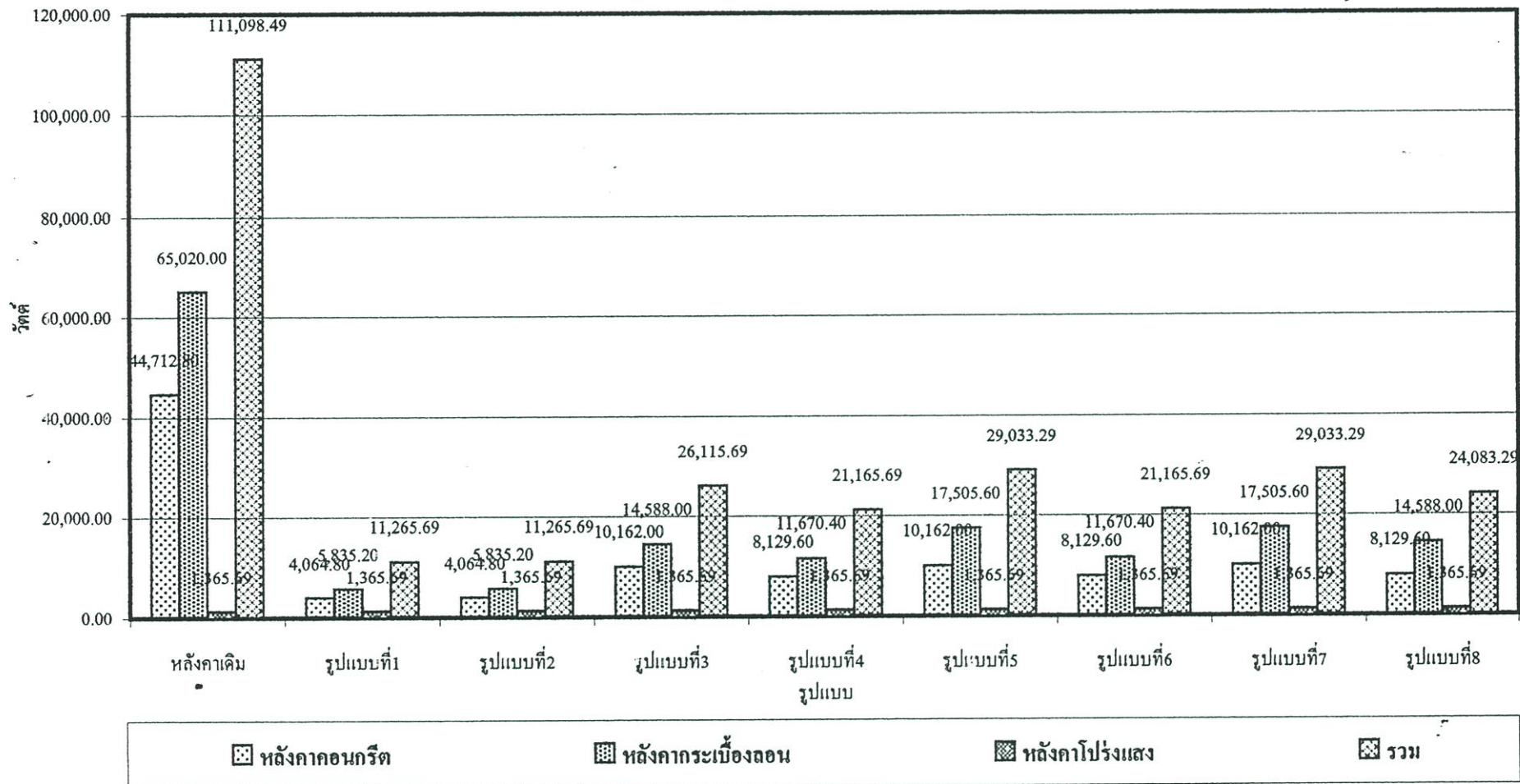
รูปแบบ	ภาระทั้งหมดของระบบปรับ อากาศ (Kw.h.)	ภาระจากกรอบอาคาร ด้านหลังคา(Kw.h.)	การใช้พลังงานในระบบปรับ อากาศ(Kw.h.)	ค่าRTTVที่ลดลง(%)
อาคารเดิม	4,073	1,938	4,157	--
รูปแบบที่1	2,305	170	3,859	89.86
รูปแบบที่2	2,374	239	3,895	85.40
รูปแบบที่3	2,722	587	4,075	67.57
รูปแบบที่4	2,533	398	3,977	76.49
รูปแบบที่5	2,880	745	4,157	58.68
รูปแบบที่6	2,683	547	4,054	69.41
รูปแบบที่7	2,588	453	4,006	73.87
รูปแบบที่8	2,880	745	4,157	58.68
รูปแบบที่9	2,683	547	4,054	69.41

หมายเหตุ: ภาระจากกรอบอาคาร ส่วนหลังคา เป็นผลรวมของภาระจากกรอบอาคาร ในส่วนหลังคาที่รวมกับหลังคาโปร่งแสง



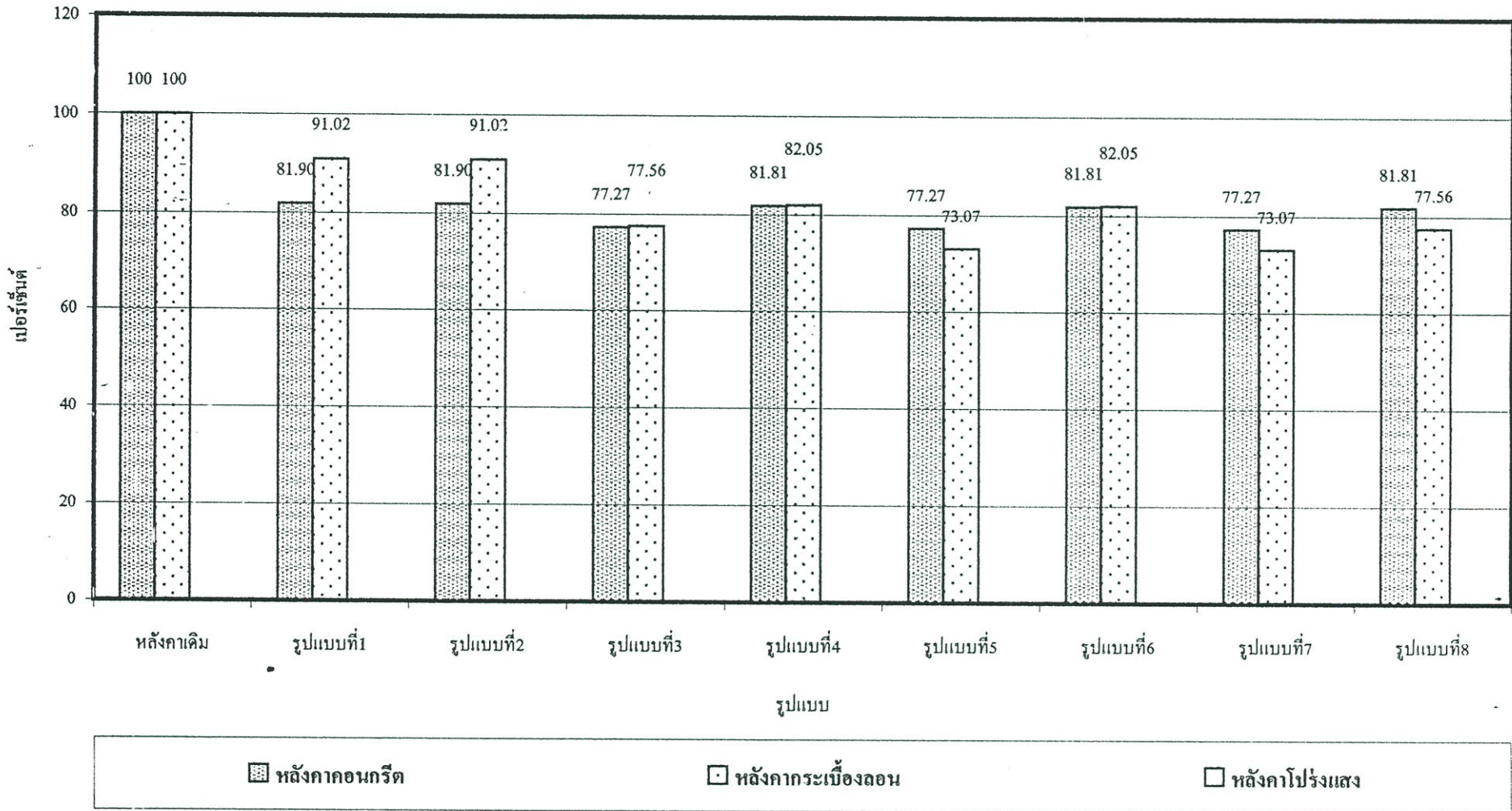
รูปที่ 5.47 แสดงค่าภาระของระบบปรับอากาศและการใช้พลังงาน จากการปรับปรุงหลังคา

เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านหลังคา



รูปที่5.48 แสดงปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านหลังคาแต่ละชนิดจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของหลังคา

เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ลดลงหลังการปรับปรุงหลังคา



รูปที่5.49 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนที่ลดลงจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของหลังคา

### 5.7 การประเมินประสิทธิภาพการติดตั้งฉนวนกันความร้อนในส่วนหลังคาอาคาร

หลังคาอาคารกรณีศึกษาที่มีค่า RTTV ที่เกินมาตรฐานตามที่กำหนดไว้ การเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคาร โดยการใช้ฉนวนกันความร้อนติดตั้งบนโครงสร้างหลังคา ทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมลดลง และส่งผลให้ภาระการทำความร้อนลดลง โดยแสดงการคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่า RTTV ที่ลดลง(จากรูปแบบที่1)} &= 48.39 \text{ W/m}^2. \\ \text{พื้นที่ปรับอากาศอาคารทั้งหมดชั้นบนสุด} &= 1,058.75 \text{ m}^2. \\ \text{พื้นที่หลังคารวม} &= 2,058.20 \text{ m}^2. \\ \text{วัตต์ความร้อนที่ลดลง} &= 48.39 \times 2,058.20 \text{ W. หรือ} \\ &= 99.59 \text{ kW. หรือ} \\ &= 99.59 \times 3,414 \text{ Btu / hr.} \\ &= 340,021.76 \text{ Btu / hr. หรือ} \\ &= 28.33 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศสำนักหอสมุดมีค่าเฉลี่ย 1.728 kW/ton} \\ &= 28.33 \times 1.728 \text{ kWh} \\ &= 48.96 \text{ kWh} \end{aligned}$$

การเปิดใช้งานระบบปรับอากาศโดยปกติวันละ 9 ชม. 250วัน/ปี

$$\begin{aligned} \text{ค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้} &= 48.96 \times 9 \times 250 \\ &= 110,167.04 \text{ kWh./ ปี} \end{aligned}$$

และเมื่อนำค่าที่คำนวณได้จากผนังที่ปรับปรุงในรูปแบบที่ 2-8 มาหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงในระบบปรับอากาศโดยใช้การคำนวณข้างต้น จะได้ค่าพลังงานที่ลดลงได้ดังนี้

แนวทางที่1	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	110,167.04	kWh./ปี
แนวทางที่2	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	110,167.04	kWh./ปี
แนวทางที่3	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	93,775.17	kWh./ปี
แนวทางที่4	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	99,239.13	kWh./ปี
แนวทางที่5	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	90,565.09	kWh./ปี
แนวทางที่6	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	99,239.13	kWh./ปี
แนวทางที่7	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	90,565.09	kWh./ปี
แนวทางที่8	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้	96,029.05	kWh./ปี

ตารางที่ 5.44 แสดงการประเมินค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศที่ลดลงจากการปรับปรุง

รูปแบบห้อง		ค่าRTTV	การใช้พลังงานเดิม(kW.h)	การใช้พลังงานที่ลดลง(kW.h)	ลดลง(%)
อาคารเดิม		53.82	478,115.00		
การติดตั้งฉนวนในโครงสร้างหลังคา	รูปแบบที่1	5.46	478,115.00	110,167.04	23.04
	รูปแบบที่2	5.46	478,115.00	110,167.04	23.04
	รูปแบบที่3	12.66	478,115.00	93,775.17	19.61
	รูปแบบที่4	10.26	478,115.00	99,239.13	20.75
	รูปแบบที่5	14.07	478,115.00	90,565.09	18.94
	รูปแบบที่6	10.26	478,115.00	99,239.13	20.75
	รูปแบบที่7	14.07	478,115.00	90,565.09	18.94
	รูปแบบที่8	11.67	478,115.00	96,029.05	20.08

ตารางที่ 5.45 แสดงค่าไฟฟ้าในระบบปรับอากาศที่ลดลงจากการปรับปรุงหลังคา

รูปแบบห้อง		ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย(บาท)	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง(Kw.h)	ราคาไฟฟ้าที่ประหยัดได้/ปี
ติดตั้งฉนวนในโครงสร้างหลังคา	รูปแบบที่1	2.65	110,167.04	291,924.65
	รูปแบบที่2	2.65	110,167.04	291,924.65
	รูปแบบที่3	2.65	93,775.17	248,504.20
	รูปแบบที่4	2.65	99,239.13	262,983.69
	รูปแบบที่5	2.65	90,565.09	239,997.48
	รูปแบบที่6	2.65	99,239.13	262,983.69
	รูปแบบที่7	2.65	90,565.09	239,997.48
	รูปแบบที่8	2.65	96,029.05	254,476.98

ตารางที่ 5.46 แสดงค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการปรับปรุงหลังคา

ลักษณะการติดตั้ง	ชนิดของฉนวนที่ทำการติดตั้ง	ราคาที่ใช้พิจารณา		รวมราคา(บาท)
		ค่าวัสดุ+ค่าแรง	พื้นที่	
ติดตั้งภายนอก	<b>พ่นบัววัสดุฉนวน</b>			
	ฉนวน Ceramic Polymer Coating บนหลังคาคอนกรีต	520	1,016.20	975,442.00
	ฉนวน Ceramic Polymer Coating บนหลังคากระเบื้อง	429	1,042.00	
ติดตั้งภายใน	<b>พ่นใต้แผ่นหลังคา</b>			
	ติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน Polynum หนา 5 มม.	162.5	2,058.20	334,457.50
ติดตั้งภายใน	<b>พ่นใต้วัสดุฉนวนหรือบนแผ่นฝ้าเพดาน</b>			
	ฉนวน Polyurethane หนา 25 มม.	260	2,058.20	535,132.00
	ฉนวน Polyurethane หนา 40 มม.	455	2,058.20	936,481.00
	<b>แผ่นปูชนิดฉนวน / แผ่นแข็ง</b>			
	ฉนวน โยแกว 25 มม.+ Reflective foil	160	2,058.20	329,312.00
	ฉนวน โยแกว 50 มม.+ Reflective foil	321	2,058.20	660,682.20
	ฉนวน Polystyrene หนา 25 มม.	585	2,058.20	1,204,047.00
ฉนวน Polystyrene หนา 40 มม.	793	2,058.20	1,632,152.60	

หมายเหตุ: ราคาวัสดุเป็นราคาที่รวมค่าแรงติดตั้งแล้ว

พื้นที่ : ตารางเมตร

ตารางที่ 5.47 สรุปค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาคืนทุนจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของหลังคา  
การปรับปรุงหลังคา

ลำดับ	รูปแบบฉนวนการปรับปรุงหลังคา	ค่า RTTV (วัตต์/ตร.ม.)		ผลการประหยัดพลังงาน		เงินลงทุน(บาท)	ระยะเวลาคืนทุน(ปี)
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	kWh. /ปี	บาท /ปี		
1	ฉนวน Ceramic Polymer Coating ฉีดพ่นบนผิวหลังคา	53.85	5.46	110,167.04	291,924.65	975,442.00	3.34
2	ติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน Polynum หนา 5 มม. บนฝ้าเพดาน	53.85	5.46	110,167.04	291,924.65	334,457.50	1.10
3	ฉนวน Polyurethane ชนิดฉีดพ่น หนา 25 มม. บนฝ้าเพดาน	53.85	12.66	93,775.17	248,504.20	535,132.00	2.15
4	ฉนวน Polyurethane ชนิดฉีดพ่น หนา 40 มม. บนฝ้าเพดาน	53.85	10.26	99,239.13	262,983.69	936,481.00	3.56
5	ฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 2 ด้าน หนา 25 มม. บนฝ้าเพดาน	53.85	14.07	90,565.09	239,997.48	329,312.00	1.37
6	ฉนวนใยแก้วหุ้มฟอยล์ 2 ด้าน หนา 50 มม. บนฝ้าเพดาน	53.85	10.26	99,239.13	262,983.69	660,682.00	2.51
7	ฉนวน Polystyrene ชนิดแผ่นแข็ง หนา 25 มม. บนฝ้าเพดาน	53.85	14.07	90,565.09	239,997.48	1,204,047.00	5.01
8	ฉนวน Polystyrene ชนิดแผ่นแข็ง หนา 40 มม. บนฝ้าเพดาน	53.85	11.67	96,029.05	254,476.98	1,632,152.60	6.41

## บทที่ 6

# สรุปผลการออกแบบปรับปรุงและข้อเสนอแนะ

### 6.1 ข้อเสนอจากการวิเคราะห์อาคาร

การออกแบบและการปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารกับการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยเฉพาะระบบปรับอากาศภายในอาคารเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร โดยให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และสามารถลดค่าภาระการทำความเย็นโดยรวม ภายในอาคารและให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานภาวะความสบาย

การวิเคราะห์รูปแบบของกรอบอาคารเดิม พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคารเดิม มีค่า 82.56 วัตต์/ตร.ม. ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดที่ 45 วัตต์/ตร.ม. ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคามีค่า 53.85 วัตต์/ตร.ม. . ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนดที่ 25 วัตต์/ตร.ม. สาเหตุหลักที่ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมมีค่าสูงกว่ามาตรฐานนั้น พบว่าผนังอาคารเป็นผนังที่มีมวลสารมาก ค่าการสะสมความร้อนมาก ทำให้มีการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร อุณหภูมิภายในจึงสูงขึ้นเกินสภาวะความสบาย จึงต้องมีการปรับอากาศในพื้นที่ใช้งาน ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น

ผลจากการวิเคราะห์กรอบอาคารเดิมนำไปสู่การออกแบบปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคาร โดยเป็นการคำนวณเปรียบเทียบรูปแบบของแนวทางต่างๆที่จะนำมาปรับปรุงกรอบอาคารและวิเคราะห์เพื่อให้สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมและลดค่าภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ การวิเคราะห์และผลที่ได้จากการปรับปรุงสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การออกแบบปรับปรุงเฉพาะในส่วนของผนังทึบ โดยการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติของวัสดุที่มีค่า ส.ป.ส.การส่งผ่านความร้อนรวม (U) ที่ต่ำ คือมีค่าเท่ากับ  $0.405 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$ . และค่าการต้านทานการถ่ายเทความร้อน (R) ที่สูง คือมีค่าเท่ากับ  $2.469 \text{ m}^2\text{-}^\circ\text{C/W}$ . รวมทั้งคุณสมบัติทางด้านต่างๆที่นำมาพิจารณา สรุปวัสดุฉนวนที่นำมาปรับปรุงภายนอกอาคารคือ ฉนวน โพลีสไตรีน ขนาดความหนา 3 นิ้ว พร้อมระบบสำเร็จภายนอก ที่มีสีอ่อน ทำให้มีประสิทธิภาพในการลดค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 12 ซม. เดิม โดยช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนจากระบบปรับอากาศลงได้ 6.42% คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 81,389.45 บาท/ปี ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลงทุน 1,365,546.00 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 16.77 ปี
2. การออกแบบปรับปรุงเฉพาะในส่วนผนังโปร่งแสง อาคารกรณีศึกษาเดิมนั้น ผนังโปร่งแสงภายนอกเป็นกระจกใหนาน้ำหนัก 6 มม.ค่า ส.ป.ส.การบังแดดมีค่า 0.96 รอบบาน

และกรอบวงกบเดิมเป็นอลูมิเนียม การแก้ไขปรับปรุงโดยการติดตั้งฟิล์มกรองแสงลดความร้อน ที่มีค่า ส.ป.ส.การบังแดด (S.C.) ที่มีค่าต่ำ สามารถลดพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ดี โดยฟิล์มที่เลือกใช้มีค่าส.ป.ส.การบังแดด (S.C.) ระหว่าง 0.26-0.51 ติดตั้งบนกระจกใสเดิม โดยฟิล์มที่เลือกใช้คือฟิล์มชนิด P-18 Silver ทำให้ช่วยลดค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารลงได้ในขณะเดียวกันการติดตั้งฟิล์มกรองแสงยังมีผลต่อการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในอาคารน้อยมาก โดยมีระดับการส่องผ่านที่เหมาะสม ผู้ใช้อาคารจะได้รับความสบายทางด้านแสงสว่างพอสมควร โดยช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของระบบปรับอากาศลงได้ 5.62% คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 71,292.20 บาท/ปี ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลงทุน 16,240 บาท มีระยะเวลาการคืนทุน 7.24 ปี

3. การออกแบบปรับปรุงเฉพาะในส่วนหลังคา โดยการพิจารณาฉนวนที่สามารถป้องกันการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยจะใช้การป้องกันความร้อนด้วยการสะท้อนรังสีความร้อนก่อนที่จะเข้าสู่หลังคา โดยฉนวนที่เลือกใช้เป็นฉนวนชนิด Ceramic Polymer Coating โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาที่ใช้ฉนวน (RTTV) มีค่า 5.46 วัตต์/ตร.ม. โดยช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของระบบปรับอากาศลงได้ 23.04% คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 291,924.65 บาท/ปี ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลงทุน 975,442.00 บาท มีระยะเวลาการคืนทุน 3.34 ปี
4. จากข้อสรุปที่ 1-3 ซึ่งเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพกรอบอาคารเฉพาะส่วน เมื่อพิจารณาการปรับปรุงกรอบอาคาร โดยรวมคือการใช้ฉนวนโพลีโพลีไตรีนขนาดความหนา 3 นิ้วพร้อมระบบสีสำเร็จภายนอกในส่วนผนังที่บ การใช้ฟิล์มกรองแสงลดความร้อนชนิด P-18 Silver ติดตั้งบนกระจกใสเดิม และฉนวน Ceramic Polymer Coating ฉีดพ่นบนหลังคาอาคาร จะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของระบบปรับอากาศลงได้ 27.74% คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 351,549.00 บาท/ปี ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลงทุน 2,857,228.00 บาท มีระยะเวลาการคืนทุน 8.12 ปี

## 6.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากการวิเคราะห์อาคาร

นอกเหนือจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารทั้งในส่วนผนังที่บ ผนังโปร่งแสง และจากหลังคาแล้ว การปรับปรุงประสิทธิภาพเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องที่ก่อให้เกิดความร้อนภายในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศ ให้มีการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และมีการสูญเสียความร้อนและพลังงานในอุปกรณ์ให้น้อยที่สุด จะทำให้ความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์เหล่านี้ไม่เป็นการรบกวนของระบบปรับอากาศ โดยแนวทางที่จะเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงอุปกรณ์ภายในอาคารมีดังนี้

1. การปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการรักษาอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยสภาพของเครื่องปรับอากาศในปัจจุบันนั้น 50% เป็นเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี ค่า ประสิทธิภาพการทำความเย็น(EER)มีค่า 6.1 บีทียู-ชม/วัตต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำ การปรับปรุงโดยการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพ EER สูงเกินกว่า 9.6 บีทียู-ชม./วัตต์ แต่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการปรับเปลี่ยนระบบปรับอากาศให้ดียิ่งขึ้น โดยจะมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้คือค่าติดตั้งเครื่องปรับอากาศใหม่ ค่ารีดออนและค่าเก็บความเรียบร้อยของงาน
2. การบำรุงรักษาระบบปรับอากาศ/เครื่องปรับอากาศเดิม ในสภาพปัจจุบันนั้นเครื่องปรับอากาศมักจะมีสิ่งสกปรกเกาะติดอยู่กับเครื่องปรับอากาศ ทั้งในส่วนระบายความร้อนที่อยู่ด้านนอกและเครื่องเป่าลมเย็นด้านในอาคาร โดยส่วนที่สกปรกมากที่สุดคือส่วนกรองอากาศด้านหลังเครื่อง ทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นลดลง การบำรุงรักษาทำได้โดยทำความสะอาดเป็นประจำอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 10 % โดยจะมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้คือค่าทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศ
3. กำหนดมาตรฐานค่าอุณหภูมิความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ในปัจจุบันมีการใช้อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิชนิด Bi-metal Thermostat ทำให้ค่าอุณหภูมิในห้องไม่แน่นอนสามารถปรับปรุงโดยการเลือกใช้อุปกรณ์ ควบคุมชนิด Electronic Thermostat ที่ตั้งอุณหภูมิที่ 24-25 องศา จะช่วยลดการทำงานของเครื่องปรับอากาศได้
4. การเปิดเครื่องปรับอากาศก่อนระยะเวลาการใช้งานประมาณ 30 นาที และปิดเครื่องปรับอากาศก่อนปิดให้บริการภายในอาคาร ทั้งนี้ การเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศในระยเวลาดังกล่าวสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 10 %
5. การใช้แสงสว่างในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเลือกใช้หลอดที่ให้พลังงานแสงสว่างเท่าเดิมแต่ใช้พลังงานน้อยลง เช่น หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 20 วัตต์ เปลี่ยนมาใช้หลอดประหยัดพลังงาน ขนาด 18 วัตต์ จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้
6. การเลือกใช้บัลลาสต์ชนิด Low watt loss และบัลลาสต์ชนิด Electronic โดยการใช้บัลลาสต์ที่มีการสูญเสียพลังงาน ไฟฟ้าที่น้อยกว่าจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้เช่นกัน
7. การระบายอากาศในช่องว่างหลังคา เพื่อช่วยระบายมวลอากาศที่ร้อนในช่องหลังคา

จากที่กล่าวมาข้างต้นหากมีการนำไปพิจารณาปรับปรุงและนำมาใช้อย่างถูกต้อง เหมาะสม จะสามารถทำให้มีการลดการใช้พลังงานในอาคาร โดยเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศและลดค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร ซึ่งจะเป็นแนวทางการส่งเสริมการประหยัดพลังงานและยกระดับมาตรฐานการออกแบบอาคารให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

## บรรณานุกรม

- กรุง กุศลชาติ, การใช้พื้นที่ภายในอาคารเพื่อลดภาระการทำความเย็น กรณีศึกษา อาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539
- กนกวรรณ อุสัน โน, รูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมสำหรับห้องเรียน: การให้แสงสว่างธรรมชาติและการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539
- เจริญ เดชเงาวงค์, การศึกษารูปแบบช่องเปิดและขนาดที่เหมาะสม จากการใช้แสงธรรมชาติโดยไม่เพิ่มภาระความร้อน สำหรับห้องเรียนคอมพิวเตอร์ทั่วไป, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545
- จุไรพร คุมพสุวรรณ, พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านวัสดุผนังหลังคาบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540
- จารุวรรณ ประภาทรงสิทธิ์, เทคนิคการออกแบบปรับปรุงระบบเปลือกอาคาร เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ กรณีศึกษา อาคารสำนักงานธนาคารทหารไทย สำนักงานใหญ่ กรุงเทพมหานคร, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544
- ชินวร เวียงวิเศษ, การปรับปรุงประสิทธิภาพหลังคาอิมเมเนชัน เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อน กรณีศึกษา: อาคาร GA-1 ศูนย์กีฬาเอเชียนเกมส์ ครั้งที่ 13 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544
- ตระการ ก้าวถวิล, คู่มือคำนวณกันความร้อน, กรุงเทพฯ, นำอักษรการพิมพ์, 2537
- ทวี เวชพฤติ, การคำนวณภาระของอาคาร Cooling Load calculation, 2529
- ทวี เวชพฤติ, การใช้วัสดุกันความร้อน พลังงานทดแทนและการประหยัดพลังงานในอาคาร, กรุงเทพมหานคร, ศูนย์วิจัยและอบรมพลังงาน, ศูนย์สารสนเทศ, 2527
- ประพันธ์ จงปติยัตต์, การลดการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคารด้วยระบบผนังที่มีช่องอากาศ กรณีศึกษาอาคารในเขตร้อนชื้น, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ธนาวุฒิ ขุนทอง, แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของกรอบอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนรวม (OTTV) และการใช้พลังงานในอาคารประเภทสำนักงาน กรณีศึกษา: อาคารไทยประกันชีวิต, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538

- ธวัชชัย จันทรสุขเศรษฐ์, กรอบอาคารพักอาศัยประเภทอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร กับการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับอากาศ, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541
- ไพบุลย์ หังสพฤกษ์ และ เสือโซ โซโค, การปรับอากาศ ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม, กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์ดวงกมล
- เรณู คำนกุล, การออกแบบห้องสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ในสถานศึกษา, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545
- สินีรัตน์ ภัทรธรรมกุล, ผลของมวลสารและสีของผนังต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่เข้าสู่อาคาร, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528
- สิทธิชัย วุฒิวรวงศ์, การปรับปรุงผนังอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อน กรณีศึกษา อาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539
- สุรพล พฤษพานิช, การปรับอากาศ หลักการและระบบ, กรุงเทพมหานคร, ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2529
- สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542
- American Institute of Architect, Energy in Architecture, Washington DC., 1981
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineering Inc, ASHRAE Handbook of Fundamentals, Atlanta, 1985
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineering Inc, ASHRAE Handbook of Fundamentals I- edition, Atlanta, 1985
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineering Inc, ASHRAE Handbook of Fundamentals SI- edition, Atlanta, 1993
- Givoni, B. And Hoffman, E., Effect of Orientation of Wall and Window on Indoor Climate, Research Report, B.R.T., Technion, Haifa, 1965
- Givoni, B., Man Climate and Architecture, New York, American Elsevier, 1969. 364pp
- Tawee Vechaputti, Improving the energy efficiency of Air-conditioning in High Rise Building: Thai case study, 1988
- Thai Gypsum, Energy Efficient Design method in Thailand, Bangkok, Thai Gypsum, 1995

### ภาคผนวก ก.

แสดงค่าความต้านทานความร้อนและ  
คุณสมบัติที่สัมพันธ์กับพลังงานความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ

## ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังและหลังคา

ชนิดของผิววัสดุ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ( $m^2 \cdot \text{ช.} \cdot \text{วัตต์}^{-1}$ )
ก. กรณีของผนังอาคาร	
ก.1 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านใน ( $R_i$ )	
ก.1.1 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.120
ก.1.2 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.299
ก.2 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวผนังด้านนอก ( $R_o$ ) (ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง)	0.044
ข. กรณีของหลังคา	
ข.1 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านในของหลังคา ( $R_i$ )	
ข.1.1 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	
ข.1.1.1 หลังคาราบ	0.162
ข.1.1.2 หลังคาเอียงทำมุม $22.5^\circ$ กับแนวระดับ	0.148
ข.1.1.3 หลังคาเอียงทำมุม $45^\circ$ กับแนวระดับ	0.133
ข.1.2 กรณีที่ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	
ข.1.2.1 หลังคาราบ	0.801
ข.1.2.2 หลังคาเอียงทำมุม $22.5^\circ$ กับแนวระดับ	0.595
ข.1.2.3 หลังคาเอียงทำมุม $45^\circ$ กับแนวระดับ	0.391
ข. 2 ความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศที่ผิวด้านนอกของหลังคา ( $R_o$ ) (ผิวมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูงและเอียงทำมุมใดๆ)	0.055

## ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศในช่องว่างผนังหรือหลังคา

ชนิดของช่องว่างอากาศ	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (ม. <sup>2</sup> ซ. วัตต์ <sup>-1</sup> )		
	5 มม.	20 มม.	100 มม.
<b>ก. กรณีช่องว่างอากาศในผนัง</b>			
ก.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.110	0.148	0.160
ก.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.250	0.578	0.606
<b>ข. กรณีช่องว่างอากาศในหลังคา</b>			
ข.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง			
ข.1.1 ช่องว่างอากาศแนวราบ	0.110	0.148	0.174
ข.1.2 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 22.5° กับแนวระดับ	0.110	0.148	0.165
ข.1.3 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 45° กับแนวระดับ	0.110	0.148	0.158
ข.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ			
ข.2.1 ช่องว่างอากาศแนวราบ	0.250	0.572	1.423
ข.2.2 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 22.5° กับแนวระดับ	0.250	0.571	1.095
ข.2.3 ช่องว่างอากาศเอียงทำมุม 45° กับแนวระดับ	0.250	0.570	0.768
<b>ค. กรณีช่องว่างอากาศในเพดาน</b>			
ค.1 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง		0.458	
ค.2 ช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ		1.356	

ค่าการต้านความร้อนของชั้นอากาศ ภายใต้อิทธิพลการพา และการแผ่รังสี

ชั้นอากาศที่ผิว	แนวนอน	เอียง 22.5°	แนวตั้ง
	ความร้อน ↓	ความร้อน ↓	ความร้อน →
1. ชั้นอากาศผิวนอก (Ro)			
1.1 ความเร็วลม 3.35 M/S	0.044	0.044	0.044
1.2 ความเร็วลม 6.70 M/S	0.030	0.030	0.030
2. ชั้นอากาศผิวใน (Ri)			
2.1 วัสดุทั่วไป ( e = 0.9)	0.162	0.148	0.120
2.2 เหล็กแผ่นใหม่ ( e = 0.2)	0.475	0.384	0.238
2.3 แผ่น foil ( e = 0.05)	0.801	0.595	0.299

\* ค่าการต้านความร้อนของชั้นอากาศที่ผิวภายใต้สภาพอากาศหยุดนิ่ง

สภาพชั้นอากาศที่ผิว	ทิศทางการไหล ของความร้อน	ค่าการเปล่ง ความร้อน ( • )		
		• = 0.9	• = 0.2	• = 0.05
แนวนอน	ลง	0.162	0.475	0.801
เอียง 22.5 องศา	ลง	0.148	0.384	0.595
เอียง 45 องศา	ลง	0.134	0.294	0.391
ตั้ง	แนวนอน	0.120	0.238	0.299
เอียง 45 องศา	ขึ้น	0.109	0.201	0.241
เอียง 22.5 องศา	ขึ้น	0.109	0.197	0.236
แนวนอน	ขึ้น	0.107	0.194	0.232

\* แหล่งข้อมูล Handbook of Fundamentals, ASHRAE., 1967.

## ค่าการต้านความร้อนทางช่องอากาศ

ประเภทช่องอากาศ	ค่าการต้าน ความร้อน (m <sup>2</sup> °C/W)		
	ตามนอน	เอียง 22.5°	ตามตั้ง
	ความร้อน ↓	ความร้อน ↓	ความร้อน →
A ช่องอากาศหนา 100 มม.			
1. ปิดด้วยฉนวนทุกทั่วไป • = 0.82	0.174	0.165	0.160
2. ปิดด้วยแผ่นเหล็กใหม่ • = 0.02	0.595	0.517	0.380
3. ด้านหนึ่งปิดด้วย Al.foil • = 0.05	1.422	1.095	0.605
4. ปิดด้วย foils สะท้อนทั้ง 2 ฝั่ง • = 0.03	1.746	1.299	.0656

## B ช่องอากาศใต้หลังคา

1. ไม่มีการระบายอากาศ	-	0.282	-
2. ระบายอากาศแบบธรรมชาติ (0.005 cu.m./S/ m <sup>2</sup> ของพื้นที่เพดาน)	-	0.458	-
3. ติดตั้ง foil สะท้อนความร้อน แต่ไม่ระบายอากาศ	-	1.091	-
4. ติดตั้ง foil สะท้อนความร้อน และระบายอากาศแบบธรรมชาติ	-	1.356	-

## ค่าการต้านทานความร้อนของช่องอากาศใต้หลังคา

ช่องอากาศใต้หลังคา	ค่าการต้านความร้อน (R)	
	(ฤดูร้อน) อากาศร้อนไหลลง	(ฤดูหนาว) อากาศไหลขึ้น
<u>ไม่มีฉนวนสะท้อนความร้อน</u>		
1. ไม่มีระบายอากาศ	0.282	0.176
2. ระบายอากาศธรรมชาติ	0.458	-
<u>มีฉนวนสะท้อนความร้อน</u>		
1. ไม่มีระบายอากาศ	1.092	0.564
2. ระบายอากาศธรรมชาติ	1.356	0.335

# 1. Conductivities of materials

BUILDING MATERIALS	density : kg/m <sup>3</sup>	k : W/m degC
asbestos cement sheet	1360	0.25
	1600	0.40
	2000	0.55
asphalt roofing with mineral filler	1600	0.43
mastic asphalt	2325	1.15
brickwork , average	2200	1.30
	1800	0.96
	1500	0.65
cement render	1800	0.53
cement screeds , sand -	2000	0.63
vermiculite -	500	0.18
expanded clay -	750	0.25
foamed slag -	1200	0.30
chipboard	800	0.15
concrete, dense, gravel aggregate	2300	1.80
	2100	1.40
expanded clay aggregate	1600	0.73
foamed slag aggregate	1600	0.55
clinker aggregate	1400	0.57
hardboard	600	0.08
metals		
steel	7830	58
aluminium	2675	220
copper	8938	350
plasterboard	950	0.16
plastering ,		
gypsum	1280	0.46
vermiculite	640	0.20
plywood	530	0.14
stone ,		
sand -	2000	1.30
lime -	2180	1.40
marble	2500	2.00
granite	2600	2.50
slate	2700	2.00
timber ,		
softwood	610	0.13
hardwood	700	0.15

## แสดงรายละเอียดของประเภทผนังกลุ่มต่างๆ

Wall Construction Group Description				
Group No.	Description of Construction	Weight (lb/ft <sup>2</sup> )	U-Value (Btu/h·ft <sup>2</sup> ·°F)	Code Numbers of Layers (see Table 26)
4-in. Face brick + (brick)				
C	Air space + 4-in. face brick	83	0.358	A0, A2, B1, A2, E0
D	4-in. common brick	90	0.415	A0, A2, C4, E1, E0
C	1-in. insulation or air space + 4-in. common brick	90	0.174-0.301	A0, A2, C4, B1/B2, E1, E0
B	2-in. insulation + 4-in. common brick	88	0.111	A0, A2, B3, C4, E1, E0
B	8-in. common brick	130	0.302	A0, A2, C9, E1, E0
A	Insulation or air space + 8-in. common brick	130	0.154-0.243	A0, A2, C9, B1/B2, E1, E0
4-in. Face brick + (heavyweight concrete)				
C	Air space + 2-in. concrete	94	0.350	A0, A2, B1, C5, E1, E0
B	2-in. insulation + 4-in. concrete	97	0.116	A0, A2, B3, C5, E1, E0
A	Air space or insulation + 8-in. or more concrete	143-190	0.110-0.112	A0, A2, B1, C10/11, E1, E0
4-in. Face brick + (light or heavyweight concrete block)				
E	4-in. block	62	0.319	A0, A2, C2, E1, E0
D	Air space or insulation + 4-in. block	62	0.153-0.246	A0, A2, C2, B1/B2, E1, E0
D	8-in. block	70	0.274	A0, A2, C7, A6, E0
C	Air space or 1-in. insulation + 6-in. or 8-in. block	73-89	0.221-0.275	A0, A2, B1, C7/C8, E1, E0
B	2-in. insulation + 8-in. block	89	0.096-0.107	A0, A2, B3, C7/C8, E1, E0
4-in. Face brick + (clay tile)				
D	4-in. tile	71	0.381	A0, A2, C1, E1, E0
D	Air space + 4-in. tile	71	0.281	A0, A2, C1, B1, E1, E0
C	Insulation + 4-in. tile	71	0.169	A0, A2, C1, B2, E1, E0
C	8-in. tile	96	0.275	A0, A2, C6, E1, E0
B	Air space or 1-in. insulation + 8-in. tile	96	0.142-0.221	A0, A2, C6, B1/B2, E1, E0
A	2-in. insulation + 8-in. tile	97	0.097	A0, A2, B3, C6, E1, E0
Heavyweight concrete wall + (finish)				
E	4-in. concrete	63	0.585	A0, A1, C5, E1, E0
D	4-in. concrete + 1-in. or 2-in. insulation	63	0.119-0.200	A0, A1, C5, B2/B3, E1, E0
C	2-in. insulation + 4-in. concrete	63	0.119	A0, A1, B6, C5, E1, E0
C	8-in. concrete	109	0.490	A0, A1, C10, E1, E0
B	8-in. concrete + 1-in. or 2-in. insulation	110	0.115-0.187	A0, A1, C10, B5/B6, E1, E0
A	2-in. insulation + 8-in. concrete	110	0.115	A0, A1, B3, C10, E1, E0
B	12-in. concrete	156	0.421	A0, A1, C11, E1, E0
A	12-in. concrete + insulation	156	0.113	A0, C11, B6, A6, E0
Light and heavyweight concrete block + (finish)				
F	4-in. block + air space/insulation	29	0.161-0.263	A0, A1, C2, B1/B2, E1, E0
E	2-in. insulation + 4-in. block	29-37	0.105-0.114	A0, A1, B3, C2/C3, E1, E0
E	8-in. block	47-51	0.294-0.402	A0, A1, C7/C8, E1, E0
D	8-in. block + air space/insulation	41-57	0.149-0.173	A0, A1, C7/C8, B1/B2, E1, E0
Clay tile + (finish)				
F	4-in. tile	39	0.419	A0, A1, C1, E1, E0
F	4-in. tile + air space	39	0.303	A0, A1, C1, B1, E1, E0
E	4-in. tile + 1-in. insulation	39	0.175	A0, A1, C1, B2, E1, E0
D	2-in. insulation + 4-in. tile	40	0.110	A0, A1, B3, C1, E1, E0
D	8-in. tile	63	0.296	A0, A1, C6, B1/B2, E1, E0
C	8-in. tile + air space/1-in. insulation	63	0.151-0.231	A0, A1, C6, B1/B2, E1, E0
B	2-in. insulation + 8-in. tile	63	0.099	A0, A1, B3, C6, E1, E0
Metal curtain wall				
G	With/without air space + 1- to 3-in. insulation	5-6	0.091-0.230	A0, A3, B5/B6/B12, A3, E0
Frame wall				
G	1-in. to 3-in. insulation	16	0.081-0.178	A0, A1, B1, B2/B3/B4, E1, E0

ที่มาจาก : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, Inc.,  
(1989 ASHRAE Handbook Fundamentals I-P Edition, 1989)

## แสดงค่า CLTD สำหรับใช้คำนวณ Cooling load ของผนังที่ถูกแสงแดด

Cooling Load Temperature Differences for Calculating Cooling Load from Sunlit Walls

North Latitude Wall Facing	Solar Time, h																Hr of Max- imum CLTD	Mini- mum CLTD	Maxi- mum CLTD	Differ- ence CLTD									
	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600					1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	
Group A Walls																													
N	14	14	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14	2	10	14	4	
NE	19	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	15	16	16	17	18	18	18	19	19	20	20	20	20	22	15	20	5	
E	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	19	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25	22	18	25	7	
SE	24	23	23	22	21	20	20	19	18	18	18	18	19	20	21	22	23	23	24	24	24	24	24	24	22	18	24	6	
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20	23	14	20	6	
SW	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	19	19	18	17	17	17	18	19	20	22	23	24	25	25	24	17	25	8	
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	18	19	20	22	23	25	26	26	1	18	27	9	
NW	21	21	21	20	20	19	19	18	17	16	16	15	15	14	14	14	15	15	16	17	18	19	20	21	1	14	21	7	
Group B Walls																													
N	15	14	14	13	12	11	11	10	9	9	9	8	8	9	9	10	11	12	13	14	14	15	15	15	24	8	15	7	
NE	19	18	17	16	15	14	13	12	12	13	14	15	16	17	18	19	19	20	20	21	21	21	20	20	21	12	21	9	
E	23	22	21	20	18	17	16	15	15	15	15	17	19	21	22	24	25	26	26	27	27	26	26	25	24	20	15	27	12
SE	23	22	21	20	18	17	16	15	14	14	15	16	18	20	21	23	24	25	26	26	26	26	25	24	21	14	26	12	
S	21	20	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	11	12	14	15	17	19	20	21	22	22	22	21	23	11	22	11	
SW	27	26	25	24	22	21	19	18	16	15	14	14	13	13	14	15	17	20	22	25	27	28	28	24	13	28	15		
W	29	28	27	26	24	23	21	19	18	17	16	15	14	14	14	15	17	19	22	25	27	29	29	30	24	14	30	16	
NW	23	22	21	20	19	18	17	15	14	13	12	12	12	11	12	12	13	15	17	19	21	22	23	23	24	11	23	9	
Group C Walls																													
N	15	14	13	12	11	10	9	8	8	7	7	7	8	8	9	10	12	13	14	15	16	17	17	17	16	22	7	17	10
NE	19	17	16	14	13	11	10	10	11	13	15	17	19	20	21	22	22	23	23	23	23	22	21	20	20	10	23	13	
E	22	21	19	17	15	14	12	12	14	16	19	22	25	27	29	29	30	30	30	29	28	27	26	24	18	12	30	18	
SE	22	21	19	17	15	14	12	12	13	13	16	19	22	24	26	28	29	29	29	29	28	27	26	24	19	12	29	17	
S	21	19	18	16	15	13	12	10	9	9	9	10	11	14	17	20	22	24	25	26	25	24	22	20	9	26	17		
SW	29	27	25	22	20	18	16	15	13	12	11	11	11	13	15	18	22	26	29	32	33	33	32	31	22	11	33	22	
W	31	29	27	25	22	20	18	16	14	13	12	12	12	13	14	16	20	24	29	32	35	35	35	33	22	12	35	23	
NW	25	23	21	20	18	16	14	13	11	10	10	10	10	11	12	13	15	18	22	25	27	27	27	26	22	10	27	17	
Group D Walls																													
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17	18	19	19	19	18	16	21	6	19	13
NE	17	15	13	11	10	8	7	8	10	14	17	20	22	23	23	24	24	25	25	24	23	22	20	18	19	7	25	18	
E	19	17	15	12	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22	16	8	33	25	
SE	20	17	15	13	11	10	8	8	10	13	17	22	26	29	31	32	32	32	31	30	28	26	24	22	17	8	32	24	
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	22	19	6	29	23	
SW	28	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	31	21	8	38	30	
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34	21	9	41	32	
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8	9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	30	27	22	7	32	25	
Group E Walls																													
N	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	20	18	16	14	20	3	22	19	
NE	13	11	9	7	6	4	5	9	15	20	24	25	25	26	26	26	26	26	25	24	22	19	17	15	16	4	26	22	
E	14	12	10	8	6	5	6	11	18	26	33	36	38	37	36	34	33	32	30	28	25	22	20	17	13	5	38	33	
SE	15	12	10	8	7	5	5	8	12	19	25	31	35	37	37	36	34	33	31	28	26	23	20	17	15	5	37	32	
S	15	12	10	8	7	5	4	3	4	5	9	13	19	24	29	32	34	33	31	29	26	23	20	17	13	3	34	31	
SW	22	18	15	12	10	8	6	5	5	6	7	9	12	18	24	32	38	43	45	44	40	35	30	26	19	5	45	40	
W	25	21	17	14	11	9	7	6	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43	49	49	45	40	34	29	20	6	49	43	
NW	20	17	14	11	9	7	6	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	36	32	28	24	20	5	38	33	
Group F Walls																													
N	8	6	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	11	19	1	23	23	
NE	9	7	5	3	2	1	5	14	23	28	30	29	28	27	27	27	26	24	22	19	16	13	11	11	1	1	30	29	
E	10	7	6	4	3	2	6	17	28	38	44	45	43	39	36	34	32	30	27	24	21	17	15	12	12	2	45	43	
SE	10	7	6	4	3	2	4	10	19	28	36	41	43	42	39	36	34	31	28	25	21	18	15	12	13	2	43	41	
S	10	8	6	4	3	2	1	1	3	7	13	20	27	34	38	39	38	35	31	26	22	18	15	12	16	1	39	38	
SW	15	11	9	6	5	3	2	2	4	5	8	11	17	26	35	44	50	53	52	45	37	28	23	18	18	2	53	48	
W	17	13	10	7	5	4	3	3	4	6	8	11	14	20	28	39	49	57	60	54	43	34	27	21	19	3	60	57	
NW	14	10	8	6	4	3	2	2	3	5	8	10	13	15	21	27	35	42	46	43	35	28	22	18	19	2	46	44	
Group G Walls																													
N	3	2	1	0	-1	2	7	8	9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	5	18	-1	26	27	
NE	3	2	1	0	-1	9	27	36	39	35	30	26	26	27	27	26	25	22	18	14	11	9	7	5	9	-1	39	40	
E	4	2	1	0	-1	11	31	47	54	55	50	40	33	31	30	29	27	24	19	15	12	10	8	6	10	-1	55	56	
SE	4	2	1	0	-1	5	18	32	42	49	51	48	42	36	32	30	27	24	19	15	12	10	8	6	11	-1	51	52	
S	4	2	1	0	-1	0	1	5	12	22	31	39	45	46	43	37	31	25	20	15	12	10	8	5	14	-1	46	47	
SW	5	4	3	1	0	0	2	5	8	12	16	26	38	50	59	63	61	52	37	24	17	13	10	8	16	0	63	63	
W	6	5	3	2	1	1	2	5	8	11	15	19	27	41	56	67	72	67	48	29	20	15	11	8	17	1	72	71	
NW	5	3	2	1	0	0	2	5	8	11	15	18	21	27	37	47	55	55	41	25	17	13	10	7	18	0	55	55	

**(1) Direct Application of the Table Without Adjustments:**

Values in this table were calculated using the same conditions for walls as outlined for the roof CLTD table, Table 29. These values may be used for all normal air-conditioning estimates usually without correction (except as noted below) when the load is calculated for the hottest weather.

For totally shaded walls use the North orientation values.

**(2) Adjustments to Table Values:**

The following equation makes adjustments for conditions other than those listed in Note (1).

$$CLTD_{corr} = (CLTD + LM) K + (78 - t_R) + (t_o - 85)$$

where

แสดงค่า CLF สำหรับกระจกที่มีอุปกรณ์บังแดดด้านใน(รวมทั้ง Reflective และ Heat absorbing glass)

Cooling Load Factors (CLF) for Glass with Interior Shading, North Latitudes  
(All Room Constructions)

Fenes- tration Facing	Solar Time, h																							
	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
N	0.08	0.07	0.06	0.06	0.07	0.73	0.66	0.65	0.73	0.80	0.86	0.89	0.89	0.86	0.82	0.75	0.78	0.91	0.24	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10
NNE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.64	0.77	0.62	0.42	0.37	0.37	0.37	0.36	0.35	0.32	0.28	0.23	0.17	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
NE	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.56	0.76	0.74	0.58	0.37	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
ENE	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.52	0.76	0.80	0.71	0.52	0.31	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.15	0.11	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
E	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.47	0.72	0.80	0.76	0.62	0.41	0.27	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.11	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
ESE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.41	0.67	0.79	0.80	0.72	0.54	0.34	0.27	0.24	0.21	0.19	0.15	0.12	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03
SE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.30	0.57	0.74	0.81	0.79	0.68	0.49	0.33	0.28	0.25	0.22	0.18	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
SSE	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.12	0.31	0.54	0.72	0.81	0.81	0.71	0.54	0.38	0.32	0.27	0.22	0.16	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04
S	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.09	0.16	0.23	0.38	0.58	0.75	0.83	0.80	0.68	0.50	0.35	0.27	0.19	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
SSW	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.09	0.14	0.18	0.22	0.27	0.43	0.63	0.78	0.84	0.80	0.66	0.46	0.25	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06
SW	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.38	0.59	0.75	0.83	0.81	0.69	0.45	0.16	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06
WSW	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.23	0.44	0.64	0.78	0.84	0.78	0.55	0.16	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06
W	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.31	0.53	0.72	0.82	0.81	0.61	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
WNW	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.07	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	0.22	0.43	0.65	0.80	0.84	0.66	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
NW	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.11	0.14	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.30	0.52	0.73	0.82	0.69	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
NNW	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.11	0.17	0.22	0.26	0.30	0.32	0.33	0.34	0.34	0.39	0.61	0.82	0.76	0.17	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
HOR.	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.12	0.27	0.44	0.59	0.72	0.81	0.85	0.85	0.81	0.71	0.58	0.42	0.25	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06

ที่มาจาก : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, Inc.,  
(1989 ASHRAE Handbook Fundamentals I-P Edition, 1989)

แสดงค่า CLF สำหรับกระจกที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดดด้านใน(รวมทั้ง Reflective และ Heat absorbing glass)

Cooling Load Factors (CLF) for Glass Without Interior Shading, North Latitudes, General

Fenestration Facing	Room Construction	Solar Time, h																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N (Shaded)	L	0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.33	0.42	0.48	0.56	0.63	0.71	0.76	0.80	0.82	0.82	0.79	0.75	0.84	0.61	0.48	0.38	0.31	0.25	0.20
	M	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.34	0.41	0.46	0.53	0.59	0.65	0.70	0.73	0.75	0.76	0.74	0.75	0.79	0.61	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27
	H	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.38	0.45	0.49	0.55	0.60	0.65	0.69	0.72	0.72	0.72	0.70	0.70	0.75	0.57	0.46	0.39	0.34	0.31	0.28
NNE	L	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.26	0.43	0.47	0.44	0.41	0.40	0.39	0.39	0.38	0.36	0.33	0.30	0.26	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.24	0.38	0.42	0.39	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.34	0.33	0.30	0.27	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.26	0.39	0.42	0.39	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.28	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
NE	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.23	0.41	0.51	0.51	0.45	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.21	0.36	0.44	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.23	0.37	0.44	0.44	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
ENE	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.21	0.40	0.52	0.57	0.53	0.45	0.39	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.18	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.20	0.35	0.45	0.49	0.47	0.41	0.36	0.33	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.22	0.36	0.46	0.49	0.45	0.38	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
E	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.19	0.37	0.51	0.57	0.57	0.50	0.42	0.37	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.18	0.33	0.44	0.50	0.51	0.46	0.39	0.35	0.31	0.29	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.08	0.07	0.20	0.34	0.45	0.49	0.49	0.43	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
ESE	L	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.17	0.34	0.49	0.58	0.61	0.57	0.48	0.41	0.36	0.32	0.28	0.24	0.20	0.16	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06
	M	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.16	0.31	0.43	0.51	0.54	0.51	0.44	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09
	H	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.19	0.32	0.43	0.50	0.52	0.49	0.41	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11
SE	L	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.13	0.28	0.33	0.55	0.62	0.63	0.57	0.48	0.42	0.37	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.14	0.26	0.38	0.48	0.54	0.56	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.17	0.28	0.40	0.49	0.53	0.53	0.48	0.41	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
SSE	L	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.15	0.29	0.43	0.55	0.63	0.64	0.60	0.52	0.45	0.40	0.35	0.29	0.23	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08
	M	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.08	0.16	0.26	0.38	0.48	0.55	0.57	0.54	0.48	0.43	0.39	0.35	0.30	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12
	H	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.12	0.19	0.29	0.40	0.49	0.54	0.55	0.51	0.44	0.39	0.35	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13
S	L	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.06	0.09	0.14	0.22	0.34	0.48	0.59	0.65	0.65	0.59	0.50	0.43	0.36	0.28	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10
	M	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.11	0.14	0.21	0.31	0.42	0.52	0.57	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14
	H	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.11	0.14	0.17	0.24	0.33	0.43	0.51	0.56	0.55	0.50	0.43	0.37	0.32	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
SSW	L	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.06	0.09	0.11	0.15	0.19	0.27	0.39	0.52	0.62	0.67	0.65	0.58	0.46	0.36	0.28	0.23	0.19	0.15	0.12
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.25	0.35	0.46	0.55	0.59	0.59	0.53	0.44	0.35	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21	0.27	0.37	0.46	0.53	0.57	0.55	0.49	0.40	0.32	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16
SW	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.24	0.36	0.49	0.60	0.66	0.66	0.58	0.43	0.33	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.14	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.23	0.33	0.44	0.53	0.58	0.59	0.53	0.41	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.25	0.34	0.44	0.52	0.56	0.56	0.49	0.37	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
WSW	L	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.17	0.26	0.40	0.52	0.62	0.66	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.15
	M	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.17	0.24	0.35	0.46	0.54	0.58	0.55	0.42	0.34	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.19	0.26	0.36	0.46	0.53	0.56	0.51	0.38	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
W	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14	0.20	0.32	0.45	0.57	0.64	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.19	0.29	0.40	0.50	0.56	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.16	0.21	0.30	0.40	0.49	0.54	0.52	0.38	0.30	0.24	0.21	0.18	0.16
WNW	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.26	0.40	0.53	0.63	0.62	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.24	0.35	0.47	0.55	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.25	0.36	0.46	0.53	0.52	0.38	0.30	0.24	0.20	0.18	0.16
NW	L	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.23	0.33	0.47	0.59	0.60	0.42	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.21	0.30	0.42	0.51	0.54	0.39	0.32	0.26	0.22	0.19	0.16
	H	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.18	0.19	0.22	0.30	0.41	0.50	0.51	0.36	0.29	0.23	0.20	0.17	0.15
NNW	L	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05	0.07	0.11	0.14	0.15	0.22	0.25	0.27	0.29	0.30	0.33	0.44	0.57	0.62	0.44	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.10	0.12	0.15	0.15	0.21	0.23	0.26	0.27	0.28	0.31	0.39	0.51	0.56	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.23	0.25	0.26	0.28	0.28	0.31	0.38	0.49	0.53	0.38	0.30	0.25	0.21	0.18	0.16
HOR	L	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.07	0.14	0.24	0.36	0.48	0.58	0.66	0.72	0.74	0.73	0.67	0.59	0.47	0.37	0.29	0.24	0.19	0.16	0.13
	M	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.11	0.16	0.24	0.33	0.43	0.52	0.59	0.64	0.67	0.66	0.62	0.56	0.47	0.38	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.17	0.16	0.15	0.14	0.13	0.15	0.20	0.28	0.36	0.45	0.52	0.59	0.62	0.64	0.62	0.58	0.51	0.42	0.35	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

L = Light construction: frame exterior wall, 2-in. concrete floor slab, approximately 30 lb of material/ft<sup>2</sup> of floor area.  
M = Medium construction: 4-in. concrete exterior wall, 4-in. concrete floor slab, approximately 70 lb of building material/ft<sup>2</sup> of floor area.  
H

แสดงค่า CLF สำหรับกระจกที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดดด้านใน(รวมทั้ง Reflective และ Heat absorbing glass)

Cooling Load Factors (CLF) for Glass Without Interior Shading,  
In North Latitude Spaces Having Carpeted Floors

Room		Solar Time																							
Dir.	Mass	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
N	L	.00	.00	.00	.00	.01	.64	.73	.74	.81	.88	.95	.98	.98	.94	.88	.79	.79	.55	.31	.12	.04	.02	.01	.00
	M	.03	.02	.02	.02	.02	.64	.69	.69	.77	.84	.91	.94	.95	.91	.86	.79	.79	.56	.32	.16	.10	.07	.05	.04
	H	.10	.09	.08	.07	.07	.62	.64	.64	.71	.77	.83	.87	.88	.85	.81	.75	.76	.55	.34	.22	.17	.15	.13	.11
NE	L	.00	.00	.00	.00	.01	.51	.83	.85	.72	.47	.33	.27	.24	.23	.20	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.01	.01	.00	.00	.01	.50	.78	.82	.67	.44	.32	.28	.26	.24	.22	.19	.15	.11	.05	.03	.02	.02	.01	.01
	H	.03	.03	.03	.02	.03	.47	.71	.72	.59	.40	.30	.27	.26	.25	.23	.20	.17	.13	.08	.06	.05	.05	.04	.04
E	L	.00	.00	.00	.00	.00	.42	.76	.91	.90	.75	.51	.30	.22	.18	.16	.13	.11	.07	.02	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.01	.01	.00	.00	.01	.41	.72	.86	.84	.71	.48	.30	.24	.21	.18	.16	.13	.09	.04	.03	.02	.01	.01	.01
	H	.03	.03	.03	.02	.02	.39	.66	.76	.74	.63	.43	.29	.24	.22	.20	.18	.15	.12	.08	.06	.05	.05	.04	.04
SE	L	.00	.00	.00	.00	.00	.27	.58	.81	.93	.93	.81	.59	.37	.27	.21	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.01	.01	.01	.00	.01	.26	.55	.77	.88	.87	.76	.56	.37	.29	.24	.20	.16	.11	.05	.04	.03	.02	.02	.01
	H	.04	.04	.03	.03	.03	.26	.51	.69	.78	.78	.68	.51	.35	.29	.25	.22	.19	.15	.09	.08	.07	.06	.05	.05
S	L	.00	.00	.00	.00	.00	.07	.15	.23	.39	.62	.82	.94	.93	.80	.59	.38	.26	.16	.06	.02	.01	.00	.00	.00
	M	.01	.01	.01	.01	.01	.07	.14	.22	.38	.59	.78	.88	.88	.76	.57	.38	.28	.18	.09	.06	.04	.03	.02	.02
	H	.05	.05	.04	.04	.03	.09	.15	.21	.35	.54	.70	.79	.79	.69	.52	.37	.29	.21	.13	.10	.09	.08	.07	.06
SW	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.13	.16	.19	.23	.39	.62	.82	.94	.94	.81	.54	.19	.07	.03	.01	.00	.00
	M	.02	.02	.01	.01	.01	.05	.09	.13	.16	.19	.22	.38	.60	.78	.89	.89	.77	.52	.20	.10	.07	.05	.04	.03
	H	.07	.06	.05	.05	.04	.07	.11	.14	.16	.18	.21	.35	.55	.71	.80	.79	.69	.48	.20	.14	.11	.10	.08	.07
W	L	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.07	.10	.13	.15	.16	.18	.31	.55	.78	.92	.93	.73	.25	.10	.04	.01	.01	.00
	M	.02	.02	.01	.01	.01	.04	.07	.10	.13	.14	.16	.17	.30	.53	.74	.87	.88	.69	.24	.12	.07	.05	.04	.03
	H	.06	.06	.05	.04	.04	.06	.09	.11	.13	.15	.16	.17	.28	.49	.67	.78	.79	.62	.23	.14	.11	.09	.08	.07
NW	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.14	.17	.20	.22	.23	.24	.31	.53	.78	.92	.81	.28	.10	.04	.02	.01	.00
	M	.02	.02	.01	.01	.01	.05	.10	.13	.17	.19	.21	.22	.23	.30	.52	.75	.88	.77	.26	.12	.07	.05	.04	.03
	H	.06	.05	.05	.04	.04	.07	.11	.14	.17	.19	.20	.21	.22	.28	.48	.68	.79	.69	.23	.14	.10	.09	.08	.07
Hor.	L	.00	.00	.00	.00	.00	.08	.25	.45	.64	.80	.91	.97	.97	.91	.80	.64	.44	.23	.08	.03	.01	.00	.00	.00
	M	.02	.02	.01	.01	.01	.08	.24	.43	.60	.75	.86	.92	.92	.87	.77	.63	.45	.26	.12	.07	.05	.04	.03	.02
	H	.07	.06	.05	.05	.04	.11	.25	.41	.56	.68	.77	.83	.83	.80	.71	.59	.44	.28	.17	.13	.11	.10	.09	.08

Values for nominal 15 ft by 15 ft by 10 ft. high space, with ceiling, and 50% or less glass in exposed surface at listed orientation.

L = Lightweight construction, such as 1-in. wood floor, Group G wall.

M = Mediumweight construction, such as 2 to 4-in. concrete floor, Group E wall.

H = Heavyweight construction, such as 6 to 8-in. concrete floor, Group C wall.

Cooling Load Factors (CLF) for Glass Without Interior Shading,  
In North Latitude Spaces Having Uncarpeted Floors

Room		Solar Time																							
Dir.	Mass	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400
N	L	.00	.00	.00	.00	.01	.64	.73	.74	.81	.88	.95	.98	.98	.94	.88	.79	.79	.55	.31	.12	.04	.02	.01	.00
	M	.12	.09	.07	.06	.05	.33	.45	.53	.61	.69	.76	.82	.85	.86	.85	.81	.80	.70	.60	.43	.32	.24	.19	.15
	H	.24	.21	.19	.18	.16	.43	.48	.51	.56	.61	.66	.71	.73	.74	.73	.71	.71	.62	.52	.42	.36	.32	.29	.26
NE	L	.00	.00	.00	.00	.01	.51	.83	.85	.72	.47	.33	.27	.24	.23	.20	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.03	.02	.02	.02	.02	.45	.57	.58	.49	.41	.36	.32	.29	.27	.24	.21	.17	.13	.10	.07	.06	.05	.04	.04
	H	.08	.07	.07	.06	.06	.27	.43	.49	.45	.37	.32	.29	.28	.27	.26	.24	.22	.19	.16	.14	.12	.11	.10	.09
E	L	.00	.00	.00	.00	.00	.42	.76	.91	.90	.75	.51	.30	.22	.18	.16	.13	.11	.07	.02	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.03	.02	.02	.02	.01	.41	.57	.65	.64	.55	.44	.36	.31	.26	.23	.19	.16	.12	.09	.07	.06	.04	.04	.04
	H	.08	.08	.07	.06	.06	.24	.40	.50	.53	.50	.41	.33	.30	.28	.26	.24	.22	.19	.16	.14	.13	.11	.10	.09
SE	L	.00	.00	.00	.00	.00	.27	.58	.81	.93	.93	.81	.59	.37	.27	.21	.18	.14	.09	.03	.01	.00	.00	.00	.00
	M	.04	.03	.02	.02	.02	.13	.31	.48	.62	.69	.69	.61	.50	.41	.35	.30	.25	.20	.15	.12	.09	.07	.06	.05
	H	.10	.09	.08	.08	.07	.18	.32	.45	.53	.56	.54	.47	.39	.35	.32	.29	.26	.23	.19	.17	.15	.14	.12	.11
S	L	.00	.00	.00	.00	.00	.07	.15	.23	.39	.62	.82	.94	.93	.80	.59	.38	.26	.16	.06	.02	.01	.00	.00	.00
	M	.05	.04	.04	.03	.02	.05	.09	.14	.24	.38	.53	.65	.72	.71	.63	.52	.42	.33	.24	.18	.14	.11	.09	.07
	H	.13	.12	.10	.09	.09	.11	.14	.17	.25	.36	.47	.55	.58	.56	.49	.41	.36	.30	.25	.21	.19	.17	.16	.14
SW	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.13	.16	.19	.23	.39	.62	.82	.94	.94	.81	.54	.19	.07	.03	.01	.00	.00
	M	.08	.07	.05	.04	.03	.05	.07	.09	.12	.15	.17	.26	.40	.54	.66	.73	.72	.61	.43	.31	.23	.17	.13	.10
	H	.15	.14	.12	.11	.10	.11	.12	.14	.15	.17	.18	.26	.37	.48	.56	.59	.57	.47	.33	.27	.23	.21	.19	.17
W	L	.00	.00	.00	.00	.00	.03	.07	.10	.13	.15	.16	.18	.31	.55	.78	.92	.93	.73	.25	.10	.04	.01	.01	.00
	M	.08	.07	.05	.04	.04	.04	.06	.08	.10	.12	.13	.15	.21	.35	.50	.63	.71	.67	.46	.33	.24	.18	.14	.11
	H	.14	.13	.12	.11	.10	.10	.11	.12	.13	.14	.15	.16	.21	.33	.45	.54	.58	.52	.33	.26	.22	.19	.18	.16
NW	L	.00	.00	.00	.00	.00	.04	.09	.14	.17	.20	.22	.23	.24	.31	.53	.78	.92	.81	.28	.10	.04	.02	.01	.00
	M	.08	.06	.05	.04	.03	.05	.07	.10	.13	.15	.17	.19	.20	.24	.36	.51	.64	.66	.46	.32	.23	.17	.13	.10
	H	.13	.12	.11	.10	.09	.10	.12	.13	.15	.16	.17	.18	.19	.23	.33	.46	.55	.53	.33	.25	.21	.18	.16	.15
Hor.	L	.00	.00	.00	.00	.00	.08	.25	.45	.64	.80	.91	.97	.97	.91	.80	.64	.44	.23	.08	.03	.01	.00	.00	.00
	M	.07	.06	.05	.04	.03	.06	.14	.26	.40	.53	.64	.73	.78	.80	.77	.70	.59	.45	.33	.24	.19	.14	.11	.09
	H	.16	.15	.13	.12	.11	.13	.20	.29	.39	.48	.56	.61	.65	.65	.63	.57	.49	.40	.32	.28	.25	.22	.20	.18

Values for nominal 15 ft x 15 ft x 10 ft. high space, with ceiling, and 50% or less glass in exposed surface at listed orientation.

L = Lightweight construction, such as 1-in. wood floor, Group G wall.

M = Mediumweight construction, such as 2 to 4-in. concrete floor, Group E wall.

H = Heavyweight construction, such as 6 to 8-in. concrete floor, Group C wall.

ที่มาจาก : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, Inc.,

(1989 ASHRAE Handbook Fundamentals I-P Edition, 1989)

**ภาคผนวก ข.**

แสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวม  
ของมหาวิทยาลัยรังสิต ปี 2543-2544

รายงานการใช้ไฟฟ้าตามตึกต่างๆ  
ระหว่างเดือนมกราคม - มิถุนายน 2543

	อาคาร	จำนวน kWh					
		ม.ค 43	ก.พ 43	มี.ค 43	เม.ย 43	พ.ค 43	มิ.ย 43
1	อาคารประสิทธิ์วิรัตน์ 1 (2/1) - ห้องผู้บริหาร, ห้องพักอาจารย์และสำนักงาน	35,200	37,120	41,680	32,640	27,840	43,280
2	อาคารประสิทธิ์วิรัตน์ 2 (2/2) - ห้องเรียนทั้งหมด	21,936	23,440	34,896	26,224	23,264	39,728
3	อาคารอุไรรัตน์ (3)	12,330	17,700	26,010	13,290	6,330	12,180
4	อาคารวิทยาศาสตร์ 1 (4/1) - ห้องปฏิบัติการ, Shop วิศวกรรม, ศิลปกรรม ห้องพักอาจารย์, ห้องอานาโตมี, โรงปรงยา	53,700	51,600	69,900	57,000	52,200	79,200
5	อาคารวิทยาศาสตร์ 2 (4/2) - ห้องเรียนและห้องปฐมพยาบาล	15,720	89,160	20,400	18,240	13,920	
	อาคารวิชณูรัตน์ (5)	102,400	106,240	148,480	114,560	97,920	154,880
7	อาคารหอสมุด (7)	42,720	46,800	58,560	44,640	37,680	60,960
8	อาคาร 9	76,000	62,500	85,000	73,500	64,500	115,500
9	สตูดิโอ นิเทศศาสตร์	3,360	3,480	5,700	3,360	5,520	4,500
10	หอพัก นศ. 1 (ชายเก่า), อาคาร 11 ศูนย์หนังสือ, ศูนย์ศิลปวัฒนธรรม, ห้องอาหาร	96,800	57,600	113,600	108,000	87,200	138,400
11	หอพัก นศ. 2 (หญิงเก่า)	58,400	68,800	85,600	77,600	60,800	104,800
12	หอพัก นศ. 3 (หญิงใหม่)	9,600	12,400	13,600	12,800	6,000	17,600
13	หอพัก นศ. 4 (ชายใหม่)	3,600	3,200	3,600	-	-	-
14	ซุ้มโรงอาหาร	11,220	12,840	11,400	10,860	8,280	11,880
15	โรงงานต้นแบบ	5,160	4,860	5,460	4,560	4,680	4,680
16	บ่อบาดาล	36,796	31,964	28,020	22,536	28,248	26,036
17	อาคารนันทนาการ (8)	33,552	36,592	36,968	29,400	43,512	45,720
18	สนามบาส 1.	258	-	-	-	-	-
8.1	สนามบาส 2.	255	-	-	-	-	-
	สนามเทนนิส	96	-	288	242	-	78
8.3	สนามฟุตบอล	2,040	660	-	180	-	1,680
	รวมทั้งสิ้น (kWh) (วัดจากมิเตอร์ภายในมหาวิทยาลัยรังสิต)	621,143	666,956	789,162	649,632	567,894	
จากใบเสร็จการไฟฟ้า	ความต้องการไฟฟ้า (KW)	6,340	6,134	6,930	6,940	6,978	7,586
	พลังงานไฟฟ้า (kWh) ของการไฟฟ้า	735,068	741,116	945,628	721,936	756,800	1,006,476
	ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิต (สต./kWh.)	413,990.30 (56.32)	417,397 (56.32)	532,578 (56.32)	444,134 (61.52)	465,583 (61.52)	619,184 (61.52)
	คิดเป็นเงินค่าไฟฟ้าแต่ละเดือน (บาท)	1,930,603	1,821,658	2,263,579	1,896,173	1,982,970	2,500,273

\*\* หมายเหตุ โรงงานต้นแบบ ติดตั้งเมื่อ 18/1/41

รายงานการใช้พลังงานไฟฟ้าตามตึกต่าง ๆ  
ระหว่างเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2543

อ.แปลง	ขนาด KVA	สถานที่	จำนวน KW-HR					
			ก.ค 43	ส.ค 43	ก.ย 43	ต.ค 43	พ.ย 43	ธ.ค 43
1	1,000	อาคารประสิทธิ์รัตน์ (2)						
		- ห้องอาจารย์และเจ้าหน้าที่ - ห้องเรียน	35,120 30,464	36,080 31,232	30,480 26,528	36,400 28,320	36,480 24,368	12,960 17,024
2	250	อาคารสตูดิโอ	3,180	4,320	2,940	4,320	5,640	3,600
3	1,250	อาคารอุไรรัตน์ (3)	9,240	9,240	7,620	9,270	18,210	11,760
4	315	อาคารวิทยาศาสตร์ (4)						
		- ห้องเรียน, ห้องปฐมพยาบาล - โรงงานต้นแบบ	14,280 (3,660)	19,200 (3,840)	16,200 3,420	18,720 4,740	16,800 5,280	13,680 4,920
5	1,000	อาคารวิทยาศาสตร์ (4) - SHOP วิศวกรรม - โรงปรุงยา - ห้อง LAB และห้องเรียน	67,800	67,200	66,000	70,200	61,800	48,900
6	500	- โรงอาหารกลาง - ป้อมยามและไฟถนน	11,760	12,120	10,320	12,300	12,420	10,800
7	1,000	อาคารหอสมุด (7)	52,800	56,640	49,200	54,240	57,840	33,360
8	1,500	อาคารวิชญ์รัตน์ (5)	122,240	134,400	112,640	126,080	117,120	84,480
9	1,000	อาคารหอพัก 6 B - คณะอุตสาหกรรมบริการ - กิจการนักศึกษา - โรงแรม	90,400	10,400	73,600	92,000	79,200	72,800
10	1,500	อาคาร 9	91,500	113,000	76,000	90,000	80,500	61,500
11	1,500	อาคารหอพัก 6 D	4,000	4,800	2,800	7,200	8,000	6,000
12	1,500	อาคารหอพัก 6 C	16,400	18,400	12,000	17,600	12,800	9,600
13	2,000	อาคารหอพัก 6 A	120,000	135,200	104,000	121,600	108,000	92,000
		- ไฟสนามกีฬา - ศูนย์อาหาร+ครัว - ภัตตาคาร+ครัว - อาคารรูปตัว L 2 ชั้น - อาคารหอพัก 4 ชั้น - กิจการนักศึกษา - อาคาร 11	(3,404)	(3,758)	(1,002)	(2,826)	(1,206)	(1,610)
14	800	อาคารนันทนาการ	-	-	-	-	-	-
15	350	บ่อบาดาล	-	-	-	-	-	-
รวมค่า KW-HR จากมิเตอร์มหาวิทยาลัย			669,184	745,832	590,328	688,250	639,178	478,464
ค่า KW-HR จากมิเตอร์ตัวที่ 1 การไฟฟ้า			876,000	853,200	746,800	822,880	756,080	568,640
ค่า KW-HR จากมิเตอร์ตัวที่ 2 การไฟฟ้า (อาคารนันทนาการ)			32,848	37,840	38,803	45,728	28,616	30,984
ค่า KW-HR จากมิเตอร์ตัวที่ 3 การไฟฟ้า (บ่อบาดาล)			31,356	33,140	22,308	32,180	27,640	13,740
รวมค่า KW-HR จากมิเตอร์การไฟฟ้า			940,204	924,180	807,911	901,788	812,336	613,364
ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (KW) *			4,420	4,740	4,330	4,350	3,986	3,822
ยอดรวมค่าไฟฟ้าแต่ละเดือน			2,367,599	2,403,169	2,097,244	2,288,981	2,058,885	1,656,686

หมายเหตุ : - ตัวเลขในวงเล็บ ( ) คือตัวเลขที่รวมอยู่แล้วในตัวเลขด้านบน จึงไม่ต้องนำมารวมใหม่

\* ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (KW) ได้มาจากค่าพลังไฟฟ้า (KW) สูงที่สุดจากมิเตอร์การไฟฟ้าทั้ง 3 ตัว รวมกัน

แปลง	ขนาด KVA	สถานที่	จำนวน KW-HR					
			ม.ค 44	ก.พ 44	มี.ค 44	เม.ย 44	พ.ค 44	มิ.ย 44
1	1,000	อาคารประสิทธิ์รัตน์ (2)						
		- ห้องอาจารย์และเจ้าหน้าที่	30,480	34,000	36,720	36,000	27,920	35,280
		- ห้องเรียน	22,240	25,712	27,824	31,600	19,600	28,704
2	250	อาคารสตูดิโอ	3,480	3,300	6,480	4,200	2,340	1,560
3	1,250	อาคารอุไรรัตน์ (3)	15,510	18,810	15,210	17,460	6,690	22,980
4	315	อาคารวิทยาศาสตร์ (4)						
		- ห้องเรียน, ห้องปฐมพยาบาล	15,360	16,440	17,520	20,520	13,560	21,480
		- โรงงานต้นแบบ	6,180	5,160	6,060	7,740	5,820	6,780
5	1,000	อาคารวิทยาศาสตร์ (4)	58,200	59,100	66,300	73,500	66,600	78,600
		- SHOP วิศวกรรม						
		- โรงปรุงยา						
		- ห้อง LAB และห้องเรียน						
6	500	- โรงอาหารกลาง	11,760	11,340	10,620	8,640	7,260	10,680
		- ป้อมยามและไฟถนน						
7	1,000	อาคารหอสมุด (7)	42,480	-	100,800	56,400	42,960	60,000
8	1,500	อาคารวิษณุรัตน์ (5)	102,400	104,320	122,240	131,840	95,360	135,040
9	1,000	อาคารหอพัก 6 B	71,200	80,800	84,800	100,000	54,400	98,400
		- คณะอุตสาหกรรมบริการ						
		- กิจกรรมนักศึกษา						
		- โรงแรม						
10	1,500	อาคาร 6	70,500	73,500	85,000	93,000	71,500	104,500
11	1,500	อาคารหอพัก 6 D	12,000	14,000	34,000	24,000	16,000	22,000
12	1,500	อาคารหอพัก 6 C	10,800	12,400	13,200	18,800	6,800	16,800
13	2,000	อาคารหอพัก 6 A	107,200	108,000	115,200	127,200	85,600	100,000
		- โฟสนามกีฬา	(2,531)	(630)	(600)	(360)	(720)	(1260)
		- ศูนย์อาหาร+ครัว+ภัตตาคาร						
		- อาคารรูปตัว L 2 ชั้น						
		- อาคารหอพัก 4 ชั้น/ศูนย์วัฒนธรรม						
		- กิจกรรมนักศึกษา/ศูนย์หนังสือ						
		- อาคาร 9						
14	800	อาคารนันทนาการ	-	-	-	-	-	-
15	350	บ่อบาดาล	-	-	-	-	-	-
รวมค่า KW-HR จากมิเตอร์มหาวิทยาลัย			573,610	561,722	735,974	743,160	516,590	739,024
ค่า KW-HR จากมิเตอร์ตัวที่ 1 การไฟฟ้า			698,400	726,960	878,080	784,280	589,600	868,880
ค่า KW-HR จากมิเตอร์ตัวที่ 2 การไฟฟ้า (อาคารนันทนาการ)			30,376	32,640	26,440	22,640	51,408	42,808
ค่า KW-HR จากมิเตอร์ตัวที่ 3 การไฟฟ้า (บ่อบาดาล)			ไม่มีข้อมูล	24,520	24,520	24,092	8,772	9,896
รวมค่า KW-HR จากมิเตอร์การไฟฟ้า			ไม่มีข้อมูล	784,120	929,040	831,012	649,780	921,584
ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (KW) *			4,082	4,172	4,444	4,632	3,260	4,520
ยอดรวมค่าไฟฟ้าแต่ละเดือน			1,975,584	2,221,411	2,584,694	2,414,200	1,794,152	2,572,089

หมายเหตุ : - ตัวเลขในวงเล็บ ( ) คือตัวเลขที่รวมอยู่แล้วในตัวเลขด้านบน จึงไม่ต้องนำมารวมใหม่

\* ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (KW) ได้มาจากค่าพลังไฟฟ้า (KW) สูงที่สุดจากมิเตอร์การไฟฟ้าทั้ง 3 ตัว รวมกัน

รายงานการใช้พลังงานไฟฟ้าตามตึกต่าง ๆ  
ระหว่างเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2544

หม้อแปลง	ขนาด KVA	สถานที่	จำนวน KW-HR					
			ก.ค 44	ส.ค 44	ก.ย 44	ต.ค 44	พ.ย 44	ธ.ค 44
1	1,000	อาคารประสิทธิ์รัตน์ (2)						
		- ห้องอาจารย์และเจ้าหน้าที่	34,080	38,960	37,680	26,400	31,920	28,160
		- ห้องเรียน	28,224	31,776	32,112	18,544	20,528	19,392
2	250	อาคารสตูดิโอ	4,740	4,980	6,720	2,880	2,820	2,160
3	1,250	อาคารอุไรรัตน์ (3)	26,190	25,170	29,880	11,730	8,700	10,380
4	315	อาคารวิทยาศาสตร์ (4)						
		- ห้องเรียน, ห้องปฐมพยาบาล	23,400	25,560	26,760	16,560	15,480	15,720
		- โรงงานต้นแบบ	7,380	8,460	8,700	5,700	5,820	5,040
5	1,000	อาคารวิทยาศาสตร์ (4)	72,600	70,000	81,300	56,100	57,900	52,500
		- SHOP วิศวกรรม						
		- โรงปรุยา						
		- ห้อง LAB และห้องเรียน						
	500	- โรงอาหารกลาง	12,000	14,820	15,120	12,060	15,240	15,060
		- ป้อมยามและไฟถนน						
7	1,000	อาคารหอสมุด (7)	57,120	66,720	66,960	47,520	54,000	45,600
8	1,500	อาคารวิชญ์รัตน์ (5)	132,480	138,880	151,040	94,720	107,520	96,000
9	1,000	อาคารหอพัก 8 B	133,600	171,200	164,000	128,000	121,600	127,200
		- คณะอุตสาหกรรมบริการ						
		- กิจกรรมนักศึกษา						
		- โรงแรม						
10	1,500	อาคาร 6	98,000	121,000	118,000	72,000	81,500	71,000
11	1,500	อาคารหอพัก 8 D	18,000	16,000	14,000	12,000	6,000	4,000
12	1,500	อาคารหอพัก 8C	19,200	20,800	20,000	16,800	16,800	17,200
13	2,000	อาคารหอพัก 8A	101,600	121,600	123,200	93,600	88,000	83,200
		- ไฟสนามกีฬา	(600)	(1980)	(3958)	(1380)	(2784)	(1905)
		- ศูนย์อาหาร+ครัว+ภัตตาคาร						
		- อาคารรูปตัว L 2 ชั้น						
		- อาคารหอพัก 4 ชั้น/ศูนย์วัฒนธรรม						
		- กิจกรรมนักศึกษา/ศูนย์หนังสือ						
		- อาคาร 9						
14	800	อาคารนันทนาการ	-	-	-	-	-	-
15	350	บ่อบาดาล	-	-	-	-	-	-
รวมค่า KW-HR จากมิเตอร์มหาวิทยาลัย			761,234	875,466	886,772	608,914	628,008	587,572
ค่า KW-HR จากมิเตอร์ตัวที่ 1 การไฟฟ้า			980,480	957,120	977,200	680,800	737,040	660,240
ค่า KW-HR จากมิเตอร์ตัวที่ 2 การไฟฟ้า (อาคารนันทนาการ)			58,424	25,860	34,800	44,240	29,704	41,296
ค่า KW-HR จากมิเตอร์ตัวที่ 3 การไฟฟ้า (บ่อบาดาล)			11,620	10,940	11,364	10,156	11,080	10,867
รวมค่า KW-HR จากมิเตอร์การไฟฟ้า			1,050,524	993,920	1,023,364	735,196	777,824	712,403
ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (KW) *			5,088	4,232	4,584	4,004	3,940	3,892
ยอดรวมค่าไฟฟ้าแต่ละเดือน			2,968,419	2,749,338	2,877,320	2,122,844	2,188,464	2,103,524

หมายเหตุ : - ตัวเลขในวงเล็บ ( ) คือตัวเลขที่รวมอยู่แล้วในตัวเลขด้านบน จึงไม่ต้องนำมารวมใหม่

\* ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (KW) ได้มาจากค่าพลังไฟฟ้า (KW) สูงที่สุดจากมิเตอร์การไฟฟ้าทั้ง 3 ตัว รวมกัน

## ประวัติผู้เขียน

นายพีระพงษ์ โมลิกา เกิดเมื่อวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2514 ที่อำเภอ หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และสำเร็จการศึกษาศาสาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรมหลัก จากมหาวิทยาลัยรังสิต ปีการศึกษา 2539

ปี พ.ศ. 2537-2538 ทำงานที่บริษัท D.C.M. 2000 จำกัด ตำแหน่งสถาปนิก ปี พ.ศ. 2541 เข้าศึกษาบัณฑิตวิทยาลัย สาขาสถาปัตยกรรมเขตร้อน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันทำงานที่บริษัท Climate Orbiter Studio. ตำแหน่ง สถาปนิกโครงการ และดำรงตำแหน่งผู้ช่วยผู้จัดการ บริษัท มหานครคอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์ค แอนด์ไอเอ จำกัด