

อิทธิพลของวัสดุผนังและช่องเปิดต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคารรูปทรงปิระมิด  
: กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยมหาวชิราลงกรณ วัดพระศรีรัตนมหาธาตุวรมหาวิหาร จังหวัดพิษณุโลก



นางสาวสรณิยา หมั่นดี

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EFFECT OF WALL MATERIALS AND OPENING ON HEAT TRANSFER IN  
PYRAMIDAL SHAPE BUILDING : CASE STUDY OF MAHAVIHARN DHAMMA,  
WAT PHRA SRI RATTANA MAHATHAT VORA MAHAVIHARN PHITSANULOK



Miss Soraneyya Mhundee

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อิทธิพลของวัสดุผนังและช่องเปิดต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคาร  
รูปทรงปิระมิด : กรณีศึกษา มหาวิหารธรรม วัดพระศรีรัตนมหาธาตุ  
วรมหาวิหาร จังหวัดพิษณุโลก

โดย

นางสาวสรณียา หมั่นดี


สาขาวิชา

สถาปัตยกรรม


อาจารย์ที่ปรึกษา

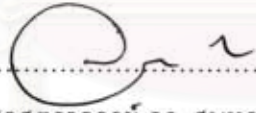
ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
.....คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระ สัจกุล)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ)

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรสันต์ บุรณากาญจน์)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

  
.....กรรมการ  
(นายปราโมทย์ เขี่ยมศิริ)

สรณียา หมั่นดี : อิทธิพลของวัสดุผนังและช่องเปิดต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคาร  
 รูปทรงปิระมิด : กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยธรรม วัดพระศรีรัตนมหาธาตุวรมหาวิหาร จังหวัด  
 พิษณุโลก. (THE EFFECT OF WALL MATERIALS AND OPENING ON HEAT  
 TRANSFER IN PYRAMIDAL-SHAPE BUILDING : CASE STUDY OF MAHAVIHARN  
 DHAMMA, WAT PHRA SRI RATTANA MAHATHAT VORA MAHAVIHARN  
 PHITSANULOK) อ. ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ, 100 หน้า.

การควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในอาคารให้คงที่ ปัจจัยที่สำคัญคือวัสดุผนังและช่องเปิดเนื่องจากเป็นส่วนสำคัญในการถ่ายเทความร้อนระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิภายนอกอาคาร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของวัสดุมวลสารและช่องเปิดที่มีผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอาคารรูปทรงปิระมิดทั้งในแนวระนาบและแนวตั้ง และวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนภายในอาคารรูปทรงปิระมิด ของผนังที่มีค่าความหนาแน่นต่างกัน โดยการสร้างหุ่นจำลองรูปทรงปิระมิดที่ใช้วัสดุแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ผนังเหล็กเคลือบสังกะสี มีค่า R เท่ากับ 1.01 hr.ft<sup>2</sup>.°F /Btu ผนังยิปซัมสองชั้น มีค่า R เท่ากับ 1.61 hr.ft<sup>2</sup>.°F /Btu และผนังระบบฉนวน มีค่า R เท่ากับ 12.88 hr.ft<sup>2</sup>.°F /Btu และจำลองสภาพการทดลองเป็น 3 กรณี ได้แก่ เปิดช่องแสง ปิดช่องแสง เปิดช่องแสงปรับอากาศ โดยมีขั้นตอนการศึกษา 2 ขั้นตอน คือ 1) เก็บข้อมูลอุณหภูมิทั้งในแนวระนาบและแนวตั้ง 2) วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ

จากการศึกษาพบว่า กรณีเปิดช่องแสงของผนังทุกประเภท มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก กรณีปิดช่องแสงของผนังทุกประเภท มีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกแต่ต่ำกว่ากรณีเปิดช่องแสง โดยผนังเหล็กเคลือบสังกะสีและผนังยิปซัมสองชั้นมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 2 องศาเซลเซียส และผนังระบบฉนวนมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 13 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 30 45 และ 60 เซนติเมตร โดยอุณหภูมิในระดับล่างจะต่ำกว่าอุณหภูมิในระดับสูงประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส ส่วนกรณีเปิดช่องแสงปรับอากาศ พบว่าผนังเหล็กเคลือบสังกะสีและผนังยิปซัมสองชั้น สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับความสูงจากพื้น 2 เซนติเมตรให้อยู่ในเขตสภาวะน่าสบายได้ในช่วงเวลา 18.00-09.00 น. จำนวน 15 ชั่วโมง ส่วนผนังระบบฉนวน สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศที่ระดับความสูงจากพื้น 2 เซนติเมตรให้อยู่ในเขตสภาวะน่าสบายได้เกือบตลอดวัน

ผลการวิจัยพบว่า ขนาดของช่องเปิดมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนภายในอาคาร อาคารที่มีวัสดุมวลสารน้อย และช่องเปิดขนาดใหญ่ จะมีปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารมาก ถ้าอาคารมีช่องเปิดขนาดเล็ก สามารถรับแสงได้เพียงพอต่อการใช้งาน แต่ถ้าช่องแสงมีขนาดที่เหมาะสม ให้ความร้อนเข้ามาในอาคารได้น้อย และมีแสงจากภายนอกเพียงพอต่อการใช้งานจะประหยัดพลังงานในอาคารเป็นจำนวนมาก และเพื่อให้ได้อาคารที่ประหยัดพลังงานควรพิจารณาเลือกใช้ผนังที่มีค่า R ที่เหมาะสม (R-Value = 12.88 hr.ft<sup>2</sup>.°F /Btu) และขนาดของช่องเปิดควรมีประมาณร้อยละ 5 ของพื้นที่เปลือกอาคาร

ภาควิชา.....สถาปัตยกรรมศาสตร์.....ลายมือชื่อผู้ผลิต.....  
 สาขาวิชา.....สถาปัตยกรรม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
 ปีการศึกษา.....2549.....



# # 4874182625 : MAJOR ARCHITECTURE

KEY WORD : ENERGY CONSERVATION / BUILDING FORM / BUILDING ORIENTATION

SORANEYA MHUNDEE : THE EFFECT OF WALL MATERIALS AND OPENING  
ON HEAT TRANSFER IN PYRAMIDAL-SHAPE BUILDING : CASE STUDY OF  
MAHAVIHARN DHAMMA, WAT PHRA SRI RATTANA MAHATHAT VORA  
MAHAVIHARN PHITSANULOK. THESIS ADVISOR : PROFESSOR  
Dr.SOONTORN BOONYATIKARN, 100 pp.

The crucial factors in stabilizing indoors temperature are wall materials and openings as they play an important part in the heat transfer. This study aims at analyzing the effects of materials and openings on the difference of temperatures measured on both vertical and horizontal planes in a pyramidal-shaped building, and comparing heat transfer rates of walls with various insulating properties. Three pyramidal-shaped models were constructed using different materials— a corrugated metal sheet R-Value 0.94 hr.ft<sup>2</sup> F/Btu , double layered gypsum R-Value 2.47 hr.ft<sup>2</sup> F/Btu and an insulated wall R-Value 13.12 hr.ft<sup>2</sup> F/Btu. Three different conditions were simulated – openings open, openings closed, and air-conditioned openings open. The study was conducted in 2 steps, starting with the collection of temperatures on horizontal and vertical planes; and the temperature data comparative analysis.

The study found that when the openings were open, indoor temperature was higher than that outside whereas when the openings were closed, indoor temperature was still higher than outside, but not as much as when the openings were open. The corrugated metal sheet and double-layered gypsum walls showed the highest temperature variance at 2 degree Celsius while the insulated wall showed a difference of indoor temperature at 13 degree Celsius. The temperature measured at the height of 15 centimeters from the ground was lower then the temperatures measured at 30, 45, and 60 centimeters from the ground by 0.5 degree. When the air-conditioned openings were open, the corrugated metal sheet and double-layered gypsum walls could control indoor temperature at the height of 2 centimeters from the ground to be in comfort condition for 15 hours during 18.00-09.00. The insulated walls, on the other hand, could stabilize temperature at the height of 2 centimeters from the ground to be in comfort condition for most of the day.

The finding show that the glass fenestration size affect building heat transfer. The low mass building with large glass fenestration will allow high building heat transfer. On the other hand, the low mass building with small glass fenestration will allow low building heat transfer. The recommended R-Value for energy saving building should be 12.88 hr.ft<sup>2</sup> F/Btu and glass fenestration size should have approximately 5 % of useable area.

Department.....Architecture.....Student's signature.....*S. Mhudee*.....  
Field of study..... Architecture.....Advisor's signature.....*Soontorn Boonyatikarn*.....  
Academic year.....2006.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วีระ สัจกุล ประธานกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ และศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์อย่างสูง ที่ให้คำปรึกษาตลอดจนชี้แนะแนวทางในการทำวิจัยที่ถูกต้อง ทำให้เข้าใจถึงระบบการทำงานที่มีประสิทธิภาพอันเป็นประโยชน์อย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณชฎาณิณ จิตรานุกเคราะห์ คุณรัตนพันธ์ นันทวิจารย์ และคุณสุวิวัน โล่ห์สุวรรณ ที่ช่วยให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ ด้วยดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ร่วมสาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ช่วยให้ความบันเทิงและเป็นกำลังใจกันเสมอมา และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่มหาวิทยาลัยรังสิตทุกท่านที่มาช่วยทำการทดลองจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่สาวที่คอยช่วยเหลือ ห่วงใยและเป็นกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญแผนภูมิ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 เงื่อนไขในการวิจัย.....	4
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยทั่วไป.....	7
2.1.1 การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร.....	7
2.1.2 อิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว.....	8
2.1.3 การคายรังสีความร้อน.....	10
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่สามารถประกอบการวิจัย.....	10
2.2.1 การพิจารณาการเลือกใช้วัสดุผนังอาคาร.....	10
2.2.2 การพิจารณาการเลือกใช้วัสดุฉนวนและมวลสาร.....	10
2.2.3 อิทธิพลจากฉนวนและมวลสาร.....	13
2.2.4 อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน.....	14
2.2.5 อิทธิพลของมวลสารในแง่ของการหน่วงเหนี่ยวความร้อน.....	17
2.2.6 อิทธิพลของมวลสารต่อการประหยัดพลังงานในอาคาร.....	17
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ.....	18
2.3.1 การคำนวณปริมาณความร้อนเข้าออกจากอาคาร.....	18

	2.3.2 การคำนวณปริมาณความร้อนที่ต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิวัสดุ.....	20
	2.3.3 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนของการแผ่รังสี.....	21
	2.3.4 การคำนวณอุณหภูมิที่ลดลง.....	21
	2.4 ทฤษฎีการปรับอากาศ.....	22
	2.5 ระบบควบคุมอาคารที่มีผลต่อการเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงาน.....	23
	2.5.1 ไม่ติดตั้งระบบปรับอากาศ.....	23
	2.5.2 ติดตั้งระบบปรับอากาศ.....	23
	2.6 แนวทางการออกแบบอาคารปรับอากาศ.....	24
	2.6.1 แนวทางการออกแบบเปลือกอาคารที่เป็นผนังที่ขของอาคารปรับอากาศ	24
	2.6.2 แนวทางการออกแบบเปลือกอาคารที่เป็นกระจกของอาคารปรับอากาศ	26
	2.6.3 หลักการใช้ผนังกระจกอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ.....	31
	2.7 ความชื้น.....	32
	2.7.1 ผลกระทบจากความชื้นต่อคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน.....	32
	2.7.2 ความชื้นที่สะสมในวัสดุ.....	33
บทที่ 3	ระเบียบวิธีวิจัย.....	34
	3.1 การศึกษาทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
	3.2 ขั้นตอนเตรียมการทดลอง.....	34
	3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล.....	34
	3.2.2 กำหนดสภาพการใช้งานในอาคาร.....	35
	3.3 การเตรียมวัสดุเพื่อการทดลอง.....	36
	3.4 รายละเอียดของผนังที่ทำการทดลอง.....	40
บทที่ 4	ผลการศึกษา.....	43
	4.1 การวิเคราะห์กราฟที่ได้จากการวัดผล.....	43
	4.1.1 กรณีที่ 1 แบบปิดช่องแสง.....	45
	4.1.2 กรณีที่ 2 แบบเปิดช่องแสง.....	58
	4.1.3 กรณีที่ 3 แบบเปิดช่องแสงปรับอากาศ.....	76
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในการวิจัย.....	89
	5.1 สรุปผลการทดลอง.....	89
	5.2 ข้อเสนอแนะ.....	91



	ณ
	หน้า
รายการอ้างอิง.....	91
ภาคผนวก.....	93
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	100



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

	หน้า	
ภาพที่ 1.1	แสดงค่าการเปรียบเทียบรูปร่างทรงปริมาตรกับรูปทรงโดม.....	2
ภาพที่ 2.1	แสดงรังสีตกกระทบวัสดุ.....	8
ภาพที่ 2.2	แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน.....	14
ภาพที่ 2.3	แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังมวลสารน้อยและผนังมวลสารมาก.....	14
ภาพที่ 2.4	แสดงผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก กับผนังโครงคร่าวยิปซัม.....	25
ภาพที่ 2.5	แสดงการควมแน่นเป็นหยดน้ำในผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก.....	26
ภาพที่ 2.6	แสดงคุณสมบัติของกระจกอีตีสต์ท็อป 6 mm. + Air + 6 mm.....	29
ภาพที่ 2.7	รูปตัดแสดงส่วนประกอบของกระจกอีตีสต์ท็อป.....	30
ภาพที่ 2.8	รูปตัดแสดงส่วนประกอบของกระจกอีตีมิเรอร์.....	31
ภาพที่ 3.1	แสดงเครื่องมือเก็บข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์.....	35
ภาพที่ 3.2	แสดงเครื่องมือเก็บข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว.....	35
ภาพที่ 3.3	แสดงการประกอบรูปทรงปริมาตรผนังเหล็กเคลือบสังกะสี.....	36
ภาพที่ 3.4	แสดงการประกอบรูปทรงปริมาตรผนังยิปซัมทาสี.....	37
ภาพที่ 3.5	แสดงการประกอบรูปทรงปริมาตรผนังระบบฉนวน.....	37
ภาพที่ 3.6	แสดงแบบแปลนตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ.....	38
ภาพที่ 3.7	แสดงรูปตัดตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ.....	38
ภาพที่ 3.8	แสดงการเก็บข้อมูลในวันที่ทำการทดลอง.....	39
ภาพที่ 3.9	แสดงรูปตัดของผนังเหล็กเคลือบสังกะสี.....	40
ภาพที่ 3.10	แสดงรูปตัดของผนังยิปซัม.....	41
ภาพที่ 3.11	แสดงรูปตัดของผนังระบบฉนวน.....	42
ภาพที่ 4.1	แสดงแบบจำลองรูปทรงปริมาตรแบบเปิดช่องแสง.....	43
ภาพที่ 4.2	แสดงแบบจำลองรูปทรงปริมาตรแบบเปิดช่องแสง.....	43
ภาพที่ 4.3	แสดงแบบจำลองรูปทรงปริมาตรแบบเปิดช่องแสงปรับอากาศ.....	44
ภาพที่ 4.4	แสดงแบบจำลองรูปทรงปริมาตรผนังเหล็กเคลือบสังกะสี.....	45
ภาพที่ 4.5	แสดงแบบจำลองรูปทรงปริมาตรผนังยิปซัมทาสี.....	45
ภาพที่ 4.6	แสดงแบบจำลองรูปทรงปริมาตรผนังระบบฉนวน.....	45
ภาพที่ 4.7	แสดงแบบจำลองรูปทรงปริมาตรผนังเหล็กเคลือบสังกะสี.....	58

ภาพที่ 4.8	แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังยิปซัมทาสี.....	58
ภาพที่ 4.9	แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังระบบฉนวน.....	58
ภาพที่ 4.10	แสดงแบบแปลนคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังเหล็กเคลือบสังกะสี ที่ระดับ 15 เซนติเมตร.....	68
ภาพที่ 4.11	แสดงแบบแปลนคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังยิปซัม ที่ระดับ 15 เซนติเมตร.....	69
ภาพที่ 4.12	แสดงแบบแปลนคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังระบบฉนวน ที่ระดับ 15 เซนติเมตร.....	70
ภาพที่ 4.13	แสดงรูปตัดคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังเหล็กเคลือบสังกะสี ที่ความสูง 15 30 45 และ 60 เซนติเมตร.....	72
ภาพที่ 4.14	แสดงรูปตัดคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังยิปซัม ที่ความสูง 15 30 45 และ 60 เซนติเมตร.....	73
ภาพที่ 4.15	แสดงรูปตัดคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังระบบฉนวน ที่ความสูง 15 30 45 และ 60 เซนติเมตร.....	74
ภาพที่ 4.16	แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังเหล็กเคลือบสังกะสี.....	76
ภาพที่ 4.17	แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังยิปซัมทาสี.....	76
ภาพที่ 4.18	แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังระบบฉนวน.....	76
ภาพที่ 4.19	แสดงแบบแปลนคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังต่าง ๆ ที่ระดับ 2 เซนติเมตร	85
ภาพที่ 4.20	แสดงรูปตัดคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังต่าง ๆ ที่ความสูง 2 เซนติเมตร....	86

## สารบัญตาราง

๘

		หน้า
ตารางที่ 3.1	แสดงรายละเอียดคุณสมบัติวัสดุผนังเหล็กเคลือบสังกะสี.....	40
ตารางที่ 3.2	แสดงรายละเอียดคุณสมบัติวัสดุผนังยิปซัม.....	41
ตารางที่ 3.3	แสดงรายละเอียดคุณสมบัติวัสดุผนังระบบ.....	42



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญแผนภูมิ

		หน้า
แผนภูมิที่ 1.1	แสดงขั้นตอนในการวิจัย.....	6
แผนภูมิที่ 2.1	แสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน (R-Value) ของ ฉนวนกันความร้อนและวัสดุต่าง ๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว.....	13
แผนภูมิที่ 2.2	แสดงการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกชนิดต่าง ๆ.....	27
แผนภูมิที่ 2.3	แสดงพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด.....	28
แผนภูมิที่ 4.1	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังเหล็กเคลือบสังกะสี กรณีเปิดช่องแสง เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550.....	46
แผนภูมิที่ 4.2	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังยิปซัมกรณีเปิดช่อง แสง เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550.....	48
แผนภูมิที่ 4.3	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังระบบฉนวนกรณีเปิด ช่องแสง เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550	50
แผนภูมิที่ 4.4	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตร ที่ความสูง 15 เซนติเมตร ของ วัสดุต่าง ๆ เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550.....	53
แผนภูมิที่ 4.5	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตร ที่ความสูง 30 เซนติเมตร ของ วัสดุต่าง ๆ เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550.....	54
แผนภูมิที่ 4.6	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตร ที่ความสูง 45 เซนติเมตร ของ วัสดุต่าง ๆ เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550.....	55
แผนภูมิที่ 4.7	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตร ที่ความสูง 60 เซนติเมตร ของ วัสดุต่าง ๆ เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550.....	56
แผนภูมิที่ 4.8	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังเหล็กเคลือบสังกะสี กรณีปิดช่องแสง เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 4-5 เมษายน 2550.....	59
แผนภูมิที่ 4.9	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังยิปซัมกรณีปิดช่องแสง เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 4-5 เมษายน 2550.....	61



แผนภูมิที่ 4.10	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังระบบฉนวนกรณีเปิดช่องแสง เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ ณ วันที่ 4-5 เมษายน 2550.....	63
แผนภูมิที่ 4.11	แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับความสูงต่าง ๆ ระหว่างรูปทรงปริมาตรของผนังแต่ละประเภทที่เปิดช่องแสงและปิดช่องแสง	65
แผนภูมิที่ 4.12	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังระบบฉนวนกรณีใส่ฉนวนบล็อก เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ ณ วันที่ 18-19 เมษายน 2550.....	66
แผนภูมิที่ 4.13	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ของรูปทรงปริมาตรผนังยิปซัม ผนังระบบฉนวน และผนังระบบฉนวนใส่วัสดุมวลสารที่เปิดช่องแสง	67
แผนภูมิที่ 4.14	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังเหล็กเคลือบสังกะสี กรณีเปิดช่องแสงปรับอากาศ เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 5-6 พฤษภาคม 2550.....	77
แผนภูมิที่ 4.15	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังยิปซัมกรณีเปิดช่องแสงปรับอากาศ เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 5-6 พฤษภาคม 2550.....	79
แผนภูมิที่ 4.16	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังระบบฉนวนกรณีเปิดช่องแสงปรับอากาศ เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 5-6 พฤษภาคม 2550.....	81
แผนภูมิที่ 4.17	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตร ที่ความสูง 2 เซนติเมตรกรณีเปิดช่องแสงปรับอากาศ ของวัสดุต่าง ๆ เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 5-6 พฤษภาคม 2550.....	82

# บทที่ 1

## บทนำ

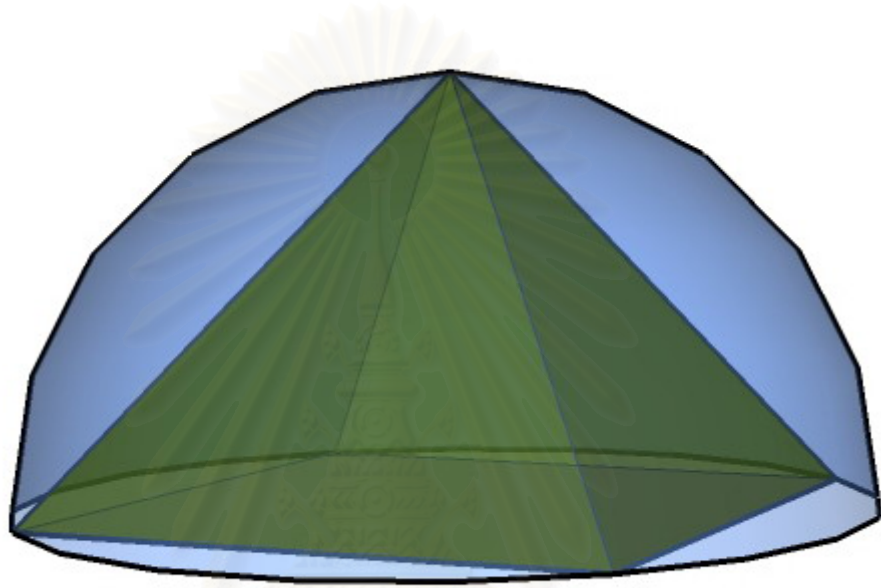
ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย นับวันจะมีความต้องการสูงขึ้น เนื่องจากสูญเสียพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบปรับอากาศมากที่สุด ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารเข้ามาสู่ภายในอาคาร ทั้งในอาคารปรับอากาศและอาคารที่ไม่ปรับอากาศ การป้องกันหรือการลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารเข้ามาสู่ภายในอาคารนั้น ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ลดพลังงานไฟฟ้าได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดสภาวะดังกล่าว อาคารปรับอากาศจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามาก การอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารควรเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบอาคาร รวมไปถึงการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างเพื่อลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคารเข้ามาในอาคารให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน การออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานนั้น สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเลือกรูปแบบของตัวอาคารเพื่อลดพื้นที่ผนัง เทคนิคการวางทิศทางอาคาร การปลูกแต่งสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารให้เอื้อต่อการประหยัดพลังงาน การลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารโดยการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม รวมถึงการนำเอาพลังงานทดแทนมาใช้ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ลม และน้ำ ในกฎหมายอนุรักษ์พลังงานได้กำหนดค่าปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยการถ่ายเทผ่านผนังภายนอก เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนรวมเข้าสู่อาคาร (Overall Thermal Transfer Value หรือ OTTV) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบอาคาร โดยครอบคลุมถึงการถ่ายเทความร้อนผ่านส่วนประกอบของอาคาร ได้แก่ การนำความร้อนผ่านผนังทึบ การนำความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และการแผ่รังสีผ่านผนังโปร่งแสง สำหรับการลดการถ่ายเทความร้อนในส่วนของผนังทึบ สามารถทำได้โดยการออกแบบอาคารให้ได้รับอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์ให้น้อยที่สุด

### 1.1 ความเป็นมาของปัญหา

จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีผู้ศึกษาทำวิจัยเกี่ยวกับเรื่องเปลือกอาคารเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเปลือกอาคารเป็นส่วนที่ได้รับความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารสูงที่สุด โดยทั่วไปส่วนของเปลือกอาคารที่ทำการศึกษา คือ เปลือกอาคารในระนาบตั้งและระนาบนอนซึ่งเป็นรูปแบบเปลือกอาคารที่พบเห็นได้ทั่วไป จึงเป็นข้อจำกัดในการออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในรูปทรงอื่น ๆ

การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารแปรผันตรงกับปริมาณพื้นที่เปลือกอาคาร เมื่อ

อาคารมีพื้นที่เปลือกอาคารมากจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารเพิ่มขึ้นจนทำให้สภาพแวดล้อมภายในอาคารพ้นจากเขตสบาย และต้องใช้เครื่องปรับอากาศ เป็นจำนวนมากเพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมภายใน การลดพื้นที่เปลือกอาคารจึงสามารถลดปัญหาความร้อนส่วนเกินได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา (ณรงค์ฤทธิ์, 2546) พบว่า รูปทรงโดม เป็นรูปทรงที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่การใช้สอยต่ำกว่ารูปทรงอื่น แต่เมื่อพิจารณารูปทรงปริมาตร พบว่า เป็นรูปทรงที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่การใช้สอยต่ำกว่าทรงโดม



ภาพที่ 1.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบรูปทรงปริมาตรกับรูปทรงโดม

วัสดุที่นำมาใช้เป็นเปลือกภายนอกอาคารในปัจจุบันมีอยู่หลายประเภท ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป จะส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ วัสดุมวลสารน้อย วัสดุมวลสารปานกลาง และวัสดุมวลสารมาก โดยปกติอาคารโดยทั่วไปจะใช้วัสดุมวลสารมาก แต่วัสดุที่มีมวลสารน้อย โดยปกติวัสดุที่เป็นฉนวน มักมีน้ำหนักเบาและมีมวลสารน้อยจะสามารถกักเก็บปริมาณความร้อนได้น้อย แต่มีคุณสมบัติในการสกัดกั้นความร้อน ทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้ช้า ซึ่งจะส่งผ่านตัวกลางไปเรื่อย ๆ ดังนั้นความร้อนที่สะสมไว้จึงค่อยๆ เคลื่อนผ่านตัวกลางในเวลาถัดมา ซึ่งใช้เวลานานในการส่งผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร อิทธิพลนี้เรียกว่า การหน่วงเหนี่ยวเวลา (Time lag effect) คุณสมบัติของวัสดุมวลสารในการชะลอความร้อนที่เข้าสู่อาคารเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยเลื่อนเวลา ที่เกิดค่าอุณหภูมิสูงสุดภายในอาคารออกไป จากเวลาที่เกิดค่าอุณหภูมิสูงสุดภายนอก และยังเป็น การลดค่าของอุณหภูมิสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นภายในอาคารได้อีกด้วย แล้วในช่วงเวลาถัดมาที่อุณหภูมิของอากาศภายนอกเย็นลงกว่าอุณหภูมิของผนังแล้ว ความร้อนที่กักเก็บอยู่ในผนังนั้นก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนออกสู่

อากาศภายนอกด้วย ในกรณีนี้จะเห็นว่า ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังนั้น ส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวเข้าสู่อาคาร และอีกส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวออกจากผนังสู่อากาศภายนอก (Kwang-Woo Kim, 1984) ซึ่งถ้าหากผนังมีมวลสารมากและมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเป็นเวลานาน โอกาสที่ความร้อนสะสมอยู่ในผนังจะสูญเสียให้กับอากาศภายนอกก็มีมาก สำหรับประเทศไทยนั้นการเลือกใช้วัสดุผนังควรคำนึงถึงระบบและรูปแบบการใช้งานของอาคาร

ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหาการใช้พลังงาน คือการศึกษาวิจัยถึงปัจจัยและตัวแปรต่าง ๆ ที่นำมาออกแบบผนังภายนอกอาคารโดยการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมในการที่จะสร้างสภาวะน่าสบายในการอยู่อาศัยภายในอาคาร หากการออกแบบอาคารในอนาคตมีรูปแบบและแนวความคิดในการอนุรักษ์พลังงานแล้ว นอกจากจะสามารถลดความต้องการในการใช้พลังงานลง ยังสามารถลดภาระการผลิตพลังงานไฟฟ้าภายในประเทศและการนำเข้ามาของพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยประหยัดงบประมาณของประเทศได้เป็นจำนวนมาก

## 1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบจากช่องเปิดที่มีผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารรูปทรงปิระมิด

1.2.2 เพื่อศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิในระนาบและความสูงต่าง ๆ ภายในอาคารรูปทรงปิระมิด

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อนภายในอาคารรูปทรงปิระมิด ของผนังที่มีค่าความเป็นฉนวนต่างกัน

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นกรณีศึกษา อาคารมหาวิหารธรรม วัดพระศรีรัตนมหาธาตุวรมหาวิหาร จังหวัดพิษณุโลก ได้กำหนดรูปทรงอาคารมาแล้วจึงศึกษาเฉพาะรูปทรงปิระมิดเท่านั้น

1.3.2 ทำการทดลองในสภาพกลางแจ้ง ที่ได้รับแสงแดดเต็มที่และไม่มีร่มเงาปกคลุมตลอดทั้งวัน และเนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองมีจำกัด จึงไม่สามารถวัดอุณหภูมิในรูปทรงปิระมิดได้อย่างทั่วถึง

1.3.3 ทำการทดลองในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม ซึ่งมีสภาพภูมิอากาศร้อนสุด โดยใช้สภาพแวดล้อม และสภาพภูมิอากาศในบริเวณสถานที่ทดลอง

## 1.4 เงื่อนไขในการวิจัย

1.4.1 เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านงบประมาณ หุ่นจำลองที่ทำการทดสอบมีขนาด 1.80x1.80 เมตร สูง 0.90 เมตร ซึ่งเป็นขนาดเล็กที่สุดที่สามารถยอมรับผลการทดลองได้

1.4.2 เนื่องจากต้องการศึกษาวัสดุผนังที่มีการดูดซับความร้อนน้อย จึงเลือกวัสดุผนังที่ใช้ในการทดลองเป็นผนังมวลสารน้อยและผนังมวลสารปานกลาง คือ ผนังเหล็กรีดลอน ผนังยิปซัม และ ผนังระบบฉนวน

## 1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ที่เกิดจากอิทธิพลของวัสดุผนัง คุณสมบัติของวัสดุ และการใช้วัสดุฉนวนประเภทต่าง ๆ ในอาคาร

1.5.2 กำหนดสภาพการใช้งานในอาคารที่ทำการทดลอง โดยแบ่งออกเป็น

1. สภาพที่ไม่มีมีการปรับอากาศ

- กรณีเปิดช่องแสง
- กรณีปิดช่องแสง

2. สภาพที่มีการปรับอากาศ

- กรณีเปิดช่องแสง

1.5.3 กำหนดวัสดุผนังภายนอกที่ทำการทดลอง โดยแยกประเภทตามคุณสมบัติของวัสดุ ที่ระดับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ต่าง ๆ โดยแยกประเภทตามน้ำหนักของมวลสาร ออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ผนังมวลสารน้อย (Low Thermal Mass) คือ ผนังที่มีน้ำหนัก 0 - 125 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

- ผนังเหล็กรีดลอน (Metal Sheet)
- ผนังยิปซัม (Gypsum)

2. ผนังมวลสารปานกลาง (Medium Thermal Mass) คือ ผนังที่มีน้ำหนัก 126 - 195 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

- ผนังระบบฉนวน (Sandwich Panel)

1.5.4 ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในอาคารรูปทรงปริมาตร โดยแบ่งจุดวัดอุณหภูมิออกเป็น ดังนี้

1. แนวตั้ง แบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ

- สูงจากพื้น 15 เซนติเมตร
- สูงจากพื้น 30 เซนติเมตร



- สูงจากพื้น 45 เซนติเมตร
  - สูงจากพื้น 60 เซนติเมตร
2. แนวระนาบ สูงจากพื้น 15 เซนติเมตร แบ่งออกเป็น 5 จุด คือ
- มุมปริมิตทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
  - มุมปริมิตทิศตะวันออกเฉียงใต้
  - มุมปริมิตทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
  - มุมปริมิตทิศตะวันตกเฉียงใต้
  - กึ่งกลางปริมิต

#### 1.5.5 วิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอน ดังนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารรูปทรงปริมิตของวัสดุผนังทั้ง 3 ชนิด กรณีเปิดช่องแสง ในสภาวะไม่ปรับอากาศ
2. วิเคราะห์ข้อมูลจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับต่าง ๆ ของวัสดุทั้ง 3 ชนิด กรณีเปิดช่องแสง ในสภาวะไม่ปรับอากาศ
3. วิเคราะห์ข้อมูลจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน กรณีเปิดช่องแสงและปิดช่องแสงของวัสดุทั้ง 3 ชนิด ในสภาวะไม่ปรับอากาศ
4. วิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในอาคารรูปทรงปริมิตของวัสดุผนังทั้ง 3 ชนิด ในสภาวะปรับอากาศ เพื่อหาเขตสภาวะน่าสบายในอาคาร

1.5.6 สรุปผลการทดลอง เพื่อหาแนวทางการในการพิจารณาเลือกใช้นั่งอาคารที่เหมาะสมเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยให้ประโยชน์จากอิทธิพลของวัสดุผนังและช่องเปิด

#### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.1.1 เป็นข้อมูลในการประยุกต์ใช้ออกแบบช่องแสงอาคารรูปทรงปริมิต
- 1.1.2 เป็นข้อมูลพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายในอาคารรูปทรงปริมิต
- 1.1.3 เป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุผนังอาคารที่เหมาะสม เพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารรูปทรงปริมิต

ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



กำหนดสภาพการใช้งานในอาคารที่ทำการทดลอง

- ปิดช่องแสง
- เปิดช่องแสง
- เปิดช่องแสงปรับอากาศ



กำหนดวัสดุผนังที่ระดับค่า U-Value ต่าง ๆ

- ผนังเหล็กเคลือบสังกะสี
- ผนังยิปซัม
- ผนังระบบฉนวน



วัดอุณหภูมิในแนวระนาบและแนวตั้ง

- ระดับสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร
- ระดับสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร
- ระดับสูงจากพื้น 45 เซนติเมตร
- ระดับสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร



วิเคราะห์ข้อมูลจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน



สรุปแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุผนังอาคารที่เหมาะสมเพื่อการ  
ประหยัดพลังงานในอาคารรูปทรงปริมาตร

## บทที่ 2

### งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากรายงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาอิทธิพลของวัสดุผนังต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคาร รูปทรงปริมาตร จึงได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยทั่วไป ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยทั่วไป

##### 2.1.1 การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร

เพื่อให้เกิดความเข้าใจและทราบถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดความร้อนภายในอาคาร จึงต้องศึกษาตัวแปรในเรื่องกระบวนการถ่ายเทความร้อนเข้าหรือออกจากอาคาร โดยอาศัยทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ที่สามารถเกิดขึ้นได้ 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

1. การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุ 2 ชิ้น ที่สัมผัสกัน ความร้อนจะถ่ายเทผ่านวัสดุจากโมเลกุลที่ร้อนกว่าไปยังโมเลกุลที่เย็นกว่า ในอนุภาคที่ติดกัน โดยสามารถเกิดได้ทุกทิศทางไม่ขึ้นกับแรงโน้มถ่วงของโลก โครงสร้างของโมเลกุลเป็นตัวกำหนดความมากน้อยในการนำความร้อน ดังนั้นวัสดุที่มีความหนาแน่นมากจะสามารถนำความร้อนได้มาก เช่น วัสดุประเภทโลหะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีที่สุด รองลงมาเป็นคอนกรีตและอิฐ ส่วนไม้เป็นตัวนำความร้อนได้น้อย อากาศหรือก๊าซเป็นตัวนำความร้อนที่แย่มากที่สุด ทำให้อากาศเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี

2. การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล เช่น อากาศ ก๊าซต่าง ๆ หรือน้ำ เมื่อสารถูกทำให้ร้อนโมเลกุลจะเคลื่อนที่เร็วขึ้นและแตกกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ โดยมีทิศทางการถ่ายเทความร้อนจากร้อนสู่ที่ที่เย็นกว่า เนื่องจากโมเลกุลที่ร้อนและเบากว่าจะลอยตัวขึ้น ส่วนโมเลกุลที่เย็นและหนักกว่าจะตกลงข้างล่าง

3. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เป็นการถ่ายเทพลังงานทะลุผ่านช่องว่างใด ๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะเคลื่อนที่จากพื้นผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ทะลุผ่านไปยังพื้นผิวของของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าได้เร็วเท่ากับความเร็วแสง เป็นลักษณะของการกระจายรังสีในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกจากพื้นผิวของวัตถุเป็นเส้นตรงในทุกทิศทาง ไม่ขึ้นกับแรงโน้ม

ถ่วง การเคลื่อนที่จะช้าลงเมื่อเปลี่ยนเป็นรังสีความร้อน โดยรังสีความร้อนเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง อากาศ หรือสุญญากาศไปจนกระทบผิวอีกด้านหนึ่ง จะสะสมพลังงานความร้อนในด้านนั้นจนอุณหภูมิสูงขึ้นและคายความร้อนออกมา

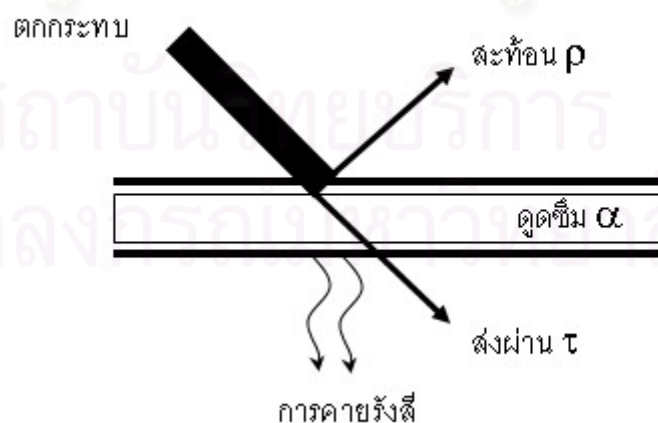
### 2.1.2 อิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว

เมื่อรังสีความร้อนกระทบพื้นผิววัสดุที่ปิดตัน จะเกิดพฤติกรรมการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนของพื้นผิวภายนอกอาคาร 3 แบบได้แก่ การดูดซับรังสีของพื้นผิววัสดุ (Surface Absorptivity) การสะท้อนรังสีของวัสดุ (Surface Reflectivity) และการคายรังสีของพื้นผิววัสดุ (Surface Emissivity) เมื่อบางส่วนถูกดูดซับและบางส่วนถูกสะท้อนออกจากวัสดุ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความยาวของคลื่นรังสีที่ตกกระทบ โดยที่ผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับรังสีและการสะท้อนรังสีจะเท่ากับ 1 เสมอ

แนวความคิดที่จะอธิบายความสำคัญของคุณสมบัติของวัสดุ คือ ค่าการดูดซับรังสี (Absorptivity) ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) ค่าการคายรังสี (Emissivity) และค่าการส่งผ่านรังสี (Transmittance) แสดงได้ดังนี้

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

เมื่อ	$\rho$	คือ	การสะท้อนรังสีจากพื้นผิว
	$\alpha$	คือ	การดูดซับรังสีโดยพื้นผิว
	$\tau$	คือ	การส่งผ่านรังสีผ่านวัสดุ



ภาพที่ 2.1 แสดงรังสีตกกระทบวัสดุ

ที่มา : Ashrae, 2001 : 39

ผลรวมของการสะท้อนรังสี การดูดซับรังสี และการส่งผ่านรังสี จะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ตกกระทบลงมา สำหรับวัสดุที่ตันพลังงานที่ถูกส่งผ่านจะเท่ากับศูนย์ ดังนั้นผลรวมของการสะท้อนรังสี การดูดซับรังสี และการส่งผ่านรังสี จะเท่ากับพลังงานรังสี เมื่อถูกดูดซับโดยวัสดุจะเป็นรูปความร้อน

รังสีความร้อนเป็นรังสีคลื่นยาว เมื่อกระทบกับวัสดุใด ๆ จะสะท้อนผ่านและดูดซับไว้ในวัสดุนั้น ๆ ซึ่งวัสดุแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติในการสะท้อน ส่งผ่าน และดูดซับรังสีที่ตกกระทบแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- ทิศทางของการแผ่รังสี การคายรังสีในทิศทางตั้งฉากจะมีค่าสูง
- ความยาวคลื่นของการแผ่รังสี เมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้นทิศทางตั้งฉากของโลหะจะลดลง
- อุณหภูมิของพื้นผิว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการพารังสีของโลหะจะเพิ่มขึ้น ส่วนการคายรังสีของโลหะจะลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น
- ความขรุขระของพื้นผิว เนื่องจากพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดการสะท้อนรังสีได้หลายครั้ง ซึ่งเป็นผลทำให้การดูดซับรังสีมีค่าสูงขึ้น และการคายรังสีจึงสูงขึ้นด้วย
- การเจือผลของสารบนพื้นผิว ทำให้คุณสมบัติการแผ่รังสีเปลี่ยนไปโดยทำให้การแผ่รังสีมีค่าสูงขึ้น

ค่าการดูดซับรังสี คือ ความสามารถของวัสดุพื้นผิวที่จะดูดซับความร้อน และค่าการคายรังสี คือ ความสามารถของวัสดุและพื้นผิวของวัสดุที่จะแผ่หรือปล่อยพลังงานออกมา วัสดุต่าง ๆ จะมีค่าการดูดซับรังสี (Absorptivity) และค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) แตกต่างกันไป ตามลักษณะผิวของวัสดุ พื้นผิวที่หยาบจะคายรังสีออกมาได้ดีกว่าพื้นผิวที่เรียบและเป็นมัน วัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีสูงก็จะมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ คุณสมบัตินี้เรียกว่า การแผ่รังสี (Emittance) ค่าการแผ่รังสีจะบ่งบอกถึงความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสี ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวของวัสดุที่คายรังสีของวัสดุที่ดูดซับรังสี

ความร้อนจะถูกนำไปหรือแผ่รังสีออกมาในรูปคลื่นยาว (Long waves) จากวัสดุนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) วัสดุผิวมันและมีสีอ่อนจะสะท้อนรังสีความร้อนและแสงได้ดี ยิ่งมีความหนาแน่นและเรียบ การสะท้อนรังสีก็ยิ่งมีมากขึ้น สำหรับวัสดุที่ตันจะมีค่าการสะท้อนรังสีสูงและค่าการดูดซับรังสีต่ำ
2. ค่าการส่งผ่านรังสี (Transmissivity) เป็นคุณสมบัติของวัสดุโปร่งใสและโปร่งแสง
3. ค่าการดูดซับรังสี (Absorptivity) วัสดุสีเข้มจะดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีกว่าวัสดุที่มีสีอ่อน



### 2.1.3 การคายรังสีความร้อน

วัสดุโลหะผิวเงาจะมีค่าการคายรังสีต่ำกว่าวัสดุผิวหยาบ และวัสดุที่มีค่าการคายรังสีสูงจะแผ่ความร้อนออกมาได้น้อยกว่าวัสดุที่มีผิวสีขาวยุและมีมีความสามารถในการสะท้อนสูง ส่วนการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อม (Long Wave Radiation Heat Exchange) จะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของผนังอาคารแตกต่างกับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม และโดยปกติวัสดุที่มีมวลสารมาก จะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Thermal Time Lag) ได้นานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่สามารถประกอบการวิจัย

### 2.2.1 การพิจารณาการเลือกใช้วัสดุผนังอาคาร

ผนังภายนอกอาคารเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกอาคารที่สัมผัสกับอากาศภายนอกโดยตรง ทำให้มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนภายในอาคาร จากการศึกษาพบว่า การที่จะนำเอาความเย็นตอนกลางวันมาใช้กับกลางวัน โดยอาศัยการหน่วงเวลาของวัสดุนั้นทำได้ยากมาก เพราะความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนไม่มากพอ ดังนั้นการลดปริมาณความร้อนจึงต้องควบคุมความร้อนให้เข้ามาในอาคารให้น้อยที่สุด

การอนุรักษ์พลังงานโดยการพิจารณาเลือกใช้วัสดุผนังอาคารภายนอกอาคารนั้น ต้องพิจารณาถึงค่าความต้านทานความร้อนสูง ไม่สะสมความร้อนหรือมีความจุความร้อนไม่สูง หรือเป็นวัสดุที่มีมวลสารต่ำ มีความทนทานต่อการขยายตัวหรือหดตัวได้ดี เพื่อลดปัญหาการแตกร้าว และมีการดูดซับความชื้นต่ำ

### 2.2.2 การพิจารณาการเลือกใช้วัสดุฉนวนและมวลสาร

ฉนวน คือ วัสดุที่ต้านทานหรือป้องกันมิให้พลังงานความร้อนส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้สะดวก ฉนวนกันความร้อนที่ดีจะเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ประกอบด้วยฟองอากาศเล็ก ๆ จำนวนมาก ฟองอากาศดังกล่าว มีคุณสมบัติในการต้านทานการนำความร้อน โดยสกัดกั้นความร้อนให้อยู่ในบริเวณฟองอากาศเล็ก ๆ จำนวนมากนี้ จึงเป็นผลให้ไม่เกิดการพาความร้อนด้วย

ในการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทางหนึ่ง คือ การเลือกใช้วัสดุที่สามารถป้องกันความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร หรือมีค่าการต้านทานความร้อน (R-Value) สูง ฉนวนคือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน โดยมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนน้อย ทำให้อุณหภูมิภายนอกที่เข้ามาภายในเกิดขึ้นค่อนข้างรุนแรง ซึ่งมีทางแก้

โดยการเพิ่มความหนาของฉนวนให้มากขึ้นแต่ราคาก็จะแพงขึ้นด้วย ดังนั้นการออกแบบโดยการผสมผสานการใช้ฉนวนและมวลสารจะเป็นผลดีในการห่อหุ้มความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารไม่เปลี่ยนแปลงรุนแรงเหมือนภายนอก และถ้าสามารถห่อหุ้มเวลาได้อย่างเหมาะสม คือ ทำให้ปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารในช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงมากที่สุด ก็จะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งมีข้อควรพิจารณาในการเลือกชนิดของฉนวนดังนี้

แหล่งที่มา : <http://www.directionplan.net>

- ความสามารถในการกันความร้อน (Thermal Conductivity)
- ลักษณะทางกายภาพ (Physical Forms) เช่น เป็นม้วน แผ่น ฝอย เป็นต้น
- ความหนาแน่นและน้ำหนัก (Bulk Density)
- ช่วงอุณหภูมิของการใช้งาน (Suitability for Service Temperature)
- การยืดหดตัวเมื่อได้รับความร้อน (Thermal Expansions)
- การกันน้ำและความชื้น (Resistance to Water Penetration)
- การทนต่อแรงอัด (Resistance to Compaction)
- การแข็งแรงทนทาน (Mechanical Strength)
- อันตรายจากเพลิงไหม้ (Fire & Explosion Hazards)
- การทนต่อแมลงและเชื้อรา (Resistance to Vermin & Fungus)
- ความปลอดภัยต่อสุขภาพ (Health Hazards)
- ความจุความร้อน (Optimum Heat Capacity)
- การปลอดภัยจากสารเคมีและกลิ่น (Freedom from Objectionable Odor)
- การเสื่อมสภาพ (Corrosion)
- ความทนทานต่อสารเคมี (Chemical Resistance)
- ความต้องการในการบำรุงรักษา (Maintenance Requirements)

ฉนวนกันความร้อน (Insulation) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

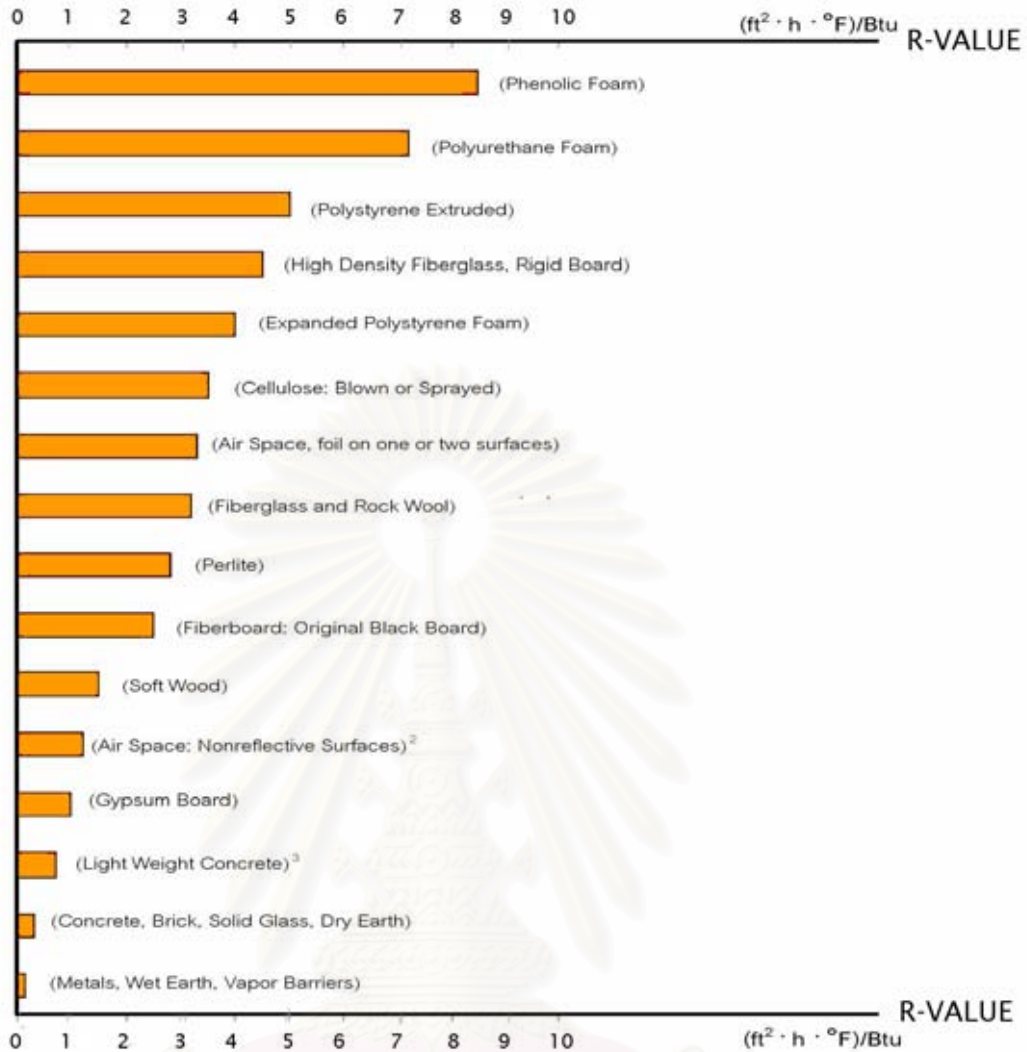
1. ฉนวนกันความร้อนแบบมีมวล (Mass Insulation) หมายถึง วัสดุที่ใช้ป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุ โดยอาศัยความเป็นฉนวนของวัสดุที่มีคุณสมบัติการต้านทานความร้อนที่สูงของตัววัสดุเอง วัสดุส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเส้นใย มีโพรง หรือช่องกลาง อาทิ ฉนวนใยแก้ว (Fiber Glass) ฉนวนใยหิน (Rock Fiber) ฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulose Fiber) โฟมโพลีสไตร

รีน (Polystyrene Foam/PS) โฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane Foam/PU) และโฟมโพลีเอทิลีน (Polyethylene Foam/PE) วัสดุฉนวนบางประเภทที่นิยมใช้ เช่น ฉนวนกันความร้อนแบบโฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane Foam) สำหรับใช้ฉนวนใต้หลังคาหรือภายนอกอาคาร โดยฉนวนชนิดนี้จะมีคุณสมบัติดังนี้

- มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity:k) ไม่เกิน 0.023 W/mK ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24 °C เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 591 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
- มีค่าการดูดซับความชื้นของเนื้อฉนวนต่ำกว่า 5 % โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C 1140 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
- เป็นชนิดไม่ติดไฟ, ไม่ลามไฟ, ไม่หยดเมื่อติดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM E 84, BS 476 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
- สามารถใช้งานได้ในอุณหภูมิถึง 90 °C
- ทนต่อกรด และ ด่าง
- มีค่าความหนาแน่นตามแต่การใช้งาน แต่ไม่เกิน 50 กก. ต่อ ลบ.ม.
- มีความหนาของฉนวน โดยทั่วไปควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 25 มม.
- มีการรับประกันอายุการใช้งาน ไม่น้อยกว่า 5 ปี

2. ฉนวนแบบสะท้อนความร้อน (Reflective Sheet) หมายถึง วัสดุที่ใช้ป้องกันความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุ โดยอาศัยคุณสมบัติการสะท้อนรังสีความร้อนของวัสดุ เพื่อที่จะลดค่าพลังงานความร้อนไม่ให้ถูกดูดซับ และทะลุผ่านเข้าไปในวัสดุ ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางหรือมีผิวที่มีการสะท้อนสูง เช่น แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum Foil Sheet) เซรามิคโค้ทติ้ง (Ceramic Coating) เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 2.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน (R-Value) ของฉนวนกันความร้อนและวัสดุต่าง ๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 140

### 2.2.3 อิทธิพลจากฉนวนและมวลสาร

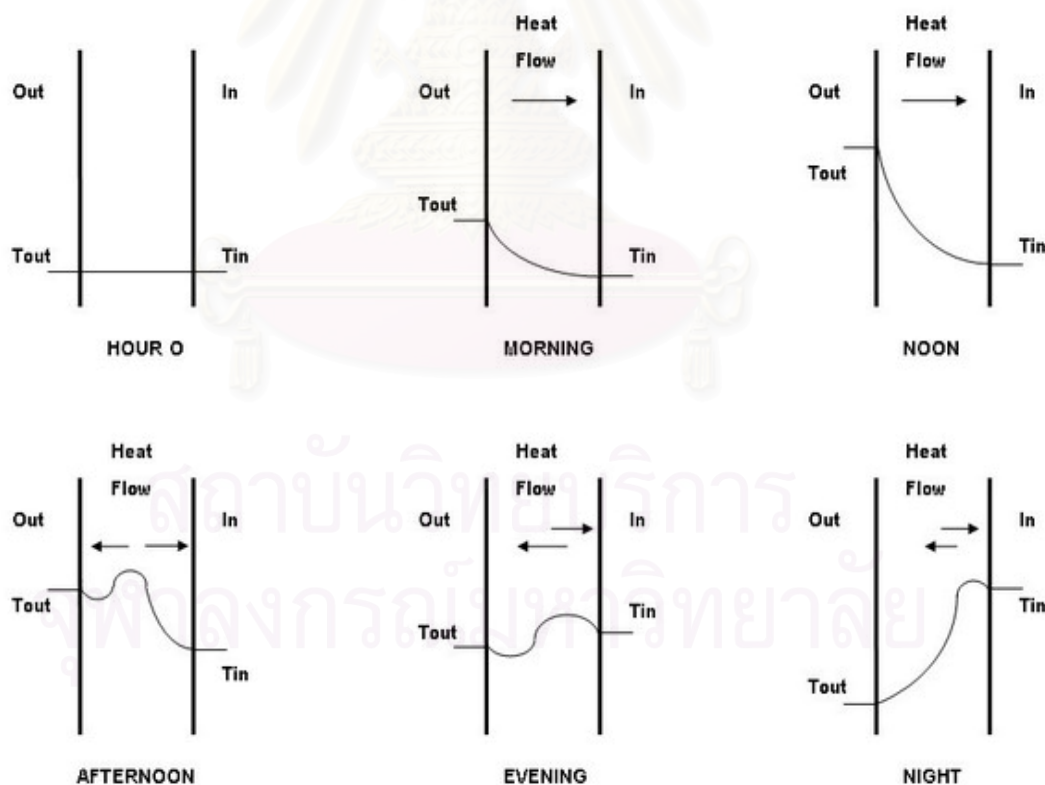
วัสดุที่เป็นฉนวนจะมีน้ำหนักเบาและมีมวลสารน้อย มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนได้น้อย แต่มีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนได้ช้า ส่วนวัสดุที่มีมวลสารมาก จะมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนได้มาก เมื่อปริมาณความร้อนที่กักเก็บไว้มีมากขึ้นก็จะส่งผ่านตัวอาคารไปเรื่อย ๆ ด้วยเหตุนี้ความร้อนที่สะสมไว้จึงค่อย ๆ เคลื่อนตัวผ่านอาคารในเวลาถัดไป ทำให้ต้องใช้เวลาในการเดินทางเข้าสู่อาคาร อิทธิพลนี้เรียกว่าการหน่วงเหนี่ยวเวลา หรือ Time Lag Effect และถ้าในช่วงที่ผนังกักเก็บความร้อนอยู่นั้น อุณหภูมิอากาศภายนอกเย็นลงกว่าอุณหภูมิผนังแล้ว ในช่วงเวลานั้นจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากผนังสู่อากาศภายนอก ซึ่ง

ถ้าหากผนังมีมวลสารมากและมีการหน่วงเหนี่ยวเวลานาน โอกาสที่ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนัง จะสูญเสียให้กับอากาศภายนอกก็มีมาก

### 2.2.4 อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน

การเลือกใช้ส่วนที่เป็นผนังที่ภายนอกอาคาร ให้มีคุณสมบัติในการประหยัดพลังงานให้มี ประสิทธิภาพนั้น นอกจากจะพิจารณาถึงความสามารถในการกักความร้อน คือค่าความต้านทาน ความร้อนสูงแล้ว ต้องคำนึงถึงอิทธิพลของมวลสาร (Thermal Mass) ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน ในอาคารอีกด้วย เพราะวัสดุที่มีมวลสารมาก จะส่งผลต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อนซึ่งเป็นปัจจัย หลักอันหนึ่งในการลดค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด (Peak cooling load) ให้กับตัวอาคารได้

ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอก เป็นปัจจัยภายนอกที่มี อิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศภายในอาคารในสภาวะที่ไม่มีการปรับอากาศ โครงสร้างของเปลือก อาคารและคุณสมบัติของวัสดุเหล่านั้นยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ที่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน เข้าหรือออกจากอาคาร จนทำให้เกิดดุลยภาพทางความร้อน (Thermal Balance) ที่เป็นตัวบ่งชี้ สภาพอากาศภายในอาคาร

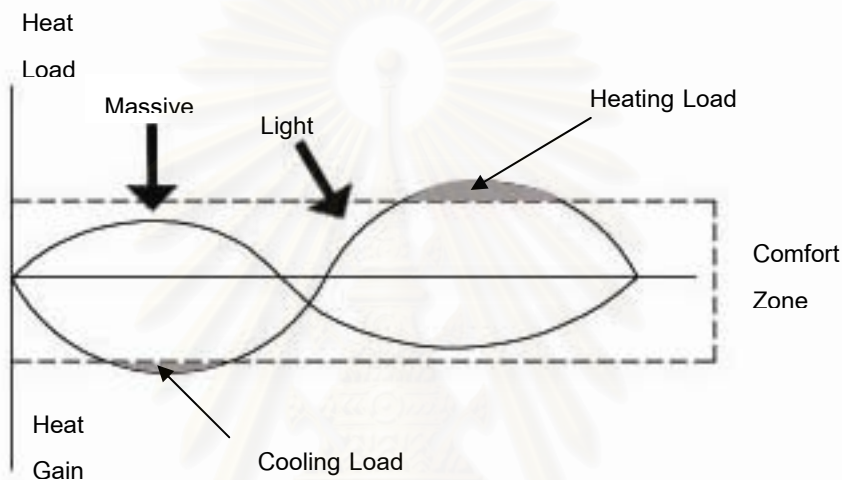


ภาพที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน

ที่มา : Passive Cooling of Building, p.187



ผนังอาคารจะมีอุณหภูมิภายนอกและภายในเท่ากัน เมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิผิวภายนอกของอาคารจะเพิ่มสูงขึ้นจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิภายในของประกอบของผนังอาคาร เกิดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงถึงบ่าย อุณหภูมิของผนังอาคารก็จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนเกือบเท่ากับอุณหภูมิพื้นผิวผนังภายนอก และเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกค่อย ๆ ลดลงในตอนเย็น ความร้อนก็จะค่อย ๆ ถ่ายเทผ่านผนังไปสู่ด้านที่เย็นกว่าทั้งภายในและภายนอกอาคาร



ภาพที่ 2.3 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังมวลสารน้อยและผนังมวลสารมาก

ที่มา : Passive Cooling of Building, p.189

จากภาพที่ 2.3 เส้นกราฟเหนือแนวแกน X แสดงถึงภาวะที่เกิดการถ่ายเทความร้อนออกจากรอบอาคาร ส่วนเส้นกราฟใต้แนวแกน X แสดงถึงภาวะที่เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร พื้นที่แรเงาใต้กราฟของผนังมวลสารเบา แสดงถึงช่วงเวลาที่สภาพอากาศภายในอาคารอยู่นอกเขตสภาวะน่าสบาย จึงจำเป็นต้องใช้ระบบปรับอากาศมาช่วยทำให้สภาพอากาศอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย

ภาระการปรับอากาศของผนังมวลสารมากจะมีค่าต่ำกว่าผนังมวลสารน้อย และมีค่าภาระการปรับอากาศสูงสุด (Peak Load) ต่ำกว่าด้วย เมื่อถึงช่วงเวลาบ่ายถึงเย็น ค่าภาระการปรับอากาศของผนังมวลสารมากจะมีค่าสูงกว่า เนื่องมาจากความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังค่อย ๆ เคลื่อนตัวเข้าสู่ภายในอาคาร แต่การใช้ผนังมวลสารมากจะมีประโยชน์ในด้านการลดภาระการปรับอากาศสูงสุด ทำให้สามารถลดขนาดเครื่องปรับอากาศลงได้ รวมถึงการหน่วงเหนี่ยวเวลาในการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังไปในช่วงเย็นถึงค่ำ ซึ่งเหมาะกับอาคารประเภทสำนักงาน

การที่มวลสารมีความสามารถในการกักเก็บความร้อน และหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุได้มากน้อยต่างกันนั้น ทำให้ยากต่อการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจริง ทั้งนี้เพราะอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อค่าการถ่ายเทความร้อนในอาคารจริงมาจากหลายองค์ประกอบดังนี้

1. ความจุความร้อนของผนัง (Thermal Heat Capacity) ผนังที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกักเก็บความร้อนไว้มาก ทำให้ความร้อนที่ไหลผ่านผนังมีอัตราช้าลง

2. การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิวผนังกับสภาพแวดล้อม (Long Wave Radiation Heat Exchange) เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังกับผิววัสดุอื่น ๆ ก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นในรูปของการแผ่รังสี

3. การถ่ายเทความร้อนของผนังให้อากาศโดยตรง โดยการพาความร้อน (Surface Conduction) เกี่ยวข้องกับความเร็วลมที่พัดผ่านผิว และลักษณะของพื้นผิว กรณีที่ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ ปริมาณการถ่ายเทความร้อนของผนังจะมีค่าน้อย และถ้าผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง ปริมาณการถ่ายเทความร้อนของผนังจะมีค่ามาก

4. ความสามารถในการดูดกลืนและกระจายพลังงานความร้อนของผนัง (Surface Absorption and Surface Emission) หากผนังมีสีผิวเข้มมากจะมีค่าการดูดกลืนความร้อน (Surface Absorption) สูง โดยสีผิวของวัสดุตามธรรมชาติ จะมีค่าการกระจายความร้อน (Surface Emission) ประมาณ 0.8-0.9 ซึ่งเป็นค่าที่สูง นอกจากสีเคลือบผิวพิเศษ (Ceramic Coating) อาจมีค่าการดูดกลืนความร้อนต่ำ แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนสูง

5. การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของผนัง (Thermal Time Lag) โดยปกติแล้ววัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้นานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย แต่ในสภาพการใช้งานจริง การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ (Givoni, 1994: 56) และที่สำคัญคือ ปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุ ในแต่ละชั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว (Fill up the Heat Capacity) ก่อนที่จะถ่ายเทไปในชั้นต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงพบว่า ในผนังก่ออิฐฉาบปูนเหมือนกัน แต่ใส่ฉนวนไว้ตำแหน่งต่างกัน คือ ฉนวนที่ใส่ฉนวนไว้ภายนอกจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้นานกว่าผนังที่ใส่ฉนวนไว้ภายใน ทั้งนี้เพราะการที่มีฉนวนอยู่ภายนอกทำให้ความร้อนผ่านเข้ามาได้ยาก ทำให้ปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุ ในแต่ละชั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว ของผนังเป็นไปได้ช้า จึงทำให้การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของผนังนั้นมีค่ายาวนานขึ้น

6. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U-Value) การคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารหรือออกจากอาคาร อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายใน มักใช้ค่า U เป็นหลักในการคำนวณ

## 2.2.5 อิทธิพลของมวลสารในแง่ของการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของผนังมวลสารในแง่ของการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งทิศทางการวางผนังมวลสารนั้น ๆ (Lechner. N, 1991)

- ผนังมวลสารด้านทิศเหนือ ใช้เวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเพียงเล็กน้อย เนื่องจากความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านนี้มีเล็กน้อย

- ผนังมวลสารด้านทิศตะวันออก ใช้เวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เป็นไปได้ใน 2 กรณี คือ จะต้องมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่นานมากกว่า 14 ชั่วโมง เพื่อให้ความร้อนที่สะสมและถ่ายเทผ่านผนังเลื่อนเวลาไปในช่วงเย็น และอีกกรณี คือ ผนังมวลสารนั้นต้องมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่สั้นมาก ๆ

- ผนังมวลสารด้านทิศใต้ มีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 8 ชั่วโมง ก็เพียงพอสำหรับการเลื่อนและหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่สะสมจากช่วงเที่ยงวันไปช่วงเย็นได้

- ผนังมวลสารด้านทิศตะวันตก ใช้เวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 8 ชั่วโมงเช่นกัน เนื่องจากช่วงเวลาที่ความร้อนสะสมอยู่ในผนังด้านนี้ เป็นเวลาที่พระอาทิตย์ใกล้ตกแล้ว

## 2.2.6 อิทธิพลของมวลสารต่อการประหยัดพลังงานในอาคาร

1. ลดค่าการทำความเย็นสูงสุด ของการใช้พลังงานในอาคาร มวลสารจะทำหน้าที่ลดระดับของความร้อน โดยการหน่วงเหนี่ยวความร้อนให้เข้ามาในอาคารช่วงที่อุณหภูมิภายนอกลดต่ำกว่าภายใน ซึ่งทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกซึ่งเป็นการลดผลกระทบของผนังและอุณหภูมิภายนอกไม่ให้เกิดพร้อม ๆ กัน

2. ลดค่าการทำความเย็นสูงสุด และปริมาณพลังงานรวมที่ต้องใช้ในการทำความเย็นให้กับอาคาร ซึ่งจะเกิดได้เฉพาะในกรณีที่อุณหภูมิภายในห้องอยู่ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของอุณหภูมิอากาศภายนอกหรืออุณหภูมิผนังเท่านั้น สภาวะดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ ขึ้นอยู่กับที่ตั้งอาคาร เดือน การปรับสภาพแวดล้อม และการลดอุณหภูมิผิวผนัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ

### 2.3.1 การคำนวณปริมาณความร้อนเข้าออกจากรูอาคาร

1. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Thermal Conductivity) ค่า  $K$  เป็นค่าที่แสดงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนของวัสดุใด ๆ หรือปริมาณความร้อนภายใต้สภาวะคงที่ที่ถ่ายเทผ่าน 1 หน่วยพื้นที่ของวัสดุที่มีความหนา 1 หน่วย ใน 1 หน่วยเวลา โดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิววัสดุทั้ง 2 ด้าน 1 หน่วย หน่วยของค่า  $K$  คือ  $\text{Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$  และในระบบเมตริก คือ  $\text{W/m}^2.\text{°C}$

2. ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) เป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุที่บ่งบอกถึง อัตราส่วนระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุใด ๆ ต่อความหนาของวัสดุที่มีความหนามาตรฐานในพื้นที่ 1 หน่วย หน่วยของค่า  $C$  คือ  $\text{Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$  และในระบบเมตริก คือ  $\text{W/m}^2.\text{°C}$  ซึ่งแสดงได้จากสมการดังนี้

$$C = k/\Delta x$$

เมื่อ  $\Delta x$  คือ ความหนาของวัสดุ ( $\text{m}^2$ ) หรือ ( $\text{ft}^2$ )

$C$  คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุ ( $\text{W/m}^2.\text{°C}$ ) หรือ ( $\text{Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$ )

ที่มา : Stein, 1992 : 100

3. ค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) ค่า  $R$  เป็นค่าแสดงประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุ และเป็นส่วนกลับของการนำความร้อน หมายถึง จำนวนชั่วโมงสำหรับพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านความหนาของวัสดุหนึ่งในพื้นที่ 1 หน่วย เมื่ออุณหภูมิที่ผิววัสดุทั้ง 2 ด้าน ต่างกัน 1 หน่วย หน่วยของค่า  $R$  คือ  $\text{hr.ft}^2.\text{°F} / \text{Btu}$  และในระบบเมตริก คือ  $\text{m}^2.\text{°C} / \text{W}$  ซึ่งแสดงได้จากสมการดังนี้

$$R = 1/C = \Delta x / k$$

เมื่อ  $R$  คือ ค่าการต้านทานความร้อน ( $\text{m}^2.\text{°C} / \text{W}$ ) หรือ ( $\text{hr.ft}^2.\text{°F} / \text{Btu}$ )

ที่มา : Stein, 1992 : 129

4. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Coefficient of Transmission) ค่า U เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุที่มีพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 องศาฟาเรนไฮต์ สำหรับวัสดุที่มีการรวมกันหลายชั้นและรวมค่าการนำความร้อนจากฟิล์มอากาศบริเวณผิววัสดุภายในและภายนอกอาคารแล้ว

$$U = 1/\sum R$$

เมื่อ  $\sum R$  คือ ผลรวมของ R-Value ของเปลือกอาคาร ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) หรือ ( $Btu/hr.ft^2 \cdot ^\circ F$ )

ที่มา : Stein, 1992 : 129

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสามารถคำนวณได้จากผลรวมส่วนกลับของค่าการนำความร้อน (C) ของวัสดุในแต่ละชั้นและฟิล์มอากาศ ซึ่งจะเป็นค่าความต้านทานความร้อนรวม (R) ของวัสดุ โดยผลรวมส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อน จะเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ซึ่งมีความสำคัญกับสมการดังนี้

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

เมื่อ Q = ค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นใน 1 ชั่วโมง  
มีหน่วยเป็น Watt/m<sup>2</sup>-hour

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ซึ่งเป็นส่วนกลับจากสูตร  
 $U = 1/\sum R$  เมื่อ R เป็นค่าความต้านทานของวัสดุในแต่ละชั้น  
รวมค่าความต้านทานของฟิล์มอากาศภายในและภายนอกด้วย

A = พื้นที่เปลือกอาคาร (m<sup>2</sup> หรือ ft<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอก  
มีหน่วยเป็น  $^\circ F$

ที่มา : Stein, 1992 : 129

### 2.3.2 การคำนวณปริมาณความร้อนที่ต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิวัสดุ

ในการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ไม่ได้ทำให้อุณหภูมิที่ผิวผนังสูงขึ้นทันที เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดต้องการปริมาณความร้อนเฉพาะที่แตกต่างกันจำนวนหนึ่งในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุขึ้นไปทุก ๆ 1 องศา เพื่อให้สามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่วัสดุต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิ จึงต้องทราบค่าดังนี้

1. ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Specific Heat,  $c$ ) เป็นปริมาณความร้อนที่วัสดุต้องการในการทำให้วัสดุหนัก 1 หน่วย มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศา สามารถนำมาคำนวณหา ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ของวัสดุต่าง ๆ ได้

2. ค่าความจุความร้อนของวัสดุ (Heat capacity,  $C$ ) เพื่อทราบค่าปริมาณความร้อนที่วัสดุชนิดหนึ่งต้องการในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุขึ้นไป 1 องศา ในทุก ๆ 1 หน่วยปริมาตร สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$C = pc \quad \text{โดยที่ } p = m/v$$

เมื่อ	$C$	=	ค่าความจุความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น Btu/ ft <sup>3</sup> .°F
	$P$	=	ค่าความหนาแน่นของวัสดุ มีหน่วยเป็น lb/ ft <sup>3</sup>
	$c$	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ มีหน่วยเป็น Btu/ ft <sup>3</sup> .°F
	$m$	=	มวลของวัสดุ มีหน่วยเป็น lb
	$v$	=	ปริมาตรของวัสดุ มีหน่วยเป็น ft <sup>3</sup>

ที่มา : Stein, 1992 : 101

ค่าความจุความร้อนจำเพาะใช้คำนวณหาปริมาณความร้อนที่วัสดุต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิ ซึ่งทำให้ทราบถึงปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิวัสดุให้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ โดยมีสมการดังนี้

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

เมื่อ	$Q$	=	ปริมาณความร้อน มีหน่วยเป็น Btu
	$m$	=	มวลของวัสดุ มีหน่วยเป็น lb
	$c$	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ มีหน่วยเป็น Btu/ ft <sup>3</sup> .°F)
	$\Delta T$	=	ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอก (°F)

ที่มา : Stein, 1992 :



### 2.3.3 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนของการแผ่รังสี (Sol-air Temperature)

แสงแดดเป็นปัจจัยธรรมชาติที่มีอิทธิพลมากในการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร ผนัง หรือหลังคาเมื่อถูกแสงแดดก็จะร้อนขึ้น การที่ผิวของผนังหรือหลังคาร้อนขึ้นทำให้การคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารต้องเปลี่ยนไป

การหาอุณหภูมิของอากาศภายนอก ที่ปราศจากการแลกเปลี่ยนของการแผ่รังสีหรือ อุณหภูมิโซล-แอร์ (Sol-air Temperature) โดยมีค่าเท่ากับความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางผิว ที่มี ส่วนประกอบของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ พลังงานการแผ่รังสีที่แลกเปลี่ยนกับ ท้องฟ้ารวมทั้งสภาพแวดล้อม และการพาความร้อนแลกเปลี่ยนกับอากาศภายนอก โดยมีสมการ ดังนี้

$$\text{sol-air Temperature } (T_e) = T_{\text{out}} + I * \alpha/h_o - \epsilon\Delta R/ h_o$$

เมื่อ	$T_e$	=	sol-air Temperature (°F)
	$T_{\text{out}}$	=	อุณหภูมิของอากาศภายนอก (°F)
	$I$	=	รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด (Total Solar Radiation Incident on the surface) (Btu/hr.ft <sup>2</sup> )
	$\alpha$	=	สัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อนของผิววัสดุ (ไม่มีหน่วย)
	$h_o$	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวรวมทั้ง Long-wave radiation และ Convection (Btu/hr.ft <sup>2</sup> .°F) มีค่าประมาณ 3.0 (Btu/hr.ft <sup>2</sup> .°F)
	$R$	=	อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนกับผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า (Btu/hr.ft <sup>2</sup> )
	$\epsilon$	=	สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากผิว (Hemispherical Emittance of the surface)

ที่มา : Ashrae, 2001

### 2.3.4 การคำนวณอุณหภูมิที่ลดลง (Temperature Gradient)

เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อให้ทราบถึงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของวัสดุต่างชนิดที่นำมาประกอบร่วมกัน และทำให้ทราบถึงตำแหน่งที่เกิดการกลั่นตัวเมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ลดลงในแต่ละช่วงของวัสดุต่าง ๆ กับ Psychometric Chart สามารถสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

	อุณหภูมิที่ลดลงที่จุด ก (Temp.Drop)	=	$(R_1+R_2+\dots+ R_n) * \Delta T / \sum R$
เมื่อ	$R_1$	=	ค่าการต้านทานความร้อนตัวที่ 1 ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ ) หรือ ( $hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / Btu$ )
	$R_2$	=	ค่าการต้านทานความร้อนตัวที่ 2 ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ ) หรือ ( $hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / Btu$ )
	$R_n$	=	ค่าการต้านทานความร้อน ณ ตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าอุณหภูมิ ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ ) หรือ ( $hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F / Btu$ )
	$\sum R$	=	ผลรวมของ R-Value ของเปลือกอาคาร ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) หรือ ( $Btu/hr \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$ )
	$\Delta T$	=	ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอก มีหน่วยเป็น $^\circ F$

ที่มา : Stein, 1992 : 129

## 2.4 ทฤษฎีการปรับอากาศ

การปรับอากาศ คือ การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศให้เป็นไปตามความต้องการในทีนั้น ๆ โดยสภาวะปรับอากาศภายในอาคาร ให้อุณหภูมิอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ และต้องควบคุมความบริสุทธิ์และการเคลื่อนไหวของอากาศด้วย

นอกจากการปรับอุณหภูมิและการปรับความชื้นแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่นำมาคิดด้วย คือการระบายอากาศ สรุปได้ดังนี้

1. การปรับและควบคุมอุณหภูมิ เป็นหน้าที่หลักของเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากสภาพอากาศในบริเวณโดยรอบไม่เอื้ออำนวย โดยเฉพาะประเทศไทยเป็นประเทศที่ร้อน มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 29 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่คนรู้สึกสบายอยู่ที่ 24-25 องศาเซลเซียส
2. การปรับและควบคุมความชื้น เป็นอีกหน้าที่หลักของเครื่องปรับอากาศ เพื่อช่วยในการสร้างสภาวะน่าสบายให้กับมนุษย์ โดยทั่วไปความชื้นที่เหมาะสมกับคนเราอยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์
3. การระบายอากาศ เป็นการนำเอาอากาศเสียภายในห้องออกสู่ภายนอกและหมุนเวียนเอาอากาศจากภายนอกเข้ามาแทนที่ ทั้งนี้การหมุนเวียนเอาอากาศภายนอกเข้ามาต้องคำนึงถึงความเร็วลม แม้ว่าภายในห้องจะมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นดีแล้ว แต่ถ้าลมหมุนเวียนแรงเกินไปก็เป็นการเพิ่มภาระให้กับเครื่องปรับอากาศ และถ้าปะทะโดยตรงกับส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายก็จะทำให้รู้สึกไม่สบาย

## 2.5 ระบบควบคุมอาคารที่มีผลต่อการเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงาน

การเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงานในส่วนที่เป็นเปลือกอาคาร ต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งานภายในอาคาร เพราะการควบคุมสภาวะภายในอาคารทั้งการใช้ระบบปรับอากาศ หรือระบบระบายอากาศแบบธรรมชาติ ก็เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่น่ามาพิจารณา ระบบการควบคุมสภาวะภายในอาคาร แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

### 2.5.1 ไม่ติดตั้งระบบปรับอากาศ

อาคารที่ไม่ติดตั้งระบบปรับอากาศ หมายถึง เป็นอาคารที่ใช้ระบบระบายอากาศแบบธรรมชาติโดยไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอาคารจะมีความสัมพันธ์กับสภาวะอากาศภายนอกอาคาร เช่น โบสถ์และบ้านไทยโบราณ

### 2.5.2 ติดตั้งระบบปรับอากาศ

อาคารที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ แต่ช่วงเวลาในการเปิด-ปิดแตกต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น

1. อาคารที่เปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศบ่อยๆ เช่น บ้านพักอาศัย พื้นที่ส่วนที่มีการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศบ่อยครั้ง เป็นระยะเวลาสั้น ๆ ควรใช้ผนังที่มีมวลสารน้อย มีการติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อน หรือวัสดุที่ไม่มีการสะสมความร้อน

2. อาคารที่เปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศเป็นระยะเวลายาว เช่น อาคารสำนักงาน อาคารที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศเป็นระยะเวลานาน ๆ เช่น ตลอดเวลากลางวัน และปิดเวลากลางคืน ต้องมีการเลือกใช้วัสดุต่าง ๆ ให้ผสมผสานกันอย่างเหมาะสม เพื่อให้สามารถควบคุมสภาวะภายในอาคารได้อย่างประหยัดพลังงาน โดยพิจารณาตำแหน่งในการติดตั้งและคุณสมบัติของวัสดุ ดังนี้

- การติดตั้งฉนวนไว้ด้านนอกอาคาร เป็นการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร
- การนำมวลสารไว้ด้านใน เป็นการลดความรุนแรง (Impact) ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากสภาวะภายนอก

3. อาคารที่เปิดเครื่องปรับอากาศตลอดเวลา เช่น โรงแรมและโรงพยาบาล อาคารที่มีการปรับอากาศอยู่ตลอดเวลา ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในมีความคงที่ในระดับที่ต้องการ ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอก แนวทางในการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารทำได้โดยการเลือกใช้วัสดุ

ที่มีค่าความต้านทานความร้อน หรือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ เพื่อลดภาระในการทำความเย็นให้กับเครื่องปรับอากาศ

กรณีที่อาคารมีการติดตั้งระบบปรับอากาศเพื่อควบคุมสภาวะภายในอาคาร ผู้ออกแบบต้องพิจารณาถึงรูปแบบการเปิดปิดเครื่องปรับอากาศที่แตกต่างกันในอาคารแต่ละประเภท เพราะลักษณะระบบควบคุมอาคารที่แตกต่างกัน มีผลกระทบอย่างมากต่อปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการทำความเย็นให้กับอาคาร

## 2.6 แนวทางการออกแบบอาคารปรับอากาศ

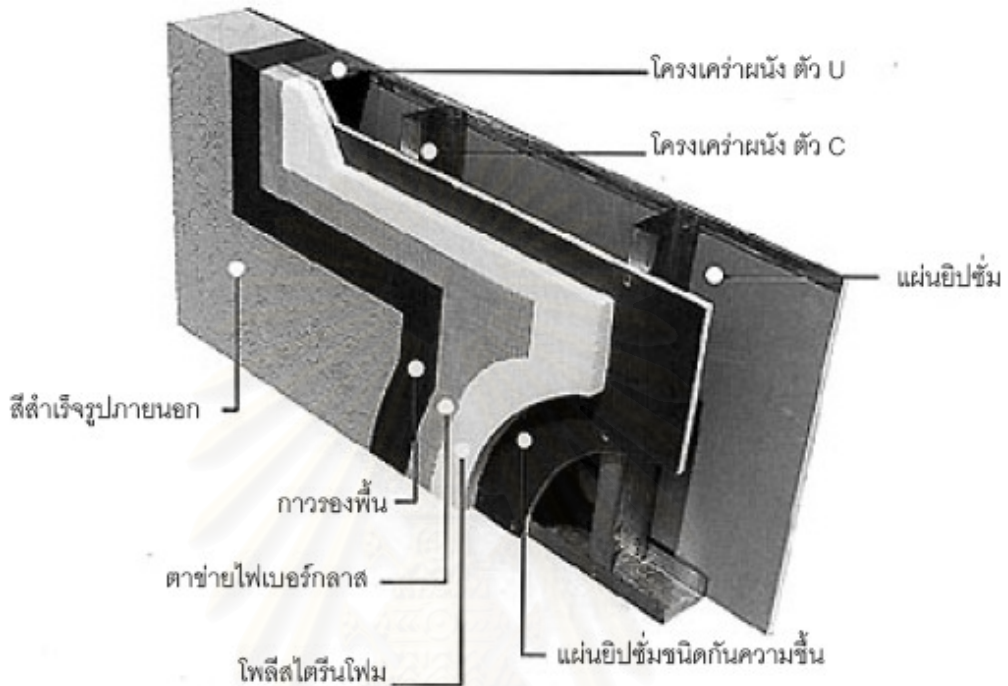
### 2.6.1 แนวทางการออกแบบเปลือกอาคารที่เป็นผนังทึบของอาคารปรับอากาศ

ผนังเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกอาคารที่ได้รับอิทธิพลจากการถ่ายเทความร้อนและความชื้นที่สูง การออกแบบและการเลือกใช้วัสดุของผนังจึงมีความสำคัญมาก ในการลดอัตราการการทำความเย็นในส่วนผนัง ผนังที่มีค่าความเป็นฉนวนสูง มีมวลสารน้อยเพื่อลดการสะสมความร้อนและความชื้น และเป็นวัสดุที่ทนต่อความร้อนและความชื้น จะเป็นผนังที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมาก

ปัจจุบันนี้ระบบการก่อสร้างผนังในอาคารนิยมใช้ผนังที่มีมวลสารมากเพื่อความแข็งแรง เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูน ผนังคอนกรีตบล็อก เป็นต้น ส่งผลต่อการใช้พลังงานเป็นจำนวนมากในการสร้างความเย็นเพื่อลดความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อน การสะสมความร้อนและความชื้น การป้องกันความร้อนที่เกิดจากการถ่ายเทผ่านทางผนัง จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการกำหนดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

ผนังที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศ ควรเป็นผนังที่มีฉนวนกันความร้อนอยู่ภายนอก จำทำให้สามารถกันความร้อนและความชื้นได้เป็นอย่างดี ระบบผนังที่มีประสิทธิภาพสูงที่ใช้ในอาคารประหยัดพลังงานในปัจจุบัน คือ ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (Exterior Insulation and Finish System หรือ EIFS) เป็นผนังมวลสารเบา มีฉนวนโฟมอยู่ภายนอก ส่งผลให้ห้องเย็นเร็วเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากผนังมีการสะสมความร้อนน้อย ผนังนี้จะมีวัสดุเคลือบภายนอกเป็นสารผสมทรายที่สามารถกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ได้ดี และยังมีสารทำหน้าที่ป้องกันการแตกร้าวและความชื้นของผนังได้อีก ทำให้ผนังระบบนี้มีความคงทนสวยงาม ซึ่งประสิทธิภาพของผนังจะแปรผันตามความหนาของฉนวนโฟมภายนอก ผนังระบบEIFS จะมีแผ่นยับชัมบอร์ดเพื่อทำหน้าที่ป้องกันไฟ (Fire Protection) ให้กับโครงสร้างเหล็กภายในทั้ง 2 ด้าน โดยยับชัมภายในเป็นวัสดุที่สามารถตกแต่งตามความต้องการได้ ระบบโครงสร้างเหล็กที่ประกบด้วยแผ่นยับชัม จึงเป็นระบบผนังที่มี

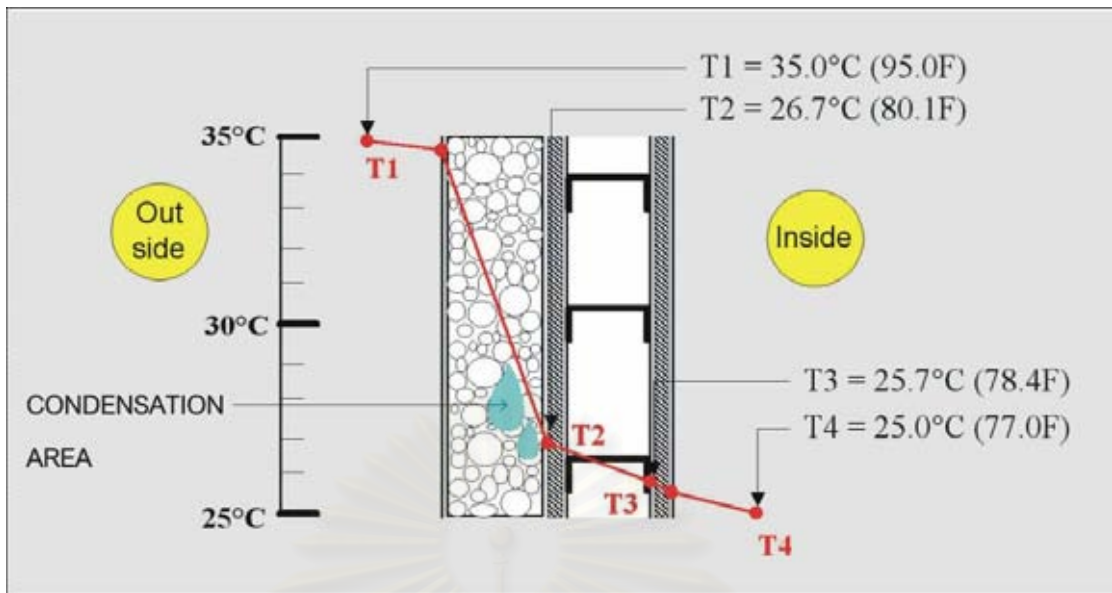
ประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน ความชื้น ฝนไฟ และสามารถกันเสียงจากภายนอกได้ดี เนื่องจากระบบผนังนี้ห่อหุ้มเปลือกอาคารได้เกือบทั้งหมด จึงทำให้เสียงจากภายนอกผ่านเข้ามาได้น้อยมาก เมื่อเทียบกับระบบผนังที่มีการใช้งานทั่วไป



ภาพที่ 2.4 แสดงผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก กับผนังโครงเคร่ายิปซัม  
ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 134

การออกแบบผนังในระบบปรับอากาศจะต้องมีการควบคุมความชื้นภายในอาคาร ซึ่งประกอบด้วย การควบแน่นน้ำและไอน้ำที่จะเข้ามาภายในอาคาร อากาศในภูมิอากาศร้อนชื้นถ้ามีการปรับอากาศภายในอาคาร เครื่องปรับอากาศจะทำหน้าที่ทำความเย็นด้วยการปรับอุณหภูมิ และการปรับความชื้นให้ลดลง การทำความเย็นมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศ การลดความชื้นและอุณหภูมินี้ต่าง ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องสูง เชื้อราและเชื้อโรคจะสามารถเจริญเติบโตได้





ภาพที่ 2.5 แสดงการควบแน่นเป็นหยดน้ำในผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก  
ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 134

การควบคุมการเกิดการควบแน่นของหยดน้ำในผนังจึงเป็นเรื่องสำคัญ และยากต่อการป้องกัน ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก จึงเป็นระบบหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันปัญหานี้ (สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 137) การควบแน่นของหยดน้ำในผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก พบว่าจุดควบแน่นของหยดน้ำจะเกิดขึ้นในโฟมที่ห่อหุ้มภายนอก แต่เนื่องจากระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก สามารถป้องกันความชื้นภายนอกได้ดี จึงไม่เกิดปัญหาการควบแน่นของหยดน้ำในผนัง

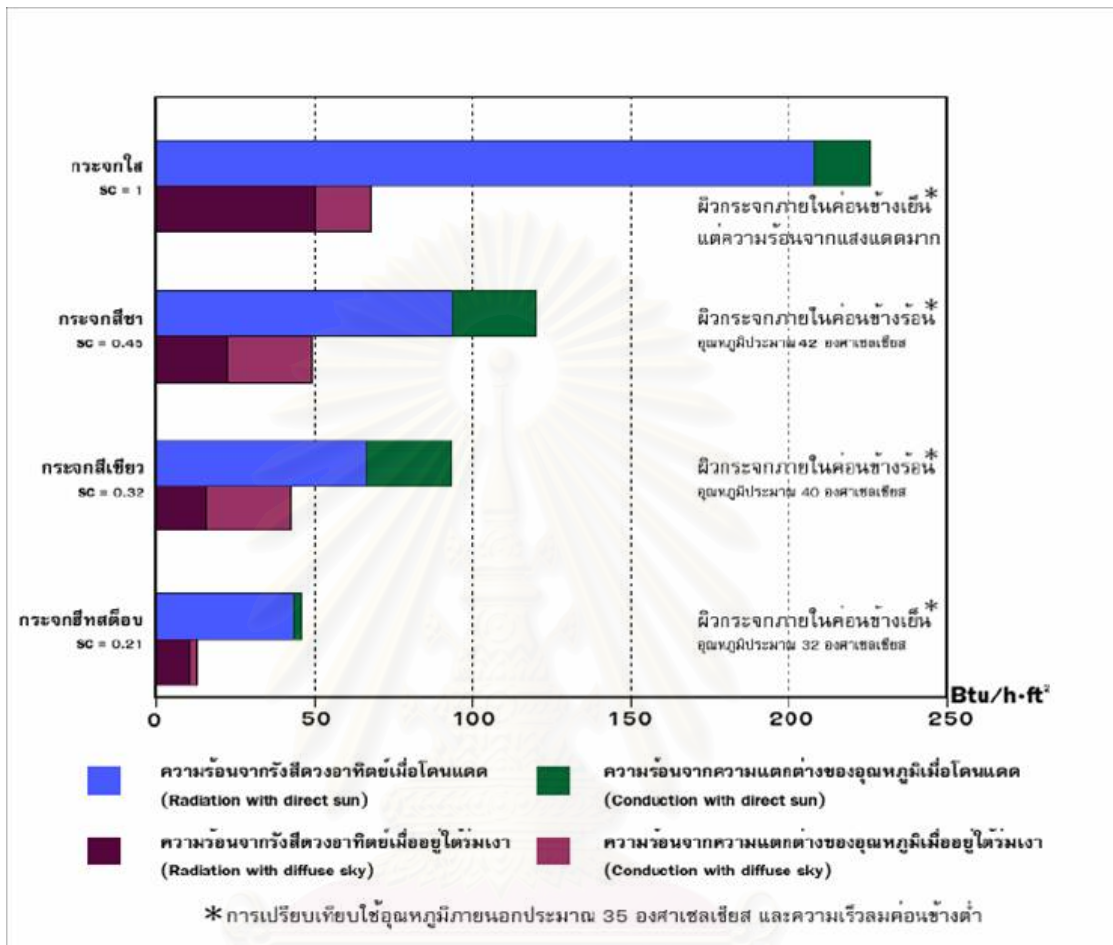
การป้องกันไอน้ำและความชื้นที่จะแทรกซึมเข้าทางผนัง โดยเลือกวัสดุการก่อสร้างที่มีโพรงของช่องว่างอากาศที่น้อย สามารถกั้นน้ำและความชื้นได้ดี รวมถึงการเคลือบและฉาบวัสดุของผิวภายนอกด้วย การป้องกันความชื้นจากภายนอกที่จะเข้าสู่ภายในถ้ามีการป้องกันที่ดีแล้ว การเกิดการควบแน่นของหยดน้ำและการเกิดเชื้อราภายในผนังก็จะไม่เกิดขึ้น หรือเกิดในปริมาณที่น้อยมาก

## 2.6.2 แนวทางการออกแบบเปลือกอาคารที่เป็นกระจกของอาคารปรับอากาศ

การออกแบบส่วนเปลือกอาคารที่มีกระจกนั้น ควรหลีกเลี่ยงการติดตั้งทางทิศใต้เป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นทิศที่มีค่ารังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์สูง กระจกเมื่อได้รับรังสีความร้อนโดยตรงจะมีอุณหภูมิที่ผิวสูงมากเพราะมีค่าการนำความร้อนที่ดี โดยเฉพาะกระจกที่มีสีเข้ม เมื่อผิวกระจก

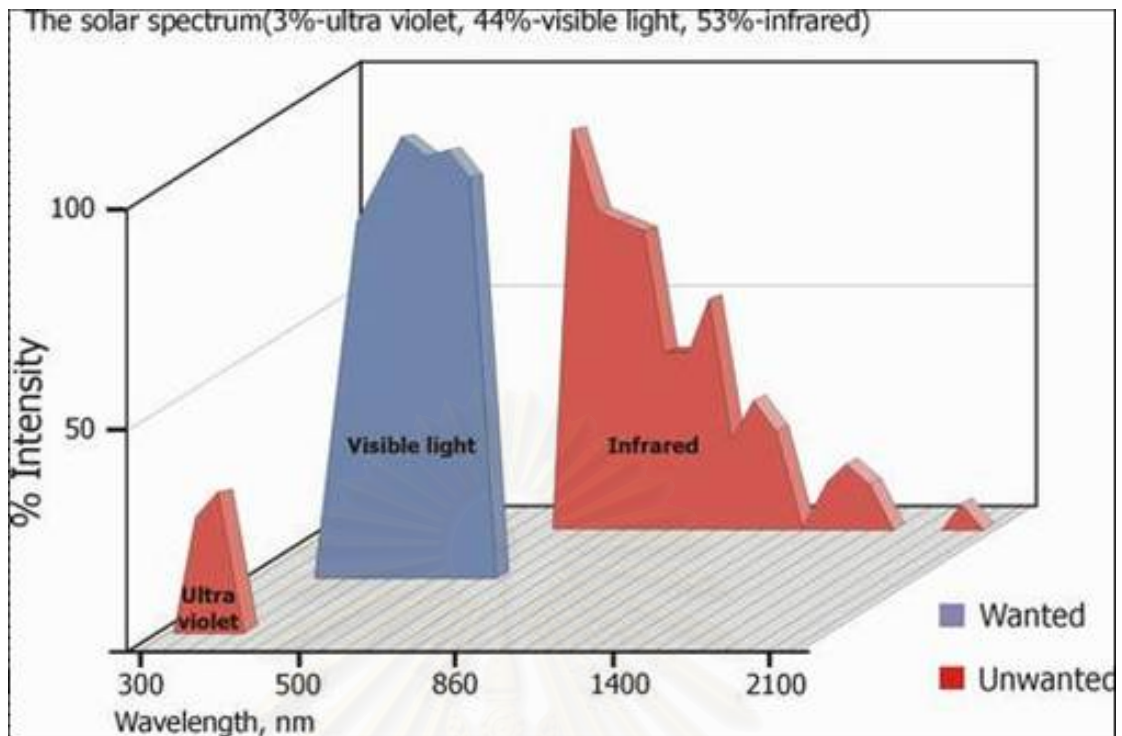


ร้อนมากก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากกระจกเข้าสู่ภายในอาคาร ทำให้ภายในอาคารมีอากาศสูงขึ้น



แผนภูมิที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกชนิดต่าง ๆ  
ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ, 2547: 52

การเลือกกระจกเพื่อประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน ควรพิจารณาถึงความสามารถในการป้องกันความร้อน สามารถตัดคลื่นแสงรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีอินฟราเรดที่เป็นสาเหตุของความร้อนส่วนใหญ่ที่เข้ามาในอาคาร และยอมให้แสงสว่างที่เป็นช่วงคลื่นที่มนุษย์สามารถมองเห็นผ่านเข้ามาเพียงพอกับความต้องการได้ กระจกที่มีประสิทธิภาพจะมีอุณหภูมิที่ผิวต่ำกว่าอุณหภูมิที่ผิวมนุษย์ จึงเกิดการแผ่รังสีความร้อนจากผิวมนุษย์สู่ผิวกระจกที่เย็นกว่า เป็นการลดอิทธิพลจากการแผ่รังสีของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature) จึงส่งผลให้ผู้ใช้งานอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ดี



แผนภูมิที่ 2.3 แสดงพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ, 2547: 50

การออกแบบระบบช่องแสงให้มีความเหมาะสมทางด้านพลังงานนั้น ควรจะต้องมีความเข้าใจทฤษฎีและองค์ประกอบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีผลกระทบต่อปริมาณแสงโดยตรงก่อน ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นโลกประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ต่าง ๆ กัน ดังนี้

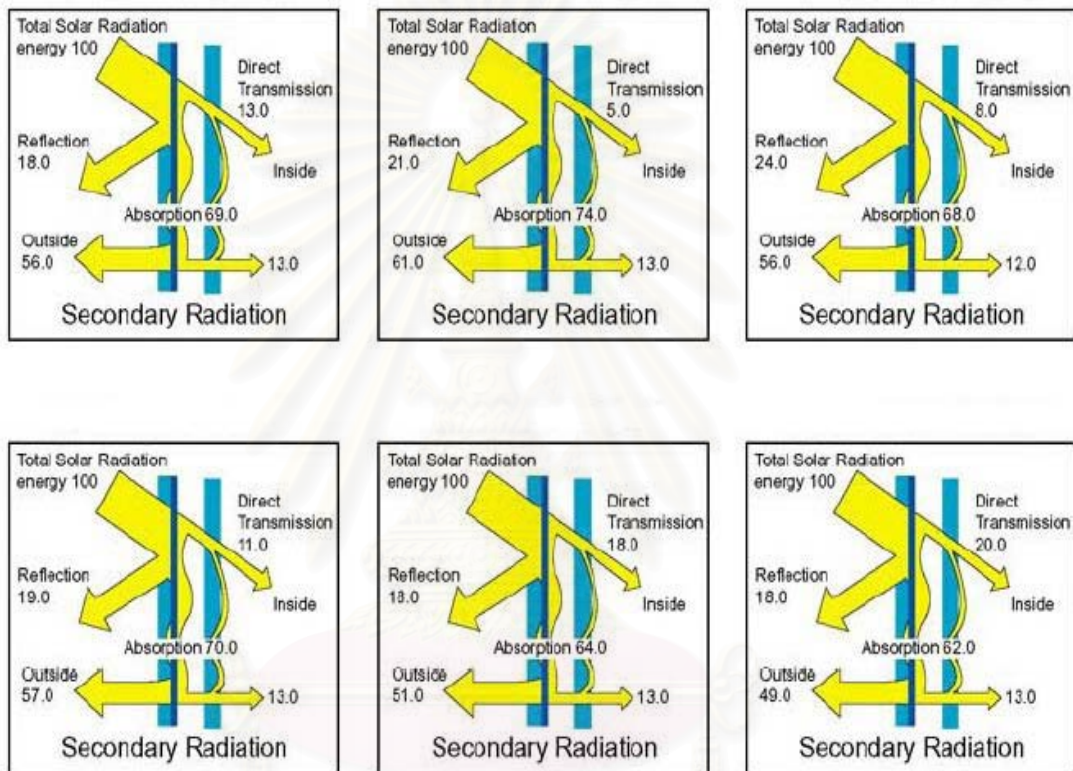
1. รังสีอัลตราไวโอเล็ต เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.29 - 0.4 ไมโครเมตรหรือไมครอน สามารถสร้างความเสียหายต่อผิวหนังและทำให้สีของเครื่องใช้และเฟอร์นิเจอร์เปลี่ยนแปลงไป มีสัดส่วนเป็น 9% ของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด

2. แสงที่มองเห็นได้ เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.4-0.7 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่สายตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ เป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของแสง ได้แก่ สีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด และสีแดง ทำให้มนุษย์มองเห็นวัตถุต่างๆ ได้ มีสัดส่วนเป็น 38% ของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด

3. รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น เป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.7 - 3.5 ไมโครเมตร อยู่ในรูปของความร้อนซึ่งเป็นพลังงานส่วนใหญ่ของพลังงานจากแสงอาทิตย์ กล่าวคือ มีสัดส่วน 53% ของพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ดังนั้นเมื่อสัมผัสกับแสงอาทิตย์จึงรู้สึกร้อน

กระจกที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งานในอาคารเพื่อประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน ตัวอย่างดังนี้

1. กระจกฮีตสติกออป เป็นกระจกที่มีค่าความเป็นฉนวนสูง และยังมีค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาที่สูงด้วย จึงเหมาะสมสำหรับกรใช้งานในพื้นที่รับอากาศ เนื่องจากสามารถลดการนำความร้อนและการแผ่รังสีจากภายนอกได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังลดรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นที่ตามนุษย์มองไม่เห็น ซึ่งเป็นความร้อนส่วนเกินจากแสงสว่าง



**Diagram of Interception**  
(Double-Glazing Unit)

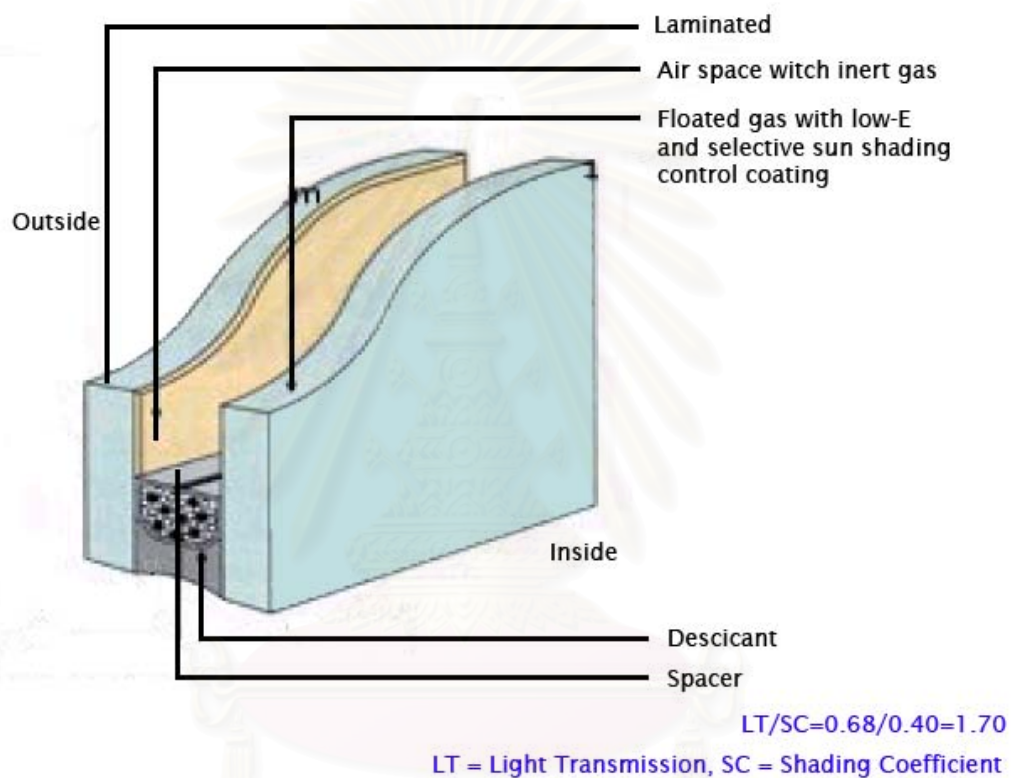
- Condition (By ASHRAE)
  - Outdoor Temperature ..... 31.7°C (89°F)
  - Room Temperature ..... 23.9°C (75°F)
  - Outdoor wind velocity ..... 3.3 m/sec (7.5 mph)
  - Indoor air velocity ..... 0 m/sec (0 mph)
  - Solar Intensity ..... 672.7 kcal/m<sup>2</sup> hr  
(248 Btu/ft<sup>2</sup> hr)

■ All value in the diagram are for 6 mm. + A + 6 mm. glass components

ภาพที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติของกระจกฮีตสติกออป 6 mm. + Air + 6 mm.

ที่มา : <http://www.tag.co.th/th/product/knowledge.asp>

กระจกชนิดนี้จึงยอมให้แสงสว่างในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible Light) ผ่านได้มาก และในขณะเดียวกันก็เป็นตัวลดทอนช่วงคลื่นความร้อนที่ตามนุษย์ไม่สามารถมองเห็น (Infrared & Ultraviolet) ออกด้วยการเคลือบผิวพิเศษ ในด้านการนำความร้อนของกระจกอีตส์ดีอป ได้มีการปรับปรุงค่าความเป็นฉนวนของกระจกด้วยการเพิ่มเติมช่องว่างก๊าซเฉื่อย (Inert Gas) ที่มีสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ เป็นช่องว่างอากาศที่มีการสะท้อนรังสี (Reflective Air Space) ทำให้ประสิทธิภาพความเป็นฉนวนกันการนำความร้อนสูงขึ้น

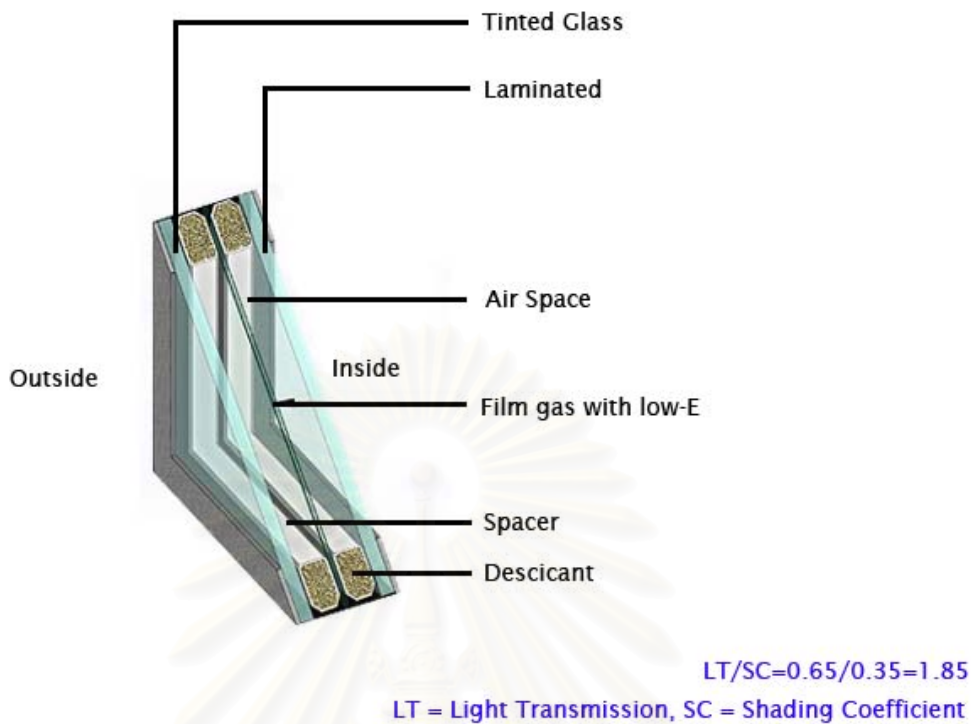


ภาพที่ 2.7 รูปตัดแสดงส่วนประกอบของกระจกอีตส์ดีอป

ที่มา : <http://www.tag.co.th/th/product/knowledge.asp>

2. กระจกอีตมิเรอร์ เป็นระบบของกระจก 2 ชั้น (double glazing) ที่เคลือบด้วยสารที่มีสภาพการแผ่รังสีต่ำ (Low-E) ทั้งสองด้านของแผ่นฟิล์ม (Film) ที่อยู่ระหว่างช่องอากาศ โดยที่ช่องอากาศทั้งสองข้างจะทำหน้าที่เป็นช่องว่างอากาศสะท้อนรังสี (Reflective air space) อาจต่ำถึง 0.25 โดยสามารถสะท้อนความร้อนออกไปจากกระจกได้มาก โดยยอมให้ความร้อนส่งผ่านเข้ามาค่อนข้างน้อย และผิวกระจกไม่ร้อน กระจกชนิดนี้จึงยอมให้แสงธรรมชาติเข้ามามากและป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยยอมให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตผ่านเข้ามาได้ไม่ถึง 2%





ภาพที่ 2.8 รูปตัดแสดงส่วนประกอบของกระจกอีตีมิเรอร์

ที่มา : <http://www.tag.co.th/th/product/knowledge.asp>

3. กระจกลามิเนต เป็นกระจกที่เหมาะสมกับอาคารที่ไม่ต้องการปรับอากาศภายใน และใช้ประโยชน์พิเศษในบางจุดของการออกแบบ เนื่องจากคุณสมบัติของกระจกลามิเนตมีค่าความเป็นฉนวนต่ำ เพราะไม่มีช่องว่างก๊าซเฉื่อยเหมือนกระจกอีตีมิเรอร์ การใช้งานกระจกลามิเนต จึงใช้ประโยชน์จากความสามารถในการระบายความร้อนของอาคารออกสู่ภายนอก โดยอาศัยการนำความร้อนของกระจกลามิเนตในบางพื้นที่ที่ต้องการให้ความร้อนสามารถระบายออกสู่ภายนอก ด้วยวิธีการนำความร้อน (Conduction Heat flow)

### 2.6.3 หลักการใช้ผนังกระจกอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ

สุนทร บุญญาริการ (2546) ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีการออกแบบกระจกยุคใหม่เพื่อหาวิธีการขจัดความร้อนส่วนเกินเป็นรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

1. การลดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ คือ การกำจัดช่วงคลื่นของรังสีดวงอาทิตย์ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นของมนุษย์ ได้แก่ รังสีอินฟราเรด รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีที่ผ่านเข้ามาในอาคารจึงเป็นรังสีจากดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นที่มีความจำเป็นต่อการมองเห็นของมนุษย์เพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading coefficient: SC) หากกระจกมีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำจะยอมให้มีรังสีจากดวงอาทิตย์ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารได้

น้อย และค่าอัตราส่วนการทะลุผ่านของแสงในช่วงคลื่นที่จำเป็นต่อการมองเห็น (Light Transmission : LT) ถ้าการที่ค่าอัตราส่วนการทะลุผ่านของแสงสูงจะยอมให้แสงในช่วงคลื่นที่จำเป็นต่อการมองเห็นผ่านได้มาก ดังนั้นการพิจารณากระจกนั้นจะต้องทำการพิจารณาอัตราส่วนระหว่างค่าอัตราส่วนการทะลุผ่านของแสงในช่วงคลื่นที่จำเป็นต่อการมองเห็น และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดเพื่อให้ปริมาณแสงภายในอาคารไม่ต่ำมากเกินไป

$$\text{การพิจารณาการใช้กระจก} = \text{LT} / \text{SC}$$

ส่วนการลดสัมประสิทธิ์การบังแดดด้วยการใช้สีกระจกที่เข้มขึ้นจะทำให้ค่าการดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ของผิวกระจกภายนอกเพิ่มขึ้น อุณหภูมิผิวกระจกภายนอกจึงสูงขึ้นและส่งผลให้ความร้อนส่วนเกินถูกกักเก็บไว้ในมวลสารของกระจก เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในห้องโดยการพาความร้อนและการแผ่รังสี

**2. การเพิ่มความเป็นฉนวนของกระจก** กระจกเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง การลดการนำความร้อนจะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในและภายนอกอาคาร โดยการเพิ่มช่องว่างอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำให้กับกระจก เป็นลักษณะกระจก 2 ชั้น (Double Glazing) และกระจก 3 ชั้น (Triple Glazing) ทำให้กระจกมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ(U)สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนโดยการนำได้ดีกว่ากระจกที่มีค่า U สูง นอกจากนี้วิธีการลดค่าการนำความร้อนของกระจกอีกวิธีหนึ่งคือ การใช้กระจกติดฟิล์ม Low E และมีการเคลือบ Sun Protection ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่ต่ำเพื่อลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร

**3. การลดความร้อนที่ผิวกระจกภายในอาคาร** จากการศึกษาที่กระจกนั้นสามารถเก็บสะสมความร้อนแล้วแผ่รังสีและพาความร้อนมาสู่พื้นที่ใกล้เคียงได้ ดังนั้นการแก้ปัญหาจึงต้องให้ Air Flow Window มีหลักการอยู่ที่การเปิดช่องด้านในอาคาร เพื่อนำอากาศเย็นภายในอาคารไหลผ่านช่องว่างระหว่างกระจก 2 ชั้น เพื่อใช้อากาศที่เย็นลดอุณหภูมิผิวกระจกและระบายอากาศร้อนที่อยู่ระหว่างช่องว่างอากาศทิ้งไปทำให้เนื้อกระจกมีอุณหภูมิที่ต่ำลงจึงไม่เกิดการแผ่รังสีความร้อนให้กับภายในอาคาร

## 2.7 ความชื้น

### 2.7.1 ผลกระทบจากความชื้นต่อคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน

ความชื้นที่สะสมภายในเปลือกอาคารเป็นสาเหตุสำคัญของการลดทอนประสิทธิภาพของความเป็นฉนวนของวัสดุ ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ความจุ ความชื้น อุณหภูมิ ระยะเวลา การใช้งาน รวมถึงสภาพแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกอาคาร



ความสัมพันธ์ของปริมาณความชื้นที่สามารถแทรกซึมผ่านวัสดุ กับคุณสมบัติการเป็นฉนวนของวัสดุจะเกิดการแปรผันตามช่องว่างในเนื้อฉนวน โดยเฉพาะฉนวนแบบเซลล์เปิด (Open Cell) หรือประเภทเส้นใยธรรมชาติ เพราะความชื้นสามารถถ่ายเทผ่านฉนวนประเภทดังกล่าวได้อย่างรวดเร็ว

การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารที่เกิดจากการถ่ายเทความชื้น จะปรากฏอยู่ในรูปแบบของความชื้นสัมพัทธ์ และความชื้นแฝง ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความแตกต่างของความดันไอน้ำ (Vapor Pressure) ที่ถ่ายเทที่บริเวณความดันไอน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำต่ำกว่า นอกจากนี้การระเหยของความชื้นจากผนังด้านที่ร้อนหรือการดูดซับความชื้นของผนังด้านที่เย็น จะเพิ่มปริมาณความชื้นแฝงในการถ่ายเทความร้อนเข้ามาในอาคาร

### 2.7.2 ความชื้นที่สะสมในวัสดุ

วัสดุก่อสร้างส่วนมากเป็นวัสดุที่มีเนื้อพรุนในวัสดุจำนวนมาก ซึ่งรูพรุนดังกล่าวเป็นเสมือนช่องว่างขนาดใหญ่ภายในผนัง ที่ความชื้นจากภายนอกอาคารสามารถแทรกซึมผ่านเข้ามาในอาคารได้โดยง่าย โดยปริมาณความชื้นที่สะสมภายในเนื้อวัสดุจะสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อม กล่าวคือ เมื่อสภาพแวดล้อมมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น รูพรุนอากาศในวัสดุจะถูกแทนที่ด้วยความชื้นที่แทรกซึมเข้ามาในเนื้อวัสดุ ทำให้วัสดุมีการดูดซับความชื้น (Absorption) ไว้มากขึ้น ในทางตรงข้ามเมื่อสภาพแวดล้อมมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ลดลง วัสดุก็จะคายความชื้น (Desorption) ที่สะสมไว้ออกมา ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณความจุความชื้น สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้โดยกราฟที่เรียกว่า Sorption Isotherm แต่บางครั้งการเปลี่ยนแปลงปริมาณความจุความชื้นของวัสดุก็ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตามที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากวัสดุบางชนิดพยายามรักษาระดับปริมาณความชื้นภายในเนื้อวัสดุไว้จึงไม่มีการคายความชื้นออกมา

ปริมาณความชื้นที่เข้ามาสะสมในเนื้อวัสดุ จะทำให้ค่าความจุความร้อนของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในการลดปริมาณความร้อนที่สะสมในมวลสารของวัสดุ ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติไม่สะสมความร้อนและความชื้นจะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานในอาคารลงได้

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาอิทธิพลของวัสดุผนังและช่องเปิดต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคารรูปทรงปริมาตร จากค่าความเป็นฉนวนที่ต่างกัน โดยทำการศึกษาทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาออกแบบการวิจัย การเลือกวัสดุมวลสารที่นำมาทดลอง การกำหนดประเภทของข้อมูลที่ต้องการเพื่อทำการเก็บวัดผล การออกแบบการทดลอง การเตรียมเครื่องมือเพื่อใช้ในการทดสอบ การเก็บและบันทึกข้อมูล และการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลข้อมูล และแนวทางการวิเคราะห์ประเมินผลเพื่อนำไปสู่การออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

#### 3.1 การศึกษาทฤษฎีและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

##### 3.1.1 คุณสมบัติของวัสดุ

- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
- ค่าการนำความร้อน
- ค่าการต้านทานความร้อน
- คุณสมบัติของพื้นผิววัสดุที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสี
- ค่าความจุความร้อน

##### 3.1.2 อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน

##### 3.1.3 การใช้วัสดุฉนวนในอาคาร

#### 3.2 ชั้นเตรียมการทดลอง

##### 3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

1. Temperature Sensor ทำหน้าที่ตรวจวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ โดยตัวเครื่อง 1 ชุด สามารถเก็บข้อมูลได้ 4 ช่องสัญญาณ แบ่งเป็นอุณหภูมิ 3 ช่องสัญญาณ ความชื้นสัมพัทธ์ 1 ช่องสัญญาณ

- วัดอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) และอุณหภูมิผิว (Surface Temperature) ทั้งภายในและภายนอกแบบจำลอง ค่าที่วัดได้เป็นองศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.1 แสดงเครื่องมือเก็บข้อมูลอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

2. Infrared Thermometer ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิผิวของวัสดุ (Surface Temperature) ทั้งภายในและภายนอกแบบจำลอง ค่าที่วัดได้เป็นองศาเซลเซียส



ภาพที่ 3.2 แสดงเครื่องมือเก็บข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว

3.2.2 กำหนดสภาพการใช้งานในอาคารที่ทำการทดลอง โดยแบ่งออกเป็น

1. สภาพที่ไม่มีมีการปรับอากาศ
  - กรณีเปิดช่องแสง
  - กรณีปิดช่องแสง
2. สภาพที่มีการปรับอากาศ
  - กรณีเปิดช่องแสง

3.2.3 กำหนดวัสดุผนังภายนอกที่ทำการทดลอง โดยแยกประเภทตามคุณสมบัติของวัสดุ ที่ระดับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ต่าง ๆ โดยแยกประเภทตามน้ำหนักของมวลสาร ออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ผนังมวลสารน้อย (Low thermal mass) คือ ผนังที่มีน้ำหนัก 0 - 125 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

- ผนังเหล็กรีดลอน (Metal sheet)
- ผนังยิปซัม (Gypsum)

2. ผนังมวลสารปานกลาง (Medium thermal mass) คือ ผนังที่มีน้ำหนัก 126 - 195 กิโลกรัมต่อตารางเมตร

- ผนังระบบฉนวน (Sandwich Panel)

### 3.3 การเตรียมวัสดุเพื่อการทดลอง

1. จัดสร้างแบบจำลองรูปทรงปริมาตร โดยเลือกวัสดุ 3 ชนิด มาทำการทดสอบ คือ ผนังเหล็กเคลือบสังกะสี (Metal Sheet) ผนังยิปซัม (Gypsum) ทาสี และผนังระบบฉนวน (Sandwich Panel) และมีขนาดพื้นที่ผิวของผนังทดสอบเท่ากัน ผนังแต่ละด้านมีขนาดพื้นที่ผิว  $\frac{1}{2} \times 1.80 \times 1.30$  เมตร โดยผนังด้านหนึ่งเจาะช่องแสงขนาด  $\frac{1}{2} \times (0.42+0.45) \times 0.30$  เมตร



ภาพที่ 3.3 แสดงการประกอบรูปทรงปริมาตรผนังเหล็กเคลือบสังกะสี



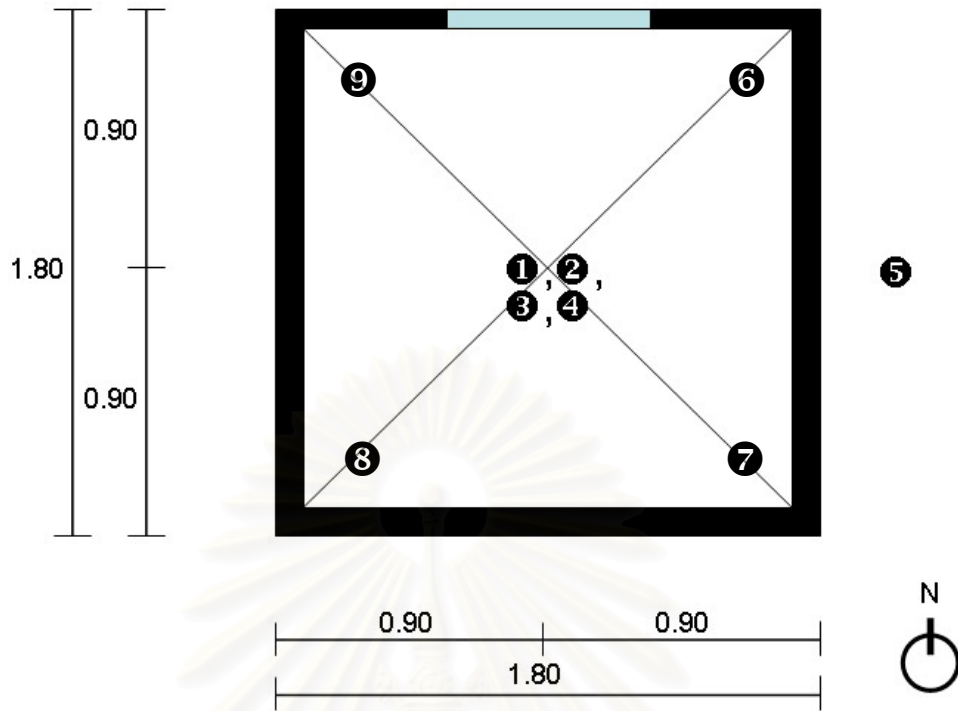
ภาพที่ 3.4 แสดงการประกอบรูปทรงปิระมิดผนังยิปซัมทาสี



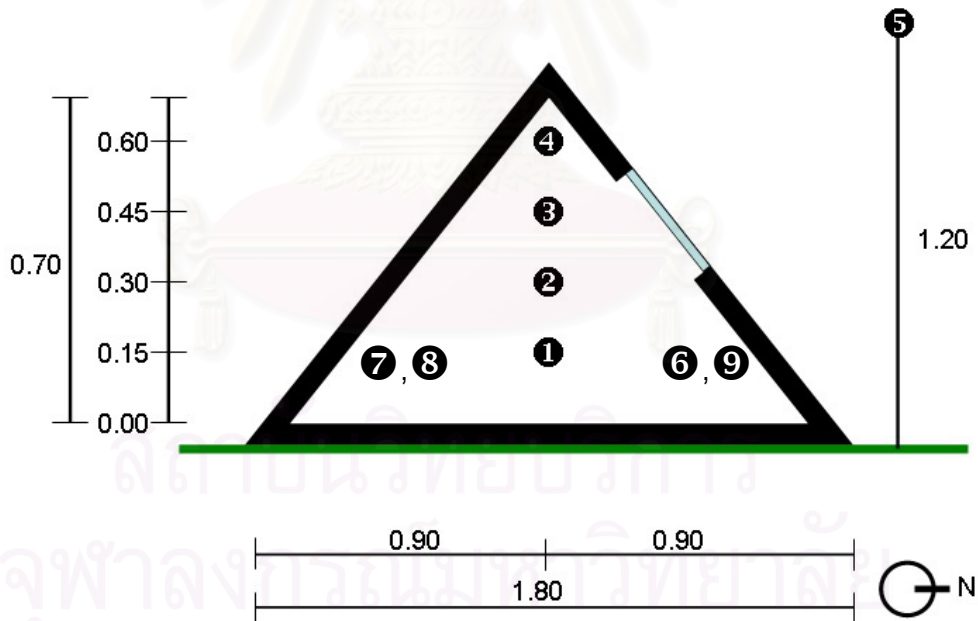
ภาพที่ 3.5 แสดงการประกอบรูปทรงปิระมิดผนังระบบฉนวน

2. ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายในแบบจำลองรูปทรงปิระมิดจำนวน 8 จุด โดยพิจารณาถึงความสูง และระยะห่างภายในแบบจำลอง และภายนอกจำนวน 1 จุด มีการวัดอุณหภูมิภายนอก และอุณหภูมิอากาศภายใน





ภาพที่ 3.6 แสดงแบบแปลนตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ



ภาพที่ 3.7 แสดงรูปตัดตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

3. ทำการทดลองในวันที่สภาพอากาศปกติ ตั้งกลางแจ้งบนพื้นที่ที่มีพืชปกคลุม โดยหันผนังด้านที่มีช่องแสงไปทางทิศเหนือ ที่มีแสงแดดตกกระทบน้อย โดยเก็บข้อมูลติดต่อกัน 1 สัปดาห์ ในเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม





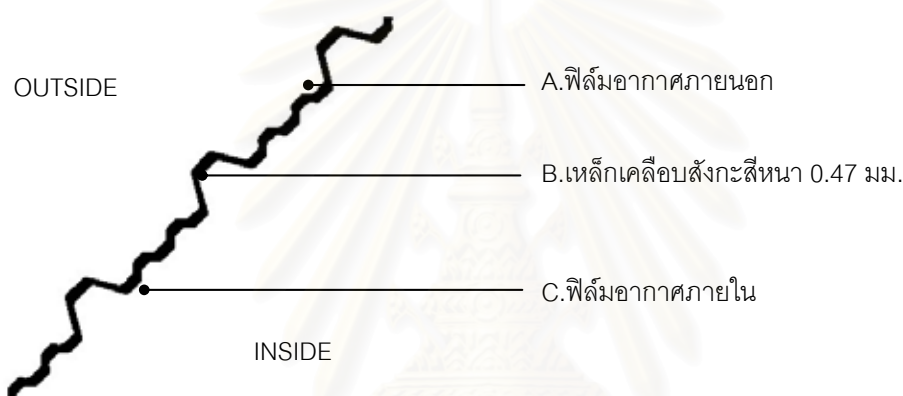
ภาพที่ 3.8 แสดงการเก็บข้อมูลในวันที่ทำการทดลอง

1. ทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายในอาคารรูปทรงปิระมิด โดยแบ่งจุดวัดอุณหภูมิออกเป็นดังนี้
  1. แนวตั้ง แบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ
    - สูงจากพื้น 15 เซนติเมตร
    - สูงจากพื้น 30 เซนติเมตร
    - สูงจากพื้น 45 เซนติเมตร
    - สูงจากพื้น 60 เซนติเมตร
  2. แนวระนาบ สูงจากพื้น 15 เซนติเมตร แบ่งออกเป็น 5 จุด คือ
    - มุมปิระมิดทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
    - มุมปิระมิดทิศตะวันออกเฉียงใต้
    - มุมปิระมิดทิศตะวันตกเฉียงเหนือ
    - มุมปิระมิดทิศตะวันตกเฉียงใต้
    - กึ่งกลางปิระมิด
  4. วิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติ เปรียบเทียบระหว่างวัสดุ โดยพิจารณาดังนี้
    - วิเคราะห์ข้อมูลจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารรูปทรงปิระมิดของวัสดุผนังทั้ง 3 ชนิด กรณีเปิดช่องแสง ในสภาวะไม่ปรับอากาศ
    - วิเคราะห์ข้อมูลจากการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับต่าง ๆ ของวัสดุทั้ง 3 ชนิด กรณีเปิดช่องแสง ในสภาวะไม่ปรับอากาศ

- วิเคราะห์ข้อมูลจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติอากาศภายใน กรณีเปิดช่องแสงและปิดช่องแสงของวัสดุทั้ง 3 ชนิด ในสภาวะไม่ปรับอากาศ
- วิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติอากาศภายในอาคารรูปทรงปริมาตรของวัสดุผนังทั้ง 3 ชนิด ในสภาวะปรับอากาศ เพื่อหาเขตสภาวะน่าสบายในอาคาร

### 3.4 รายละเอียดของผนังที่ทำการทดลอง

#### 1. ผนังเหล็กเคลือบสังกะสี

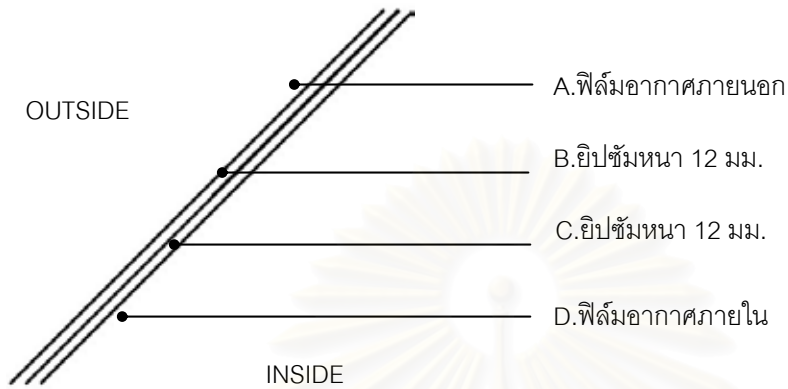


ภาพที่ 3.9 แสดงรูปตัดของผนังเหล็กเคลือบสังกะสี

วัสดุ	R (hr.ft <sup>2</sup> .°F /Btu)	Specific heat (Btu/lb°F)
A.ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	-
B.เหล็กเคลือบสังกะสีหนา 0.47 มม.	0.0001	0.12
C.ฟิล์มอากาศภายใน	0.76	-
ค่าความต้านทานความร้อนรวม ( $\sum R$ )		1.01 Btu/hr.ft <sup>2</sup> .°F
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)		1.149 Btu/hr.ft <sup>2</sup> .°F

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดคุณสมบัติวัสดุผนังเหล็กเคลือบสังกะสี

## 2. ผนังยิปซั่ม



ภาพที่ 3.10 แสดงรูปตัดของผนังยิปซั่ม

วัสดุ	R (hr.ft <sup>2</sup> .°F /Btu)	Specific heat (Btu/lb°F)
A.ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25	-
B.ยิปซั่มหนา 12 มม.	0.45	0.26
C.ยิปซั่มหนา 12 มม.	0.45	0.26
D.ฟิล์มอากาศภายใน	0.76	-
ค่าความต้านทานความร้อนรวม ( $\sum R$ )		1.61 Btu/hr.ft <sup>2</sup> .°F
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)		0.56 Btu/hr.ft <sup>2</sup> .°F

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดคุณสมบัติวัสดุผนังยิปซั่ม

### 3. ผนังระบบฉนวน



ภาพที่ 3.11 แสดงรูปตัดของผนังระบบฉนวน

วัสดุ	R (hr.ft <sup>2</sup> .°F /Btu)	Specific Heat (Btu/lb°F)
A. फिल्मอากาศภายนอก	0.25	-
B. เหล็กเคลือบสังกะสีแบบเรียบ หนา 0.5 มม.	0.0001	0.12
C. โฟมโพลีสไตรีน หนา 6 นิ้ว	12.17	0.29
D. เหล็กเคลือบสังกะสีแบบเรียบ หนา 0.5 มม.	0.0001	0.12
E. फिल्मอากาศภายใน	0.76	-
ค่าความต้านทานความร้อนรวม ( $\sum R$ )		12.88 Btu/hr.ft <sup>2</sup> .°F
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)		0.076 Btu/hr.ft <sup>2</sup> .°F

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดคุณสมบัติวัสดุผนังระบบฉนวน

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

จากการวัดอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปิระมิดของวัสดุทั้ง 3 ชนิด คือ ผนังเหล็กเคลือบสังกะสี ผนังยิปซัมทาสี และผนังระบบฉนวน กระทำโดยการจัดทำแบบจำลองขนาดพื้นที่ผิวรูปทรงปิระมิดเท่ากัน  $(1.80^2) + 2(1.80 \times 1.30)$  เมตร แต่มีค่าความเป็นฉนวนต่างกัน โดยการวัดอุณหภูมิแบ่งออกเป็น 3 กรณี พร้อมวิเคราะห์กราฟเปรียบเทียบ

#### 4.1 การวิเคราะห์กราฟที่ได้จากการวัดผล

การทดสอบที่ 1 เปิดช่องแสง



ภาพที่ 4.1 แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดแบบเปิดช่องแสง

การทดสอบที่ 2 ปิดช่องแสง



ภาพที่ 4.2 แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดแบบปิดช่องแสง

การทดสอบที่ 3 เปิดช่องแสงปรับอากาศ เพื่อทดสอบอิทธิพลของผนังต่อค่าการถ่ายเทความร้อน



ภาพที่ 4.3 แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดแบบเปิดช่องแสงปรับอากาศ

โดยการวิเคราะห์อุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปิระมิดของวัสดุทั้ง 3 ชนิด ได้ผลการทดลองที่แสดงออกมาเป็นกราฟเส้น ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



#### 4.1.1 กรณีที่ 1 แบบเปิดช่องแสง

เพื่อศึกษาผลกระทบจากช่องเปิดที่มีผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารรูปทรงปิระมิด



ภาพที่ 4.4 แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังเหล็กเคลือบสังกะสี

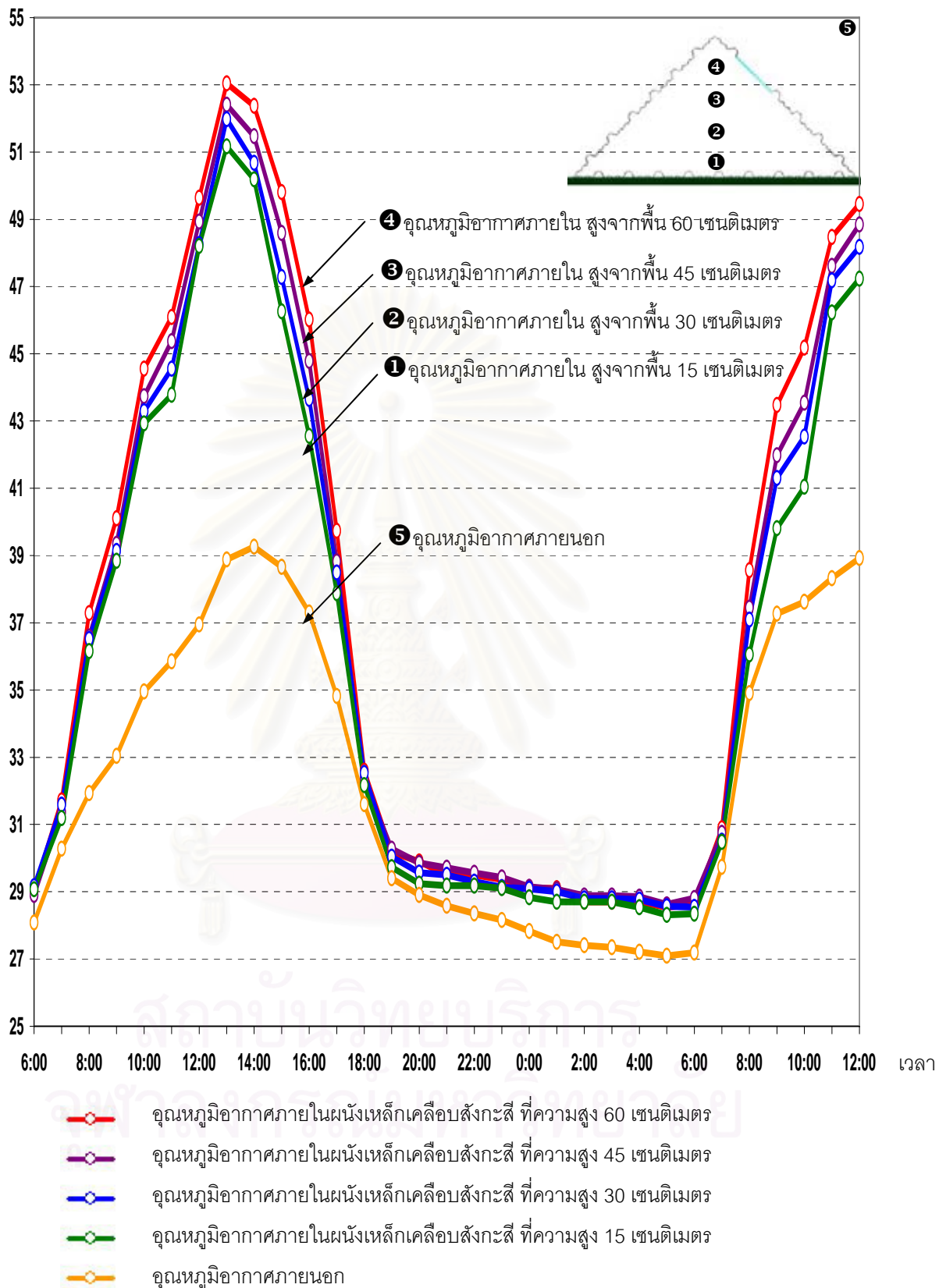


ภาพที่ 4.5 แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังยิปซัมทาสี



ภาพที่ 4.6 แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังระบบฉนวน

อุณหภูมิ (°C)



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังเหล็กเคลือบสังกะสีที่กรณีเปิดช่องแสง เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550

## วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังเหล็กเคลือบสังกะสี

- ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 51.17 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 28.31 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 36.06 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 22.86 องศาเซลเซียส

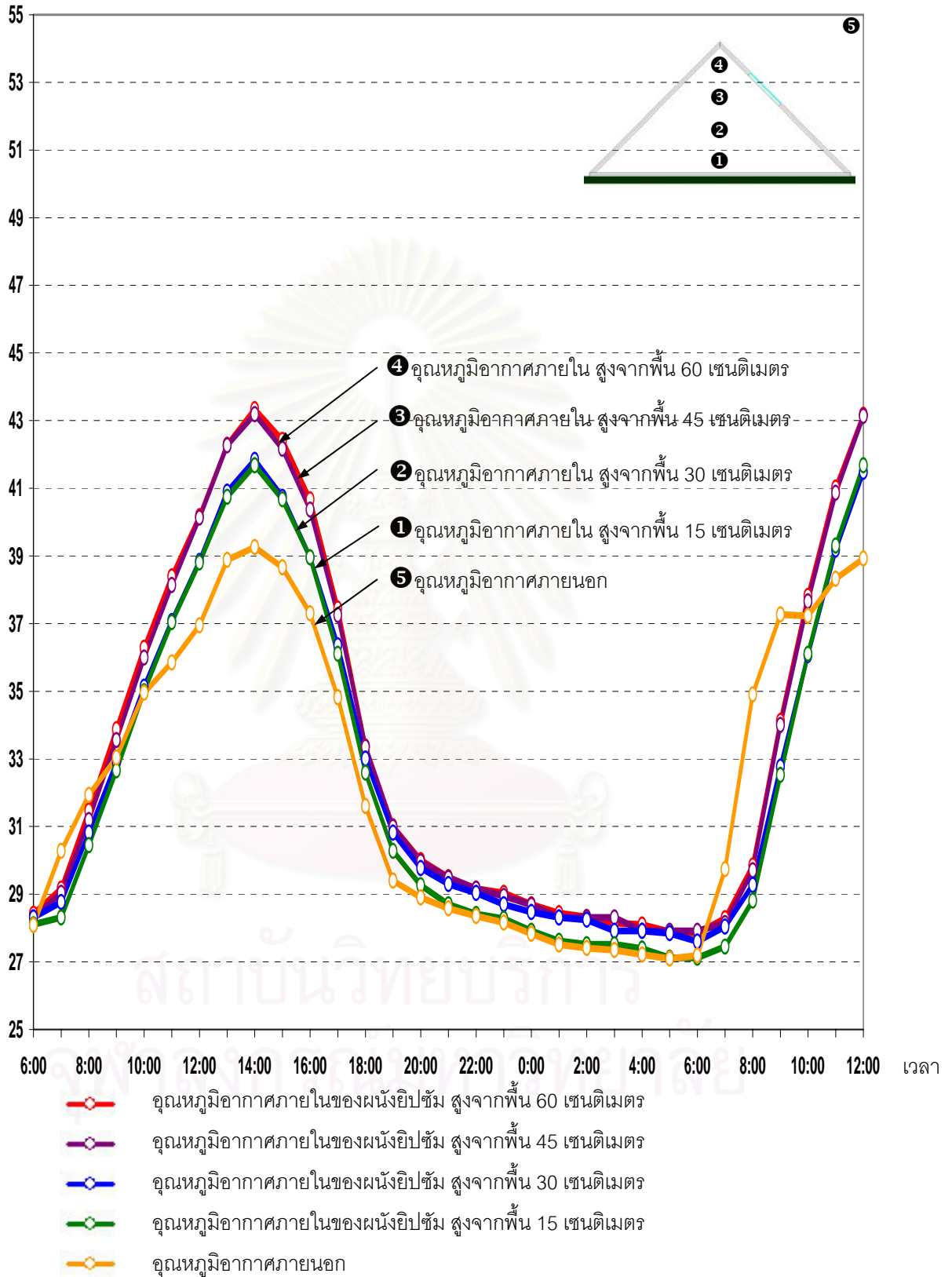
- ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 51.98 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 28.55 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 36.55 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 23.43 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 45 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 52.41 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 28.62 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 36.90 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 23.79 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 53.04 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 28.54 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 37.35 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 24.5 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า กรณีเปิดช่องแสงอุณหภูมิอากาศภายในในช่วงเวลากลางวันมีอุณหภูมิสูงกว่ากรณีปิดช่องแสง เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์โดยตรง และในช่วงเวลากลางวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงขึ้น ความร้อนจะส่งผ่านผนังเข้ามาภายในอาคารอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในสูงมาก และในช่วงเวลาเย็น-ค่ำ เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกเย็นลงแล้ว ความร้อนที่สะสมอยู่ในอาคารก็ถ่ายเทออกสู่ภายนอก ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าต่ำ เนื่องจากผนังเหล็กเคลือบสังกะสีมีค่าการสะสมความร้อนต่ำทำให้ความร้อนส่งผ่านเข้ามาภายในอาคารได้อย่างรวดเร็ว และคายความร้อนออกสู่ภายนอกได้เร็วเช่นกัน

อุณหภูมิ (°C)



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปิระมิดของผนังยิปซัมกรณีเปิดช่องแสง เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550

## วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังยิปซัม

- ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 41.68 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.12 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 32.39 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 10.00 – 05.00 น. ของวันรุ่งขึ้น โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 14.56 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 41.83 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 32.72 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 10.00 – 06.00 น. ของวันรุ่งขึ้น โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 14.23 องศาเซลเซียส

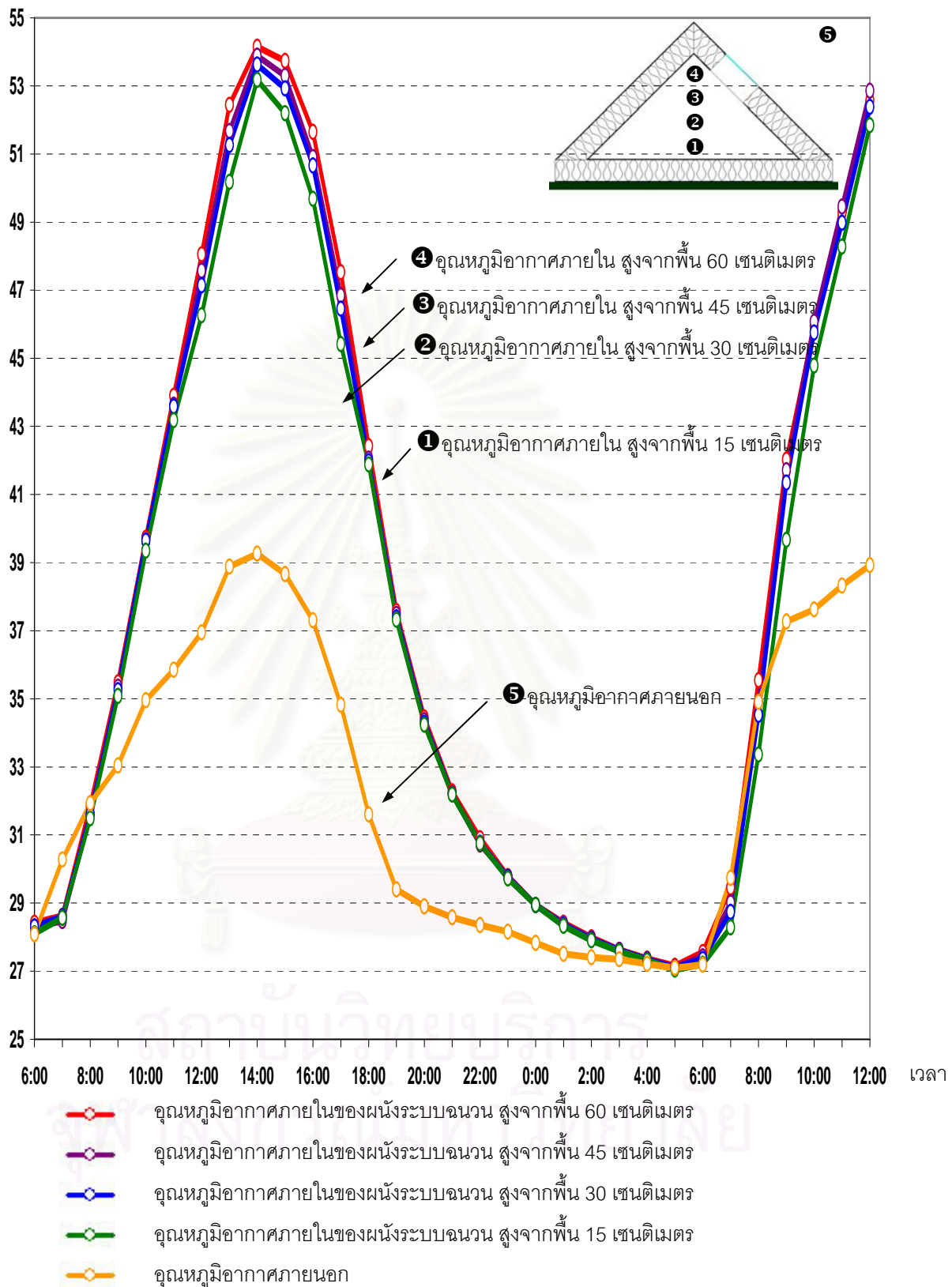
- ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 45 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 43.18 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.91 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 33.36 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 09.00 – 06.00 น. ของวันรุ่งขึ้น โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 15.27 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 43.34 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.85 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 33.47 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 09.00 – 06.00 น. ของวันรุ่งขึ้น โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 15.49 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า กรณีเปิดช่องแสงอุณหภูมิอากาศภายในในช่วงเวลากลางวันมีอุณหภูมิสูงกว่ากรณีปิดช่องแสง เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์โดยตรง และในช่วงเวลากลางวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงนั้น ความร้อนจะค่อย ๆ ส่งผ่านผนังเข้ามาภายในอาคาร ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงขึ้นในเวลาถัดมา และในช่วงเวลาเย็น-ค่ำเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกเย็นลงแล้ว ความร้อนที่สะสมอยู่ในอาคารก็ค่อย ๆ ถ่ายเทออกสู่ภายนอก ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าต่ำ เนื่องจากผนังยิปซัมมีการสะสมความร้อนพอสมควร ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมาก



อุณหภูมิ (°C)



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังระบบฉนวนกรณีเปิดช่องแสง เปรียบเทียบ อุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550

## วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังระบบฉนวน

- ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 53.18 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.05 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 37.07 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 08.00 – 05.00 น. ของวันรุ่งขึ้น โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 26.13 องศาเซลเซียส
- ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 53.62 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.09 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 37.48 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 08.00 – 05.00 น. ของวันรุ่งขึ้น โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 26.53 องศาเซลเซียส
- ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 45 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 53.88 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.11 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 37.63 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 08.00 – 05.00 น. ของวันรุ่งขึ้น โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 26.77 องศาเซลเซียส
- ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 54.15 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.15 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 37.83 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 08.00 – 05.00 น. ของวันรุ่งขึ้น โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 27 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า กรณีเปิดช่องแสงอุณหภูมิอากาศภายในในช่วงเวลากลางวันมีอุณหภูมิสูงกว่ากรณีปิดช่องแสงมาก เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์โดยตรง และในช่วงเวลากลางวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงนั้น ความร้อนจะค่อย ๆ ส่งผ่านผนังเข้ามาภายในอาคาร ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงขึ้นในเวลาถัดมา จนถึงเวลาเย็น-ค่ำ เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกเย็นลงแล้ว ความร้อนที่สะสมอยู่ในอาคารก็ยังไม่สามารถถ่ายเทออกสู่ภายนอกได้ ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารยังสูงอยู่ในช่วงกลางคืน แล้วจึงถ่ายเทความร้อนได้ในช่วงเช้ามีแดดแทน แต่เนื่องจากผนังระบบฉนวนมีค่าการสะสมความร้อนต่ำแต่มีความเป็นฉนวน

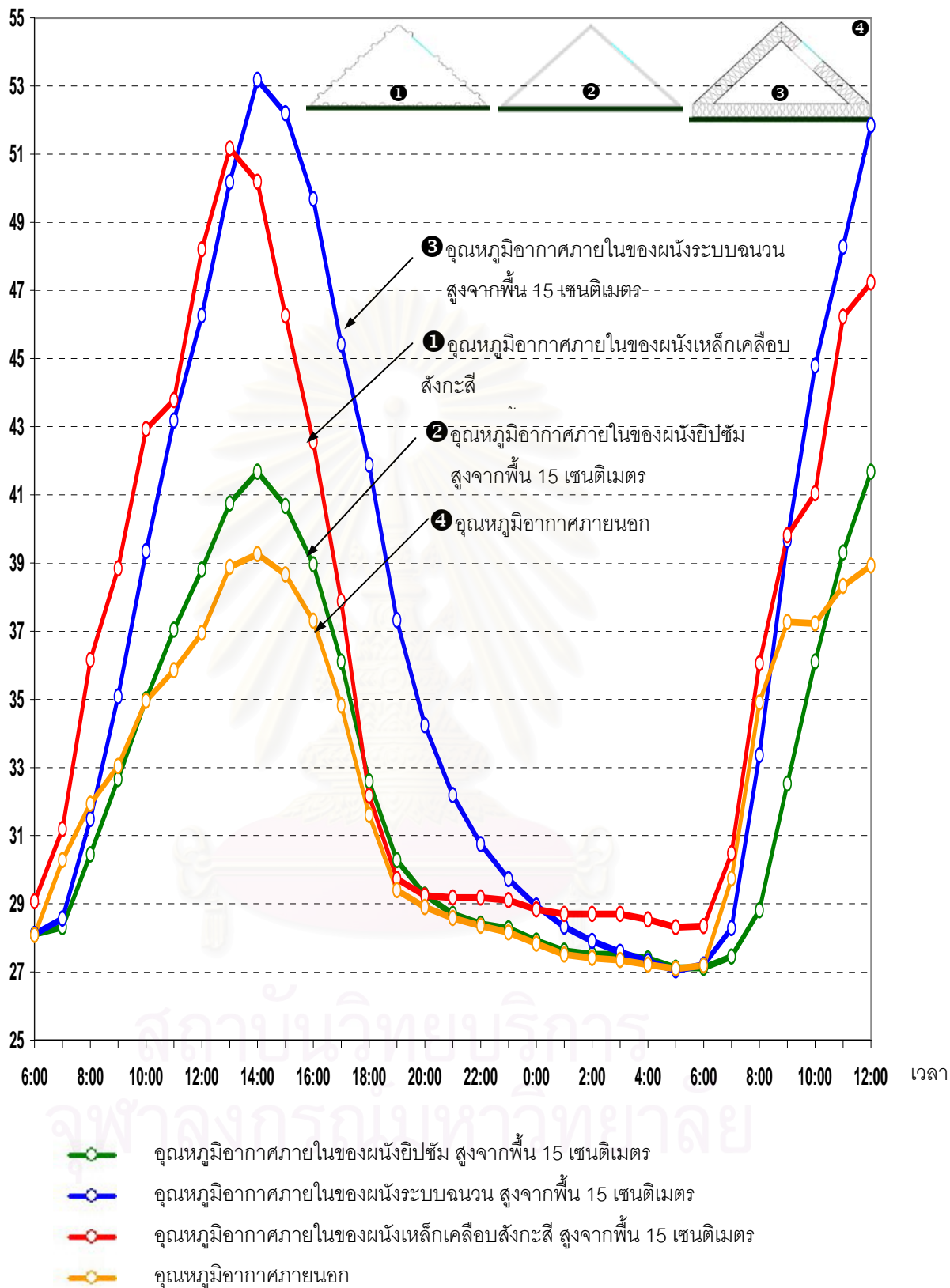
สูง ทำให้ความร้อนที่สะสมอยู่ภายในอาคารไม่สามารถถ่ายเทออกมาภายนอกอาคารได้ทัน  
ภายในอาคารจึงร้อนอยู่

วิเคราะห์กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของวัสดุทั้ง 3  
ชนิด ที่ระดับต่าง ๆ



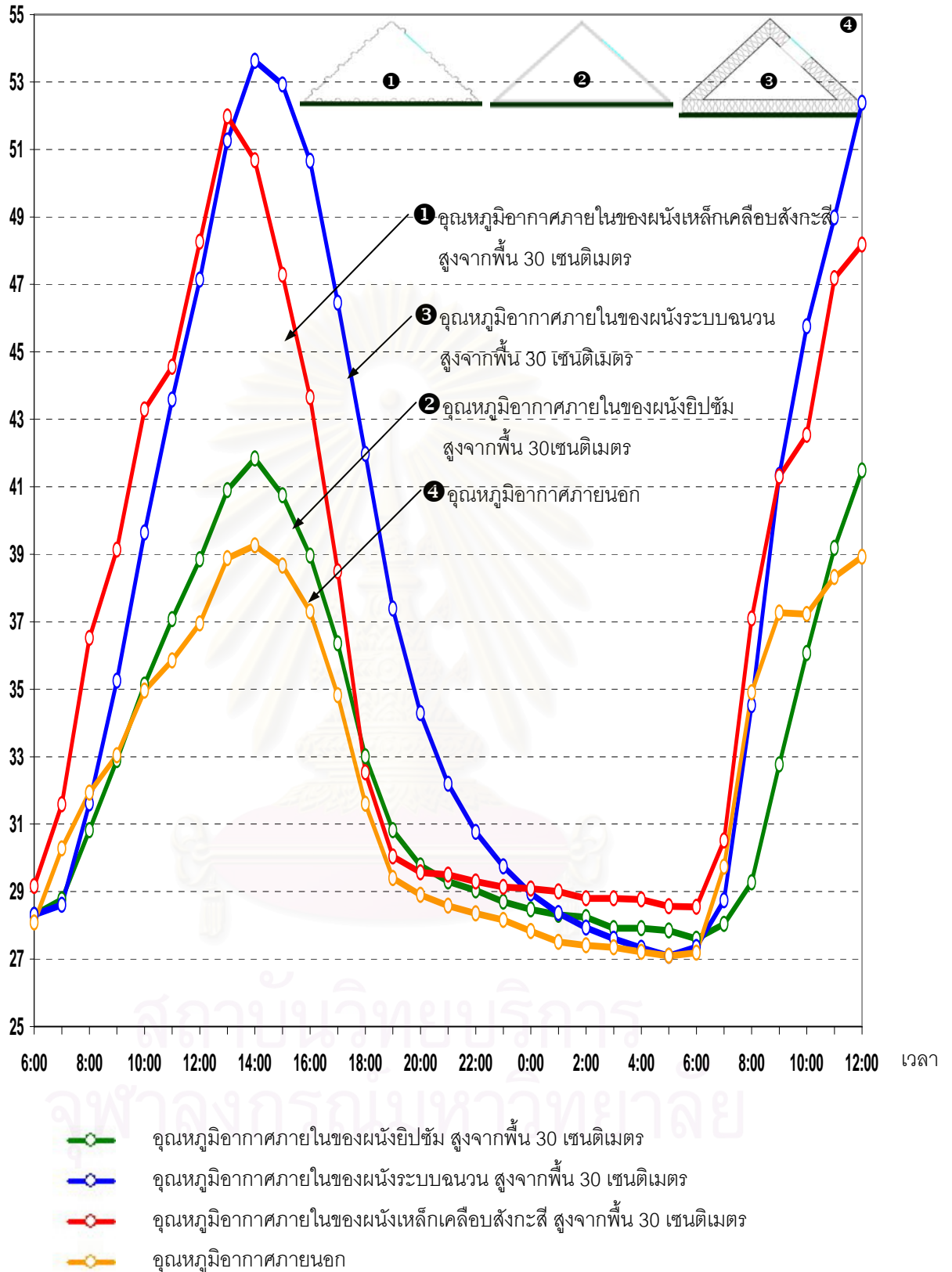
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุณหภูมิ (°C)



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปิระมิด ที่ความสูง 15 เซนติเมตร ของวัสดุต่าง ๆ เปรียบเทียบ อุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550

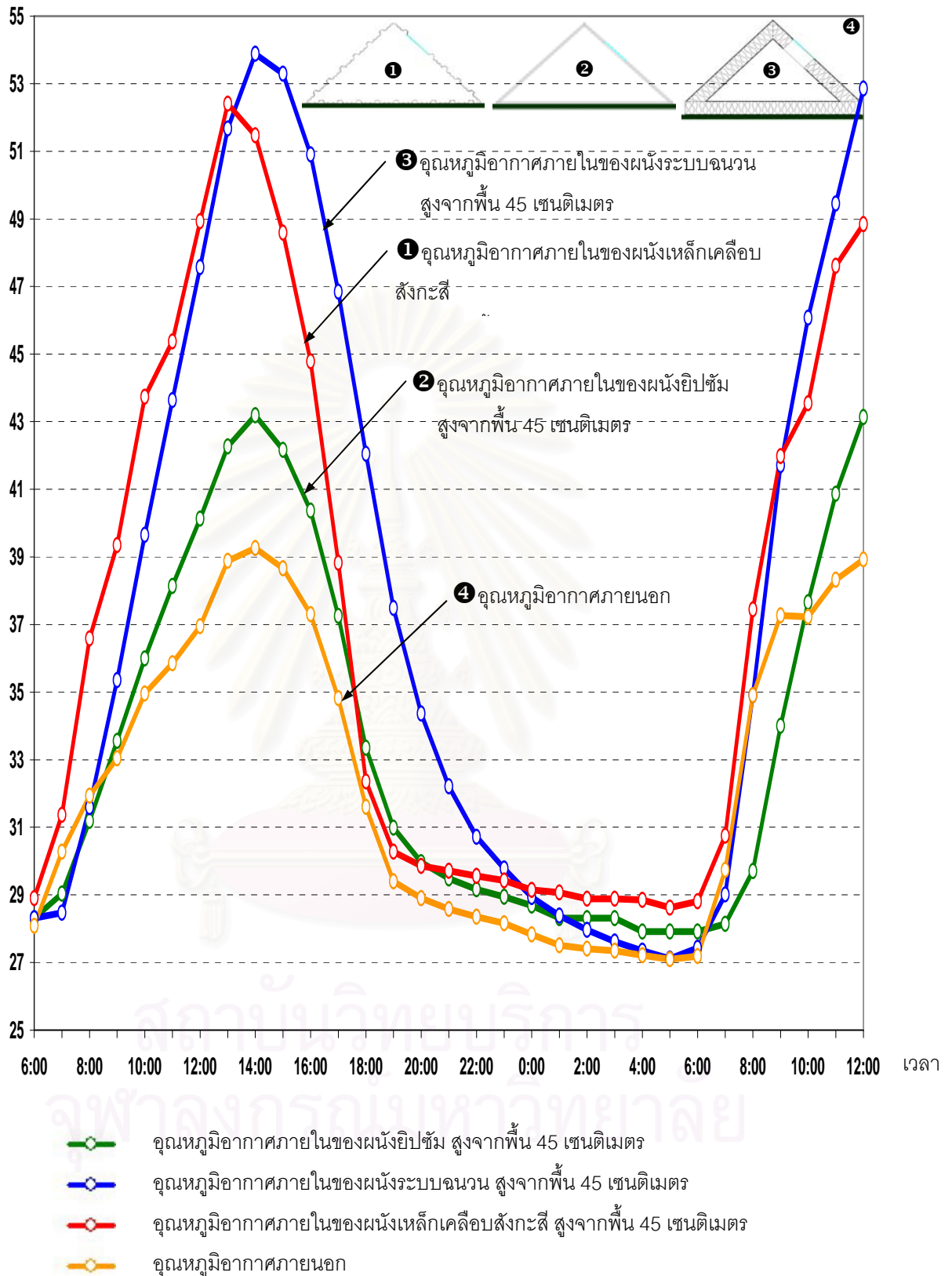
อุณหภูมิ (°C)



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตร ที่ความสูง 30 เซนติเมตร ของวัสดุต่าง ๆ เปรียบเทียบ อุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550

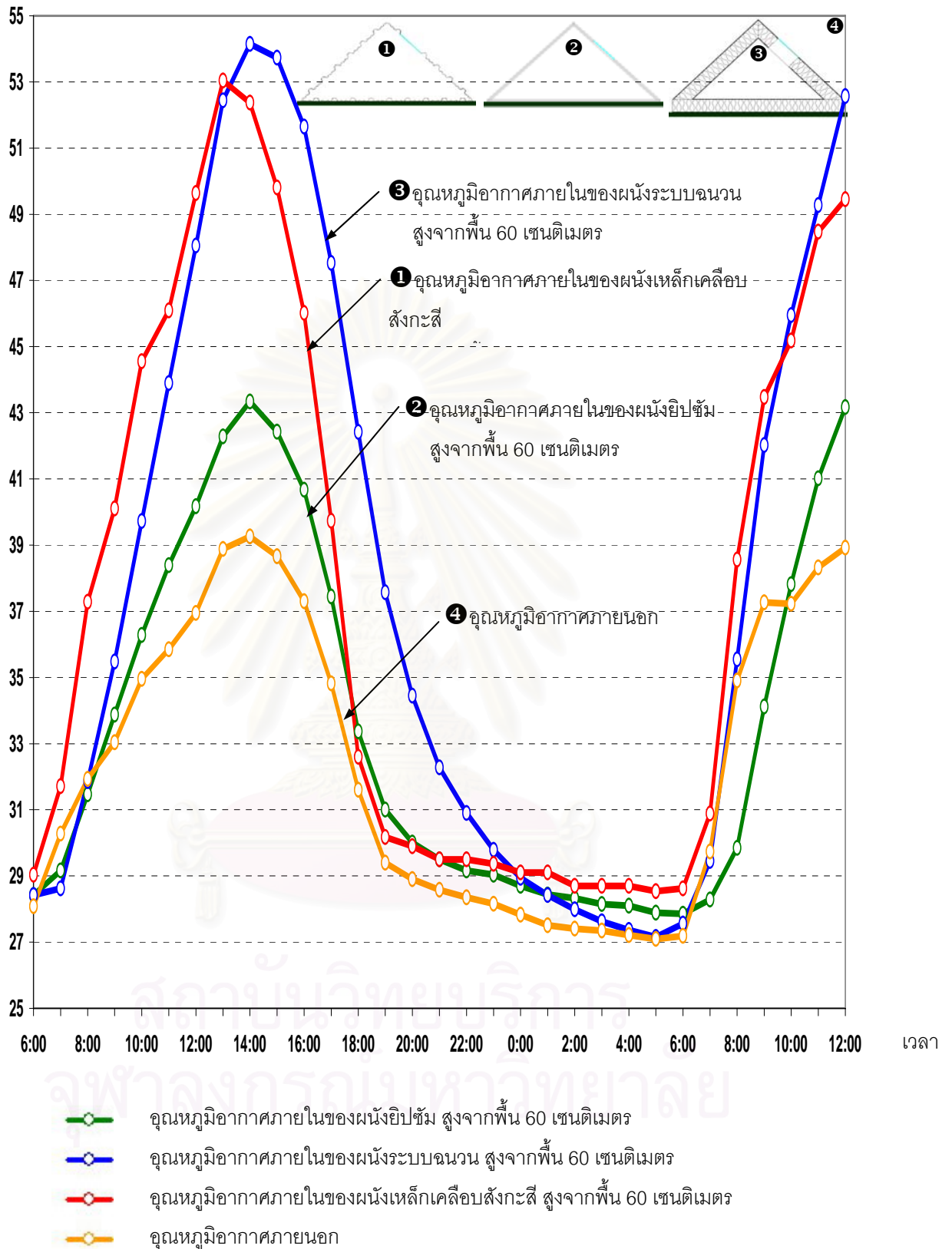


อุณหภูมิ (°C)



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริระมิด ที่ความสูง 45 เซนติเมตร ของวัสดุต่าง ๆ เปรียบเทียบ อุณหภูมิอากาศ ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550

อุณหภูมิ (°C)



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตร ที่ความสูง 60 เซนติเมตร ของวัสดุต่างๆ เปรียบเทียบ อุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 6-7 เมษายน 2550

### วิเคราะห์และอภิปรายผลผนัง 3 ชนิด ในระดับต่าง ๆ

อุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปิระมิด วัดที่ระดับความสูงจากพื้น 15 30 45 และ 60 เซนติเมตร และทำการเปรียบเทียบวัสดุต่างชนิดในแต่ละระดับ พบว่า

- ระดับความสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร แบบทดลองผนังเหล็กเคลือบสังกะสีมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 51.17 องศาเซลเซียส แบบทดลองผนังยิปซัมมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 41.68 องศาเซลเซียส และแบบทดลองผนังระบบฉนวนมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 53.18 องศาเซลเซียส แบบทดลองผนังระบบฉนวน มีอุณหภูมิอากาศภายในแบบจำลองสูงสุด

- ระดับความสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร แบบทดลองผนังเหล็กเคลือบสังกะสีมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 53.62 องศาเซลเซียส แบบทดลองผนังยิปซัมมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 51.98 องศาเซลเซียส และแบบทดลองผนังระบบฉนวนมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 41.83 องศาเซลเซียส แบบทดลองผนังระบบฉนวน มีอุณหภูมิอากาศภายในแบบจำลองสูงสุด

- ระดับความสูงจากพื้น 45 เซนติเมตร แบบทดลองผนังเหล็กเคลือบสังกะสีมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 53.88 องศาเซลเซียส แบบทดลองผนังยิปซัมมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 52.41 องศาเซลเซียส และแบบทดลองผนังระบบฉนวนมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 43.18 องศาเซลเซียส แบบทดลองผนังระบบฉนวน มีอุณหภูมิอากาศภายในแบบจำลองสูงสุด

- ระดับความสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร แบบทดลองผนังเหล็กเคลือบสังกะสีมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 54.00 องศาเซลเซียส แบบทดลองผนังยิปซัมมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 53.04 องศาเซลเซียส และแบบทดลองผนังระบบฉนวนมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด 43.34 องศาเซลเซียส แบบทดลองผนังระบบฉนวน มีอุณหภูมิอากาศภายในแบบจำลองสูงสุด

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า กรณีเปิดช่องแสงอุณหภูมิอากาศภายในในแนวตั้งมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงมาก เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์โดยตรง ทำให้มีการสะสมความร้อนภายในอาคารสูง และความร้อนลอยตัวขึ้นที่สูงทำให้อุณหภูมิอากาศในระดับสูงจากพื้น 45 และ 60 เซนติเมตร สูงกว่าอุณหภูมิอากาศในระดับสูงจากพื้น 15 และ 20 เซนติเมตร มาก และจากกราฟนี้จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศภายในของผนังระบบฉนวนสูงกว่าผนังเหล็กเคลือบสังกะสี เนื่องจากขณะที่อุณหภูมิอากาศภายนอกลดลง อุณหภูมิอากาศภายในของผนังเหล็กเคลือบสังกะสี

ก็ลดลงตามไปด้วยแต่ผนังระบบฉนวนกลับสูงขึ้นเนื่องจากการห่อหุ้มเหนียวความร้อนของวัสดุทำให้ยังมีการสะสมความร้อนอยู่ก่อนที่จะถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกในช่วงหลัง

#### 4.1.2 กรณีที่ 2 แบบปิดช่องแสง

เพื่อศึกษาความแตกต่างของอุณหภูมิในระนาบและความสูงต่าง ๆ ภายในอาคารรูปทรงปิระมิด



ภาพที่ 4.7 แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังเหล็กเคลือบสังกะสี

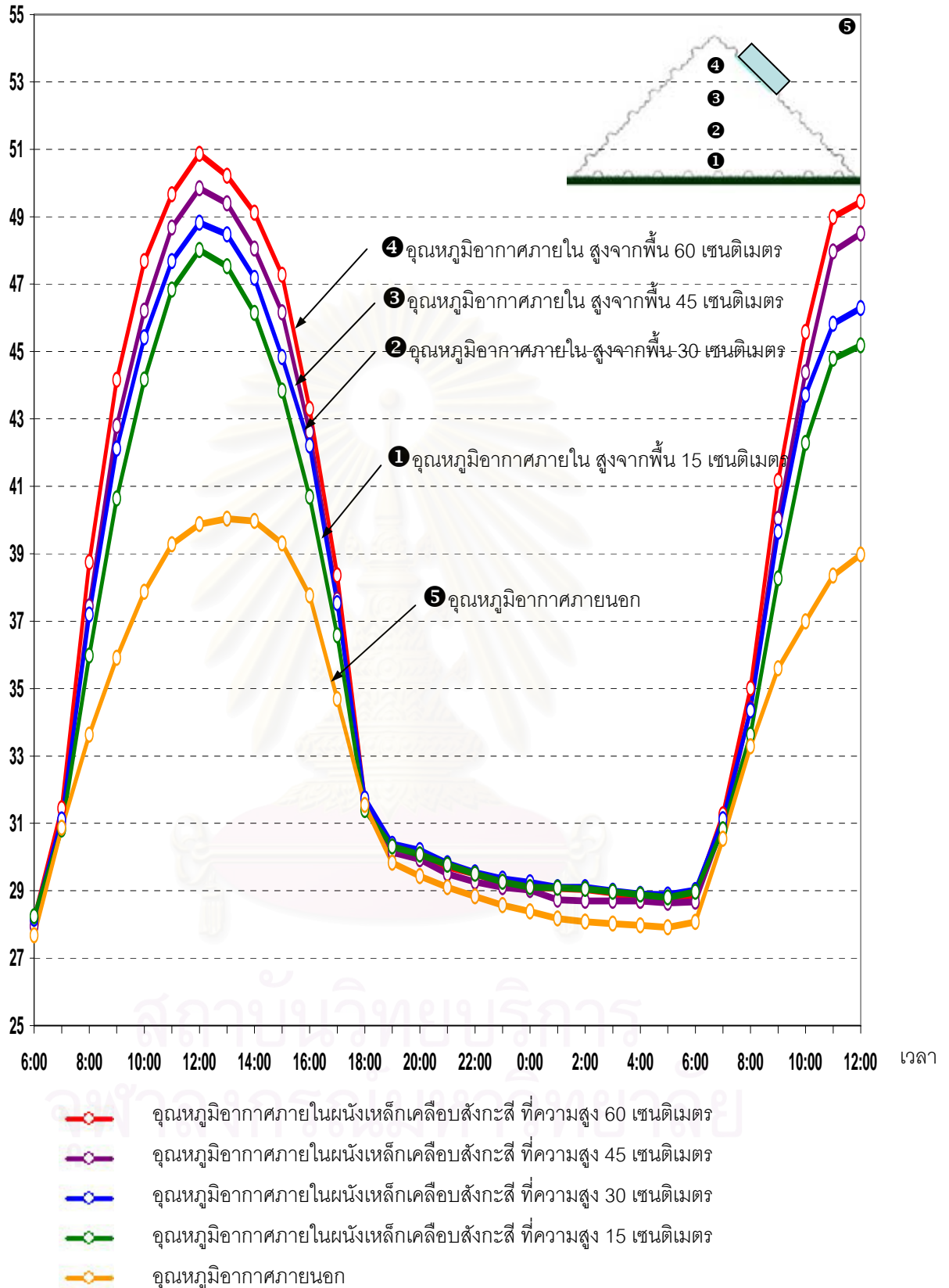


ภาพที่ 4.8 แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังยิปซัมทาสี



ภาพที่ 4.9 แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังระบบฉนวน

อุณหภูมิ (°C)



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังเหล็กกรีดลอนกรณีปิดช่องแสง เปรียบเทียบ

อุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 4-5 เมษายน 2550



## วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังเหล็กเคลือบสังกะสี

- ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 48.01 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 28.80 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 35.73 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 19.21 องศาเซลเซียส

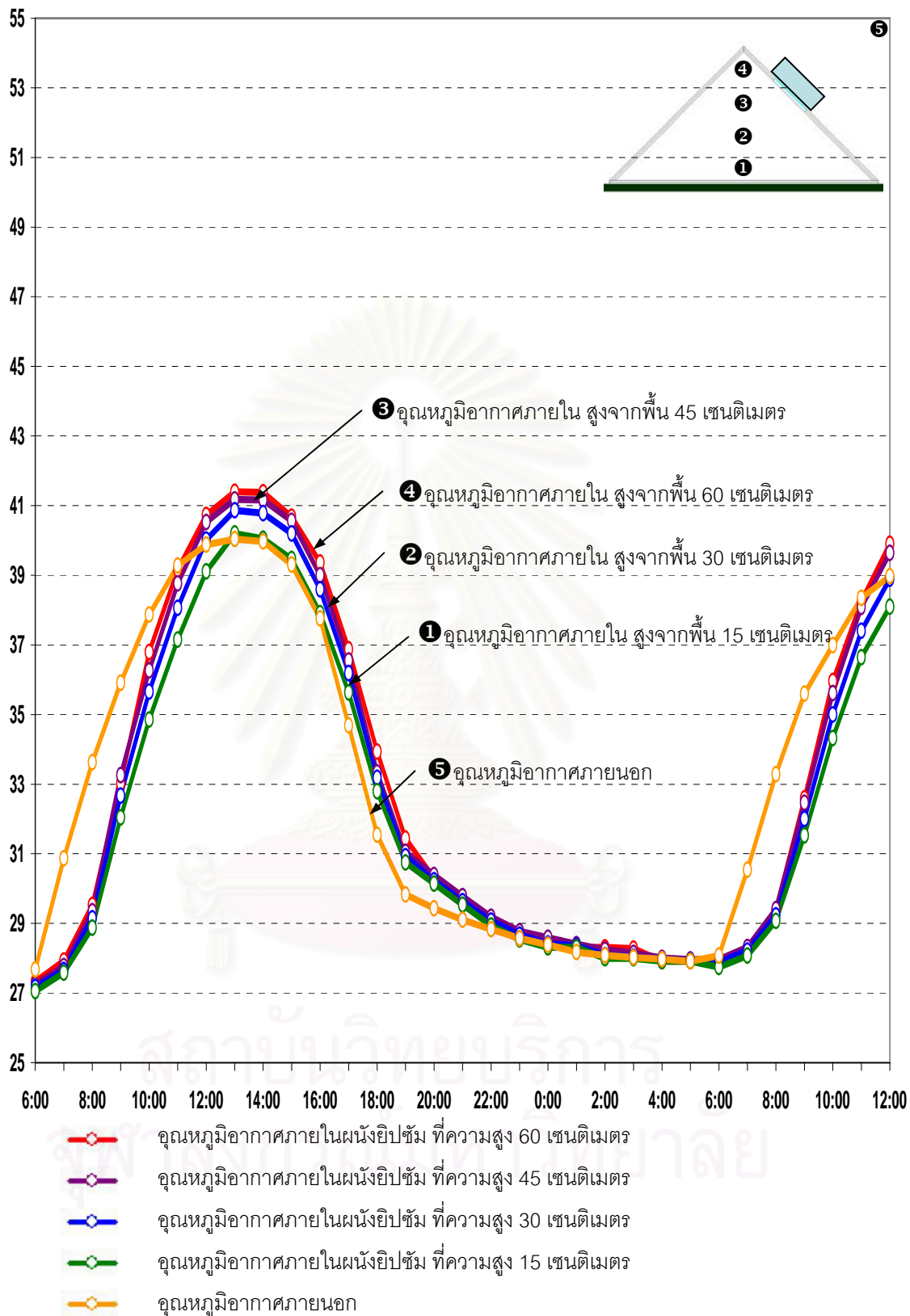
- ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 48.82 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 28.16 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 36.32 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 20.66 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 45 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 49.84 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.95 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 36.60 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 21.89 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 50.86 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 28.18 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 37.21 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 22.68 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงขึ้น ความร้อนจะส่งผ่านผนังเข้ามาภายในอาคารอย่างรวดเร็ว ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในสูงมาก และในช่วงเวลาเย็น-ค่ำ เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกเย็นลงแล้ว ความร้อนที่สะสมอยู่ในอาคารก็ถ่ายเทออกสู่ภายนอก ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าต่ำ เนื่องจากผนังเหล็กรีดลอนมีค่าการสะสมความร้อนต่ำทำให้ความร้อนส่งผ่านเข้ามาภายในอาคารได้อย่างรวดเร็ว และคายความร้อนออกสู่ภายนอกได้เร็วเช่นกัน

อุณหภูมิ ( °C )



แผนภูมิที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปิระมิดของผนังยิปซั่มกรณีเปิดช่องแสง เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 4-5 เมษายน 2550

## วิเคราะห์และอภิปรายผลผ่นงัยปซัม

- ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 40.20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.06 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 32.08 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงสุดใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 13.00 – 16.00 น. โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 13.14 องศาเซลเซียส

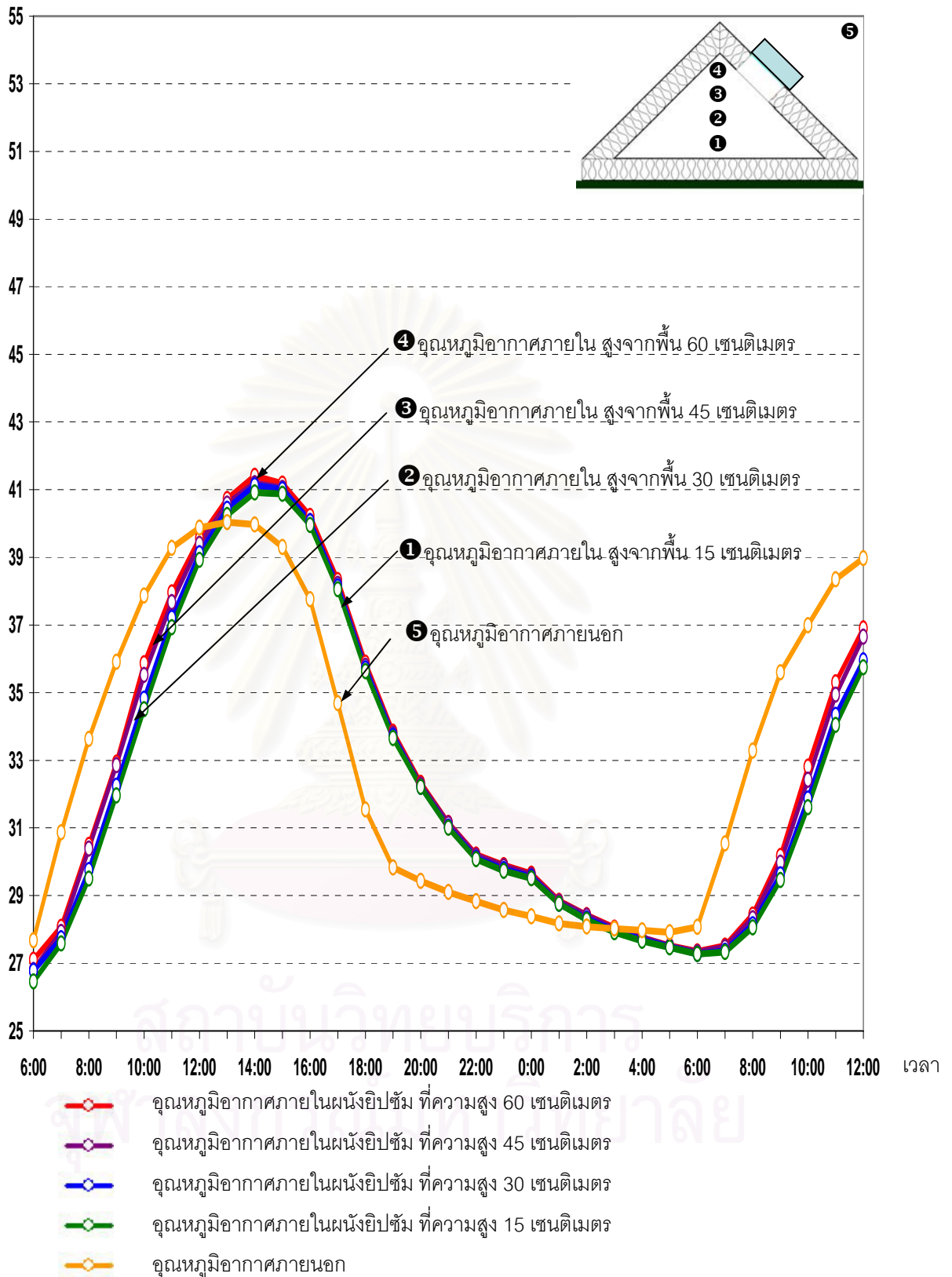
- ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 40.86 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.17 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 32.46 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 12.00 – 22.00 น. โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 14.69 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 45 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 41.18 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.24 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 32.74 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 12.00 – 22.00 น. โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 13.94 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 41.40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.32 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 32.87 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 12.00 – 22.00 น. โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 14.04 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงนั้น ความร้อนจะค่อย ๆ ส่งผ่านผนังเข้ามาภายในอาคาร ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงขึ้นในเวลาถัดมา และในช่วงเวลาเย็น-ค่ำ เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกเย็นลงแล้ว ความร้อนที่สะสมอยู่ในอาคารก็ค่อย ๆ ถ่ายเทออกสู่ภายนอก ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าต่ำ เนื่องจากผนังมีค่าการสะสมความร้อนพอสมควร ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อย

อุณหภูมิ (°C)



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังระบบฉนวนกรณีปิดช่องแสง เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศ ณ วันที่ 4-5 เมษายน 2550

## วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังระบบฉนวน

- ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 40.92 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 26.46 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 32.30 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 13.00 – 02.00 น. ของวันรุ่งขึ้น โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 14.46 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 41.12 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.78 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 32.43 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 13.00 – 02.00 น. ของวันรุ่งขึ้น โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 14.34 องศาเซลเซียส

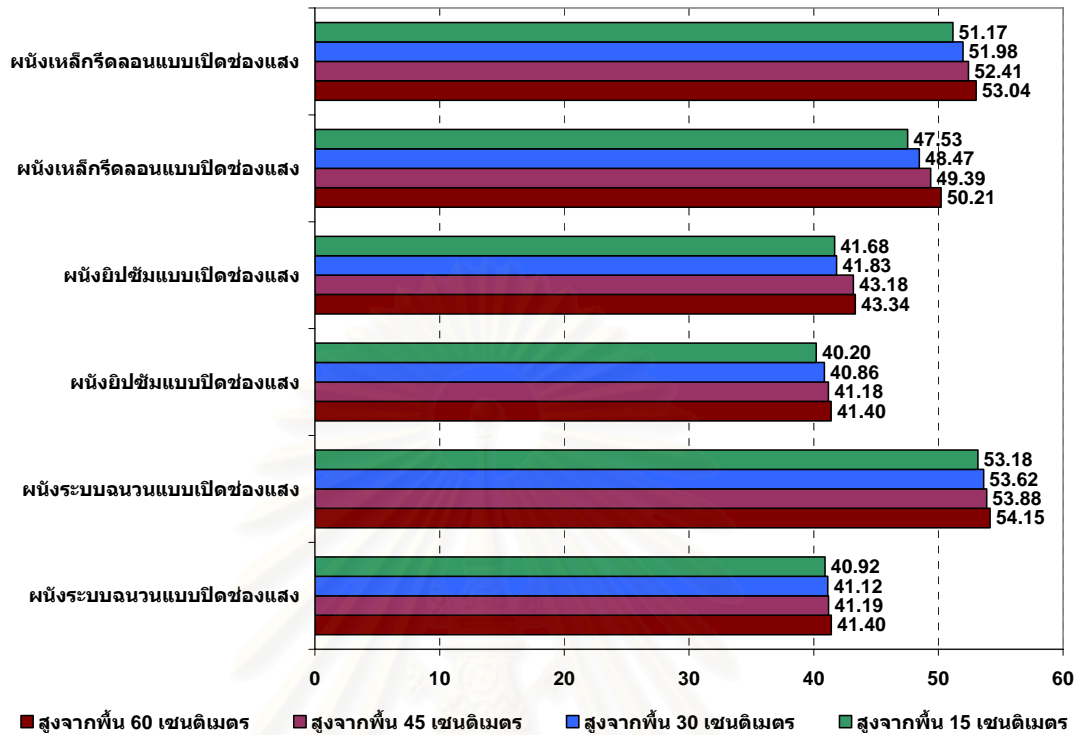
- ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 45 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 41.19 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 26.80 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 32.64 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 13.00 – 02.00 น. ของวันรุ่งขึ้น โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 14.39 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 41.40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 27.10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 32.77 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 13.00 – 02.00 น. ของวันรุ่งขึ้น โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 14.3 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางวันที่อุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าสูงนั้น ความร้อนจะค่อย ๆ ส่งผ่านผนังเข้ามาภายในอาคาร ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงขึ้นในเวลาถัดมา และในช่วงเวลาเย็น-ค่ำ เมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกเย็นลงแล้ว ความร้อนที่สะสมอยู่ในอาคารก็ค่อย ๆ ถ่ายเทออกสู่ภายนอก ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารต่ำลงในช่วงเช้ามืด แต่เนื่องจากผนังระบบฉนวนมีค่าการสะสมความร้อนต่ำแต่มีความเป็นฉนวนสูง ทำให้ความร้อนที่สะสมอยู่ในอาคารไม่สามารถถ่ายเทออกมาภายนอกอาคารได้ทัน ภายในอาคารจึงร้อนอยู่



ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในปิดช่องแสงเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในเปิดช่องแสง

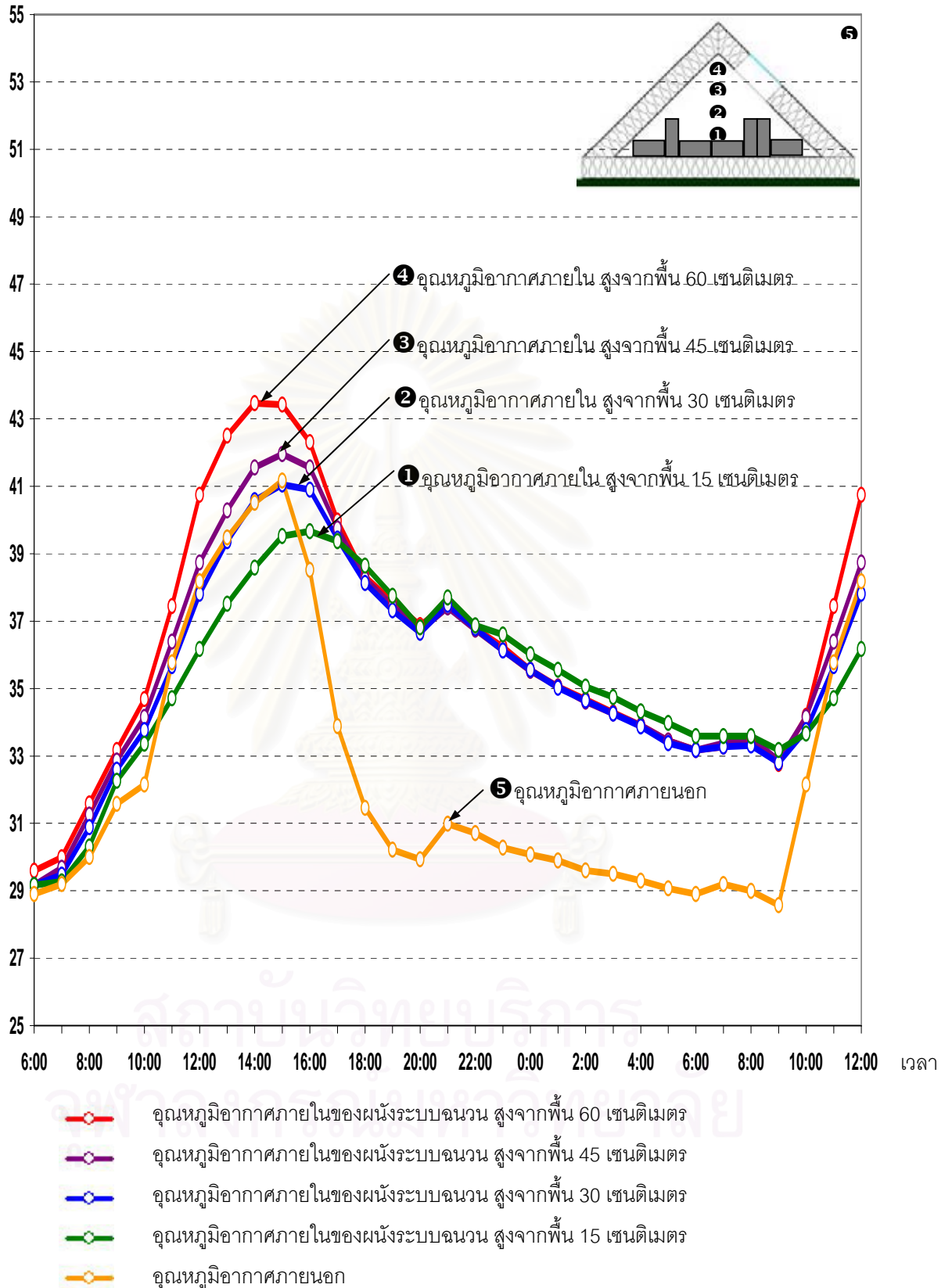


แผนภูมิที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับความสูงต่าง ๆ ระหว่างรูปทรงปริมาตรของผนังแต่ละประเภทที่เปิดช่องแสงและปิดช่องแสง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า รูปทรงปริมาตรของผนังทั้ง 3 ชนิด ที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ผ่านช่องแสง มีอุณหภูมิอากาศภายในตลอดทั้งวันใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศภายนอกและมีอุณหภูมิต่ำกว่ารูปทรงปริมาตรที่เปิดช่องแสง เนื่องจากรูปทรงปริมาตรที่เปิดช่องแสงได้รับผลกระทบจากปริมาณพลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างรุนแรงและรวดเร็วจากช่องแสง ส่งผลให้ค่า  $\Delta T$  ระหว่างภายนอกและภายในห้องมีค่าสูงกว่ารูปทรงปริมาตรที่ปิดช่องแสงที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ รูปทรงปริมาตรที่เปิดช่องแสงจึงมีพลังงานถ่ายเทเข้าสู่ภายในห้องด้วยอัตราที่สูงกว่าเป็นผลให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศตลอดวันสูงกว่ารูปทรงปริมาตรที่ปิดช่องแสง

จากผลการทดลอง อุณหภูมิอากาศภายในของผนังระบบฉนวนกรณีเปิดช่องแสง มีอุณหภูมิสูงมาก จึงใส่ฉนวนลึอกซึ่งเป็นวัสดุฉนวนสารมากเพื่อสังเกตอุณหภูมิอากาศภายในเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในของผนังยิปซั่ม

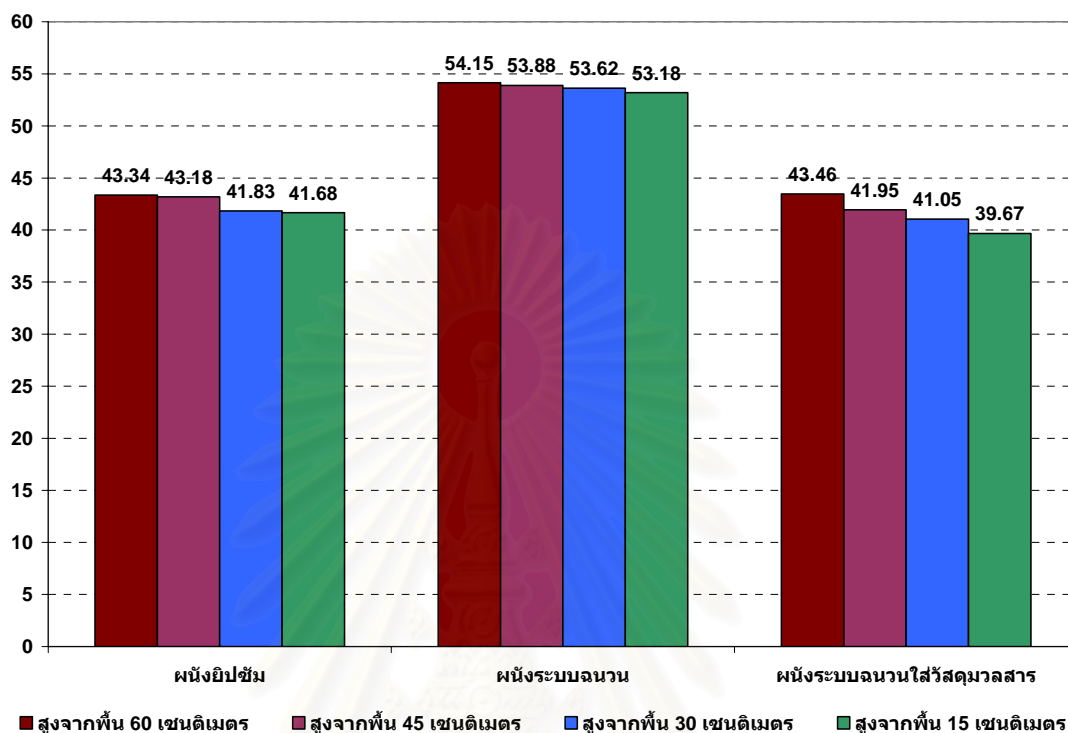
อุณหภูมิ (°C)



แผนภูมิที่ 4.12 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังระบบฉนวนกรณีใส่อิฐบล็อก เปรียบเทียบ

อุณหภูมิอากาศ ณ วันที่ 18-19 เมษายน 2550

เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ของรูปทรงปิระมิดผนังยิปซัม ผนังระบบฉนวน และผนังระบบฉนวนใส่วัสดุมวลสารที่เปิดช่องแสง



แผนภูมิที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุด ของรูปทรงปิระมิดผนังยิปซัม ผนังระบบฉนวน และผนังระบบฉนวนใส่วัสดุมวลสารที่เปิดช่องแสง

#### วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังระบบฉนวนและผนังยิปซัม

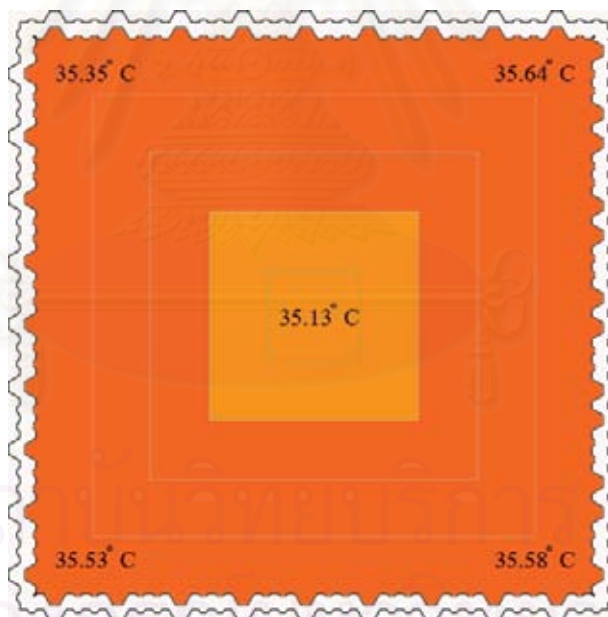
ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า รูปทรงปิระมิดผนังระบบฉนวนใส่วัสดุมวลสาร มีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่ารูปทรงปิระมิดผนังระบบฉนวนที่ไม่ใส่วัสดุมวลสาร เนื่องจากวัสดุมวลสารดูดซับความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในห้อง มีผลทำให้มีอุณหภูมิสูงสุดใกล้เคียงกับรูปทรงปิระมิดผนังยิปซัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

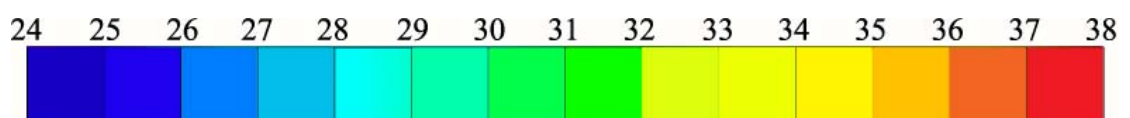
วิเคราะห์อุณหภูมิอากาศภายในแนวระดับและแนวตั้ง กรณีเปิดช่องแสงและปิดช่องแสง  
ผนังเหล็กเคลือบสังกะสี



เปิดช่องแสง

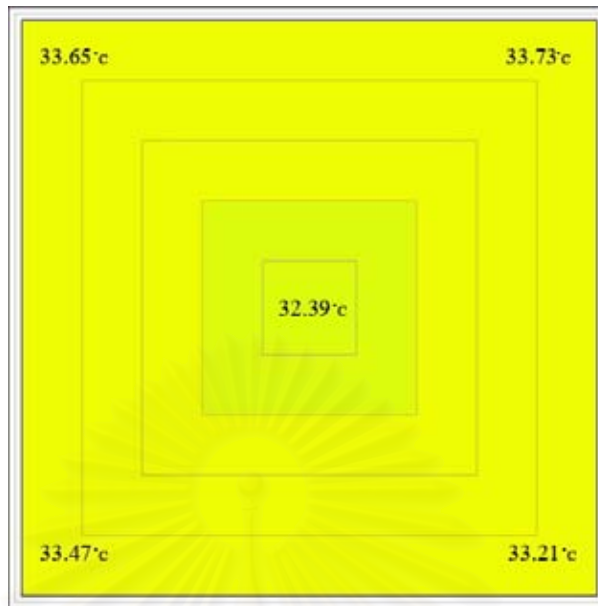


ปิดช่องแสง

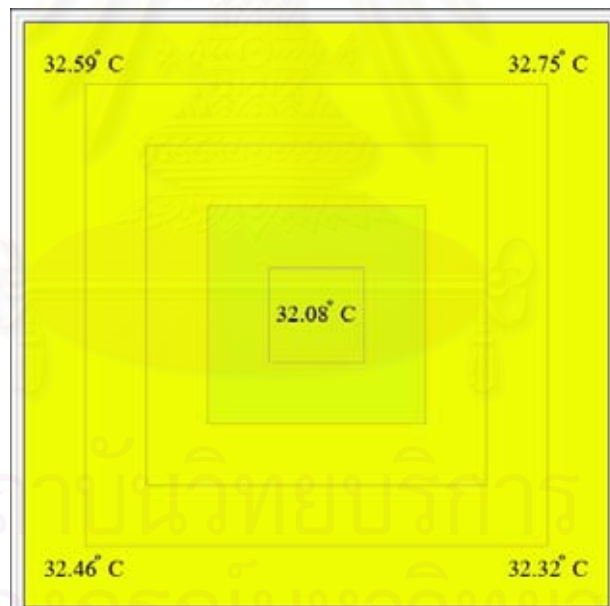


ภาพที่ 4.10 แสดงแบบแปลนคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังเหล็กเคลือบสังกะสี ที่ระดับ 15 เซนติเมตร

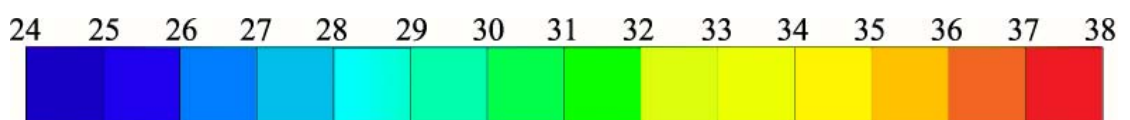
# ผนังยิปซั่ม



เปิดช่องแสง



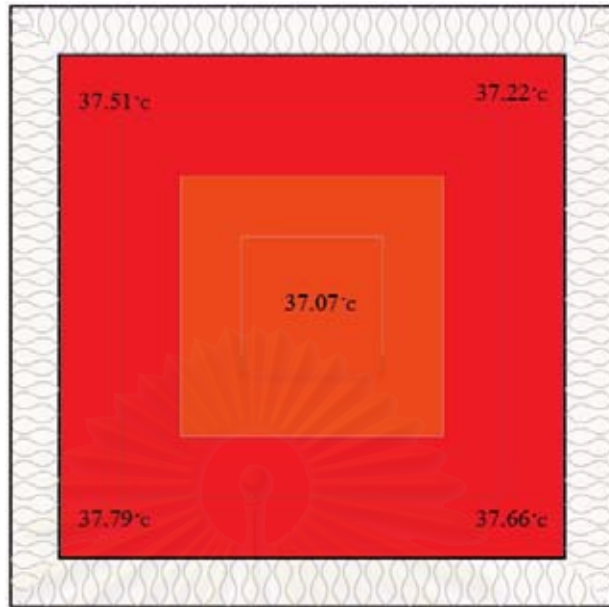
ปิดช่องแสง



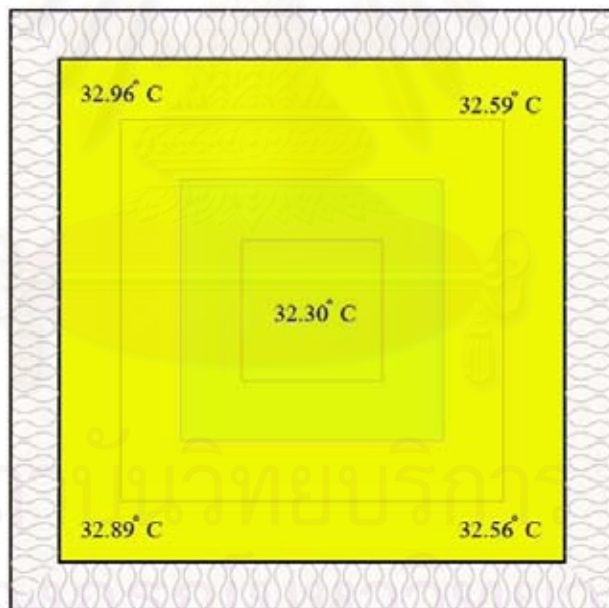
ภาพที่ 4.11 แสดงแบบแปลนคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังยิปซั่ม ที่ระดับ 15 เซนติเมตร



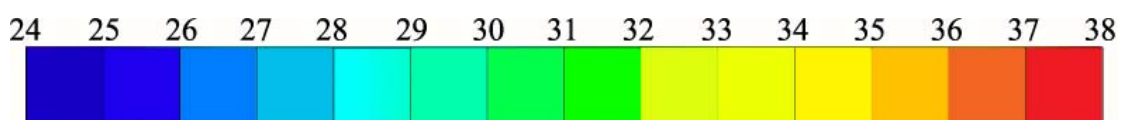
## ผนังระบบฉนวน



เปิดช่องแสง



ปิดช่องแสง



ภาพที่ 4.12 แสดงแบบแปลนคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังระบบฉนวน ที่ระดับ 15 เซนติเมตร

### วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังเหล็กเคลือบสังกะสีกรณีเปิดช่องแสงและปิดช่องแสงในแนวระนาบ

ในกรณีเปิดช่องแสง อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ที่ระดับความสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร ที่จุดกึ่งกลางปริมาตรมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ที่มุมทั้ง 4 ของปริมาตร ประมาณ 2 องศาเซลเซียส ส่วนในกรณีปิดช่องแสง ที่จุดกึ่งกลางปริมาตรมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ที่มุมทั้ง 4 ของปริมาตรประมาณ 0.4 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความต่างของอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยสูงกว่ากรณีเปิดช่องแสง เนื่องจากกรณีปิดช่องแสง ไม่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์โดยตรง ทำให้ภายในอาคารมีการสะสมความร้อนน้อยกว่า

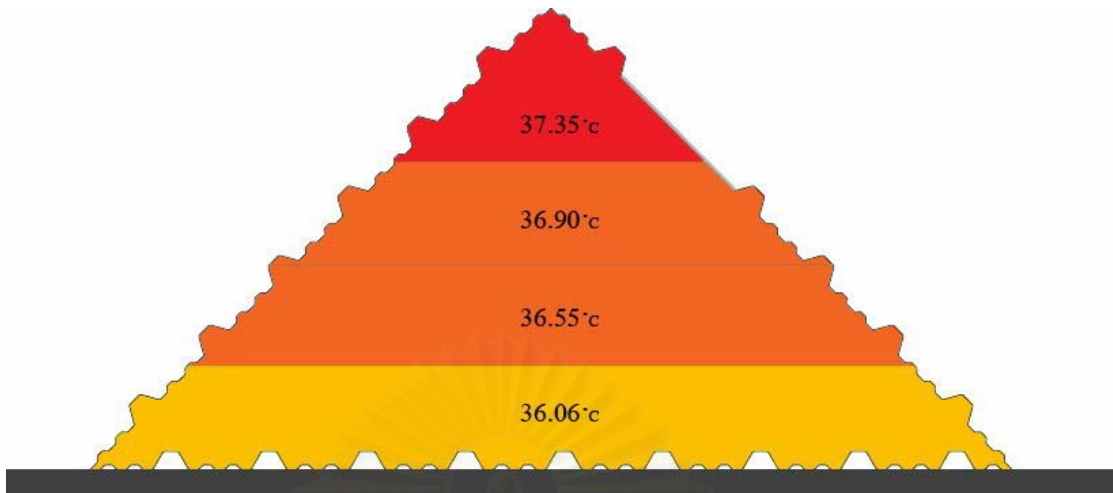
### วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังยิปซัมกรณีเปิดช่องแสงและปิดช่องแสงในแนวระนาบ

ในกรณีเปิดช่องแสง อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ที่ระดับความสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร ที่จุดกึ่งกลางปริมาตรมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ที่มุมทั้ง 4 ของปริมาตร ประมาณ 1 องศาเซลเซียส ส่วนในกรณีปิดช่องแสง ที่จุดกึ่งกลางปริมาตรมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ที่มุมทั้ง 4 ของปริมาตรประมาณ 0.4 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความต่างของอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย สูงกว่ากรณีเปิดช่องแสง เนื่องจากกรณีปิดช่องแสง ไม่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์โดยตรง ทำให้ภายในอาคารมีการสะสมความร้อนน้อยกว่า

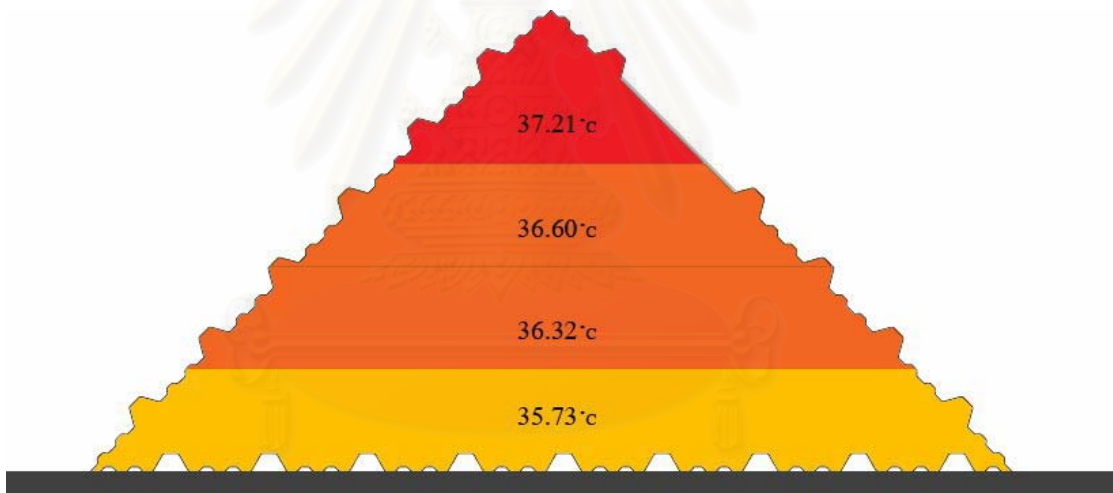
### วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังระบบฉนวนกรณีเปิดช่องแสงและปิดช่องแสงในแนวระนาบ

ในกรณีเปิดช่องแสง อุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับความสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร ที่จุดกึ่งกลางปริมาตรมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ที่มุมทั้ง 4 ของปริมาตรประมาณ 0.6 องศาเซลเซียส ส่วนในกรณีปิดช่องแสง ที่จุดกึ่งกลางปริมาตรมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ที่มุมทั้ง 4 ของปริมาตรประมาณ 0.3 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความต่างของอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย สูงกว่ากรณีเปิดช่องแสง เนื่องจากกรณีปิดช่องแสง ไม่ได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์โดยตรง ทำให้ภายในอาคารมีการสะสมความร้อนน้อยกว่า

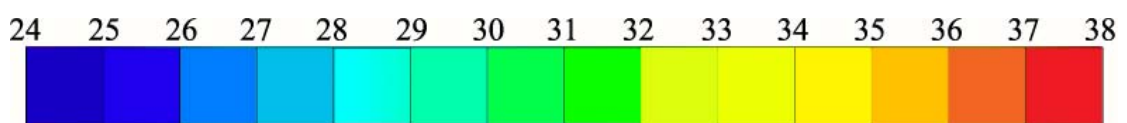
ผนังเหล็กเคลือบสังกะสี



เปิดช่องแสง

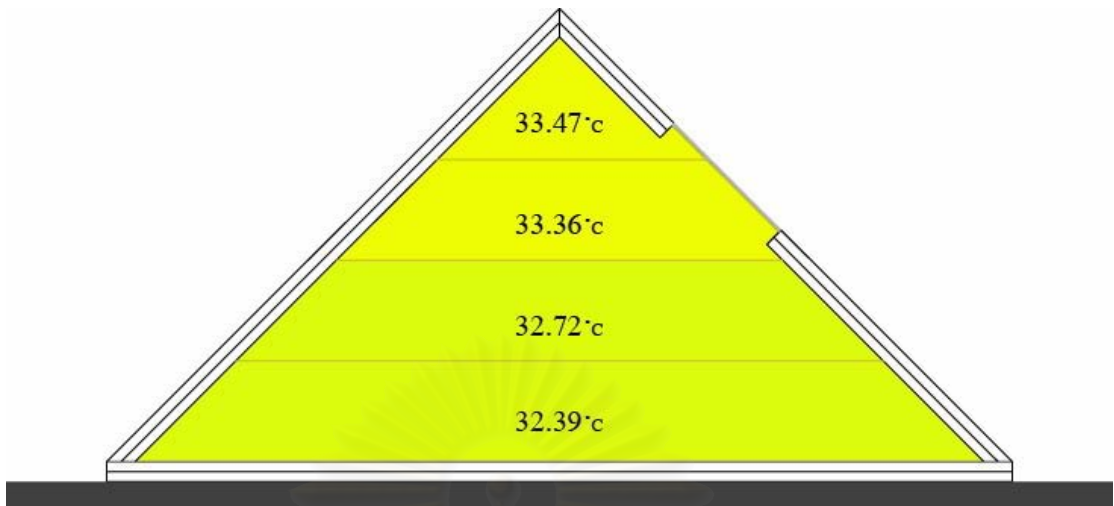


ปิดช่องแสง

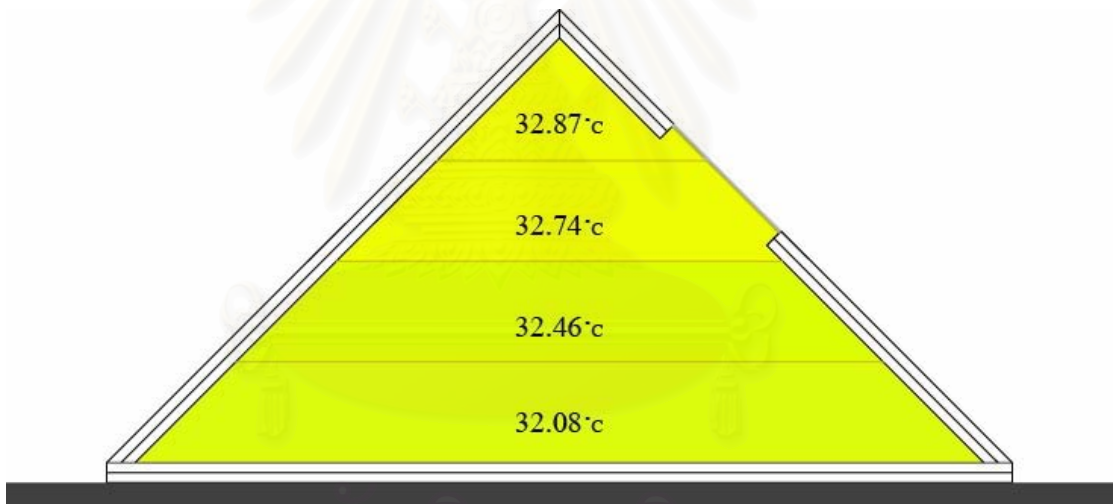


ภาพที่ 4.13 แสดงรูปตัดคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังเหล็กที่ดลอน ที่ความสูง 15 30 45 และ 60 เซนติเมตร

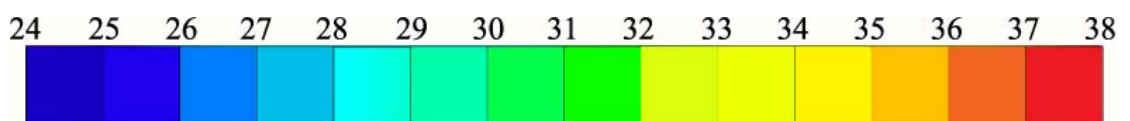
ผนังยิปซั่ม



เปิดช่องแสง

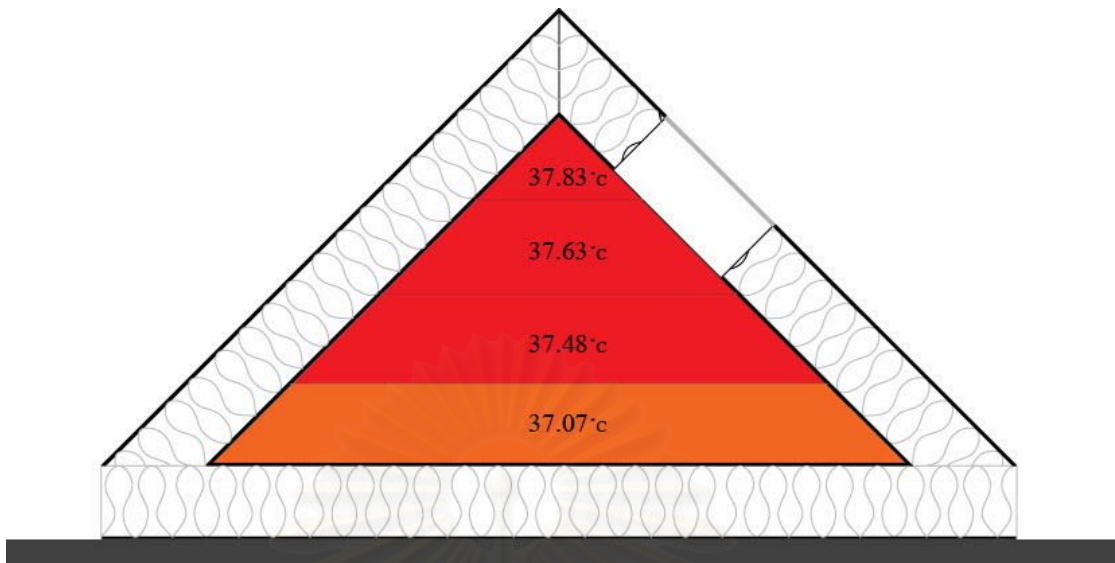


ปิดช่องแสง

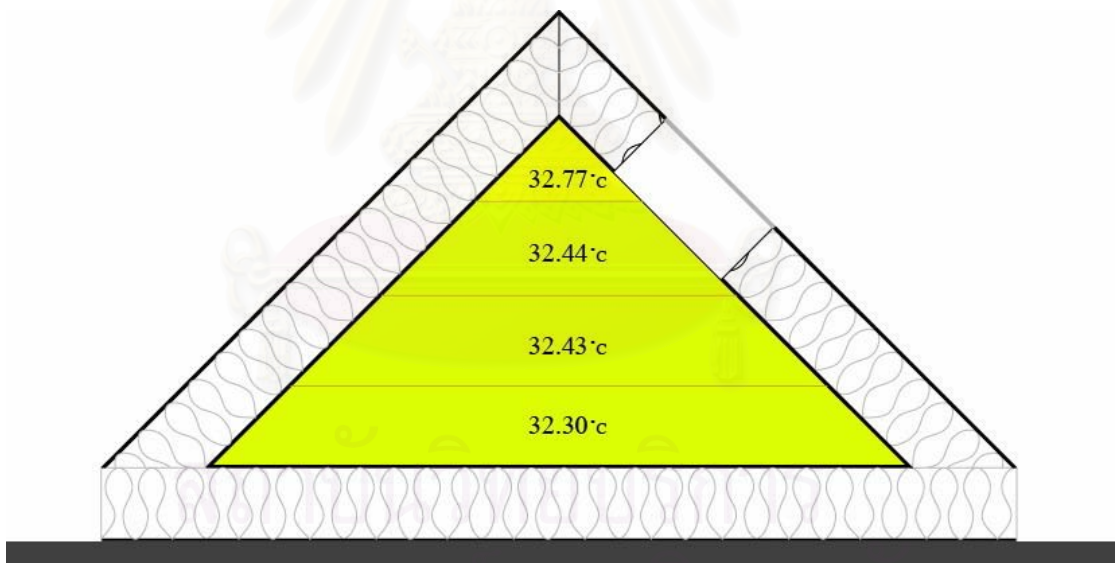


ภาพที่ 4.14 แสดงรูปตัดคอนทอร์มความร้อนเฉลี่ยของผนังยิปซั่ม ที่ความสูง 15 30 45 และ 60 เซนติเมตร

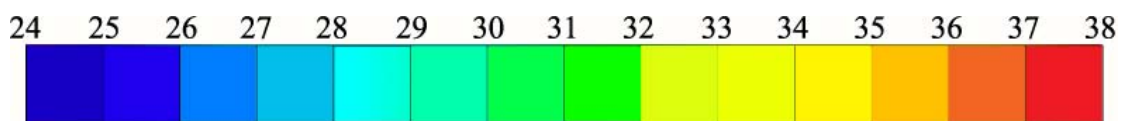
## ผนังระบบฉนวน



เปิดช่องแสง



ปิดช่องแสง



ภาพที่ 4.15 แสดงรูปตัดคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังระบบฉนวน ที่ความสูง 15 30 45 และ 60 เซนติเมตร



### วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังเหล็กเคลือบสังกะสีกรณีเปิดช่องแสงและปิดช่องแสงในแนวระดิ่ง

ในกรณีเปิดช่องแสง อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ที่ระดับความสูงจากพื้น 15 30 45 และ 60 เซนติเมตร มีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ใกล้เคียงกับกรณีปิดช่องแสงมาก เนื่องจากวัสดุมีค่าการสะสมความร้อนต่ำ ให้ความร้อนถ่ายเทเข้าไปในอาคารสูง

### วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังยิปซัมกรณีเปิดช่องแสงและปิดช่องแสงในแนวระดิ่ง

ในกรณีเปิดช่องแสง อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ที่ระดับความสูงจากพื้น 15 30 45 และ 60 เซนติเมตร มีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย สูงกว่ากรณีปิดช่องแสงไม่มาก เนื่องจากวัสดุมีค่าการสะสมความร้อนพอสมควร ให้ความกรณีเปิดช่องแสงมีการสะสมความร้อนในอาคารมากกว่า เนื่องจากอิทธิพลจากดวงอาทิตย์

### วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังระบบฉนวนกรณีเปิดช่องแสงและปิดช่องแสงในแนวระดิ่ง

ในกรณีเปิดช่องแสง อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย ที่ระดับความสูงจากพื้น 15 30 45 และ 60 เซนติเมตร มีอุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ย สูงกว่ากรณีปิดช่องแสงมาก เนื่องจากวัสดุมีค่าการสะสมความต่ำแต่มีค่าความเป็นฉนวนสูง ให้ความกรณีเปิดช่องแสงมีการสะสมความร้อนในอาคารมากกว่า เนื่องจากอิทธิพลจากดวงอาทิตย์โดยตรงที่ส่งผ่านช่องเปิดเข้าไปในอาคาร

จากผลการทดลองสรุปว่า อุณหภูมิอากาศภายในในแนวระดับทั้ง 5 จุด อุณหภูมิอากาศภายในที่มุมทั้ง 4 ของปริมาตร มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในที่จุดกึ่งกลางปริมาตร ประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส ในระดับเดียวกัน ที่ความสูงจากพื้น 15 เซนติเมตร ทั้งกรณีปิดช่องแสงและเปิดช่องแสง เนื่องจากได้รับอิทธิพลความร้อนจากผนังด้านข้างที่คายความร้อนออกมา ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในแนวตั้ง อุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับล่างจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับสูงกว่า เนื่องจากความร้อนลอยตัวสูงขึ้น ให้อุณหภูมิอากาศภายในระดับบนร้อนกว่าระดับล่าง

#### 4.1.3 กรณีที่ 3 แบบเปิดช่องแสงปรับอากาศ



ภาพที่ 4.16 แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังเหล็กเคลือบสังกะสี

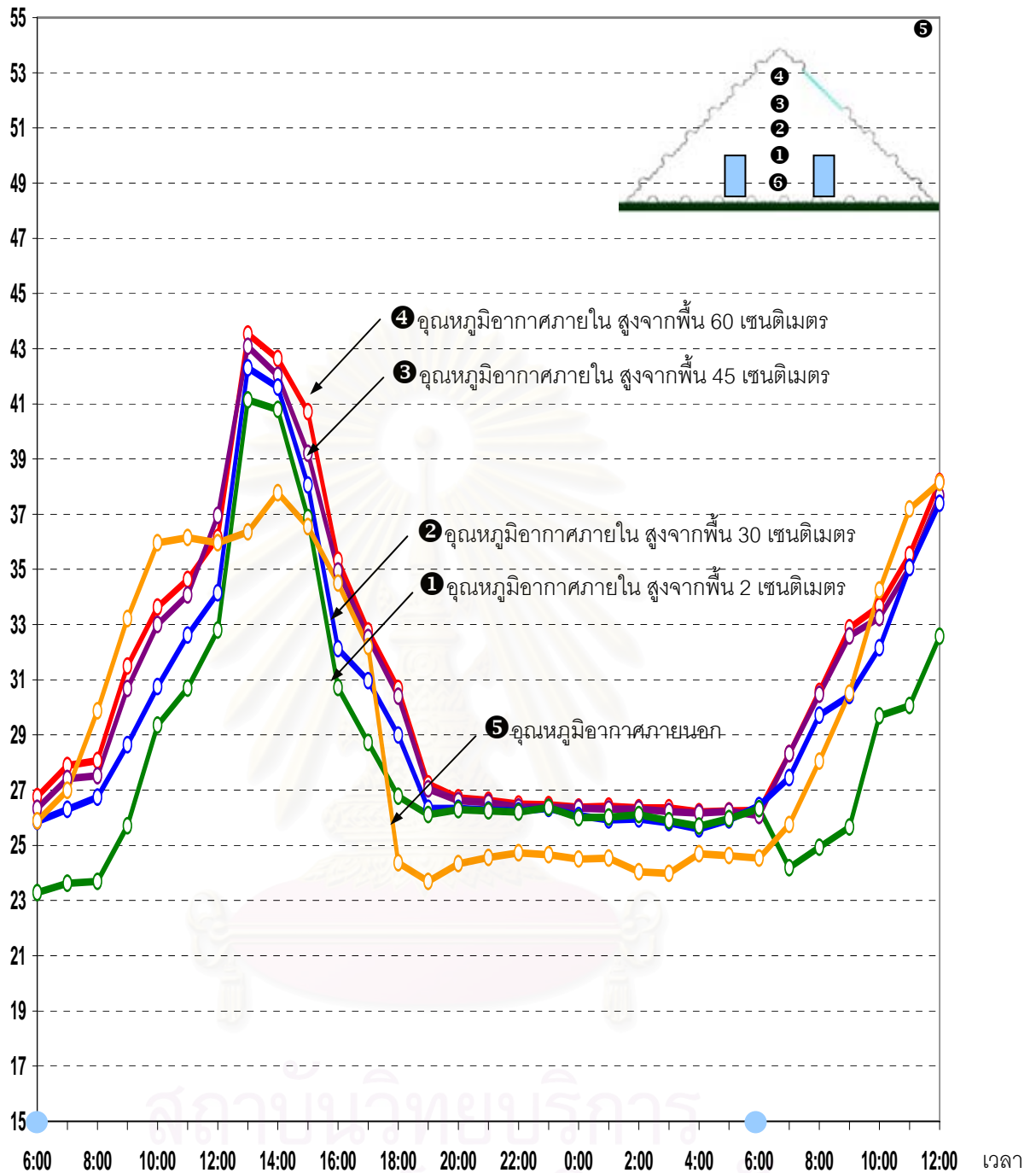


ภาพที่ 4.17 แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังยิปซัมทาสี



ภาพที่ 4.18 แสดงแบบจำลองรูปทรงปิระมิดผนังระบบฉนวน

อุณหภูมิ (°C)



- อุณหภูมิอากาศภายในผนังเหล็กเคลือบสังกะสี ที่ความสูง 60 เซนติเมตร
- อุณหภูมิอากาศภายในผนังเหล็กเคลือบสังกะสี ที่ความสูง 45 เซนติเมตร
- อุณหภูมิอากาศภายในผนังเหล็กเคลือบสังกะสี ที่ความสูง 30 เซนติเมตร
- อุณหภูมิอากาศภายในผนังเหล็กเคลือบสังกะสี ที่ความสูง 2 เซนติเมตร
- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- เวลาที่ใส่น้ำแข็ง

แผนภูมิที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังเหล็กเคลือบสังกะสีกรณีเปิดช่องแสงปรับอากาศ เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 5-6 พฤษภาคม 2550

## วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังเหล็กเคลือบสังกะสี

- ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 2 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 41.14 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 23.28 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 28.21 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 12.00-16.00 น. โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 17.86 องศาเซลเซียส

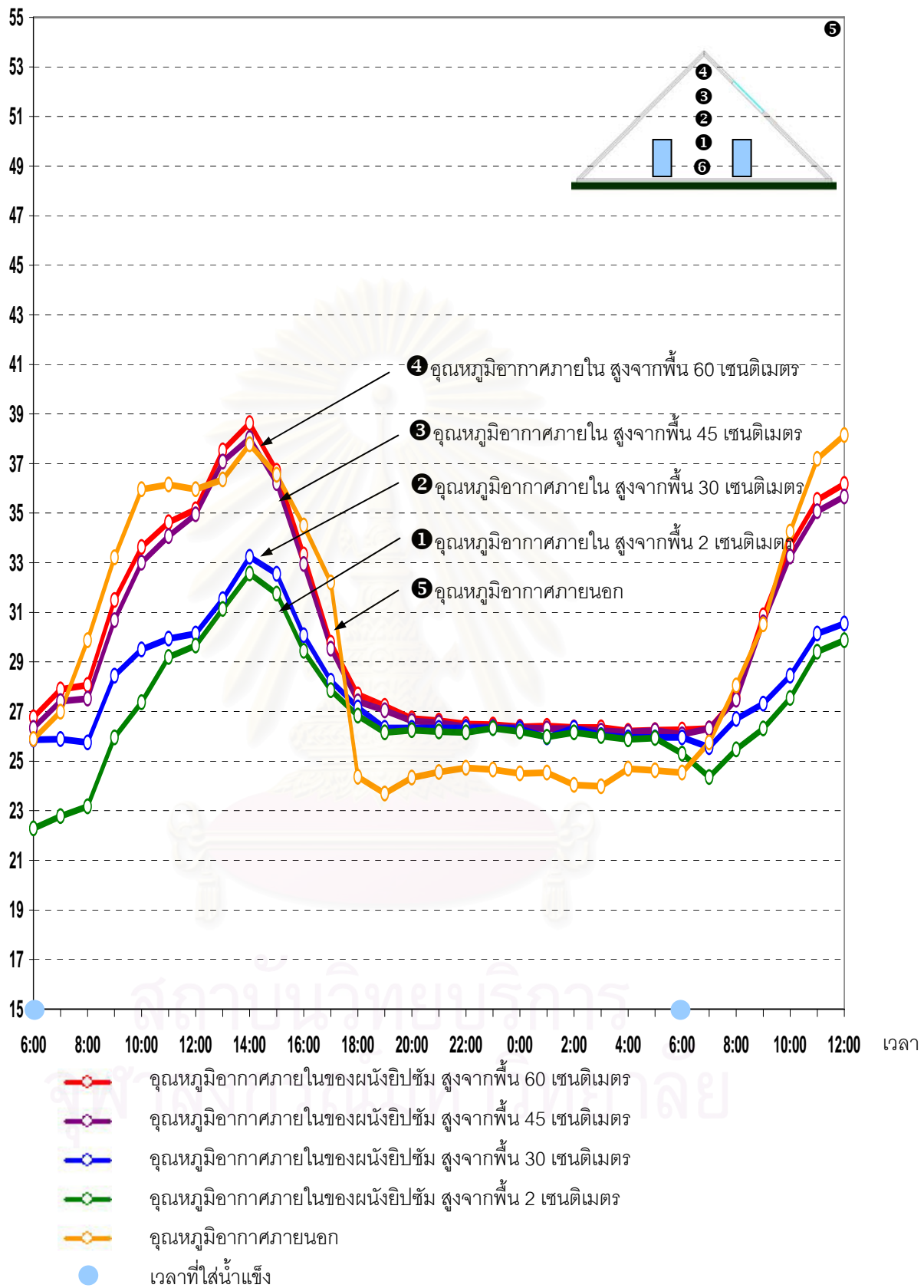
- ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 42.30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 25.82 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 29.83 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 12.00-16.00 น. โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 16.48 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 45 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 43.08 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 26.07 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 30.72 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 12.00-16.00 น. โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 17.01 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 43.53 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 26.22 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 31.01 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 12.00-16.00 น. โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 17.33 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ในช่วงเวลา 10.00-17.00 น. ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับ 2 เซนติเมตร ให้อยู่ในเขตสภาวะน่าสบายได้ เนื่องจากมีความร้อนถ่ายเทเข้ามาสะสมในอาคารมาก จนน้ำแข็งไม่สามารถให้ความเย็นได้เพียงพอ แต่ในช่วงเย็นที่ผนังมีการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอก อุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับ 2 เซนติเมตร สามารถลดอุณหภูมิให้อยู่ในเขตสภาวะน่าสบายได้ แม้ว่าจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

อุณหภูมิ (°C)



แผนภูมิที่ 4.15 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังยิปซัมกรณีเปิดช่องแสงปรับอากาศ เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 5-6 พฤษภาคม 2550



## วิเคราะห์และอภิปรายผลผ่นังยิปซัม

- ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 2 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 32.57 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 22.28 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 26.95 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 10.29 องศาเซลเซียส

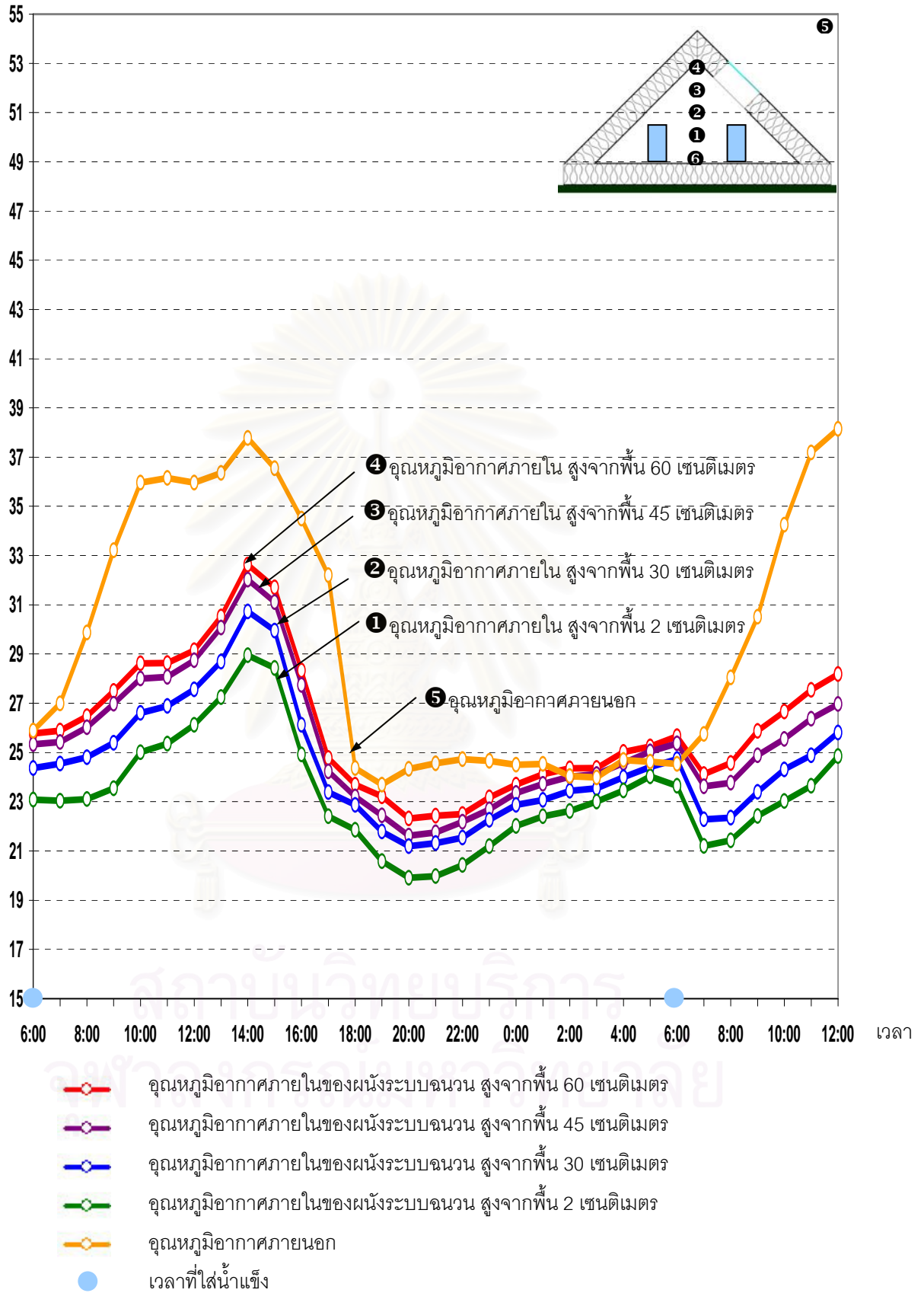
- ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 33.24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 25.56 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 27.78 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 7.68 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 45 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 38.03 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 26.07 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 29.68 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 13.00-15.00 น. โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 11.96 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 38.64 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 26.22 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 29.98 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 13.00-15.00 น. โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 10.42 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ในช่วงเวลา 10.00-17.00 น. ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับ 2 เซนติเมตร ให้อยู่ในเขตสภาวะน่าสบายได้ เนื่องจากมีความร้อนถ่ายเทเข้ามาสะสมในอาคารระดับหนึ่ง จนน้ำแข็งไม่สามารถให้ความเย็นได้เพียงพอ แต่สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับ 15 และ 30 เซนติเมตร ให้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกได้ในช่วงเวลา 18.00-7.00 น. ที่ผนังมีการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอก อุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับ 2 เซนติเมตร สามารถลดอุณหภูมิให้อยู่ในเขตสภาวะน่าสบายได้ แม้ว่าจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

อุณหภูมิ (°C)



แผนภูมิที่ 4.16 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของผนังระบบฉนวนกรณีเปิดช่องแสงปรับอากาศ  
เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 5-6 พฤษภาคม 2550

## วิเคราะห์และอภิปรายผลผนังระบบฉนวน

- ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 2 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 28.95 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 19.91 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 23.32 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 9.02 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 30 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 30.73 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 21.19 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 24.49 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 9.54 องศาเซลเซียส

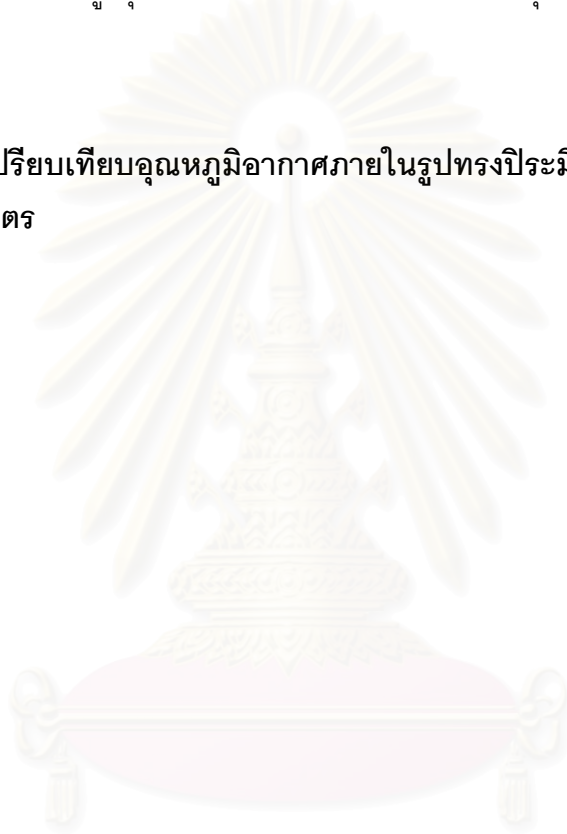
- ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 45 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 32.03 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 21.62 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 25.45 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 02.00-06.00 น. โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 10.41 องศาเซลเซียส

- ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 60 เซนติเมตร มีอุณหภูมิสูงสุด 32.64 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 22.32 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งวันอยู่ที่ 26.02 องศาเซลเซียส ลักษณะอุณหภูมิอากาศภายในชั้นนี้ จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 02.00-06.00 น. โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 10.32 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ในช่วงเวลา 13.00-15.00 น. เป็นช่วงเวลาเดียวที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับ 2 เซนติเมตร ให้อยู่ในเขตสภาวะน่าสบายได้ เนื่องจากมีความร้อนถ่ายเทเข้ามาสะสมในอาคารระดับหนึ่ง จนน้ำแข็งไม่สามารถให้ความเย็นได้เพียงพอ แต่ในช่วงเวลา 19.00-23.00 น. อุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับ 2 เซนติเมตร มีอุณหภูมิต่ำกว่าเขตสภาวะน่าสบาย เนื่องจากผนังมีการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกและยังได้รับความเย็นจากน้ำแข็งละลาย ที่ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับ 2 เซนติเมตร ต่ำลงไป

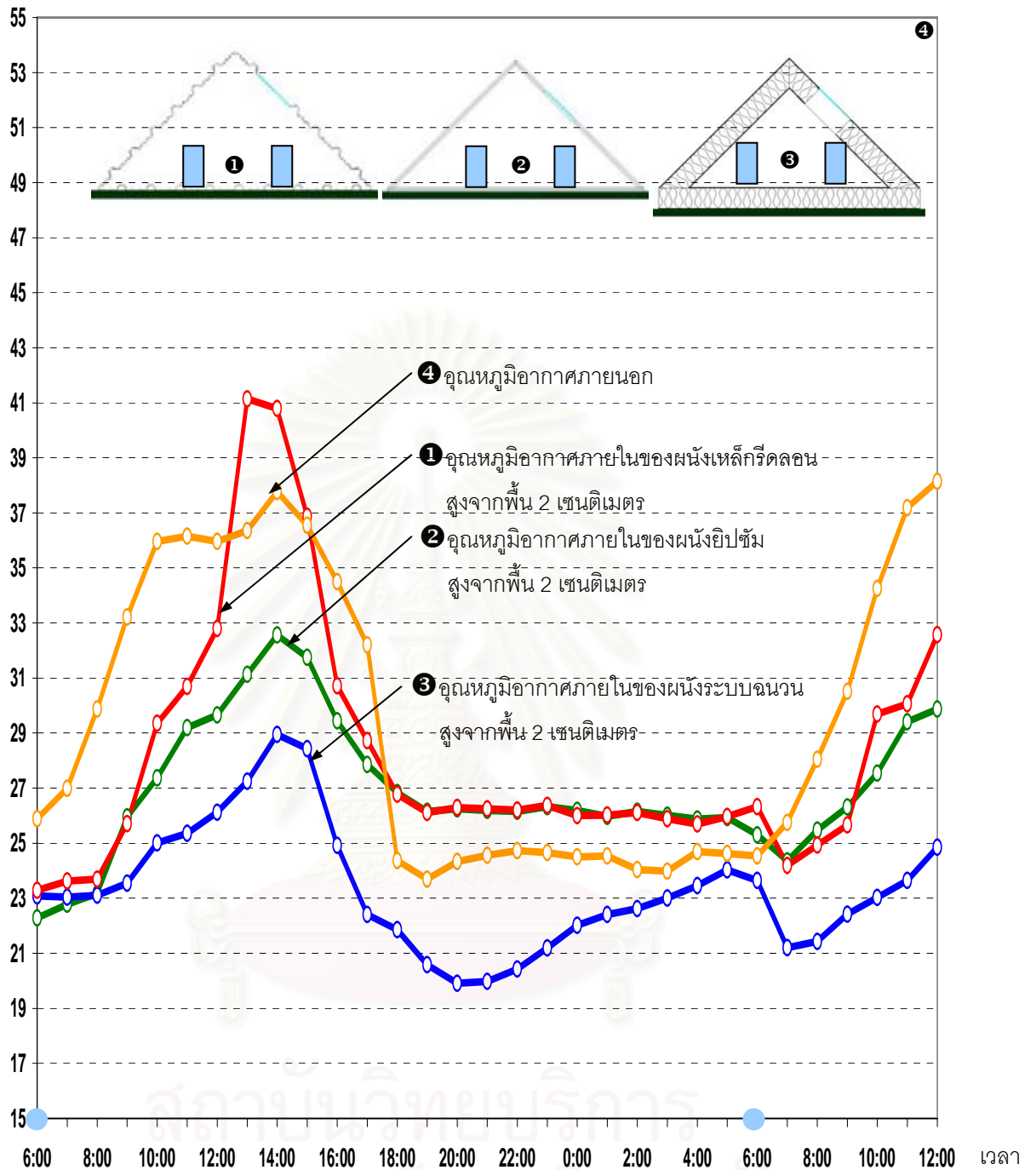
วัสดุที่มีมวลสารน้อยแต่มีความเป็นฉนวนสูงสามารถช่วยในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้ดี ทำให้ความร้อนจากอากาศภายนอกเคลื่อนตัวเข้าสู่อาคารได้น้อยและช้า ในการเกิดค่าอุณหภูมิสูงสุดภายในอาคารออกไปจากที่เกิดค่าอุณหภูมิสูงสุดภายนอกในช่วงบ่าย เนื่องจากความร้อนภายนอกอาคารยังไม่สามารถถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารได้ ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารไม่สูงมากนัก และในช่วงเย็นเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกเย็นลงแล้ว ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังอาคารก็จะค่อย ๆ เคลื่อนตัวผ่านผนังไปสู่ด้านที่เย็นกว่า ทั้งภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งจะเป็นการช่วยลดค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของผนังอาคาร เมื่อเทียบกับวัสดุที่มีมวลสารน้อยแต่มีความเป็นฉนวนต่ำ

วิเคราะห์กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตรของวัสดุทั้ง 3 ชนิด ที่ระดับ 2 เซนติเมตร



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุณหภูมิ (°C)

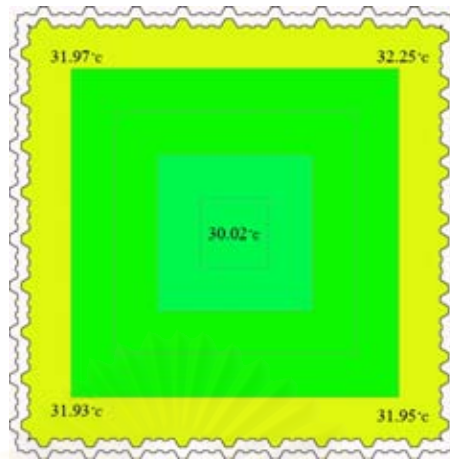


- อุณหภูมิอากาศภายในของผนังยิปซัม สูงจากพื้น 2 เซนติเมตร
- อุณหภูมิอากาศภายในของผนังระบบฉนวน สูงจากพื้น 2 เซนติเมตร
- อุณหภูมิอากาศภายในของผนังเหล็กเคลือบสังกะสี สูงจากพื้น 2 เซนติเมตร
- อุณหภูมิอากาศภายนอก
- เวลาที่ใส่น้ำแข็ง

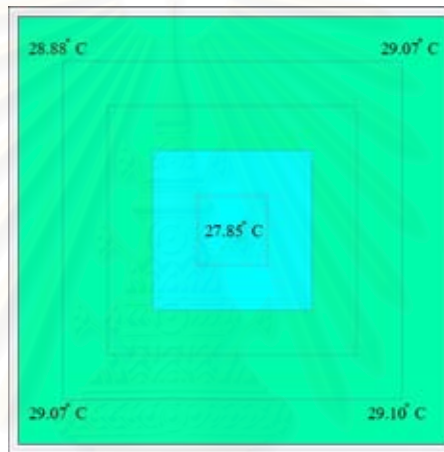
แผนภูมิที่ 4.17 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปิระมิด ที่ความสูง 2 เซนติเมตรกรณีเปิดช่องแสงปรับอากาศของวัสดุต่าง ๆ เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายนอก ณ วันที่ 5-6 พฤษภาคม 2550



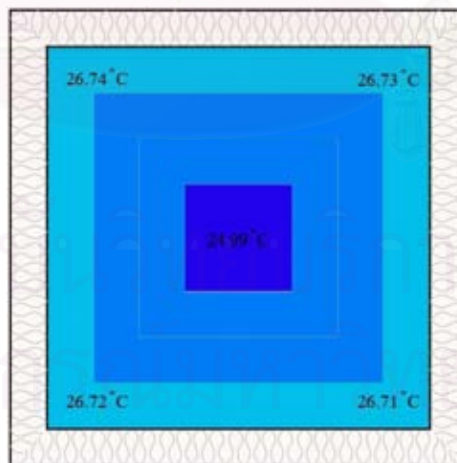
วิเคราะห์อุณหภูมิอากาศภายในเฉลี่ยแนวระดับและแนวตั้ง กรณีเปิดช่องแสงปรับอากาศ



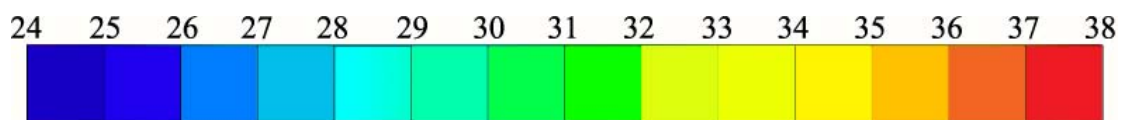
ผ้าเหลืองเคลือบสังกะสี



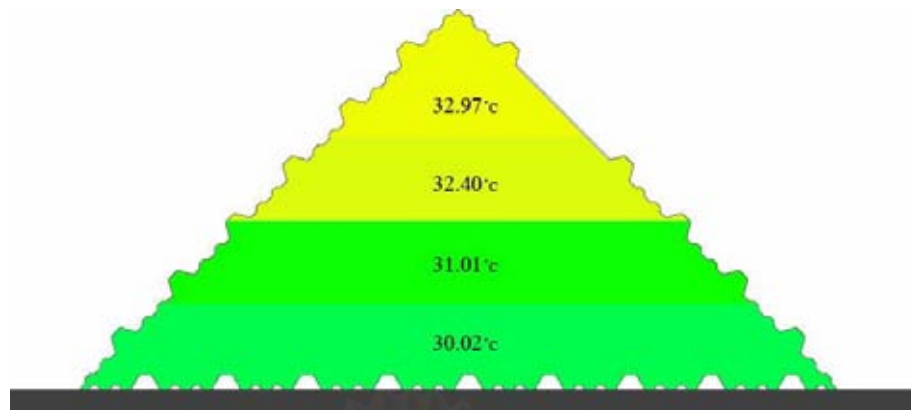
ผ้าเขียวเข้ม



ผ้าระบบขนวน



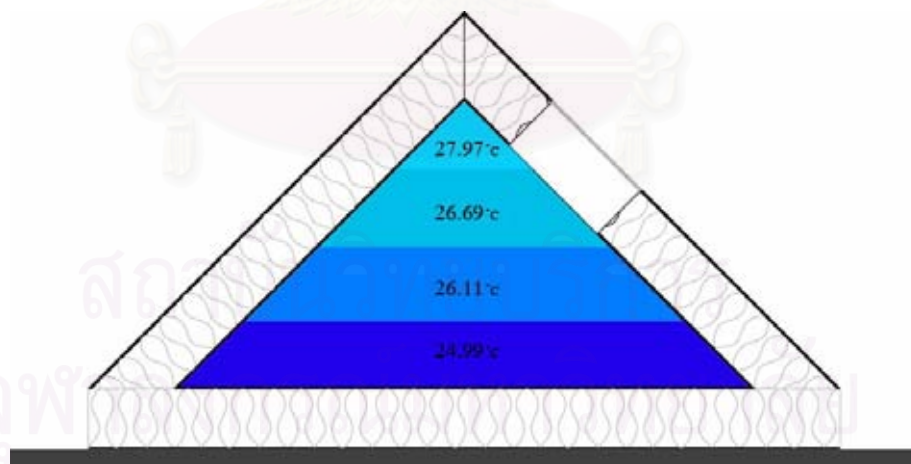
ภาพที่ 4.19 แสดงแบบแปลนคอนทัวร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังต่างๆ ที่ระดับ 2 เซนติเมตร



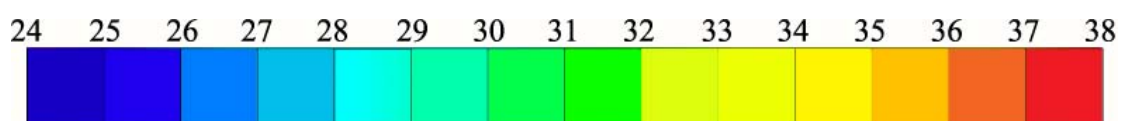
ผนังเหล็กเคลือบสังกะสี



ผนังยิปซั่ม



ผนังระบบฉนวน



ภาพที่ 4.20 แสดงรูปตัดคอนทอร์ความร้อนเฉลี่ยของผนังต่าง ๆ ที่ความสูง 2 เซนติเมตร

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิอากาศภายในในแนวระดับทั้ง 5 จุด อุณหภูมิอากาศภายในที่มุมทั้ง 4 ของปริมาตร มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในที่จุดกึ่งกลางปริมาตร ประมาณ 2 องศาเซลเซียสในระดับเดียวกัน ที่ความสูงจากพื้น 2 เซนติเมตร ในทุกวัสดุ เนื่องจากได้รับอิทธิพลความร้อนจากผนังด้านข้างที่คายความร้อนออกมา ส่วนอุณหภูมิอากาศภายในแนวตั้ง อุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับล่างจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายในที่ระดับสูงกว่า เนื่องจากความร้อนลอยตัวสูงขึ้น ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในระดับบนร้อนกว่าระดับล่าง และอุณหภูมิอากาศภายในที่ความสูงจากพื้น 2 เซนติเมตร ของผนังเหล็กเคลือบสังกะสีและผนังยิปซัม สามารถควบคุมอุณหภูมิให้ใกล้เคียงกับเขตสภาวะน่าสบายได้ ส่วนผนังระบบฉนวนสามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในเขตสภาวะน่าสบายได้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะในกรณีวิจัย

จากการศึกษาและการทดสอบวัสดุผนังที่มีค่าความเป็นฉนวนต่างกันทั้ง 3 ชนิด ใน 2 สภาพการทดลอง สามารถสรุปผลการทดลองได้ ดังต่อไปนี้

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### การวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

##### 1. ผนังเหล็กเคลือบสังกะสี

วัสดุมีค่าความต้านทานความร้อนต่ำ เมื่อได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จึงถ่ายเทความร้อนเข้ามาสะสมในอาคาร ทำให้ในช่วงกลางวันในอาคารมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงมาก แต่ช่วงกลางคืนเมื่อไม่ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ทำให้สภาพแวดล้อมภายนอกมีอุณหภูมิต่ำลง ความร้อนจากภายในจึงถ่ายเทออกมาภายนอก ทำให้ภายในตัวอาคารมีอุณหภูมิอากาศเย็นขึ้น

##### 2. ผนังยิปซัม

วัสดุมีค่าความต้านทานความร้อนปานกลาง เมื่อได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ วัสดุดูดซับความร้อนส่วนหนึ่งไว้แล้วถ่ายเทเข้ามาในอาคาร ทำให้ในช่วงกลางวันในอาคารมีอุณหภูมิอากาศภายในไม่สูงมาก และในช่วงกลางคืนเมื่อไม่ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทำให้สภาพแวดล้อมภายนอกมีอุณหภูมิต่ำลง ความร้อนจากภายในจึงถ่ายเทออกมาภายนอก ทำให้ภายในตัวอาคารมีอุณหภูมิเย็นขึ้น

##### 3. ผนังระบบฉนวน

วัสดุมีค่าความต้านทานความร้อนสูง เมื่อได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ วัสดุจะช่วยหน่วงความร้อนไว้ให้ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคารช้าลง ทำให้ในช่วงกลางวันอุณหภูมิอากาศภายในอาคารสูงขึ้นอย่างช้า ๆ และในช่วงกลางคืนเมื่อไม่ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ประกอบกับความร้อนภายในอาคารยังไม่สามารถถ่ายเทออกมาได้หมด จึงทำให้ความร้อดยังคงสะสมอยู่ภายในอาคาร

เนื่องจากวัสดุทั้ง 3 ชนิด มีพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน การนำมาใช้กับงานทางสถาปัตยกรรม ทำให้ผนังเหล็กเคลือบสังกะสีและผนังยิปซัมเหมาะกับการใช้งานทางอาคารมากกว่า ส่วนผนังระบบฉนวนไม่เหมาะกับการใช้งานในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น เนื่องจากมี

ความร้อนสะสมอยู่ภายในมากแต่เหมาะกับการใช้งานในเขตภูมิอากาศหนาวที่สามารถสะสมความร้อนไว้ได้

### การใช้งานในอาคาร

#### 1. ผนังเหล็กเคลือบสังกะสี

เมื่อมีความร้อนเข้ามาสะสมในอาคาร ทำให้ในช่วงกลางวันในอาคารมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงมากทำให้อาคารที่ใช้วัสดุชนิดนี้มีภาระการทำความเย็นสูง แต่ช่วงกลางคืนเมื่อไม่ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ทำให้สภาพแวดล้อมภายนอกมีอุณหภูมิต่ำลง ความร้อนจากภายในจึงถ่ายเทออกมาภายนอก ทำให้ภายในตัวอาคารมีอุณหภูมิอากาศเย็นขึ้น

#### 2. ผนังยิปซัม

เมื่อภายในอาคารได้รับความเย็น ทำให้ในช่วงกลางวันในอาคารมีอุณหภูมิอากาศภายในไม่สูงมาก เนื่องจากวัสดุกักเก็บความเย็นไว้ได้บ้าง และในช่วงกลางคืนเมื่อไม่ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทำให้สภาพแวดล้อมภายนอกมีอุณหภูมิต่ำลง ความร้อนจากภายในจึงถ่ายเทออกมาภายนอก ทำให้ภายในตัวอาคารมีอุณหภูมิเย็นขึ้น

#### 3. ผนังระบบฉนวน

เมื่อภายในอาคารได้รับความเย็นทำให้ความร้อนจากอากาศภายนอกเคลื่อนตัวเข้าสู่อาคารได้น้อยและช้า ในการเกิดค่าอุณหภูมิสูงสุดภายในอาคารออกไปจากที่เกิดค่าอุณหภูมิสูงสุดภายนอกในช่วงบ่าย เนื่องจากความร้อนภายนอกอาคารยังไม่สามารถถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารได้ ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารไม่สูงมากนัก และในช่วงเย็นเมื่ออุณหภูมิอากาศภายนอกเย็นลงแล้ว ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังอาคารก็จะค่อย ๆ เคลื่อนตัวผ่านผนังไปสู่ด้านที่เย็นกว่า ทั้งภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งจะเป็นการช่วยลดค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของผนังอาคาร

เมื่อนำวัสดุทั้ง 3 ชนิดมาเปรียบเทียบกันเพื่อเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับอาคารปรับอากาศ ผนังเหล็กเคลือบสังกะสีและผนังยิปซัมไม่เหมาะกับอาคารปรับอากาศเนื่องจากไม่สามารถกักเก็บความเย็นได้เท่าที่ควรทำให้มีค่าภาระการทำความเย็นที่สูงขึ้น ส่วนผนังระบบฉนวนมีการกักเก็บความเย็นที่ดีสามารถลดภาระการทำความเย็นได้

### การเปิดช่องแสง

#### 1. ผนังเหล็กเคลือบสังกะสี

การเปิดช่องแสงในอาคารที่ใช้ผนังเหล็กเคลือบสังกะสี ไม่มีผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในอาคาร เนื่องจากวัสดุมีค่าความต้านทานความร้อนต่ำ ให้ความร้อนถ่ายเทเข้ามาภายในอาคารมาก และเมื่อสภาพแวดล้อมภายนอกเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิอากาศภายในก็เปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน



## 2. ผนังยิปซั่ม

การเปิดช่องแสงในอาคารที่ใช้ผนังยิปซั่ม มีผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในอาคาร เนื่องจากวัสดุมีค่าความต้านทานความร้อนปานกลาง เมื่อได้รับความร้อนที่ผ่านช่องแสงเข้าไปทำให้ความร้อนถ่ายเทเข้ามาภายในอาคารมากขึ้น

## 3. ผนังระบบฉนวน

การเปิดช่องแสงในอาคารที่ใช้ผนังระบบฉนวน มีผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในอาคาร เนื่องจากวัสดุมีค่าความต้านทานความร้อนสูง เมื่อได้รับความร้อนที่ผ่านช่องแสงเข้าไปทำให้ความร้อนถ่ายเทเข้ามาภายในอาคารมากขึ้น และสะสมอยู่ในอาคารทำให้ในช่วงกลางคืนเมื่อไม่ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ประกอบกับความร้อนภายในอาคารยังไม่สามารถถ่ายเทออกมาได้หมด จึงทำให้ความร้อนยังคงสะสมอยู่ในอาคาร

ขนาดของช่องเปิดมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนภายในอาคาร อาคารที่มีวัสดุมวลสารน้อย และช่องเปิดขนาดใหญ่ จะมีปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารมาก ถ้าอาคารมีช่องเปิดขนาดเล็ก สามารถรับแสงได้เพียงพอต่อการใช้งาน แต่ถ้าช่องแสงมีขนาดที่เหมาะสม ทำให้ความร้อนเข้ามาในอาคารได้น้อย และมีแสงจากภายนอกเพียงพอต่อการใช้งานจะประหยัดพลังงานในอาคารเป็นจำนวนมาก และเพื่อให้ได้อาคารที่ประหยัดพลังงานควรพิจารณาเลือกใช้ผนังที่มีค่า R ที่เหมาะสม ( $R\text{-Value} = 12.88 \text{ Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$ ) และขนาดของช่องเปิดควรมีประมาณร้อยละ 5 ของพื้นที่เปลือกอาคาร

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดสอบอุณหภูมิอากาศภายในรูปทรงปริมาตร เพื่อให้ได้ผลที่แท้จริงควรปรับขนาดของแบบจำลองที่ทดลองให้เป็นอาคารทดลองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเดิมประมาณ 5 เท่า
2. เนื่องจากเวลาและอุปกรณ์ในการวิจัยมีจำกัด จึงไม่สามารถทดสอบอุณหภูมิในแนวระนาบที่ความสูง 30 45 และ 60 เซนติเมตร ได้ ทั้งในสภาพปรับอากาศและไม่ปรับอากาศได้
3. ในการวิจัยนี้เป็นการเก็บตัวอย่างข้อมูลเพียงช่วงเวลาหนึ่ง เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมที่แตกต่าง ควรเก็บข้อมูลในสภาพอากาศที่แตกต่างกันตลอดทั้งปี

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. ข้อมูลกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:

<http://www.tag.co.th/th/default.asp> [13 กุมภาพันธ์ 2549]

ตรีใจ บุญสมภพ. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน.

กรุงเทพมหานคร: การทุนเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, 2539.

ปิยชาติ แก้วแดง. แนวทางการสร้างแบบประเมินลักษณะรูปทรงภายนอก และการจัดวางทิศทาง

อาคารที่เหมาะสม เพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญา

มหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

วรภัทร ฉันทกานันท์. แนวทางการสร้างแบบประเมินค่าการประหยัดพลังงานในส่วนผนังอาคาร.

วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย, 2546.

สรญา ประวัตตรากร. อิทธิพลของมวลสารผนังภายนอกที่มีต่อสภาวะน่าสบายและการปรับอากาศ

ภายในการออกแบบอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม

ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์

แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญาธิการ. บ้านสีเขียวที่ดียิ่ง บ้านพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคุณภาพชีวิตผลิตพลังงาน.

กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

สุนทร บุญญาธิการ และคณะ. พลังงานใกล้ตัว. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: เพรส ออฟเซท, 2545.

สุนทร บุญญาธิการ และคณะ. การใช้กระจก: เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคาร

อนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและ

สิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543.

สุนทร บุญญาธิการ และคณะ. การใช้ฉนวน: เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคาร

อนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและ

สิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543.

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. เอกสาร

เผยแพร่การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน เรื่อง การใช้ฉนวน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:

คอมฟอร์ม, 2543.

## ภาษาอังกฤษ

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 1989

ASHRAE Handbook of Fundamentals. I-P Edition. Atlanta Georgia: (n.p.), 1989.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE

Handbook of Fundamentals. I-P Edition. Atlanta Georgia: (n.p.), 2000.

Kwang-Woo kim. Thermal Performance Simulation of Opaque Building Envelopes. D.

Arch. Dissertation, University of Michigan, 1984.

Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting. New York: John Wiley&Sons. 1991.

Santomouris, M. Passive Cooling of Buildings. London: Antony Rowle, 1996.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Date 4/4/2007-4/5/2007

Time	ระดับ 60	ระดับ 45	ระดับ 30	ระดับ 15	T out
6:00	28.18	27.95	28.16	28.24	27.68
7:00	31.44	31.00	31.12	30.82	30.87
8:00	38.74	37.44	37.19	35.98	33.63
9:00	44.16	42.79	42.11	40.63	35.91
10:00	47.68	46.21	45.42	44.17	37.87
11:00	49.66	48.67	47.68	46.84	39.28
12:00	50.86	49.84	48.82	48.01	39.88
13:00	50.21	49.39	48.47	47.53	40.04
14:00	49.12	48.05	47.18	46.15	39.97
15:00	47.28	46.16	44.84	43.84	39.30
16:00	43.30	42.61	42.21	40.69	37.76
17:00	38.35	37.64	37.53	36.58	34.69
18:00	31.70	31.50	31.74	31.39	31.54
19:00	30.31	30.14	30.39	30.31	29.83
20:00	30.07	29.94	30.20	30.07	29.43
21:00	29.70	29.50	29.81	29.77	29.10
22:00	29.50	29.27	29.55	29.50	28.83
23:00	29.23	29.10	29.36	29.27	28.57
0:00	29.10	29.02	29.25	29.10	28.39
1:00	29.07	28.73	29.10	29.08	28.18
2:00	29.03	28.70	29.10	29.05	28.08
3:00	28.93	28.70	28.99	28.97	28.02
4:00	28.70	28.70	28.90	28.88	27.97
5:00	28.70	28.64	28.88	28.80	27.91
6:00	28.90	28.67	29.02	28.97	28.08
7:00	31.26	30.92	31.12	30.82	30.54
8:00	35.00	34.40	34.34	33.63	33.28
9:00	41.16	40.04	39.65	38.26	35.59
10:00	45.58	44.38	43.71	42.28	36.99
11:00	48.99	47.97	45.82	44.78	38.35
12:00	49.45	48.50	46.29	45.18	38.98

Time	ระดับ 60	ระดับ 45	ระดับ 30	ระดับ 15	T out
6:00	29.03	28.90	29.16	29.07	28.08
7:00	31.71	31.37	31.59	31.19	30.28
8:00	37.29	36.59	36.52	36.15	31.93
9:00	40.11	39.34	39.13	38.84	33.04
10:00	44.56	43.74	43.29	42.93	34.96
11:00	46.09	45.38	44.56	43.78	35.85
12:00	49.64	48.93	48.26	48.20	36.95
13:00	53.04	52.41	51.98	51.17	38.88
14:00	52.37	51.47	50.68	50.19	39.26
15:00	49.81	48.59	47.28	46.26	38.66
16:00	46.02	44.79	43.65	42.55	37.30
17:00	39.73	38.82	38.49	37.88	34.82
18:00	32.60	32.36	32.54	32.17	31.60
19:00	30.17	30.28	30.04	29.73	29.40
20:00	29.90	29.86	29.57	29.24	28.90
21:00	29.50	29.72	29.50	29.18	28.58
22:00	29.50	29.56	29.30	29.18	28.35
23:00	29.37	29.42	29.14	29.10	28.16
0:00	29.10	29.15	29.09	28.83	27.83
1:00	29.10	29.07	29.00	28.70	27.51
2:00	28.70	28.88	28.80	28.70	27.41
3:00	28.70	28.88	28.80	28.70	27.35
4:00	28.70	28.85	28.77	28.54	27.21
5:00	28.54	28.62	28.56	28.31	27.09
6:00	28.63	28.81	28.55	28.34	27.19
7:00	30.89	30.75	30.51	30.48	29.74
8:00	38.56	37.44	37.09	36.05	34.91
9:00	43.47	41.98	41.31	39.81	37.27
10:00	45.18	43.54	42.54	41.05	37.62
11:00	48.47	47.61	47.18	46.23	38.32
12:00	49.45	48.84	48.18	47.23	38.92



Date 5/5/2007-5/6/2007

Time	ระดับ 60	ระดับ 45	ระดับ 30	ระดับ 15	ตะวันออกเฉียงใต้	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตกเฉียงเหนือ	T out
6:00	26.77	26.33	25.87	23.28	25.27	25.35	25.58	25.59	25.89
7:00	27.89	27.42	26.31	23.63	30.85	30.11	30.54	30.71	26.99
8:00	28.07	27.52	26.75	23.69	33.55	32.82	33.05	33.41	29.88
9:00	31.50	30.68	28.64	25.70	38.63	37.26	37.47	38.71	33.21
10:00	33.63	33.00	30.75	29.36	41.00	39.70	40.37	41.15	35.96
11:00	34.64	34.07	32.62	30.70	40.09	38.91	40.41	40.40	36.15
12:00	36.15	36.95	34.15	32.80	39.58	38.34	38.35	39.81	35.96
13:00	43.53	43.08	42.30	41.14	43.06	41.91	41.77	43.51	36.36
14:00	42.64	42.03	41.60	40.79	43.25	42.33	43.60	43.86	37.78
15:00	40.71	39.21	38.06	36.88	38.60	37.78	38.63	39.02	36.55
16:00	35.33	34.94	32.13	30.72	31.54	31.27	32.02	31.85	34.50
17:00	32.77	32.53	30.97	28.73	29.33	29.17	29.23	29.50	32.21
18:00	30.69	30.40	28.99	26.78	26.73	26.64	27.29	27.06	24.37
19:00	27.22	27.04	26.34	26.12	26.28	26.05	26.78	26.60	23.69
20:00	26.72	26.62	26.34	26.30	26.34	26.34	26.97	26.73	24.34
21:00	26.64	26.55	26.28	26.25	26.28	26.21	26.71	26.63	24.56
22:00	26.50	26.39	26.24	26.21	26.24	26.18	26.59	26.67	24.73
23:00	26.48	26.39	26.34	26.37	26.34	26.34	26.01	26.73	24.66
0:00	26.39	26.35	26.08	26.00	25.89	25.76	25.87	26.31	24.50
1:00	26.42	26.32	25.92	26.03	25.85	25.79	25.83	26.28	24.53
2:00	26.36	26.32	25.95	26.12	26.02	25.85	26.05	26.37	24.04
3:00	26.37	26.23	25.82	25.89	25.76	25.59	26.33	26.34	23.98
4:00	26.22	26.17	25.59	25.70	25.56	25.30	25.99	26.05	24.69
5:00	26.25	26.24	25.92	25.97	25.92	25.59	25.74	26.34	24.63
6:00	26.27	26.07	26.44	26.33	26.67	26.47	27.19	27.03	24.53
7:00	28.32	28.32	27.46	24.19	27.95	27.49	27.72	28.24	25.76
8:00	30.57	30.47	29.71	24.94	31.34	30.59	31.16	31.61	28.05
9:00	32.88	32.59	30.42	25.66	32.48	31.38	32.16	32.86	30.52
10:00	33.66	33.25	32.16	29.69	35.25	34.12	35.57	35.68	34.26
11:00	35.54	35.07	35.06	30.07	42.24	40.87	40.91	42.64	37.19
12:00	38.18	37.67	37.39	32.57	39.45	38.21	39.36	39.56	38.14

Date 4/4/2007-4/5/2007

Time	ระดับ 60	ระดับ 45	ระดับ 30	ระดับ 15	T out
6:00	27.32	27.24	27.17	27.06	27.68
7:00	27.93	27.77	27.66	27.58	30.87
8:00	29.53	29.35	29.14	28.87	33.63
9:00	33.01	33.26	32.67	32.04	35.91
10:00	36.80	36.26	35.65	34.85	37.87
11:00	39.16	38.76	38.06	37.15	39.28
12:00	40.73	40.52	40.02	39.11	39.88
13:00	41.40	41.18	40.86	40.20	40.04
14:00	41.38	41.16	40.79	40.05	39.97
15:00	40.68	40.56	40.20	39.46	39.30
16:00	39.36	39.00	38.60	37.91	37.76
17:00	36.87	36.55	36.18	35.63	34.69
18:00	33.93	33.34	33.18	32.80	31.54
19:00	31.44	31.05	30.93	30.75	29.83
20:00	30.29	30.39	30.23	30.14	29.43
21:00	29.77	29.78	29.63	29.53	29.10
22:00	29.16	29.19	29.08	28.93	28.83
23:00	28.57	28.78	28.67	28.54	28.57
0:00	28.50	28.59	28.42	28.31	28.39
1:00	28.31	28.41	28.35	28.31	28.18
2:00	28.31	28.24	28.09	28.00	28.08
3:00	28.28	28.15	28.04	28.00	28.02
4:00	27.91	28.01	27.97	27.91	27.97
5:00	27.91	27.96	27.94	27.91	27.91
6:00	27.91	27.96	27.88	27.75	28.08
7:00	28.28	28.32	28.22	28.08	30.54
8:00	29.40	29.41	29.23	29.07	33.28
9:00	32.59	32.46	32.00	31.53	35.59
10:00	35.96	35.61	35.00	34.33	36.99
11:00	38.25	38.09	37.41	36.64	38.35
12:00	39.90	39.64	38.90	38.10	38.98

Time	ระดับ 60	ระดับ 45	ระดับ 30	ระดับ 15	T out
6:00	28.42	28.31	28.31	28.11	28.08
7:00	29.16	29.03	28.77	28.31	30.28
8:00	31.47	31.19	30.81	30.44	31.93
9:00	33.87	33.56	32.90	32.65	33.04
10:00	36.28	35.99	35.14	34.99	34.96
11:00	38.39	38.14	37.08	37.04	35.85
12:00	40.17	40.13	38.85	38.81	36.95
13:00	42.28	42.27	40.90	40.75	38.88
14:00	43.34	43.18	41.83	41.68	39.26
15:00	42.42	42.16	40.75	40.67	38.66
16:00	40.67	40.37	38.96	38.96	37.30
17:00	37.45	37.25	36.35	36.10	34.82
18:00	33.37	33.35	33.00	32.59	31.60
19:00	31.00	30.98	30.81	30.27	29.40
20:00	30.00	29.97	29.77	29.27	28.90
21:00	29.50	29.48	29.30	28.70	28.58
22:00	29.17	29.16	29.03	28.41	28.35
23:00	29.03	28.94	28.70	28.28	28.16
0:00	28.70	28.68	28.47	27.91	27.83
1:00	28.44	28.31	28.31	27.62	27.51
2:00	28.33	28.31	28.24	27.52	27.41
3:00	28.15	28.31	27.91	27.52	27.35
4:00	28.10	27.91	27.91	27.39	27.21
5:00	27.89	27.91	27.85	27.12	27.09
6:00	27.85	27.91	27.60	27.12	27.19
7:00	28.28	28.14	28.04	27.45	29.74
8:00	29.85	29.71	29.27	28.81	34.91
9:00	34.12	34.00	32.77	32.53	37.27
10:00	37.82	37.65	36.07	36.10	37.62
11:00	41.02	40.86	39.19	39.30	38.32
12:00	43.17	43.14	41.48	41.68	38.92

Date 5/5/2007-5/6/2007

Time	ระดับ 60	ระดับ 45	ระดับ 30	ระดับ 15	ตะวันออกเฉียงใต้	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตกเฉียงเหนือ	T out
6:00	26.77	26.33	25.87	22.28	25.27	25.35	25.58	25.59	25.89
7:00	27.89	27.42	25.89	22.78	25.37	25.63	25.71	25.63	26.99
8:00	28.07	27.52	25.76	23.18	25.92	26.02	26.30	26.18	29.88
9:00	31.50	30.68	28.44	25.95	28.64	28.67	28.88	28.77	33.21
10:00	33.63	33.00	29.50	27.38	29.64	29.80	29.87	29.87	35.96
11:00	34.64	34.07	29.94	29.19	30.10	30.41	30.23	30.24	36.15
12:00	35.15	34.95	30.14	29.66	30.48	30.85	30.45	30.44	35.96
13:00	37.53	37.08	31.53	31.13	32.11	32.46	32.17	31.94	36.36
14:00	38.64	38.03	33.24	32.57	33.80	34.43	34.14	33.98	37.78
15:00	36.71	36.21	32.55	31.75	32.86	33.21	33.30	33.18	36.55
16:00	33.33	32.94	30.07	29.44	30.07	30.24	30.47	30.31	34.50
17:00	29.77	29.53	28.24	27.86	28.28	28.47	28.61	28.54	32.21
18:00	27.69	27.40	27.16	26.84	27.06	27.19	27.47	27.42	24.37
19:00	27.22	27.04	26.34	26.16	26.34	26.34	26.73	26.70	23.69
20:00	26.72	26.62	26.34	26.25	26.34	26.34	26.69	26.70	24.34
21:00	26.64	26.55	26.34	26.19	26.34	26.34	26.55	26.73	24.56
22:00	26.50	26.39	26.34	26.16	26.28	26.34	26.52	26.52	24.73
23:00	26.48	26.39	26.34	26.33	26.34	26.34	26.58	26.64	24.66
0:00	26.39	26.35	26.31	26.19	26.18	26.34	26.49	26.52	24.50
1:00	26.42	26.32	25.95	25.98	25.95	26.05	26.21	26.34	24.53
2:00	26.36	26.32	26.34	26.16	25.98	26.34	26.34	26.41	24.04
3:00	26.37	26.23	26.05	26.01	25.95	26.18	26.24	26.13	23.98
4:00	26.22	26.17	25.95	25.88	25.92	25.98	26.10	25.96	24.69
5:00	26.25	26.24	25.95	25.94	25.95	25.95	26.16	25.90	24.63
6:00	26.27	26.07	25.95	25.30	25.98	26.11	26.24	25.90	24.53
7:00	26.32	26.32	25.56	24.36	25.92	26.11	26.22	26.43	25.76
8:00	27.57	27.47	26.70	25.48	26.83	26.86	27.17	27.22	28.05
9:00	30.88	30.59	27.32	26.31	27.52	27.65	27.77	27.42	30.52
10:00	33.66	33.25	28.44	27.54	28.51	28.54	28.74	28.65	34.26
11:00	35.54	35.07	30.14	29.41	30.41	30.51	30.47	30.50	37.19
12:00	36.18	35.67	30.54	29.87	30.92	31.15	31.23	31.27	38.14

Date 4/4/2007-4/5/2007

Time	ระดับ 60	ระดับ 45	ระดับ 30	ระดับ 15	T out
6:00	27.10	26.80	26.78	26.46	27.68
7:00	28.07	27.92	27.74	27.59	30.87
8:00	30.50	30.39	29.75	29.50	33.63
9:00	32.93	32.85	32.25	31.96	35.91
10:00	35.87	35.52	34.82	34.50	37.87
11:00	37.96	37.67	37.21	36.93	39.28
12:00	39.56	39.40	39.12	38.92	39.88
13:00	40.72	40.59	40.43	40.25	40.04
14:00	41.40	41.19	41.12	40.92	39.97
15:00	41.18	41.05	41.01	40.88	39.30
16:00	40.22	40.07	40.06	39.95	37.76
17:00	38.32	38.21	38.14	38.05	34.69
18:00	35.88	35.79	35.71	35.63	31.54
19:00	33.84	33.78	33.72	33.66	29.83
20:00	32.33	32.28	32.21	32.21	29.43
21:00	31.15	31.13	31.04	31.00	29.10
22:00	30.21	30.18	30.11	30.07	28.83
23:00	29.90	29.86	29.78	29.73	28.57
0:00	29.64	29.60	29.55	29.51	28.39
1:00	28.84	28.82	28.76	28.76	28.18
2:00	28.42	28.40	28.32	28.29	28.08
3:00	28.05	28.01	27.96	27.92	28.02
4:00	27.75	27.75	27.69	27.66	27.97
5:00	27.52	27.50	27.48	27.47	27.91
6:00	27.35	27.32	27.27	27.27	28.08
7:00	27.52	27.47	27.36	27.33	30.54
8:00	28.44	28.33	28.15	28.06	33.28
9:00	30.17	29.97	29.63	29.46	35.59
10:00	32.81	32.42	31.86	31.61	36.99
11:00	35.30	34.94	34.34	34.04	38.35
12:00	36.90	36.65	35.95	35.75	38.98

Time	ระดับ 60	ระดับ 45	ระดับ 30	ระดับ 15	T out
6:00	28.42	28.31	28.31	28.11	28.08
7:00	28.62	28.47	28.61	28.56	30.28
8:00	31.86	31.60	31.61	31.49	31.93
9:00	35.48	35.35	35.25	35.08	33.04
10:00	39.73	39.65	39.64	39.35	34.96
11:00	43.89	43.63	43.58	43.18	35.85
12:00	48.05	47.57	47.14	46.26	36.95
13:00	52.44	51.68	51.26	50.18	38.88
14:00	54.15	53.88	53.62	53.18	39.26
15:00	53.73	53.29	52.92	52.20	38.66
16:00	51.65	50.91	50.66	49.68	37.30
17:00	47.53	46.84	46.46	45.42	34.82
18:00	42.42	42.05	41.97	41.88	31.60
19:00	37.57	37.48	37.39	37.32	29.40
20:00	34.45	34.36	34.29	34.24	28.90
21:00	32.28	32.21	32.20	32.18	28.58
22:00	30.90	30.71	30.77	30.75	28.35
23:00	29.79	29.78	29.75	29.72	28.16
0:00	28.94	28.93	28.94	28.94	27.83
1:00	28.42	28.39	28.36	28.33	27.51
2:00	27.99	27.96	27.93	27.90	27.41
3:00	27.63	27.62	27.60	27.59	27.35
4:00	27.36	27.35	27.33	27.32	27.21
5:00	27.15	27.11	27.09	27.05	27.09
6:00	27.56	27.43	27.35	27.22	27.19
7:00	29.45	29.01	28.74	28.29	29.74
8:00	35.55	34.91	34.53	33.36	34.91
9:00	42.03	41.71	41.35	39.67	37.27
10:00	45.95	46.08	45.76	44.78	37.62
11:00	49.27	49.45	48.98	48.28	38.32
12:00	52.57	52.86	52.38	51.84	38.92

Date 5/5/2007-5/6/2007

Time	ระดับ 60	ระดับ 45	ระดับ 30	ระดับ 15	ตะวันออกเฉียงใต้	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตกเฉียงเหนือ	T out
6:00	25.77	25.33	24.37	23.08	24.27	24.35	24.58	24.59	25.89
7:00	25.89	25.42	24.55	23.04	24.19	24.23	24.33	24.25	26.99
8:00	26.47	26.02	24.81	23.11	23.81	24.34	24.60	24.22	29.88
9:00	27.50	26.98	25.39	23.55	23.62	24.51	24.44	24.95	33.21
10:00	28.63	28.00	26.60	25.01	26.08	25.78	25.68	26.89	35.96
11:00	28.64	28.07	26.89	25.36	26.52	26.29	26.90	26.55	36.15
12:00	29.15	28.75	27.57	26.12	27.19	27.11	27.42	26.93	35.96
13:00	30.53	30.08	28.69	27.25	27.37	28.84	27.57	27.99	36.36
14:00	32.64	32.03	30.73	28.95	29.46	29.21	29.53	28.98	37.78
15:00	31.71	31.11	29.95	28.43	29.04	29.12	29.24	28.75	36.55
16:00	28.33	27.74	26.13	24.92	25.65	24.60	25.97	25.49	34.50
17:00	24.77	24.23	23.39	22.41	23.04	23.00	23.36	22.91	32.21
18:00	23.69	23.20	22.87	21.86	22.49	22.38	22.74	22.33	24.37
19:00	23.22	22.44	21.79	20.59	21.10	20.72	21.51	21.00	23.69
20:00	22.32	21.62	21.19	19.91	20.33	20.28	20.72	20.30	24.34
21:00	22.44	21.75	21.32	19.98	20.33	20.38	20.65	20.23	24.56
22:00	22.50	22.19	21.54	20.43	20.72	20.76	21.10	21.46	24.73
23:00	23.18	22.69	22.27	21.19	21.41	21.49	21.79	21.22	24.66
0:00	23.69	23.35	22.87	22.01	22.20	22.25	22.52	22.05	24.50
1:00	24.12	23.72	23.07	22.41	22.77	22.95	23.09	22.71	24.53
2:00	24.36	24.02	23.44	22.62	22.90	22.68	23.82	23.41	24.04
3:00	24.37	24.12	23.55	23.01	23.10	23.34	23.33	23.10	23.98
4:00	25.02	24.57	24.00	23.45	23.55	23.85	23.84	23.58	24.69
5:00	25.25	25.04	24.41	24.03	24.06	24.26	24.32	24.10	24.63
6:00	25.67	25.37	24.73	23.65	24.97	24.44	24.41	25.00	24.53
7:00	24.12	23.62	22.29	21.20	21.69	21.61	21.46	21.47	25.76
8:00	24.57	23.77	22.35	21.43	22.69	22.80	22.46	22.08	28.05
9:00	25.88	24.89	23.39	22.42	23.46	23.72	23.25	22.91	30.52
10:00	26.66	25.55	24.31	23.03	24.67	24.91	24.46	24.11	34.26
11:00	27.54	26.37	24.89	23.65	25.01	24.44	24.61	24.84	37.19
12:00	28.18	26.97	25.81	24.86	25.32	24.97	24.98	25.17	38.14



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสรณีย์ยา หมั่นดี เกิดเมื่อวันที่ 5 สิงหาคม 2523 ปัจจุบันอาศัยบ้านเลขที่ 327/2 ซอยพหลโยธิน 32 แขวงลาดยาว เขตจตุจักร ถนนพหลโยธิน กรุงเทพมหานคร 10900

สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีสถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ในปีการศึกษา 2545 และได้รับการศึกษาต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในสาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรมศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

ผลงานการวิจัย ปี 2548 ทำงานร่วมเป็นผู้ช่วยนักวิจัยในโครงการ การจัดวางและออกแบบองค์ประกอบในภูมิทัศน์เพื่อการประหยัดพลังงาน ต่อมาในปี 2549 ทำงานเป็นนักวิจัยโครงการวิจัยการออกแบบ เพื่อกายภาพบำบัดและสร้างดัชนีระบบนิเวศน์ โครงการย่อยที่ 2 วิจัยการออกแบบโดยแฝงกิจกรรมออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย